ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Δομοστατικής

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΑΝΤΗΧΗΣΗ ΣΕ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ JAZZ˙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Διπλωματική Εργασία

Μαρίνα Άννα Χουντή

Ακαδημαϊκός Επιβλέπων: Γεώργιος Βλάχος
Συνεπιβλέποντες: Αλεξάνδρα Σωτηροπούλου
Ιωάννης Καραγιάννης

Εξεταστική Επιτροπή: Γεώργιος Βλάχος
Εμμανουήλ Βουγιούκας
Ευστράτιος Μπαδογιάννης

Αθήνα, Μάρτιος 2018

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Δομοστατικής

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΑΝΤΗΧΗΣΗ ΣΕ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ JAZZ˙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Διπλωματική Εργασία

Μαρίνα Άννα Χουντή

Ακαδημαϊκός Επιβλέπων: Γεώργιος Βλάχος
Συνεπιβλέποντες: Αλεξάνδρα Σωτηροπούλου
Ιωάννης Καραγιάννης

Εξεταστική Επιτροπή: Γεώργιος Βλάχος
Εμμανουήλ Βουγιούκας
Ευστράτιος Μπαδογιάννης

Αθήνα, Μάρτιος 2018

Στο εξώφυλλο: Εσωτερική άποψη της αίθουσας Ronnie Scotts στο Λονδίνο

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη iii
Abstract v
Ευχαριστίες vii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ 1
2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ JAZZ 3
3. ΘΕΩΡΙΑ 5

3.1. Αντήχηση 5
3.2. Χρόνος Αντήχησης 6
3.3. Άλλες φυσικές παράμετροι της ακουστικής κλειστού χώρου 8
3.4. Ανηχοϊκά δείγματα 8

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ 9
5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 17

5.1. Επιλογή μεθόδου έρευνας 17
5.2. Σχεδιασμός και διεξαγωγή πειράματος 17
5.3. Ανάλυση Πειραματικών Δεδομένων 24

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 25

6.1. Βέλτιστος χρόνος αντήχησης 25
6.2. Ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος αντήχησης 29
6.3. Μέγιστος ανεκτός χρόνος αντήχησης 33

7. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 39
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 41
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 43
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ A – ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ 45
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ B – ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ NUENDO 55
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ C – ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ 61
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ D – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 69
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ E – ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 77
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ F – ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ 81
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ G – EXTENSIVE SUMMARY 85

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Βέλτιστη Αντήχηση σε Αίθουσες Μουσικής Jazz˙ Πειραματική Διερεύνηση

ΜΑΡΙΝΑ ΑΝΝΑ Ι. ΧΟΥΝΤΗ

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι ανάμεσα στις ελάχιστες έρευνες οι οποίες προσπάθησαν να ορίσουν τη βέλτιστη αντήχηση αιθουσών τζαζ συναυλιών. Για την ακρίβεια, πολύ συχνά χρειάζεται οι μουσικοί που ασχολούνται με τη τζαζ να παίξουν σε αίθουσες που δεν είναι κατασκευασμένες για τη μουσική αυτή ˙ συνεπώς είναι εξίσου σημαντικό να γνωρίζουμε την ελάχιστη απαιτούμενη και τη μέγιστη ανεκτή αντήχηση.

Πραγματοποιήθηκαν πειράματα αξιολόγησης χρησιμοποιώντας συνθετικό ηχητικό πεδίο μέσω ακουστικών με τη βοήθεια εξειδικευμένων μουσικών, χρησιμοποιώντας διάφορα αποσπάσματα μουσικής jazz με ή χωρίς πνευστά όργανα. Ο στόχος ήταν να προσδιοριστεί ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης, καθώς και η ελάχιστη απαιτούμενη και η μέγιστη ανεκτή αντήχηση, για καθέναν από τους τρεις ανεξάρτητους παράγοντες αντίληψης που έχουν ήδη εξαχθεί πειραματικά σχετικά με την ακουστική των αιθουσών τζαζ.

Σε αντίθεση με την κλασσική και τη ροκ μουσική, οι jazz εκτελέσεις βρέθηκαν να απαιτούν αρκετά μικρότερο χρόνο αντήχησης στην περιοχή μεταξύ 0,60 s - 0,80 s, όπου το άνω όριο αναφέρεται σε jazz σύνολα που περιλαμβάνουν πνευστά μουσικά όργανα. Αυτά τα αποτελέσματα βρέθηκαν να είναι ανεξάρτητα από τους τρεις διακριτούς παράγοντες αντίληψης που εξετάστηκαν.

Η ελάχιστη απαιτούμενη και η μέγιστη ανεκτή αντήχηση βρέθηκαν 0,25 s και 1,70 s αντίστοιχα. Αντίθετα με τη βέλτιστη αντήχηση, οι τιμές αυτές των ορίων βρέθηκαν να είναι ανεξάρτητες από τα όργανα που περιλαμβάνονται στο μουσικό σύνολο και για τους τρεις ανεξάρτητους παράγοντες αντίληψης.

Επιπλέον έρευνα απαιτείται για την επιβεβαίωση των παραπάνω ευρημάτων σε συνθήκες ζωντανής συναυλίας.

Λέξεις κλειδιά: Jazz μουσική, αίθουσες ακροατηρίου, χρόνος αντήχησης

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF STRUCTURAL ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

Optimal Reverberation in Jazz Music Auditoria; Experimental Investigation

MARINA ANNA J. CHOUNTI

Abstract

This paper is amongst the fewest studies in which it is attempted to determine optimal reverberation for jazz concert venues. In fact jazz musicians are often required to perform in auditoria were acoustics is not necessarily targeted for the purpose; it follows that it is also important to know the least required and the maximum tolerable reverberation time.

Subjective evaluation experiments using synthetic sound field though headphones were performed employing music experts and using various jazz excerpts with and without wind instruments. The aim was to identify the desired reverberation as well as the least required and the maximum tolerable reverberation, for each of three independent subjective factors, that had been previously experimentaly derived to account for the acoustics of jazz venues.

Unlike classical concerts and rock concerts, jazz music was found to require much shorter reverberation time ranging between 0.60 s - 0.80 s, the upper limit referring to jazz ensembles that involved wind instruments. These results were found to be independent of the three distinct subjective factors tested.

The least required reverberation and the maximum tolerable reverberation were found 0.25 s and 1.70 s respectively. Unlike optimal reverberation time, these limit values were found to be independent of the instruments involved in the ensemble for all three subjective factors.

More research needs to be done to confirm the present results in the live concert situation.

Key-words: jazz music auditoria, reverberation time

Ευχαριστίες

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Γεώργιο Βλάχο και τη συνεπιβλέπουσα καθηγήτριά μου κυρία Αλεξάνδρα Σωτηροπούλου για την ανάθεση της παρούσας διπλωματικής εργασίας και την ευκαιρία που μου έδωσαν να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον και πρωτότυπο θέμα.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στην επιτροπή που εξέτασε την διπλωματική εργασία μου, κυρίους Γ. Βλάχο, Ε. Βουγιούκα και Ε. Μπαδογιάννη, καθώς και στον Κοσμήτορα της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Δ. Κουτσογιάννη, τον τ. Διευθυντή του Εργαστηρίου Ηχοτεχνίας κύριο Πουλάκο και τον αν. Καθηγητή Δ. Φουσκάκη για τη στήριξή τους στο έργο μας.

Επιπλέον, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον υποψήφιο διδάκτορα του Ε.Μ.Π. Γιάννη Καραγιάννη για την καθοριστική συμβολή του στην πειραματική διαδικασία της εργασίας μου και το χρόνο που διέθεσε για την ολοκλήρωσή της.

Ευχαριστώ, επίσης, όλα τα άτομα που έλαβαν μέρος στην πειραματική διαδικασία της εργασίας μου και ιδιαίτερα τους Δ. Καλατζή του Ωδείου Αθηνών, Σ. Σύρρο του Ωδείου Ahtenaeum, Α. Δέδε του Ωδείου Φίλιππος Νάκας, Δ. Χουντή του Ωδείου Ηριδανός, Ν. Σουκαρά της Μουσικής Σχολής Μαδριγάλειος και Γ. Καρυώτη του Sierra Studios, για την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία τους στην εκτέλεση των πειραμάτων.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου των οποίων η στήριξη συντέλεσε σημαντικά στην ολοκλήρωση των ακαδημαϊκών σπουδών μου και στην υλοποίηση της παρούσας εργασίας.

Μαρίνα Άννα Χουντή
Μάρτιος 2018

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η jazz είναι ένα μουσικό είδος η γένεση του οποίου χρονολογείται περίπου στις αρχές του 20ου αιώνα στις Αφρο-αμερικάνικες συνοικίες των Νότιων Ηνωμένων Πολιτειών από τη συμβολή Αφρικάνικων και Ευρωπαϊκών μουσικών παραδόσεων.

Τα τελευταία χρόνια η jazz και άλλα σύγχρονα είδη μουσικής όπως η pop και η rock έχουν γίνει αγαπητά σε ολόκληρο τον κόσμο. Για το λόγο αυτό η ανάγκη για αίθουσες σχεδιασμένες αποκλειστικά για αυτού του είδους τη μουσική είναι επιτακτική. Έχει παρατηρηθεί ότι μέχρι πολύ πρόσφατα οι ερευνητές δεν είχαν ενδιαφερθεί να μελετήσουν τα μοντέρνα μουσικά είδη, οπότε η έλλειψη σχεδιαστικών κριτηρίων είναι εμφανής, εν αντιθέσει με τις ενδελεχώς μελετημένες αρχές της κλασσικής μουσικής.

Η jazz είναι ένα μουσικό είδος διαφορετικό από την κλασσική, επομένως η ακουστική των jazz αιθουσών πρέπει να διερευνηθεί ξεχωριστά. Αρχικά, παρόλο που τα περισσότερα μουσικά όργανα που χρησιμοποιούνται στις jazz μπάντες όπως πιάνο, κοντραμπάσο, τρομπέτα κτλ. συμπεριλαμβάνονται και στις ορχήστρες κλασσικής μουσικής, ο ρόλος αυτών των οργάνων και κατ' επέκταση οι ακουστικές απαιτήσεις τους, είναι διαφορετικά σε κάθε είδος. Το κοντραμπάσο, για παράδειγμα, σε ένα jazz σύνολο παίζει σχεδόν πάντα "pizzicato", ενώ αυτό συμβαίνει σπάνια σε μια κλασσική συμφωνική ορχήστρα. Επιπλέον, παρόλο που στο ξεκίνημά της η jazz αποτελούταν από φυσικό ήχο, από τα μισά του 20ου αιώνα τα jazz clubs πλέον χρησιμοποιούν μια μίξη φυσικού και ηλεκτρονικά υποστηριζόμενου ήχου, σε αντίθεση με τις αίθουσες κλασσικής μουσικής, οι οποίες έχουν σχεδιαστεί εξ' αρχής για την εκτέλεση μη ενισχυμένης μουσικής. Μία ακόμα διαφορά μεταξύ των δύο αυτών μουσικών ειδών παρατηρείται κατά τη διάρκεια ζωντανών συναυλιών, όπου το τυπικό κοινό μιας jazz συναυλίας είναι αρκετά πιο δραστήριο και θορυβώδες σε σύγκριση με το ακροατήριο μιας συναυλίας κλασσικής μουσικής. Τέλος, εν αντιθέσει με τις κλασσικές συμφωνικές ορχήστρες, τα jazz σύνολα περιλαμβάνουν πολύ λιγότερους μουσικούς.

Λαμβάνοντας τα παραπάνω υπόψη, συμπεραίνουμε ότι η εκτέλεση jazz μουσικής σε αίθουσες σχεδιασμένες για άλλα μουσικά είδη επηρεάζει τόσο την εκτέλεση των μουσικών πάνω στη σκηνή, όσο και την ακουστική εμπειρία του ακροατηρίου. Μέχρι τώρα, οι αίθουσες της jazz κατασκευάζονταν με βάση τις αρχές σχεδιασμού της κλασσικής μουσικής ή σε άλλες περιπτώσεις βάσει διαίσθησης.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη διερεύνηση των τιμών του βέλτιστου χρόνου αντήχησης, καθώς και των ελάχιστων απαιτούμενων και μέγιστων ανεκτών τιμών του κριτηρίου αυτού. Οι βέλτιστες τιμές είναι, προφανώς, ένας κρίσιμος οδηγός σχεδιασμού ˙ παρόλα αυτά οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές του χρόνου αντήχησης μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμη ένδειξη καταλληλότητας, στις περιπτώσεις εκτέλεσης jazz μουσικής σε ήδη υπάρχουσες, συνήθως πολλαπλών χρήσεων, αίθουσες.

2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ JAZZ

Η jazz έχει της ρίζες της στους ρυθμούς και τη μουσική της Δυτικής Αφρικής, η οποία δημιουργούταν αποκλειστικά από τον ήχο των τύμπανων. Το 18^{ο} αιώνα σημειώθηκε μεγάλη μεταφορά πληθυσμών από τη Δυτική Αφρική στην Αμερική, στον επονομαζόμενο «Νέο Κόσμο». Κατά την περίοδο αυτή, οι μαύροι της Αφρικής ζούσαν υπό καθεστώς υποδούλωσης και τους είχε απαγορευθεί η μουσική και ο χορός, τόσο για λόγους ασφαλείας κατά των εξεγέρσεων όσο και για λόγους θρησκευτικούς. Παρόλα αυτά, ο ρυθμός συνεχίστηκε μέσα από την καθημερινότητα και τα έθιμά τους.

Από το 1803 και μετά οπότε και έγινε άρση των ανωτέρω απαγορεύσεων, επεκτάθηκαν οι ιδιωτικές λειτουργίες και οι δημόσιες εκδηλώσεις στις πλατείες. Παρατηρήθηκε ειδικά μια μεγάλη επέκταση στη δημόσια εκδήλωση των μαύρων της Νέας Ορλεάνης στην πλατεία Κογκό, όπου τα πρώτα όργανα που χρησιμοποίησαν ήταν τύμπανα και ένα είδος αφρικάνικου έγχορδου οργάνου. Αποτέλεσμα αυτής της εξάπλωσης ήταν να διατηρηθεί η αφρικάνικη μουσική αλλά και να ωθηθεί προς τα έξω, όπου ήταν δυνατή η αμοιβαία επίδρασή της με την ευρωπαϊκή μουσική.

Εκείνο τον καιρό στις Γαλλικές αποικίες της Αμερικής, όπως ήταν και η Ν. Ορλεάνη, οι στρατιωτικές μπάντες ήταν πολύ δημοφιλείς και συμμετείχαν σε πολλές εκδηλώσεις καθημερινά. Στις μπάντες αυτές σταδιακά συμμετείχαν πολλοί νέγροι, οι οποίοι στη συνέχεια δημιούργησαν τις δικές τους μπάντες, αλλά και σιγά σιγά έγινε η εισαγωγή ευρωπαϊκών οργάνων σε αυτές, όπως τρομπέτες, ντραμς και άλλα.

Μέχρι τις αρχές του 1900 η μουσική αυτή είχε διαδοθεί στη Νέα Ορλεάνη και συνυπήρχε με την κλασσική μουσική και τις οπερέτες των λευκών και με διάφορα άλλα ήδη που δημιουργήθηκαν όπως το ράγκταϊμ που παιζόταν σε καμπαρέ και τα μπλουζ που παίζονταν σε εκκλησίες. Επιπλέον, με τη λήξη του Αμερικανο-Ισπανικού πολέμου το 1898, οι φτωχοί μαύροι κατάφεραν να αγοράσουν από παλαιοπωλεία τα μουσικά όργανα του στρατού, κυρίως πνευστά και ντραμς. Τα πρώτα γκρουπ της Νέας Ορλεάνης σχηματίστηκαν και μέχρι περίπου το 1925 η μουσική τους, Ντίξιλαντ [1] όπως ονομάστηκε, ήταν το πρώτο μοντέλο jazz, το οποίο αναπτύχθηκε ακόμα περισσότερο με τη διάδοση του φωνογράφου, που επέτρεψε την ηχογράφηση αυτού του στυλ.

Λίγο αργότερα, στο Σικάγο, η τζαζ απαλλάσσεται οριστικά από τη σχέση της με τη μπάντα το δρόμου και στα τέλη της δεκαετίας του ’30 μεταφέρεται στις μουσικές σκηνές της Νέας Υόρκης. Το σαξόφωνο έχει γίνει πλέον το βασικό κέντρο των τζαζ-γκρουπ και εμφανίζονται εξέχουσες καλλιτεχνικές προσωπικότητες. Ήταν τότε που φάνηκε καθαρά πως η τζαζ *δεν είναι πλέον η μουσική ενός λαού ο οποίος πορεύεται στις παρυφές του πικρού ανταγωνισμού των φυλετικών προκαταλήψεων* (Marshal W. Stearns, The Story of Jazz [2]).

Πλέον η κλασσική τζαζ όπως την ξέρουμε σήμερα έχει εξελιχθεί σε βασικό μουσικό είδος με πολλά παρακλάδια όπως η μπλουζ και το σουίνγκ και συνεχίζει να εξελίσσεται και να διαμορφώνεται ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες, κάνοντας αισθητή την παρουσία της στις μεγαλύτερες μουσικές σκηνές όλου του κόσμου.

Πλέον, οι πιο δημοφιλείς αίθουσες jazz μουσικής βρίσκονται στη Νέα Υόρκη στην περιοχή του Manhattan και ανάμεσα σε αυτές είναι τα club Blue Note, Dizzy's club at Lincoln Center, Birdland και Smalls Jazz Club. Στο Λονδίνο ένα από τα διασημότερα jazz bars είναι το Ronnie Scott's και το The Forge, στο Παρίσι το Duc des Lombards, το Jazzhus Montmarte στην Κοπεγχάγη και το Half Note στην Αθήνα.

Άλλα γνωστά jazz bars στην Αθήνα είναι τα Banquet, The party bar, Jazzpoint,100 και 2 νύχτες, Κεραμείο, Gazarte, Κελάρι αλλά και η αίθουσα Δημήτρης Μητρόπουλος στο Μέγαρο Μουσικής Αθηνών η οποία κατά καιρούς έχει φιλοξενήσει με επιτυχία φεστιβάλ και εκδηλώσεις της τζαζ.

3. ΘΕΩΡΙΑ

3.1. Αντήχηση

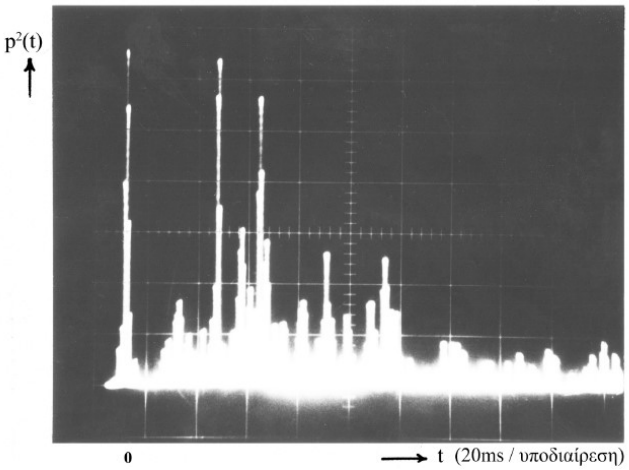
Αντήχηση (reverberation) είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η ηχητική ενέργεια μέσα σε ένα κλειστό χώρο δεν μηδενίζεται ακαριαία μετά το μηδενισμό της πηγής, αλλά διατηρείται για λίγο χρόνο, φθίνοντας εκθετικά με αυτόν. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στις πολλαπλές ανακλάσεις του ήχου που δημιουργούνται από τις γύρω επιφάνειες (δάπεδο, οροφή, τοίχοι και λοιπές επιφάνειες).

Το φαινόμενο της αντήχησης, ή αλλιώς «βάθος», είναι εύκολα αναγνωρίσιμο ακόμα και από ανθρώπους που δεν έχουν ιδιαίτερη τριβή με την ακουστική. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι, όσο περισσότερες είναι οι ανακλάσεις μέσα σε ένα χώρο, τόσο μεγαλύτερη χρονικά είναι η αντήχηση και αντίστοιχα, όσο μειώνονται οι ανακλάσεις τόσο μειώνεται η αντήχηση.

Επομένως, για έναν σωστό ακουστικό σχεδιασμό πρέπει να φροντίσουμε την ηχοαπορροφητικότητα των επιφανειών ώστε να διασφαλιστεί μικρό χρονικό διάστημα αντήχησης.

Η παρατήρηση του φαινομένου γίνεται εύκολα εάν, μέσα σε έναν κλειστό χώρο, παραχθεί ένας στιγμιαίος ήχος. Ο ήχος αυτός θα φτάσει αρχικά απευθείας στον ακροατή (direct sound) και στη συνέχεια θα ακολουθήσουν οι πρώτες ανακλάσεις (early reflections). Τέλος, θα ακολουθήσει μια σειρά από πιο πυκνές ανακλάσεις (καθυστερημένες ανακλάσεις) οι οποίες θα φθίνουν με το χρόνο έως ότου σβήσουν τελείως.

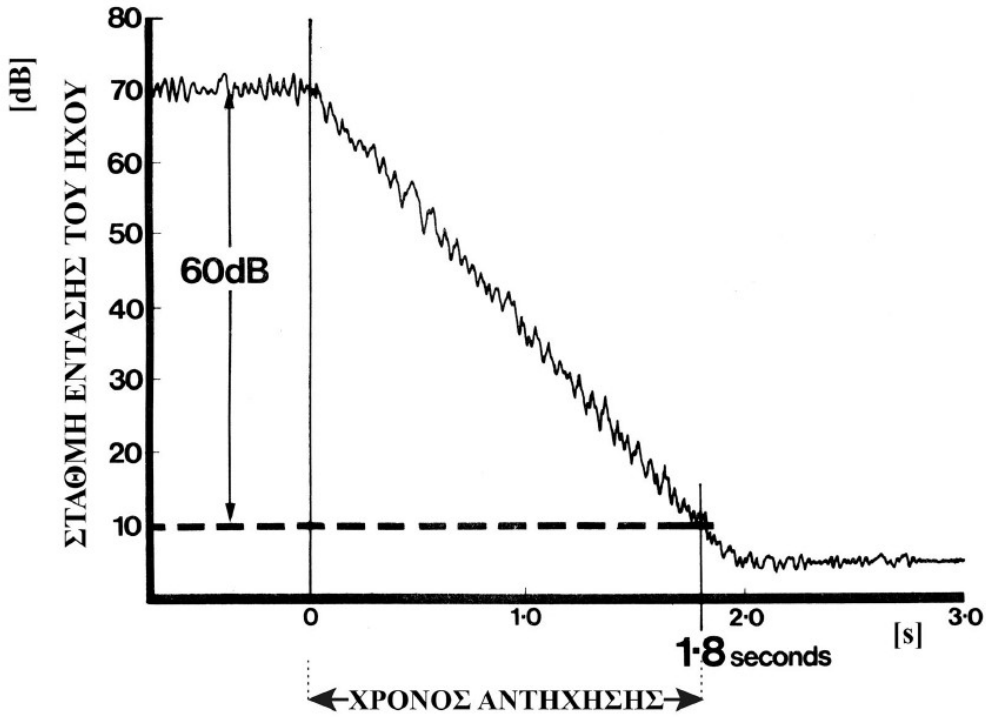
Ο τρόπος καταγραφής της αντήχησης γίνεται ηχογραφώντας έναν στιγμιαίο ήχο μέσα σε κλειστό χώρο στον οποίο έχει τοποθετηθεί ένα ζεύγος μικροφώνων. Μπορεί έτσι να κατασκευαστεί το διάγραμμα ανακλάσεων του ήχου (impulse response, IR, Σχήμα 3-1) συναρτήσει της ηχητικής ενέργειας $p^2(t)$ και του χρόνου t (ms). Στο IR γίνονται εύκολα διακριτές οι πρώιμες ανακλάσεις – έως 80 ms - καθώς έχουν μεγαλύτερη ηχητική ενέργεια από τις καθυστερημένες και είναι αυτές που δίνουν τις σημαντικότερες πληροφορίες για το χώρο που μετρήθηκε.



Σχήμα 3-1: Διάγραμμα των ανακλάσεων του ήχου σε κλειστό χώρο συναρτήσει του χρόνου t, από τη στιγμή άφιξης του απευθείας ήχου. [3]

3.2. Χρόνος Αντήχησης

Ο χρόνος αντήχησης (reverberation time, RT) περιγράφει τη μείωση της ηχητικής ενέργειας μετά το μηδενισμό της πηγής. Ορίζεται ως ο χρόνος που χρειάζεται το ηχητικό κύμα, από τη στιγμή της διακοπής παραγωγής του μέσα σε ένα χώρο, για να μειωθεί κατά 60 dB από την αρχική του ένταση.



Σχήμα 3-2: Χρόνος αντήχησης [3].

Ο χρόνος αντήχησης αποτελεί τη βασικότερη παράμετρο στην ακουστική των κλειστών χώρων, διότι σχετίζεται με την ακουστική ποιότητά τους. Για την ίδια αίθουσα εξαρτάται από τη συχνότητα, ενώ για διάχυτο ηχητικό πεδίο είναι σταθερός σε όλα τα σημεία της αίθουσας. Μονάδα μέτρησης είναι το sec.

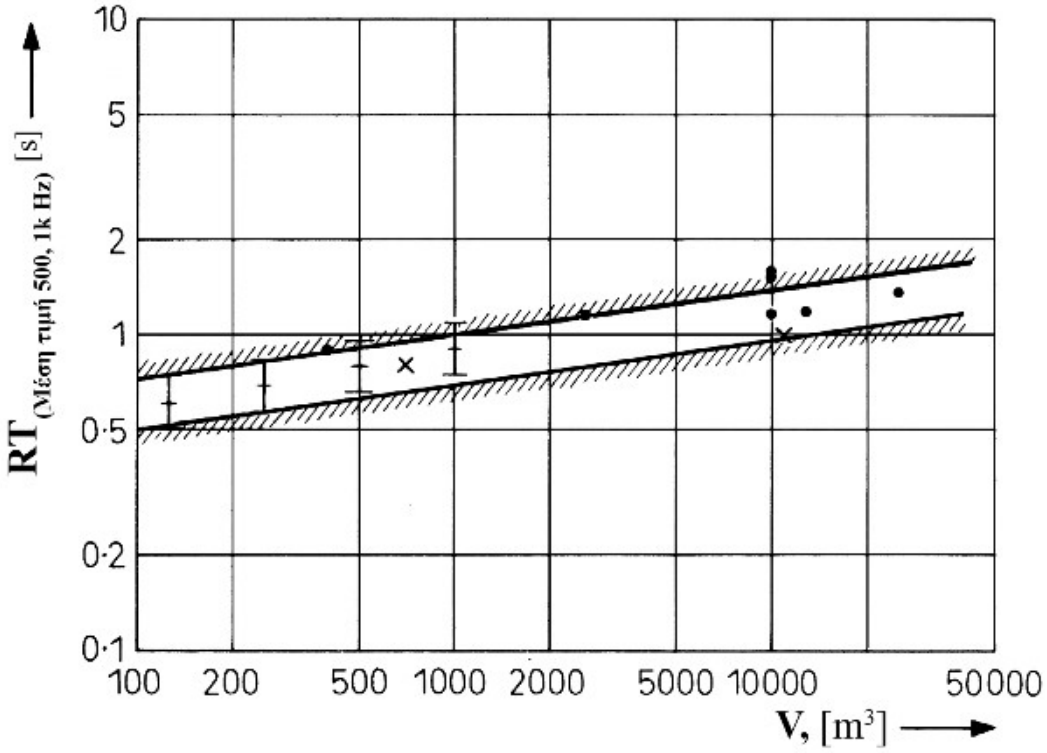
Ο τύπος του Sabine σχετίζει το χρόνο αντήχησης με τον <u>όγκο</u> του χώρου και τις <u>επιφάνειες ηχοαπορρόφησης</u>.

$$\mathbf{R\,T} = \frac{\mathbf{0.16\,V}}{\sum_{1}^{v} \mathbf{F_i\,\alpha_i} + \mathbf{Vx}}, \quad [s]$$

όπου:
RT: χρόνος αντήχησης [s]
V: όγκος του χώρου [m^3]
F_i: επιφάνεια του νιοστού υλικού του χώρου [m^2]
α_i: ο συντελεστής ηχοαπορρόφησης του νιοστού υλικού [%]
x: ηχοαπορρόφηση του αέρα ανά μονάδα όγκου [%]
v: το πλήθος των ηχοαπορροφητικών υλικών στο χώρο.

Χρόνος αντήχησης σε αίθουσες ακρόασης ομιλίας

Στο Σχήμα 3-3 φαίνονται οι επιθυμητές τιμές του χρόνου αντήχησης (RT) για αίθουσες ακρόασης ομιλίας, συναρτήσει του όγκου (V) του χώρου. Στο άνω όριο επιτυγχάνονται σχετικά υψηλές στάθμες ήχου, ενώ στο κάτω όριο σχετικά υψηλή καταληπτότητα της ομιλίας.



Σχήμα 3-3: Επιθυμητές τιμές χρόνου αντήχησης για αίθουσες ακρόασης ομιλίας [3]

3.3. Άλλες φυσικές παράμετροι της ακουστικής κλειστού χώρου

Direct sound: Απευθείας ήχος. Είναι ο ήχος που φτάνει απευθείας από την πηγή στον ακροατή.

Early Reflections (ER): Πρώιμες ανακλάσεις. Φθάνουν στον ακροατή μετά τον απευθείας ήχο, αφού έχουν πρώτα ανακλαστεί σε μία ή δύο επιφάνειες του περιβάλλοντα χώρου.

Early Decay Time: Ο χρόνος απόσβεσης των πρώιμων ανακλάσεων. Η ανακλώμενη ηχητική ενέργεια που παίζει ουσιαστικό ρόλο στη διαμόρφωση της ακουστικής των κλειστών χώρων είναι αυτή που αντιστοιχεί στις πρώιμες ανακλάσεις και όχι στις καθυστερημένες, καθώς αυτές έχουν χάσει μεγάλο μέρος της ενέργειας που μεταφέρουν. Ο χρόνος αυτός λοιπόν (EDT) προκύπτει από την καμπύλη του χρόνου αντήχησης, ως το τμήμα που έχει μειωθεί κατά 10 dB από το αρχικό επίπεδο. [4]

Critical distance: Ορίζεται ως κρίσιμη η απόσταση αυτή όπου το ηχητικό σήμα που λαμβάνει ο ακροατής αποτελείται κατά 50% από τον απευθείας ήχο και κατά 50% από ανακλάσεις. Με βάση την κρίσιμη απόσταση, προκύπτει η ακτίνα αντήχησης (reverberation radius), η οποία χρησιμοποιείται σε πειράματα όπως το παρόν, για να ορίσει το χώρο που μπορεί να βρεθεί ο ακροατής σε σχέση με την πηγή του ήχου.

κτλ.

3.4. Ανηχοϊκά δείγματα

Ανηχοϊκές ονομάζονται οι ηχογραφήσεις οι οποίες έχουν γίνει σε ανηχοϊκούς θαλάμους, δωμάτια δηλαδή κατασκευασμένα και μονωμένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να απορροφούνται πλήρως όλες οι ανακλάσεις. Στην περίπτωσή μας αυτό συνεπάγεται ότι ακούγεται μόνο ο απευθείας ήχος (direct sound) που προέρχεται από το όργανο. Αφού λοιπόν απουσιάζει η αντήχηση (reverb), απουσιάζει και η αίσθηση του «χώρου», την οποία θα πρέπει να προσθέσουμε τεχνητά.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η έως τώρα επιστημονική γνώση σχετικά με την κατασκευή μουσικών αιθουσών περιορίζεται σχεδόν αποκλειστικά στις αίθουσες κλασσικής μουσικής και περιγράφεται κατάλληλα στη σχετική βιβλιογραφία των W. C. Sabine (1992) [5], L. Cremer, H. A. Müller, T. J. Schultz (1982) [6] και M. Barron (1993) [7].

Ο Wallace Clement Sabine ήταν ο πρώτος που ασχολήθηκε με την ακουστική κλειστών χώρων και τη βελτίωση αυτής, στις αρχές του 20^{ου} αιώνα. Ο Sabine, ως επίκουρος καθηγητής στο Πανεπιστήμιο του Harvard, ανέλαβε τη διορθωτική μελέτη ακουστικής της αίθουσας διαλέξεων του Fogg Art Museum στο Cambridge, USA. Διεξάγοντας πειράματα στην αίθουσα αυτή καθώς και στο Sander's Theater, εισήγαγε την έννοια του χρόνου αντήχησης (ή αλλιώς Overall Decay Time) και τη συνέδεσε με την ηχοαπορροφητικότητα του χώρου. Το βιβλίο του Collected Papers on Acoustics [5] αποτέλεσε στη συνέχεια τη βάση της αρχιτεκτονικής ακουστικής.

Παρακάτω, παρουσιάζονται οι προτεινόμενες τιμές του χρόνου αντήχησης για τις μεσαίες συχνότητες σε αίθουσες με ακροατήριο (Πίνακας 4-1), όπως αυτές συνοψίζονται στο βιβλίο του M. Barron [7].

Organ music	>2.5 s
Romantic classical music	1.8-2.2 s
Early classical music	1.6-1.8 s
Opera	1.3-1.8 s
Chamber music	1.4-1.7 s
Drama theater	0.7-1.0 s

Πίνακας 4-1:Βέλτιστες τιμές χρόνων αντήχησης [7].

Πολύ αργότερα, το 2010 ο W. N. Larsen [8] ασχολήθηκε με την εκτίμηση του χρόνου αντήχησης των rock και pop μουσικών αιθουσών. Η μελέτη αυτή περιλάμβανε πείραμα αξιολόγησης σε άδειες αίθουσες μέσω ερωτηματολογίων σε 20 rock clubs της Δανίας από ειδικούς στο συγκεκριμένο είδος μουσικής. Οι αίθουσες με την υψηλότερη κριτική είχαν χρόνο αντήχησης από 0,60 s έως 1,20 s, ανεξάρτητα μάλιστα από τη συχνότητα.

Αξίζει να σημειωθεί η έρευνα ενός πολύ σημαντικού ακουστικολόγου, του A. C. Gade [9], για την κλασσική μουσική που επικεντρώθηκε στην περιοχή της σκηνής, με τη συμμετοχή εξειδικευμένων μουσικών. Ο Gade διαπίστωσε κατά την αξιολόγηση των πειραματικών δεδομένων πως ανάλογα με το μουσικό όργανο, οι απαιτήσεις σε αντήχηση ήταν διαφορετικές και πιο συγκεκριμένα, οι μουσικοί που έπαιζαν πνευστά χρειάζονταν υψηλότερο χρόνο αντήχησης από τους υπόλοιπους.

Με την εισαγωγή, αργότερα, μιας πιο σύγχρονης ψυχομετρικής προσέγγισης στις υποκειμενικές ακουστικές αξιολογήσεις, επιτεύχθηκε πιο ακριβής προσέγγιση της ακουστικής αντίληψης. Αξιόλογα παραδείγματα σε αυτή την κατεύθυνση αποτελούν οι εργασίες των R. J. Hawkes and H. Douglas (1971) [10], H. Wilkens (1975) [11], M. R. Schroeder, D. Gottlob, K.

F. Siebrasse (1974) [12], A. G. Sotiropoulou, D. B. Fleming and R. J. Hawkes (1995) [13, 14] κτλ.

Η ακουστική των αιθουσών jazz μουσικής έχει αποτελέσει αντικείμενο επιστημονικής έρευνας κατά την τελευταία δεκαετία. Μία από τις πρώτες πειραματικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν είναι αυτή των Α. Σωτηροπούλου, Γ. Πουλάκου, Ι. Καραγιάννη, Ι. Τζουβαδάκη από το Εθνικό Μετσόβιο Πολετεχνείο το 2008 [15], η οποία υποδεικνύει τους σημαντικότερους ανεξάρτητους παράγοντες αντίληψης που περιγράφουν την ακουστική εμπειρία του ακροατηρίου σε αίθουσες μουσικής jazz, σύμφωνα με τη σημασιολογική διαφορική μέθοδο. Το πείραμα που διεξήγαν αποτελούταν από μια σειρά υποκειμενικών αξιολογήσεων ηχογραφημένης jazz μουσικής. Για το σκοπό αυτό, δημιουργήθηκαν σε πρώτη φάση 33 διπολικές κλίμακες (bipolar rating scales) αποτελούμενες από ζεύγη αντίθετων επιθέτων που περιγράφουν την ακουστική εμπειρία του ακροατή της jazz. Σε δεύτερη φάση, οι υποκειμενικές αξιολογήσεις του κοινού πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας αυτές τις διπολικές κλίμακες, οι οποίες στη συνέχεια αναλύθηκαν κατά παράγοντες (factor analysis). Έτσι προέκυψαν οι ανεξάρτητοι παράγοντες «ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ» (TONAL QUALITY), «ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ» (CLARITY), «ΔΥΝΑΜΙΚΟ» (BODY) και «ΕΓΓΥΤΗΤΑ» (PROXIMITY). Στον Πίνακα 4-2 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες από τις διπολικές κλίμακες που προέκυψαν για κάθε παράγοντα.

Independent Subjective Acoustic Factor	Associated Scales	Factor Loadings	Percentage Variance
1.TONAL QUALITY	Smooth-Rough	0.86	21.0
	Smooth-Harsh	0.86	
	Gentle-Harsh	0.85	
	Harsh-Velvety	-0.82	
	Smooth-Sharp	0.80	
	Even-Uneven	0.77	
	Edgy-Smooth	-0.68	
	Clear-Noisy	0.67	
	Balanced-Unbalanced	0.67	
2.CLARITY	Clear-Dull	0.78	15.6
	Brilliant-Dim	0.76	
	Crystal-Muddy	0.75	
	Clear-Blurred	0.74	
	Colored-Dark	0.70	
	Dark-Brilliant	-0.62	
	Clear-Hazy	0.61	
3.BODY	Poor-Rich	-0.80	11.1
	Live-Dead	0.72	
	Fullbodied-Thin	0.66	
	Faint-Strong	-0.57	
	Woody-Metallic	0.57	
	Loud-Silent	0.56	
4.PROXIMITY	Near-Remote	0.85	9.6
	Near-Close	0.81	
	Close-Distance	0.79	

Πίνακας 4-2: Αποτελέσματα της ανάλυσης κατά παράγοντες των αξιολογήσεων ηχογραφημένης jazz μουσικής [15].

Η επόμενη έρευνα της ίδιας ομάδας του Ε.Μ.Π. το 2011 [16, 17], περιλάμβανε πειράματα αντίληψης της ακουστικής κατά τη διάρκεια ζωντανών jazz συναυλιών. Διεξήγαν το πείραμα σε δύο χώρους, το Half Note Jazz Club στην Αθήνα και το The Forge στο Λονδίνο, δύο χώροι με διαφορετικό χρόνο αντήχησης ο καθένας (Πίνακας 4-5). Οι ακροατές που πήραν μέρος αξιολόγησαν την ακουστική των δύο αυτών αιθουσών σύμφωνα με 17 διπολικές κλίμακες. Συνδυάζοντας τα δεδομένα που προέκυψαν και για τις δυο αίθουσες και ακολουθώντας την ίδια μέθοδο ανάλυσης με την πρώτη έρευνα [15], κατέληξαν σε 3 ανεξάρτητους παράγοντες αντίληψης της μουσικής jazz, την «ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ» (Clarity), την «ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ» (TONAL QUALITY) και την «ΕΓΓΥΤΗΤΑ» (PROXIMITY) (Πίνακας 4-3). Με τον όρο ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ του ήχου μπορούμε να περιγράψουμε πότε ένας ήχος είναι φωτεινός, διαυγής και καθαρός ή σκοτεινός, θολός και θορυβώδης. Η ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ προσδιορίζει έναν ήχο ως απαλό και ζεστό ή σκληρό, τραχύ και ψυχρό. Τέλος, με την υποκειμενική ΕΓΓΥΤΗΤΑ ένας ήχος μπορεί να περιγραφεί ως κοντινός ή απόμακρος.

Ένα ακόμα συμπέρασμα της εργασίας αυτής συνοψίζεται στο ότι οι παράγοντες που επηρεάζουν την ακουστική εμπειρία του ακροατηρίου είναι κοινοί κατά την ακρόαση τόσο ηχογραφημένης όσο και ζωντανής jazz μουσικής και παρουσιάζουν ομοιότητες με τους αντίστοιχους παράγοντες της κλασσικής μουσικής («Δυναμικό του ήχου» (Body), «Καθαρότητα» (Clarity), «Τονική ποιότητα» (Tonal Quality) και «Εγγύτητα» (Proximity) [13, 14]). Επιπλέον, η εξαγωγή αυτών των παραγόντων ενισχύει την άποψη ότι υπάρχουν κοινοί παράγοντες αντίληψης ακουστικής για ακροατές jazz μουσικής με διαφορετικό πολιτιστικό υπόβαθρο και επομένως μπορούν στη συνέχεια να εξαχθούν βασικές σχεδιαστικές αρχές για jazz clubs ισχύουσες παγκοσμίως.

Independent Subjective Acoustic Factors	Associated scales	Factor loadings	Percentage Variance
1.CLARITY	Dark-Bright	-0.80	35.34
	Clear-Dull	0.78	
	Clear-Blurred	0.78	
	Colored-Dark	0.78	
	Preferred-Not Preferred	0.74	
	Clear-Noisy	0.70	
	Full Bodied-Thin	0.65	
2.TONAL QUALITY	Smooth-Harsh	0.85	17.1
	Gentle-Harsh	0.83	
	Harsh-Velvety	-0.83	
	Smooth-Sharp	0.73	
	Smooth-Rough	0.71	
	Cool-Warm	-0.52	
3.PROXIMITY	Near-Distant	0.84	8.56
	Near-Remote	0.83	
	Live-Dead	0.83	
	Brilliant-Dim	0.67	

Πίνακας 4-3: Αποτελέσματα της ανάλυσης κατά παράγοντες των συνδυασμένων αξιολογήσεων jazz συναυλιών [16, 17].

Αργότερα, η πειραματική εργασία των Ξανθούλη-Τρισπιώτη με την ομάδα του Ε.Μ.Π. το 2014 [18], εισήγαγε τρεις (3) ανεξάρτητους παράγοντες αντίληψης της ακουστικής στην περιοχή της σκηνής. Αξιοποιώντας τη μεθοδολογία και τις διπολικές κλίμακες της πρώτης έρευνας [15] κατά τη διάρκεια οκτώ (8) jazz συναυλιών σε έξι (6) διαφορετικές αίθουσες μουσικής, προέκυψαν οι παράγοντες «Αντήχηση» (Perceived Reverberation), «Δυναμικό του ήχου» (Body) και «Τονική ποιότητα και υφή» (Tonal Quality). Στον Πίνακα 4-4 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες από τις διπολικές κλίμακες που προέκυψαν για κάθε παράγοντα.

Independent Subjective Acoustic Factor	**Associated Scales**	**Factor Loadings**	**Percentage Variance**
1.PERCEIVED REVERBERATION-NOISINESS	Noisy-Clear	0.83	29.8
	Balanced-Unbalanced	-0.71	
	Reverberant-Non reverberant	0.70	
	Harsh-Velvety	0.65	
	Rough-Smooth	0.63	
	Dead-Resonant	-0.62	
2.LIVENESS-BRILLIANCE	Live-Dead	0.79	19.0
	Dark-Brilliant	-0.78	
	Bright-Dark	0.73	
	Dark-Transparent	-0.72	
	Preferred-Non Preferred	0.66	
	Full Bodied-Thin	0.61	
3.SMOOHTNESS	Smooth-Harsh	0.73	14.8
	Broad-Narrow	0.72	
	Smooth-Sharp	0.69	
	Crystal-Muddy	0.63	
	Woody-Metallic	0.57	

Πίνακας 4-4: Ανεξάρτητοι ακουστικοί παράγοντες αντίληψης στην περιοχή της σκηνής κατά τη διάρκεια jazz συναυλιών [18].

Τέλος, πολύ σημαντική είναι η έρευνα που πραγματοποιήθηκε για το σχεδιασμό της αίθουσας “Jazz at Lincoln Center” (JALC) στη Νέα Υόρκη το 2004, από την ομάδα “Sound of Jazz” (SOJ) [19]. Η ομάδα αυτή ήταν μια κοινοπρακτικής φύσεως ομάδα συμβούλων, που αποτελούταν από ειδικούς από τις εταιρείες Artec Consultants Inc. και Walters - Storyk Design Group. Αυτή η ομάδα ήταν η πρώτη που ασχολήθηκε με τις ιδιαιτερότητες και τις ακουστικές απαιτήσεις του jazz ήχου, αλλά η μελέτη στόχευε αποκλειστικά στην κατασκευή της συγκεκριμένης αίθουσας ακρόασης μουσικής (JALC).

Στον Πίνακα 4-5 παρουσιάζονται ο όγκος [m^3] και ο χρόνος αντήχησης [s] σημαντικών jazz αιθουσών, όπως έχουν προκύψει από τις έρευνες [16, 17, 18].

Αίθουσα	Όγκος [m^3]	Χρόνος αντήχησης [s]	Ελάχιστη και μέγιστη χωρητικότητα
“Banquet” (Μέγαρο Μουσικής Αθηνών)	8200	1,16	630-1000
“Δ. Μητρόπουλος” (Μέγαρο Μουσικής Αθηνών)	3560	1,42	494
“The Party Bar”	378	0,92	150-200
“Jazz Point”	888	1,13	150-250
“Χίλιες και δύο νύχτες”	2352	0,49	300-400
“Κεραμείο”	352	0,85	100-150
“Half Note”	382	0,72	180
“The Forge”, London	530	1,16	160

Πίνακας 4-5: Βασικά στοιχεία γνωστών jazz αιθουσών στην Αθήνα [16, 17, 18]

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αξιοποιούνται οι τρεις (3) ανεξάρτητοι παράγοντες αντίληψης μουσικής jazz που έχουν προκύψει από την εργασία της ομάδας του Ε.Μ.Π. το 2011 [16,17]. Για κάθε έναν από αυτούς τους παράγοντες θα αναζητηθούν οι κρίσιμες τιμές του χρόνου αντήχησης, όπως αναφέρονται στο κεφάλαιο 1.

5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

5.1. Επιλογή μεθόδου έρευνας

Για την ορθότητα της παρούσας διπλωματικής εργασίας κρίθηκε σκόπιμο να ακολουθήσουμε πειραματική διαδικασία και όχι μια θεωρητική προσέγγιση. Ο λόγος για την επιλογή αυτή είναι ότι οι επιστημονικά ευρήματα πάνω στη jazz μουσική και στα ακουστικά χαρακτηριστικά των αιθουσών αυτής είναι ελάχιστα και αυτό θα καθιστούσε την έρευνα αναποτελεσματική και ίσως αναξιόπιστη.

Επιλέχθηκε λοιπόν η κατάστρωση ενός πειράματος αντίληψης όπου συμμετείχαν εξειδικευμένοι μουσικοί, οι οποίοι έκριναν ηχογραφημένη jazz μουσική μέσω ακουστικών, υποδεικνύοντας τις βέλτιστες και οριακές τιμές του χρόνου αντήχησης.

5.2. Σχεδιασμός και διεξαγωγή πειράματος

- **Επιλογή μουσικών αποσπασμάτων**

Για το σκοπό της συγκεκριμένης εργασίας χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα (4) ανηχοϊκά μουσικά αποσπάσματα. Σε πειράματα τέτοιου είδους προτιμείται η χρήση τους έναντι των ψηφιακά επεξεργασμένων midi (Musical Instrument Digital Interface) δειγμάτων. Τα αποσπάσματα δημιουργήθηκαν μέσω συνθετικού ηχητικού πεδίου και παρουσιάστηκαν μέσω ακουστικών σε καθέναν από τους συμμετέχοντες. Τα ακουστικά που χρησιμοποιήθηκαν ήταν κλειστού τύπου, ώστε να εξασφαλιστεί, όσο το δυνατόν καλύτερα, ακουστική απομόνωση.

Επιλέχθηκε ποικιλία jazz μουσικών αποσπασμάτων, έτσι ώστε να συμπεριληφθούν από σόλο όργανα έως σύνολα και από έγχορδα έως πνευστά μουσικά όργανα.

Το πρώτο ηχογράφημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα απόσπασμα 51 δευτερολέπτων του τραγουδιού “Autumn leaves” του συνθέτη Joseph Kosma ηχογραφημένο μόνο από πιάνο. Το δεύτερο απόσπασμα προέκυψε από την προσθήκη μπάσου στο πρώτο απόσπασμα του “autumn leaves”. Το τραγούδι “ ‘round midnight” του συνθέτη Thelonious Monk από σόλο σαξόφωνο, αποτέλεσε το τρίτο μουσικό κομμάτι, διάρκειας 36 s. Στο τέταρτο μουσικό απόσπασμα χρησιμοποιήθηκε το ίδιο μουσικό θέμα με το τρίτο όπου και προστέθηκαν πιάνο, μπάσο και πιατίνια.

Για τη δημιουργία αυτών των τεσσάρων (4) μουσικών αποσπασμάτων A, B, C και D χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω έξι (6) ανηχοϊκά μουσικά δείγματα:

i. Το τενόρο σαξόφωνο από την ψηφιακή βιβλιοθήκη του λογισμικού Odeon Software [20].
ii. Δύο μουσικά δείγματα πιάνου όπου: το πρώτο (a) προήλθε από την ψηφιακή βιβλιοθήκη του Odeon Software [20] ενώ το δεύτερο (b), ηχογραφήθηκε από επαγγελματία μουσικό μέσω midi πλήκτρων με τη χρήση του ψηφιακού μουσικού οργάνου Grand II Piano [21] το οποίο παρέχει ανηχοϊκά μουσικά δείγματα.
iii. Δύο μουσικά δείγματα μπάσου (a, b) τα οποία ηχογραφήθηκαν από επαγγελματία μουσικό σε direct line σύνδεση.
iv. Ένα πιατίνι, από την ιστοσελίδα του Electronic Music Studio του Πανεπιστημίου της Iowa, USA [22].

Στον Πίνακα 5-1 παρουσιάζεται η σύνθεση των παραπάνω δειγμάτων.

Μουσικό Απόσπασμα	Τίτλος	Μουσικά Όργανα	Διάρκεια [s]
A	Autumn leaves	Πιάνο (ii, a)	51
B	Autumn leaves	Πιάνο (ii, a) Μπάσο (iii, a)	51
C	‘round midnight	Σαξόφωνο (i)	36
D	‘round midnight	Σαξόφωνο (i) Πιάνο (ii, b) Μπάσο (iii, b) Drums (iv)	36

Πίνακας 5-1: Πληροφορίες μουσικών αποσπασμάτων

- **Παράγοντες αντίληψης μουσικής jazz**

Είναι οι ανεξάρτητοι παράγοντες αντίληψης που περιγράφουν την ακουστική εμπειρία της jazz μουσικής όπως αυτοί έχουν προκύψει απ την έρευνα της ομάδας του Ε.Μ.Π. [16, 17] και είναι οι: «Καθαρότητα» (Clarity), «Τονική Ποιότητα» (Tonal Quality), «Εγγύτητα» (Proximity). Αυτά είναι τα τρία κριτήρια σύμφωνα με τα οποία αξιολογήθηκαν τα μουσικά αποσπάσματα.

- **Ψηφιακή επεξεργασία**

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ψηφιακή προσθήκη της αντήχησης είναι το Nuendo Software, Ver.4, το οποίο προορίζεται για την ηχογράφηση, την επεξεργασία και την αναπαραγωγή μουσικής. Οι αναλυτικές ρυθμίσεις των παραμέτρων παρουσιάζονται στο Παράρτημα Β, χρειάζεται όμως να αναφερθούν οι πιο σημαντικές εδώ.

Ο χρόνος αντήχησης (RT), που είναι και το ζητούμενο της εργασίας, λαμβάνει ως ελάχιστη τιμή *Time=0.1 s* και ως μέγιστη τιμή τα *20.0 s* παρόλο που αυτές οι ακραίες τιμές δεν είναι εφαρμόσιμες στην πραγματικότητα. Κατά τη διαδικασία του πειράματος, ο χρόνος αντήχησης του εξεταζόμενου ψηφιακού χώρου ελέγχεται από ένα περιστρεφόμενο κουμπί που βρίσκεται στη διάθεση των αξιολογητών.

Θεωρήθηκε πλήρως διάχυτο ηχητικό πεδίο κατά την προσαρμογή του χρόνου αντήχησης ˙ αυτό υποδεικνύει τον ίδιο χρόνο αντήχησης σε όλα τα σημεία της αίθουσας. Κάθε ένας από τους συμμετέχοντες τοποθετείται στον ψηφιακό ηχητικό χώρο εντός της ακτίνας αντήχησης, θεωρώντας ότι στα jazz clubs τα ηχεία που υποβοηθούν την ακρόαση είναι τοποθετημένα με τέτοιο τρόπο ώστε ισχύει με καλή προσέγγιση, για το μεγαλύτερο μέρος του ακροατηρίου, η παραπάνω συνθήκη. Επιπλέον, έγινε η παραδοχή ότι όλο το φάσμα συχνοτήτων αποκρίνεται με τον ίδιο τρόπο στην αλλαγή του χρόνου αντήχησης.

Τέλος, επιλέχθηκε μονοφωνική μίξη των δειγμάτων, τοποθετώντας τα μουσικά όργανα στο κέντρο της σκηνής. Κατά τη μίξη αυτή προσαρμόστηκε μόνο η ένταση των δειγμάτων κατά τέτοιο τρόπο ώστε να προσομοιωθεί, όσο το δυνατόν καλύτερα, η ακουστική ισορροπία μιας πραγματικής jazz μπάντας.

- **Πληθυσμιακή ομάδα**

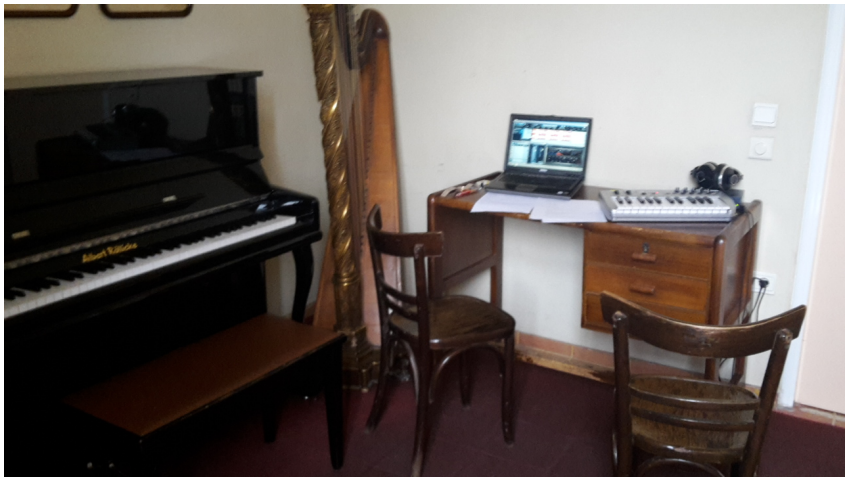
Στο πείραμα συμμετείχαν συνολικά σαράντα τέσσερα (44) άτομα, τα οποία αποτελούσαν καθηγητές, μαθητές και ερμηνευτές jazz μουσικής καθώς και ηχολήπτες που ασχολούνται με το συγκεκριμένο είδος. Επιλέχθηκαν μουσικοί που ασχολούνται με τη jazz διότι είναι αρκετά εξοικειωμένοι σε αυτού του είδους τα ακούσματα και έτσι θα μπορούσε να διατηρηθεί σχετικά χαμηλό το τυχαίο σφάλμα στις μετρήσεις. Το πλήθος των συμμετεχόντων έπρεπε να είναι αρκετά αυξημένο ώστε να εξασφαλισθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και ταυτόχρονα όχι πολύ μεγάλο ώστε να καταστεί το πείραμα πρακτικώς εφικτό.

- **Χώροι διεξαγωγής του πειράματος**

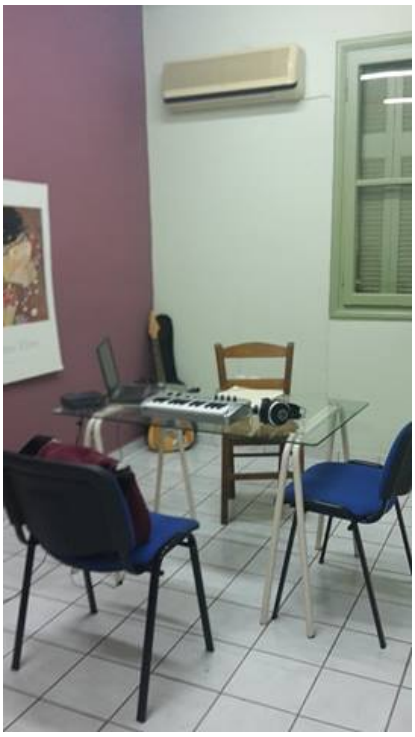
Για τη διεξαγωγή του πειράματος επισκεφθήκαμε πέντε (5) ωδεία με τμήματα jazz σπουδών, τα Ωδείο Αθηνών, Ωδείο Ηριδανός, Ωδείο Athenauem, Μαδριγάλειος Μουσική Σχολή, Ωδείο Φίλιππος Νάκας καθώς και το στούντιο ηχογραφήσεων Sierra Studios στην Αθήνα. Σε κάθε ένα από αυτούς τους χώρους χρησιμοποιήθηκε μία μικρή, ήσυχη αίθουσα για την εκτέλεση του πειράματος, όπως για παράδειγμα μια τυπική αίθουσα διδασκαλίας και ένα στούντιο ηχογράφησης. Η μικρή αίθουσα εξυπηρετεί στο να διατηρηθούν τα εξωτερικά οπτικά και ακουστικά ερεθίσματα που δέχεται ο μουσικός, σταθερά. Οι αίθουσες που χρησιμοποιήθηκαν παρουσιάζονται στις παρακάτω φωτογραφίες.

Εικόνα 5-1: Ωδείο Αθηνών

Εικόνα 5-2: Ωδείο Ηριδανός



Εικόνα 5-3: Ωδείο Athenaeum



Εικόνα 5-4: Μαδριγάλειος Μουσική Σχολή

Εικόνα 5-5: Ωδείο Φίλιππος Νάκας

Εικόνα 5-6: Sierra Studios

- **Πειραματική Διαδικασία**

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία της ακουστικής έρευνας, κάθε άτομο συμπλήρωσε ένα ερωτηματολόγιο με βασικές ερωτήσεις σχετικές με την ενασχόλησή του με τη jazz, ώστε στο τέλος να ομαδοποιηθούν πιο εύκολα τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Το ερωτηματολόγιο αυτό παρουσιάζεται στο Παράρτημα F στο τέλος του παρόντος τεύχους, μαζί με τον πίνακα συμπλήρωσης των αποτελεσμάτων.

Ξεκινώντας τη διαδικασία, κάθε άτομο άκουγε μέσω ακουστικών κάθε μουσικό απόσπασμα ξεχωριστά στην αρχική ανηχοϊκή μορφή του. Γυρίζοντας ένα περιστροφικό κουμπί του midi keyboard που είχε στη διάθεσή του, μπορούσε να αυξομειώσει το χρόνο αντήχησης του ακουστικού δείγματος με σκοπό, πρώτα, να υποδείξει την ελάχιστη απαιτούμενη και τη μέγιστη ανεκτή τιμή του χρόνου αντήχησης και στη συνέχεια, να βελτιστοποιήσει την ακουστική του δείγματος. Τα άτομα προτρέπονταν να δοκιμάσουν όλο το φάσμα τιμών που μπορούσε να πάρει ο χρόνος αντήχησης, ώστε να έχουν μια ολοκληρωμένη άποψη για τη μορφή που μπορεί να πάρει το άκουσμά τους και να είναι βέβαιοι για την απάντηση που θα δώσουν.

Ο πρώτος παράγοντας αντίληψης που εξετάστηκε ήταν η Καθαρότητα του ήχου. Ο μουσικός ακούγοντας ξεχωριστά τα ηχογραφήματα και περιστρέφοντας το κουμπί, άλλαζε το χρόνο αντήχησης εκτιμώντας κάθε φορά τα αποδεκτά γι' αυτόν κάτω και άνω όρια της καθαρότητας, πότε δηλαδή το δείγμα ξεκινούσε να είναι αρκετά διαυγές και πότε γινόταν αρκετά θολό. Τέλος, έβρισκε το βέλτιστο σημείο όπου με το συγκεκριμένο χρόνο αντήχησης το δείγμα παρουσίαζε την καλύτερη ακουστική συμπεριφορά ως προς την καθαρότητα του ήχου, σύμφωνα πάντα με τις προσωπικές του προτιμήσεις. Επειδή το κάθε μουσικό απόσπασμα είχε μικρή διάρκεια, επαναλαμβανόταν όσες φορές χρειαζόταν ώστε το άτομο να μην πιέζεται χρονικά και να είναι σίγουρο για την κάθε επιλογή του. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τους επόμενους δύο παράγοντες, την Τονική Ποιότητα (σκληρός ή απαλός ήχος) και την Εγγύτητα (κοντινός ή απόμακρος ήχος).

Καθ' όλη τη διάρκεια επαναλαμβάνονταν ηχογραφημένες οδηγίες (Παράρτημα Ε), οι οποίες βοηθούσαν το μουσικό να μείνει συγκεντρωμένος σε αυτό που ακούει, του ανέλυαν τους παράγοντες αντίληψης που χρησιμοποιούσαμε και του υπενθύμιζαν τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ώστε να ολοκληρωθεί επιτυχώς το πείραμα. Όλη αυτή η διαδικασία διαρκούσε από 15 έως 30 λεπτά για το κάθε άτομο.

5.3. Ανάλυση Πειραματικών Δεδομένων

Τα δεδομένα που εξήχθησαν από την πειραματική διαδικασία υποβλήθηκαν σε στατιστικό έλεγχο Ανάλυσης Διακύμανσης (Analysis of Variance) με στόχο να ανιχνευθούν εάν υπάρχουν διαφορές στις μέσες τιμές των μουσικών αποσπασμάτων.

Έγινε η μηδενική υπόθεση ότι οι μέσες τιμές διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Το επίπεδο σημαντικότητας που υιοθετήθηκε στη συγκεκριμένη εργασία είναι 1%. Ο λόγος που επιλέχθηκε αυστηρότερο επίπεδο σημαντικότητας από το συνηθισμένο στη διαδικασία ανάλυσης διακύμανσης (5%), είναι διότι το δείγμα δεν είναι αρκετά μεγάλο ώστε η κατανομή των τιμών να θεωρηθεί κανονική. Έτσι, εάν επαληθευθεί η αρχική μηδενική υπόθεση για το επίπεδο σημαντικότητας 1%, τότε αυτό σημαίνει ότι αν επαναληφθεί το πείραμα εκατό φορές, θα επαληθευθεί τις ενενήντα εννέα. Η μέθοδος ανάλυσης διακύμανσης περιγράφεται αναλυτικά στο Παράρτημα C.

Πιο συγκεκριμένα, ομαδοποιήθηκαν τα δύο πρώτα μουσικά αποσπάσματα A και B τα οποία είχαν ως κύριο όργανο το πιάνο και τα άλλα δύο αποσπάσματα C και D, τα οποία είχαν ως κύριο όργανο το σαξόφωνο. Αρχικά, με ανάλυση της διακύμανσης θα εξετασθούν τυχόν διαφορές στις μέσες τιμές μεταξύ των δύο αυτών ομάδων (within groups) και εφόσον προκύψει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές (significance άνω του 1%) θα γίνει ξανά ανάλυση διακύμανσης για όλα τα μουσικά αποσπάσματα μαζί. Η μέθοδος αυτή θα επαναληφθεί τόσο για το βέλτιστο χρόνο αντήχησης όσο και για την ελάχιστη απαιτούμενη και τη μέγιστη ανεκτή τιμή για κάθε έναν από τους τρεις ανεξάρτητους παράγοντες αντίληψης.

Η Ανάλυση Διακύμανσης πραγματοποιήθηκε μέσω του στατιστικού προγράμματος SPSS 24.0 (Παράρτημα C).

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

6.1. Βέλτιστος χρόνος αντήχησης

Για κάθε ένα μουσικό απόσπασμα (Πίνακας 5-1) υπολογίσθηκε ο μέσος χρόνος αντήχησης και η τυπική απόκλιση για κάθε ανεξάρτητο παράγοντα αντίληψης (Πίνακες 6-1, 6-2).

Ανεξάρτητοι Ακουστικοί Παράγοντες Αντίληψης	Μέσος χρόνος αντήχησης [s]			
	A	B	C	D
1. ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	0,61	0,55	0,85	0,74
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	0,57	0,58	0,83	0,83
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	0,63	0,57	0,80	0,78

Πίνακας 6-1: Μέσος βέλτιστος χρόνος αντήχησης για τα μουσικά αποσπάσματα A, B, C και D αντίστοιχα.

Παράγοντες	Τυπική απόκλιση [s]			
	A	B	C	D
1. ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	± 0,37	± 0,41	± 0,52	± 0,48
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	± 0,37	± 0,38	± 0,41	± 0,50
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	± 0,34	± 0,36	0,49	± 0,50

Πίνακας 6-2: Τυπική απόκλιση των μέσων τιμών του βέλτιστου χρόνου αντήχησης

Πραγματοποιήθηκε Ανάλυση της Διακύμανσης μεταξύ των δεδομένων των αποσπασμάτων A και B (Πίνακας 6-3). Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι η διαφορά μεταξύ των δύο αποσπασμάτων (Between Excerpts) είναι σχετικά μικρή σε σχέση με τη διασπορά απόψεων μέσα σε εκάστοτε απόσπασμα (Within Excerpt) και άρα δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο.

Παράγοντες	Μέση Τιμή [s]	Τυπική Απόκλιση [s]	Between Excerpts		Within Excerpts		F	Sig.
			dF	Mean Square	dF	Mean Square		
1.ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	0,58	± 0,39	1	0,069	86	0,152	0,456	0,502
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	0,58	± 0,37	1	0,000	86	0,140	0,000	0,986
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	0,60	± 0,35	1	0,070	86	0,121	0,578	0,449

Πίνακας 6-3: Σύγκριση των δεδομένων σχετικά με το βέλτιστο χρόνο αντήχησης, μεταξύ των αποσπασμάτων A και B.

Η ίδια ανάλυση πραγματοποιήθηκε και μεταξύ των αποσπασμάτων C και D. Και πάλι, δεν σημειώθηκε σημαντική διαφορά των υποκειμενικών δεδομένων μεταξύ των αποσπασμάτων (Πίνακας 6-4).

Παράγοντες	Μέση Τιμή [s]	Τυπική Απόκλιση [s]	Between Excerpts		Within Excerpts		F	Sig.
			dF	Mean Square	dF	Mean Square		
1.ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	0.79	± 0.50	1	0,227	86	0,252	0,900	0,346
2.ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	0.82	± 0.46	1	0,001	86	0,210	0,004	0,950
3.ΕΓΓΥΤΗΤΑ	0.79	± 0.49	1	0,012	86	0,246	0,048	0,827

Πίνακας 6-4 : Σύγκριση των δεδομένων σχετικά με το βέλτιστο χρόνο αντήχησης, μεταξύ των αποσπασμάτων C και D.

Βάση των παραπάνω αποτελεσμάτων, τα δεδομένα από τα μουσικά αποσπάσματα A και B συγχωνεύτηκαν σε μία ομάδα. Ομοίως, τα δεδομένα των C και D δημιούργησαν μία δεύτερη ομάδα. Στη συνέχεια, τα δεδομένα των δύο αυτών ομάδων ελέγχθηκαν με την ίδια μέθοδο ανάλυσης διακύμανσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 5-5 και δείχνουν ότι υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των ομάδων, δηλαδή μεταξύ της μουσικής με πνευστά όργανα (αποσπάσματα C και D) και χωρίς πνευστά μουσικά όργανα (αποσπάσματα A και B).

Παράγοντες	Between Excerpts		Within Excerpts		F-ratio	Sig
	dF	Mean Square	dF	Mean Square		
1. ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	1	2,060	174	0,202	10,213	0,002
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	1	2,910	174	0,173	16,828	0,000
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	1	1,510	174	0,182	8,299	0,004

Πίνακας 6-5:Σύγκριση των δεδομένων σχετικά με το βέλτιστο χρόνο αντήχησης, μεταξύ αποσπασμάτων με πνευστά μουσικά όργανα (C+D) και χωρίς (A+B).

Σημείωση: Ο συμβολισμός A+B αναφέρεται στη συγχώνευση των δεδομένων των αποσπασμάτων A και B, τα οποία δεν περιλαμβάνουν πνευστά μουσικά όργανα. Ομοίως, ο συμβολισμός C+D αναφέρεται στη συγχώνευση των δεδομένων των αποσπασμάτων C και D, με πνευστά μουσικά όργανα.

Η ανωτέρω διαδικασία επαναλαμβάνεται, καθώς φαίνεται, για κάθε έναν από τους τρεις παράγοντες και τα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται και για τους τρεις (Πίνακες 6-3, 6-4, 6-5).

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, μπορεί να εξαχθεί ο αριθμητικός μέσος για καθένα από τα συγχωνευμένα γκρουπ A+B και C+D. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-6.

Παράγοντες	Χρόνος Αντήχησης [s]		Τυπική Απόκλιση [s]	
	Αποσπάσματα A+B	Αποσπάσματα C+D	Αποσπάσματα A+B	Αποσπάσματα C+D
1.ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	0,58	0,79	± 0,39	± 0,50
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	0,58	0,82	± 0,57	± 0,83
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	0,60	0,78	± 0,61	± 0,79

Πίνακας 6-6: Μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των συγχωνευμένων δεδομένων σχετικά με το βέλτιστο χρόνο αντήχησης.

Κατόπιν, ο αριθμητικός μέσος που υπολογίσθηκε για κάθε μία από τις δύο ομάδες και για τους τρεις παράγοντες, στρογγυλοποιήθηκε στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο ώστε αυτό να προκύπτει 0 ή 5 (Πίνακας 6-7).

Παράγοντες	Χρόνος Αντήχησης [s]	
	Αποσπάσματα A+B	Αποσπάσματα C+D
1.ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	0,60	0,80
2.ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	0,60	0,80
3.ΕΓΓΥΤΗΤΑ	0,60	0,80

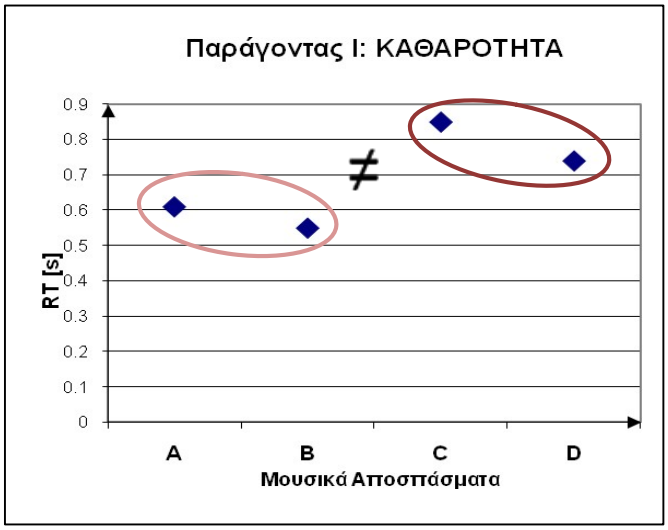
Πίνακας 6-7: Αριθμητικός μέσος του βέλτιστου χρόνου αντήχησης κάθε ομάδας για καθέναν από τους τρεις παράγοντες.

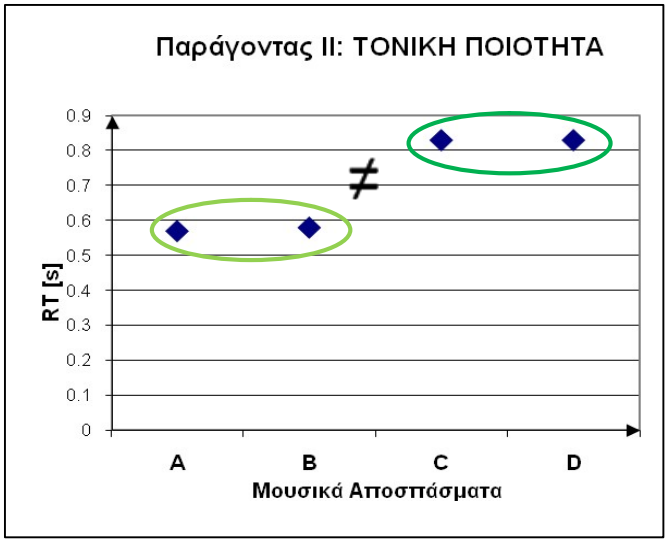
Σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα, ο χρόνος αντήχησης για την ομάδα χωρίς πνευστά (A+B) προκύπτει ίδιος και για τους τρεις παράγοντες ˙ το ίδιο αποτέλεσμα διαπιστώθηκε και για την ομάδα με πνευστά (C+D). Τα τελικά αποτελέσματα του βέλτιστου χρόνου αντήχησης παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-8.

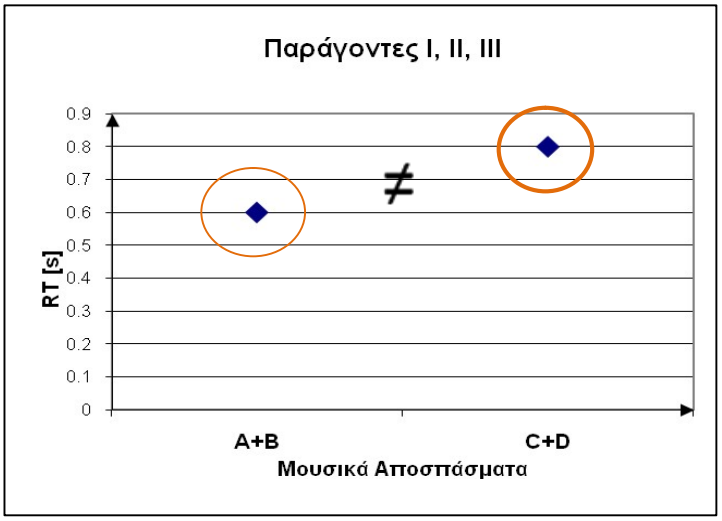
Παράγοντες	Χρόνος Αντήχησης [s]	
	Αποσπάσματα A+B	Αποσπάσματα C+D
Όλοι	**0,60**	**0,80**

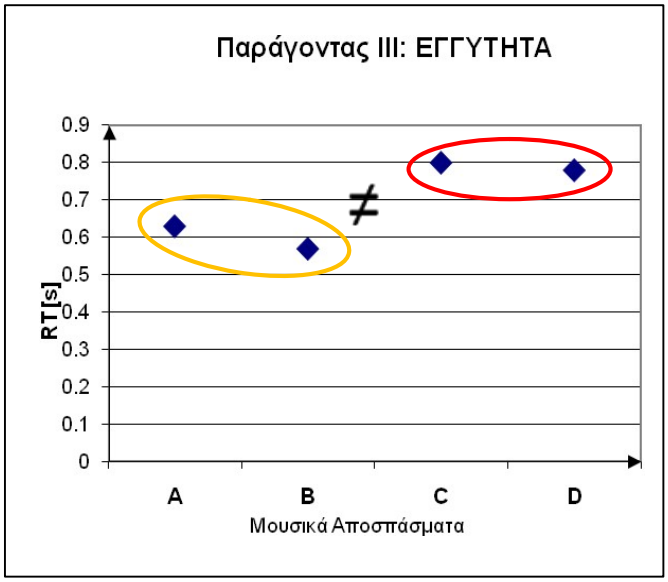
Πίνακας 6-8: Τελικός αριθμητικός μέσος του βέλτιστου χρόνου αντήχησης για τις ομάδες χωρίς πνευστά μουσικά όργανα (A+B) και με πνευστά μουσικά όργανα (C+D) για όλους τους παράγοντες αντίληψης.

Διαγράμματα βέλτιστου χρόνου αντήχησης









6.2. Ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος αντήχησης

Για τα δεδομένα της μέτρησης της ελάχιστης απαιτούμενης αντήχησης πραγματοποιήθηκε, όπως και παραπάνω, ανάλυση της διακύμανσης. Για κάθε ένα μουσικό απόσπασμα υπολογίσθηκε ο μέσος χρόνος αντήχησης και η τυπική απόκλιση για κάθε ανεξάρτητο παράγοντα αντίληψης (Πίνακες 6-9, 6-10).

Παράγοντες	Μέσος Ελάχιστος Απαιτούμενος Χρόνος Αντήχησης [s]			
	A	B	C	D
1. ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	0,27	0,18	0,36	0,25
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	0,22	0,20	0,30	0,25
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	0,18	0,17	0,28	0,21

Πίνακας 6-9: Μέσος ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος αντήχησης για τα μουσικά αποσπάσματα A, B, C και D αντίστοιχα.

Παράγοντες	Τυπική απόκλιση [s]			
	A	B	C	D
1. ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	± 0,20	± 0,12	± 0,31	± 0,19
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	± 0,15	± 0,14	± 0,22	± 0,20
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	± 0,11	± 0,11	± 0,24	± 0,17

Πίνακας 6-10: Τυπική απόκλιση των μέσων τιμών του ελάχιστου απαιτούμενου χρόνου αντήχησης

Αρχικά, έγινε ανάλυση διακύμανσης μεταξύ των αποσπασμάτων A και B (Πίνακας 6-11). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο γκρουπ.

Παράγοντες	Μέση Τιμή [s]	Τυπική Απόκλιση [s]	Between Excerpts		Within Excerpts		F	Sig.
			dF	Mean Square	dF	Mean Square		
1.ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	0,22	± 0,17	1	0,170	86	0,027	6,380	0,013
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	0,21	± 0,15	1	0,013	86	0,021	0,597	0,442
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	0,18	± 0,11	1	0,001	86	0,012	0,064	0,801

Πίνακας 6-11: Σύγκριση των δειγμάτων σχετικά με τον ελάχιστο απαιτούμενο χρόνο αντήχησης, μεταξύ των αποσπασμάτων A και B.

Το ίδιο τεστ πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια μεταξύ των αποσπασμάτων C και D (Πίνακας 6-12). Ομοίως, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των δεδομένων των δύο γκρουπ.

Παράγοντες	Μέση Τιμή [s]	Τυπική Απόκλιση [s]	Between Excerpts		Within Excerpts		F	Sig.
			dF	Mean Square	dF	Mean Square		
1.ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	0,31	± 0,27	1	0,297	86	0,68	4,376	0,039
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	0,27	± 0,22	1	0,059	86	0,045	1,300	0,257
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	0,24	± 0,21	1	0,102	86	0,041	2,457	0,121

Πίνακας 6-12: Σύγκριση των δειγμάτων σχετικά με τον ελάχιστο απαιτούμενο χρόνο αντήχησης, μεταξύ των αποσπασμάτων C και D.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, οι υποκειμενικές αξιολογήσεις των αποσπασμάτων A και B θεωρήθηκαν ως μία ομάδα και συγχωνεύθηκαν. Παρομοίως, οι αξιολογήσεις των αποσπασμάτων C και D συγχωνεύθηκαν και δημιούργησαν μια δεύτερη ομάδα. Τα δεδομένα των δύο αυτών ξεχωριστών ομάδων ελέγχθηκαν, στη συνέχεια, με την ίδια μέθοδο ανάλυσης της διακύμανσης. Τα αποτελέσματα παραθέτονται στον Πίνακα 6-13 και υποδεικνύουν ότι δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων, δηλαδή μεταξύ μουσικής που περιλαμβάνει πνευστά όργανα (αποσπάσματα C και D) και μουσικής χωρίς πνευστά όργανα (αποσπάσματα A και B).

Παράγοντες	Μέση Τιμή [s]	Τυπική Απόκλιση [s]	Between Excerpts		Within Excerpts		F	Sig.
			dF	Mean Square	dF	Mean Square		
1.ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	0,26	± 0,23	1	0,293	174	0,049	5,932	0,016
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	0,24	± 0,18	1	0,173	174	0,033	5,191	0,024
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	0,21	± 0,17	1	0,183	174	0,027	6,768	0,011

Πίνακας 6-13: Σύγκριση των δεδομένων σχετικά με τον ελάχιστο απαιτούμενο χρόνο αντήχησης, μεταξύ αποσπασμάτων με πνευστά όργανα (C+D) και χωρίς (A+B).

Η ανωτέρω διαδικασία επαναλαμβάνεται, καθώς φαίνεται, για κάθε έναν από τους τρεις παράγοντες και τα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται και για τους τρεις (Πίνακες 6-11, 6-12, 6-13).

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, υπολογίστηκε η μέση τιμή του ελάχιστου απαιτούμενου χρόνου αντήχησης, για τις αξιολογήσεις όλων των μουσικών αποσπασμάτων και για τους τρεις παράγοντες αντίληψης, στρογγυλοποιημένη στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο ώστε αυτό να προκύπτει 0 ή 5. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 6-14.

Παράγοντες	Χρόνος Αντήχησης [s]
1. ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	0,25
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	0,25
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	0,20

Πίνακας 6-14: Αριθμητικός μέσος ελάχιστου απαιτούμενου χρόνου αντήχησης, για κάθε παράγοντα αντίληψης για όλα τα μουσικά αποσπάσματα.

Παρατηρήθηκε μια διαφορά στις μέσες τιμές των παραγόντων και επομένως πραγματοποιήθηκε ξανά τεστ ανάλυσης της διακύμανσης, αυτή τη φορά μεταξύ των παραγόντων και για τα τέσσερα αποσπάσματα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-15 και δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά στον ελάχιστο απαιτούμενο χρόνο αντήχησης μεταξύ των τριών παραγόντων.

Παράγοντες	Μέση Τιμή [s]	Τυπική Απόκλιση [s]	Between Excerpts		Within Excerpts		F	Sig.
			dF	Mean Square	dF	Mean Square		
Όλοι	0,24	0,19	2	0,138	525	0,038	3,681	0,026

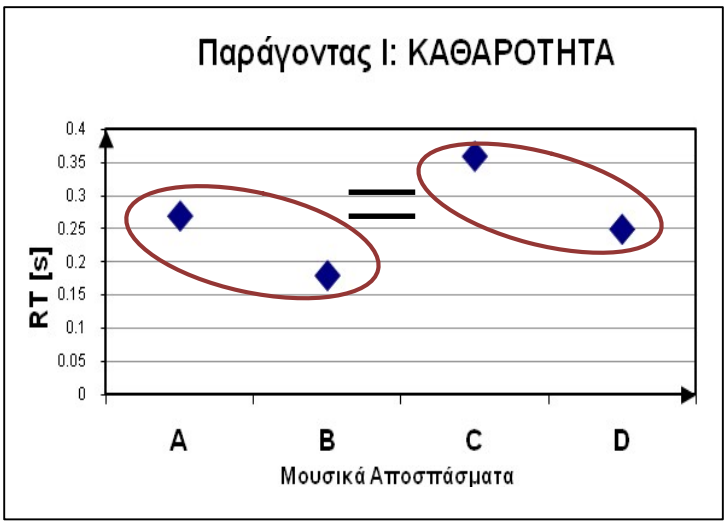
Πίνακας 6-15: Σύγκριση των δεδομένων σχετικά με τον ελάχιστο απαιτούμενο χρόνο αντήχησης, μεταξύ των τριών παραγόντων αντίληψης (περιλαμβάνονται όλα τα αποσπάσματα).

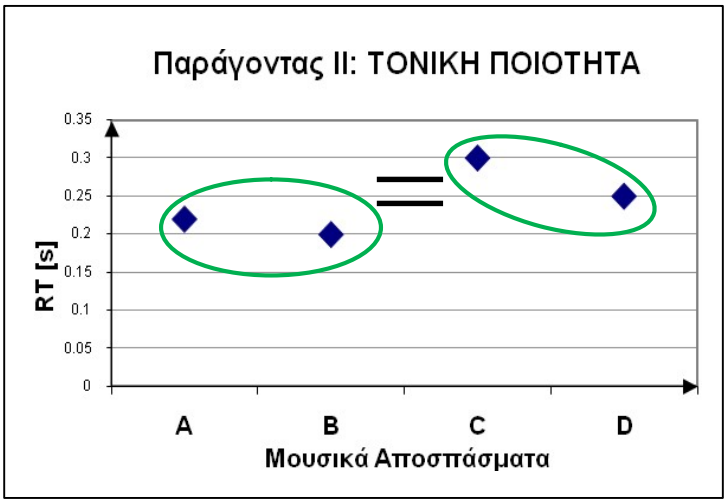
Βάσει αυτών, υπολογίστηκε η μέση τιμή του ελάχιστου απαιτούμενου χρόνου αντήχησης όλων των αξιολογήσεων και για όλους τους παράγοντες.

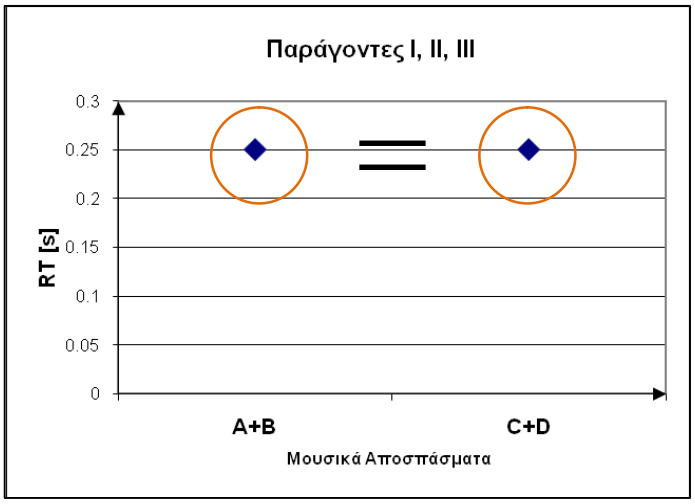
Παράγοντες	Χρόνος Αντήχησης [s]
Όλοι	**0,25**

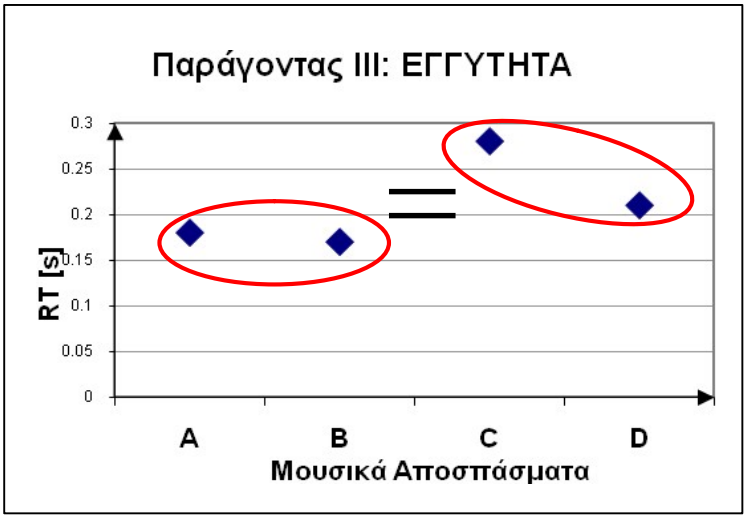
Πίνακας 6-16: Τελικός μέσος ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος αντήχησης για όλα τα μουσικά αποσπάσματα και για τους τρεις παράγοντες αντίληψης.

Διαγράμματα ελάχιστου απαιτούμενου χρόνου αντήχησης









6.3. Μέγιστος ανεκτός χρόνος αντήχησης

Ευρήματα παρόμοια με την παράγραφο 6.2 παρατηρήθηκαν και κατά τον υπολογισμό του μέγιστου ανεκτού χρόνου αντήχησης και τα αποτελέσματα παρατίθενται στους Πίνακες 6-17 έως 6-24. Για κάθε ένα μουσικό απόσπασμα υπολογίσθηκε ο μέσος χρόνος αντήχησης και η τυπική απόκλιση για κάθε ανεξάρτητο παράγοντα αντίληψης (Πίνακες 6-17, 6-18).

Παράγοντες	Μέσος Μέγιστος Ανεκτός Χρόνος Αντήχησης [s]			
	A	B	C	D
1. ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	1,43	1,36	1,77	1,79
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	1,45	1,42	1,74	1,87
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	1,90	1,52	1,80	2,04

Πίνακας 6-17: Μέσος μέγιστος ανεκτός χρόνος αντήχησης για τα μουσικά αποσπάσματα A, B, C και D αντίστοιχα.

Παράγοντες	Τυπική Απόκλιση [s]			
	A	B	C	D
1. ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	± 0,90	± 1.00	± 1,23	± 1,16
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	± 0,97	± 0,98	± 1,18	± 1,20
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	± 1,72	± 1,01	± 1,40	± 1,28

Πίνακας 6-18: Τυπική απόκλιση των μέσων τιμών του μέγιστου ανεκτού χρόνου αντήχησης

Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της διακύμανσης μεταξύ των αποσπασμάτων A και B (Πίνακας 6-19) και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο μουσικών αποσπασμάτων.

Παράγοντες	Μέση Τιμή [s]	Τυπική Απόκλιση [s]	Between Excerpts		Within Excerpts		F	Sig.
			dF	Mean Square	dF	Mean Square		
1.ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	1,39	± 0,94	1	0,103	86	0,899	0,115	0,736
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	1,44	± 0,95	1	0,017	86	0,915	0,018	0,892
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	1,71	± 1,42	1	3,071	86	1,990	1,543	0,217

Πίνακας 6-19 : Σύγκριση των δειγμάτων σχετικά με το μέγιστο ανεκτό χρόνο αντήχησης, μεταξύ των αποσπασμάτων A και B.

Το ίδιο τεστ ανάλυσης της διακύμανσης πραγματοποιήθηκε στη συνέχεια μεταξύ των αποσπασμάτων C και D που περιέχουν πνευστά μουσικά όργανα(Πίνακας 6-20). Ομοίως, δεν παρατηρήθηκε σημαντική διαφορά μεταξύ των δεδομένων των δύο γκρουπ.

Παράγοντες	Μέση Τιμή [s]	Τυπική Απόκλιση [s]	Between Excerpts		Within Excerpts		F	Sig.
			dF	Mean Square	dF	Mean Square		
1.ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	1,78	± 1,19	1	0,016	86	1,425	0,011	0,916
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	1,80	± 1,18	1	0,365	86	1,419	0,257	0,613
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	1,92	± 1,34	1	1,325	86	1,793	0,739	0,392

Πίνακας 6-20 : Σύγκριση των δειγμάτων σχετικά με το μέγιστο ανεκτό χρόνο αντήχησης, μεταξύ των αποσπασμάτων C και D.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, οι υποκειμενικές αξιολογήσεις των αποσπασμάτων A και B θεωρήθηκαν ως μία ομάδα και συγχωνεύθηκαν. Παρομοίως, οι αξιολογήσεις των αποσπασμάτων C και D συγχωνεύθηκαν και δημιούργησαν μία δεύτερη ομάδα. Τα δεδομένα των δύο αυτών ξεχωριστών ομάδων ελέγχθηκαν, στη συνέχεια, με την ίδια μέθοδο ανάλυσης της διακύμανσης με πριν. Τα αποτελέσματα παρατίθενται στον Πίνακα 6-21 και υποδεικνύουν ότι δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο ομάδων, δηλαδή μεταξύ μουσικής που περιλαμβάνει πνευστά όργανα (αποσπάσματα C και D) και μουσικής που δεν περιλαμβάνει πνευστά μουσικά όργανα (αποσπάσματα A και B).

Παράγοντες	Μέση Τιμή [s]	Τυπική Απόκλιση [s]	Between Excerpts		Within Excerpts		F	Sig.
			dF	Mean Square	dF	Mean Square		
1.ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	1,59	± 1,09	1	6,537	174	1,149	5,689	0,018
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	1,62	± 1,09	1	5,880	174	1,156	5,088	0,025
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	1,81	± 1,38	1	1,953	174	1,895	1,031	0,311

Πίνακας 6-21: Σύγκριση των αξιολογήσεων σχετικά με το μέγιστο ανεκτό χρόνο αντήχησης, μεταξύ των αποσπασμάτων με πνευστά όργανα (C+D) και χωρίς πνευστά όργανα (A+B).

Η ανωτέρω διαδικασία επαναλαμβάνεται, καθώς φαίνεται, για κάθε έναν από τους τρεις παράγοντες και τα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται και για τους τρεις (Πίνακες 6-19, 6-20, 6-21).

Με βάση τα αποτελέσματα αυτά, υπολογίστηκε η μέση τιμή του μέγιστου ανεκτού χρόνου αντήχησης, για τις αξιολογήσεις όλων των μουσικών αποσπασμάτων και για τους τρεις παράγοντες αντίληψης, στρογγυλοποιημένη στο δεύτερο δεκαδικό ψηφίο ώστε αυτό να προκύπτει 0 ή 5. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 6-22.

Παράγοντες	Χρόνος Αντήχησης [s]
1. ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	1,60
2. ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	1,60
3. ΕΓΓΥΤΗΤΑ	1,80

Πίνακας 6-22: Αριθμητικός μέσος μέγιστου ανεκτού χρόνου αντήχησης, για κάθε παράγοντα αντίληψης για όλα τα μουσικά αποσπάσματα.

Παρατηρήθηκε μια διαφορά στις μέσες τιμές των παραγόντων και επομένως πραγματοποιήθηκε ξανά τεστ ανάλυσης της διακύμανσης, αυτή τη φορά μεταξύ των παραγόντων και για τα τέσσερα αποσπάσματα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-23 και δεν παρατηρείται στατιστικώς σημαντική διαφορά στον ελάχιστο απαιτούμενο χρόνο αντήχησης μεταξύ των τριών παραγόντων.

Παράγοντες	Μέση Τιμή [s]	Τυπική Απόκλιση [s]	Between Excerpts		Within Excerpts		F	Sig.
			dF	Mean Square	dF	Mean Square		
Όλοι	1,68	1,19	2	2,699	525	1,419	1,902	0,150

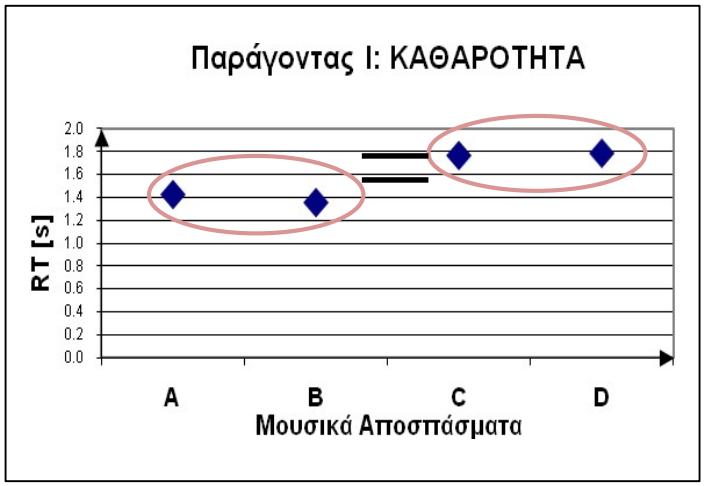
Πίνακας 6-23: Σύγκριση των δεδομένων σχετικά με το μέγιστο ανεκτό χρόνο αντήχησης, μεταξύ των τριών παραγόντων αντίληψης (περιλαμβάνονται όλα τα αποσπάσματα).

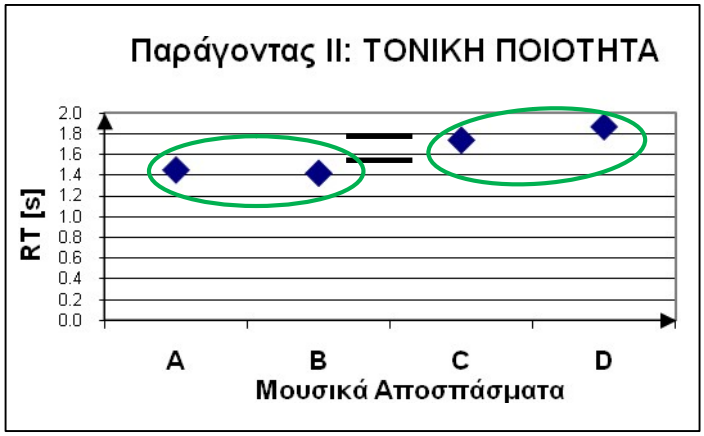
Βάσει αυτών, υπολογίστηκε, κατόπιν στρογγυλοποίησης, η μέση τιμή του μέγιστου ανεκτού χρόνου αντήχησης όλων των αξιολογήσεων και για όλους τους παράγοντες.

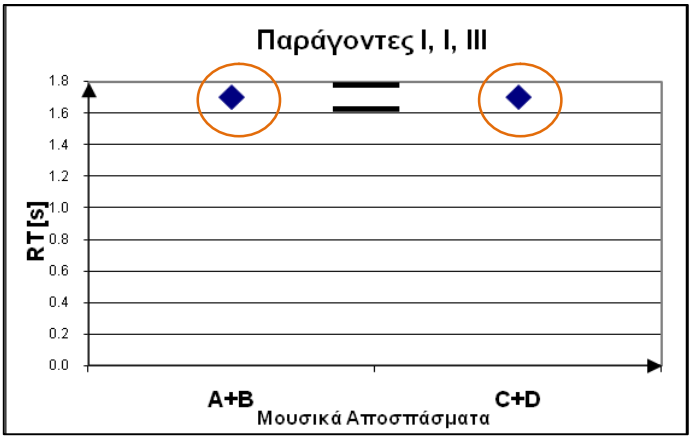
Παράγοντες	Χρόνος Αντήχησης [s]
Όλοι	**1,70**

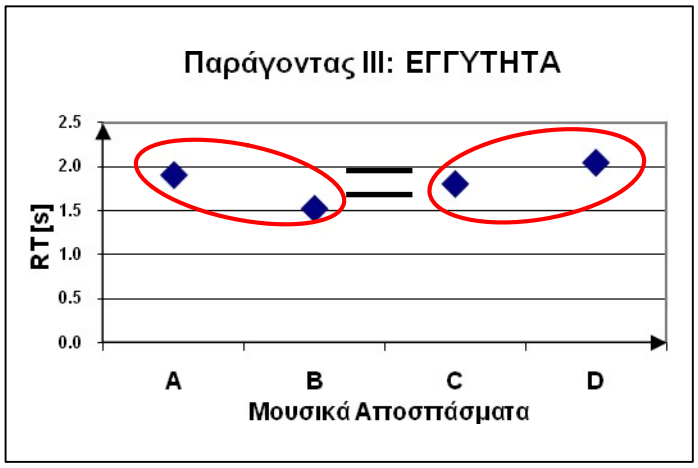
Πίνακας 6-24: Τελικός μέσος ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος αντήχησης για όλα τα μουσικά αποσπάσματα και για τους τρεις παράγοντες αντίληψης.

Διαγράμματα μέγιστου ανεκτού χρόνου αντήχησης

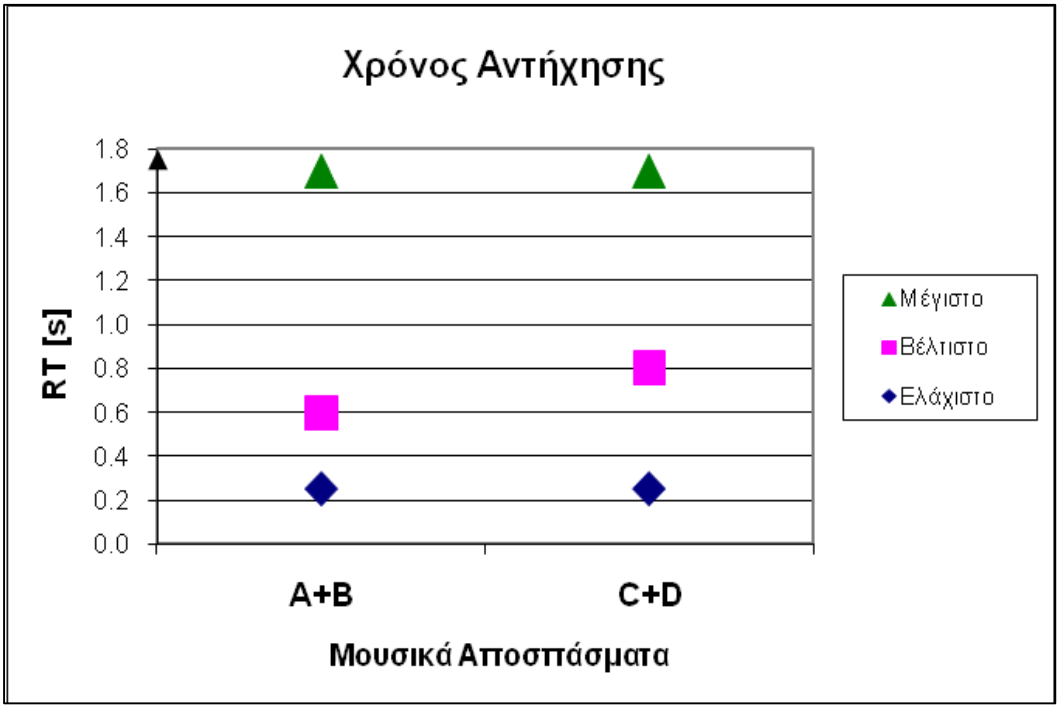








Τελικές τιμές χρόνου αντήχησης



7. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο προηγούμενο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης των δεδομένων για το βέλτιστο χρόνο αντήχησης και τα ελάχιστα και μέγιστα όρια του κριτηρίου αυτού, για καθέναν από τους ανεξάρτητους παράγοντες αντίληψης. Στο παρόν κεφάλαιο θα αξιολογηθούν αυτά τα αποτελέσματα και θα συγκριθούν με τη βιβλιογραφία.

Η τιμή του βέλτιστου χρόνου αντήχησης προκύπτει από 0,60 s έως 0,80s, όπου το ανώτερο όριο αντιστοιχεί σε σύνολα με πνευστά μουσικά όργανα, ανεξάρτητα μάλιστα από τον παράγοντα αντίληψης (Πίνακας 6-8).Το αποτέλεσμα αυτό έρχεται σε συμφωνία και γενικεύει την έρευνα του Gade στην κλασσική μουσική [9], ο οποίος κατά τη διάρκεια των πειραμάτων του ανίχνευσε διαφορά στις προτιμήσεις των μουσικών σχετικά με το χρόνο αντήχησης, με τους μουσικούς που έπαιζαν πνευστά όργανα να προτιμούν αυξημένο χρόνο αντήχησης σε σχέση με τους υπόλοιπους μουσικούς.

Η διαφορά αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στην κατασκευή των οργάνων και τη μετάδοση του ήχου μέσα από αυτά. Το πιάνο λόγω του μεγάλου όγκου του δημιουργεί ήδη στο εσωτερικό του μια μικρή αντήχηση καθώς ο ήχος μεταδίδεται μέσα στο όργανο πριν φτάσει στο αυτί. Αντιθέτως, το σαξόφωνο – και γενικώς τα πνευστά – αποδίδουν αρκετά πιο ξηρό ήχο και επομένως χρειάζονται μεγαλύτερη αντήχηση για να θεωρηθεί η ακρόαση ικανοποιητική από τον ακροατή.

Επιπλέον, παρατηρείται ότι ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης για jazz μουσική είναι χαμηλότερος από τον αντίστοιχο βέλτιστο χρόνο για κλασσική μουσική, ο οποίος ξεπερνά το 1,00 s και σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως αυτή της κλασσικής ρομαντικής μουσικής, ακόμα και τα 2,00 s (Πίνακας 4-1). Αυτή η παρατήρηση επιβεβαιώνει την μέχρι τώρα πεποίθηση ότι οι ακροατές της jazz, επιθυμούν πιο καθαρό ήχο και χωρίς μεγάλες αντηχήσεις, εν αντιθέσει με τους ακροατές της κλασσικής μουσικής. Μία επιπλέον σύγκριση με το χρόνο αντήχησης των αιθουσών rock μουσικής, ο οποίος μπορεί να ποικίλει σε ένα εύρος μεταξύ 0,60 s – 1,20 s [8], δείχνει ότι ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης της jazz είναι ίσος ή, στις περισσότερες περιπτώσεις, μικρότερος από αυτόν.

Όσον αφορά τα όρια του χρόνου αντήχησης, η εύρεσή τους έχει στόχο τις ήδη υπάρχουσες αίθουσες ακρόασης jazz. Υπολογίσθηκε ο αριθμητικός μέσος των ορίων για όλα τα μουσικά αποσπάσματα και για όλους τους ανεξάρτητους παράγοντες αντίληψης. Η ελάχιστη απαιτούμενη αντήχηση βρίσκεται στα 0,25 s και η μέγιστη ανεκτή αντήχηση στα 1,70 s. Το γεγονός ότι τα όρια της αντήχησης βρέθηκαν ανεξάρτητα των μουσικών οργάνων, σε αντίθεση με το αποτέλεσμα για το βέλτιστο χρόνο, μπορεί να ερμηνευτεί από τη θεώρηση ότι σε τέτοιες ακραίες τιμές δεν μπορούν να υπάρξουν διαφοροποιήσεις στη μουσική με και χωρίς πνευστά όργανα. Αντιθέτως, καθώς οι μουσικοί που έλαβαν μέρος στην παρούσα πειραματική έρευνα ειδικεύονται σε αυτό το είδος μουσικής, παρουσίασαν μια σχετική συμφωνία ως προς την εκτιμώμενη καλύτερη αντήχηση.

Μια σύντομη σύγκριση του εξαγόμενου βέλτιστου χρόνου αντήχησης σε σχέση με τον διαπιστωμένο χρόνο αντήχησης σε υπάρχουσες αίθουσες jazz, δείχνει ότι είναι ελάχιστοι οι χώροι στους οποίους ο χρόνος αντήχησης συμπίπτει με το βέλτιστο, όπως στην περίπτωση του Half Note (RT=0,72 s),

ενώ άλλοι χώροι απέχουν κατά πολύ, όπως η αίθουσα του Μεγάρου Μουσικής Δημήτρης Μητρόπουλος (RT=1,42 s), η αίθουσα Jazz Point (RT=1,13 s) και το club The Forge (RT=1,16 s). Γίνεται επομένως αντιληπτό ότι όταν δεν υπάρχει πλήρης επιστημονική έρευνα, δεν είναι δυνατή η κατασκευή αίθουσας με σωστές προδιαγραφές. Παρόλα αυτά, όλες οι γνωστές σε εμάς αίθουσες (Πίνακας 4-5) βρίσκονται εντός των επιτρεπτών ορίων του χρόνου αντήχησης, όπως αυτά προέκυψαν από την παρούσα έρευνα, κάτι που υποδεικνύει ότι η διαισθητική κατασκευή τους δεν ήταν εντελώς λανθασμένη.

Το ζητούμενο της παρούσας εργασίας είναι, όμως, ο τρόπος με τον οποίο τα ευρήματα αυτά θα αξιοποιηθούν στην κατασκευή μιας αίθουσας jazz συναυλιών. Ο τύπος του Sabine (§ 3.2) συνδυάζει το χρόνο αντήχησης με τον όγκο του χώρου και την ηχοαπορροφητικότητα των υλικών των επιφανειών σε αυτόν. Επομένως, ένας μικρός χρόνος αντήχησης 0,60 s – 0,80 s αντιστοιχεί σε αίθουσες σχετικά μικρού όγκου σε συνδυασμό με ορισμένες ηχοαπορροφητικές επιφάνειες ή ακόμα αίθουσες μεγαλύτερου όγκου με αυξημένες, όμως, επιφάνειες ηχοαπορρόφησης. Εδώ παρατηρείται και μια επιπλέον διαφορά με τις αίθουσες της κλασσικής μουσικής στις οποίες, για τη διατήρηση του μεγάλου χρόνου αντήχησης, ο όγκος τους είναι αρκετά αυξημένος και οι ηχοαπορροφητικές επιφάνειες ελάχιστες.

Όσον αφορά τον προσδιορισμό των ηχοαπορροφητικών επιφανειών που απαιτούνται στις αίθουσες jazz μουσικής, αυτές μπορούν είτε να τοποθετηθούν ως δομικά υλικά στους τοίχους και το δάπεδο της αίθουσας, είτε να ενσωματωθούν στο διάκοσμό της. Απαιτείται, όμως, περαιτέρω έρευνα σχετικά με την επιθυμητή κατανομή των συχνοτήτων για την περίπτωση του βέλτιστου χρόνου αντήχησης, ώστε να γίνει εφικτός στη συνέχεια ο ορισμός των απαιτούμενων ηχοαπορροφητικών υλικών ανάλογα με τις συχνότητες.

Τέλος, όλη αυτή η πειραματική διαδικασία δεν συμπεριέλαβε την περιπλοκότητα των περιβαλλοντικών συνθηκών. Χρειάζεται επιπλέον έρευνα για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων σε συνθήκες ζωντανής συναυλίας.

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το αποτέλεσμα στο οποίο κατέληξε η παρούσα πειραματική εργασία είναι ο ορισμός του χρόνου αντήχησης για αίθουσες ακρόασης μουσικής jazz στην περιοχή του ακροατηρίου.

Ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης των jazz ακροάσεων υπολογίστηκε σε ένα εύρος 0,60 s – 0,80 s, όπου το άνω όριο αναφέρεται σε jazz σύνολα που περιλαμβάνουν πνευστά μουσικά όργανα. Το αποτέλεσμα αυτό επαληθεύει ευρήματα της κλασσικής μουσικής σύμφωνα με τα οποία οι μουσικοί που ασχολούνται με πνευστά όργανα προτιμούν υψηλότερο χρόνο αντήχησης σε σχέση με τους υπόλοιπους. Επιπλέον, τα αποτελέσματα αυτά του βέλτιστου χρόνου αντήχησης βρέθηκαν να είναι ανεξάρτητα από τους τρεις διακριτούς παράγοντες αντίληψης της μουσικής jazz που εξετάστηκαν.

Επιπρόσθετα, υπολογίστηκαν ο ελάχιστος απαιτούμενος χρόνος αντήχησης καθώς και ο μέγιστος ανεκτός χρόνος αντήχησης, ίσοι με 0,25 s και 1,70 s αντίστοιχα, ανεξάρτητοι από τους διακριτούς παράγοντες αντίληψης. Αντίθετα, όμως, με τα παραπάνω ευρήματα σχετικά με το βέλτιστο χρόνο αντήχησης, οι τιμές των ορίων του κριτηρίου αυτού βρέθηκαν ανεξάρτητες των οργάνων που αποτελούν το μουσικό σύνολο.

Σε αντίθεση με την κλασσική και τη ροκ μουσική, στην περίπτωση της jazz ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης προκύπτει αρκετά μικρότερος. Επιπλέον, μια σύντομη σύγκριση του χρόνου αυτού με το διαπιστωμένο χρόνο αντήχησης γνωστών jazz αιθουσών, υποδεικνύει ότι είναι ελάχιστοι οι χώροι που συμπίπτουν με τις βέλτιστες τιμές, ενώ όλες οι αίθουσες βρίσκονται εντός των οριακών τιμών.

Η μικρή τιμή του χρόνου αντήχησης καθιστά σαφές ότι χώροι κατάλληλοι για jazz μουσική μπορούν να είναι αίθουσες μικρού σχετικά όγκου και με σχετικά αυξημένη ηχοαπορροφητική επιφάνεια.

Τέλος, χρειάζεται να γίνει επιπλέον διερεύνηση στο μέλλον σχετικά με την κατανομή του φάσματος των συχνοτήτων αλλά και την επιβεβαίωση των ευρημάτων της παρούσας εργασίας σε συνθήκες ζωντανής jazz συναυλίας.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Κ. Γιαννουλόπουλος: ΤΖΑΖ: Οδηγός Δίσκων. Εκδ. Απόπειρα, Αθήνα, 1983

[2] M. W. Stearns: The Story of Jazz. 1965. (Μετάφραση Κ. Ντελόπουλος, ΕΛΙΑ, Αθήνα, 1981)

[3] Α. Σωτηροπούλου: Ακουστικός Σχεδιασμός Αιθουσών Ακροατηρίου. Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, 2016, e-book: repository.kallipos.gr/handle/11419/5850.

[4] R. Izhaki: Mixing Audio, *Concepts*, Practices & Tools. Fokal Press, Oxford UK, 2008.

[5] W. C. Sabine: Collected Papers on Acoustics. Harvard University Press, 1992. (reprinted 1964, Dover, New York)

[6] L. Cremer, H. A. Müller (translated by T. J. Schultz): Principles and applications of room acoustics. Vol. I, II, Applied Science, London, 1982.

[7] M. Barron: Auditorium acoustics and architectural design. E&FN Spon Publishers, 1993. (Second edition e-book by Spon Press,2010)

[8] N.W. Larsen, E.R. Thompson, A.C. Gade: Suitable reverberation times for halls for rock and pop music. Journal of the Acoustical Society of America, **127**, 2010.

[9] A. C. Gade: Investigations of musicians' room acoustic conditions in concert halls. II, Field experiments and synthesis of results. Acustica, **69**, pp. 249-262, 1989.

[10] R. J. Hawkes, H. Douglas: Subjective acoustic experience in concert auditoria. Acustica, **24**, pp. 235-250, 1971.

[11] H. Wilkens: Mehrdimensionale Beschreibung subjectiver Beurteilungen der Akustik von Konzertsälen. Dissertation, Technische Universität, Berlin, 1975.

[12] M. R. Schroeder, D. Gottlob, K. F. Siebrasse: Comparative study of European concert halls: correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters. Journal of the Acoustical Society of America, **56**, pp. 1195-1201, 1974.

[13] A. G. Sotiropoulou, R. J. Hawkes, D. B. Fleming: Concert hall acoustic evaluations by ordinary concert-goers: I, Multi-dimensional description of evaluations. Acustica, **81**, pp. 1-9, 1995.

[14] A. G. Sotiropoulou, D. B. Fleming: Concert hall acoustic evaluations by ordinary concert-goers: II, Physical room acoustic criteria subjectively significant. Acustica, **81**, pp. 10-19, 1995.

[15] A.G. Sotiropoulou , G. Poulakos, J. Karayiannis, J. Tzouvadakis: Subjective evaluation of the acoustics of jazz auditoria; multi-dimensional description of evaluations. In 7th International Conference on Auditorium Acoustics, Oslo, Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol. 30, Part 3, pp. 326-332, 2008.

[16] A.G. Sotiropoulou, A. Savvopoulou, G. Karagiannis, G. Tzouvadakis: Subjective evaluation of acoustics in jazz clubs. In 8th International Conference on Auditorium Acoustics, Dublin, Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol. 33, Part 2, pp. 63-74, 2011.

[17] A.G. Sotiropoulou, A. Savvopoulou, G. Karagiannis, G. Tzouvadakis: Subjective evaluation of acoustics in jazz clubs. Acoustics Bulletin, Vol. 36, No. 5, pp. 24-31, 2011.
[18] J. Karagiannis, G. Xanthoulis, A. Trispiotis, J. Tzouvadakis, K. Kwok, A. Sotiropoulou: Subjective evaluation of stage acoustics in live jazz concerts; multi-dimensional description of evaluations. In 9th International Conference on Auditorium Acoustics, Paris, Proceedings of the Institute of Acoustics, Vol. 37, Part 3, pp. 414-420, 2015.
[19] W. Marsalis, H.F. Fierce, "The 'Sound of Jazz' team, Realizing the Jazz at Lincoln Center Vision for Frederick P. Rose Hall", Report www.jazzatlincolncenter.org, 2004.
[20] http://odeon.dk/downloads/anechoic-recordings/
[21] https://www.steinberg.net/index.php?id=933&L=1
[22] http://theremin.music.uiowa.edu/MIS.html

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

Α.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΗΧΟ

ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Ο ήχος είναι η αίσθηση που προκαλείται λόγω της διέγερσης των αισθητηρίων οργάνων της ακοής από μεταβολές πίεσης του ατμοσφαιρικού αέρα. Αυτές οι μεταβολές διαδίδονται με τη μορφή ηχητικών κυμάτων. Τα ηχητικά κύματα παράγονται από σώματα που εκτελούν μηχανικές ταλαντώσεις (δονήσεις) και επομένως χαρακτηρίζονται ως μηχανικά κύματα (ελαστικότητας) που μεταφέρουν μηχανική ενέργεια. Για τη μετάδοση των κυμάτων είναι απαραίτητη η ύπαρξη κάποιου υλικού μέσου μεταξύ πομπού και δέκτη. Το μέσο μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε κατάσταση ύλης- στερεό, υγρό, αέριο ή πλάσμα- καθώς ο ήχος δεν διαδίδεται στο απόλυτο κενό. Όταν, εξαιτίας κάποιου ερεθίσματος, δημιουργηθεί μια μορφή διατάραξης στο υλικό μέσο, τότε τα μετατοπισμένα μόρια ύλης ακούν δυνάμεις στ γειτονικά μόρια, αναγκάζοντάς τα να έλθουν εκτός θέσης ισορροπίας. Συνοψίζοντας λοιπόν, αυτό που ο άνθρωπος καταλαβαίνει ως ήχο, είναι μια μορφή ενέργειας η οποία προέρχεται από σώματα που ταλαντώνονται και διαδίδεται μέσω των σωματιδίων του αέρα, του νερού ή κάποιου στερεού μέσου.

ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Οι φυσικές ιδιότητες που χαρακτηρίζουν ένα ηχητικό κύμα είναι η ταχύτητα, η περίοδος, η συχνότητα και το μήκος κύματος.

Ταχύτητα του ήχου (c) είναι η ταχύτητα με την οποία διαδίδονται τα ηχητικά κύματα. Μονάδα μέτρησης είναι το μέτρο ανά δευτερόλεπτο (m/s). Η ταχύτητα του ήχου διαφέρει από στερεό σε στερεό και από υγρό σε υγρό σε σχέση με τον αέρα. Ένας επιπλέον παράγοντας που επηρεάζει την ταχύτητα του ήχου είναι και η θερμοκρασία που επικρατεί στο εκάστοτε μέσο. Στην παρούσα εργασία λαμβάνουμε ως ταχύτητα ήχου ίση με 340 m/s σε θερμοκρασία δωματίου 20°C και είναι ίδια σε όλες τις συχνότητες.

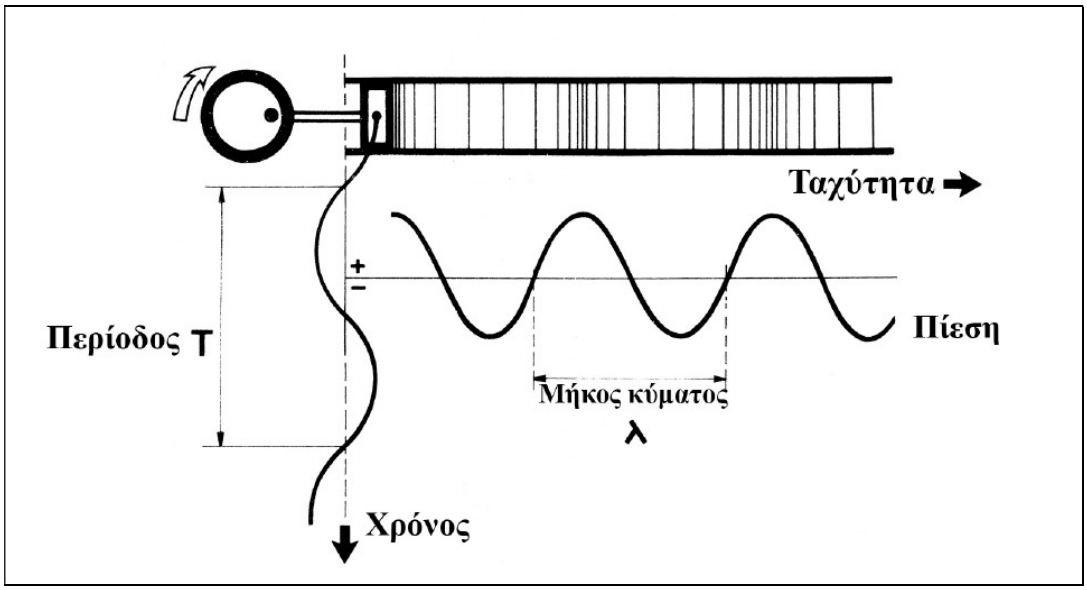
Περίοδος (T) είναι ο χρόνος που χρειάζεται το ηχητικό κύμα για να πραγματοποιήσει έναν πλήρη κύκλο, μια πλήρη ταλάντωση. Μονάδα μέτρησης είναι το δευτερόλεπτο [s].

Συχνότητα (f) είναι η συχνότητα ταλάντωσης των σωματιδίων του ελαστικού μέσου λόγω διάδοσης του ηχητικού κύματος. Ως μονάδα έχει το Hertz (Hz). Το ακουστό φάσμα συχνοτήτων για το ανθρώπινο αυτί είναι από 20Hz έως 20kHz. Η συχνότητα υπολογίζεται ως το αντίστροφο της περιόδου, δηλαδή $f = \frac{1}{T}$.

Μπορούμε να πούμε ότι, υποκειμενικά, η συχνότητα είναι αυτή που διαφοροποιεί έναν οξύ από έναν υπόκωφο ήχο.

Μήκος κύματος (λ) είναι η απόσταση που διανύει το ηχητικό κύμα μέχρι να ολοκληρωθεί μία πλήρης ταλάντωση. Μονάδα μέτρησης είναι το μέτρο (m). Η σχέση που συνδέει τη συχνότητα με το μήκος κύματος είναι:

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



Σχήμα Α-1: Σχηματική απεικόνιση των φυσικών ιδιοτήτων του ήχου (Σωτηροπούλου Α., 2015 [3]).

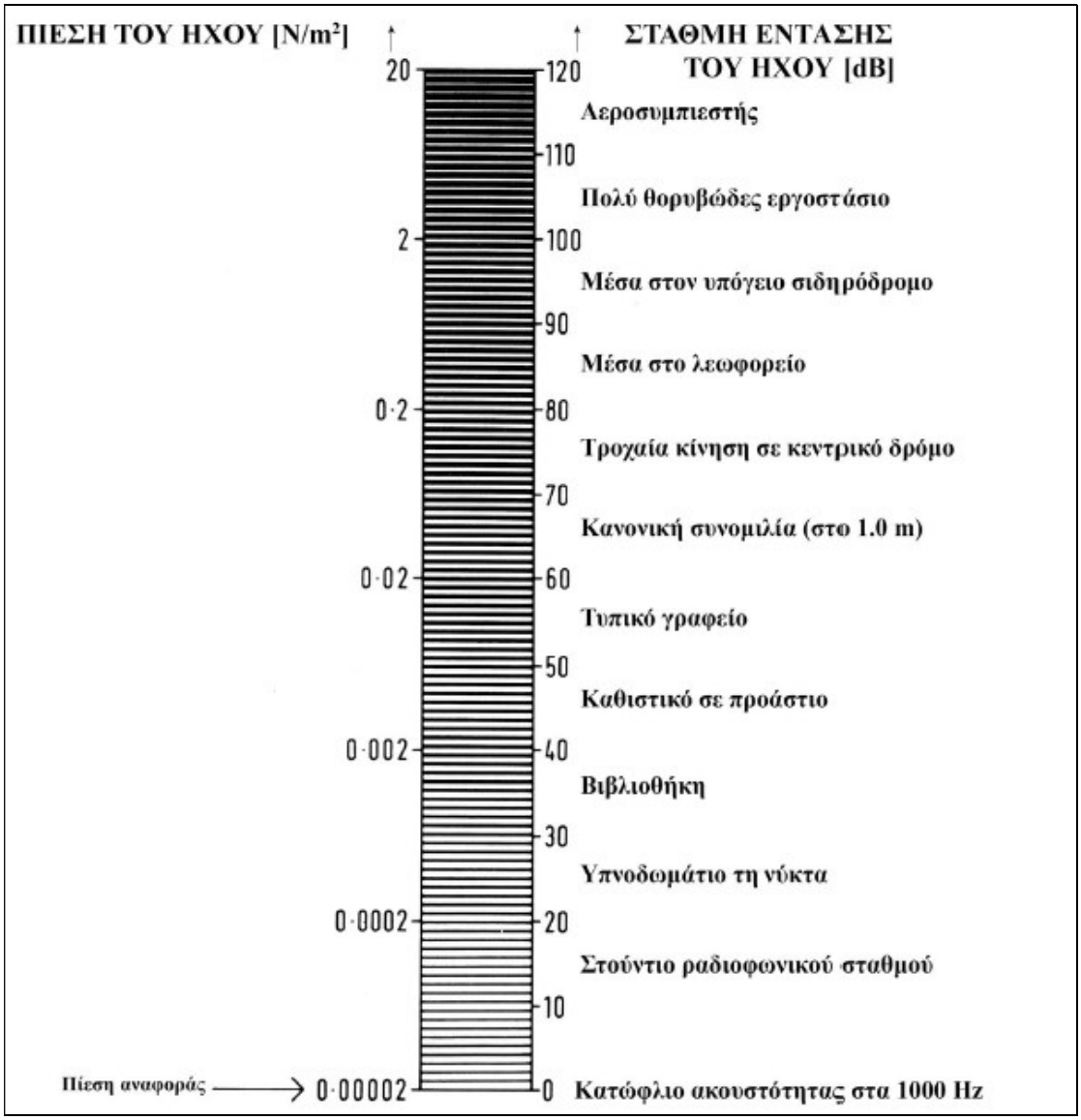
Ηχητική πίεση (p) είναι η δημιουργούμενη υπερπίεση ή υποπίεση (σε σχέση με την ατμοσφαιρική) που δημιουργεί το ηχητικό κύμα κατά τη διάδοσή του. Μονάδα μέτρησης είναι το Pascal (Pa). Ως ηχητική πίεση αναφοράς (p_o) λαμβάνεται στον αέρα ίση με 0,00002 N/m2.

Στάθμη έντασης του ήχου είναι η ηχητική ενέργεια ως προς δεδομένο επίπεδο αναφοράς. Υποκειμενικά, είναι εκείνο που διαφοροποιεί έναν έντονο ήχο από έναν αδύναμο.

$$\begin{bmatrix} \text{ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ} \\ \text{ΤΟΥ ΗΧΟΥ} \end{bmatrix} = 10\ \mathrm{1og}\left[\frac{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ}}{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}}\right]^2, \quad [\mathrm{dB}]$$

Ως μονάδα μέτρησης του ήχου χρησιμοποιείται το decibel (dB).

Ο λογάριθμος χρησιμοποιείται διότι το όργανο της ακοής λειτουργεί σε λογαριθμική κλίμακα. Δηλαδή ίσες μεταβολές στην αντίληψη μιας φυσικής ακουστικής παραμέτρου αντιστοιχούν σε ίσες μεταβολές του λόγου και όχι της διαφοράς των αντίστοιχων φυσικών μεγεθών. Για συνεχείς ήχους, η ελάχιστη μεταβολή στη στάθμη του ήχου που μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή είναι τα 3.0dB.



Σχήμα Α-2: Αντιστοιχία στάθμης ήχου και πίεσης ήχου για συνήθεις θορύβους [3].

ΠΡΟΣΘΕΣΗ DECIBEL

Για να προσθέσουμε στάθμες του ήχου σε dB, πρέπει πρώτα να προσθέσουμε τα αντίστοιχα τετράγωνα των πιέσεων και μετά να λογαριθμήσουμε το άθροισμα για να πάρουμε dB. Π.χ. ο ήχος της ομιλίας ενός ατόμου στο 1.0 m είναι 65 dB. Αν δύο άτομα μιλούν ταυτοχρόνως η συνολική στάθμη δεν θα είναι 130 dB, αλλά μόλις 68 dB.

Αριθμητική διαφορά σταθμών dB	Πρόσθεσε στην υψηλότερη στάθμη*, dB
0 ή 1	3
2 ή 3	2
4 έως 9	1
10 ή περισσότερο	0

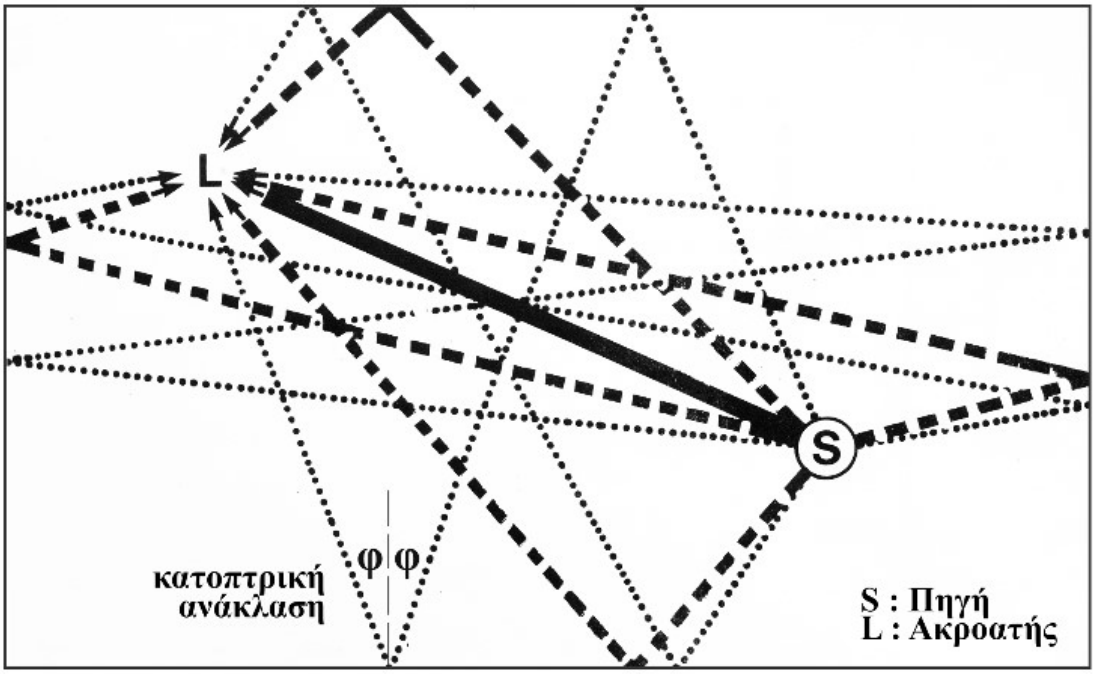
*ακρίβεια αποτελέσματος ικανοποιητική (± 1 dB)

Πίνακας Α-1: Πίνακας πρόσθεσης decibel [3].

Α.2 ΑΚΟΥΣΤΙΚΗ ΣΕ ΚΛΕΙΣΤΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ

➢ ΑΝΑΚΛΑΣΗ

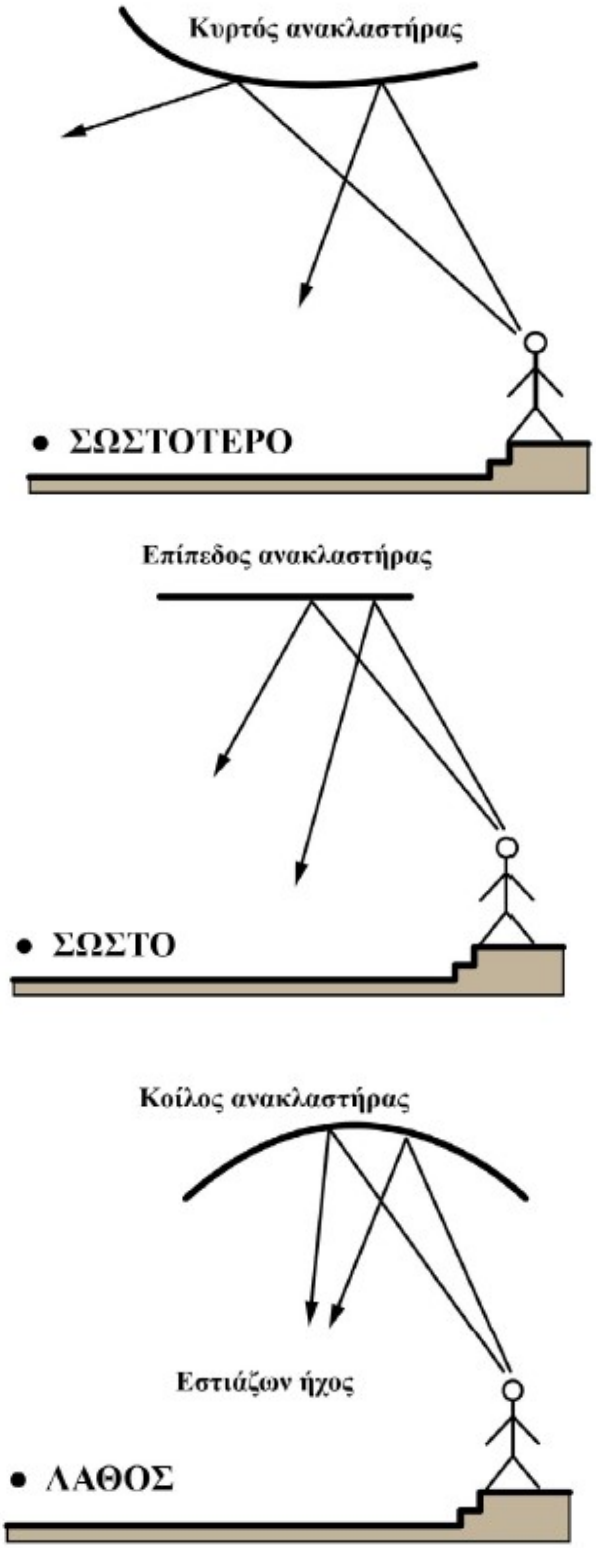
Η αλλαγή στην πορεία του ήχου λόγω πρόσπτωσης σε μια επιφάνεια καλείται ανάκλαση. [3]



Σχήμα Α-3: Απεικόνιση των ανακλάσεων του ήχου στο εσωτερικό κέλυφος κλειστού χώρου [3].

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται με συνεχόμενη γραμμή ο απευθείας ήχος της πηγής και με διακεκομμένη γραμμή οι ανακλάσεις. Ανάλογα με την μορφή του ανακλαστήρα στον οποίο προσπίπτει το ηχητικό κύμα, δημιουργούνται οι αντίστοιχες ανακλάσεις.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανακλαστήρων (επίπεδος- κυρτός- κοίλος), κάποιοι από τους οποίους, ανάλογα με το σχήμα τους, έχουν θετική δράση. Παρουσιάζονται στο Σχήμα Α-4.

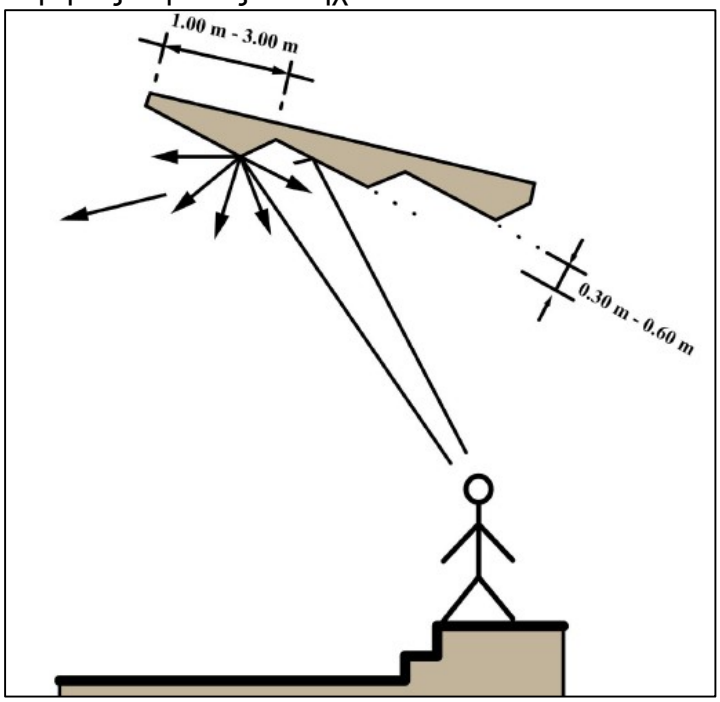


Σχήμα Α-4: Ηχητική ανάκλαση σε επιφάνειες διαφορετικής μορφής [3].

Έτσι λοιπόν ο ακροατής L λαμβάνει τον απευθείας ήχο από την πηγή S, αλλά και τον ήχο που προέρχεται από τις πρώτες, δεύτερες, τρίτες ανακλάσεις.

➢ ΔΙΑΧΥΣΗ

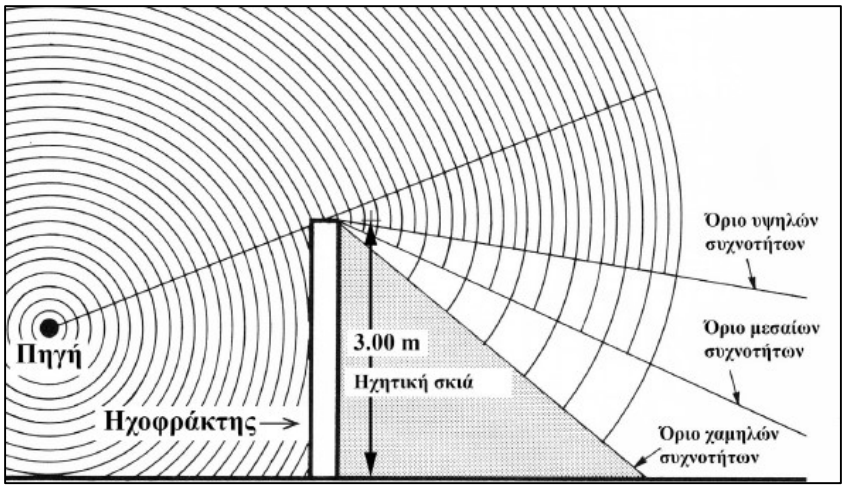
Ως διάχυση ορίζεται ο σκεδασμός μιας ανακλώμενης ηχητικής ακτίνας σε ασθενέστερες ακτίνες τυχαίας κατανομής. Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει όταν οι διαστάσεις της ανακλαστικής επιφάνειας είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το μήκος κύματος του ήχου.



Σχήμα Α-5: Σχηματική απεικόνιση ανακλαστήρα με τις ενδεικτικές διαστάσεις όπου παρουσιάζεται το φαινόμενο της διάχυσης [3].

➢ ΠΕΡΙΘΛΑΣΗ

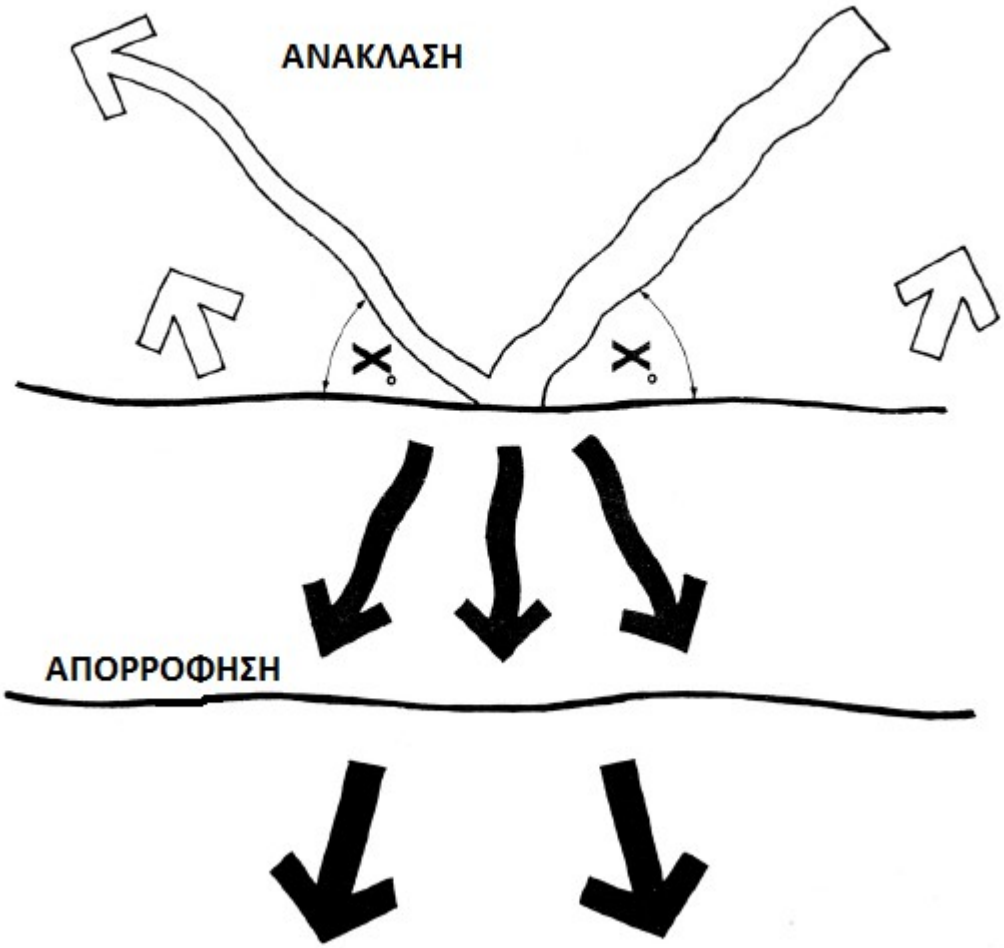
Η περίθλαση είναι το φαινόμενο της διάχυσης των κυμάτων προς όλες τις κατευθύνσεις όταν αυτά συναντάνε ένα εμπόδιο ή μία οπή με διαστάσεις παραπλήσιες του μήκους κύματος. Η περίθλαση είναι αποτέλεσμα δύο κυματικών φαινομένων, της αρχής του Χόιχενς και της συμβολής. Ως ηχητική περίθλαση περιγράφουμε το φαινόμενο διακοπής της μετάδοσης του ηχητικού κύματος στο χώρο λόγω ενός εμποδίου, με αποτέλεσμα τη μείωση της στάθμης του ήχου (ηχητική σκιά).



Σχήμα Α-6 : Σχηματική απεικόνιση ηχητικής σκιάς [3].

➢ ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Ως ηχοαπορρόφηση ορίζουμε το ποσό του προσπίπτοντος σε μια επιφάνεια ηχητικού κύματος που δεν ανακλάται. Το ποσό αυτό του ήχου εξ ορισμού απορροφάται.

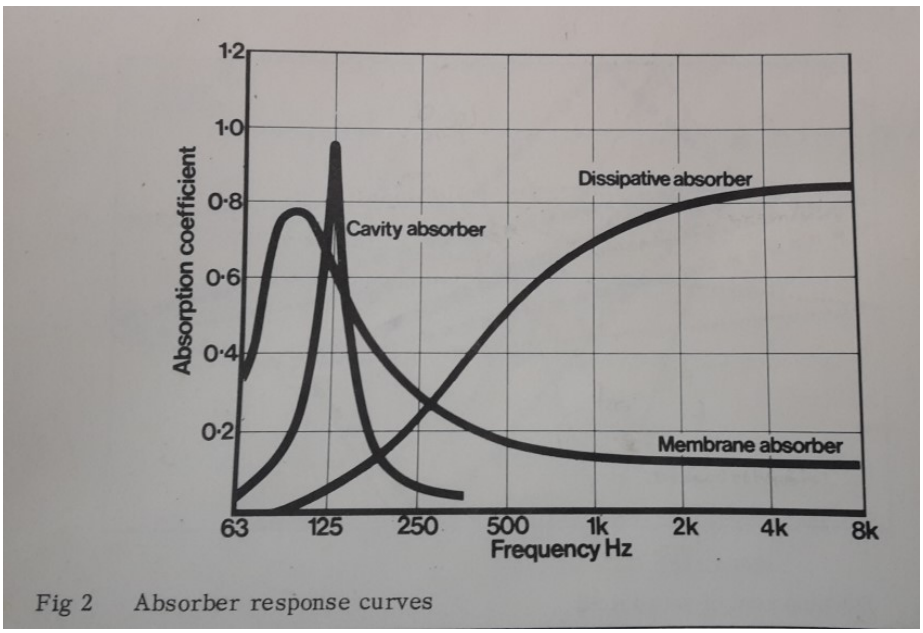


Σχήμα Α-7: Ανάκλαση και απορρόφηση του ηχητικού κύματος [3].

Ορίζεται ως συντελεστής ηχοαπορρόφησης ενός υλικού το ποσοστό του προσπίπτοντος κύματος που δεν ανακλάται.

Η ηχοαπορρόφηση υπολογίζεται από το γινόμενο του συντελεστή απορρόφησης του υλικού επί το εμβαδόν της επιφάνειας

➢ Καμπύλες ηχοαπορροφητικών υλικών



Σχήμα Α-8: Καμπύλες ηχοαπορροφητικών υλικών

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζονται οι καμπύλες απόκρισης των ηχοαπορροφητικών υλικών, σε σχέση με τις συχνότητες.

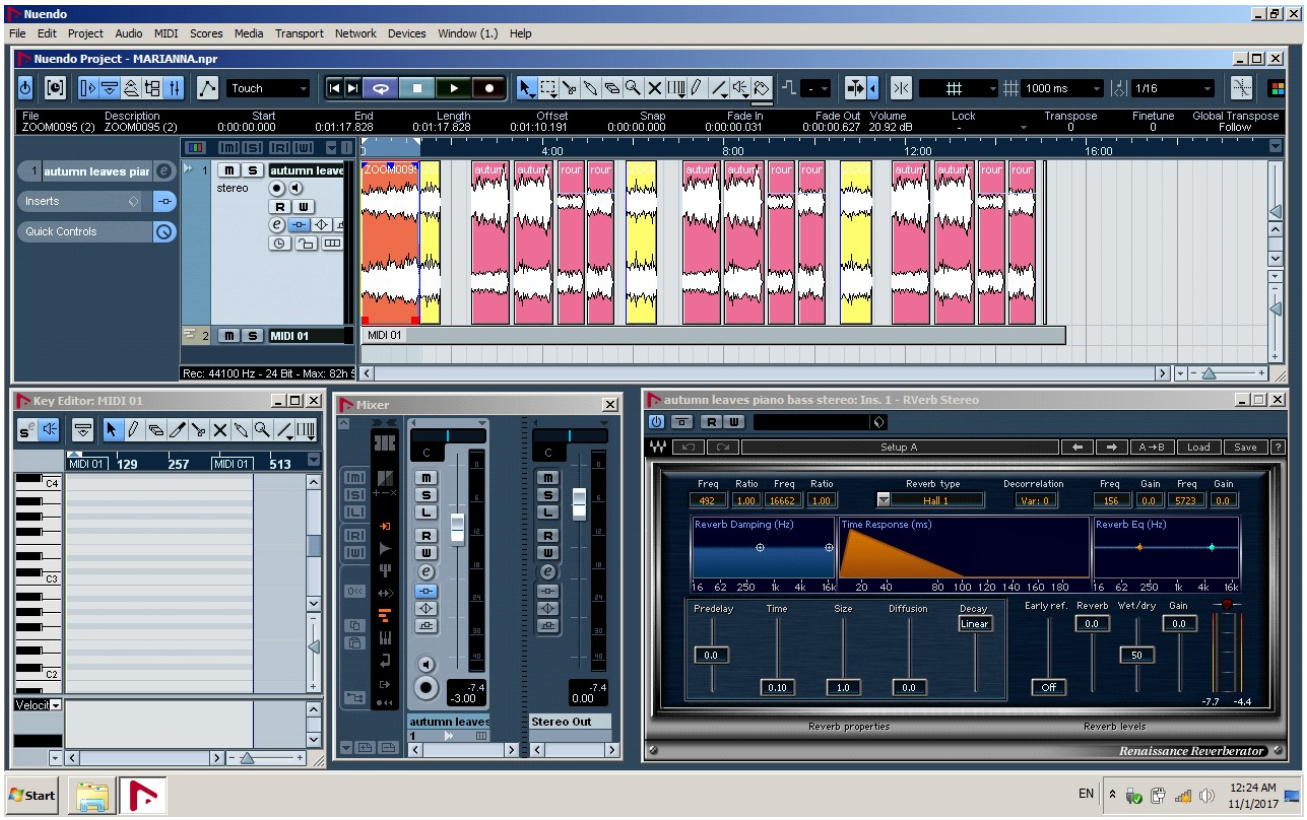
- Dissipative absorber: χρησιμοποιούνται για την απορρόφηση μεσαίων και υψηλών συχνοτήτων
- Membrane absorber: μεμβράνες για την απορρόφηση χαμηλών συχνοτήτων
- Cavity absorber: καλύπτουν ικανοποιητικά μία μικρή περιοχή των συχνοτήτων και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλο το φάσμα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ NUENDO

Επιμέλεια: Ιωάννης Καραγιάννης

Το Nuendo είναι ένα λογισμικό που επιτρέπει την αναπαραγωγή και επεξεργασία του ήχου.



- Nuendo Project

Στο παράθυρο αυτό έχουν εισαχθεί τα μουσικά αποσπάσματα (με ροζ χρώμα) και οι ηχογραφημένες οδηγίες (με κίτρινο και πορτοκαλί χρώμα). Φαίνονται επίσης και οι χρονικές λεπτομέρειες, διαφορετικές για κάθε δείγμα, όπως Start, End, Length.

➢ Rverb Stereo (ρύθμιση παραμέτρων αντήχησης)

- Reverb type: Hall 1

Ο χώρος μέσα στον οποίο θα «τοποθετηθούν» τα μουσικά δείγματα. Φυσικά δεν πρόκειται για κάποιον υπαρκτό χώρο συγκεκριμένου όγκου, αλλά για τον τύπο της αίθουσας στην οποία αργότερα θα εφαρμοσθούν τα αποτελέσματα. Προσφέρεται μια ποικιλία επιλογών χώρων, όπως halls, chambers, studios. Η επιλογή Hall 1 αντιστοιχεί σε μια τυπική συναυλιακή αίθουσα.

- Pre-delay: 0.0
- Time

Ο χρόνος αντήχησης (RT), που είναι και το ζητούμενο της εργασίας, λαμβάνει ως ελάχιστη τιμή *Time=0.1 s* και ως μέγιστη τιμή το *20.0 s* παρόλο που αυτές οι ακραίες τιμές δεν είναι εφαρμόσιμες στην πραγματικότητα. Αυξάνοντας την τιμή του time, αλλάζει και η κλίση του διαγράμματος Time Response.

- Size: 1.0

Είναι η παράμετρος που καθορίζει τις διαστάσεις του εικονικού χώρου και συνδέεται άμεσα με το decay time. Μεταβάλλοντας το Size αλλάζουν οι πρώτες ανακλάσεις, οι οποίες εδώ είναι μηδενικές.

- Diffusion: 0.0

Είναι η διάχυση μέσα στο χώρο. Η τιμή 0.0 ορίζει στο συγκεκριμένο λογισμικό διάχυτο πεδίο (αντιστοιχεί σε ∞) .

- Decay: Linear

Αναφερόμαστε σε γραμμικό διάγραμμα απόσβεσης.

- Early Reflections (ER): Off

Εδώ οι πρώιμες ανακλάσεις για λόγους ευκολίας του πειράματος δεν λαμβάνονται υπόψη.

- Wet/Dry: 50

Ορίζει τη θέση του ακροατή μέσα στο χώρο. Ως απόσταση χρησιμοποιήθηκε η κρίσιμη απόσταση(critical distance) θεωρώντας ότι στα jazz clubs τα ηχεία είναι τοποθετημένα περιμετρικά της αίθουσας σε απόσταση ίση με την κρίσιμη.

- Gain: 0.0 (δεν χρησιμοποιήθηκε)
- Reverb Eq (δεν χρησιμοποιήθηκε)
- Reverb Damping

Διατηρείται ευθεία γραμμή, καθώς επιλέχθηκε ολόκληρο το φάσμα συχνοτήτων να συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο στην αλλαγή του χρόνου αντήχησης.

➢ Mixer

Η στάθμη έντασης του ήχου παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια εκτέλεσης του πειράματος και για όλα τα άτομα που συμμετέχουν. Αυτή η επιλογή αποσκοπεί στην κρίση των δειγμάτων υπό τις ίδιες συνθήκες για όλους. (επιλογή -3 στο mixer)

➢ Key editor: MIDI 01

Απεικονίζει τα πλήκτρα του midi player

Για τους ορισμούς των παραπάνω όρων (χρόνος αντήχησης, διάχυση, πρώιμες ανακλάσεις, κρίσιμη απόσταση) βλέπε Κεφάλαιο 3 και Παράρτημα Α.

Μηδενίζοντας όλες αυτές τις παραμέτρους και αφήνοντας υπό εξέταση μόνο το χρόνο αντήχησης, η διαδικασία του πειράματος γίνεται πιο προσιτή στον ενδιαφερόμενο και πιο κατανοητή. Στην περίπτωση που στα ζητούμενα του πειράματος εμπλέκονταν περισσότερες παράμετροι θα ελλόχευε ο κίνδυνος σύγχυσης του μουσικού και τα αποτελέσματα που θα λαμβάναμε πιθανόν να μην ήταν σωστά εκτιμημένα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ C

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

C.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ

Η μέθοδος Ανάλυσης της Διακύμανσης (Analysis of Variance-ANOVA,Cooper 1969) ή αλλιώς Ανάλυση Διασποράς, είναι μια στατιστική μέθοδος η οποία αποσκοπεί στην ανίχνευση διαφορών των μέσων τιμών μιας ποσοτικής μεταβλητής ως προς τις κατηγορίες μιας ποιοτικής μεταβλητής.

Οι προϋποθέσεις για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής είναι:

- η κατανομή των τιμών να είναι κανονική
- τα δείγματα να είναι αντιπροσωπευτικά και οι παρατηρήσεις ανεξάρτητες μεταξύ τους
- οι διασπορές της ποσοτικής μεταβλητής να μην διαφέρουν σημαντικά για κάθε κατηγορία ποιοτικής μεταβλητής

Ελέγχουμε τη μηδενική υπόθεση H_o: $\mu_1=\mu_2=\ldots=\mu_K$ ως προς την εναλλακτική υπόθεση H_1: $\mu_i \neq \mu_j$ για ένα τουλάχιστον ζεύγος i,j.

Προκύπτουν από τον παρακάτω πίνακα:

Πηγή Μεταβλητότητας	Βαθμοί ελευθερίας	Άθροισμα των τετραγώνων των μέσων "SS"	Τετράγωνα των μέσων τιμών "MS"	F-στατιστικό
Μεταξύ ομάδων	n-1	$\sum_{j=1}^{n} k_j \left(\bar{\bar{x}} - \bar{x}_j\right)^2$	$\frac{SS_B}{n-1}$	$\frac{MS_B}{MS_W}$
Εντός ομάδων	$\sum_{j=1}^{n}\left(k_j - 1\right)$	$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{k}\left(\bar{x}_j - x_{ji}\right)^2$	$\frac{SS_W}{\sum_{j=1}^{n}\left(k_j - 1\right)}$	

Όπου:

x_{ji}: i-th τιμή της j-th ομάδας δεδομένων

$\bar{x}_j$: μέση τιμή της j-th ομάδας δεδομένων

$\bar{\bar{x}}$: μέση τιμή των x_{ij}'s

k: πλήθος δεδομένων μέσα σε μία ομάδα

n: πλήθος ομάδων

SS_B: άθροισμα των τετραγώνων μεταξύ ομάδων

SS_W: άθροισμα των τετραγώνων εντός ομάδων

MS_B: τετράγωνα των μέσων τιμών μεταξύ ομάδων

MS_W: τετράγωνα των μέσων τιμών εντός ομάδων

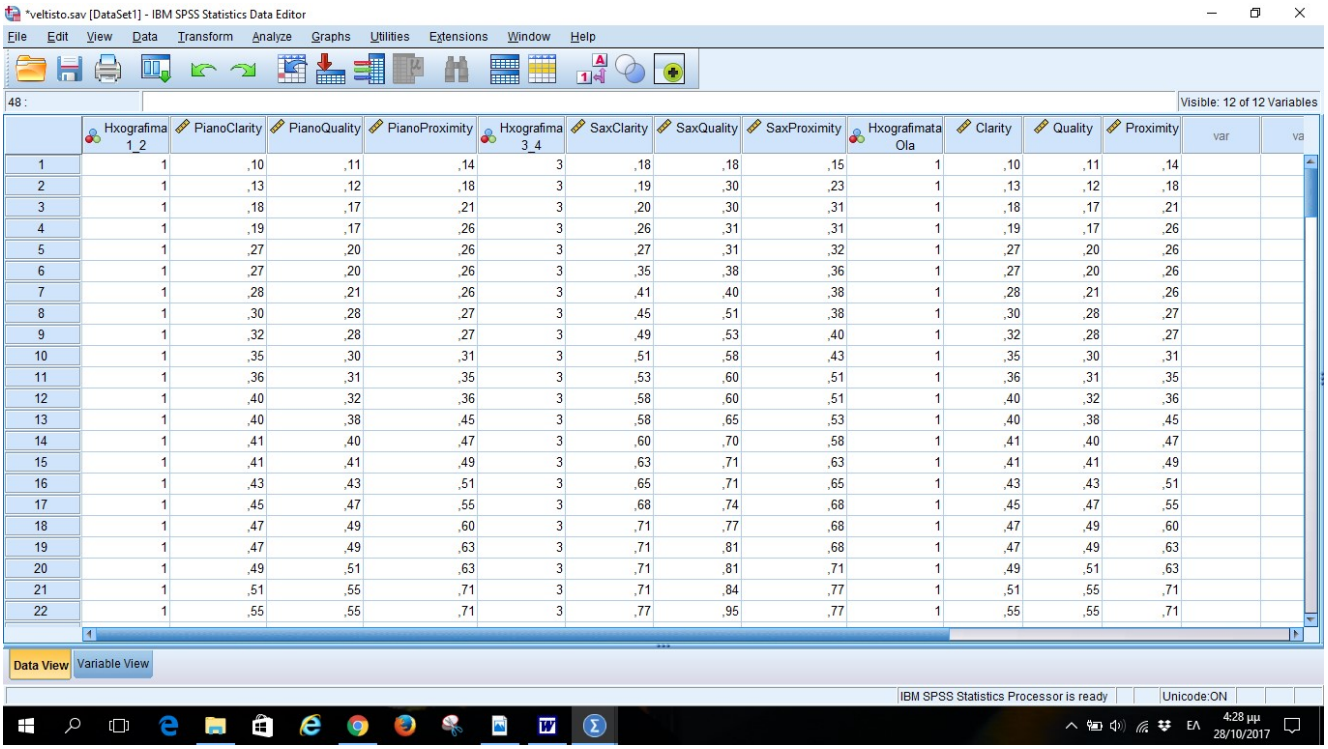
Η σημαντικότητα (Significance) για την οποία απορρίπτεται η μηδενική υπόθεση βρίσκεται συγκρίνοντας το υπολογισμένο F-στατιστικό με τα F-στατιστικά για βαθμό ελευθερίας {n-1,n(k-1)}.

C.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗΣ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ SPSS (ANOVA)

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε η έκδοση 24.0 του προγράμματος στατιστικής SPSS (Statistical Package for Social Sciences). Παρακάτω περιγράφονται τα βήματα λειτουργίας του προγράμματος, ενδεικτικά για τα δεδομένα του βέλτιστου χρόνου αντήχησης. Η ίδια μεθοδολογία ακολουθήθηκε όσες φορές χρειάστηκε να γίνει ανάλυση διακύμανσης στην εργασία.

- Βήμα 1

Εισάγουμε τα δεδομένα στο παράθυρο Data Editor, όπως φαίνεται παρακάτω. Στην πρώτη στήλη βάζουμε τον κωδικό 1 και 2 για τα ηχογραφήματα A και B αντίστοιχα στα οποία κύριο μουσικό όργανο είναι το πιάνο. Στις επόμενες στήλες εισάγουμε τα πειραματικά δεδομένα που έχουν προκύψει για τα δύο αυτά δείγματα ανάλογα με τους ανεξάρτητους παράγοντες Clarity, Tonal Quality, Proximity. Με τον ίδιο τρόπο εισάγουμε στις επόμενες στήλες τους κωδικούς για τα ηχογραφήματα C και D στα οποία κύριο όργανο είναι το σαξόφωνο, καθώς και τα δεδομένα που αντιστοιχούν στους τρεις παράγοντες. Τέλος στη στήλη 9 συγχωνεύουμε τα αποτελέσματα των μουσικών αποσπασμάτων A+B και C+D και συμβολίζουμε με κωδικό 1 το πρώτο γκρουπ και με κωδικό 2 το δεύτερο. Στις τελευταίες τρεις στήλες βρίσκονται τα συνολικά πειραματικά δεδομένα χωρισμένα στα δύο γκρουπ.

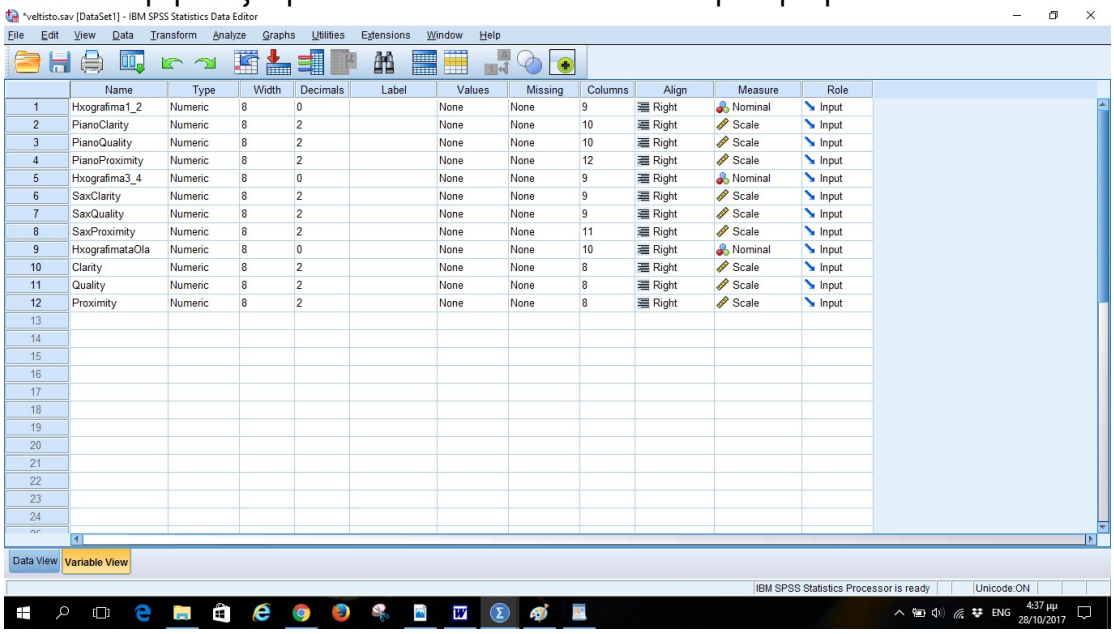


	Hxografima 1_2	PianoClarity	PianoQuality	PianoProximity	Hxografima 3_4	SaxClarity	SaxQuality	SaxProximity	Hxografimata Ola	Clarity	Quality	Proximity	var	va
1	1	,10	,11	,14	3	,18	,18	,15	1	,10	,11	,14		
2	1	,13	,12	,18	3	,19	,30	,23	1	,13	,12	,18		
3	1	,18	,17	,21	3	,20	,30	,31	1	,18	,17	,21		
4	1	,19	,17	,26	3	,26	,31	,31	1	,19	,17	,26		
5	1	,27	,20	,26	3	,27	,31	,32	1	,27	,20	,26		
6	1	,27	,20	,26	3	,35	,38	,36	1	,27	,20	,26		
7	1	,28	,21	,26	3	,41	,40	,38	1	,28	,21	,26		
8	1	,30	,28	,27	3	,45	,51	,38	1	,30	,28	,27		
9	1	,32	,28	,27	3	,49	,53	,40	1	,32	,28	,27		
10	1	,35	,30	,31	3	,51	,58	,43	1	,35	,30	,31		
11	1	,36	,31	,35	3	,53	,60	,51	1	,36	,31	,35		
12	1	,40	,32	,36	3	,58	,60	,51	1	,40	,32	,36		
13	1	,40	,38	,45	3	,58	,65	,53	1	,40	,38	,45		
14	1	,41	,40	,47	3	,60	,70	,58	1	,41	,40	,47		
15	1	,41	,41	,49	3	,63	,71	,63	1	,41	,41	,49		
16	1	,43	,43	,51	3	,65	,71	,65	1	,43	,43	,51		
17	1	,45	,47	,55	3	,68	,74	,68	1	,45	,47	,55		
18	1	,47	,49	,60	3	,71	,77	,68	1	,47	,49	,60		
19	1	,47	,49	,63	3	,71	,81	,68	1	,47	,49	,63		
20	1	,49	,51	,63	3	,71	,81	,71	1	,49	,51	,63		
21	1	,51	,55	,71	3	,71	,84	,77	1	,51	,55	,71		
22	1	,55	,55	,71	3	,77	,95	,77	1	,55	,55	,71		

Εικόνα C-1 : Data view

➢ Βήμα 2:

Στο παράθυρο Variable view ορίζουμε τους κωδικούς των ηχογραφημάτων ως ποιοτικές μεταβλητές (Measure: Nominal) και τα δεδομένα ως ποσοτικές μεταβλητές (Measure: Scale). Επίσης στη στήλη Decimals μηδενίζουμε τα δεκαδικά των ποιοτικών μεταβλητών.

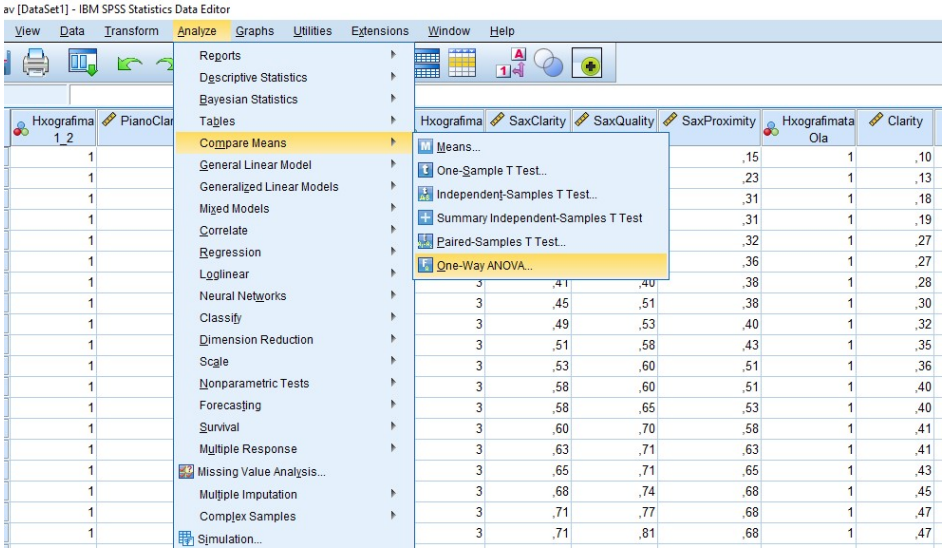


	Name	Type	Width	Decimals	Label	Values	Missing	Columns	Align	Measure	Role
1	Hxografima1_2	Numeric	8	0		None	None	9	Right	Nominal	Input
2	PianoClarity	Numeric	8	2		None	None	10	Right	Scale	Input
3	PianoQuality	Numeric	8	2		None	None	10	Right	Scale	Input
4	PianoProximity	Numeric	8	2		None	None	12	Right	Scale	Input
5	Hxografima3_4	Numeric	8	0		None	None	9	Right	Nominal	Input
6	SaxClarity	Numeric	8	2		None	None	9	Right	Scale	Input
7	SaxQuality	Numeric	8	2		None	None	9	Right	Scale	Input
8	SaxProximity	Numeric	8	2		None	None	11	Right	Scale	Input
9	HxografimataOla	Numeric	8	0		None	None	10	Right	Nominal	Input
10	Clarity	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale	Input
11	Quality	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale	Input
12	Proximity	Numeric	8	2		None	None	8	Right	Scale	Input

Εικόνα C-2 : Variable View

➢ Βήμα 3:

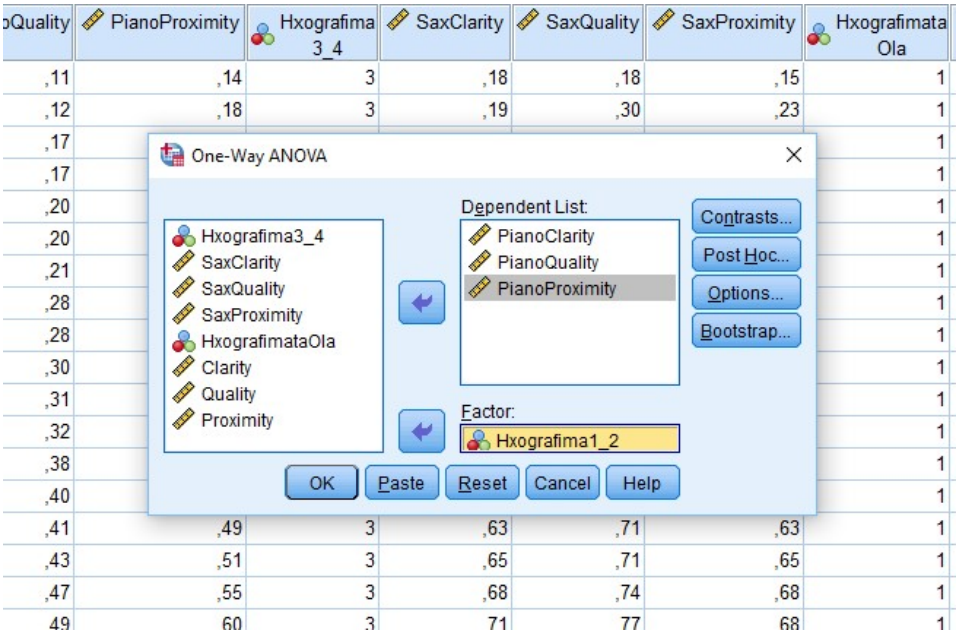
Για να γίνει ο υπολογισμός ANOVA επιλέγουμε: Analyze → Compare Means→ One-Way ANOVA



Εικόνα C-3 : One-Way ANOVA

➢ Βήμα 4:

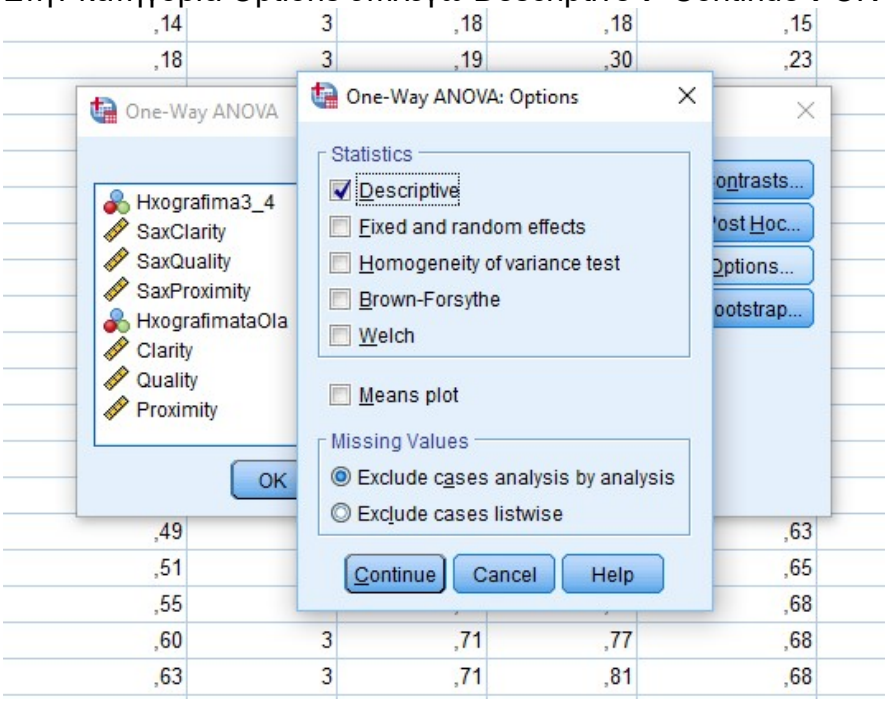
Στο πλαίσιο διαλόγου που ανοίγει τοποθετώ στη στήλη Dependent list τα δεδομένα των δύο πρώτων ηχογραφημάτων για κάθε παράγοντα (“PianoClarity”, “PianoQuality”, “PianoProximity”) και στη δεύτερη στήλη Factor τους κωδικούς της πρώτης στήλης (“Hxografima1_2”).



Εικόνα C-4 : Dependent List and Factors

➢ Βήμα 5:

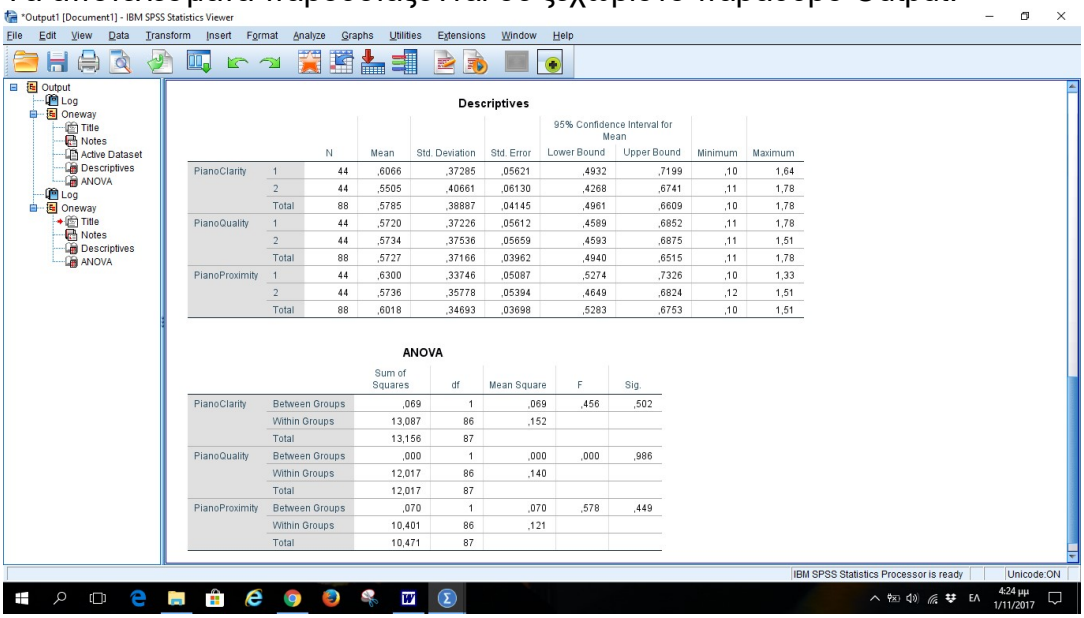
Στην κατηγορία Options επιλέγω Descriptive→ Continue→OK



Εικόνα C-5 : Options

➢ Βήμα 6:

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε ξεχωριστό παράθυρο Output.



Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
PianoClarity	1	44	,6066	,37285	,05621	,4932	,7199	,10	1,64
	2	44	,5505	,40661	,06130	,4268	,6741	,11	1,78
	Total	88	,5785	,38887	,04145	,4961	,6609	,10	1,78
PianoQuality	1	44	,5720	,37226	,05612	,4589	,6852	,11	1,78
	2	44	,5734	,37536	,05659	,4593	,6875	,11	1,51
	Total	88	,5727	,37166	,03962	,4940	,6515	,11	1,78
PianoProximity	1	44	,6300	,33746	,05087	,5274	,7326	,10	1,33
	2	44	,5736	,35778	,05394	,4649	,6824	,12	1,51
	Total	88	,6018	,34693	,03698	,5283	,6753	,10	1,51

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
PianoClarity	Between Groups	,069	1	,069	,456	,502
	Within Groups	13,087	86	,152		
	Total	13,156	87			
PianoQuality	Between Groups	,000	1	,000	,000	,986
	Within Groups	12,017	86	,140		
	Total	12,017	87			
PianoProximity	Between Groups	,070	1	,070	,578	,449
	Within Groups	10,401	86	,121		
	Total	10,471	87			

Εικόνα C-6 : Output

Στον πρώτο πίνακα *Descriptives* παρουσιάζονται με τη σειρά για κάθε κωδικό:

- N: το πλήθος των τιμών
- Mean: αριθμητικός μέσος
- Std. Deviation: τυπική απόκλιση
- Std. Error: τυπικό σφάλμα
- Lower Bound: το κατώτερο όριο του 95% του διαστήματος εμπιστοσύνης του μέσου όρου
- Upper Bound: το ανώτερο όριο του 95% του διαστήματος εμπιστοσύνης του μέσου όρου
- Minimum: το ελάχιστο δείγμα
- Maximum: το μέγιστο δείγμα

Στον επόμενο πίνακα *ANOVA* παρουσιάζονται με τη σειρά και για τα δύο γκρουπ (Between Groups) αλλά και για κάθε ένα μόνο του (Within Groups) ανάλογα με τον παράγοντα:

- Sum of squares: σύνολο των τετραγώνων των δεδομένων
- dF: βαθμός ελευθερίας
- Mean Square: τετράγωνο της μέσης τιμής
- F: F-ratio
- Significance: σημαντικότητα

Αυτό το τελευταίο αποτέλεσμα, η σημαντικότητα, είναι που φανερώνει εάν τα δεδομένα έχον σημαντική διαφορά μεταξύ τους ή όχι. Στη συγκεκριμένη ανάλυση που γίνεται για τους μέσους όρους μεταξύ των μουσικών αποσπασμάτων A και B παρατηρείται Significance μεγαλύτερη από 1%. Επομένως, και για τους τρεις ανεξάρτητους παράγοντες δεν υπάρχει στατιστικώς σημαντική διαφορά και άρα μπορούν να θεωρηθούν ως μια ενιαία ομάδα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ D

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΕΛΑΧΙΣΤΟΥ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

	ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 1			ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 2		
	Παράγοντες αντίληψης			Παράγοντες αντίληψης		
Άτομα α/α	clarity	tonal quality	proximity	clarity	tonal quality	proximity
1	0,49	0,35	0,1	0,11	0,1	0,11
2	0,43	0,28	0,23	0,26	0,19	0,35
3	0,11	0,16	0,13	0,13	0,28	0,2
4	0,16	0,16	0,2	0,19	0,1	0,13
5	0,19	0,34	0,1	0,1	0,45	0,1
6	0,19	0,16	0,16	0,19	0,16	0,15
7	0,18	0,19	0,1	0,1	0,11	0,1
8	0,51	0,58	0,28	0,45	0,16	0,47
9	0,14	0,1	0,1	0,1	0,11	0,1
10	0,49	0,49	0,18	0,74	0,65	0,58
11	0,51	0,58	0,65	0,22	0,25	0,24
12	0,49	0,1	0,11	0,23	0,1	0,11
13	0,15	0,16	0,1	0,19	0,1	0,15
14	0,49	0,49	0,47	0,2	0,63	0,19
15	0,4	0,35	0,2	0,31	0,35	0,25
16	0,2	0,13	0,1	0,14	0,1	0,13
17	0,32	0,1	0,1	0,16	0,11	0,1
18	0,13	0,1	0,1	0,12	0,1	0,1
19	0,25	0,1	0,22	0,13	0,18	0,1
20	0,45	0,51	0,2	0,22	0,36	0,21
21	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
22	0,22	0,18	0,11	0,11	0,23	0,15
23	0,25	0,28	0,26	0,27	0,31	0,27
24	0,34	0,1	0,19	0,1	0,1	0,1
25	0,26	0,1	0,28	0,15	0,11	0,16
26	0,13	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
27	0,32	0,32	0,28	0,21	0,38	0,23
28	0,12	0,11	0,1	0,15	0,11	0,1
29	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
30	0,1	0,16	0,24	0,1	0,15	0,16
31	0,1	0,1	0,1	0,11	0,1	0,1
32	1,12	0,41	0,3	0,45	0,16	0,26
33	0,1	0,17	0,1	0,1	0,16	0,1
34	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
35	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
36	0,1	0,49	0,12	0,1	0,51	0,28
37	0,13	0,1	0,11	0,1	0,1	0,1
38	0,35	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
39	0,1	0,15	0,1	0,1	0,12	0,11
40	0,25	0,23	0,34	0,26	0,15	0,38
41	0,1	0,12	0,12	0,11	0,1	0,12
42	0,53	0,22	0,2	0,17	0,25	0,25
43	0,22	0,32	0,22	0,23	0,26	0,14
44	0,26	0,1	0,3	0,21	0,14	0,16

	ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 3			ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 4		
	Παράγοντες αντίληψης			Παράγοντες αντίληψης		
Άτομα α/α	clarity	tonal quality	proximity	clarity	tonal quality	proximity
1	0,41	0,13	0,11	0,34	0,34	0,12
2	0,23	0,23	0,43	0,4	0,24	0,65
3	0,4	0,49	0,3	0,18	0,38	0,2
4	0,12	0,16	0,13	0,11	0,13	0,12
5	0,1	0,16	0,1	0,22	0,18	0,1
6	0,18	0,21	0,12	0,19	0,17	0,13
7	0,3	0,41	0,11	0,43	0,22	0,1
8	0,58	0,6	0,53	0,11	0,1	0,1
9	0,11	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
10	0,99	0,88	0,95	0,77	0,68	0,74
11	0,88	0,71	1,08	0,13	0,21	0,32
12	0,49	0,18	0,16	0,1	0,1	0,1
13	0,88	0,91	0,53	0,32	0,77	0,41
14	0,84	0,77	0,81	0,77	0,71	0,51
15	0,25	0,32	0,26	0,31	0,32	0,3
16	0,25	0,31	0,35	0,19	0,25	0,28
17	0,36	0,27	0,21	0,17	0,2	0,12
18	0,1	0,11	0,11	0,1	0,1	0,1
19	0,1	0,13	0,13	0,15	0,1	0,1
20	0,32	0,47	0,35	0,41	0,35	0,1
21	0,15	0,1	0,1	0,19	0,1	0,1
22	0,16	0,16	0,1	0,25	0,1	0,1
23	0,3	0,31	0,3	0,34	0,34	0,31
24	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
25	0,27	0,19	0,19	0,1	0,1	0,3
26	0,11	0,12	0,11	0,1	0,2	0,1
27	0,53	0,26	0,22	0,27	0,38	0,26
28	0,13	0,12	0,1	0,11	0,12	0,1
29	0,1	0,13	0,1	0,1	0,1	0,1
30	0,35	0,16	0,18	0,24	0,17	0,22
31	0,38	0,22	0,19	0,1	0,13	0,1
32	1,71	0,41	0,71	0,95	0,88	0,49
33	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
34	0,19	0,45	0,25	0,13	0,11	0,1
35	0,3	0,1	0,31	0,47	0,1	0,1
36	0,38	0,36	0,2	0,1	0,71	0,6
37	0,65	0,18	0,47	0,21	0,19	0,23
38	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
39	0,15	0,13	0,12	0,1	0,1	0,12
40	0,35	0,6	0,19	0,18	0,35	0,11
41	0,1	0,1	0,1	0,36	0,13	0,1
42	0,55	0,31	0,35	0,26	0,23	0,19
43	0,49	0,51	0,43	0,22	0,11	0,16
44	0,41	0,28	0,21	0,31	0,18	0,22

ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

	ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 1			ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 2		
	Παράγοντες αντίληψης			Παράγοντες αντίληψης		
Άτομα α/α	clarity	tonal quality	proximity	clarity	tonal quality	proximity
1	0,68	0,71	0,18	0,74	0,26	0,22
2	0,81	0,12	1,22	0,53	0,53	1,51
3	0,27	0,49	0,26	0,34	0,35	0,26
4	0,35	0,58	0,77	0,27	0,71	0,65
5	1,64	0,77	0,99	1,38	0,58	0,6
6	0,3	0,31	0,31	0,3	0,32	0,34
7	0,13	0,32	0,36	0,11	0,6	0,12
8	0,77	1,12	0,71	0,99	1,12	0,84
9	0,41	0,49	0,74	0,45	0,95	0,26
10	1,12	0,88	1,08	1,57	1,08	1,38
11	0,95	0,99	1,33	0,58	0,58	0,91
12	0,43	0,11	0,14	0,26	0,12	0,17
13	0,18	0,21	0,35	0,17	0,18	0,68
14	0,88	0,3	0,63	0,38	0,99	0,63
15	1,59	1,64	0,77	1,27	1,38	0,95
16	0,51	0,4	0,63	0,32	0,38	0,77
17	0,63	0,28	0,26	0,35	0,45	0,21
18	0,32	0,2	0,21	0,19	0,12	0,16
19	0,71	0,51	0,51	0,36	0,51	0,38
20	0,81	1,08	1,03	0,88	0,74	0,77
21	0,55	0,28	0,47	0,41	0,24	0,13
22	0,28	0,41	0,26	0,26	0,6	0,26
23	0,49	0,43	0,45	0,51	0,4	0,47
24	0,84	0,17	0,84	0,35	0,35	0,51
25	0,47	0,55	0,74	0,58	0,65	0,49
26	0,19	0,2	0,26	0,15	0,11	0,23
27	0,4	0,63	0,55	0,77	0,99	0,74
28	0,25	0,16	0,1	0,19	0,18	0,15
29	1,33	0,81	0,95	1,78	0,99	0,47
30	0,27	0,47	0,6	0,3	0,34	0,49
31	0,36	0,71	1,12	0,49	0,47	0,91
32	1,27	0,99	1,27	1,08	1,51	1,22
33	0,45	0,71	0,71	0,65	0,99	0,91
34	0,6	0,58	0,71	0,36	0,35	0,49
35	0,6	0,38	0,27	0,84	0,16	0,3
36	0,1	0,84	0,91	0,11	0,91	0,71
37	0,55	0,55	0,95	0,34	0,15	0,49
38	0,6	0,11	0,12	0,12	0,11	0,12
39	0,41	0,74	0,95	0,47	0,53	1,17
40	1,27	1,78	0,91	1,33	1,38	1,12
41	0,4	0,18	0,27	0,34	0,2	0,22
42	0,55	0,81	0,49	0,31	0,32	0,81
43	0,47	0,6	0,71	0,49	0,77	0,45
44	0,5	0,57	0,63	0,55	0,58	0,57

	ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 3			ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 4		
	Παράγοντες αντίληψης			Παράγοντες αντίληψης		
Άτομα α/α	clarity	tonal quality	proximity	clarity	tonal quality	proximity
1	0,45	0,51	0,31	0,38	0,49	0,31
2	0,68	0,84	1,51	1,51	1,85	1,85
3	0,58	0,6	0,58	0,32	0,74	0,3
4	0,81	0,99	1,08	0,49	0,95	1,17
5	0,53	0,81	0,91	0,71	0,45	0,45
6	0,35	0,3	0,31	0,32	0,32	0,38
7	0,51	0,74	0,38	0,68	0,58	0,32
8	1,33	1,51	1,57	1,22	0,95	0,68
9	0,19	1,17	0,23	0,47	0,88	1,33
10	2,59	2,19	2,7	2,48	1,85	2,38
11	1,57	1,22	1,44	1,03	0,58	1,33
12	0,95	1,03	0,99	0,24	0,24	0,22
13	1,38	1,08	0,99	0,91	1,51	1,12
14	1,17	1,03	1,08	0,91	1,22	0,12
15	0,81	1,17	0,51	0,99	1,08	0,84
16	0,71	0,71	0,63	0,65	0,65	0,99
17	0,91	0,77	0,68	0,74	0,63	0,63
18	0,49	0,31	0,38	0,49	0,28	0,12
19	0,2	0,38	0,51	0,4	0,43	0,31
20	1,03	0,95	1,03	0,99	1,27	0,99
21	0,71	0,3	0,43	1,17	0,63	0,35
22	0,41	0,58	0,4	0,47	0,36	0,31
23	0,81	0,53	0,65	0,63	0,55	0,58
24	0,26	0,4	0,68	0,43	0,49	0,81
25	0,71	0,65	0,71	0,28	0,68	0,63
26	0,27	0,31	0,32	0,22	0,47	0,34
27	1,71	1,08	0,53	0,88	1,22	0,99
28	0,19	0,2	0,13	0,2	0,24	0,12
29	1,17	1,12	0,68	0,99	1,28	1,22
30	0,58	0,6	0,36	0,45	0,34	0,45
31	0,77	1,22	1,22	0,71	1,57	1,17
32	1,85	1,38	1,64	1,93	1,85	1,27
33	0,6	1,03	0,84	0,55	0,95	0,88
34	1,51	0,99	1,08	0,63	0,65	0,95
35	1,08	1,17	0,88	1,44	1,12	0,95
36	0,65	1,27	0,77	0,15	0,91	1,22
37	1,33	1,03	0,91	1,03	0,95	0,84
38	0,18	0,13	0,11	0,12	0,15	0,11
39	0,63	0,7	1,12	1,33	1,8	1,22
40	1,44	1,22	1,17	0,71	1,64	1,57
41	0,18	0,18	0,15	0,18	0,23	0,16
42	1,38	0,71	0,99	1,08	0,58	0,81
43	0,71	0,81	0,77	0,55	0,19	0,49
44	0,84	0,73	0,78	0,68	0,58	0,84

ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΑΝΕΚΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

	ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 1			ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 2		
	Παράγοντες αντίληψης			Παράγοντες αντίληψης		
Άτομα α/α	clarity	tonal quality	proximity	clarity	tonal quality	proximity
1	2,1	1,57	2,28	2,81	0,55	0,77
2	2,81	1,22	2,81	3,77	1,85	4,27
3	0,55	1,78	0,74	0,55	1,27	0,71
4	1,22	1,51	3,19	0,65	2,48	2,02
5	4,27	2,1	4,27	2,19	1,33	3,06
6	0,55	0,53	0,77	0,55	0,77	0,81
7	0,19	0,81	0,74	0,58	1,33	0,41
8	1,44	1,71	1,57	1,38	1,78	1,71
9	2,59	3,42	2,02	1,57	3,62	3,06
10	2,81	2,02	5,96	3,33	2,02	2,93
11	1,57	2,81	2,19	1,78	1,57	1,93
12	0,51	0,16	0,77	0,65	0,27	0,6
13	0,36	0,63	1,22	0,45	0,74	0,84
14	2,02	0,74	10,3	0,81	1,08	1,08
15	3,62	4,54	1,57	3,33	4,64	1,71
16	1,22	0,77	1,44	1,27	0,74	1,38
17	1,12	0,6	0,71	0,99	0,88	0,77
18	0,68	0,49	0,35	0,58	0,41	0,41
19	1,12	0,68	0,71	0,65	0,91	0,77
20	1,93	1,57	1,93	1,93	1,44	1,64
21	1,27	0,74	1,22	1,78	0,81	1,44
22	0,58	0,84	0,47	0,47	0,81	0,58
23	0,77	0,63	0,65	0,65	0,68	0,6
24	1,38	1,12	1,85	0,99	0,99	1,57
25	0,84	1,12	1,03	0,88	0,91	0,84
26	0,34	0,63	0,38	0,35	0,32	0,41
27	1,78	2,93	1,51	2,02	2,81	1,64
28	0,6	0,19	0,12	0,2	0,19	0,2
29	2,19	1,78	1,51	4,27	2,81	1,22
30	0,88	2,1	1,71	0,77	1,08	1,38
31	2,19	1,85	1,78	1,33	1,44	2,93
32	1,71	1,57	1,78	2,02	2,19	2,19
33	1,57	1,22	1,85	1,64	2,13	2,81
34	1,03	1,57	2,48	1,17	1,51	1,93
35	1,27	1,22	2,14	1,51	1,33	1,78
36	0,15	1,22	1,57	0,24	1,57	1,17
37	2,38	2,38	3,06	1,17	1,38	2,48
38	0,95	0,22	0,45	0,15	0,15	0,32
39	1,93	2,81	4,05	2,02	3,47	4,33
40	2,02	3,06	2,19	2,81	2,7	2,19
41	0,81	0,77	0,95	0,53	0,28	0,51
42	0,74	1,85	1,64	0,84	0,95	1,08
43	1,22	1,17	1,38	0,88	0,99	0,91
44	1,57	1,22	2,19	1,33	1,47	1,67

	ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 3			ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 4		
	Παράγοντες αντίληψης			Παράγοντες αντίληψης		
Άτομα α/α	clarity	tonal quality	proximity	clarity	tonal quality	proximity
1	1,71	1,03	0,51	1,33	1,33	0,99
2	2,81	3,47	2,81	5,6	4,27	4,27
3	0,74	1,44	0,38	0,63	1,22	0,77
4	1,44	2,48	2,19	1,78	3,06	3,33
5	1,38	2,02	3,77	2,38	1,85	3,06
6	0,6	0,65	0,88	0,63	0,53	1,12
7	1,17	1,27	0,4	1,33	1,17	0,68
8	1,93	2,19	2,48	1,64	2,48	1,71
9	0,6	4,45	1,44	2,7	3,06	4,84
10	7,05	6,22	7,35	4,45	5,05	5,26
11	2,59	2,1	2,38	2,19	1,38	2,48
12	1,22	1,44	1,38	0,77	0,65	1,08
13	1,78	1,78	2,02	1,57	1,93	1,78
14	1,64	1,33	1,85	2,02	1,51	2,19
15	2,2	4,84	0,99	2,28	2,48	1,64
16	1,64	1,27	1,64	1,08	1,17	2,02
17	1,44	1,44	1,27	1,57	1,12	1,33
18	0,77	0,63	0,68	1,12	0,63	0,6
19	0,58	0,55	0,65	0,84	0,88	0,68
20	1,64	1,51	1,93	1,93	2,19	2,02
21	2,02	0,91	0,77	3,33	1,78	1,57
22	0,58	1,44	0,88	0,63	0,74	0,63
23	1,08	0,81	0,88	1,03	0,81	0,91
24	0,74	0,77	1,85	1,38	1,12	1,85
25	0,95	0,77	0,99	0,55	1,08	1,44
26	0,58	1,08	0,6	0,49	1,17	0,65
27	3,62	2,7	1,63	3,19	4,27	2,59
28	0,31	0,25	0,14	0,25	0,27	0,18
29	3,47	1,85	1,22	1,85	4,27	4,27
30	1,78	1,85	1,57	1,33	1,17	2,02
31	1,93	1,64	2,1	1,08	2,81	2,81
32	2,7	2,7	3,06	2,59	3,33	2,48
33	1,33	2,28	3,62	1,57	1,85	3,47
34	2,28	1,44	1,93	1,51	1,27	2,93
35	1,93	2,1	2,59	2,19	2,28	1,78
36	1,22	1,64	1,12	0,63	1,33	2,28
37	3,33	2,02	4,45	3,33	1,93	3,06
38	0,47	0,51	0,18	0,19	0,4	0,21
39	4,27	0,95	5,05	3,93	3,67	3,68
40	2,38	1,78	2,48	3,47	3,77	3,93
41	0,55	0,2	0,34	1,08	0,4	0,26
42	2,19	1,44	1,57	2,02	1,85	2,1
43	1,17	1,27	1,33	1,51	1,38	1,44
44	1,9	2	1,8	1,93	1,27	1,56

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ε.1 ΑΤΟΜΑ ΠΟΥ ΕΛΑΒΑΝ ΜΕΡΟΣ

Χώρος	Πιάνο	Πνευστά	Drums	Μπάσο	Κιθάρα	Φωνή	Τεχνικοί	Σύνολο
Ωδείο Athenaeum	3	1	2	1	-	3	-	10
Ωδείο Αθηνών	2	-	3	-	1	3	-	9
Ωδείο Φ. Νάκας	1	-	-	1	3	2	-	7
Ωδείο Ηριδανός	1	3	1	-	1	-	-	6
Μαδριγάλειος Σχολή	3	2	-	-	2	-	-	7
Studio Sierra	-	-	1	-	-	1	3	5

Πίνακας Ε-1: Μουσικοί και τεχνικοί-ηχολήπτες που έλαβαν μέρος από κάθε ωδείο και στούντιο ηχογράφησης

Ε.2 ΟΔΗΓΙΕΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΜΟΥΣΙΚΟΥΣ

Στο παρακάτω κείμενο καταγράφονται οι ηχογραφημένες οδηγίες που δίνονταν στους μουσικούς πριν και κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Πρόκειται για ένα πείραμα αντίληψης σχετικά με την ακουστική των χώρων ακρόασης μουσικής τζαζ. Τα ηχητικά δείγματα που θα ακούσετε είναι ανηχοϊκές ηχογραφήσεις του συγκεκριμένου είδους μουσικής. Ηχογραφήσεις δηλαδή που έχουν πραγματοποιηθεί μέσα σε ανηχοϊκό θάλαμο. Αυτό λοιπόν που θα ακούσετε είναι ο ήχος που βγαίνει απευθείας από τα μουσικά όργανα χωρίς την επιρροή του χώρου. Ο ήχος αυτός ίσως σας φανεί ξένος και ιδιαίτερα στεγνός, καθώς δεν είναι φυσική η έλλειψη του χώρου. Με το πείραμα αυτό θέλουμε να διερευνήσουμε τα όρια εντός των οποίων ο χώρος έχει ευεργετική δράση κατά την ακρόαση της μουσικής τζαζ. Θα ακούσετε 4 ανηχοϊκά ηχογραφήματα. Το “autumn leaves” παιγμένο από σόλο πιάνο και από ντουέτο πιάνο-μπάσο και το “ ‘round midnight” παιγμένο από σόλο τενόρο σαξόφωνο και από κουαρτέτο σαξόφωνο -πιάνο- μπάσο- ντραμς. Αυτό που ζητάμε από εσάς είναι να περιστρέψετε το κουμπί 1 του midi keyboard και παρατηρώντας τη μεταβολή του ήχου να μας προσδιορίσετε σύμφωνα με την κρίση σας το άνω και το κάτω όριο καθώς και το βέλτιστο σημείο για τρία κριτήρια. Προσπαθήστε να επικεντρωθείτε στην ακουστική ποιότητα του χώρου και όχι στην ερμηνεία ή στη μουσική σύνθεση. Μη διστάσετε να πειραματιστείτε με τις ακραίες τιμές. Δεν υπάρχει χρονικός περιορισμός. Το κάθε ηχογράφημα θα επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ολοκληρώσετε τις απαντήσεις σας.

Το πρώτο κριτήριο είναι η καθαρότητα του ήχου. Σας ζητάμε με βάση την εμπειρία σας να μας προσδιορίσετε τα επιθυμητά όρια και το βέλτιστο σημείο σχετικά με την καθαρότητα του ήχου. Πότε δηλαδή ο ήχος είναι ικανοποιητικά φωτεινός και διαυγής ή σκοτεινός και θολός. Πρώτα θέλουμε να

εντοπίσετε το κάτω αποδεκτό όριο, στη συνέχεια το άνω αποδεκτό όριο και τέλος το βέλτιστο σημείο υποδεικνύοντάς τα κάθε φορά πατώντας παρατεταμένα ένα οποιοδήποτε πλήκτρο του midi keyboard.

Το δεύτερο κριτήριο είναι η τονική ποιότητα. Σας ζητάμε με βάση την εμπειρία σας να μας προσδιορίσετε τα επιθυμητά όρια και το βέλτιστο σημείο σχετικά με την τονική ποιότητα του ήχου. Πότε δηλαδή ο ήχος είναι ικανοποιητικά απαλός ή σκληρός. Πρώτα θέλουμε να εντοπίσετε το κάτω αποδεκτό όριο, στη συνέχεια το άνω αποδεκτό όριο και τέλος το βέλτιστο σημείο υποδεικνύοντάς τα κάθε φορά πατώντας παρατεταμένα ένα οποιοδήποτε πλήκτρο του midi keyboard. Σας υπενθυμίζουμε να επικεντρωθείτε στην ακουστική ποιότητα του χώρου και όχι στην ερμηνεία ή στη μουσική σύνθεση. Μη διστάσετε να πειραματιστείτε με τις ακραίες τιμές. Δεν υπάρχει χρονικός περιορισμός. Το κάθε ηχογράφημα θα επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ολοκληρώσετε τις απαντήσεις σας.

Το τρίτο κριτήριο είναι η υποκειμενική εγγύτητα του χώρου. Σας ζητάμε με βάση την εμπειρία σας να μας προσδιορίσετε τα επιθυμητά όρια και το βέλτιστο σημείο σχετικά με την υποκειμενική εγγύτητα του ήχου. Πότε δηλαδή αισθάνεστε τον ήχο ικανοποιητικά κοντινό ή απόμακρο. Πρώτα θέλουμε να εντοπίσετε το κάτω αποδεκτό όριο, στη συνέχεια το άνω αποδεκτό όριο και τέλος το βέλτιστο σημείο υποδεικνύοντάς τα κάθε φορά πατώντας παρατεταμένα ένα οποιοδήποτε πλήκτρο του midi keyboard. Σας υπενθυμίζουμε να επικεντρωθείτε στην ακουστική ποιότητα του χώρου και όχι στην ερμηνεία ή στη μουσική σύνθεση. Μη διστάσετε να πειραματιστείτε με τις ακραίες τιμές. Δεν υπάρχει χρονικός περιορισμός. Το κάθε ηχογράφημα θα επαναλαμβάνεται μέχρις ότου ολοκληρώσετε τις απαντήσεις σας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ F

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Ημερομηνία ……..
Αίθουσα ……

Παρακαλώ επιλέξτε ένα κουτάκι για κάθε ερώτηση

1. Φύλο

   ☐ Άρρεν

   ☐ Θήλυ

2. Ηλικιακή κατηγορία

   ☐ Έως 20

   ☐ 20-35

   ☐ 35-55

   ☐ άνω των 55

3. Τι μουσικό όργανο παίζετε; …….

4. Πόσα χρόνια ακούτε μουσική jazz; ……

5. Πόσο συχνά ακούτε μουσική jazz (ζωντανή ή ηχογραφημένη);

   ☐ Συχνά

   ☐ Λιγότερο συχνά

   ☐ Σπάνια

6. Επίπεδο ενασχόλησης με τη jazz μουσική (μπορείτε να τσεκάρετε περισσότερες από μία από τις κάτωθι περιπτώσεις)

   ☐ Μουσικές σπουδές (σπουδαστής)

   ☐ Μουσικές σπουδές (καθηγητής)

   ☐ Μουσικός ερμηνευτής

   ☐ Άλλο …….

7. Ποιες αίθουσες θεωρείτε από δική σας εμπειρία τις πλέον κατάλληλες για την ακρόαση μουσικής jazz (στην Ελλάδα ή/και στο εξωτερικό);

……..……

Ηχογράφημα 1			
	κάτω όριο	**βέλτιστο**	**άνω όριο**
Καθαρότητα (clarity)			
Τονική ποιότητα (tonal quality)			
Εγγύτητα (proximity)			

Ηχογράφημα 2			
	κάτω όριο	**βέλτιστο**	**άνω όριο**
Καθαρότητα (clarity)			
Τονική ποιότητα (tonal quality)			
Εγγύτητα (proximity)			

Ηχογράφημα 3			
	κάτω όριο	**βέλτιστο**	**άνω όριο**
Καθαρότητα (clarity)			
Τονική ποιότητα (tonal quality)			
Εγγύτητα (proximity)			

Ηχογράφημα 4			
	κάτω όριο	**βέλτιστο**	**άνω όριο**
Καθαρότητα (clarity)			
Τονική ποιότητα (tonal quality)			
Εγγύτητα (proximity)			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ G

ΕΚΤΕΝΗΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ

EXTENSIVE SUMMARY IN ENGLISH

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF STRUCTURAL ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

Optimal Reverberation in Jazz Music Auditoria; Experimental Investigation

Abstract

This paper is amongst the fewest studies in which it is attempted to determine optimal reverberation for jazz concert venues. In fact jazz musicians are often required to perform in auditoria were acoustics is not necessarily targeted for the purpose; it follows that it is also important to know the least required and the maximum tolerable reverberation time.

Subjective evaluation experiments using synthetic sound field though headphones were performed employing music experts and using various jazz excerpts with and without wind instruments. The aim was to identify the desired reverberation as well as the least required and the maximum tolerable reverberation, for each of three independent subjective factors, that had been previously derived to account for the acoustics of jazz venues.

Unlike classical concerts and rock concerts, jazz music was found to require much shorter reverberation time ranging between 0.60 s - 0.80 s, the upper limit referring to jazz ensembles that involved wind instruments. These results were found to be independent of the three distinct subjective factors tested.

The least required reverberation and the maximum tolerable reverberation were found 0.25 s and 1.70 s respectively. Unlike optimal reverberation time, these limit values were found to be independent of the instruments involved in the ensemble for all three subjective factors.

More research needs to be done to confirm the present results in the live concert situation.

1. INTRODUTION

Jazz is a music genre originated around the beginning of 20th century in Southern United States in Afro-American communities. Jazz music resulted from a confluence of African and European music traditions. In the recent years jazz and other contemporary music genres such as pop and rock have become popular all over the world.

Jazz is distinct from classical music, therefore the acoustics of jazz auditoria should be approached separately. While many musical instruments which are used in jazz bands, such as piano, double bass, trumpet etc. are also encountered in classical music orchestras, the role of such instruments and by extension the acoustic demands upon these, are entirely different in each genre of music. Double bass, for instance, in a jazz ensemble almost always plays pizzicato and its role is exclusively rhythmic, whereas this is hardly the case in a classical symphony orchestra. Also, while jazz initially consisted of natural sound, since the second half of 20th century, jazz clubs usually have been employing a mixture of “acoustic” and electronically assisted sound, unlike classical music auditoria which have in principle, been designed for the performance of un-amplified music. Furthermore, the typical audience arrangement such as it occurs in classical auditoria, is not preserved in jazz venues, with audience being much less quiet during the jazz event. Last, unlike classical symphony orchestra jazz bands involve much less musicians.

The present study aims to identify optimal reverberation time values, as well as, minimum acceptable and maximum tolerable values of this physical parameter. Optimal values are apparently critical design guide; nevertheless, the upper and lower limit values of the reverberation time can provide a useful criterion whenever the appropriateness for jazz performance is judged of an existing, usually multi-purpose, auditorium.

2. LITERATURE REVIEW

Current scientific knowledge for the construction of auditoria is limited almost on classical music halls and is summarized in the relevant literature (W. C. Sabine 1992 [1] , L. Cremer , H. A. Müller, T. J. Schultz 1982 [2], M. Barron 1993 [3], etc.). Nevertheless, amongst the fewest studies to investigate the acoustics of auditoria for 20th century music (rock etc.) is the work of W. N. Larsen which is outlined in his book (2010) [4]. Optimal reverberation time values for various kinds of music, been the outcome of research of the above era, are summarized in Table 1.

Organ music	>2.5
Romantic classical music	1.8-2.2
Early classical music	1.6-1.8
Opera	1.3-1.8
Chamber music	1.4-1.7
Drama theater	0.7-1.0
Rock music	0.6-1.2

Table 1: Recommended occupied reverberation time values [3]

A thorough understanding of the acoustic perception in auditoria was made possible thanks to the introduction of the modern psychometric approach in subjective acoustic evaluations. Examples are the work of R. J. Hawkes and H. Douglas (1971) [5], the work of the Berlin group (1975) [6], the work of the Göttingen group (1974) [7], the work of A. G. Sotiropoulou, D. B. Fleming and R. J. Hawkes [8, 9] (1995), etc. The generation of classical concert auditoria in the late 20th century have used the benefit of scientific progress as coded above and therefore, by and large, they all have been blessed with success. Moreover, it is important to mention the investigation of A. C. Gade (1989, [10]) in which, during experiments that employed musicians, it was obtained that musicians who played wind instruments required higher reverberation than the rest.

The acoustics of jazz auditoria has been the object of scientific investigation in the last decade. Comprehensive work in this direction is the work of the Technical University group [11, 12, 13]; that work is based on subjective acoustic evaluations in live jazz concerts in various auditoria using the semantic rating scale technique. The subjective acoustic qualities (factors) that were identified in that study are summarized in Table 2.

Factors	Associated scales	Factor loadings
1.CLARITY	Dark-Bright	-0.80
	Clear-Dull	0.78
	Clear-Blurred	0.78
	Colored-Dark	0.78
	Preferred-Not Preferred	0.74
	Clear-Noisy	0.70
	Full Bodied-Thin	0.65
2.TONAL QUALITY	Smooth-Harsh	0.85
	Gentle-Harsh	0.83
	Harsh-Velvety	-0.83
	Smooth-Sharp	0.73
	Smooth-Rough	0.71
	Cool-Warm	-0.52
3.PROXIMITY	Near-Distant	0.84
	Near-Remote	0.83
	Live-Dead	0.83
	Brilliant-Dim	0.67

Table 2: Results of factor analysis of data combined from jazz concerts by the Technical University group [12, 13]. (Percentage of variance accounted for the three factors is respectively: 35.34, 17.1, 8.56)

Unlike subjective acoustic factors for jazz music auditoria, the identification of relevant physical criteria remains to be investigated in the present authors knowledge. The aim of the present work is to identify optimal values for reverberation time in jazz venues and explore any likely dependence with the above coded subjective acoustic factors (Table 2). This can be a useful guide for the design of jazz concert auditoria.

3. EXPERIMENTAL DESIGN AND PROCEDURE

This is an experimental study in which four (4) anechoic music passages (excerpts), were presented using synthetic sound field through headphones to each of forty four (44) assessors. The headphones employed were of closed type in order to ensure, as good as possible, aural isolation. The assessors were chosen to be music experts such as music teachers, music students, performers, technicians etc; this population is considered to be relatively more familiar with listening to music, therefore random error could be kept relatively low. The choice of the sample size has been a compromise between making the experiments practicable and ensuring reasonably reliable results. The experiments were carried out within quiet rooms, for instance typical music teaching room and recording studio, in order to keep non-test stimuli visually and orally neutral.

A variety of jazz test samples were selected so as to include from solo instrument to jazz band and from string to wind instruments. The first test excerpt was a solo piano passage of the well known theme “Autumn leaves” by composer Joseph Kosma, of 51 s duration. The first excerpt was topped with bass playing in order to produce the second test sample. The “‘round midnight” theme by composer Thelonious Monk, was performed though saxophone in the third passage and lasted 36 s. The fourth excerpt employed same music theme as in the third passage which was performed by a quartet including saxophone, piano, bass and cymbal.

Each experimental subject was presented with test music as described above. He was then asked to adjust a rotaring knob appropriately so as to, first optimise listening, secondly indicate the least acceptable listening effect and thirdly indicate the maximum tolerable listening effect. Subjects were instructed accordingly through a recorded message that was played via their headphones.

During the above procedure the rotaring knob controlled the RT of the virtual space assessed. Each assessor was located in the reverberation radius of the virtual sound space. The spectrum of the reverberant sound was kept flat. Each subject had to evaluate each excerpt three (3) times i.e. for each of the above stated subjective acoustic factors (Table 2).

Experimental subjects were taken from jazz classes of five (5) music schools in Athens, namely The Athens Conservatory, The Athenauem Conservatory, The Iridanos Music School, The Madrigalios Music School and the Filippos Nakas Conservatory. Jazz experts from the Sierra recording studios in Athens were also used.

All source signals used in the music samples were practically anechoic. First, a reservoir of six (6) music samples was set up. In particular, this involved:

i. A saxophone sample taken from the Odeon Software Library [14].
ii. Two piano music samples; the first (a) was taken from the Odeon Software Library [14], whereas the second music sample (b) was recorded through a midi keyboard by professional musician employing the virtual instrument “The Grand 2” [15] that uses anechoic music samples.
iii. Two bass samples (a, b) which were performed by professional musician in direct line mode.
iv. The sample of cymbals that was taken from the anechoic sample collection of the website of the Iowa University USA [16].

The test excerpts were made by combining the above music samples, as shown in Table 3.

Monophonic mixing of the above samples was used in such a way, that only levels of the samples were adjusted; adjustment was made so as to simulate, as close as possible, the loudness balance of a real jazz band.

The reverberation time added during the experimental procedure assumed a perfectly diffuse sound field. The software that was used to process and reproduce the music samples is Nuendo software, Ver4.

Excerpt	Musical Instruments involved
A	Piano (ii a)
B	Piano (ii a), Bass (iii a)
C	Saxophone (i)
D	Saxophone (i), Piano (ii b), Bass (iii b), Cymbals (iv)

Table 3: Excerpts used in the experiment. ***Parenthesis indicates the constituent music sample(s) stated in section 3.***

4. RESULTS

4.1 Optimal Reverberation Time

For each excerpt (Table 3) an **optimal** mean Reverberation Time (RT) was calculated for each subjective factor and are shown in Table 4.

Independent Subjective Acoustic Factors	Mean Optimal Reverberation Time [s]			
	A	B	C	D
1. CLARITY	0,61	0,55	0,85	0,74
2. TONAL QUALITY	0,57	0,57	0,83	0,83
3. PROXIMITY	0,63	0,57	0,80	0,78

Table 4: Mean optimal reverberation time for test music excerpts A, B, C, D respectively.

An Analysis of Variance test was performed for judgments between excerpts A and B (Table 5). Results showed that there was no significant variation between the two test groups.

Factors	Mean RT [s]	Significance
1.CLARITY	0.58	0.502
2.TONAL QUALITY	0.58	0.986
3.PROXIMITY	0.60	0,449

Table 5: Comparison of judgments concerning optimal RT, between excerpts A and B.

Same test was performed between excerpt C and excerpt D (Table 6). Similarly, no significant variation was identified in subjective judgments between the two test groups.

Factors	Mean RT [s]	Significance
1.CLARITY	0.79	0,346
2.TONAL QUALITY	0.82	0,950
3.PROXIMITY	0.79	0,827

Table 6: Comparison of judgments concerning optimal RT, between excerpts C and D.

Based on the above, subjective data from excerpts A and B were considered as one group and were pooled together; Data from excerpts C and D were also considered as a distinct group and were pooled together. Subjective judgments between these two groups were then tested for significant variation. Results are shown in Table 7 and indicate that there was significant variation between the two test groups, i.e. between wind instrument music (excerpt C and D) and non-wind instrument music (excerpt A and B).

Factors	Significance
1.CLARITY	0,002
2.TONAL QUALITY	0,000
3.PROXIMITY	0,004

Table 7: Comparison of judgments concerning optimal RT, between excerpts with wind instrument (C+ D) and without wind instrument (A+B).

The above procedure was repeated for each of the subjective factors tested (shown in Tables 5, 6, 7). Apparently the previously described result was confirmed for each subjective factor.

Taking all the above into consideration, the mean values for the merged groups A+B and C+D can be extracted. They are shown in Table 8.

Factors	RT [s]	
	Excerpts (A+B)	Excerpts (C+D)
1.CLARITY	0,60	0,80
2.TONAL QUALITY	0,60	0,80
3.PROXIMITY	0,60	0,80

Table 8: Mean Values for merged judgments concerning optimal RT.

Apparently, a mean value for optimal reverberation time was worked out for the two distinct music groups for all three subjective factors, i.e**. RT=0.60 s** for non wind instrument music and **RT=0.80 s** for wind instrument music.

5.2 Required Least Reverberation Time

An Analysis of Variance test was performed between judgments regarding excerpt A and excerpt B (Table 9). Results showed that there was no significant variation between the two test groups.

Factors	Mean RT [s]	Significance
1.CLARITY	0.22	0,013
2.TONAL QUALITY	0.21	0,442
3.PROXIMITY	0.18	0,801

Table 9: Comparison of judgments concerning least required RT, between excerpts A and B.

Same test was performed between excerpt C and excerpt D (Table 10). Similarly, no significant variation was identified in subjective judgments between the two test groups.

Factors	Mean RT [s]	Significance
1.CLARITY	0.31	0,039
2.TONAL QUALITY	0.27	0,257
3.PROXIMITY	0.24	0,121

Table 10: Comparison of judgments concerning least required RT, between excerpts C and D.

Based on the above, subjective data from excerpts A and B were considered as one group and were pooled together; Data form excerpts C and D were also pooled together and formed a distinct group. Subjective judgments between these two groups were then tested for significant

variation. Results are shown in Table 11 and indicate that there was no significant variation between the two test groups, i.e. between music employing wind instrument (excerpt C and D) and music non-employing wind instrument (excerpt A and B).

Factors	Mean RT [s]	Significance
1.CLARITY	0.26	0,016
2.TONAL QUALITY	0.24	0,024
3.PROXIMITY	0.21	0,011

Table 11: Comparison of judgments concerning least required RT between excerpts with wind instrument (C+D) and without wind instrument (A+B).

Apparently, a difference between the results for the subjective factors was observed and so an Analysis of Variance test was conducted between them. Results are shown in Table 12, and no significant difference was found in least required reverberation time between the three subjective factors.

Factors	Mean RT [s]	Significance
All	0.24	0,026

Table 12: Comparison of judgments concerning least required RT, between the three subjective factors (all excerpts included).

Based on all the above, a subject mean reverberation time was worked out, rounded to the second decimal, to involve judgments from all excerpts and for all subjective factors, i.e. **RT=0.25s**.

5.3 Maximum Tolerable Reverberation Time

Same results were obtained for **maximum tolerable** reverberation time and are shown in Tables 13-16.

An Analysis of Variance test was performed between judgments regarding excerpt A and excerpt B (Table 13). Results showed that there was no significant variation between the two test groups.

Factors	Mean RT [s]	Significance
1.CLARITY	1,39	0,736
2.TONAL QUALITY	1,44	0,892
3.PROXIMITY	1,71	0,217

Table 13: Comparison of judgments concerning maximum tolerable RT, between excerpts A and B.

Same test was performed between excerpt C and excerpt D (Table 14). Similarly, no significant variation was identified in subjective judgments between the two test groups.

Factors	Mean RT [s]	Significance
1.CLARITY	1,78	0,916
2.TONAL QUALITY	1,80	0,613
3.PROXIMITY	1,92	0,392

Table 14: Comparison of judgments concerning maximum tolerable RT, between excerpts C and D.

Based on the above, subjective data from excerpts A and B were considered as one group and were pooled together; Data form excerpts C and D were also pooled together and formed a distinct group. Subjective judgments between these two groups were then tested for significant variation. Results are shown in Table 15 and indicate that there was no significant variation between the two test groups, i.e. between music employing wind instrument (excerpt C and D) and music non-employing wind instrument (excerpt A and B).

Factors	Mean RT [s]	Significance
1.CLARITY	1,59	0,018
2.TONAL QUALITY	1,62	0,025
3.PROXIMITY	1,81	0,311

Table 15: Comparison of judgments concerning maximum tolerable RT, between excerpts with wind instrument (C+D) and without wind instrument (A+B).

Apparently, a difference between the results for the subjective factors was observed and so an Analysis of Variance test was conducted between them. Results are shown in Table 16, and indicate no significant difference in maximum tolerable reverberation time between the three subjective factors.

Factors	Mean RT [s]	Significance
All	1.68	0,150

Table 16: Comparison of judgments concerning maximum tolerable RT, between the three subjective factors (all excerpts included).

According to the above tables, a subject mean value for maximum tolerable reverberation time was worked out, rounded to the second decimal, to involve judgments from all excerpts and for all subjective factors, i.e. **RT=1.70s.**

5. DISCUSSION

In order to test for differences between evaluations of the four test excerpts, the analysis of variance test was used. For optimal reverberation time, two distinct groups of evaluations were identified, namely the non-wind instrument group and the wind instrument group, for which, the values were found 0.60 s and 0.80 s respectively. These values were independent of the three subjective factors tested. The above finding confirms Gade's results from classical music observations that for ensembles involving wind instruments a larger reverberation time is preferred. This could be explained by the fact that wind instruments produce a relatively dry sound and a higher reverberation time is required to achieve optimal listening.

Apparently the identified optimal reverberation time for jazz music is much shorter than the specified values for classical music, which are higher than 1.00 s or 2.00 s in some cases (Table 1). Compared also with the desired reverberation time in rock clubs which can vary in a range between 0.60 s – 1.20 s [4], the optimal reverberation time for jazz is found to be equal or in most cases shorter.

Moreover, limit values for least required and maximum tolerable reverberation time were investigated in the present study and they were found 0.25 s and 1.70 s respectively, for all three subjective factors tested. Contrary to the optimal reverberation time results, these limit values were found to be independent of the instruments involved in the ensemble.

Present findings indicate that small auditoria with absorbent surfaces are suitable for the performance of jazz concerts and verify the appropriateness of small venues in which jazz music traditionally has been performed. The least required and the maximum tolerable reverberation time that were identified in this study, suggest that jazz music could possibly been performed in venues ranging from residential citing rooms up to a classical chamber music hall.

Admittedly, the present experimental procedure does not involve the environmental complexity of the real situation; therefore more work needs to be done to confirm present findings under the environmental complexity of the real situation.

6. CONCLUSIONS

Unlike classical music and rock music, jazz concerts were found to require much shorter reverberation time in range between 0.60 s – 0.80 s, the upper limit referring to jazz ensembles including wind instruments. These results were found to be independent of the three distinct subjective factors tested.

By contrast, a least required reverberation time equal to 0.25 s was found to be independent of the instruments involved in the ensemble; this result was also confirmed for the maximum tolerable reverberation time that was equal to 1.70 s.

These short optimal reverberation time values suggest that venues appropriate for jazz music could be rooms of relatively small volume and with relatively increased absorption.

More research needs to be done to confirm these results in the live concert situation. Also, the desired frequency content for optimal reverberation time remains to be tested.

7. REFERENCES

[1] W. C. Sabine: Collected papers on acoustics. Harvard University Press ,1992 (reprinted 1964, Dover, New York).

[2] L. Cremer, H. A. Müller (translated by T. J. Schultz): Principles and applications of room acoustics. Vol. I, II, Applied Science, London, 1982.

[3] M. Barron: Auditorium acoustics and architectural design. E&FN Spon Publishers, 1993. (Second edition e-book by Spon Press,2010)

[4] N.W. Larsen, E.R. Thompson, A.C. Gade: Suitable reverberation times for halls for rock and pop music. Journal of the Acoustical Society of America, **127**, 2010.

[5] R. J. Hawkes, H. Douglas: Subjective acoustic experience in concert auditoria. Acustica, **24**, 235-250, 1971.

[6] H. Wilkens: Mehrdimensionale Beschreibung subjectiver Beurteilungen der Akustik von Konzertsälen. Dissertation, Technische Universität, Berlin, 1975.

[7] M. R. Schroeder, D. Gottlob, K. F. Siebrasse: Comparative study of European concert halls: correlation of subjective preference with geometric and acoustic parameters. Journal of the Acoustical Society of America, **56**, 1195-1201, 1974.

[8] A. G. Sotiropoulou, R. J. Hawkes, D. B. Fleming: Concert hall acoustic evaluations by ordinary concert-goers: I, Multi-dimensional description of evaluations. Acustica, **81**, 1-9, 1995.

[9] A. G. Sotiropoulou, D. B. Fleming: Concert hall acoustic evaluations by ordinary concert-goers: II, Physical room acoustic criteria subjectively significant. Acustica, **81**, 10-19, 1995.

[10] A.G. Sotiropoulou , G. Poulakos, J. Karayiannis, J. Tzouvadakis: Subjective evaluation of the acoustics of jazz auditoria; multi-dimensional description of evaluations. Proceedings of the 7th

International Conference on Auditorium Acoustics, organized by the Institute of Acoustics, Vol. 30, Part 3, 2008.
[11] A.G. Sotiropoulou, A. Savvopoulou, G. Karagiannis, G. Tzouvadakis: Subjective evaluation of acoustics in jazz clubs. Proceedings of the 8th International Conference on Auditorium Acoustics, organized by the Institute of Acoustics, Vol. 33, Part 2, 2011.
[12] A.G. Sotiropoulou, A. Savvopoulou, G. Karagiannis, G. Tzouvadakis: Subjective evaluation of acoustics in jazz clubs. Acoustics Bulletin, Vol. 36, No. 5, 24-31, 2011.
[13] A. C. Gade: Investigations in musicians' room acoustic conditions in concert halls II: field experiments and synthesis of results. Acustica, Vol.69, pp. 249-262, 1989.
[14] http://odeon.dk/downloads/anechoic-recordings/
[15] https://www.steinberg.net/index.php?id=933&L=1
[16] http://theremin.music.uiowa.edu/MIS.html