



ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Βιώσιμος Σχεδιασμός Εσωτερικού Περιβάλλοντος Κτιρίων

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Ακουστικές προκλήσεις σε έργα επανάχρησης κτιρίων

Κουνουγέρης Γεώργιος

Επιβλέπων καθηγητής: Νικολάς Μισέλ Φίλιπ Ρεμί

Πάτρα, Ιούλιος, 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Ακουστικές προκλήσεις σε έργα επανάχρησης κτιρίων

Κουνουγέρης Γεώργιος

Επιτροπή Επίβλεψης Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Νικολάς Μισέλ Φιλίπ Ρεμί

Συν-Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Ζωή Γαρείου

Πάτρα, Ιούνιος 2026

Περιεχόμενα

Περίληψη	7
Λέξεις κλειδιά	7
Abstract	8
Keywords.....	8
Ακουστική και επανάχρηση	9
1. Εισαγωγή.....	9
2. Ακουστική άνεση και κτιριακή ακουστική	12
2.1 Βασικές έννοιες και δείκτες	12
2.2. Υποκειμενική αξιολόγηση και ηχοτοπία	14
3. Επανάχρηση κτηρίων και βιωσιμότητα	17
3.1. Η έννοια της επανάχρησης.	17
3.2. Το κτιριακό απόθεμα και ο βιώσιμος κυκλικός σχεδιασμός	18
4. Στρατηγικές ακουστικού σχεδιασμού	21
4.1. Παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος.....	21
4.2. Παρεμβάσεις στους εσωτερικούς χώρους.	23
4.3. Θόρυβος από Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις	26
5. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.	28
5.1. Βασικές ερευνητικές προσεγγίσεις και κανονιστικά πλαίσια.....	28
5. 2. Συνοπτική παρουσίαση κύριων μελετών	28
5.3. Κενά της βιβλιογραφίας και ερευνητική θέση της διπλωματικής	29
5.4. Οργάνωση βιβλιογραφικών αναφορών	30
6. Μεθοδολογία και μελέτες περίπτωσης.....	33
6.1. Στόχοι του πρακτικού μέρους και σχεδιαστικό/ερευνητικό πλαίσιο.....	33
6.2. Κριτήρια επιλογής μελετών περίπτωσης	33
6.3. Μέθοδοι ανάλυσης υφιστάμενης κατάστασης.....	33
Μελέτη περίπτωσης: Επανάχρηση σχολικής αίθουσας πολλαπλών ρόλων σε μικρή μουσική σκηνή.	36
7. Εισαγωγή.....	36
8. Περιγραφή του χώρου	37
8.1 Χωρική οργάνωση	39
8.2 Η ζώνη θέασης	41
8.3 Η σκηνή	42
8.4 Βοηθητικοί χώροι	43
9. Χρόνος αντήχησης RT και εσωτερική ακουστική αίθουσας μουσικής	45
9.1 Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης RT	46
9.2 Περιγραφή και επιφάνεια υλικών	50
9.3 Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμού.....	57
10. Μέτρηση Χρόνου Αντήχησης.	60
10.1 Περιβαλλοντικός θόρυβος και συνθήκες μέτρησης	62
10.2 Διάταξη και μεθοδολογία μετρήσεων χρόνου αντήχησης	65
11. Προσομοίωση παρεμβάσεων στο Rhino+Pachyderm.....	75
11.2 Αποτελέσματα της προσομοίωσης	80
11.3 Συμπεράσματα προσομοίωσης.	85
12. Συμπεράσματα Μελέτης περίπτωσης	87
Συμπεράσματα ΜΔΕ	89
Βιβλιογραφία	91
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1	94



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2128

Στη σύζυγο μου Σταυρούλα και στα παιδιά μου Πέτρο, Αντριάνα Μυρτώ, Σταύρο.

Περίληψη

Η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία διερευνά τις ακουστικές προκλήσεις που προκύπτουν κατά την επανάχρησης υφιστάμενων κτιρίων. Η επανάχρηση αποτελεί βασική στρατηγική αξιοποίησης του κτιριακού αποθέματος και εντάσσεται στις αρχές της κυκλικής οικονομίας, συμβάλλοντας στη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την κατασκευαστική διαδικασία. Ωστόσο, τα υπάρχοντα κτίρια εμφανίζουν ελλείψεις ως προς την ακουστική τους απόδοση, λόγω παλαιών κατασκευαστικών πρακτικών, υλικών και προτεραιοτήτων, γεγονός που δυσχεραίνει τη συμμόρφωση με τα σύγχρονα κανονιστικά πλαίσια .

Η εργασία αναλύει την έννοια της ακουστικής άνεσης, τόσο μέσα από αντικειμενικούς δείκτες όσο και μέσω της υποκειμενικής εμπειρίας των χρηστών. Παράλληλα, παρουσιάζονται στρατηγικές ακουστικού σχεδιασμού που περιλαμβάνουν παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος, στους εσωτερικούς χώρους και στις ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις, με έμφαση σε βιώσιμες και αναστρέψιμες λύσεις.

Η μεθοδολογία βασίζεται σε συνδυασμό βιβλιογραφικής έρευνας, ανάλυσης κανονισμών και μελέτης περίπτωσης. Εξετάζεται η μετατροπή σχολικής αίθουσας πολλαπλών χρήσεων σε μικρή μουσική σκηνή, όπου πραγματοποιούνται υπολογισμοί, μετρήσεις και προσομοιώσεις για την αξιολόγηση και βελτίωση της ακουστικής συμπεριφοράς. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι είναι δυνατή η επίτευξη ικανοποιητικής ακουστικής απόδοσης μέσω στοχευμένων, ήπιων παρεμβάσεων, αναδεικνύοντας την ανάγκη ενσωμάτωσης της ακουστικής στον συνολικό σχεδιασμό επανάχρησης .

Λέξεις κλειδιά

Επανάχρηση κτιρίων

Ακουστική άνεση

Κτιριακή ακουστική

Ακουστικός σχεδιασμός

Χρόνος αντήχησης

Abstract

This postgraduate thesis investigates the acoustic challenges that arise in the adaptive reuse of existing buildings. Adaptive reuse constitutes a key strategy for utilizing the existing building stock and is aligned with the principles of the circular economy, contributing to the reduction of environmental impacts associated with construction activities. However, existing buildings often exhibit deficiencies in their acoustic performance due to outdated construction practices, materials, and design priorities, which makes compliance with contemporary regulatory frameworks more difficult.

The study examines the concept of acoustic comfort both through objective indicators and through the subjective experience of users. At the same time, it presents acoustic design strategies that include interventions at the building envelope, interior spaces, and building services systems, with an emphasis on sustainable and reversible solutions.

The research methodology is based on a combination of literature review, analysis of regulatory frameworks, and a case study approach. In particular, the conversion of a multipurpose school hall into a small music performance space is examined, where calculations, measurements, and simulations are carried out in order to evaluate and improve the acoustic performance of the space. The findings demonstrate that satisfactory acoustic performance can be achieved through targeted and moderate interventions, highlighting the importance of integrating acoustics into the overall design process of adaptive reuse projects.

Keywords

Adaptive reuse of buildings

Acoustic comfort

Building acoustics

Acoustic design

Reverberation time

Ακουστική και επανάχρηση

1. Εισαγωγή

Η επανάχρηση κτιρίων αποτελεί μία στρατηγική για την αποτελεσματική εκμετάλλευση του υπάρχοντος κτιριακού αποθέματος. Υπάρχουν περιπτώσεις κατά τις οποίες οι παλαιές χρήσεις κτιρίων δεν συνδέονται με τις νέες, εντάσσονται δε σε ευρύτερα πλαίσια πολεοδομικού εξευγενισμού ολόκληρων περιοχών, με στόχο την συνολική αστικής αναδιάρθρωσης. (Vardopoulos et al. 2020; Zheng, Heath, & Guo, 2022; Lizama, Herrera, Kanungo, & Lerario, 2022). Οι βασικοί λόγοι για να αξιολογηθεί ως αποδοτική η επανάχρηση ενός κτηρίου εκτός της πολιτισμικής του αξίας, είναι οικονομικοί και περιβαλλοντικοί. (Della Spina, Carbonara, Stefano, & Viglianisi 2023; Ding, Shao, & Feng, 2025; Mehan, 2025). Ωστόσο, είναι γεγονός ότι ενώ τα ζητήματα της ενεργειακής απόδοσης και αναβάθμισης αντιμετωπίζονται αποτελεσματικά κατά την φάση του σχεδιασμού, η ακουστική απόδοση υποβαθμίζεται, παρόλο που αποτελεί κανονιστική απαίτηση. (Alonso, Patricio, Suárez, & Escandón, 2020; Alonso, Suárez, Patricio, Escandón, & Sendra, 2021; Nering, Kowalska-Koczwara, Shymanska, & Pawluś, 2022; ΥΠΕΝ/ ΔΑΟΚΑ/ 66006/ 2360, ΦΕΚ 3985/ Β/ 22.06.2023). Με δεδομένο ότι τα υφιστάμενα κτίρια βασίζονται σε συστήματα δόμησης, υλικά καθώς επίσης και διαμορφώσεις των εσωτερικών χώρων που αντανακλούν τις παλαιότερες χρήσεις, είναι συχνά μη αποδοτικές οι προσαρμογές βάσει των κανονιστικών πλαισίων για τις νέες χρήσεις. Το βασικό πλαίσιο παρεμβάσεων και προσαρμογών σχετικά με την ακουστική απόδοση αφορά την ηχοπροστασία από εξωτερικούς θορύβους, την ηχομόνωση μεταξύ εσωτερικών χώρων διαφορετικής χρήσης την ηχοαπορρόφηση σε χώρους ειδικών χρήσεων των κτιρίων. (Caniato, 2020; Andargie, Touchie, O'Brien, & Müller-Trapet, 2023; Ma, Mak, & Wong, 2020; Torresin et al., 2024)

Στη σύγχρονη αρχιτεκτονική πρακτική, βασικός στόχος της διαδικασίας επανάχρησης κτιρίων είναι η διατήρηση της αρχιτεκτονικής και ιστορικής τους ταυτότητας μέσα στο

χώρο, επιδιώκοντας ταυτόχρονα την ενσωμάτωση των νέων αναγκών χρήση στο πλαίσιο ενός σύγχρονου βιώσιμου εσωτερικού περιβάλλοντος. (Celadyn, 2019; della Spina, 2021; Mehan, 2025; Hamida, Remøy, Gruis, & Jylhä, 2025). Ωστόσο η διατήρηση ενός υπάρχοντος δομικού συστήματος σε έναν δεδομένο πολεοδομικό ιστό σε συνδυασμό με υλικά παλαιάς τεχνολογίας και περιορισμών που προκύπτουν από την προστασία της ιστορικής αρχιτεκτονικής κληρονομιάς δημιουργεί ένα αυστηρό πλαίσιο. (Celadyn, 2019; della Spina, 2021; Hamida, Remøy, Gruis, & Jylhä, 2025) Εντός αυτού του πλαισίου δεν είναι σαφές πως είναι δυνατόν να ενταχθούν αποτελεσματικά σύγχρονες ακουστικές στρατηγικές χωρίς να αλλοιωθεί ο χαρακτήρας του κτηρίου και χωρίς να θυσιαστούν στόχοι ενεργειακής και περιβαλλοντικής αναβάθμισης. Το σημερινό επίπεδο γνώσεων και τεχνικών λύσεων κρίνεται ως ανεπτυγμένο με δεδομένο ότι υπάρχουν σύγχρονα κανονιστικά πλαίσια, ωστόσο αυτό αφορά κυρίως εφαρμογές σε νέα κτίρια και εγκαταστάσεις. Επιπροσθέτως υπάρχει εκτεταμένη έρευνα σε νέα υλικά στο πεδίο της εσωτερικής αρχιτεκτονικής συστήματα κουφωμάτων που υποδεικνύουν ότι είναι εφικτό σε περίπτωση που ενσωματωθούν να επιτευχθεί συνθήκες ακουστικής άνεσης (Pedroso, de Brito, Silvestre, 2019).

Η μεθοδολογική προσέγγιση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποσκοπεί στην απάντηση των ερευνητικών ερωτημάτων που τέθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, εντασσόμενη στο ευρύτερο θεωρητικό και κανονιστικό πλαίσιο που αφορά τη βιώσιμη αρχιτεκτονική και την ακουστική άνεση σε έργα επανάχρησης υφιστάμενων κτηρίων. Η μεθοδολογία βασίζεται σε έναν συνδυασμό βιβλιογραφικής έρευνας, ανάλυσης κανονιστικών πλαισίων και μελέτης περίπτωσης ή ομάδας μελετών περίπτωσης, με στόχο τη σύνδεση της θεωρίας με την αρχιτεκτονική πρακτική.

Η βιβλιογραφική έρευνα θέτει το γενικό θεωρητικό πλαίσιο της διπλωματικής εργασίας και οργανώνεται θεματικά σε επιμέρους πεδία. Αρχικά, διερευνάται η ακουστική άνεση ως βασική παράμετρος ενός ποιοτικού και βιώσιμου εσωτερικού περιβάλλοντος, αναδεικνύοντας τη σημασία της στη συνολική ευεξία των χρηστών και στη λειτουργική απόδοση των χώρων (Ma, Mak, & Wong, 2020· Peng et al., 2023· Torresin et al., 2024). Στη συνέχεια, εξετάζεται η αξία της επανάχρησης υφιστάμενων κτηρίων τόσο ως μέσο διατήρησης της αρχιτεκτονικής κληρονομιάς όσο και ως στρατηγική βιωσιμότητας, με έμφαση στη μείωση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και στην παράταση του κύκλου ζωής των κατασκευών (Celadyn, 2019; della Spina, 2021; Mehan, 2025; Hamida,

Remøy, Gruis, & Jylhä, 2025). Παράλληλα, αναλύονται ζητήματα ακουστικής αναβάθμισης και ηχομόνωσης υφιστάμενων κτηρίων, κυρίως σε σχέση με το κτηριακό κέλυφος και τις κατασκευαστικές παρεμβάσεις που μπορούν να εφαρμοστούν χωρίς να αλλοιώνεται ο χαρακτήρας του κτηρίου (Alonso et al., 2020; Caniato, 2020; Andargie, Touchie, O'Brien, & Müller Trapet, 2023).

Το κανονιστικό πλαίσιο αποτελεί τον συνδετικό κρίκο μεταξύ του θεωρητικού υπόβαθρου και της εφαρμογής του στην πράξη. Περιγράφονται οι απαιτήσεις που απορρέουν από τον ισχύοντα ελληνικό κτιριοδομικό κανονισμό, τα ευρωπαϊκά πρότυπα (EN ISO 717, EN ISO 140, EN 12354) και τη σχετική βιβλιογραφία. Ορίζονται οι βασικοί ακουστικοί δείκτες και τα επιτρεπτά όρια θορύβου, όπως οι δείκτες $D_{nT,w}$, $L_{nT,w}$ και R'_{w} , οι οποίοι λειτουργούν ως εργαλεία αξιολόγησης της ακουστικής επίδοσης (ΥΠΕΝ/ΔΑΟΚΑ/66006/2360, ΦΕΚ 3985/Β/22.06.2023; Caniato, 2020; Casini, Cellai, Fogola, & Scamoni, 2015; Alonso et al., 2021; Andargie et al., 2023).

Η μελέτη περίπτωσης λειτουργεί ως το βασικό μεθοδολογικό εργαλείο εφαρμογής και ελέγχου του θεωρητικού και κανονιστικού πλαισίου. Μέσα από την επιλογή αντιπροσωπευτικών έργων επανάχρησης, αναλύονται συστηματικά τα αρχιτεκτονικά δεδομένα, όπως η αρχική και η νέα χρήση, η γεωμετρία, τα υλικά και οι περιορισμοί που προκύπτουν από τη διατήρηση αρχιτεκτονικών στοιχείων. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις επεμβάσεις στο κτηριακό κέλυφος και στους εσωτερικούς χώρους που στοχεύουν στη βελτίωση της ακουστικής άνεσης. Στόχος είναι η μελέτη περιπτώσεων να υπερβεί το περιγραφικό επίπεδο και να οδηγήσει στην εξαγωγή τεκμηριωμένων κατευθύνσεων, οι οποίες μπορούν να λειτουργήσουν ως εργαλεία για τον ακουστικό σχεδιασμό σε έργα επανάχρησης στο πλαίσιο του βιώσιμου αρχιτεκτονικού σχεδιασμού.

2. Ακουστική άνεση και κτιριακή ακουστική

2.1 Βασικές έννοιες και δείκτες

Η ακουστική άνεση ορίζεται ως η κατάσταση κατά την οποία το ακουστικό περιβάλλον ενός κτηρίου δεν προκαλεί ενόχληση στους χρήστες και επιτρέπει την απρόσκοπτη πραγματοποίηση των καθημερινών τους δραστηριοτήτων. Επιτυγχάνεται όταν τα επίπεδα θορύβου και οι ακουστικοί παράμετροι ενός χώρου βρίσκονται εντός αποδεκτών ορίων, ώστε να προστατεύεται τόσο η σωματική όσο και η ψυχική υγεία των χρηστών και να διασφαλίζεται η συνολική ποιότητα του εσωτερικού περιβάλλοντος. Η ακουστική άνεση αποτελεί σύνθετο ζήτημα, το οποίο εξαρτάται από τον σκοπό χρήσης του χώρου, τη φύση των πηγών θορύβου και τις ακουστικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων και των υλικών του κτηρίου. (Cvetković, 2024). Επιπροσθέτως η ακουστική άνεση ως παράμετρος ποιότητας του δομημένου περιβάλλοντος μπορεί να εκτιμηθεί με αντικειμενικά μετρήσιμα φυσικά μεγέθη. Τα φυσικά μεγέθη εκφράζονται με συγκεκριμένους δείκτες οι οποίοι είτε αποτυπώνουν τα επίπεδα θορύβου που γίνονται αντιληπτά στους εσωτερικούς χώρους είτε την αποτελεσματικότητα των δομικών στοιχείων του κτηρίου να περιορίσουν την ηχητική μετάδοση. Βασικό μέγεθος στην εκτίμηση της ισχύος ενός ήχου είναι η Ενεργός Στάθμη Ηχοπίεσης η οποία εκφράζεται σε dB και είναι ο λόγος της ενεργού ηχοπίεσης προς την πίεση αναφοράς των 20μPa. Η ενεργός ηχοπίεση ορίζεται ως η τετραγωνική μέση τιμή της στιγμιαίας ηχητικής πίεσης. Το μέγεθος της ενεργού στάθμης ηχοπίεσης χρησιμοποιείται εκτενώς στο πεδίο της ακουστικής καθώς βάσει αυτού ορίζονται οι δείκτες ηχομείωσης και ηχομόνωσης. Βασικός δείκτης που χρησιμοποιείται στην φάση του σχεδιασμού και αφορούν δομικά στοιχεία είναι ο σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης αερόφερτου ήχου R_w (σε dB). Ο δείκτης R_w προκύπτει από εργαστηριακές μετρήσεις και υποδεικνύει την ικανότητα ενός δομικού στοιχείου να περιορίζει τον ήχο. Ο Ελληνικός Κανονισμός Κτιριακής Ηχοπροστασίας και το Άρθρο 12 του Κτιριοδομικού Κανονισμού ορίζουν ελάχιστες απαιτήσεις για την ηχοπροστασία κτιρίων διαφόρων χρήσεων, με δείκτες για τον αερόφερτο και τον κτυπογενή ήχο. Ο δείκτης σταθμισμένης τυποποιημένης διαφοράς ηχοστάθμης DnT,w (dB) ο οποίος αφορά τον αερόφερτο ήχο που παράγεται από χώρους που γειτνιάζουν λαμβάνοντας υπόψη εκτός του δείκτη R_w και τις συνδέσεις-αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των δομικών στοιχείων στις οποίες λαμβάνει χώρα πλευρική μετάδοση του ήχου.

Σημαντικός δείκτης επίσης που κατά κύριο λόγο αφορά τον ήχο στο εσωτερικό κτιριακό περιβάλλον είναι και ο δείκτης σταθμισμένης τυποποιημένης ηχοστάθμης κτυπογενούς ήχου $L'_{nT,w}$ (σε dB). Ο δείκτης $L'_{nT,w}$ υποδεικνύει την ηχοπροστασία από κτυπογενή ήχο μεταξύ δομικών στοιχείων δύο χώρων. Ως προς τον ήχο που προέρχεται από το εξωτερικό περιβάλλον, ουσιαστικά αφορά τις δυνατότητες του κελύφους είναι το μέγεθος της ωριαίας ισοδύναμης Α-ηχοστάθμης $L_{eq,AF,1h}$ (σε dB) και ο δείκτης της μέσης ωριαίας τιμή των μέγιστων Α ηχοστάθμης, $L_{1,AF,1h}$ Στον κτιρ (σε dB). Οι παραπάνω δείκτες βάσει του Κτιριοδομικού αποτελούν παραμέτρους ακουστικής άνεσης εφόσον βρίσκονται εντός οριακών τιμών. Από αυτές τις οριακές τιμές προκύπτουν διαφορετικές κατηγορίες ακουστικής άνεσης, ανάλογα με τις χρήσεις του χώρου.

Πίνακας 1

Πεδίο εφαρμογής	Δείκτης		Περιγραφή	Κύρια χρήση
Δομικά στοιχεία	Στάθμη ηχοπίεσης	L_p (dB)	Ο λόγος της ενεργού ηχοπίεσης (τετραγωνική μέση τιμή της στιγμιαίας πίεσης) προς την πίεση αναφοράς 20 μ Pa, εκφρασμένος σε dB.	Εργαστηριακά μεγέθη
	Σταθμισμένος δείκτης ηχομείωσης	R_w (dB)	Ικανότητα ενός δομικού στοιχείου να περιορίζει τον αερόφερτο ήχο.	Σχεδιασμός δομικών στοιχείων. Εργαστηριακές μετρήσεις
Εσωτερικός Χώρος	Σταθμισμένη τυποποιημένη διαφορά ηχοστάθμης	$D_{nT,w}$ (dB)	Απόδοση έναντι αερόφερτου ήχου μεταξύ γειτονικών χώρων.	Έλεγχος πεδίου. Συμμόρφωση με κανονισμούς
	Σταθμισμένη τυποποιημένη ηχοστάθμη κτυπογενούς ήχου	$L'_{nT,w}$ (dB)	Επίδοση έναντι κτυπογενούς ήχου μεταξύ δύο χώρων.	
Εξωτερικός χώρος	Ωριαία ισοδύναμη Α-ηχοστάθμη	$L_{eq,AF,1h}$ (dB)	Συνολική ηχητική επιβάρυνση σε μια ώρα.	Εξωτερικός θόρυβος.
	Μέση ωριαία τιμή μέγιστων Α-ηχοσταθμών	$L_{1,AF,1h}$ (dB)	Αντιπροσωπεύει τις κορυφώσεις θορύβου, μέσα στην ώρα.	Επίδοση κελύφους

Με βάση τις τιμές των παραπάνω δεικτών, τα κτήρια μπορούν να καταταχθούν σε διακριτές κατηγορίες ακουστικής απόδοσης, οι οποίες εκφράζουν το επίπεδο προστασίας από τον θόρυβο. Οι κατηγορίες αυτές αντιστοιχούν σε ελάχιστες απαιτήσεις συμμόρφωσης (βασικό επίπεδο), καθώς και σε αυξημένα επίπεδα απόδοσης, τα οποία μπορούν να ενσωματωθούν στη φάση της μελέτης προς την κατεύθυνση του βιώσιμου αρχιτεκτονικού σχεδιασμού. Η υπαγωγή σε κατηγορίες επιτρέπει την αξιολόγηση διαφορετικών λύσεων επίτευξης ακουστικής άνεσης, λειτουργώντας ταυτόχρονα ως εργαλείο ελέγχου της ακουστικής επίδοσης τόσο στον σχεδιασμό όσο και στον έλεγχο σε υφιστάμενα κτίρια. Στο πλαίσιο έργων επανάχρησης και αναβάθμισης υφιστάμενων κτηρίων, οι κατηγορίες αυτές

λειτουργούν ως σημείο αναφοράς για τον σχεδιασμό επεμβάσεων στο κτηριακό κέλυφος και στην εσωτερική διαρρύθμιση λαμβάνοντας υπόψη τόσο τους κανονιστικούς περιορισμούς όσο και τις ιδιαιτερότητες μιας υφιστάμενης κατασκευής.

Σύμφωνα με τον Κτιριοδομικό Κανονισμό, η ακουστική απόδοση των κτηρίων κατατάσσεται σε πέντε κατηγορίες (I–V), οι οποίες εκφράζουν τα επίπεδα προστασίας από τον ήχο βάσει αντικειμενικών ακουστικών δεικτών, όπως οι δείκτες ηχομείωσης αερόφερτου ήχου και στάθμης κτυπογενούς ήχου. Η κατηγοριοποίηση αυτή επιτρέπει την αξιολόγηση και σύγκριση της ακουστικής άνεσης ανάλογα με τη χρήση και τις απαιτήσεις του εκάστοτε κτηρίου.

Πίνακας 2

Κατηγορία	Επίπεδο ακουστικής άνεσης	Περιγραφή απόδοσης Ακουστικής Άνεσης
Κατηγορία 1	Πολύ υψηλή	Πολύ υψηλή απόδοση και εξαιρετική προστασία από αερόφερτο και κτυπογενή θόρυβο. Κατάλληλη για χώρους με αυξημένες απαιτήσεις ακουστικής άνεσης.
Κατηγορία 2	Υψηλή	Υψηλή ακουστική απόδοση και αυξημένο επίπεδο άνεσης, με αποτελεσματικό έλεγχο της μετάδοσης θορύβου. Οι βασικές καθημερινές δραστηριότητες δεν προκαλούν όχληση
Κατηγορία 3	Μέση	Ικανοποιητική ακουστική απόδοση που καλύπτει τις συνήθεις απαιτήσεις άνεσης για τις περισσότερες χρήσεις κτηρίων. Η κατηγορία 3 αποτελεί ελάχιστο όριο κάθε νέας κατασκευής
Κατηγορία 4	Χαμηλή	Περιορισμένη ακουστική απόδοση, με βασικό έλεγχο της ηχητικής μετάδοσης.
Κατηγορία 5	Πολύ χαμηλή	Χαμηλή ακουστική απόδοση και περιορισμένη προστασία από τον θόρυβο. Αφορά χώρους με ελάχιστες απαιτήσεις ακουστικής άνεσης.

2.2. Υποκειμενική αξιολόγηση και ηχοτοπία

Η αξιολόγηση της ακουστικής άνεσης δεν μπορεί να βασίζεται αποκλειστικά σε τυπικούς δείκτες ηχομόνωσης ή σε οριακές στάθμες θορύβου. Αντιθέτως, καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η υποκειμενική εμπειρία των χρηστών, η οποία αντανακλά τον τρόπο με τον οποίο οι ίδιοι αντιλαμβάνονται και βιώνουν τον ήχο στο περιβάλλον που αλληλοεπιδρούν. Η έκθεση στον περιβαλλοντικό θόρυβο έχει αποδεδειγμένα επιπτώσεις στην άνεση, στην ευεξία και στην υγεία, γεγονός που έχει οδηγήσει σε αυξανόμενο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη στρατηγικών που διασφαλίζουν ένα

κατάλληλο ακουστικό εσωτερικό περιβάλλον ως κρίσιμο παράγοντα της συνολικής ποιότητας στο εσωτερικό περιβάλλον. Σε αυτό το πλαίσιο, η ακουστική άνεση δεν περιορίζεται αποκλειστικά στη μείωση της στάθμης θορύβου, αλλά συν διαμορφώνει ένα σύνολο παραμέτρων που σχετίζονται με την καθημερινή λειτουργικότητα του χώρου. Μελέτες υποδεικνύουν, ακόμη και όταν υπάρχει συμμόρφωση με τους κανονισμούς, οι χρήστες συχνά εξακολουθούν να αναφέρουν ενόχληση από τον θόρυβο. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα έντονο σε παλαιά κτίρια, στα οποία δεν υπήρχε κανονιστικό πλαίσιο και οι εφαρμογές ηχοπροστασίας ήταν περιορισμένες και ανεπαρκείς. (Alonso et al., 2020)

Η αναντιστοιχία αυτή μεταξύ αντικειμενικής και υποκειμενικής αξιολόγησης έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων μεθοδολογιών που συνδυάζουν μετρήσιμους δείκτες με εργαλεία υποκειμενικής αποτίμησης, όπως εξειδικευμένα ερωτηματολόγια και ποιοτικές αναλύσεις από την εμπειρία στους χώρους των χρηστών. Στο πλαίσιο αυτό, έχουν αναπτυχθεί κλίμακες υποκειμενικής αξιολόγησης της ηχητικής ποιότητας, όπως η Psychoacoustics Perception Scale, η οποία αποτυπώνει τρεις θεμελιώδεις αντιληπτικές διαστάσεις του ήχου με αποδεδειγμένη αξιοπιστία και εγκυρότητα (Ma, Mak, & Wong, 2020). Η χρήση τέτοιων εργαλείων είναι ιδιαίτερα σημαντική σε κτίρια προς επανάχρηση, διότι οι διαφορετικές ομάδες χρηστών μπορεί να έχουν διαφορετικά επίπεδα ανοχής στο θόρυβο και διαφορετικές προσδοκίες από το ακουστικό περιβάλλοντος. Μέσω αυτών των προσεγγίσεων επιχειρείται η ποσοτικοποίηση της αντιλαμβανόμενης ακουστικής ποιότητας και η συσχέτισή της με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του κτιρίου, συμβάλλοντας έτσι στη διαμόρφωση πιο αποτελεσματικών στρατηγικών ακουστικής αναβάθμισης, όπως θα σε επόμενο κεφάλαιο.

Παράλληλα, σύγχρονες έρευνες για το ηχοτοπίο του δομημένου περιβάλλοντος καταδεικνύουν ότι οι χρήστες δεν αντιλαμβάνονται τον ήχο αποκλειστικά ως παράγοντα ενόχλησης, αλλά και ως στοιχείο που μπορεί να συμβάλει θετικά στην ποιότητα του χώρου. Η ενσωμάτωση φυσικών στοιχείων, όπως πράσινες διαμορφώσεις και κατακόρυφοι κήποι, έχει αποδειχθεί ότι περιορίζουν την προσλαμβάνουσα όχληση από τον αστικό θόρυβο και ενισχύει την αίσθηση ευεξίας στον υπαίθριο και εσωτερικό χώρο.

Συνεπώς, μια ολοκληρωμένη και σύγχρονη προσέγγιση της ακουστικής άνεσης στην αρχιτεκτονική και στην επανάχρηση κτιρίων οφείλει να ενσωματώνει, με δυναμικό και ανατροφοδοτούμενο τρόπο, τόσο τα αντικειμενικά τεχνικά δεδομένα όσο και τις δηλωμένες εμπειρίες και ανάγκες των χρηστών. Η σύζευξη αυτών των δύο διαστάσεων καθίσταται απαραίτητη για τη διαμόρφωση χώρων που ανταποκρίνονται ουσιαστικά στις απαιτήσεις της σύγχρονης κατοίκησης και βελτιώνουν την πραγματική ποιότητα ζωής στο κτιριακό περιβάλλον.

3. Επανάχρηση κτηρίων και βιωσιμότητα

3.1. Η έννοια της επανάχρησης.

Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει την επανάχρηση κτιρίου σε σχέση με τη βιωσιμότητα και την κυκλική οικονομία, διαμορφώνοντας το πλαίσιο μέσα στο οποίο εντάσσεται ο ακουστικός σχεδιασμός σε έργα επανάχρησης. Η επανάχρηση ορίζεται ως η προσαρμογή ενός υφιστάμενου κτιρίου σε μία νέα χρήση, διατηρώντας κατά κύριο λόγο τον φέροντα οργανισμό του κτιρίου αλλά και μέρους αρχιτεκτονικών στοιχείων. Η έννοια της επανάχρησης έρχεται σε αντίθεση με την ανακαίνιση που έχει σαν στόχο την διατήρηση των παλαιότερων χρήσεων. (Della Spina, 2021). Η διαδικασία της επανάχρησης μπορεί να περιλαμβάνει από ήπιες παρεμβάσεις σε επιμέρους στοιχεία με στόχευση την πλήρη ενσωμάτωση των νέων στοιχείων στα παλαιά, μέχρι και εκτεταμένες εργασίες καθαιρέσεων και επεκτάσεων που αποσκοπούν στην διατήρηση μόνο στοιχείων του κελύφους. Οι διαφορετικές τυπολογίες επανάχρησης είναι και αυτές που θα καθορίσουν τα περιθώρια των τεχνικών επεμβάσεων, μέσα στα οποία συμπεριλαμβάνονται και οι ακουστικές επεμβάσεις. Στις περιπτώσεις κτιρίων που λαμβάνει χώρα μεγάλη καθαιρέσεις τότε το κτίριο είναι σαν να γίνεται από την αρχή.

Η επανάχρηση συνδέεται σε μεγάλο βαθμό με την προσπάθεια διατήρησης και ανάδειξης της πολιτιστικής κληρονομιάς ενός τόπου. Πρόκειται για μια τάση βάσει της οποίας τα κτίρια δεν αποτελούν στατικά μνημεία παλαιότερων χρήσεων, αλλά ζωντανά τεκμήρια της ιστορικής εξέλιξης μέσω της υιοθέτησης διαφορετικών χρήσεων. Μέσα από οικονομοτεχνικές μελέτες είναι δυνατόν να εκτιμηθεί το καλύτερο δυνατό σενάριο χρήσης που να μπορεί να συνδυάσει οικονομική απόδοση με την λειτουργία νέων χρήσεων, με απώτερο στόχο την αξιοποίηση σε βάθος χρόνων. Σε μεγαλύτερη κλίμακα η επανάχρηση κτιρίων τμήμα της βιομηχανικής αρχιτεκτονικής κληρονομιάς, αποτελεί το βασικό μέσο για την επίτευξη βιώσιμης αστικής ανάπτυξης, η οποία μπορεί πέρα ακόμα και από το πλαίσιο στόχων βιώσιμης ανάπτυξης. (Mehan, 2025). Με βάση αυτές τις προσεγγίσεις οι νέες χρήσεις τοποθετούνται στον πυρήνα δράσεων όπου η ποιότητα του χώρου διαμορφώνουν σύγχρονο αστικό περιβάλλον. η επίτευξη Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης περιλαμβάνει ως εργαλείο επίτευξης και την αξιοποίηση υφιστάμενων κτιρίων τα οποία μπορεί και να είναι στο τέλος της ζωής τους. (Mehan, 2025).

3.2. Το κτιριακό απόθεμα και ο βιώσιμος κυκλικός σχεδιασμός

Η επανάχρηση κτηρίων είναι κεντρική συνιστώσα της προσπάθειας μείωσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος που έχει ο κτιριακός τομέας του κλάδου των κατασκευών. Η επανάχρηση με δεδομένο ότι έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό της ανάγκης για νέα κτήρια, οδηγεί στην αξιοποίηση ως πόρου υφιστάμενων κατασκευών, μειώνοντας ταυτόχρονα την ενεργειακή κατανάλωση κατά τη φάση της κατασκευής. Στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, του οικονομικού μοντέλου το οποίο έχει ως στόχο την μείωση αποβλήτων και την επαναχρησιμοποίηση τους εκ, νέου ως πόρο, η τάση δεν είναι μόνο η επέκταση ζωής των κτιρίων. Η επιστημονική έρευνα η συζήτηση έχει μετατοπιστεί από την απλή αύξηση του χρόνου ζωής των κτιρίων, στην έννοια της κυκλικής προσαρμοστικότητας. Η δυνατότητα δηλαδή του κτιρίου να αλλάζει χρήσεις όπως την περιγράφει ο Hamida και οι συνεργάτες του, είναι τα κτίρια να.

Στο πεδίο της αρχιτεκτονικής εσωτερικών χώρων, η έννοια της εσωτερικής επανάχρησης (interior adaptive reuse), η οποία εντάσσεται στο γενικότερο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, προκρίνει την επανάχρηση υλικών και δομικών στοιχείων που προέρχονται από καθαιρέσεις. Με αυτό το τρόπο η μείωση παραγόμενων υλικών από καθαιρέσεις εντάσσονται στον πυρήνα της διαδικασίας σχεδιασμού. (Celadyn, 2019). Αυτή η προσέγγιση στηρίζεται στην αξιοποίηση υλικών που έχουν ανακτηθεί, καθώς και στην ενσωμάτωση ευέλικτων αρχιτεκτονικών συστημάτων που έχουν την δυνατότητα να αποσυναρμολογούνται ώστε να επαναχρησιμοποιούνται όπως αποσπώμενες επενδύσεις, κινητά χωρίσματα. Οι αρχές αυτές συνδέονται άμεσα με τον ακουστικό σχεδιασμό των εσωτερικών χώρων, καθώς επιτρέπουν την εφαρμογή προσαρμοσίμων και αναστρέψιμων λύσεων ακουστικής απορρόφησης, διάχυσης και ηχομείωσης, συμβάλλοντας τόσο στη βελτίωση της ακουστικής άνεσης όσο και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των κατασκευών

3.3. Οικονομική και λειτουργική βιωσιμότητα.

Η οικονομική και λειτουργική βιωσιμότητα αποτελεί τον τρίτο πυλώνα πάνω στον οποίο στηρίζεται η επανάχρηση. Η επιστημονική έρευνα υποδεικνύει ότι η επιλογή σεναρίων επανάχρησης για κτίρια με πολιτισμική αξία ακόμα και χωρίς, βασίζεται σε διαδικασίες χρηματοοικονομικής αξιολόγησης, ώστε να επιβεβαιώνεται η σκοπιμότητα μιας επένδυσης και η αξιοποίηση του σε βάθος χρόνου (Della Spina, 2021). Σε αυτό το πλαίσιο η ακουστική άνεση μεταξύ άλλων εντάσσεται σε ένα πλαίσιο ποιοτικών κριτηρίων που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της λειτουργίας σχετικά με τις νέες χρήσεις που έχουν προκριθεί κατά την φάση της μελέτης, ειδικότερα όταν αυτές περιλαμβάνουν πολιτιστικές χρήσεις, ή εκπαιδευτικές. Η ανεπαρκής απόδοση του ακουστικού σχεδιασμού μπορεί να ακυρώσει την αξία ενός έργου επανάχρησης, ακόμα και αν έχουν επιτευχθεί οι στόχοι αρχιτεκτονικής αποκατάστασης ή οι ενεργειακές αναβάθμισης. Συνεπώς κρίνεται απαραίτητο η ακουστική να ενσωματώνεται στο συνολικό σχεδιασμό του έργου, ισότιμα μεταξύ των υπολοίπων παραμέτρων που διασφαλίζουν ένα βιώσιμο και οικονομικά αποδοτικό έργο.

Η επανάχρηση κτηρίων και ιδιαίτερα μεγάλων βιομηχανικών μονάδων σε αστική κλίμακα, συνδέεται άμεσα με στρατηγικές αστικής ανθεκτικότητας, και ενίσχυσης της κοινωνικής συνοχής. Μελέτες για την μετατροπή βιομηχανικών συγκροτημάτων σε, πολιτισμικές μονάδες, κτίρια εκπαίδευσης και για κοινωνική χρήση δείχνουν ότι τέτοιες παρεμβάσεις μπορούν να αποτελέσουν έναυσμα για την ριζική αναβάθμιση υποβαθμισμένων περιοχών στον αστικό ιστό. Ως εκ τούτου η επανάχρηση δεν περιορίζεται μόνο στις δεδομένες χρήσεις για τις οποίες υλοποιήθηκε, αλλά εντάσσεται σε ένα πλαίσιο κοινωνικής προόδου και καλυτέρευσης της καθημερινότητας ομάδων του πληθυσμού. (Mehan, 2025).

Η επανάχρηση υφιστάμενων κτιριακών υποδομών συγκροτεί ένα σύνθετο πεδίο όπου διασταυρώνονται η προστασία της αρχιτεκτονικής και πολιτιστικής κληρονομιάς, η περιβαλλοντική και οικονομική βιωσιμότητα, καθώς και οι στρατηγικές αναζωογόνησης του αστικού ιστού. Αυτή η προσέγγιση ενισχύεται από το θεωρητικό πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας και των πρακτικών επαναχρησής δομικών υλικών από ανάκτηση, αντιμετωπίζοντας το κτίριο ως ένα δυναμικό σύστημα το οποίο

εξελίσσεται στο χρόνο, και δεν παραμένει μια στατική μονάδα με δεδομένη λειτουργικότητα (Celydan, 2019; Della Spina, 2021; Hamida et al., 2025).

Σε αυτό το σύνθετο περιβάλλον, ο ακουστικός σχεδιασμός δεν μπορεί πλέον να θεωρείται δευτερεύων υπολογιστικός παράγοντας, αλλά συνιστά κρίσιμο σύστημα της συνολικής στρατηγικής για την επανάχρηση. Οι επιλογές που αφορούν το φέροντα οργανισμό και το κέλυφος, τις διατάξεις των εσωτερικών χώρων, τις υλικές παραμέτρους και τα τεχνικά συστήματα πρέπει να εξετάζονται ενιαία, συνεκτιμώντας την απόδοσή τους αφενός στην ευελιξία της χρήσης των συστημάτων που δομούν το σύνολο και την ανακυκλωσιμότητα, αφετέρου στην επίτευξη ενός ικανοποιητικού επιπέδου ακουστικής άνεσης, σε συνθήκες ενός ευμετάβλητου περιβάλλοντος.

Η πολυκριτηριακή αυτή θεώρηση καθίσταται απαραίτητη, καθώς η ακουστική συμπεριφορά ενός υφιστάμενου κτιρίου εξαρτάται άμεσα από παράγοντες όπως η διαδρομή του κτιρίου στο χρόνο και οι καταπονήσεις του φέροντος οργανισμού, η παλαιότητα των υλικών, οι υφιστάμενες κατασκευαστικές λύσεις και τα όρια επιτρεπτών επεμβάσεων σε προστατευόμενα σύνολα. Έτσι, ο ακουστικός ανασχεδιασμός οφείλει να εντάσσεται σε ένα ευρύτερο πλέγμα αποφάσεων που λαμβάνουν υπόψη τη βιωσιμότητα, τη συμβατότητα με τις αρχές της επεμβατικής δεοντολογίας και τη λειτουργική αναβάθμιση των χώρων.

Επομένως, η ολοκληρωμένη προσέγγιση αυτών των παραμέτρων συγκροτεί το θεωρητικό υπόβαθρο πάνω στο οποίο μπορούν να αναπτυχθούν τεκμηριωμένες στρατηγικές ακουστικής αναβάθμισης, προσαρμοσμένες στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε έργου επανάχρησης.

4. Στρατηγικές ακουστικού σχεδιασμού

Το παρόν κεφάλαιο εστιάζει στις στρατηγικές ακουστικού σχεδιασμού και αναβάθμισης σε υφιστάμενα κτίρια, με έμφαση σε κτίρια στα οποία οι μορφολογικοί, αλλά και οι δομικοί παράγοντες περιορίζουν τις διαθέσιμες επιλογές. Η αναγκαιότητα για ακουστικές παρεμβάσεις προκύπτει από το γεγονός βάσει του οποίου μεγάλο μέρος του κτιριακού αποθέματος κατασκευάστηκε πριν από την καθιέρωση ολοκληρωμένων κανονιστικών πλαισίων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η υφιστάμενη ακουστική απόδοση να υπολείπεται σημαντικά των σημερινών απαιτήσεων, τόσο ως προς την ηχομόνωση μεταξύ διαφορετικών χρήσεων ενός χώρου, όσο και από την προστασία από τον περιβαλλοντικό θόρυβο. Επιπροσθέτως στο αστικό περιβάλλον ο περιβαλλοντικός θόρυβος από την κυκλοφορία των οχημάτων και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες έχει αυξητική τάση. Μελέτες υποδεικνύουν ότι τα υφιστάμενα κτίρια σε σχέση με τα νέα έχουν απόκλιση της τάξης των 5dB τόσο σε κτυπογενή, όσο και σε αερόφρενο ήχο, γεγονός που αποδεικνύει την υπάρξει απόσταση μεταξύ της ακουστικής απόδοσης του υφιστάμενου κτιριακού αποθέματος με το νέο.

4.1. Παρεμβάσεις στο κτιριακό κέλυφος.

Ο κύριος στόχος των στρατηγικών ακουστικού σχεδιασμού σε έργα επανάχρησης είναι η γεφύρωση του παραπάνω ελλείμματος με στοχευμένες παρεμβάσεις. Το κτιριακό κέλυφος, οι εσωτερικές τοιχοποιίες διαχωριστικές ή επενδυτικές, τα δάπεδα, οι οροφές, καθώς επίσης και ο ηλεκτομηχανολογικός εξοπλισμός και οι διελεύσεις του είναι τα κυριότερα πεδία στα οποία μπορούν να υλοποιηθούν παρεμβάσεις, οικονομικά και τεχνικά εφικτές, ενταγμένες μέσα στους ευρύτερους στόχους της επανάχρησης όλου του κτιρίου. Η διαδικασία αυτή εναρμονίζεται πλήρως με τις διατάξεις του ελληνικού κανονισμού κτιριακής ηχοπροστασίας και το άρθρο 12 του κτιριοδομικού κανονισμού οι οποίοι θέτουν δείκτες ελάχιστων απαιτήσεων για ηχομόνωση και μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές στάθμης θορύβου ανά χρήση κτιρίου. Επιπροσθέτως, συνδέεται με μια ευρύτερη διεθνή συζήτηση για την αναγκαιότητα βελτίωσης της ακουστικής ποιότητας των κτιρίων, καθώς με αυτό το τρόπο

βελτιώνεται η ποιότητα ζωής των χρηστών, αλλά και επέρχεται βελτίωση στο ακουστικό περιβάλλον (Suarez, et al., 2020).

Κρίσιμο πεδίο εφαρμογής στρατηγικών ακουστικού σχεδιασμού σε έργα επανάχρησης είναι οι επεμβάσεις στις όψεις και στα ανοίγματα του κτιρίου. Οι όψεις και τα ανοίγματα αποτελούν την βασική διεπαφή ανάμεσα στον περιβάλλον και τους εσωτερικούς χώρους. Μελέτες έχουν δείξει ότι κτίρια που βρίσκονται σε περιβάλλον με υψηλή εξωτερική όχληση λόγω του θορύβου από την κυκλοφορία των οχημάτων, η αναβάθμιση με σύγχρονα κουφώματα που περιλαμβάνουν πολυστρωματικούς υαλοπίνακες, η ακόμα η δημιουργία διπλού κελύφους με σειρά σύγχρονων κουφωμάτων πίσω από παλαιά, μπορούν να οδηγήσουν σε σημαντική ηχομείωση ακόμα και αν οι υπόλοιποι παράμετροι του κελύφους παραμένουν αμετάβλητες. (ALonos et al., 2021). Επιπροσθέτως η έρευνα σε συστήματα προσόψεων, κινητών ή σταθερών καθώς επίσης και σε ελαφριές αεριζόμενες όψεις μπροστά από το κέλυφος, προς την κατεύθυνση της ενεργειακής αναβάθμισης και της οπτικής άνεσης, μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση της ηχομείωσης στον αερόφερτο ήχο. Σε τέτοιου είδους συστήματα, η απόσταση από το κέλυφος, η γεωμετρία του σχεδιασμού, τα υλικά εφαρμογής, είναι παράμετροι που μπορούν να συνεκτιμηθούν ώστε να επιτευχθεί μέγιστη ακουστική απόδοση μαζί με την ενεργειακή. (Daza Zamora, 2019). Σε έργα επανάχρησης με αυστηρό πλαίσιο διατήρησης αρχιτεκτονικών στοιχείων



Εικόνα 1: Η νέα όψη του Υπουργείου Εθνικής Άμυνας από με σύστημα πρόσοψης μπροστά από υφιστάμενο κτίριο από , εκτός της οπτικής άνεσης Πηγή: METKA ATE

υφιστάμενου κελύφους τέτοιου είδους μη καταστροφικών επεμβάσεων που είναι

αναστρέψιμες δίνουν την δυνατότητα για μελλοντικές προσαρμογές χωρίς επεμβάσεις στο κέλυφος. (Hamida, Remy, Gruis, & Jylha, 2025)

Επιπροσθέτως σύγχρονες προσεγγίσεις στο σχεδιασμό όψεων ενσωματώνουν πράσινα συστήματα όψεων, όπως κατακόρυφους κήπους και κάθετες φυτεύσεις (Vertical greening). Τέτοιου είδους συστήματα εκτός από τα περιβαλλοντικά αλλά και τα οπτικά



Εικόνα 3: Φυτεύσεις στην όψη κτιρίου.

τους οφέλη, λειτουργούν ως ενεργά ηχοαπορροφητικά στοιχεία εξαιτίας του πορώδους υποστρώματος των φυτεύσεων, ειδικότερα στις υψηλές και μεσαίες συχνότητες. (Davies, Tenpierik, Ramirez, Perez, 2017).

Η υιοθέτηση τέτοιων λύσεων δεν βελτιώνουν μόνο τις αποδόσεις

στον εσωτερικό χώρο των κτιρίων, αλλά συμβάλλουν συνολικά στην βελτίωση του επιβαρυσμένου αστικού περιβάλλοντος.

4.2. Παρεμβάσεις στους εσωτερικούς χώρους.

Στους εσωτερικούς χώρους το πεδίο εφαρμογής στρατηγικών για την επίτευξη



Εικόνα 4: Ηχοαπορροφητικά κινούμενα διαχωριστικά πανελ

ακουστικής άνεσης σε έργα επανάχρησης είναι οι παρεμβάσεις στα δάπεδα, τις οροφές και τις τοιχοποιίες εσωτερικές και εξωτερικές. Ο στόχος είναι η ηχομείωση στον αερόφερτο και τον κτυπογενή ήχο αλλά και η ηχοαπορρόφηση. Η πλέον διαδεδομένη στρατηγική ακουστικής αναβάθμισης είναι η δημιουργία επιπλέον στρώσεων στις υπάρχουσες τοιχοποιίες ή στα

δάπεδα προκειμένου να αυξηθεί ο δείκτης ηχομείωσης αερόφερτου ήχου. Επιπροσθέτως στις συναρμογές μεταξύ των τοιχοποιιών και μεταξύ οροφής δαπέδου στις οποίες προκύπτει η πλευρικά η μετάδοση του αερόφερτου ήχου πρέπει να παρεμβάλλονται ηχομονωτικά παρεμβλήματα και να καλύπτονται οι ρηγματώσεις. Το είδος και το μέγεθος της κάθε επιπλέον στρώσης εξαρτάται από τον δείκτη ηχομείωσης της υφιστάμενης τοιχοποιίας καθώς για παράδειγμα το σκυρόδεμα έχει μεγαλύτερο δείκτη ηχομείωσης συγκριτικά με μία οπτοπλινθοδομή. Σύμφωνα με το νόμο της μάζας για κάθε διπλασιασμό του βάρους αυξάνεται κατά 6dB ο δείκτης ηχομείωσης. Σε περιπτώσεις στις οποίες δεν είναι δυνατή η αύξηση της μάζας μιας τοιχοποιίας μπορεί να εφαρμοστεί μία δεύτερη σειρά επενδυτικής τοιχοποιίας με κενό ή ενδιάμεσο ηχομονωτικό υλικό. Σε αυτή την περίπτωση ο σωστός σχεδιασμός της πολυστρωματικής τοιχοποιίας μπορεί να βελτιώσει την ακουστική συμπεριφορά χωρίς επιβάρυνση της στατικής επάρκειας. (Nering, Ziarko, Stypula, 2019; Novak, Hejl, 2022). Στο δάπεδο μπορούν να υιοθετηθούν λύσεις πλωτών δαπέδων με χρήση ηχοαπορροφητικών παρεμβυσμάτων και ηχομονωτικών μεμβρανών.



Εικόνα 5: Ελευθέρα ηχοαπορροφητικά στοιχεία οροφής

Πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η ενσωμάτωση φυσικών ή ανακυκλώσιμων υλικών σε περιπτώσεις διπλών κελυφών, ως ηχομονωτικά υλικά μπορούν να προσφέρουν ακόμα και βελτιωμένη ηχομονωτική απόδοση, με σημαντικά χαμηλότερο ενεργειακό αποτύπωμα, συγκριτικά με τα συμβατικά υλικά. (Pedroso, de Brito & Dinnis Silvestre, 2019).

Εκτός από τις επεμβάσεις με μόνιμο χαρακτήρα στον εσωτερικό διαχωρισμό του κτιρίου προς επανάχρηση, σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν στην καθημερινή διαχείριση του ήχου κινητά ηχοαπορροφητικά στοιχεία, όπως κινητά ηχοαπορροφητικά χωρίσματα, ακουστικές κουρτίνες και αποσπώμενες επενδύσεις τοίχων και οροφής. Τα κινητά ηχοαπορροφητικά πάνελ μπορούν να αναδιατάσσονται ανάλογα της χρήσης σε χώρους παρέχοντας ευελιξία ενώ οι ακουστικές κουρτίνες μπορούν να τοποθετούνται μπροστά από σκληρές επιφάνειες μειώνοντας τον χρόνο αντήχησης σε ένα χώρο.

Ένα από τα πλέον διαδεδομένα συστήματα είναι τα διάτρητα ηχοαπορροφητικά πάνελ, τα οποία συνδυάζουν μία διάτρητη επιφάνεια από συνθετική ξυλεία, μέταλλο ή γυψοσανίδα, με πορώδες ή ινώδες υλικό εσωτερικά. Σύγχρονες μελέτες δείχνουν ότι τα πάνελ αυτά παρουσιάζουν σημαντική βελτίωση του συντελεστή ηχοαπορρόφησης στις μεσαίες και χαμηλές συχνότητες, όταν συνδυάζονται με ινώδες υλικό όπως ο υαλοβάμβακας, επιτρέποντας βελτιστοποίηση του ηχοαπορροφητικού φάσματος μέσω κατάλληλης γεωμετρίας των οπών και του πάχους του συστήματος. Παράλληλα,



Εικόνα 6 Ηχοαπορροφητική διαταξη με επίχρισμα της Baswa Acoustic

άλλες εργασίες υπογραμμίζουν τον καθοριστικό ρόλο του ποσοστού διάτρησης και της απόστασης από το ινώδες υλικό, τονίζοντας ότι η γεωμετρία της διάτρησης επηρεάζει τόσο την αποτελεσματικότητα της απορρόφησης, ιδίως σε συστήματα μεταλλικών διατρήσεων που λειτουργούν ως καλύμματα προστασίας για τα απορροφητικά υλικά. (Borelli, Schenone, 2021). Εξίσου σημαντική τεχνολογία αποτελούν τα ειδικά ηχοαπορροφητικά

επιχρίσματα, τα οποία αναπτύχθηκαν με στόχο να προσφέρουν υψηλή ηχοαπορρόφηση χωρίς να επηρεάζουν την αισθητική του χώρου. Επιπροσθέτως εξαιτίας του μικρού πάχους της διάστρωσης αυτών των υλικών δεν επιβαρύνουν με επιπλέον βάρος την κατασκευή. Τα σύγχρονα συστήματα, όπως αυτά που βασίζονται σε μικροπορώδη δομή επιχρίσματος και υπόστρωμα ορυκτοβάμβακα, επιτρέπουν στη δομή να παραμένει οπτικά ενιαία ενώ επιτυγχάνεται απορρόφηση τόσο υψηλών όσο και χαμηλών συχνοτήτων. Οι ειδικές ακουστικές πόρτες αποτελούν κρίσιμο στοιχείο για την απομόνωση θορύβου μεταξύ διαφορετικών χώρων. Τα πιστοποιημένα συστήματα δοκιμάζονται και ταξινομούνται με βάση το δείκτη ηχομείωσης τους. Ενώ λοιπόν για μια συμβατική εσωτερική πόρτα ο δείκτης ηχομείωσης RW είναι περίπου 30dB, μία πιστοποιημένη ως σύστημα θυρόφυλλου κάσας, θύρα μπορεί να φτάσει και τα 60dB. Η αύξηση της μάζας, η πολυεπίπεδη κατασκευή, τα περιμετρικά παρεμβύσματα και τα αυτόματα κλεισίματα στο κατώφλι της θύρας, συμβάλλουν στη μείωση της ηχητικής διαρροής, ενώ η χρήση υαλοπινάκων μειώνει τη συνολική απόδοση, γεγονός που λαμβάνεται υπόψη στον σχεδιασμό. Τέλος, τα επενδυμένα έπιπλα και τα υλικά που διαθέτουν πορώδεις ή υφασμάτινες επιφάνειες λειτουργούν συμπληρωματικά, συμβάλλοντας στη μείωση της αντήχησης και στον έλεγχο της διάχυσης του ήχου. Αν και δεν αποτελούν πρωτεύον ηχομονωτικό μέσο, μπορούν να βελτιστοποιήσουν σημαντικά την ακουστική συμπεριφορά ενός χώρου όταν εντάσσονται ορθά στον συνολικό σχεδιασμό.

4.3. Θόρυβος από Ηλεκτρομηχανολογικές εγκαταστάσεις

Στην επανάχρηση κτιρίων μεγάλης κλίμακας, η αναγκαιότητα για συνθήκες θερμικής άνεσης και επαρκή αερισμό βάσει των σύγχρονων προτύπων υπερβαίνει τις



δυνατότητες των παραδοσιακών, φυσικών μεθόδων. Ως εκ τούτου, καθίσταται απαραίτητη η εγκατάσταση συστημάτων κλιματισμού και μηχανικού αερισμού, κάτι το οποίο δεν αποτελούσε ανάγκη στις αρχικές χρήσεις των

κτιρίων. Η ενσωμάτωση του μηχανολογικού εξοπλισμού εισάγει πηγές θορύβου στο εντός του κελύφους, γεγονός που δημιουργεί νέες τεχνικές και λειτουργικές προκλήσεις. Επιπροσθέτως πρέπει να συνεκτιμάται και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος χώρου από τον θόρυβο που προκαλούν οι εγκαταστάσεις.

Αφετηρία της ομαλής λειτουργία του χώρου αναφορικά με την απόδοση των συστημάτων μηχανικού αερισμού, κλιματισμού με ταυτόχρονη αντιμετώπιση των ακουστικών προκλήσεων αποτελεί η σωστή διαστασιολόγηση των συστημάτων ώστε να αποφευχονται οι υψηλές ταχύτητες αέρα και οι πτώσεις πιέσεως στα δίκτυα των

Εικόνα 7: Ηχοπαγίδες σε αεραγωγούς

αεραγωγών συνθήκες οι οποίες φορτώνουν το δίκτυο

παράγοντας αύξηση των εκπομπών θορύβου. Εφαρμογή ηχομονωτικών μέτρων αποτελούν και οι αντικραδασμικές συνδέσεις καθώς επίσης και χρήση ηχοπαγίδων. Οι ηχοπαγίδες είναι στοιχεία τα οποία τοποθετούνται στα δίκτυα των αεραγωγών και αποτελούνται από ηχοαπορροφητικά υλικά σε μεταλλικό πλαίσιο. Όταν το ηχητικό κύμα διέρχεται μέσα από τις ηχοπαγίδες, μέρος της ηχητικής ενέργειας απορροφάται. Επιπροσθέτως ολοκληρωμένη ηλεκτρομηχανολογική μελέτη σε συντονισμό με την αρχιτεκτονική μελέτη ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι νέες χρήσεις και οι λειτουργικές απαιτήσεις του κτιρίου σε σχέση με την τοποθέτηση του εξοπλισμού

5. Βιβλιογραφική ανασκόπηση.

5.1. Βασικές ερευνητικές προσεγγίσεις και κανονιστικά πλαίσια

Το παρόν κεφάλαιο συνθέτει τις βασικές ερευνητικές προσεγγίσεις και τα κανονιστικά πλαίσια που σχετίζονται με την ακουστική αναβάθμιση (“retrofit”) υφιστάμενων κτιρίων, τη χρήση υλικών και . Σε εθνικό επίπεδο, το Άρθρο 12 του Κτιριοδομικού Κανονισμού ορίζει ως στόχο την προστασία των ενοίκων από κάθε μορφής θόρυβο εντός της κατοικίας ή του χώρου εργασίας, θεμελιώνοντας την έννοια της “ακουστικής άνεσης” και απαιτώντας τη λήψη κατάλληλων μέτρων κτιριακής ηχομόνωσης και ηχοπροστασίας (Άρθρο 12 Κτιριοδομικού Κανονισμού). Ο Ελληνικός Κανονισμός Κτιριακής Ηχοπροστασίας εξειδικεύει τις απαιτήσεις αυτές, καθορίζοντας σύνολο ακουστικών παραμέτρων, κατηγορίες ακουστικής άνεσης και οριακές τιμές για δείκτες ηχομείωσης και μέγιστες στάθμες θορύβου ανά χρήση κτηρίου, εναρμονίζοντας τη χώρα με τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Παράλληλα, η διεθνής βιβλιογραφία εστιάζει στη σύγκριση ακουστικών απαιτήσεων μεταξύ νέων και υφιστάμενων κτηρίων, αναδεικνύοντας ότι τα παλαιά κτήρια υπάγονται σε πιο ελαστικά όρια, γεγονός που δημιουργεί ένα δομικό έλλειμμα ποιότητας ηχομόνωσης (Alonso, Patricio, Suárez, & Escandón, 2020). Παράλληλα, μελέτες σε προσόψεις και ανοίγματα δείχνουν ότι η αναβάθμιση των κουφωμάτων και των συστημάτων υαλοπινάκων αποτελεί κεντρική στρατηγική για τη μείωση της έκθεσης σε περιβαλλοντικό θόρυβο, ιδιαίτερα σε αστικά περιβάλλοντα με υψηλά επίπεδα κυκλοφορίας (Alonso, Suárez, Patricio, Escandón, & Sendra, 2021).

5. 2. Συνοπτική παρουσίαση κύριων μελετών

Ειδικότερο ερευνητικό πεδίο αφορά τις τοιχοποιίες και τα συστήματα πλήρωσης, όπου διερευνώνται πολυστρωματικές λύσεις με φιλικά προς το περιβάλλον ηχομονωτικά υλικά. Μελέτες που συγκρίνουν παραδοσιακά και καινοτόμα υλικά καταδεικνύουν ότι η χρήση φυσικών ινωδών υλικών ή ανακυκλωμένων προϊόντων μπορεί να προσφέρει ικανοποιητική ηχομόνωση, μειωμένη ενσωματωμένη ενέργεια και ανταγωνιστικό

κόστος, συνεπώς αποτελεί βιώσιμη εναλλακτική στα συμβατικά υλικά ακουστικής αναβάθμισης (Pedroso, de Brito, & Dinis Silvestre, 2019; Novák & Hejl, 2022). Παράλληλα, έρευνες για την εσωτερική αρχιτεκτονική επανάχρηση (interior adaptive reuse) υπογραμμίζουν τη σημασία της επανένταξης ανακτημένων υλικών και προϊόντων από κατεδαφίσεις ή ανακαινίσεις, στοιχείο που συνδέει άμεσα τις ακουστικές επεμβάσεις με τις αρχές της κυκλικής οικονομίας (Celadyn, 2019).

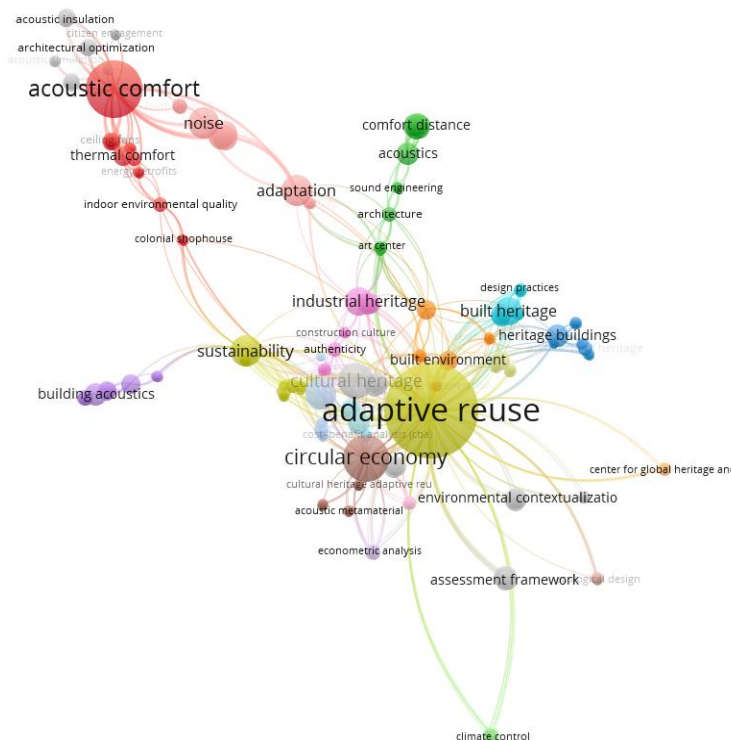
Σε κλίμακα κτιρίου και συνόλου κτιριακού αποθέματος, μελέτες επανάχρησης ιστορικών και δημόσιων κτηρίων προτείνουν υβριδικά πλαίσια πολυκριτηριακής αξιολόγησης, στα οποία η τεχνική απόδοση (συμπεριλαμβανομένης της ακουστικής) συνυπολογίζεται με οικονομικούς, κοινωνικούς και πολιτιστικούς δείκτες, προκειμένου να ιεραρχηθούν εναλλακτικά σενάρια επανάχρησης (Della Spina, 2021). Παράλληλα νεότερες προσεγγίσεις διερευνούν στρατηγικές όπως η αποσυναρμολόγηση, η δυνατότητα αναστροφής επεμβάσεων καθώς επίσης και η ευελιξία μίας διάταξης ώστε να μπορούν να ενσωματωθούν σε έργα επανάχρησης (Hamida, Remy, Gruis, & Jylhä, 2025).

5.3. Κενά της βιβλιογραφίας και ερευνητική θέση της διπλωματικής

Πολλές εργασίες για την ακουστική αναβάθμιση εστιάζουν σε τυπικά κτίρια κατοικίας ή γραφείων, χωρίς να εξετάζουν συστηματικά το πλαίσιο της επανάχρησης, βάσει του οποίου οι μορφολογικοί και ιστορικοί περιορισμοί επιβάλλουν διαφορετικές ακουστικές στρατηγικές (Alonso et al., 2020; Della Spina, 2021). Επιπροσθέτως, ενώ η χρήση φιλικών προς το περιβάλλον υλικών είναι δυνατόν να τεκμηριώσει την ηχομονωτική ικανότητα και την περιβαλλοντική τους επίδοση, τα υλικά αυτά δεν εντάσσονται ως τμήμα ολοκληρωμένων συστημάτων που μπορούν να υιοθετηθούν σε έργα επανάχρησης (Pedroso et al., 2019; Celadyn, 2019). Τέλος, παρότι η προσέγγιση του ηχοτοπίου έχει αναπτυχθεί θεωρητικά, σπάνια εφαρμόζεται συστηματικά σε κλίμακα κτιρίου στο πλαίσιο επανάχρησης, ώστε ο ακουστικός χαρακτήρας του χώρου να αντιμετωπίζεται ως μέρος της συνολικής επανερμηνείας του.

Acoustic comfort: Ακουστική άνεση, ο δεύτερος ισχυρός κόμβος. Η ακουστική άνεση είναι η προσέγγιση

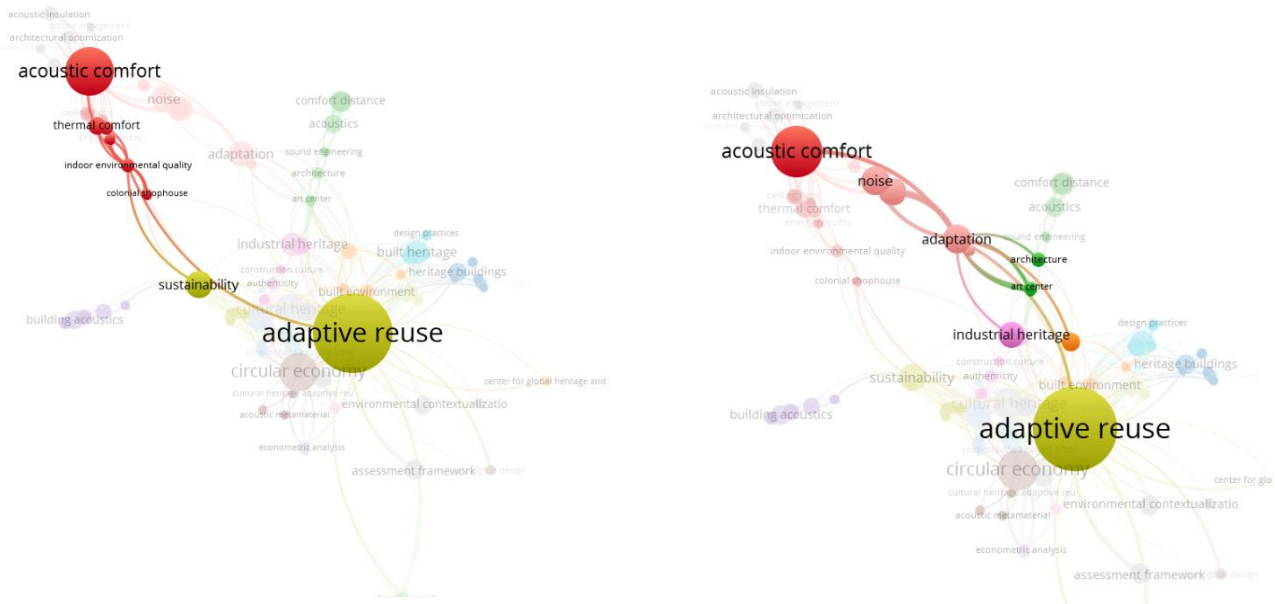
Sustainability: Βιωσιμότητα: Είναι ένα πεδίο που είναι στη στοχοθεσία της διπλωματικής, όχι με την ευρύτερη έννοια του όρου, αλλά στα πλαίσια του βιώσιμου σχεδιασμού, για την επίτευξη ακουστικής άνεσης σε ένα κτήριο.



Εικόνα 8: Ο βιβλιογραφικός χάρτης βάσει των λέξεων κλειδιά

Adaptation: Προσαρμογή. Η ενσωμάτωση νέων τεχνολογιών σε μία υφιστάμενη δομή. Είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την επανάχρηση.

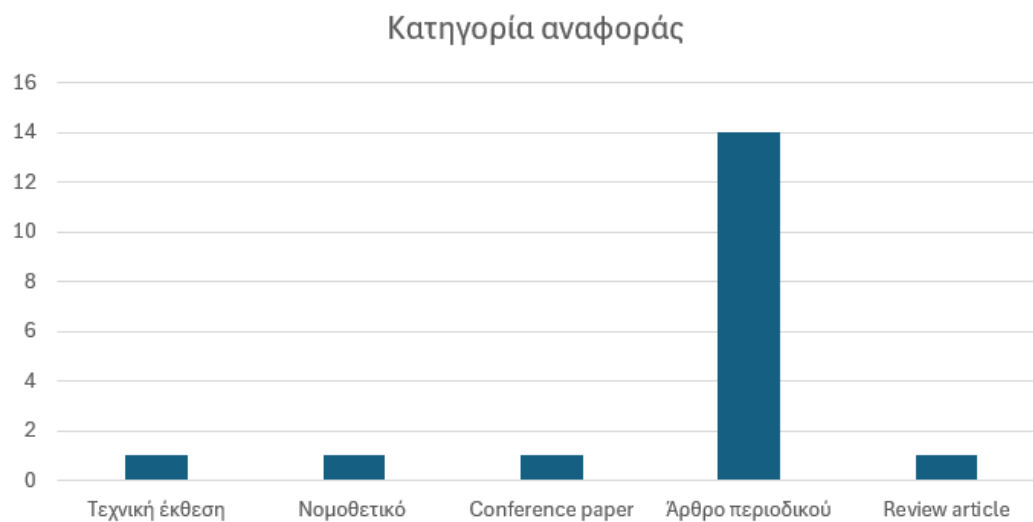
Σημαντικό στοιχείο που προκύπτει από το χάρτη είναι ότι η διαδρομή του χάρτη που ενώνει τους δύο βασικούς θεματικούς στόχους της διπλωματικής, την ακουστική άνεση στο πλαίσιο ενός κτηρίου ανακατασκευάζεται είναι είτε διαμέσου της προσαρμογής είτε δια μέσου της βιωσιμότητας



εικόνα 9: Η διαδρομή που ενώνει τους ισχυρούς κόμβους



Πίνακας 3: Συχνότητα βιβλιογραφικών αναφορών ανά έτος



Πίνακας 4: Κατηγορία αναφοράς

6. Μεθοδολογία και μελέτες περίπτωσης

6.1. Στόχοι του πρακτικού μέρους και σχεδιαστικό/ερευνητικό πλαίσιο

Το παρόν κεφάλαιο περιγράφει τη μεθοδολογία και το πλαίσιο μέσα στο οποίο αναπτύσσεται το πρακτικό μέρος της διπλωματικής, μεταφέροντας τις θεωρητικές και βιβλιογραφικές διαπιστώσεις σε μια εφαρμοσμένη διαδικασία ανάλυσης δεδομένων και σχεδιασμού. Βασικός στόχος του πρακτικού μέρους είναι η διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο μπορούν να εφαρμοστούν στρατηγικές ακουστικής αναβάθμισης σε κτίρια προς επανάχρηση, ώστε να βελτιωθεί η ακουστική άνεση. Επιμέρους στόχοι είναι: η καταγραφή και ερμηνεία των ακουστικών προκλήσεων σε συγκεκριμένες μελέτες περίπτωσης, η ανάπτυξη εναλλακτικών σεναρίων επεμβάσεων και η αξιολόγησή τους ως προς την ακουστική και τη βιωσιμότητα. (Della Spina, 2021· Celadyn, 2019· Hamida, Remy, Gruis, & Jylhä, 2025).

6.2. Κριτήρια επιλογής μελετών περίπτωσης

Οι μελέτες περίπτωσης επιλέγονται με βάση μια σειρά κριτηρίων που προκύπτουν από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση. Σημαντικό είναι τα κτίρια να εκπροσωπούν χαρακτηριστικές τυπολογίες επανάχρησης (π.χ. μετατροπή βιομηχανικών κελυφών, κτηρίων κατοικίας ή δημόσιων κτηρίων), ώστε τα συμπεράσματα να έχουν ευρύτερη αναφορά πέρα από το ένα συγκεκριμένο παράδειγμα (Mehan, 2025). Επιπλέον, επιδιώκεται στις μελέτες περίπτωσης να υπάρχουν ξεκάθαρές ακουστικές προκλήσεις. (Alonso, Patricio, Suárez, & Escandón, 2020). Θα ληφθούν επίσης υπόψη πρακτικοί παράγοντες, όπως η διαθεσιμότητα σχεδίων, και δεδομένων, καθώς και η δυνατότητα τεκμηρίωσης του σχεδιασμού σε κατασκευαστικό επίπεδο βάσει πραγματικών μετρήσεων πεδίου.

6.3. Μέθοδοι ανάλυσης υφιστάμενης κατάστασης

Η ανάλυση της υφιστάμενης κατάστασης των μελετών περίπτωσης εκτός της ακουστικής κατάστασης, περιλαμβάνει την περιγραφή των χρήσεων του κτιρίου καθώς επίσης και τα στοιχεία που συνθέτουν τη δομή του. Συνεπώς θα εξεταστούν οι χρήσεις του κτιρίου, και η τοποθέτηση του στο χώρο ενώ θα καταγραφούν το σύστημα δόμησης, τα δομικά υλικά του κελύφους αλλά και των χώρων και πιθανές ηχογέφυρες. Το βασικό εργαλείο αξιολόγησής είναι οι κατηγορίες άνεσης που

προτείνουν ο Ελληνικός Κανονισμός Κτιριακής Ηχοπροστασίας και ο Κτιριοδομικός Κανονισμός για τις σχετικές χρήσεις. Ως προς την ακουστική, θα χρησιμοποιηθούν υπολογιστικές μέθοδοι για την εκτίμηση της ηχομόνωσης και των επιπέδων θορύβου, καθώς και ποιοτική αποτίμηση της αναμενόμενης ακουστικής άνεσης σε σχέση με τα εθνικά και διεθνή πρότυπα.

1. 6.5 Flow Chart μεθοδολογικής προσέγγισης



Μελέτη περίπτωσης: Επανάχρηση σχολικής αίθουσας πολλαπλών ρόλων σε μικρή μουσική σκηνή.

7. Εισαγωγή

Η επανάχρηση υφιστάμενων κτιρίων αποτελεί μία σύγχρονη αρχιτεκτονική πρακτική με σημαντικά περιβαλλοντικά, οικονομικά και πολιτισμικά οφέλη, καθώς συμβάλλει στη βιώσιμη αξιοποίηση του δομημένου αποθέματος και στη διατήρηση της αρχιτεκτονικής μνήμης. Ωστόσο, η αλλαγή χρήσης ενός χώρου συνεπάγεται συχνά την ανάγκη προσαρμογής του σε νέες λειτουργικές και τεχνικές απαιτήσεις, οι οποίες δεν είχαν προβλεφθεί στον αρχικό του σχεδιασμό. Στο πλαίσιο αυτό, η ακουστική συμπεριφορά των υφιστάμενων χώρων αναδεικνύεται ως μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις.

Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις μετατροπής χώρων γενικής ή πολυλειτουργικής χρήσης σε εξειδικευμένους χώρους, όπως αίθουσες θεάτρου ή μουσικής, οι απαιτήσεις για ακουστική ποιότητα καθίστανται αυστηρότερες. Παράγοντες όπως ο χρόνος αντήχησης, η ευκρίνεια του λόγου, η ομοιομορφία της ηχητικής κατανομής και η ηχομόνωση από εξωτερικούς θορύβους αποκτούν κρίσιμη σημασία. Ωστόσο, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, τα υλικά και οι κατασκευαστικές επιλογές των υφιστάμενων κτιρίων συχνά δημιουργούν συνθήκες που οδηγούν σε έντονες ανακλάσεις, φαινόμενα ηχητικής εστίασης ή ανεπαρκή απόσβεση του ήχου.

Επιπλέον, σε πολλά έργα επανάχρησης παρατηρείται το φαινόμενο οι ακουστικές παρεμβάσεις να λαμβάνουν χώρα εκ των υστέρων και αποσπασματικά, χωρίς ενιαία μελέτη, γεγονός που μειώνει την αποτελεσματικότητά τους. Η πρόκληση, επομένως, δεν περιορίζεται μόνο στη διόρθωση των υφιστάμενων προβλημάτων, αλλά

επεκτείνεται στον σχεδιασμό ολοκληρωμένων στρατηγικών που θα ενσωματώνουν τις αρχές της ακουστικής στον επαναπροσδιορισμό του χώρου.

Η παρούσα εργασία εξετάζει τις παραπάνω παραμέτρους μέσα από το πρίσμα μιας συγκεκριμένης μελέτης περίπτωσης, αναδεικνύοντας πώς οι περιορισμοί ενός υφιστάμενου κελύφους μπορούν να μετατραπούν σε σχεδιαστικές προκλήσεις, αλλά και σε ευκαιρίες για τη βελτίωση της ακουστικής και λειτουργικής του απόδοσης.

8. Περιγραφή του χώρου

Ο υπό μελέτη χώρος αποτελεί τμήμα του συγκροτήματος του πρώην Ενιαίου Πολυκλαδικού Λυκείου Νέας Φιλαδέλφειας, το οποίο κατασκευάστηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 και σήμερα βρίσκεται κατά το μεγαλύτερο μέρος του εκτός λειτουργίας. Η αρχική χρήση του ως αίθουσα πολλαπλών χρήσεων κάλυπτε τις εκπαιδευτικές και κοινωνικές ανάγκες της εποχής, χωρίς ωστόσο να ενσωματώνει εξειδικευμένα κριτήρια ακουστικού σχεδιασμού. Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας, η μετατροπή του σε μικρή μουσική σκηνή με δυνατότητα να υποστηρίξει θεατρικό λόγω αναδεικνύει με χαρακτηριστικό τρόπο τις ακουστικές προκλήσεις που συνοδεύουν τα έργα επανάχρησης, καθώς ένας χώρος που σχεδιάστηκε για πολυχρηστική χρήση καλείται να ανταποκριθεί σε αυστηρότερες απαιτήσεις ακουστικής ακρίβειας, ευκρίνειας λόγου και ελέγχου της αντήχησης.

Η κάτοψη του χώρου παρουσιάζει σαφή διαχωρισμό μεταξύ σκηνής, παρασκηνίων και ζώνης θεατών, στοιχείο που συνάδει με την τυπολογία των αιθουσών πολλαπλών χρήσεων. Η σκηνή τοποθετείται στο άκρο του ορθογώνιου χώρου και συνδέεται λειτουργικά με το χώρο που λειτουργεί σαν καμαρίνια και τους βοηθητικούς χώρους, χωρίς όμως επαρκή πρόβλεψη για εναλλακτικές ροές κυκλοφορίας ή ευέλικτες διατάξεις σκηνικής δράσης, γεγονός που περιορίζει τις δυνατότητες σύγχρονης θεατρικής χρήσης.

Ο χώρος των θεατών διατάσσεται ως ένα συμπαγές πλαίσιο καθισμάτων μέσα σε έναν μεγάλο ορθογώνιο όγκο περίπου 14,0 m x 21,0 m, με γραμμικούς διαδρόμους και χωρίς

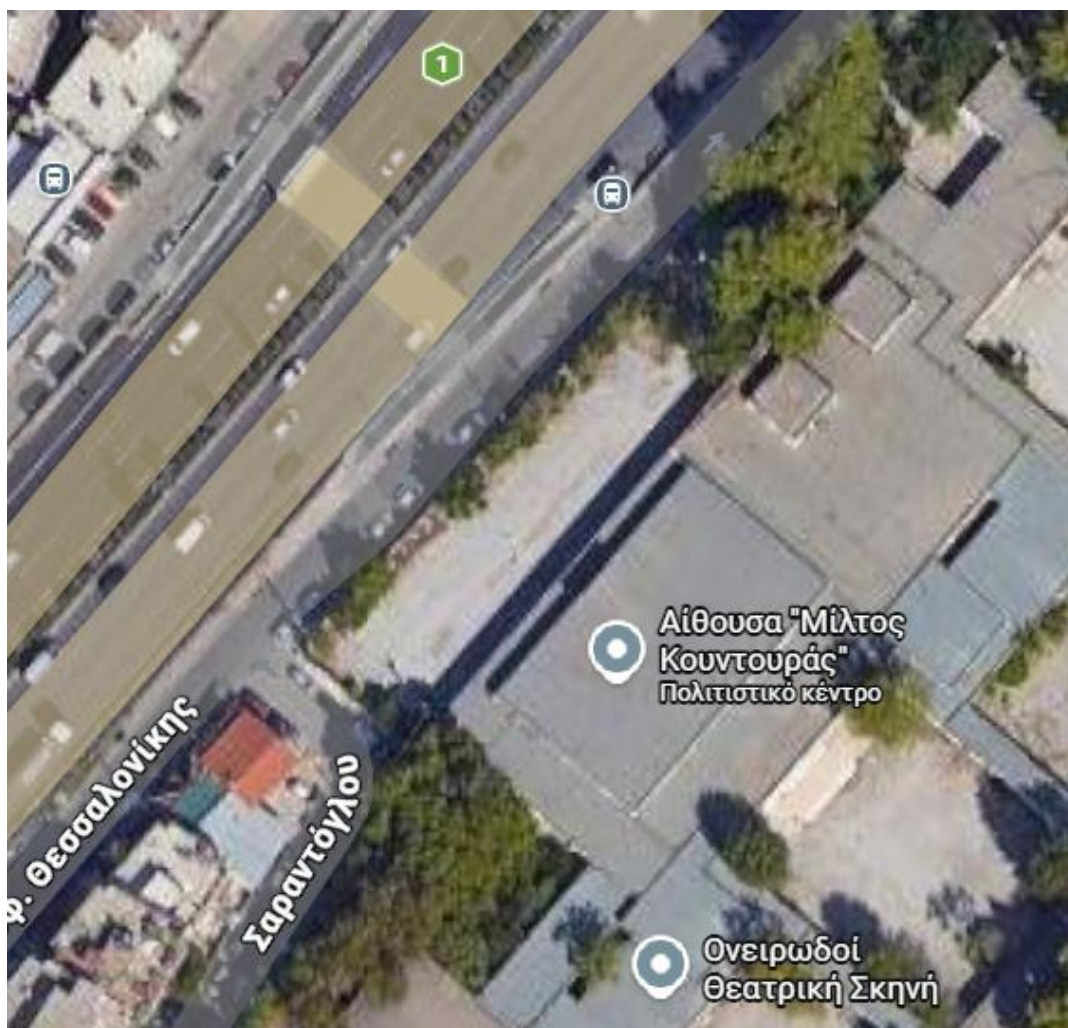
ουσιαστική διαφοροποίηση στο ύψος ή στη γεωμετρία της οροφής. Η ομοιομορφία αυτή διευκολύνει την λειτουργία του χώρου για διαφορετικές χρήσεις, ωστόσο δημιουργεί συνθήκες για ανεπιθύμητες ανακλάσεις και άνιση ακουστική κατανομή, καθώς λείπουν μορφολογικά στοιχεία που θα συνέβαλλαν στη διάχυση και στον έλεγχο της αντήχησης στον χώρο.

Στο πεδίο αρχιτεκτονικής τυπολογίας το κτίριο ακολουθεί το τυπικό πρότυπο των σχολικών κτιρίων της δεκαετίας του 1980 στην Ελλάδα, με φέροντα οργανισμό από οπλισμένο σκυρόδεμα, τοιχοποιίες πλήρωσης από οπτοπλινθοδομή ενταγμένα σε απλές γεωμετρικές μορφές, δίνοντας προτεραιότητα στην κατασκευαστική οικονομία και την τυποποίηση. Η παρουσία συστημάτων ψευδοροφής Cleaneo KNAUF σε συνδυασμό με μόνωση από πετροβάμβακα, συνολικής επιφάνειας περίπου 280 m² στην οροφή και στις επιμέρους ζώνες της αίθουσας αλλά και της σκηνής, καταδεικνύει προσπάθεια εκ των υστέρων ακουστικής διόρθωσης, η οποία όμως εξαιτίας της αποσπασματικής εφαρμογής, δεν είναι δυνατόν να θεωρηθεί επαρκής ως προς τις ακουστικές προδιαγραφές για μουσική σκηνή, που να εξυπηρετεί και θεατρικό λόγω

Η εικόνα εγκατάλειψης επιτείνει τα παραπάνω προβλήματα, καθώς η φθορά των επιφανειών, η πιθανή αποκόλληση υλικών και η ανυπαρξία συντήρησης επιβαρύνουν τόσο τη λειτουργικότητα όσο και την ακουστική συμπεριφορά του χώρου. Ωστόσο, η σαφής χωρική διάρθρωση και ο επαρκής όγκος των (περίπου 1500m³) αίθουσας, μπορούν να αποτελέσουν το υπόβαθρο επανάχρησης, έχοντας ως προϋπόθεση στοχευμένες παρεμβάσεις που θα αντιμετωπίζουν συστηματικά τις υφιστάμενες ακουστικές αδυναμίες.

8.1 Χωρική οργάνωση

Η χωρική οργάνωση του υπό μελέτη χώρου διατάσσεται μέσα σε ένα πυρήνα ορθογώνιου σχήματος, εντός του οποίου τοποθετείται η σκηνή με τα παρασκήνια καθώς επίσης και η ζώνη των θεατών. Μπορεί αυτή η δομή να αποτυπώνει την



Εικόνα 11: Ο χώρος της υπο μελέτης αίθουσας. Ο χώρος γειτνιάζοντας με την Εθνική Οδό κρίνεται ως ιδιαίτερα επιβαρυνμένος ηχικά

τυπολογία των αιθουσών πολλαπλών χρήσεων των σχολικών κτιρίων της δεκαετίας του 1980, αποδεικνύεται ωστόσο περιοριστική σε σχέση με τις απαιτήσεις ενός σύγχρονου θεατρικού χώρου, τόσο ως προς την ευελιξία της σκηνικής δράσης όσο και ως προς την οργάνωση του κοινού.



Η σκηνή τοποθετείται στο ένα άκρο του ορθογωνίου όγκου, σε άμεση επαφή με τα καμαρίνια και τους βοηθητικούς χώρους, στοιχείο που διευκολύνει τη λειτουργική σύνδεση, χωρίς να υπάρχει πρόβλεψη εναλλακτικών εισόδων και εξόδων των ηθοποιών προς την αίθουσα. Η απουσία ευέλικτων διαδρομών κίνησης περιορίζει τη δυνατότητα πιο σύνθετων σκηνικών και σκηνοθετικών επιλογών, ενισχύοντας την αίσθηση ενός χώρου σχεδιασμένου κυρίως για τυπικές σχολικές εκδηλώσεις.

Ο χώρος των θεατών αναπτύσσεται μεγάλο ενιαίο χώρο σε έναν μεγάλο ορθογώνιο χώρο περίπου καταλαμβάνοντας περίπου 300m². Η διάταξη των σειρών είναι γραμμική με ενδιάμεσους κατά μήκος διαδρόμους κίνησης, και αποτελείται από μη υπενδεδυμένα, ελεύθερα καθίσματα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Η οργάνωση αυτή διευκολύνει την μέγιστη χωρική εκμετάλλευση, αλλά δεν λαμβάνει επαρκώς υπόψη ζητήματα ορατότητας, άνεσης μετακίνησης και διαφοροποίησης της εμπειρίας θέασης. Επιπροσθέτως η απουσία διάταξης σε κλίμακα διαφορετικών επιπέδων μπορεί να οδηγήσει σε περιορισμένη οπτική άνεση, ιδιαίτερα για τις πίσω σειρές, και ακριανές σειρές

Οι εισοδοί προς την αίθουσα χωροθετούνται κυρίως στις δύο μικρότερες πλευρές του χώρου, με τρόπο που εξυπηρετεί τη βασική κίνηση. Ταυτόχρονα δεν διασφαλίζει ξεκάθαρες διακριτές ροές εισόδου και εξόδου του κοινού. Η έλλειψη σαφούς διαχωρισμού των διαδρομών του κοινού από τις διαδρομές εξυπηρέτησης της θεατρικής πρακτικής υποδηλώνει, πιθανές δυσλειτουργίες σε περιπτώσεις αυξημένης

προσέλευσης θεατών αλλά και σύνθετων θεατρικών παραγωγών ή σύνθετων παραγωγών.

Τέλος, η χωρική οργάνωση δεν φαίνεται να ενσωματώνει εξ αρχής κριτήρια ακουστικής βελτιστοποίησης, αλλά αντίθετα στηρίζεται σε έναν μεγάλο, σχεδόν συμμετρικό όγκο με επίπεδες επιφάνειες, στον οποίο έχουν προστεθεί εκ των υστέρων συστήματα ψευδοροφής με ενσωματωμένη ηχοαπορροφητική διάταξη και αντίστοιχες επενδύσεις τοίχων. Αυτή η προσέγγιση παράγει ένα χώρο στον οποίο η δομή του δεν συμβαδίζει με την ακουστική άνεση, αφήνοντας να εντοπίζονται τόσο λειτουργικές όσο και ακουστικές αδυναμίες που καθιστούν αναγκαίο τον ανασχεδιασμό.

8.2 Η ζώνη θέασης

Η ζώνη των θεατών οργανώνεται ως ενιαίος ορθογώνιος όγκος περίπου 14,0 m x 21,0 m, με ομοιόμορφη, πυκνή διάταξη σειρών καθισμάτων και περιορισμένο αριθμό διαδρόμων κίνησης. Η απουσία κλιμακωτής διάταξης συνεπάγεται όχι μόνο οριακές συνθήκες ορατότητας για τις πίσω σειρές, αλλά και μια επίπεδη κατανομή του ακουστικού πεδίου, όπου ο ήχος δεν υποβοηθείται από γεωμετρικά στοιχεία που θα μπορούσαν να ενισχύσουν τη διάχυση και την ομοιομορφία της ηχητικής στάθμης.

Η παράλληλη ανάπτυξη των πλευρικών τοίχων σε συνδυασμό με την απλή γεωμετρία της αίθουσας ευνοεί την εμφάνιση έντονων πλευρικών ηχικών ανακλάσεων ανάμεσα στις επιφάνειες, ιδιαίτερα σε μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Δεδομένου ότι η διάταξη του χώρου δεν ενσωματώνει εξ αρχής στοιχεία διάχυσης, η ποιότητα του λόγου μπορεί να διαφοροποιείται από θέση σε θέση, σε περιοχές υπερβολικής αντήχησης και άλλες με μειωμένη ακουστότητα. Η παραπάνω διαπίστωση αντιτίθεται στις βασικές αρχές ακουστικού σχεδιασμού χώρων που προορίζονται για θεατρικές παραστάσεις, στους οποίους η ομοιομορφία του ήχου προς όλες τις κατευθύνσεις με ταυτόχρονα σωστή αντιληπτικότητα, αποτελούν κεντρικούς παράμετρους της όλης θεατρικής εμπειρίας, που πρέπει να ενσωματώνονται στον σχεδιασμό.

Η εκτεταμένη εφαρμογή ψευδοροφής Cleaneo KNAUF με μόνωση πετροβάμβακα πάνω από τη ζώνη των θεατών, και περιμετρικά της σκηνής επιχειρεί να αντισταθμίσει

την έλλειψη αρχικού ακουστικού σχεδιασμού, μειώνοντας τον χρόνο αντήχησης. Ωστόσο, αυτή η προσέγγιση η οποία στοχεύει αποκλειστικά στην ηχοαπορρόφηση, δεν αντιμετωπίζει τα ζητήματα της ορθής χωρικής κατανομής του ήχου, ώστε να μπορεί να αποδόσει ως χώρος μουσικής σκηνής.

Επιπλέον, η σημερινή κατάσταση εγκατάλειψης του χώρου δημιουργεί εύλογες αμφιβολίες για την πραγματική απόδοση των υφιστάμενων ακουστικών παρεμβάσεων, καθώς η πιθανή φθορά ή αποκόλληση υλικών μπορεί να οδηγεί σε τοπικές ανωμαλίες της απορρόφησης ή ακόμη και σε ανεπιθύμητους θορύβους (π.χ. τριγμούς, κραδασμούς) κατά τη λειτουργία. Συνολικά, η ζώνη των θεατών αποτυπώνει έναν χώρο όπου η ακουστική άνεση προκύπτει κυρίως από αποσπασματικές υλικές επεμβάσεις και όχι από μια συνολικά μελετημένη χωρική και ακουστική στρατηγική, γεγονός που αναδεικνύει την ανάγκη για στοχευμένο ανασχεδιασμό τόσο στη γεωμετρία όσο και στα υλικά της αίθουσας.

8.3 Η σκηνή

Η σκηνή αναπτύσσεται στο ένα άκρο του κύριου ορθογωνίου όγκου και λειτουργεί ως το βασικό σημείο αναφοράς της αίθουσας, ωστόσο η γεωμετρία και η κλίμακά της αντανakλούν περισσότερο τις ανάγκες μιας σχολικής αίθουσας πολλαπλών ρόλων, παρά ενός σύγχρονου θεατρικού χώρου. Η επιφάνειά της παραμένει ουσιαστικά επίπεδη και γραμμική, χωρίς σαφή πρόβλεψη για ευέλικτες διατάξεις (π.χ. εναλλακτικές σκηνικές διαμορφώσεις, πλαϊνά ή οπίσθια περάσματα), γεγονός που περιορίζει σημαντικά τις δυνατότητες σκηνοθετικών επιλογών.

Η σχέση της σκηνής με το ακροατήριο χαρακτηρίζεται από έναν κατά μέτωπο, προσανατολισμό, όπου το άνοιγμα της σκηνής αντιμετωπίζει ένα μεγάλο, ομοιογενές πεδίο θεατών χωρίς ενδιάμεσες ζώνες ή μεταβατικούς χώρους. Αυτή η απλουστευμένη διάταξη μπορεί να εξυπηρετεί βασικές εκδηλώσεις, αλλά δεν ευνοεί πιο σύνθετες μορφές θεατρικής παράστασης. Επίσης δεν επιτρέπει διαφοροποίηση της εγγύτητας και της ακουστικής εμπειρίας ανάλογα με τον τύπο του θεατρικού δρώμενου.

8.4 Βοηθητικοί χώροι

Τα παρασκήνια και τα καμαρίνια τοποθετούνται άμεσα πίσω και πλάι από τη σκηνή, προσφέροντας μια στοιχειώδη λειτουργική υποστήριξη (χώροι προετοιμασίας, αποθήκευσης



κ.λπ.). Οι διαδρομές κίνησης παραμένουν περιορισμένες και γραμμικές, με αποτέλεσμα η κυκλοφορία των ηθοποιών και του τεχνικού προσωπικού να διασταυρώνεται συχνά με τις ροές του κοινού ή να εξαρτάται από λίγες, συγκεκριμένες εισόδους.

Από ακουστική άποψη, η σκηνή φαίνεται να εντάσσεται στον ίδιο μεγάλο, απλό όγκο με το ακροατήριο, χωρίς ιδιαίτερα μορφολογικά ή υλικά στοιχεία που να ευνοούν τον έλεγχο των πρώτων ανακλάσεων και τη ακουστική ενίσχυση του λόγου προς τη ζώνη των θεατών

Συνολικά, η ενότητα σκηνής–παρασκηνίων αποτυπώνει έναν χώρο που σχεδιάστηκε πρωτίστως με κριτήριο την τυπική σχολική λειτουργία, ενώ ο ακουστικός και λειτουργικός σχεδιασμός φαίνεται να έχει αντιμετωπιστεί αποσπασματικά και εκ των υστέρων. Αυτό καθιστά αναγκαία μια πιο ριζική επανεξέταση της γεωμετρίας, των ροών και των υλικών, στο πλαίσιο της προτεινόμενης επανάχρησης της αίθουσας ως χώρου μουσικών εκδηλώσεων και θεατρικών δρώμενων.

Η παραπάνω ανάλυση της σκηνής, των παρασκηνίων και της ζώνης των θεατών αναδεικνύει ότι ο υφιστάμενος χώρος στηρίζεται σε μια απλή, ορθογωνική γεωμετρία με μεγάλες, κυρίως επίπεδες επιφάνειες και αποσπασματικές μόνο ακουστικές παρεμβάσεις στην οροφή και στους πλευρικούς τοίχους. Η χωρική αυτή οργάνωση δημιουργεί αυξημένη πιθανότητα για ανεπιθύμητες ανακλάσεις, άνιση κατανομή της ηχητικής ενέργειας και χρονική ασάφεια του λόγου, ιδιαίτερα για τις απομακρυσμένες θέσεις θεατών. Στο πλαίσιο αυτό, ο υπολογισμός της συνολικής απορρόφησης A Sabine και του αντίστοιχου χρόνου αντήχησης RT αποτελεί ένα κρίσιμο εργαλείο για την αντικειμενική τεκμηρίωση των παραπάνω ποιοτικών διαπιστώσεων και για τον σχεδιασμό των απαραίτητων επεμβάσεων σε υλικά και γεωμετρία. Μέσα από τη σύγκριση του υφιστάμενου RT με τις προτεινόμενες τιμές για μικρές μουσικές σκηνές καθίσταται δυνατός ο καθορισμός των απαιτούμενων ποσοτήτων απορροφητικών και διαχυτικών επιφανειών, ώστε η μελλοντική διαμόρφωση να μπορέσει να καλύψει τις σημερινές χωρικές και ακουστικές αδυναμίες.

9. Χρόνος αντήχησης RT και εσωτερική ακουστική αίθουσας μουσικής

Ο χρόνος αντήχησης (RT60) αποτελεί τη βασική παράμετρο που περιγράφει την εσωτερική ακουστική συμπεριφορά της αίθουσας, καθώς συνδέει, το χρόνο αντήχησης μιας αίθουσας που εξαρτάται από τη γεωμετρία του χώρου και τα υλικά των επιφανειών με την αντίληψη του ήχου από τους θεατές. Ο χρόνος αντήχησης RT εκφράζει το χρόνο που απαιτείται για να μειωθεί η ηχητική ενέργεια κατά 60 dB μετά τη διακοπή της πηγής και υπολογίζεται, βάσει της εξίσωσης Sabine..

Ο τύπος του sabine δίδεται από την σχέση

$$RT = 0,16 \cdot \frac{V}{A}$$

- $V(m^3)$: Συνολικός όγκος του χώρου
- A : Η ηχοαπορρόφηση όλων των επιφανειών ανά συχνότητα.

Όταν ο χρόνος αντήχησης (RT) είναι υπερβολικά μεγάλος σε σχέση με τη χρήση, ο χώρος γίνεται έντονα αντηχητικός, με αποτέλεσμα η ηχητική ενέργεια να παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα, οδηγώντας σε μείωση της διαύγειας και σε θόλωση της μουσικής λεπτομέρειας, ιδιαίτερα σε γρήγορα ή πολυφωνικά αποσπάσματα. Αντίθετα, όταν ο RT είναι πολύ μικρός, ο ήχος εξασθενεί γρήγορα και ο χώρος ακούγεται «ξηρός», χωρίς επαρκή στήριξη και πλούτο, με αποτέλεσμα να υποβαθμίζεται η φυσική απόδοση των οργάνων και η αίσθηση συνοχής του μουσικού συνόλου.

Για αίθουσες που προορίζονται για μικρά μουσικά σύνολα, οι επιθυμητές τιμές του χρόνου αντήχησης κυμαίνονται συνήθως από περίπου 1,2s έως 1,6s στις μεσαίες συχνότητες, ώστε να επιτυγχάνεται ισορροπία μεταξύ ευκρίνειας και ακουστικής πληρότητας.

Στην υπό μελέτη αίθουσα της Νέας Φιλαδέλφειας, η οποία βρίσκεται σε ιδιαίτερα θορυβώδες περιβάλλον δίπλα στην εθνική οδό, η ρύθμιση του χρόνου αντήχησης (RT) συνδέεται άμεσα όχι μόνο με την ακουστική ποιότητα της μουσικής, αλλά και με τον

έλεγχου του θορύβου βάθους στο εσωτερικό, ο οποίος προέρχεται από τον εξωτερικό χώρο. Ένας χώρος με υψηλό RT και ανεπαρκή απορρόφηση μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική διατήρηση της ηχητικής ενέργειας, με αποτέλεσμα τη θόλωση της μουσικής λεπτομέρειας και τη μείωση της ευκρίνειας μεταξύ των επιμέρους οργάνων ενός συνόλου. Παράλληλα, ο εισερχόμενος οδικός θόρυβος «παγιδεύεται» και παραμένει στον χώρο για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, επηρεάζοντας αρνητικά την ακουστική εμπειρία.

Αντίθετα, ένας χώρος με κατάλληλα διαμορφωμένο RT, προσαρμοσμένο στις απαιτήσεις των μικρών μουσικών συνόλων, σε συνδυασμό με αποτελεσματική ηχομόνωση του κελύφους, μπορεί να διασφαλίσει τόσο την ευκρίνεια του ήχου όσο και την καταληπτότητα σε χρήσης που λόγου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται μια ισορροπημένη ακουστική συνθήκη, ακόμη και σε ένα επιβαρυνόμενο εξωτερικό ηχητικό περιβάλλον.

Σε αυτό το πλαίσιο, ο χρόνος αντήχησης λειτουργεί ως κεντρικό εργαλείο σχεδιασμού της εσωτερικής ακουστικής καθώς η αποτίμηση της υφιστάμενης κατάστασης η μέτρηση και ο υπολογισμός του στην υφιστάμενη κατάσταση αποτυπώνει ποσοτικά τις χωρικές και τεχνικές αδυναμίες του χώρου, ενώ η προσαρμογή του στις επιθυμητές τιμές καθοδηγεί την επιλογή και τη χωροθέτηση των απορροφητικών και διαχυτικών στοιχείων. Η παραπάνω προσέγγιση επιτρέπει η διαδικασία της επανάχρησης να μην περιοριστεί σε τυπικές επενδύσεις οροφής, αλλά να οργανωθεί ως ολοκληρωμένη στρατηγική εσωτερικής ακουστικής, ειδικά προσαρμοσμένη στις απαιτήσεις ενός χώρου μουσικής δωματίου που μπορεί να υποστηρίξει και θεατρικό λόγο, σε περιβάλλον υψηλού οδικού θορύβου.

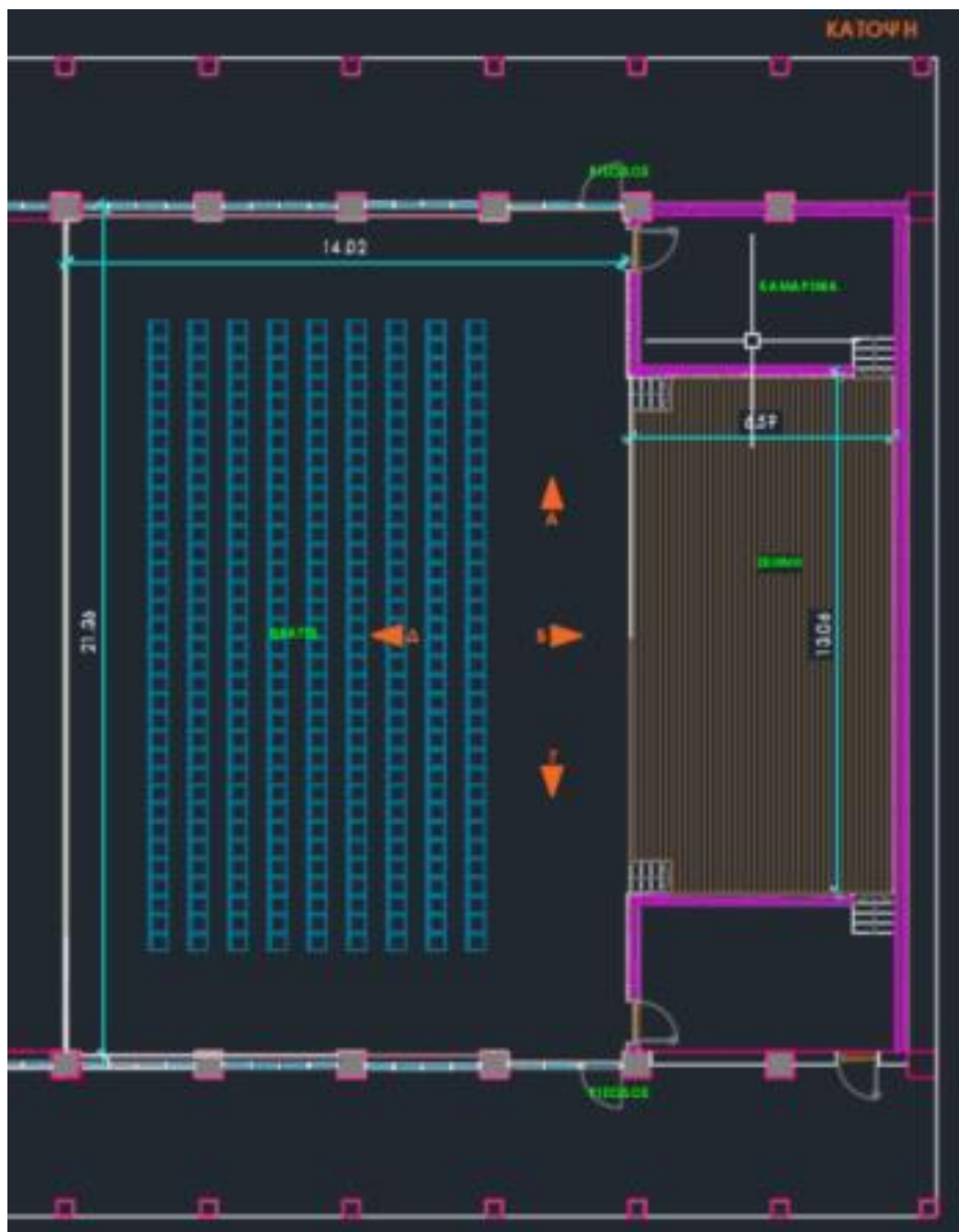
9.1 Υπολογισμός του χρόνου αντήχησης RT

Ο υπολογισμός του χρόνου αντήχησης στηρίζεται στη γεωμετρία και στα υλικά του χώρου, όπως αυτά παρουσιάζονται στην κάτοψη, την άνοψη και τις επιμέρους όψεις της αίθουσας. Σε πρώτο στάδιο, από την κάτοψη προσδιορίζονται οι βασικές οριζόντιες διαστάσεις και το εμβαδόν του δαπέδου, καθώς και η έκταση των κάθετων επιφανειών (εσωτερικές τοιχοποιίες, ανοίγματα, σκηνή, ζώνη θεατών). Στη συνέχεια, με βάση τις

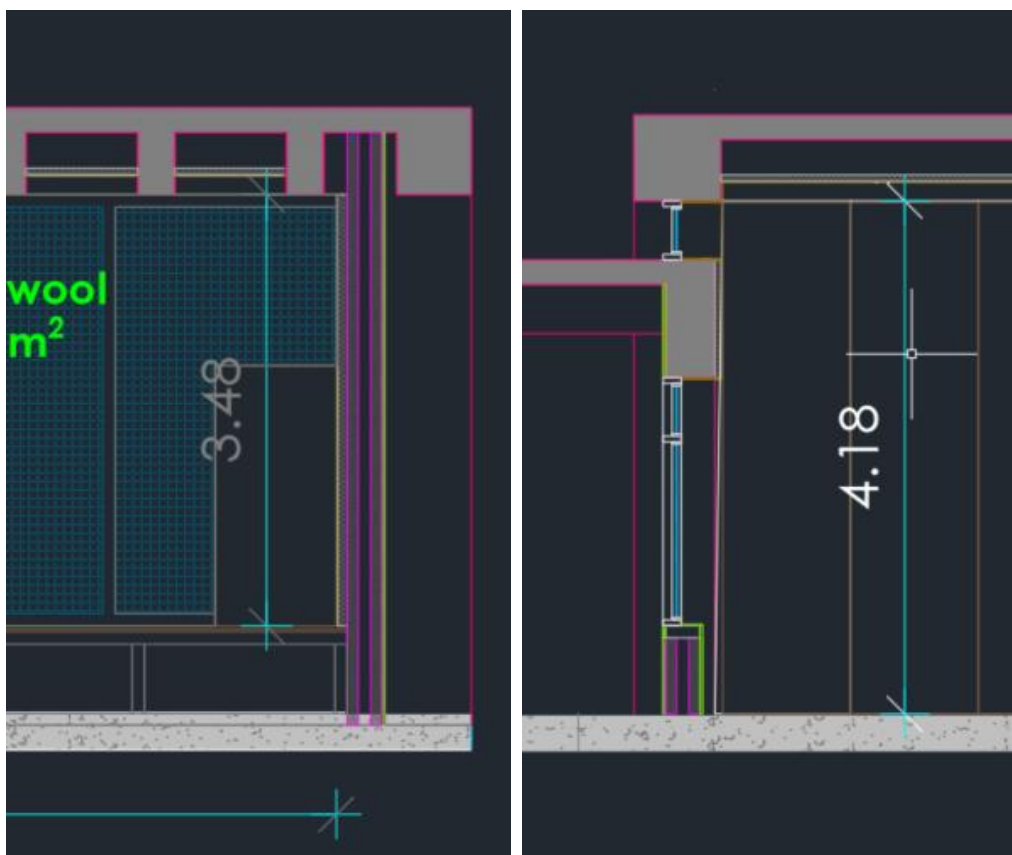
όψεις και την άνοψη υπολογίζεται το συνολικό ύψος και ο όγκος του χώρου, αλλά και η επιφάνεια της οροφής, στην οποία εντοπίζονται οι ζώνες εφαρμογής των ηχοαπορροφητικών διατάξεων (Διάτρητη γυψοσανίδα Knauf Cleaneo, με πετροβάμβακα)

Σε κάθε επιφάνεια που αποτυπώνεται στα σχέδια (δάπεδο, οροφή, πλευρικοί και οπίσθιοι τοίχοι, σκηνή, καθίσματα θεατών κ.λπ.) υπολογίζεται το εμβαδό της και ο κατάλληλος συντελεστής ηχοαπορρόφησης, ανάλογα με το υλικό και τη συχνότητα. Το άθροισμα των γινομένων εμβαδού επί συντελεστή απορρόφησης δίνει τη συνολική ηχοαπορρόφηση A του χώρου, η οποία σε συνδυασμό με τον υπολογισμένο όγκο V οδηγεί, μέσω της εξίσωσης Sabine, στον εκτιμώμενο χρόνο αντήχησης RT για κάθε οκτάβα. Με αυτόν τον τρόπο, η γεωμετρική ανάλυση ανά κάτοψη– άνοψη –όψεις μετατρέπεται σε ποσοτικοποιημένη ακουστική περιγραφή, πάνω στην οποία στηρίζεται η αξιολόγηση της υφιστάμενης κατάστασης και ο σχεδιασμός των παρεμβάσεων.

Όγκος αίθουσας



Σχέδιο 1:Κάτοψη του χώρου με τις διαστάσεις για τον υπολογισμό του όγκου

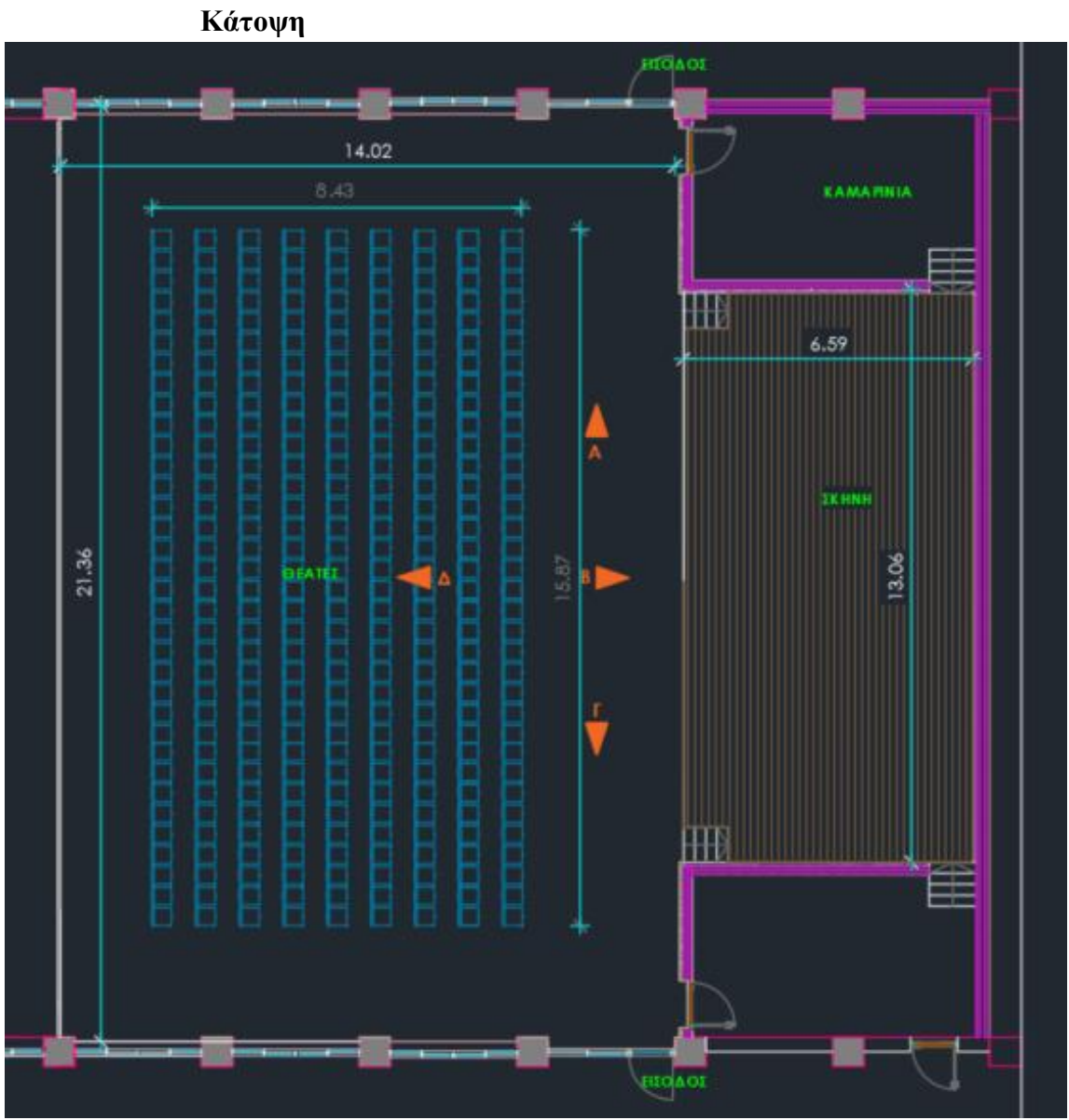


Σχέδιο 2: Τομές. Υψος στάθμης δαπέδου και σκηνής.

ΟΓΚΟΣ ΑΙΘΟΥΣΑΣ				
ΧΩΡΟΣ	Μήκος L (m)	Πλάτος W (m)	Υψος H (m)	Ογκος V (m ³)
Χώρος θεατών	14,02	21,36	4,18	1251,77
Σκηνή	6,59	13,06	3,48	299,51
Σύνολο				1551,28

$$V=1551,28$$

9.2 Περιγραφή και επιφάνεια υλικών



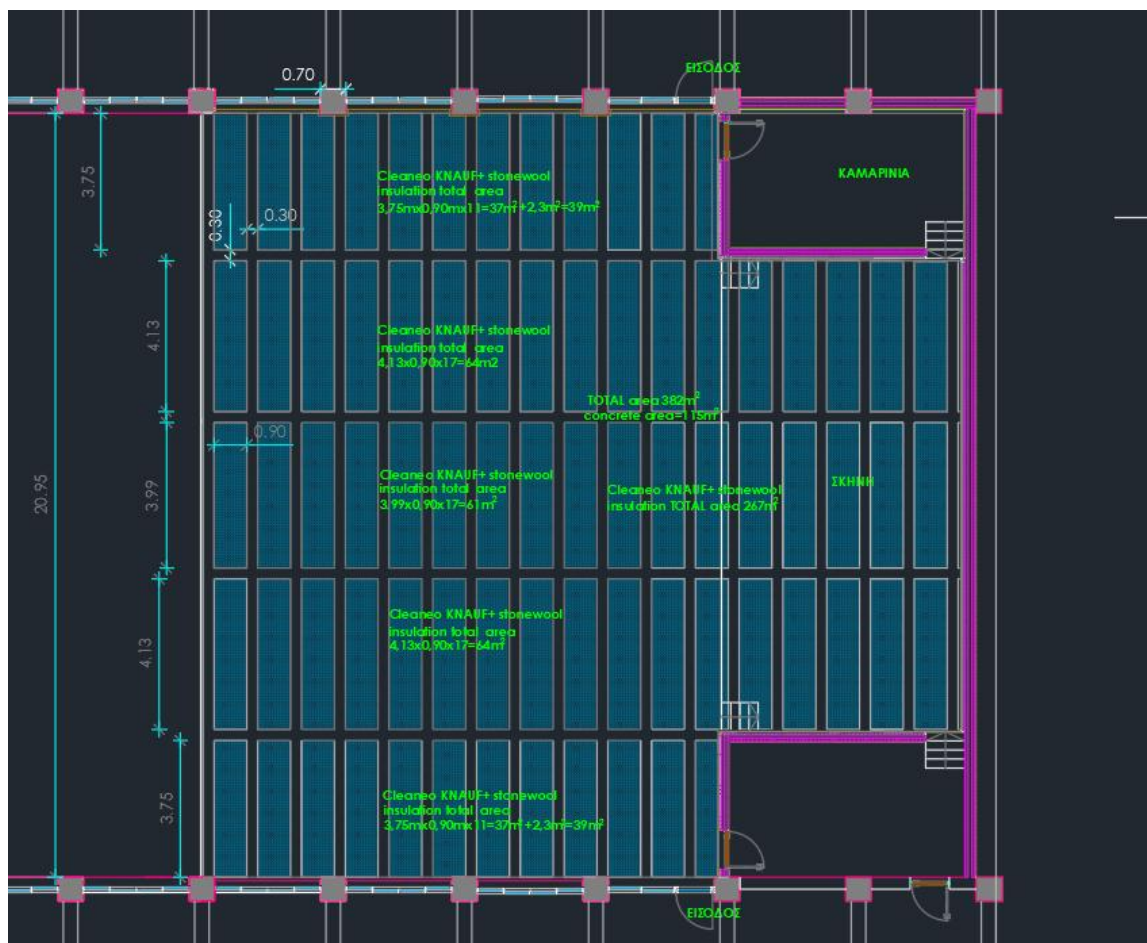
Σχέδιο 3: Γενική κάτοψη του χώρου με τις θέσεις της σκηνής και των καθισμάτων

Κάτοψη					
Περιγραφή	Υλικό	Μήκος L (m)	Πλάτος W (m)	Αφαιρούμενο τμήμα (m ²)	Επιφάνεια (m ²)
Δάπεδο	Laminate	14,02	21,36	133,78	165,68
Σκηνή	Laminate	13,06	6,59	0	86,07
Καθίσματα	Χωρίς επένδυση	8,43	15,87	0	133,78

Στον κύριο χώρο θεατών, το δάπεδο είναι συνθετικό τύπου laminate τοποθετημένο πάνω σε υφιστάμενο μωσαϊκό. Τα καθίσματα των θεατών είναι μη επενδεδυμένα, κατασκευασμένα από σκληρό υλικό, χωρίς πρόσθετες στρώσεις υφασμάτινης ή αφρώδους επένδυσης. Η σκηνή διαμορφώνεται ως υπερυψωμένη κατασκευή, ανεξάρτητη από το κύριο δάπεδο του χώρου. Η φέρουσα κατασκευή της είναι από μεταλλικό σκελετό, επί του οποίου έχει τοποθετηθεί δάπεδο από laminate, παρόμοιο αυτό του χώρου θεατών

Τα χρησιμοποιούμενα υλικά χαρακτηρίζονται από χαμηλή ηχοαπορρόφηση, καθώς τόσο το laminate όσο και τα μη επενδεδυμένα καθίσματα λειτουργούν κυρίως ως ανακλαστικά στοιχεία, γεγονός που ευνοεί την αύξηση του χρόνου αντήχησης και τη διάχυση του ήχου στον χώρο.

Άνοψη

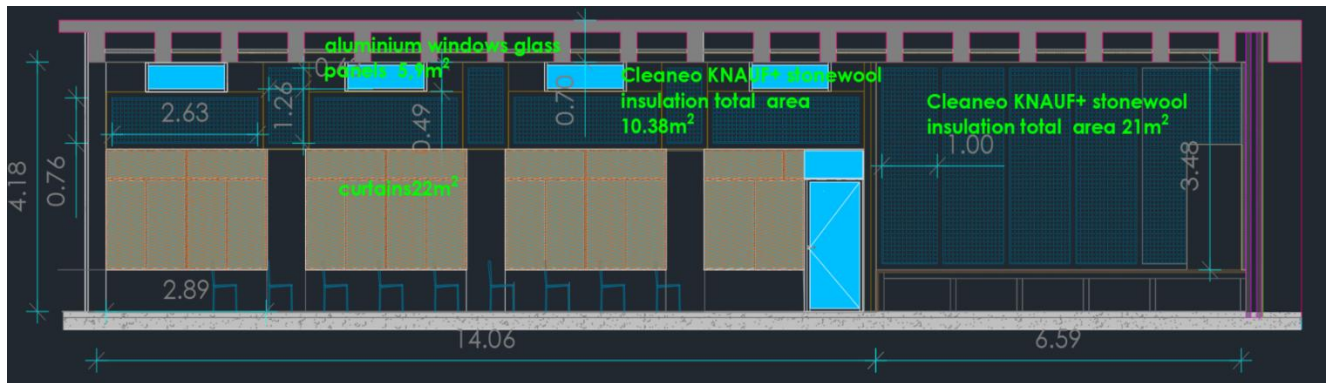


Σχέδιο 4: Άνοψη με τις Ηχοαπορροφητικές διατάξεις

Άνοψη		
Περιγραφή	Υλικό	Επιφάνεια
		(m ²)
Οροφή	Σκυρόδεμα	118,00
Οροφή	Διάτρητη γυψοσανίδα KNAUF CLEANEO με Πετροβάμβακα 5cm 40kgf/m ²	267,00

Η οροφή του χώρου διαμορφώνεται από διαδοκιδωτή πλάκα οπλισμένου σκυροδέματος, η οποία παραμένει στο κάτω μέρος εμφανείς. Η εμφανής επιφάνεια σκυροδέματος διατηρεί τη φυσική υφή του υλικού, αναδεικνύοντας τη γεωμετρία των δοκών και των ενδιάμεσων πεδίων και προσδίδοντας βιομηχανικό χαρακτήρα στον χώρο. Εντός των φατνωμάτων που δημιουργεί η διαδοκιδοτή πλάκα αναπτύσσεται σύστημα ψευδοροφής ξηράς δόμησης τύπου Knauf Cleanearo, αναρτημένο από τη φέρουσα κατασκευή με μεταλλικό σκελετό. Μέσα από την διάταξη της αναρτημένη ψευδοροφή τοποθετείται πετροβάμβακα 50mm. Η πλήρωση του συστήματος πραγματοποιείται με πετροβάμβακα (stone wool), ενσωματωμένο εντός της διάταξης της ψευδοροφής, με σκοπό τη βελτίωση των ακουστικών συνθηκών και τη συνεισφορά σε θερμομονωτικές ιδιότητες του κελύφους.

Η ακουστική συμπεριφορά της οροφής προκύπτει από τον συνδυασμό επιφανειών χαμηλού συντελεστή απορρόφησης (εμφανές σκυρόδεμα) και διάτρητων απορροφητικών στοιχείων τύπου Knauf Cleanearo με πλήρωση πετροβάμβακα, τα οποία συμβάλλουν στην αύξηση της ισοδύναμης ηχοαπορρόφησης και στη μείωση του χρόνου αντήχησης. Ωστόσο, η γεωμετρία της διαδοκιδωτής πλάκας, με τις έντονες ακμές και τις επαναλαμβανόμενες εσοχές των φατνωμάτων, ενισχύει φαινόμενα ανακλάσεων του ήχου, επηρεάζοντας την ομοιομορφία της διάδοσης εντός του χώρου

Όψη Α και Γ


Σχέδιο 5: Οι δύο πλευρικές όψεις με συνδυασμό πολλών υλικών και επιπέδων

Όψη Α και Β		
Περιγραφή	Υλικό	Επιφάνεια
		(m ²)
Χώρος σκηνής	Διάτρητη γυψοσανίδα KNAUF CLEANEO με πετροβάμβακα 5cm 40kg/m ²	21,00
Χώρος θεατών	Διάτρητη γυψοσανίδα KNAUF CLEANEO με πετροβάμβακα 5cm 40kg/m ²	10,38
	Κουφώματα αλουμινίου με υαλοπίνακες	27,00
	Γυψοσανίδα Απλή	22,00

Η όψη Α και Γ του χώρου διαμορφώνεται ως σύνθεση διαφανών και συμπαγών επιφανειών, με εναλλαγή υλικοτήτων που ανταποκρίνονται τόσο στις λειτουργικές όσο και στις αρχιτεκτονικές απαιτήσεις του έργου.

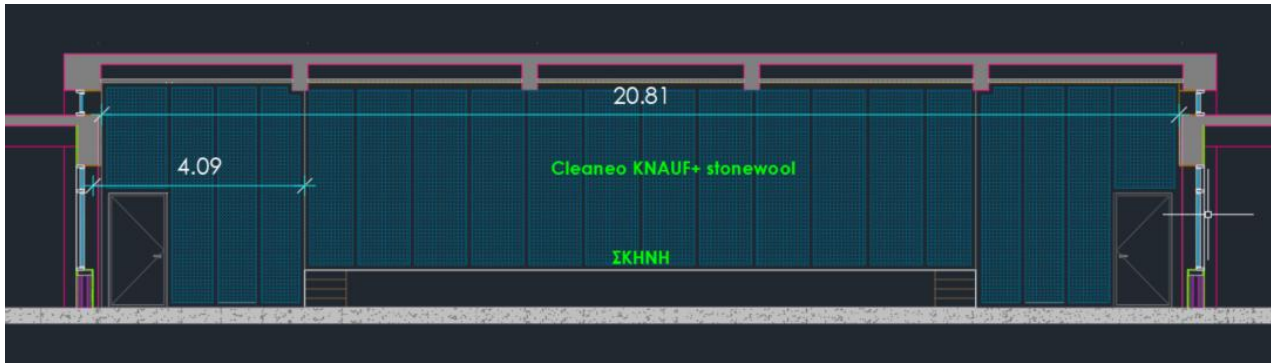
Τα ανοίγματα της όψης αποτελούνται από με κουφώματα αλουμινίου με υαλοπίνακα φέροντα υαλοπίνακες, τα οποία εξασφαλίζουν οπτική συνέχεια και επαφή του εσωτερικού χώρου με το εξωτερικό περιβάλλον. Οι υαλοπίνακες λειτουργούν ως λείες και υψηλής ανακλαστικότητας επιφάνειες, ωστόσο μπροστά από αυτούς υπάρχουν κουρτίνες με ύφασμα βαρέως τύπου.

Στις συμπαγείς ζώνες της όψης εφαρμόζεται επένδυση από απλή γυψοσανίδα, διαμορφώνοντας ενιαίες επίπεδες επιφάνειες με ουδέτερο χαρακτήρα.. Σημαντικό μέρος της όψης καταλαμβάνεται από σύστημα επένδυσης με διάτρητη γυψοσανίδα τύπου Knauf Cleaneo, συνοδευόμενη από πλήρωση πετροβάμβακα πάχους 5 cm και πυκνότητας 40 kg/m³. Το σύστημα αυτό τοποθετείται σε μεταλλικό σκελετό και διαμορφώνει συνεχείς επιφάνειες με ελεγχόμενες ακουστικές ιδιότητες, ενισχύοντας τη συνολική ακουστική απόδοση του χώρου. Η σύνθεση της όψης επιτυγχάνει

ισορροπία μεταξύ διαφάνειας και μάζας, ενώ η εναλλαγή λείων ανακλαστικών επιφανειών και διάτρητων απορροφητικών στοιχείων συμβάλλει τόσο στην αισθητική οργάνωση όσο και στη λειτουργική συμπεριφορά του χώρου.

Η ακουστική συμπεριφορά της όψης καθορίζεται από την παρουσία εκτεταμένων επιφανειών υαλοπινάκων που καλύπτονται από κουρτίνες, και συμπαγών δομικών στοιχείων, με πολύ χαμηλό συντελεστή ηχοαπορρόφησης, τα οποία λειτουργούν ως ισχυρά ανακλαστικά πεδία. Η αυξημένη αναλογία σκληρών και λείων επιφανειών οδηγεί σε ενίσχυση των πρώιμων και πολλαπλών ανακλάσεων. Η ενσωμάτωση διάτρητων απορροφητικών στοιχείων τύπου Knauf Cleaneo με πλήρωση πετροβάμβακα, καθώς επίσης και οι κουρτίνες συμβάλλουν στην αύξηση της ισοδύναμης ηχοαπορρόφησης και στη μερική απόσβεση της ανακλώμενης ηχητικής ενέργειας, βελτιώνοντας τη συνολική ακουστική απόδοση του χώρου.

Όψη Γ



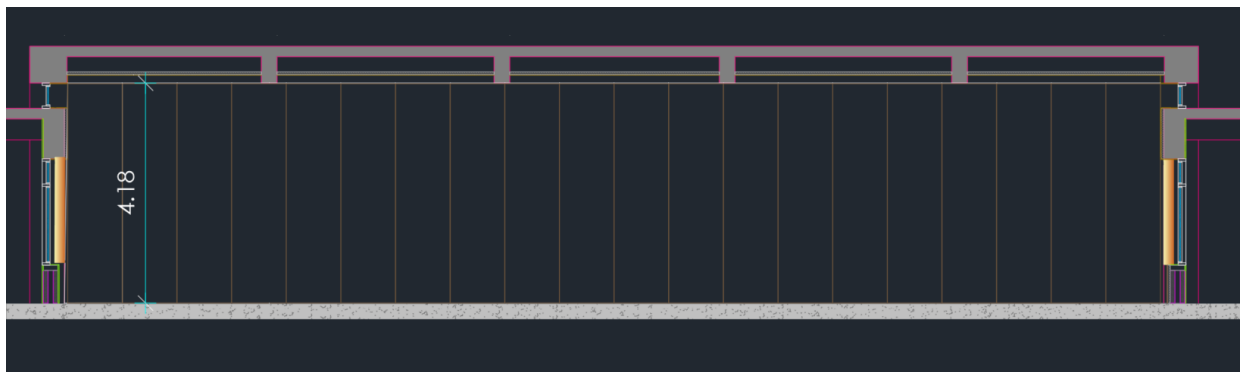
Σχέδιο 6: Η όψη Β στο μεγαλύτερο της μέρος με ηχοαπορροφητική διάταξη

ΟΨΗ Γ		
Περιγραφή	Υλικό	Επιφάνεια (m ²)
Χώρος σκηνής	Διάτρητη γυψοσανίδα KNAUF CLEANEO με πετροβάμβακα 5cm 40kgr/m ²	47,00
Χώρος θεατών	Διάτρητη γυψοσανίδα KNAUF CLEANEO με πετροβάμβακα 5cm 50kgr/m ²	30,00
	Laminate μετόπη σκηνής	9,00
	Κουφώματα, Ξύλινη θύρα	4,80

Το συντριπτικά μεγαλύτερο τμήμα της όψης καλύπτεται από σύστημα διάτρητης γυψοσανίδας τύπου Knauf Cleaneo, το οποίο συνοδεύεται από πλήρωση πετροβάμβακα πάχους 5 cm και πυκνότητας 50 kg/m³. Η επένδυση τοποθετείται σε μεταλλικό σκελετό και δημιουργεί εκτεταμένες συνεχείς επιφάνειες με ελεγχόμενη ακουστική συμπεριφορά, τόσο στον χώρο της σκηνής όσο και στον χώρο των θεατών. Στο τμήμα της σκηνής ενσωματώνεται μετόπη από laminate, η οποία διαφοροποιεί τα υλικά της όψης. Η επιφάνεια αυτή είναι σκληρή δημιουργώντας αντανάκλασες.

Η ακουστική συμπεριφορά της όψης Γ χαρακτηρίζεται από αυξημένη ικανότητα ηχοαπορρόφησης, λόγω της μεγάλης έκτασης των διάτρητων επενδύσεων με πετροβάμβακα. Οι επιφάνειες αυτές λειτουργούν ως πορώδη απορροφητικά στοιχεία, μειώνοντας την ανακλώμενη ηχητική ενέργεια και συμβάλλοντας στην εξομάλυνση του ηχητικού πεδίου. Σε αντίθεση με τις όψεις Α και Β, η περιορισμένη παρουσία σκληρών και λείων επιφανειών μειώνει την ένταση των πρώιμων ανακλάσεων και των φαινομένων αντήχησης. Η επιφάνεια της μετόπης και οι ξύλινες θύρες λειτουργούν συμπληρωματικά, προσθέτοντας τοπικά ανακλαστικά χαρακτηριστικά χωρίς να διαταράσσουν τη συνολική απορροφητική συμπεριφορά. Η διάταξη αυτή συμβάλλει στη βελτίωση της ακουστικής ποιότητας του χώρου, ιδιαίτερα ως προς τη σαφήνεια του λόγου και τον έλεγχο του χρόνου αντήχησης, καθιστώντας την όψη Γ κρίσιμο στοιχείο για την ακουστική ισορροπία της αίθουσας

Όψη Δ.



Σχέδιο 6: Η όψη Δ εξολοκλήρου με σκληρά υλικά με χαμηλό συντελεστή ηχοαπορρόφησης.

ΟΨΗ Δ		
Περιγραφή	Υλικό	Επιφάνεια
		(m ²)
Χώρος θεατών	Ξύλινη επένδυση με πάνελ από συνθετική ξυλεία	87,00

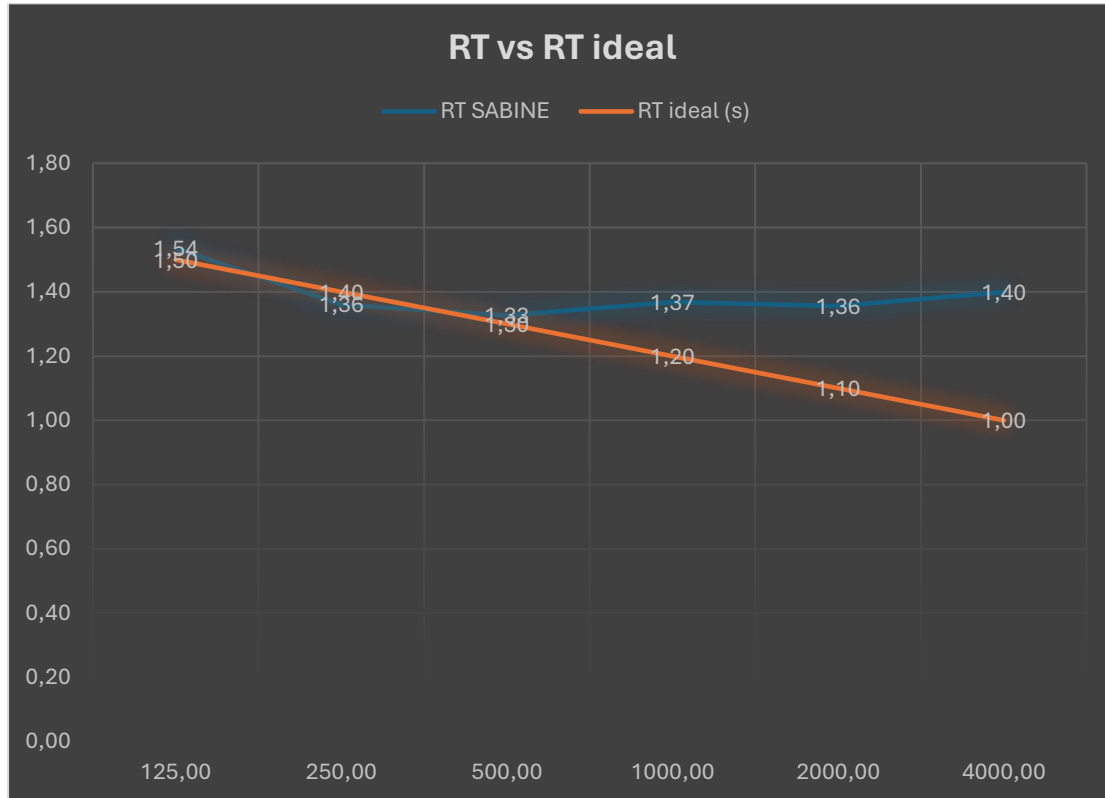
Η οψη Δ αποτελείται αποκλειστικά από πάνελ συνθετικής ξυλείας. Η επένδυση τοποθετείται πάνω σε μεταλλική υποδομής διαμορφώνοντας ένα συνεχές επίπεδο με αρμούς μεταξύ των επιμέρους στοιχείων. Η ακουστική συμπεριφορά της όψης Δ καθορίζεται κυρίως από την εκτεταμένη παρουσία των πάνελ συνθετικής ξυλείας, τα οποία, εφόσον είναι συμπαγή και χωρίς διάτρηση, παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή ηχοαπορρόφησης και λειτουργούν ως ανακλαστικές επιφάνειες. Η μεγάλη ενιαία επιφάνεια οδηγεί σε ανάπτυξη σημαντικών ανακλάσεων, ιδιαίτερα σε μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Σε αντίθεση με τις όψεις που φέρουν διάτρητα απορροφητικά συστήματα, η όψη Δ λειτουργεί κυρίως ως ανακλαστικό και δευτερευόντως διαχυτικό στοιχείο. Η παρουσία της συμβάλλει στη διατήρηση της ηχητικής ενέργειας στον χώρο, γεγονός που μπορεί να είναι επιθυμητό για την ενίσχυση της ακουστικής ζωντάνιας, αλλά απαιτεί συνδυασμό με επαρκείς απορροφητικές επιφάνειες στις υπόλοιπες όψεις για τον έλεγχο του χρόνου αντήχησης.

9.3 Συγκεντρωτικός πίνακας υπολογισμού

Με βάσει τα παραπάνω δεδομένα της αίθουσας, καταρτίζεται αναλυτικός πίνακας με την καταγραφή ανά περιοχή των υλικών, της επιφάνειας και των συντελεστών απορρόφησης ανά συχνότητα. Οι συντελεστές προκύπτουν από τον πίνακα 2.2 του

Περιοχή	Περιγραφή	Πίνακας 2.20	Επιφάνεια (m ²)	Συντελεστής ηχοαπορρόφησης						A Sabine					
				125	250	500	1000	2000	4000	125,00	250,00	500,00	1000,00	2000,00	4000,00
Δαπεδο	Δαπεδο laminate ξύλινο σκληρό	17	165	0,09	0,1	0,08	0,08	0,1	0,1	14,85	16,50	13,20	13,20	16,50	16,50
	Ξύλινο δάπεδο σκληρ. πανω από κενό	16	86	0,4	0,3	0,2	0,17	0,15	0,1	34,40	25,80	17,20	14,62	12,90	8,60
	Καθίσματα ξύλινα χωρίς επένδυση	119	134	0,05	0,1	0,1	0,12	0,12	0,12	6,70	10,72	13,40	16,08	16,08	16,08
Οροφή	BETON	5	118	0,01	0	0,02	0,02	0,02	0,03	1,18	1,18	2,36	2,36	2,36	3,54
	Διατρητή γυψοσανίδα 12,5 mm (ποσοστό κάλυψης 23%)	20	205	0,11	0,1	0,05	0,03	0,02	0,03	22,55	26,65	10,25	6,15	4,10	6,15
	Πετροβάμβακας εντός διατρητής ψευδοροφής Ποσοστό κάλυψης 77% σε απόσταση από οροφή	72	61	0,36	0,6	0,99	0,92	0,92	0,86	21,96	37,82	60,39	56,12	56,12	52,46
Οψη Α	Διατρητή γυψοσανίδα 12,5 mm (ποσοστό κάλυψης 23%)	20	24	0,11	0,1	0,05	0,03	0,02	0,03	2,64	3,12	1,20	0,72	0,48	0,72
	Πετροβάμβακας εντός διατρητής γυψοσανίδας Ποσοστό κάλυψης 77% χωρίς απόσταση από τοίχο	71	7,21	0,34	0,5	0,94	0,83	0,81	0,69	2,45	3,75	6,78	5,98	5,84	4,97
	Διπλή γυψοσανίδα με πετροβάμβακα	24	20,8	0,15	0,1	0,06	0,04	0,04	0,05	3,12	2,08	1,25	0,83	0,83	1,04
	Κουφώματα αλουμινίου με υαλοπίνακες		5,9	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,83	0,59	0,47	0,47	0,47	0,47
	Κουρτίνα	99	27,00	0,05	0,06	0,39	0,63	0,70	0,73	1,35	1,62	10,53	17,01	18,90	19,71
Οψη Β	Διατρητή γυψοσανίδα 12,5 mm (ποσοστό κάλυψης 23%)	20	24	0,11	0,1	0,05	0,03	0,02	0,03	2,64	3,12	1,20	0,72	0,48	0,72
	Πετροβάμβακας εντός διατρητής γυψοσανίδας Ποσοστό κάλυψης 77% χωρίς απόσταση από τοίχο	71	7,21	0,34	0,5	0,94	0,83	0,81	0,69	2,45	3,75	6,78	5,98	5,84	4,97
	Διπλή γυψοσανίδα με πετροβάμβακα	24	20,8	0,15	0,1	0,06	0,04	0,04	0,05	3,12	2,08	1,25	0,83	0,83	1,04
	Κουφώματα αλουμινίου με υαλοπίνακες		5,9	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,83	0,59	0,47	0,47	0,47	0,47
	Κουρτίνα	99	27,00	0,05	0,06	0,39	0,63	0,70	0,73	1,35	1,62	10,53	17,01	18,90	19,71
Οψη Γ	Διατρητή γυψοσανίδα 12,5 mm (ποσοστό κάλυψης 23%)	20	59	0,11	0,1	0,05	0,03	0,02	0,03	6,49	7,67	2,95	1,77	1,18	1,77
	Πετροβάμβακας εντός διατρητής γυψοσανίδας Ποσοστό κάλυψης 77% χωρίς απόσταση από τοίχο	71	18	0,34	0,5	0,94	0,83	0,81	0,69	6,12	9,36	16,92	14,94	14,58	12,42
	Ξύλινη επένδυση με κενό	54	9	0,27	0,3	0,1	0,06	0,06	0,06	2,43	2,25	0,90	0,54	0,54	0,54
	πορτα	40	4,80	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08	0,67	0,48	0,38	0,38	0,38	0,38
Οψη Δ	Mdf 12mm σε μεταλλικό σκελετό.	54	87	0,27	0,3	0,1	0,06	0,06	0,06	23,49	21,75	8,70	5,22	5,22	5,22
									A ΣΥΝΟΛΟ	161,62	182,50	187,11	181,42	183,01	177,50
									RT (s)	1,54	1,36	1,33	1,37	1,36	1,40
						1551,28			RT ideal (s)	1,50	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
						RT=0,16VA			RT1	0,96	1,02	0,70	0,89	0,93	0,92

Πίνακας 5: Συγκεντρωτικός πίνακας υλικών με τον τύπο του SABINE.



Διάγραμμα 1: Σύγκριση υπολογισμένου με τον τύπο του Sabine RT και RT ιδανικού για χρήση μουσικής σκηνής

Το γράφημα παρουσιάζει τη σύγκριση μεταξύ των μετρούμενων τιμών του χρόνου αντήχησης (RT) και των αντίστοιχων ιδανικών τιμών για μικρή μουσική σκηνή, ως συνάρτηση της συχνότητας. Η σύγκριση μεταξύ του υπολογισμένου χρόνου αντήχησης βάσει Sabine και του ιδανικού στόχου δείχνει ότι ο χώρος παρουσιάζει πολύ καλή συμφωνία στις χαμηλές και μεσαίες συχνότητες, ωστόσο εμφανίζει σημαντική υπέρβαση στις υψηλές, άνω των 1000 Hz. Η απόκλιση αυτή υποδηλώνει αυξημένη παραμονή της ηχητικής ενέργειας στις υψηλές συχνότητες, γεγονός που οδηγεί σε μείωση της ευκρίνειας και των μουσικών τόνων. Συνεπώς, απαιτείται στοχευμένη ενίσχυση της απορρόφησης στην περιοχή των μεσαίων-υψηλών συχνοτήτων, προκειμένου να επιτευχθεί ισορροπημένη ακουστική απόκριση σύμφωνα με τις απαιτήσεις για αίθουσες μικρών μουσικών συνόλων.

Στόχος για την συγκεκριμένη αίθουσα είναι να λειτουργεί, κυρίως ως μικρή μουσική σκηνή με δυνατότητα φιλοξενίας θεατρικών παραστάσεων, ο προτεινόμενος χρόνος

αντήχησης τοποθετείται σε μια ενδιάμεση περιοχή μεταξύ τυπικών τιμών για θέατρο λόγου και μικρές μουσικές αίθουσες. Στις μεσαίες συχνότητες (500–1000 Hz) ο στόχος μπορεί να οριστεί περίπου στα 1,1–1,3s ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής «πληρότητα» και φωνητική στήριξη για μουσική, χωρίς να θυσιάζεται η καταληπτότητα του λόγου. Στις χαμηλότερες οκτάβες (125–250 Hz) επιδιώκεται ελαφρώς υψηλότερος RT, της τάξης των 1,3–1,5s για να διατηρείται ένα πιο πλούσιο φασματικό μουσικό πεδίο, ενώ προς τις υψηλές συχνότητες (2000–4000 Hz) ο RT μπορεί να μειώνεται σταδιακά σε τιμές 0,8–1,1s ώστε να ενισχύεται η καθαρότητα της ομιλίας και η ευκρίνεια των λεπτομερειών του ήχου. Με αυτήν την κατανομή, ο χώρος αποκτά έναν ακουστικό χαρακτήρα, ο οποίος είναι δυνατό να υποστηρίξει τόσο μουσικά δρώμενα όσο και θεατρικές εκδηλώσεις με ικανοποιητική ποιότητα λόγου

10. Μέτρηση Χρόνου Αντήχησης.

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, ο χρόνος αντήχησης (RT) της αίθουσας προσδιορίστηκε αρχικά μέσω θεωρητικών υπολογισμών, οι οποίοι βασίστηκαν στη γεωμετρία του χώρου και στις ακουστικές ιδιότητες των δομικών στοιχείων που τον συνθέτουν. Η διαδικασία υλοποιήθηκε με εφαρμογή της εξίσωσης του Sabine και με επιμέρους υπολογισμό της συνολικής ηχοαπορρόφησης των επιφανειών, όπως το δάπεδο laminate, οι θέσεις θεατών χωρίς πρόσθετη επένδυση, οι επιφάνειες σκυροδέματος, τα υαλοστάσια, καθώς και οι διατηρητές γυψοσανίδες με πλήρωση πετροβάμβακα, για διαφορετικές ζώνες συχνότητων. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών αποτυπώνουν τη θεωρητική ακουστική συμπεριφορά της αίθουσας ως προς τον χρόνο αντήχησης και αποτελούν βασικό κριτήριο αξιολόγησης της καταλληλότητάς της για θεατρική χρήση.

Ωστόσο, ο θεωρητικός υπολογισμός προσεγγίζει τη συμπεριφορά του χώρου υπό ιδανικές συνθήκες και με χρήση τυποποιημένων συντελεστών ηχοαπορρόφησης, οι οποίοι δεν μπορούν να ενσωματώσουν πλήρως όλες τις κατασκευαστικές, γεωμετρικές και λειτουργικές παραμέτρους της πραγματικής αίθουσας. Στην εξεταζόμενη περίπτωση, ο χώρος χαρακτηρίζεται από σύνθετη μορφολογία, εναλλαγές υλικών και συνύπαρξη έντονα ανακλαστικών επιφανειών, όπως το laminate, οι κουρτίνες και οι ξύλινες επενδύσεις, με στοιχεία και διατάξεις ηχομείωσης. Επιπλέον, η γεωμετρία της οροφής, τα φατνώματα με τις ακμές τους και τα επιμέρους ελεύθερα ηλεκτρομηχανολογικά στοιχεία επηρεάζουν ουσιαστικά τη διάδοση και την ανάκλαση του ήχου, δημιουργώντας φαινόμενα που δεν αποτυπώνονται επαρκώς με εφαρμογή υπολογιστικών δεδομένων.

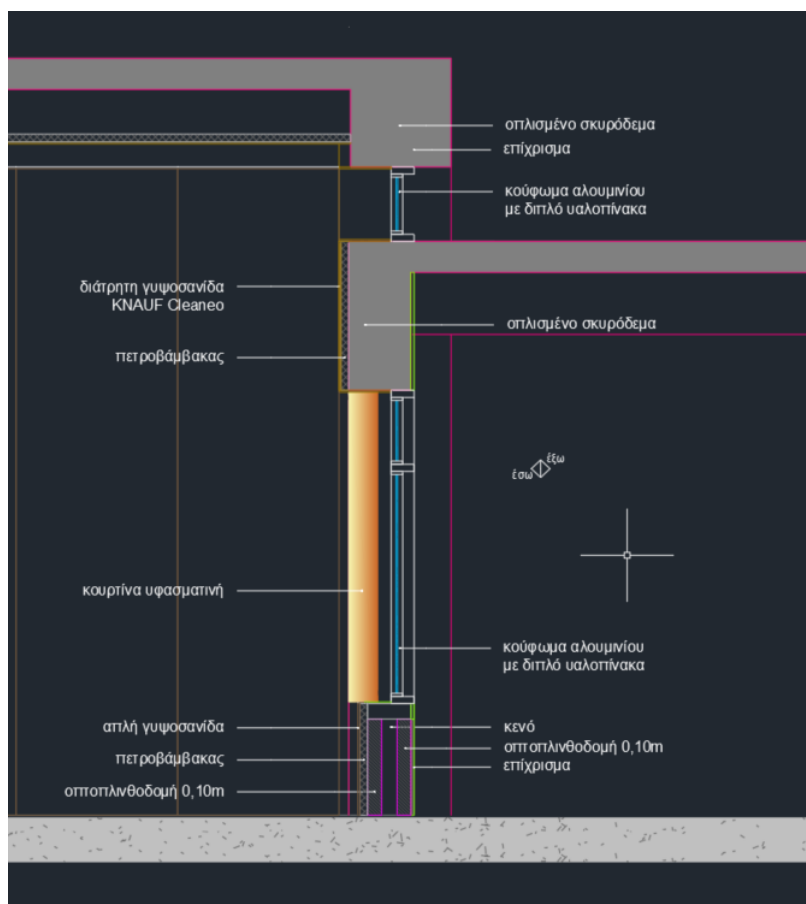
Κατά συνέπεια, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τους υπολογισμούς του RT πρέπει να αντιμετωπίζονται ως αξιόπιστη αλλά κατά προσέγγιση, η οποία απαιτεί επιβεβαίωση σε πραγματικές συνθήκες. Ως εκ τούτου, η επιτόπια μέτρηση του χρόνου αντήχησης καθίσταται, αναγκαία, προκειμένου να ελεγχθεί η εγκυρότητα των θεωρητικών υπολογισμών και να αποτυπωθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η πραγματική ακουστική συμπεριφορά του χώρου. Μέσω των μετρήσεων πεδίου καθίσταται δυνατή η σύγκριση των υπολογισμένων τιμών με τις πραγματικές, καθώς και ο εντοπισμός

αποκλίσεων που ενδέχεται να οφείλονται είτε σε κατασκευαστικές ιδιαιτερότητες και τη γήρανση ή φθορά των υλικών, είτε στη λειτουργική κατάσταση της αίθουσας με την ενσωμάτωση σε αυτή διαφορετικών ηλεκτρομηχανολογικών στοιχείων όπως για παράδειγμα μεταλλικές σχάρες οροφής για την διέλευση και στερέωση καλωδίων και φωτιστικών.

Παράλληλα, οι επιτόπιες μετρήσεις δεν περιορίζονται μόνο στην επιβεβαίωση του θεωρητικού RT, αλλά συμβάλλουν και στη συνολική αξιολόγηση της ακουστικής ποιότητας του χώρου, όπως στην εκτίμηση της ομοιομορφίας του ηχητικού πεδίου και της σαφήνειας του λόγου, στοιχεία ιδιαίτερος κρίσιμα για τη λειτουργία του χώρου. Υπό αυτή την έννοια, η in-situ μετρήσεις αποτελούν συμπλήρωμα της θεωρητικής ανάλυσης, διασφαλίζοντας ότι τα συμπεράσματα της μελέτης ανταποκρίνονται στις πραγματικές συνθήκες του χώρου και μπορούν να υποστηρίξουν τεκμηριωμένα τις προτεινόμενες ακουστικές διορθώσεις.

10.1 Περιβαλλοντικός θόρυβος και συνθήκες μέτρησης

Πριν από την πραγματοποίηση των μετρήσεων του χρόνου αντήχησης, κρίθηκε απαραίτητος ο προσδιορισμός του περιβαλλοντικού θορύβου που διεισδύει μέσω του κελύφους του κτιρίου, καθώς ο θόρυβος υποβάθρου επηρεάζει άμεσα τη σχέση σήματος προς θόρυβο και μπορεί να αλλοιώσει την καταγραφή της ηχητικής απόσβεσης, ιδίως στο τελικό της στάδιο. Για τον λόγο αυτό, η αξιολόγηση της ηχοπροστατευτικής ικανότητας του κελύφους θεωρήθηκε βασική προϋπόθεση για την ορθή ερμηνεία και αξιοπιστία των μετρήσεων RT.



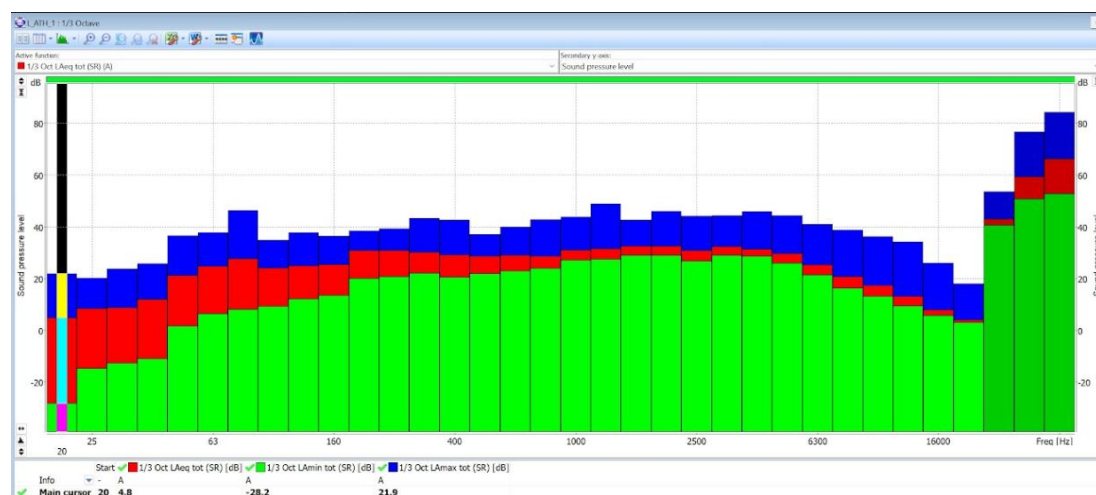
Σχέδιο 2: Αποτύπωση της διάταξης του κελύφους



Στο πλαίσιο αυτό πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με ηχόμετρο τύπου Svantek SVAN 977, με στόχο τον προσδιορισμό των επιπέδων περιβαλλοντικού θορύβου και την εκτίμηση της ηχομονωτικής συμπεριφοράς του κελύφους. Σε πρώτο στάδιο καταγράφηκε ο εξωτερικός θόρυβος στον περιβάλλοντα χώρο, για χρονική διάρκεια πέντε λεπτών, και εκφράστηκε ως ισοδύναμη συνεχής στάθμη ηχητικής πίεσης LAeq. Ακολούθως, πραγματοποιήθηκε μέτρηση στον εσωτερικό χώρο της αίθουσας, σε θέση που απείχε περίπου 1,2 m από το κέλυφος, ώστε να περιοριστούν τοπικές επιδράσεις από την άμεση γειτνίαση με τις επιφάνειες.



Εικόνα 2: Φασματικό διαγράμμα στάθμης ηχητικής πίεσης στον Περιβάλλοντα χώρο.



Εικόνα 3: Φασματικό διάγραμμα στάθμης εσωτερικά κοντά στο κέλυφος.

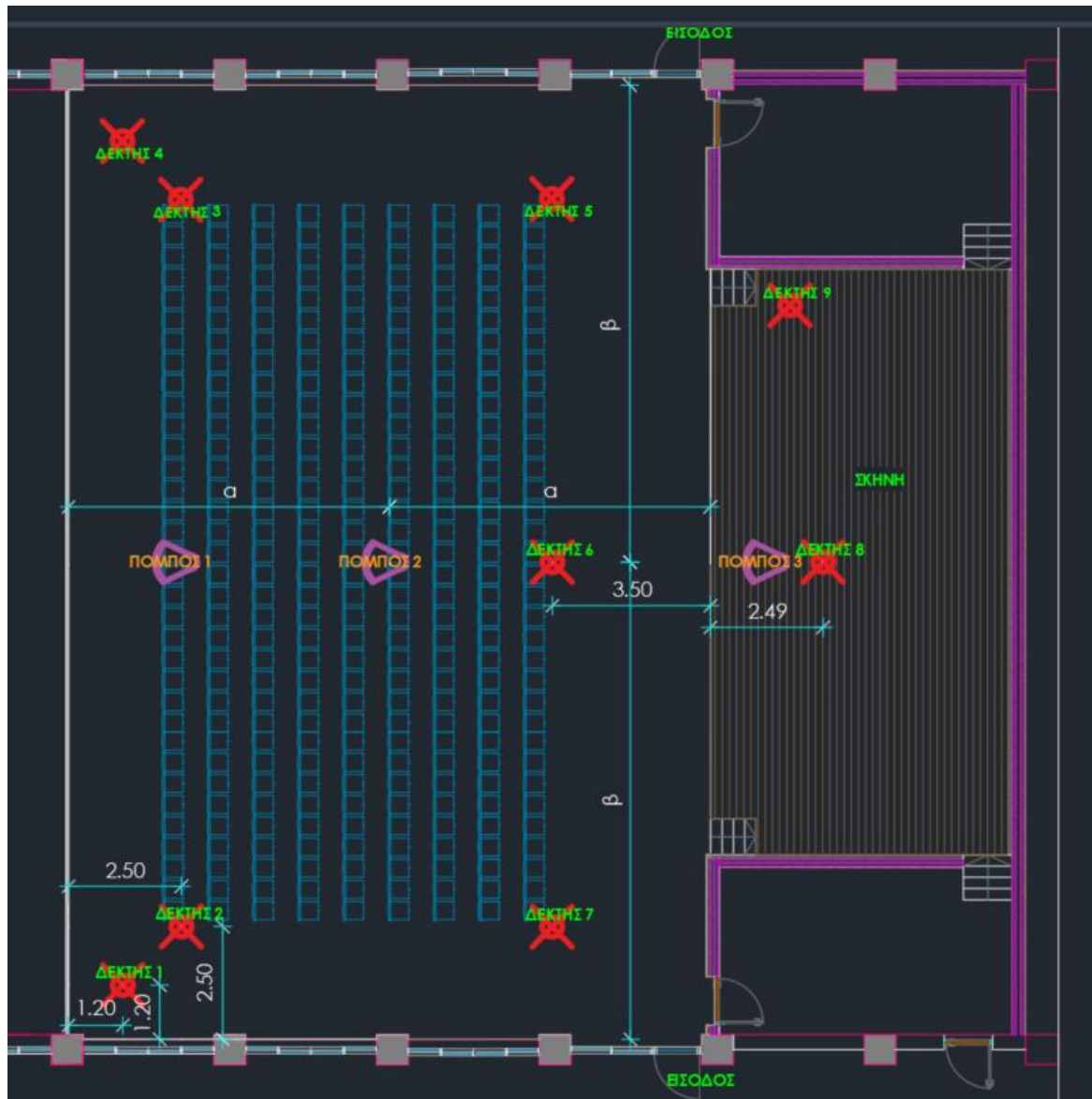
Η σύγκριση των δύο φασματικών διαγραμμάτων στάθμης ηχητικής πίεσης δείχνει ότι η ισοδύναμη συνεχής στάθμη θορύβου στον εξωτερικό χώρο ανέρχεται περίπου σε 50–55 dB(A) (L_{Aeq}), ενώ στο εσωτερικό του χώρου, σε απόσταση περίπου 1,20 m από το κέλυφος, μειώνεται σε περίπου 40 dB(A). Η διαφορά αυτή αντιστοιχεί σε μια συνολική ηχομείωση της τάξης των 10–15 dB(A), επιβεβαιώνοντας τη λειτουργία του κελύφους ως φράγμα στη διάδοση του ήχου.

Ωστόσο, από την τιμή αυτή προκύπτει ότι η ηχομονωτική ικανότητα του κελύφους μπορεί να χαρακτηριστεί μέτρια, καθώς η εξασθένηση που επιτυγχάνεται δεν επαρκεί για την επίτευξη χαμηλών επιπέδων θορύβου υποβάθρου που απαιτούνται σε χώρους υψηλών ακουστικών απαιτήσεων, όπως θέατρα ή αίθουσες μουσικών εκδηλώσεων. Η περιορισμένη ηχομείωση, ιδιαίτερα στις χαμηλές συχνότητες, επιτρέπει τη διείσδυση σημαντικού τμήματος του εξωτερικού θορύβου στον εσωτερικό χώρο.

Επιπλέον, η διατήρηση του φασματικού χαρακτήρα του θορύβου μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού υποδηλώνει ότι το κέλυφος δεν λειτουργεί επιλεκτικά ως προς τις συχνότητες, αλλά κυρίως μειώνει ομοιόμορφα τη στάθμη, χωρίς ουσιαστική τροποποίηση της φασματικής κατανομής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο εσωτερικός θόρυβος να παραμένει αντιληπτός και ενδέχεται να επηρεάζει αρνητικά την ακουστική άνεση.

Συνολικά, το κέλυφος παρουσιάζει επαρκή αλλά όχι βέλτιστη ηχοπροστατευτική συμπεριφορά, γεγονός που υποδεικνύει τη δυνατότητα περαιτέρω βελτίωσης, ιδίως σε περιπτώσεις όπου απαιτείται υψηλή ποιότητα ακουστικού περιβάλλοντος.

10.2 Διάταξη και μεθοδολογία μετρήσεων χρόνου αντήχησης



Σχέδιο 3: Διάταξη πομπών και δεκτών στον χώρο

Για την επιτόπια διερεύνηση του χρόνου αντήχησης της αίθουσας υιοθετήθηκε πειραματική διάταξη πολλαπλών θέσεων πομπού και δέκτη, με στόχο την όσο το δυνατόν πληρέστερη και αντιπροσωπευτικότερη αποτύπωση της χωρικής μεταβολής του ακουστικού πεδίου. Συνολικά ορίστηκαν εννέα (9) θέσεις δέκτη και τρεις (3) θέσεις πομπού, με αποτέλεσμα την πραγματοποίηση είκοσι επτά (27) επιμέρους μετρήσεων.

Η κατανομή των θέσεων των δεκτών πραγματοποιήθηκε τόσο στον χώρο των θεατών όσο και στη σκηνή, με στόχο την όσο το δυνατόν πληρέστερη αξιολόγηση της

ακουστικής συμπεριφοράς της αίθουσας σε αντιπροσωπευτικά σημεία ακρόασης. Η επιλογή των θέσεων βασίστηκε στην ανάγκη καταγραφής της χωρικής μεταβολής του ηχητικού πεδίου, λαμβάνοντας υπόψη τη γεωμετρία του χώρου, τη διάταξη των επιφανειών και τη διαφοροποίηση των ακουστικών συνθηκών μεταξύ κεντρικών και περιμετρικών περιοχών.

Ειδικότερα, οι θέσεις 1 έως 4 τοποθετήθηκαν πλησίον του κελύφους και στα άκρα της αίθουσας, προκειμένου να διερευνηθεί η ακουστική απόκριση σε περιοχές όπου η επίδραση των περιμετρικών επιφανειών, των πρώιμων ανακλάσεων και των πιθανών συγκεντρώσεων ηχητικής ενέργειας αναμένεται να είναι εντονότερη. Οι θέσεις αυτές



επιτρέπουν την αποτύπωση φαινομένων που σχετίζονται με την εγγύτητα στο κέλυφος και την αλληλεπίδραση του άμεσου και ανακλώμενου ήχου.

Οι θέσεις 2, 3 και 6 οργανώθηκαν σε τριγωνική διάταξη στον κύριο χώρο των θεατών, με σκοπό την αντιπροσωπευτική καταγραφή της συμπεριφοράς του ηχητικού πεδίου στη βασική ζώνη ακρόασης, όπου αναμένεται να συγκεντρώνεται το μεγαλύτερο μέρος του κοινού. Η διάταξη αυτή επιτρέπει την αξιολόγηση της ομοιομορφίας του χρόνου αντήχησης και της ακουστικής ισορροπίας στον κεντρικό όγκο της αίθουσας.

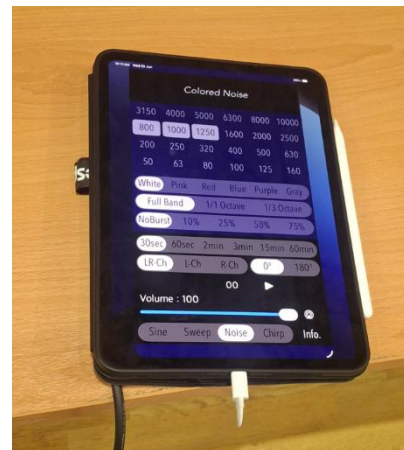
Παράλληλα, οι θέσεις 5 και 7 τοποθετήθηκαν σε ακραία σημεία του ακροατηρίου, ώστε να διερευνηθούν ενδεχόμενες αποκλίσεις της ακουστικής συμπεριφοράς σε περιοχές που συχνά εμφανίζουν διαφοροποιήσεις λόγω γεωμετρικών ασυμμετριών ή διαφορών στη σχέση άμεσου και ανακλώμενου ήχου. Τέλος, η θέση 8 στο κέντρο της σκηνής και η θέση 9 στη σκηνή, πλησίον της υφιστάμενης ηχοαπορροφητικής διάταξης, επιλέχθηκαν προκειμένου να αξιολογηθεί η ακουστική συμπεριφορά της σκηνικής

περιοχής και να διερευνηθεί η τοπική επίδραση των ακουστικών παρεμβάσεων στο μετρούμενο χρόνο αντήχησης.



Η συγκεκριμένη διάταξη των δεκτών επιτρέπει όχι μόνο την εξαγωγή αντιπροσωπευτικών μέσων τιμών του RT, αλλά και τη συστηματική διερεύνηση πιθανών χωρικών ανομοιομορφιών του ακουστικού πεδίου, συμβάλλοντας σε μια ολοκληρωμένη και τεκμηριωμένη αξιολόγηση της ακουστικής συμπεριφοράς της αίθουσας. Ως δέκτης χρησιμοποιήθηκε φορητό καταγραφικό σύστημα με ενσωματωμένο

μικρόφωνο **Tascam DR-40**, τοποθετημένο σε σταθερό ύψος ακρόασης,



ενώ ως πομπός χρησιμοποιήθηκε ηχείο εκπομπής στάθμης περίπου **90 dB**, το οποίο ενεργοποιήθηκε διαδοχικά στις επιλεγμένες θέσεις. Για κάθε συνδυασμό πομπού-δέκτη πραγματοποιήθηκε ριπή ήχου διάρκειας περίπου 5 s και καταγραφή αυτής.

επαρκής για την καταγραφή της απόκρισης του χώρου και τον υπολογισμό του χρόνου αντήχησης από την καμπύλη απόσβεσης. Η εξαγωγή και επεξεργασία των αρχείων

*wav έγινε με το πρόγραμμα **dBBA132 (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1)**

Η χρήση πολλαπλών θέσεων πομπού και δέκτη ευθυγραμμίζεται με τη διεθνή πρακτική μετρήσεων RT σε αίθουσες, καθώς επιτρέπει την εξαγωγή



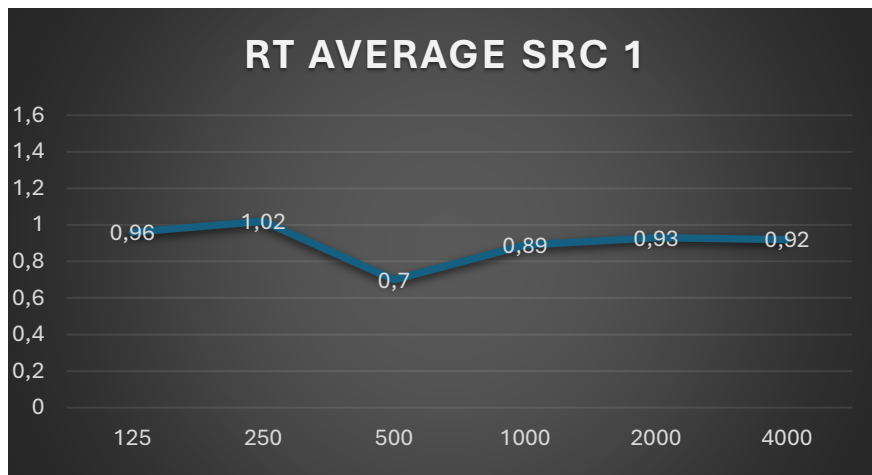
Εικόνα 4: Φασματικό διάγραμμα ήχου του πομπού για τις τρεις διαφορετικές θέσεις

αντιπροσωπευτικών μέσων τιμών, αλλά και τη διερεύνηση πιθανών χωρικών ανομοιομορφιών του ακουστικού πεδίου. Με τον τρόπο είναι δυνατή τόσο η συνολική αξιολόγηση της ακουστικής συμπεριφοράς της αίθουσας όσο και η συσχέτιση των μετρούμενων τιμών με τη γεωμετρία, τα υλικά και τη λειτουργική διάταξη του χώρου.

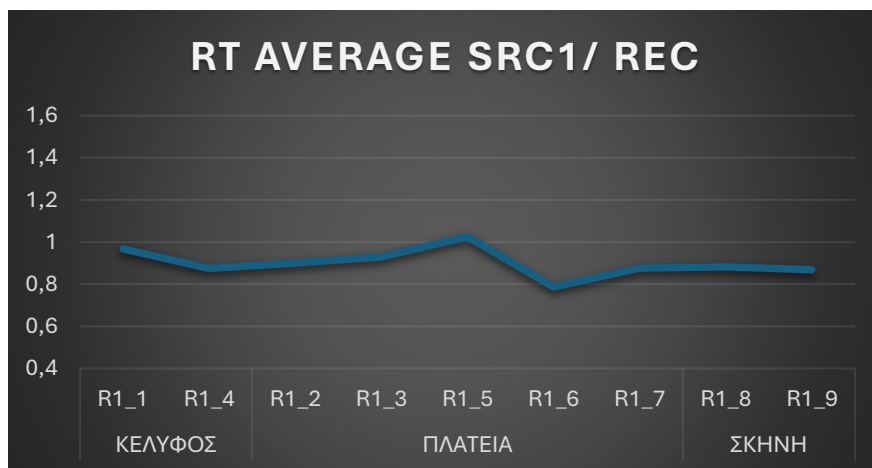
RT για την θέση Πομπού 1.

ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (RT) ΘΕΣΗ ΠΟΜΠΟΥ 1										
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ (Hz)	ΘΕΣΕΙΣ ΔΕΚΤΗ									AVERAGE (s)
	R1_1 (s)	R1_2 (s)	R1_3 (s)	R1_4 (s)	R1_5 (s)	R1_6 (s)	R1_7 (s)	R1_8 (s)	R1_9 (s)	
125,00	01.03	0.99	1.13	0.90	0.89	0.60	1.21	0.81	01.05	0.96
250,00	1.29	0.91	1.12	0.92	1.74	0.74	0.71	01.05	0.67	1.02
500,00	0.70	0.65	0.71	0.68	0.77	0.69	0.65	0.71	0.72	0.70
1000,00	0.93	0.97	0.81	0.91	0.90	0.86	0.85	0.89	0.88	0.89
2000,00	0.92	0.94	0.91	0.92	0.96	0.93	0.94	0.94	0.92	0.93
4000,00	0.93	0.94	0.90	0.92	0.89	0.90	0.90	0.89	0.97	0.92

Πίνακας 6: RT για την θέση πομπού 1 και άνα θέση δέκτη



Διάγραμμα 2: Μέσος RT ανά συχνότητα για τον πομπο 1

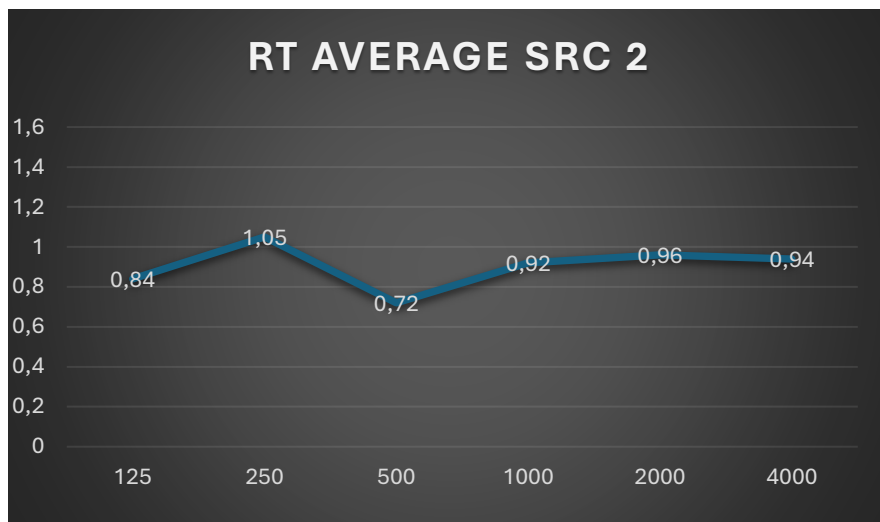
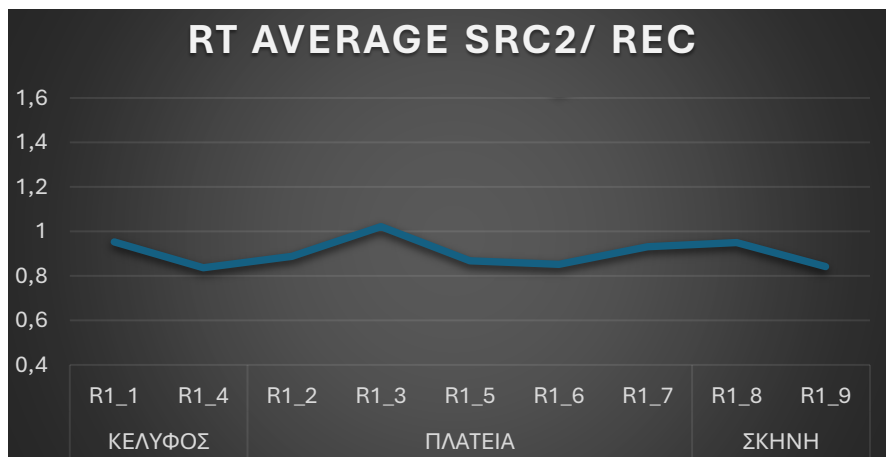


Διάγραμμα 3: Μέσος RT για τον πομπό 1 ανά θέση και περιοχή δέκτη.

Η ανάλυση των διαγραμμάτων για τη θέση πομπού 1 δείχνει ότι ο μέσος χρόνος αντήχησης κυμαίνεται περίπου στα 0,9 s. Η κατανομή στο φάσμα των συχνοτήτων είναι ομαλή, με ελαφρώς αυξημένες τιμές στις χαμηλές συχνότητες και μια πιο έντονη μείωση στα 500 Hz ($\approx 0,70$ s), ένδειξη τοπικά αυξημένης απορρόφησης χωρίς σημαντική επίδραση στη συνολική ισορροπία. Η χωρική κατανομή παρουσιάζει περιορισμένη διακύμανση ($\approx 0,78$ – $1,02$ s), γεγονός που υποδηλώνει ικανοποιητική ομοιομορφία του ηχητικού πεδίου. Ωστόσο, σε σχέση με τις απαιτήσεις της μουσικής δωματίου, οι τιμές αυτές κρίνονται χαμηλές, καθώς υπολείπονται του επιθυμητού εύρους ($\approx 1,2$ – $1,6$ s). Ως αποτέλεσμα, ο χώρος τείνει να εμφανίζει περιορισμένη ακουστική στήριξη και μειωμένη ανάπτυξη του ήχου, με πιο «ξηρό» χαρακτήρα από τον επιθυμητό για μουσικές εφαρμογές. **(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1: ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ)**

RT για την θέση Πομπού 2.

ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (RT) ΘΕΣΗ ΠΟΜΠΟΥ 2										
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ (Hz)	ΘΕΣΕΙΣ ΔΕΚΤΗ									AVERAGE (s)
	ΚΕΛΥΦΟΣ		ΠΛΑΤΕΙΑ					ΣΚΗΝΗ		
	R1_1 (s)	R1_4 (s)	R1_2 (s)	R1_3 (s)	R1_5 (s)	R1_6 (s)	R1_7 (s)	R1_8 (s)	R1_9 (s)	
125,00	0,91	0,53	0,95	1,27	0,56	0,65	1,01	0,81	0,84	0,84
250,00	1,14	0,90	0,99	1,26	1,15	0,88	1,06	1,40	0,70	1,05
500,00	0,83	0,84	0,66	0,76	0,74	0,74	0,63	0,56	0,68	0,72
1000,00	0,93	0,89	0,91	0,92	0,81	0,96	0,97	0,98	0,92	0,92
2000,00	0,95	0,95	0,89	0,99	0,97	0,96	0,94	0,99	0,97	0,96
4000,00	0,96	0,91	0,93	0,93	0,98	0,92	0,98	0,96	0,94	0,94
AVERAGE	0,95	0,84	0,89	1,02	0,87	0,85	0,93	0,95	0,84	0,91

Πίνακας 7: RT για την θέση πομπού 2 ανά θέση δέκτη

Διάγραμμα 3: Μέσος RT ανά συχνότητα για τον πομπο 2


Για τη θέση πομπού 2, ο μέσος χρόνος αντήχησης παραμένει κοντά στα 0,9 s, ενώ η φασματική κατανομή εμφανίζει αντίστοιχη συμπεριφορά, με ελαφρά ενίσχυση στις χαμηλές συχνότητες και χαρακτηριστική πτώση στα 500 Hz. Η κύρια διαφοροποίηση εντοπίζεται στη χωρική κατανομή, όπου παρατηρείται μεγαλύτερη διασπορά τιμών στην περιοχή της πλατείας, σε αντίθεση με το κέλυφος και τη σκηνή που εμφανίζουν πιο συνεκτική συμπεριφορά.

Παρά την αποδεκτή συνολική εικόνα, η κύρια αδυναμία δεν αφορά μόνο την τοπική ανομοιομορφία αλλά και το χαμηλό επίπεδο του RT για μουσική χρήση. Η περιορισμένη αντήχηση μειώνει την αίσθηση συνοχής και την πληρότητα του

Διάγραμμα 4: Μέσος RT για τον πομπό 2 ανά θέση και περιοχή δέκτη.

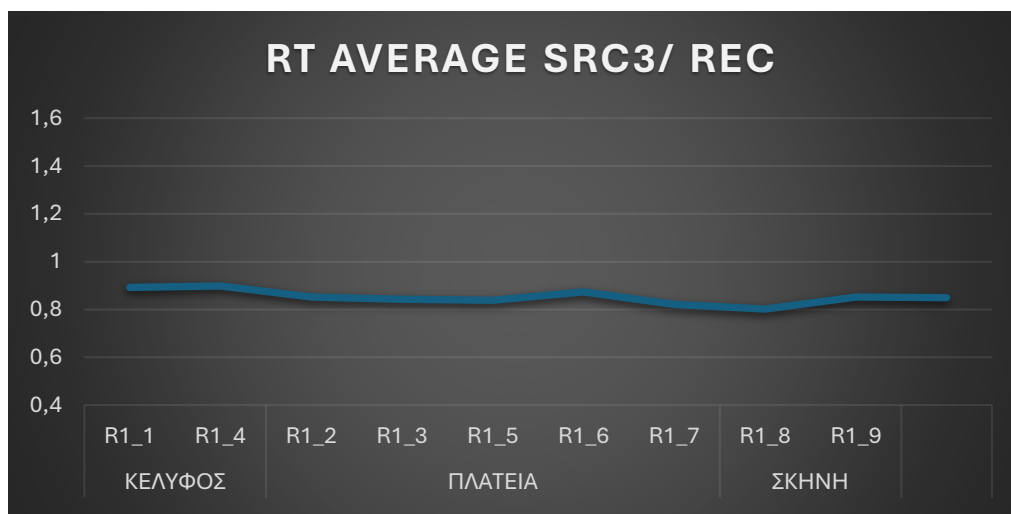
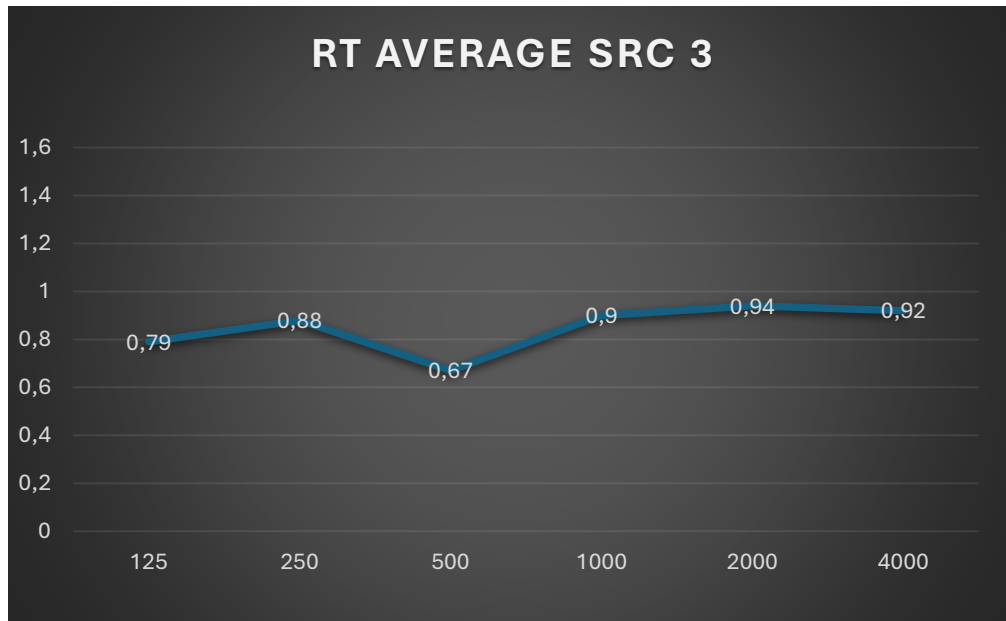
ηχητικού πεδίου, υποδεικνύοντας την ανάγκη αύξησης του χρόνου αντήχησης, ιδίως στις μεσαίες συχνότητες.

RT για την θέση Πομπού 3.

ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (RT) ΘΕΣΗ ΠΟΜΠΟΥ 3										
ΣΥΧΝΟΤΗ ΤΕΣ (Hz)	ΘΕΣΕΙΣ ΔΕΚΤΗ									ΑVERAGE (s)
	ΚΕΛΥΦΟΣ		ΠΛΑΤΕΙΑ					ΣΚΗΝΗ		
	R1_1 (s)	R1_4 (s)	R1_2 (s)	R1_3 (s)	R1_5 (s)	R1_6 (s)	R1_7 (s)	R1_8 (s)	R1_9 (s)	
125,00	1,00	1,04	0,82	0,73	0,75	0,72	0,66	0,68	0,75	0,79
250,00	0,91	0,86	0,88	0,93	0,83	0,89	0,90	0,70	1,02	0,88
500,00	0,68	0,74	0,66	0,74	0,71	0,70	0,65	0,68	0,50	0,67
1000,00	0,90	0,93	0,89	0,87	0,88	0,98	0,85	0,86	0,96	0,90
2000,00	0,93	0,93	0,97	0,89	0,93	0,98	0,96	0,93	0,97	0,94
4000,00	0,93	0,89	0,89	0,90	0,93	0,97	0,91	0,96	0,91	0,92
AVERAGE	0,89	0,90	0,85	0,84	0,84	0,87	0,82	0,80	0,85	0,85

Πίνακας 8: RT για την θέση πομπού 3 ανά θέση δέκτη

Η θέση πομπού 3 παρουσιάζει ελαφρώς χαμηλότερες τιμές RT ($\approx 0,85-0,90$ s), γεγονός που υποδηλώνει αυξημένη απορρόφηση σε σχέση με τις άλλες θέσεις. Η φασματική

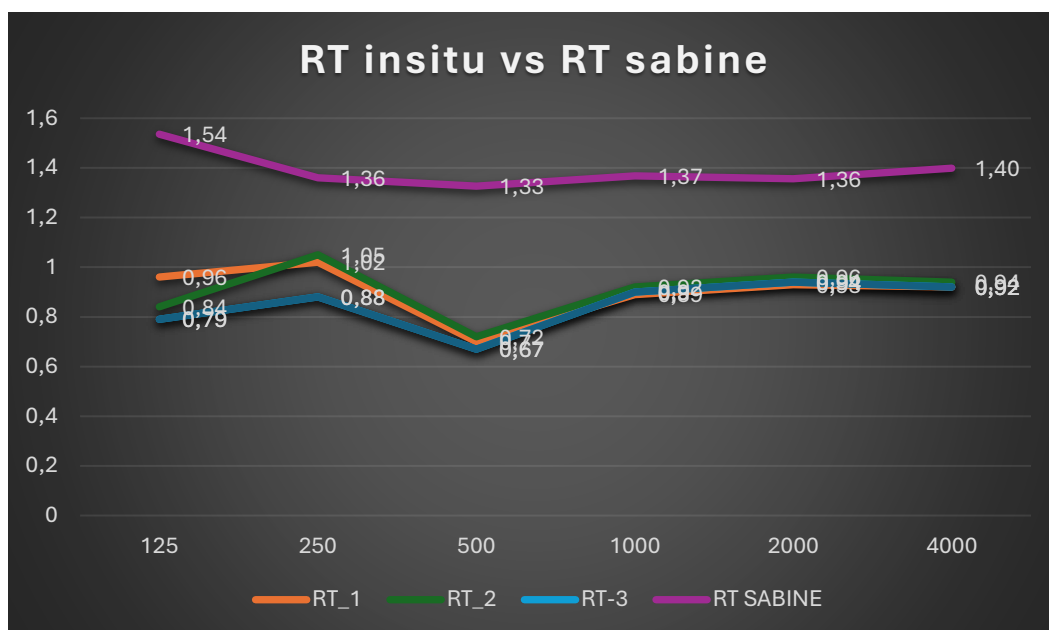


κατανομή παραμένει ομαλή, με χαρακτηριστική μείωση στην περιοχή των 500 Hz και σταθεροποίηση στις υψηλότερες συχνότητες, ενώ η χωρική κατανομή εμφανίζει καλή συνοχή, υποδεικνύοντας ομοιογενές ηχητικό πεδίο.

Παρά τη συνολικά ελεγχόμενη συμπεριφορά, ο χώρος αποκτά πιο «ξηρό» ακουστικό χαρακτήρα, με περιορισμένη ανάπτυξη του ήχου και μειωμένη ακουστική στήριξη. Οι τιμές αυτές κρίνονται επαρκείς για χρήση λόγου ή θεάτρου, ωστόσο υπολείπονται των απαιτήσεων για μουσική δωματίου, όπου απαιτείται μεγαλύτερη διάρκεια αντήχησης για την απόδοση της ηχητικής πληρότητας και των αρμονικών.

Επιπροσθέτως, η θέση πομπού στο κέντρο της σκηνής θεωρείται ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς προσομοιώνει την κύρια πηγή ήχου κατά τη μουσική εκτέλεση και αντιπροσωπεύει την πιο ρεαλιστική συνθήκη διάδοσης προς το σύνολο της αίθουσας. Ως εκ τούτου, τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη συγκεκριμένη θέση έχουν αυξημένη βαρύτητα για την αξιολόγηση και τον σχεδιασμό της ακουστικής απόκρισης του χώρου.

Συμπεράσματα από τις μετρήσεις σε σχέση με το RT sabine

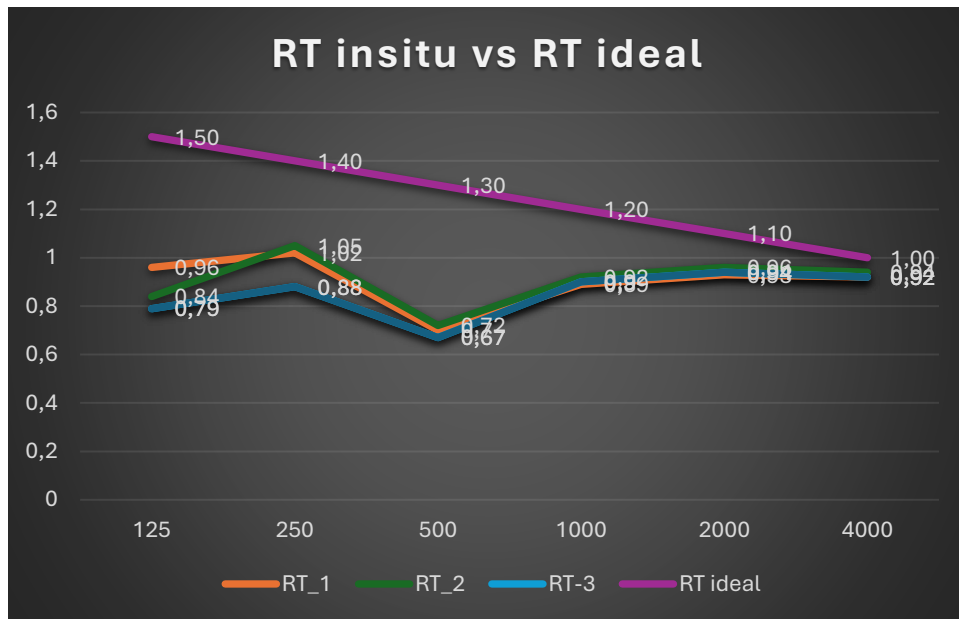


Η σύγκριση των επιτόπιων μετρήσεων με τον θεωρητικό υπολογισμό κατά Sabine αναδεικνύει απόκλιση, με τον θεωρητικό χρόνο αντήχησης να υπερεκτιμάται σε ολόκληρο το φάσμα των συχνοτήτων. Ιδιαίτερη σημασία έχει η υψηλή σταθερότητα των μετρήσεων στις διαφορετικές θέσεις πομπού, γεγονός που ενισχύει την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων των μετρήσεων. Η σταθερότητα αυτή επιβεβαιώνει ότι η παρατηρούμενη απόκλιση αποτελεί ενσωματωμένο χαρακτηριστικό της ακουστικής συμπεριφοράς του χώρου και όχι αποτέλεσμα τοπικών ή τυχαίων διακυμάνσεων.

Ιδιαίτερα έντονη είναι η διαφοροποίηση στις χαμηλές και μεσαίες συχνότητες, καθώς και η χαρακτηριστική πτώση στην περιοχή των 500 Hz, η οποία υποδηλώνει την ύπαρξη επιλεκτικά αυξημένης απορρόφησης ή φαινομένων που σχετίζονται με τη γεωμετρία και τη μη ιδανική διάχυση του ηχητικού πεδίου.

Τα ευρήματα αυτά καταδεικνύουν τους περιορισμούς της εφαρμογής του τύπου Sabine σε πραγματικές συνθήκες και αναδεικνύουν την ανάγκη συνδυαστικής χρήσης επιτόπιων μετρήσεων και εργαλείων προσωμοίωσης για την αξιόπιστη εκτίμηση και βελτιστοποίηση της ακουστικής συμπεριφοράς του χώρου

Συμπεράσματα από τις μετρήσεις σε σχέση με το RT IDEAL



Διάγραμμα 5: Συγκριση RT μετρήσεων με τον RT ιδανικό για χρήση μουσικού χώρου.

Η ανάλυση των μετρήσεων δείχνει σχετική σύγκλιση με τις ιδανικές τιμές στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Στις χαμηλές συχνότητες παρατηρείται μειωμένος χρόνος αντήχησης σε σχέση με το ιδανικό, γεγονός που υποδηλώνει αυξημένη απορρόφηση και ενδέχεται να οδηγεί σε ξερό ηχητικό χαρακτήρα και μειωμένη ακουστική πληρότητα. Παράλληλα, η μικρή διακύμανση των τιμών μεταξύ των θέσεων δεκτών υποδηλώνει σταθερό και χωρικά ομοιόμορφο ηχητικό πεδίο.

Η επαναλαμβανόμενη πτώση στην περιοχή των 500 Hz πιθανόν σχετίζεται με αυξημένη απορρόφηση ή γεωμετρικά φαινόμενα που επηρεάζουν επιλεκτικά τη συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων./

Σημειώνεται ότι τα επίπεδα RT που προκύπτουν είναι συμβατά με χρήση θεάτρου ή λόγου, ωστόσο για τον επιδιωκόμενο στόχο της μουσικής δωματίου απαιτείται αύξηση της αντήχησης, ιδιαίτερα στις χαμηλές συχνότητες. Συνεπώς, καθίσταται αναγκαία η

διερεύνηση παρεμβάσεων μέσω μοντελοποίησης στο Rhino–Pachyderm, με στόχο τη σύγκλιση προς τις επιθυμητές ακουστικές συνθήκες.

11. Προσομοίωση παρεμβάσεων στο Rhino+Pachyderm

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η διαδικασία παραμετροποίησης και αξιολόγησης των ακουστικών επεμβάσεων μέσω του λογισμικού Rhino, σε συνδυασμό με το plugin Pachyderm Acoustics. Η χρήση του συγκεκριμένου εργαλείου επιτρέπει την προσομοίωση της διάδοσης του ήχου σε τρισδιάστατο περιβάλλον και τη συστηματική διερεύνηση εναλλακτικών σεναρίων σχεδιασμού.

Με βάση τα αποτελέσματα των μετρήσεων και τη σύγκρισή τους με τις ιδανικές τιμές, προκύπτει ότι ο χώρος παρουσιάζει επαρκή ακουστική συμπεριφορά στις υψηλές συχνότητες, ενώ εμφανίζει απόκλιση στις χαμηλές και μεσαίες συχνότητες (125–500 Hz), όπου οι τιμές του χρόνου αντήχησης είναι μειωμένες σε σχέση με τις απαιτήσεις για χώρο μουσικών εκδηλώσεων. Η έλλειψη αυτή επηρεάζει την ακουστική πληρότητα και τη στήριξη του ήχου.

Συνεπώς, η στρατηγική των επεμβάσεων επικεντρώνεται:

- στην αύξηση του χρόνου αντήχησης στις χαμηλές και μεσαίες συχνότητες,
- στη μείωση της υπεραπορρόφησης σε επιλεγμένες επιφάνειες,
- στην ενίσχυση των ανακλάσεων, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακουστική στήριξη και πληρότητα.

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων, ενσωματώνονται στο ψηφιακό μοντέλο τα ακόλουθα σενάρια:

- **Οροφή:** Εφαρμογή συνεχούς ψευδοροφής με ηχοαπορροφητική διάταξη τύπου *Knauf Cleaneo* με πετροβάμβακα πάχους 50mm, σε ενιαίο επίπεδο κάτω από τη διαδοκιδωτή πλάκα. Η επέμβαση αυτή συμβάλλει, πέραν της ρύθμισης του χρόνου αντήχησης, και στην **εξομάλυνση της γεωμετρίας**, περιορίζοντας τις έντονες ανακλάσεις κατεύθυνσης που προκαλούν οι εσοχές του οπλισμένου σκυροδέματος.

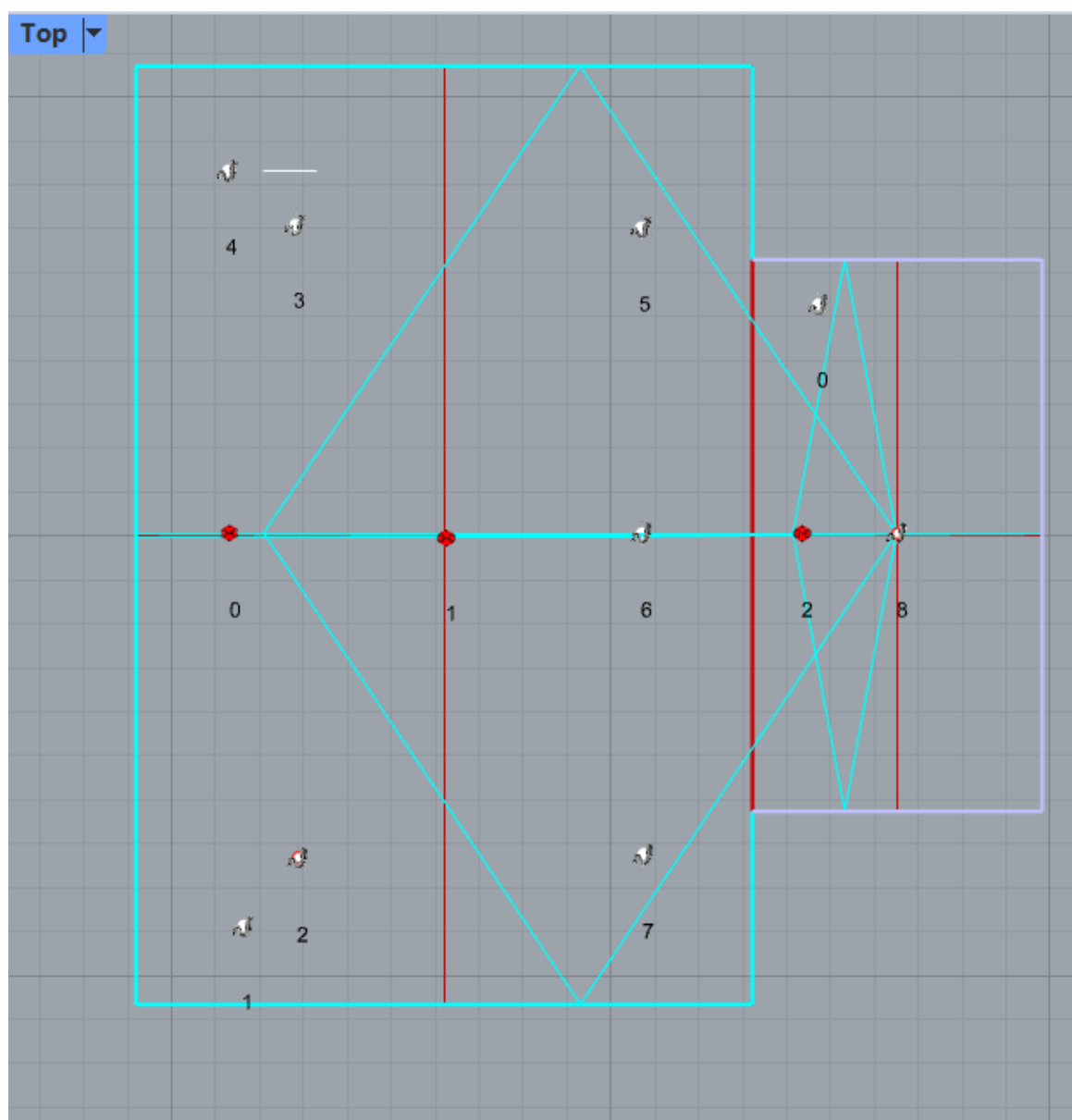
- **Σκηνή:** Τοποθέτηση γυψοσανίδων περιμετρικά της σκηνής με στόχο τη μείωση της τοπικής απορρόφησης και την ενίσχυση των ανακλάσεων από την περιοχή της πηγής.
- **Περιμετρική ζώνη:** Αναδιαμόρφωση της περιμετρικής ζώνης με κατάργηση των ανοιγμάτων και των γεωμετρικών προεξοχών (υποστυλώματα) και δημιουργία ενιαίας επιφάνειας με σύστημα *Knauf Cleaneo* και πετροβάμβακα, με στόχο την **ομογενοποίηση της ακουστικής συμπεριφοράς**.
- **Τοίχος απέναντι από σκηνή:** Παραμένει ως έχει. Δηλαδή πανελ συνθετικής ξυλείας.

Αφετηρία της διαδικασίας αποτελεί το γεωμετρικό μοντέλο της υφιστάμενης κατάστασης, στο οποίο αποδίδονται τα βασικά μορφολογικά χαρακτηριστικά, δημιουργώντας έναν κλειστό ακουστικό χώρο. Στο μοντέλο αυτό οργανώνονται σε διαφορετικά layers οι επιμέρους επιφάνειες, σύμφωνα με τα εξεταζόμενα σενάρια, και αντιστοιχίζονται οι συντελεστές απορρόφησης ανά συχνότητα των υλικών επενδύσεων.

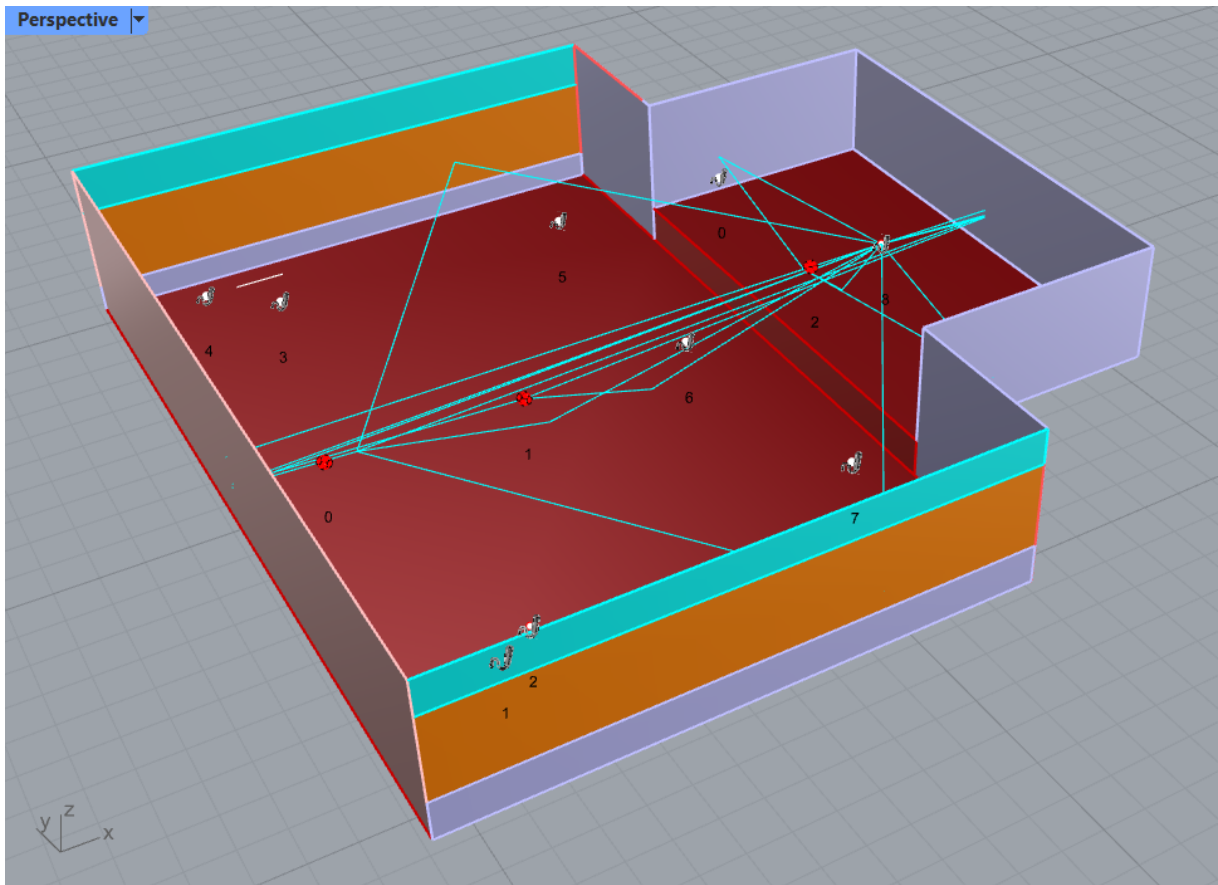
Η προσομοίωση πραγματοποιείται για τις ίδιες θέσεις πομπού και δεκτών με τις *in situ* μετρήσεις, εξασφαλίζοντας τη δυνατότητα άμεσης σύγκρισης των αποτελεσμάτων. Μέσω επαναληπτικών σεναρίων αξιολογείται η επίδραση κάθε επέμβασης στον χρόνο αντήχησης (RT), με στόχο τη σύγκλιση προς τις απαιτήσεις της μουσικής δωματίου.

Συντελεστές ηχοαπορρόφησης στο Rhino-Pachyderm									
Περιοχή	Περιγραφή	Ακουστική λειτουργία	2.20	Συντελεστής ηχοαπορρόφησης					
				125	250	500	1k	2k	4k
Δάπεδο, Σκηνή	Δάπεδο laminate σκληρό	Ανάκλαση και μερική διάχυση	17	0,09	0,1	0,08	0,08	0,1	0,1
Ψευδοροφή, Τοιχοποιίες	Σύστημα knauf cleaneo	Ηχοαπορροφηση	20	0,25	0,6	0,85	0,9	0,85	0,8
Περιμετρική ζώνη	Κουρτίνα βαριά	Ηχοαπορροφηση	99	0,05	0,06	0,39	0,63	0,70	0,73
Περιμετρικά της σκηνής	Διπλή γυψοσανίδα με πετροβάμβακα	Ελεγχόμενη ανάκλαση και διάχυση	24	0,15	0,1	0,06	0,04	0,04	0,05
Απέναντι από τη σκηνή	Διπλή γυψοσανίδα με πετροβάμβακα	Ελεγχόμενη ανάκλαση και διάχυση	54	0,15	0,1	0,06	0,04	0,04	0,05

Πίνακας 9: Συντελεστές ηχοαπορρόφησης που τέθηκαν στην προσομοίωση στο Rhino-Pachyderm βάσει του πίνακα 2.20

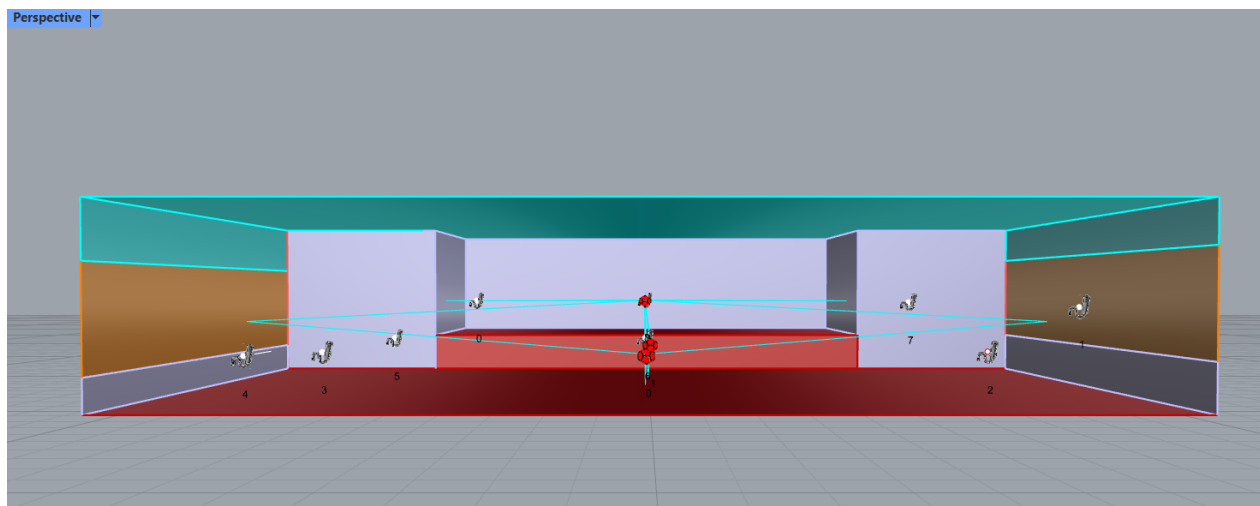


Εικόνα 5: Η τοποθέτηση πομπών και δεικτών στο μοντέλο στις ίδιες θέσεις με την διάταξη των μετρήσεων.

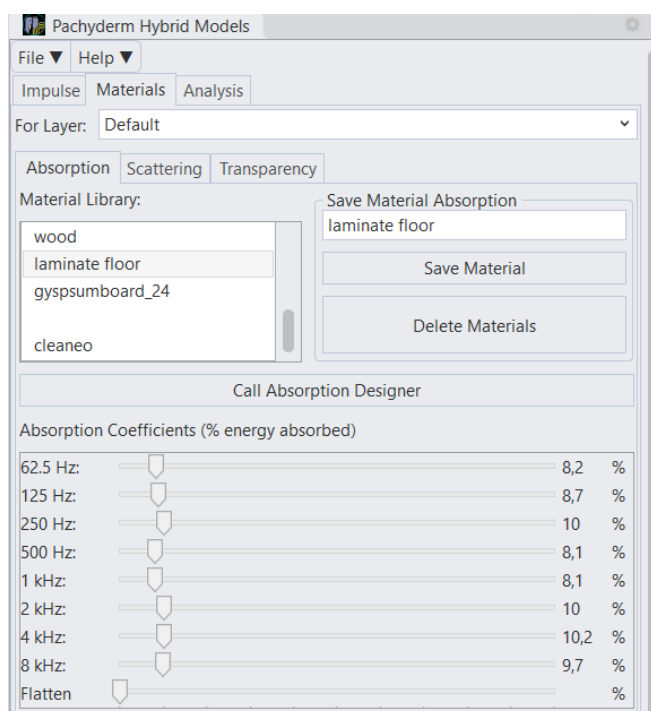


Σχέδιο 4: Απεικόνιση των διαφορετικών επιπέδων στο Rhino. Κάθε χρώμα είναι και διαφορετικό υλικό όπως περιγράφεται στον παρακάτω πίνακα.

Δάπεδο, Σκηνή	Δάπεδο laminate σκληρό	Ανάκλαση και μερική διάχυση	
Ψευδοροφή, Τοιχοποιίες	Σύστημα knauf cleaneo	Ηχοαπορροφηση	
Περιμετρική ζώνη	Κουρτίνα βαριά	Ηχοαπορροφηση	
Περιμετρικά της σκηνής	Διπλή γυψοσανίδα με πετροβάμβακα	Ελεγχόμενη ανάκλαση και διάχυση	
Απέναντι από τη σκηνή	Συνθετική ξυλεία mdf	Ελεγχόμενη ανάκλαση και διάχυση	



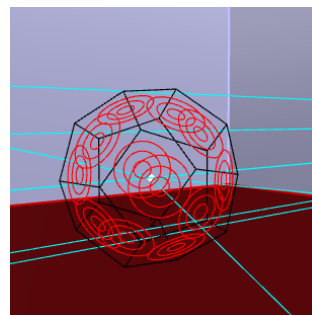
Σχέδιο 5: Τρισδιάστατη απεικόνιση της σκηνής στην οποία φαίνονται τα υλικά του μοντέλου και οι θέσεις πομπών και δεκτών.



Εικόνα 6: Ενδεικτική παραμετροποίηση υλικών στα επίπεδα στο rhino



Εικόνα 8: Απεικόνιση δέκτη

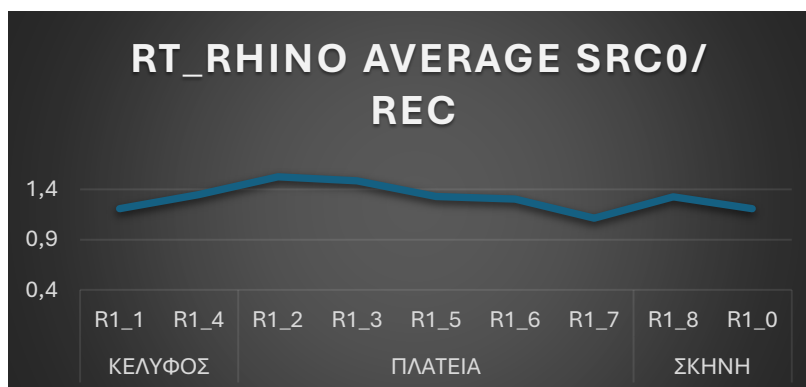
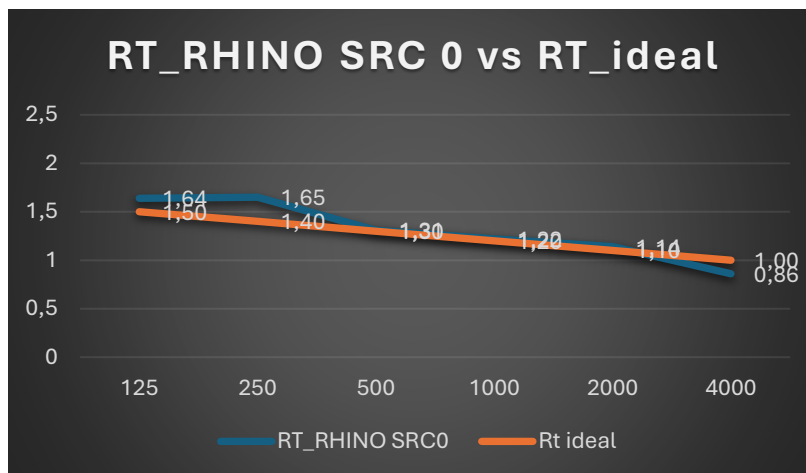


Εικόνα 7: Απεικόνιση πομπου

11.2 Αποτελέσματα της προσομοίωσης

Ακολουθούν τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα του μοντέλου για τις τρεις θέσεις πομπού και τις 9 δέκτη (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2 ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ ΟΙ ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ)

ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (RT) ΘΕΣΗ ΠΟΜΠΟΥ 0										
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ (Hz)	ΘΕΣΕΙΣ ΔΕΚΤΗ									AVERAGE (s)
	ΚΕΛΥΦΟΣ		ΠΛΑΤΕΙΑ					ΣΚΗΝΗ		
	R1_1 (s)	R1_4 (s)	R1_2 (s)	R1_3 (s)	R1_5 (s)	R1_6 (s)	R1_7 (s)	R1_8 (s)	R1_0 (s)	
125,00	1,60	1,35	2,19	2,04	1,47	1,50	1,77	1,44	1,37	1,64
250,00	1,61	1,40	2,20	2,08	1,53	1,49	1,64	1,55	1,32	1,65
500,00	1,11	1,46	1,34	1,32	1,40	1,30	1,10	1,45	1,32	1,31
1000,00	0,79	1,49	1,34	1,30	1,24	1,25	0,72	1,48	1,35	1,22
2000,00	0,74	1,35	1,21	1,24	1,27	1,22	0,81	1,25	1,15	1,14
4000,00	0,64	1,04	0,87	0,93	1,06	1,06	0,64	0,78	0,74	0,86
AVERAGE	1,21	1,35	1,53	1,49	1,33	1,30	1,11	1,33	1,21	1,32

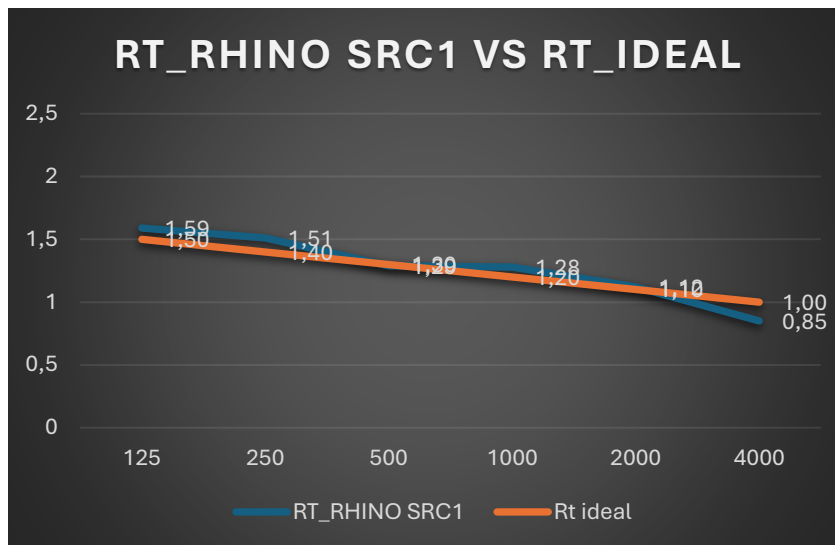
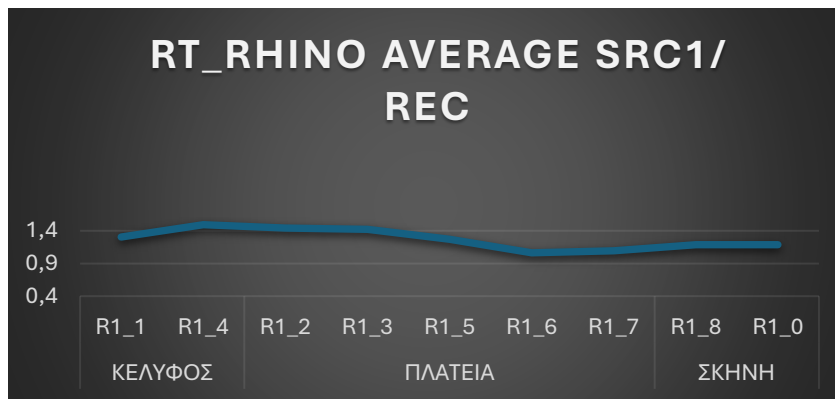


Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του χρόνου αντήχησης (RT) για τη θέση πομπού 0 πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη ότι η πηγή τοποθετείται στο πίσω μέρος της αίθουσας, σε άμεση γειτνίαση με ανακλαστική επιφάνεια (τοίχος απέναντι από τη σκηνή). Η συγκεκριμένη διάταξη επηρεάζει τη διάδοση της ηχητικής ενέργειας, ενισχύοντας τις πρώιμες ανακλάσεις και μεταβάλλοντας τοπικά την ενεργειακή κατανομή στον χώρο, χωρίς ωστόσο να οδηγεί σε ουσιώδεις αποκλίσεις της συνολικής ακουστικής συμπεριφοράς.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στις χαμηλές συχνότητες (125–250 Hz) οι τιμές του RT εμφανίζονται ελαφρώς αυξημένες σε σχέση με τον επιδιωκόμενο στόχο, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στη συνδυασμένη επίδραση της μειωμένης απορρόφησης στη ζώνη αυτή και της άμεσης ανάκλασης από την οπίσθια επιφάνεια. Στις μεσαίες συχνότητες παρατηρείται καλή σύγκλιση προς τις επιθυμητές τιμές, ενώ στις υψηλές συχνότητες καταγράφεται ελεγχόμενη μείωση του RT λόγω της παρουσίας ηχοαπορροφητικών υλικών.

Συνολικά, η κατανομή των συχνοτήτων του χρόνου αντήχησης κρίνεται ικανοποιητική, με περιορισμένες αποκλίσεις και χωρίς έντονα φαινόμενα αστάθειας ή ανομοιομορφίας. Η επίδραση της θέσης του πομπού εντοπίζεται κυρίως στη ζώνη των χαμηλών συχνοτήτων, χωρίς να αλλοιώνει σημαντικά την τελική αξιολόγηση. Τα αποτελέσματα θεωρούνται αντιπροσωπευτικά των ακουστικών συνθηκών του χώρου και παρέχουν αξιόπιστη βάση για τη σύγκριση με τις υπόλοιπες θέσεις πομπού

ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (RT) ΘΕΣΗ ΠΟΜΠΟΥ 1										
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ (Hz)	ΘΕΣΕΙΣ ΔΕΚΤΗ									AVERAGE (s)
	ΚΕΛΥΦΟΣ		ΠΛΑΤΕΙΑ					ΣΚΗΝΗ		
	R1_1 (s)	R1_4 (s)	R1_2 (s)	R1_3 (s)	R1_5 (s)	R1_6 (s)	R1_7 (s)	R1_8 (s)	R1_0 (s)	
125,00	1,63	1,99	1,56	1,38	1,59	1,45	1,60	1,56	1,56	1,59
250,00	1,72	1,86	1,60	1,46	1,14	1,14	1,29	1,67	1,67	1,51
500,00	1,48	1,49	1,46	1,52	1,29	1,07	1,11	1,11	1,11	1,29
1000,00	1,41	1,45	1,54	1,57	1,47	1,00	0,94	1,07	1,07	1,28
2000,00	0,86	1,33	1,41	1,49	1,30	0,95	0,89	0,94	0,94	1,12
4000,00	0,73	0,84	1,07	1,12	0,84	0,77	0,74	0,77	0,77	0,85
AVERAGE	1.31	1.49	1.44	1.42	1.27	1.06	1.10	1.19	1.19	1.27



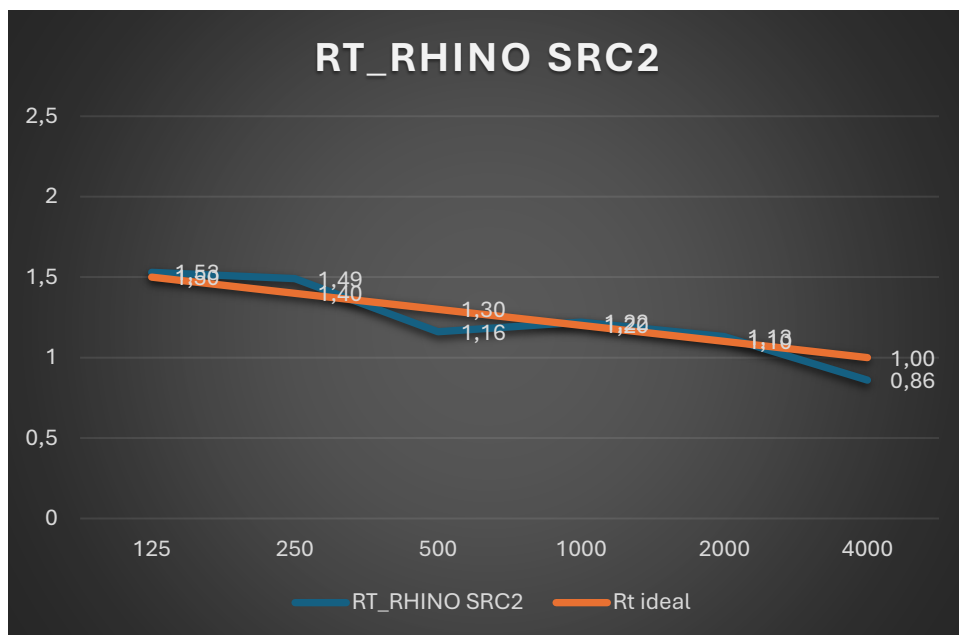
Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του χρόνου αντήχησης (RT) για τη θέση πομπού 1 πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη ότι η πηγή τοποθετείται στο κέντρο της πλατείας των θεατών, δηλαδή σε μία περισσότερο αντιπροσωπευτική θέση ως προς τη συνολική ακουστική συμπεριφορά του χώρου. Η συγκεκριμένη διάταξη επιτρέπει την πιο ομοιόμορφη ακτινοβολία της ηχητικής ενέργειας και περιορίζει την επίδραση έντονων τοπικών ανακλάσεων από γειτονικές επιφάνειες.

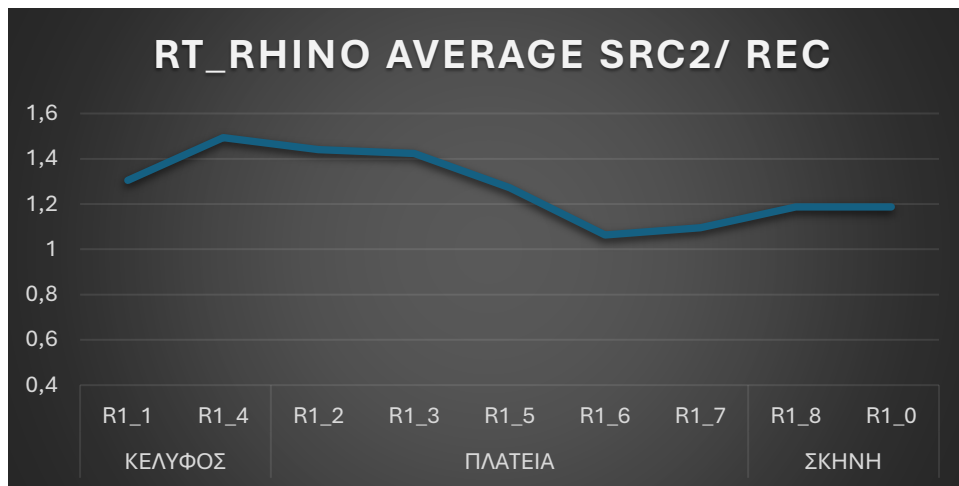
Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στις χαμηλές συχνότητες (125–250 Hz) οι τιμές του RT παραμένουν κοντά στις επιδιωκόμενες, με ήπιες αποκλίσεις και περιορισμένη διακύμανση μεταξύ των θέσεων δεκτών, γεγονός που υποδηλώνει σταθερή ενεργειακή συμπεριφορά στον χώρο. Στις μεσαίες συχνότητες παρατηρείται σαφής σύγκλιση προς τις επιθυμητές τιμές, ενώ στις υψηλές συχνότητες καταγράφεται η αναμενόμενη μείωση του RT λόγω της παρουσίας ηχοαπορροφητικών υλικών.

Συνολικά, η κατανομή ανά συχνότητα του χρόνου αντήχησης παρουσιάζει υψηλό βαθμό ομοιομορφίας και μικρές αποκλίσεις από τις επιθυμητές τιμές, χωρίς ενδείξεις

έντονων τοπικών φαινομένων. Η θέση του πομπού στο κέντρο των θεατών οδηγεί σε πιο ισορροπημένη αποτύπωση της ακουστικής απόκρισης του χώρου, καθιστώντας τα αποτελέσματα ιδιαίτερα αξιόπιστα για την αξιολόγηση του συνολικού σχεδιασμού και για τη σύγκριση με τις υπόλοιπες θέσεις πομπού.

ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ (RT) ΘΕΣΗ ΠΟΜΠΟΥ 2										
ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ (Hz)	ΘΕΣΕΙΣ ΔΕΚΤΗ									AVERAGE (s)
	ΚΕΛΥΦΟΣ		ΠΛΑΤΕΙΑ					ΣΚΗΝΗ		
	R1_1 (s)	R1_4 (s)	R1_2 (s)	R1_3 (s)	R1_5 (s)	R1_6 (s)	R1_7 (s)	R1_8 (s)	R1_0 (s)	
125,00	1,68	2,21	2,06	2,04	1,37	1,15	1,16	0,99	1,12	1,53
250,00	1,58	2,29	2,20	2,29	1,12	1,05	0,92	0,84	1,16	1,49
500,00	1,17	1,22	1,25	1,27	1,04	0,98	1,10	1,05	1,40	1,16
1000,00	0,88	1,14	1,02	1,03	1,02	1,03	1,29	1,67	1,89	1,22
2000,00	0,79	0,93	0,91	0,89	1,00	0,94	1,06	1,81	1,85	1,13
4000,00	0,68	0,75	0,77	0,67	0,73	0,73	0,82	1,13	1,50	0,86
AVERAGE	1,13	1,42	1,37	1,37	1,05	0,98	1,06	1,25	1,49	1,23





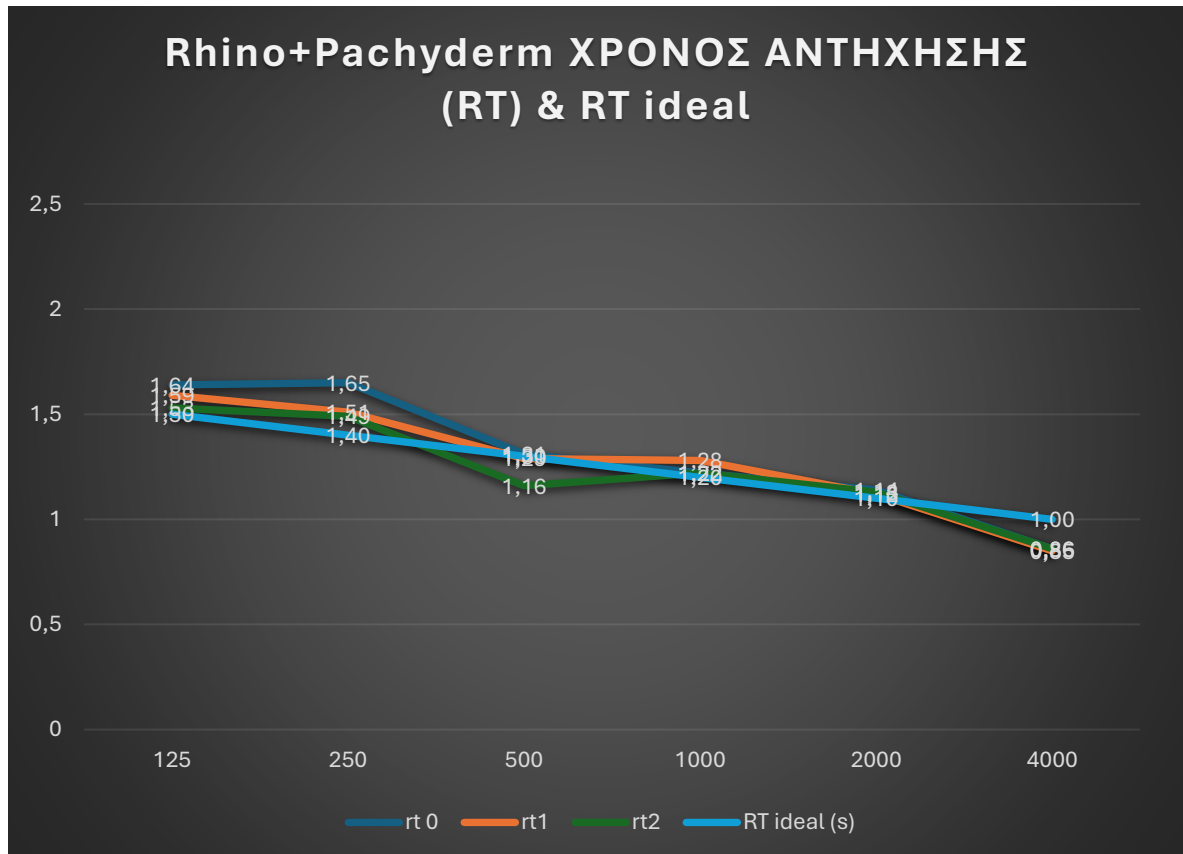
Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του χρόνου αντήχησης (RT) για τη θέση πομπού 2 πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη ότι η πηγή τοποθετείται στο μέσο της σκηνής, δηλαδή σε θέση αντιπροσωπευτική της κύριας λειτουργίας του χώρου για μουσικές και θεατρικές χρήσεις. Η συγκεκριμένη διάταξη ευνοεί την κατευθυνόμενη διάδοση της ηχητικής ενέργειας προς την πλατεία των θεατών, ενώ παράλληλα αναδεικνύει την επίδραση των πλευρικών και οπίσθιων ανακλάσεων. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η μεταβολή της ακουστικής συμπεριφοράς στη ζώνη της σκηνής, καθώς στο ψηφιακό μοντέλο αντικαθίστανται τα υφιστάμενα ηχοαπορροφητικά στοιχεία με πετροβάμβακα (χαμηλής αντήχησης) από επιφάνειες διπλής γυψοσανίδας, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερη απορρόφηση και αυξημένη ανακλαστικότητα.

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στις χαμηλές συχνότητες (125–250 Hz) καταγράφονται αυξημένες τιμές RT καθώς και μεγαλύτερη διακύμανση μεταξύ των θέσεων δεκτών, γεγονός που συνδέεται άμεσα με την ενίσχυση των ανακλάσεων από τη ζώνη της σκηνής. Στις μεσαίες συχνότητες παρατηρείται ικανοποιητική σύγκλιση προς τις επιθυμητές τιμές, ενώ στις υψηλές συχνότητες η συμπεριφορά παραμένει ελεγχόμενη, λόγω της συνολικής παρουσίας ηχοαπορροφητικών επιφανειών στον χώρο.

Συνολικά, η κατανομή του RT στις συχνότητες παρουσιάζει ελαφρώς αυξημένη ανομοιομορφία σε σχέση με τη θέση πομπού στο κέντρο των θεατών, χωρίς όμως να προκύπτουν σημαντικές αποκλίσεις από τις επιθυμητές τιμές. Η τοποθέτηση της πηγής στη σκηνή, σε συνδυασμό με τη μεταβολή των υλικών στην περιμετρική της ζώνη, αναδεικνύει τη σημασία της τοπικής διαχείρισης της απορρόφησης για τη συνολική ακουστική συμπεριφορά, διατηρώντας παράλληλα ικανοποιητικό επίπεδο ακουστικής

απόδοσης. Τα αποτελέσματα κρίνονται αντιπροσωπευτικά και ολοκληρώνουν τη βάση για τη συγκριτική αξιολόγηση μεταξύ των διαφορετικών θέσεων πομπού.

11.3 Συμπεράσματα προσομοίωσης.



Η συνολική αποτίμηση του ακουστικού μοντέλου, λαμβάνοντας υπόψη τις τρεις θέσεις πομπού και τις προτεινόμενες επεμβάσεις, καταδεικνύει ότι ο χώρος παρουσιάζει συνεκτική και ελεγχόμενη συμπεριφορά ως προς τον χρόνο αντήχησης, με σαφή βελτίωση σε σχέση με την αρχική του κατάσταση και καλή προσέγγιση προς τον στόχο RTideal, για την επιθυμητή νέα χρήση.

Η σύγκριση των τριών θέσεων πομπού αναδεικνύει ότι η ακουστική απόκριση παραμένει συνολικά σταθερή, με περιορισμένες χωρικές διαφοροποιήσεις, γεγονός που επιβεβαιώνει την αποτελεσματικότητα των επεμβάσεων τόσο σε επίπεδο υλικών όσο και γεωμετρίας. Η θέση πομπού στο κέντρο της πλατείας λειτουργεί ως η πλέον αντιπροσωπευτική, παρουσιάζοντας τη μεγαλύτερη ομοιομορφία, ενώ οι θέσεις στην οπίσθια ζώνη και στη σκηνή αναδεικνύουν τοπικά φαινόμενα που σχετίζονται με την εγγύτητα σε ανακλαστικές επιφάνειες και τις μεταβολές των υλικών στη σκηνή.

Οι επεμβάσεις που εφαρμόζονται στο μοντέλο συμβάλλουν καθοριστικά στη διαμόρφωση της τελικής ακουστικής συμπεριφοράς, επιτυγχάνοντας εξισορρόπηση μεταξύ απορρόφησης και ανάκλασης και βελτιώνοντας τη χωρική ομοιομορφία του πεδίου.

- Η εφαρμογή ψευδοροφής με ηχοαπορροφητικά στοιχεία οδηγεί σε εξομάλυνση της διάδοσης και περιορισμό των ανεπιθύμητων ανακλάσεων κατεύθυνσης.
- Η αναδιαμόρφωση της περιμετρικής ζώνης συμβάλλει σημαντικά στην ομογενοποίηση της ακουστικής απόκρισης και στη μείωση τοπικών διαφοροποιήσεων.
- Η ενίσχυση της ανακλαστικότητας στη σκηνή αυξάνει την ακουστική στήριξη της πηγής, βελτιώνοντας τη σχέση άμεσου και ανακλώμενου ήχου.
- Παρά τις τοπικές αυξομειώσεις, ο RT παραμένει εντός αποδεκτών ορίων σε όλο το φάσμα, με καλύτερη προσαρμογή στις μεσαίες συχνότητες και ήπιες αποκλίσεις στη χαμηλή περιοχή.

Συνολικά, το μοντέλο καταδεικνύει ότι οι παρεμβάσεις επιτυγχάνουν τον βασικό στόχο του σχεδιασμού: τη διαμόρφωση ενός ακουστικά ισορροπημένου χώρου, με επαρκή αντήχηση για μουσική χρήση, καλή ευκρίνεια και ελεγχόμενη χωρική μεταβλητότητα. Οι όποιες αποκλίσεις από τον RT_{ideal} κρίνονται μικρής σημασίας και αναμενόμενες, επιβεβαιώνοντας την αποτελεσματικότητα και την ορθότητα της ακουστικής στρατηγικής.

12. Συμπεράσματα Μελέτης περίπτωσης

Η παρούσα μελέτη περίπτωσης αφορά την διαδικασία επανάχρησης μίας αίθουσας πολλαπλών ρόλων ενός υφιστάμενου σχολικού κτιρίου, με στόχο τη μετατροπή της χρήσης της σε μουσική σκηνή που θα μπορούσε να εξυπηρετεί και θεατρικό λόγο. Η επανάχρηση, ως στρατηγική βιώσιμου σχεδιασμού, αξιοποιώντας τα υφιστάμενα δομικά και μορφολογικά δεδομένα, προάγει την υιοθέτηση νέων χρήσεων. Στο πλαίσιο αυτό, η ακουστική αξιολόγηση του χώρου μεταξύ άλλων, αποτελεί κρίσιμο εργαλείο για την εξασφάλιση της λειτουργικής επάρκειας της νέας χρήσης.

Οι επιτόπιες μετρήσεις κατέδειξαν ότι ο προς μελέτη χώρος στην υφιστάμενη κατάσταση παρουσιάζει χαμηλό χρόνο αντήχησης ($RT \sim 0,85\text{--}1,0\text{ s}$), γεγονός που οδηγεί σε έναν ακουστικό χαρακτήρα βάσει του οποίου η αιθουσα μπορεί να καλύψει εκδηλώσεις λόγου, ωστόσο δεν εξασφαλίζει την απαιτούμενη ακουστική πληρότητα για μουσική χρήση. Η κατανομή του RT στο εύρος των συχνοτήτων εμφανίζει σχετική ομαλότητα, με ελαφρά αυξημένες τιμές στις χαμηλές και εντονότερη απορρόφηση στις μεσαίες, γεγονός που συνδέεται αφενός με τη τοποθέτηση απορροφητικών υλικών σε μία προσπάθεια βελτίωσης των χαρακτηριστικών της αίθουσας, αφετέρου στην γεωμετρία του χώρου.

Παράλληλα, η διερεύνηση του περιβαλλοντικού θορύβου έδειξε ότι το κέλυφος του κτιρίου διαθέτει μέτρια ηχομονωτική ικανότητα, με συνολική ηχομείωση της τάξης των 10–15 dB. Η εσωτερική στάθμη (περίπου 40 dB) υπερβαίνει τις προτεινόμενες τιμές για χώρους θεάτρου και μουσικής, γεγονός που υποδηλώνει ότι το υφιστάμενο κέλυφος δεν επαρκεί πλήρως για τη διασφάλιση υψηλής ακουστικής άνεσης, ιδιαίτερα σε αστικό περιβάλλον.

Η ανάλυση των μετρήσεων σε διαφορετικές θέσεις πομπού ανέδειξε ότι ο χώρος παρουσιάζει ικανοποιητική χωρική ομοιομορφία, με περιορισμένες διαφοροποιήσεις που σχετίζονται κυρίως με την εγγύτητα σε ανακλαστικές επιφάνειες και στη γεωμετρία των δομικών στοιχείων της αίθουσας. Ωστόσο, η γενική ακουστική

συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από ανεπαρκή αντήχηση, γεγονός που περιορίζει τη δεν επιτρέπει την αποτελεσματική λειτουργία του χώρου ως μουσική σκηνή.

Στο πλαίσιο της επανάχρησης, όπως αναλύθηκε στο πρώτο μέρος, οι παρεμβάσεις στοχεύουν στη συμβατότητα με τον υφιστάμενο φορέα, σχεδιάστηκε ένα σύνολο, το οποίο αξιολογήθηκε μέσω προσομοίωσης στο Rhino με χρήση του του προσθετου εργαλείου Pachyderm. Οι παρεμβάσεις επικεντρώθηκαν στη μείωση της υπεραπορρόφησης, και στην ενίσχυση των ανακλάσεων, χωρίς ριζικές δομικές και μορφολογικές αρχιτεκτονικές παρεμβάσεις.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης έδειξαν ότι ο χρόνος αντήχησης αυξάνεται και προσεγγίζει τις επιθυμητές τιμές για τη νέα χρήση, φθάνοντας περίπου 1,1–1,5 s στις κρίσιμες συχνότητες, ενώ παράλληλα βελτιώνεται η χωρική ομοιομορφία και η ενεργειακή κατανομή του ήχου. Η νέα ακουστική συμπεριφορά χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη ισορροπία μεταξύ απορρόφησης και ανάκλασης, εξασφαλίζοντας τόσο ευκρίνεια λόγου όσο και επαρκή μουσικής στήριξης.

Συνολικά, η μελέτη καταδεικνύει ότι, παρά τις εγγενείς δυσκολίες που συνοδεύουν την επανάχρηση υφιστάμενων κτιρίων, η εφαρμογή στοχευμένων και τεχνικά τεκμηριωμένων παρεμβάσεων μπορεί να οδηγήσει σε ένα ακουστικά ισορροπημένο και λειτουργικά αποδοτικό περιβάλλον, για τη νέα χρήση. Η προσέγγιση αυτή αναδεικνύει τη σημασία της ενσωμάτωσης της ακουστικής στον συνολικό σχεδιασμό, ως βασικής παραμέτρου βιωσιμότητας και ποιότητας στις σύγχρονες πρακτικές επανάχρησης.

Συμπεράσματα ΜΔΕ

Η παρούσα εργασία ανέδειξε την ακουστική άνεση ως κρίσιμη αλλά συχνά υποτιμημένη παράμετρο στον σχεδιασμό έργων επανάχρησης, επιβεβαιώνοντας ότι η επιτυχία ενός τέτοιου εγχειρήματος δεν εξαρτάται μόνο από την αρχιτεκτονική, ενεργειακή ή λειτουργική του αναβάθμιση, αλλά και από την ικανότητα προσαρμογής της ακουστικής του συμπεριφοράς στις απαιτήσεις της νέας χρήσης.

Στο θεωρητικό πλαίσιο του Α' μέρους, καταδείχθηκε ότι τα υφιστάμενα κτίρια παρουσιάζουν συχνά ελλείμματα ακουστικής απόδοσης, λόγω παλαιών κατασκευαστικών πρακτικών, διαφορετικών χρήσεων και ελλিপών κανονιστικών απαιτήσεων κατά τον χρόνο κατασκευής τους. Οι περιορισμοί που θέτει η διατήρηση της αρχιτεκτονικής φυσιογνωμίας, σε συνδυασμό με τη σύγχρονη απαίτηση για βιωσιμότητα και κυκλική διαχείριση των πόρων, καθιστούν την ακουστική αναβάθμιση μια σύνθετη και πολυπαραγοντική διαδικασία.

Η μελέτη περίπτωσης του Β' μέρους λειτουργεί ως πρακτική επιβεβαίωση των παραπάνω θεωρητικών διαπιστώσεων. Η ανάλυση της υφιστάμενης σχολικής αίθουσας ανέδειξε χαρακτηριστικά προβλήματα που συναντώνται συστηματικά σε έργα επανάχρησης:

- Μη βέλτιστος χρόνος αντήχησης για χρήση μουσικής σκηνής,
- Μέτρια ηχομονωτική ικανότητα του κελύφους,
- Ανομοιογενής κατανομή της ηχητικής ενέργειας (Πτώση στα 500hz)
- Επίδραση των υφιστάμενων υλικών και της γεωμετρίας.

Τα προβλήματα αυτά συνδέονται άμεσα με την αρχική χρήση του κτιρίου και καταδεικνύουν τη δυσκολία προσαρμογής ενός χώρου σε νέες απαιτήσεις χωρίς συγκεκριμένες παρεμβάσεις βάσει των χρήσεων.

Η εφαρμογή μετρήσεων πεδίου και προσομοιώσεων κατέστησε δυνατή την ποσοτική αποτίμηση της ακουστικής συμπεριφοράς και την ανάπτυξη τεκμηριωμένων σεναρίων βελτίωσης. Οι προτεινόμενες επεμβάσεις δεν βασίζονται σε ριζικές κατασκευαστικές

αλλαγές, αλλά σε ήπιες, λύσεις, όπως η αναδιαμόρφωση της απορρόφησης με την χρήση ίδιων τεχνολογικά υλικών, η ενίσχυση των ανακλάσεων σε συγκεκριμένα σημεία και η εξομάλυνση της γεωμετρίας του χώρου στην οροφή και τους πλευρικούς τοίχους. Η προσέγγιση αυτή επιβεβαιώνει ότι η ακουστική αναβάθμιση σε υφιστάμενα κτίρια δεν απαιτεί απαραίτητα εκτεταμένες παρεμβάσεις, αλλά σωστό σχεδιασμό και κατανόηση των φυσικών μηχανισμών του ήχου.

Η σύνδεση μεταξύ θεωρίας και εφαρμογής καθίσταται σαφής: οι «ακουστικές προκλήσεις της επανάχρησης» που αναδείχθηκαν βιβλιογραφικά –δηλαδή η περιορισμένη ηχομόνωση, η ασυμβατότητα υλικών, οι γεωμετρικοί περιορισμοί και η ανάγκη πολυκριτηριακού σχεδιασμού– επιβεβαιώνονται στην πράξη μέσα από τη μελέτη περίπτωσης. Ταυτόχρονα, αποδεικνύεται ότι οι προκλήσεις αυτές μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά μέσω συνδυασμού μετρήσεων, υπολογιστικών εργαλείων και σύγχρονων σχεδιαστικών στρατηγικών.

Συνολικά, η εργασία καταλήγει στο συμπέρασμα ότι ο ακουστικός σχεδιασμός πρέπει να ενσωματώνεται από τα πρώτα στάδια σχεδιασμού έργων επανάχρησης και να αντιμετωπίζεται ισότιμα με τις λοιπές παραμέτρους βιωσιμότητας. Η επιτυχής μετατροπή ενός υφιστάμενου κτιρίου σε χώρο υψηλών ακουστικών απαιτήσεων δεν αποτελεί μόνο τεχνική πρόκληση, αλλά και πεδίο σύνθεσης μεταξύ αρχιτεκτονικής, τεχνολογίας και βιώσιμων ήπιων και δημοκρατικών επιλογών.

Η παρούσα εργασία καταδεικνύει ότι η μετάβαση από μια αρχική χρήση σε μια νέα, με διαφορετικές λειτουργικές απαιτήσεις, αποκαλύπτει τις εγγενείς ασυμβατότητες του χώρου ως προς τη διάδοση και τον έλεγχο του ήχου. Ωστόσο, όπως αποδεικνύεται από τη μελέτη περίπτωσης, οι περιορισμοί της επανάχρησης δεν συνιστούν εμπόδιο, αλλά πλαίσιο σχεδιαστικής πρόκλησης: μέσα από στοχευμένες, τεκμηριωμένες και ήπιες παρεμβάσεις, καθίσταται δυνατή η επίτευξη υψηλού επιπέδου ακουστικής απόδοσης χωρίς ριζικές επιλογές. Συνεπώς, η ενσωμάτωση του ακουστικού σχεδιασμού ως βασικής συνιστώσας από τα πρώτα στάδια της επανάχρησης δεν αποτελεί επιλογή, αλλά αναγκαιότητα, προκειμένου να διασφαλιστεί ένα πραγματικά βιώσιμο και ποιοτικό δομημένο περιβάλλον.

Βιβλιογραφία

1. Vardopoulos, I., Stamopoulos, C., Chatzithanasis, G., Michalakelis, C., Giannouli, P., & Pastrapa, E. 2020. 'Considering urban development paths and processes on account of adaptive reuse projects.' *Buildings*, 10(4).
<https://doi.org/10.3390/BUILDINGS10040073>
2. del Rosario-Gilabert, D., Carbajo, J., Hernández-Pozo, M., Valenzuela-Miralles, A., Ruiz, D., Poveda-Martínez, P., Esquivia, G., & Gómez-Vicente, V. (2024). Eco-Friendly and Biocompatible Material to Reduce Noise Pollution and Improve Acoustic Comfort in Healthcare Environments. *Buildings*, 14(10).
<https://doi.org/10.3390/buildings14103151>
3. Daza, A. N., & Zamora, J. L. (2019). Acoustic performance in a lightweight ventilated façade for building refurbishment: Analysing the impact of variations in airborne sound insulation according to the ventilation characteristics. *Revista de la Construcción*, 18(2), 247–257. <https://doi.org/10.7764/RDLC.18.2.247>
4. Eid, S. A. E. A., Elbadrawy, A. N. E., & Eleashy, A. M. S. E. 2024. 'Improving Activity Requirements in Open Plan Office Spaces by Using Different Acoustic Design Elements: Engineering Studies and Consultation Center as a Case Study.' *Civil Engineering and Architecture*, 12(2), 722–739.
<https://doi.org/10.13189/cea.2024.120206>
5. Ding, X., Shao, Y., & Feng, B. 2025. 'Rethinking the Sustainability of Industrial Buildings in High-Density Urban Areas: Balancing Adaptability and Public Satisfaction.' *Buildings*, 15(5). <https://doi.org/10.3390/buildings15050747>
6. Shtrepi, L., Aletta, F., Aspöck, L., Astolfi, A., Fels, J., Hornikx, M., Jambrošić, K., Jeong, C. H., Kahle, E., Llorca-Bofí, J., Rindel, J. H., Rychtáriková, M., Torresin, S., & Vorländer, M. 2024. 'Ten questions concerning Architectural Acoustics.' *Building and Environment*, 265.
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112012>
7. Zheng, X., Heath, T., & Guo, S. 2022. 'From Maslow to Architectural Spaces: The Assessment of Reusing Old Industrial Buildings.' *Buildings*, 12(11).
<https://doi.org/10.3390/buildings12112033>
8. della Spina, L., Carbonara, S., Stefano, D., & Viglianisi, A. 2023. 'Circular Evaluation for Ranking Adaptive Reuse Strategies for Abandoned Industrial Heritage in Vulnerable Contexts.' *Buildings*, 13(2).
<https://doi.org/10.3390/buildings13020458>
9. Nering, K., Kowalska-Koczwar, A., Shymanska, A., & Pawluś, M. 2022. 'The Possibility of Providing Acoustic Comfort in Hotel Rooms as an Element of Sustainable Development.' *Sustainability (Switzerland)*, 14(20).
<https://doi.org/10.3390/su142013692>

10. Novák, J., & Hejl, J. (2022). Acoustical aspects of replacing traditional materials in building elements with renewable and recycled ones. *Acta Polytechnica CTU Proceedings*, 38, 241–246. <https://doi.org/10.14311/APP.2022.38.0241>
11. Davis, M. J. M., Tenpierik, M. J., Ramírez, F. R., & Pérez, M. E. 2017. ‘More than just a Green Facade: The sound absorption properties of a vertical garden with and without plants.’ *Building and Environment*, 116, 64–72. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.01.010>
12. della Spina, L. 2021. ‘Cultural heritage: A hybrid framework for ranking adaptive reuse strategies.’ *Buildings*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/buildings11030132>
13. Torresin, S., Aletta, F., Dicle, S., Albatici, R., de Dear, R., Hasegawa, Y., Kang, J., Parkinson, T., & Cabrera, D. 2024. ‘Towards developing a model of adaptive acoustic comfort in the built environment: A thematic analysis from an expert focus group.’ *Building and Environment*, 266. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112074>
14. Andargie, M. S., Touchie, M., O’Brien, W., & Müller-Trapet, M. 2023. ‘Assessment of indoor exposure to outdoor environmental noise and effects on occupant comfort in multi-unit residential buildings.’ *Building Acoustics*, 30(3), 293–313. <https://doi.org/10.1177/1351010X231194471>
15. Celadyn, M. 2019. ‘Interior architectural design for adaptive reuse in application of environmental sustainability principles.’ *Sustainability (Switzerland)*, 11(14). <https://doi.org/10.3390/su11143820>
16. Mehan, A. 2025. ‘Adaptive reuse as a catalyst for post-2030 urban sustainability: rethinking industrial heritage beyond the SDGs.’ *Discover Sustainability* (Vol. 6, Issue 1). Springer Nature. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01462-9>
17. Shtrepi, L., & Prato, A. 2020. ‘Towards a sustainable approach for sound absorption assessment of building materials: Validation of small-scale reverberation room measurements.’ *Applied Acoustics*, 165. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107304>
18. Peng, Y., Antanuri, N., Lau, S. K., Jebelli, B., Jusuf, S. K., Miller, C., Teo, Y. T., Chua, Y. X., & Chong, A. 2023. ‘Experimental assessment of thermal and acoustics interactions on occupant comfort in mixed-mode buildings’. *Building and Environment*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110342>
19. Caniato, M. 2020. ‘Sound insulation of complex façades: A complete study combining different numerical approaches.’ *Applied Acoustics*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2020.107484>
20. Alonso, A., Suárez, R., Patricio, J., Escandón, R., & Sendra, J. J. 2021. ‘Acoustic retrofit strategies of windows in facades of residential buildings: Requirements and recommendations to reduce exposure to environmental noise.’ *Journal of Building Engineering*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102773>

21. Lizama, L., Herrera, I., Kanungo, A. K., & Lerario, A. 2022. ‘The Role of Built Heritage for Sustainable Development Goals: From Statement to Action.’ <https://doi.org/10.3390/heritage>
22. Hamida, M. B., Remøy, H., Gruis, V., & Jylhä, T. 2025. ‘Circular building adaptability in adaptive reuse: multiple case studies in the Netherlands.’ *Journal of Engineering, Design and Technology*, 23(1), 161–183. <https://doi.org/10.1108/JEDT-08-2022-0428>
23. Alonso, A., Patrício, J., Suárez, R., & Escandón, R. (2020). Acoustical retrofit of existing residential buildings: Requirements and recommendations for sound insulation between dwellings in Europe and other countries worldwide. *Building and Environment*, 174,. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106771>
24. Ma, K. W., Mak, C. M., & Wong, H. M. (2020). Development of a subjective scale for sound quality assessments in building acoustics. *Journal of Building Engineering*, 29. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101177>
25. Pedroso, M., de Brito, J., & Dinis Silvestre, J. (2019). Characterization of walls with eco-efficient acoustic insulation materials: Traditional and innovative. *Construction and Building Materials*, 222, 892–902. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.07.259>
26. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2023). Κτιριοδομικός Κανονισμός (ΥΠΕΝ/ΔΑΟΚΑ/66006/2360, ΦΕΚ 3985/Β/22.06.2023). Εφημερίδα της Κυβερνήσεως της Ελληνικής Δημοκρατίας Άρθρο 22 https://www.elinyae.gr/sites/default/files/2023-06/3985%CE%B2_2023.pdf
27. Cvetković, D. S. (2024). The contribution of standards and standardization in achieving acoustic comfort. *Facta Universitatis, Series: Working and Living Environmental Protection*, 21(4), 225–235. <https://doi.org/10.22190/FUWLEP240920021C>
28. Borelli, D., & Schenone, C. (2021). *On the acoustic transparency of perforated metal plates facing a porous fibrous material*. *Noise Mapping*, 8, 185–203. <https://doi.org/10.1515/noise-2021-0014>
29. Zawidzki, M., & Szklarski, J. 2020. ‘Multi-objective optimization of the floor plan of a single story family house considering position and orientation.’ *Advances in Engineering Software*, 141. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2019.102766>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Μετρήσεις in situ

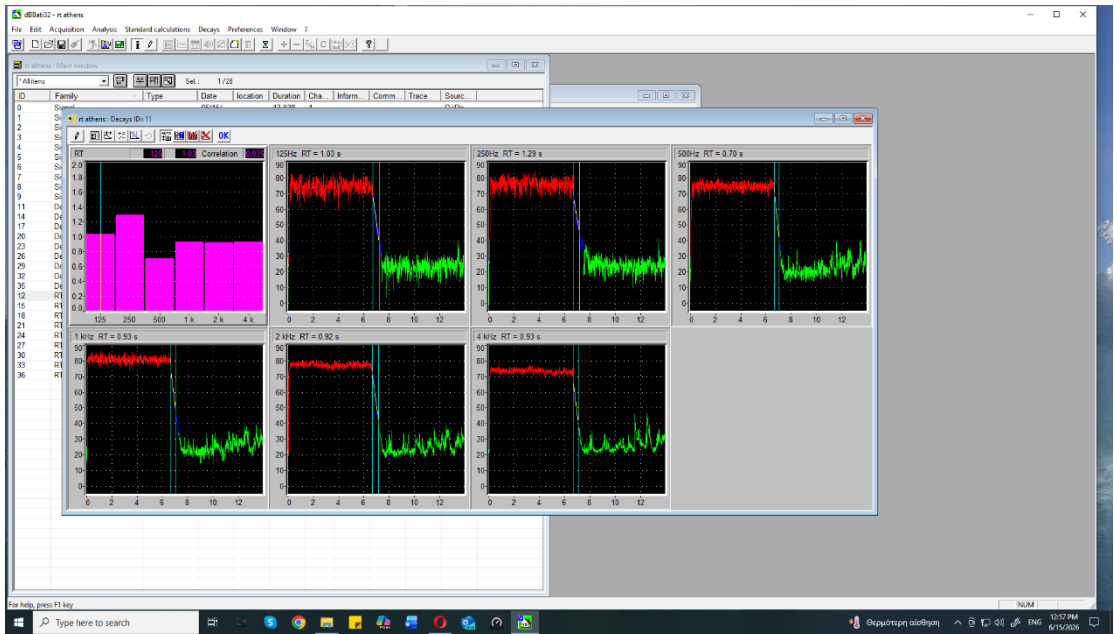


ΘΕΣΗ ΠΟΜΠΟΥ 1 (SRC 1)

rt1

Analyses RT1 dB me to logismiko dBBATI32 (01dB - 2003)

RT1_1



D:\...\rt1.athens.CMG

ID 12

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 10:12:56

location

Comments R1_1

Channel 1

Hz s

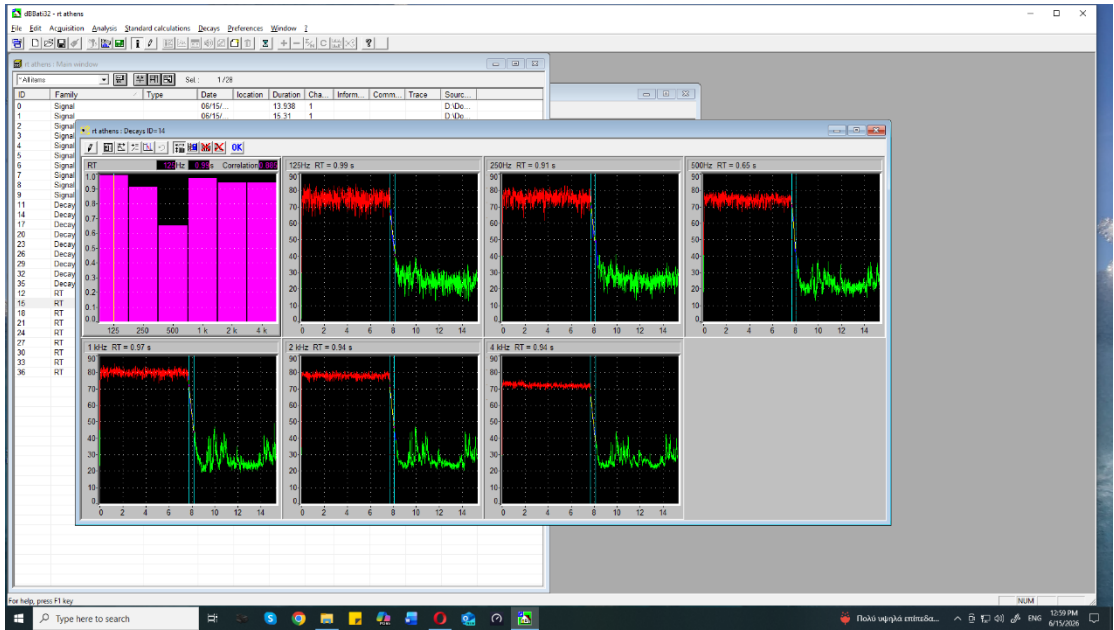
125 1.03

250 1.29

500 0.70

95

1 k	0.93
2 k	0.92
4 k	0.93



D:\...\rt athens.CMG

ID 15

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 10:12:57

location

Comments R1_2

Channel 1

Hz s

125 0.99

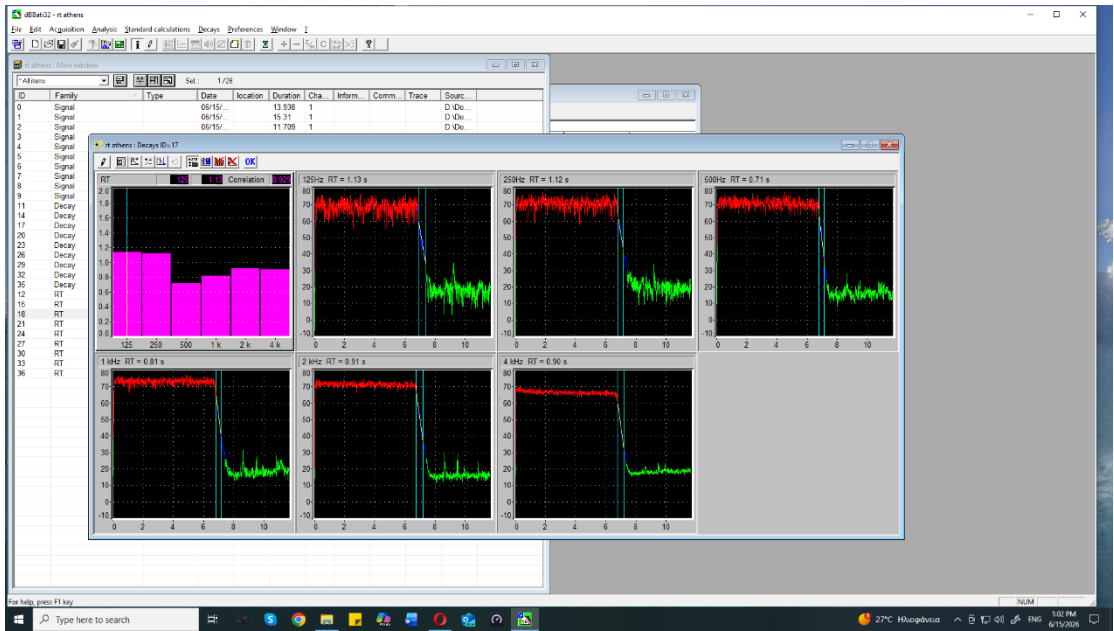
250 0.91

500 0.65

1 k 0.97

2 k 0.94

4 k 0.94



D:\...\rt athens.CMG

ID 18

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 10:12:58

location

Comments R1_3

Channel 1

Hz s

125 1.13

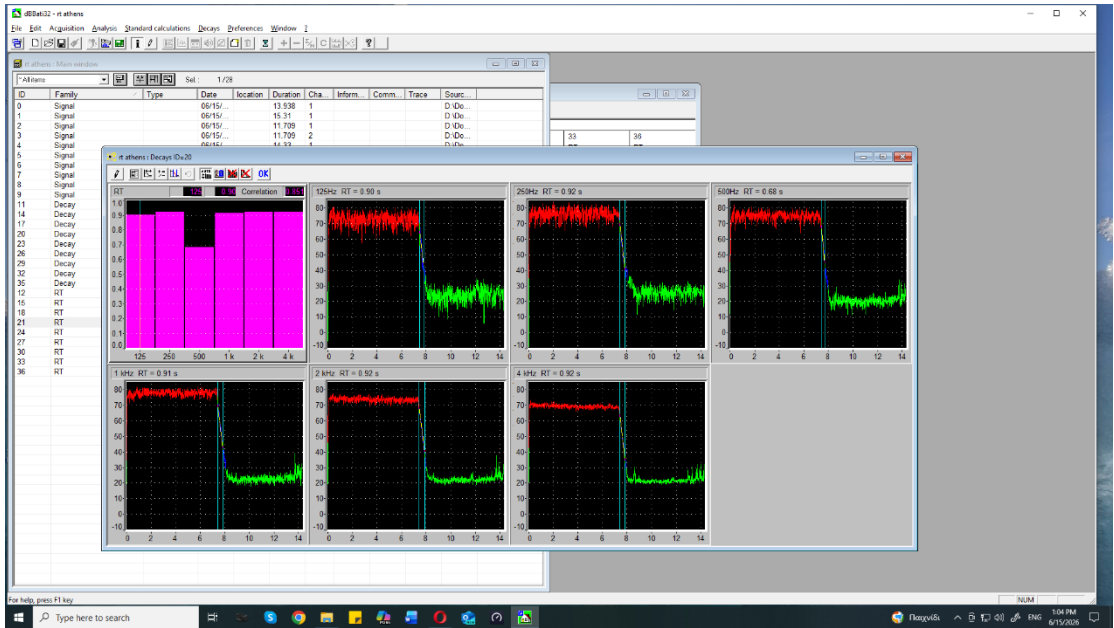
250 1.12

500 0.71

1 k 0.81

2 k 0.91

4 k 0.90



D:\...\rt athens.CMG

ID 21

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 10:12:59

location

Comments R1_4

Channel 1

Hz s

125 0.90

250 0.92

500 0.68

1 k 0.91

2 k 0.92

4 k 0.92

rt1_5



D:\...\rt athens.CMG

ID 24

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 10:12:59

location

Comments R1_5

Channel 1

Hz s

125 0.89

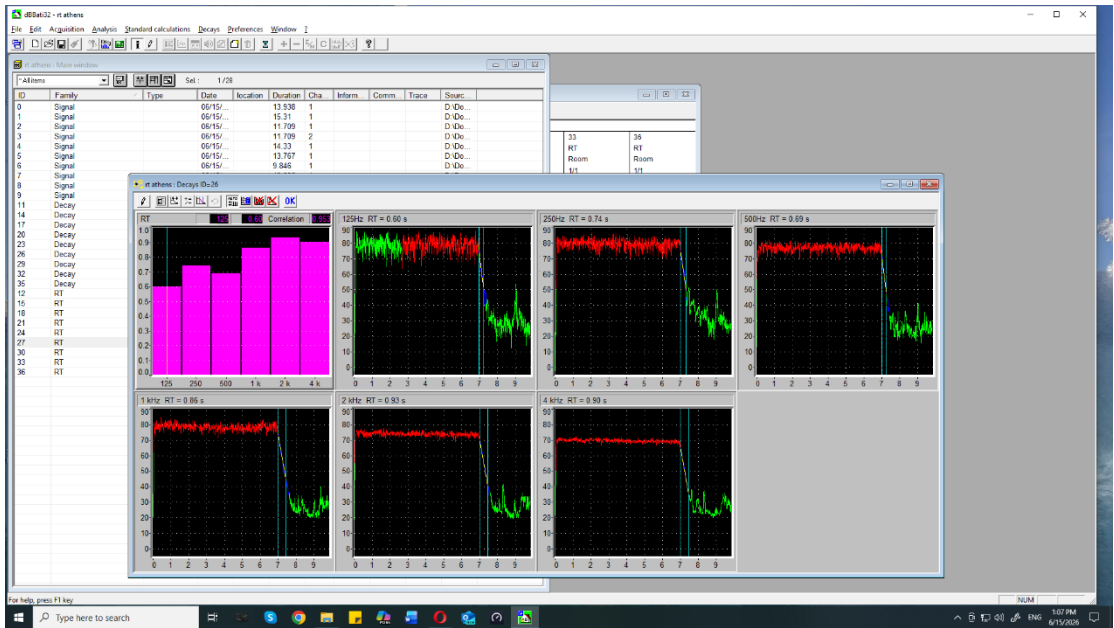
250 1.74

500 0.77

1 k 0.90

2 k 0.96

4 k 0.89



D:\...\rt athens.CMG

ID 27

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 10:13:00

location

Comments R1_6

Channel 1

Hz s

125 0.60

250 0.74

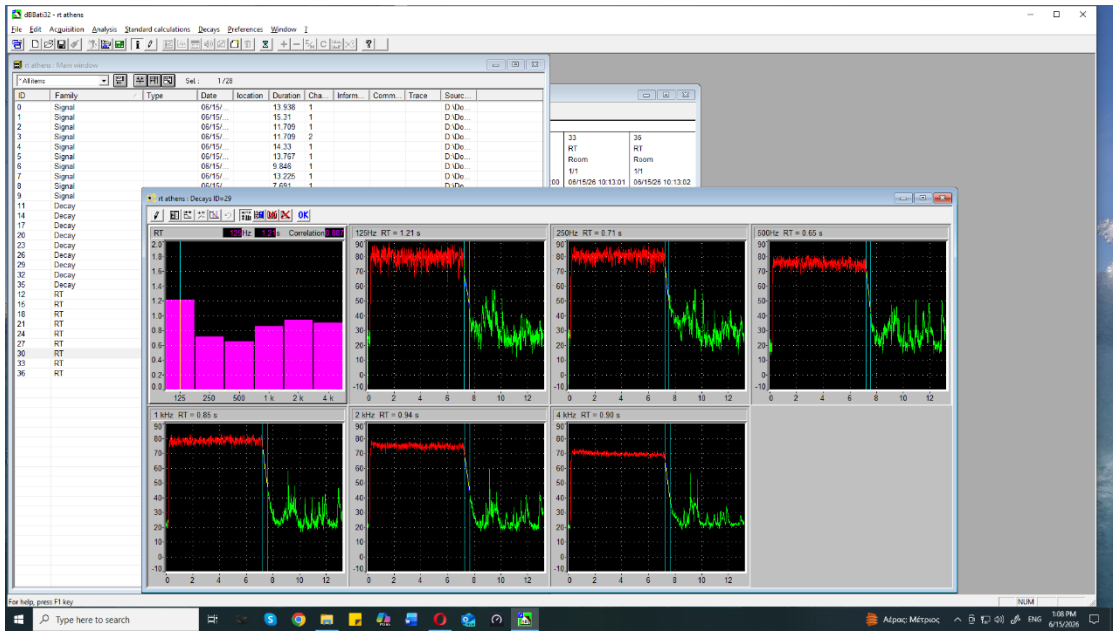
500 0.69

1 k 0.86

2 k 0.93

4 k 0.90

100



D:\...\rt athens.CMG

ID 30

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 10:13:00

location

Comments R1_7

Channel 1

Hz s

125 1.21

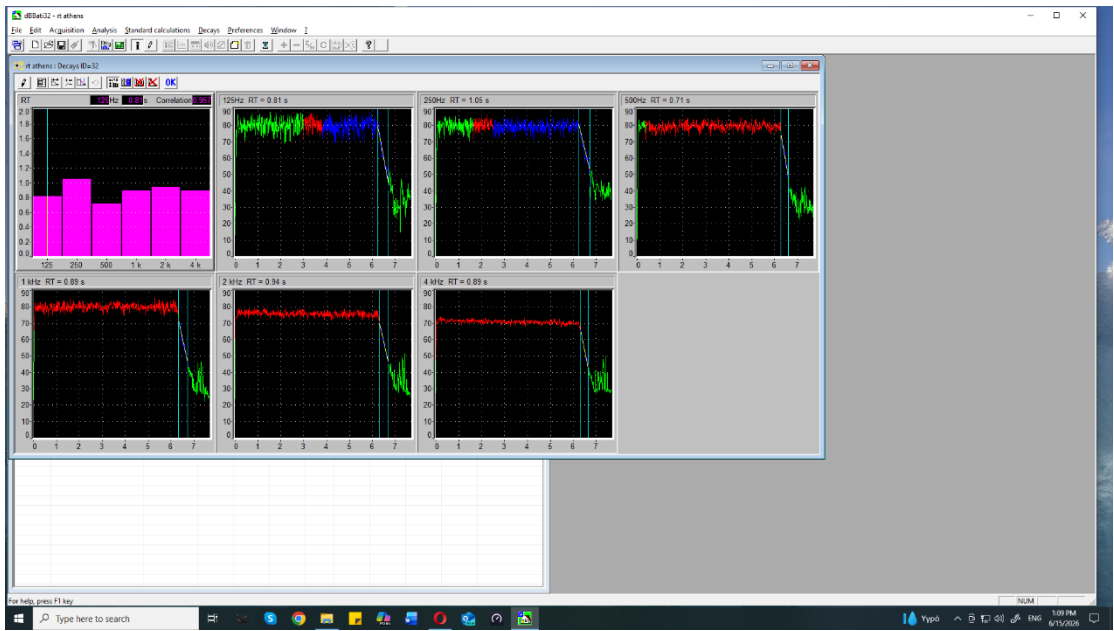
250 0.71

500 0.65

1 k 0.85

2 k 0.94

4 k 0.90



D:\...\rt athens.CMG

ID 33

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 10:13:01

location

Comments R1_8

Channel 1

Hz s

125 0.81

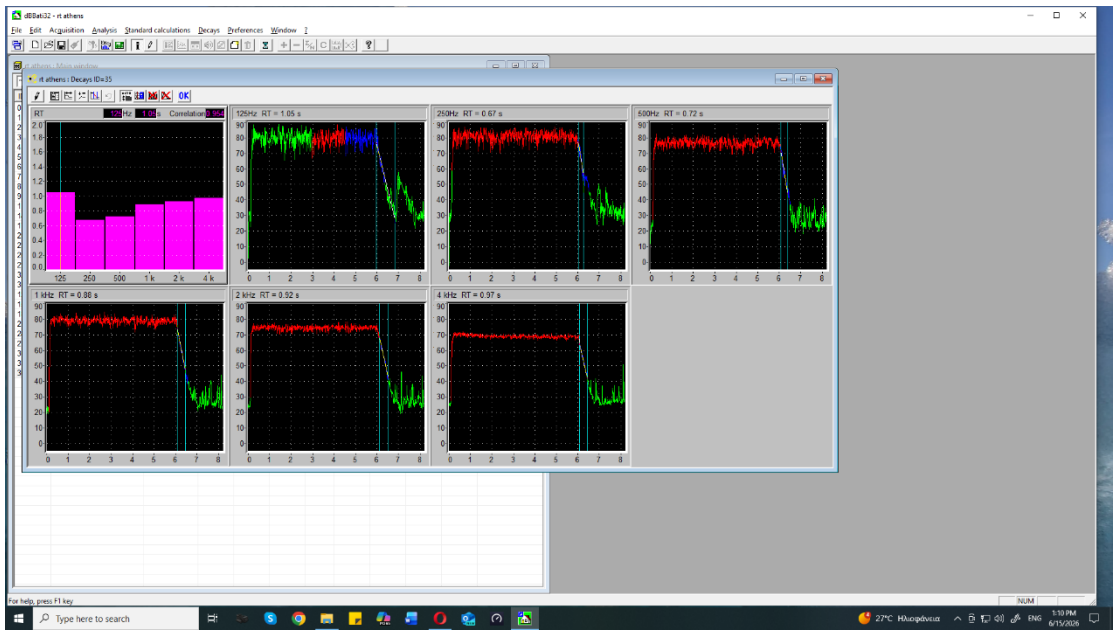
250 1.05

500 0.71

1 k 0.89

2 k 0.94

4 k 0.89



D:\...\rt athens.CMG

ID 36

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 10:13:02

location

Comments R1_9

Channel 1

Hz s

125 1.05

250 0.67

500 0.72

1 k 0.88

2 k 0.92

4 k 0.97



AVERAGE R1

D:\...\rt athens.CMG

ID 37

FamilyRT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 10:12:56

location

Comments R1_1

Channel 1

Hz s

125 0.96

250 1.02

500 0.70

1 k 0.89

2 k 0.93

4 k 0.92

ΘΕΣΗ ΠΟΜΠΟΥ 2 (SRC 2)

rt2

AVERAGE

D:\...\rt athens.CMG

ID 93

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1



Date 06/15/26 13:16:37

location

Comments R2_9 AVERAGE

Channel 1

Hz s

125 0.84

250 1.05

500 0.72

1 k 0.92

2 k 0.96

4 k 0.94



D:\...\rt athens.CMG



ID 50

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 13:16:43

location

Comments R2_1

Channel 1

Hz s

125 0.91

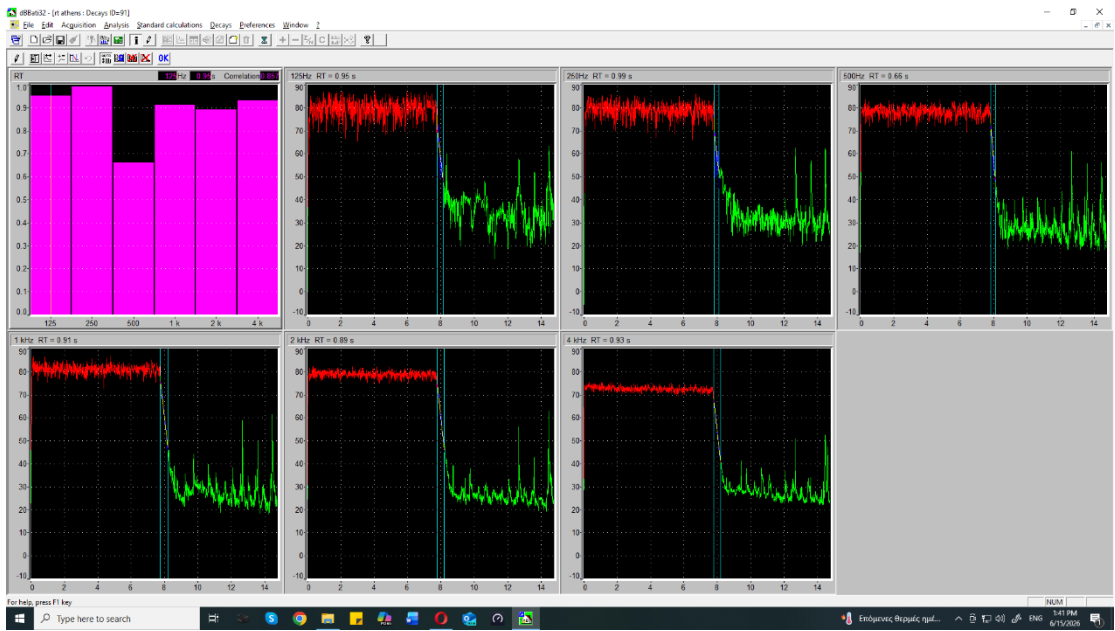
250 1.14

500 0.83

1 k 0.93

2 k 0.95

4 k 0.96



D:\...\rt athens.CMG

ID 92

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 13:16:42

location

Comments R2_2

Channel 1

Hz s

125 0.95

250 0.99

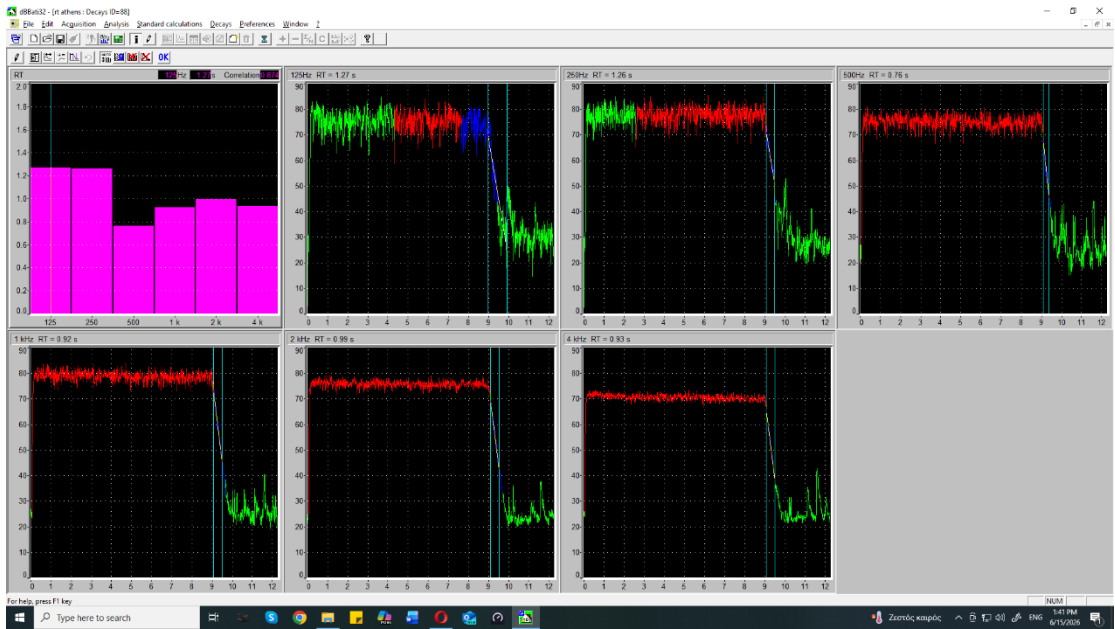
500 0.66

1 k 0.91

2 k 0.89

107

4 k 0.93



D:\...\rt athens.CMG

ID 89

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 13:16:42

location

Comments R2-3

Channel 1

Hz s

125 1.27

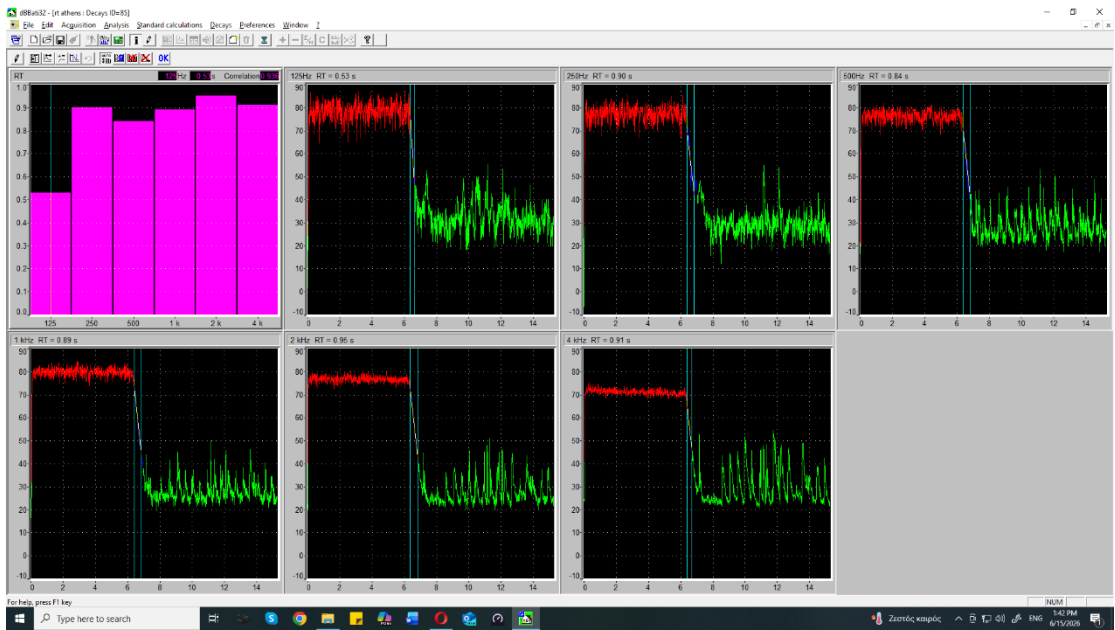
250 1.26

500 0.76

108



1 k	0.92
2 k	0.99
4 k	0.93



D:\...\rt athens.CMG

ID 86

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 13:16:41

location

Comments R2_4

Channel 1

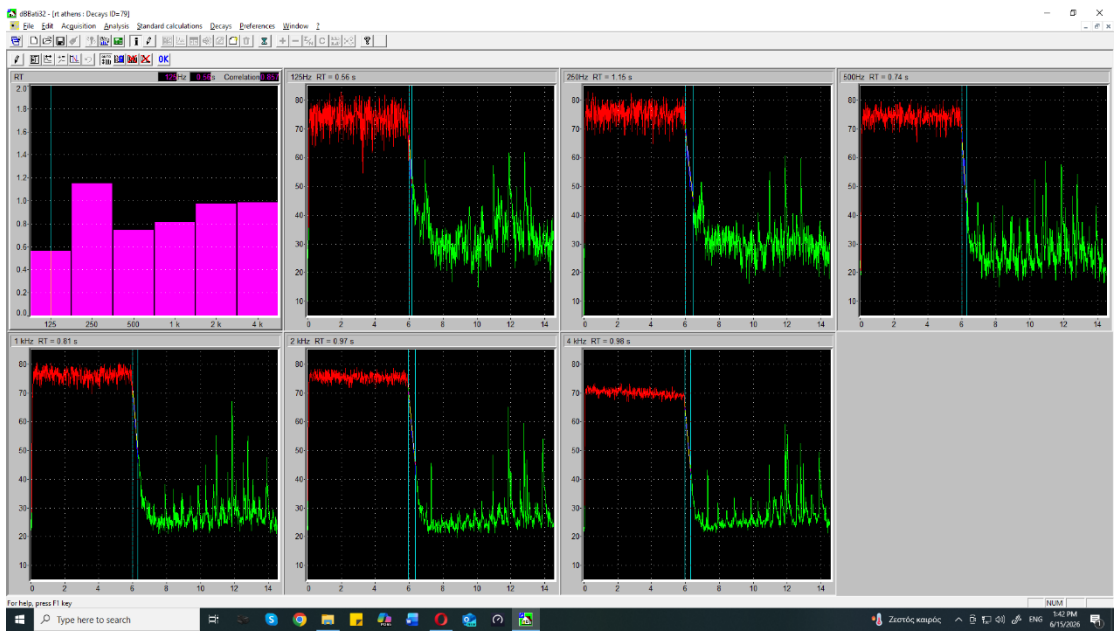
Hz s

125 0.53

109



250	0.90
500	0.84
1 k	0.89
2 k	0.95
4 k	0.91



D:\...\rt athens.CMG

ID 80

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

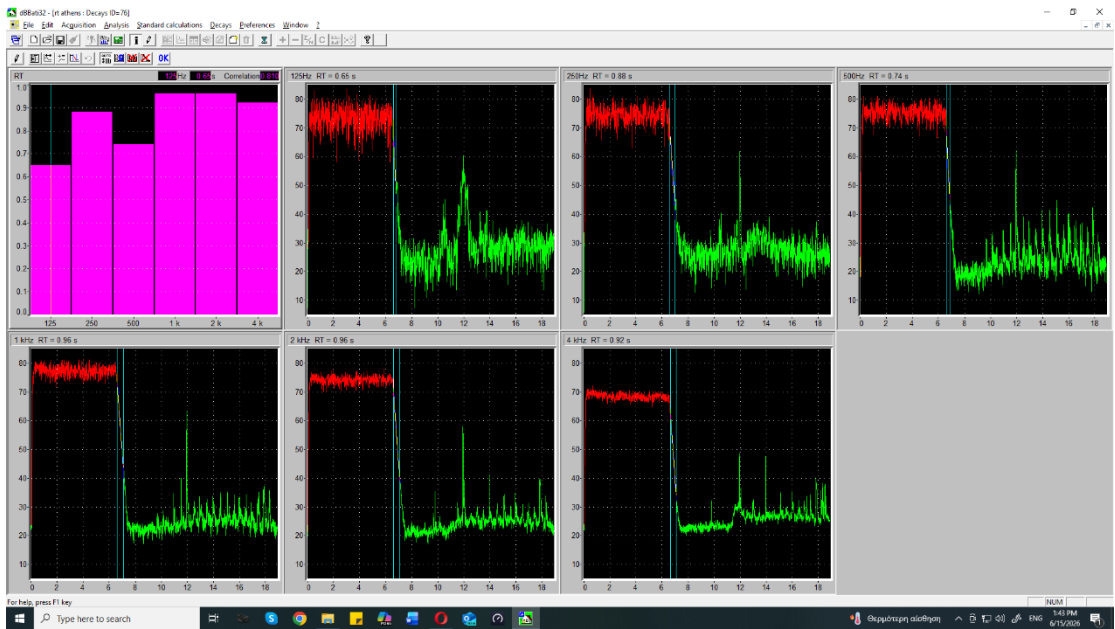
Date 06/15/26 13:16:41

location

Comments R2_5

Channel 1

Hz	s
125	0.56
250	1.15
500	0.74
1 k	0.81
2 k	0.97
4 k	0.98



D:\...\rt athens.CMG

ID 77

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 13:16:40

location

Comments R2_6

Channel 1

Hz s

125 0.65

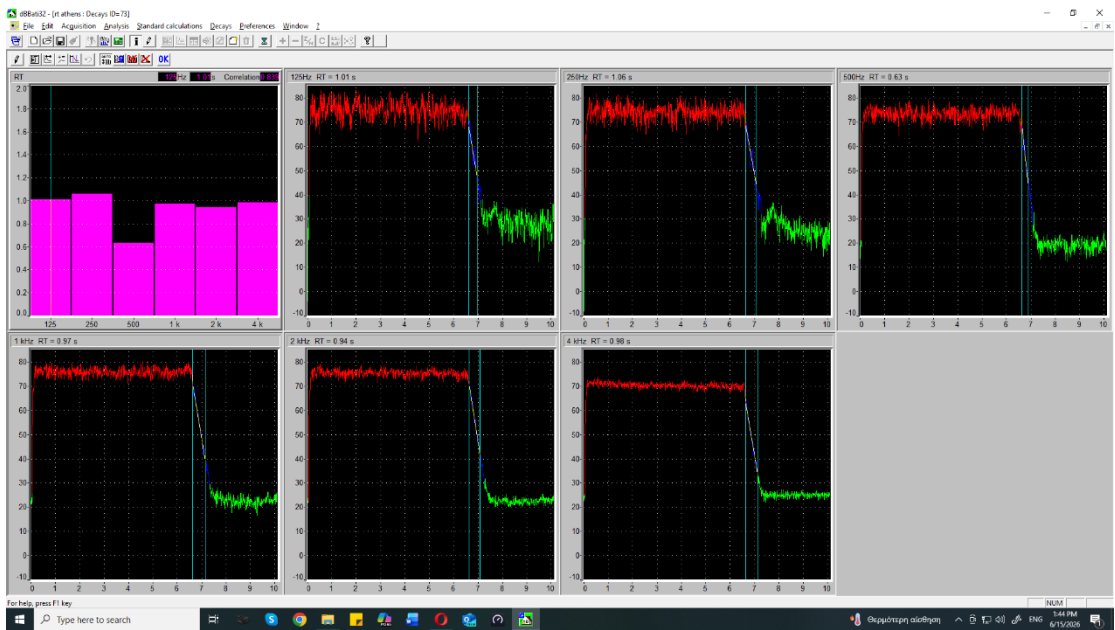
250 0.88

500 0.74

1 k 0.96

2 k 0.96

4 k 0.92



D:\...\rt athena.CMG

ID 74

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

112



Date 06/15/26 13:16:39

location

Comments R2_7

Channel 1

Hz s

125 1.01

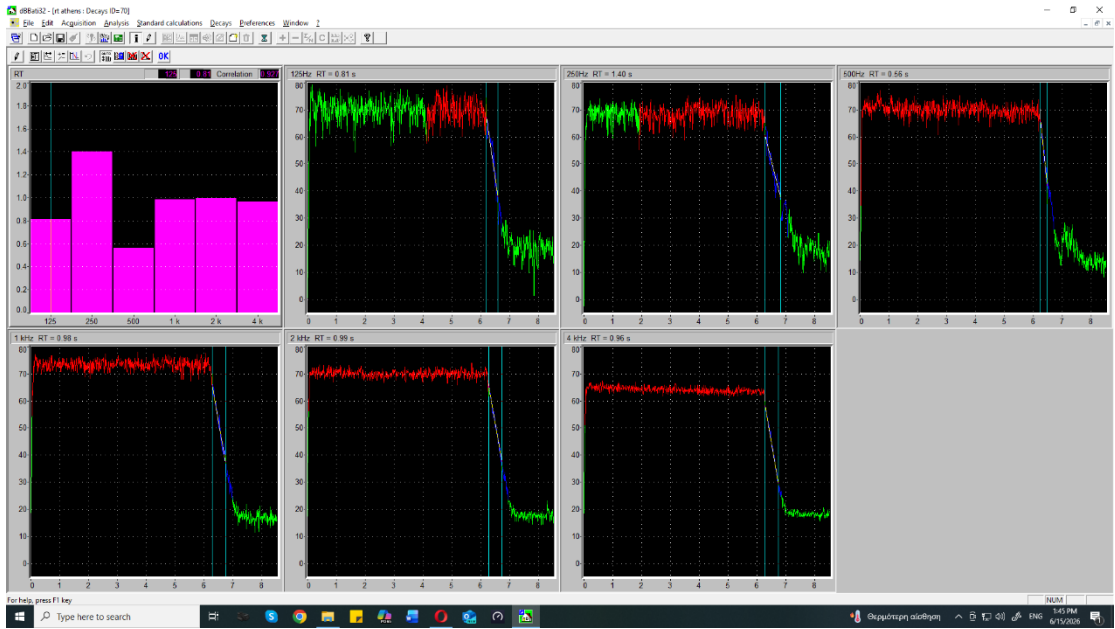
250 1.06

500 0.63

1 k 0.97

2 k 0.94

4 k 0.98



D:\...\rt athens.CMG

ID 71

Family RT



Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 13:16:39

location

Comments R2_8

Channel 1

Hz s

125 0.81

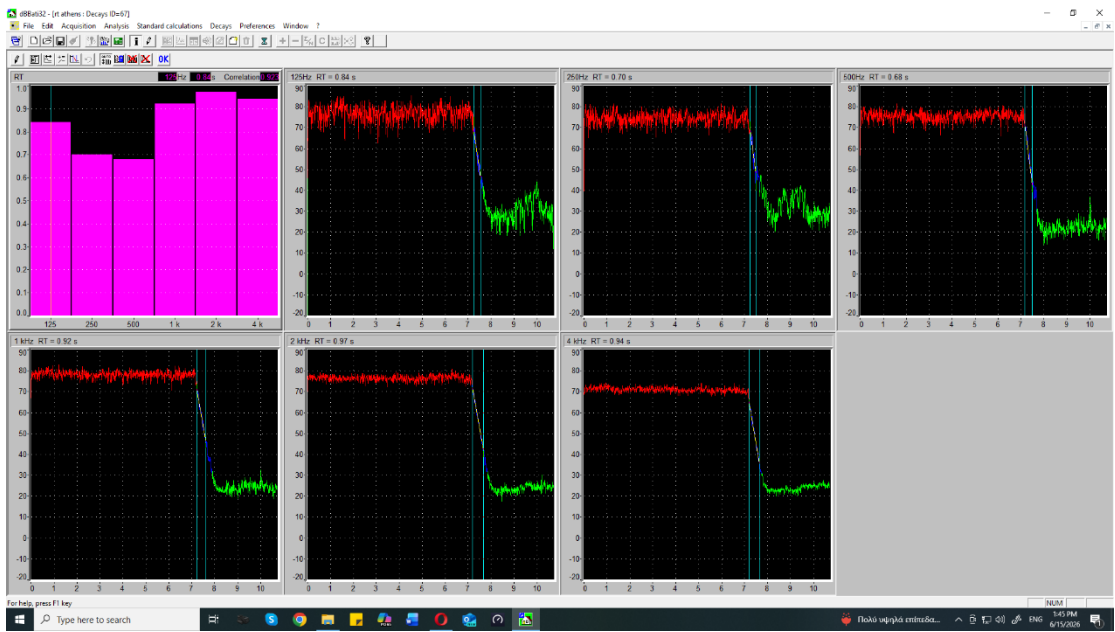
250 1.40

500 0.56

1 k 0.98

2 k 0.99

4 k 0.96



D:\...\rt athens.CMG



ID 68

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/15/26 13:16:37

location

Comments R2_9

Channel 1

Hz s

125 0.84

250 0.70

500 0.68

1 k 0.92

2 k 0.97

4 k 0.94

ΘΕΣΗ ΠΟΜΠΟΥ 3 (SRC 3)

rt3

AVERAGE

D:\...\rt athens.CMG

ID 130

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/16/26 08:34:50

location

Comments **R3_AVERAGE**

Channel 1

Hz s

125 0.79

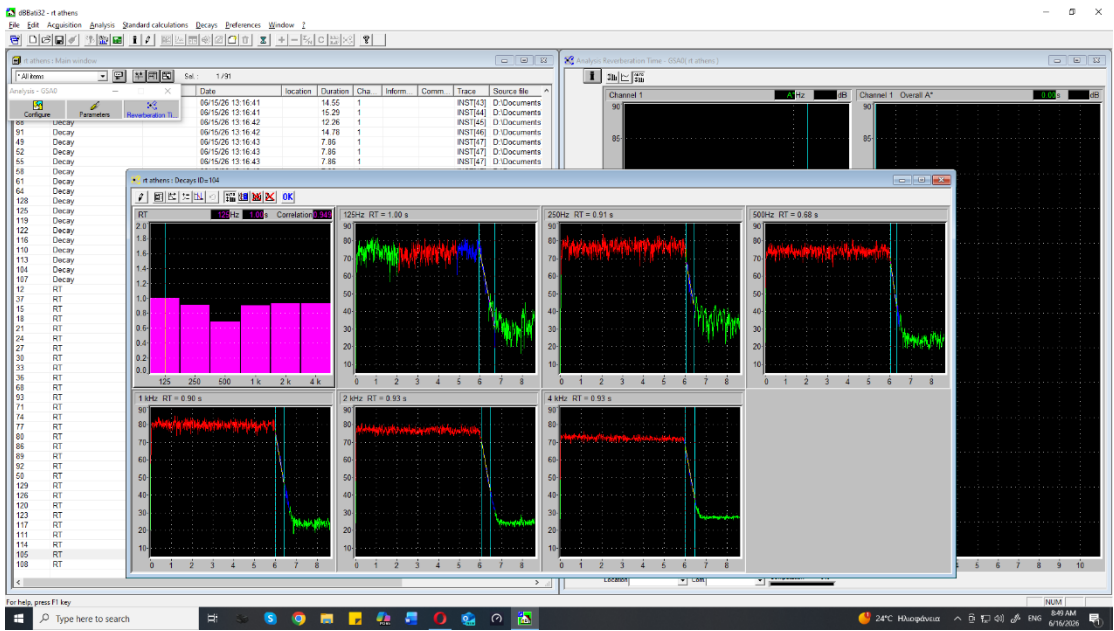
250 0.88

500 0.67

1 k 0.90

2 k 0.94

4 k 0.92



D:\...\rt athens.CMG

ID 105

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/16/26 08:34:50

location

Comments **R3_1**

Channel 1

Hz s

125 1.00

250 0.91

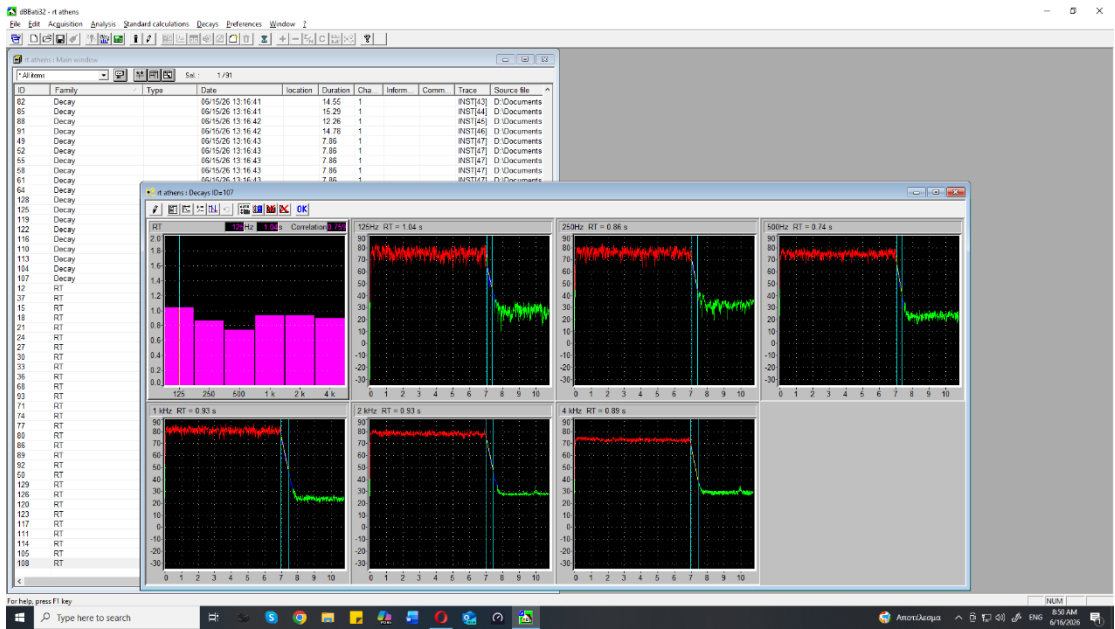
500 0.68

1 k 0.90

2 k 0.93

117

4 k 0.93



D:\...\rt athens.CMG

ID 108

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/16/26 08:34:50

location

Comments R3_2

Channel 1

Hz s

125 1.04

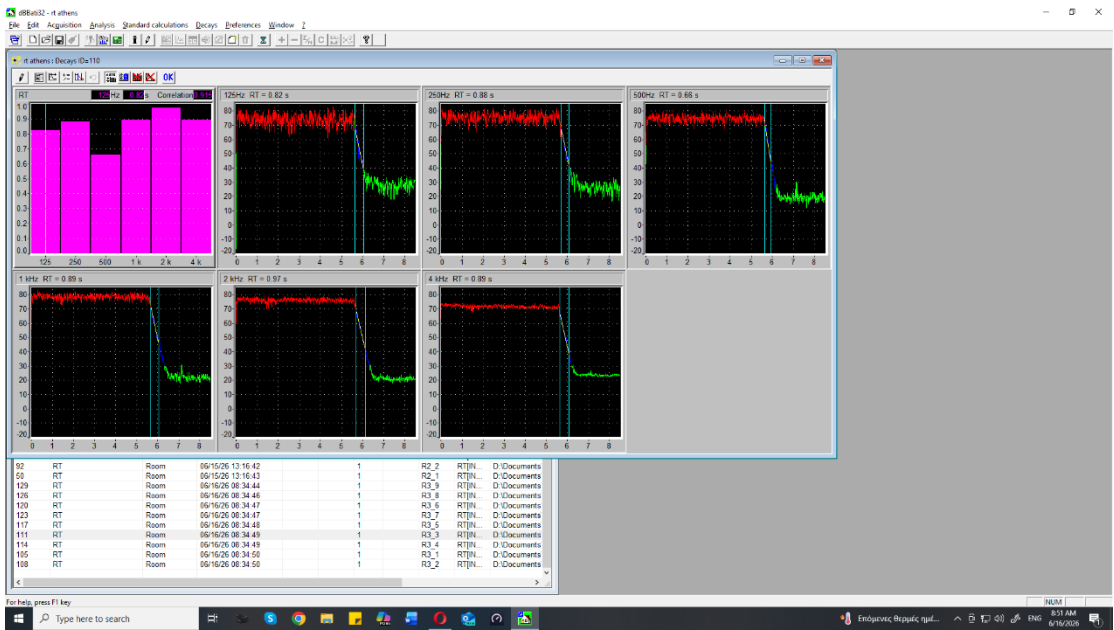
250 0.86

500 0.74

118



1 k	0.93
2 k	0.93
4 k	0.89



D:\...\rt athens.CMG

ID 111

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/16/26 08:34:49

location

Comments R3_3

Channel 1

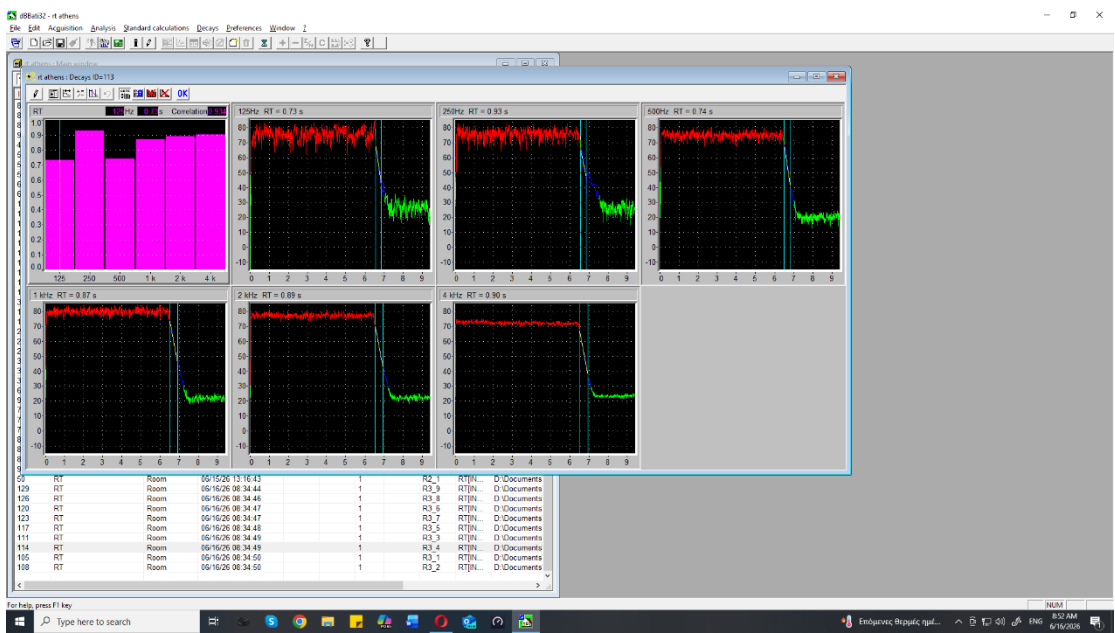
Hz s

125 0.82

119



250	0.88
500	0.66
1 k	0.89
2 k	0.97
4 k	0.89



D:\...\rt athens.CMG

ID 114

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/16/26 08:34:49

location

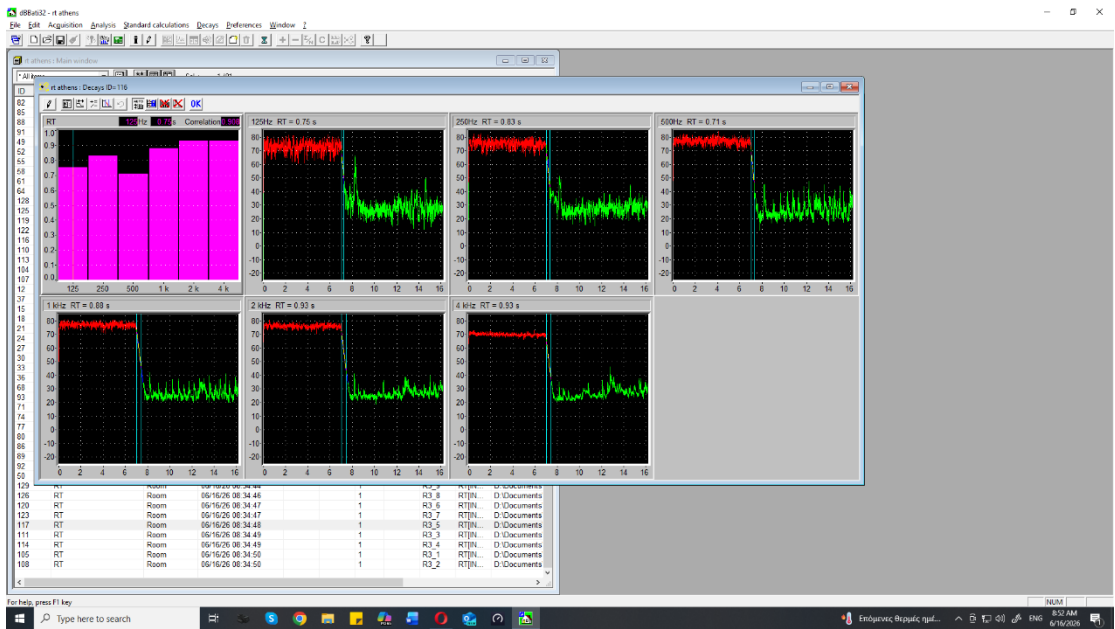
Comments R3_4

Channel 1

120



Hz	s
125	0.73
250	0.93
500	0.74
1 k	0.87
2 k	0.89
4 k	0.90



D:\...\rt athens.CMG

ID 117

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/16/26 08:34:48



location

Comments R3_5

Channel 1

Hz s

125 0.75

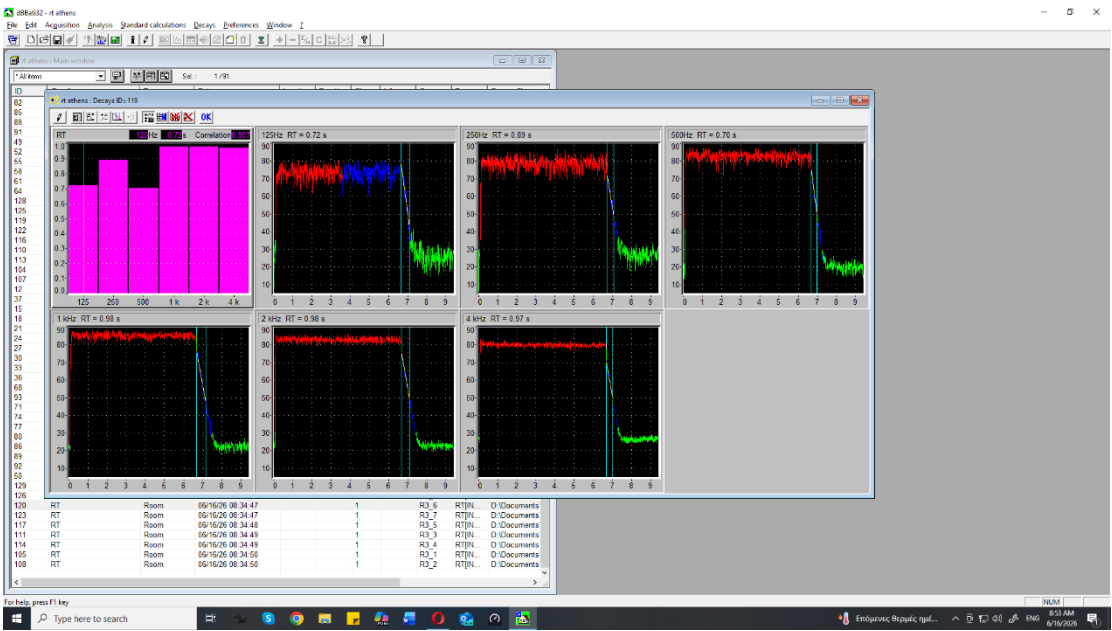
250 0.83

500 0.71

1 k 0.88

2 k 0.93

4 k 0.93



D:\...\rt athens.CMG

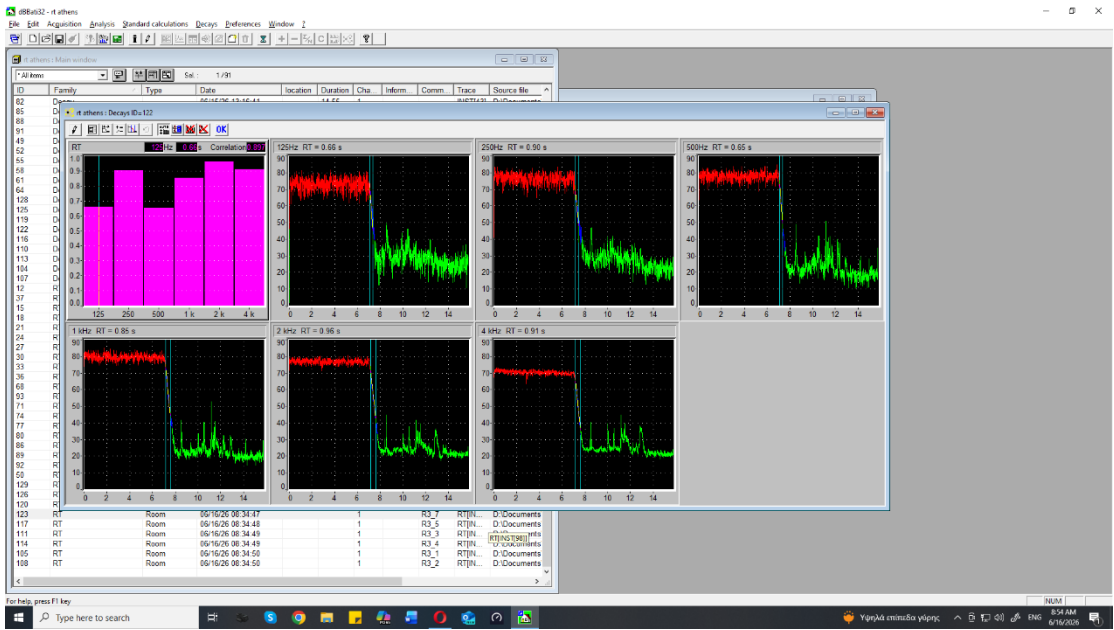
ID 120

Family RT

122



Type	Room
X axis resolution	1/1
Date	06/16/26 08:34:47
location	
Comments	R3_6
Channel	1
Hz	s
125	0.72
250	0.89
500	0.70
1 k	0.98
2 k	0.98
4 k	0.97



D:\...\rt athens.CMG



ID 123

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/16/26 08:34:47

location

Comments R3_7

Channel 1

Hz s

125 0.66

250 0.90

500 0.65

1 k 0.85

2 k 0.96

4 k 0.91



D:\...\rt athens.CMG

ID 126

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/16/26 08:34:46

location

Comments R3_8

Channel 1

Hz s

125 0.68

250 0.70

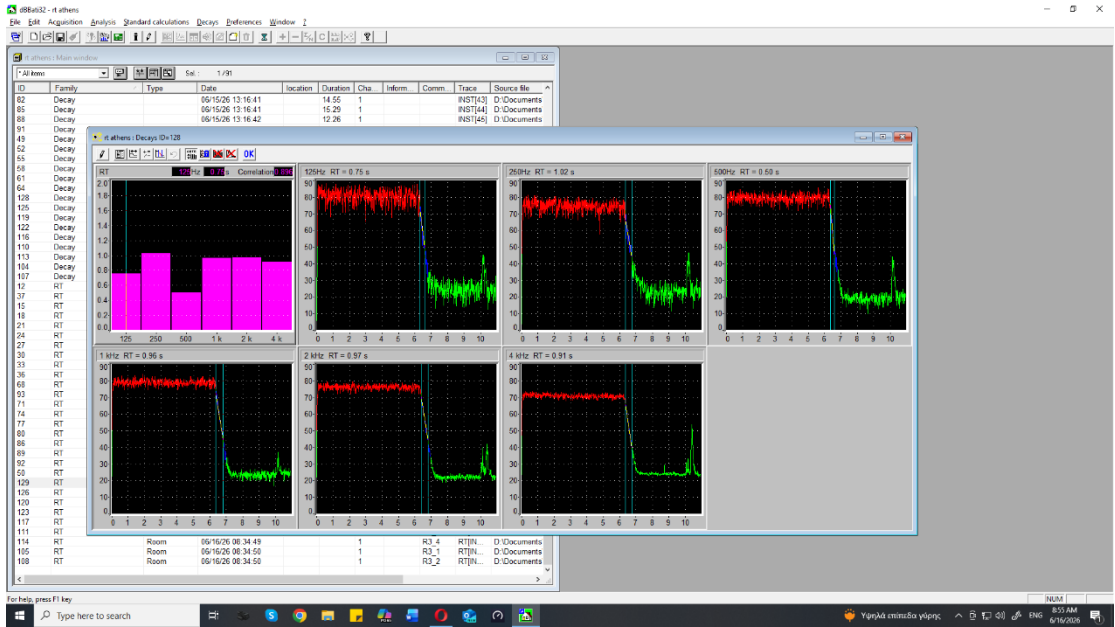
500 0.68

1 k 0.86

2 k 0.93

125

4 k 0.96



D:\...\rt athens.CMG

ID 129

Family RT

Type Room

X axis resolution 1/1

Date 06/16/26 08:34:44

location

Comments R3_9

Channel 1

Hz s

125 0.75

250 1.02

500 0.50

126



*Κουνουγέρης Γεώργιος Ακουστικές προκλήσεις σε έργα
επανάχρησης κτιρίων*

1 k 0.96

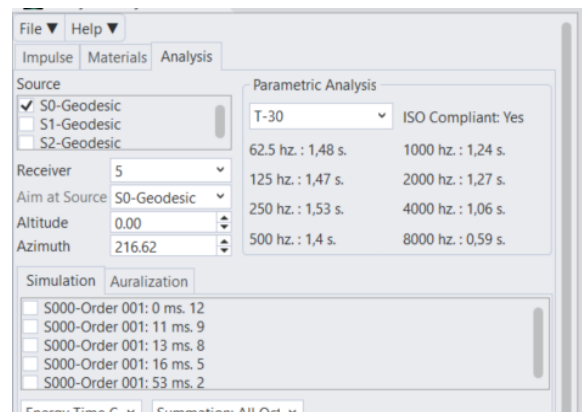
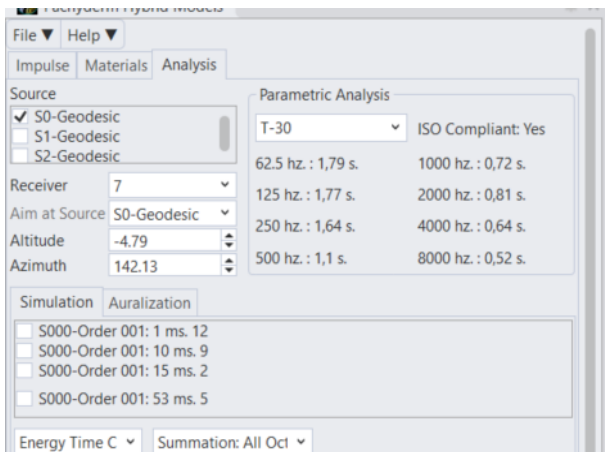
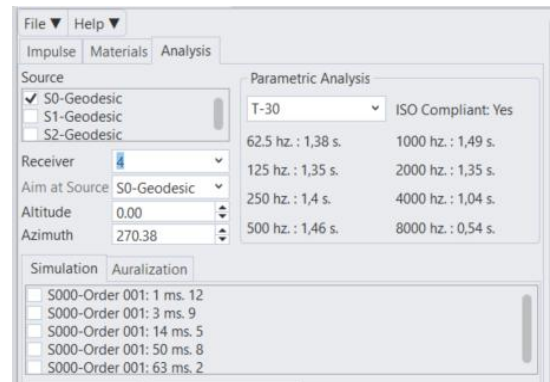
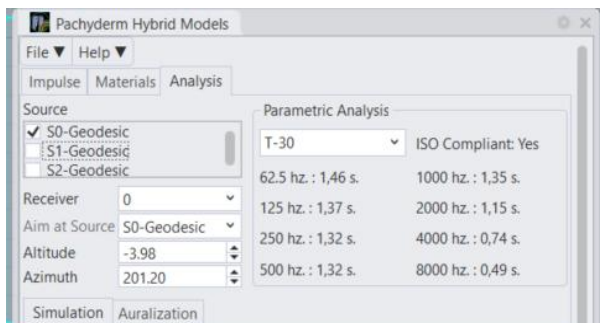
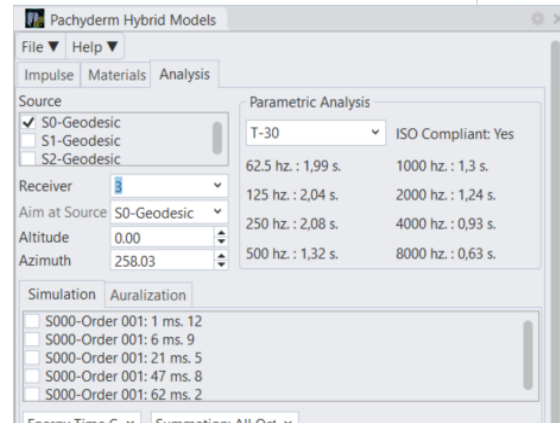
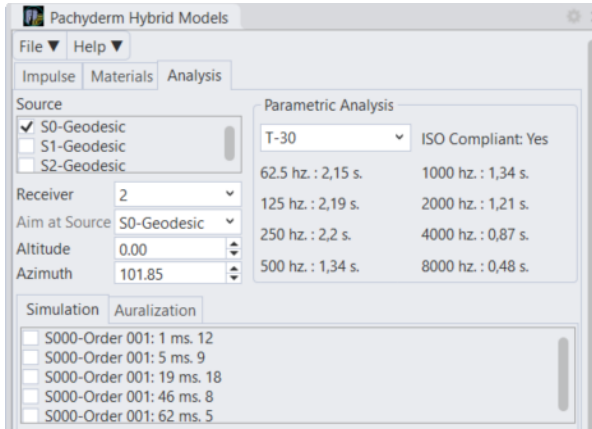
2 k 0.97

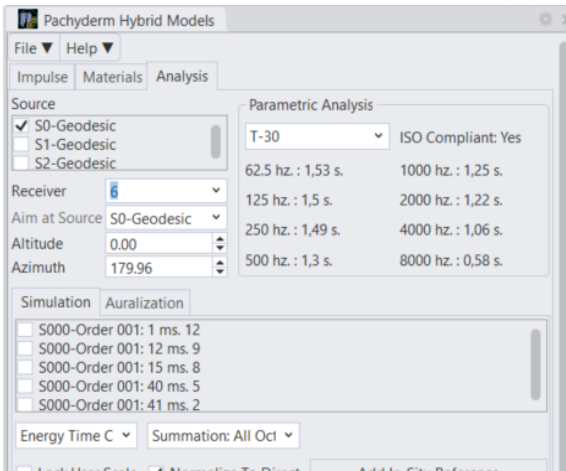
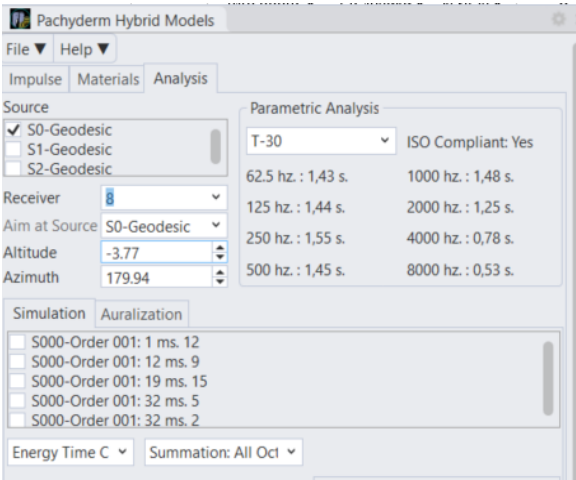
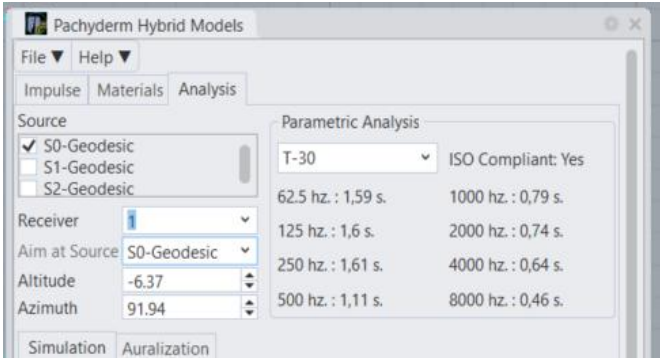
4 k 0.91

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

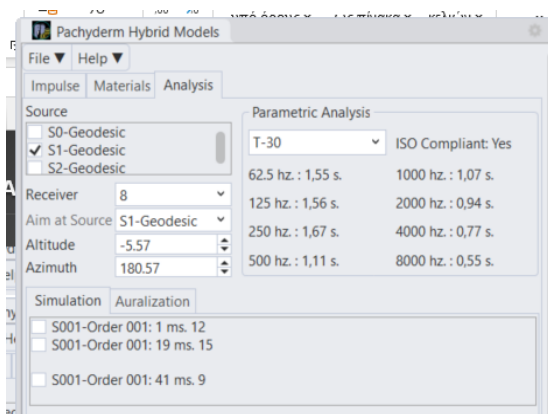
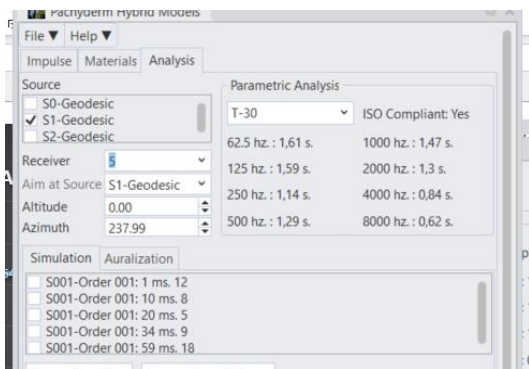
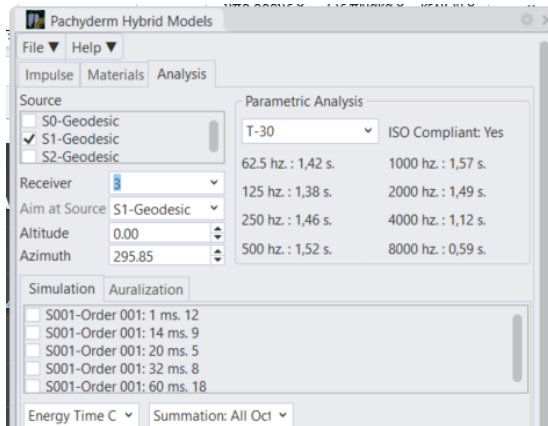
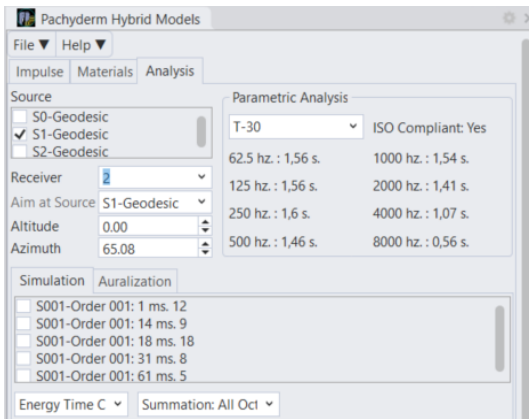
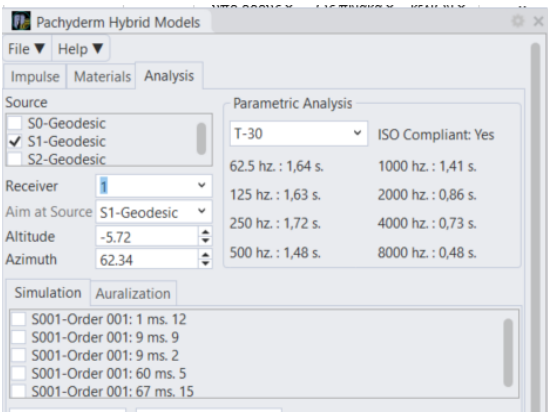
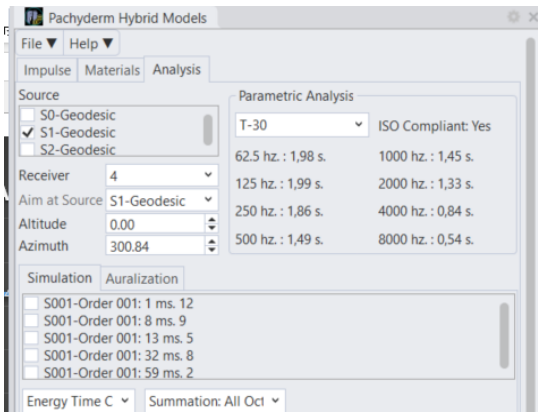
Αποτελέσματα Rhino για κάθε θέση πομπού

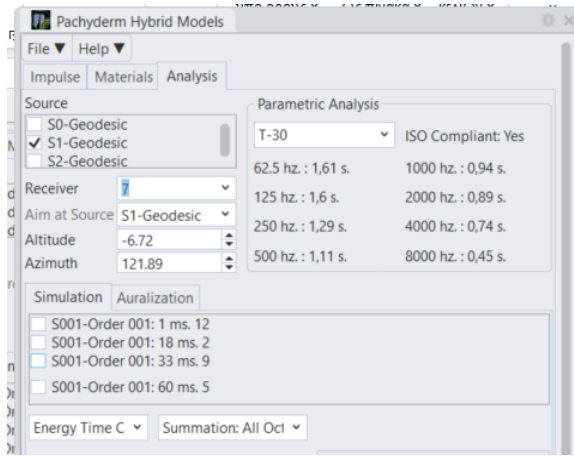
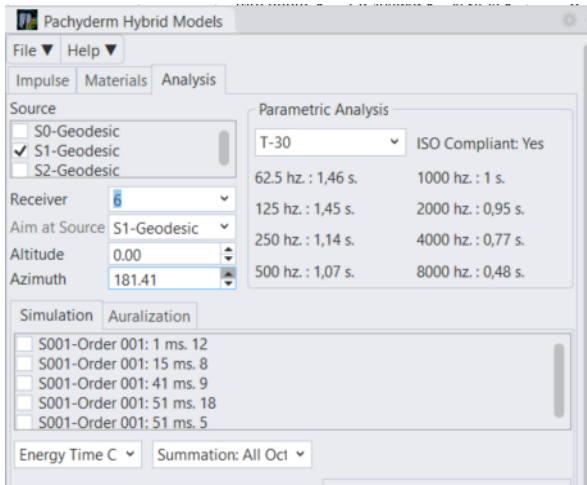
SRC 0 _Πίσω μέρος Θεατών





SRC 1_Κεντρο θεατών





SRC 2_ΣΚΗΝΗ

Pachyderm Hybrid Models

File Help

Impulse Materials Analysis

Source

☐ S0-Geodesic
☐ S1-Geodesic
☒ S2-Geodesic

Receiver 5

Aim at Source S2-Geodesic

Altitude 7.23

Azimuth 297.86

Parametric Analysis

T-30 ISO Compliant: Yes

62.5 hz : 1,38 s.	1000 hz : 1,02 s.
125 hz : 1,37 s.	2000 hz : 1 s.
250 hz : 1,12 s.	4000 hz : 0,73 s.
500 hz : 1,04 s.	8000 hz : 0,51 s.

Simulation Auralization

☐ S002-Order 001: 1 ms. 12
☐ S002-Order 001: 20 ms. 5
☐ S002-Order 001: 24 ms. 15
☐ S002-Order 001: 57 ms. 9

Energy Time C Summation: All Oct

Pachyderm Hybrid Models

File Help

Impulse Materials Analysis

Source

☐ S0-Geodesic
☐ S1-Geodesic
☒ S2-Geodesic

Receiver 6

Aim at Source S2-Geodesic

Altitude 15.29

Azimuth 359.93

Parametric Analysis

T-30 ISO Compliant: Yes

62.5 hz : 1,16 s.	1000 hz : 1,03 s.
125 hz : 1,15 s.	2000 hz : 0,94 s.
250 hz : 1,05 s.	4000 hz : 0,73 s.
500 hz : 0,98 s.	8000 hz : 0,5 s.

Simulation Auralization

☐ S002-Order 001: 3 ms. 12
☐ S002-Order 001: 32 ms. 15
☐ S002-Order 001: 67 ms. 9

Energy Time C Summation: All Oct

☐ Lock User Scale ☒ Normalize To Direct Add In-Situ Reference

Pachyderm Hybrid Models

File Help

Impulse Materials Analysis

Source

☐ S0-Geodesic
☐ S1-Geodesic
☒ S2-Geodesic

Receiver 4

Aim at Source S2-Geodesic

Altitude 3.70

Azimuth 327.78

Parametric Analysis

T-30 ISO Compliant: Yes

62.5 hz : 2,16 s.	1000 hz : 1,14 s.
125 hz : 2,21 s.	2000 hz : 0,93 s.
250 hz : 2,29 s.	4000 hz : 0,75 s.
500 hz : 1,22 s.	8000 hz : 0,55 s.

Simulation Auralization

☐ S002-Order 001: 1 ms. 12
☐ S002-Order 001: 9 ms. 5
☐ S002-Order 001: 11 ms. 9
☐ S002-Order 001: 29 ms. 15
☐ S002-Order 001: 49 ms. 2

Energy Time C Summation: All Oct

Pachyderm Hybrid Models

File Help

Impulse Materials Analysis

Source

☐ S0-Geodesic
☐ S1-Geodesic
☒ S2-Geodesic

Receiver 2

Aim at Source S2-Geodesic

Altitude 4.19

Azimuth 32.75

Parametric Analysis

T-30 ISO Compliant: Yes

62.5 hz : 2,04 s.	1000 hz : 1,02 s.
125 hz : 2,06 s.	2000 hz : 0,91 s.
250 hz : 2,2 s.	4000 hz : 0,77 s.
500 hz : 1,25 s.	8000 hz : 0,51 s.

Simulation Auralization

☐ S002-Order 001: 1 ms. 12
☐ S002-Order 001: 13 ms. 2
☐ S002-Order 001: 19 ms. 9
☐ S002-Order 001: 29 ms. 15
☐ S002-Order 001: 50 ms. 5

Energy Time C Summation: All Oct

☐ Lock User Scale ☒ Normalize To Direct Add In-Situ Reference

Pachyderm Hybrid Models

File Help

Impulse Materials Analysis

Source

☐ S0-Geodesic
☐ S1-Geodesic
☒ S2-Geodesic

Receiver 0

Aim at Source S2-Geodesic

Altitude 0.00

Azimuth 266.12

Parametric Analysis

T-30 ISO Compliant: Yes

62.5 hz : 1,15 s.	1000 hz : 1,89 s.
125 hz : 1,12 s.	2000 hz : 1,85 s.
250 hz : 1,16 s.	4000 hz : 1,5 s.
500 hz : 1,4 s.	8000 hz : 0,83 s.

Simulation Auralization

☐ S002-Order 001: 1 ms. 11
☐ S002-Order 001: 6 ms. 13
☐ S002-Order 001: 19 ms. 15
☐ S002-Order 001: 37 ms. 14
☐ S002-Order 001: 76 ms. 9

Energy Time C Summation: All Oct

☐ Lock User Scale ☒ Normalize To Direct Add In-Situ Reference

Pachyderm Hybrid Models

File Help

Impulse Materials Analysis

Source

☐ S0-Geodesic
☐ S1-Geodesic
☒ S2-Geodesic

Receiver 7

Aim at Source S2-Geodesic

Altitude 0.00

Azimuth 63.68

Parametric Analysis

T-30 ISO Compliant: Yes

62.5 hz : 1,19 s.	1000 hz : 1,29 s.
125 hz : 1,16 s.	2000 hz : 1,06 s.
250 hz : 0,92 s.	4000 hz : 0,82 s.
500 hz : 1,1 s.	8000 hz : 0,54 s.

Simulation Auralization

☐ S002-Order 001: 19 ms. 2
☐ S002-Order 001: 24 ms. 15
☐ S002-Order 001: 57 ms. 9

