



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών

**ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΣΕ
ΘΕΑΤΡΙΚΕΣ ΣΚΗΝΕΣ ΤΟΥ 19^{ου} ΚΑΙ 20^{ου}
ΑΙΩΝΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

(Θέατρα: «Απόλλων», «Παλλάς», «Δη. Θε. Λαμίας»)

Διπλωματική εργασία

των σπουδαστών:

**Βουγιούκα Σταύρου
Μπαλιάκα Παναγιώτη**

ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ	Ε. Βουγιούκας, επ.καθηγητής ΕΜΠ
ΕΠΙΒΛΕΨΗ	Α. Σωτηροπούλου, τ. αν. καθηγ. ΕΜΠ Ι. Καραγιάννης, γ.Δ. ΕΜΠ
ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ	Ε. Βουγιούκας, επ.καθηγητής ΕΜΠ Ε. Μπαδογιάννης, επ. καθ.ΕΜΠ Α. Μπαλλης, καθηγητής .ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2018

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επιστεγάζει την ολοκλήρωση του κύκλου σπουδών μας στη σχολή των Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Οφείλουμε λοιπόν να εκφράσουμε τις από καρδιάς ευχαριστίες μας σε όλους όσους συνέβαλλαν με τον τρόπο τους στην επίτευξη αυτού του στόχου.

Στους καθηγητές που αναφέρονται στο πρωτοσέλιδο της παρούσας εκφράζονται ευχαριστίες για την πολύτιμη παρουσία τους κοντά μας. Ευχαριστούμε ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα ΕΜΠ Γιάννη Καραγιάννη για την βοήθεια και το χρόνο που διέθεσε στη διεξαγωγή της παρούσας εργασίας και κυρίως του πειραματικού μέρους, καθώς επίσης και στην ηθοποιό Γιασεμή Κηλαηδόνη για τη βοήθεια στην επικοινωνία με το προσωπικό των θεάτρων.

Εκφράζουμε την ευγνωμοσύνη μας προς τους καθηγητές κύριο Ν.Λαγαρό, κοσμήτορα της σχολής πολιτικών μηχανικών Ε.Μ.Π. και το κύριο Δ.Κουτσογιάννη π.κοσμήτορα της σχολης Ε.Μ.Π. καθώς και τον κύριο Γ. Πουλάκο για τη στήριξη στο έργο μας.

Ευχαριστίες εκφράζονται προς στα στελέχη των θεάτρων που χρησιμοποιήθηκαν και στο ευρύ κοινό που συμμετείχε στα πειράματα, χάρις στους οποίους κατέστησαν δυνατές οι επιτόπιες μετρήσεις.

Ακόμη, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους συναδέλφους μας Ο. Μάργαρη, Γ. Ράλλη, Γ. Καραβόγλου-Σχισμένο, Γ. Φωτομάρα, Γ. Νάκο , Μ. Τρουλλινό , Μ. Σκούτα , Π. Πάνου, Π. Σπύρου, Β. Λουίζο και Γ. Πετρόπουλο για τη συνεργασία και πρόθυμη παροχή βιβλιογραφικού υλικού. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε από καρδιάς τις οικογένειές μας για την ηθική και οικονομική τους στήριξη σε όλα τα χρόνια των σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Ελλάδα είναι η χώρα όπου γεννήθηκε το θέατρο τόσο ως δραματουργική τέχνη όσο και ως αρχιτεκτονική 'ποιητική'. Αποκορύφωμα και μαρτυρία αποτελεί το εν λειτουργία στις μέρες μας περιώνυμο ανά τον κόσμο αρχαίο θέατρο της Επιδαύρου. του 3^{ου} π.Χ. αιώνα. Η μακραίωνη παύση έκτοτε στο αντικείμενο, τελειώνει με την ανασύσταση του Ελληνικού κράτους στο 19^ο αιώνα, οπότε ο Ευρωπαϊκός **νεοκλασικισμός** εισβάλλει στην αρχιτεκτονική του τόπου μας· μεταξύ των κτιρίων εκείνης της εποχής συγκαταλέγεται και η κομψή παρουσία του Εθνικού Θεάτρου της Αθήνας.

Σύντομα, με την έλευση του **20^{ου} αιώνα** και του μοντερνισμού στον τόπο μας, η νεοελληνική αρχιτεκτονική εμπλουτίζεται με εμβληματικά κτίρια που στεγάζουν την θεατρική τέχνη, όπως το θέατρο 'Ρέξ', το 'Παλλάς' κλπ. στην Αθήνα, το κτίριο Μακεδονικών Σπουδών στη Θεσσαλονίκη, και αλλού. Αυτή η κατηγορία κτιρίων ενώ χαρακτηρίζονται από την λιτότητα του κινήματος του μοντερνισμού διατηρούν τις μνημειώδεις διαστάσεις της εποχής που είχε προηγηθεί, και εμφανίζονται καθ' όλη την **περίοδο του μεσοπολέμου**. Όμως τα διακεκριμένα θέατρα της περιόδου εκείνης δεν είναι δυνατόν να καλύψουν τις αυξημένες ανάγκες της εποχής που θα ακολουθήσει μετά τον πόλεμο.

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα κυρίως λόγω αστυφιλίας, σε συνδυασμό με την εξέλιξη και την αγάπη του Έλληνα για το είδος αυτό της τέχνης, έχουν ως αποτέλεσμα την δημιουργία πληθώρας νέων θεατρικών σκηνών στην **μεταπολεμική Ελλάδα του μοντερνισμού**. Δυστάσεις παρατηρούνται στην περίοδο αυτή. Η πρώτη ενσαρκώνει το δόγμα του μοντερνισμού που συνοψίζεται στο μότο «less is more» ('ούκ εν τω πολλώ το εύ'), και χρησιμοποιεί το περιορισμένων διαστάσεων ισόγειο ή υπόγειο νεόδμητων αστικών πολυκατοικιών για να χωρέσει τα νέα θέατρα της εποχής, όπως είναι το 'Τζένη Καρέζη' το 'Θέατρο Άλφα' στην Αθήνα, και αλλού. Η άλλη τάση επιλέγει την ευρυχωρία του αυτοτελούς κτιρίου με χρήση αποκλειστικά το θέατρο. Παραδείγματα αποτελούν θέατρα που ανεγέρθησαν τότε υπό την αιγίδα του Υπ. Πολιτισμού σε διάφορες Ελληνικές πόλεις για να καλύψουν τις τοπικές ανάγκες. Αυτές τις μαζικές εξελίξεις ακολουθεί η σύσταση της τότε Ελληνικής Ακουστικής Εταιρείας, στα τέλη της δεκαετίας του 1970, που ανάμεσα στους στόχους της είναι η ευαισθητοποίηση στην ανάγκη για κατάλληλο ακουστικό σχεδιασμό χώρων αυτού του είδους. Παράλληλα η ανάπτυξη και της εγχώριας βιομηχανίας δομικών υλικών για ακουστικές εφαρμογές στον τόπο μας, διαμορφώνουν και τροφοδοτούν την αρχιτεκτονική ποιητική του σύγχρονου θεάτρου ολοέν και περισσότερο.

Με την έλευση της **νέας χιλιετίας**, τα υλικά της εποχής του υπολογιστού, τα 'έξυπνα' κτίρια και η ευελιξία που αυτά υπόσχονται, δίδουν νέα ώθηση στην

αρχιτεκτονική του θεάτρου παγκοσμίως. Ήδη στον τόπο μας απαριθμούμε παραδείγματα όπως οι χώροι θεατρικών εκδηλώσεων αντίστοιχα, στη Στέγη Γραμμάτων και Τεχνών του Ιδρύματος Ωνάση, και Ιδρύματος Σταύρος Νιάρχος, στην Αθήνα, κ.α.

Η **παρούσα εργασία** αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης μελέτης στο Ε.Μ.Πολυτεχνείο που έχει στόχο να καταγράψει θέατρα της νεοελληνικής περιόδου και να διερευνήσει την **ακουστική των απόδοσης σε σχέση με το αρχιτεκτονικό ύφος** και τα χαρακτηριστικά των. Εδώ παρουσιάζονται αποτελέσματα ακουστικών μετρήσεων σε τρία θέατρα του 19^{ου} και 20^{ου} αιώνα από την Αθήνα και την περιφέρεια. Ακολουθεί σύγκριση με μετρήσεις από προγενέστερες μελέτες, δηλ. συγκρίνονται μεταξύ των δέκα-τρία θέατρα της νεωτέρας Ελλάδος από τον νεοκλασικισμό έως τον 21^ο αιώνα.

Η μελέτη περιλαμβάνει πειράματα επί τόπου χωρίς ακροατήριο, με τη χρήση διαδοχικά ισότροπης και κατευθυντικής ηχητικής πηγής. Τα αποτελέσματα αναδεικνύουν εν γένει την ηχητική καταλληλότητα χώρων που διαθέτουν μικρές αποστάσεις από την σκηνή και επιβεβαιώνουν τα πλεονεκτήματα της σκηνής προσκηνιακού τύπου (proscenium stage). Επίσης τα αποτελέσματα αναδεικνύουν το πρόβλημα της έλλειψης φασματικής ισορροπίας σε θέατρα εμβληματικών διαστάσεων μετά από αυτοσχέδιες αναπαλαιώσεις. Επί μέρους χαρακτηριστικά σχολιάζονται κατά περίπτωση.

ABSTRACT

The present work aims at studying and recording theatrical scenes in Athens and the region in terms of physical parameters of acoustics and their correlation with the architectural style. The three theatrical scenes we have occupied are the Municipal Theater of Patras "Apollon", the famous theater "Pallas" in the center of Athens and Lamia Municipal Theater "Roumeli". The acoustics of the above theaters were examined with in-situ physical measurements (ISO 3382: 2009) performed in an empty audience, in absolute peace with the use of advanced equipment (isotropic, directional sound source and condenser measuring microphone).

The study also includes the presentation of the results of the physical measurements of the three theaters on diagrams and the comparison of the above theaters with ten other theaters of our country that have been studied in previous works by our fellow students of the NTUA. The comparative analysis of thirteen theaters widened our sample and led to in-depth conclusions.

It turned out that better acoustic performance (RT, 50EEF, G) we have in proscenium theaters, with short distances from the scene. High-rise theaters deserve special attention in architectural design, to ensure early reflections (50EEF) requires the use of reflective surfaces, noise-absorbing surfaces are used to limit the reverberation time (RT).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	- 10 -
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	- 11 -
3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΙΝΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΑΤΡΟ	- 13 -
3.1 Τύποι θεάτρων.....	- 13 -
3.2 Αρχιτεκτονικά κινήματα	- 13 -
3.2.1 Το κίνημα του νεοκλασικισμού.....	- 13 -
3.2.2 Η αρχιτεκτονική στην εποχή του μεσοπολέμου	- 17 -
3.2.3 Το κίνημα του μοντερνισμού.....	- 21 -
4. ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΑΤΡΙΚΩΝ ΣΚΗΝΩΝ	- 26 -
4.1 Ιστορική αναδρομή της ακουστικής επιστήμης	- 26 -
4.2 Φυσικές παράμετροι της ακουστικής.....	- 27 -
4.3 Αρχές σχεδιασμού θεατρικών σκηνών.....	- 29 -
5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	- 34 -
5.1 Μεθοδολογία φυσικών ακουστικών μετρήσεων	- 34 -
5.2 Πειραματική διαδικασία φυσικών ακουστικών μετρήσεων	- 34 -
6. ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	- 40 -
6.1 ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ ΠΑΤΡΑΣ «ΑΠΟΛΛΩΝ».....	- 40 -
6.1 Φυσικές ακουστικές μετρήσεις του θεάτρου “Απόλλων”.....	- 47 -
6.1.2. Ερμηνεία και αξιολόγηση των φυσικών ακουστικών μετρήσεων του θεάτρου “Απόλλων”	- 53 -
6.1.3 Συμπεράσματα	- 54 -
6.2 ΘΕΑΤΡΟ «ΠΑΛΛΑΣ».....	- 56 -
6.2.2 Φυσικές ακουστικές μετρήσεις του θεάτρου “Παλλάς”.....	- 62 -
6.2.2 Ερμηνεία κι αξιολόγηση των φυσικών ακουστικών μετρήσεων του θεάτρου “Παλλάς”	- 69 -
6.2.3 Συμπεράσματα	- 70 -
6.3 ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ ΛΑΜΙΑΣ «ΡΟΥΜΕΛΗ».....	- 72 -
6.3.1 Φυσικές ακουστικές μετρήσεις του Δη.Θε.Λαμίας.....	- 76 -
6.3.2 Ερμηνεία κι αξιολόγηση των φυσικών ακουστικών μετρήσεων του Δη.Θε.Λαμίας	- 82 -
6.3.3 Συμπεράσματα	- 83 -
7. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΘΕΑΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ.....	- 84 -
7.1 Σύγκριση των φυσικών ακουστικών μετρήσεων στα τρία θέατρα.....	- 85 -

7.2 Συμπεράσματα	- 89 -
7. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΩΝ 13 ΘΕΑΤΡΩΝ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	- 90 -
7.1 Συγκεντρωτικές Φυσικές Ακουστικές Μετρήσεις των 13 θεάτρων υπό μορφή διαγραμμάτων	- 92 -
7.2 Αναλυτική ερμηνεία των φυσικών μετρήσεων του κάθε θεάτρου	- 98 -
9. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	- 107 -
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	- 109 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ.....	- 113 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ -	145 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: 9^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ «ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2018»	165
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ	179

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Αθήνα αποτελεί την γενέτειρα του θεάτρου και στις μέρες μας αριθμεί τις περισσότερες θεατρικές σκηνές παγκοσμίως με τον αριθμό να φτάνει τα εκατόν σαράντα οχτώ θέατρα (έναντι εκατόν δέκα στο Λονδίνο και ογδόντα στο Παρίσι). Ετησίως η Ελληνική πρωτεύουσα φέρεται να φιλοξενεί πάνω από χίλιες θεατρικές παραστάσεις. Τα θέατρα είναι μια από τις σημαντικότερες κατηγορίες αιθουσών ακροατηρίου που χρησιμοποιούνται κυρίως για ομιλία και συνεπώς η σωστή λειτουργία τους είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ακουστική τους απόδοση και κατ' επέκταση με τον αρχιτεκτονικό τους σχεδιασμό, στον οποίο παίζουν σημαντικό ρόλο τα αρχιτεκτονικά στοιχεία των αιθουσών (μορφή, διάκοσμος, μέγεθος κλπ.). Ενδιαφέρον παρουσιάζει το ερώτημα αν κάποια αρχιτεκτονικά ρεύματα, για παράδειγμα ο μοντερνισμός, ο νεοκλασικισμός κλπ., διαθέτουν στοιχεία που ευνοούν την ακουστική απόδοση στον χώρο.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης έρευνας του εργαστηρίου Ηχοτεχνίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου [Καραβόγλου Γ., Φωτομάρας Γ., (2017). Μαργάρης Ο., Ράλλης Γ., (2017), Πέτροπουλος Γ., Λουίζος Β., (2018), Σκούτα Μ., (2018)] , όπου στόχος της είναι η καταγραφή του ακουστικού στίγματος θεάτρων της χώρας μας από διάφορες αρχιτεκτονικές περιόδους και η επιρροή των στοιχείων σχεδιασμού τους στην ακουστική απόδοση. Επίσης, λαμβάνει χώρα για πρώτη φορά στον τόπο μας ενώ ελάχιστες τέτοιου είδους μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί στο εξωτερικό (Beranek, Barron). Η προσπάθεια αυτή μπορεί να παρέχει χρήσιμα ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία για τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό των θεάτρων στην πατρίδα μας, με τον πλέον αποδοτικό τρόπο.

Πιο συγκεκριμένα, η παρούσα διατριβή εστιάζει στην ακουστική τριών θεάτρων, από την εποχή του νεοκλασικισμού(θέατρο “**Απόλλων**”, του μεσοπολέμου(θέατρο “**Παλλάς**”) και του μοντερνισμού, στην Αθήνα και στην περιφέρεια(**Δη.Θε.Λαμίας**). Πρόκειται για πειραματική εργασία, η οποία έλαβε χώρα σε πραγματικό χώρο και περιλαμβάνει το σκέλος των φυσικών ακουστικών μετρήσεων.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η πρώτη εμπειριστατωμένη μελέτη που εισήγαγε τις έννοιες της αρχιτεκτονικής και ακουστικής αιθουσών ακροατηρίου είναι η μελέτη του Beranek που συνοψίζεται στα δύο βιβλία του, τα οποία δημοσιεύτηκαν το 1962 [6] και το 1996 [7]. Η μελέτη αυτή έχει ως αντικείμενο αποκλειστικά τις αίθουσες συναυλιών και μελοδράματος της κλασικής περιόδου ανά την υφήλιο.

Μία ακόμα σπουδαία μελέτη ακουστικής που αξίζει να σημειωθεί πραγματοποιήθηκε από την Acoustical Society of America και δημοσιεύτηκε το 1986 [4]. Η μελέτη αυτή επικεντρώθηκε αποκλειστικά σε φυσικές ακουστικές μετρήσεις, χωρίς εκτενή ανάλυση, οι οποίες έγιναν σε διάφορες μοντέρνες θεατρικές σκηνές μελοδράματος σε όλο τον κόσμο (Καναδάς, Ιαπωνία, Ολλανδία και σε αρκετές πολιτείες των ΗΠΑ).

Από τις πιο αξιοσημείωτες έρευνες για την αρχιτεκτονική και ακουστική θεάτρων είναι η εργασία του Barron [5]. Πρόκειται για μία πειραματική εργασία σε αίθουσες ακροατηρίου της Μεγάλης Βρετανίας από διάφορα αρχιτεκτονικά ρεύματα μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνονται δώδεκα θεατρικές σκηνές. Στα θέατρα αυτά ο συγγραφέας έκανε φυσικές ακουστικές μετρήσεις, καθώς και μετρήσεις της αντίληψης της ακουστικής, προσπαθώντας να συσχετίσει αρχιτεκτονικά στοιχεία των θεάτρων με την ακουστική τους απόδοση. Διεξήγαγε εκτενή μελέτη των φυσικών παραμέτρων του ήχου, όπως για παράδειγμα του χρόνου αντήχησης, του κλάσματος πρώιμων ανακλάσεων κλπ., ενώ η αντίστοιχη μελέτη του για την αντίληψη της ακουστικής έγινε σε περιορισμένο βαθμό. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποίησε ακουστικούς για να καταγράψει την αντίληψη του ήχου, επιλέγοντας αυθαίρετα μικρό αριθμό διπολικών σημειολογικών κλιμάκων και τα πειραματικά αυτά αποτελέσματα τα ανέλυσε διαισθητικά με βάση την προσωπική του εμπειρία. Η έρευνα του Barron, παρότι διερευνά τον ρόλο των αρχιτεκτονικών στοιχείων στην ακουστική απόδοση του χώρου, δεν κάνει διαχωρισμό διακριτών αρχιτεκτονικών ρευμάτων. Η μελέτη αυτή καταλήγει μεταξύ άλλων : α)ότι σχετικά πλεονεκτούν τα θέατρα προσκηνιακού τύπου καθώς επίσης β)πως αποτελούν πλεονέκτημα και οι μικρές αποστάσεις μεταξύ ομιλητή-ακροατή.

Στο πλαίσιο της ευρύτερης μελέτης της ομάδας του εργαστηρίου της Ηχοτεχνίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου έχει γίνει έρευνα σε σύγχρονα ελληνικά θέατρα, η οποία αφορά φυσικές ακουστικές μετρήσεις και πειράματα αντίληψης της ακουστικής. [Καραβόγλου Γ., Φωτομάρας Γ., (2017). Μαργάρης Ο., Ράλλης Γ., (2017), Πέτροπουλος Γ., Λουίζος Β., (2018), Σκούτα Μ., (2018)] .

Οι παραπάνω εργασίες *grosso modo* καταλήγουν στα εξής συμπεράσματα:Α) αναδεικνύεται η καταλληλότητα των θεάτρων προσκηνιακού τύπου. Β) αναδεικνύεται το σχετικό πλεονέκτημα των μικρών αποστάσεων ομιλητού-ακροατών Γ) πιστοποιείται ότι θέατρα με σχετικά μεγάλα ύψη όπως πχ θέατρα του νεοκλασικισμού συνήθως παρουσιάζουν υπέρμετρα αυξημένα τα μπάσα. Τα ευρήματα των διπλωματικών επιβεβαιώνουν προγενέστερα συμπεράσματα(Barron,1993).

Η μέθοδος της σημειολογικής διαφορικής ανάλυσης για την αντίληψη της ακουστικής σε αίθουσες ακροατηρίου παρουσιάστηκε για πρώτη φορά από τον Βρετανό καθηγητή Hawkes. Με την μέθοδο αυτή μελέτησε την ακουστική της αίθουσας Royal Festival Hall στο Λονδίνο την δεκαετία του 60 στην οποία είναι αναγκαίο να γίνουν διορθωτικές επεμβάσεις. Αναμφίβολα, η συγκεκριμένη μέθοδος υπήρξε η αφετηρία ενδελεχούς έρευνας σε ζητήματα ακουστικής αιθουσών συναυλιών απασχολώντας πολλούς μελετητές όπως η Sotiropoulou et al (1995), ο Γερμανός H. Wilkens (1980) κ.α.

Η μελέτη της ομάδας του εργαστηρίου της Ηχοτεχνίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου είναι από τις ελάχιστες προσπάθειες που διερευνά την αντίληψη της ακουστικής θεατρικών σκηνών με την χρήση της θεωρίας της σημειολογικής διαφορικής ανάλυσης.

3. ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΚΙΝΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΘΕΑΤΡΟ

3.1 Τύποι θεάτρων

- Ένα **προσκηνιακό θέατρο (proscenium theatre)** είναι αυτό στο οποίο το κοινό κάθεται ακριβώς απέναντι από τη σκηνή, δηλαδή το θέατρο στο οποίο όταν πέσει η αυλαία, ο θεατής χάνει κάθε οπτική με τη σκηνή.
- **Θέατρο αμφιθεατρικού τύπου (thrust-stage theatre)**, είναι το θέατρο όπου το ακροατήριο εκτείνεται σε τρεις ή περισσότερες πλευρές και συνδέεται με την περιοχή των παρασκηνίων από το πίσω άκρο της. Ουσιαστικά είναι σαν να προσφέρει 270° οπτικής γωνίας στους θεατές.
- **Open stage theatre** είναι οι θεατρικές σκηνές που φέρνουν σε έναν τύπο ανάμεσα στις προσκηνιακές και στις thrust-stage. Ουσιαστικά η σκηνή δεν βρίσκεται «εντός» του ακροατηρίου, αλλά απέναντι απ' αυτό ενώ παράλληλα προσφέρει οπτική γωνία από τρεις ή περισσότερες πλευρές.
- Το θέατρο τύπου αρένας (**theatre in the round**) είναι αυτό, του οποίου η σκηνή εκτίθεται από όλες τις πλευρές στο ακροατήριο. Πρόκειται για θέατρο χωρίς παρασκήνιο, το οποίο στηρίζεται εξ ολοκλήρου στις κεντρικές εισόδους που χρησιμοποιούν κι οι θεατές για την είσοδό τους.

3.2 Αρχιτεκτονικά κινήματα

3.2.1 Το κίνημα του νεοκλασικισμού

Με τον όρο «Νεοκλασικισμός» χαρακτηρίζουμε το ρεύμα της τέχνης που επικράτησε από το 1750 περίπου έως τις πρώτες δεκαετίες του 19ου αιώνα και αντιπροσώπευσε τον θεωρητικό προβληματισμό της εποχής, την επαναστατική ορμή και τα υψηλά οράματα της κοινωνίας. Τα έργα τέχνης της κλασικής αρχαιότητας, σύμφωνα με τη φιλοσοφία της εποχής, θα μπορούσαν να αποτελέσουν το πρότυπο αυτής της θεωρητικής σκέψης, η οποία αντιτάσσεται στον υπερβολικό χαρακτήρα της τέχνης του μπαρόκ καθώς και στην ελαφρότητα και τη διάσπαση της μορφής του ροκοκό (προηγούμενα κυρίαρχα ρεύματα). Μέσα από τη μίμηση της αρχαιότητας θα ήταν εφικτό η

ανθρωπότητα να οδηγηθεί σε μια ηθική και κοινωνική αναγέννηση υιοθετώντας το μέτρο και τον κανόνα. Η ελληνική τέχνη, ήταν αυτή που απέδιδε με μέτρο και κανόνα την ιδέα του αιώνιου και ιδανικού «ωραίου» με την τελειότητα και το υψηλό πνεύμα των μορφών και την αρμονία στις αναλογίες των αρχιτεκτονικών μνημείων. Το μεγαλείο της ψυχής, η ομορφιά των σωμάτων, οι ηθικές αξίες, η πολιτική αρετή, η μελωδικότητα της γλώσσας, το κλίμα είναι τα στοιχεία στα οποία βασίζεται η αίγλη του αρχαίου ελληνικού πολιτισμού κατά τον J.J. Winckelmann (Βίνκελμαν, 1717-1768), τον κυριότερο θεωρητικό του Νεοκλασικισμού.

Συμβολή στην αρχιτεκτονική:

Η νοσταλγία για την αρχαιότητα υπογραμμίζεται από την επιθυμία να βρεθεί ένας πρωτογενής αρχιτεκτονικός τύπος, του οποίου τα στοιχεία να προσφέρουν νέες προτάσεις για την αρχιτεκτονική. Αυτή η αναζήτηση για ένα αρχέτυπο, του οποίου χαρακτηριστικά πρέπει να είναι η τάξη και η αρμονία δίνει την αφορμή για μια νέα ανάλυση των στοιχείων της κλασικής αρχιτεκτονικής. Τα κυρίαρχα χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής του Νεοκλασικισμού είναι η καθαρότητα των όγκων, η στιβαρότητα και η μεγαλοπρέπεια τα οποία πηγάζουν από την επιθυμία να δημιουργηθεί ένας κόσμος αγνός, απλός και μεγαλειώδης αντίστοιχος με τον κλασικό. Τα κτίρια χαρακτηρίζονται από τις μονόχρωμες καθαρές επιφάνειες με τις γραμμικές διακοσμήσεις και τα φειδωλά ανάγλυφα στοιχεία, από τα αετώματα, τις ελεύθερες κιονοστοιχίες και τις άλλες λεπτομέρειες που συναντώνται στους αρχαίους κλασικούς ναούς.

Συγκεκριμένα, συνήθως, διακρίνουμε τα εξής χαρακτηριστικά στη δομή των νεοκλασικών κτιρίων:

- Τριμερής κάτοψη: συμμετρική διάταξη με κεντρικό προθάλαμο και παράταξη χώρων εκατέρωθεν.
- Κεντρικό κλιμακοστάσιο.
- Τριμερής οργάνωση της όψης σε αντιστοιχία με την κάτοψη με το κεντρικό μέρος να προεξέχει ελαφρώς.

Επιπλέον εστιάζοντας στις όψεις των νεοκλασικών κτιρίων είναι εμφανή τα κάτωθι χαρακτηριστικά:

- Τριμερής οριζόντιος διαχωρισμός σε βάση, κορμό και στέψη
- Συμμετρία
- Αξονικότητα
- Ρυθμική επαναληπτικότητα (άξονες ανοιγμάτων)

Νεοκλασικά θέατρα:

Η επιρροή του κινήματος του Νεοκλασικισμού είναι εμφανής και στο θέατρο, καθώς πολλά είναι εκείνα τα κτίρια που οικοδομήθηκαν, προκειμένου να στεγάσουν θεατρικές σκηνές, και μαρτυρούν την αρχιτεκτονική τάση της εποχής. Παρακάτω παρατίθενται μερικά παραδείγματα νεοκλασικών θεάτρων στο εξωτερικό και την Ελλάδα.

- **Bolshoi Theatre, Moscow**

Το θέατρο Bolshoi είναι ένα ιστορικό θέατρο της Μόσχας, τον σχεδιασμό του οποίου ανέλαβε ο αρχιτέκτονας Ιωσήφ Μπόβε το 1820 και η ολοκλήρωση του πραγματοποιήθηκε 5 χρόνια μετά. Την επιβλητική νεοκλασική πρόσοψη διακοσμούσε ένα προστώο με 8 κίονες, τους οποίους στεφάνωνε ένα αέτωμα πάνω από το οποίο βρισκόταν ένα γλυπτό που παρίστανε τον Απόλλωνα επάνω σε μια τρίκα. Το 1853, μετά από μια καταστροφική πυρκαγιά, την ανακατασκευή ανέλαβε ο ιταλο-ρώσος αρχιτέκτονας Αλμπέρτο Καβός. Το συνολικό ύψος του κτιρίου αυξήθηκε κατά σχεδόν τέσσερα μέτρα. Το προστώο του Μπόβε παρέμεινε αλλά η πρόσοψη άλλαξε αρκετά. Όσον αφορά το εσωτερικό του κτιρίου, αυξήθηκε σημαντικά ο χώρος που καταλάμβαναν η πλατεία και οι πενταώροφοι εξώστες. Στα θεωρεία δημιουργήθηκαν προθάλαμοι, που λειτουργούσαν σαν μικρά σαλονάκια για την ανταλλαγή επισκέψεων μεταξύ των θεατών. Το νέο θέατρο μπορούσε πλέον να φιλοξενήσει περισσότερους από 2000 θεατές.

Η νέα σκηνή ήταν εξαιρετικά ευρύχωρη και προικισμένη με όλα τα απαραίτητα μηχανήματα για τα ειδικά εφέ, έτσι ώστε το Μπολσόι μπορούσε να συναγωνιστεί τα θέατρα της Αγίας Πετρούπολης. Κατά την περίοδο του Στάλιν είχαν αφαιρεθεί οι πολυέλαιοι, τα γύψινα και ότι μπορούσε να παραπέμπει στην πολυτέλεια της τσαρικής περιόδου. Έχοντας

χρησιμοποιηθεί δε πολλές φορές για συνέδρια και συνεδριάσεις του κόμματος, είχαν γίνει δομικές αλλαγές, οι οποίες είχαν καταστρέψει την ακουστική του. Το ιστορικό κτίριο του θεάτρου Μπολσόι έκλεισε το 2005 για τις εργασίες αναπαλαίωσης. Λόγω του εμβληματικού ρόλου του θεάτρου, αποφασίστηκε η εξωτερική του όψη να παραμείνει ίδια και απaráλλαχτη. Στο εσωτερικό του όμως έπρεπε να γίνουν μεγάλες αλλαγές. Διεθνής ομάδα τεχνικών επιμελήθηκε το θέμα της ακουστικής.[Διάφορες πηγές internet]



Εικόνα 4.1:Bolshoi Theatre, Moscow.

- **Dona Maria II National Theatre, Lisbon**

Το θέατρο «Ντόνα Μαρία ΙΙ» της Λισαβόνας είναι το εθνικό θέατρο της Πορτογαλίας και η επιβλητική νεοκλασική πρόσοψη κυριαρχεί στη βόρεια πλευρά της πλατείας Rossio της κεντρικής Λισαβόνας. Το κτίριο χτίστηκε το 1846 στην τοποθεσία του παλιού Paláciodos Estaus, από τον Ιταλό αρχιτέκτονα Fortunato Lodi, με επιρροές του νεοκλασικού κινήματος της εποχής. Μπροστά από το θέατρο, υπάρχουν 6 ογκώδεις κολώνες, οι οποίες έχουν διασωθεί από την μονή Saint Francis ύστερα από έναν μεγάλο σεισμό. Το τυμπάνιο του αετώματος έχει διακοσμηθεί με ένα γλυπτό που απεικονίζει τον Απόλλωνα και τις μούσες, ενώ η οροφή ολοκληρώθηκε με ένα άγαλμα του Πορτογάλου συγγραφέα Gil Vicente. Το εσωτερικό του θεάτρου διακοσμήθηκε με έργα και τοιχογραφίες ευρωπαϊών καλλιτεχνών, οι οποίοι άσκησαν μεγάλοι επιρροή στις καλλιτεχνικές τάσεις της εποχής. Το κυρίως θέατρο, ή αλλιώς Garretroom, ήταν επενδυμένο με τα πιο πολυτελή υλικά και κουρτίνες. [Διάφορες πηγές internet]



Εικόνα 4.2: Dona Maria II National Theatre, Lisbon.

- **Wyndham's Theatre, London**

Το Wyndham's Theatre του Λονδίνου σχεδιάστηκε από τον William Sprague, έναν από τους σημαντικότερους αρχιτέκτονες της περιόδου, ο οποίος ήταν υπεύθυνος για σχεδόν όλα τα νέα θέατρα του Λονδίνου στο γύρισμα του αιώνα, και άνοιξε το 1899. Το θέατρο χωρητικότητας 724 θέσεων πήρε το όνομά του από τον ηθοποιό-καλλιτεχνικό διευθυντή Charles Windham. Το στυλ είναι Louis XVI με χαρακτηριστικά εκλεκτικισμού και λειτουργεί μέχρι σήμερα. Τοιχογραφίες κοσμούν τόσο τα μέτωπα των μπαλκονιών των εξωστών όσο και την κυκλική οροφή. Πρόκειται για θέατρο κλειστής μορφής προσκήνιου, όπου όλη η σκηνή κάθεται πίσω από μια εικόνα-πλαίσιο. Τυπικό για την εποχή, ο σχεδιασμός εκμεταλλεύεται τις δυνατότητες που προσφέρονται από προβόλους μπαλκόνια, χαρακτηριστικό πολλών μεγαλύτερων θεάτρων της εποχής. [Διάφορες πηγές internet]



Εικόνα 4.3: Wyndham's Theatre, London.

3.2.2 Η αρχιτεκτονική στην εποχή του μεσοπολέμου

Τα χρόνια του Μεσοπολέμου είναι μία από τις σημαντικότερες αρχιτεκτονικές περιόδους της νεότερης Αθήνας. Τις δυο πρώτες δεκαετίες του

20ου αιώνα μέχρι την Μικρασιατική Καταστροφή, η ελληνική αρχιτεκτονική αντιμετωπίζει μια μεταβατική κατάσταση, όπου ακολουθεί τα συντηρητικότερα ρεύματα της Ευρώπης, όπως τον γαλλικό εκλεκτικισμό, τον εκσυγχρονισμένο κλασικισμό και σε περιορισμένη κλίμακα την Art Nouveau. Κατά την περίοδο του Μεσοπολέμου, τα νεωτερικά ρεύματα της Ευρώπης αποκτούν φανατικούς οπαδούς στην χώρα μας, καθώς με την επικράτηση του μοντερνισμού εκφράζεται η αισιόδοξη νεωτερικότητα των ανερχόμενων μεσοαστών, η οποία θα επηρεάσει και τα μικροαστικά στρώματα.

Οι σπουδές και η πολυετής διαμονή των περισσότερων αρχιτεκτόνων της περιόδου στις αρχιτεκτονικές μητροπόλεις της Ευρώπης (η Αρχιτεκτονική Σχολή του ΕΜΠ ιδρύεται μόλις το 1917), τους επιτρέπει να γνωρίσουν από πρώτο χέρι τα νεωτερικά και επαναστατικά ρεύματα της εποχής τους, την Art Nouveau, το Jugendstil, την Art Deco, το Μοντέρνο Κίνημα κ.α. Σημαντικοί αρχιτέκτονες που απαρτίζουν την κατηγορία αυτή είναι ο Α. Νικολούδης (Μέγαρο Νικολούδη 1917, πανεπιστημίου 41), ο Δ. Πικιώνης (σχολικό συγκρότημα στα Πευκάκια 1931-32) , ο Λ. Μπόνης & Β. Κασσάνδρας (Μέγαρο Μετοχικού Ταμείου Στρατού 1927-38), ο Β. Κουρεμένος (πολυκατοικία Κουρεμένου Διον. Αρεοπαγίτου 17 1933), κ.α. Σημαντική στην εξέλιξη της αρχιτεκτονικής ήταν και η συμβολή των αποφοίτων της νεοσύστατης Αρχιτεκτονικής Σχολής ΕΜΠ, μεταξύ των οποίων ο Ν. Μητσάκης και η Κ. Παναγιωτάκου με τα δημοτικά σχολεία στην οδό Κωλέττη 1932 και στην οδό Λιοσίων 1932 αντίστοιχα, δημοτικά σχολεία Π. Καραντινού 1931, κ.α.

Αρκετές από τις αρχές του Μοντέρνου Κινήματος και το απλοποιημένο μορφολογικό του λεξιλόγιο, χρησιμοποιήθηκαν επιτυχώς για την αντιμετώπιση των αναγκών ταχύρρυθμων κρατικών προγραμμάτων ή ιδιωτικών επενδύσεων σε νέους κτιριακούς τύπους, όπως σχολικά κτίρια, αστικές πολυκατοικίες και μονοκατοικίες, εργατικές και προσφυγικές κατοικίες, νοσοκομεία, εργοστάσια, εμπορικά κτίρια. Ο μοντερνισμός της μεσοπολεμικής αρχιτεκτονικής στην Ελλάδα, λοιπόν, αφορά στη λειτουργία και στη μορφή του κτιρίου. Έχουμε επίσης γενικευμένη χρήση ενός νέου υλικού, του οπλισμένου σκυροδέματος, και τεχνολογικές ευκολίες όπως ασανσέρ και κεντρική θέρμανση. Παρ' όλ' αυτά, ο ριζοσπαστικός μοντερνισμός θα

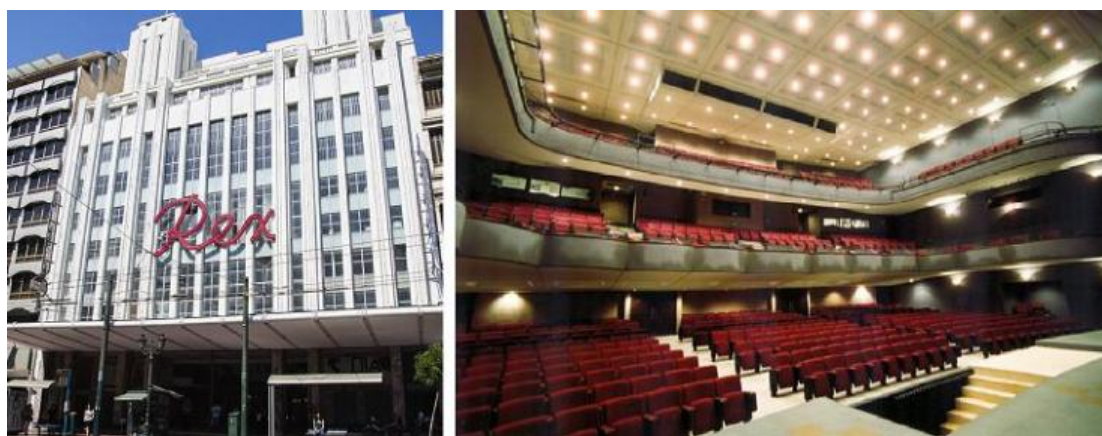
συνυπάρξει με τις συντηρητικές τάσεις του Μεσοπολέμου, κι ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα σημαντικά δημόσια και ιδιωτικά κτίρια της εποχής, τα οποία θα παραμείνουν δέσμια των συντηρητικότερων ευρωπαϊκών αρχιτεκτονικών ρευμάτων, όπως είναι ο εκσυγχρονισμένος εκλεκτικισμός και ο αφαιρετικός - μοντέρνος κλασικισμός.

Παρακάτω παρατίθενται δύο χαρακτηριστικά θέατρα που οικοδομήθηκαν στην Αθήνα την εποχή του μεσοπολέμου και αντικατοπτρίζουν όλα εκείνα τα χαρακτηριστικά των νεωτερικών ρευμάτων που επικρατούν εκείνη την περίοδο σε Ευρώπη και Αμερική.

- **Θέατρο «Rex»**

Το Σικιαρίδαιο μέγαρο θεαμάτων, περισσότερο γνωστό ως "Rex", οικοδομήθηκε μεταξύ των ετών 1935 και 1937, βάσει σχεδίων των αρχιτεκτόνων Βασίλειου Κασσάνδρα (1904-1973) και Λεωνίδα Μπόνη (1896-1963), που είχαν σχεδιάσει επίσης το μέγαρο του Μετοχικού Ταμείου Στρατού. Οι κατευθυντήριες γραμμές για τον σχεδιασμό του, δόθηκαν από τους αδερφούς Σικιαρίδη (Σίμος, Φιλαρέτος, Αλέκος), οι οποίοι εμπνεύστηκαν από ένα ταξίδι τους στην Αμερική. Χαρακτηρίστηκε ως ο πρώτος «ουρανοξύστης» των Αθηνών, όχι τόσο για το ύψος του, όσο για το σχήμα και την πρόσοψή του, η οποία θύμιζε αρκετά τους γιγαντιαίους ουρανοξύστες της Νέας Υόρκης.

Περιλάμβανε έναν κινηματογράφο στο ισόγειο ("Rex"), ένα θέατρο ακριβώς πάνω από τον κινηματογράφο («Κοτοπούλη», 1400 θέσεων), το μεγαλύτερο



Εικόνα 4.4: Θέατρο «Rex», Αθήνα.

της εποχής του (αλλά και μέχρι σήμερα) και μια αίθουσα χορού στο υπόγειο (που τελικώς λειτούργησε ως κινηματογράφος επικαίρων και παιδικών έργων, «Σινεάκ», 700 θέσεων). Κατασκευασμένο με σκυρόδεμα και ειδικά μονωτικά υλικά, που αντιμετώπιζαν μεταξύ των άλλων τα ζητήματα ορίων της ακουστικής μεταξύ των διαφόρων χώρων, διαθέτει πολλά στοιχεία ArtDeco, σε συνδυασμό με την αμερικανική τεχνοτροπία των χώρων θεάματος της περιόδου εκείνης, που αποτυπώνεται κυρίως στην πρόσοψή του. Το 1982 υπέστη εκτεταμένες ζημιές από πυρκαγιά, το ίδιο έτος κηρύχθηκε διατηρητέο μνημείο και το 1987 περιήλθε στην ιδιοκτησία του Υπουργείου Πολιτισμού. Σήμερα, ανακαινισμένο, στεγάζει δύο σκηνές του Εθνικού Θεάτρου στο υπόγειο και τον όροφο. [Διάφορες πηγές internet]

- **Θέατρο «Βρετάνια»**

Το θέατρο Βρετάνια αποτελεί τυπικό δείγμα της αρχιτεκτονικής του Μεσοπολέμου. Σχεδιάστηκε με την υπογραφή του γαλλοτραφέντος κορυφαίου Έλληνα αρχιτέκτονα Βασίλη Τσαγρή, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως ανανεωτής αρχιτέκτονας της "μεταβατικής" μεσοπολεμικής περιόδου που οδηγεί από τον ακαδημαϊσμό στην έκρηξη του ρασιοναλισμού και του μοντέρνου κινήματος της δεκαετίας του '30. Η ανοικοδόμηση του κτιρίου ξεκίνησε το 1925 και ολοκληρώθηκε το 1932, δίπλα ακριβώς στο Petit Palais, το σημερινό ξενοδοχείο Μεγάλη Βρετανία. Το Θέατρο Βρετάνια ξεκίνησε ως κινηματογράφος, και μέχρι τη δεκαετία του '60 άλλαζε συνεχώς λειτουργία, ενώ από τη σκηνή του πέρασαν ιστορικές θεατρικές μορφές όπως ο Δημήτρης Χορν, η Έλλη Λαμπέτη και πολλοί άλλοι. Το κτίριο κηρύχθηκε διατηρητέο το 1983, το 2009 ανακαινίστηκε ενώ συνεχίζει να φιλοξενεί θεατρικές παραστάσεις μέχρι σήμερα. [Διάφορες πηγές internet]



Εικόνα 4.5: Θέατρο «Βρετάνια», Αθήνα.

2.2.3 Το κίνημα του μοντερνισμού

Ο μοντερνισμός είναι το αρχιτεκτονικό κίνημα των αρχών του 20ου αιώνα που επιδίωξε να κόψει όλους τους στιλιστικούς και ιστορικούς δεσμούς με το παρελθόν, απορρίπτοντας για παράδειγμα το διακοσμητικό χαρακτήρα του κινήματος Art Nouveau ή τις χειροποίητες κατασκευές του στυλ Arts και Crafts. Στην Ελλάδα έκανε την εμφάνισή του μετά το 1950.

Το κίνημα του μοντερνισμού αγκάλιασε τις απόψεις εκείνων των φιλοσόφων που υποστήριζαν ότι οι «παραδοσιακές» μορφές τέχνης, αρχιτεκτονικής, λογοτεχνίας, θρησκευτικής πίστης, κοινωνικής οργάνωσης και καθημερινής ζωής ακολουθούσαν ξεπερασμένα πρότυπα.

Οι στόχοι του μοντερνισμού ήταν ριζοσπαστικοί και για να απεμπλακούν από την καταπίεση του διάκοσμου και των ιστορικών στυλ, αντισταθμίστηκαν με την διακήρυξη της αντικειμενικότητας και την εξέλιξη των βιομηχανοποιημένων μεθόδων δόμησης. Κάποια ρεύματα μέσα στο Μοντέρνο Κίνημα, όπως το De Stijl υποστήριζαν την αφαιρετικότητα και την αγνότητα της έκφρασης και ενίσχυσαν τις αφηρημένες απλές γραμμές. Επίσης υπήρχαν διάφορες άλλες απόψεις μέσα στο ίδιο κίνημα, αλλά ουσιαστικά όλες συμφωνούσαν στην ανάγκη για λύσεις στις σύγχρονες απαιτήσεις με τη χρήση μοντέρνων υλικών, δομικών στοιχείων μαζικής παραγωγής και εκβιομηχάνισης των κατασκευών.

Ως προς τη μορφή της μοντέρνας αρχιτεκτονικής και του design: λευκά, ευθύγραμμα κτίρια με στενά παράθυρα από μέταλλο, γυαλί και μπετόν, έγιναν το υπόδειγμα των στόχων της μοντέρνας αρχιτεκτονικής. Έτσι το κίνημα που επιζητούσε να καταργήσει το στυλ, δημιούργησε απλά μια δική του εικόνα, που με τη σειρά της πίεζε για την αποδοχή της.

Σημαντικοί αρχιτέκτονες που συνεισέφεραν στην ανάπτυξη του συγκεκριμένου ρεύματος είναι μεταξύ άλλων ο Γάλλος Le Corbusier και ο Γερμανός Walter Gropius. Τέτοια κτήρια στον παγκόσμιο χάρτη είναι το διάσημο Empire State Building στην Νέα Υόρκη των ΗΠΑ, το οποίο σχεδιάστηκε από τον Gregory Johnson και το κτίριο του Bauhaus στο Ντεσάου της Γερμανίας, το οποίο σχεδιάστηκε από τον ίδιο τον Gropius.

Μετά τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο, ο Μοντερνισμός έγινε το δόγμα της αρχιτεκτονικής τόσο στον υπόλοιπο κόσμο όσο και στην Ελλάδα.

Αρχιτεκτονικά έργα αυτού του χαρακτήρα άρχισαν να κατασκευάζονται με ξέφρενους ρυθμούς στην Αθήνα με τα ήδη γνωστά και σπουδαίως διατηρημένα μέχρι σήμερα, όπως ο Πύργος των Αθηνών των Ιωάννη Βικέλα και Ιωάννη Κυμπρίτη, αλλά και το ξενοδοχείο Hilton του Εμμανουήλ Βουρέκα να κλέβουν τις εντυπώσεις. Εξίσου σημαντικά έργα όμως έχουμε και στον χώρο του θεάτρου με λαμπρά παραδείγματα το θέατρο «Τζένη Καρέζη» από τον αρχιτέκτονα Λάμπρο Γ. Γκοτοβό, το θέατρο «Κάππα» από τον αρχιτέκτονα Ρήγα Ε. Αρβανίτη και το θέατρο «Πόρτα» από τον αρχιτέκτονα Μ. Φωτιάδη.

- **Θέατρο «Τζένη Καρέζη»**

Το θέατρο «Τζένη Καρέζη» (πρώην «Αθήναιον») βρίσκεται στην οδό Ακαδημίας 3 στο κέντρο της Αθήνας, είναι χωρητικότητας 300 θέσεων και σχεδιάστηκε το 1978 από τον αρχιτέκτονα Λάμπρο Γ. Γκοτοβό σε πολυκατοικία που στεγάζονταν αίθουσες ομιλίας. Κάηκε ολοσχερώς και ανακαινίστηκε το 1989 μέσα σε μόλις 14 μέρες. Το συγκεκριμένο θέατρο είναι εμπνευσμένο από το θέατρο της αρχαίας ελληνικής Επιδαύρου, κάτι το οποίο φαίνεται από την αμφιθεατρική του διάταξη. Κάποια αξιοσημείωτα χαρακτηριστικά της αίθουσας είναι οι μικρές διαστάσεις που οφείλονται στη διάταξη της, η φατνωματική οροφή και τα καθίσματα που είναι ντυμένα με στόφα. [Διάφορες πηγές internet]



Εικόνα 4.6: Θέατρο «Τζένη Καρέζη», Αθήνα.

- **Θέατρο «Κάππα»**

Το θέατρο «Κάππα» βρίσκεται στην οδό Κυψέλης 2 στο κέντρο της Αθήνας, είναι χωρητικότητας 340 θέσεων και σχεδιάστηκε το 1976 από τον αρχιτέκτονα Ρήγα Ε. Αρβανίτη στην θέση παλιού σινεμά. Αποτελεί θέατρο προσκηνίου και είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το 1997, όταν και

ανακαινίστηκε, πραγματοποιήθηκε ακουστική μελέτη. Βασικό χαρακτηριστικό της αίθουσας είναι η έντονη ηχοαπορρόφηση που υπάρχει στον χώρο και προέρχεται από τα καθίσματα, τα οποία είναι ντυμένα με στόφα μεγάλου πάχους, καθώς επίσης και από την ύπαρξη μοκέτας, αλλά και ηχοαπορροφητικής επένδυσης στον πίσω τοίχο της αίθουσας. Ακόμα αξίζει να αναφερθεί η ύπαρξη κυρτών ανακλαστήρων οροφής, ανακλαστήρων κυματοειδούς μορφής στους πλαϊνούς τοίχους και η ήπια κλίση του δαπέδου. [Διάφορες πηγές internet]



Εικόνα 4.7: Θέατρο «Κάππα», Αθήνα.

- **Θέατρο «Πόρτα»**

Το θέατρο «Πόρτα» βρίσκεται στην Λεωφόρο Μεσογείων 59 στο κέντρο της Αθήνας, είναι χωρητικότητας 320 θέσεων και σχεδιάστηκε το 1984 από τον αρχιτέκτονα Μ. Φωτιάδη στον χώρο ενός παλιού σινεμά. Αποτελεί θέατρο προσκηνίου και είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι την χρονιά που σχεδιάστηκε, πραγματοποιήθηκε ακουστική μελέτη από τον Ε. Τζεκάκη και τον Ν. Τσινίκα (βλέπε Παράρτημα Κ). Βασικά χαρακτηριστικά της αίθουσας είναι η ύπαρξη ανακλαστήρων στους πλαϊνούς τοίχους και στην οροφή, η ήπια κλίση του δαπέδου αλλά και η ηχοαπορροφητική επένδυση στον πίσω τοίχο. [Διάφορες πηγές internet]



Εικόνα 4.8: Θέατρο «Πόρτα», Αθήνα.

4. ΑΚΟΥΣΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΘΕΑΤΡΙΚΩΝ ΣΚΗΝΩΝ

4.1 Ιστορική αναδρομή της ακουστικής επιστήμης

Η επιστήμη της ακουστικής εξελίχθηκε στην στροφή του 19ου αιώνα χάρις την μεγαλοφυΐα του W.C. Sabine [15], ο οποίος θεωρείται «πατέρας» της αρχιτεκτονικής ακουστικής.

Ο Sabine, βοηθός καθηγητή στο τμήμα φυσικής του πανεπιστημίου του Harvard, είχε κάνει μελέτες στον τομέα της οπτικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ο Πρόεδρος του συγκεκριμένου πανεπιστημίου ζήτησε από τον Sabine να βρει μια λύση στην κακή ακουστική του δωματίου διάλεξης του πρόσφατα ολοκληρωμένου μουσείου τέχνης, Fogg Art Museum. Ο Sabine γρήγορα συνειδητοποίησε ότι υπήρξε υπερβολική αντήχηση στο δωμάτιο διάλεξης (μέτρησε τον χρόνο αντήχησης ο οποίος ήταν 5,5 δευτερόλεπτα, με την αίθουσα κενή). Δανείστηκε λοιπόν μαξιλάρια από ένα γειτονικό θέατρο διάλεξης (Sander's Theater), μέχρις ότου ο χρόνος αντήχησης να μειωθεί σε 0,75 δευτερόλεπτα. Το 1898 βελτιώθηκε η ακουστική της συγκεκριμένης αίθουσας, η οποία λειτούργησε έως το 1973 όπου τελικά κατεδαφίστηκε.



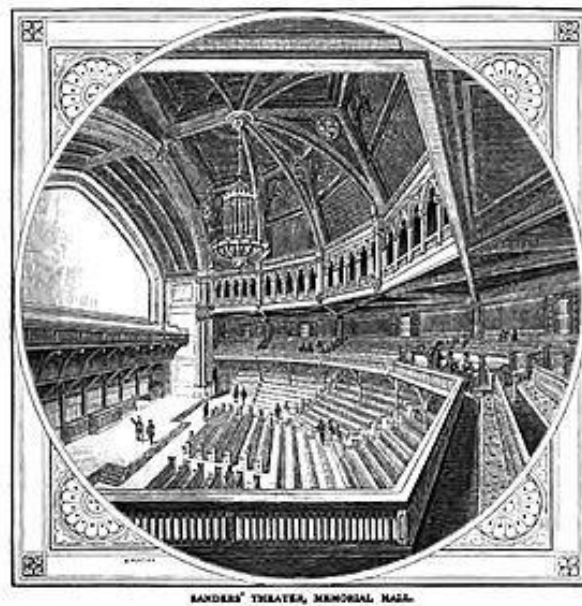
Εικόνα 4.1: Wallace Clement Sabine.



Εικόνα 4.2: Εσωτερική αμφιθέατρου Fogg Art Museum, Cambridge, USA.

Ο Sabine, παρά την πενιχρή γνώση της εποχής, ταυτόχρονα με το δωμάτιο διάλεξης του Fogg Art Museum διεξήγαγε πειράματα στο Sander's Theater, το οποίο θεωρούνταν ακουστικά άριστο, λόγω των παχιών μαξιλαριών στα

έδρανα, όπως παρατήρησε ο ίδιος. Ένα από τα συμπεράσματα του ήταν ότι το σώμα ενός μέσου ανθρώπου μειώνει τον χρόνο αντήχησης όσο περίπου έξι μαξιλάρια καταφέρνοντας έτσι να προσδιορίσει προσεγγιστικά την ηχοαπορρόφηση του ανθρώπου. Μετά τα πειράματα κατέληξε ότι υπάρχει ξεκάθαρη σχέση μεταξύ της ποιότητας της ακουστικής, του μεγέθους της αίθουσας και της ποσότητας της υπάρχουσας ηχοαπορροφητικής επιφάνειας. Έτσι διατύπωσε την κλασική θεωρία της αντήχησης, η οποία αποτελεί από τότε την βάση της αρχιτεκτονικής ακουστικής [ΠΑΡ.Α/Α.7.8.1]



Εικόνα 4.3 Sander's Theater, Cambridge.

4.2 Φυσικές παράμετροι της ακουστικής

Έκτοτε η ακουστική αιθουσών για ομιλία έχει υπάρξει αντικείμενο επιστημονικής έρευνας και πληθώρα αιθουσών έχουν κατασκευαστεί με βάση αυτή.

Οι φυσικές ακουστικές παράμετροι που τυγχάνουν ευρείας αποδοχής και χρησιμοποιούνται στον σύγχρονο σχεδιασμό θεατρικών σκηνών είναι οι ακόλουθες:

1. Ο **λόγος των πρώιμων προς καθυστερημένες ανακλάσεις** στα πρώτα 80ms [80(E-to-L)], είναι μία παράμετρος που χρησιμοποιείται κυρίως για αίθουσες που προορίζονται για κλασική μουσική, αλλά εξαιτίας της

λυρικότητας των ηθοποιών σε μία θεατρική παράσταση λαμβάνεται υπόψιν. Τα όρια του λόγου είναι από -2 dB έως +2dB [6].

2. Η **απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G)** είναι από τις αρχαιότερες παραμέτρους που αντιλαμβάνεται άμεσα ο ακροατής και αναφέρεται στην πτώση της στάθμης της ηχητικής ενέργειας συναρτήσει της απόστασης από τον ομιλητή. Για θεατρικές σκηνές αυτή η πτώση ιδανικά δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 11,0 dB στις χαμηλές συχνότητες, 23,5 dB στις μεσαίες συχνότητες και 18,0 dB στη υψηλές συχνότητες [5].
3. Ο **χρόνος αντήχησης (RT)** της αίθουσας περιγράφει τη διάρκεια του ήχου αφού σταματήσει η πηγή μέσα στον χώρο, ενώ οι ιδανικές τιμές του ποικίλουν ανάλογα με την χρήση του χώρου και τον όγκο του είναι η πρώτη παράμετρος με την διατύπωση της οποίας η αρχιτεκτονική ακουστική έγινε επιστήμη [7], [5].
4. Παράγωγο του κλασικού χρόνου αντήχησης αποτελεί ο **χρόνος απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων (EDT)**. Αντίθετα με τον κλασικό χρόνο αντήχησης που αναφέρεται σε όλη την διάρκεια της απόσβεσης του ήχου, το EDT προσδιορίζεται από την απόσβεση των πρώιμων ανακλάσεων. Αυτό το κριτήριο προτάθηκε λίγο μετά τα μέσα του 20ου αιώνα [11], [10].
5. Το **κλάσμα πρώιμων ανακλάσεων (50EEF)** μας πληροφορεί για την αναλογία του ήχου που φθάνει απευθείας ή από κοντινές ανακλαστικές επιφάνειες στον ακροατή ως προς τον συνολικό ήχο και σύμφωνα με την διεθνή βιβλιογραφία [7] αυτό το κλάσμα ιδανικά πρέπει να έχει τιμές 0,5 ή και παραπάνω. Αυτό σημαίνει ότι τουλάχιστον την μισή ηχητική ενέργεια που δέχεται ο ακροατής πρέπει να την στέλνουν κοντινές αντανάκλαστικές επιφάνειες ή ο απευθείας ήχος. Το κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων προτάθηκε στο δεύτερο ήμισυ του 20ου αιώνα από τον Thiele [18] για να αποτιμήσει την ευκρίνεια της ομιλίας.
6. Ο **θόρυβος βάθους (L_{Aeq})** είναι μια εξαιρετικά σημαντική και αυτονόητη παράμετρος, της οποίας το ανεκτό όριο για θεατρικές σκηνές χωρίς φασματική ανάλυση είναι 31dBA. Το όριο αυτό υπολογίσθηκε λαμβάνοντας υπόψιν το κριτήριο θορύβου για πολύ καλές συνθήκες ακουστικής (NC 25) και μετατράπηκε σε μονάδα μέτρησης dBA.

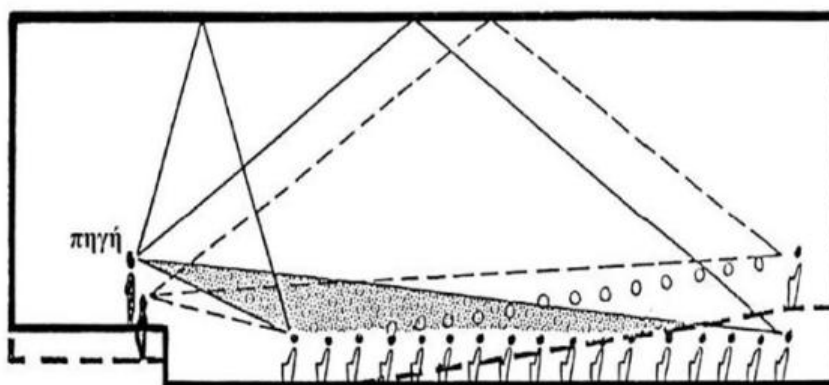
Περισσότερες πληροφορίες για τις παραπάνω παραμέτρους παρατίθενται στο Παράρτημα Α.

4.3 Αρχές σχεδιασμού θεατρικών σκηνών

Οι βασικές αρχές ακουστικού σχεδιασμού θεατρικών σκηνών που απορρέουν από την ικανοποίηση των ανωτέρω παραμέτρων είναι οι ακόλουθες:

❖ Εξασφάλιση απρόσκοπτης πορείας απευθείας ήχου.

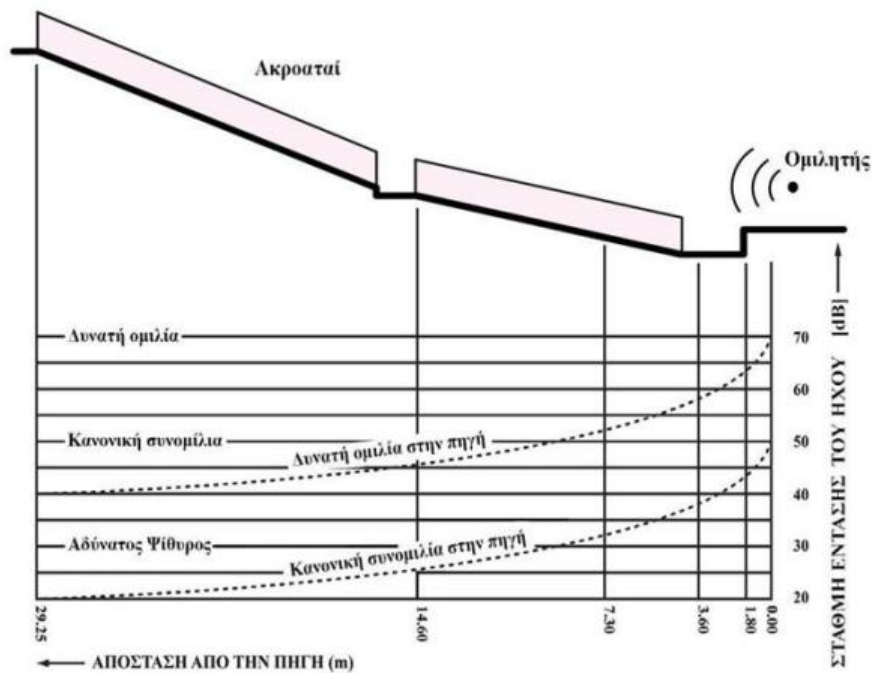
Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση εξέδρας για τον ομιλητή, την χρήση κεκλιμένου δαπέδου για το ακροατήριο ή τον συνδυασμό αυτών των δύο.



Εικόνα 4.4 Τομή κατά μήκος αίθουσας με ενδεικτική θέση εξέδρας και κλίση δαπέδου [2].

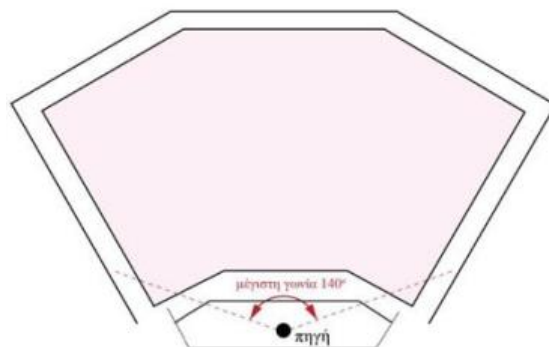
❖ Ελαχιστοποίηση αποστάσεων ομιλητή και ακροατηρίου

Αυτό επιτυγχάνεται με τη μείωση της χωρητικότητας της αίθουσας, την χρήση αβαθών εξωστών και την χρήση αμφιθεατρικής διάταξης του κοινού. Επισημαίνεται ότι η μέγιστη αποδεκτή απόσταση ομιλητή-ακροατών είναι τα 20 m και πέραν αυτού του ορίου η στάθμη έντασης του ήχου μειώνεται αισθητά. Παρακάτω φαίνεται η πτώση αυτής της στάθμης σε συνάρτηση με την απόσταση από την πηγή.



Εικόνα 4.5 Πτώση της στάθμης απευθείας ήχου της φωνής του ομιλητή συναρτήσει της απόστασης από την πηγή [2].

Επίσης, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το ακροατήριο πρέπει να είναι διατεταγμένο εντός στερεάς γωνίας 140° ως προς τον ομιλητή. Πέραν αυτής της γωνίας η κατευθυντικότητα της ανθρώπινης φωνής είναι σημαντικά μειωμένη.

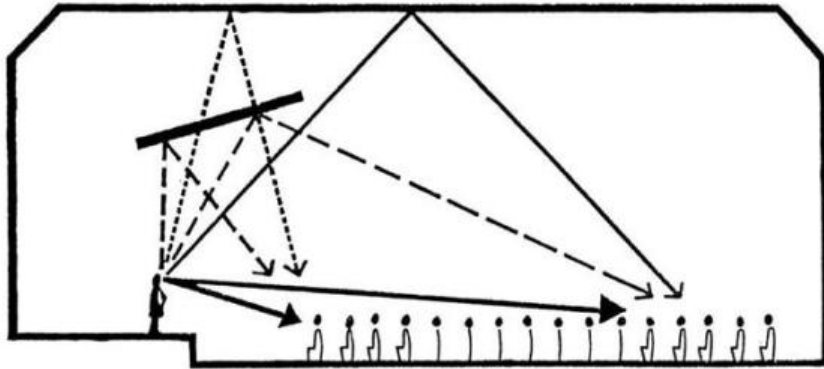


Εικόνα 4.6 Αμφιθεατρική διάταξη με διατεταγμένο ακροατήριο εντός γωνίας 140° [2].

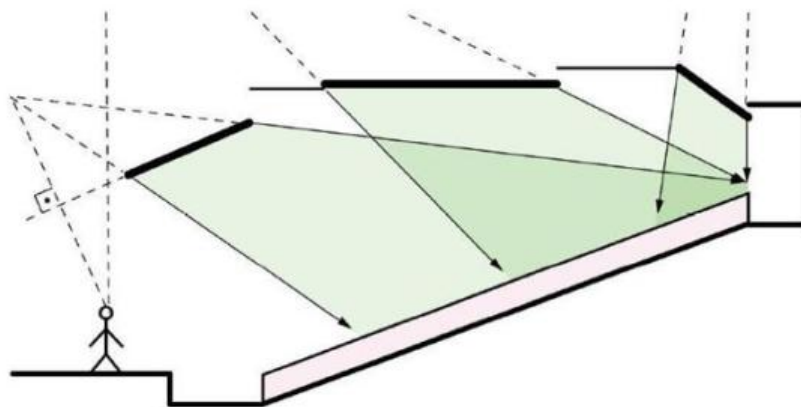
❖ Εξασφάλιση πρώιμων ανακλάσεων

Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ανακλαστικών επιφανειών, οι οποίες μπορούν να τοποθετηθούν πάνω από τον ομιλητή, στην οροφή ή στις πλευρικές παρειές. Η επιφάνειά τους πρέπει να είναι σχετικά μεγάλη ως προς

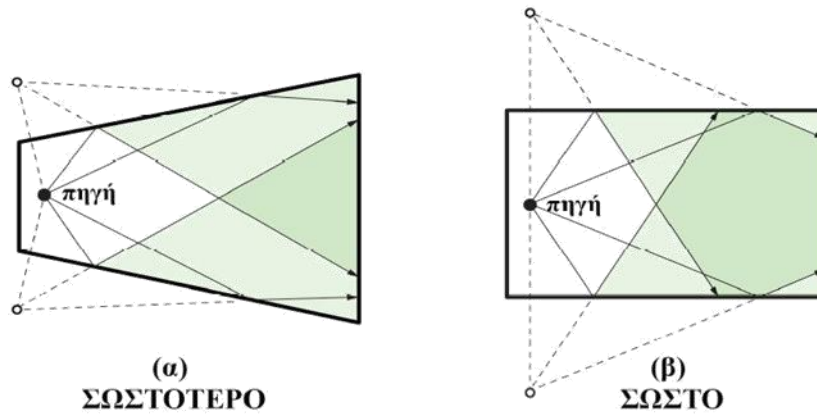
το μήκος κύματος του ήχου και πρόκειται για άκαμπτα υλικά με λείο και σκληρό τελείωμα π.χ. επίχρισμα, γυψοσανίδες κλπ.



Εικόνα 4.7 Τομή κατά μήκος αίθουσας διαλέξεων, με υψηλή οροφή. Ανακλαστήρας τοποθετημένος πάνω από τον ομιλητή [2].



Εικόνα 4.8 Τομή κατά μήκος αίθουσας διαλέξεων. Ανακλαστική ψευδοροφή τοποθετημένη με κατάλληλη κλίση [2].



Εικόνα 4.9 Κατόψεις. Η κάτοψη σχήματος βεντάλιας (α), προτιμάται έναντι της ορθογωνικής κάτοψης (β), διότι προβάλλει τον ήχο αποτελεσματικότερα στα πίσω καθίσματα [2].

❖ Ελαχιστοποίηση του θορύβου βάθους

Αποτελεί αντικείμενο του σχεδιασμού της ηχοπροστασίας του κτηρίου.

❖ Βελτιστοποίηση του χρόνου αντήχησης

Από την θεωρία του Sabine[15] είναι γνωστό ότι ο χρόνος αντήχησης αποτελεί συνάρτηση του όγκου και των ηχοαπορροφητικών υλικών της αίθουσας, οπότε απαιτείται κατάλληλος συνδυασμός αυτών των δύο παραμέτρων.

5. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Η παρούσα εργασία έχει ως αντικείμενο την μελέτη της ακουστικής των τριών θεάτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω μέσω καταγραφής φυσικών ακουστικών παραμέτρων.

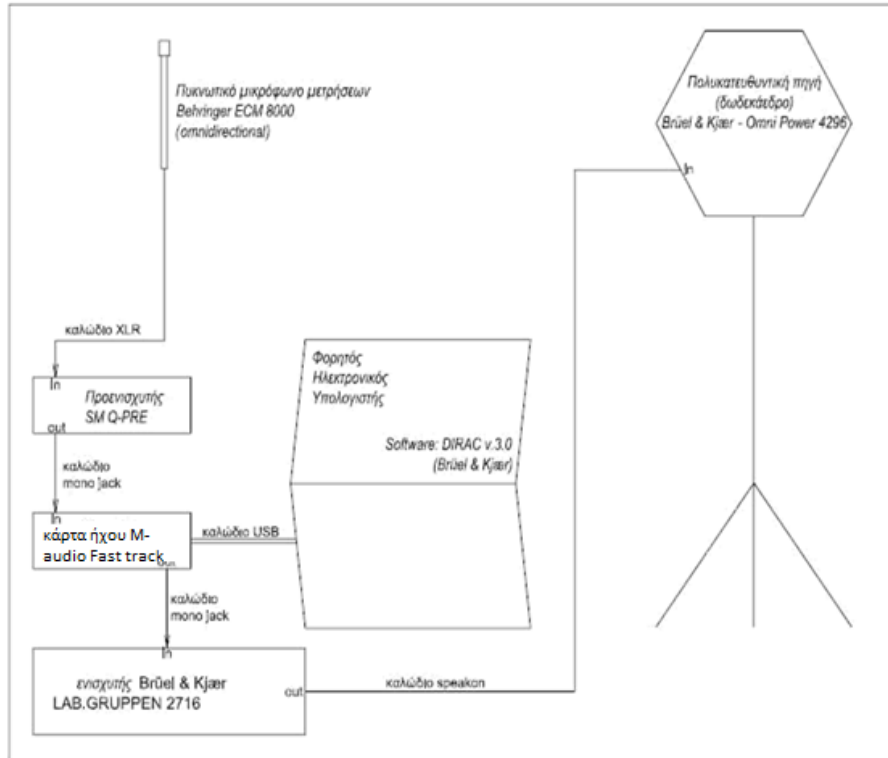
5.1 Μεθοδολογία φυσικών ακουστικών μετρήσεων

Για την αποτίμηση της ακουστικής κάθε αίθουσας, ακολουθήθηκε μια μεθοδολογία, η οποία εστιάζει στην καταγραφή φυσικών ακουστικών παραμέτρων και την ερμηνεία αυτών. Οι παράμετροι αυτές είναι ο χρόνος αντήχησης (RT), ο χρόνος απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων (EDT), το κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων (50EEF), ο λόγος των πρώιμων προς των καθυστερημένων ανακλάσεων [80(E-to-L)], η απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G) καθώς και ο θόρυβος βάθους (L_{Aeq}). Ο χρόνος αντήχησης και ο χρόνος απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων αναγνωρίζονται ως αντιπροσωπευτικές παράμετροι της ακουστικής χώρων ακροατηρίου [4]. Το κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων είναι χρήσιμο για την αποτίμηση της ευκρίνειας της ομιλίας, ενώ ο λόγος των πρώιμων προς των καθυστερημένων ανακλάσεων εκφράζει την διαύγεια του ήχου κλασσικού ρεπερτορίου. Η τελευταία παράμετρος είναι σημαντική για χώρους συναυλιών και όχι ιδιαίτερα για θεατρικές σκηνές, παρόλο αυτά έγινε η καταγραφή της στην παρούσα εργασία για λόγους πληρότητας.

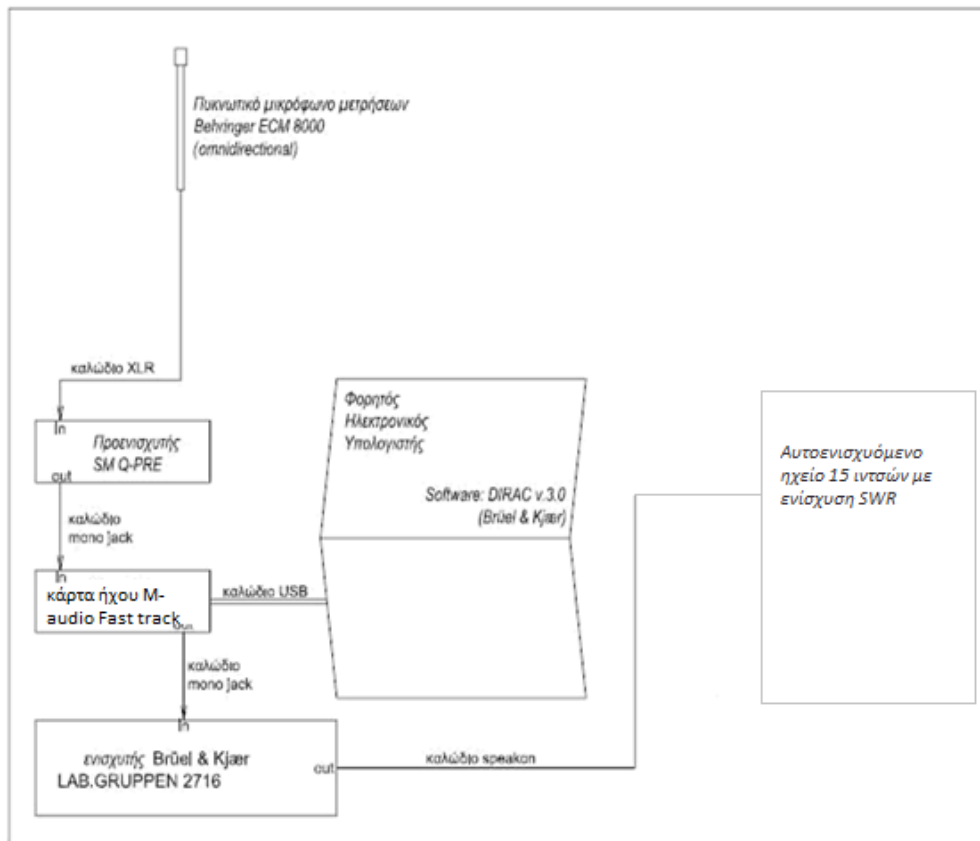
5.2 Πειραματική διαδικασία φυσικών ακουστικών μετρήσεων

Οι ακουστικές μετρήσεις έγιναν με σύγχρονο εξοπλισμό της Brüel & Kjaer και με την βοήθεια του λογισμικού Dirac v.3.0. Χρησιμοποιήθηκαν μονοφωνικές εγγραφές της απόκρισης της κάθε αίθουσας σε απλή κυματομορφή (impulse response) με την τοποθέτηση ισότροπης ηχητικής πηγής (πολυκατευθυντικής) αλλά και κατευθυντικής στην σκηνή και μικροφώνου σε διάφορες θέσεις μέσα στην αίθουσα σύμφωνα με το σχετικό ISO [STD. ISO, 1997]. Το impulse response είναι η ηχητική πίεση που αναπτύσσεται στον χώρο συναρτήσει του χρόνου σαν αποτέλεσμα ηχητικής

διέγερσης. Τα όργανα που χρησιμοποιήθηκαν, καθώς και η κατάλληλη διάταξη τους απεικονίζονται αναλυτικά στην εικόνα 5.1 για την ισότροπη πηγή και στην εικόνα 5.2 για την κατευθυντική πηγή.



Εικόνα 5.1: Αναλυτική διάταξη εξοπλισμού με την ισότροπη πηγή [21].



Εικόνα 5.2: Αναλυτική διάταξη εξοπλισμού με την κατευθυντική πηγή [26].

Το σήμα διέγερσης που παρήχθη από τις ηχητικές πηγές ήταν exponential sweep στις οκταβικές ζώνες 63 Hz έως 8 kHz, από τις οποίες λήφθηκαν υπόψιν για την ανάλυση των δεδομένων οι ζώνες των 250, 500, 1000, 2000 και 4000 Hz. Για καλύτερη απεικόνιση του impulse response πραγματοποιήθηκαν επαναλήψεις της εκπομπής του σήματος προκαθορισμένης διάρκειας. Ο αριθμός των επαναλήψεων και η διάρκεια του σήματος προσδιορίστηκαν έπειτα από δοκιμές για κάθε θέατρο ξεχωριστά.

Χρησιμοποιήθηκε δωδεκάεδρη πολυκατευθυντική ηχητική πηγή αλλά και απλή κατευθυντική, οι οποίες τοποθετήθηκαν σε απόσταση 1,5 m από το δάπεδο της σκηνής. Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι η ηχητική πηγή πρέπει να παράγει ήχο αρκετά υψηλής στάθμης έντασης, ώστε να υπάρχει κατάλληλο περιθώριο πτώσης της [ΠΑΡ.Α/Α.7.9], λαμβάνοντας υπόψιν τον θόρυβο βάθους, καθώς και ένα περιθώριο ασφαλείας 15 dB. Στην πράξη όμως, επειδή δεν είναι εφικτό να δημιουργηθεί τέτοιος ήχος μετριέται ο χρόνος αντήχησης για μικρότερη πτώση (30 dB που είναι γνωστός ως T30)

και μετατρέπεται από το λογισμικό αναλογικά στον κανονικό χρόνο αντήχησης.

Η θέση του μικροφώνου πρέπει να τοποθετείται τουλάχιστον 1 m (περίπου το ένα τέταρτο του μήκους κύματος του ήχου) από κάθε ανακλαστική επιφάνεια και στο ύψος του επιπέδου ακρόασης. Επιπλέον, το μικρόφωνο πρέπει να απέχει περισσότερο από μία ελάχιστη απόσταση από την ηχητική πηγή, η οποία υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο:

$$d_{\min} = 2 \sqrt{\frac{V}{cT}}$$

Όπου,

V: ο όγκος της αίθουσας [m³]

c: η ταχύτητα διάδοσης του ήχου [340m/s]

T: ο εκτιμώμενος χρόνος αντήχησης [s]

Επίσης, η απόσταση μεταξύ διαδοχικών θέσεων μέτρησης πρέπει να είναι τουλάχιστον 2 m (περίπου το μισό του μήκους κύματος του ήχου). Τέλος, σύμφωνα με το ISO [17] για αίθουσες με χωρητικότητα κάτω από 500 άτομα, ο αριθμός των θέσεων μέτρησης πρέπει να είναι τουλάχιστον έξι, ισοκατανεμημένες μέσα στην αίθουσα.

Σύμφωνα με τα παραπάνω μετρήθηκαν όλες οι παράμετροι που προαναφέρθηκαν, εκτός από τον θόρυβο βάθους, ο οποίος μετρήθηκε με απλό ντεσιμπελόμετρο. Κατά την διάρκεια όλων των μετρήσεων και στα τρία θέατρα επικρατούσαν οι ίδιες συνθήκες, δηλαδή η αίθουσα ήταν άδεια, οι πόρτες εισόδου της ήταν κλειστές, όπως και ο κλιματισμός, ενώ ο φωτισμός παρέμεινε ανοιχτός.

Για τον χρόνο αντήχησης λήφθηκαν υπόψιν τα αποτελέσματα του T30. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο μέσος όρος των θέσεων μέτρησης για κάθε συχνότητα και δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα διαγράμματα. Σημειώνεται ότι το επιθυμητό εύρος τιμών από 0,75 έως 1,00s κατά Barron [4].

Για τον υπολογισμό του χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων υπολογίστηκε η μέση τιμή των θέσεων μέτρησης για χαμηλές, μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Ακόμη υπολογίστηκε ο μέσος όρος των θέσεων μέτρησης για κάθε συχνότητα και δημιουργήθηκαν τα αντίστοιχα

διαγράμματα. Το επιθυμητό εύρος παρέμεινε το ίδιο από 0,75 έως 1,00 κατά Barron [4].

6. ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

6.1 ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ ΠΑΤΡΑΣ «ΑΠΟΛΛΩΝ»

Το θέατρο «Απόλλων» βρίσκεται στην Πάτρα, στο κέντρο της πόλης, στην βορειοανατολική πλευρά της πλατείας Γεωργίου Α' και ανεγέρθηκε το 1872 βάσει σχεδίων του Γερμανού αρχιτέκτονα Ερνέστο Τσίλερ. Είναι κτίριο με χαρακτηριστικά δείγματα νεοκλασικής αρχιτεκτονικής του 19ου αιώνα, χαρακτηρίζεται ως μικρογραφία της Σκάλας του Μιλάνου, καθώς επίσης, αποτελεί σήμερα ένα από τα πιο αξιόλογα νεοκλασικά θέατρα που διασώζονται ανά την Ελλάδα. Το κτίριο κατασκευάστηκε ως θέατρο και αποτελεί την κεντρική σκηνή του Δημοτικού Περιφερειακού Θεάτρου Πάτρας (ΔΗ.ΠΕ.ΘΕ) από την ίδρυση του δεύτερου κατά το 1988.

Πιο συγκεκριμένα, το θέατρο Απόλλων θεμελιώθηκε στις 11 Φεβρουαρίου του 1871 και η κατασκευή του ολοκληρώθηκε στις 10 Οκτωβρίου του 1872. Το κόστος κατασκευής του ήταν 148.542 δραχμές, το μεγαλύτερο ποσοστό του οποίου χρηματοδοτήθηκε από την αστική κοινωνία της Πάτρας ενώ ο Δήμος συμμετείχε με ποσοστό 33,61%. Το οικόπεδο που χτίστηκε ανήκε στους Γ. Φαρσή και Ι. Κωνσταντόπουλο από τους οποίους αγοράστηκε για 11.000 δρχ. Τα σχέδια του Ερνέστο Τσίλερ όπως και ο φάκελος των μετοχών φυλάσσονται σήμερα στην δημοτική βιβλιοθήκη Πατρών.

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα ακριβότερα και πολυτελή της εποχής, πέτρα Τεργέστης, κάγκελα από την Αγγλία, αγάλματα από την Βιέννη, μάρμαρα από το Λιβόρνο, πέτρα από τον Αστακό και διάφορα άλλα από την υπόλοιπη επικράτεια της Ελλάδας. Είναι ένα προσκηνιακό θέατρο και το εσωτερικό του περιλαμβάνει την πλατεία με 108 θέσεις και 30 θεωρεία σε δύο ορόφους. Η σκηνή του είναι 13,5 μέτρα πλάτος και 7,5 μέτρα βάθος. Η πρώτη παράσταση στο θέατρο Απόλλων ήταν στις 10 Οκτωβρίου 1872 με το μελόδραμα *UnbaloinMashera* του Βέρντι. Ο φωτισμός τα πρώτα χρόνια γινόταν με κεριά, το 1878 φωτίστηκε με φωταέριο και το 1899 με ρεύμα.

Στο θέατρο έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές εργασίες συντήρησης στην πορεία των χρόνων, διατηρώντας την αρχική του μορφή σε ικανοποιητικό βαθμό συγκριτικά με οποιοδήποτε άλλο ελληνικό θέατρο του 19ου αιώνα. Οι πρώτες εργασίες συντήρησης του θεάτρου έγιναν το 1899-1900 με βάση τα

σχέδια του μηχανικού Θαλλή, σύμφωνα με τα οποία χαμήλωσε η στάθμη της πλατείας (χωρητικότητας 150 περίπου θεατών) κατά 1,20 μ. και μεγάλωσε η επιφάνειά της με την υποχώρηση της μικρής ορχήστρας κάτω από τη σκηνή. Επίσης, τα θεωρεία της δεύτερης σειράς μειώθηκαν σε 19 από 21 στην αρχική κάτοψη του Τσίλερ και ο υπόλοιπος χώρος διασκευάστηκε σε αμφιθεατρικό εξώστη. Ανάλογες τροποποιήσεις έγιναν στην πρώτη σειρά θεωρείων, στο υπερώο και στην περιμετρική κιονοστοιχία της πλατείας, η οποία διασκευάστηκε σε ισόγεια σειρά θεωρείων. Την ίδια περίοδο κλείνει ο στεγασμένος εξώστης της όψης με τζαμαρία, για να δημιουργηθεί το καπνιστήριο του θεάτρου. Τέλος, αλλάζει ο φωτισμός, καταργείται το γκάζι και χρησιμοποιείται το ηλεκτρικό. Αργότερα, το 1953-1954, πραγματοποιήθηκαν οι επόμενες εργασίες συντήρησης του θεάτρου, αφορώντας στοιχειώδεις επισκευές κυρίως στα φθαρμένα δάπεδα, αντικατάσταση της πτυσσόμενης αυλαίας με πολυτελή ριντώ χρώματος γκρενά, βελτίωση του φωτισμού, επέκταση του χώρου των καμαρινιών και τέλος κατασκευή σκάλας κίνδυνου στο αριστερό αίθριο. Το 1960, αντικαταστάθηκε η ξύλινη στέγη και στη θέση των κεραμιδιών τοποθετήθηκε ελενίτ για να μειωθεί το βάρος της. Το 1969, ανατίθεται η εκπόνηση της μελέτης αποκατάστασης του θεάτρου στον αρχιτέκτονα Μ. Δωρή με τη συνεργασία της συναδέλφου του Νίας Μαρινοπούλου, ενώ η αποκατάσταση της ζωγραφικής διακόσμησης έγινε από τον ζωγράφο Τ. Στεφόπουλο και οι εργασίες αποκατάστασης του γλυπτού διακόσμου από τον γλύπτη Χρ. Αϊδώνη. Η εκτέλεση του έργου ολοκληρώθηκε το 1972 από τους εργολάβους Καπετανάκη-Ντάβαρη. Τη δεκαετία του 1980 πραγματοποιούνται εργασίες οι οποίες αφορούσαν κυρίως τη συντήρηση της όψης του θεάτρου και διατηρούνται όλα τα αρχιτεκτονικά και μορφολογικά της στοιχεία. Το 1997 πραγματοποιήθηκε από την Τεχνική Υπηρεσία του Δήμου Πατρέων μια νέα προσπάθεια ένταξης του κτιρίου του στο άμεσο περιβάλλον του, σύμφωνα με την οποία τροποποιήθηκε η όψη των τριών ορόφων του, που σχετίζονται με το θέατρο.

Το εσωτερικό κέλυφος του θεάτρου ως έχει σήμερα φέρει τα ακόλουθα υλικά τελειωμάτων: Το δάπεδο φέρει παχιά κόκκινη μοκέτα και τα καθίσματα είναι υπενδεδυμένα ομοίως με κόκκινο βελούδο σε όλο το θέατρο. Οι πλευρικοί τοίχοι στο επίπεδο της πλατείας καθώς και ο πίσω τοίχος φέρουν επένδυση από γυψοσανίδα βαμμένη σε ομοιόγραφο με τον χώρο χρώμα.

Ομοίως είναι επενδυμένος και ο πίσω τοίχος όλων των θεωρείων. Τα στηθαία των θεωρείων φέρουν επένδυση μαρμάρου με εσώγλυφο και εξώγλυφο διάκοσμο βάθους της τάξεως των πέντε εκατοστών. Η οροφή είναι διακοσμημένη με ξύλο, φέρει γλυπτικό διάκοσμο και στο κέντρο της υπάρχει ένας περίτεχνος πολυέλαιος. Η σκηνή κλείνει με βαριά βελούδινη κουρτίνα. Περιμετρικά της αίθουσας βρίσκεται διάδρομος κυκλοφορίας που λειτουργεί σαν ζώνη ανάσχεσης (φουαγιέ). Η κεντρική πλατεία έχει μια πόρτα εισόδου που καλύπτεται από βαριά βελούδινη κούρτινα. [Διάφορες πηγές internet]



Εικόνα 6.1.1:Άποψη πλατείας και εξωστών του Δημοτικού θεάτρου Πάτρας «Απόλλων» από ψηλά.



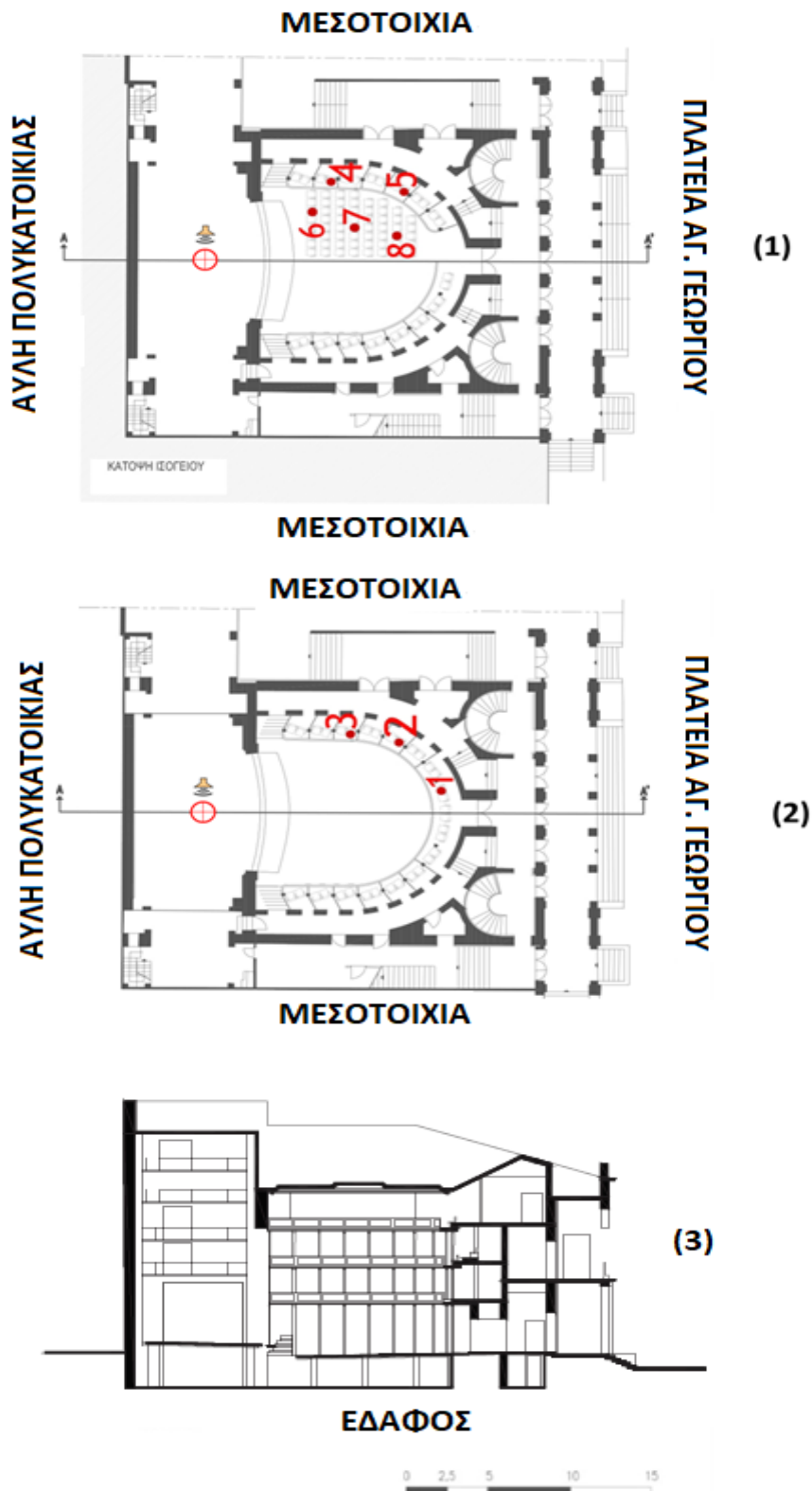
Εικόνα 6.1.2:Άποψη σκηνής του Δημοτικού θεάτρου Πάτρας «Απόλλων» από την πλατεία.



Εικόνα 6.1.3: Εξωτερική άποψη του Δημοτικού θεάτρου Πάτρας «Απόλλων».



Εικόνα 6.1.4: Εσωτερική άποψη του Δημοτικού θεάτρου Πάτρας «Απόλλων» από τη σκηνή.



Εικόνα 6.1.5: (1) κάτοψη πλατείας (2) κάτοψη εξώστη και (3) τομή του θεάτρου «Απόλλων». ⊕ : ισότροπη πηγή, ☞ : κατευθυντική πηγή, ● : θέσεις μέτρησις.

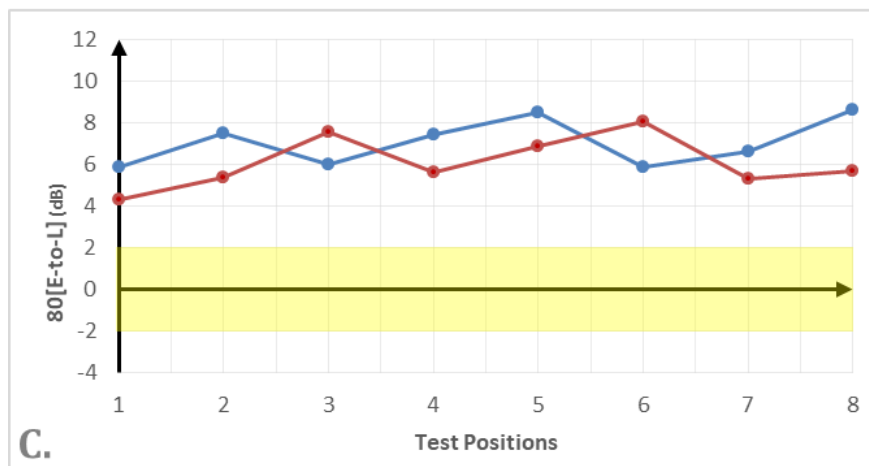
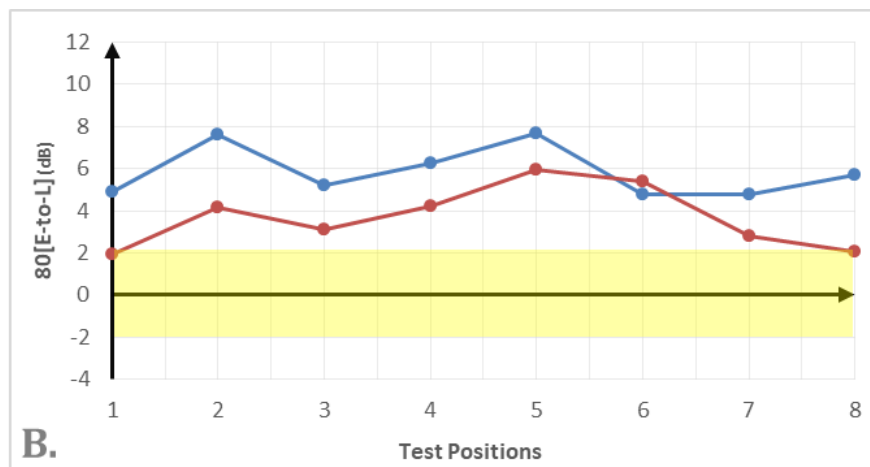
6.1 Φυσικές ακουστικές μετρήσεις του θεάτρου “Απόλλων”

Οι μετρήσεις των φυσικών ακουστικών παραμέτρων πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Έπειτα έγινε πινακοποίηση των δεδομένων όπως φαίνεται αναλυτικά στο Παράρτημα Ε. Στο θέατρο «Απόλλων» έγιναν 8 μετρήσεις.

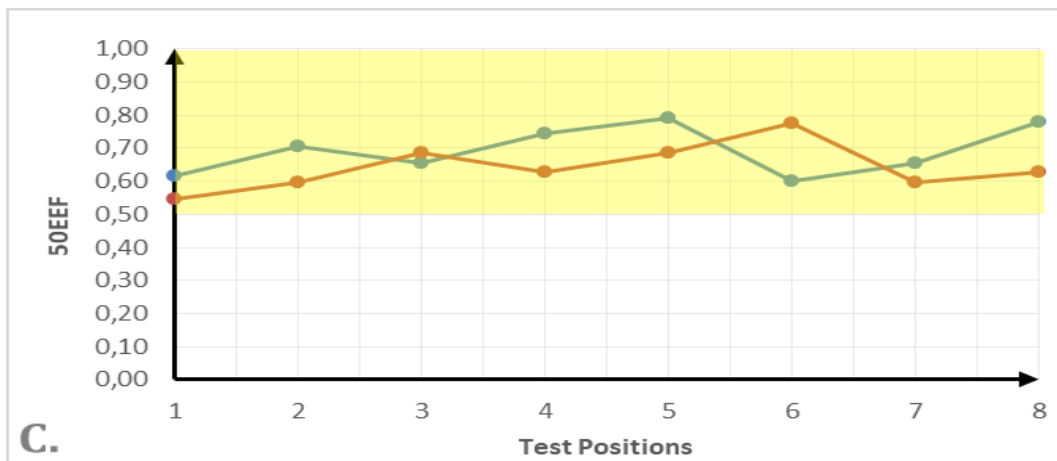
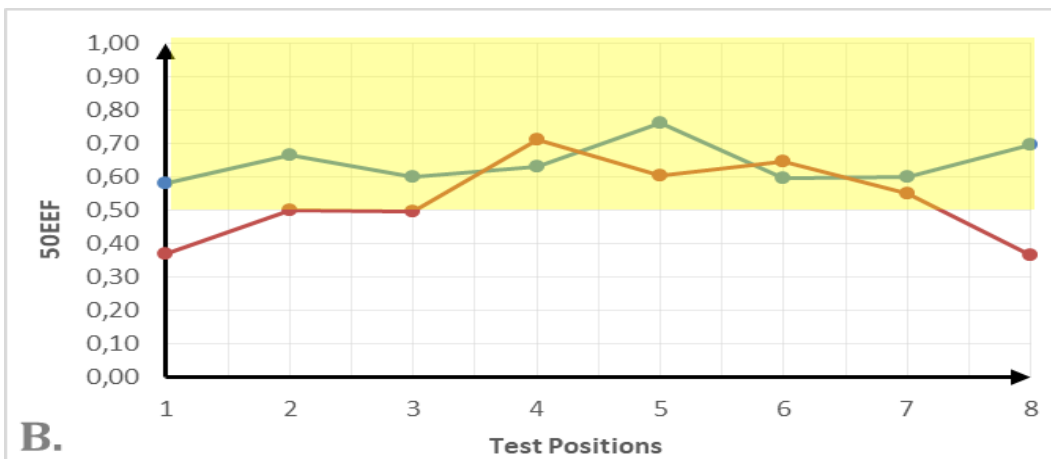
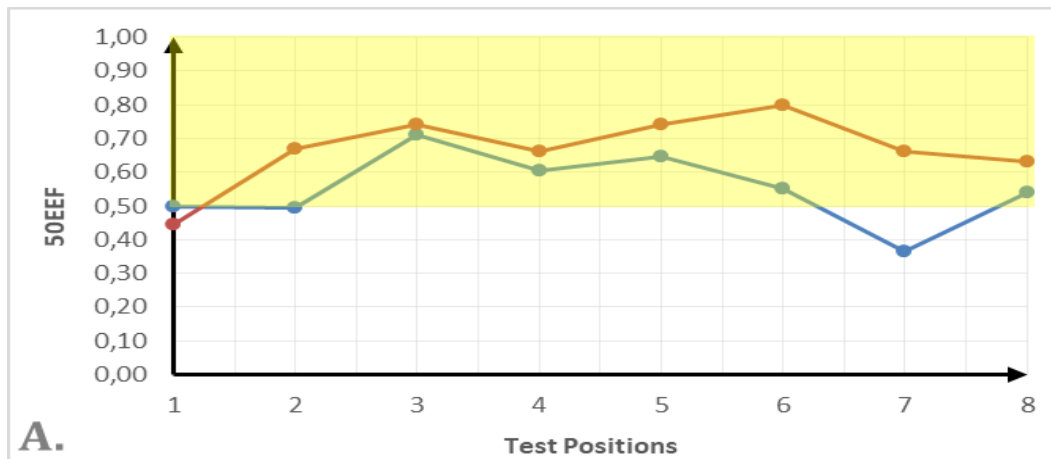
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι λόγοι των χρόνων αντήχησης χαμηλών προς μεσαίων (RT_{bass}/RT_{mid}) και υψηλών προς μεσαίων συχνοτήτων ($RT_{tremble}/RT_{mid}$).

RT_{bass}/RT_{mid}	1,25
$RT_{tremble}/RT_{mid}$	0,75

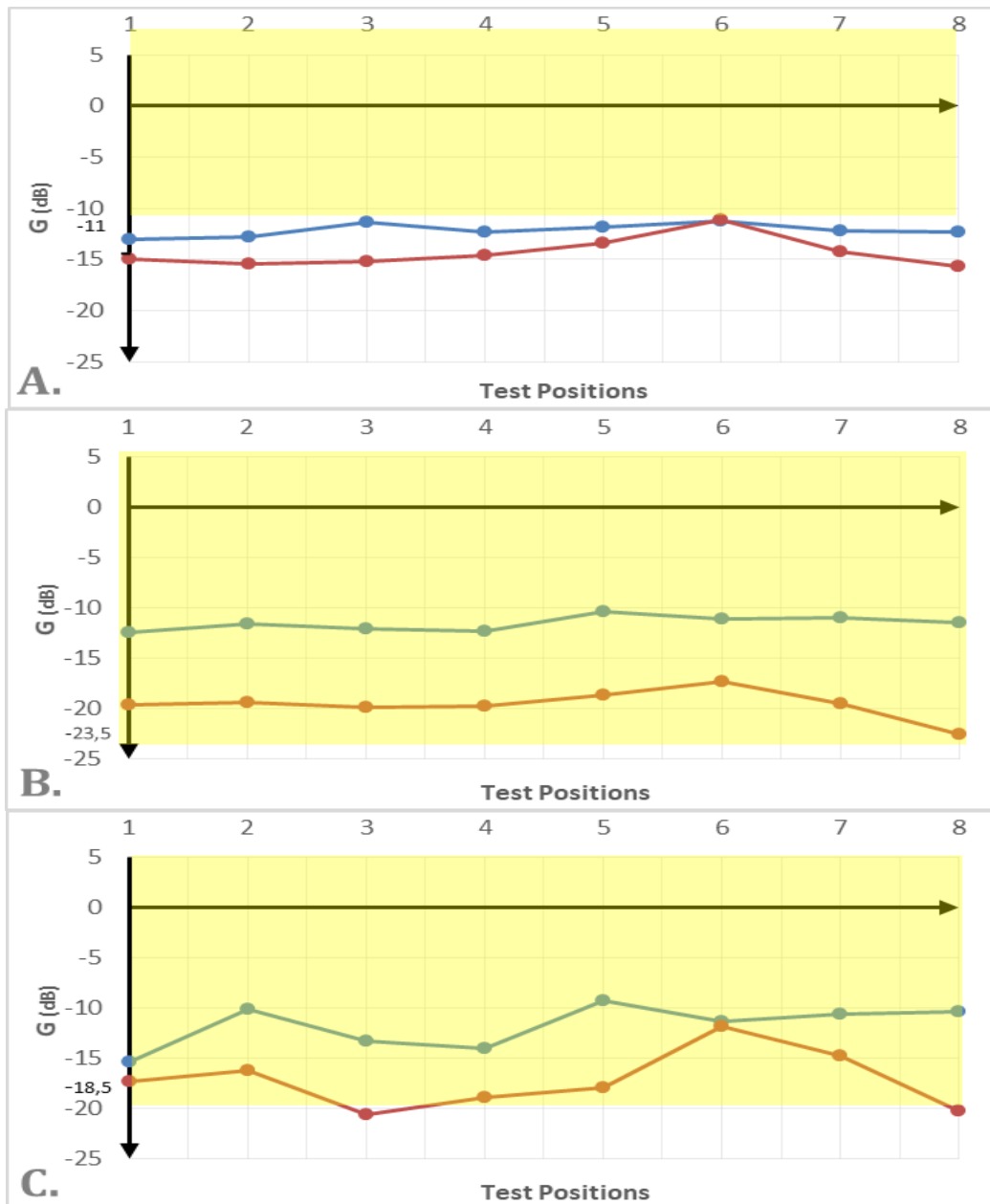
Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε διαγράμματα όλα τα αποτελέσματα των φυσικών μετρήσεων, τόσο με την ισότροπη όσο και με την κατευθυντική πηγή.



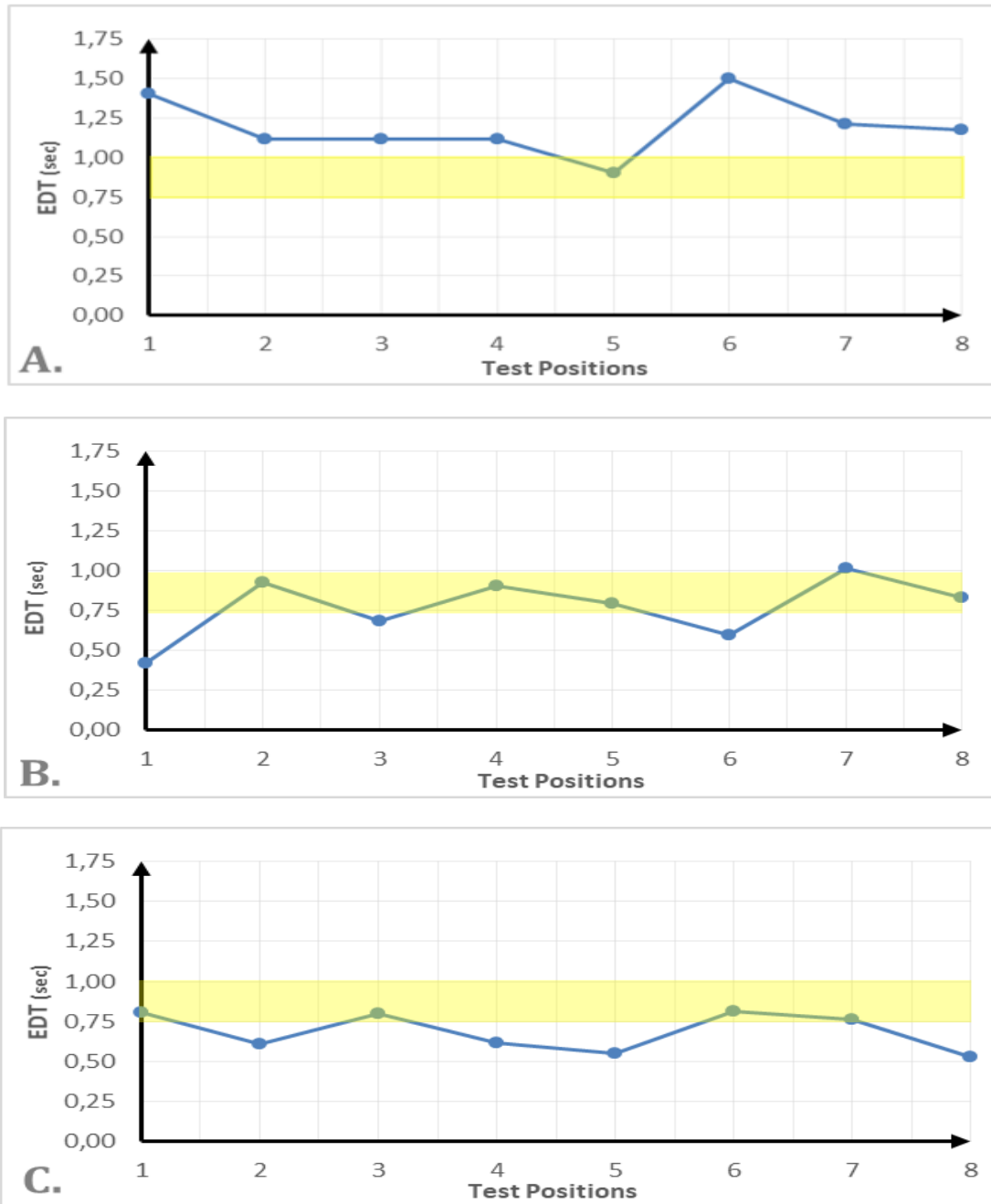
Εικόνα 6.1.6: Μετρήσεις του λόγου πρώιμων προς καθυστερημένες ανακλάσεις 80(E-to-L) στο θέατρο «Απόλλων» (*Measurements of 80ms Early-to-Late sound ratio in theatre “Apollon”*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (*Mean, oct. bands 125, 250 Hz*), **B.** Μεσαίες συχνότητες (*Mean, oct. bands 500, 1000 Hz*), **C.** Υψηλές συχνότητες (*Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz*). —■— Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*). —■— Κατευθυντική πηγή (*directional source*). ■— Επιθυμητά όρια για κλασική μουσική (*recommended values for classical music*).



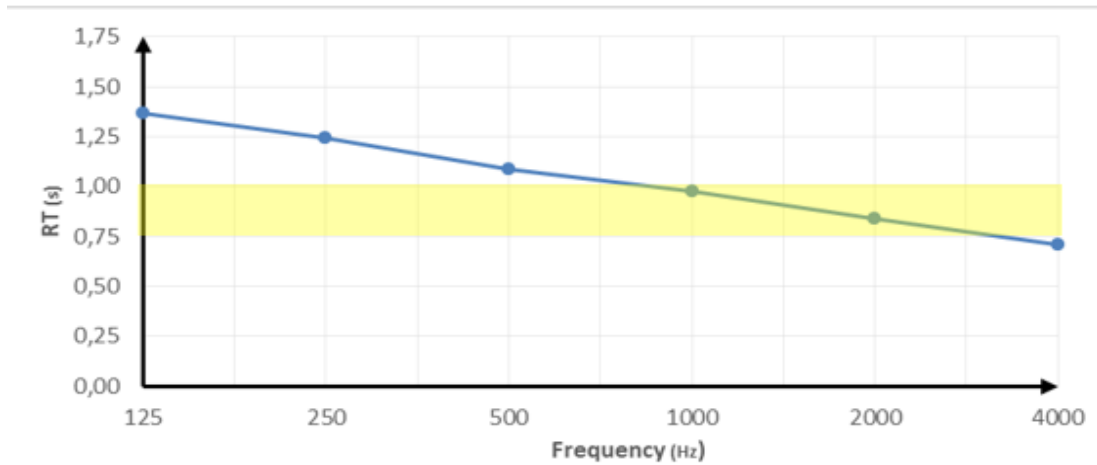
Εικόνα 6.1.7: Μετρήσεις του κλάσματος πρώιμων ανακλάσεων 50EEF στο θέατρο «Απόλλων» (*Measurements of the 50ms early energy fraction in theatre “Apollon”*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 125, 250 Hz), **B.** Μεσαίες συχνότητες (Mean, oct. bands 500, 1000 Hz), **C.** Υψηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz). — Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*) — Κατευθυντική πηγή (*directional source*) — Επιθυμητά όρια για αίσθουσα ομιλίας (*recommended values for speech intelligibility*).



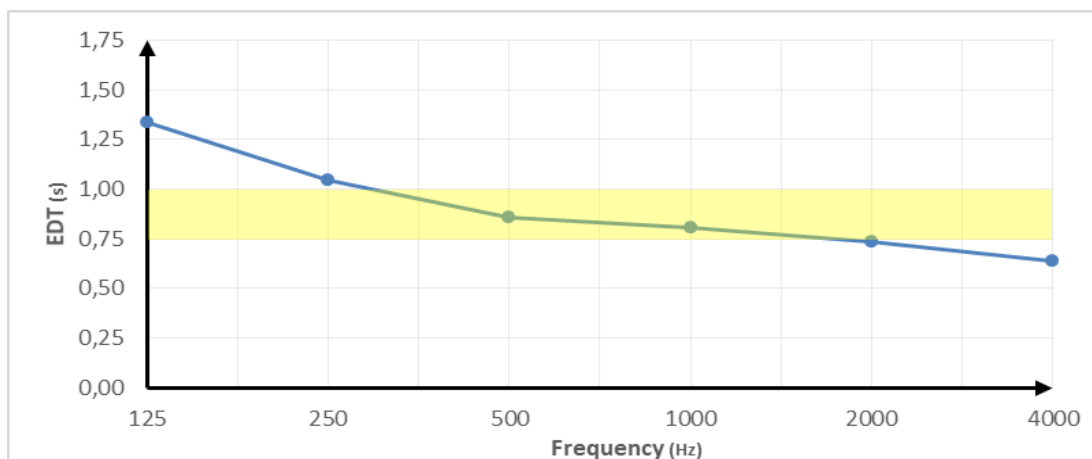
Εικόνα 6.1.8: Μετρήσεις της απόσβεσης της στάθμης έντασης του ήχου (G) ως προς την ένταση του ήχου στο 1 μ. από την πηγή (0 dB), στο θέατρο «Απόλλων» (*Measurements of the speech sound level Re speech level at 1 m. from source, in theatre “Apollon”*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 125, 250 Hz), **B.** Μεσαίες συχνότητες (Mean, oct. bands 500, 1000 Hz), **C.** Υψηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz). —■— Ισότροπη πηγή (omnidirectional source). —■— Κατευθυντική πηγή (directional source). ■ Επιθυμητά όρια: **A.** Για τις χαμηλές συχν. “>-11 dB”, **B.** Για τις μεσαίες συχν. “>-23,5 dB”, **C.** Για τις υψηλές συχν. “>-18,5 dB” (recommended values: **A.** For mean oct. bands 125, 250 Hz “>-11 dB”, **B.** For Mean 500, 1000 Hz “>-23,5 dB”, **C.** For Mean 2000, 4000 Hz “>-18,5 dB”).



Εικόνα 6.1.9: Μετρήσεις του χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων (EDT) στο θέατρο «Απόλλων» (*Measurements of the Early Decay Time in theatre “Apollon”*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 125, 250 Hz), **B.** Μεσαίες συχνότητες (Mean, oct. bands 500, 1000 Hz), **C.** Υψηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz). — Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).



Εικόνα 6.1.10: Μετρήσεις του χρόνου αντήχησης συναρτήσει του φάσματος συχνοτήτων, στο θέατρο «Απόλλων» (*Measurements of the Reverberation Time vs frequency spectrum, in theatre “Apollon”*). — Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).



Εικόνα 6.1.11: Μετρήσεις του χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων (EDT) στο θέατρο «Απόλλων» (*Measurements of the Early Decay Time in theatre “Apollon”*). — Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).

6.1.2. Ερμηνεία και αξιολόγηση των φυσικών ακουστικών μετρήσεων του θεάτρου “Απόλλων”

Τα αποτελέσματα για τον χρόνο αντήχησης (RT) κυμάνθηκαν σε όλο το φάσμα συχνοτήτων από 0,74 sec έως 1,31 sec, με μέσο όρο στις μεσαίες συχνότητες (RT_{mid}) τα 1,03 sec με την ισότροπη πηγή. Παρατηρούμε ότι στις μικρές συχνότητες οι τιμές είναι εκτός των επιθυμητών ορίων κάτι το οποίο εξηγείται από τη δυσκολία που εμφανίζεται να απορροφηθούν. Έτσι παρόλο που μέσω της ανακαίνισης έχει περιοριστεί η αντήχηση στις υπόλοιπες οι μικρές παραμένουν εκτός.

Όσον αφορά στο κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων (50EEF) οι μέσες τιμές του κυμάνθηκαν σε όλο το φάσμα συχνοτήτων από 0,63 μέχρι 1,3 με την ισότροπη πηγή, με μέσο όρο στις μεσαίες συχνότητες το 0,83. Τα αποτελέσματα αυτά βρίσκονται εντός των επιθυμητών ορίων ($\geq 0,5$) και σχετικά κοντά στην μέγιστη τιμή, την τιμή της μονάδας, γεγονός που ήταν αναμενόμενο καθώς ο μικρός όγκος του θεάτρου συνεπάγεται την ελαχιστοποίηση της απόστασης μεταξύ των ηθοποιών και του ακροατηρίου. Έτσι, ο απευθείας ήχος φτάνει ανεμπόδιστα στου θεατές.

Για το κλάσμα των πρώιμων προς καθυστερημένων ανακλάσεων, 80(E-to-L), οι μέσες τιμές σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων κυμάνθηκαν από 1,6 dB μέχρι 8,26dB ενώ ο μέσος όρος στις μεσαίες συχνότητες βρέθηκε 4,5dB. Παρόμοια είναι και τα αποτελέσματα της κατευθυντικής πηγής. Οι σχετικά μεγάλες τιμές της παραμέτρου ερμηνεύονται κι εδώ από τις μικρές διαστάσεις του χώρου και τον μεγάλο αριθμό πρώιμων ανακλάσεων και του απευθείας ήχου ως προς τις καθυστερημένες ανακλάσεις, δηλαδή δεν είναι αντιληπτή η διαφορά των πρώιμων και των καθυστερημένων ανακλάσεων (σχεδόν ταυτίζονται) λόγω των πολύ μικρών αποστάσεων από την πηγή.

Συνεχίζοντας, για την απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G) οι τιμές κυμάνθηκαν σε όλο το φάσμα συχνοτήτων από -13,35 dB μέχρι -9,57 dB, με μέσο όρο στις μεσαίες συχνότητες στα -11,3 dB. Για τις χαμηλές συχνότητες η πτώση των 12,3 dB είναι οριακά μεγαλύτερη από το αποδεκτό όριο των «-11 dB», τη στιγμή που η πτώση αυτή για τις μεσαίες συχνότητες (-9,90 dB) είναι εντός του ορίου των «-23.5 dB». Τέλος και στις υψηλές συχνότητες η τιμή των

-11,6 dB είναι εντός του αποδεκτού ορίου των «-18,5dB» για αυτό το εύρος συχνοτήτων. Σχολιάζοντας τα αποτελέσματα της παραμέτρου, προκύπτει αποδεκτή πτώση της στάθμης έντασης του ήχου ενώ οι σχετικά μεγάλες τιμές αιτιολογούνται από την μεγάλη απορροφητικότητα του χώρου. Τέλος μετρήθηκε στάθμη θορύβου βάθους 23 dBA.

6.1.3 Συμπεράσματα

Αρχικά βλέπουμε ότι ο χρόνος αντήχησης στις χαμηλές συχνότητες είναι αυξημένος και εκτός των επιθυμητών ορίων.

Αυτό είναι ένα σύνηθες φαινόμενο σε θεατρικές αίθουσες που έχουν ανακαινιστεί. Μετά την ανακαίνιση ενώ επιτυγχάνεται ο έλεγχος της αντήχησης στις μεσαίες και τις μεγάλες συχνότητες, χρησιμοποιώντας ηχοαπορροφητικές επιφάνειες, ο μικρός χρόνος αντήχησης παραμένει αυξημένος. Οι λόγοι RT_{bass}/RT_{mid} και $RT_{tremble}/RT_{mid}$ είναι κοντά στην μονάδα, κάτι που σημαίνει ότι το ηχητικό πεδίο είναι συνεπίπεδο κατά μήκος των συχνοτήτων.

Από τα αποτελέσματα του λόγου των πρώιμων προς των καθυστερημένων ανακλάσεων (80-EtoL) προκύπτει ότι ο χώρος δεν είναι κατάλληλος για διεξαγωγή μουσικών δρώμενων.

Όσον αφορά στις τιμές του 50EEF το θέατρο παρουσιάζει πολύ καλή αναλογία των πρώιμων ανακλάσεων προς την συνολική ηχητική ενέργεια, κάτι που δικαιολογείται από την ύπαρξη επαρκούς αριθμού ανακλαστικών επιφανειών, και στην μικρή απόσταση του ακροατηρίου από την σκηνή.

Οι μετρήσεις του δείκτη της πτώσης της στάθμης έντασης του ήχου (G) μας δείχνουν πως η πτώση στις μεσαίες και τις μεγάλες συχνότητες είναι μεγάλη, δηλαδή ο ήχος ασθενεί αρκετά και αυτό οφείλεται στο μεγάλο ύψος του θεάτρου.

Τέλος, φαίνεται ότι το θέατρο είναι ηχοπροστατευμένο από τον αστικό θόρυβο, αφού η τιμή του θορύβου βάθους είναι 25.9

6.2 ΘΕΑΤΡΟ «ΠΑΛΛΑΣ»

Το θέατρο Παλλάς είναι ένας ιστορικός και διατηρητέος χώρος στο κέντρο της πόλης στην Αθήνα, ο οποίος στεγάζεται στο Μέγαρο του Μετοχικού Ταμείου Στρατού. Το Μ.Τ.Σ. είναι έργο των νέων τότε αρχιτεκτόνων Λεωνίδα Μπόνη (1896-1963) και Βασίλη Κασσάνδρα (1904-1973), και άρχισε να οικοδομείται το 1928. Καταλαμβάνει ένα ολόκληρο οικοδομικό τετράγωνο στο κέντρο της πόλης και είναι άμεσα συνυφασμένο με την ιστορία της πόλης και με την καθημερινή ζωή των πολιτών. Η καθιέρωση του κινηματογράφου ως μέσου ψυχαγωγίας κατά το μεσοπόλεμο οδήγησε στην κατασκευή του Παλλάς, που χτίστηκε το διάστημα 1931-1933 και εξοπλίστηκε με όρους της πλέον ενημερωμένης, τότε, τεχνολογίας. Συνολικά στην πλατεία, τον εξώστη και τα περιμετρικά θεωρεία, χωρούσαν περί τους 2.500 θεατές (2750). Το αρχιτεκτονικό στολίδι στο εσωτερικό της αίθουσας ήταν η ψευδοροφή («σε τρία κλιμακωτά επίπεδα, που συνδέονται με παραβολοειδείς επιφάνειες, που σχηματίζουν ημιτονοειδείς κυματισμούς»). Το σχέδιό της αναδείκνυε ο έμμεσος φωτισμός. Το χρώμα των τοίχων ήταν βαθυκόκκινο, κόκκινο ήταν και το βελούδο της αυλαίας και των καθισμάτων. Μια από τις ελάχιστες αίθουσες ευρωπαϊκών προδιαγραφών της χώρας, το Παλλάς, αποτελούσε το μεγαλύτερο θέατρο των Βαλκανίων, με τις πλέον σύγχρονες μηχανολογικές εγκαταστάσεις για κινηματογραφική/θεατρική αίθουσα, με 50 καμαρίνια και χώρο ορχήστρας για 150 όργανα.

Το 2004 το αρχιτεκτονικό γραφείο του Γ.Κίζη ανέλαβε την αρχιτεκτονική αποκατάσταση η οποία σε έγινε προκειμένου να εναρμονισθούν με τις σύγχρονες ανάγκες και λειτουργικές προδιαγραφές με στόχο την επιτυχή επαναλειτουργία. Συντηρήθηκαν τα ιδιαίτερα διακοσμητικά και αρχιτεκτονικά στοιχεία, τα χρώματα και τα υλικά που βοηθούν στην ανάκτηση της ατμόσφαιρας της εποχής, όπως αυτή χαρακτηρίζεται από τους διακοσμημένους με μοτίβα artdeco χώρους. Η ανάδειξη των αυθεντικών διατηρητέων στοιχείων επιτεύχθηκε μέσω της αντιθετικής ένταξης ορισμένων νέων αρχιτεκτονικών στοιχείων.

- **Εργασίες αποκατάστασης στην αίθουσα του Παλλάς**

Για να ανταποκρίνεται το Παλλάς στις ειδικές απαιτήσεις για τη λειτουργία μουσικοθεατρικών παραστάσεων εγκαταστάθηκαν μεγάφωνα,

εκσυγχρονίστηκε η υποδομή της σκηνής και εγκαταστάθηκε νέος φωτισμός σκηνής. Ανακατασκευάστηκε πλήρως το δάπεδο της πλατείας προκειμένου να εξασφαλιστεί η βέλτιστη δυνατή επαφή όλων των θέσεων με τη σκηνή. Κατασκευάστηκε νέο μεταλλικό πλωτό δάπεδο από δικτύωμα κοιλοδοκών που εδράζεται σε νέα πλάκα μπετόν. Επίσης η μελέτη ακουστικής υπαγόρευσε την προσθήκη ανακλαστικών και συνηχητικών επενδύσεων από διάτρητη και συμπαγή ξυλοσανίδα σε προκαθορισμένα κατακόρυφα σημεία της αίθουσας. Το πιο εντυπωσιακό διακοσμητικό στοιχείο στο εσωτερικό της αίθουσας ήταν η ψευδοροφή «σε τρία κλιμακωτά επίπεδα, που συνδέονταν με παραβολοειδείς επιφάνειες που σχηματίζουν ημιτονοειδείς κυματισμούς». Το σχέδιό της αναδεικνύει ο έμμεσος φωτισμός. Η οροφή ανακατασκευάστηκε πλήρως στις αρχικές της χαράξεις. Για την καλύτερη ηχομόνωση του χώρου, το εσωρράχιο της νέας μεταλλικής θολωτής στέγης επενδύθηκε με άκαυστο ύφασμα από μαύρο βελούδο για μέγιστη φωτοαπορρόφηση. Όπισθεν των κεκλιμένων καμπύλων τοποθετήθηκαν οι απαραίτητοι για το φωτισμό και τον ήχο του κινηματοθέατρου μηχανισμοί και συσκευές. (προβολείς, μεγάφωνα, κλπ.) Πριν και μετά από τις παραστάσεις και κατά τη διάρκεια των διαλειμμάτων, οι ίνες παραμένουν αναμμένες και δημιουργούν ένα φωτεινό σέλας στις παραβολοειδείς επιφάνειες.

- **Εφαρμογές της ακουστικής μελέτης**

Πλωτά Ηχομονωτικά Κελύφη: Καθοριστικός στόχος της ακουστικής μελέτης ήταν η ταυτόχρονη χρήση των δύο αιθουσών. Γι' αυτό εφαρμόστηκαν πλωτές κατασκευές για την πλήρη ηχητική απομόνωση των χώρων μεταξύ τους.

Ακουστικές Επενδύσεις Τοίχων των Θεάτρων: Για την επίτευξη της ακουστικής ευκρίνειας των χώρων όπως για την κατακόρυφη πτώση των υψηλών υφιστάμενων χρόνων αντήχησης σε ιδανικά όρια καθώς και για την μεταχείριση των φαινομένων χρόνων καθυστέρησης εφαρμόστηκαν:

α) απορροφητές ευραίου φάσματος (με κύρια υλικά εφαρμογής ακουστικού ορυκτοβάμβακα μεγάλης πυκνότητας με επικάλυψη, άκαυστου ηχοπερατού υφάσματος, και επικάλυψη διάτρητης λαμαρίνας στους χώρους των σκηνών),
β) κατακόρυφοι και κεκλιμένοι συνηχητές διάτρητων ξύλινων επιφανειών

(μεικτής συμπεριφοράς ανάκλασης-συνήχησης και ταυτόχρονης απορρόφησης χαμηλών συχνοτήτων),

γ) κοίλοι διαχυτές (μεικτής συμπεριφοράς διάχυσης/απορρόφησης χαμηλών συχνοτήτων) στο πίσω τμήμα των αιθουσών για υποβοήθηση της διασποράς της ακουστικής ενέργειας με ίση κατανομή στους θεατές,

δ) ανακλαστήρες για την κατεύθυνση των ανακλάσεων στον χώρο κοινού,

ε) καθίσματα με αυξημένη ηχοαπορροφητική ικανότητα, ώστε να μην μεταβάλλεται η ακουστική του χώρου ανάλογα με το πλήθος του ακροατηρίου.

Η Ακουστική Συμπεριφορά της οροφής του Παλλάς: Η αρχιτεκτονική επίλυση με τα 3 φωτιζόμενα παραβολοειδή ανοίγματα της οροφής (πέραν του ακουστικού επιχρίσματος στα οριζόντια τμήματα της), επέτρεψε την απορρόφηση χαμηλών συχνοτήτων του εισερχόμενου ήχου στο εσωρράχιο της μεταλλικής θολωτής στέγης, μετατρέποντας την σε μία υπερμεγέθη διαστάσεων ηχοαπορροφητική κοιλότητα τύπου συνηχητού HELMHOLTZ.

Ακουστικές Επενδύσεις Δαπέδων: Εφαρμόστηκαν ηχοαπορροφητικές, αντιστατικές και άκαυστες μοκέτες με υπόστρωμα

Ακουστική Διάφανη Μεμβράνη Μεταφραστικών Θαλάμων Παλλάς: Στον εξώστη του Παλλάς πίσω από την τελευταία σειρά καθισμάτων τοποθετήθηκαν μεταφραστικοί θάλαμοι για χρήση της αίθουσας ως Συνεδριακού Κέντρου. Η απόσταση μεταξύ Σκηνής και μεταφραστικού θαλάμου είναι άνω των 42 μέτρων με αποτέλεσμα την δημιουργία διακριτού αντίλαλου, αντιληπτού μόνον επί της Σκηνής. Για την απορρόφηση της ανάκλασης τοποθετήθηκε ειδική διάφανη μεμβράνη με συμπεριφορά απορροφητή ευραίου φάσματος.

Το εσωτερικό κέλυφος της αίθουσας φέρει επενδύσεις ως εξής: το δάπεδο του θεάτρου φέρει παχιά κόκκινη μοκέτα, τα καθίσματα επενδυμένα με βελούδο, οι πλαϊνή και ο πίσω τοίχος της αίθουσας φέρουν επένδυση ξύλου κόκκινης απόχρωσης το οποίο ανά διαστήματα φέρει διάτρηση που αντιστοιχεί σε κατασκευή συνηχητών πίσω από τη διάτρηση. Οι πλευρικές παρειές της αίθουσας χωρίζονται από την περιοχή των καθισμάτων με συστοιχία ελευθέρων υποστυλωμάτων που είναι επιχρισμένη. Η αίθουσα στις

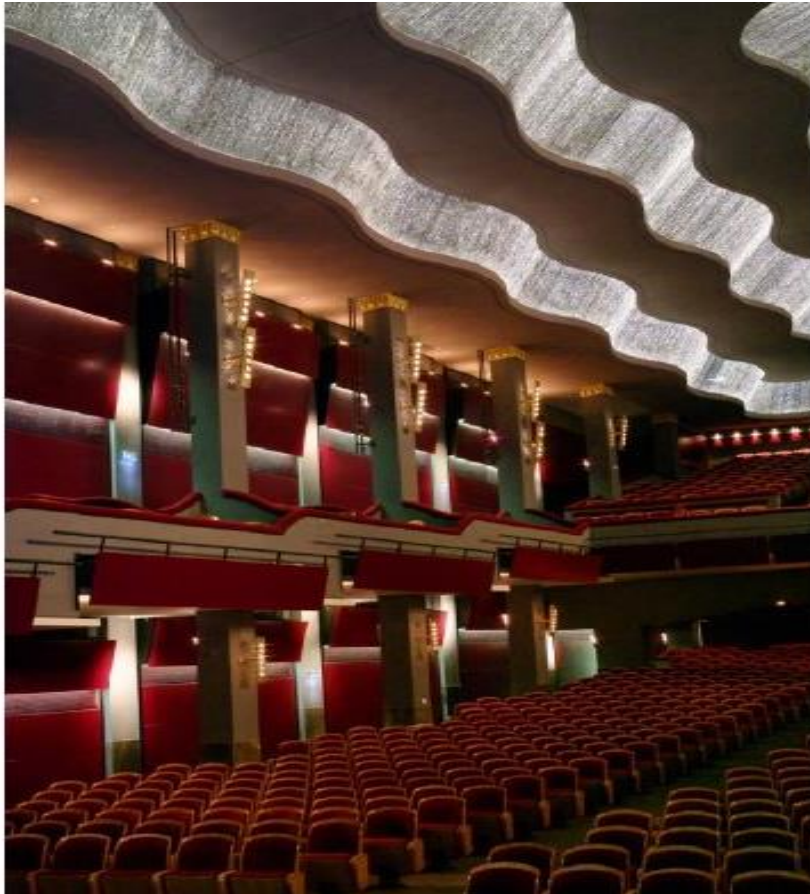
3 πλευρές της φέρει μια σειρά θεωρείων, τα στηθαία των εξωστών είναι κατά βάση επιχρισμένα, ενώ φέρουν τμηματικά ξύλινη επένδυση διατεταγμένη σε επιφάνειες με διακοσμητικά μοτίβα. Η οριζόντια οροφή είναι από σιδηροπαγές σκυρόδεμα πάνω στη οποία είναι αναπτυγμένη κυματοειδής μεμβράνη μεταλλική στις 4 πλευρές της. Στο βάθος της μεμβράνης υπάρχει τεταμένο σκούρο ύφασμα ως ψευδοροφή που εμποδίζει την οπτική επαφή προς την δομική οροφή. Η σκηνή της αίθουσας φέρει παχιά βελούδινη κουρτίνα.
[Διάφορες πηγές internet]



Εικόνα 6.2.1:Εσωτερική άποψη του θεάτρου «Παλλάς» από τον εξώστη προς τη σκηνή, μετά και πριν την ανακαίνιση.



Εικόνα 6.2.2:Εσωτερική άποψη της πλατείας του θεάτρου «Παλλάς», μετά και πριν την ανακαίνιση.



Εικόνα 6.2.3 Εσωτερική άποψη της πλατείας και των θεωρείων του «Παλλάς».



Εικόνα 6.2.4 Εξωτερική άποψη του θεάτρου «Παλλάς» από την οδό Βουκουρεστίου.

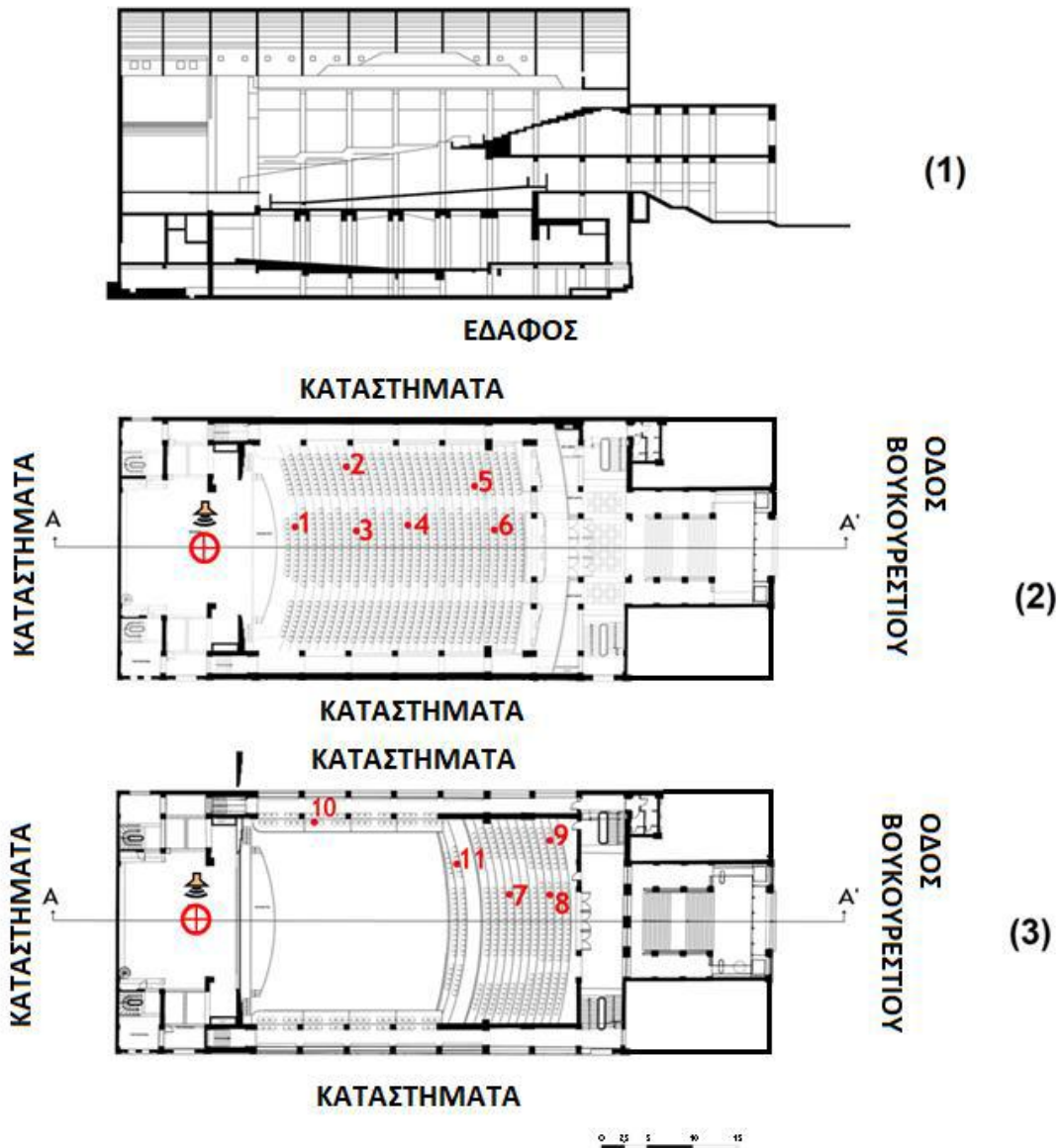
6.2.2 Φυσικές ακουστικές μετρήσεις του θεάτρου “Παλλάς”

Οι μετρήσεις των φυσικών ακουστικών παραμέτρων πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Έπειτα έγινε πινακοποίηση των δεδομένων όπως φαίνεται αναλυτικά στο Παράρτημα Ε. Στο θέατρο «Παλλάς» έγιναν 11 μετρήσεις.

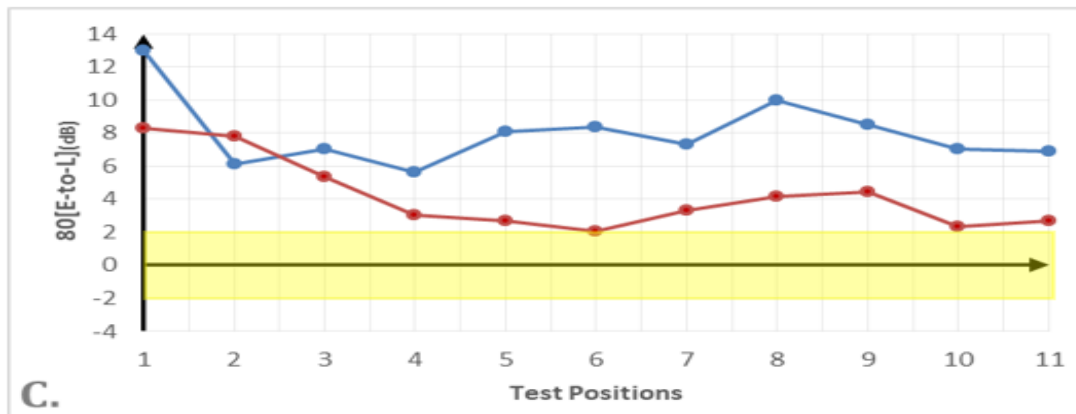
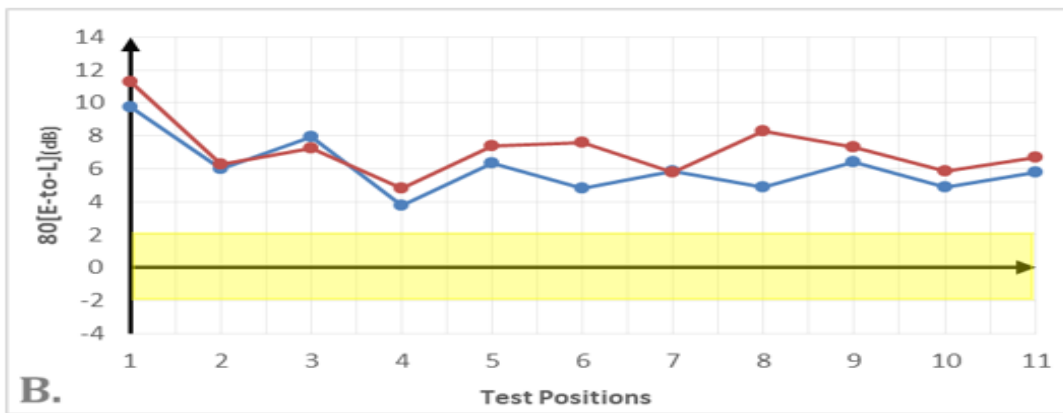
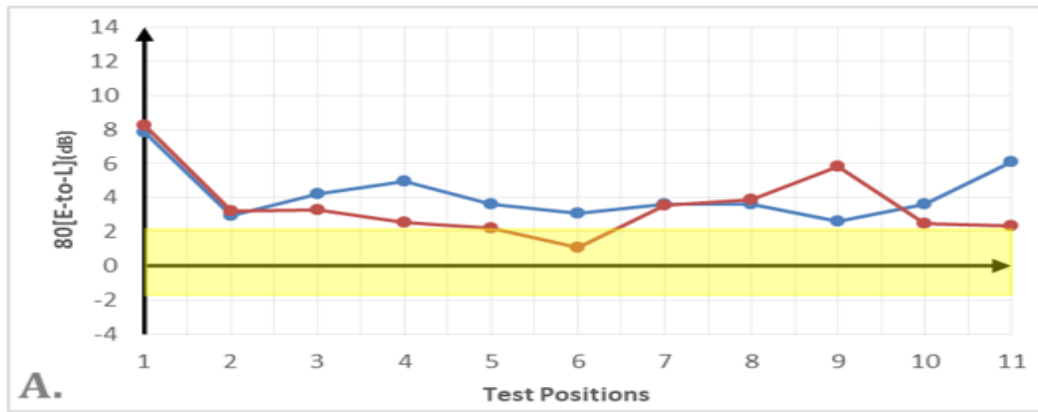
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι λόγοι των χρόνων αντήχησης χαμηλών προς μεσαίων (RT_{bass}/RT_{mid}) και υψηλών προς μεσαίων συχνοτήτων (RT_{treble}/RT_{mid}).

RT_{bass}/RT_{mid}	1,10
RT_{treble}/RT_{mid}	0,89

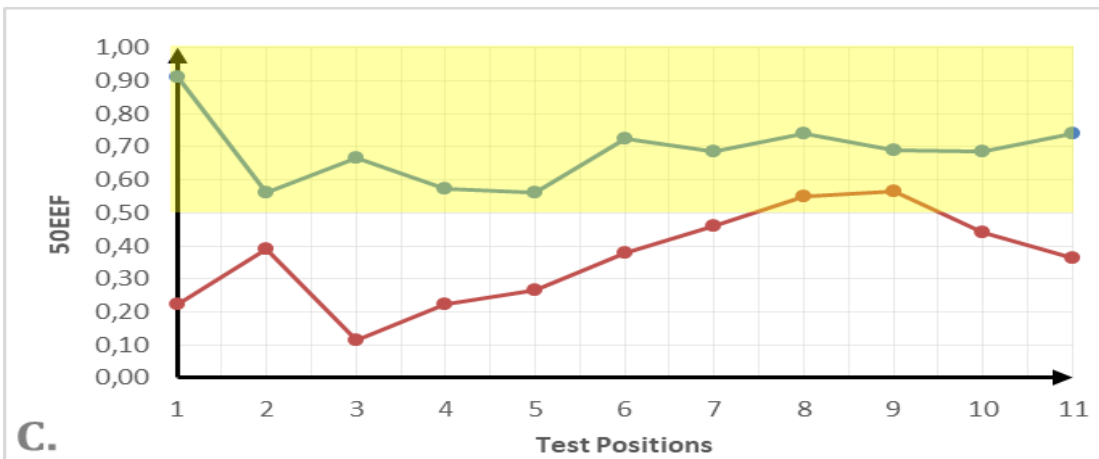
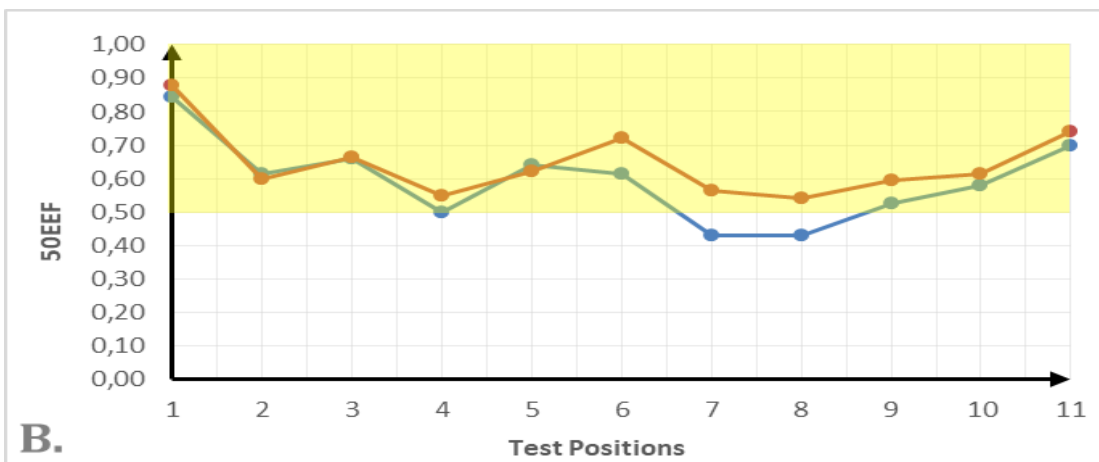
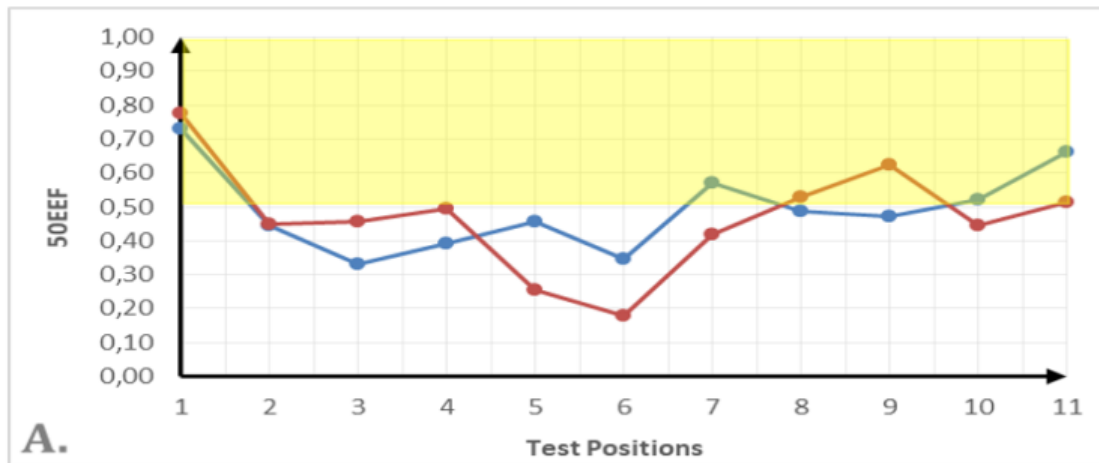
Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε διαγράμματα όλα τα αποτελέσματα των φυσικών μετρήσεων, τόσο με την ισότροπη όσο και με την κατευθυντική πηγή.



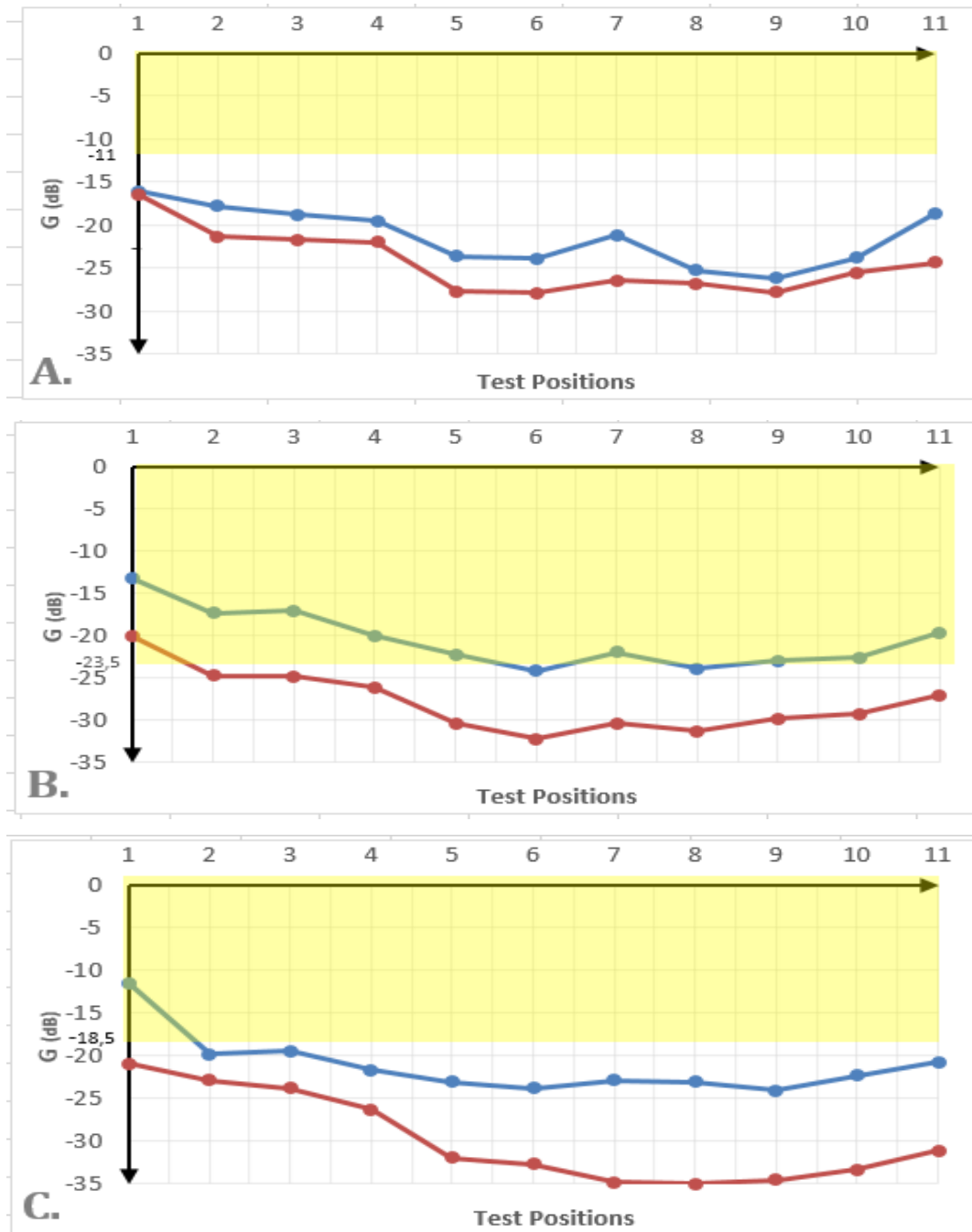
Εικόνα 6.2.5: (1) Τομή A-A', (2) κάτοψη πλατείας και (3) κάτοψη εξώστη και θεωρείων του θεάτρου «Παλλάς». ⊕ : ισότροπη πηγή, 🗣️ : κατευθυντική πηγή, ● : θέσεις μέτρησις.



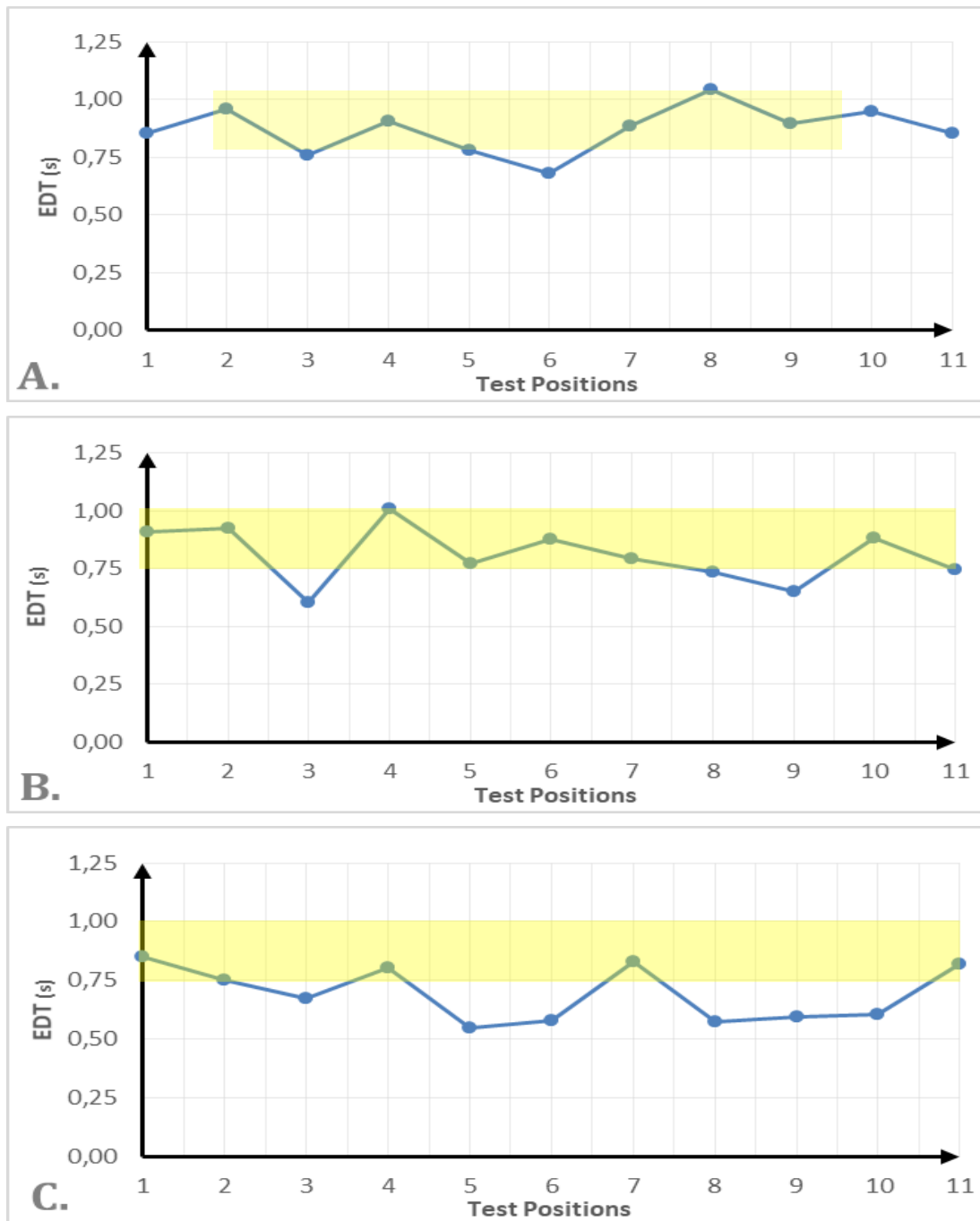
Εικόνα 6.2.6: Μετρήσεις του λόγου πρώιμων προς καθυστερημένες ανακλάσεις 80(E-to-L) στο θέατρο «Παλλάς» (*Measurements of 80ms Early-to-Late sound ratio in theatre “ Pallas”*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (*Mean, oct. bands 125, 250 Hz*), **B.** Μεσαίες συχνότητες (*Mean, oct. bands 500, 1000 Hz*), **C.** Υψηλές συχνότητες (*Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz*). —■— Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*) —■— Κατευθυντική πηγή (*directional source*) ■ Επιθυμητά όρια για κλασική μουσική (*recommended values for classical music*).



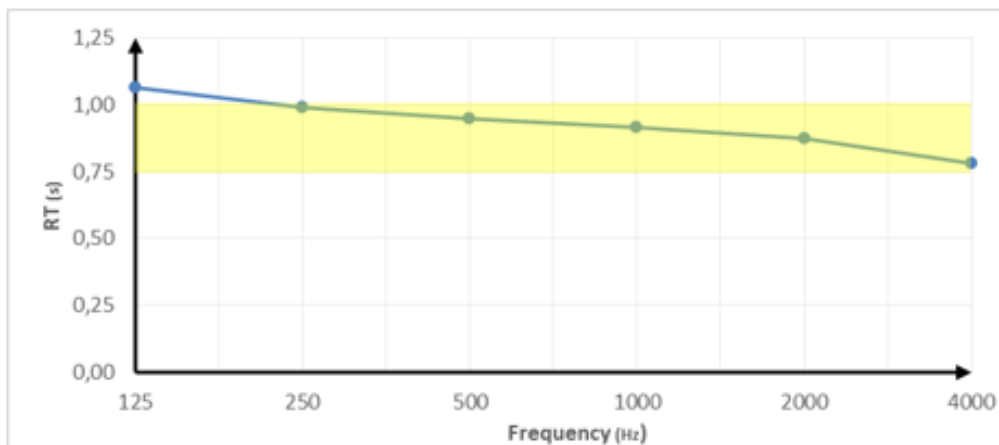
Εικόνα 6.2.7: Μετρήσεις του κλάσματος πρώιμων ανακλάσεων 50EEF στο θέατρο «Παλλάς» (*Measurements of the 50ms early energy fraction in theatre “Pallas”*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 125, 250 Hz), **B.** Μεσαίες συχνότητες (Mean, oct. bands 500, 1000 Hz), **C.** Υψηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz).
—●— Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*) —●— Κατευθυντική πηγή (*directional source*)
 Επιθυμητά όρια για αίθουσα ομιλίας (*recommended values for speech intelligibility*).



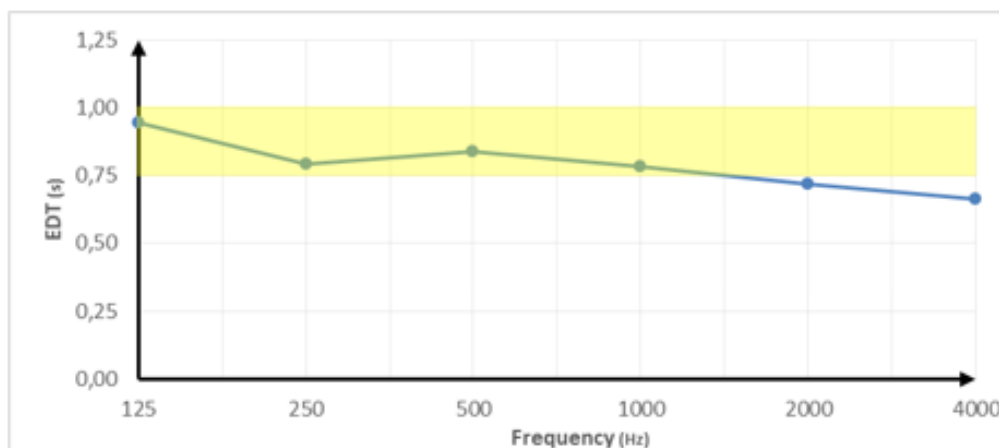
Εικόνα 6.2.8: Μετρήσεις της απόσβεσης της στάθμης έντασης του ήχου (G) ως προς την ένταση του ήχου στο 1 μ. από την πηγή (0 dB), στο θέατρο «Παλλάς» (*Measurements of the speech sound level Re speech level at 1 m. from source, in theatre "Pallas"*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 125, 250 Hz), **B.** Μεσαίες συχνότητες (Mean, oct. bands 500, 1000 Hz), **C.** Υψηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz). — Ισότροπη πηγή (omnidirectional source). — Κατευθυντική πηγή (directional source). — Επιθυμητά όρια: **A.** Για τις χαμηλές συχν. ">-11 dB", **B.** Για τις μεσαίες συχν. ">-23,5 dB", **C.** Για τις υψηλές συχν. ">-18,5 dB" (recommended values: **A.** For mean oct. bands 125, 250 Hz ">-11 dB", **B.** For mean 500, 1000 Hz ">-23,5 dB", **C.** For Mean 2000, 4000 Hz ">-18,5 dB").



Εικόνα 6.2.9: Μετρήσεις του χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων (EDT) στο θέατρο «Παλλάς» (*Measurements of the Early Decay Time in theatre "Pallas"*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 125, 250 Hz), **B.** Μεσαίες συχνότητες (Mean, oct. bands 500, 1000 Hz), **C.** Υψηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz). — Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).



Εικόνα 6.2.10: Μετρήσεις του χρόνου αντήχησης συναρτήσει του φάσματος συχνοτήτων, στο θέατρο «Παλλάς» (*Measurements of the Reverberation Time vs frequency spectrum, in theatre "Pallas"*). — Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).



Εικόνα 6.2.11: Μετρήσεις του χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων (EDT) στο θέατρο «Παλλάς» (*Measurements of the Early Decay Time in theatre "Pallas"*). — Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).

6.2.2 Ερμηνεία κι αξιολόγηση των φυσικών ακουστικών μετρήσεων του θεάτρου “Παλλάς”

Τα αποτελέσματα για τον χρόνο αντήχησης (RT) κυμάνθηκαν σε όλο το φάσμα συχνοτήτων από 0,6 sec έως 1,2 sec με την ισότροπη πηγή, με το μέσο όρο στις μεσαίες συχνότητες (RT_{mid}) να είναι στα 0,98 sec. Όσον αφορά στις τιμές αυτές, βρίσκονται εντός ορίων για τις μεσαίες συχνότητες που θεωρούνται οι πιο αντιπροσωπευτικές για την ομιλία και κατ’ επέκταση για τον θεατρικό λόγο ενώ οι δείκτες χαμηλές προς μεσαίες συχνότητες (RT_{low}/RT_{mid}) και υψηλές προς μεσαίες συχνότητες (RT_{high}/RT_{mid}), με τους οποίους αποτιμάται η μορφή του φάσματος, είναι κοντά στη μονάδα, δηλαδή έχουμε την επιθυμητή κατανομή του φάσματος. Όσον αφορά στο κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων (50EEF) οι μέσες τιμές του κυμάνθηκαν σε όλο το φάσμα συχνοτήτων από 0,52 μέχρι 0,97, με μέση τιμή στις μεσαίες συχνότητες το 0,82 με την ισότροπη πηγή, εντός της επιθυμητής τιμής του 0,5. Το γεγονός αυτό ερμηνεύεται από την ύπαρξη ανακλαστικών επιφανειών στο χώρο του θεάτρου.

Για το κλάσμα των πρώιμων προς καθυστερημένων ανακλάσεων, 80(E-to-L), οι μέσες τιμές, τόσο στις μεσαίες όσο και στις υψηλές συχνότητες, είναι εντός των ορίων για τις μετρήσεις με την ισότροπη αλλά και με την κατευθυντική πηγή. Βέβαια τα επιθυμητά όρια (από -2 έως 2 dB) της παραμέτρου αυτής, αναφέρονται κυρίως σε μουσικές σκηνές. Συνεχίζοντας, για την απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G) παρατηρούμε ορισμένες αποκλίσεις. Στις χαμηλές συχνότητες παρατηρούμε ότι οι τιμές βρίσκονται εκτός του επιθυμητού ορίου, ενώ στις μεσαίες τιμές είναι εντός. Επιπλέον, μετρήθηκε στάθμη θορύβου βάθους (L_{Aeq}) ίση με 30 dB_A, η οποία δεν ξεπερνάει το ανώτατο όριο των 31 dB_A. Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι παρότι το θέατρο στο κέντρο της Αθήνας, μεταξύ της κεντρικής εισόδου του κτιρίου και της εισόδου στη θεατρική σκηνή, μεσολαβούν ο διάδρομος αλλά και το φουαγιέ, δρώντας έτσι σα ζώνη ανάσχεσης.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι σε όλες τις εισόδους προς τον χώρο του θεάτρου υπήρχε παχιά ηχοαπορροφητική κουρτίνα τόσο για την περαιτέρω προστασία από εξωτερικούς θορύβους όσο και για την καλύτερη ακουστική απόδοση του θεάτρου.

6.2.3 Συμπεράσματα

Το Παλλάς είναι ένα από τα πιο μεγαλοπρεπή θέατρα της Ελλάδας. Ωστόσο ο όγκος του αλλά και το ότι στεγάζεται μαζί με άλλη θεατρική Αίθουσα στο μέγαρο του Μ.Τ.Σ, έθεσαν σημαντικές δυσχέρειες στην προσπάθεια που έκαναν ο κύριος Κύζης και οι συνεργάτες του για την βελτίωση της ακουστικής του κατά την ανακαίνιση του το 2004. Ωστόσο ό,τι οι περισσότερες παράμετροι της ακουστικής έχει επιτευχθεί να έχουν τιμές εντός των επιθυμητών ορίων.

Ξεκινώντας με τον χρόνο αντήχησης παρατηρούμε ότι οι τιμές του σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων είναι μειωμένες και εντός των ορίων, γεγονός που καταδεικνύει την αξιόλογη ακουστική μελέτη που έχει λάβει χώρα. Συγκεκριμένα έχουν χρησιμοποιηθεί ηχοαπορροφητικές αντιστατικές και άκαυστες μοκέτες με υπόστρωμα. Ακόμη τα 3 φωτιζόμενα παραβολοειδή ανοίγματα βοήθησαν στην απορρόφηση των χαμηλών συχνοτήτων του εισερχόμενου ήχου. Ακόμη για να επιτευχθεί ο έλεγχος της αντήχησης εφαρμόστηκαν επίσης: **α)** απορροφητές ευραίου φάσματος και **β)** καθίσματα με αυξημένη ηχοαπορροφητική ικανότητα.

Από τις μετρήσεις του 80(E-to-L) προκύπτει ότι παρόλο που στον χώρο γίνονται και μουσικοθεατρικές παραστάσεις η ακουστική του χώρου δεν είναι η κατάλληλη για μουσική.

Οι τιμές του 50EEF παρουσιάζουν μια απόκλιση μεταξύ των μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν από ισότροπη πηγή και αυτών που έγιναν από την κατευθυντική. Επίσης, στις μεσαίες και μεγάλες συχνότητες, στις περισσότερες θέσεις, οι μετρήσεις από την ισότροπη έχουν τιμές εντός των ορίων. Στις μικρές συχνότητες τόσο με την ισότροπη όσο και με την κατευθυντική, οι μετρήσεις βρίσκονται κάτω από το όριο του 0,5 κάτι που δείχνει ότι παρά τον μεγάλο αριθμό ανακλαστικών επιφανειών δεν εξασφαλίστηκε επαρκές ποσοστό πρώιμων ανακλάσεων για τις χαμηλές συχνότητες.

Όσον αφορά τις τιμές του δείκτη της πτώσης της στάθμης έντασης του ήχου (G) βλέπουμε ότι εξαιτίας του μεγάλου μεγέθους της αίθουσας, η πτώση της έντασης του ήχου δεν αντιμετωπίστηκε επαρκώς σε όλες τις συχνότητες.

Έτσι λοιπόν για την ισότροπη οι τιμές των μεσαίων και των μεγάλων συχνοτήτων είναι εντός ορίων, στις χαμηλές η ένταση φθίνει αρκετά. Για την κατευθυντική βλέπουμε ότι οι τιμές σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων είναι χαμηλές. Αυτό οφείλεται κυρίως στον μεγάλο όγκο του θεάτρου, καθώς σε αρκετές θέσεις, ακόμα και στην πλατεία, η απόσταση ομιλητή-ακροατών είναι μεγαλύτερη των 20m, που είναι το όριο απόστασης πέρα από το οποίο η στάθμη έντασης του ήχου μειώνεται αισθητά. Αυτό το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη χρήση ηλεκτροακουστικών μέσων και μεγαφώνων.

Τέλος, όσον αφορά στη στάθμη θορύβου βάθους, αυτή μετρήθηκε στα 30dBA, που είναι εντός των ορίων. Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι αν και το θέατρο βρίσκεται σε κεντρικό σημείο με την χρήση των κατάλληλων ηχομονωτικών μέσων, έχει προστατευτεί από τον θόρυβο επαρκώς.

6.3 ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ ΛΑΜΙΑΣ «ΡΟΥΜΕΛΗ»

Το Δημοτικό Θέατρο Λαμίας, σχεδιάστηκε από ένα σπουδαίο Αρχιτέκτονα τον Κίμωννα Λάσκαρη (Λαμία 1905-Αθήνα 1978) και εγκαινιάστηκε επί δημαρχίας Ι. Παπασιόπουλου (1961). Αποτελεί κόσμημα και σημείο αναφοράς στην πολιτιστική ζωή της πόλης. Το καλλιμάρμαρο επιβλητικό θέατρο με τις κολώνες δωρικού ρυθμού που κόστισε 7 εκ. δραχμές εγκαινιάστηκε τον Δεκέμβριο του 1961. Μαζί με τα εγκαίνια δόθηκε η πρώτη παράσταση του *Εθνικού Θεάτρου* με το έργο του Ξενόπουλου «Το μυστικό της κοντέσας Βαλέραινας» και πρωταγωνίστρια τη μεγάλη ηθοποιό Κυβέλη. Το κτίριο μελετήθηκε για να λειτουργήσει ως θέατρο και ειδικότερα προσκηνιακό, με όλες τις σχετικές προδιαγραφές (ήχο – θερμομόνωση, ακουστική, φωτισμός, καμαρίνια, πρωτοποριακοί μηχανισμοί σκηνικών κλπ). Παράλληλα με την θεατρική σκηνή, ο χώρος λειτουργούσε και ως κινηματογράφος, μέχρι την πυρκαγιά, που κατέστρεψε το εσωτερικό του θεάτρου, την 24/10/1988.

Το 2010 το θέατρο ανακαινίστηκε εκ βάθρων εσωτερικά. Η θεατρική αίθουσα μεταβλήθηκε σ ένα χώρο υψηλής αισθητικής, που ακολουθεί τις σύγχρονες προδιαγραφές λειτουργίας των μεγάλων θεάτρων, και συγκεκριμένα διαθέτει την πλατεία, που είναι αμφιθεατρικά δομημένη, ώστε όλοι οι θεατές να έχουν άριστη οπτική στη σκηνή του, 450 καθίσματα (300 στην πλατεία και 150 στον εξώστη). Διαθέτει επίσης σύγχρονα οπτικοακουστικά συστήματα, περιστρεφόμενη κυκλική σκηνή, την τελευταία λέξη στον εξοπλισμό που αφορά στην σκηνή και στα παρασκήνια, ώστε να διασφαλίζεται η άρτια παρουσίαση των έργων που θα παρουσιάζονται.

Το εσωτερικό κέλυφος της αίθουσας της αίθουσας φέρει ως εξής: το δάπεδο του θεάτρου αποτελείται απο ξύλο και τα καθίσματα είναι επενδυμένα με μπλε βελούδο. Οι πλευρικές παρειές της αίθουσας είναι επενδυμένες με ξύλινη ανακλαστική επιφάνεια. Η οροφή είναι από σιδηροπαγές σκυρόδεμα και πάνω της είναι τοποθετημένος ξύλινος κάμπυλος ανακλαστήρας. Η σκηνή της αίθουσας φέρει παχιά βελούδινη κουρτίνα. [Διάφορες πηγές internet]



Εικόνα 6.3.1 Εσωτερική άποψη του Δημοτικού Θεάτρου Λαμίας από την πλαϊνή παρειά του εξώστη.



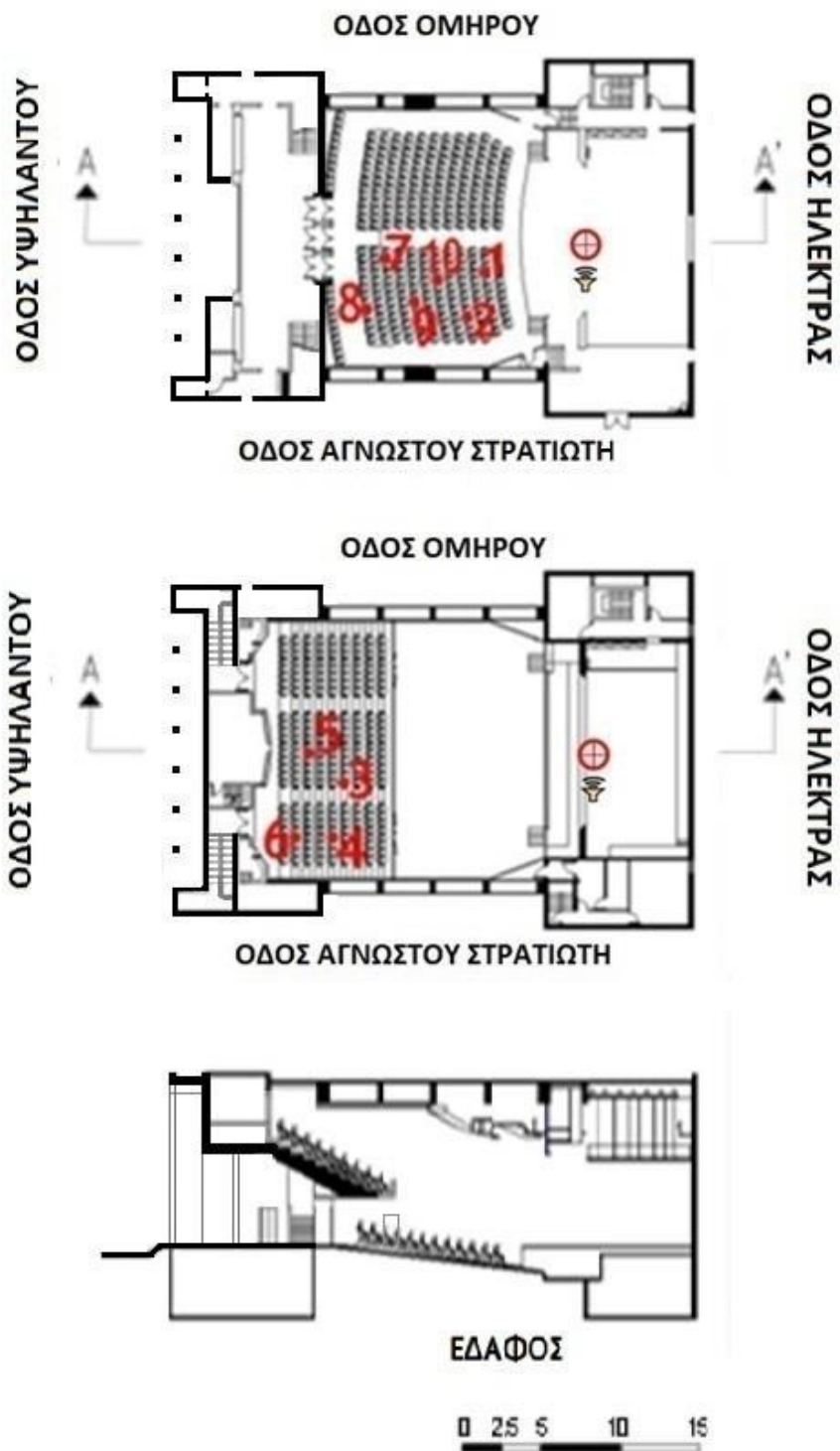
Εικόνα 6.3.2 Εσωτερική άποψη του Δημοτικού Θεάτρου Λαμίας από τη σκηνή.



Εικόνα 6.3.3 Εσωτερική άποψη του Δημοτικού Θεάτρου Λαμίας από τον εξώστη.



Εικόνα 6.3.4 Εξωτερική άποψη του Δημοτικού Θεάτρου Λαμίας.



Εικόνα 6.3.5: (1) Κάτοψη πλατείας, (2) Κάτοψη εξώστη, (3) Τομή του Δημοτικού Θεάτρου Λαμίας. ⊕ : ισότροπη πηγή, 🔊 : κατευθυντική πηγή, ● : θέσεις μέτρησις.

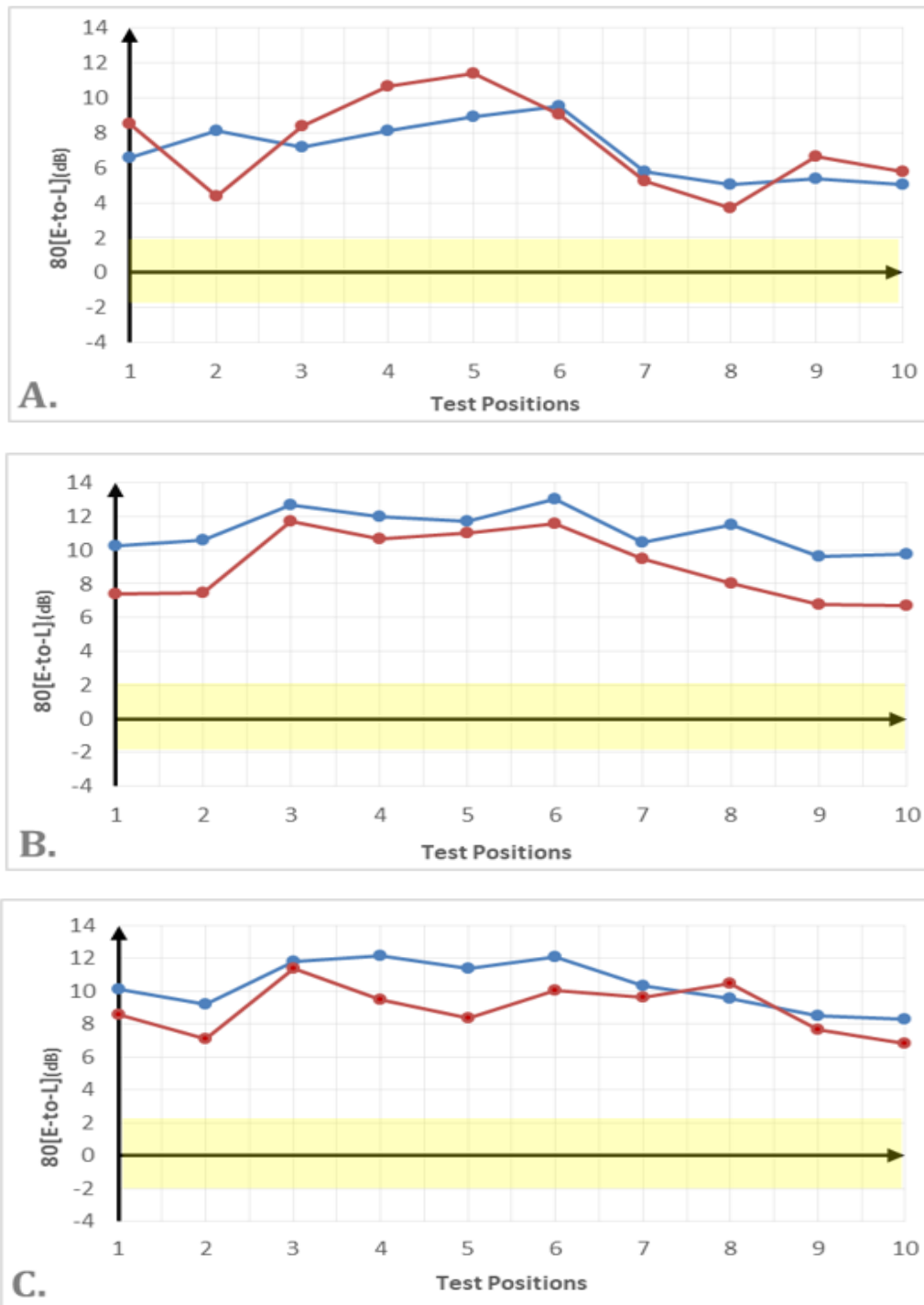
6.3.1 Φυσικές ακουστικές μετρήσεις του Δη.Θε.Λαμίας

Οι μετρήσεις των φυσικών ακουστικών παραμέτρων πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με την μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Έπειτα έγινε πινακοποίηση των δεδομένων όπως φαίνεται αναλυτικά στο Παράρτημα Ε. Στο Δημοτικό Περιφερειακό θέατρο «Ρούμελης» έγιναν 10μετρήσεις.

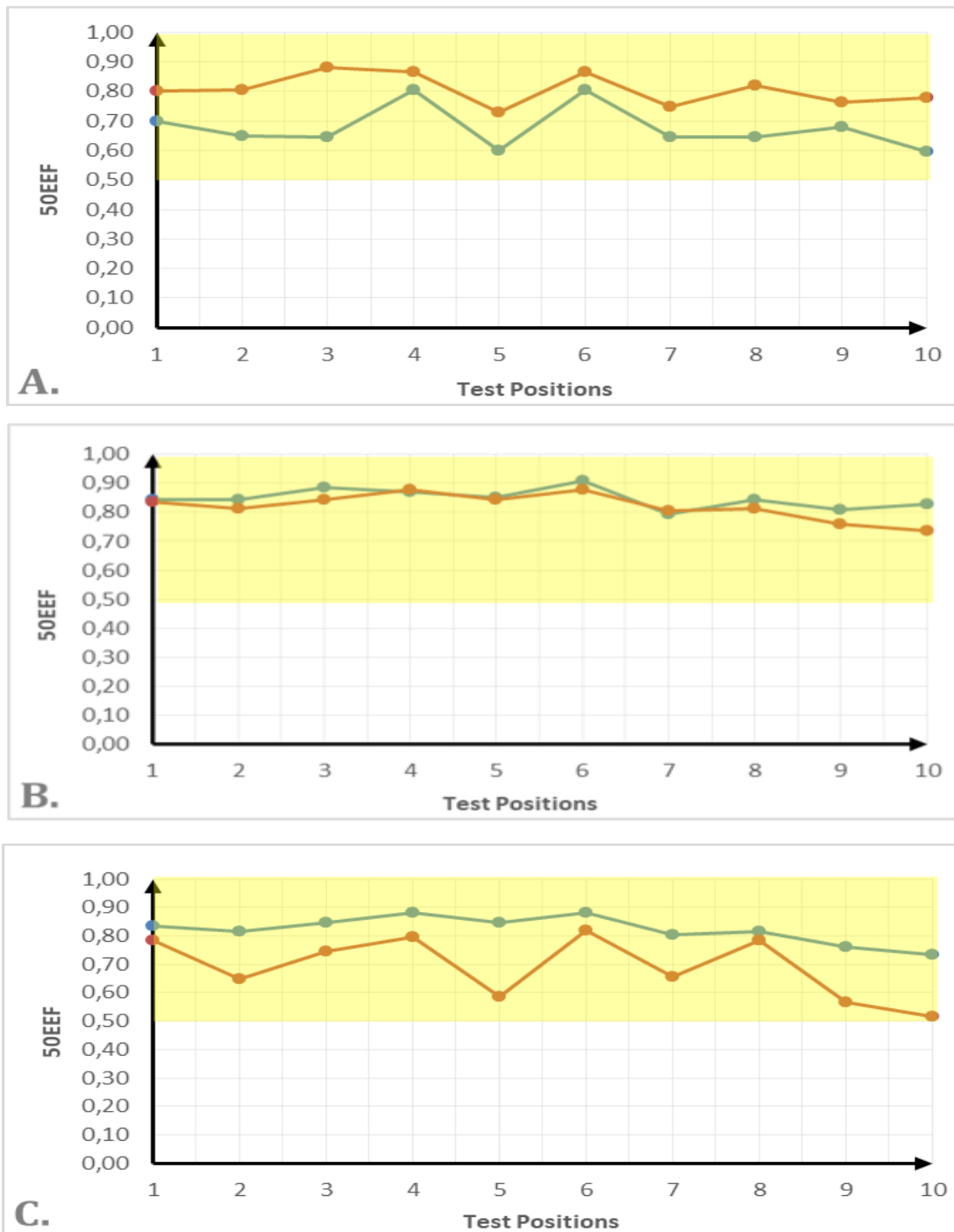
Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι λόγοι των χρόνων αντήχησης χαμηλών προς μεσαίων (RT_{bass}/RT_{mid}) και υψηλών προς μεσαίων συχνοτήτων ($RT_{tremble}/RT_{mid}$).

RT_{bass}/RT_{mid}	1,53
$RT_{tremble}/RT_{mid}$	1,01

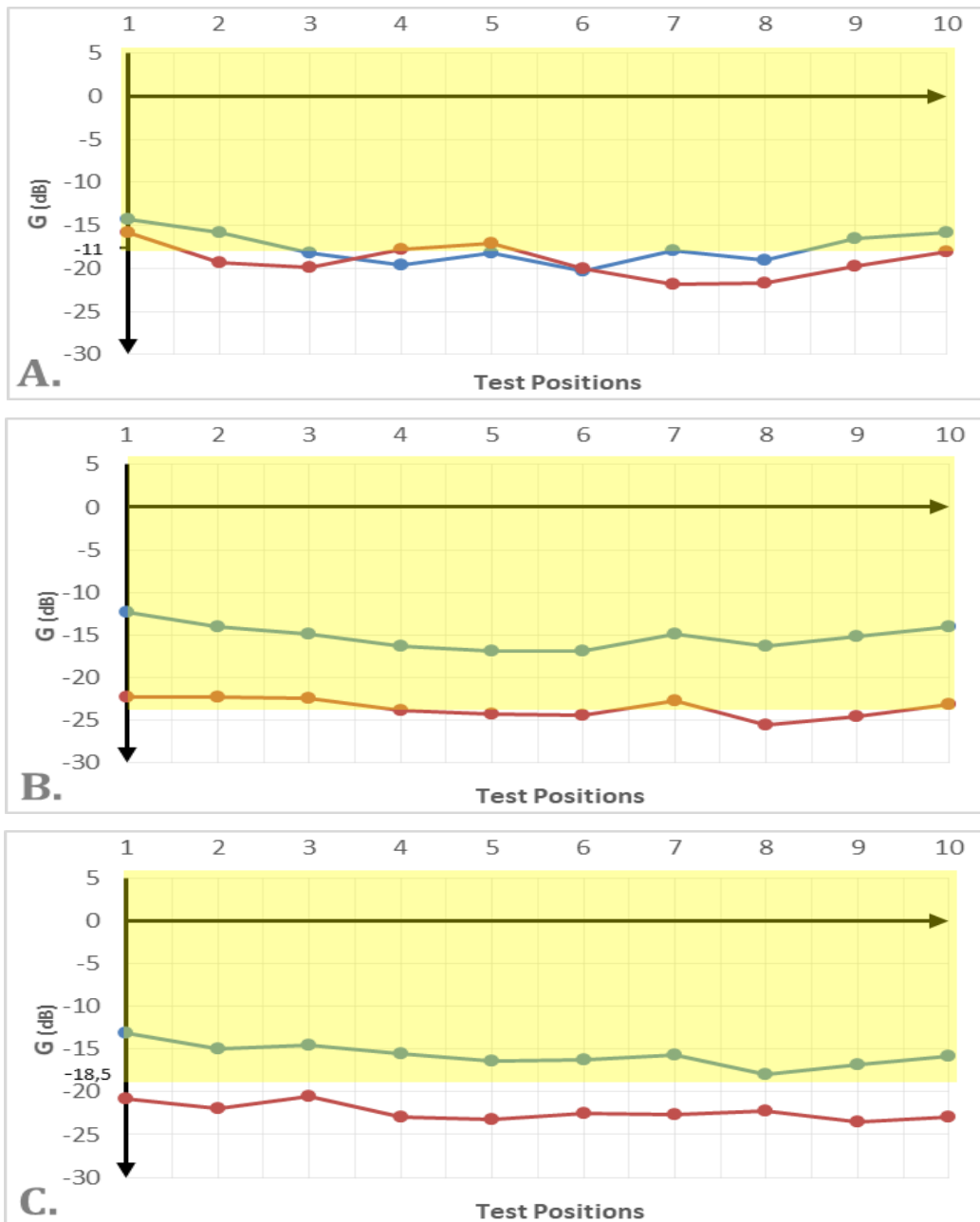
Στη συνέχεια παρουσιάζονται σε διαγράμματα όλα τα αποτελέσματα των φυσικών μετρήσεων, τόσο με την ισότροπη όσο και με την κατευθυντική πηγή.



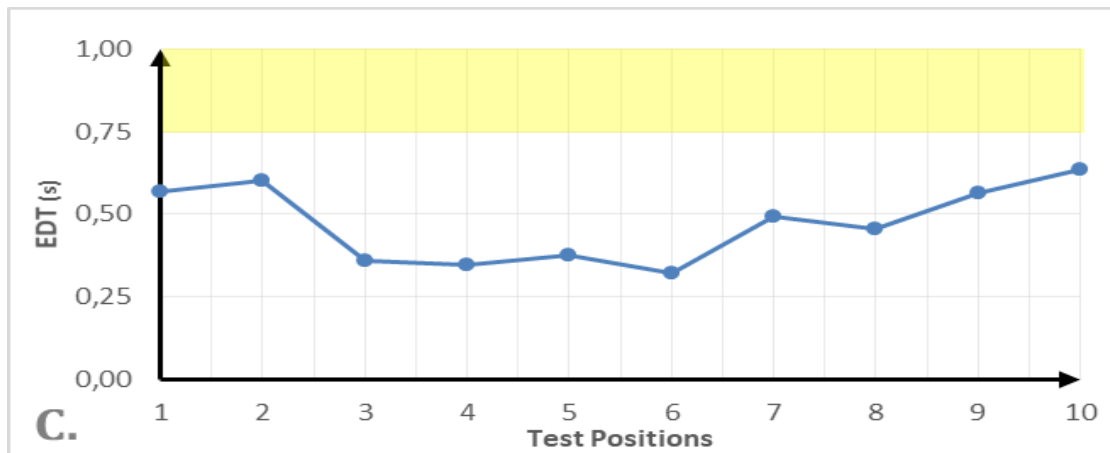
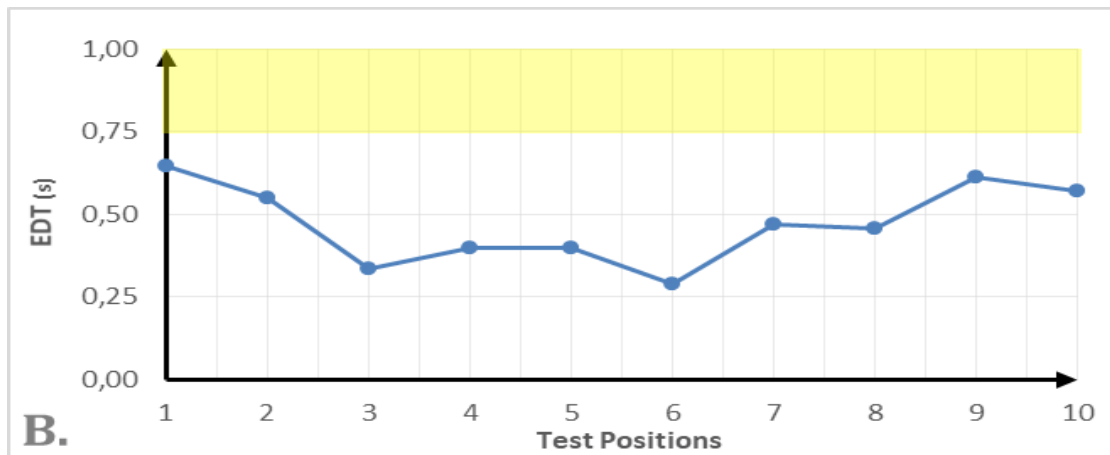
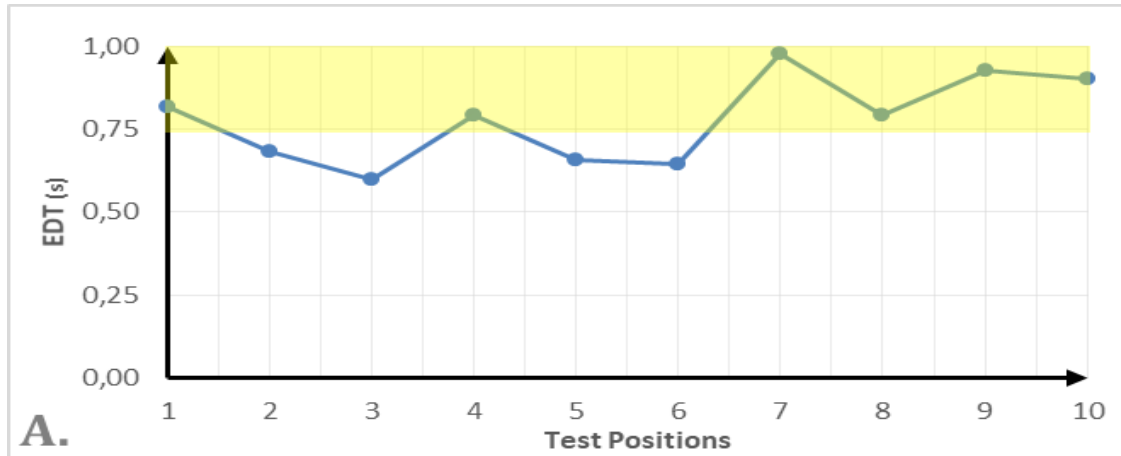
Εικόνα 6.3.6: Μετρήσεις του λόγου πρώιμων προς καθυστερημένες ανακλάσεις 80(E-to-L) στο Δημοτικό Θέατρο Λαμίας (*Measurements of 80ms Early-to-Late sound ratio in theatre “Mun. Theatre of Lamia”*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 125, 250 Hz), **B.** Μεσαίες συχνότητες (Mean, oct. bands 500, 1000 Hz), **C.** Υψηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz). —■— Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*). —■— Κατευθυντική πηγή (*directional source*). ■ Επιθυμητά όρια για κλασική μουσική (*recommended values for classical music*).



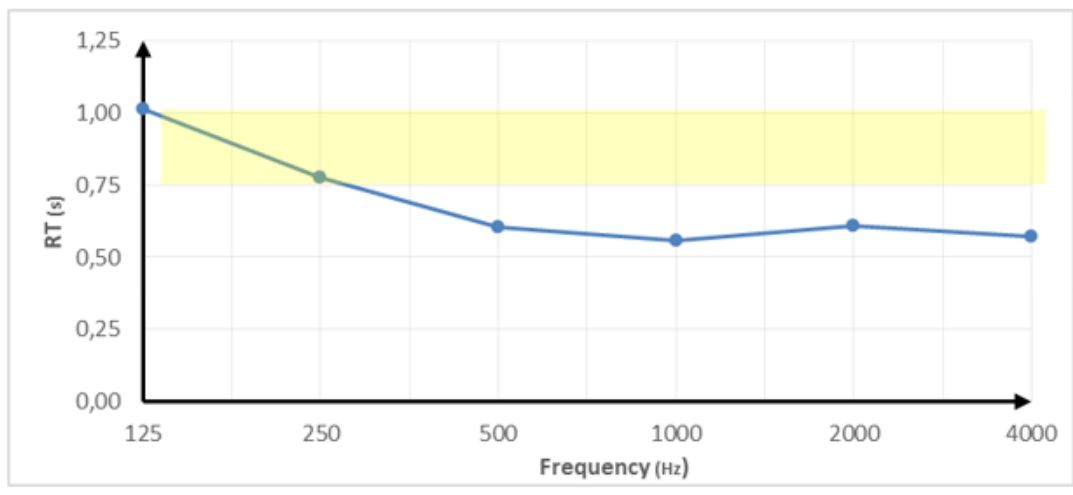
Εικόνα 6.3.7: Μετρήσεις του κλάσματος πρώιμων ανακλάσεων 50EEF στο Δημοτικό Θέατρο Λαμίας (*Measurements of the 50ms early energy fraction in theatre "Mun. Theatre of Lamia"*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 125, 250 Hz), **B.** Μεσαίες συχνότητες (Mean, oct. bands 500, 1000 Hz), **C.** Υψηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz). — Ισότροπη πηγή (omnidirectional source) — Κατευθυντική πηγή (directional source) — Επιθυμητά όρια για αίθουσα ομιλίας (recommended values for speech intelligibility).



Εικόνα 6.3.8: Μετρήσεις της απόσβεσης της στάθμης έντασης του ήχου (G) ως προς την ένταση του ήχου στο 1 μ. από την πηγή (0 dB), στο Δημοτικό Θέατρο Λαμίας (*Measurements of the speech sound level R_e speech level at 1 m. from source, in "Mun. Theatre of Lamia"*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 125, 250 Hz), **B.** Μεσαίες συχνότητες (Mean, oct. bands 500, 1000 Hz), **C.** Υψηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz). —●— Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*). —●— Κατευθυντική πηγή (*directional source*).
 Επιθυμητά όρια: **A.** Για τις χαμηλές συχν. ">-11 dB", **B.** Για τις μεσαίες συχν. ">-23,5 dB", **C.** Για τις υψηλές συχν. ">-18,5 dB" (*recommended values: A. For mean oct. bands 125, 250 Hz ">-11 dB", B. For Mean 500, 1000 Hz ">-23,5 dB", C. For Mean 2000, 4000 Hz ">-18,5 dB"*).

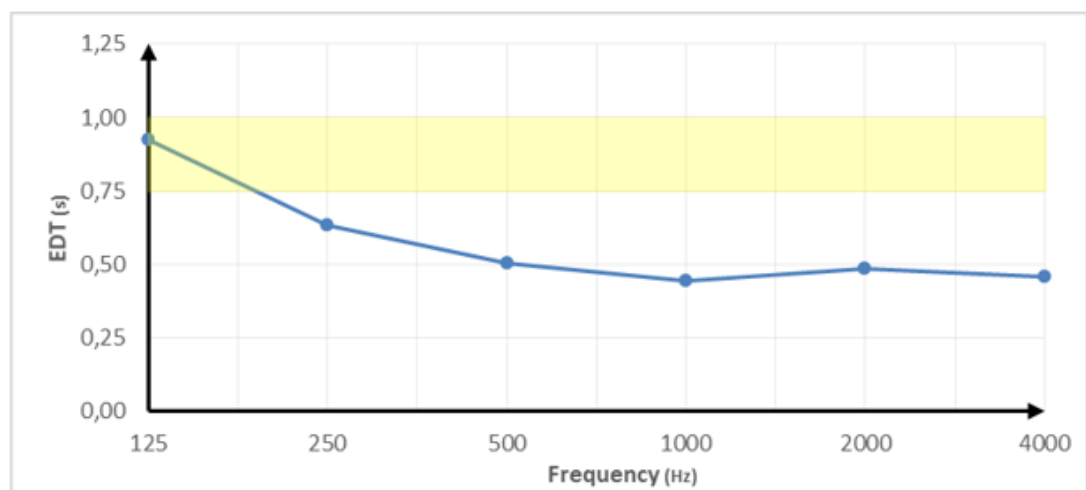


Εικόνα 6.3.9: Μετρήσεις του χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων (EDT) στο Δημοτικό Θέατρο Λαμίας (*Measurements of the Early Decay Time in “Mun. Theatre of Lamia”*). **A.** Χαμηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 125, 250 Hz), **B.** Μεσαίες συχνότητες (Mean, oct. bands 500, 1000 Hz), **C.** Υψηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz). — Ισότροπη πηγή (omnidirectional source) — Επιθυμητά όρια (recommended values).



Εικόνα 6.3.10: Μετρήσεις του χρόνου αντήχησης συναρτήσει του φάσματος συχνοτήτων, στο Δημοτικό Θέατρο Λαμίας (Measurements of the Reverberation Time vs frequency spectrum, “Mun. Theatre of Lamia”).

— Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).



Εικόνα 6.3.11: Μετρήσεις του χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων (EDT) στο Δημοτικό Θέατρο Λαμίας (Measurements of the Early Decay Time in “Mun. Theatre of Lamia”).

— Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*)
 — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).

6.3.2 Ερμηνεία κι αξιολόγηση των φυσικών ακουστικών μετρήσεων του Δη.Θε.Λαμίας

Τα αποτελέσματα για τον χρόνο αντήχησης (RT) κυμάνθηκαν σε όλο το φάσμα συχνοτήτων από 0,51 sec έως 1,11 sec. με μέσο όρο στις μεσαίες συχνότητες (RT_{mid}) τα 0,54 sec για την ισότροπη πηγή. Όσον αφορά στις τιμές, είναι λίγο χαμηλότερες του ορίου των 0,75 sec για τις μεσαίες και τις ψηλές συχνότητες. Οι δείκτες χαμηλές προς μεσαίες συχνότητες και υψηλές προς μεσαίες συχνότητες, με τους οποίους αποτιμάται η μορφή του φάσματος, είναι κοντά στην μονάδα, δηλαδή έχουμε την επιθυμητή κατανομή του φάσματός.

Για το κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων (50EEF) οι μέσες τιμές του κυμάνθηκαν σε όλο το φάσμα συχνοτήτων από 0.53 έως 0,8 με μέσο όρο στις μεσαίες συχνότητες 0,66 για την ισότροπη πηγή. Αντίστοιχα, με την κατευθυντική πηγή οι μέσες τιμές κυμάνθηκαν από 0,51 έως 0,80 με μέση τιμή στις μεσαίες συχνότητες το 0,62. Αξίζει να αναφέρουμε ότι όλα τα αποτελέσματα της παραμέτρου αυτής βρίσκονται εντός ορίων, για όλο το φάσμα συχνοτήτων και για τις δύο πηγές μέτρησης. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει πλούσιος πρώιμος ανακλαστικός ήχος σε ισορροπία με τις καθυστερημένες ανακλάσεις. Ο πρώιμος ήχος αυτός προέρχεται σε μεγάλο βαθμό από τις πρώτες ανακλάσεις, που προσφέρουν κυρίως οι ξύλινες ανακλαστικές επιφάνειες.

Όσον αφορά στο κλάσμα των πρώιμων προς καθυστερημένων ανακλάσεων (80 E-to-L), οι μέσες τιμές σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων κυμάνθηκαν από 1,99 dB μέχρι 11,39 dB, με μέσο όρο στις μεσαίες συχνότητες 6,53 dB. Παρόμοιες και ελαφρώς μειωμένες βρέθηκαν και οι τιμές που εξήχθησαν με την κατευθυντική πηγή. Οι τιμές αυτές είναι μεγαλύτερες απ' το ανώτατο όριο των 2 dB για μουσικές σκηνές, που ερμηνεύεται από τον μικρό σχετικά όγκο του θεάτρου αφού έτσι υπερτερούν οι πρώιμες από τις καθυστερημένες ανακλάσεις.

Για την απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G) οι τιμές κυμάνθηκαν σε όλο το φάσμα συχνοτήτων από -20 dB μέχρι -11dB, με μέσο όρο στις μεσαίες συχνότητες στα -16,16 dB για την ισότροπη πηγή. Οι αντίστοιχες

τιμές για την κατευθυντική πηγή κυμάνθηκαν από -25 dB έως -13,27 dB με τον μέσο όρο στις μεσαίες συχνότητες να είναι -17 dB. Οι τιμές είναι εντός ορίων σε όλο το φάσμα συχνοτήτων για την ισότροπη.

Για την κατευθυντική πηγή, στις χαμηλές συχνότητες και κυρίως στις μεγάλες οι τιμές είναι εκτός ορίων. Αυτό είναι λογικό, διότι λόγω της διάταξης του θεάτρου, με την κατευθυντική πηγή «ενεργοποιούνται» άμεσα μόνο οι ανακλαστικές επιφάνειες εμπροσθεν της πηγής, το οποίο μεταφράζεται σε αρκετά χαμηλότερη ένταση του ήχου όπισθεν αυτής.

6.3.3 Συμπεράσματα

Βλέπουμε ότι ο χρόνος αντήχησης στις μεσαίες και τις ψηλές συχνότητες είναι μειωμένος, γεγονός που καταδεικνύει την αξιόλογη ακουστική μελέτη που έχει λάβει χώρα.

Συγκεκριμένα, έχουν χρησιμοποιούν κατάλληλα ηχοαπορροφητικά υλικά από ξύλο, και έχουν καθίσματα με αυξημένη ηχοαπορροφητική ικανότητα. Οι χαμηλές συχνότητες παρόλο που έχουν υψηλότερες τιμές από τις άλλες, αυτές βρίσκονται εντός των ορίων.

Όπως και στα άλλα θέατρα έτσι και εδώ ο λόγος των πρώιμων προς καθυστερημένων ανακλάσεων 80(E-to-L) βρίσκεται εκτός ορίων, άρα ο χώρος δεν είναι τόσο κατάλληλος για μουσικά δρώμενα.

Τόσο το 50EEF όσο και η απόσβεση της στάθμης έντασης ήχου (G) κρίνονται ικανοποιητικά. Αυτό οφείλεται στην ύπαρξη ξύλινων ανακλαστικών επιφανειών τόσο στην οροφή όσο και στις παρειές της αίθουσας.

Σχετικά με την ηχοπροστασία του θεάτρου, αυτή κρίνεται ιδιαίτερα αξιόλογη καθώς η τιμή που βρίσκουμε στο ντεσιμπελόμετρο είναι η μικρότερη μεταξύ των 3 θεάτρων και ίση με 22,2 dB.

7. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΤΡΙΩΝ ΘΕΑΤΡΩΝ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ

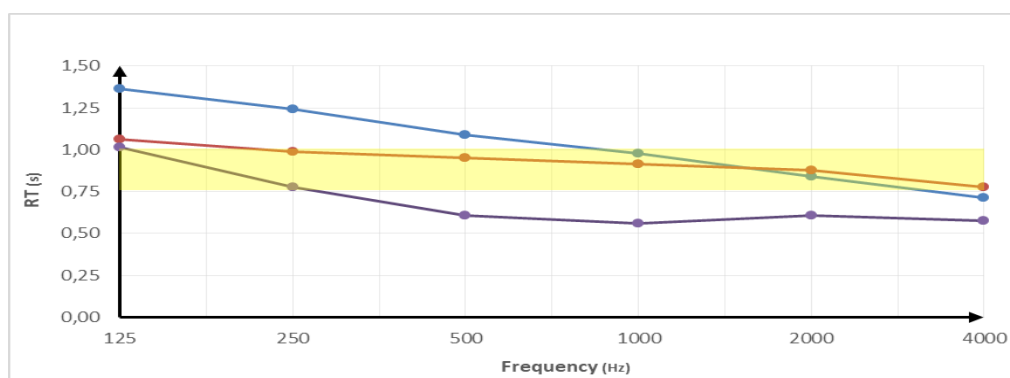
Στη συνέχεια προχωρήσαμε στη σύγκριση των τριών θεάτρων που μελετήσαμε, ήτοι του δημοτικού θεάτρου «Απόλλων» της Πάτρας, του «Παλλάς» και του δημοτικού θεάτρου «Ρούμελης» της Λαμίας. Αναλυτικές πληροφορίες για το κάθε θέατρο παρουσιάζονται στον Πίνακα 9.1.

Πίνακας 7.1: Βασικές πληροφορίες για τις τρεις θεατρικές σκηνές (*Basic details of test drama theatres*). Το RT_{mid} αφορά στον χρόνο αντήχησης για τις μεσαίες συχνότητες (500, 1000Hz), σε άδειο χώρο (RT_{mid} is accounted for mean-mid 500, 1000 Hz in the empty).

Θέατρο	"ΑΠΟΛΛΩΝ"	"ΠΑΛΛΑΣ"	"ΔΗ.ΘΕ.ΛΑ"
	1872	1932	1961
Χρονολογία	Τελευταία ανακαίνιση		
	1997	2004	2010
	Κατασκευή:	Κατασκευή:	Κατασκευή:
Αρχιτέκτονας	Ε. Τσίλερ	Λ. Μπόνης- Β. Κασσάνδρας	Κίμων Θ. Λάσκαρης
	Ανακαίνιση:	Ανακαίνιση:	Ανακαίνιση:
	Δήμος Πάτρας	Γραφείο Κίζη	Δήμος Λαμίας
Χωρητικότητα (άτομα)	256	1500	450
Όγκος (m ³)	1330	6480	2965
Όγκος ανά θέση (m ³)	5,20	4,32	6,59
Μήκος (m)	34,5	12,30	26,05
Πλάτος (m)	23,5	11,42	18,3
Ύψος (m) [average]	8	9,5	6,36
Εμβαδό (m ²)	811	140	622
RT_{mid} (s)	1,03	0,81	0,58

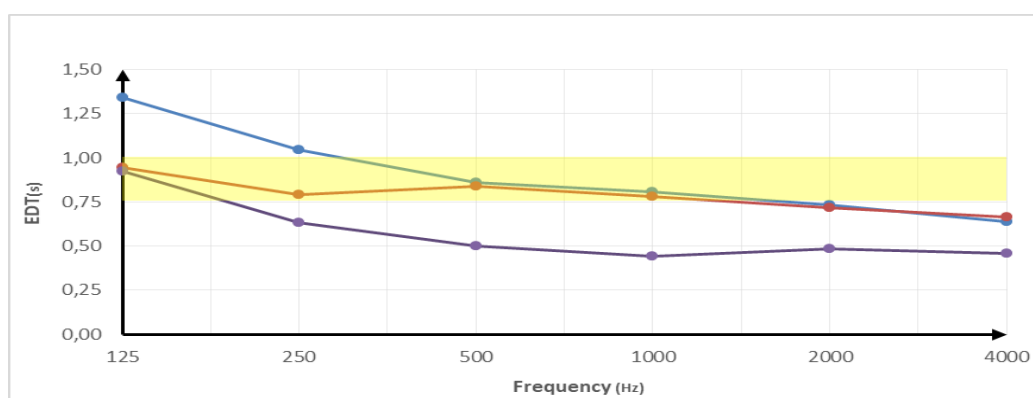
7.1 Σύγκριση των φυσικών ακουστικών μετρήσεων στα τρία θέατρα

Διαγραμματοποιημένα παρουσιάζονται τα μεγέθη των φυσικών μετρήσεων σε κάθε θέατρο. Αναλυτικότερα γίνεται σύγκριση με τους χρόνους αντήχησης (RT) και τους χρόνους απόσβεσης πρώιμων ανακλάσεων (EDT) σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων, καθώς και με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές όσο και τον μέσο όρο των τιμών των λόγων πρώιμων προς καθυστερημένων ανακλάσεων 80(E-to-L), των κλασμάτων πρώιμων ανακλάσεων 50EEF, των αποσβέσεων της στάθμης έντασης του ήχου (θέση αναφοράς η ένταση του ήχου στο 1 μ. από την πηγή) και των θορύβων βάθους σε κάθε θέατρο.

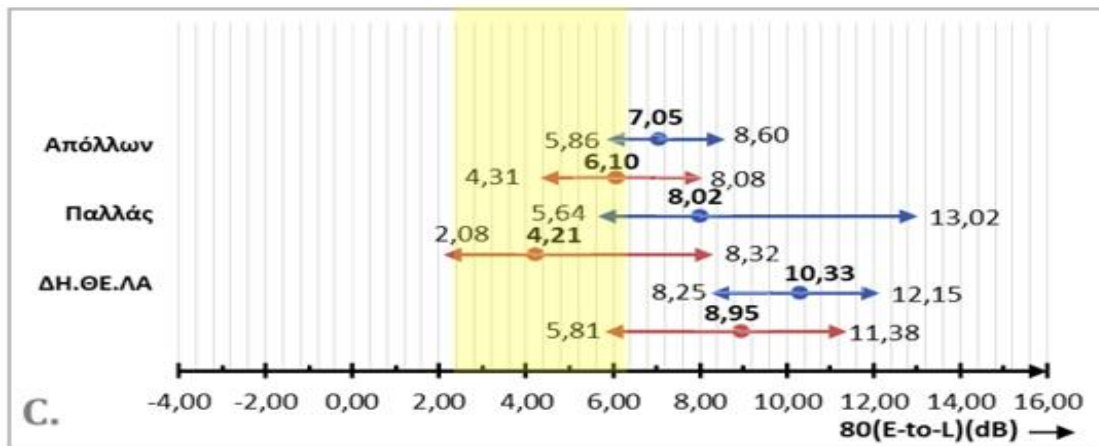
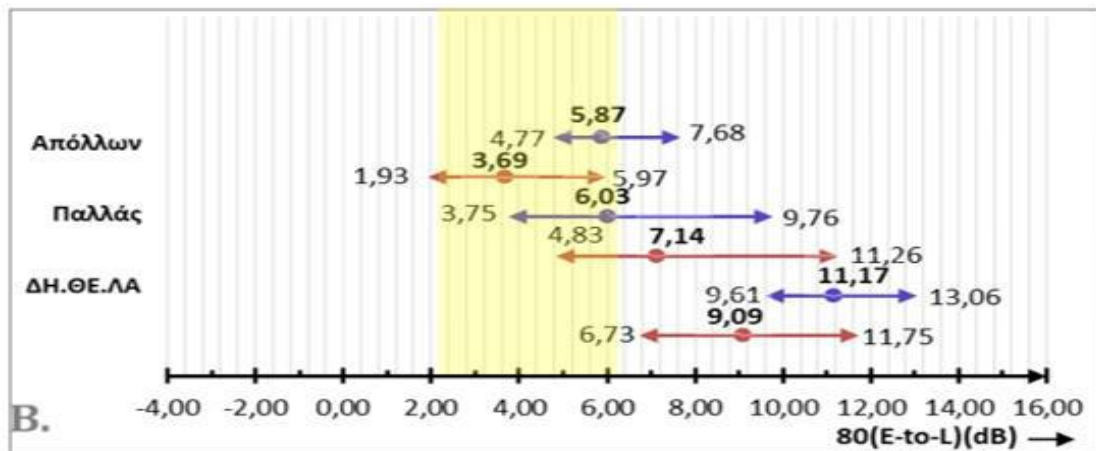
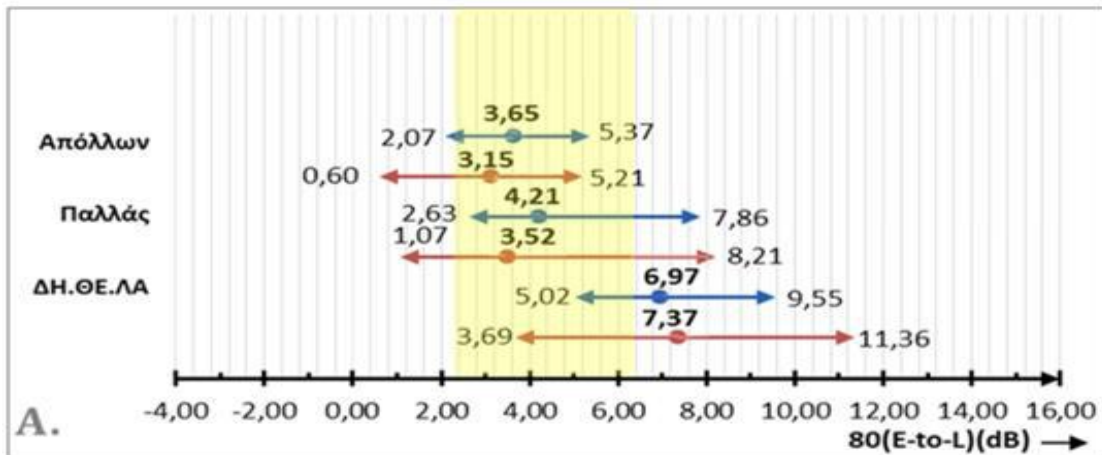


Εικόνα 7.1: Μετρήσεις του χρόνου αντήχησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων (Measurements of the Reverberation Time vs frequency spectrum).

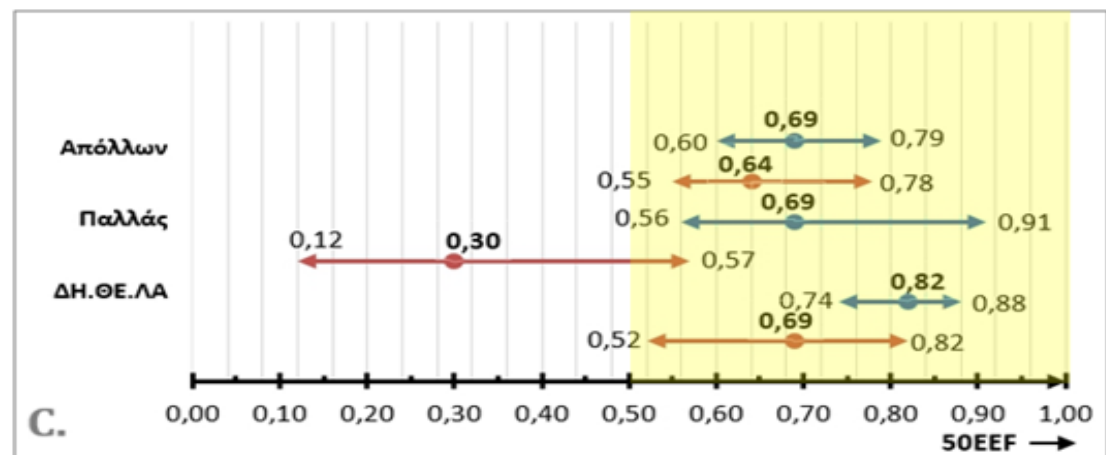
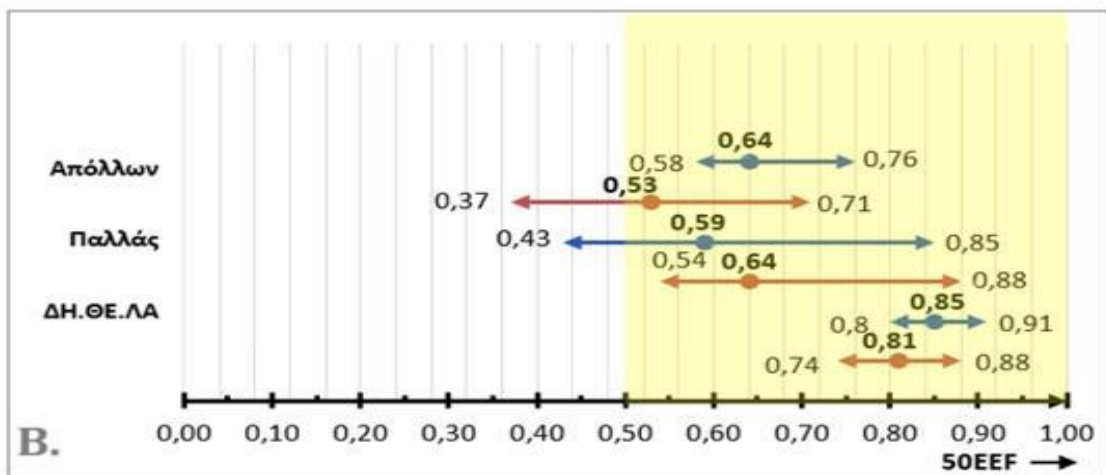
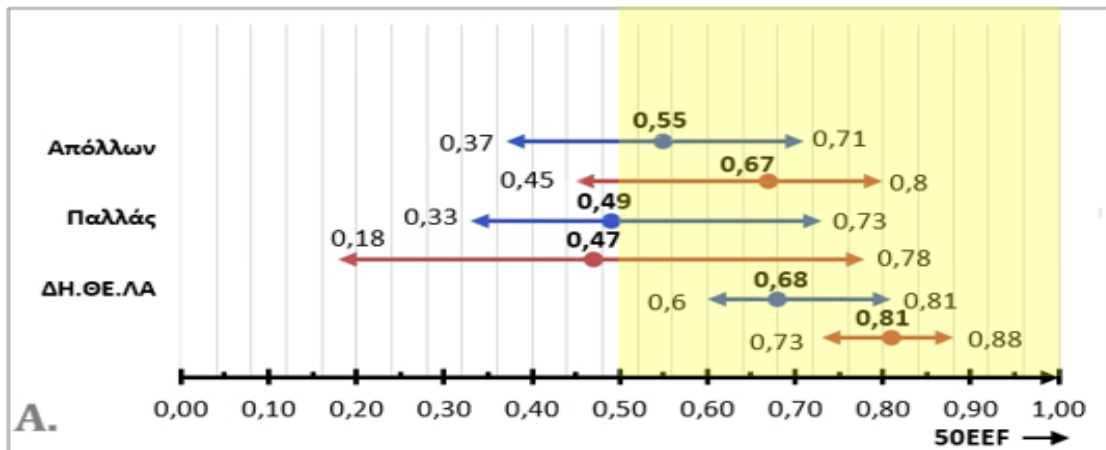
— Θεάτρο Απόλλων (*Theatre "Apollon"*) — Θεάτρο Παλλάς (*Theatre "Pallas"*)
— ΔΗ.ΘΕ.ΛΑ. (*"Mun. Theatre of Lamia"*) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).



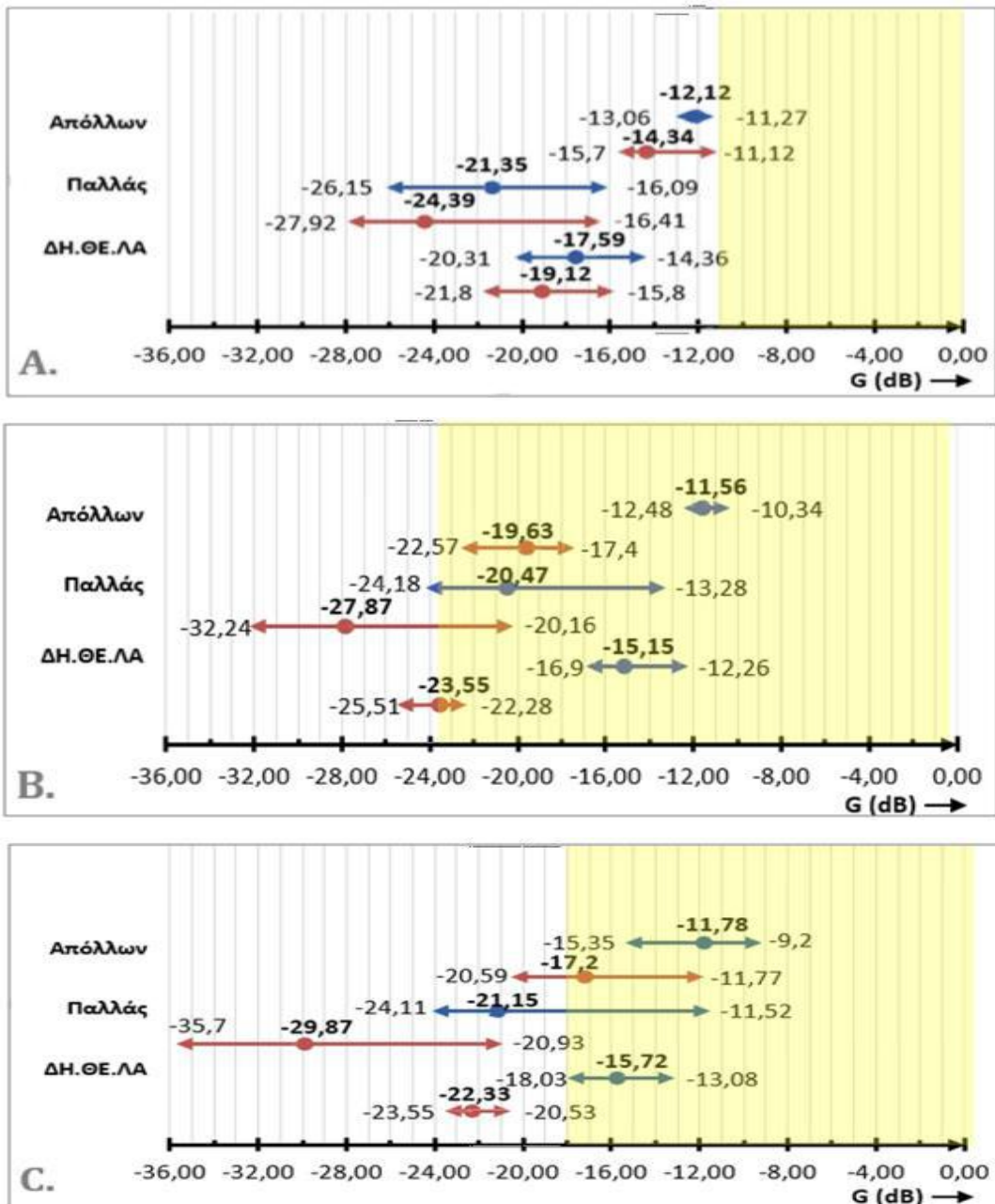
Εικόνα 7.2: Μετρήσεις του χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων σε όλο το φάσμα συχνοτήτων (Measurements of the Early Decay Time vs frequency spectrum). — Θεάτρο Απόλλων (*Theatre "Apollon"*) — Θεάτρο Παλλάς (*Theatre "Pallas"*)
— ΔΗ.ΘΕ.ΛΑ. (*"Mun. Theatre of Lamia"*) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).



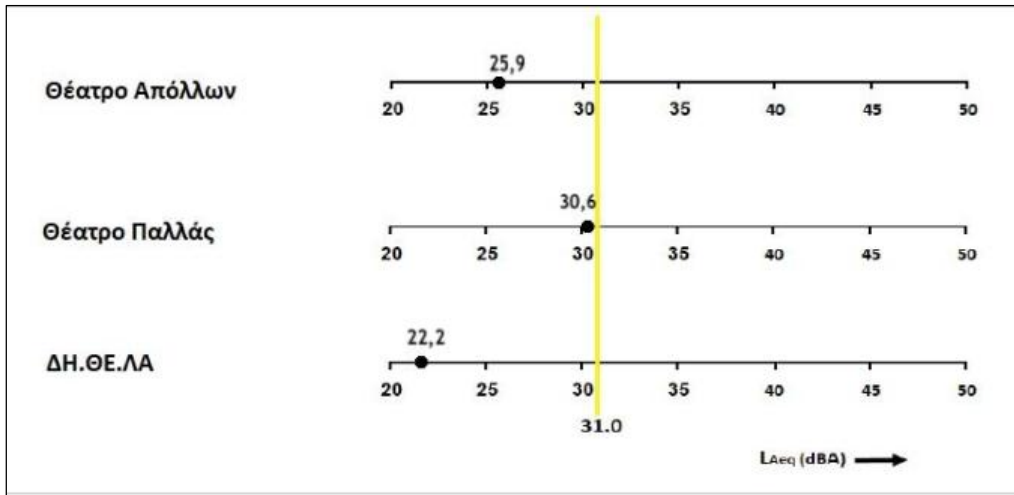
Εικόνα 7.3: Μετρήσεις του λόγου πρώιμων προς καθυστερημένες ανακλάσεις 80(E-to-L) (*Measurements of 80ms Early-to-Late sound ratio*). **A.** Διάγραμμα χαμηλών συχνοτήτων (*Mean 125, 250 Hz*), **B.** Διάγραμμα μεσαίων συχνοτήτων (*Mean 500, 1000 Hz*), **C.** Διάγραμμα υψηλών συχνοτήτων (*Mean 2000, 4000 Hz*). — Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*). — Κατευθυντική πηγή (*directional source*). — Επιθυμητά όρια για κλασική μουσική (*recommended values for classical music*).



Εικόνα 7.4: Μετρήσεις του κλάσματος πρώιμων ανακλάσεων 50EEF (*Measurements of the 50ms early energy fraction*). **A.** Διάγραμμα χαμηλών συχνοτήτων (*Mean 125, 250 Hz*), **B.** Διάγραμμα μεσαίων συχνοτήτων (*Mean 500, 1000 Hz*), **C.** Διάγραμμα υψηλών συχνοτήτων (*Mean 2000, 4000 Hz*). — Ισότροπη πηγή (*omnidirectional source*). — Κατευθυντική πηγή (*directional source*). — Επιθυμητά όρια για κλασική μουσική (*recommended values for classical music*).



Εικόνα 7.8: Μετρήσεις της απόσβεσης της στάθμης έντασης του ήχου (G) ως προς την ένταση του ήχου στο 1 μ. από την πηγή (0 dB) (Measurements of the speech sound level *Re* speech level at 1 m. from source). **A.** Χαμηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 125, 250 Hz), **B.** Μεσαίες συχνότητες (Mean, oct. bands 500, 1000 Hz), **C.** Υψηλές συχνότητες (Mean, oct. bands 2000, 4000 Hz). —■— Ισότροπη πηγή (omnidirectional source). —■— Κατευθυντική πηγή (directional source). ■— Επιθυμητά όρια: **A.** Για τις χαμηλές συχν. “>-11 dB”, **B.** Για τις μεσαίες συχν. “>-23,5 dB”, **C.** Για τις υψηλές συχν. “>-18,5 dB” (recommended values: **A.** For mean oct. bands 125, 250 Hz “>-11 dB”, **B.** For Mean 500, 1000 Hz “>-23,5 dB”, **C.** For Mean 2000, 4000 Hz “>-18,5 dB”).



Εικόνα 7.6: Διάγραμμα με τους θορύβους βάθους, όπως αυτοί μετρήθηκαν σε κάθε θέατρο. (Measurements of the background noise level in test theatres). — Το ανεκτό όριο είναι “≤31 dBA” (criterion value is “≤31 dBA”).

7.2 Συμπεράσματα

Από τα τρία θέατρα που μελετήσαμε, το «Παλλάς» τμήμα του μεγαλοπρεπούς Μ.Τ.Σ., το Δημοτικό Θέατρο Λαμίας ανήκει στην κατηγορία των «αυτοτελών» θεάτρων, δηλαδή καταλαμβάνει εξ ολοκλήρου το κτήριο. Στην κατηγορία των «αυτοτελών» ανήκει και το «Απόλλων».

Εκ των αποτελεσμάτων συμπεραίνουμε ότι εμπειριστατωμένη μελέτη έχει πραγματοποιηθεί τόσο στο «Παλλάς» όσο και στο «ΔΗ.ΘΕ.ΛΑ.» καθώς σε αυτά τα θέατρα έχει επιτευχθεί μείωση του χρόνου αντήχησης και στις χαμηλές συχνότητες. Κοινό εύρημα και για τους τρεις χώρους είναι πως δεν είναι και οι πλέον κατάλληλοι για μουσικές εκδηλώσεις.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φανερώνουν ότι οι τιμές του δείκτη της πτώσης στάθμης έντασης του ήχου (G) είναι άμεσα εξαρτημένες από την απόσταση μεταξύ ομιλητή-ακροατών. Επομένως το «Παλλάς», που είναι το μεγαλύτερο θέατρο με μήκος πλατείας που φθάνει έως 34,5 μέτρα, έχει την μεγαλύτερη απόσβεση.

Από άποψη ηχοπροστασίας, και τα τρία θέατρα έχουν ζώνες ανάσχεσης θορύβου, με φουαγιέ, διαδρόμους και άλλους χώρους να προηγούνται των εισόδων των θεάτρων. Για αυτό τον λόγο είναι επαρκώς προστατευμένα από τον αστικό θόρυβο.

7. ΣΥΓΚΡΙΣΕΙΣ ΤΩΝ 13 ΘΕΑΤΡΩΝ ΤΗΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΦΥΣΙΚΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Στο κεφάλαιο αυτό θα πραγματοποιηθεί σύγκριση των παραμέτρων:RT,50EEF,G,Laeq μεταξύ των 13 θεάτρων(Καραβόγλου Γ., Φωτομάρας Γ.,θέατρα “**Πόρτα,Τζένη Καρέζη**” (2017) . Μαργάρης Ο., Ράλλης Γ.θέατρα “**Εθνικό, Δη.Θε.Πειραιά**” , (2017), Πέτροπουλος Γ., Λουίζος Β.,θέατρα “**Άνεσις**”,**”Χριστίνα Ωνάση**” (2018), Σκούτα Μ.,θέατρα “**Άλφα Ιδέα,Στοά**”, (2018), Νάκος Γ., Τρουλλινός Μ.,θέατρο “**Rex**”,(υπό εκπόνηση)) στο πλαίσιο της γενικευμένης έρευνας του εργαστηρίου Ηχοτεχνίας του ΕΜΠ.

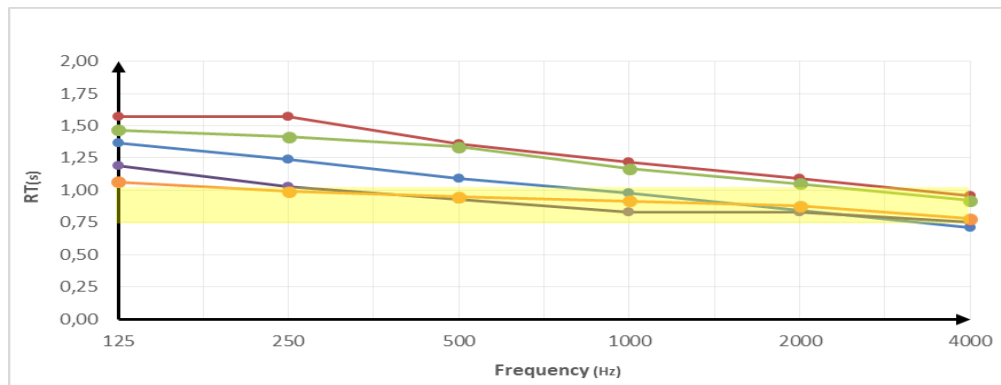
Παρατίθεται ο Πίνακας 7.1 με τα θέατρα καθώς και τα διαγράμματα όλων των φυσικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν σε αυτά.

Θέατρα	1. Απόλλων	2. Δη.Θε. Πείραια	3. Εθνικό Θέατρο	4. Παλλάς	5. REX	6. Άλφα Ιδέα	7. Στοά	8. Κάππα	9. Πόρτα	10. Τζένη Καρέζη	11. Άνεσις	12. Δη.Θε. Λαμίας	13. Χριστίνα Ωνάση
Κατασκευή	1872	1895	1901	1932	1937	1956	1971	1976	1984	1978	1950	1961	2011
Ανακαίνιση	1997	2008	2006	2004	1988	2005	-	1997	2014	1989	2004	2010	-
Αρχιτεκτονας	Ε.Τσίλερ	Λαζαρίμος	Ε.Τσίλερ	Μπόνης & Κασσάνδρας	Μπόνης & Κασσάνδρας	Μπίτσος	Κυριση & Κολλάρου	Ε.Ρίγας & Αρβανίτης	Φωπιάδης	Γκοτοβός	Κριθαρς	Λάσκαρης	Arch. Studio FR
Χωρητικότητα (άτομα)	256	496	610	1500	638	276	300	340	320	300	260	450	220
Όγκος [m ³]	1330,00	5570,00	2560,00	6480,00	4130,00	1480,00	2100,00	1360,00	1840,00	1350,00	2680,00	2965,00	875,00
Όγκος ανά θέση [m ³]	5,20	11,23	4,19	4,32	6,47	5,40	7,00	4,00	5,75	4,50	10,31	6,59	3,10
Μήκος [m ²]	12,30	19,27	10,42	34,50	16,56	22,80	23,50	18,60	18,90	20,25	26,00	26,05	15,10
Πλάτος [m]	11,42	19,27	15,50	23,50	23,00	14,70	16,00	18,00	20,20	21,50	15,85	18,30	11,20
Ύψος [m]	8,00 [average]	15,00 [average]	9,88 [average]	8,50 - 10,00 [min] - [max]	11,68 [average]	3,05 - 4,70 [min] - [max]	2,60 - 6,55 [min] - [max]	2,60 - 5,70 [min] - [max]	4,00 - 5,90 [min] - [max]	2,10 - 5,00 [min] - [max]	4,10 - 8,80 [min] - [max]	3,13 - 10,15 [min] - [max]	2,40 - 8,20 [min] - [max]
Εμβαδό [m ²]	129,04	371,00	246,00	810,75	381,00	369,00	376,00	324,00	383,00	370,00	5,94	622,00	169,00
RTmid [s]	1,03	1,29	0,89	0,81	1,27	0,74	0,97	0,60	0,77	0,75	0,93	0,58	0,62

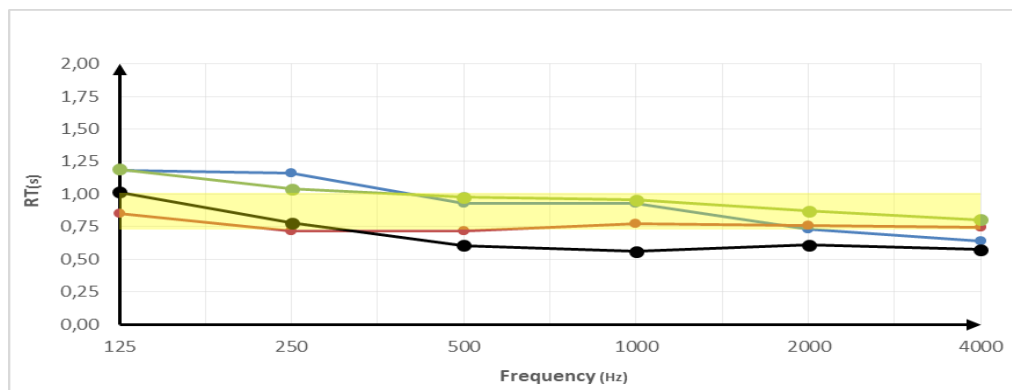
Πίνακας 7.1: Βασικές πληροφορίες για τις 13 θεατρικές σκηνές (*Basic details of test drama theatres*). Το RT_{mid} αφορά στον χρόνο αντήρησης για τις μεσαίες συχνότητες (500, 1000Hz), σε άδειο χώρο (*RT_{mid} is accounted for mean-mid 500, 1000Hz in the empty*).

7.1 Συγκεντρωτικές Φυσικές Ακουστικές Μετρήσεις των 13 θεάτρων υπό μορφή διαγραμμάτων

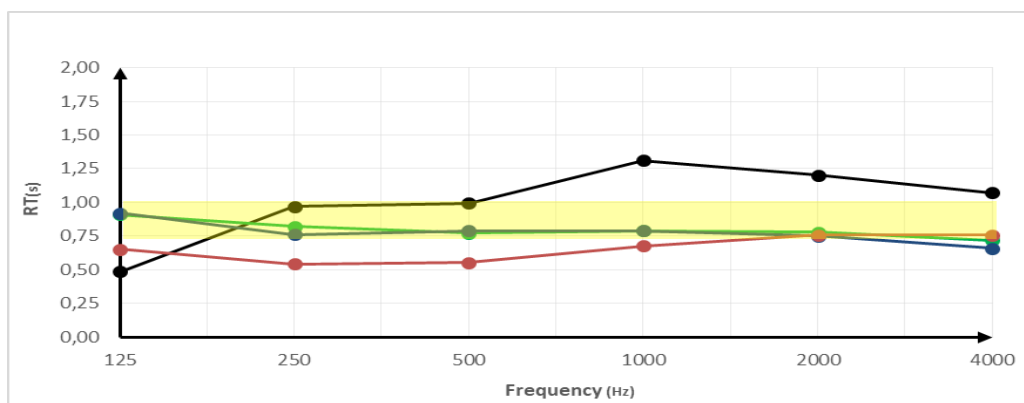
Τα μεγέθη των φυσικών μετρήσεων παρουσιάζονται υπό μορφή διαγραμμάτων σε κάθε θέατρο. Αναλυτικότερα γίνεται σύγκριση με τους χρόνους αντήχησης (RT) και τους χρόνους απόσβεσης πρώιμων ανακλάσεων (EDT) σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων, καθώς και με τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές όσο και τον μέσο όρο των τιμών των λόγων πρώιμων προς καθυστερημένων ανακλάσεων 80(E-to-L), των κλασμάτων πρώιμων ανακλάσεων 50EEF, των αποσβέσεων της στάθμης έντασης του ήχου (θέση αναφοράς η ένταση του ήχου στο 1 μ. από την πηγή) και των θορύβων βάθους σε κάθε θέατρο.



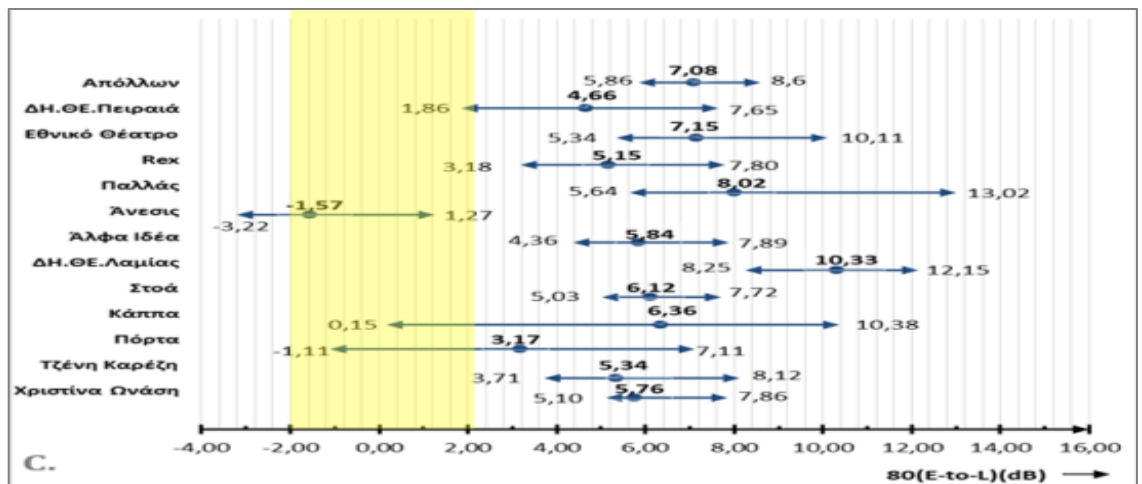
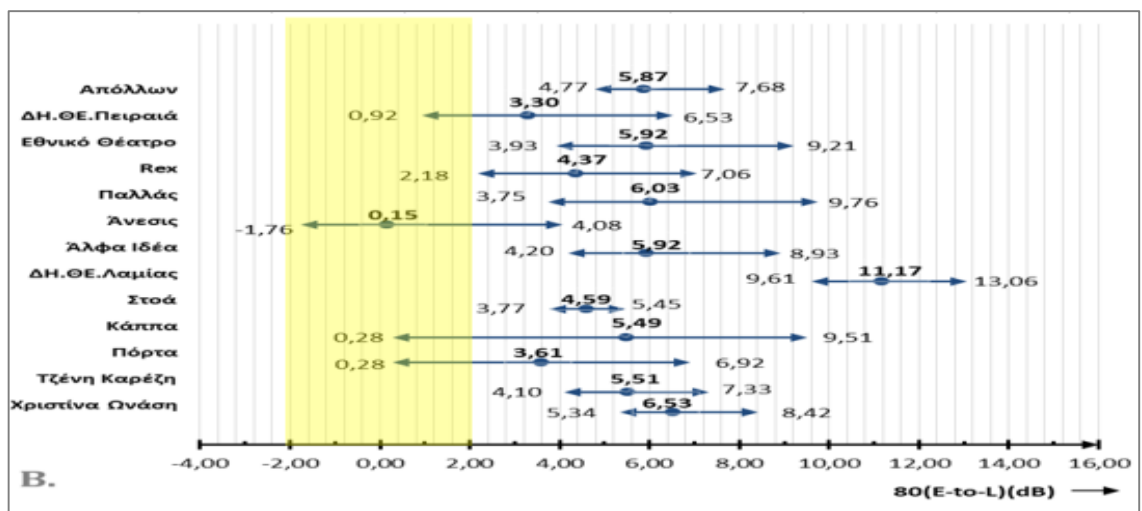
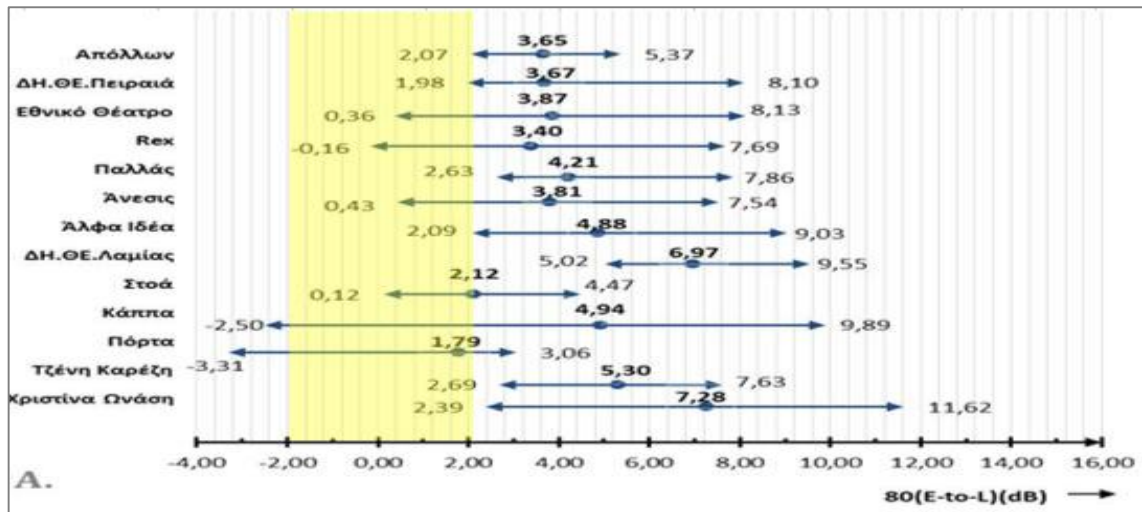
Εικόνα 7.1: Μετρήσεις του χρόνου αντήχησης (RT) σε όλο το φάσμα συχνοτήτων (*Measurements of the Reverberation Time vs frequency spectrum*). **Α.** Απόλλων (“*Apollon*” theatre), **Β.** Δημοτικό Θέατρο Πειραιά (“*Municipal Theatre of Piraeus*”), **Γ.** Εθνικό Θέατρο (“*National Theatre*”), **Δ.** Παλλάς (“*Pallas*”), **Ε.** Ρεξ (“*Rex Theatre*”) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).



Εικόνα 7.2: Μετρήσεις του χρόνου αντήχησης (RT) σε όλο το φάσμα συχνοτήτων (*Measurements of the Reverberation Time vs frequency spectrum*). **Α.** Άνεσις (“*Anesis*”), **Β.** ΔΗ.ΘΕ.ΛΑ (“*Mun. Theatre of Lamia*”), **Γ.** Στοά (“*Stoa*”), **Δ.** Άλφα Ιδέα (“*Alfa Idea*”) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).

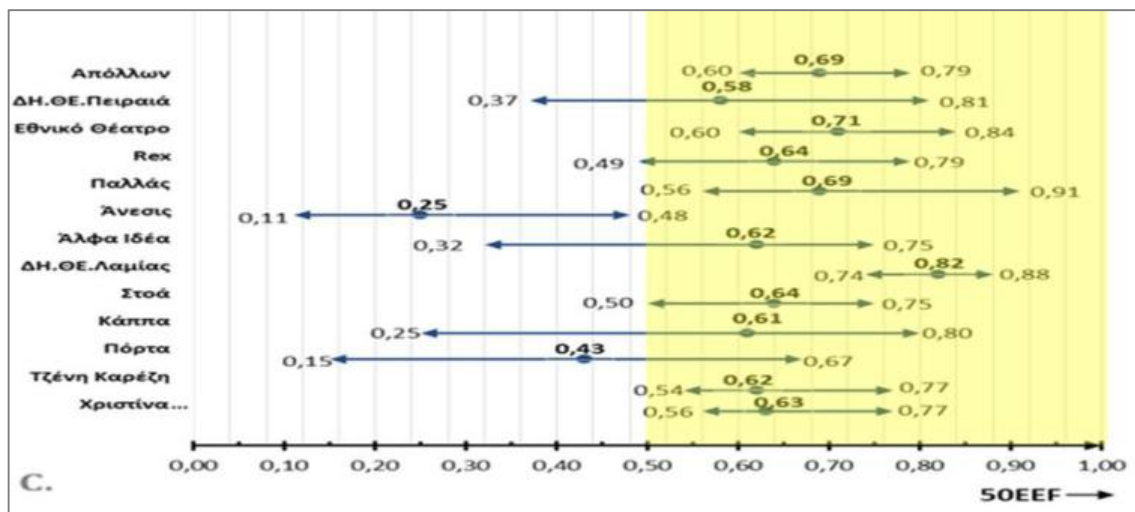
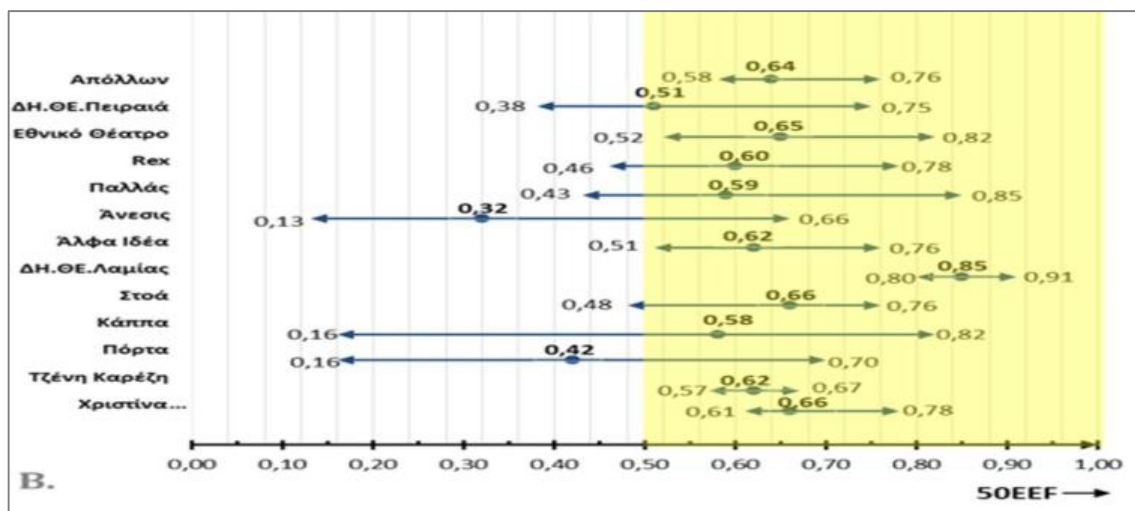
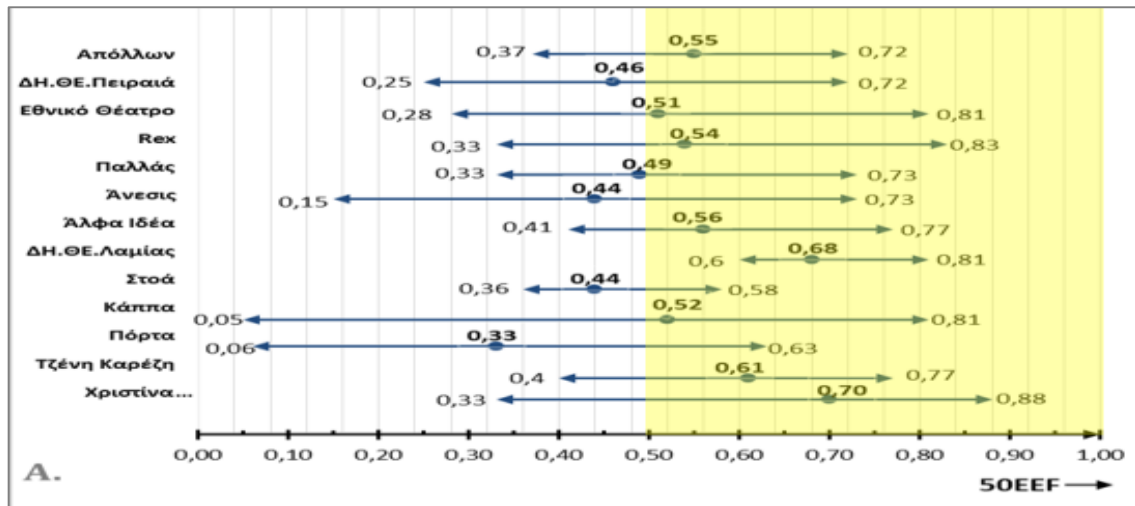


Εικόνα 7.3: Μετρήσεις του χρόνου αντήχησης (RT) σε όλο το φάσμα συχνοτήτων (*Measurements of the Reverberation Time vs frequency spectrum*). **Α.** Πόρτα (“*Porta*”), **Β.** Κάππα (“*Kappa*”), **Γ.** Τζένη Καρέζη (“*Tzenni Karezi*”), **Δ.** Χριστίνα Ωνάση (“*Ch. Onassi*”) — Επιθυμητά όρια (*recommended values*).

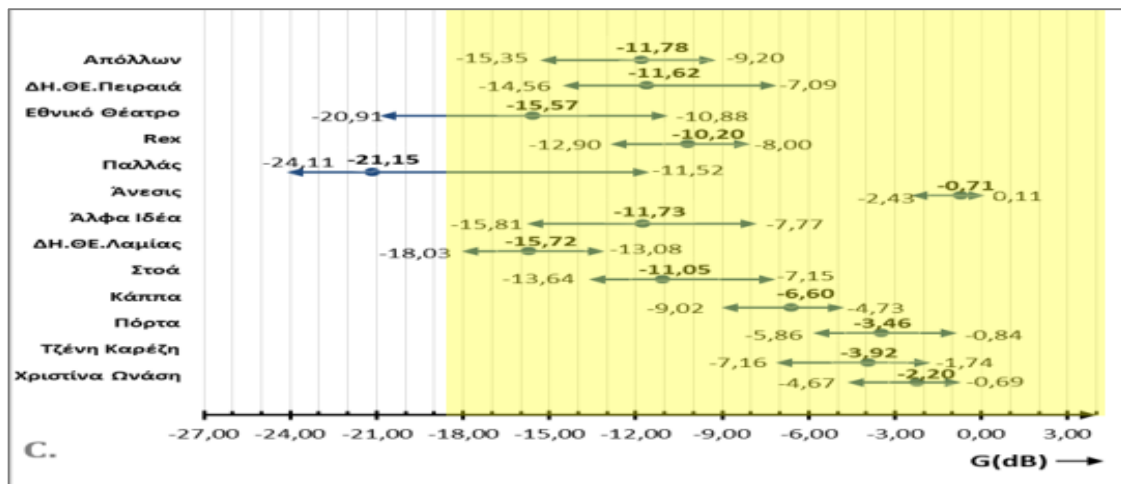
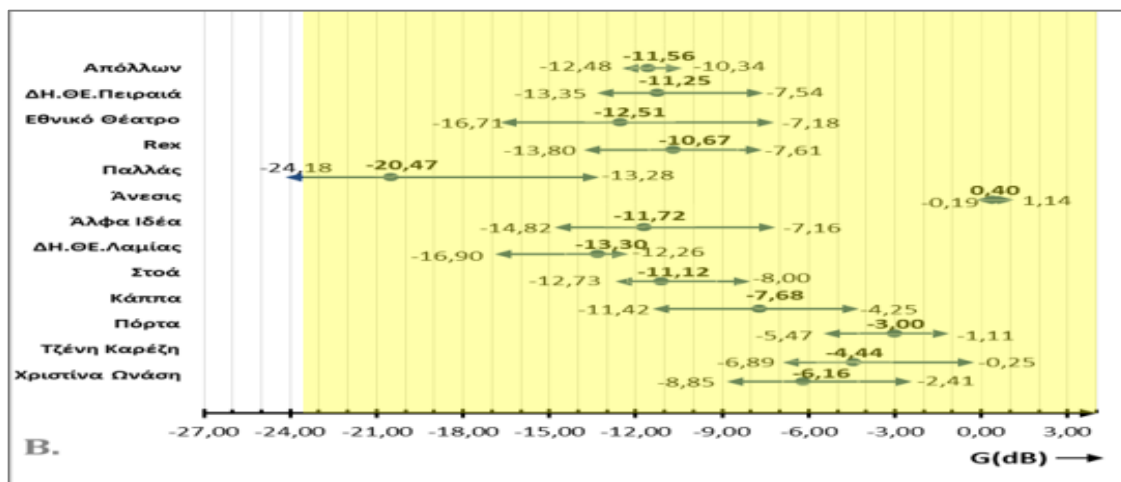
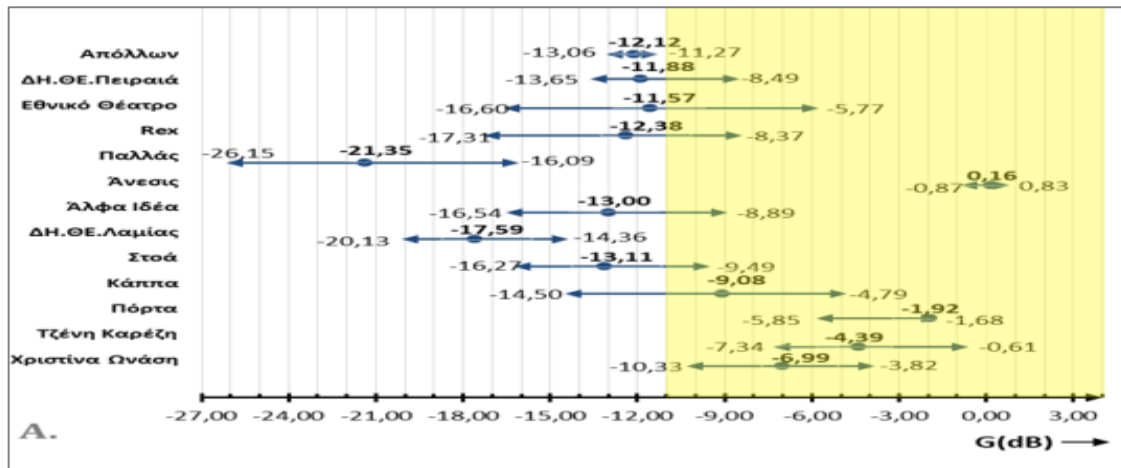


Εικόνα 7.4: Μετρήσεις του λόγου πρώιμων προς καθυστερημένες ανακλάσεις 80(E-to-L) (*Measurements of 80ms Early-to-Late sound ratio*). **A.** Διάγραμμα χαμηλών συχνοτήτων (*Mean 125, 250 Hz*), **B.** Διάγραμμα μεσαίων συχνοτήτων (*Mean 500, 1000 Hz*), **C.** Διάγραμμα υψηλών συχνοτήτων (*Mean 2000, 4000 Hz*).

■ Επιθυμητά όρια για κλασική μουσική (*recommended values for classical music*).



Εικόνα 7.5: Μετρήσεις του κλάσματος πρώιμων ανακλάσεων 50EEF (Measurements of the 50ms early energy fraction). **A.** Διάγραμμα χαμηλών συχνοτήτων (Mean 125, 250 Hz), **B.** Διάγραμμα μεσαίων συχνοτήτων (Mean 500, 1000 Hz), **C.** Διάγραμμα υψηλών συχνοτήτων (Mean 2000, 4000 Hz). Επιθυμητά όρια για αίθουσα ομιλίας (recommended values for speech intelligibility).



Εικόνα 7.6: Μετρήσεις της απόσβεσης της στάθμης έντασης του ήχου (G) ως προς την ένταση του ήχου στο 1 μ. από την πηγή (0 dB) (*Measurements of the speech sound level Re speech level at 1 m. from the source*).

A. Διάγραμμα χαμηλών συχνοτήτων (Mean 125, 250 Hz), **B.** Διάγραμμα μεσαίων συχνοτήτων (Mean 500, 1000 Hz), **C.** Διάγραμμα υψηλών συχνοτήτων (Mean 2000, 4000 Hz).

— Επιθυμητά όρια: **A.** Για τις χαμηλές συχ. “>-11 dB”, **B.** Για τις μεσαίες συχ. “>-23,5dB”, **C.** Για τις υψηλές συχ. “>-18,5dB” (Criterion values: **A.** For Mean 125, 250 Hz “>-11 dB”, **B.** For Mean 500, 1000 Hz “>-23,5 dB”, **C.** For Mean 2000, 4000 Hz “>-18,5 dB”).

7.2 Αναλυτική ερμηνεία των φυσικών μετρήσεων του κάθε θεάτρου

Θέατρο “Άνεσις”. Αυτό το θέατρο των αρχών της μεταπολεμικής περιόδου διατηρεί τις μνημειώδεις διαστάσεις των θεάτρων του μεσοπολέμου. Αρχικά λειτούργησε ως σινεμά και μεταγενέστερα μετετράπη σε θεατρική σκηνή. Το υπερβολικό ύψος έχει ως αποτέλεσμα τον αυξημένο χρόνο αντήχησης, ο οποίος, παρ’ όλες τις ηχοαπορροφητικές επενδύσεις που τοποθετήθηκαν κατά την ανακαίνιση, παραμένει αυξημένος στις χαμηλές συχνότητες. Η υπερβολικά υψηλή οροφή έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη πρώιμων ανακλάσεων στον εξώστη. ενώ στην πλατεία τα πίσω καθίσματα δέχονται πρώιμες ανακλάσεις από την οροφή του προβόλου του εξώστου. Οι πρώτες θέσεις της πλατείας προφανώς έχουν έντονο απευθείας ήχο. Η απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G) είναι ουσιαστικά μηδενική κυρίως λόγω των εξαιρετικά ανακλαστικών σκηνικών που ήταν εγκατεστημένα κατά τη διάρκεια της παρούσας μέτρησης. Ζώνη ανάσχεσης (φουαγιέ) μεταξύ της αίθουσας και της Λ. Κηφισίας προστατεύει τον χώρο από την ηχορρύπανση.

Δημοτικό Θέατρο Λαμίας. Ο χρόνος αντήχησης στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες είναι εντός των επιθυμητών ορίων χάρις στα πορώδη ηχοαπορροφητικά που φέρει η αίθουσα στις πλαϊνές παρειές και τον πίσω τοίχο. Χάρη στους ανακλαστήρες που φέρει η αίθουσα στην οροφή της υπάρχει άπλετη πρώιμη ηχητική ενέργεια, η οποία φαίνεται και στις τιμές του μετρηθέντος 50EEF οι οποίες είναι οι μεγαλύτερες από τα μετρηθέντα θέατρα. Η σχετικά αυξημένη ηχοαπορρόφηση στην αίθουσα έχει σαν αποτέλεσμα τη σχετικά έντονη πτώση της στάθμης έντασης του ήχου (G), ωστόσο παραμένει εντός ορίων. Η αίθουσα είναι εξαιρετικά προστατευμένη από εξωτερικούς θορύβους χάρη στη ζώνη ανάσχεσης που την περιβάλλει, δηλαδή διάδρομοι και φουαγιέ στις τρεις πλευρές της και βοηθητικοί χώροι στην πλευρά της σκηνής.

Θέατρο “Άλφα Ιδέα”. Καταλαμβάνει το υπόγειο πολυκατοικίας της εποχής του. Ο χρόνος αντήχησης είναι εντός των δεκτών ορίων σε όλο το φάσμα με σχετική μείωση στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες ως προς τις χαμηλές λόγω της εκτενούς ηχοαπορροφητικής υφής του δαπέδου (μοκέτα). Το θέατρο

διαθέτει ανακλαστική οροφή, καθώς και πλευρικές παρειές και αυτό φαίνεται στις τιμές του 50EEF που είναι εντός επιθυμητών ορίων σε όλη την αίθουσα. Ο πίσω τοίχος φέρει στοιχεία διάχυσης. Η απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G) είναι μέσα στα επιθυμητά όρια χάρις στις ανακλαστικές επιφάνειες του χώρου και τις μικρές αποστάσεις ακροατηρίου από τη σκηνή. Έχουμε μεγάλη απόκλιση στις τιμές που λάβαμε μεταξύ κατευθυντικής και ισότροπης πηγής, αυτό οφείλεται στις πλευρές της σκηνής έχει τοποθετηθεί απορροφητική κουρτίνα με αποτέλεσμα ο ηθοποιός όταν μιλάει στραμμένος να χάνεται ένταση της φωνής του. Επίσης η σκηνή έχει μεγάλο βάθος, επομένως η ηχητική ενέργεια του ηθοποιού διανύει μεγάλη απόσταση μέχρι να φτάσει στον ακροατήριο. Η είσοδος του θεάτρου βρίσκεται εντός «στοάς», η δε αίθουσα προστατεύεται με την ύπαρξη φουαγιέ (χώρος ανάσχεσης) από την κύρια είσοδο του θεάτρου. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την ικανοποιητική ηχοπροστασία της αίθουσας.

Θέατρο “Στοά”. Το θέατρο αυτό καταλαμβάνει το ισόγειο και τον πρώτο όροφο πολυκατοικίας και έχει σχετικά αυξημένο ύψος (6,5 μ.). Ο χρόνος αντήχησης στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες είναι εντός των ανεκτών ορίων ενώ στις χαμηλές είναι σχετικά αυξημένος. Αυτό οφείλεται στο ύψος του χώρου σε συνδυασμό με τις κουρτίνες που καταλαμβάνουν εκτενή επιφάνεια των πλευρικών παρειών και προφανώς απορροφούν από τη μεσαία περιοχή του φάσματος και πάνω. Το θέατρο διαθέτει ανακλαστική οροφή η οποία έχει ως αποτέλεσμα την επάρκεια όλων των θέσεων του ακροατηρίου σε πρώιμες ανακλάσεις. Η απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G) είναι μέσα στα επιθυμητά όρια, όπως μετρήθηκε με την ισότροπη πηγή, χάρη στην ανακλαστική οροφή του χώρου και στις μικρές αποστάσεις ακροατηρίου από τη σκηνή. Ωστόσο, όταν η μέτρηση έγινε με την κατευθυντική πηγή, η απόσβεση της στάθμης της έντασης του ήχου γίνεται οριακά δεκτή, λόγω της απορρόφησης που υφίσταται στην ηχοαπορροφητική κουρτίνα των παρειών του χώρου.

Θέατρο “Παλλάς”. Το θέατρο αυτό είναι της εποχής του μεσοπολέμου και διαθέτει τα ίδια αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά όπως το ΡΕΞ (Μεγάλο ύψος, στυλιστική απλότητα). Λόγω της εμπειριστατωμένης ακουστικής μελέτης που έχει πραγματοποιηθεί το 2004, της χρήσης ηχοαπορροφητικών υλικών και των ειδικών ανακλαστικών επιφανειών οι τιμές του χρόνου αντήχησης και του

κλάσματος των πρώιμων ανακλάσεων είναι εντός των επιθυμητών ορίων σε όλο το φάσμα. Λόγω του μεγάλου μήκους της αίθουσας, το οποίο συνεπάγεται και μεγάλη απόσταση δρώμενων-θεατών, η στάθμη έντασης της ομιλίας φθίνει περισσότερο από τις τιμές που ορίζουν οι κανονισμοί. Αυτό το μεγάλο βάθος το κάθιστα ακατάλληλο για θεατρικά δρώμενα και για να αντιμετωπιστεί ηλεκτροακουστικά μέσα που αξιοποιούνται κατά τη διάρκεια παραστάσεων. Όπως και στο θέατρο “Αλφα Ιδέα” έχουμε αρκετά μεγάλη απόκλιση στις τιμές που λάβαμε μεταξύ κατευθυντικής και ισότροπης πηγής, αυτό οφείλεται στο μεγάλο βάθος της σκηνής, επομένως η ηχητική ενέργεια του ηθοποιού όταν είναι γυρισμένος με πλάτη στο ακροατήριο εξασθενεί χάρη της μεγάλης απόσταση που διανύει η φωνή του για να φτάσει στον ακροατήριο.

Τέλος, λόγω της ύπαρξης προθαλάμων μεταξύ της αίθουσας και της κεντρικής εισόδου, η τιμή του θορύβου βάθους είναι οριακά εντός των επιθυμητων τιμών. Επίσης η οροφή έχει φεγγίτες που χρηζουν επιμελότερης αντιμετώπισης ώστε να αντιμετωπίσει καλύτερα ο θόρυβος βάθους.

Θέατρο “Απόλλων”. Μετά την ανακαίνιση του 2011 που πραγματοποιήθηκε στον χώρο και παρά το μεγάλο ύψος του θεάτρου, ελέγχθηκε ο χρόνος αντήχησης στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες. Ωστόσο, με την παρουσία πορωδών ηχοαπορροφητικών υλικών δεν κατάφεραν να ελέγξουν επαρκώς τις χαμηλές συχνότητες, οι οποίες απαιτούν την τοποθέτηση επιπλέον ηχοαπορροφητικών υλικών από άλλα υλικά όπως ξύλινες επιφάνειες, γυψοσανίδες κλπ. Όσον αφορά στις τιμές του 50EEF το θέατρο παρουσιάζει πολύ καλή αναλογία των πρώιμων ανακλάσεων προς την συνολική ηχητική ενέργεια, από τη μικρή απόσταση του ακροατηρίου από την σκηνή, από τα στηθαία των εξωστών, από τον ουρανό των εξωστών αλλά και από τις ανακλάσεις του δαπέδου τις πλατειάς. Οι μετρήσεις του δείκτη της πτώσης της στάθμης έντασης του ήχου (G) δείχνουν πως η πτώση στις μεσαίες και τις μεγάλες συχνότητες είναι εντός των επιθυμητων ορίων και αυτό οφείλεται στις μικρές αποστάσεις μεταξύ των θεατών και της σκηνής. Τέλος, το θέατρο είναι ηχοπροστατευμένο από τον αστικό θόρυβο, εξαιτίας της παρουσίας ζώνης ανάσχεσης (διάδρομος). Παρόλο που είναι μεσοτοιχία με άλλα θέατρα, περιμετρικά του θεάτρου φέρει διαδρόμους σε σχήμα πετάλου οι οποίοι το προστατεύουν από τον αστικό θόρυβο.

Θέατρο “Κάππα”. Πρόκειται για ένα μικρό θέατρο σε σχήμα «παπουτσιού». Το πολύ μικρό ύψος και η υπερβολική χρήση απορροφητικού χαλιού στο πάτωμα και στο σύνολο του πίσω τοιχώματος, έχουν ως αποτέλεσμα τον πολύ μικρό χρόνο αντήχησης. Παρόλα αυτά, το επιθυμητό μέτρο καταληπτότητας της ομιλίας ικανοποιείται χάρη, αφενός, στον πρώιμο ήχο που αντανακλούν τα πάνελ οροφής και, αφετέρου, σε σχετικά βραχείες αποστάσεις πηγής-δέκτη. Η διακόσμηση στα πλευρικά τοιχώματα συμβάλλει, κατ’ αρχήν, σε διάχυτο ήχο. Η στάθμη έντασης της ομιλίας διατηρείται ικανοποιητικά δυνατή καθ’ όλη τη διάρκεια, χάρη και στον χαμηλό αστικό θόρυβο, ο οποίος επιτυγχάνεται χάρη στη ζώνη ανάσχεσης (φουαγιέ) μεταξύ του αμφιθέατρου και της πλευρικής οδού.

Θέατρο “Πόρτα”. Πρόκειται για ένα ορθογώνιο θέατρο με ευρεία διατομή και ανακλαστικά πάνελ στην οροφή και σε κάθε πλευρά του ακροατηρίου. Το μικρό ύψος έχει ως αποτέλεσμα τον ελεγχόμενο χρόνο αντήχησης. Ωστόσο, το επιθυμητό μέτρο της καταληπτότητας της ομιλίας δεν ικανοποιείται σε θέσεις με μεγάλη απόσταση από τη σκηνή, διότι μπορεί να εξασφαλιστεί ήχος από τους διαμορφωμένους ανακλαστήρες, ωστόσο ο ήχος αυτός δεν φτάνει σε σύντομο χρονικό διάστημα στο αυτί του θεατή. Μια αναθεώρηση της κλίσης των ανακλαστήρων ίσως να αποδεικνυόταν χρήσιμη. Μετρήθηκε ικανοποιητική μείωση της στάθμης έντασης της ομιλίας καθ’ όλη τη διάρκεια και ο αστικός θόρυβος κρίνεται εντός ορίων χάρη στο προστατευτικό φουαγιέ μεταξύ του αμφιθέατρου και του θορύβου του οδικού άξονα παραπλεύρως του θεάτρου.

Θέατρο “Τζένη Καρέζη”. Πρόκειται για αμφιθεατρικής διάταξης σκηνή κάτι που ελαχιστοποιεί τις αποστάσεις θεατών από τα δρώμενα. Το ιδιαίτερα χαμηλός ύψος μετριάζει τον χρόνο αντήχησης, ο οποίος και χωρίς ιδιαίτερες παρεμβάσεις βρίσκεται εντός ορίων. Επίσης, το επιθυμητό μέτρο καταληπτότητας της ομιλίας κρίνεται ως ικανοποιητικό χάρη κυρίως στα ανεμπόδιστα «μονοπάτια» άμεσης ηχητικής ενέργειας και στη σύγχρονη οροφή με εσοχές που προκαλεί διάχυση του ήχου. Η πτώση της στάθμης έντασης ήχου βρίσκεται εντός ορίων στο σύνολο των θέσεων, παρά την μεγαλύτερη επιφάνεια του θεάτρου, συγκριτικά με τα προηγούμενα. Αυτό οφείλεται στην αμφιθεατρική διάταξη η οποία ελαχιστοποιεί τις αποστάσεις σκηνής-θεατών. Ωστόσο, τα επίπεδα αστικού θορύβου παρεκκλίνουν

ελάχιστα από την οριακή τιμή λόγω της κακής προστασίας της πρόσοψης του αμφιθεάτρου από τον παρακείμενο θόρυβο οδικής κυκλοφορίας.

Θέατρο “REX”. Πρόκειται για ένα τυπικό θέατρο, μεσοπολεμικού μνημειακού ύψους και σύγχρονης απλότητας, με μερικά βαθιά μπαλκόνια για να φιλοξενεί περισσότερο ακροατήριο. Το μεγάλο ύψος έχει ως αποτέλεσμα τον πολύ μεγάλο χρόνο αντήχησης. Παρόλα αυτά, το επιθυμητό μέτρο καταληπτότητας της ομιλίας βρίσκεται εντός της οριακής τιμής, χάρη κυρίως στις βραχείες αποστάσεις σκηνής-θεατών και στον πρώιμο διάχυτο ήχο από τη σύγχρονη με εσοχές οροφή και τα μπαλκόνια, τα οποία λειτουργούν και ως ανακλαστικές επιφάνειες εξασφαλίζοντας πρώιμη ηχητική ενέργεια στο κοινό που βρίσκεται κάτω από αυτά. Η μείωση της στάθμης έντασης του ήχου διατηρείται καλά στο σύνολο του θεάτρου. Σε αυτό επιδρούν θετικά οι κοντινές αποστάσεις σκηνής-θεατών και το ανακλαστικό περίβλημα. Ο αστικός θόρυβος ελέγχεται επαρκώς χάρη στη ζώνη ανάσχεσης (φουαγιέ) μεταξύ της αίθουσας και του θορύβου της οδικής κυκλοφορίας.

Δημοτικό Θέατρο Πειραιά. Πρόκειται για ένα νεοκλασικό μπαρόκ αμφιθεατρικού τύπου θέατρο, μνημειακών διαστάσεων, που στοχεύει στη φιλοξενία παραστάσεων όπερας καθώς και θεατρικών εκδηλώσεων. Το υπερβολικό ύψος έχει ως αποτέλεσμα τον εκτός ορίων χρόνο αντήχησης, παρά την παρουσία ηχοαπορροφητικής μοκέτας στο δάπεδο και στην πίσω πλευρική παρειά η οποία τοποθετήθηκε εκεί για να ακυρώσει την εστίαση του ήχου από τις κοίλες επιφάνειες. Η καταληπτότητα της ομιλίας κρίνεται ικανοποιητική κατ’ αρχήν λόγω των μικρών αποστάσεων σκηνής-δρώμενων που εξασφαλίζουν απευθείας ηχητική ενέργεια, αλλά και λόγω των ανακλαστικών πανέλων. Οι χαμηλότερες τιμές, οριακά αποδεκτές, παρατηρούνται στις θέσεις της πλατείας κάτω από το μπαλκόνι, επειδή οι ανακλάσεις που καταλήγουν στο κοινό από τους προβόλους έρχονται αργοπορημένες. Η μείωση της στάθμης έντασης του ήχου είναι αποδεκτή σε όλες τις θέσεις, λόγω των βραχέων αποστάσεων πηγής-δέκτη που πετυχαίνουμε με την αμφιθεατρική διάταξη. Ο θόρυβος βάθους ικανοποιείται χάρη στη ζώνη προστασίας (διάδρομος) μεταξύ του αμφιθεάτρου και του θορύβου της οδικής κυκλοφορίας.

Εθνικό Θέατρο. Πρόκειται για το πρώτο οικοδόμημα που προορίζεται να φιλοξενήσει την ελληνική εταιρεία θεάτρου. Το σχήμα του θεάτρου είναι ένα

ευρύ πέταλο αλόγου, με μερικά βαθιά μπαλκόνια για να φιλοξενεί περισσότερο ακροατήριο. Παρά το μεγάλο ύψος, επιτυγχάνεται ο έλεγχος του χρόνου αντήχησης. Το μέτρο καταληπτότητας της ομιλίας εντοπίζεται στις επιθυμητές τιμές χάρη στην πρώιμη ανακλαστική ενέργεια λόγω των ανακλαστών οροφής και των μικρών διαδρομών απευθείας ήχου. Λόγω των μικρών αποστάσεων έχουμε και πολύ καλές τιμές στη μείωση της στάθμης έντασης του ήχου.

Θέατρο “Χριστίνα Ωνάση”. Πρόκειται για τη μικρή σκηνή της Στέγης Γραμμάτων και Τεχνών του Ιδρύματος Ωνάση. Ξεκινώντας με τον χρόνο αντήχησης παρατηρούμε ότι οι τιμές του στις χαμηλές συχνότητες είναι μειωμένες, γεγονός που καταδεικνύει την αξιόλογη ακουστική μελέτη που έχει λάβει χώρα. Συγκεκριμένα, έχουν χρησιμοποιηθεί κατάλληλα ηχοαπορροφητικά υλικά κυρίως από ξύλο. Συνεχίζοντας, παρατηρούμε ότι οι τιμές του χρόνου αντήχησης αυξάνονται αρμονικά κατά μήκος των οκταβικών ζωνών του φάσματος συνεισφέροντας στη δημιουργία διάχυτου ηχητικού πεδίου, απόρροια εκ νέου της ορθής ακουστικής μελέτης. Η καταληπτότητα της ομιλίας και η απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G) κρίνεται ικανοποιητική τόσο λόγω των ανακλαστικών επιφανειών, όσο και λόγω των μικρών αποστάσεων μεταξύ των θεατών και της σκηνής. Σχετικά με την ηχοπροστασία του θεάτρου, αυτή κρίνεται ανεπαρκής καθώς το θέατρο βρίσκεται εκτεθειμένο στον αστικό θόρυβο. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχει ζώνη ανάσχεσης προς την πλευρά της πολυσύχναστης Λεωφόρου Συγγρού, όπου ο τείχος του θεάτρου είναι και εξωτερικός τείχος του κτιρίου. Ακόμη, από κτιριολογικής άποψης, η τοποθέτηση της αίθουσας στον ανώτερο όροφο του κτιρίου κρίνεται άστοχη διότι αφήνει εκτεθειμένη την αίθουσα σε επιπρόσθετο εξωτερικό θόρυβο.

7.3 Συνολική ερμηνεία των φυσικών ακουστικών μετρήσεων των 13 θεάτρων

Σύμφωνα με τους ακουστικούς, τα λιλιπούτσια θέατρα του μεταπολεμικού μοντερνισμού προσφέρονται ως προς την ακουστική τους καλύτερα καθώς με το υπάρχον κέλυφος τους και δίχως επιπλέον κατασκευαστικά στοιχεία, μπορούν να επιτύχουν ικανοποιητική ακουστική. Σύμφωνα με τις μετρήσεις μας σε τέτοιου είδους θέατρα, καταγράψαμε ικανοποιητικό τόσο το χρόνο αντήχησης όσο και το κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων. Αυτό αποδίδεται κυρίως i) στις μικρές αποστάσεις ακροατήσκηνης, ii) στην σχετικά χαμηλή οροφή (ανθρώπινων διαστάσεων / less is more) και iii) στις χωρίς σκόπιμες επενδύσεις παρειές της αίθουσας που κατά κανόνα είναι ανακλαστικές.

Αντίθετα προς τα «λιλιπούτσια» θέατρα, τα θέατρα του μεταπολεμικού μοντερνισμού με σχετικά μεγάλα ύψη, απαιτούν την χρήση επιπλέον κατασκευαστικών στοιχείων στο χώρο (ηχοαπορροφητικές επανδύσεις, αναρτημένους ανακλαστήρες, κλπ) σε συνδυασμό με εμπειριστατωμένη ακουστική μελέτη, για να επιτύχουν ικανοποιητική ακουστική. Αυτό προφανώς συμβαίνει λόγω των σχετικά μεγάλων διαστάσεων αυτού του είδους των αιθουσών. Τα παραπάνω ευρήματα ανακοινώθηκαν πρόσφατα και στο άρθρο μας στο Συνέδριο ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2018 (Α.Σωτηροπούλου κ.α., 2018)

Συνολικά η στάθμη έντασης του ήχου σε όλα τα θέατρα δεν μειώθηκε περισσότερο από τις κρίσιμες τιμές, παρόλα αυτά και σε αυτή τη μέτρηση παρατηρούμε ότι τα μικρά θέατρα λόγω του μικρότερου βάθους της αίθουσας έχουν μικρότερη ελάττωση σε σχέση με τα μεγαλύτερα σε όγκο θέατρα. Εξαιρέση αποτελεί το Παλλάς που δεν επιβεβαιώνεται αυτό ιδιαίτερα στις χαμηλές συχνότητες. Μέσω των μετρήσεων της κατευθυντικής πηγής οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι κάποια θέατρα (π.χ. Παλλάς, Άλφα Ιδέα) εμφανίζουν μερική απόκλιση μεταξύ των αποτελεσμάτων τους με αυτή σε σχέση με την ισότροπη. Αυτό οφείλεται στο ότι το βάθος της σκηνης είναι πολύ μεγάλο το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη στιγμή που ο ηθοποιός έχει στραμμένη τη πλάτη στο ακροατήριο μεγάλο μέρος της ηχητικής ενέργειας της ομιλίας του να χάνεται, επομένως στους ακροατές η τελική στάθμη έντασης του ήχου να είναι μειωμένη.

Αυτό μας ωθεί στο συμπέρασμα ότι και στην σκηνογραφία αξίζει να γίνεται μια ακουστική μελέτη καθώς μέσω της χρήσης ενός αρκετά αντανakλαστικού περιβάλλοντος στη σκηνή (π.χ. όρθιες γυψοσανίδες) μπορεί να βελτιωθεί η ηχητική ενεργεία που φτάνει στον ακροατή.

Όσον αφορά τον θόρυβο βάθους τα λιλιπούτσια θέατρα λόγο του ότι είναι υπόσκαφα, επιτυγχάνουν δίχως επιπλέον ενέργειες επαρκή ηχοπροστασία. Τα θέατρα μεγάλου ύψους προστατεύονται από τον αστικό θόρυβο χρησιμοποιώντας τις ζώνες ανάσχεσης (ΦΟΥΑΓΙΕ, διαδρόμους) . Είναι αξιοσημείωτο να αναφέρουμε ότι η αρχή της ζώνης ανάσχεσης υπάρχει από τα θέατρα του 19^{ου} αιώνα και εξακολουθεί να εφαρμόζεται έως σήμερα ως μια ιδιαίτερα αποτελεσματική μέθοδος ηχοπροστασίας. Οι μοναδικές εξαιρέσεις είναι το θέατρο “Τζένη Καρέζη” και “Χριστίνα Ωνάση” τα οποία δεν χρησιμοποίησαν ζώνες ανάσχεσης με αποτέλεσμα να μην είναι επαρκώς ηχοπροστατευμένα.

Spectrum index (δείκτης φάσματος) είναι γνωστό από τη βιβλιογραφία(Barron ,1993) ότι προκειμένου για αίθουσες ομιλίας όπως είναι τα θέατρα ο χρόνος αντήχησης είναι επιθυμητός να μην μεταβάλλεται κατά μήκος του φάσματος. Όμως στα παλιά θέατρα για να μειώσουμε τον αρχικό υψηλό χρόνο αντήχησης, με τις πρόσφατες ανακαινίσεις χρησιμοποίησαν τέτοια απορροφητικά υλικά που μείωσαν τον χρόνο αντήχησης μόνο στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες.

Αποτέλεσμα αυτού είναι το κοινό φαινόμενο σε τέτοιου είδους αίθουσες, να διαταράσσεται η **φασματική ισορροπία** της ανθρώπινης φωνής. Υποκειμενικά αυτό γίνεται αντιληπτό (σε εργαστηριακές μελέτες) ως ένα βουιτό που μειώνει την καθαρότητα του ακροάματος. Θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί σε άλλη μελετη, αν αυτό στα **θέατρα** που μετρήσαμε, γίνεται αντιληπτό κατά τη διάρκεια της παράστασης από το θεατρόφιλο κοινό.

Ανεξαρτήτως αρχιτεκτονικού ύψους και χρονολογία κατασκευής, βλέπουμε όλα τα θέατρα να έχουν επαρκή ένταση και τα χαρακτηριστικά που οδηγούν σε αυτό είναι και :

- Οι μικρές αποστάσεις ακροατή και σκηνής
- Προσκηνιακού τύπου αρχιτεκτονική

- Και οι βαθείς εξώστες: Συγκεκριμένα οι βαθείς εξώστες λειτουργούν ευεργετικά στη διατήρηση της στάθμης έντασης του ήχου σε καλά επίπεδα ακόμα και σε απόσταση από τα δρώμενα. Επίσης το ταβάνι του εξώστη τροφοδοτεί με πρώιμες ανακλάσεις αυτούς που κάθονται από κάτω. (Αυτά τα τρία είναι συμπεράσματα που επιβεβαιώνουν την υπάρχουσα βιβλιογραφία).

9. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Όπως προέκυψε από τα αποτελέσματα των φυσικών ακουστικών μετρήσεων όλων των θεάτρων, η ακουστική των αιθουσών κρίνεται ικανοποιητική. Αυτό βέβαια οφείλεται και στο γεγονός ότι στην πλειοψηφία των θεάτρων εμφανίζονται σχετικά μικρές αποστάσεις των ακροατών από τα δρώμενα.

Άλλα αρχιτεκτονικά στοιχεία και χαρακτηριστικά όπως φατνωματικές οροφές, βαθείς εξώστες, ανακλαστικά πάνελ κλπ., αναγνωρίστηκαν επίσης ως δυνητικοί συντελεστές της καλής ακουστικής ανεξαρτήτως αρχιτεκτονικής περιόδου και ύφους. Οι εξώστες αποδείχθηκε ότι όχι μόνο δεν είχαν αρνητική επίπτωση στην ακουστική των θεάτρων, αλλά μάλιστα κατά περιπτώσεις οι πρόβολοί τους λειτουργούν και ως ανακλαστικές επιφάνειες προσφέροντας θετικά στη φυσική παράμετρο G (απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου), τουλάχιστον για μία μερίδα του κοινού.

Συμφωνα με τα παραπάνω για την παράμετρο G , επιβεβαιώνονται τα διεθνή συμπεράσματα, όπως φαίνεται από τη βιβλιογραφική αναδρομή, που θεωρεί απαγορευτικές τις αποστάσεις που ξεπερνούν τα 20 μέτρα μεταξύ κοινού και σκηνής, διότι έτσι προκαλείται αισθητή μείωση στη στάθμη έντασης του ήχου. Αυτό το πρόβλημα φαίνεται να αντιμετωπίζεται με τη χρήση ηλεκτροακουστικών μεθόδων, όπως γίνεται στο θέατρο Παλλάς.

Όσον αφορά στη διάταξη των θεατρικών σκηνών, επιβεβαιώνεται η μελέτη του Barron [4] ότι, εν γένει, πλεονεκτούν στην ακουστική απόδοση τα θέατρα προσκηνιακού τύπου.

Κανένα από τα θέατρα που εξετάστηκαν δεν προσφέρονται για τη φιλοξενία μουσικών δρώμενων αφού ο λόγος των πρώιμων προς καθυστερημένες ανακλάσεις βρίσκεται εκτός ορίων σε όλο το φάσμα συχνοτήτων. Μια μικρή εξαίρεση ενδέχεται να παρουσιάζεται στο θέατρο "Χριστίνα Ωνάση" όπου βρέθηκαν εγκατεστημένα ρυθμιζόμενα ανακλαστικά πτερύγια στις πλαϊνές παρειές του θεάτρου, τα οποία μετατρέπονται είτε σε ανακλαστικές (κλειστά πτερύγια) είτε σε ηχοαπορροφητικές επιφάνειες (ανοικτά πτερύγια) ανάλογα με το ύψος της εκδήλωσης.

Σχετικά με την ηχοπροστασία βρήκαμε ότι οι ζώνες ανάσχεσης εξωτερικού θορύβου είναι απαραίτητες και παίζουν κομβική σημασία για να είναι εντός των επιθυμητών ακουστικών προδιαγραφών ο χώρος του θεάτρου, ενώ μια πολύ οικονομική λύση για τον έλεγχο του εξωτερικού θορύβου είναι οι υπόσκαφες κατασκευές οι οποίες δεν απαιτούν μεγαλύτερο ογκο για την κατάσχευη ζωνών ανάσχεσης.

Στα παλιά θέατρα εμβληματικών διαστάσεων που υπέστησαν πρόσφατες ανακαινίσεις βρήκαμε ότι χρησιμοποιήθηκαν τέτοια απορροφητικά υλικά που μείωσαν το χρόνο αντήχησης επιμεριστικά, δηλαδή μόνο στις μεσαίες και υψηλες συχνότητες. Αποτέλεσμα αυτού ήταν να διαταραχθεί η φασματική ισορροπία του ακροάματος. Θα ήταν ενδιαφέρον να διερευνηθεί σε άλλη μελετη, αν το παραπάνω, γίνεται αντιληπτό στα θέατρα που μετρήσαμε κατά τη διάρκεια της παράστασης από το θεατρόφιλο κοινό.

Καταληκτικά, ένα συνολικό συμπέρασμα το οποίο μπορεί να αντληθεί από τις ακουστικές μετρήσεις στο δείγμα των 13 θεάτρων είναι ότι τα θέατρα με μικρότερες διαστάσεις επιτυγχάνουν καλή ακουστική απόδοση δίχως πρόσθετες κατασκευαστικές επεμβάσεις, επομένως πλεονεκτούν από άποψη κόστους. Επίσης αρκετές από τις νέες κατασκευές θεατρικών σκηνών είναι υπόσκαφες καθώς αυτές είναι αδάπανα ηχοπροστατευμένες (βλ. επέκταση του μεγάρου μουσικής, κτίριο i.r.c.a.m. στο Παρίσι).

10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Σωτηροπούλου,Α (2010).Συνεδριακό Κέντρο Σχολής Πολιτικών Μηχανικών´ ακουστικός σχεδιασμός μεγάλου αμφιθεάτρου.5ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2010,4-6 Οκτωβρίου 2010(σ,σ 117-124,Αθήνα : ΕΛ.ΙΝ.Α

Σωτηροπούλου,Α.(2014). Σεβαστοπούλειο εκπαιδευτικό συγκρότημα στην Αθήνα ´ ακουστικός σχεδιασμός αμφιθεάτρου 180-θέσεων. 7ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2014, 20-21 Οκτωβρίου 2014.Θεσσαλονίκη: ΕΛ.ΙΝ.Α

Σωτηροπούλου,Α. (2016). Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα´ διορθωτική ακουστική νεοκλασικών αιθουσών διαλέξεων μνημειακού μεγέθους στην Αθήνα.8ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2016,3-4 Οκτωβρίου 2016(σ,σ 291-299),Αιγάλεω, ΕΛ.ΙΝ.Α

Acoustical Society of America (1985). Theaters for drama performance: Recent experiences in acoustical design. New York: Am. Inst. Physics

Barron, M. (1993). Auditorium Acoustics and Architectural Design. London: E & FN Spon. Also 2nd ed. (2010) e-book, London, New York: Spon press.

Beranek, L.L. (1962). Music, Acoustics and Architecture. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Beranek, L.L. (1996). Concert and Opera Halls, How they sound. New York: Am. Inst. Physics press for the Acoust. Soc. Am.

Cooper D. E. (1969), Statistics for experimentalists. Pergamon Press, London.

Cremer, L., Müller, H.A. & Schultz, T.J. (1982). Principles and Applications of Room Acoustics. Vol. I, II. London and New York: Applied Science Publ., Stuttgart: S. Hirzel Verlag GmbH.

Eysholdt, U. (1976). Subjective investigations and digital simulations of sound fields from concert halls. Dissertation, Georg-August-Universität Göttingen.

Jordan, V.L. (1968). Einige Bemerkungen über Anhall und Anfangsnachhall in Musikräumen. Applied Acoustics, 1, p. 29.

Lehmann, P. & Wilkens, H. (1980). Zusammenhang subjektiver Beurteilungen von Konzertsälen mit raumakustischen Kriterien. Acustica, 45, pp. 256-268.

Nie, N.H., Handlail Hull, C., Jenkins, J.G., Steinbrenner, K., Bent, D.H., Statistical package for the social sciences, 2nd ed., McGraw-Hill Book Co, New York, 1975

Osgood, C.E., Suci, G.J. & Tannenbaum, P.H. (1957). The measurement of meaning. Urbana, Chicago and London: Univ. of Illinois Press.

Sabine, W.C. (1922). Collected papers on acoustics. Cambridge Mass: Harvard Univ. Press.

Sotiropoulou A., Hawkes R.J., & Fleming D.B (1995). Concert hall acoustic evaluations by ordinary concert-goers: I Multi-dimensional description of evaluations. Acustica 81.

STD. ISO 3382-ENGL 1997

Thiele, R. (1953). Directional distribution and sequence of sound reflections in rooms. Acustica, 3, pp. 291-302.

Wright P., 06/12/2012, "Internet Connected LED Light Bulb Comes Home", δημοσίευση στο <http://www.display-central.com/>, τελευταία επίσκεψη 24/02/2018.

Διάφορες πηγές internet.

Καραβόγλου Γ., Φωτομάρας Γ., (2017). ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΥΓΧΡΟΝΩΝ ΘΕΑΤΡΙΚΩΝ ΣΚΗΝΩΝ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ. Επί διπλώματι εργασία, στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα.

Καρύδης Δ. (2008), Τα επτά βιβλία της πολεοδομίας, Αθήνα, Εκδόσεις Παπασωτηρίου.

Μαργάρης Ο., Ράλλης Γ., (2017). ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΘΕΑΤΡΩΝ ΤΟΥ ΝΕΟΚΛΑΣΙΚΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ. Επί διπλώματι εργασία, στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα.

Μιχαλοπούλου Βασιλική (2009). ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΣΥΓΧΡΟΝΟΥ ΘΕΑΤΡΟΥ ΠΡΟΖΑΣ. Επί διπλώματι εργασία, στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα.

Πέτροπουλος Γ., Λουίζος Β., (2018). ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΣΕ ΘΕΑΤΡΙΚΕΣ ΣΚΗΝΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΤΟΥ 20^{ου} ΚΑΙ 21^{ου} ΑΙΩΝΑ. . Επί διπλώματι εργασία, στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα.

Σκούτα Μ., (2018). ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΣΕ ΘΕΑΤΡΙΚΕΣ ΣΚΗΝΕΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΠΟΛΕΜΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΡΝΙΣΜΟΥ. Επί διπλώματι εργασία, στη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ, Αθήνα.

Σωτηροπούλου Α., (2016). Ακουστικός Σχεδιασμός Χώρων Ακροατηρίου, Αθήνα [ηλεκτρ.βιβλ]: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών Διαθέσιμο στο <http://hdl.handle.net/11419/5850>

Τριανταφύλλου Α., (2016). ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΘΕΑΤΡΟ
ΛΑΜΙΑΣ-Προσέγγιση στην ιστορία του, Λαμία 2016

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

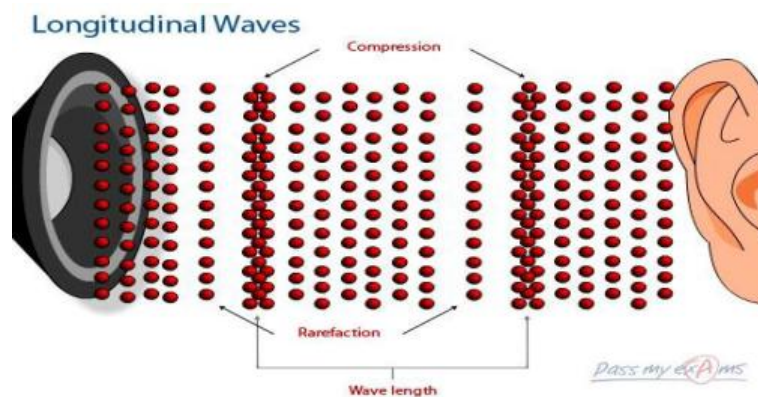
A.1 Εισαγωγή

Η ακουστική μελετά τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά του ήχου, καθώς επίσης και τις εφαρμογές του. Αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι της αρχιτεκτονικής, αφού διερευνά την αλληλεπίδραση του ήχου με τα δομικά υλικά και τις μορφές και συνεισφέρει στην καλύτερη αντίληψη του. Τα παρακάτω στοιχεία έχουν αντληθεί από τις εξής πηγές: (Σωτηροπούλου Α., 2016 (ηλεκτρ. βιβλ.))

A.2 Ήχος και ηχητικές παράμετροι

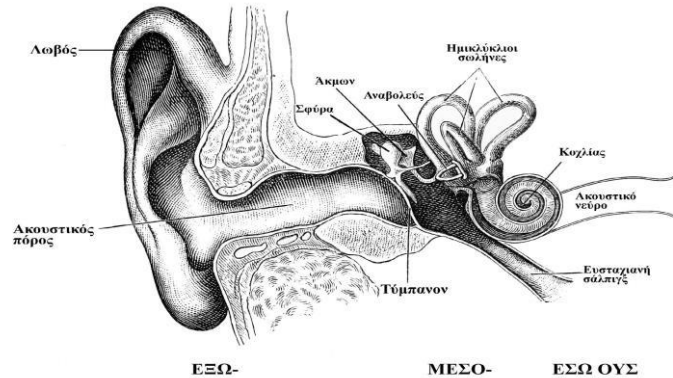
Ως ήχος ορίζεται η μηχανική διαταραχή που διαδίδεται με ορισμένη ταχύτητα μέσα σε ένα μέσο (υγρό, στερεό και αέριο), το οποίο μπορεί να αναπτύξει εσωτερικές δυνάμεις (π.χ. Ελαστικότητας, εσωτερικής τριβής) και έχει τέτοιο χαρακτήρα, ώστε να μπορεί να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής και να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα.

Ο ήχος παράγεται όταν μια ηχητική πηγή ταλαντώνεται, δηλαδή κάνει παλμικές κινήσεις. Λόγω των ελαστικών ιδιοτήτων του υλικού η ενέργεια της ταλάντωσης μεταφέρεται από κάθε μόριο στα γειτονικά του, προκαλώντας μεταβολές πίεσης. Έτσι δημιουργούνται πυκνώματα (περιοχές υψηλής πίεσης) και αραιώματα (περιοχές χαμηλής πίεσης), τα οποία «ταξιδεύουν» μέσα στο υλικό παράλληλα στη διεύθυνση ταλάντωσης των μορίων του.



Σχήμα Α.1: Πυκνώματα και αραιώματα

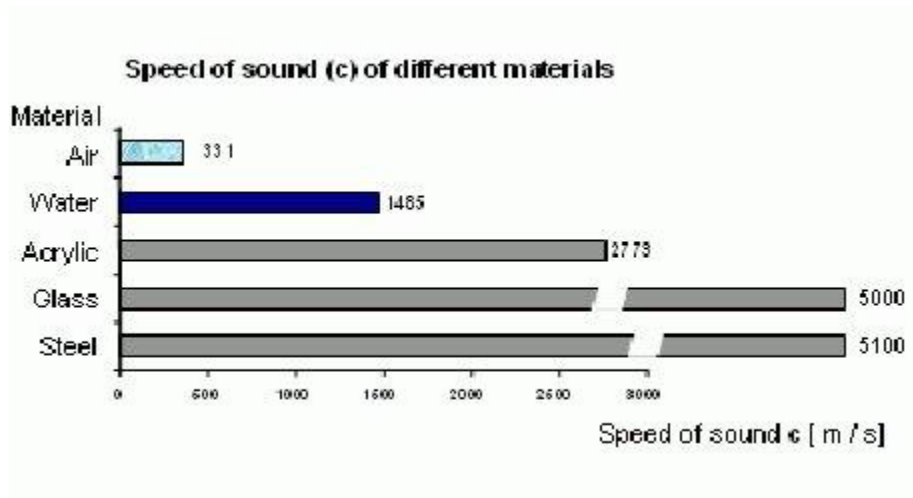
Ο ήχος, μέσω του ακουστικού πόρου θέτει το τύμπανο σε παλμική κίνηση. Αυτή, μέσω της σφύρας του άκμονος και του αναβολέως(ακουστικά οστάρια που λειτουργούν εν είδει μοχλού) μεταβιβάζεται στην ωοειδή θυρίδα και από εκεί, μέσα στον κοχλία.



Σχήμα Α.2: Ανατομία του οργάνου της ακοής

Ο κοχλίας είναι ένας οστεώδης συσπειρωμένος σωλήνας στο έσω ούς, θεμελιώδης για την αντίληψη της ακοής και είναι γεμάτος με υγρό μέσα στο οποίο θα κινηθεί ο ήχος. Η παλμική κίνηση (ήχος) μέσα στο υγρό του κοχλίας, από τον αιθουσαίο σωλήνα μεταφέρεται (μέσω του ελικοτήρηματος) στον τυμπανιαίο σωλήνα· εκεί θέτει σε κίνηση τη βασική μεμβράνη και τις τριχοειδείς απολήξεις (haircells) του ακουστικού νεύρου (οι οποίες είναι εμφυτευμένες στην κάτω επιφάνεια της βασικής μεμβράνης)· αυτή η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια που τελικά διαβιβάζεται στον εγκέφαλο.

Η **ταχύτητα** του ήχου είναι η ταχύτητα διάδοσης των ηχητικών κυμάτων, συμβολίζεται με c και μετρείται σε m/sec(μέτρα ανά δευτερόλεπτο). Η ταχύτητα του ήχου είναι διαφορετική σε κάθε μέσο διάδοσης και εξαρτάται από το υλικό του μέσου καθώς επίσης και από την θερμοκρασία. Στα στερεά ο ήχος διαδίδεται γρηγορότερα από ότι στα υγρά και ακόμα πιο αργά στα αέρια.



Σχήμα A.3: Ταχύτητα διάδοσης ήχου σε διαφορετικά μέσα

Στην περίπτωση που το μέσο είναι ο αέρας ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$c = 332 \sqrt{1 + \frac{T}{273}}$$

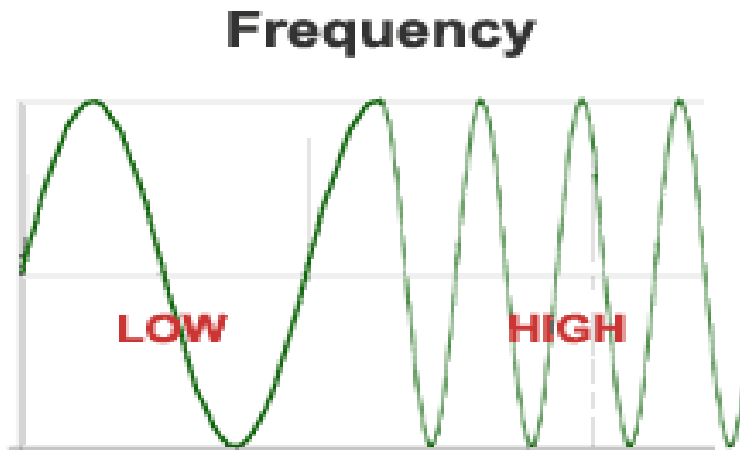
Στην ακουστική χώρων χρησιμοποιούμε την ταχύτητα του ήχου στον αέρα σε θερμοκρασία δωματίου που λαμβάνεται γύρω στους 20°C, είναι ίδια για όλες τις συχνότητες και ισούται με 340 m/s.

Η φυσική περιγραφή ενός ήχου επιτυγχάνεται με την βοήθεια αναφοράς στην συχνότητα και στην στάθμη του ήχου.

Η **περίοδος** του ήχου είναι ο χρόνος που χρειάζεται το ηχητικό κύμα για να πραγματοποιήσει έναν πλήρη κύκλο, συμβολίζεται με T και μετράται σε δευτερόλεπτα *sec*.

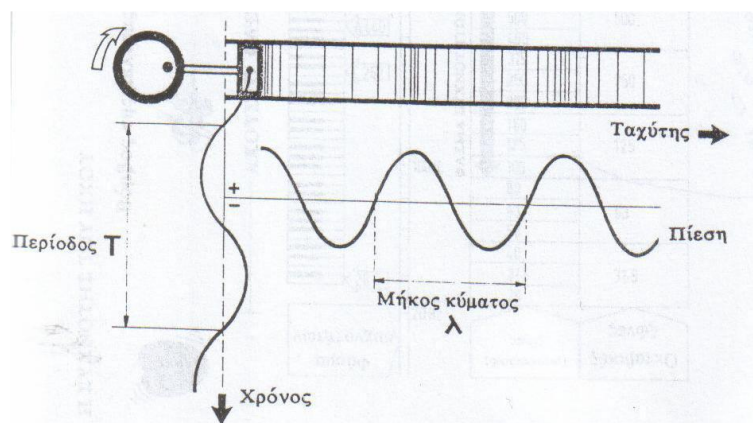
Η **συχνότητα** του ήχου είναι ο ρυθμός με τον οποίο πάλλονται τα σωματίδια του αέρα κατά τη διάδοση του ηχητικού κύματος, συμβολίζεται με f και ορίζεται ως ο αριθμός των κορυφών που διαμορφώνονται σε χρονικό διάστημα ενός

δευτερολέπτου και μετράται σε Hz(Hertz), ενώ παράλληλα είναι το αντίστροφο της περιόδου T , δηλαδή $f = \frac{1}{T}$.



Σχήμα A.4: Απεικόνιση χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων

Ως **μήκος κύματος** του ήχου ορίζεται η απόσταση που διανύει το ηχητικό κύμα μέχρι να ολοκληρωθεί ένα πλήρης κύκλος, συμβολίζεται με λ και μετράται σε m(μέτρα).



Σχήμα A.5: Σχηματική παράσταση των φυσικών ιδιοτήτων του ήχου

Οι ηχητικές παράμετροι (μήκος κύματος του ήχου, ταχύτητα, περίοδος, συχνότητα) συνδέονται με τη σχέση:

$$c = \frac{\lambda}{T}$$

ή

$$c = \lambda * f$$

A.3 Οκτάβα, Τριτοκτάβα

Τα ακουστικά προβλήματα αντιμετωπίζονται σε συνάρτηση με τη συχνότητα, αφού οι περισσότεροι ήχοι αποτελούνται από διάφορες συχνότητες, χαμηλές, μεσαίες, υψηλές.

Η **οκτάβα** είναι ένα θεμελιώδες μουσικό διάστημα που αντιστοιχεί στον διπλασιασμό της συχνότητας, δηλαδή ο λόγος της αρχικής συχνότητας f_1 προς την τελική συχνότητα f_2 ισούται με 2 ($\frac{f_2}{f_1} = 2$). Η οκτάβα είναι μονάδα μέτρησης διαστήματος συχνοτήτων και λαμβάνει την ονομασία της από την κεντρική συχνότητα του κάθε διαστήματος ($f_o = \sqrt{f_1 * f_2}$). Ο λόγος των κεντρικών συχνοτήτων σε δύο διαδοχικές οκτάβες ισούται με δύο. Οι κεντρικές συχνότητες του ακουστούχηχτικού φάσματος είναι οι 20 , 40 , 80 , 160, 315, 630 , 1.250, 2.500 , 5.000, 10.000, 20.000 Hz και οι κεντρικές συχνότητες από τις οκτάβες που χρησιμοποιούνται για την ακουστική χώρου είναι οι 125, 250 , 500, 1.000, 2.000 , 4.000 Hz.

Ορισμένες φορές, για μεγαλύτερη ανάλυση, χρησιμοποιούμε την **τριτοκτάβα**, ζώνη συχνοτήτων, στην οποία ισχύει $\frac{f_2}{f_1} = 2^{1/3}$. Οι κεντρικές συχνότητες του ακουστού ηχητικού φάσματος είναι οι 20 , 31.5 , 40 , 50 , 63, 80 , 100, 125, 160, 200 , 250 , 315, 400 , 500, 630 , 800 , 1.000, 1.250, 1.600, 2.000, 2.500 , 3.150, 4.000 , 5.000, 6.300 , 8.000, 10.000, 12.500, 16.000, 20.000 Hz.



Σχήμα Α.6: Οκταβικές και τριτοκταβικές ζώνες του φάσματος

A.4 Στάθμη έντασης του ήχου

Ηχητική ένταση σε ένα σημείο του ηχητικού πεδίου και προς μια καθορισμένη διεύθυνση είναι το πηλίκο της μέσης ηχητικής ισχύος που διαπερνά κάθετα μια στοιχειώδη επιφάνεια διά του εμβαδού της επιφανείας.

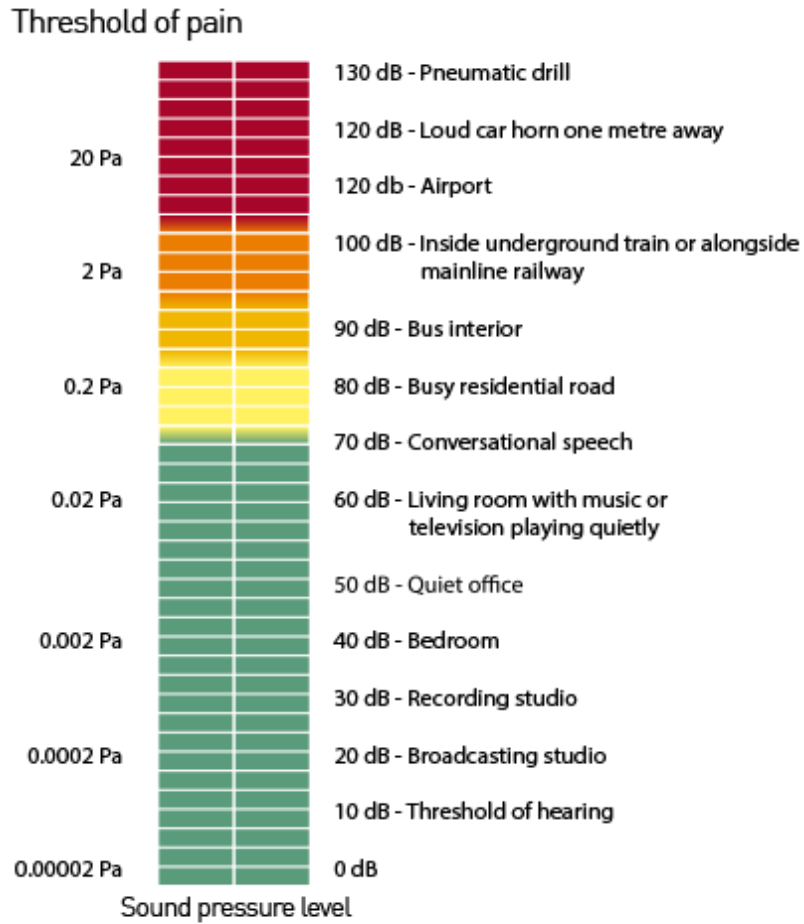
Η στάθμη έντασης του ήχου υποκειμενικά, είναι εκείνο που διαφοροποιεί έναν έντονο ήχο από έναν αδύναμο ήχο.

Η ηχητική πίεση σε συγκεκριμένο σημείο του ηχητικού πεδίου είναι η διαφορά της στατικής πίεσης του μέσου από την ολική πίεση που υπάρχει σε αυτό το σημείο. Ως ηχητική πίεση αναφοράς λαμβάνεται στον αέρα ίση με 0,00002 N/m².

Η στάθμη έντασης του ήχου μετριέται σε dB (Decibel). Το όργανο της ακοής λειτουργεί σε λογαριθμική κλίμακα, για αυτό για να υπολογιστεί η στάθμη του ήχου χρησιμοποιείται λογάριθμος, όπως φαίνεται στην παρακάτω σχέση

$$\left[\frac{\text{ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ}}{\text{ΤΟΥ ΗΧΟΥ}} \right] = 10 \log \left[\frac{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ}}{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}} \right]^2, \text{ [dB]}$$

Για συνεχείς ήχους η ελάχιστη μεταβολή στην στάθμη του ήχου που γίνεται ευχερώς αντιληπτή είναι 3dB.



Σχήμα Α.7: Αντιστοιχία ηχητικής πίεσης και στάθμης έντασης του ήχου

Τα dB δεν προστίθενται αλγεβρικά, αλλά πρέπει πρώτα να προσθέσουμε τα αντίστοιχα τετράγωνα των πιέσεων και μετά να λογαριθμήσουμε το άθροισμα. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ένας πιο απλός τρόπος άθροισης ήχων, όπου για κάθε διαφορά στάθμης των δύο ηχητικών πηγών που προσθέτουμε αντιστοιχεί ένας αριθμός, τον οποίο προσθέτουμε στην υψηλότερη στάθμη ήχου.



Σχήμα A.8: Πρόσθεση Decibel

Για παράδειγμα, αν προσθέσουμε δύο ήχους 60 dB που παράγονται ταυτόχρονα, η συνολική στάθμη δεν είναι 120 dB, αλλά 63 dB.

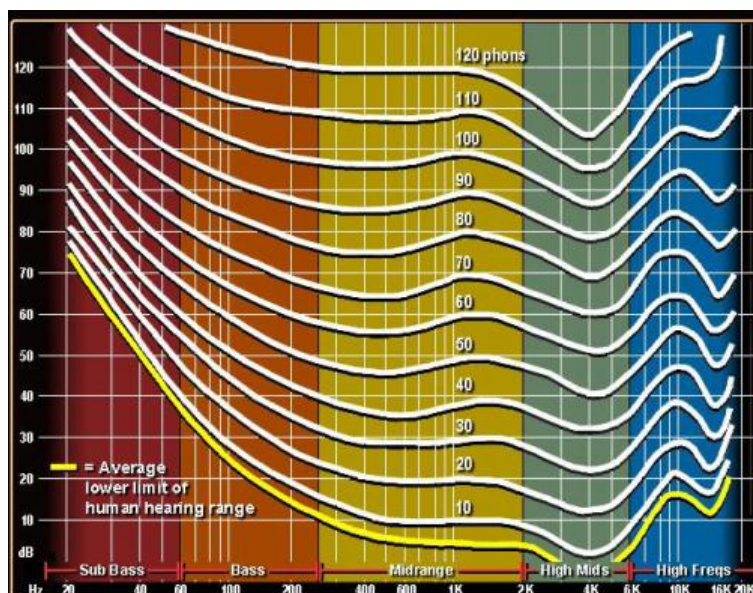


A.5. Ακουστότητα και αντίληψη του ήχου

Ακουστότητα είναι η αντίληψη της στάθμης έντασης ενός ήχου. Η στάθμη ακουστότητας είναι το υποκειμενικό εκείνο χαρακτηριστικό γνώρισμα του ήχου, το οποίο παρέχει το μέγεθος της ακουστικής εντυπώσεως, που προκαλείται στο ακουστικό σύστημα του ανθρώπου.

Γενικά, η στάθμη ακουστότητας που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο σύστημα ακοής, δεν ταυτίζεται με την στάθμη ηχητικής έντασης ή την στάθμη ακουστικής πίεσης. Αυτό συμβαίνει επειδή το ανθρώπινο αυτί παρουσιάζει διαφορετική ευαισθησία στις διάφορες ακουστές συχνότητες.

Η κλίμακα της στάθμης ακουστότητας σε μονάδες ρηονταύιζεται αριθμητικά με την κλίμακα της στάθμης έντασης σε dBμόνο στην συχνότητα αναφοράς, δηλαδή στην συχνότητα των 1000 Hz. Για όλες τις άλλες συχνότητες η μετάβαση από την κλίμακα της στάθμης ακουστότητας στην κλίμακα της στάθμης έντασης γίνεται με την βοήθεια του διαγράμματος των ισοακουστικών καμπυλών, δημιούργημα των H. Fletcher και W.A. Munson. Η ισοακουστική καμπύλη των μηδέν ρηον ονομάζεται «κατώφλι ακουστότητας».



Σχήμα Α.9: Καμπύλες ισοακουστότητας κατά Fletcher&Munson

Η **αντίληψη** του ήχου αποτελεί βασική αίσθηση σε πολλούς οργανισμούς και πραγματοποιείται μέσω της ακοής. Χρησιμοποιείται για διάφορους λόγους, όπως επικοινωνία, ψυχαγωγία, μουσική σύνθεση, προειδοποίηση και αποφυγή κινδύνων. Στον άνθρωπο η ακοή εκτείνεται για ήχους με συχνότητα μεταξύ 20 Hz και 20.000 Hz. Το εύρος αυτό διαφέρει και σε μεγαλύτερες ηλικίες παρατηρείται μείωση της αντίληψης υψηλών συχνοτήτων. Ήχοι με συχνότητα κάτω ή άνω των ορίων αυτών ονομάζονται υπήχοι ή υπέρηχοι αντιστοίχως και δεν γίνονται αντιληπτοί από το ανθρώπινο αυτί. Σε άλλους

οργανισμούς το φάσμα της ακοής διαφέρει, για παράδειγμα στον σκύλο το εύρος ακοής εκτείνεται μεταξύ 40 Hz και 60.000 Hz. Οι υπόηχοι και οι υπέρηχοι, αν και δεν γίνονται αντιληπτοί από τον άνθρωπο, μπορεί να έχουν βλαπτική επίδραση στην υγεία του. Η μέγιστη ευαισθησία του οργάνου της ακοής παρατηρείται μεταξύ 3000 Hz και 4000 Hz. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η ευαισθησία του οργάνου της ακοής σταδιακά μειώνεται στη χαμηλή περιοχή του φάσματος.

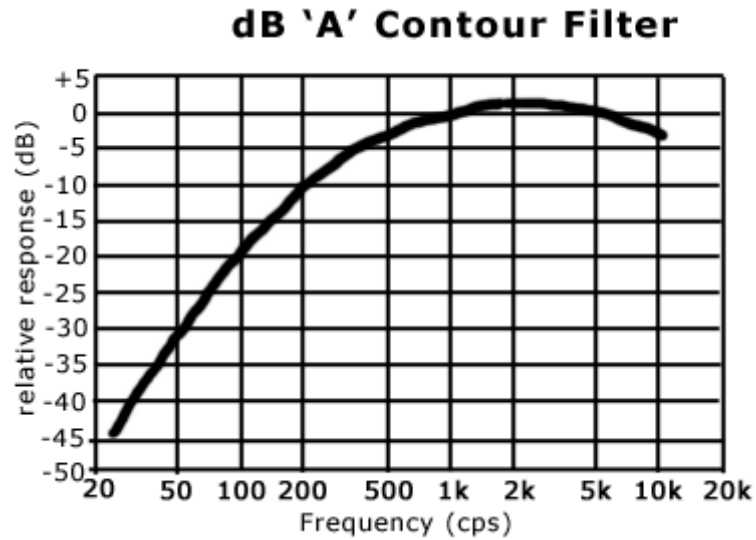


Σχήμα A.10: Εύρος συχνοτήτων της ανθρώπινης ακοής

A.6 A-σταθμισμένη ηχοστάθμη (dBA)

Η **A-σταθμισμένη ηχοστάθμη** είναι ένα μονότιμο μέγεθος που αποτιμά τη στάθμη έντασης του ήχου σε dB, ενώ ταυτόχρονα λαμβάνει υπόψη την ποικίλη ευαισθησία του οργάνου της ακοής στις διαφορετικές περιοχές και η μονάδα μέτρησης του είναι dBA. Για να προσομοιαστεί καλύτερα η υποκειμενική αντίληψη του ανθρώπου για την ένταση του ήχου, πρέπει να περιοριστεί η επίδραση των υψηλών και χαμηλών συχνοτήτων σε σχέση με τις μεσαίες συχνότητες, γι' αυτό και η συγκεκριμένη ηχοστάθμη είναι η πιο διαδεδομένη σε σχέση με τις υπόλοιπες (καμπύλες φίλτρων B, C και D). Επίσης αποκαλείται και στάθμη θορύβου.

Το dBA σταθμίζει τη στάθμη έντασης του ήχου στις διάφορες περιοχές του φάσματος σύμφωνα με την ευαισθησία του οργάνου της ακοής σε κάθε μία από αυτές και μετάαθροίζει τις διάφορες στάθμες.



Σχήμα A.11: Καμπύλη A-στάθμισης

Οι συντελεστές A-στάθμισης (W_A) προκύπτουν από τον ακόλουθο τύπο:

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

Παρακάτω φαίνονται οι συντελεστές που προκύπτουν για τις διάφορες οκταβικές ζώνες

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΑΙ Α-ΣΤΑΘΜΙΣΗΣ

Οκτ. ζώνες	125	250	500	1000	2000	4000	[Hz]
Συντελεσταί	-16	-9	-3	0	+1	+1	[dB]

A.7 Ακουστική κλειστού χώρου

Τα ηχητικά κύματα σπανίως διαδίδονται σε εντελώς ελεύθερα πεδία, καθώς στην διαδρομή τους θα συναντήσουν πολλών ειδών εμπόδια. Για την ακουστική των κλειστών χώρων μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα τεχνητά και ορατά εμπόδια, όπως οι επιφάνειες, τα έπιπλα ενός δωματίου και οι άνθρωποι. Έτσι προκαλούνται κάποια φαινόμενα τα όποια κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν γιατί μπορεί να ενισχύσουν την καλή ακουστική ή να δημιουργήσουν προβλήματα.

A.7.1 Διάδοση ήχου

Ο ήχος που λαμβάνουν οι άνθρωποι μέσα σε ένα κλειστό χώρο μπορεί να διαχωριστεί σε τρεις συνιστώσες: απευθείας ήχος, πρώιμες ανακλάσεις και αντήχηση. Ο **απευθείας ήχος** είναι ο πρώτος ήχος που φτάνει στο αυτί του ακροατή, ο οποίος «ταξιδεύει» απευθείας από την πηγή.

Ακολουθείται από τις **πρώιμες ανακλάσεις** του ήχου από τους πλαϊνούς τοίχους, την οροφή κλπ., οι οποίες φτάνουν αργότερα, επειδή χρειάζεται να διανύσουν μεγαλύτερη απόσταση. Οι πρώιμες ανακλάσεις μπορούν να φτάσουν στον ακροατή μέχρι και 50 ms (100 ms για μεγάλες αίθουσες) από τη στιγμή που παράχθηκε ο ήχος και ορίζεται ως κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων (EEF_{50} ή $D50$) ο λόγος της ηχητικής ενέργειας που φτάνει στον ακροατή εντός 50 ms προς την συνολική ηχητική ενέργεια που φτάνει σε αυτόν. Υπολογιστικά προσδιορίζεται από τον παρακάτω τύπο (Barron, 1988):

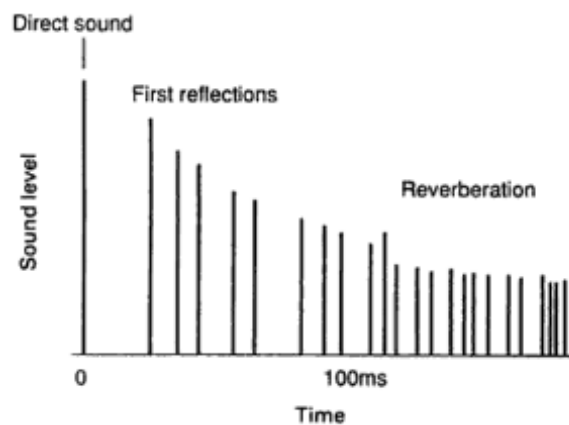
$$EEF_{50} = \frac{(d+e_r)}{(d+e_r+1)}$$

όπου:

d: ενέργεια απευθείας ήχου, ως προς τον απευθείας ήχο της ίδιας πηγής στο ύπαιθρο σε απόσταση 10 m. $\{d = 100 / r\}$ όπου r: απόσταση από την πηγή σε m.

e_r: ανακλώμενη ηχητική ενέργεια που φθάνει στον ακροατή εντός 50 ms μετά τον απευθείας ήχο, ως προς τον απευθείας ήχο της ίδιας πηγής στο ύπαιθρο σε απόσταση 10 m. $\{e_r = (31200 T/V) e^{-0.04*r/T} (1 - e^{-1.11/T})\}$ όπου V: όγκος του χώρου σε m³ και T: χρόνος αντήχησης σε s.

1: ηχητική ενέργεια που φθάνει στον ακροατή μετά τα 50 ms, ως προς τον απευθείας ήχο της ίδιας πηγής στο ύπαιθρο σε απόσταση 10m. $\{1 = (31200 T/V) e^{-0.04*r/T} e^{-1.11/T}\}$.



Σχήμα A.12: Ηχητικές ακτίνες σε κλειστούς χώρους

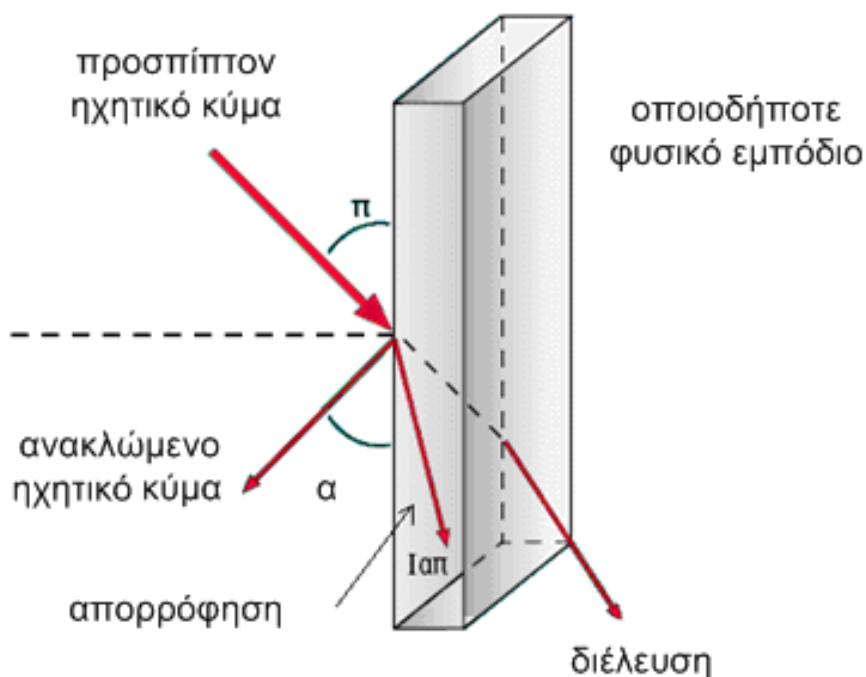
Μία ακόμα παράμετρος που πρέπει να αναφερθεί είναι το κλάσμα των πρώιμων προς των καθυστερημένων ανακλάσεων(C50). Αυτή η παράμετρος προκύπτει μέσω του D50 όπως φαίνεται παρακάτω και εκφράζεται σε dB. Η συγκεκριμένη παράμετρος συνήθως υπολογίζεται για τον πρώιμο ήχο που φθάνει στο ακροατήριο μετά τα 80 ms (C80).

$$C_{50} = 10 \log \left(\frac{D_{50}}{1 - D_{50}} \right)$$

Η ηχητική ενέργεια που φτάνει στον ακροατή μετά το χρονικό όριο των 50 ms (100 ms για μεγάλες αίθουσες) ονομάζεται **αντήχηση**, στην οποία θα αναφερθούμε εκτενώς παρακάτω.

A.7.2 Ανάκλαση

Ως **ανάκλαση** ορίζεται η αλλαγή στην πορεία του ήχου λόγω πρόσπτωσης σε μια επιφάνεια. Η γωνία ανάκλασης (α) είναι ίδια με τη γωνία πρόσπτωσης (π), και η διεύθυνση του ανακλώμενου κύματος είναι συμμετρική ως προς το νοητό άξονα που περνά από το σημείο κρούσης και είναι κάθετος στην επιφάνεια.

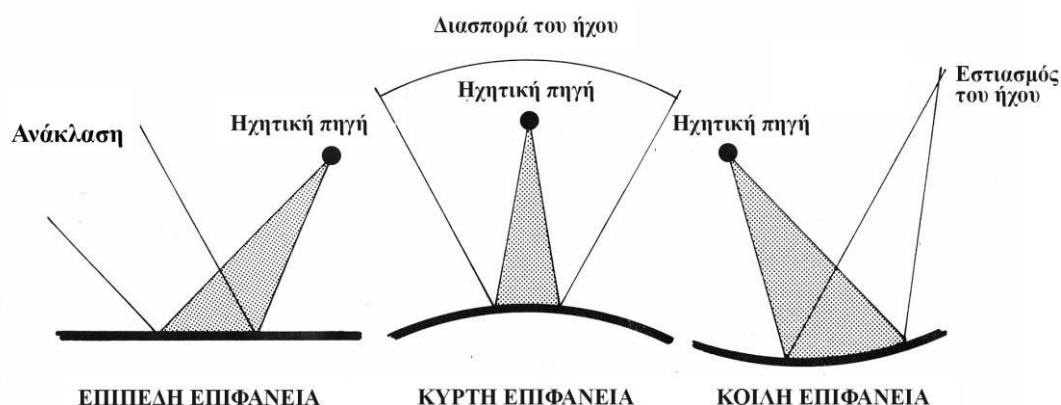


Σχήμα A.13: Πρόσπτωση ηχητικού κύματος σε επίπεδη ανακλαστική επιφάνεια

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ακριβώς η διαδικασία της ανάκλασης των ηχητικών κυμάτων, όπου ένα μέρος της ενέργειας του ανακλάται και το υπόλοιπο μεταβιβάζεται στο εμπόδιο, στο οποίο καταναλώνεται με δύο

τρόπους: κάποιο ποσοστό της απορροφάται από το ίδιο το εμπόδιο και κάποιο θέτει σε κίνηση την επιφάνειά του, δημιουργώντας ένα νέο κύμα που εκπέμπεται από την άλλη του πλευρά.

Η διασπορά του ήχου ποικίλλει ανάλογα με την επιφάνεια πρόσπτωσης, η οποία ονομάζεται ανακλαστήρας. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανακλαστήρων μερικοί εκ των οποίων έχουν ευεργετικά αποτελέσματα ανάλογα με την μορφή τους. Ο επίπεδος και ακόμα περισσότερο ο κυρτός ανακλαστήρας έχουν καλύτερη επιρροή στην ανάκλαση του ήχου σε σχέση με τον κοίλο, ο οποίος καλύτερα να αποφεύγεται καθώς δημιουργεί προβλήματα εστιασμού.



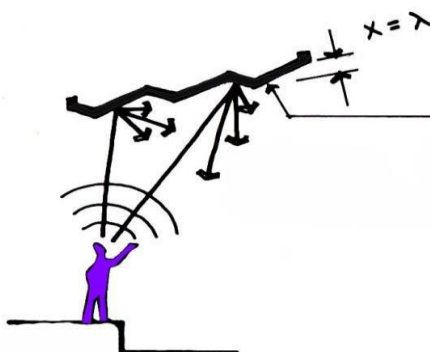
Σχήμα Α.14: Επιρροή της μορφής του κελύφους του χώρου στην ανάκλαση του ήχου

A.7.4 Διέλευση

Το φαινόμενο της **διέλευσης** παρατηρείται, εφόσον δεν ισχύουν ιδανικές συνθήκες, όπου ένα μέρος της ηχητικής ενέργειας «εισχωρεί» στο υλικό, το οποίο τίθεται με τη σειρά του σε ταλάντωση, δημιουργώντας ένα νέο ηχητικό κύμα που εκπέμπεται από την άλλη του πλευρά. Η αποτροπή της διέλευσης του ήχου αποτελεί το κυριότερο ζητούμενο στην ηχομόνωση χώρων.

A.7.5 Διάχυση

Ως **διάχυση** ορίζεται ο σκεδασμός μιας ανακλώμενης ηχητικής ακτίνας σε ασθενέστερες ακτίνες τυχαίας κατανομής. Το φαινόμενο αυτό πραγματοποιείται όταν το μέγεθος (x) της ανακλαστικής επιφάνειας ισούται με το μήκος κύματος (λ) του ήχου. Για να πραγματοποιηθεί αυτό το φαινόμενο τοποθετούνται ειδικά διαμορφωμένες κατασκευές, οι οποίες «διασπούν» το ηχητικό κύμα στις επιμέρους συχνότητες, από τις οποίες αποτελείται, δημιουργώντας ένα πεδίο ανάκλασης που απλώνεται ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του χώρου.

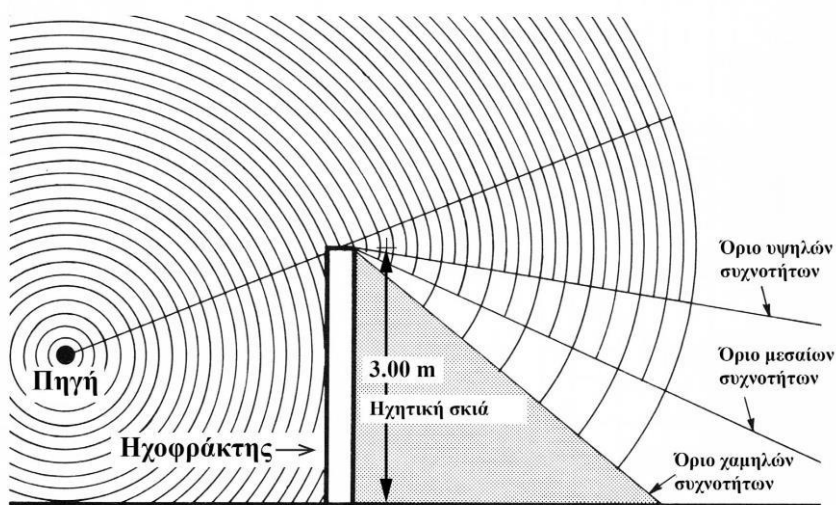


Σχήμα A.15: Το φαινόμενο της διάχυσης

A.7.6 Περίθλαση

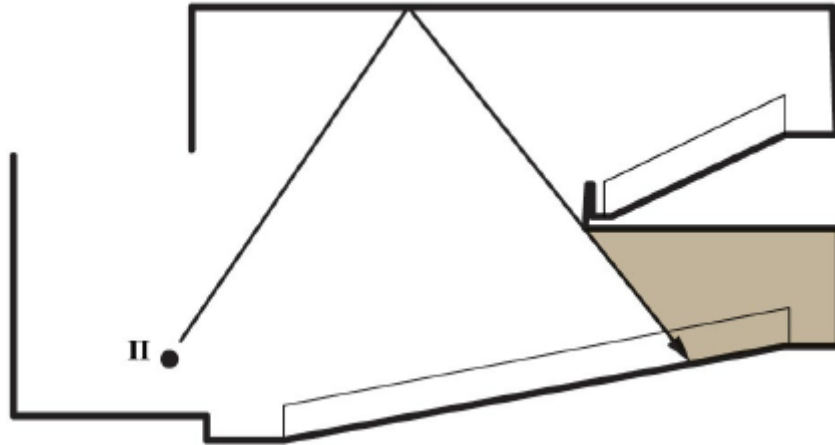
Η **περίθλαση** είναι η το φαινόμενο της διάχυσης των κυμάτων προς όλες τις κατευθύνσεις όταν αυτά συναντούν ένα εμπόδιο ή μία οπή με διαστάσεις

παραπλήσιες του μήκους κύματος. Το φαινόμενο αυτό έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ασαφούς ηχητικής σκιάς (shadowzone), δηλαδή μείωση της στάθμης του ήχου. Ο βαθμός περίθλασης εξαρτάται από το μήκος κύματος του ήχου σε σχέση με το μέγεθος του εμποδίου. Οι υψηλές συχνότητες που έχουν σχετικά μικρό μήκος κύματος δεν περιθλώνται σε αντίθεση με τις χαμηλές συχνότητες, οι οποίες περιθλώνται στην άλλη πλευρά του εμποδίου.



Σχήμα A.16: Το φαινόμενο της περίθλασης

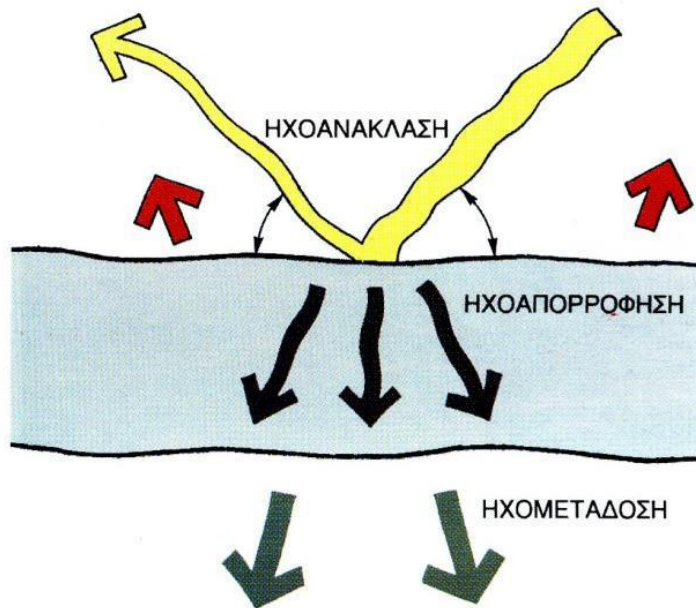
Στους κλειστούς χώρους το φαινόμενο της περίθλασης πραγματοποιείται όταν υπάρχει βαθύς εξώστης (μεγαλύτερος των 2-3 m). Σε αυτήν την περίπτωση οι περισσότερες θέσεις που βρίσκονται κάτω από τον εξώστη στερούνται υψίσυχνους ήχους, για αυτόν τον λόγο τέτοιοι εξώστες, όπως στην παρακάτω εικόνα, πρέπει να αποφεύγονται.



Σχήμα A.17: Απεικόνιση ηχητικής σκιάς κάτω από βαθύ εξώστη

A.7.7 Ηχοαπορρόφηση

Κατά την πρόσπτωση του ήχου σε κάποιο πέτασμα του χώρου, ένα ποσό του ανακλάται και ένα άλλο απορροφάται. **Ηχοαπορρόφηση** ονομάζεται το ποσό του ήχου το οποίο απορροφάται. Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα ένα μέρος της ηχητικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα εντός του υλικού (ηχοαπορρόφηση) και το υπόλοιπο μεταδίδεται ως ηχητική ενέργεια στο μέσο, που υπάρχει πίσω από το πέτασμα (ηχομετάδοση).



Σχήμα Α.18: Το φαινόμενο της ηχοαπορρόφησης

Για τον υπολογισμό της ηχοαπορρόφησης χρησιμοποιείται ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης «α», ο οποίος ορίζεται ως το ποσοστό εκ του προσπίπτοντος επί του υλικού ήχου, που δεν ανακλάται και συνδέεται άμεσα με τη γωνία πρόσπτωσης. Η τιμή του συντελεστή ηχοαπορρόφησης κυμαίνεται από 0 έως 1, από την πλήρη ανάκλαση έως την πλήρη απορρόφηση του ήχου.

Επίσης ορίζεται ως ηχοαπορρόφηση επιφάνειας το γινόμενο του συντελεστή «α» επί το εμβαδό της επιφάνειας.

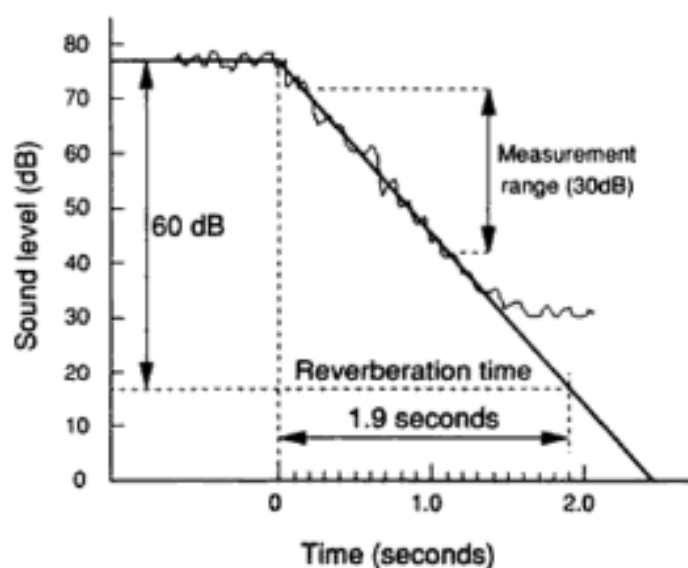
A.7.8.1 Αντήχηση και χρόνος αντήχησης (RT)

Αντήχηση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο ένας ήχος συνεχίζει να υπάρχει στον χώρο και να είναι ακουστός ακόμη και όταν ο μηχανισμός που τον δημιουργεί έχει πάψει να υφίσταται. Ο **χρόνος αντήχησης (RT)** είναι το μέγεθος του χρόνου που χρειάζεται για να επιτευχθεί μείωση της ηχητικής

πίεσης, (που δημιουργείται στο χώρο αυτό από μία ηχητική πηγή) κατά 60 dB, μετά την παύση της, για κάθε συχνότητα και μετρείται σε sec.

Αντί της μέτρησης ή υπολογισμού του χρόνου αντήχησης, σύμφωνα με το βασικό ορισμό, συνήθως μετρείται ή υπολογίζεται στα διάφορα σημεία μιας αίθουσας το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τη μείωση της στάθμης από -5dB σε -35dB (μείωση κατά 30 dB) ή από -5 dB σε -20dB (μείωση κατά 15 dB) ή από 0 dB σε -10 dB (μείωση κατά 10dB). Για την εύρεση του χρόνου αντήχησης τα αποτελέσματα της πρώτης κατηγορίας μέτρησης διπλασιάζονται, της δεύτερης τετραπλασιάζονται και της τρίτης εξαπλασιάζονται. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα συμβολίζονται ως T30 T15 και EDT (από τα αρχικά του όρου EarlyDecayTime που μπορεί να αποδοθεί ως «αρχικώς» ή «πρώιμος» χρόνος αντήχησης). Η μείωση της στάθμης συναρτήσει του χρόνου δεν είναι ομαλή επομένως, γενικά, οι παράμετροι αυτές δεν έχουν τις ίδιες τιμές.

Για αίθουσες μουσικής ο χρόνος αντήχησης είναι συνήθως πάνω από 2 sec, ενώ ειδικά για αίθουσες «rock» μουσικής όπου επικρατούν μπάσα, πρέπει να είναι μικρότερος από 1.2 sec. Αντίθετα, σε χώρους ομιλίας ο χρόνος αντήχησης δεν πρέπει να ξεπερνά το 1 sec.



Σχήμα A.19: Σχηματική απεικόνιση της απόσβεσης του ήχου σε κλειστό χώρο

Ο Sabine καθόρισε πειραματικά την μεταβλητή αυτή ως:

$$R T = \frac{0.16 V}{\sum_i F_i \alpha_i + Vx}, \quad [s]$$

όπου:

RT: χρόνος αντήχησης [s]

V : όγκος του χώρου [m³]

F_i: επιφάνεια του νιοστού υλικού του χώρου [m²]

α_i: συντελεστής ηχοαπορρόφησης του νιοστού υλικού [%] ή [Sab]

x: ηχοαπορρόφηση του αέρα ανά μονάδα όγκου [%] ή [Sab]

v: το πλήθος των ηχοαπορροφητικών υλικών στο χώρο

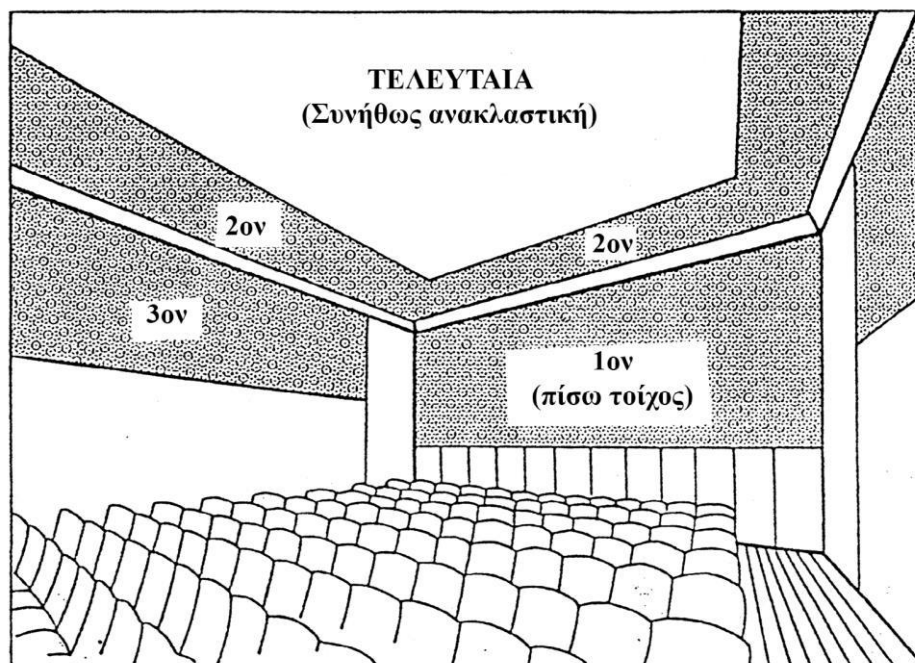
Απαραίτητη προϋπόθεση για να ισχύει ο παραπάνω τύπος είναι το διάχυτο ηχητικό πεδίο.

Με τη χρήση του συγκεκριμένου τύπου μπορούν να υπολογιστούν τα τετραγωνικά ηχοαπορρόφησης που απαιτούνται, εφόσον δίνεται ο χρόνος αντήχησης.

Ιδιαίτερη προσοχή κατά την χρήση αυτού του τύπου θα πρέπει να δοθεί σε χώρους με μεγάλη αναλογία ηχοαπορρόφησης (δηλαδή σε χώρους όπου χρησιμοποιείται ηχοαπορροφητικό δάπεδο και οροφή), καθώς και σε αίθουσες με μορφολογημένη οροφή που ανακλά σχεδόν το σύνολο του ήχου απευθείας στο ακροατήριο.

Τέλος, επισημαίνεται ότι κατά κανόνα ο πραγματικός χρόνος αντήχησης προκύπτει μικρότερος των υπολογισμών, κάτι μπορεί να αποδειχθεί ολέθριο για παράδειγμα σε αίθουσες συναυλιών.

Η επιλογή τοποθέτησης των ηχοαπορροφητικών υλικών σε μία αίθουσα καλό είναι να ακολουθεί τον κανόνα που απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα A.20: Βέλτιστη τοποθέτηση ηχοαπορροφητικών υλικών σε αίθουσα ομιλίας

A.7.8.2 Χρόνος αντήχησης με ακροατήριο

Στις περισσότερες περιπτώσεις ο χρόνος αντήχησης μετρείται χωρίς ακροατήριο χάριν ευκολίας και για τον υπολογισμό του με ακροατήριο πρέπει να γίνει κατάλληλη τροποποίηση, έτσι ώστε να ληφθεί υπόψιν η ηχοαπορρόφηση του κοινού.

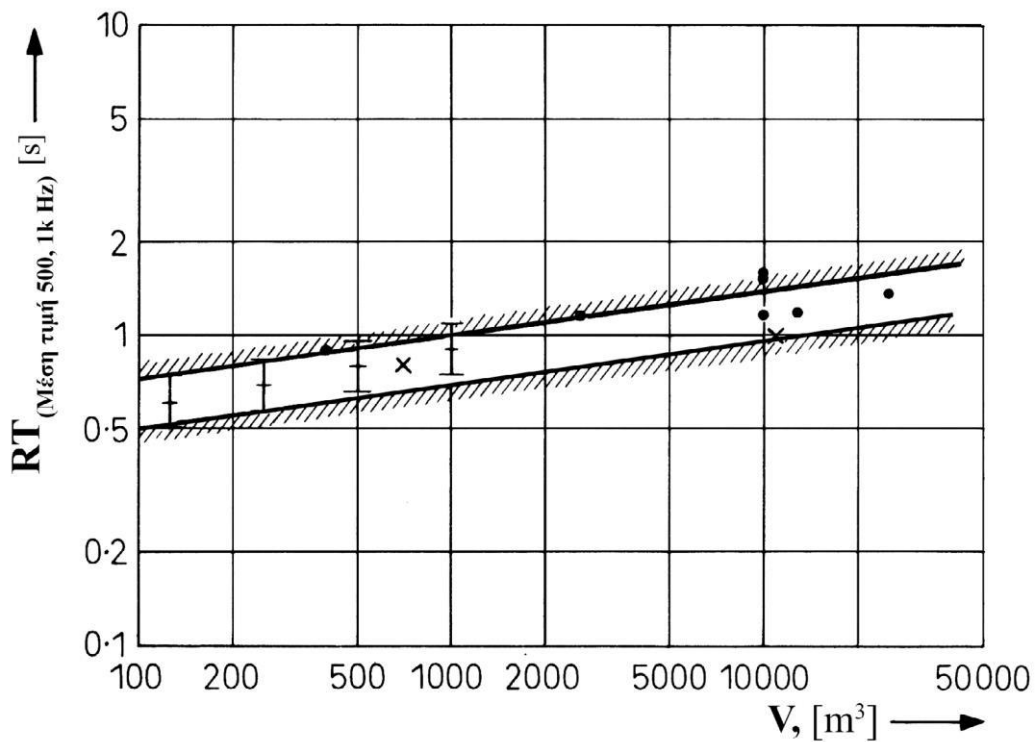
Μέσω του τύπου του χρόνου αντήχησης, μπορεί να υπολογιστεί η επιφάνεια των ηχοαπορροφητικών υλικών δεδομένου του όγκου της αίθουσας. Έπειτα, υπολογίζεται η πρόσθετη ηχοαπορρόφηση που προσφέρει το ακροατήριο (σχήμα A.20) και προκύπτει εκ νέου η συνολική ηχοαπορροφητική επιφάνεια. Τέλος, μέσω της παραπάνω διαδικασίας καταλήγουμε στον χρόνο αντήχησης έχοντας λάβει υπόψιν την ύπαρξη ακροατηρίου.

No	ΥΛΙΚΑ	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΑΙ [Sab/ m ²] Οκταβικές ζώνες [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	Ακροατήριο ²	0.39	0.57	0.80	0.94	0.92	0.92
2	Ντυμένα με στόφα καθίσματα, μη κατειλημένα ²	0.32	0.50	0.73	0.87	0.85	0.85
3	Δερμάτινα καθίσματα, μη κατειλημένα ²	0.12	0.20	0.28	0.34	0.34	0.34
4	Επίχρισμα ή παχύ ξύλο 2.5 cm με κενό ²	0.19	0.14	0.09	0.06	0.06	0.05
5	Επίχρισμα επι beton ²	0.12	0.09	0.07	0.05	0.05	0.05
6	beton ²	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.05
7	Επένδυση λεπτού ξύλου ²	0.42	0.21	0.10	0.08	0.06	0.06
8	Κουρτίνα (βελούδο με πτυχές) ²	0.06	0.31	0.44	0.80	0.75	0.75
9	Αέρας ³	-	-	-	0.003 ⁴	0.007 ⁴	0.02 ⁴
10	Επίχρισμα 3 cm επι πλέγματος μεταλλικού ¹	0.14	0.10	0.06	0.05	0.04	0.03
11	Γυψοσανίδα, 2 στρώσεις 3.2 cm ¹	0.28	0.12	0.10	0.17	0.13	0.09
12	Υαλοπίνακες ¹	0.18	0.06	0.04	0.03	0.02	0.02
13	Τσιμεντένιο δάπεδο ¹	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02
14	Πλαστικό δάπεδο	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
15	Ξύλινο παρκέ επί τσιμεντένιας βάσης ¹	0.04	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
16	Σανίδι επί δοκίδων ¹	0.15	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10
17	Μοκέτα παχειά επί τσιμεντένιας βάσης ¹	0.02	0.06	0.14	0.37	0.60	0.65
18	Μοκέτα παχειά με λαστιχένιο υπόστρωμα ¹	0.08	0.24	0.57	0.69	0.71	0.73
19	Μοκέτα λεπτή επί τσιμεντένιας βάσης ¹	0.02	0.04	0.08	0.20	0.35	0.40

Σημειώσεις :
¹(Beranek, 1996)
²(Barron, 1993)
³(Parkin & Humphreys, 1969)
⁴Οι συντελεστές ηχοαπορρόφησης δίδονται ανά m³ αέρα

Σχήμα A.21: Συντελεστές ηχοαπορρόφησης

Για τον υπολογισμό του επιθυμητού εύρους τιμών του χρόνου αντήχησης με ακροατήριο μπορεί να ληφθεί υπόψιν το παρακάτω διάγραμμα, όπου φαίνεται η ιδανική συσχέτιση όγκου και χρόνου αντήχησης.



Σχήμα Α.22:Επιθυμητές τιμές του χρόνου αντήχησης (RT) για αίθουσες ακρόασης ομιλίας με ακροατήριο συναρτήσει του όγκου (V) του χώρου

Ένα ακόμα σημαντικό κριτήριο για να υπάρχει επιθυμητός χρόνος αντήχησης αφορά τον όγκο ανά άτομο της αίθουσας, συνιστώμενες τιμές του οποίου φαίνονται παρακάτω.

Συνιστώμενος όγκος ανά άτομο [m³] (Doelle 1972)		
Ελάχιστος	Βέλτιστος	Μέγιστος
2.3	3.1	4.3

A.7.9 Ηχώ

Ένας ακροατής, που βρίσκεται σε έναν χώρο δέχεται διαδοχικά το απευθείας ηχητικό κύμα, καθώς και εκείνα που έρχονται από τις διάφορες ανακλάσεις σε διαφορές χρόνου, που εξαρτώνται από τις διαφορές δρόμου των διαφόρων ηχητικών κυμάτων.

Αν από μια πηγή που βρίσκεται σε έναν κλειστό χώρο εκπνευθεί ένας ήχος, ο ήχος αυτός γίνεται αμέσως ακουστός από κάποιον που βρίσκεται στον ίδιο χώρο. Αν αμέσως μετά ακουστεί το ανακλώμενο ηχητικό σήμα σαν ξεχωριστό ηχητικό γεγονός, το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ηχώ**.

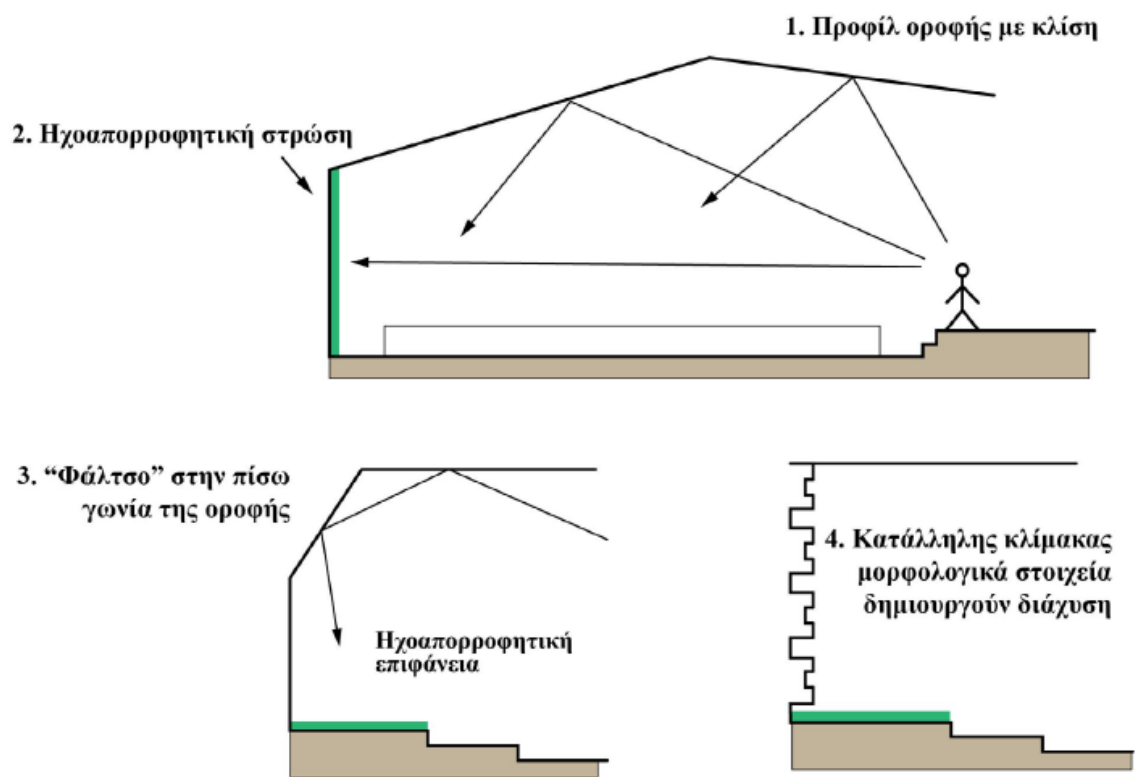
Για χρονικές διαφορές μικρότερες από 0,035s, που αντιστοιχούν σε διαφορές πορείας 12 m δε δημιουργείται ηχώ. Στην περίπτωση αυτή, τα ανακλώμενα κύματα ενεργούν προσθετικά, αυξάνοντας την ακουστική εντύπωση. Για χρονικές διαφορές μεταξύ 0.035s και 0.05s δημιουργείται ένα φαινόμενο, που πλησιάζει τόσο περισσότερο προς την ηχώ, όσο οι διαφορές πλησιάζουν προς το μεγαλύτερο όριο. Τέλος, για χρονικές διαφορές μεγαλύτερες από 0,05s για ήχους μικρής διάρκειας ή από 0,01s για ήχους μεγαλύτερης διάρκειας (που αντιστοιχούν σε διαφορές δρόμου περίπου 14 m και 34m) εμφανίζεται η ηχώ. Ως στοιχείο συγκρίσεως αναφέρεται ότι μια μέση συλλαβή διαρκεί 0,1 s και το διάστημα μεταξύ δύο λέξεων είναι 0,2 s περίπου.



Σχήμα A.23: Προϋποθέσεις δημιουργίας ηχούς

$$[(SAB)-(SB)] \geq \left\{ \begin{array}{l} 14.0 \text{ m (ομιλία)} \\ 34.0 \text{ m (μουσική)} \end{array} \right\} \Rightarrow \text{HX}\Omega$$

Παρακάτω φαίνονται ορισμένες τεχνικές σχεδιασμού αποφυγής της ηχούς.

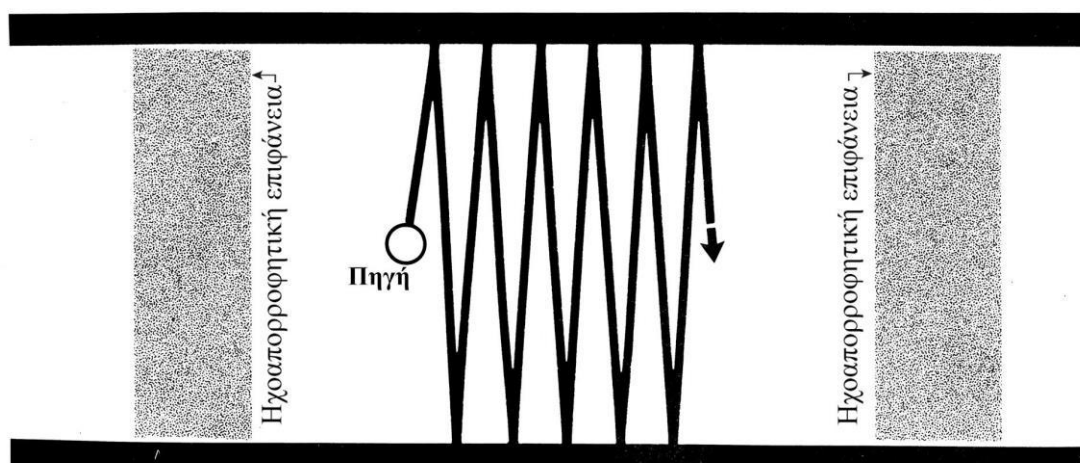


Σχήμα A.24: Τεχνικές σχεδιασμού αποφυγής της ηχούς σε κλειστό χώρο

A.7.10 Πλαταγισμός (Flutterecho)

Ο πλαταγισμός είναι το αποτέλεσμα μίας σχετικά έντονης επαναλαμβανόμενης ανάκλασης που μπορεί να συμβεί για παράδειγμα μεταξύ παράλληλων ανακλαστικών επιφανειών, υπό την προϋπόθεση ότι οι

άλλες επιφάνειες του χώρου είναι ηχοαπορροφητικές. Ο πλαταγισμός συνήθως συνοδεύεται από κάποια χρωματική αλλοίωση του ήχου, διότι κάποιες συχνότητες αυτού αντιστοιχούν σε στάσιμα κύματα (συχνότητες συντονισμού) του χώρου.



Σχήμα A.25: Σχηματική απεικόνιση ανάπτυξης πλαταγισμού (SRL, 1976)

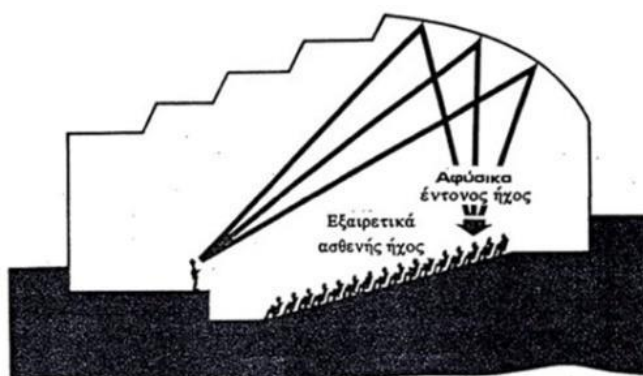
Ορισμένοι τρόποι σχεδιασμού αποφυγής πλαταγισμού είναι η εξής :

- Αποφυγή παραλληλίας μεταξύ αντικρουστών παρειών του χώρου.
- Χρήση ηχοαπορροφητικής επένδυσης σε μία τουλάχιστον επιφάνεια για κάθε ζεύγος παραλλήλων παρειών του χώρου.
- Χρήση μορφολογικών στοιχείων (δημιουργία διάχυτου ήχου) σε μία τουλάχιστον επιφάνεια για κάθε ζεύγος παραλλήλων παρειών του χώρου.

A.7.11 Εστιασμός του ήχου

Οι ανακλάσεις μίας σημειακής πηγής σε κοίλες επιφάνειες δημιουργούν φαινόμενα εστιασμού. Τα φαινόμενα αυτά είναι ανεπιθύμητα, επειδή

δημιουργούν μεγάλη ανομοιομορφία (με ισχυρή συγκέντρωση) της ηχητικής ισχύος σε περιορισμένη ζώνη .



Σχήμα A.26: Φαινόμενο εστιασμού (SRL, 1976)

Ορισμένες τεχνικές αποφυγής πλαταγισμού είναι η εξής :

- Αποφυγή κοίλων επιφανειών.
- Χρήση στοιχείων διάχυσης στις κοίλες επιφάνειες.
- Χρήση αναρτημένων στοιχείων που αποτρέπουν τον εστιασμό του ήχου στην κοίλη οροφή.
- Χρήση ηχοαπορροφητικής επένδυσης σε κοίλες επιφάνειες.
- Τα εστιακά σημεία της κοίλης επιφάνειας να επιλέγονται εκτός του επιπέδου ακρόασης.

A.7.12 Στάθμη θορύβου σε χώρους ομιλίας

Ο έλεγχος του θορύβου είναι πρωταρχικής σημασίας στόχος στον ακουστικό σχεδιασμό χώρων ομιλίας. Για ομιλία σε κλειστούς χώρους σχετικά χαμηλού χρόνου αντήχησης (<1 sec) με απόσταση μεταξύ ομιλητή και ακροατή περίπου ενός μέτρου, αν η στάθμη θορύβου είναι μέχρι 35 dBA, η κατανόηση ομιλίας είναι απόλυτα ικανοποιητική και, με θόρυβο της τάξεως των 45 dBA, αρκετά ικανοποιητική. Με μεγάλη προσπάθεια του ομιλητή και εάν ο θόρυβος δεν έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, είναι δυνατή κάποια κατανόηση της ομιλίας με θόρυβο μέχρι 65 dBA. Τα όρια αυτά πρέπει να μειωθούν στην περίπτωση

κατά την οποία ο ακροατής έχει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά προβλήματα ακοής, μεγάλη ηλικία.

Η εκτίμηση της ανεκτής στάθμης θορύβου δεν είναι ιδιαίτερα εύκολη, διότι σημαντικό ρόλο στο θέμα αυτό παίζει ο υποκειμενικός παράγοντας. Βέβαια, έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία τιμές ανεκτής στάθμης θορύβου σε συνάρτηση με τη χρήση του χώρου και ονομάζονται κριτήρια θορύβου (NoiseCriteria - NC). Γενικά, προτείνεται η στάθμη της φωνής να είναι τουλάχιστον κατά 10 dBA μεγαλύτερη εκείνης του θορύβου .

Δραστηριότητα	NC
Αποδεκτές συνθήκες εργασίας με την ελάχιστη λεκτική παρέμβαση. (Βιομηχανικές περιοχές, εμπορικές περιοχές, όπως γκαράζ, κλειστά πάρκινγκ αυτοκινήτων, πλυντήρια, κ.τ.λ.)	45 - 55
Αποδεκτές οι μέτριες συνθήκες ακουστικής. (Χώροι με μηχανήματα γραφείου, καφετέριες, χώροι εργοστασίων, διάδρομοι, μπάνια, κ.τ.λ.)	40 - 45
Απαιτούμενες οι σχετικά καλές συνθήκες ακουστικής. (Μεγάλα γραφεία, εστιατόρια, κ.τ.λ.)	35 - 40
Απαιτούμενες οι καλές συνθήκες ακουστικής. (Ιδιωτικά γραφεία, τάξεις, βιβλιοθήκες, κ.τ.λ.)	30 - 35
Ύπνος, ξεκούραση. (Σπίτια, διαμερίσματα, ξενοδοχεία, νοσοκομεία, κ.τ.λ.)	20 - 30
Απαιτούμενες οι πολύ καλές συνθήκες ακουστικής. (Αμφιθέατρα, θέατρα, εκκλησίες, κ.τ.λ.)	25
Απαιτούμενες οι άριστες συνθήκες ακουστικής. (Αίθουσες συναυλιών, τηλεοπτικά στούντιο.)	20
Απαιτούμενες οι εξειδικευμένες συνθήκες ακουστικής. (Πειραματικά ακουστικά εργαστήρια, κ.τ.λ.)	15

Σχήμα A.27: Κριτήρια θορύβου (αποδεκτές τιμές θορύβου) σε dB ανάλογα με τη λειτουργία του χώρου (SRL, 1976)

Γίνεται διάκριση σε τρεις κατηγορίες της στάθμης ηχητικής πίεσης σε ένα χώρο με συγκεκριμένη χρήση:

1. Η επιθυμητή στάθμη (ανώτατο όριο), η οποία καθορίζεται από τα κριτήρια ποιότητας και άνεσης ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζεται.
2. Η στάθμη, η οποία στατιστικά αναμένεται να υπάρξει στο χώρο αυτό.
3. Η στάθμη, η οποία μετριέται σε ένα χώρο σε δεδομένη στιγμή και με συγκεκριμένες συνθήκες.

Επειδή η στάθμη ηχητικής πίεσης δεν είναι, γενικά, σταθερή κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος, το οποίο ενδεχομένως παρουσιάζει ενδιαφέρον, είναι απαραίτητη η γνώση της στατιστικής κατανομής της στάθμης κατά τη διάρκεια του διαστήματος αυτού. Το διάστημα αυτό μπορεί να είναι, π.χ., ένα λεπτό, μια ώρα, οχτώ ώρες, διάρκεια νύχτας, διάρκεια ημέρας, 2 4 ώρες.

Ένα μέγεθος το οποίο χρησιμοποιείται συχνά είναι η ισοδύναμη στάθμη ηχητικής πίεσης και είναι η μέση τετραγωνική τιμή για το εξεταζόμενο χρονικό διάστημα. Ο υπολογισμός του μεγέθους αυτού είναι εξαιρετικά δυσχερής. Όμως υπάρχουν εύχρηστα όργανα, τα οποία μετρούν απευθείας το L_{Aeq} κατά το διάστημα μέτρησης. Το μέγεθος αυτό μπορεί να οριστεί και μετρηθεί είτε σε ζώνες συχνοτήτων είτε συνολικά σε dBA.

Η ισοδύναμη στάθμη ηχητικής πίεσης είναι ένα μέγεθος το οποίο δίνει μια σαφή εικόνα για τη μέση, μετριέται εύκολα και με απλές, σχετικά χαμηλού κόστους συσκευές.

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ
ΦΥΣΙΚΩΝ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ
ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται για κάθε αίθουσα τα αναλυτικά αποτελέσματα των φυσικών ακουστικών μετρήσεων στον πραγματικό χώρο σε πινακοποιημένη μορφή. Συγκεκριμένα μετρήθηκαν ο λόγος των πρώιμων-προς-καθυστερημένων ανακλάσεων C80, το κλάσμα των πρώιμων ανακλάσεων EEF50, ο χρόνος απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων EDT, ο χρόνος αντήχησης RT ή T30 (πτώση 30 dB), καθώς και η απόσβεση της στάθμης έντασης ήχου G.

E.1.1 Θέατρο «Απόλλων» με κατευθυντική πηγή

Πίνακας E.1: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων λόγου των πρώιμων-προς-καθυστερημένων ανακλάσεων C80 για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

80(E-to-L)[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		4,94	-0,64	1,61	2,23	3,81	4,8
2		0,52	2,12	3,53	4,7	7,41	8,95
3		0,52	0,68	2,83	3,37	4,81	6,38
4		4,42	2,76	4,43	3,99	6,8	6,93
5		5,8	4,55	6,08	5,87	5,44	5,92
6		3,17	5,3	5,35	6,5	10,07	13,83
7		3,34	0,81	3,54	4,48	8,73	8,45
8		6,2	2,52	5,02	3,51	5,93	6,46

Πίνακας Ε.2: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων κλάσματος των πρώιμων ανακλάσεων 50EEF, για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

50EEF							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		0,57	0,32	0,41	0,33	0,5	0,59
2		0,28	0,44	0,43	0,48	0,71	0,77
3		0,38	0,38	0,41	0,38	0,52	0,64
4		0,43	0,43	0,62	0,47	0,69	0,64
5		0,63	0,63	0,69	0,63	0,61	0,68
6		0,38	0,7	0,53	0,64	0,84	0,92
7		0,51	0,33	0,38	0,47	0,77	0,73
8		0,71	0,35	0,51	0,55	0,64	0,64

Πίνακας Ε.3: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων EDT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

EDT(s)							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		1,301	1,245	0,852	0,919	0,832	0,744
2		1,088	1,037	0,899	0,752	0,539	0,405
3		0,882	1,245	0,886	0,853	0,756	0,582
4		0,877	0,934	0,798	0,841	0,592	0,547
5		0,684	1,043	0,853	0,753	0,763	0,681
6		1,181	1,219	0,886	0,815	0,394	0,179
7		1,145	0,919	0,888	0,82	0,439	0,457
8		0,632	1,018	0,895	0,911	0,686	0,624

Πίνακας Ε.4: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου αντήχησης T30 ή RT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

Χρόνος αντήχησης (T30)[s]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		1,351	1,144	1,091	1,019	0,831	0,748
2		1,337	1,123	1,044	0,969	0,851	0,726
3		1,332	1,128	1,093	0,996	0,84	0,708
4		1,437	1,193	0,998	1,03	0,853	0,732
5		1,276	1,261	1,093	0,989	0,822	0,736
6		1,215	1,157	1,124	0,997	0,824	0,7
7		1,356	1,286	1,115	0,968	0,83	0,74
8		1,482	1,244	1,094	0,955	0,794	0,777

Πίνακας Ε.7: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων της απώσβεσης της στάθμης έντασης ήχου G για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

G[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		-11,57	-18,32	-18,73	-20,71	-18,54	-15,98
2		-13,43	-17,47	-19,00	-19,86	-18,05	-14,42
3		-13,02	-17,37	-18,69	-21,15	-21,42	-19,75
4		-12,12	-17,14	-18,77	-20,84	-20,58	-17,24
5		-9,92	-16,94	-17,87	-19,44	-18,58	-17,24
6		-9,56	-12,68	-17,31	-17,48	-13,6	-9,93
7		-12,54	-16,00	-19,45	-19,63	-15,49	-14,05
8		-14,15	-17,24	-20,1	-25,04	-21,92	-18,43

Ε.1.2 Θέατρο «Απόλλων» με ισότροπη πηγή

Πίνακας Ε.8: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων λόγου των πρώιμων-προς-καθυστερημένων ανακλάσεων C80 για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

80(E-to-L)[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		2,93	1,21	4,83	4,99	5,10	6,61
2		3,96	4,54	7,59	7,68	6,9	8,16
3		5,06	5,53	5,86	4,6	5,28	6,68
4		1,26	5,54	5,84	6,68	7,52	7,37
5		4,32	6,42	8,20	7,15	7,81	9,13
6		1,35	4,18	4,54	5,00	4,82	6,94
7		2,50	1,63	2,37	7,22	6,56	6,67
8		2,55	5,44	4,06	7,29	8,26	8,93

Πίνακας Ε.9: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων κλάσματος των πρώιμων ανακλάσεων 50EEF, για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

50EEF							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		0,57	0,43	0,59	0,57	0,56	0,67
2		0,44	0,55	0,64	0,69	0,67	0,74
3		0,71	0,71	0,62	0,58	0,65	0,66
4		0,52	0,69	0,57	0,69	0,75	0,74
5		0,67	0,62	0,78	0,74	0,78	0,80
6		0,46	0,64	0,59	0,60	0,54	0,66
7		0,32	0,41	0,49	0,71	0,68	0,63
8		0,40	0,68	0,62	0,77	0,79	0,77

Πίνακας Ε.10: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων EDT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

EDT(s)							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		1,589	1,219	0,957	0,905	0,814	0,799
2		1,333	0,895	0,7	0,677	0,657	0,56
3		1,234	0,991	0,938	0,873	0,903	0,7
4		1,228	1,001	0,792	0,804	0,631	0,606
5		0,988	0,809	0,496	0,706	0,575	0,532
6		1,618	1,384	1,087	0,946	0,91	0,711
7		1,248	1,172	0,893	0,771	0,825	0,696
8		1,475	0,874	1,009	0,759	0,559	0,494

Πίνακας Ε.11: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου αντήχησης T30 ή RT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

Χρόνος αντήχησης (T30)[s]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		1,397	1,242	1,069	0,84	0,783	0,706
2		1,321	1,241	1,065	0,997	0,851	0,684
3		1,392	1,273	1,152	1,005	0,898	0,75
4		1,379	1,17	1,11	1,042	0,852	0,705
5		1,367	1,247	1,114	0,982	0,813	0,709
6		1,323	1,185	1,01	0,991	0,847	0,71
7		1,445	1,264	1,082	0,958	0,848	0,704
8		1,288	1,315	1,102	1,005	0,838	0,72

Πίνακας Ε.12: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων της απαύσεως της στάθμης έντασης ήχου Για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

G[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		-13,24	-12,88	-11,1	-13,85	-16,05	-14,64
2		-13,41	-12,19	-11,4	-11,78	-10,71	-9,59
3		-12,03	-10,65	-11,21	-12,94	-13,76	-12,76
4		-13,56	-11,03	-11,59	-13,12	-13,39	-14,51
5		-12,13	-11,44	-9,42	-11,25	-9,77	-8,63
6		-12,45	-10,09	-10,71	-11,65	-11,66	-10,96
7		-11,95	-12,4	-11,7	-10,21	-10,78	-10,52
8		-12,06	-12,48	-11,76	-11,3	-10,36	-10,36

Ε.2.1 Θέατρο «Παλλάς» με κατευθυντική πηγή

Πίνακας Ε.13: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων λόγου των πρώιμων-προς-καθυστερημένων ανακλάσεων C80 για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

80(E-to-L)[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		8,21	8,21	8,35	6,51	7,99	8,65
2		3,16	3,33	2,58	4,13	6,65	9,03
3		6,54	0,08	1,88	3,3	4,36	6,36
4		3,27	1,8	1,52	3,22	1,32	4,79
5		0,52	3,96	2,35	2,83	2,67	2,72
6		0,9	1,23	3,33	2,14	1,86	2,3
7		1,02	6,07	4,71	3,31	3,05	3,62
8		5,49	2,29	3,61	3,84	4,41	4
9		4	7,62	5,8	6,04	4,41	4,51
10		1,04	3,91	2,9	1,88	2,17	2,49
11		2,93	1,77	0,95	2,45	2,27	3,07

Πίνακας Ε.14: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων κλάσματος των πρώιμων ανακλάσεων 50EEF, για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

50EEF							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		0,83	0,72	0,77	0,58	0,21	0,24
2		0,46	0,44	0,39	0,48	0,4	0,38
3		0,66	0,25	0,35	0,19	0,11	0,12
4		0,59	0,4	0,27	0,42	0,22	0,23
5		0,16	0,35	0,29	0,28	0,25	0,28
6		0,14	0,22	0,31	0,42	0,33	0,43
7		0,3	0,54	0,55	0,4	0,44	0,48
8		0,66	0,4	0,56	0,41	0,55	0,55
9		0,54	0,71	0,61	0,53	0,57	0,56
10		0,39	0,5	0,54	0,41	0,44	0,44
11		0,54	0,49	0,36	0,32	0,35	0,38

Πίνακας Ε.15: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων EDT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

EDT(s)							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		0,918	0,862	0,948	0,826	0,541	0,488
2		1,213	0,985	0,937	0,812	0,587	0,476
3		1,17	0,942	0,952	0,659	0,543	0,515
4		1,169	0,839	0,936	0,801	0,995	0,646
5		0,899	0,689	0,879	0,738	0,628	0,689
6		0,895	0,903	0,816	0,973	0,841	0,824
7		0,95	0,71	0,761	0,957	0,967	0,902
8		0,706	0,825	0,809	0,921	0,832	0,824
9		0,991	0,574	0,798	0,703	0,886	0,809
10		0,939	0,886	0,95	0,971	1,018	0,821
11		1,115	0,919	0,836	0,77	0,767	0,675

Πίνακας Ε.16: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου αντήχησης T30 ή RT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

Χρόνος αντήχησης (T30)[s]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		1,127	0,92	0,844	0,835	0,742	0,681
2		1,084	0,914	0,892	0,873	0,761	0,688
3		0,985	0,909	0,815	0,817	0,71	0,693
4		1,089	0,94	0,858	0,89	0,785	0,68
5		1,189	0,938	0,948	0,938	0,826	0,777
6		1,219	0,923	0,965	0,886	0,785	0,671
7		0,965	0,863	0,939	0,897	0,821	0,763
8		1,083	0,975	0,905	0,925	0,854	0,788
9		0,872	1,005	0,928	0,906	0,85	0,789
10		1,174	0,964	0,92	0,91	0,845	0,82
11		1,065	1,036	0,969	0,885	0,819	0,719

Πίνακας Ε.17: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων της απώσβεσης της στάθμης έντασης ήχου Για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

G[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		-12,75	-20,07	-17,83	-22,49	-22,37	-19,49
2		-18,75	-23,9	-24,11	-25,45	-24,43	-21,33
3		-16,97	-26,53	-24,35	-25,46	-24,66	-22,94
4		-18,27	-25,72	-25,44	-26,91	-27,66	-25,11
5		-25,63	-29,95	-29,69	-31,2	-32,37	-31,67
6		-25,28	-30,56	-31,02	-33,45	-33,48	-31,96
7		-24,28	-28,64	-28,46	-32,27	-35,35	-34,33
8		-22,09	-31,51	-28,85	-33,82	-36,22	-35,34
9		-25,11	-30,58	-28,54	-31,16	-35,43	-33,78
10		-22,81	-28,27	-27,15	-31,49	-34,18	-32,67
11		-21,23	-27,58	-26,13	-27,93	-31,47	-30,88

Ε.2.2 Θέατρο «Παλλάς» με ισότροπη πηγή

Πίνακας Ε.18: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων λόγου των πρώιμων-προς-καθυστερημένων ανακλάσεων C80 για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

80(E-to-L)[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		6,26	9,45	8,86	10,65	11,87	14,16
2		1,13	4,81	5,86	6,16	6,43	5,85
3		2,9	5,54	8,45	7,39	7,14	7
4		4,66	5,31	3,14	4,35	5,3	5,98
5		1,71	5,52	5,74	6,97	7,77	8,5
6		0,44	5,73	3,23	6,37	8,87	7,94
7		2,01	5,2	6,5	5,19	6,42	8,21
8		3,34	3,86	2,37	7,34	9,19	10,78
9		1,33	3,93	5,78	7,08	7,59	9,46
10		3,19	4,02	4,42	5,3	6,37	7,69
11		6,29	5,88	4,58	7,01	6,37	7,49

Πίνακας Ε.19: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων κλάσματος των πρώιμων ανακλάσεων 50EEF, για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

50EEF							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		0,64	0,82	0,83	0,86	0,9	0,92
2		0,39	0,5	0,63	0,6	0,6	0,52
3		0,25	0,41	0,65	0,67	0,66	0,67
4		0,37	0,41	0,46	0,54	0,56	0,59
5		0,23	0,68	0,62	0,66	0,58	0,54
6		0,19	0,5	0,53	0,7	0,74	0,71
7		0,54	0,6	0,38	0,48	0,65	0,72
8		0,54	0,43	0,44	0,42	0,66	0,82
9		0,43	0,51	0,54	0,51	0,68	0,7
10		0,56	0,48	0,59	0,57	0,66	0,71
11		0,68	0,64	0,64	0,76	0,72	0,76

Πίνακας Ε.20: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων EDT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

EDT(s)							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		1,007	0,704	0,993	0,828	0,835	0,868
2		1,234	0,684	0,92	0,928	0,816	0,688
3		0,801	0,719	0,527	0,683	0,668	0,673
4		1,042	0,767	1,041	0,975	0,878	0,73
5		0,866	0,691	0,75	0,792	0,574	0,515
6		0,709	0,65	0,991	0,767	0,549	0,608
7		0,816	0,952	0,702	0,883	0,937	0,722
8		1,159	0,931	0,874	0,594	0,588	0,56
9		0,967	0,824	0,677	0,63	0,606	0,581
10		0,906	0,989	0,927	0,839	0,649	0,561
11		0,898	0,807	0,811	0,685	0,818	0,817

Πίνακας Ε.21: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου αντήχησης T30 ή RT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

Χρόνος αντήχησης (T30)[s]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		1,085	1,004	0,884	0,912	0,811	0,717
2		1,239	1,002	0,925	0,916	0,902	0,802
3		0,982	0,983	0,909	0,811	0,85	0,737
4		1,249	1,014	0,914	0,928	0,901	0,82
5		1,118	1,016	0,982	0,901	0,849	0,69
6		0,999	1,012	0,99	0,997	0,964	0,851
7		0,932	0,953	0,94	0,892	0,849	0,814
8		0,89	0,943	0,958	0,952	0,878	0,796
9		0,997	0,991	0,982	0,928	0,881	0,801
10		1,197	1,023	0,97	0,934	0,876	0,784
11		1,008	0,949	0,98	0,894	0,877	0,757

Πίνακας Ε.22: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων της στάθμης έντασης ήχου G για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

G[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		-16,99	-15,19	-13,07	-13,48	-11,81	-11,22
2		-18,88	-16,74	-17,31	-17,36	-19,31	-20,36
3		-19,4	-18,32	-16,93	-17,16	-19,27	-19,77
4		-20,41	-18,69	-20,04	-19,95	-21,33	-22,08
5		-23,59	-23,69	-22,46	-22,01	-22,34	-23,82
6		-23,5	-24,28	-24,59	-23,76	-23,27	-24,39
7		-19,82	-22,47	-21,43	-22,54	-22,72	-23,13
8		-24,67	-25,84	-24,93	-22,82	-23,31	-22,91
9		-26,52	-25,78	-23,12	-22,91	-23,87	-24,34
10		-22,92	-24,67	-22,45	-22,76	-21,91	-22,73
11		-18,32	-18,91	-19,9	-19,33	-20,56	-20,95

Ε.3.1 Θέατρο «ΔΗ.ΘΕ.ΛΑ.» με κατευθυντική πηγή

Πίνακας Ε.23: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων λόγου των πρώιμων-προς-καθυστερημένων ανακλάσεων C80 για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

80(E-to-L)[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		5,44	11,54	7,7	7,05	7,95	9,22
2		2,52	6,19	6,94	8,06	6,68	7,51
3		7,84	8,94	10,85	12,65	12,13	10,63
4		12,82	8,43	9,81	11,52	10,31	8,68
5		12,53	10,19	10,12	11,87	9,08	7,6
6		6,92	11,25	11	12,23	10,18	9,96
7		1,99	8,48	9,7	9,29	9,66	9,55
8		2,69	4,68	7,4	8,61	9,76	11,18
9		4,69	8,63	7,34	6,18	7,64	7,72
10		4,37	7,17	5,78	7,67	6,43	7,19

Πίνακας Ε.24: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων κλάσματος των πρώιμων ανακλάσεων 50EEF, για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

50EEF							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		0,69	0,88	0,71	0,72	0,77	0,8
2		0,47	0,66	0,72	0,6	0,63	0,67
3		0,7	0,61	0,8	0,83	0,81	0,68
4		0,85	0,7	0,71	0,82	0,82	0,77
5		0,91	0,8	0,74	0,84	0,65	0,52
6		0,74	0,83	0,83	0,87	0,82	0,82
7		0,49	0,76	0,77	0,68	0,68	0,63
8		0,29	0,58	0,62	0,71	0,75	0,82
9		0,68	0,58	0,68	0,59	0,53	0,6
10		0,42	0,74	0,51	0,45	0,45	0,58

Πίνακας Ε.25: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων EDT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

EDT(s)							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		1,206	0,504	0,692	0,661	0,502	0,419
2		0,961	0,94	0,645	0,546	0,482	0,435
3		0,647	0,563	0,412	0,332	0,283	0,311
4		0,355	0,545	0,436	0,35	0,307	0,439
5		0,242	0,439	0,452	0,346	0,437	0,504
6		0,604	0,426	0,404	0,337	0,31	0,302
7		1,161	0,603	0,42	0,473	0,402	0,381
8		0,84	0,83	0,58	0,484	0,348	0,269
9		1,042	0,571	0,59	0,629	0,505	0,509
10		1,054	0,779	0,712	0,571	0,582	0,562

Πίνακας Ε.26: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου αντήχησης T30 ή RT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

Χρόνος αντήχησης (T30)[s]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		1,026	0,815	0,616	0,565	0,609	0,618
2		1,132	0,766	0,56	0,579	0,627	0,63
3		1,108	0,752	0,553	0,522	0,533	0,631
4		0,731	0,645	0,547	0,548	0,592	0,633
5		1,02	0,766	0,592	0,517	0,551	0,561
6		1,092	0,805	0,593	0,513	0,555	0,566
7		1,119	0,792	0,61	0,531	0,644	0,668
8		1,109	0,778	0,588	0,545	0,585	0,604
9		1,17	0,769	0,602	0,581	0,686	0,658
10		1,173	0,75	0,65	0,59	0,68	0,66

Πίνακας Ε.27: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων της ταπσόσβεσης της στάθμης έντασης ήχου Για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

G[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		-15,4	-16,19	-21,25	-23,31	-20,51	-21,09
2		-18,18	-20,48	-21,89	-22,75	-21,52	-22,29
3		-17,79	-22,01	-22,45	-22,26	-19,65	-21,41
4		-12,89	-22,69	-23,99	-23,79	-21,31	-24,66
5		-12,24	-21,99	-24,57	-24,03	-22,07	-24,27
6		-17,97	-22,07	-25,14	-23,7	-21,86	-23,07
7		-20,99	-22,59	-22	-23,49	-21,86	-23,45
8		-18,94	-24,46	-24,99	-26,03	-22,23	-22,22
9		-18,53	-20,86	-23,38	-25,7	-23,3	-23,81
10		-16,71	-19,33	-22,09	-24,13	-22,79	-23,18

Ε.3.2 Θέατρο «ΔΗ.ΘΕ.ΛΑ.» με ισότροπη πηγή

Πίνακας Ε.27: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτωνλόγου των πρώιμων-προς-καθυστερημένων ανακλάσεων C80 για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

80(E-to-L)[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		3,66	9,53	9,54	10,91	9,94	10,31
2		6,17	10,09	9,87	11,31	8,94	9,47
3		3,98	10,33	12,89	12,5	11,95	11,62
4		6,02	10,15	11,86	12,2	12,02	12,28
5		7,4	10,46	11,36	12,12	10,61	12,19
6		7,97	11,13	12,7	13,42	11,89	12,28
7		3,6	7,99	9,78	11,14	9,86	10,76
8		3,08	6,97	11,39	11,62	9,33	9,77
9		4,05	6,68	7,89	11,33	8,73	8,23
10		3,32	6,72	9,27	10,29	8,71	7,79

Πίνακας Ε.28: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων κλάσματος των πρώιμων ανακλάσεων 50EEF, για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

50EEF							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		0,62	0,78	0,82	0,87	0,84	0,83
2		0,5	0,8	0,81	0,88	0,82	0,81
3		0,43	0,86	0,9	0,87	0,85	0,84
4		0,74	0,87	0,86	0,88	0,88	0,88
5		0,56	0,64	0,82	0,88	0,83	0,86
6		0,79	0,82	0,91	0,91	0,88	0,88
7		0,56	0,73	0,77	0,82	0,8	0,81
8		0,5	0,79	0,85	0,84	0,81	0,82
9		0,62	0,74	0,79	0,83	0,78	0,74
10		0,47	0,72	0,84	0,82	0,73	0,74

Πίνακας Ε.29: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων EDT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

EDT(s)							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		0,969	0,666	0,683	0,605	0,599	0,537
2		0,714	0,649	0,625	0,476	0,676	0,529
3		0,813	0,385	0,327	0,342	0,347	0,372
4		1,173	0,413	0,403	0,389	0,346	0,351
5		0,6	0,711	0,455	0,34	0,419	0,335
6		0,864	0,427	0,281	0,297	0,303	0,338
7		1,333	0,618	0,515	0,422	0,498	0,49
8		0,862	0,722	0,47	0,447	0,485	0,423
9		0,957	0,896	0,674	0,549	0,567	0,561
10		0,973	0,832	0,594	0,548	0,618	0,652

Πίνακας Ε.30: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων χρόνου αντήχησης T30 ή RT για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

Χρόνος αντήχησης (T30)[s]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		1,121	0,786	0,648	0,579	0,613	0,564
2		1,098	0,911	0,614	0,61	0,607	0,589
3		0,912	0,774	0,607	0,538	0,61	0,527
4		1,054	0,759	0,582	0,552	0,599	0,586
5		1,001	0,595	0,581	0,545	0,622	0,52
6		1,192	0,846	0,612	0,545	0,584	0,556
7		0,906	0,72	0,592	0,544	0,621	0,599
8		0,857	0,826	0,611	0,551	0,612	0,584
9		0,899	0,79	0,594	0,585	0,618	0,623
10		1,098	0,778	0,614	0,533	0,588	0,59

Πίνακας Ε.31: Πίνακας αναλυτικών αποτελεσμάτων της σταθμής έντασης ήχου G για κάθε θέση μέτρησης σε όλο το φάσμα συχνοτήτων.

G[Db]							
	Οκταβικές ζώνες(Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Θέσεις μέτρησης							
1		-14,17	-14,54	-13,18	-11,34	-12,72	-13,44
2		-14,51	-17,22	-14,77	-13,32	-14,48	-15,43
3		-18,38	-18,01	-15,70	-13,93	-13,85	-15,27
4		-19,34	-19,79	-16,73	-16,00	-15,34	-15,82
5		-17,73	-18,7	-17,98	-15,64	-16,45	-16,31
6		-19,05	-21,56	-18,07	-15,72	-15,82	-16,75
7		-16,92	-19,00	-15,65	-14,08	-15,2	-16,16
8		-17,01	-21,08	-17,02	-15,44	-17,3	-18,75
9		-14,43	-18,65	-16,36	-14,09	-15,95	-17,58
10		-15,13	-16,66	-14,66	-13,35	-15,07	-16,66

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: 9^ο ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΟ
ΣΥΝΕΔΡΙΟ «ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2018»**

9ο Πανελλήνιο Συνέδριο «ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2018»

Το Ελληνικό Ινστιτούτο Ακουστικής ΕΛ.ΙΝ.Α (<http://www.helina.gr>), μέλος της European Acoustics Association E.A.A., διοργανώνει το 9^ο Πανελλήνιο Συνέδριο ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2018, τη **Δευτέρα 8 και Τρίτη 9 Οκτωβρίου 2018**, στο Συνεδριακό Κέντρο και Πολιτιστικό Κέντρο του Πανεπιστημίου Πατρών.

Καταληκτικές ημερομηνίες

Υποβολή περιλήψεων: Παρασκευή 15 Ιουνίου 2018
 Αποδοχή εργασίας: Παρασκευή 13 Ιουλίου 2018
 Υποβολή πλήρους κειμένου: Παρασκευή 14 Σεπτεμβρίου 2018

Ενδεικτικές θεματικές ενότητες

Γενική, Θεωρητική & Εφαρμοσμένη ακουστική, Ψηφιακή επεξεργασία ήχου, Επεξεργασία ομιλίας & λόγου, Έλεγχος θορύβων & δονήσεων, Περιβαλλοντική ακουστική - Ηχορύπανση, Ηλεκτροακουστική, Κτιριακή ακουστική, Αρχαιολογική Ακουστική, Μουσική ακουστική, Υποβρύχια ακουστική, Ατμοσφαιρική ακουστική, Ψυχοακουστική, Υτέρηχοι και εφαρμογές, Ακουστικές μετρήσεις και όργανα, Ακουστική εκπομπή, Ακουστική και Εκπαίδευση, Ακουστική, Νευροτολογία, Ασύρματα δίκτυα ακουστικών αισθητήρων

Υποβολή εργασιών

Οι ενδιαφερόμενοι συγγραφείς θα υποβάλουν, αρχικά, εκτεταμένη περίληψη της εργασίας τους (έως 750 λέξεις), η οποία θα περιλαμβάνει συνοπτικά το σκοπό, τη μεθοδολογία, τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα της εργασίας. Η αποδοχή των εργασιών που θα παρουσιαστούν στο συνέδριο, θα γίνει με κρίση επί της εκτεταμένης περίληψης.

Εγγραφή - Κόστος Συμμετοχής

Στην κάθε εργασία που θα παρουσιαστεί στο Συνέδριο και θα συμπεριληφθεί στα Πρακτικά, θα πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένας συγγραφέας ο οποίος να έχει κάνει εγγραφή στο Συνέδριο. Η κάθε εγγραφή συμμετέχοντος συνδέεται αποκλειστικά με μόνο μία από τις εργασίες που θα παρουσιαστούν. Το κόστος συμμετοχής στο συνέδριο για τις διαφορετικές κατηγορίες συμμετεχόντων είναι το εξής:

		πριν την 14η Σεπτεμβρίου 2018	μετά την 14η Σεπτεμβρίου 2018
Μέλη	κανονική εγγραφή	50 €	80 €
	ΕΛ.ΙΝ.Α φοιτητές/σπουδαστές	30 €	40 €
Μη-μέλη	κανονική εγγραφή	100 €	120 €
	ΕΛ.ΙΝ.Α φοιτητές/σπουδαστές	40 €	50 €

Πληροφορίες

Για περισσότερες πληροφορίες μπορείτε να ενημερωθείτε από την ιστοσελίδα του Συνεδρίου ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2018: <https://conferences.helina.gr/2018/> ή να απευθύνεστε στην Οργανωτική Επιτροπή του Συνεδρίου με email : acoustics2018@helina.gr ή τηλεφωνικά στο 2610 996474.

Για την εγγραφή σας στο Συνέδριο ακολουθείστε τις οδηγίες και συμπληρώστε την φόρμα εγγραφής που βρίσκονται στην ιστοσελίδα: <https://conferences.helina.gr/2018/gr/registration/>

Ενημέρωση αποδοχής της εργασίας

From: acoustics2018@easychair.org<acoustics2018@easychair.org>on behalf of ACOUSTICS2018 <acoustics2018@easychair.org> **Sent:** Friday, July 13, 2018 12:27:27 PM

Subject: ACOUSTICS2018 ενημέρωση αποδοχής της εργασίας με αριθμό υποβολής 62

Αγαπητοί συγγραφείς

Σας ενημερώνουμε ότι η εργασία σας με τίτλο:

Θεατρικές σκηνές στην μεταπολεμική Ελλάδα του μοντερνισμού · Φυσικές ακουστικές μετρήσεις

έγινε ΑΠΟΔΕΚΤΗ για προφορική παρουσίαση στο 9ο Πανελλήνιο Συνέδριο "ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ 2018", που θα διεξαχθεί 8-9 Οκτωβρίου 2018 στην Πάτρα.

Στο τέλος του μηνύματος μπορείτε να δείτε τα σχόλια των κριτών επί της περίληψης που υποβάλλατε. Παρακαλούμε να τα λάβετε υπ' όψιν σας στη συγγραφή του τελικού κειμένου της εργασίας σας.

Το τελικό κείμενο της εργασίας σας θα πρέπει να υποβληθεί στο σύστημα easychair έως και τις 14 Σεπτεμβρίου 2018.

Οδηγίες για την υποβολή του τελικού κειμένου της εργασίας σας καθώς και το πρότυπο κειμένου (template) θα λάβετε σύντομα με νέο μήνυμα.

Με εκτίμηση,

Εκ μέρους της Οργανωτικής Επιτροπής
Παναγιώτης Χατζηαντωνίου (phatziantoniou@upatras.gr)

**Θεατρικές σκηνές στην μεταπολεμική
Ελλάδα του μοντερνισμού ·
Φυσικές ακουστικές μετρήσεις**

Α. Σατηροπούλου¹, Ι. Καραγιάννης², Μ. Σκούτα³, Β. Λουίζος⁴, Γ. Πετρόπουλος⁵,
Π. Πάνου⁶, Π. Σπύρου⁷, Σ. Βουγιούκας⁸, Π. Μπαλιάκας⁹,
Γ. Βλάχος¹⁰, Δ. Χριστοφορίδης¹¹

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, Ελλάδα
email: ¹:alexiasotirop@gmail.com, ²:mediumswing@hotmail.com,
³:maria_skout@hotmail.gr, ⁴:louizosbill@gmail.com, ⁵:ggpetrop7@gmail.com,
⁶:penny14panou@gmail.com, ⁷:evhspyrou@yahoo.gr, ⁸:vousta13@hotmail.com
⁹:mpaliaka@hotmail.com, ¹⁰:vlachosemp@gmail.com, ¹¹:d.christoforidis@yahoo.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το παρόν άρθρο αποσκοπεί να εξετάσει ελληνικές θεατρικές σκηνές του μεταπολεμικού μοντερνισμού στην Ελλάδα, σε σχέση με την ακουστική τους απόδοση και τον αρχιτεκτονικό σχεδιασμό τους. Ακουστικές μετρήσεις διενεργήθηκαν σε επτά θεατρικές σκηνές. Δύο τύποι θεάτρων παρατηρούνται στην υπό εξέταση εποχή τα θέατρα τύπου "less is more" και τα «αυτοτελή». Βρέθηκε ότι η ανθρώπινη κλίμακα που υιοθετούν θέατρα του πρώτου τύπου ευνοεί τον ακουστικό σχεδιασμό των, σε αντίθεση με την άλλη κατηγορία που χρειάζεται επιπρόσθετα σχεδιαστικά στοιχεία για να ελεγχθεί η ακουστική των. Αναλύονται επί μέρους χαρακτηριστικά. Τα παρόντα αποτελέσματα διαφορίζουν ως προς τις επιπτώσεις του αρχιτεκτονικού ύφους στην ακουστική απόδοση του θεάτρου και αναδεικνύουν εν γένει χαρίσματα των υπό εξέταση θεάτρων.

***Drama theatres of modernity
in postwar Hellas ;
Physical acoustic measurements***

ABSTRACT

This paper aims to examine the acoustical performance of drama theatres of modernity in postwar Hellas, in relation to their architecture. Acoustic measurements were carried out in seven theatres. Two theatre types are observed in this period, namely the type "less is more" and "detached" theatres. The first theatre type is usually hosted in the basement of multistory modern buildings the other theatre type occupies an entire building in itself. It is demonstrated that the human scale which is adopted by the theatre type "less is more" works synergistically with good acoustics by contrast the other theatre type needs additional building elements to achieve satisfactory sound performance. The present results illustrate the implications of architectural design on the acoustical performance of the theatres and demonstrate, by and large, the acoustical merits of the test auditoria.

Εισαγωγή

Η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα κυρίως λόγω αστυφιλίας, σε συνδυασμό με την εξέλιξη και την αγάπη του Έλληνα για την τέχνη του θεάτρου, είχαν ως αποτέλεσμα την δημιουργία πληθώρας νέων θεατρικών σκηνών στην μεταπολεμική Ελλάδα του μοντερνισμού. Δυο τάσεις παρατηρούνται. Η πρώτη ενσαρκώνει το δόγμα του μοντερνισμού που συνοψίζεται στο μότο "less is more" («ουκ εν τω πολλώ το ευ»), και χρησιμοποιεί το περιορισμένων διαστάσεων ισόγειο ή υπόγειο νεόδμητων αστικών πολυκατοικιών για να χωρέσει τα νέα θέατρα της εποχής. Η άλλη τάση επιλέγει την ευρυχωρία του αυτοτελούς κτιρίου με χρήση αποκλειστικά το θέατρο, με παράδειγμα τα θέατρα που ανεγέρθησαν τότε υπό την αιγίδα του Υπ. Πολιτισμού σε διάφορες ελληνικές πόλεις.

Η παρούσα εργασία αποτελεί μέρος μιας ευρύτερης μελέτης στο Ε.Μ.Πολυτεχνείο· αυτή έχει στόχο να καταγράψει θέατρα της μεταπολεμικής Ελλάδας του μοντερνισμού και να διερευνήσει την ακουστική των απόδοση σε σχέση με το αρχιτεκτονικό ύψος και τα χαρακτηριστικά των. Στο παρόν άρθρο παρουσιάζονται αποτελέσματα ακουστικών μετρήσεων από θέατρα της ως άνω περιόδου.

1. Βιβλιογραφική αναδρομή

Από τις πρώτες προσπάθειες που έγιναν για να συσχετίσουν την ακουστική απόδοση με την αρχιτεκτονική των θεάτρων, είναι η εργασία των Talaske και Boner [1] και περιλαμβάνει απλή καταγραφή σχετικών δεδομένων σε πολλά θέατρα ανά τον κόσμο. Εμπειρισματομένη έρευνα στο θέμα είναι η εργασία του Batton [2]. Η εργασία, μεταξύ άλλων, περιλαμβάνει επιτόπιες μετρήσεις σε δώδεκα θέατρα της Μεγάλης Βρετανίας και μεταξύ άλλων συμπερασμάτων καταλήγει στα εξής: ο επιθυμητός χρόνος αντήχησης στις μεσαίες συχνότητες είναι από 1.0s έως περίπου 0.75s σε θέατρο χωρίς ακροατήριο, οι μικρές αποστάσεις ακροατών-δράκοντων ευνοούν την ακουστική, οι βαθείς εζώστες είναι δεκτοί, ο προσκηνιακός τύπος θεάτρου είναι πλεονεκτικός, κ.λπ. Μελέτη, εν εξελίξει, στο ανωτέρω θέμα γίνεται στο ΕΜΠ και συνοψίζεται στο [3].

2. Μεθοδολογία και πειραματική διαδικασία

Οι φυσικές ακουστικές παράμετροι, που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη και θεωρούνται αντιπροσωπευτικές [2], είναι οι: α) **Κλάσμα πρόμων ανακλάσεων "50EEF"** (Μέτρο καταλληλότητας της ομιλίας, Ανεκτό όριο ≥ 0.50), β) **Χρόνος αντήχησης** της αίθουσας "RT (s)", γ) **Απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου "G (dB)" από την πηγή**, και δ) **Θορύβος βάθους** " L_{Aeq} (dBA)".

Εδώ παρουσιάζονται μετρήσεις στη μεσαία περιοχή του φάσματος (μ.ο. 500, 1.000 Hz). Επιθυμητές τιμές για τον Χρόνο αντήχησης, βλέπε ανωτέρω. Μέγιστη ανεκτή στάθμη θορύβου βάθους επιλέγεται "31.0 dBA". Μέγιστη επιθυμητή απόσβεση της έντασης του ήχου "23.5 dB" [3].

3. Ακουστικές μετρήσεις

Οι μετρήσεις έγιναν σε επτά θεατρικές σκηνές χωρίς ακροατήριο και χωρίς κλιματισμό (Πίνακας 3.1). Απεικονίσεις των θεάτρων «Πόρτα», «Κόππα» και «Τζένη Καρέζη» δίδονται στο άρθρο [3]. Όλα είναι προσκηνιακής διάταξης πλην του «Τζένη Καρέζη» που είναι αμφιθεατρικής. Παρότι τα περισσότερα έχουν υποστεί ανακαινίσεις, δεν έχει αλλάξει η γεωμετρία και το μέγεθός τους.

Μετρήσεις ελήφθησαν διαδοχικά: 1) Με ισότροπη πηγή (δωδεκάεδρη, Brüel & Kjær), η οποία τοποθετήθηκε στο κέντρο της σκηνής, 1.5 μ. από την εμπρός άκρη της, και 2) με κατευθυντική πηγή, που προσομοιάζει την κατευθυντικότητα της ανθρώπινης φωνής, και χρησιμοποιείται στο πλάι της σκηνής, 2 μ. από τον άξονα συμμετρίας, με φορά προς το κέντρο της σκηνής. Οι θέσεις μέτρησης σε κάθε θέατρο ποικίλλουν από 8 μέχρι 16 (Σχήματα 4.5-4.8). Οι μετρήσεις έγιναν σύμφωνα με το σχετικό ISO [4]. Περαιτέρω λεπτομέρειες βλέπε στο άρθρο [3].

Πίνακας 3.1 Βασικές πληροφορίες για τις θεατρικές σκηνές. Το RT_{mid} αφορά στον χρόνο αντήχησης για τις μεσαίες συχν. (μ.ο. 500, 1000Hz), χωρίς ακροατήριο

Θέατρο	«Άλμα Βιάν»	«Στάσι»	«Κόππα»	«Τζένη Καρέζη»	«Πόρτα»	«Ανεσες»	«ΔΗΘΕΛΑ»
Χρονιά/έργο	Κατασκευή 1956, Ανακαίνιση 1977 & 2005	Κατασκευή 1971	Κατασκευή 1976, Ανακαίνιση 1997	Κατασκευή 1978, Ανακαίνιση 1989	Κατασκευή 1984, Ανακαίνιση 2014	Κατασκευή 1950, Ανακαίνιση 2004	Κατασκευή 1961
Αρχιτέκτονας	Α.ΦΟΙ Μπίτσου	Α. Κιργιζή Σουλίου	Ρ. Ε. Αρβανίτης	Α. Γ. Γιωτοβός	Μ. Φουσιάδης	Καθαρής, Χαροκογιάννης	Κ. Θ. Λαμπριλάκης
Νοσηριακότητα (έτομο)	276	300	340	300	320	290	450
Όγκος (m ³)	1480	2100	1360	1350	1840	2680	2965
Όγκος ανά θέση (m ³)	5,4	7	4	4,5	4,8	13,1	6,6
Μήκος (m)	22,80	23,50	18,00	20,30	18,90	26,00	26,10
Πλάτος (m)	14,70	16,00	18,00	21,50	20,20	15,90	18,30
Υψος (m) [min - max]	3,05 - 4,70	2,60 - 6,35	2,60 - 5,70	2,10 - 5,00	4,00 - 5,90	4,10 - 8,80	3,13 - 10,15
Εμβαδό (m ²)	369	376	324	370	383	Πίσταξη: 418 Εξώστης: 176	Πίσταξη: 446 Εξώστης: 176
RTmid (s)	0,74	0,96	0,60	0,75	0,77	0,93	0,58

4. Αποτελέσματα και ερμηνεία

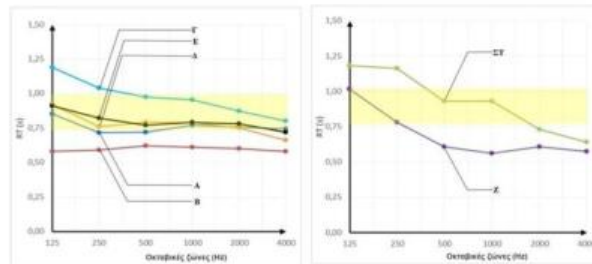
Τα αποτελέσματα φαίνονται στα Σχήματα 4.1-4.4. Όλα τα θέατρα χαρακτηρίζονται από τη λιτότητα του μοντερνισμού. Η πρώτη κατηγορία εξ' ατόν, δηλαδή τα αυτοτελή θέατρα, χαρακτηρίζονται από αυξημένο ύψος αίθουσας, κατά μέσο όρο γύρω στα 10 μ. και είναι τα πρώτα δύο θέατρα που ακολουθούν. Τα υπόλοιπα πέντε είναι από την κατηγορία θεάτρων του τύπου "less is more", και διαθέτουν μέσο ύψος γύρω στα 4.5 μ. Σε όλα τα θέατρα τα καθίσματα είναι επενδεδυμένα με παχιά ηχοαπορροφητική στόφα.

Θέατρο Ανεσες (Σχήμα 4.5). Αυτό το θέατρο των αρχών της μεταπολεμικής περιόδου διατηρεί τις μνημειώδεις διαστάσεις των θεάτρων του μεσοπολέμου. Αρχικά λειτούργησε ως σινεμά και μεταγενέστερα μετετράπη σε θεατρική σκηνή. Το υπερβολικό ύψος έχει ως αποτέλεσμα τον αυξημένο χρόνο αντήχησης, ο οποίος, παρ' όλες τις ηχοαπορροφητικές επενδύσεις που τοποθετήθηκαν κατά την ανακαίνιση, παραμένει αυξημένος στις χαμηλές συχνότητες. Η υπερβολικά υψηλή

οροφή έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη πρόμιων ανακλάσεων στον εξώστη ενώ στην πλατεία τα πίσω καθίσματα δέχονται πρόμιες ανακλάσεις από την οροφή του προβόλου του εξώστου. Οι πρώτες θέσεις της πλατείας προφανώς έχουν έντονο απευθείας ήχο. Η απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G) είναι ουσιαστικά μηδενική κυρίως λόγω των εξαιρετικά ανακλαστικών σκηνικών που ήταν εγκατεστημένα κατά τη διάρκεια της παρούσας μέτρησης. Ζώνη ανάσχεσης (φουαγιέ) μεταξύ της αίθουσας και της Λ. Κηφισίας προστατεύει τον χώρο από την ηχορρύπανση.

Δημοτικό Θέατρο Λαμίας (Σχήμα 4.7). Ο χρόνος αντήχησης στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες είναι κάτω των επιθυμητών ορίων χάρις στα πορώδη ηχοαπορροφητικά που φέρει η αίθουσα στις πλαϊνές παρειές και τον πίσω τοίχο. Χάρη στους ανακλαστήρες που φέρει η αίθουσα στην οροφή της υπάρχει άπλετη πρόμια ηχητική ενέργεια, η οποία φαίνεται και στις τιμές του μετρηθέντος 50EEF (Σχήμα 4.2). Η σχετικά αυξημένη ηχοαπορρόφηση στην αίθουσα έχει σαν αποτέλεσμα τη σχετικά έντονη πτώση της στάθμης έντασης του ήχου (G), ωστόσο παραμένει εντός ορίων. Η αίθουσα είναι εξαιρετικά προστατευμένη από εξωτερικούς θορύβους χάρη στη ζώνη ανάσχεσης που την περιβάλλει, δηλαδή διάδρομοι και φουαγιέ στις τρεις πλευρές της και βοηθητικοί χώροι στην πλευρά της σκηνής.

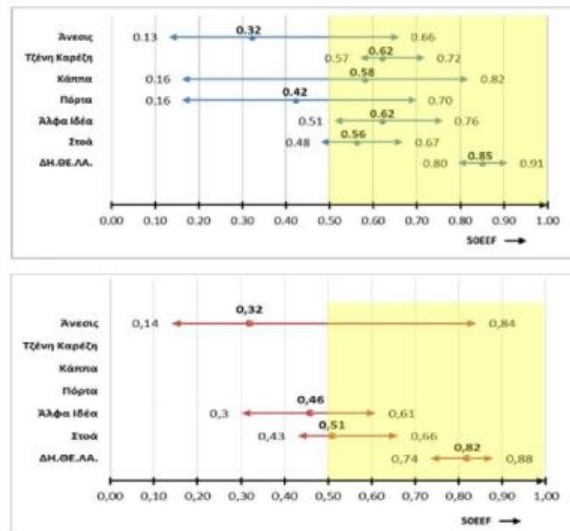
Άλφα Ιδέα (Σχήμα 4.6). Καταλαμβάνει το υπόγειο πολυκατοικίας της εποχής του. Ο χρόνος αντήχησης είναι εντός των δεκτών ορίων σε όλο το φάσμα με σχετική μείωση στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες ως προς τις χαμηλές λόγω της εκτενούς ηχοαπορροφητικής υφής του δαπέδου (μοκέτα). Το θέατρο διαθέτει ανακλαστική οροφή, καθώς και πλευρικές παρειές και αυτό φαίνεται στις τιμές του 50EEF που είναι εντός επιθυμητών ορίων σε όλη την αίθουσα. Ο πίσω τοίχος φέρει στοιχεία διάχυσης. Η απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G) είναι μέσα στα επιθυμητά όρια χάρις στις ανακλαστικές επιφάνειες του χώρου και τις μικρές αποστάσεις ακροατηρίου από τη σκηνή.



Σχήμα 4.1 Μετρήσεις του χρόνου αντήχησης (RT) σε όλο το φάσμα συχνοτήτων. Α. Άλφα Ιδέα, Β. Κάππα, Γ. Στοά, Δ. Πόρτα, Ε. Τζένη Καρέζη, ΣΤ. Άνεσις, Ζ. Δημοτικό Θέατρο Λαμίας. Επιθυμητά όρια.

Η είσοδος του θεάτρου βρίσκεται εντός «στοάς», η δε αίθουσα προστατεύεται με την ύπαρξη φουαγιέ (χώρος ανάσχεσης) από την κύρια είσοδο του θεάτρου. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την ικανοποιητική ηχοπροστασία της αίθουσας.

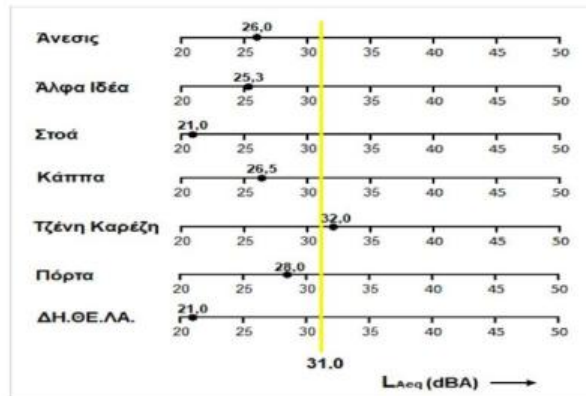
Στοά (Σχήμα 4.8). Το θέατρο αυτό καταλαμβάνει το ισόγειο και τον πρώτο όροφο πολυκατοικίας και έχει σχετικά αυξημένο ύψος (6,5 μ.). Ο χρόνος αντήχησης στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες είναι εντός των ανεκτών ορίων ενώ στις χαμηλές είναι σχετικά αυξημένος. Αυτό οφείλεται στο ύψος του χώρου σε συνδυασμό με τις κουρτίνες που καταλαμβάνουν εκτενή επιφάνεια των πλευρικών πορειών και προφανώς απορροφούν από τη μεσαία περιοχή του φάσματος και πάνω. Το θέατρο διαθέτει ανακλαστική οροφή η οποία έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση όλων των θέσεων του ακροατηρίου σε πρώιμες ανακλάσεις. Η απόσβεση της στάθμης έντασης του ήχου (G) είναι μέσα στα επιθυμητά όρια, όπως μετρήθηκε με την ισότροπη πηγή, χάρη στην ανακλαστική οροφή του χώρου και στις μικρές αποστάσεις ακροατηρίου από τη σκηνή. Ωστόσο, όταν η μέτρηση έγινε με την κατευθυντική πηγή, η απόσβεση της στάθμης της έντασης του ήχου γίνεται οριακά δεκτή, λόγω της απορρόφησης που υφίσταται στην ηχοαπορροφητική κουρτίνα των πορειών του χώρου.



Σχήμα 4.2 Μετρήσεις του κλάσματος πρώιμων ανακλάσεων (SOEEF)
 ■ : ισότροπη πηγή ■ : κατευθυντική πηγή

Τα υπόλοιπα τρία θέατρα, δηλαδή το **Θέατρο «Κάππα»**, το **Θέατρο «Πόρτα»** και το **Θέατρο «Τζένη Καρέζη»** περιγράφονται στο άρθρο [3].

Τα θέατρα που εξετάστηκαν διακρίνονται για τις μικρές αποστάσεις των δρόμων από τη σκηνή, χάρη στις οποίες επικρατεί σχετικά αυξημένη πρόομη ηχητική ενέργεια στον χώρο. Παρόλα αυτά, η κατηγορία των «αυτοτελών» θεάτρων διακρίνεται για το σχετικά αυξημένο ύψος της αίθουσας, το οποίο οδηγεί σε αυξημένο χρόνο αντήχησης. Αυτός ελέγχεται μεν στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες με τη χρήση πορώδους ηχοσποροφαιτικού στον χώρο ενώ στη χαμηλή περιοχή του φάσματος οι τιμές παραμένουν σχετικά αυξημένες. Η κατηγορία των θεάτρων "less is more", όμως, διαθέτει μέτρια ύψη που είναι συμβατά με την ανθρώπινη κλίμακα που υιοθετείται σε αυτό τον τύπο θεάτρου. Χάρη σε αυτά τα ύψη επιτυγχάνονται επιθυμητές τιμές του χρόνου αντήχησης. Η κατηγορία των «αυτοτελών» θεάτρων με τα σχετικά μεγάλα ύψη στερείται εγγύς ανακλαστικών επιφανειών. Ωστόσο, αυτή η κατηγορία θεάτρων διαθέτει εξώστες των οποίων ο πρόβολος λειτουργεί ως χρήσιμη ανακλαστική επιφάνεια που υποκαθιστά την απομακρυσμένη οροφή για μια μερίδα του ακροατηρίου. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη χρήση πρόσθετων ανακλαστήρων. Αντίθετα, η κατηγορία θεάτρων "less is more" διαθέτει εγγύς ανακλαστικές επιφάνειες χάρη στις μικρές διαστάσεις του χώρου που υαγορεύονται από την τάση «οὐκ ἐν τῷ πολλῷ τὸ εὖ». Όλα τα θέατρα, εν γένει, βρέθηκαν ότι είναι προστατευμένα από την αστική ηχορύπανση, χάρη κυρίως στις ζώνες ανάσχεσης (προθάλαμοι κ.λπ) που περιβάλλουν τις αίθουσες. Τα παραπάνω ευρήματα που προέκυψαν με ισότροπη πηγή είναι παρεμφορη με εκείνα που προέκυψαν με τη χρήση κατευθυντικής πηγής. Αυτό επιβεβαιώνει τα πλεονεκτήματα των θεάτρων προσκηνιακού τύπου.



Σχήμα 4.3 Μετρήσεις του θορύβου βάθους (L_{Aeq})

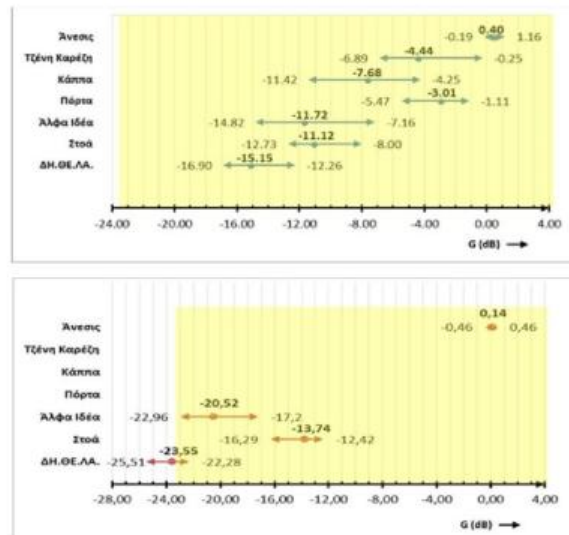
5. Συμπεράσματα

Η ανθρώπινη κλίμακα που υιοθετείται στις διαστάσεις του τύπου θεάτρου “less is more” εννοεί τον ακουστικό σχεδιασμό των, σε αντίθεση με την κατηγορία των «αυτοτελών» θεάτρων της ίδιας εποχής, τα οποία διαθέτουν μεγαλύτερα ύψη και χρειάζονται επιπρόσθετα στοιχεία, όπως, ειδικούς ανακλαστήρες και σκόπιμη εισαγωγή ηχοαπορρόφησης για να ελέγξουν την ακουστική του χώρου.

Κοινό πλεονέκτημα όλων των θεάτρων αυτής της εποχής είναι οι μικρές αποστάσεις του ακροατηρίου από τα δρώμενα και το γεγονός ότι στη συντριπτική τους πλειοψηφία είναι προσκηνιακού τύπου.

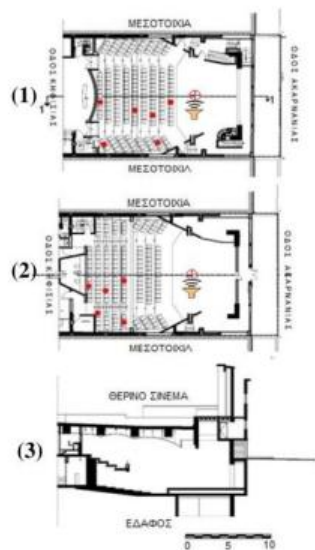
Τέλος, όλα βρέθηκαν να διαθέτουν επαρκή σχεδιασμό ηχοπροστασίας.

Τα παρόντα αποτελέσματα διαφωτίζουν ως προς τις επιπτώσεις του αρχιτεκτονικού ύφους και σχεδιασμού στην ακουστική απόδοση του θεάτρου και αναδεικνύουν εν γένει χαρίσματα των υπό εξέταση θεάτρων.

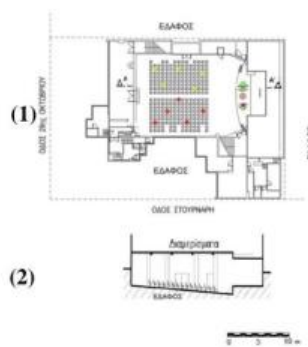


Σχήμα 4.4: Μετρήσεις της απόσβεσης της στάθμης έντασης του ήχου (G) ως προς την ένταση του ήχου στο 1 μ. από την πηγή (0 dB)

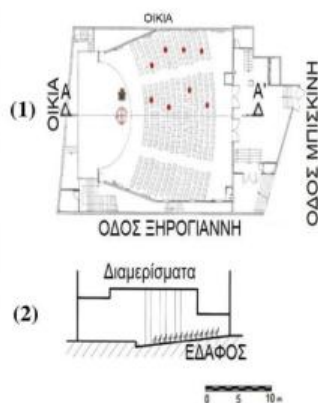
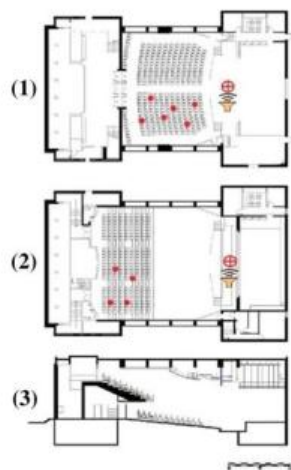
■: ισότροπη πηγή ■: κατευθυντική πηγή



Σχήμα 4.5 Θέατρο Αναφίς.
 (1) Κάτοψη πλατείας, (2) Κάτοψη εξώστη, (3) Τομή 1-1, (4) Άποψη πλατείας από τη σκηνή, (5) Εξωτερική άποψη.
 ⊕: ισότροπη πηγή, ●: θέσεις μέτρησης
 ☛: κατευθυντική πηγή



Σχήμα 4.6 Θέατρο Άλφα Ιδέα.
 (1) Κάτοψη πλατείας, (2) Τομή ΑΑ', (3) Άποψη σκηνής από την πλατεία, (4) Εξωτερική άποψη. ⊕: ισότροπη πηγή, ⊕☛: κατευθυντική πηγή ●: θέσεις μέτρησης, ☛: κατευθυντική πηγή ●: θέσεις μέτρησης



Σχήμα 4.7 Δημ. Θέατρο Λαμίας.

- (1) Κάτοψη πλατείας, (2) Κάτοψη εξώστη, (3) Τομή 1-1, (4) Άποψη πλατείας από τη σκηνή, (5) Εξωτερική άποψη

⊕: ισότροπη πηγή, ●: θέσεις μέτρησης
 ⚡: καταθυστική πηγή

Σχήμα 4.8 Θέατρο Στοά.

- (1) Κάτοψη πλατείας, (2) Τομή ΑΑ', (3) Άποψη σκηνής από την πλατεία, (4) Εξωτερική άποψη

⊕: ισότροπη πηγή, ●: θέσεις μέτρησης
 ⚡: καταθυστική πηγή

6. Ευχαριστίες

Ευχαριστίες εκφράζονται στον κοσμήτορα της σχολής Πολ. Μηχ. ΕΜΠ καθ. κ. Δ. Κουτσογιάννη για τη στήριξη στις σπουδές μας. Επίσης, ευχαριστούμε την ηθοποιό κ. Γιασεμί Κηλαηδόνη, καθώς και τα στελέχη των θεάτρων που συνέβαλαν στην πραγματοποίηση της μελέτης.

Μέρος της παρούσας εργασίας εκπονήθηκε στο πλαίσιο επί διπλώματι εργασιών στη σχολή Πολιτικών Μηχανικών ΕΜΠ από τους σπουδαστές Μ. Σκούτα, Β. Λουίζο, Γ. Πετρόπουλο, Π. Πάνου, Π. Σπύρου, Σ. Βουγγούκα και Π. Μπαλάκα.

7. Αναφορές

- [1] Talaske, R. H., Boner, R. E. (eds). "Theatres for drama performance" Recent experiences in acoustical design, ASA, New York (1986).
- [2] Barron M., *Auditorium acoustics and architectural design*, F & FN SPON, London (1993).
- [3] Sotiropoulou A., et al., *Integrated acoustic design in the architecture of Hellenic drama theatres of the 19th and 20th century*, ICSV 24, London (2017).
- [4] ISO 3382:2009, *Acoustics-Measurement of room acoustic parameters*, (2009).

**ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Δ: ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ
ΑΠΟΔΟΣΗ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ**
(Short version in English)

Table 1: Basic details of test drama theatres. RT_{mid} : Reverberation time (mean 500-1000 Hz) in the empty hall.

Theatre	1. Apollon	2. Mun. Theatre of Pireaus	3. National Theatre	4. Pallas	5. REX	6. Alfa Idea	7. Stoa	8. Kappa	9. Porta	10. Tzeni Karezi	11. Anesis	12. Mun. Theatre of Lamia	13. Christina Onassis
Date	1872	1895	1901	1932	1937	1956	1971	1976	1984	1978	1950	1961	2011
Most recent Refurbish	1997	2008	2006	2004	1988	2005	-	1997	2014	1989	2004	2010	-
Architect	Ziller	Lazarimos	Ziller	Bonis & Kassandras	Bonis & Kassandras	Bitsos	Kirtsis & Kollarou	Rigas & Arvanitis	Fotiadis	Gotovos	Kritharas	Laskaris	Arch. Studio FR
Seats	256	496	610	1500	638	276	300	340	320	300	260	450	220
Volume [m ³]	1330.00	5570.00	2560.00	6480.00	4130.00	1480.00	2100.00	1360.00	1840.00	1350.00	2680.00	2965.00	875.00
Volume per seat [m ³]	5.20	11.23	4.19	4.32	6.47	5.40	7.00	4.00	5.75	4.50	10.31	6.59	3.10
Depth [m ²]	12.30	19.27	10.42	34.50	16.56	22.80	23.50	18.60	18.90	20.25	26.00	26.05	15.10
Width [m]	11.42	19.27	15.50	23.50	23.00	14.70	16.00	18.00	20.20	21.50	15.85	18.30	11.20
Height [m]	8,00 [average]	15,00 [average]	9,88 [average]	8,50 - 10,00 [min] - [max]	11,68 [average]	3,05 - 4,70 [min] - [max]	2,60 - 6,55 [min] - [max]	2,60 - 5,70 [min] - [max]	4,00 - 5,90 [min] - [max]	2,10 - 5,00 [min] - [max]	4,10 - 8,80 [min] - [max]	3,13 - 10,15 [min] - [max]	2,40 - 8,20 [min] - [max]
Surface Area [m ²] (stalls level)	129.04	371.00	246.00	810.75	381.00	369.00	376.00	324.00	383.00	370.00	5.94	622.00	169.00
RT_{mid} [s]	1.03	1.29	0.89	0.81	1.27	0.74	0.97	0.60	0.77	0.75	0.93	0.58	0.62

2. About theatres

‘Pallas’ Theater. This theater is of the interwar period and has the same architectural features as REX (Great Height, Stylistic Simplicity). Due to the detailed study carried out in 2004, the use of sound absorbing materials and specific reflective surfaces, the values of the reverberation time and the fraction of the early reflections are within the desired limits.

Because of the length of the room, which also entails a great distance between spectators and spectators, the speech intensity decreases more than the values set by the regulations, which are controlled by electro-acoustic means used during performances. Like the "Alpha Idea" theater, we have a large deviation in the values we received between directional and isotropic sources, due to the deep depth of the stage, so the actor's acoustic energy is diminishing thanks to the long distance his voice goes to reach audience.

Finally, due to the existence of buffer zones (corridor, foyer) between the room and the central entrance, the depth noise value is judged to be satisfactory.

‘Apollon’ Theater. After the refurbishment that took place in the area and despite the large height of the theater, the reverberation time was checked at medium and high frequencies. However, in the presence of porous sound

absorbing materials they did not manage to control low frequencies, which require the addition of additional sound absorbing materials from other materials such as wood surfaces, gypsum board etc. As far as the 50EEF values are concerned, the theater presents a very good proportion of the early reflections to the total sound energy, which is justified by the existence of a sufficient number of reflective surfaces and by the audience's close distance from the scene. Measurements of the drop in sound level (G) indicate that the drop in mid and high frequencies is high, that is, the sound is quite weak and this is mainly due to the height of the room. Finally, the theater is soundproofed by urban noise due to the presence of a buffer zone (corridor).

'Municipal Theater of Lamia'. The reverberation time at the medium and high frequencies is below the desired limits due to the porous sound absorbers that the room has on the side faces and the rear wall. Thanks to the reflectors that the room has on its roof, there is plenty of early sound energy, which is also shown in the 50EEF measured values, which are the largest of the measured theaters. Relatively increased sound absorption in the room results in a relatively sharp drop in sound level (G), but remains within limits. The room is exceptionally protected from external noise due to the buffer zone surrounding it, ie corridors and foyers on its three sides and auxiliary spaces on the stage side.

'Christina Onassis' Theatre. This is the small stage of the Onassis Foundation House of Arts and Letters. Starting with the reverberation time, we notice that its low frequency values are reduced, indicating the remarkable acoustic study that has taken place. In particular, sound absorbing materials, mainly of wood, have been used. Continuing, we observe that the values of the reverberation time increase harmoniously along the octave bands of the spectrum, contributing to the diffusion of the sound field, again due to the sound auditory study. The speech perceivability and the damping of the sound level (G) is judged to be satisfactory both because of the reflective surfaces and the small distances between the viewers and the scene. Regarding the sound protection of the theater, this is considered inadequate as the theater is exposed to urban noise. It is noteworthy that there is no stop zone to the side of the busy Syngrou Avenue, where the theater wall is also an exterior wall of the building. Also from a building point of view, placing the room on the upper

floor of the building is undesirable because it leaves the room exposed to additional external noise.

'Anesis' Theatre. This theater of the post-war principles preserves the monumental dimensions of the interwar theaters. Initially it worked as a cinema and later turned into a theatrical scene. Excessive height results in increased reverberation time, which, despite all the sound absorbing coatings placed during refurbishment, remains elevated at low frequencies. The excessively high ceiling results in the lack of early reflections in the balcony, while in the square the rear seats receive early reflections from the ceiling of the canopy of the outboard. The first places on the square obviously have a strong direct sound. The damping of the sound level (G) is virtually null, mainly due to the highly reflective scenes installed during this measurement. A buffer zone between the hall and Kifissia Avenue protects the area from noise pollution.

'Alpha Idea' Theatre. It occupies the basement of a block of flats of its time. The reverberation time is within the spectrum acceptors throughout the spectrum with a relative decrease in medium and high frequencies to low due to the extensive sound-absorbing texture of the floor (carpet). The theater has a reflective ceiling as well as side faces and this is shown in the 50EEF values that are within desired limits throughout the room. The rear wall has diffusion elements. The dampening of the volume level (G) is within the desired limits thanks to the reflective surfaces of the room and the small audience distances from the scene. We have a large deviation in the values we received between the directional and isotropic source, because of the sides of the stage has been placed absorbent curtain so the actor when he speaks to lose his intensity of voice. Also, the scene has a great depth, so the actor's sonic energy goes a long way until he reaches the audience. The entrance of the theater is located within a "gallery", and the hall is protected by the presence of a foyer (stopping area) from the main entrance of the theater. These results in satisfactory sound protection of the room.

'Stoa' Theatre. This theater occupies the ground floor and the first floor of a block of flats and has a relatively high height (6.5 m). The reverberation time at medium and high frequencies is within tolerable limits, while at low frequencies it is relatively high. This is due to the height of the space

combined with the curtains that occupy an extensive surface of the side faces and apparently absorb from the middle range of the spectrum and above. The theater has a reflective ceiling that results in the audience being adequately occupied in early reflections. The damping of the sound level (G) is within the desired limits, as measured by the isotropic source, thanks to the reflective ceiling of the room and the audience distances from the scene. However, when the measurement was made with the directional source, the damping of the sound level is only marginally acceptable due to the absorption in the sound absorbing curtain of the cheeks of the room.

*For theatres **Mun. Theatre of Piraeus, National Theatre, REX, Kappa, Porta and Tzeni Karezi**, see references.*

Overall interpretation: According to acousticsologists, "lilippoutia" theaters are offered in terms of their acoustic qualities, as with their existing shell and without additional structural actions, they have qualitative acoustics. On the contrary, the magnificent theatrical buildings require in-depth acoustic study and additional constructional actions to have good acoustic performance. More specifically, most have shown satisfactory values both in terms of reverberation time and for and for the fraction of early reflections. This is due to either the small listener-stage distances ("less is more" theaters), or to the reflective environments on both sides of the audience, which has been achieved through additional constructive actions. Overall, the sound level at all theaters was not more than the critical values, but in this measurement we see that small theaters due to the smaller depth of the theater have a smaller decrease than the larger-volume theaters. Through the measurements of the directional source, we have come to the conclusion that some theaters (eg Pallas, Alpha Idea) show a partial deviation between their results with this source relative to the isotropic. This is due to the fact that the depth of the scene is very large, which results, when the actor has his back turned to the audience, much of the speech energy of his speech is lost, so the listeners have the final volume level to is reduced.

This leads us to the conclusion that an auditory study deserves to be done, as the use of a fairly reflexive environment on the stage (eg upright gypsum boards) can limit the great reduction in actor's acoustic intensity.

As far as the depth of noise is concerned, the "lilippous" theaters, due to the fact that they are caveless, achieve without sufficient action sufficient noise protection from urban noise. The magnificent theaters are protected from urban noise using the buffer zones (FOYAGE, corridors). It is noteworthy to mention that the beginning of the containment zone exists from the 19th century theaters and continues to be applied until now as a particularly effective method of sound protection. The only exceptions are the "Tzeni Karezis" and "Christina Onassis" theaters, which did not use adequate stopping zones and therefore are not adequately protected by sound.

Regardless of the architectural style and the date of construction, we see all the theaters being of sufficient intensity and the characteristics that lead to it are:

- Short listener and scene distances.
- Background-type architecture.
- And deep terraces: In particular, deep terraces are beneficial in maintaining the sound level at good levels even at a distance from happenings. The floor of the balcony also feeds the audience sitting underneath with early reflections.

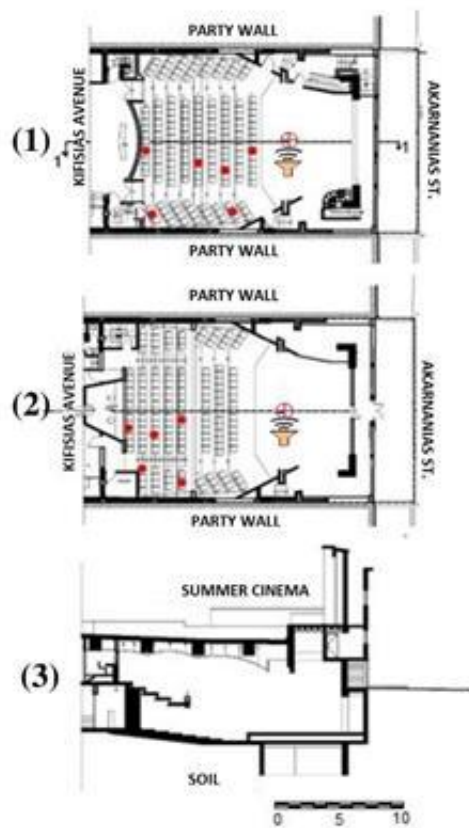


Fig. 1: Anesis Theatre. 1: Theatre plan, 2: Stalls' plan, 3: Long section,
 ⊕: Omnidirectional sound source,
 📡: Directional sound source,
 •: Test positions, 4: Inside view,
 5: Outside view

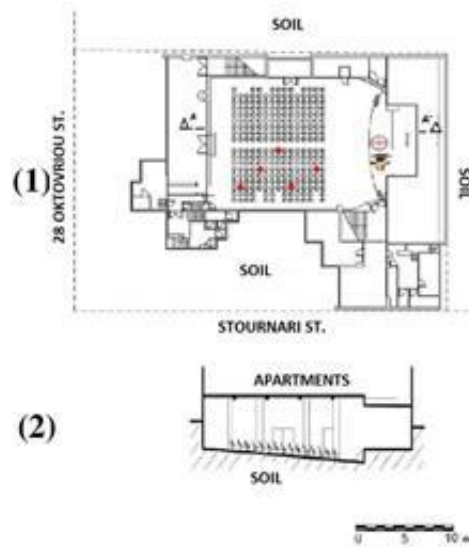


Fig. 2: Alfa Idea Theatre. 1: Theatre plan, 2: Long section,
 ⊕: Omnidirectional sound source,
 📡: Directional sound source,
 •: Test positions, 4: Inside view,
 5: Outside view

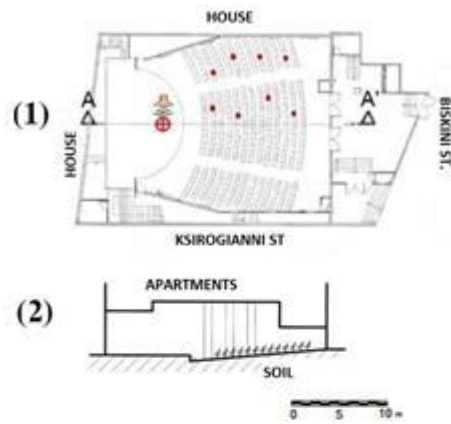
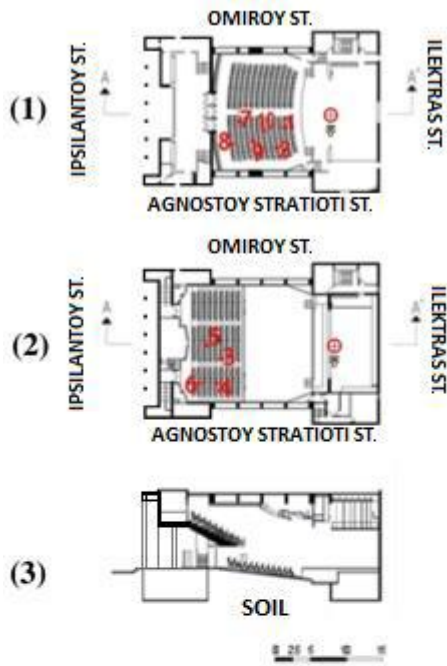


Fig. 3: Mun. Theatre of Lamia.
 1: Theatre plan, 2: Stalls' plan,
 3: Long section,
 ⊕: Omnidirectional sound source,
 ⚡: Directional sound source,
 •: Test positions, 4: Inside view,
 5: Outside view

Fig. 4: Stoa Theatre. 1: Theatre plan,
 2: Long section,
 ⊕: Omnidirectional sound source,
 ⚡: Directional sound source,
 •: Test positions, 4: Inside view,
 5: Outside view

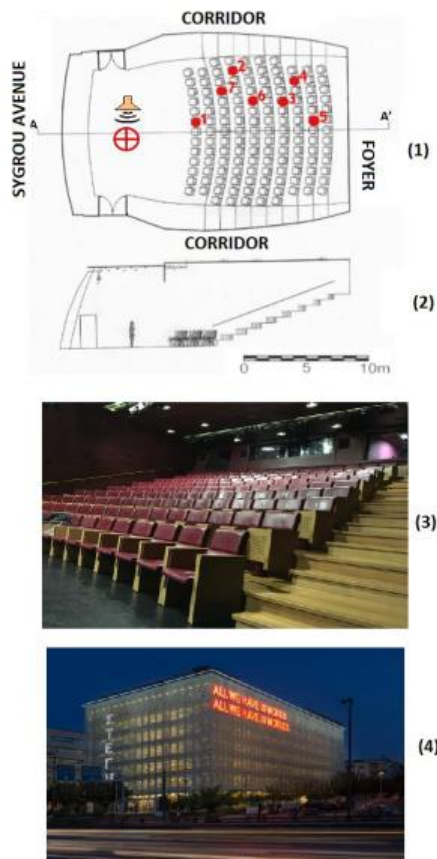


Fig. 5: Ch. Onassi Theatre.

- 1: Theatre plan, 2: Long section,
 ⊕: Omnidirectional sound source,
 📡: Directional sound source,
 ●: Test positions, 3: Inside view,
 4: Outside view

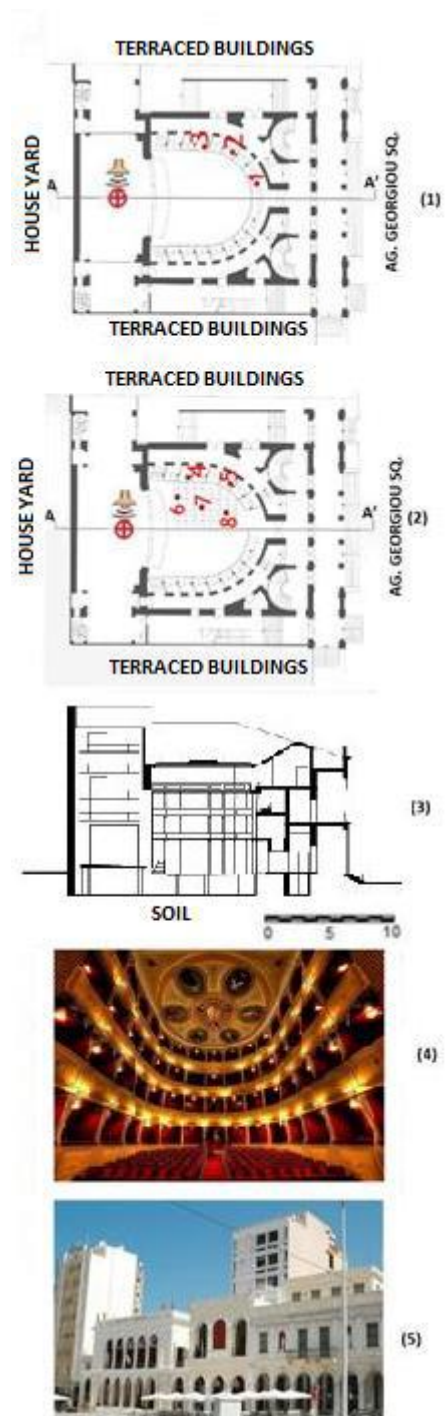


Fig. 6: Apollon Theatre.

- 1: Theatre plan, 2: Stalls' plan,
 3: Long section, ⊕: Omnidirectional sound
 source, 📡: Directional sound source,
 ●: Test positions, 4: Inside view,
 5: Outside view

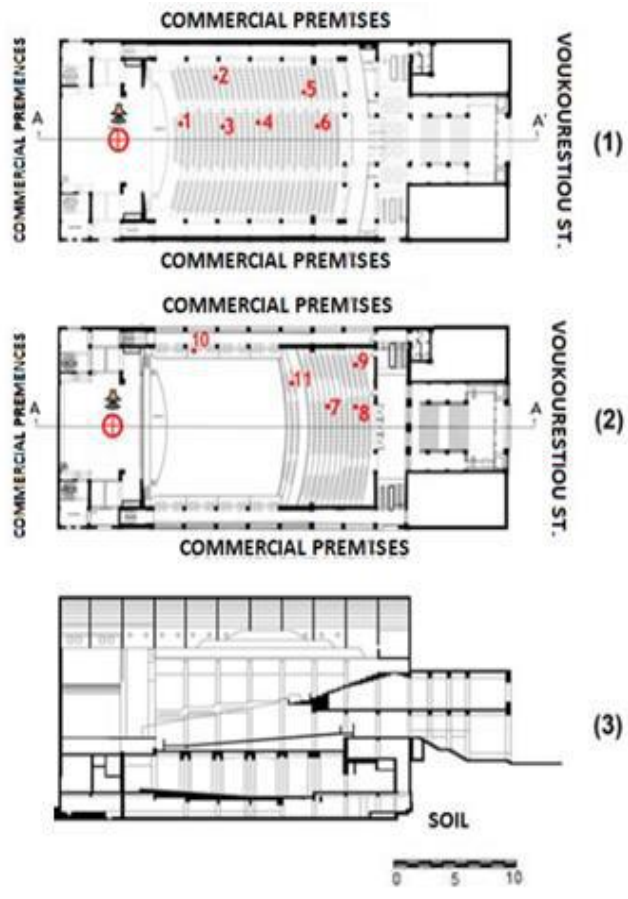


Fig. 7: Pallas Theatre. 1: Theatre plan, 2: Stalls' plan, 3: Long section, ⊕: Omnidirectional sound source, Ⓜ: Directional sound source, ●: Test positions, 4: Inside view, 5: Outside view

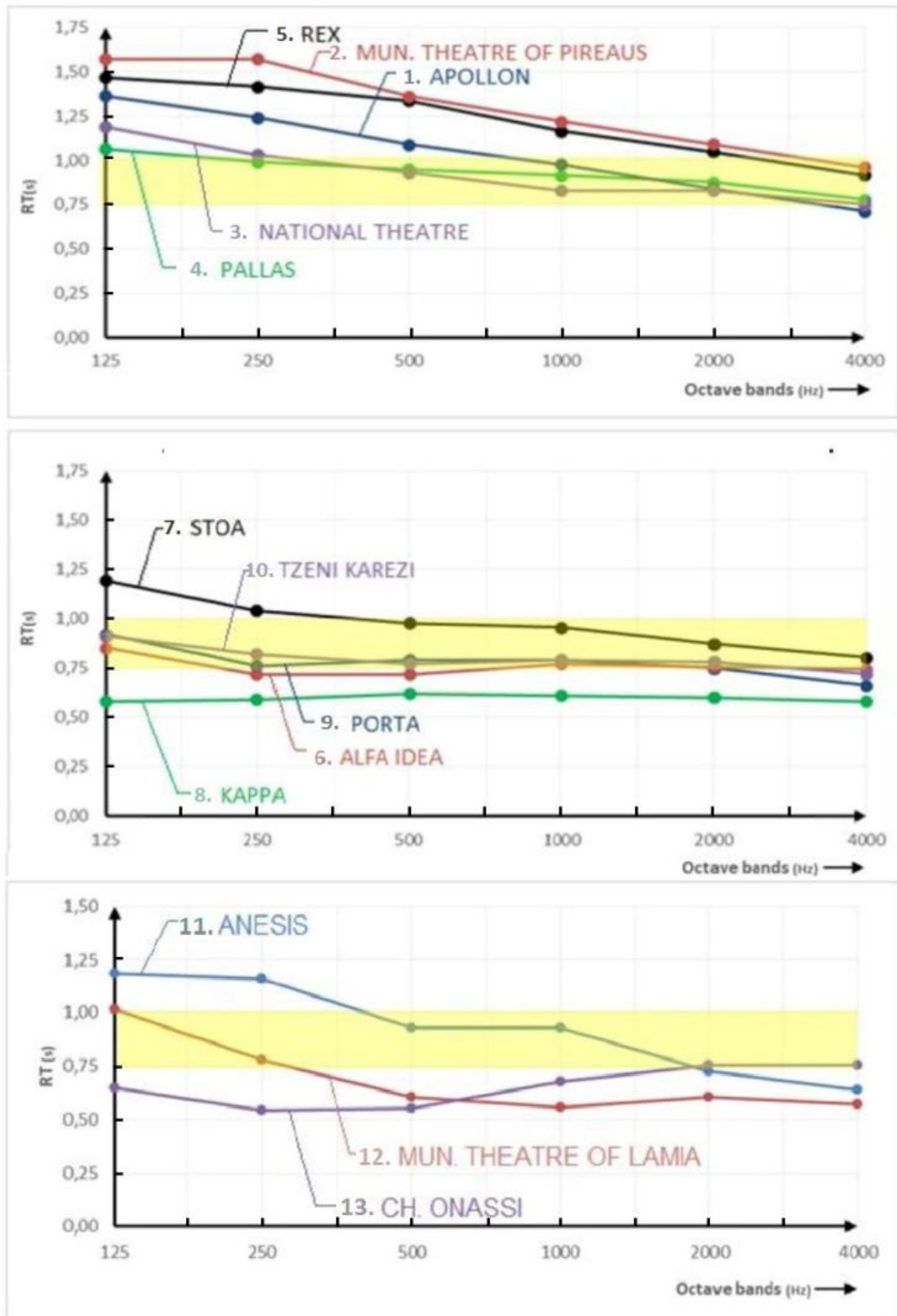


Fig. 8: Measurements of the Reverberation Time in test theatres.
 Recommended values.

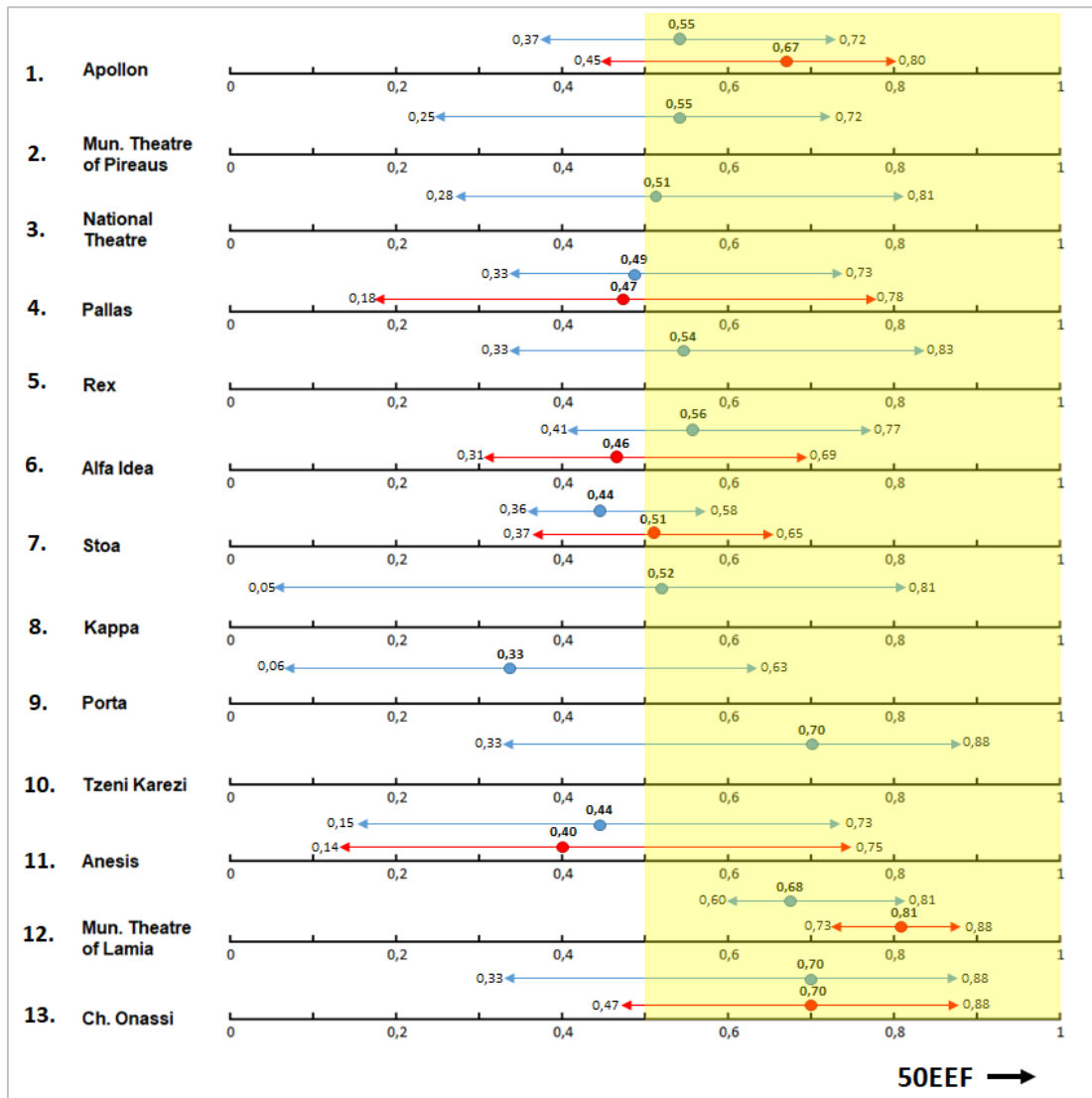


Fig. 9: Measurements of the 50ms early energy fraction (50EEF) for mean octave bands 125, 250. The range and mean value is given.
 — : omnidirectional source, — : directional source. *The criterion value is ≥ 0.50 .*

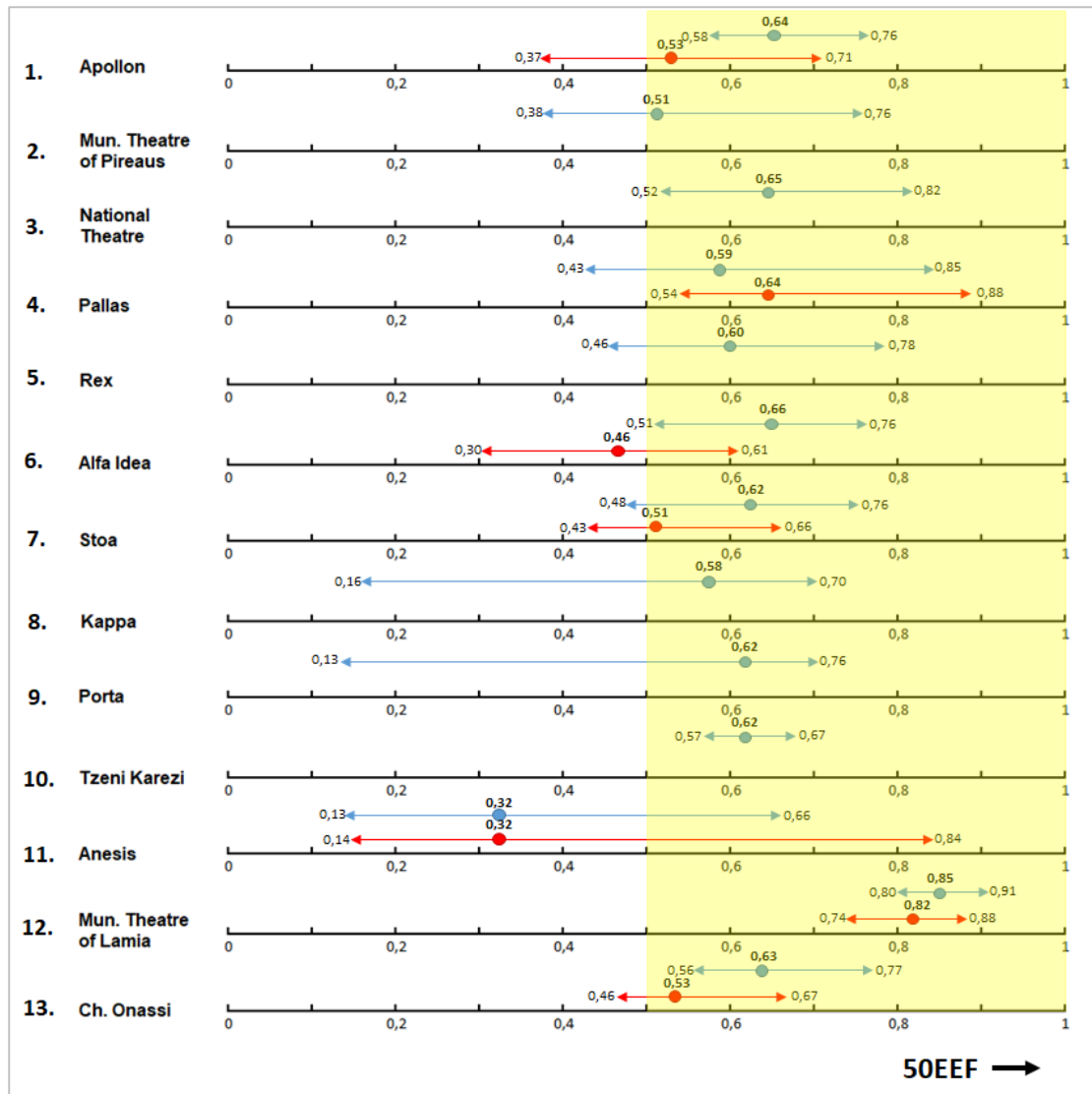


Fig. 10: Measurements of the 50ms early energy fraction (50EEF) for mean octave bands 500, 1000. The range and mean value is given.
 — : omnidirectional source, — : directional source. *The criterion value is ≥ 0.50 .*

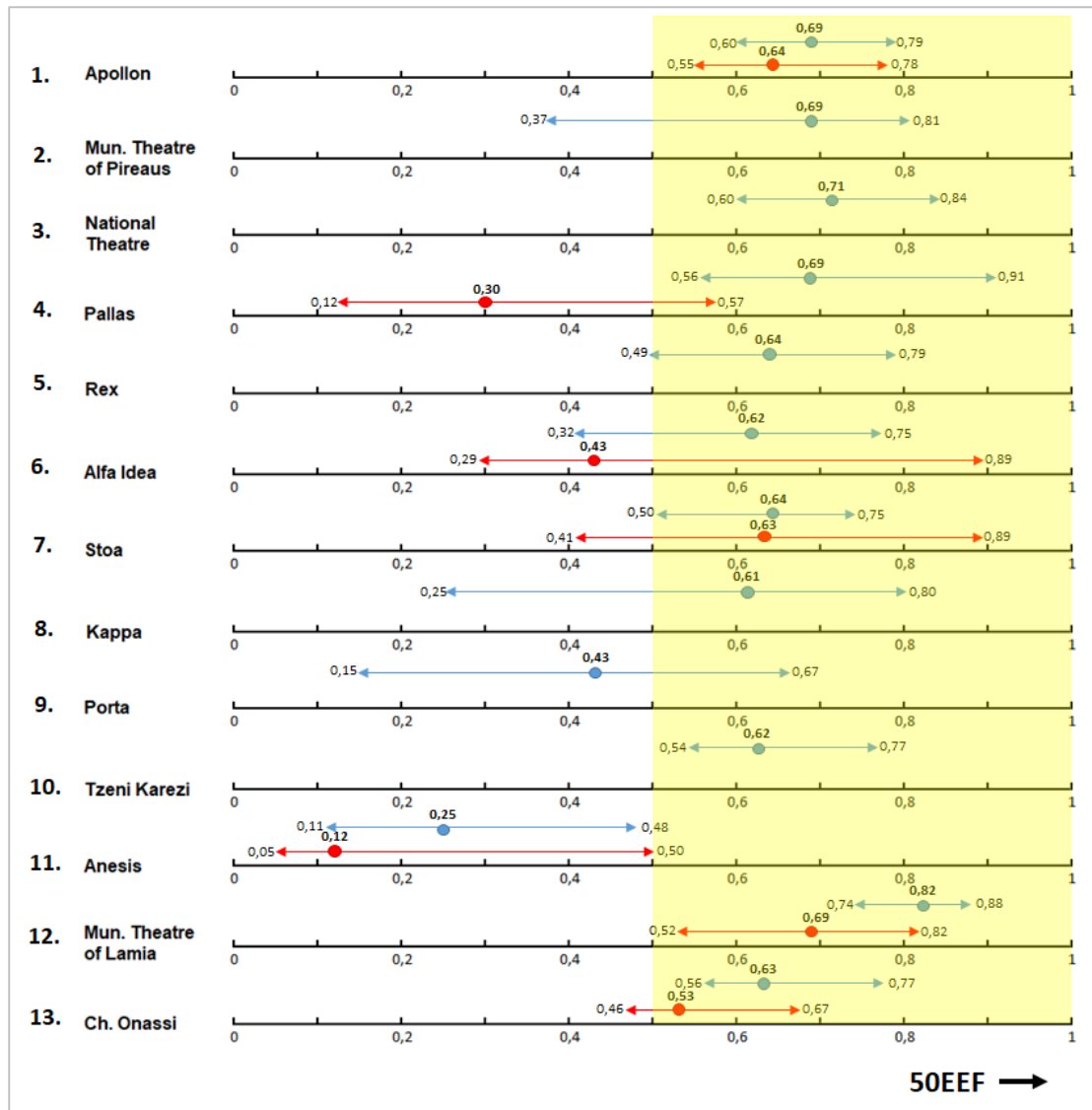


Fig. 11: Measurements of the 50ms early energy fraction (50EEF) for mean octave bands 2000, 4000. The range and mean value is given.
 — : omnidirectional source, — : directional source. *The criterion value is ≥ 0.50 .*

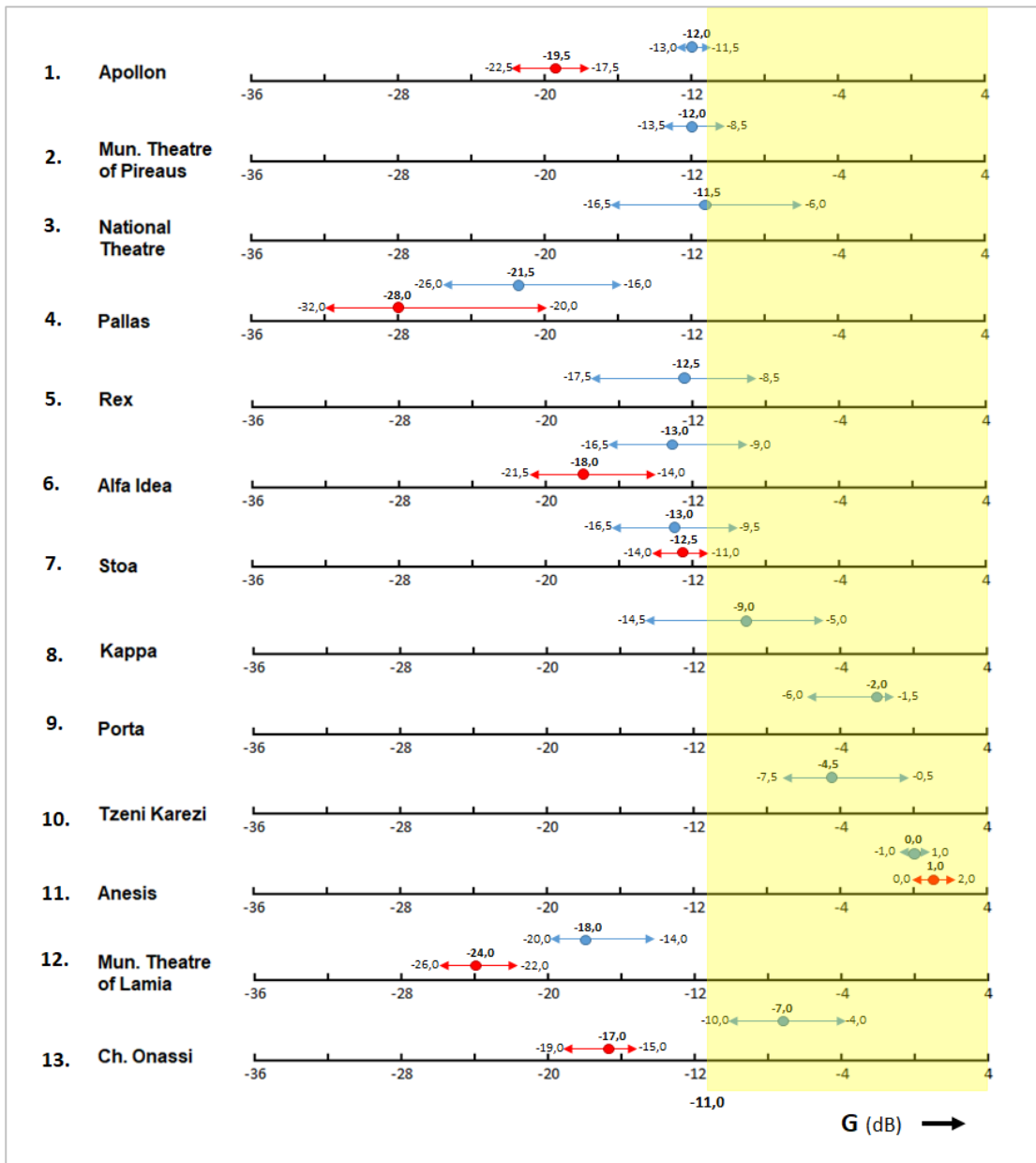


Fig. 12: Measurements of the speech sound level R_e speech level at 1 m. from source (G) for mean octave bands 125, 250. The range and mean value is given. — : omnidirectional source, — : directional source. The criterion value is ≥ -11 dB.

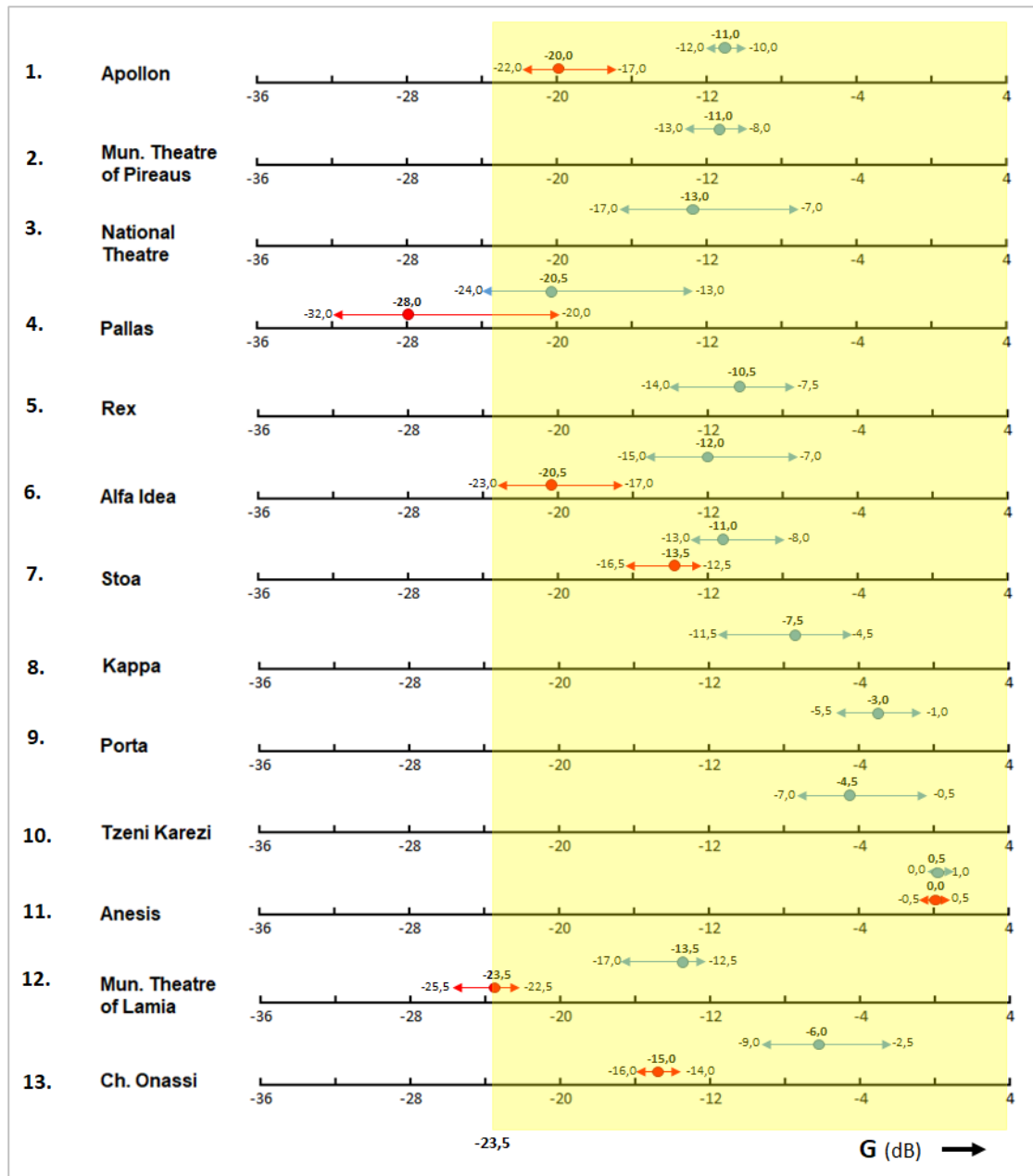


Fig. 13: Measurements of the speech sound level R_e speech level at 1 m. from source (G) for mean octave bands 500, 1000. The range and mean value is given. — : omnidirectional source, — : directional source. The criterion value is $\geq -23,5$ dB.

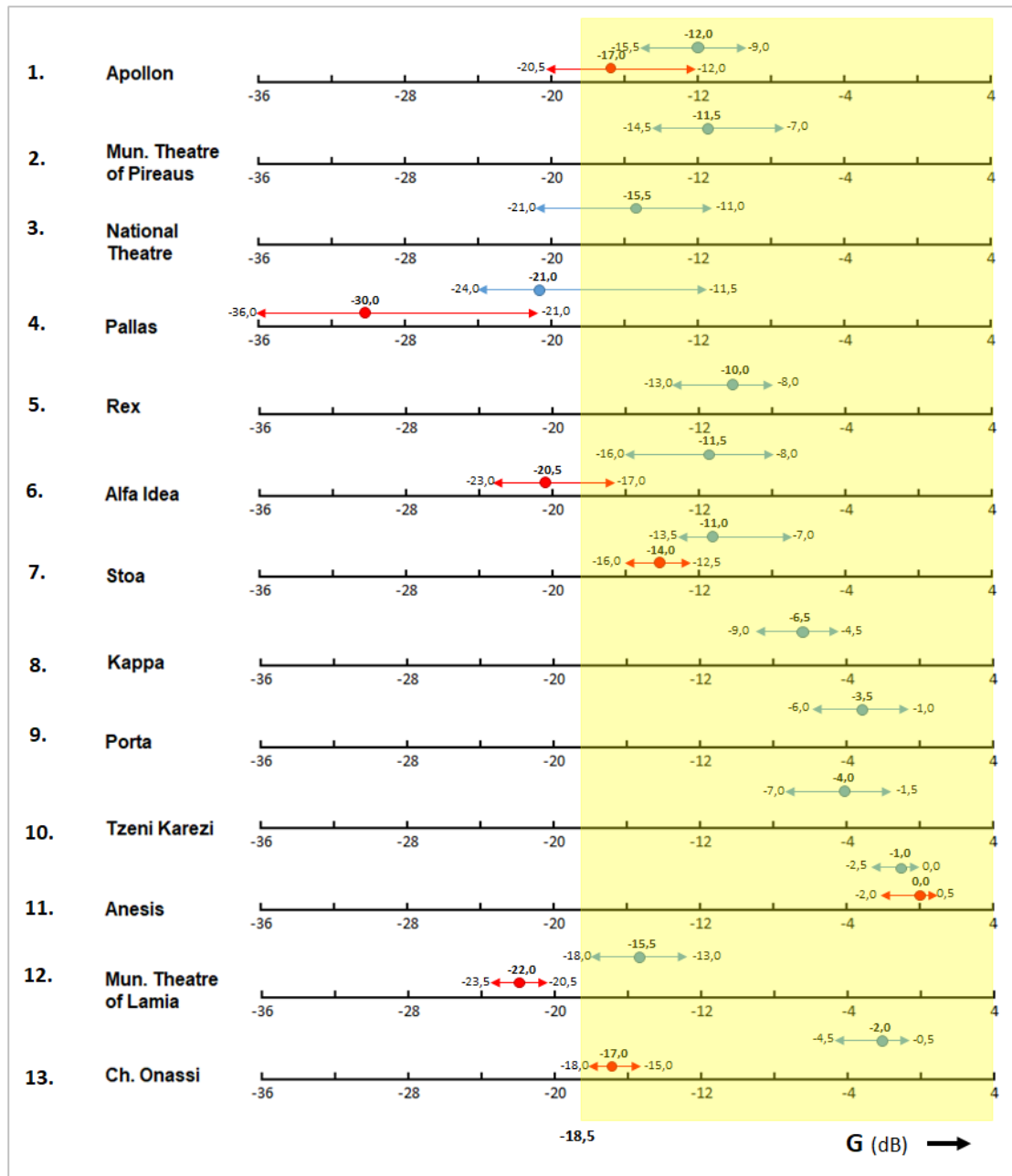


Fig. 14: Measurements of the speech sound level Re speech level at 1 m. from source (G) for mean octave bands 2000, 4000. The range and mean value is given. ←→ : omnidirectional source, ←→ : directional source. The criterion value is $\geq -18,5$ dB.

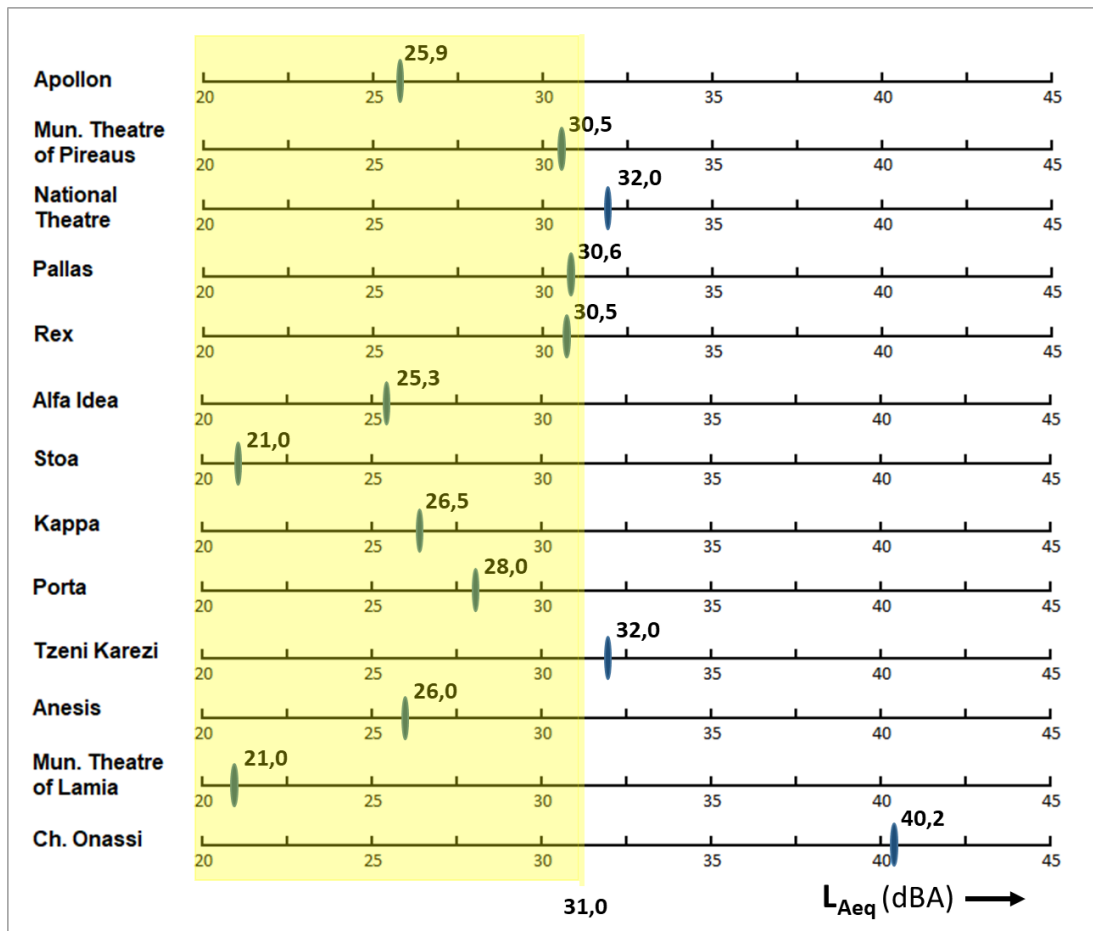


Fig. 15: Measurements of the background noise level in test theatres (L_{Aeq}), with air-conditioning system turned off. *Criterion value is ≤ 31 dBA.*

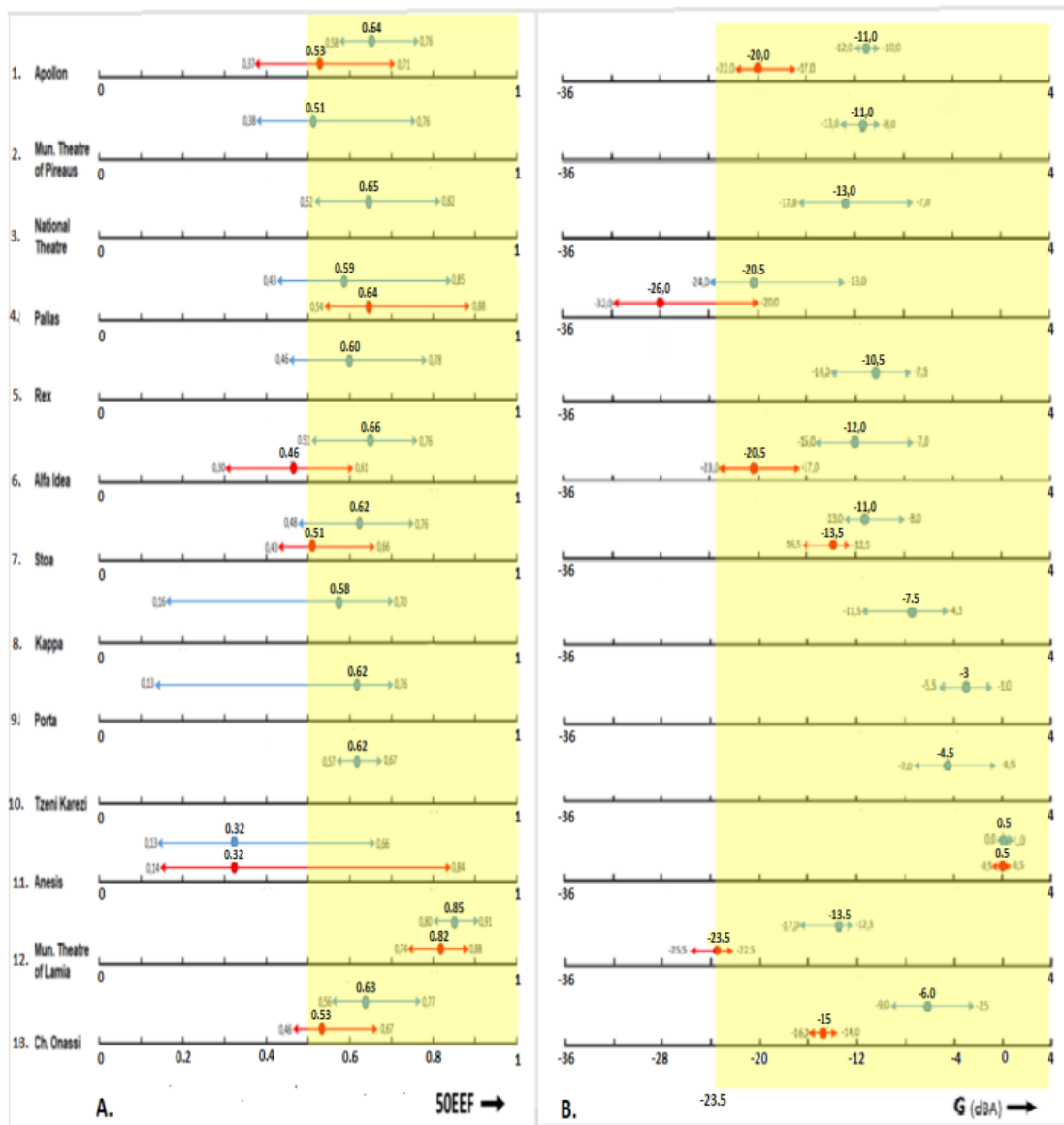


Fig. 16: Measurements of: **A.** the 50ms early energy fraction (50EEF) and **B.** the speech sound level (G) Re speech level at 1 m from source . Mean octave bands 500,1000Hz are presented. The range and mean value is given. **—** : omnidirectional source, **—** : directional source. *Criterion value is $\geq 0,50$ and $\geq -23,5$ dB, respectively for 50EEF and for G.*