ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών
Τομέας Δομοστατικής

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ ΣΕ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ JAZZ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Διπλωματική Εργασία

Χατζόπουλος Κωνσταντίνος

Ακαδημαϊκός Επιβλέπων: Ε. ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Επίβλεψη: Α. ΣΩΤΗΡΟΠΟΥΛΟΥ τ. αν. Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.
Ι. ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗΣ Υ/Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Εξεταστική Επιτροπή: Ε. ΒΟΥΓΙΟΥΚΑΣ επίκ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Α. ΜΠΑΛΛΗΣ Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Ε. ΜΠΑΔΟΓΙΑΝΝΗΣ επίκ Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Μάρτιος 2020

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ τους διδάσκοντες των οποίων τα ονόματα αναγράφονται στο παρόν πρωτοσέλιδο για την πολύτιμη στήριξή τους στην προσπάθειά μου αυτή. Ιδιαιτέρως ευχαριστώ τον Υ/Διδάκτορα Ε.Μ.Π. κ. Ιωάννη Καραγιάννη για την πρωτοτυπία του θέματος και της μεθοδολογίας επεξεργασίας του, για την καθοριστική συμβολή του στην ψηφιακή επεξεργασία των μουσικών δειγμάτων, καθώς και για την άοκνη παρακολούθησή του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Εκφράζω την εκτίμησή μου προς τον πρώην και νυν Κοσμήτορα της σχολής Πολιτικών Μηχανικών, Καθηγητή κ. Δημήτρη Κουτσογιάννη και Νίκο Λαγαρό αντίστοιχα, για τη στήριξή τους στην παρούσα εργασία μου.

Ευχαριστίες ανήκουν προς όλους εκείνους που έλαβαν μέρος στα παρόντα πειράματα, καθώς και στους υπεύθυνους των χώρων διεξαγωγής των πειραμάτων για τη συνεργασία τους.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου που είναι πάντα κοντά μου και με στηρίζει σε κάθε μου προσπάθεια.

ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΗΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ ΣΕ ΑΙΘΟΥΣΕΣ ΜΟΥΣΙΚΗΣ JAZZ: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

Περίληψη

Ο ακουστικός σχεδιασμός αιθουσών Κλασικής μουσικής, έχει διερευνηθεί διεξοδικά τις τελευταίες δεκαετίες σε αντίθεση με το σχεδιασμό αιθουσών Jazz μουσικής, όπου η έρευνα είναι σχεδόν ανύπαρκτη. Σε μία από τις ελάχιστες έρευνες αυτού του είδους που ανακοινώθηκαν μόλις πρόσφατα από την ερευνητική ομάδα του ΕΜΠ, εκτιμάται πειραματικά ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης για χώρους Jazz μουσικής, και προτείνεται στα 0.8 s (για κατειλημμένη αίθουσα). Παρ' όλα αυτά, το ερώτημα για τη βέλτιστη φασματική κατανομή της αντήχησης σε τέτοιους χώρους παραμένει, και προτείνεται να είναι το αντικείμενο της παρούσας μελέτης. Η απάντηση σ' αυτό το ερώτημα πέραν της χρησιμότητας της καθ'εαυτής, είναι δυνατόν να διαφωτίσει ως προς τον σχεδιασμό και τον καθορισμό κατασκευαστικών λεπτομερειών σε αίθουσες αυτού του είδους.

Η μελέτη περιλαμβάνει πειράματα αξιολόγησης της ακουστικής με τη χρήση συνθετικού ηχητικού πεδίου (synthetic sound fields), μέσω ακουστικών (headphones). Ειδικότερα, ζητήθηκε από ειδικούς (Jazz music experts), να ακούσουν δείγματα Jazz μουσικής με/και χωρίς τη συμμετοχή πνευστών οργάνων, και να προσδιορίσουν κατά την άποψη τους την επιθυμητή φασματική κατανομή της αντήχησης. Οι αξιολογήσεις επαναλήφθηκαν τρεις φορές, δηλαδή μία φορά για κάθε έναν από τρεις ανεξάρτητους Παράγοντες αντίληψης της ακουστικής Jazz συναυλιών, ήτοι την Καθαρότητα, την Τονική Ποιότητα και την Εγγύτητα· αυτοί είχαν εξαχθεί πειραματικά σε προγενέστερη μελέτη.

Το μουσικό σύνολο με πνευστό αποτελεί τυπική περίπτωση Jazz συναυλίας· στην περίπτωση αυτή, παρατηρήθηκε επιθυμητή αύξηση της αντήχησης Υψηλών προς Μεσαίες συχνότητες ίση με 1.5. Αντίθετα, στην περίπτωση που δεν συμπεριλαμβάνονται πνευστά, βρέθηκε ότι απαιτείται ομοιόμορφη κατανομή της αντήχησης στο φάσμα. Τα αποτελέσματα υπήρξαν ανεξάρτητα των τριών Παραγόντων αντίληψης που ελέγχθηκαν. Τα παρόντα ευρήματα αναδεικνύουν τη σημασία της ισορροπημένης χρήσης ηχοαπορροφητικών επενδύσεων κατά τον σχεδιασμό αιθουσών Jazz μουσικής· αυτό είναι δυνατόν να υποστηριχθεί περαιτέρω με την εισαγωγή ηλεκτρονικής αντήχησης στην αίθουσα.

Τα παρόντα ευρήματα επιβεβαιώνουν την εμπειρική άποψη ότι αίθουσες Κλασικής μουσικής είναι ακατάλληλες για Jazz, και διαφωτίζουν ως προς κάποιες απόψεις του ακουστικού σχεδιασμού αιθουσών Jazz μουσικής. Περαιτέρω έρευνα θα μπορούσε να επιβεβαιώσει τα παρόντα αποτελέσματα, κάτω από την περιβαλλοντική πολυπλοκότητα ζωντανών Jazz συναυλιών, όπως τις αντιλαμβάνεται το Jazz μουσικόφιλο ακροατήριο.

OPTIMAL SPECTRAL BALANCE OF REVERBERATION IN JAZZ VENUES; EXPERIMENTAL INVESTIGATION

Abstract

Although the acoustical design of classical auditoria has been the object of thorough investigation over the past decades, the acoustical design of Jazz auditoria has hardly been the object of scientific research. In one of the fewest works recently published, the optimal reverberation time for Jazz venues is explored through laboratory experiments; a mean optimal value for occupied auditoria is proposed at 0.8 s. Nevertheless, the question of optimal spectral balance of reverberation in Jazz venues, still remains to be answered, and will be the object of the present investigation. This apparently, is important for optimal listening as well as for determining construction detailing in this kind of auditoria. This study involves synthetic sound experiments through headphones. Music experts were asked to evaluate Jazz music samples, with and without wind instruments respectively. The evaluations were repeated three times, *i.e.* once for each of three independent subjective acoustic Factors that had been experimentally derived in an earlier study. These Factors were labeled Clarity, Tonal Quality and Proximity. Unlike classical concert venues, Jazz auditoria were found to require a flat frequency content for music ensemble without any wind instrument; when a wind instrument was involved in the ensemble, an increase in the Treble-to-Mid ratio of 1.5 was found to be desired; these results were independent of each of the three subjective Factors tested. Results cast some light on the question of acoustical design of Jazz auditoria. Further research is necessary to confirm present findings in the live Jazz concert situation.

Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη....4
Abstract....5
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ....8
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ....9
2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ JAZZ....10
3. ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ....11
3.1 Γενικά....11
3.1.1 Αντήχηση....11
3.1.2 Ανάκλαση....11
3.3 Ηχοαπορρόφηση....12
3.1.4 Απόκριση της αίθουσας σε απλή κυματομορφή (Impulse Response - IR)....12
3.1.5 Στάθμη έντασης του ήχου σε Decibel, [dB]....13
3.1.6 Χρόνος Αντήχησης....13
3.1.7 Μερικές φυσικές παράμετροι της ακουστικής κλειστού χώρου....14
3.1.8 Ανηχοϊκά δείγματα....15
3.1.9 Συχνότητα του ήχου....15
3.2 Ηχοαπορροφητικά Υλικά....16
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ....17
5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ....20
5.1 Επιλογή μεθόδου έρευνας....20
5.2 Σχεδιασμός και διεξαγωγή πειράματος....20
Παράγοντες αντίληψης μουσικής Jazz....21
Ψηφιακή επεξεργασία....22
Μίξη ανηχοϊκών δειγμάτων....22
Συμμετέχοντες στο πείραμα....23
Χώροι διεξαγωγής πειράματος....23
Πειραματική διαδικασία....25
5.3 Ανάλυση Πειραματικών Δεδομένων....26
6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ....27
7. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ....31
8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ....33
9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ....34
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α – Ηχοαπορροφητικά υλικά και διατάξεις....35
α. Πορώδη ηχοαπορροφητικά....36
β. Μεμβράνες (Ηχοαπορροφητικά Χαμηλών συχνοτήτων)....37
γ. Συνηχητές (Helmholtz Resonators)....38

Διάτρητα ηχοαπορροφητικά 39
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ B – Λογισμικό Cubase 41
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ C – Στατιστικές μέθοδοι 46
C.1 Μέθοδος Ανάλυσης της Διακύμανσης 47
C.2 Μέθοδος Ανάλυσης της Διακύμανσης μέσω του προγράμματος SPSS 48
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ D – Πειραματικά αποτελέσματα 54
D.1 Αποτελέσματα χρόνων αντήχησης σε [s]. 55
D.2 Ανηγμένες τιμές χρόνων αντήχησης σε λόγους ως προς τις Μεσαίες συχνότητες 71
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ E – Πληροφορίες πειράματος 81
E.1 Κατηγοριοποίηση συμμετεχόντων 82
E.2 Ηχογραφημένες οδηγίες προς τους συμμετέχοντες 87
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ F - Ερωτηματολόγιο 88
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ G – Συνοπτική παρουσίαση στα Αγγλικά (Short version in English) .. 91

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Συντομογραφία	Ολογράφως
IR	Impulse Response *(Διάγραμμα απόκρισης της αίθουσας σε απλή κυματομορφή)*
RT	Reverberation Time *(Χρόνος αντήχησης)*
CL	Clarity *(Κριτήριο αντίληψης 'Καθαρότητα')*
TQ	Tonal Quality *(Κριτήριο αντίληψης 'Τονική Ποιότητα')*
PR	Proximity *(Κριτήριο αντίληψης 'Εγγύτητα')*
Br	Bass ratio *(Λόγος Χαμηλών προς Μεσαίες συχνότητες)*
Tr	Treble ratio *(Λόγος Υψηλών προς Μεσαίες συχνότητες)*
ANOVA	Analysis of Variance *(Μέθοδος Ανάλυσης της Διακύμανσης)*
DAW	Digital Audio Workstation *(Ψηφιακή πλατφόρμα επεξεργασίας και αναπαραγωγής ήχου)*

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Jazz αποτελεί ένα μουσικό ιδίωμα, του οποίου η γένεση χρονολογείται γύρω στις αρχές του 20ου αιώνα στις νότιες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών και συγκεκριμένα στις Αφροαμερικάνικες συνοικίες, ενώ είναι συμβολή Αφρικάνικων και Ευρωπαϊκών παραδόσεων.

Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια η Jazz μουσική αποτελεί ένα από τα πιο ευρέως διαδεδομένα είδη μουσικής στον κόσμο και προσελκύει όλο και περισσότερο κοινό το οποίο αποτελείται από ακροατές, ερμηνευτές, ακόμα και μελετητές της. Λόγω, όμως, της σχετικά πρόσφατης εισόδου της στο ευρύ κοινό, δεν είχε υπάρξει -μέχρι πρόσφατα- κάποιο ενδιαφέρον για μελέτη και σχεδίαση αιθουσών που να είναι κατάλληλες για το είδος αυτό. Μέχρι την άνθιση των μοντέρνων ειδών μουσικής, συμπεριλαμβανομένης και της Jazz, οι ερευνητές έκαναν μελέτες πάνω στην κλασική μουσική, η οποία έχει διαφορετικά σχεδιαστικά κριτήρια, συνεπώς απαιτείται να γίνει εκ νέου έρευνα.

Οι διαφορές μεταξύ των μουσικών ειδών αυτών ποικίλλουν. Πρώτον, στη Jazz, χρησιμοποιούνται όργανα που συμπεριλαμβάνονται και στην κλασική μουσική, πλην όμως, αυτά έχουν διαφορετικούς ρόλους στη μουσική ερμηνεία και στην ενορχήστρωση. Επίσης, σε ένα Jazz σύνολο πλέον, αφενός, υπάρχει η δυνατότητα ηχητικής κάλυψης -οπότε το κάθε μουσικό όργανο δύναται να έχει μια ελεγχόμενη ενίσχυση στην ένταση- αφετέρου, η δυνατότητα αυτή αλλάζει τα δεδομένα που γνωρίζαμε από την κλασική μουσική, στην οποία ακόμα μέχρι και σήμερα, σπάνια χρησιμοποιούνται τεχνικά μέσα. Να σημειωθεί, τέλος, ότι γενικά οι χώροι που στεγάζουν μια Jazz συναυλία είναι μικρότεροι σε μέγεθος και το κοινό που την παρακολουθεί, συνήθως, έχει κάποια κινητικότητα και είναι πιο θορυβώδες.

Λόγω των αξιοσημείωτων διαφορών, κρίνεται ότι απαιτείται να πραγματοποιηθεί μελέτη που θα αφορά αποκλειστικά στους χώρους όπου θα εκτελείται Jazz μουσική, είτε παιγμένη με ζωντανή ορχήστρα, είτε ηχογραφημένη. Οι περισσότερες αίθουσες συναυλιών που υπάρχουν σήμερα και στεγάζουν συναυλίες Jazz μουσικής, είναι σχεδιασμένες με τα πρότυπα της κλασικής μουσικής, πράγμα που σημαίνει ότι η ερμηνεία των μουσικών ως προς την απόδοση και ως προς το ηχητικό αποτέλεσμα που θα φτάσει στα αυτιά των ακροατών, θα είναι αλλοιωμένη. Οι αίθουσες που αφορούν αποκλειστικά στη Jazz, είναι σχεδιασμένες με βάση τη διαίσθηση.

Κύριος παράγοντας που συντελεί στον σχεδιασμό μιας αίθουσας είναι ο χρόνος αντήχησης του ήχου, δηλαδή το πόσο θα αναπτύσσονται ή όχι ηχητικές ανακλάσεις μέσα στο χώρο από τις αναπαραγόμενες ηχητικές πηγές. Από προηγούμενη μελέτη [1], έχει προσδιοριστεί ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης για αίθουσες που θα αφορούν στη Jazz μουσική, σε διάφορες περιπτώσεις. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο προσδιορισμός της βέλτιστης φασματικής κατανομής της αντήχησης. Συγκεκριμένα, στις τρεις συχνοτικές περιοχές του φάσματος του ήχου (Χαμηλές, Μεσαίες και Υψηλές συχνότητες), διερευνάται η αντίστοιχη τιμή χρόνου αντήχησης του χρόνου αντήχησης για καθεμία, έτσι ώστε να προκύψει η βέλτιστη ισορροπία μεταξύ τους. Με τις τιμές αυτές, θα προκύψουν συμπεράσματα τα οποία θα βοηθήσουν στη σύγκλιση της δημιουργίας τέτοιων προδιαγραφών, με απώτερο στόχο την αντικειμενική κρίση της καταλληλότητας κάποιου χώρου που αφορά στο μουσικό είδος αυτό.

2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΣ JAZZ

Ο πρόγονος της Jazz είναι το μουσικό ιδίωμα της Blues μουσικής, το οποίο γεννήθηκε στα τέλη του 19ου αιώνα από τους Αφροαμερικανούς δούλους, στην περιοχή του Δέλτα του ποταμού Μισισιπή της Αμερικής του Νότου. Η καταπίεση, ο ρατσισμός και οι άθλιες συνθήκες την εποχή εκείνη, οδήγησαν τους νέγρους σκλάβους στο να έχουν τη μουσική ως την κύρια διέξοδό τους. Έτσι, λοιπόν, προέκυψε η γένεση της Blues μουσικής. Κατά τη διάρκεια των εργασιών τους, οι σκλάβοι ανέπτυξαν έναν τρόπο τραγουδιού υπό τη μορφή «ερώτηση-απάντηση», δίνοντας με τον τρόπο αυτό ρυθμό στο έργο τους, ώστε να μπορούν να ανταπεξέλθουν ευκολότερα και να έχουν καλύτερη απόδοση στις σκληρές και πολλές φορές απάνθρωπες συνθήκες. Οι κύριες επιρροές του ιδιώματος αυτού ήταν η Αφρικάνικη μουσική, όπως και η χριστιανική μουσική, διότι από μικρή ηλικία οι νέγροι πήγαιναν σε χριστιανικές εκκλησίες.

Η μουσική αυτή ήταν εντελώς βιωματική. Περνούσε από γενιά σε γενιά και εξαπλωνόταν και σε άλλες περιοχές της Αμερικής, όπου πήρε διαφορετικές επιρροές από την καθεμία, με αποτέλεσμα να προκύψουν διάφορα είδη Blues, όπως για παράδειγμα, το Chicago Blues, το Texas Blues και το Delta Blues. Πολλές μουσικές που είναι δημοφιλείς στη σημερινή εποχή, όπως οι Rock, RnB, Funk, Rock n' Roll, Pop και φυσικά η Jazz, δημιουργήθηκαν, όσο περνούσαν οι δεκαετίες, μέσω των επιρροών της ευρωπαϊκής μουσικής, αλλά πάντα με κύριο γνώμονα τα Blues ακούσματα.

Στη σημερινή εποχή, η Jazz μουσική είναι ιδιαίτερα αγαπητή, ενώ αποτελεί μια από τις πιο σοβαρές και πολύπλοκες μορφές έκφρασης των ανθρωπίνων συναισθημάτων. Παρόλο που καλύπτει μια περίοδο που δεν είναι ιδιαίτερα εκτενής χρονικά, έχει επηρεάσει και εξακολουθεί να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ιστορία της μουσικής. Εμφανίστηκε γύρω στα τέλη του 19ου αιώνα στη Νέα Ορλεάνη και αποτελεί εξέλιξη της μουσικής των Αφρικανών σκλάβων, σε συνδυασμό με τη μουσική των Ευρωπαίων αποίκων, κυρίως αυτή που παίζονταν από τις στρατιωτικές μπάντες. Με τον καιρό η μουσική αυτή απέκτησε παρακλάδια σε διάφορες μορφές, όπως τις Ragtime, Dixieland, Swing, Bebop.

Μέχρι και σήμερα η Jazz μουσική δε σταματά να εξελίσσεται. Εμφανίζονται συνεχώς νέα ρεύματα, ειδικά μετά τη δεκαετία του 1960, όπως η Avant-garde, η Latin Jazz, η Acid Jazz και ενδέχεται να συνεχίσουν να εμφανίζονται περισσότερα και στο μέλλον, διότι οι μουσικοί άρχισαν να χρησιμοποιούν στοιχεία της στις συνθέσεις τους. Τέλος, η Jazz έχει πλέον αναγνωριστεί ως η μουσική που αντιπροσωπεύει την ελευθερία, πράγμα που αντικατοπτρίζεται και στην ερμηνεία της, γι' αυτό μάλιστα χαρακτηρίζεται και ως "αυτοσχεδιαστική μουσική".

Στη σημερινή εποχή, οι πιο δημοφιλείς αίθουσες παγκοσμίως που στεγάζουν Jazz συναυλίες είναι οι 'Birdland', 'Village Vanguard', 'Jazz at Lincoln Center' και 'Blue Note', οι οποίες βρίσκονται στη Νέα Υόρκη, η αίθουσα 'Ronnie Scott's' στο Λονδίνο και η 'Etoile' στο Παρίσι. Στην Αθήνα αντίστοιχα, από τα πιο γνωστά Jazz bar είναι τα 'Half Note', 'Banquet', 'The party bar', 'Jazzpoint', '1000 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 Jazz.

Χρησιμοποιήθηκαν οι εξής βιβλιογραφικές πηγές: [2, 3, 4, 5]

3. ΘΕΩΡΙΑ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ ΤΗΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

3.1 Γενικά

3.1.1 Αντήχηση

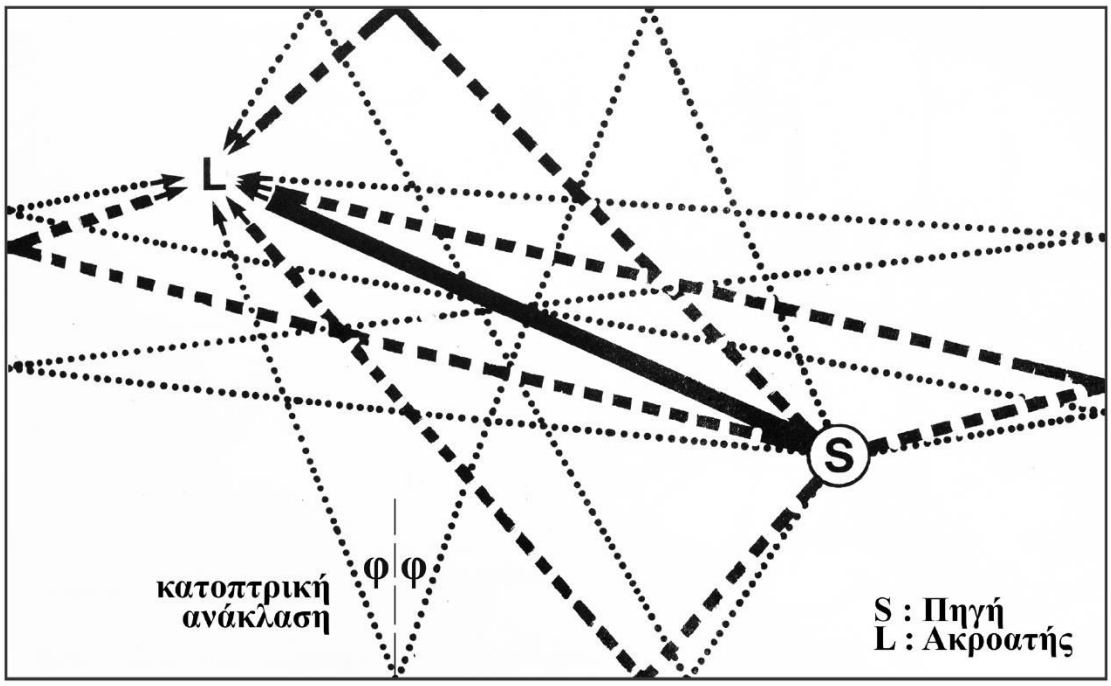
Η αντήχηση (Reverberation) αποτελεί το συνολικό ηχητικό αποτέλεσμα των ανακλάσεων του ήχου μέσα σε έναν χώρο. Το φαινόμενο αυτό δεν είναι στιγμιαίο, αλλά φθίνει εκθετικά μετά την αναπαραγωγή του πρωτογενούς ήχου. Λόγω του ότι το συνολικό επίπεδο του θορύβου στον υφιστάμενο χώρο αυξάνεται, το φαινόμενο αυτό είναι εύκολα αντιληπτό από έναν μέσο ακροατή. Οι ανακλάσεις προκύπτουν από τις γύρω επιφάνειες, οι οποίες μπορεί να είναι οι τοίχοι, το ταβάνι, το πάτωμα, όπως και άλλες επιφάνειες που είναι συνήθως λείες.

Για τον λόγο αυτό, όταν πραγματοποιείται ακουστικός σχεδιασμός, προαπαιτείται η ύπαρξη επιφανειών με την κατάλληλη τοποθέτηση και την κατάλληλη ηχοαπορροφητικότητα, ώστε να επέλθει η επιθυμητή αντήχηση.

Προκειμένου να μετρηθεί η αντήχηση σε έναν χώρο, τοποθετείται ένα ζεύγος μικροφώνων μέσα σε αυτόν. Ο ρόλος τους είναι να ηχογραφήσουν μια στιγμιαία πηγή ήχου που θα αναπαραχθεί μέσα στον χώρο αυτό, έτσι ώστε να προκύψει μια κυματομορφή. Η κυματομορφή αυτή θα οπτικοποιήσει την ηχογραφημένη ηχητική πληροφορία, δίνοντάς μας το διάγραμμα ανακλάσεων του ήχου το οποίο ονομάζεται διάγραμμα Impulse Response (IR) (Διάγραμμα 3.1).

3.1.2 Ανάκλαση

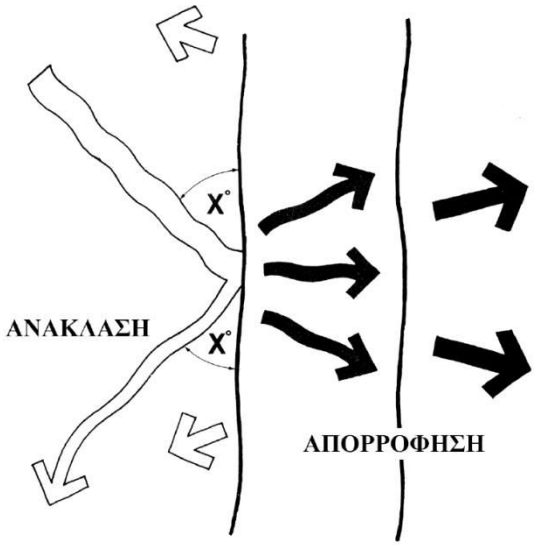
Η αλλαγή στην πορεία του ήχου λόγω πρόσπτωσης σε μια επιφάνεια καλείται ανάκλαση.



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση των ανακλάσεων του ήχου στο εσωτερικό κέλυφος κλειστού χώρου. Η συμπαγής γραμμή συμβολίζει τον απ' ευθείας ήχο [6].

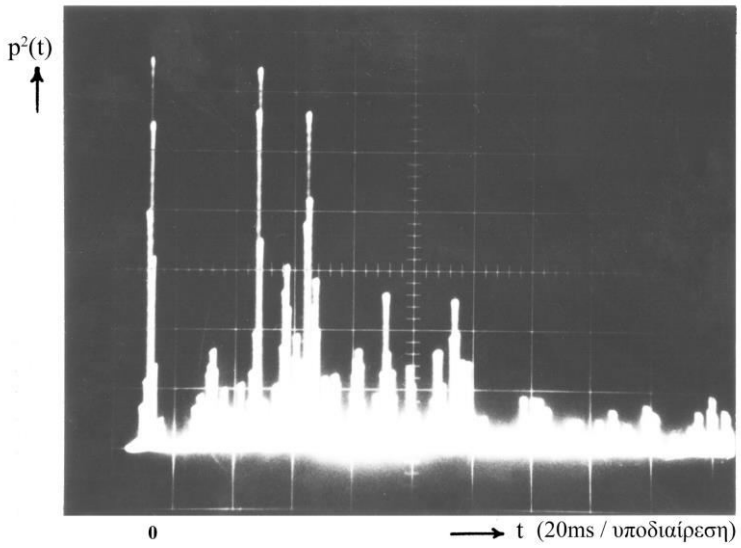
3.3 Ηχοαπορρόφηση

Το ποσό του ήχου του προσπίπτοντος επί επιφανείας ενός χώρου, που δεν ανακλάται, εξ ορισμού απορροφάται.



Εικόνα 3.2: Σχηματική απεικόνιση του ανακλώμενου/απορροφώμενου ήχου λόγω πρόσπτωσης επί διαχωριστικού πετάσματος [6].

3.1.4 Απόκριση της αίθουσας σε απλή κυματομορφή (Impulse Response - IR)



Διάγραμμα 3.1: Παράδειγμά διαγράμματος Impulse Response [6].

Στο Διάγραμμα 3.1 διακρίνονται οι ανακλάσεις που προέκυψαν από μια στιγμιαία ηχητική πηγή, όπως επίσης και το πως εξασθενούν με το πέρασμα του χρόνου. Στην αρχή παράγεται ο απ' ευθείας ήχος (direct sound) της πηγής και έπειτα ακολουθούν οι πρώτες ανακλάσεις (early reflections). Τέλος, ακολουθούν οι υπόλοιπες ανακλάσεις, οι οποίες φθίνουν εκθετικά μέχρι να εξασθενήσουν πλήρως.

3.1.5 Στάθμη έντασης του ήχου σε Decibel, [dB]

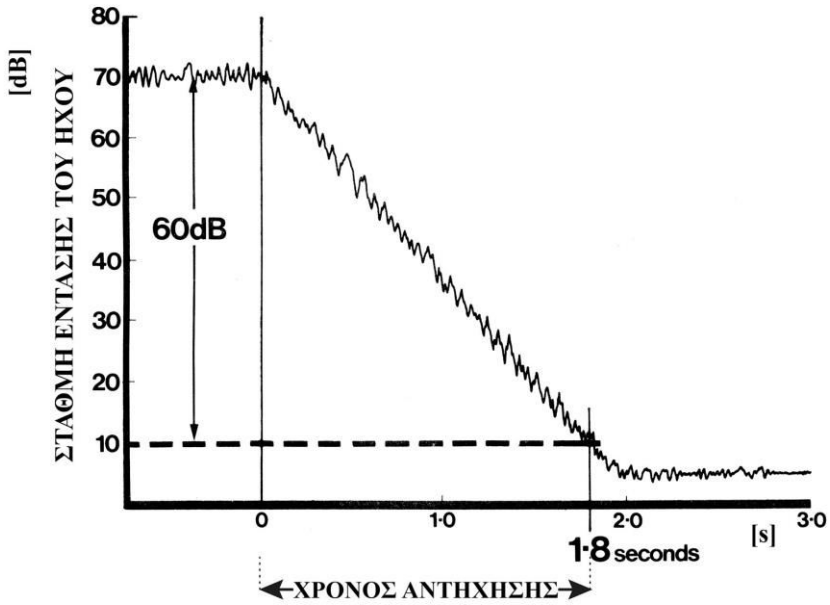
$$\begin{bmatrix} \text{ΣΤΑΘΜΗ ΕΝΤΑΣΗΣ} \\ \text{ΤΟΥ ΗΧΟΥ} \end{bmatrix} = 10\ 1og \left[\frac{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ}}{\text{ΗΧΗΤΙΚΗ ΠΙΕΣΗ ΑΝΑΦΟΡΑΣ}} \right]^2, \quad [\text{dB}]$$

όπου : **Ηχητική πίεση αναφοράς = 0.00002 N/m²** (κατώφλιο ακουστότητας στα 1000 Hz)

Λόγοι εισαγωγής του dB:
i) Η στάθμη της ηχητικής ενέργειας και όχι η ηχητική ενέργεια, χρησιμοποιείται για να επιτύχουμε πιο εύχρηστους αριθμούς.
ii) 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.
iii) Ο παράγων «10» χρησιμοποιείται για να προκύψουν αριθμοί απαλλαγμένοι από πολλά δεκαδικά ψηφία.
Για συνεχείς ήχους, πρακτικά, η ελάχιστη μεταβολή στη στάθμη του ήχου που γίνεται ευχερώς αντιληπτή είναι 3.0 dB.

3.1.6 Χρόνος Αντήχησης

Ο χρόνος αντήχησης ή αλλιώς Reverberation Time (RT), ορίζεται ως ο χρόνος που θα χρειαστεί, έτσι ώστε η πηγή του ήχου να μειωθεί κατά 60 dB σε σχέση με την αρχική της ένταση, από τη στιγμή που αυτός θα σταματήσει να αναπαράγεται.



Διάγραμμα 3.2: Διάγραμμα RT [6].

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 του είναι το s.

Ο τύπος του Sabine σχετίζει τον χρόνο αντήχησης με τον όγκο του χώρου και τις επιφάνειες ηχοαπορρόφησης.

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

όπου:
RT: χρόνος αντήχησης [s]
V: όγκος του χώρου [m^3]
$\mathbf{F_i}$: επιφάνεια του νιοστού υλικού του χώρου [m^2]
$\boldsymbol{\alpha_i}$: συντελεστής ηχοαπορρόφησης του νιοστού υλικού [%]
x: ηχοαπορρόφηση του αέρα ανά μονάδα όγκου [%]
ν: το πλήθος των ηχοαπορροφητικών υλικών στο χώρο

3.1.7 Μερικές φυσικές παράμετροι της ακουστικής κλειστού χώρου

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

Early Reflections:
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, προκύπτει από την καμπύλη του χρόνου αντήχησης (Διάγραμμα 3.2), ως το τμήμα που έχει μειωθεί κατά 10 dB από το αρχικό επίπεδο.

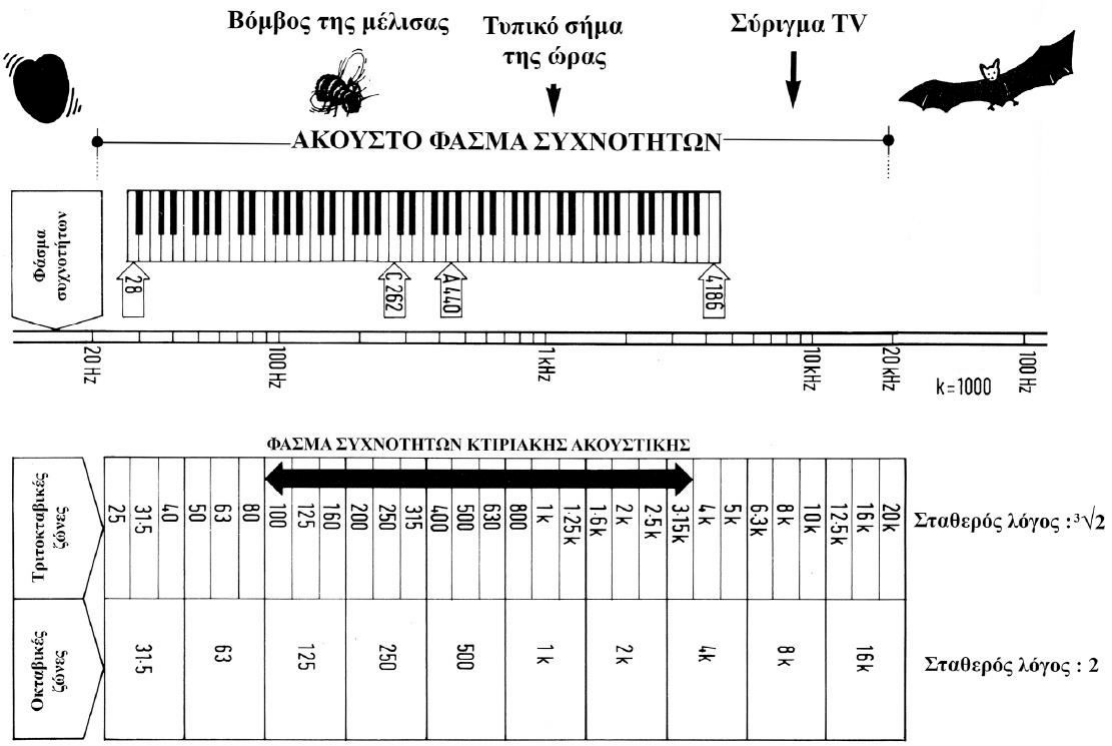
Critical distance:
Ορίζεται ως κρίσιμη η απόσταση αυτή όπου το ηχητικό σήμα που λαμβάνει ο ακροατής αποτελείται κατά 50% από τον απευθείας ήχο και κατά 50% από ανακλάσεις. Με βάση την κρίσιμη απόσταση, προκύπτει η ακτίνα αντήχησης (reverberation radius), η οποία χρησιμοποιείται σε πειράματα όπως το παρόν,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

3.1.8 Ανηχοϊκά δείγματα

Όταν ένα ηχητικό δείγμα είναι ανηχοϊκό, σημαίνει ότι έχει ηχογραφηθεί σε ειδικά διαμορφωμένο θάλαμο, ο οποίος ονομάζεται ανηχοϊκός. Ο θάλαμος αυτός έχει κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να μην δημιουργούνται καθόλου ηχητικές ανακλάσεις. Αποτέλεσμα αυτού είναι η δυνατότητας ακρόασης μόνο της «απ' ευθείας πηγής» από οποιαδήποτε ηχητική δραστηριότητα μέσα σε αυτόν. Συνεπώς, ως «ανηχοϊκό δείγμα» ορίζεται ένα ηχογράφημα που παρέχει τη δυνατότητα ακρόασης αποκλειστικά από την «απ' ευθείας πηγή», χωρίς αυτή να επηρεάζεται από κάποιο χώρο.

3.1.9 Συχνότητα του ήχου

Συχνότητα (f) υποκειμενικά είναι εκείνο που διαφοροποιεί έναν οξύ ήχο από έναν υπόκωφο ήχο, ενώ πρόκειται για το ρυθμό με τον οποίο πάλλονται τα σωματίδια του αέρα κατά τη διάδοση του ηχητικού κύματος. Ο τύπος που την εκφράζει είναι ο f=1/T και εκφράζεται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο (Hz). Όσο πιο οξύς είναι ο ήχος, τόσο περισσότερα Hz παράγει και αντίστροφα. Στην Εικόνα 3.3 απεικονίζεται το συχνοτικό φάσμα του ήχου.



Εικόνα 3.3: Συχνοτικό ηχητικό φάσμα με παραδείγματα [6].

Βιβλιογραφική παραπομπή που χρησιμοποιήθηκε: [6]

3.2 Ηχοαπορροφητικά Υλικά

Είναι τα υλικά των οποίων ο ρόλος σε κλειστό χώρο είναι να ελέγχουν την αντήχηση, την ανάπτυξη θορύβου, όπως και τη δημιουργία επιζήμιων ηχητικών φαινομένων όπως ηχώ και πλαταγιασμός (flutter echo). Ανάλογα με το μηχανισμό λειτουργίας τους, χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Πορώδη

Διαθέτουν ανοιχτούς πόρους προς το χώρο που είναι εντεταγμένα. Η απώλεια ηχητικής ενέργειας επιτυγχάνεται μέσω της τριβής που υφίστανται τα σωματίδια του αέρα καθώς προσπαθούν να εισέλθουν από τους πόρους στον κορμό του υλικού. Τέτοιο τύπου υλικά μπορεί να είναι π.χ. μια στρώση πετροβάμβακα, βελούδινες κουρτίνες, μοκέτες μεγάλου πάχους κ.λπ. και είναι ιδιαίτερα αποδοτικά στις Μεσαίες και Υψηλές συχνότητες.

- Μεμβράνες ή απορροφητικά Χαμηλών συχνοτήτων

Κάθε λεπτή μεμβράνη η οποία είναι στηριγμένη σε μικρή απόσταση από ένα στερεό υπόστρωμα π.χ. τοίχος, μπορεί να λειτουργήσει ως απορροφητής Χαμηλών συχνοτήτων π.χ. επένδυση από λεπτό φύλλο ξύλου, γυψοσανίδα κ.λπ. Είναι κρίσιμο το πάχος της μεμβράνης να μην υπερβαίνει τα 2.5 cm.

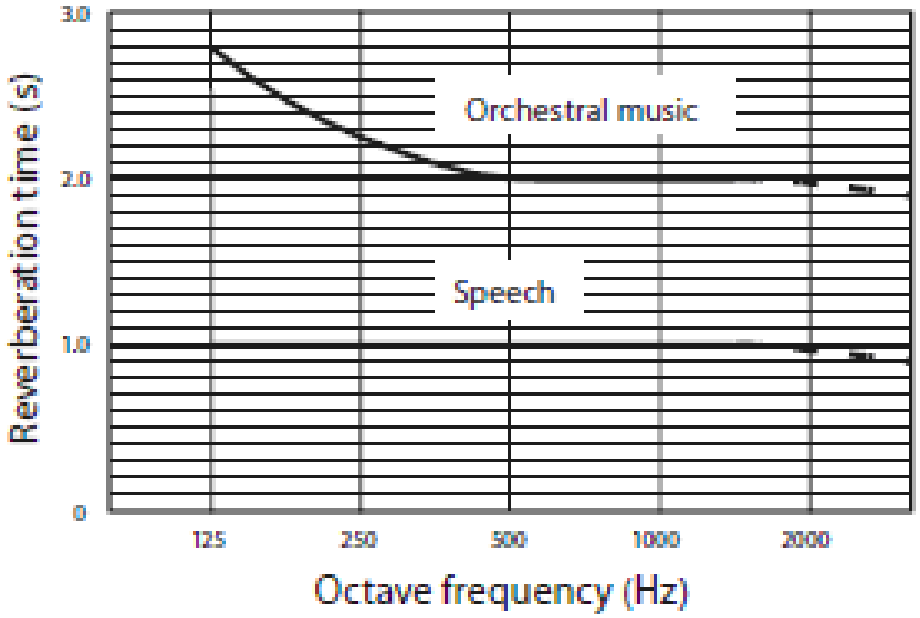
- Συνηχητές (Helmholtz Resonators)

Αυτή η μορφή ηχοαπορροφητικού υλικού είναι γνωστή από την Κλασική αρχαιότητα, όπως επίσης απαντάται και σε Μεσαιωνικής εποχής εκκλησίες. Αυτά τα υλικά έχουν μορφή φιάλης με λαιμό και απορροφούν επιλεκτικά στενή περιοχή του φάσματος ανάλογα με τον όγκο της φιάλης και τη διατομή και το μήκος του λαιμού της. Μπορεί να είναι ενσωματωμένα (built in) σε παρειά του χώρου με αποτέλεσμα να είναι ορατό μόνο το επιστόμιό τους, ή να επικοινωνεί η κάθε φιάλη με τις διπλανές της ως συγκοινωνούντα δοχεία. Η δεύτερη μορφή είναι πιο απλή κατασκευαστικά.

Εκτενέστερη ανάλυση γίνεται στο Παράρτημα Α.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Μέχρι σήμερα, η επιστημονική γνώση για τον ακουστικό σχεδιασμό συναυλιακών χώρων, αναφέρεται σχεδόν αποκλειστικά στην ακουστική των χώρων που προορίζονται για Κλασική μουσική και συνοψίζεται στη σχετική βιβλιογραφία [7, 8]. Για το είδος αυτό, βρέθηκε ότι στη συχνοτική φασματική κατανομή απαιτείται αύξηση 40% του χρόνου αντήχησης στις Χαμηλές συχνότητες και απεικονίζεται στον Πίνακα 4.1 και στο Διάγραμμα 4.1.



Διάγραμμα 4.1: Διάγραμμα μεταβολής του χρόνου αντήχησης στο συχνοτικό φάσμα [7].

Παρ 'όλα αυτά, μεταξύ των ελάχιστων μελετών που διερευνούν την ακουστική της αίθουσας της μουσικής του 20ου αιώνα, είναι το έργο του Larsen, το οποίο αναφέρεται σε Pop και Rock μουσική, και συνοψίζεται στη σχετική βιβλιογραφία [9, 10]. Ο Larsen συμπέρανε ότι σε μικρούς συναυλιακούς χώρους (1000–7000m^3) που θα στεγάζονται αυτά τα είδη μουσικής και χωρίς την παρουσία κοινού, ο χρόνος αντήχησης θα πρέπει να είναι ίδιος σε όλες τις συχνότητες του φάσματος του ήχου. (Πίνακας 4.1). Εκτός από τα μουσικά αυτά είδη, έγινε διερεύνηση της ακουστικής των χώρων για Jazz μουσική από τους Ι. Καραγιάννη *et al.* [1]. Συγκεκριμένα, μέσω πειραμάτων συνθετικών ακουστικών πεδίων, διερευνήθηκε ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης που θα εξυπηρετήσει μουσικά σύνολα Jazz μουσικής, με ή χωρίς την συμπλοκή πνευστών οργάνων (Πίνακας 4.1).

Πίνακας 4.1: Επιθυμητός χρόνος αντήχησης και φασματικό περιεχόμενο για κατειλημμένες αίθουσες [7]. *: Μικρός μη κατειλημμένος συναυλιακός χώρος (1000–7000 m^3) [9, 10]. *Λόγος Χαμηλών συχνοτήτων: Λόγος RT Χαμηλών προς RT Μεσαίων συχνοτήτων, Λόγος Υψηλών συχνοτήτων: Λόγος RT Υψηλών προς RT Μεσαίων συχνοτήτων*

Είδος μουσικής	**Επιθυμητός RT [s]**	**Λόγος Χαμηλών συχνοτήτων**	**Λόγος Υψηλών συχνοτήτων**
Εκκλησιαστικού οργάνου [7]	>2.5	1.40	1.00
Ρομαντική, Κλασική [7]	1.8 - 2.2	1.40	1,00
Σύγχρονη Κλασική [7]	1.6 - 1.8	1.40	1.00
Όπερα [7]	1.3 - 1.8	1.40	1.00
Μουσική Δωματίου [7]	1.4 - 1.7	1.40	1.00
Rock* [9, 10]	0.6 - 1.2	1.00	1.00
Jazz σύνολο χωρίς πνευστό όργανο [1]	0.8	-	-
Jazz σύνολο με πνευστό όργανο [1]	0.6	-	-

Επίσης, οι Α. Σωτηροπούλου *et al.* [11] έχουν διερευνήσει την ακουστική αντίληψη σε ζωντανές συναυλίες Jazz, χρησιμοποιώντας την τεχνική της σημειολογικής διαφορικής ανάλυσης. Στη μελέτη αυτή προέκυψαν τρεις ανεξάρτητοι Παράγοντες αντίληψης της ακουστικής και είναι οι Καθαρότητα (Clarity), Τονική Ποιότητα (Tonal Quality) και Εγγύτητα (Proximity). Οι Παράγοντες ή αλλιώς Κριτήρια αντίληψης συνοψίζονται στον Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2: Ανεξάρτητοι Παράγοντες αντίληψης της ακουστικής στην περιοχή της σκηνής κατά τη διάρκεια Jazz συναυλιών [11].

Ανεξάρτητοι Παράγοντες αντίληψης της ακουστικής	**Κλίμακες αξιολόγησης**	**Συντελεστής φόρτισης**	**Ποσοστό Διακύμανσης**
ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ	Dark - Bright	-0.80	35.34
	Clear - Dull	0.78	
(CLARITY)	Clear - Blurred	0.78	
	Colored - Dark	0.78	
	Preferred - non Preferred	0.74	
	Clear - Noisy	0.70	
	Full Bodied - Thin	0.65	
ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ	Smooth - Harsh	0.85	17.1
	Gentle - Harsh	0.83	
(TONAL QUALITY)	Harsh - Velvety	-0.83	
	Smooth - Sharp	0.73	
	Smooth - Rough	0.71	
	Cool - Warm	-0.52	
ΕΓΓΥΤΗΤΑ	Near - Distant	0.84	8.56
	Near - Remote	0.83	
(PROXIMITY)	Live - Dead	0.83	
	Brilliant - Dim	0.67	

Είναι γεγονός ότι από τα τέλη του 20^{ου} αιώνα και μετά, οι επιστημονικές έρευνες αυτές έχουν συντελέσει στο να σχεδιαστούν με επιτυχία όλες οι αίθουσες που στεγάζουν μουσικά σύνολα Κλασικής μουσικής. Αντίθετα, για τα σύνολα της Jazz, οι χώροι που στεγάζονται είτε αποτελούν αίθουσες άλλων μουσικών ειδών, είτε έχουν σχεδιαστεί με βάση τη διαίσθηση (Πίνακας 4.3).

Πίνακας 4.3: Βασικά χαρακτηριστικά αιθουσών που χρησιμοποιούνται για Jazz συναυλίες (μη κατειλημμένες) [12]. *Λόγος Χαμηλών συχνοτήτων: Λόγος RT Χαμηλών προς RT Μεσαίων συχνοτήτων, Λόγος Υψηλών συχνοτήτων: Λόγος RT Υψηλών προς RT Μεσαίων συχνοτήτων*

Αίθουσες Ακροατηρίου	**Όγκος [m^3]**	**RT [s]**	**Min and max Χωρητικότητα (άτομα)**	**Λόγος Χαμηλών συχνοτήτων**	**Λόγος Υψηλών συχνοτήτων**
1-‘Banquet’ (Μέγαρο Μουσικής, Αθήνα)	8200	1.16	630 - 1000	1.02	1.00
2-‘Μητρόπουλος’(Μέγαρο Μουσικής, Αθήνα)	3560	1.42	494	1.19	1.00
3- The Party Bar (Αθήνα)	378	0.92	150 - 200	0.96	0.96
4- Jazz Point (Αθήνα)	888	1.13	150 - 250	1.23	0.92
5- 1002 Νύχτες (Αθήνα)	2352	0.49	300 - 400	1.08	0.94
6- Κεραμείο (Αθήνα)	352	0.85	100 - 150	1.06	0.85
7- Half Note (Αθήνα)	382	0.72	180	0.90	1.00
8- The Forge (Jazz, Pop, Ethnic κ.λπ, Λονδίνο)	530	1.16	160	0.76	0.95

5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

5.1 Επιλογή μεθόδου έρευνας

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ακολουθήθηκε η ερευνητική μεθοδολογία της πειραματικής διαδικασίας. Ο λόγος της επιλογής αυτής είναι διττός: Πρώτον, οι επιστημονικές έρευνες που αφορούν στον χώρο της Jazz μουσικής είναι ελάχιστες, γεγονός που δεν επέτρεψε την επιλογή μιας αμιγώς βιβλιογραφικής προσέγγισης. Από την άλλη μεριά, το πείραμα ως ερευνητική διαδικασία βασίζεται σε πρωτογενές υλικό, τα αποτελέσματα του οποίου καθιστούν τη μελέτη πιο αξιόπιστη. Συνεπώς, για τις ανάγκες της μελέτης δημιουργήθηκε ένα ηχητικό πείραμα αντίληψης. Στο πείραμα αυτό συμμετείχαν μουσικοί, καθηγητές και ηχολήπτες, οι οποίοι κατείχαν σε έναν σημαντικό βαθμό την εμπειρία, το γνώρισμα του ήχου και την αντίληψη πάνω στο μουσικό ιδίωμα αυτό, υποδεικνύοντάς μας τις βέλτιστες κατά τη γνώμη τους τιμές των ζητούμενων χρόνων αντήχησης πάνω στο συχνοτικό φάσμα του ήχου.

5.2 Σχεδιασμός και διεξαγωγή πειράματος

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα ανηχοϊκά ηχητικά δείγματα. Για την ακρόασή τους, χρησιμοποιήθηκαν ακουστικά κλειστού τύπου, έτσι ώστε να επιτευχθεί η βέλτιστη δυνατή ηχητική απομόνωση των εξωτερικών παραγόντων στους συμμετέχοντες. Τα ηχογραφήματα αυτά αποτελούν αποσπάσματα Jazz μουσικών συνθέσεων παιγμένα είτε από solo όργανα, είτε από σύνολο μουσικών οργάνων. Το πρώτο ηχογράφημα (A) που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα απόσπασμα από το μουσικό κομμάτι “Autumn Leaves” του συνθέτη Joseph Kosma, παιγμένο από solo piano. Το δεύτερο (B) πρόκειται για το ίδιο ακριβώς απόσπασμα, με τη διαφορά του ότι έχουν προστεθεί μπάσο και πιατίνια. Το τρίτο ηχογράφημα (C) πρόκειται για το κομμάτι “ ‘round midnight” του συνθέτη Thelonious Monk, το οποίο έχει ερμηνευτεί από solo σαξόφωνο, ενώ το τέταρτο (D) είναι το ίδιο ηχογράφημα, με την προσθήκη συνοδείας πιάνου μπάσου και πιατινιών.

Ο λόγος της επιλογής των εν λόγω μουσικών αποσπασμάτων είναι ότι ανήκουν σε ένα σύνηθες ρεπερτόριο της Jazz μουσικής, έχοντας ταυτόχρονα το πλεονέκτημα του να υπάρχει ένα κομμάτι σε αντικειμενικά αργή ταχύτητα (‘round midnight), και ένα ταχύτερο (Autumn Leaves). Επίσης στο ένα υπάρχει η παρουσία πνευστού οργάνου (‘round midnight), πράγμα το οποίο αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές κατηγορίες μουσικών οργάνων στη Jazz μουσική, ενώ αντιθέτως στο άλλο δεν υπήρχε. Συνεπώς με τα δύο κομμάτια αυτά, στη solo και στην πλήρη εκδοχή τους, καλύπτεται μια ευρεία απεικόνιση του ρεπερτορίου της Jazz. Να σημειωθεί επίσης ότι ένας ακόμα λόγος επιλογής των συγκεκριμένων κομματιών, ήταν η περιορισμένη διαθεσιμότητα των ανηχοϊκών δειγμάτων.

Όλα τα ηχογραφήματα δημιουργήθηκαν από τα εξής ανηχοϊκά δείγματα (Πίνακας 5.1):

- (i) Το tenoro σαξόφωνο από την ψηφιακή βιβλιοθήκη του λογισμικού Odeon Software [13].
- (ii) Δύο μουσικά δείγματα πιάνου όπου: το πρώτο (a) προήλθε από την ψηφιακή βιβλιοθήκη του Odeon Software [13] ενώ το δεύτερο (b), ηχογραφήθηκε από επαγγελματία μουσικό μέσω midi πλήκτρων με τη χρήση του ψηφιακού μουσικού οργάνου Grand II Piano [14] το οποίο παρέχει ανηχοϊκά μουσικά δείγματα.
- (iii) Δύο μουσικά δείγματα μπάσου (a, b) τα οποία ηχογραφήθηκαν από επαγγελματία μουσικό σε direct line σύνδεση.
- (iv) Δείγματα από πιατίνια Crash, Ride και Hi Hat με ποικίλες δυναμικές παιξίματος στο καθένα από την ιστοσελίδα του Electronic Music Studio του Πανεπιστημίου της Iowa, USA [15], τα οποία προσαρμόστηκαν σε ανθρώπινο παίξιμο από επαγγελματία με midi εντολές μέσω trigger. Με αυτά δημιουργήθηκαν δύο ηχογραφήματα (a, b) τα οποία αφορούν στα δύο Jazz κομμάτια στην full band εκδοχή τους.

Πίνακας 5.1: Ανηχοϊκά δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν στα μουσικά αποσπάσματα.

Μουσικό Απόσπασμα	Τίτλος	Μουσικά Δείγματα	Διάρκεια [s]
A	Autumn Leaves	Πιάνο (ii, a)	51
B	Autumn Leaves	Πιάνο (ii, a), Μπάσο (iii, a), Drums (iv, a)	53
C	‘round Midnight	Σαξόφωνο (i)	36
D	‘round Midnight	Σαξόφωνο (i), Πιάνο (ii, b),Μπάσο (iii, b), Drums (iv, b)	38

Παράγοντες αντίληψης μουσικής Jazz

Είναι οι ανεξάρτητοι Παράγοντες αντίληψης που περιγράφουν την ακουστική εμπειρία της Jazz μουσικής όπως αυτοί έχουν προκύψει από την έρευνα της ομάδας του Ε.Μ.Π. [11] (Κεφάλαιο 4).
Στην έρευνά μας τα μουσικά αποσπάσματα αξιολογήθηκαν με τα εξής Κριτήρια:
«Καθαρότητα» (Clarity),
«Τονική Ποιότητα» (Tonal Quality),
«Εγγύτητα» (Proximity).

Ψηφιακή επεξεργασία

Το DAW (Digital Audio Workstation) που χρησιμοποιήθηκε είναι το Cubase (version 5) της εταιρείας Steinberg, στο οποίο υπάρχει δυνατότητα ηχογράφησης, ψηφιακής επεξεργασίας, μίξης ήχου και αναπαραγωγής μουσικής. Με το λογισμικό αυτό, προστέθηκε στα ανηχοϊκά ηχογραφήματα μια ψηφιακή προσομοίωση ενός χώρου, του οποίου οι συμμετέχοντες είχαν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν το χρόνο αντήχησής του (RT) σε διαφορετικές συχνοτικές περιοχές. Συγκεκριμένα, έγινε διαχωρισμός του χώρου αυτού σε τρεις περιοχές συχνοτήτων (Χαμηλές, Μεσαίες και Υψηλές), όπου μπορούσε να γίνει ταυτόχρονα μεταβολή του RT των Χαμηλών και Υψηλών, κρατώντας σταθερό το RT των Μεσαίων. Θα γίνει εκτενέστερη ανάλυση στο Παράρτημα Β.

Σε προηγούμενη έρευνα [1], βρέθηκε ότι ο βέλτιστος χρόνος αντήχησης για το υπό μελέτη μουσικό είδος, κυμαίνεται από 0.60 – 0.80 s. Με γνώμονα το αποτέλεσμα αυτό, επιλέχθηκε να οριστεί η τιμή του άνω ορίου (0.80 s) ως σταθερή για το φάσμα των Μεσαίων συχνοτήτων σε όλα τα μουσικά αποσπάσματα, για κάθε Κριτήριο αντίληψης. Ο λόγος που έγινε η επιλογή της τιμής αυτής αντί της ελάχιστης, οφείλεται στο ότι γενικά απαιτείται πολύ μεγαλύτερο κόστος στο να επιτευχθεί αύξηση στο χρόνο αντήχησης ενός χώρου, σε σχέση με το κόστος που απαιτείται για να μειωθεί. Για τη μείωση του χρόνου αντήχησης, υπάρχει η δυνατότητα τοποθέτησης κατάλληλων ηχοαπορροφητικών υλικών, μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίησή του σε τιμές σχεδόν μηδενικές, όπως στην περίπτωση ενός ανηχοϊκού θαλάμου (7 – 10 ms) [16]. Στην αντίθετη περίπτωση, δηλαδή της αύξησης του χρόνου αντήχησης, υπάρχει αντίστοιχα η δυνατότητα αφαίρεσης κάποιων ηχοαπορροφητικών υλικών του χώρου, για την ενίσχυση των ανακλάσεων, αλλά αυτό επιτυγχάνεται μέχρι ενός σημείο. Στην περίπτωση που είναι ανάγκη να επιτευχθεί υψηλότερη αντήχηση, θα πρέπει να αυξηθεί ο όγκος του εκάστοτε χώρου, πράγμα το οποίο είναι είτε απαγορευτικό, είτε απαιτεί υψηλό κόστος.

Μίξη ανηχοϊκών δειγμάτων

Στα μουσικά αποσπάσματα Β και D, όπου έπρεπε να γίνει μίξη πολλών ανηχοϊκών δειγμάτων (π.χ. κρουστά, μπάσο, πιάνο, σαξόφωνο), χρειάστηκε να ρυθμιστούν οι εντάσεις, έτσι ώστε να υπάρχει μια αντικειμενικά σωστή ισορροπία μεταξύ των μουσικών οργάνων. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο μίξης με "Ροζ Θόρυβο" (Pink Noise). Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, οι εντάσεις των οργάνων ρυθμίζονται ανάλογα με την ευαισθησία του αυτιού στη συγκεκριμένη περιοχή συχνοτήτων αυτού του θορύβου, έτσι ώστε κανένα όργανο να μην υπερκαλύπτει κάποιο άλλο και ταυτόχρονα να μην υπερκαλύπτεται από κάποιο άλλο όργανο. Έτσι, εξασφαλίζεται στα μουσικά όργανα μια αντικειμενικά σωστή ισορροπία μεταξύ των εντάσεών τους. Η μέθοδος αυτή εφαρμόστηκε στο Cubase 5.

Συμμετέχοντες στο πείραμα

Στο πείραμα αντίληψης αυτό έλαβαν μέρος εξήντα δύο άτομα. Ο στόχος μας ήταν να γίνει η επιλογή των συμμετεχόντων με κριτήρια τέτοια ώστε το δείγμα των ακροατών να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο ομοιογενές. Πράγματι, έγινε η επιλογή μιας ομάδας ατόμων που αποτελούνταν από μουσικούς, ερμηνευτές, καθηγητές και ηχολήπτες του μουσικού ιδιώματος της Jazz, οι οποίοι σύμφωνα με την εμπειρία και τις γνώσεις τους πάνω σε αυτό το είδος, κρίθηκαν κατάλληλοι για να συμμετάσχουν. Τα κριτήρια αυτά ορίστηκαν, ώστε να προκύψουν όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα αποτελέσματα και να ελαχιστοποιηθεί η πιθανότητα τυχαίων σφαλμάτων στις ενδείξεις. Το πλήθος των συμμετεχόντων έπρεπε να είναι αρκετά αυξημένο και ταυτόχρονα όχι πολύ μεγάλο, με απώτερο στόχο να εξασφαλισθεί η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και να καταστεί το πείραμα πρακτικώς εφικτό, αντίστοιχα.

Χώροι διεξαγωγής πειράματος

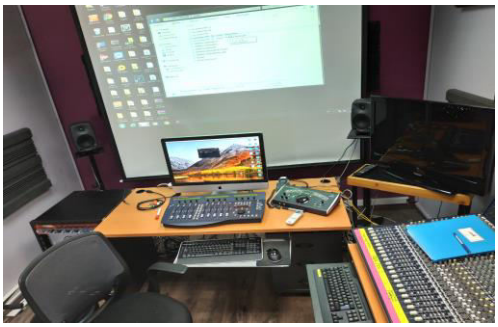
Η πειραματική διαδικασία διεξάχθηκε σε εφτά διαφορετικούς χώρους οι οποίοι αποτελούνταν από τρία ωδεία (Max Hallecker, Βυζάντειο Ωδείο Μεγάρων και Music Art Lab) όπου χρησιμοποιήθηκαν μικρές αίθουσες διδασκαλίας σε ήσυχο περιβάλλον, και τέσσερα επαγγελματικά studio ηχογράφησης και παραγωγής (Ant1 Media Lab Studio 1, Emphasis Studio, Riverside Studio και Studio Xronos)

Στόχος μας ήταν να μην υπάρχουν εξωτερικά οπτικά και ηχητικά ερεθίσματα κατά την πειραματική διαδικασία, έτσι ώστε ο κάθε συμμετέχων να ήταν συγκεντρωμένος όσο το δυνατόν περισσότερο στο πείραμα χωρίς να αποσπάται η προσοχή του από εξωτερικούς παράγοντες. Στις παρακάτω φωτογραφίες απεικονίζονται οι χώροι αυτοί.

Εικόνα 5.1: Ωδείο Max Hallecker (Ν. Σμύρνη)

Εικόνα 5.2: Βυζάντειο Ωδείο (Μέγαρα)

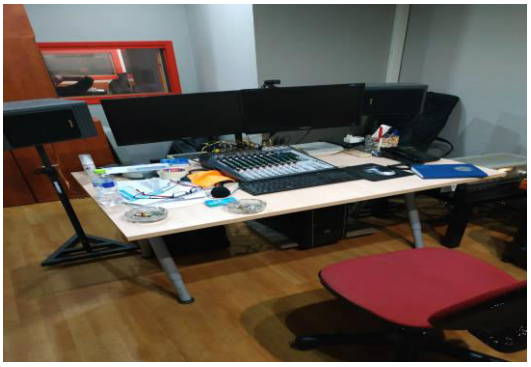
Εικόνα 5.3: Music Art Lab (Μέγαρα)



Εικόνα 5.4: Ant1 Media Lab Studio 1 (Μαρούσι)

Εικόνα 5.5: Emphasis Studio (Αθήνα)

Εικόνα 5.6: Riverside Studio (Άγιοι Ανάργυροι)



Εικόνα 5.7: Studio Xronos (Νίκαια)

Πειραματική διαδικασία

Αρχικά, ο κάθε συμμετέχων συμπλήρωνε ένα ερωτηματολόγιο, στο οποίο οι απαντήσεις του θα τον ομαδοποιούσαν ανάλογα με το φύλο, την ηλικία, την σχέση του με τη Jazz μουσική κ.λπ. Το ερωτηματολόγιο αυτό παρουσιάζεται στο Παράρτημα F στο τέλος του παρόντος τεύχους, μαζί με τον Πίνακα συμπλήρωσης των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια, λάμβανε θέση μπροστά από ένα midi keyboard στο οποίο συμπεριλαμβάνονταν τα δυο χειριστήρια που θα χρησιμοποιούσε, ενώ ταυτόχρονα του δινόταν ένα ζευγάρι ακουστικά κλειστού τύπου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε σε όλους τους συμμετέχοντες έτσι ώστε να εξασφαλίσουμε την κοινή για όλους ποιότητα αναπαραγωγής της μουσικής.

Στη συνέχεια ακολουθούσε η ακρόαση. Πριν από όλα τα μουσικά αποσπάσματα, ορίσαμε πρωτίστως να εκφωνούνται ηχογραφημένες οι οδηγίες του πειράματος για δύο λόγους. Αφενός, για να γίνει κατανοητή η διαδικασία και ο σκοπός του πειράματος και αφετέρου, για την εξοικείωση με το ηχητικό περιβάλλον των ακουστικών. Το κείμενο της αφήγησης των οδηγιών συμπεριλαμβάνεται στο Παράρτημα Ε. Έπειτα, ακολουθούσαν τα τέσσερα σε σειρά μουσικά αποσπάσματα, στα οποία έπρεπε να γίνει η διαδικασία τρεις φορές συνολικά στο καθένα, δηλαδή μία για κάθε Κριτήριο αντίληψης. Προς το τέλος των αρχικών οδηγιών, δίνονταν διευκρινίσεις στον ακροατή σχετικά με το πρώτο Κριτήριο αντίληψης, που είχε να κάνει με την Καθαρότητα του ήχου (φωτεινός-σκοτεινός ήχος). Σύμφωνα με αυτό, ο ακροατής υποδείκνυε τους βέλτιστους χρόνους αντήχησης των Χαμηλών και Υψηλών συχνοτήτων και για τα τέσσερα ηχογραφήματα σύμφωνα με την εμπειρία του, στρέφοντας κάθε φορά τα δυο χειριστήρια του midi keyboard.

Να σημειωθεί ότι επειδή δεν υπήρχε χρονικός περιορισμός, το κάθε μουσικό απόσπασμα επαναλαμβανόταν τόσο όσο χρειαζόταν, από την αρχή ως το τέλος του, μέχρις ότου να καταλήξει ο ακροατής στις ιδανικές γι' αυτόν τιμές. Τη στιγμή που λάμβανε απόφαση γι' αυτό το ζεύγος τιμών, υποδείκνυε να γίνει η μετάβαση στο επόμενο ηχογράφημα πατώντας ένα τυχαίο πλήκτρο του midi keyboard. Ο λόγος που η εντολή αυτή προτάθηκε στον ακροατή στις αρχικές οδηγίες, είναι αφενός, για να μην αποσπάται με άσκοπες και ανώφελες κινήσεις που θα τον διέκοπταν από τη ροή του πειράματος και αφετέρου για να αποφευχθεί απ' αυτόν η υπόδειξη μέσω της ομιλίας του. Το ζεύγος των βέλτιστων τιμών που ανά πάσα στιγμή αναγραφόταν στο ψηφιακό περιβάλλον του DAW, καταγραφόταν στον Πίνακα αποτελεσμάτων τη στιγμή που μας δινόταν η εντολή να μεταβούμε στο επόμενο ηχογράφημα.

Στο πέρας της ακρόασης και του τέταρτου μουσικού αποσπάσματος, ακολουθούσαν ηχογραφημένες οδηγίες που αφορούσαν στο δεύτερο Κριτήριο αντίληψης, το οποίο ήταν η Τονική Ποιότητα του ήχου (απαλός-τραχύς ήχος). Σύμφωνα με το Κριτήριο αυτό ο ακροατής υποδείκνυε ξανά τις βέλτιστες τιμές των χρόνων αντήχησης στον ίδιο επαναλαμβανόμενο κύκλο των μουσικών αποσπασμάτων. Με παρόμοια διαδικασία έγινε και ο τρίτος κύκλος ακροάσεων, ο οποίος αφορούσε στο τρίτο και τελευταίο Κριτήριο, την Εγγύτητα του χώρου (κοντινός-απόμακρος ήχος). Ανάλογα τον ακροατή, ο χρόνος της πειραματικής διαδικασίας κυμάνθηκε από 15-30 λεπτά.

5.3 Ανάλυση Πειραματικών Δεδομένων

Στα δεδομένα που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία, εφαρμόστηκε στατιστικός έλεγχος της Ανάλυσης της Διακύμανσης (Analysis of Variance ή αλλιώς ANOVA). Ο λόγος που εφαρμόστηκε αυτός ο έλεγχος, ήταν για να εξεταστεί εάν μεταξύ των μουσικών αποσπασμάτων υπήρξαν σημαντικές διαφορές στους χρόνους αντήχησης που προέκυψαν από τους ακροατές.

Στον στατιστικό έλεγχο αυτό έγινε η μηδενική υπόθεση, δηλαδή οι μέσες τιμές των χρόνων αντήχησης να διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους. Συνήθως το επίπεδο σημαντικότητας στην Ανάλυση Διακύμανσης είναι 5%, αλλά στην περίπτωσή αυτή τέθηκε στο 1%, διότι το δείγμα δεν είναι αρκετά μεγάλο έτσι ώστε να υπάρχει κανονική κατανομή στις τιμές. Για το επίπεδο σημαντικότητας της εργασίας αυτής, αν επαληθευτεί η μηδενική υπόθεση, σημαίνει ότι για 100 επαναλήψεις του πειράματος, θα επαληθεύονται οι ενενήντα εννέα. Στο Παράρτημα C θα ακολουθήσει αναλυτικότερη περιγραφή της μεθόδου Ανάλυσης της Διακύμανσης.

Για την ανάλυση των αποτελεσμάτων, ομαδοποιήθηκαν όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν κατά την πειραματική διαδικασία. Αρχικά έγινε ο διαχωρισμός των αποτελεσμάτων που αφορούσαν στους χρόνους αντήχησης των Χαμηλών και Υψηλών συχνοτήτων αντίστοιχα. Έπειτα, έγινε ομαδοποίηση ανάλογα στο ποιο ηχογράφημα αφορούσαν και τέλος σύμφωνα με το Κριτήριο αντίληψης. Συνεπώς, για τις Χαμηλές και αντίστοιχα για τις Υψηλές συχνότητες προέκυψαν για την καθεμία ομάδα δώδεκα στήλες αποτελεσμάτων, διότι είχαμε τέσσερα ηχογραφήματα με τρία Κριτήρια αντίληψης για το καθένα, όπου κάθε στήλη περιείχε 62 αποτελέσματα, όσος ήταν και ο αριθμός της πληθυσμιακής ομάδας. Στη συνέχεια δημιουργήθηκε μια τρίτη ομάδα τιμών που αφορούσαν στις Μεσαίες συχνότητες, η οποία είχε ομοίως ισάριθμες στήλες και αριθμό αποτελεσμάτων. Στο Κεφάλαιο 5.2 αναφέρθηκε ότι ο χρόνος αντήχησης των Μεσαίων συχνοτήτων κρατήθηκε σταθερός καθόλη τη διάρκεια του πειράματος, οπότε η ομάδα αυτή περιείχε σε όλα της τα αποτελέσματα μια κοινή τιμή χρόνου αντήχησης που είχε οριστεί για τις συχνότητες αυτές.

Για την ερμηνεία των αποτελεσμάτων, χρειάστηκε να γίνει η αναγωγή των τιμών των αποτελεσμάτων σε λόγους ως προς τις τιμές των Μεσαίων συχνοτήτων, έτσι ώστε να εκφράζεται η ισορροπία μεταξύ αυτών. Αποτέλεσμα ήταν να προκύψουν στήλες με τιμές λόγων Χαμηλών προς Μεσαίες και Υψηλών προς Μεσαίες συχνότητες αντίστοιχα, για κάθε Κριτήριο αντίληψης σε κάθε μουσικό απόσπασμα.

Στόχος στην ανάλυση της διακύμανσης ήταν η διερεύνηση των στατιστικά σημαντικών διαφορών μεταξύ των λόγων των χρόνων αντήχησης, όπου θα εξετασθούν τυχούσες διαφορές στις μέσες τιμές μεταξύ των ομάδων (within groups) και εφόσον προκύψει ότι δεν υπάρχουν σημαντικές διαφορές (significance άνω του 1%) θα σημαίνει ότι για το εκάστοτε Κριτήριο αντίληψης που θα αφορά στο εκάστοτε μουσικό απόσπασμα, δεν θα απαιτείται αύξηση ή μείωση του χρόνου αντήχησης του φάσματος συχνοτήτων που εξετάσθηκε.

Για την ανάλυση της διακύμανσης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα SPSS 23.0 (Παράρτημα C)

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Με βάση την έρευνα προηγούμενης μελέτης [1], ορίστηκε η σταθερή τιμή χρόνου αντήχησης στα 0.80 s για τη συχνοτική περιοχή των Μεσαίων συχνοτήτων (Κεφάλαιο 5.2). Στα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν (Παράρτημα D), έγινε η αναγωγή στους αντίστοιχους λόγους ως προς τις Μεσαίες συχνότητες, και για κάθε ομάδα τιμών υπολογίστηκε ο μέσος όρος. Τα αποτελέσματα αυτών των διεργασιών συνοψίζονται στον Πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1: Μέσοι όροι λόγων των συχνοτικών περιοχών ως προς τις Μεσαίες συχνότητες ανά ομάδα τιμών.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ		ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ ΤΩΝ ΛΟΓΩΝ			
		A	B	C	D
ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ (CLARITY)	High/Mid Freq.	1,19	0,96	2,05	1,78
	Low/Mid Freq.	1,24	0,98	1,80	1,23
ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ (TONAL QUALITY)	High/Mid Freq.	1,00	0,92	1,65	1,40
	Low/Mid Freq	0,86	1,04	1,54	1,06
ΕΓΓΥΤΗΤΑ (PROXIMITY)	High/Mid Freq.	0,99	0,92	1,75	1,40
	Low/Mid Freq	1,04	1,05	1,55	1,21

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η διαδικασία της Ανάλυσης της Διακύμανσης, μέσω της οποίας βρέθηκαν οι τυπικές αποκλίσεις για κάθε ομάδα αντίστοιχα (Πίνακας 6.2)

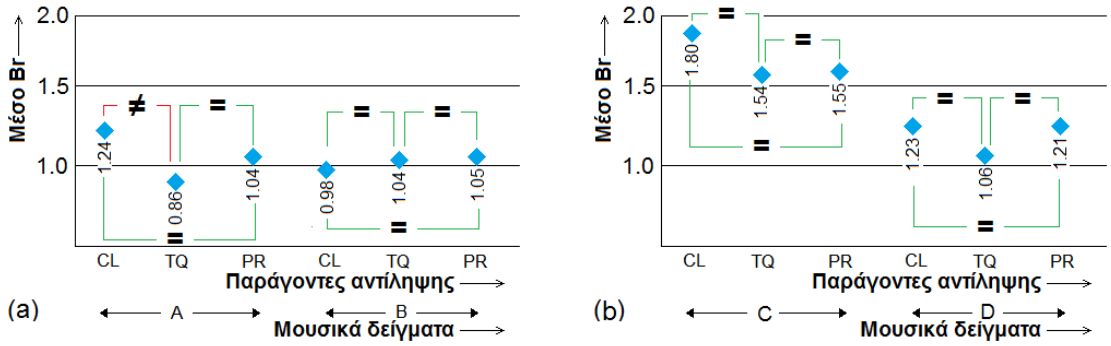
Πίνακας 6.2: Τυπική απόκλιση για κάθε ομάδα τιμών.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ		ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ [s]			
		A	B	C	D
ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ (CLARITY)	High/Mid Freq.	±0,78	±0,55	±0,98	±1,11
	Low/Mid Freq.	±0,91	±0,53	±1,23	±1,05
ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ (TONAL QUALITY)	High/Mid Freq.	±0,60	±0,66	±1,03	±0,90
	Low/Mid Freq	±0,45	±0,76	±1,00	±0,90
ΕΓΓΥΤΗΤΑ (PROXIMITY)	High/Mid Freq.	±0,56	±0,65	±1,16	±0,98
	Low/Mid Freq	±0,71	±0,88	±1,05	±0,90

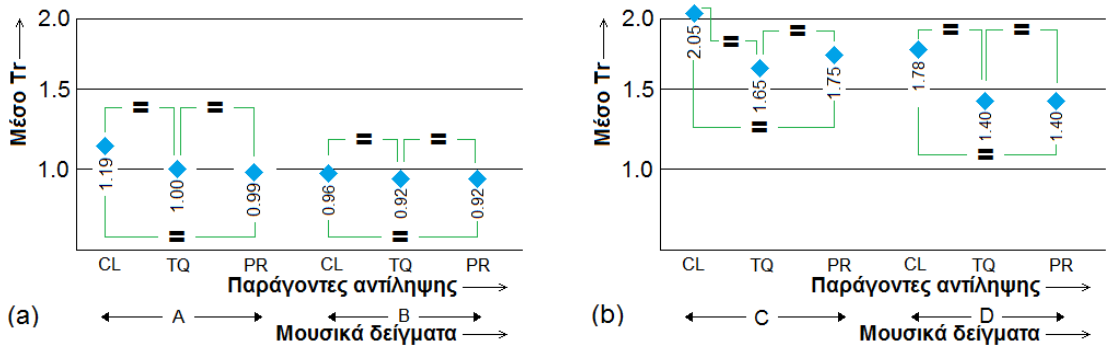
Για καθένα από τα τέσσερα μουσικά αποσπάσματα (A,B,C,D), εντοπίστηκε μέσω της Ανάλυσης της Διακύμανσης αν υπάρχουν στατιστικές διαφορές μεταξύ των ομάδων που αφορούσαν στα Κριτήρια αντίληψής τους, σε κάθε πιθανό συνδυασμό (Πίνακας 6.3, Διαγράμματα 6.1, 6.2).

Πίνακας 6.3: Αποτελέσματα της Ανάλυσης της Διακύμανσης ανά ζεύγη ομάδων Κριτηρίων αντίληψης για κάθε μουσικό απόσπασμα αντίστοιχα. *CL, TQ, PR: Κριτήρια αντίληψης Καθαρότητα, Τονική Ποιότητα και Εγγύτητα αντίστοιχα. Br: Λόγος Χαμηλών προς Μεσαίες συχνότητες, Tr: Λόγος Υψηλών προς Μεσαίες συχνότητες*

Μουσικό δείγμα	**Παράγοντες αντίληψης**	**F-στατιστικό**		***Επίπεδο Σημαντικότητας***	
		Br	**Tr**	**Br**	**Tr**
A	CL *vs* TQ	8.62	2.54	*0.004*	*0.12*
	TQ *vs* PR	2.62	0.05	*0.11*	*0.94*
	CL *vs* PR	1.96	2.79	*0.16*	*0.09*
B	CL *vs* TQ	0.35	0.12	*0.55*	*0.72*
	TQ *vs* PR	0.01	0.00	*0.94*	*0.96*
	CL *vs* PR	0.39	0.68	*0.53*	*0.17*
C	CL *vs* TQ	1.76	5.10	*0.18*	*0.03*
	TQ *vs* PR	0.01	0.28	*0.91*	*0.60*
	CL *vs* PR	1.45	2.44	*0.23*	*0.12*
D	CL *vs* TQ	0.78	4.50	*0.37*	*0.04*
	TQ *vs* PR	0.86	0.00	*0.35*	*0.99*
	CL *vs* PR	0.00	4.29	*0.97*	*0.04*



Διαγράμματα 6.1.a, 6.1.b: Λόγος Χαμηλών συχνοτήτων μεταξύ Κριτηρίων αντίληψης για κάθε μουσικό απόσπασμα αντίστοιχα. *(a) A: solo πιάνο, B: Πιάνο, μπάσο, κρουστά. (b) C: solo σαξόφωνο, D: Σαξόφωνο, πιάνο, μπάσο, κρουστά. Br: Λόγος Χαμηλών προς Μεσαίες συχνότητες, CL, TQ, PR: Κριτήρια αντίληψης Καθαρότητα, Τονική Ποιότητα και Εγγύτητα αντίστοιχα. " = ": Περίπτωση όπου δεν υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των ομάδων, "≠ ": Περίπτωση όπου υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των ομάδων*

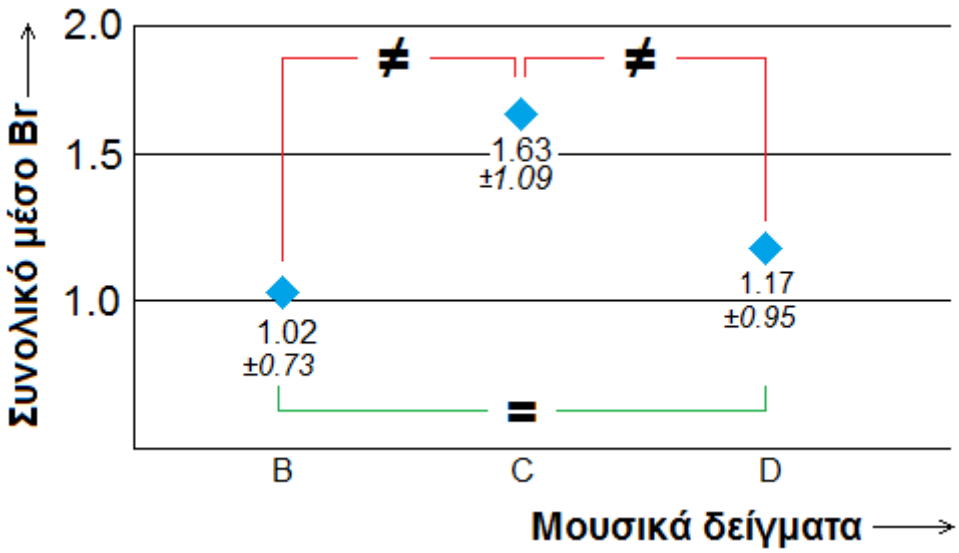


Διαγράμματα 6.2.a, 6.2.b: Λόγος Υψηλών συχνοτήτων μεταξύ Κριτηρίων αντίληψης για κάθε μουσικό απόσπασμα αντίστοιχα. *(a) A: solo πιάνο, B: πιάνο, μπάσο, κρουστά. (b) C: solo σαξόφωνο, D: σαξόφωνο, πιάνο, μπάσο, κρουστά. Tr: λόγος Χαμηλών προς Μεσαίες συχνότητες, CL, TQ, PR: Κριτήρια αντίληψης Καθαρότητα, Τονική Ποιότητα και Εγγύτητα αντίστοιχα. " = ": περίπτωση όπου δεν υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των ομάδων*

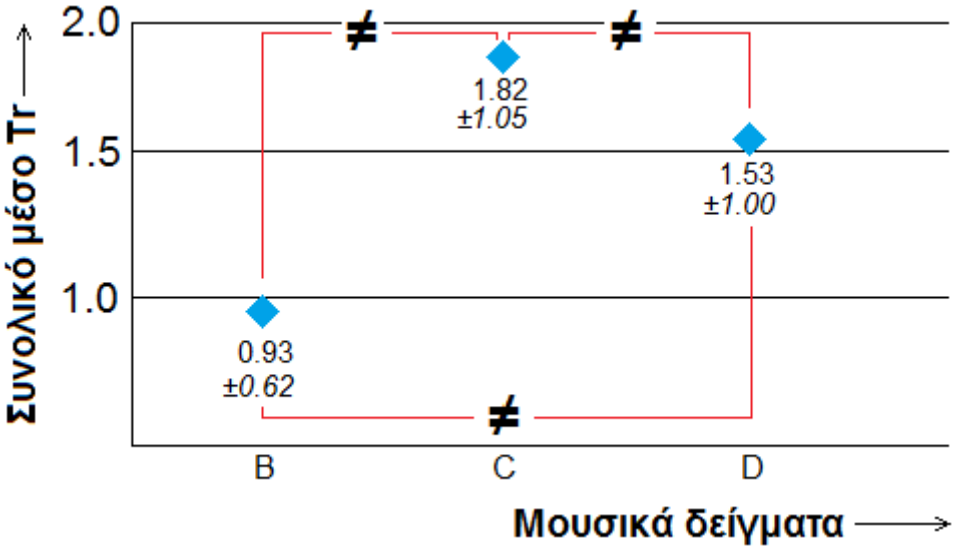
Στα μουσικά αποσπάσματα στα οποία δεν βρέθηκε καμία στατιστική διαφορά μεταξύ των Κριτηρίων αντίληψης, συγχωνεύθηκαν όλες οι τιμές τους και υπολογίστηκε ο κεντρικός μέσος όρος τους, ανά συχνοτική περιοχή. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε Ανάλυση της Διακύμανσης μεταξύ τους όπως φαίνεται στον Πίνακα 6.4 και απεικονίζεται στα διαγράμματα 6.3, 6.4.

Πίνακας 6.4: Αποτελέσματα της Ανάλυσης της Διακύμανσης μεταξύ των μουσικών αποσπασμάτων B,C και D στις αντίστοιχες συχνοτικές περιοχές.

Λόγοι συχνοτήτων	**Μουσικά δείγματα**	**F-στατιστικό**	***Επίπεδο Σημαντικότητας***
Bass to Middle Ratio	B *vs* C	40.07	*0.00*
	B *vs* D	2.84	*0.09*
	C *vs* D	19.01	*0.00*
Treble to Middle Ratio	B *vs* C	93.44	*0.00*
	B *vs* D	45.25	*0.00*
	C *vs* D	7.42	*0.01*



Διάγραμμα 6.3: Γενικός μέσος όρος λόγων Χαμηλών συχνοτήτων. *Br: Λόγος Χαμηλών προς Μεσαίες συχνότητες, B,C,D: Μουσικά αποσπάσματα. " = ": Περίπτωση όπου δεν υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των ομάδων, "≠ ": Περίπτωση όπου υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των ομάδων*



Διάγραμμα 6.4: Γενικός μέσος όρος λόγων Υψηλών συχνοτήτων. *Tr: Λόγος Χαμηλών προς Μεσαίες συχνότητες, B,C,D: Μουσικά αποσπάσματα. "≠ ": Περίπτωση όπου υπάρχει στατιστική διαφορά μεταξύ των ομάδων*

7. ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα εργασία, ερμηνεύονται τα αποτελέσματα που αφορούν στο 2^{ο} ('B') και στο 4^{ο} ('D') μουσικό δείγμα, τα οποία αφορούν σε μια μπάντα που στην πρώτη περίπτωση περιλαμβάνει πνευστό, ενώ στη δεύτερη περίπτωση δεν περιλαμβάνει. Η περίπτωση μπάντας είναι τυπική για Jazz συναυλίες, σε αντίθεση με το solo όργανο.

Τα παρόντα ευρήματα (Κεφάλαιο 6), δηλώνουν σαφώς ότι υπάρχει διαφοροποίηση στη φασματική κατανομή του χρόνου αντήχησης ανάλογα με το αν περιλαμβάνεται πνευστό όργανο ή όχι στη μπάντα. Δηλαδή, όταν η μπάντα έχει πνευστό, οι ακροατές προτίμησαν αυξημένο χρόνο αντήχησης στις Υψηλές συχνότητες ως προς τις Μεσαίες. Αντίθετα, όταν στη μπάντα δεν υπήρχε πνευστό, ο επιθυμητός χρόνος αντήχησης σύμφωνα με τους ακροατές, παρέμεινε σταθερός σε όλο το φάσμα (Διαγράμματα 6.1.a, 6.1.b, 6.2.a, 6.2.b, 6.3 και 6.4). Το εύρημα αυτό ερμηνεύεται αμέσως παρακάτω.

Ο ήχος που παράγεται από το tenoro σαξόφωνο (μουσικό δείγμα 'D') ανήκει βασικά στη Μεσαία περιοχή του φάσματος, ήτοι δεν διαθέτει συνιστώσες Χαμηλών συχνοτήτων. Συνεπώς, αυτή η περιοχή του φάσματος δεν απασχόλησε καθόλου τους ακροατές, δηλαδή δεν υπέδειξαν καμία μεταβολή στο χρόνο αντήχησης στην περιοχή αυτή. Αντίθετα, οι ακροατές έκριναν σκόπιμο ότι χρειάζεται αύξηση στο χρόνο αντήχησης των Υψηλών συχνοτήτων. Η προτίμηση αυτή συνάδει με το γεγονός ότι τα περισσότερα πνευστά όργανα, συμπεριλαμβανομένου και του tenoro σαξοφώνου, ως εκ της φύσης τους χρειάζονται συνιστώσες και στην Υψηλή περιοχή του φάσματος.

Η εφαρμογή της Ανάλυσης της Διακύμανσης (Πίνακας 6.3, Διαγράμματα 6.1.a, 6.1.b), έδειξε ότι τα παραπάνω αποτελέσματα δεν είχαν στατιστικά σημαντική διαφορά μεταξύ των τριών Κριτηρίων αντίληψης που εξετάστηκαν (Πίνακας 4.2). Αυτό το αποτέλεσμα σημαίνει **είτε** ότι πράγματι η επιθυμητή φασματική κατανομή δεν ήταν διαφορετική μεταξύ των τριών Κριτηρίων αντίληψης, **είτε** ότι η διασπορά των απόψεων των ακροατών ήταν πολύ μεγαλύτερη εντός ενός εκάστου Κριτηρίου αντίληψης από ότι μεταξύ των Κριτηρίων. Η πρώτη υπόθεση απορρίπτεται δεδομένου ότι τα Κριτήρια αντίληψης που εξετάστηκαν, είναι ανεξάρτητα (independent) μεταξύ τους. Συνεπώς, αποδεχόμεθα τη δεύτερη υπόθεση, δηλαδή ότι η φασματική κατανομή του χρόνου αντήχησης που υπέδειξαν οι ακροατές, υπήρξε ανεξάρτητη ενός εκάστου Κριτηρίου αντίληψης που εξετάστηκε.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η περίπτωση Jazz μπάντας με πνευστό είναι η συνηθέστερη. Συνεπώς, ο μηχανικός οφείλει κατ' αρχάς να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις αυτού του μουσικού σχήματος ως προς τον ακουστικό σχεδιασμό. Σύμφωνα λοιπόν με αυτό, η αίθουσα πρέπει να σχεδιαστεί ώστε να έχει σχετικά αυξημένο χρόνο αντήχησης στις Υψηλές συχνότητες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί πρώτον, με τον κατάλληλο συνδυασμό ανακλαστικών και ηχοαπορροφητικών υλικών στο χώρο. Δηλαδή, συνιστάται η εισαγωγή ηχοαπορροφητικών Υψηλών συχνοτήτων (πορώδη ηχοαπορροφητικά (Κεφάλαιο 3.2)) στο χώρο να είναι εξαιρετικά φειδωλή, - δεδομένου μάλιστα ότι τέτοιου είδους υλικά αναπόφευκτα υφίστανται στην αίθουσα, όπως π.χ. μοκέτες, κουρτίνες, ακροατήριο κ.λπ. Εξυπακούεται ότι στην υπόλοιπη περιοχή του φάσματος (Μεσαίες και Χαμηλές συχνότητες), ο σχετικά μειωμένος χρόνος αντήχησης που συνιστάται [1], απαιτεί την εισαγωγή αντίστοιχων ηχοαπορροφητικών υλικών (μεμβράνες και/ή συνδυασμός μεμβρανών με πορώδη υλικά (Κεφάλαιο 3.2)). Εναλλακτικά, η σχετική αύξηση του χρόνου αντήχησης στις Υψηλές συχνότητες μπορεί να επιτευχθεί με την εισαγωγή ηλεκτρονικής αντήχησης στο χώρο. Η δεύτερη αυτή περίπτωση εξασφαλίζει ευέλικτη ακουστική, δηλαδή δίνει

τη δυνατότητα να προσαρμόζεται η ηχητική της αίθουσας ανάλογα με το αν η μπάντα περιέχει πνευστό όργανο η όχι κατά τα ανωτέρω.

Παρακάτω, θα γίνει αναφορά σε μερικές γνωστές αίθουσες της Αθήνας που φιλοξενούν ενίοτε Jazz συναυλίες. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.3, οι αίθουσες 'The Party Bar', 'Κεραμείο' και 'Half Note' κρίνονται κατάλληλες για Jazz μουσικά σύνολα χωρίς την παρουσία πνευστών οργάνων, διότι η φασματική τους κατανομή είναι ομοιόμορφη, ενώ ταυτόχρονα ο χρόνος αντήχησής τους είναι στα όρια του συνιστώμενου (0.8 s) για Jazz μουσική [1]. Σε αυτές τις αίθουσες είναι εύκολο να αυξηθεί ο χρόνος αντήχησης στις Υψηλές συχνότητες με τη χρήση ηλεκτρονικής αντήχησης (παραπάνω παράγραφος), έτσι να ανταποκριθούν στην περίπτωση Jazz μπάντας με πνευστό. Σε αντίθεση με τα παραπάνω, η αίθουσα 'Banquet' έχει μεν ομοιόμορφη συχνοτική κατανομή, πράγμα που συμφωνεί με τις απαιτήσεις για Jazz μουσικά σύνολα χωρίς πνευστά όργανα, αλλά ο χρόνος αντήχησής της (1.16 s) είναι σχετικά αυξημένος σε σχέση με το συνιστώμενο για το μουσικό αυτό είδος. Οι αίθουσες 'Μητρόπουλος' και 'Jazz Point', για τον ίδιο λόγο κρίνονται ακατάλληλες έχοντας και αυτές αυξημένο χρόνο αντήχησης αφενός (1.42 s και 1.13 s αντίστοιχα) και αφετέρου αυξημένη αναλογία Χαμηλών προς Μεσαίες συχνότητες (1.19 και 1.23 αντίστοιχα). Ακατάλληλη επίσης κρίνεται η αίθουσα 'The Forge', διότι παρατηρείται στη συχνοτική κατανομή ότι οι Χαμηλές συχνότητες είναι εξασθενημένες σε σχέση με τις υπόλοιπες που είναι σε ισορροπία μεταξύ τους, ενώ ταυτόχρονα έχει και αυτή αυξημένο χρόνο αντήχησης (1.16 s) σε σχέση με τον συνιστώμενο. Τέλος, στην περίπτωση της αίθουσας '1000 και 2 Νύχτες', παρατηρείται ότι ο χρόνος αντήχησης είναι αισθητά μειωμένος (0.49 s) σε σχέση με τον βέλτιστο συνιστώμενο, με αποτέλεσμα να κρίνεται ακατάλληλη, παρόλο που η συχνοτική κατανομή της είναι αποδεκτή. Οι περισσότερες από αυτές τις αίθουσες έχουν σχεδιαστεί εμπειρικά, και αποδεικνύεται ότι με την έλλειψη επιστημονικής γνώσης είναι δυνατόν να υπάρξουν αστοχίες στο σχεδιασμό. Μάλιστα, δύο από αυτές τις αίθουσες, συγκεκριμένα η 'Banquet' και 'Μητρόπουλος' έχουν σχεδιαστεί εξ αρχής για πολλαπλές χρήσεις και για μουσική δωματίου αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τα παρόντα ευρήματα, μια αίθουσα μικρής χωρητικότητας σχεδιασμένη για Rock μουσική, θα μπορούσε να φιλοξενήσει Jazz συναυλίες, διότι σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες [9, 10] (Πίνακας 4.1), ο σχεδιασμός τους απαιτεί σχετικά μικρούς χρόνους αντήχησης και ομοιόμορφη κατανομή της στο φάσμα. Τέλος, η παρούσα εργασία επιβεβαίωσε αυτό που είναι εμπειρικά γνωστό στους κύκλους των μουσικών, δηλαδή ότι μια Κλασική αίθουσα συναυλιών η οποία ως γνωστόν διαθέτει πλούσια μπάσα, είναι εντελώς ακατάλληλη για την ερμηνεία Jazz μουσικής (Πίνακας 4.1).

8. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα πειραματικά αποτελέσματα, προέκυψε ότι στις αίθουσες για Jazz μουσική απαιτείται σχετικά αυξημένη αντήχηση στις Υψηλές συχνότητες, συγκεκριμένα όταν το μουσικό σύνολο περιλαμβάνει πνευστό όργανο, το οποίο αποτελεί τη συνηθέστερη περίπτωση μιας Jazz μπάντας. Η συνθήκη αυτή μπορεί να επιτευχθεί είτε με τον κατάλληλο συνδυασμό ανακλαστικών/ηχοαπορροφητικών υλικών, είτε με την εισαγωγή ηλεκτρονικής αντήχησης στο χώρο. Σε μια τέτοια αίθουσα, είναι ευχερές να μειωθούν οι αυξημένες Υψηλές συχνότητες, απλά με την εισαγωγή επιπλέον πορώδους ηχοαπορροφητικής επένδυσης (Υψηλών συχνοτήτων). Σε αυτή την περίπτωση, η αίθουσα γίνεται κατάλληλη (μετατρέπεται) για να φιλοξενήσει Jazz μπάντα χωρίς πνευστό, σύμφωνα με τα παρόντα ευρήματα, που υπαγορεύουν η επιθυμητή αντήχηση να είναι ομοιόμορφη στο φάσμα.

Τα παραπάνω αποτελέσματα καθιστούν σαφές ότι οι αίθουσες σχεδιασμένες για Κλασική μουσική είναι ακατάλληλες για το είδος της Jazz, ενώ αίθουσες μικρής χωρητικότητας για Rock μουσική είναι δυνατόν να φιλοξενήσουν Jazz συναυλίες.

Τα αποτελέσματα αυτά, διαφωτίζουν ως προς κάποιες απόψεις το σχεδιασμό μιας αίθουσας για Jazz μουσική. Περαιτέρω μελέτες θα μπορούσαν να διερευνήσουν την καταλληλότητα και επιπλέον φυσικών ακουστικών παραμέτρων, οι οποίες είναι δυνατόν να σχετίζονται με το σχεδιασμό τέτοιου είδους αιθουσών. Τέλος, η επιβεβαίωση των παρόντων ευρημάτων κάτω από την περιβαλλοντική πολυπλοκότητα ζωντανών Jazz συναυλιών, χρησιμοποιώντας Jazz μουσικόφιλο ακροατήριο, απομένει να διερευνηθεί.

9. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Karagiannis, I., Chounti, M.A., Sotiropoulou, A.G. Optimal reverberation in Jazz venues; Experimental investigation, *Proceedings of The Institute of Acoustics/10th International Conference in Auditorium Acoustics*, Hamburg, Germany, 4–6 October, (2018).

[2] http://www.rootsrockreview.com/history-of-blues-1/

[3] https://santafe.com/article/a-history-of-blues-music

[4] https://schoolworkhelper.net/blues-music-history-origins/

[5] https://www.liveabout.com/blues-music-history-4150423

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

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

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

[9] Larsen, N.W.A., Thompson, E.R., Gade, A.C. Suitable reverberation times for halls for rock and pop music*, J. Acoust. Soc. Am.*, **127**, 247–255, (2010).

[10] Larsen, N.W.A. Rock and Pop Venues: Acoustic and Architectural Design, Springer, Denmark, (2014).

[11] Sotiropoulou, A.G., Savvopoulou, A., Karagiannis, I., Tzouvadakis, A.J. Subjective evaluation of acoustics in Jazz clubs, *Acoustics Bulletin*, **36(5)**, 24–31, (2011).

[12] Karagiannis, I., Xanthoulis, G., Trispiotis, A., Tzouvadakis, J., Sotiropoulou, A.G. Subjective evaluation of stage acoustics in live Jazz concerts; Multi dimensional description of evaluations, *Proceedings of The Institute of Acoustics/9th International Conference in Auditorium Acoustics*, **37**, Paris, France, 29–31 October, (2015).

[13] http://odeon.dk/downloads/anechoic-recordings/

[14] http://www.steinberg.net/index.php?id=933&L=1

[15] http://theremin.music.uiowa.edu/MIS.html

[16] Eastland, G.C., Buck, W.C. Reverberation characterization inside an anechoic test chamber at the Weapon Sonar Test Facility at NUWC Division Keyport,*Proc. Mtgs. Acoust.* ***26****, 030003, (2016)*

[17] Τροχίδης, Α. Ηχομόνωση Βασικές αρχές και εφαρμογές. Εκδόσεις Fibran, Παράρτημα Α, 29-36, (2006).

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

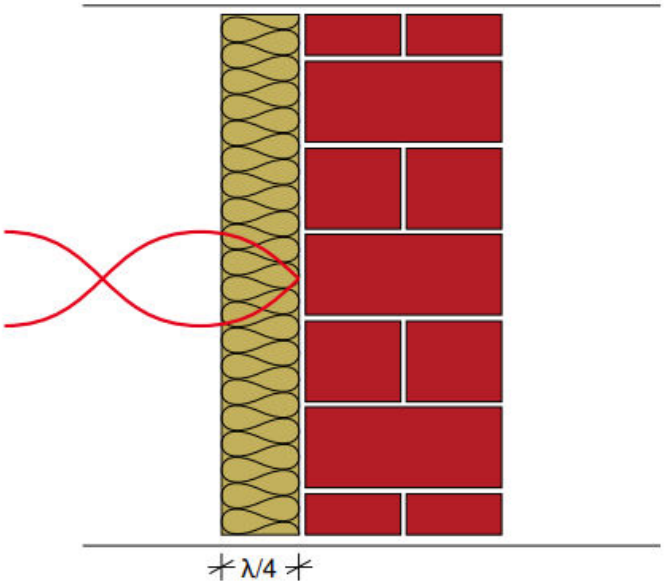
ΗΧΟΑΠΟΡΡΟΦΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Όλα τα δομικά υλικά, επιχρίσματα και επικαλύψεις που χρησιμοποιούνται στην πράξη, παρουσιάζουν συνήθως χαμηλή ηχοαπορρόφηση. Σε περιπτώσεις όπου απαιτείται αυξημένη ηχοαπορρόφηση (όπως το να γίνει ακουστικός σχεδιασμός αιθουσών, μείωση θορύβου σε βιομηχανικούς χώρους κ.λπ.) χρησιμοποιούνται ειδικά υλικά και διατάξεις. Τα ηχοαπορροφητικά υλικά και οι διατάξεις τους, διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες:

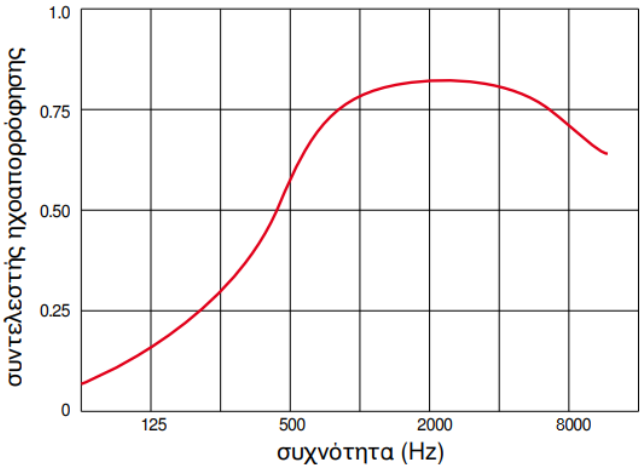
α) Πορώδη ηχοαπορροφητικά
β) Μεμβράνες ή ηχοαπορροφητικά Χαμηλών συχνοτήτων
γ) Συνηχητές (Helmholtz Resonators)

α. Πορώδη ηχοαπορροφητικά

Τα πορώδη υλικά (πετροβάμβακας, υαλοβάμβακας, ινώδη), είναι υλικά με ανοικτούς πόρους. Η βασική ακουστική λειτουργία των υλικών αυτών είναι η απορρόφηση του ήχου μέσα από την μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε θερμότητα μέσα στους πόρους.



Εικόνα Α.1: Σχέση μήκους κύματος - πάχους πορώδους [17].



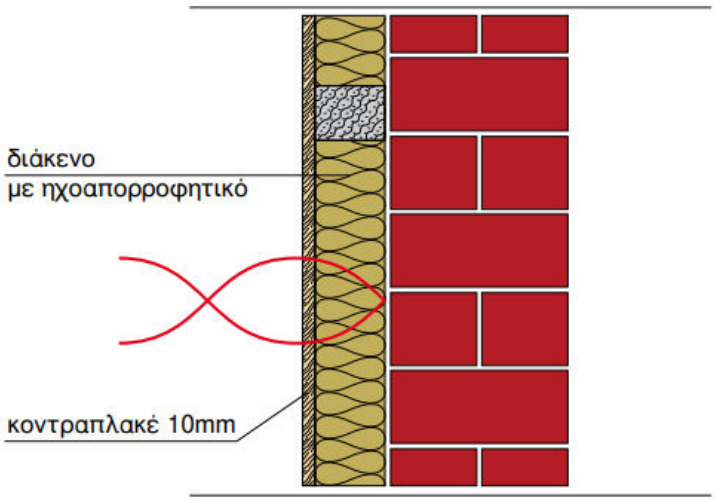
Διάγραμμα Α.1: Συντελεστής ηχοαπορρόφησης πορώδους υλικού [17].

Τα πορώδη παρουσιάζουν μεγάλη ηχοαπορρόφηση στις Υψηλές συχνότητες (μικρά μήκη κύματος). Όπως φαίνεται στην Εικόνα Α.1, σε ένα ηχητικό κύμα που προσπίπτει σε μια επιφάνεια, το μέγιστο πλάτος του εμφανίζεται στο 1/4 ή τα 3/4 του μήκους κύματος. Επομένως, για αποτελεσματική ηχοαπορρόφηση σε μια συγκεκριμένη συχνότητα, θα πρέπει το πάχος του ηχοαπορροφητικού να είναι συγκρίσιμο με το 1/4 του μήκους κύματος στη συχνότητα αυτή. Σε αντίθετη περίπτωση η ηχοαπορρόφηση είναι χαμηλή.

Για την αύξηση της ηχοαπορρόφησης σε χαμηλότερες συχνότητες, απαιτείται είτε αύξηση του πάχους του υλικού, είτε αύξηση της απόστασης του πορώδους υλικού από την σταθερή επιφάνεια τοποθέτησης.

β. Μεμβράνες (Ηχοαπορροφητικά Χαμηλών συχνοτήτων)

Οι διατάξεις αυτές αποτελούνται από λεπτά, εύκαμπτα φύλλα που τοποθετούνται σε απόσταση από μια σταθερή άκαμπτη επιφάνεια, έτσι ώστε να σχηματίζεται μεταξύ τους διάκενο αέρα (Εικόνα Α.2). Στις διατάξεις αυτές, η μετατροπή της ηχητικής ενέργειας σε θερμότητα προκαλείται από την αντίσταση του φύλλου σε απότομη κάμψη και την αντίσταση του εγκλωβισμένου στο διάκενο αέρα να συμπιεστεί.



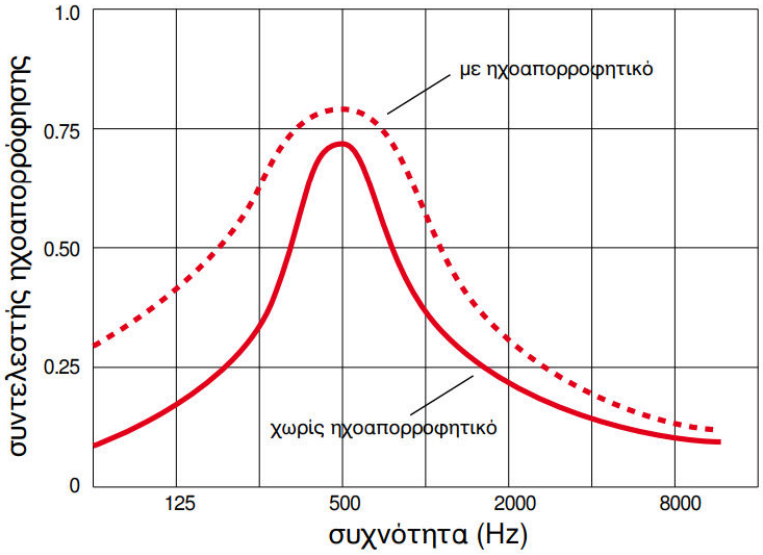
Εικόνα Α.2: Διάταξη μεμβράνης [17].

Η ηχοαπορρόφηση των μεμβρανών είναι μέγιστη στην συχνότητα συντονισμού f_R, η οποία καθορίζεται από την επιφανειακή μάζα m΄΄ του φύλλου και το πάχος του διάκενου d και δίνεται από τη σχέση:

$$f_R = \frac{60}{\sqrt{m''d}} \quad \text{(Hz) (m΄΄ σε kg/m}^2\text{ και d σε m)}$$

Η παραπάνω σχέση ισχύει μόνο στην περίπτωση που στο διάκενο υπάρχει αέρας. Σε αντίθεση με τα πορώδη ηχοαπορροφητικά, οι μεμβράνες εμφανίζουν σημαντική ηχοαπορρόφηση στις Χαμηλές συχνότητες.

Για να διερευνηθεί η περιοχή συχνοτήτων όπου η ηχοαπορρόφηση είναι ικανοποιητική, προστίθεται συνήθως ηχοαπορροφητικό υλικό στο διάκενο μεταξύ μεμβράνης και τοίχου (Διάγραμμα Α.2)



Διάγραμμα Α.2: Συντελεστής ηχοαπορρόφησης μεμβράνης [17].

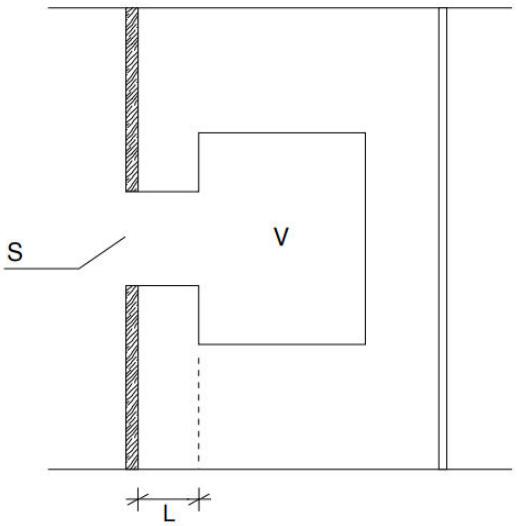
γ. Συνηχητές (Helmholtz Resonators)

Η τρίτη κατηγορία ηχοαπορροφητικών διατάξεων είναι οι συνηχητές, οι οποίοι αποτελούνται βασικά από μια κοιλότητα όγκου V, όπου εγκλωβίζεται αέρας που επικοινωνεί με τον ελεύθερο χώρο με στενό άνοιγμα (λαιμό) διατομής S και μήκους L (Εικόνα Α.3).

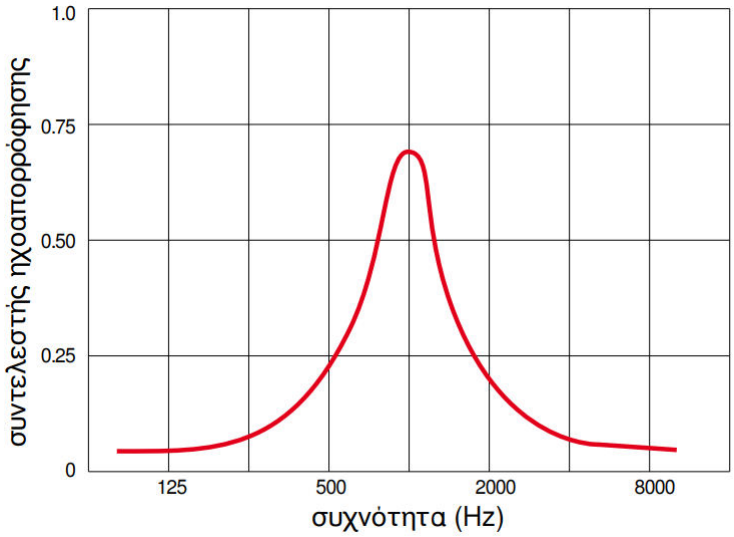
Οι συνηχητές παρουσιάζουν αυξημένη ηχοαπορρόφηση σε μια συγκεκριμένη συχνότητα f_R που δίνεται από τη σχέση:

$$f_R = \frac{320}{2\pi}\sqrt{\frac{S}{VL}} \quad \text{(Hz)}$$

Όπως προκύπτει από την παραπάνω σχέση, η συχνότητα μέγιστης ηχοαπορρόφησης μπορεί να ρυθμιστεί μεταβάλλοντας τη γεωμετρία του συνηχητή. Οι συνηχητές χρησιμοποιούνται για επιλεκτική ηχοαπορρόφηση συγκεκριμένων συχνοτήτων, διότι η ηχοαπορροφητική τους ικανότητα περιορίζεται σε μια πολύ στενή περιοχή συχνοτήτων γύρω από την f_R (Διάγραμμα Α.3).



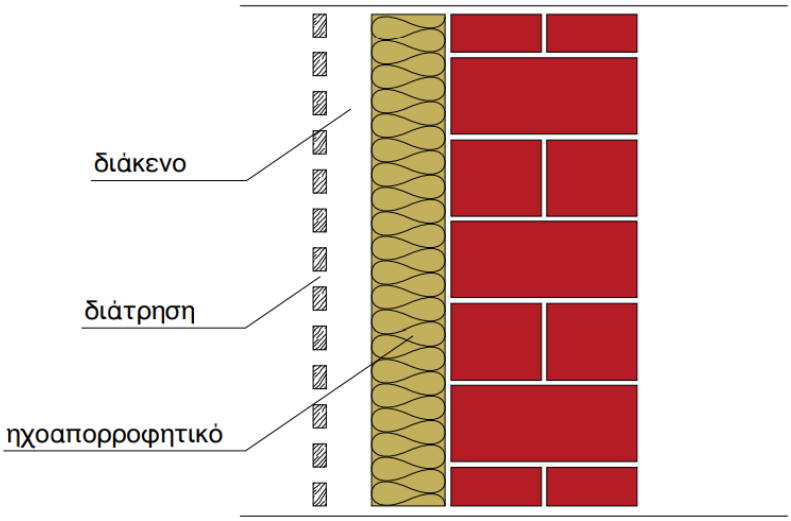
Εικόνα Α.3: Συνηχητής (Helmholtz Resonator) [17].



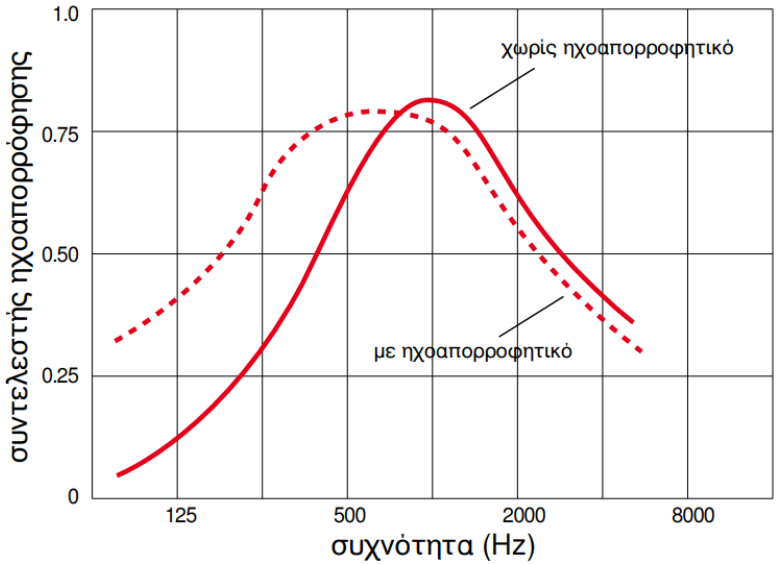
Διάγραμμα Α.3: Συντελεστής ηχοαπορρόφησης συνηχητή [17].

Διάτρητα ηχοαπορροφητικά

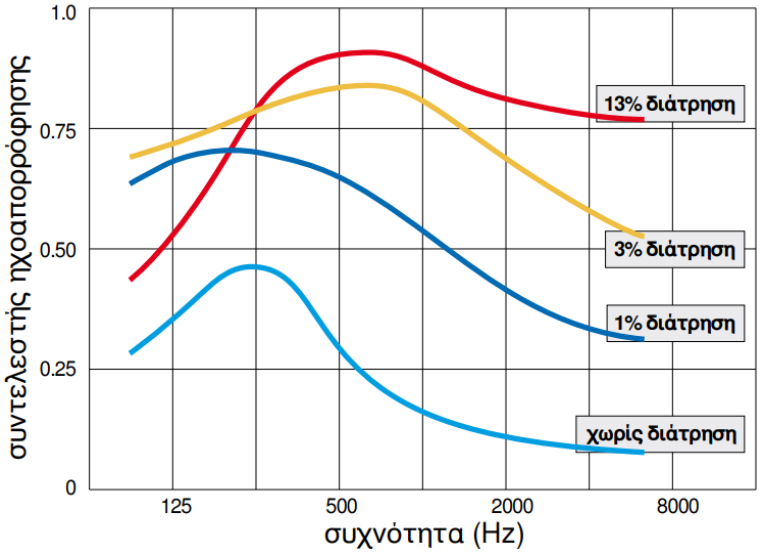
Οι διατάξεις αυτές που αποτελούνται συνήθως από διάτρητα πάνελ, είναι συνδυασμός των προηγούμενων τύπων ηχοαπορροφητικών (Εικόνα Α.4). Το πάνελ μπορεί να είναι κόντρα πλακέ, Novopan, μεταλλικό ή πλαστικό φύλο και λειτουργεί ως μεμβράνη. Οι τρύπες ή σχισμές και το στρώμα αέρα λειτουργούν ως συνηχητές. Το ηχοαπορροφητικό υλικό τέλος, βοηθά στην διεύρυνση της περιοχής ηχοαπορρόφησης (Διάγραμμα Α.4). Η ηχοαπορροφητική ικανότητα των διάτρητων ηχοαπορροφητικών εξαρτάται από το ποσοστό διάτρησης (Διάγραμμα Α.5).



Εικόνα Α.4: Διάταξη διάτρητου ηχοαπορροφητικού [17].



Διάγραμμα Α.4: Συντελεστής ηχοαπορρόφησης διάτρητου ηχοαπορροφητικού [17].



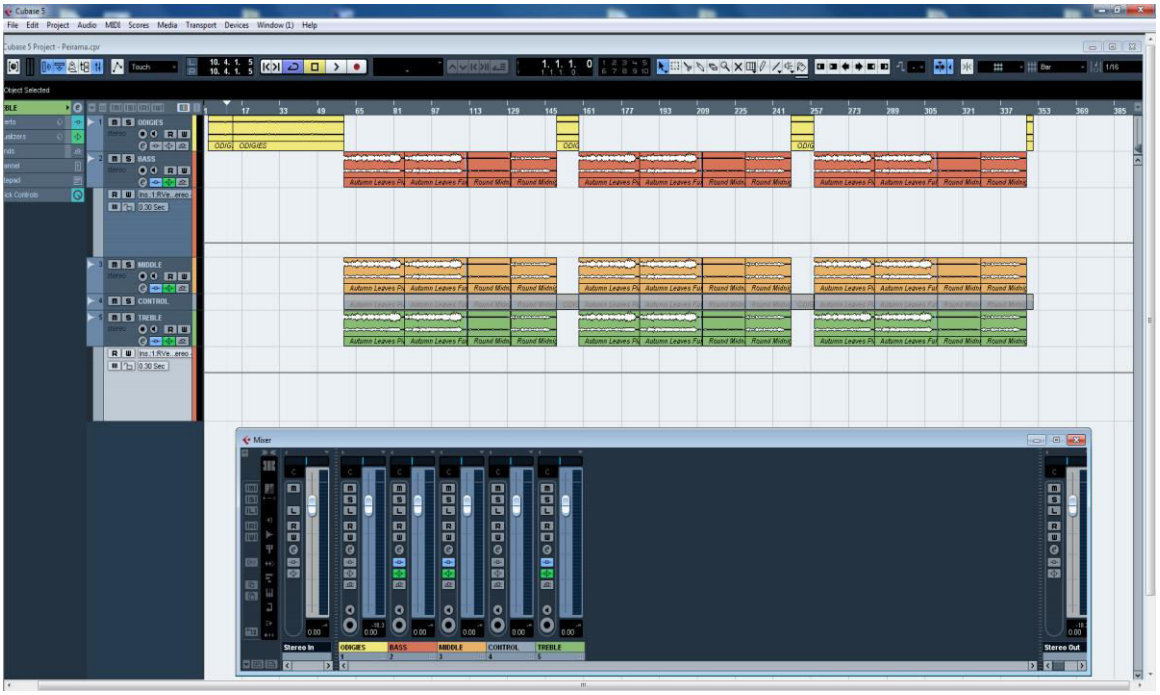
Διάγραμμα Α.5: Επίδραση του ποσοστού διάτρησης στον συντελεστή ηχοαπορρόφησης διάτρητης επένδυσης [17].

Βιβλιογραφική παραπομπή που χρησιμοποιήθηκε: [17]

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ CUBASE

Το Cubase (Version 5.0), είναι το λογισμικό το οποίο χρησιμοποιήθηκε για να γίνει η ηχητική επεξεργασία και αναπαραγωγή. Το τρέχον project του λογισμικού αυτού που απεικονίζεται στην Εικόνα Β.1, είναι αυτό που χρησιμοποιήθηκε κατά την πειραματική διαδικασία.



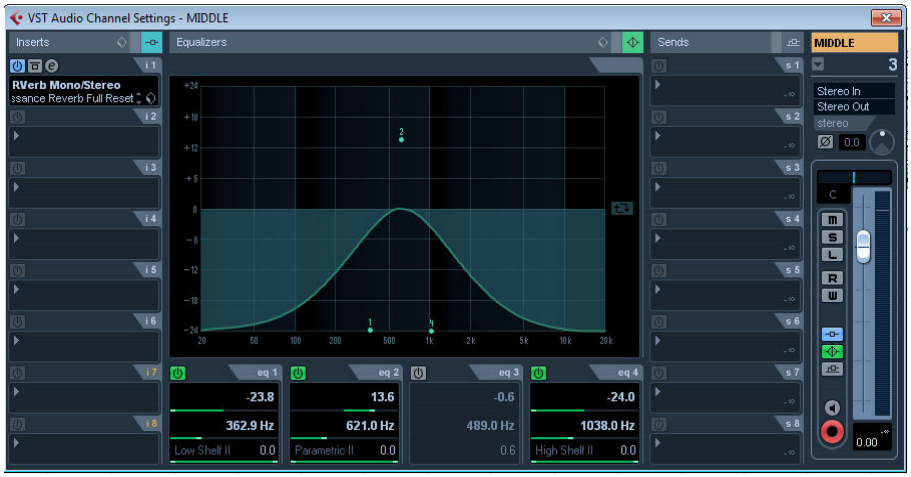
Εικόνα Β.1: Περιβάλλον του Cubase 5.

Στο project αυτό, διακρίνονται οι κυματομορφές των μουσικών αποσπασμάτων, των ηχογραφημένων οδηγιών ως προς τους ακροατές και τα automation tracks στα οποία αναγράφονταν ανά πάσα στιγμή οι RT. Στο κάτω μέρος της εικόνας, υπάρχει ένα παράθυρο επονομαζόμενο ως “Mixer”, το οποίο περιέχει τον ψηφιακό μίκτη των ηχητικών καναλιών που τοποθετήθηκαν τα ανηχοϊκά ηχογραφήματα.

Η λογική που ακολουθήθηκε είναι να τοποθετηθούν τα τέσσερα μουσικά αποσπάσματα στη σειρά, να τα τριπλασιαστούν κατά μήκος έτσι ώστε να υπάρχει μια τετράδα ανά Κριτήριο αντίληψης και τέλος να τριπλασιαστεί το σύνολό τους, ώστε τα τρία όμοια κανάλια ήχου (BASS, MIDDLE, TREBLE) να αναπαράγονται ταυτόχρονα. Στα κανάλια αυτά έγινε διαχωρισμός συχνοτήτων, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η ηχητική επεξεργασία των τριών συχνοτικών φασμάτων ξεχωριστά.

Στο πρώτο (BASS), του οποίου οι κυματομορφές απεικονίζονται με κόκκινο χρώμα, απομονώθηκαν μέσω φίλτρου συχνοτήτων σε ισοσταθμιστή μόνο οι Χαμηλές συχνότητες. Ομοίως στο δεύτερο (MIDDLE) με πορτοκαλί χρώμα, απομονώθηκαν οι Μεσαίες συχνότητες με δύο φίλτρα και στο τελευταίο (TREBLE) με το πράσινο χρώμα απομονώθηκαν οι Υψηλές. Όλοι οι συχνοτικοί διαχωρισμοί απεικονίζονται στις παρακάτω Εικόνες Β.2, Β.3 και Β.4 αντίστοιχα. Με κίτρινο χρώμα ορίστηκαν τα ηχογραφήματα των φωνητικών οδηγιών, τα οποία όπως φαίνεται στην Εικόνα Β.1, λαμβάνουν μέρος στην αρχή και ενδιάμεσα των επαναλήψεων της σειράς των μουσικών αποσπασμάτων, για κάθε Κριτήριο αντίληψης.

Εικόνα Β.2: Ηχητικό κανάλι για τις Χαμηλές συχνότητες.



Εικόνα Β.4: Ηχητικό κανάλι για τις Μεσαίες συχνότητες.

Εικόνα Β.3: Ηχητικό κανάλι για τις Υψηλές συχνότητες.

Σε καθένα από τα τρία κανάλια με τα μουσικά αποσπάσματα (BASS, MIDDLE, TREBLE) προστέθηκε το plugin “Rverb Mono/Stereo”, το οποίο αποτελούσε τον ψηφιακό χώρο. Οι ρυθμίσεις του απεικονίζονται παρακάτω και είναι ίδιες και στα τρία αυτά ηχητικά κανάλια.

Εικόνα B.5: Περιβάλλον της ψηφιακής προσομοίωσης του χώρου μέσω του plugin “Rverb Mono/Stereo”.

-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

Πρόκειται για το χρονικό διάστημα που θα μεσολαβήσει για να φτάσουν οι πρώτες ηχητικές ανακλάσεις.

-Time

Ο χρόνος αντήχησης (RT), ήταν η τιμή η οποία ορίστηκε μεταβλητή στις Χαμηλές και Υψηλές συχνότητες (κανάλια BASS, TREBLE αντίστοιχα) και λαμβάνει ως ελάχιστη τιμή Time = 0.30 s και ως μέγιστη τιμή 3.50 s.

Παρόλο που το δυνατό εύρος κυμαίνεται από 0.1 – 20.0 s έγινε η επιλογή εύρους στα προαναφερθέντα όρια αυτά, διότι αυτές οι ακραίες τιμές δεν είναι εφαρμόσιμες στην πραγματικότητα.

Αυξάνοντας την τιμή του Time, αλλάζει και η κλίση του διαγράμματος Time Response. Να σημειωθεί ότι στις Μεσαίες συχνότητες υπήρχε σταθερό RT = 0.80 s.

-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
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.

Κάτω από τα ηχητικά κανάλια BASS και TREBLE, υπάρχει αντίστοιχα ένα κανάλι automation το οποίο ρυθμίστηκε να αναγράφει ανά πάσα στιγμή την τιμή RT που αφορούσε στο καθένα, με σκοπό την καταγραφή του ζεύγους τιμών κατά τη διάρκεια του πειράματος. Οι μεταβολές τους ήταν συγχρονισμένες με τα δύο περιστρεφόμενα κουμπιά του midi keyboard που χειριζόταν ο κάθε ακροατής.

Να σημειωθεί επίσης, ότι εκτός από τα υπόλοιπα κανάλια ήχου και automation που προαναφέραμε, δημιουργήθηκε ένα ακόμα πανομοιότυπο κανάλι ήχου, το οποίο ονομάστηκε “CONTROL”, το οποίο παρόλο που έχει κυματομορφές, απενεργοποιήθηκαν. Ο λόγος ύπαρξής του, ήταν για να επιτρέψει τον ταυτόχρονο χειρισμό των εντολών για τη μεταβολή των χρόνων αντήχησης, όπως και το να αποτελεί ένα οδηγό έτσι ώστε να γίνεται ευκολότερη η μετάβαση από το ένα ηχογράφημα στο άλλο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ C

ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ

C.1 Μέθοδος Ανάλυσης της Διακύμανσης

Ανάλυση της Διακύμανσης ή Ανάλυση της Διασποράς (ANOVA), ονομάζεται η στατιστική μέθοδος πειραματικού σχεδιασμού, κατά την οποία γίνεται έλεγχος υποθέσεων με στόχο να ανιχνευθούν εάν υπάρχουν διαφορές στις μέσες τιμές περισσότερων από δύο πληθυσμών. Για να δοθεί απάντηση στο συγκεκριμένο ερώτημα, κατασκευάστηκε ένας έλεγχος υποθέσεων με μηδενική υπόθεση H_0, ότι όλα τα δείγματα προέρχονται από πληθυσμούς με την ίδια μέση τιμή έναντι μιας εναλλακτικής υπόθεσης ότι τουλάχιστον δύο μέσες τιμές είναι διαφορετικές. Θεωρητικά, θα μπορούσαν να εφαρμοστούν πολλαπλοί ανεξάρτητοι έλεγχοι, αλλά η συγκεκριμένη μεθοδολογία δεν ενδείκνυται, καθότι με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η πιθανότητα να προκύψει σφάλμα. Συνεπώς, η ANOVA είναι η κατάλληλη μεθοδολογία διότι πρόκειται για συντομότερη διαδικασία ανάλυσης, ενώ έχει και ακρίβεια διάγνωσης.

Οι προϋποθέσεις που θα χρειαστεί να ισχύουν έτσι ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί η ανάλυση της διακύμανσης 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 μεταβλητή

Γίνεται έλεγχος της μηδενικής υπόθεσης Ho: $\mu_1=\mu_2=\ldots=\mu_\kappa$ 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	$\sum_{j=1}^{n}(k_j - 1)$	$\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{k}\left(\bar{x}_j - x_{ji}\right)^2$	$\frac{SS_W}{\sum_{j=1}^{n}(k_j - 1)}$	

Όπου:
x_{ji}: Hi-th τιμή της j-th ομάδας δεδομένων x_{ji}
x_j : Η μέση τιμή της j-th ομάδας δεδομένων
$\bar{\bar{x}}$: Η μέση τιμή των x_{ji} 's
k: Το πλήθος δεδομένων μέσα σε μία ομάδα
n: Το πλήθος ομάδων
SS_B: Το άθροισμα των τετραγώνων μεταξύ ομάδων

SS_W: Το άθροισμα των τετραγώνων εντός ομάδων
MS_B: Τα τετράγωνα των μέσων τιμών μεταξύ ομάδων
MS_W: Τα 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)}.

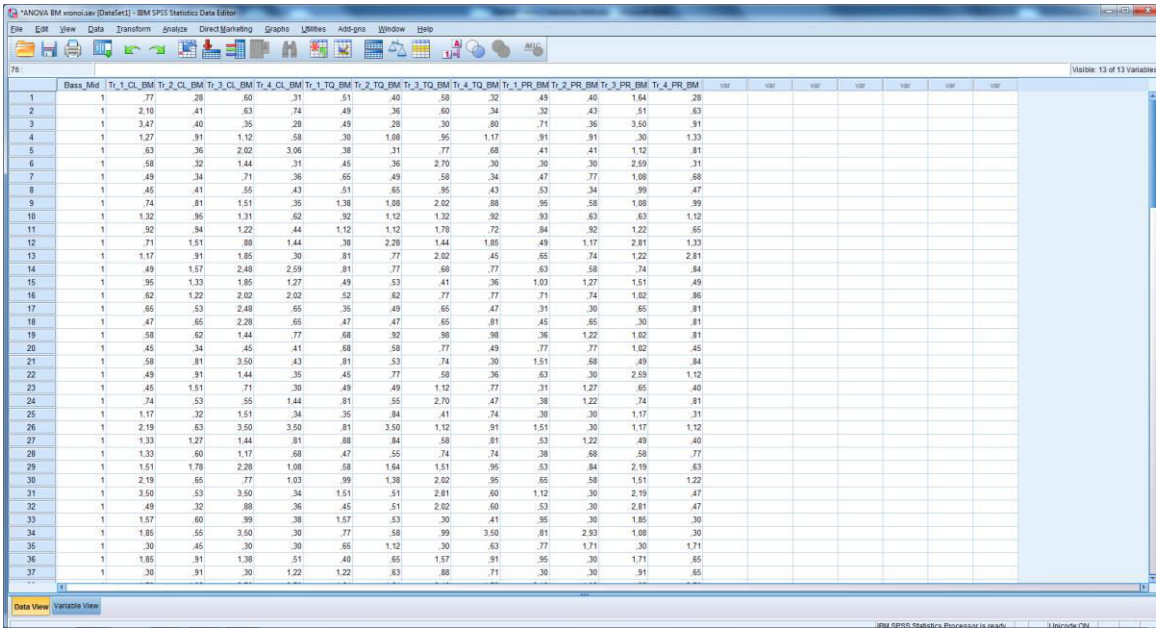
C.2 Μέθοδος Ανάλυσης της Διακύμανσης μέσω του προγράμματος SPSS

Για την εφαρμογή της μεθόδου (ANOVA) χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SPSS (Statistical Package for Social Sciences) στην έκδοση 23.0. Ακολουθεί η περιγραφή και η επεξήγηση στο πως έγινε η εισαγωγή των πειραματικών αποτελεσμάτων στο πρόγραμμα και ποιες λειτουργίες του χρησιμοποιήθηκαν.

Ενδεικτικά, θα αναλυθούν τα βήματα της διαδικασίας για τις τιμές χρόνων αντήχησης των Χαμηλών σε σχέση με τις Μεσαίες συχνότητες.

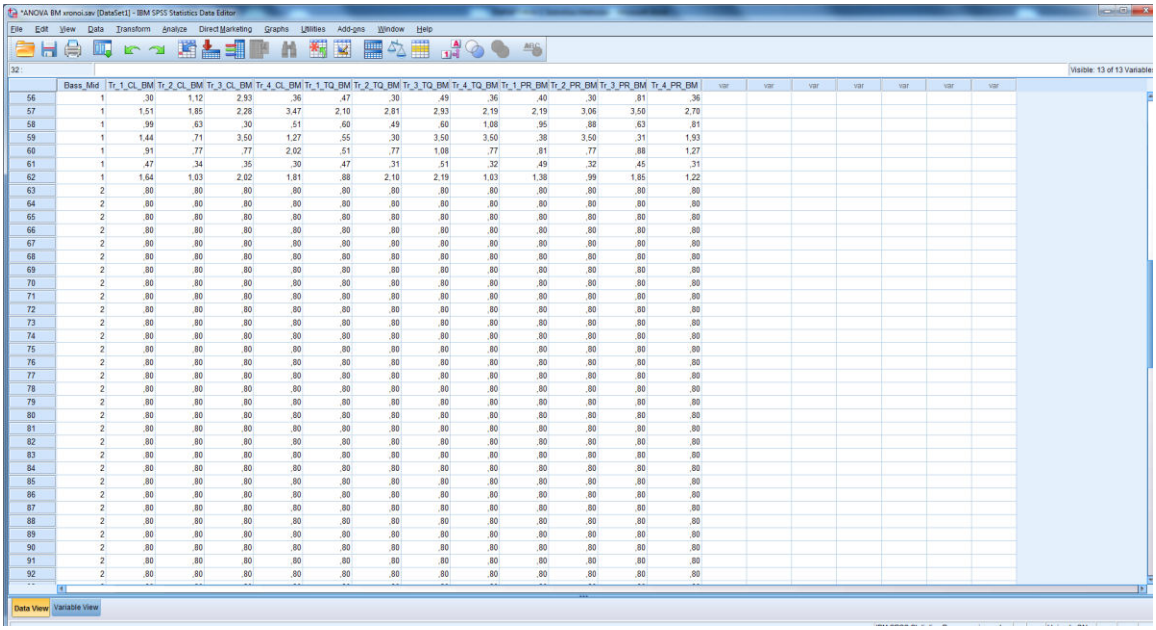
Βήμα 1^{ο}

Στο παράθυρο “Data Editor” δημιουργήθηκαν συνολικά δεκατρείς στήλες. Η πρώτη, η οποία είναι η στήλη-οδηγός που ομαδοποιεί τις τιμές, περιείχε τον κωδικό αριθμό “1” για τις πρώτες εξήντα δύο σειρές όπου αφορούσαν στις τιμές RT των Χαμηλών συχνοτήτων και για τις επόμενες εξήντα δύο σειρές τον κωδικό αριθμό “2” για τις Μεσαίες αντίστοιχα. Οι υπόλοιπες δώδεκα στήλες, περιείχαν τις τιμές των χρόνων αντήχησης των Χαμηλών συχνοτήτων που προέκυψαν από το πείραμα. Στις τέσσερεις πρώτες κατά σειρά από αυτές, εισήχθησαν οι τιμές που προέκυψαν για το πρώτο Κριτήριο αντίληψης (Clarity) και απ’ τα τέσσερα μουσικά δείγματα. Αντίστοιχα, στις επόμενες τέσσερεις εισήχθησαν οι τιμές του δεύτερου κριτηρίου (Tonal Quality) και ομοίως στις τέσσερεις τελευταίες, του τρίτου (Proximity). Οι τιμές αυτές σε κάθε στήλη λάμβαναν χώρο μέχρι την εξηκοστή δεύτερη σειρά. Ακριβώς κάτω απ’ αυτές, για άλλες εξήντα δύο σειρές συμπληρώθηκε η κοινή τιμή του χρόνου αντήχησης των Μεσαίων συχνοτήτων που είχε οριστεί εξ αρχής (0.8 s). Στις παρακάτω εικόνες, φαίνονται οι στήλες με τις τιμές και οι κωδικοποιήσεις τους.



	Bass_Mid	Tr_1_CL_BM	Tr_2_CL_BM	Tr_3_CL_BM	Tr_4_CL_BM	Tr_1_TQ_BM	Tr_2_TQ_BM	Tr_3_TQ_BM	Tr_4_TQ_BM	Tr_1_PR_BM	Tr_2_PR_BM	Tr_3_PR_BM	Tr_4_PR_BM
1	1	,77	,28	,60	,31	,51	,40	,58	,32	,49	,40	1,64	,28
2	1	2,10	,41	,63	,74	,49	,36	,60	,34	,32	,43	,51	,63
3	1	3,47	,40	,35	,28	,49	,28	,30	,80	,71	,36	3,50	,91
4	1	1,27	,91	1,12	,58	,30	1,08	,95	1,17	,91	,91	,30	1,33
5	1	,63	,36	2,02	3,06	,38	,31	,77	,68	,41	,41	1,12	,81
6	1	,58	,32	1,44	,31	,45	,36	2,70	,30	,30	,30	2,59	,31
7	1	,49	,34	,71	,36	,65	,49	,58	,34	,47	,77	1,08	,68
8	1	,45	,41	,55	,43	,51	,65	,95	,43	,53	,34	,99	,47
9	1	,74	,81	1,51	,35	1,38	1,08	2,02	,88	,95	,58	1,08	,99
10	1	1,32	,95	1,31	,62	,92	1,12	1,32	,92	,93	,63	,63	1,12
11	1	,92	,94	1,22	,44	1,12	1,12	1,78	,72	,84	,92	1,22	,65
12	1	,71	1,51	,88	1,44	,38	2,28	1,44	1,85	,49	1,17	2,81	1,33
13	1	1,17	,91	1,85	,30	,81	,77	2,02	,45	,65	,74	1,22	2,81
14	1	,49	1,57	2,48	2,59	,81	,77	,68	,77	,63	,58	,74	,84
15	1	,95	1,33	1,85	1,27	,49	,53	,41	,36	1,03	1,27	1,51	,49
16	1	,62	1,22	2,02	2,02	,52	,62	,77	,77	,71	,74	1,02	,86
17	1	,65	,53	2,48	,65	,35	,49	,65	,47	,31	,30	,65	,81
18	1	,47	,65	2,28	,65	,47	,47	,65	,81	,45	,65	,30	,81
19	1	,58	,62	1,44	,77	,68	,92	,98	,98	,36	1,22	1,02	,81
20	1	,45	,34	,45	,41	,68	,58	,77	,49	,77	,77	1,02	,45
21	1	,58	,81	3,50	,43	,81	,53	,74	,30	1,51	,68	,49	,84
22	1	,49	,91	1,44	,35	,45	,77	,58	,36	,63	,30	2,59	1,12
23	1	,45	1,51	,71	,30	,49	,49	1,12	,77	,31	1,27	,65	,40
24	1	,74	,53	,55	1,44	,81	,55	2,70	,47	,38	1,22	,74	,81
25	1	1,17	,32	1,51	,34	,35	,84	,41	,74	,30	,30	1,17	,31
26	1	2,19	,63	3,50	3,50	,81	3,50	1,12	,91	1,51	,30	1,17	1,12
27	1	1,33	1,27	1,44	,81	,88	,84	,58	,81	,53	1,22	,49	,40
28	1	1,33	,60	1,17	,68	,47	,55	,74	,74	,38	,68	,58	,77
29	1	1,51	1,78	2,28	1,08	,58	1,64	1,51	,95	,53	,84	2,19	,63
30	1	2,19	,65	,77	1,03	,99	1,38	2,02	,95	,65	,58	1,51	1,22
31	1	3,50	,53	3,50	,34	1,51	,51	2,81	,60	1,12	,30	2,19	,47
32	1	,49	,32	,88	,36	,45	,51	2,02	,60	,53	,30	2,81	,47
33	1	1,57	,60	,99	,38	1,57	,53	,30	,41	,95	,30	1,85	,30
34	1	1,85	,55	3,50	,30	,77	,58	,99	3,50	,81	2,93	1,08	,30
35	1	,30	,45	,30	,30	,65	1,12	,30	,63	,77	1,71	,30	1,71
36	1	1,85	,91	1,38	,51	,40	,65	1,57	,91	,95	,30	1,71	,65
37	1	,30	,91	,30	1,22	1,22	,63	,88	,71	,30	,30	,91	,65

Εικόνα C.1: Data View 1

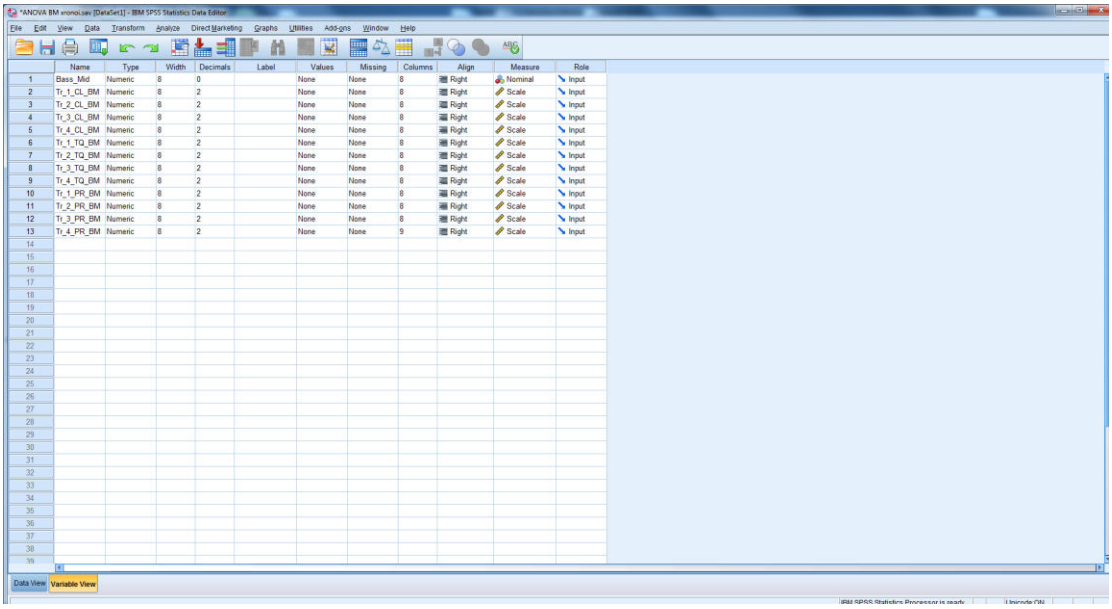


	Bass_Mid	Tr_1_CL_BM	Tr_2_CL_BM	Tr_3_CL_BM	Tr_4_CL_BM	Tr_1_TQ_BM	Tr_2_TQ_BM	Tr_3_TQ_BM	Tr_4_TQ_BM	Tr_1_PR_BM	Tr_2_PR_BM	Tr_3_PR_BM	Tr_4_PR_BM
56	1	,30	1,12	2,93	,36	,47	,30	,49	,36	,40	,30	,81	,36
57	1	1,51	1,85	2,28	3,47	2,10	2,81	2,93	2,19	2,19	3,06	3,50	2,78
58	1	,99	,63	,30	,51	,60	,49	,60	1,08	,95	,88	,63	,81
59	1	1,44	,71	3,50	1,27	,55	,30	3,50	3,50	,38	3,50	,31	1,93
60	1	,91	,77	,77	2,02	,51	,77	1,08	,77	,81	,77	,88	1,27
61	1	,47	,34	,35	,30	,47	,31	,51	,32	,49	,32	,45	,31
62	1	1,64	1,03	2,02	1,81	,88	2,10	2,19	1,03	1,38	,99	1,85	1,22
63	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
64	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
65	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
66	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
67	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
68	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
69	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
70	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
71	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
72	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
73	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
74	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
75	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
76	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
77	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
78	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
79	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
80	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
81	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
82	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
83	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
84	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
85	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
86	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
87	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
88	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
89	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
90	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
91	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80
92	2	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80	,80

Εικόνα C.2: Data View 2

Βήμα 2ο

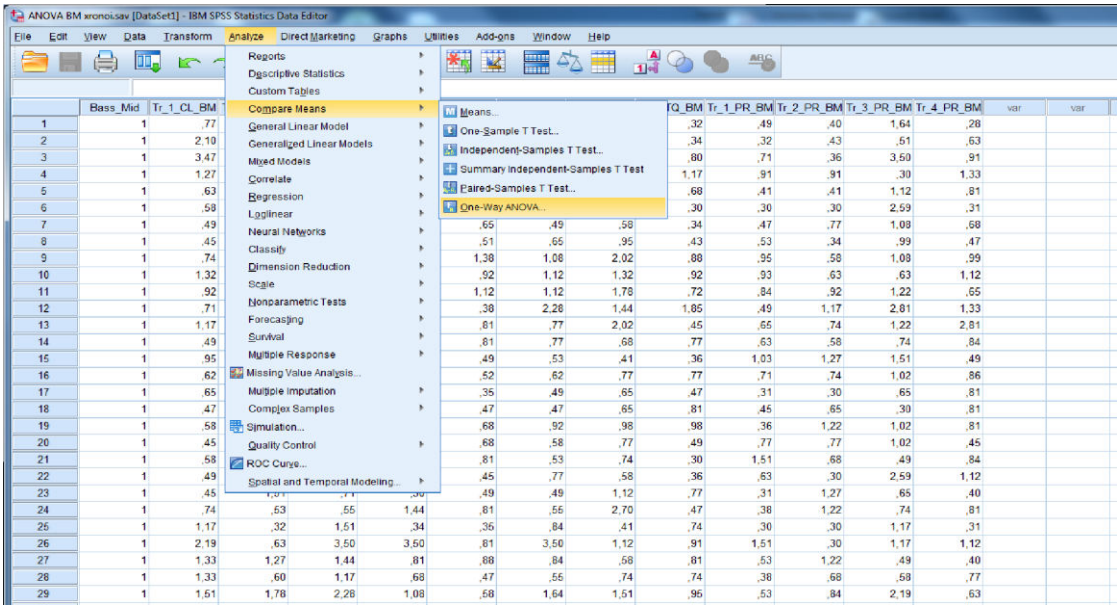
Στο παράθυρο “Variable View” στη στήλη “Measure” (Εικόνα C.3), ορίζεται η κάθε μεταβλητή σε Nominal ή Measured. Στην περίπτωσή αυτή, ως Nominal (ποιοτική μεταβλητή) ορίστηκε μόνο η στήλη-οδηγός που περιείχε τους αριθμούς “1” και “2” σαν δεδομένα, ενώ οι υπόλοιπες ως Measured (ποσοτικές μεταβλητές). Στη μοναδική ποιοτική μεταβλητή, έγινε μηδενισμός των δεκαδικών ψηφίων στη στήλη “Decimals”.



Εικόνα C.3: Variable View

Βήμα 3ο

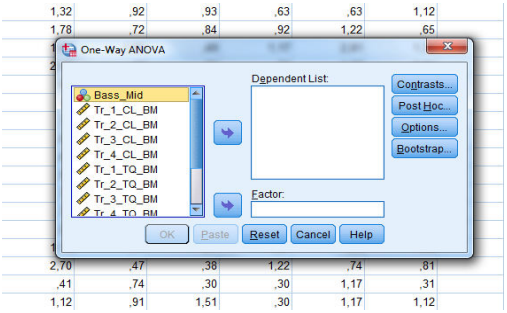
Για να γίνει η διαδικασία της ανάλυσης της διακύμανσης (ANOVA), επιλέγεται με τη σειρά “Analyze”, “Compare Means”, “One-Way ANOVA”, όπως απεικονίζεται παρακάτω:



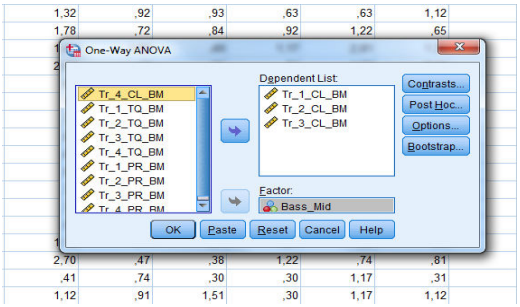
Εικόνα C.4: Εντολή ANOVA

Βήμα 4^{ο}

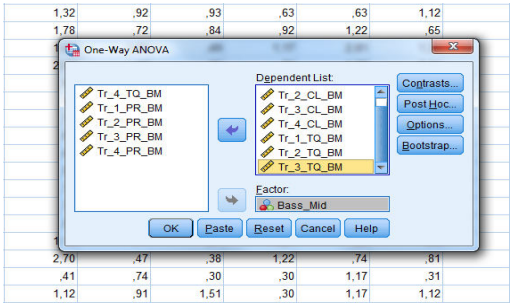
Μόλις επιλεχθεί η εντολή ANOVA θα εμφανιστεί παράθυρο στο οποίο θα οριστεί σε ποιες στήλες μεταβλητών θα εφαρμοστεί η διαδικασία. Στο πεδίο με τίτλο “Dependent List”, τοποθετούνται όλες τις στήλες με τα αποτελέσματα των χρόνων αντήχησης, ενώ στο “Factor” εισάγεται η πρώτη στήλη που αποτελεί την ποιοτική μεταβλητή. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται με τη σειρά η διαδικασία αυτή.



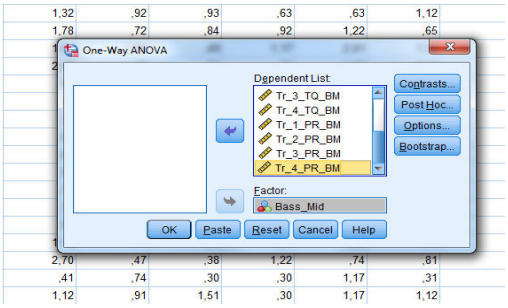
Εικόνα C.5.a



Εικόνα C.5.b



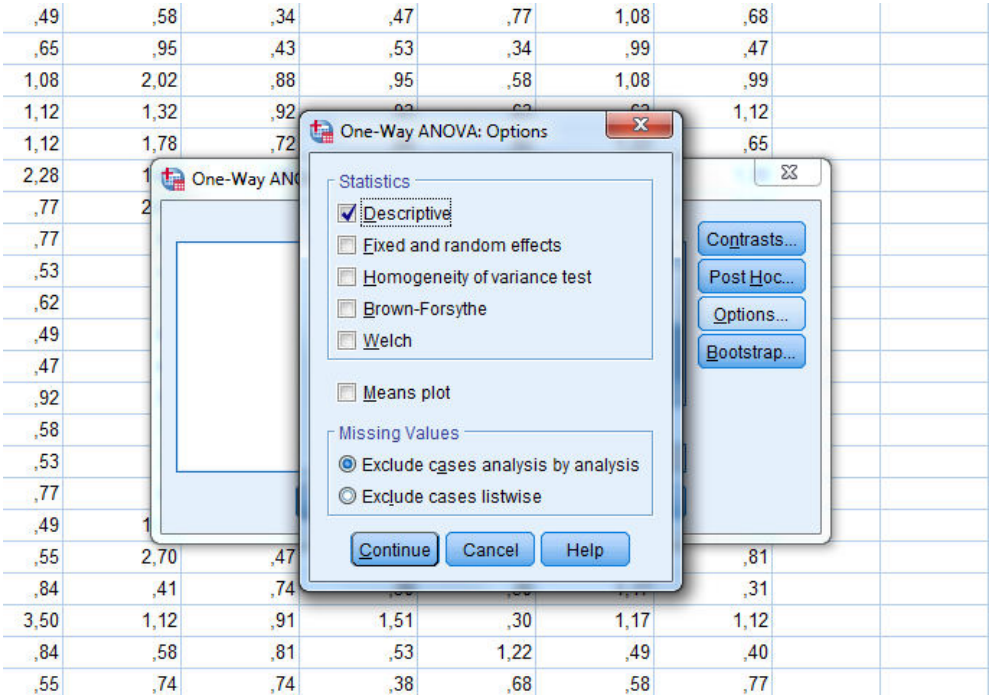
Εικόνα C.5.c



Εικόνα C.5.d

Βήμα 5ο

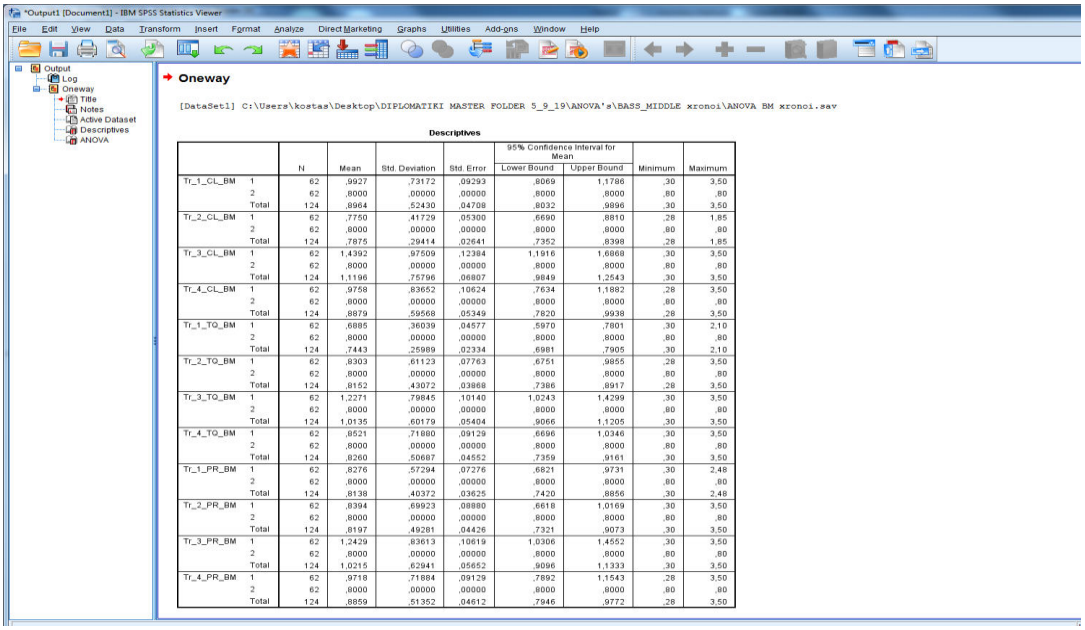
Για να ενεργοποιηθεί η εντολή, επιλέγεται το πεδίο “Options”, γίνεται ενεργοποίηση της επιλογής “Descriptive”, έπειτα “Continue” και “OK”.



Εικόνα C.6: Options

Βήμα 6ο

Στο παράθυρο “Output”, το οποίο είναι πάντα παράλληλα ενεργοποιημένο, θα εμφανιστούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης της διακύμανσης.



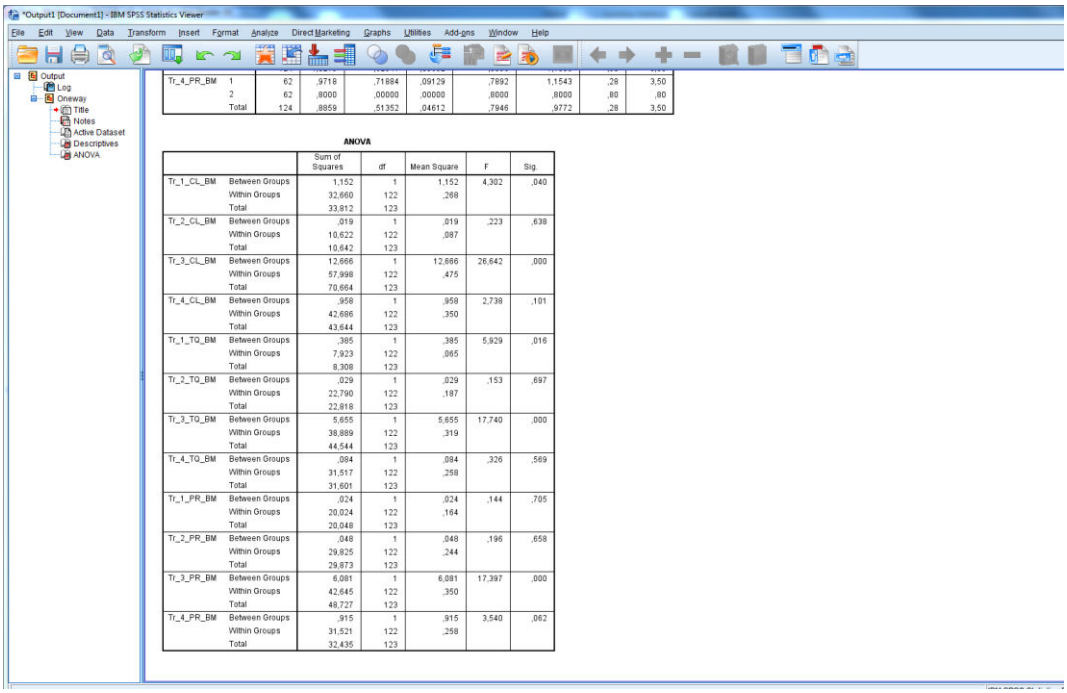
Oneway

[DataSet1] C:\Users\kostas\Desktop\DIPLOMATIKI MASTER FOLDER 5_9_19\ANOVA's\BASS_MIDDLE xronoi\ANOVA BM xronoi.sav

Descriptives

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean Lower Bound	Upper Bound	Minimum	Maximum
Tr_1_CL_BM	1	62	,9927	,73172	,09293	,8069	1,1786	,30	3,50
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	,8964	,52430	,04708	,8032	,9896	,30	3,50
Tr_2_CL_BM	1	62	,7750	,41729	,05300	,6690	,8810	,28	1,85
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	,7875	,29414	,02641	,7352	,8398	,28	1,85
Tr_3_CL_BM	1	62	1,4392	,97509	,12384	1,1916	1,6868	,30	3,50
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	1,1196	,75796	,06807	,9849	1,2543	,30	3,50
Tr_4_CL_BM	1	62	,9758	,83652	,10624	,7634	1,1882	,28	3,50
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	,8879	,59568	,05349	,7820	,9938	,28	3,50
Tr_1_TQ_BM	1	62	,6885	,36039	,04577	,5970	,7801	,30	2,10
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	,7443	,25989	,02334	,6981	,7905	,30	2,10
Tr_2_TQ_BM	1	62	,9303	,61123	,07763	,6751	,9855	,28	3,50
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	,8152	,43072	,03868	,7386	,8917	,28	3,50
Tr_3_TQ_BM	1	62	1,2271	,79845	,10140	1,0243	1,4299	,30	3,50
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	1,0135	,60179	,05404	,9066	1,1205	,30	3,50
Tr_4_TQ_BM	1	62	,8521	,71880	,09129	,6696	1,0346	,30	3,50
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	,8260	,50687	,04552	,7359	,9161	,30	3,50
Tr_1_PR_BM	1	62	,9276	,57294	,07276	,6821	,9731	,30	3,48
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	,8138	,40372	,03625	,7420	,8856	,30	2,48
Tr_2_PR_BM	1	62	,8394	,69923	,08880	,6618	1,0169	,30	3,50
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	,8197	,49281	,04426	,7321	,9073	,30	3,50
Tr_3_PR_BM	1	62	1,2429	,83613	,10619	1,0306	1,4552	,30	3,50
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	1,0215	,62941	,05652	,9096	1,1333	,30	3,50
Tr_4_PR_BM	1	62	,9718	,71884	,09129	,7892	1,1543	,28	3,50
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	,8859	,51352	,04612	,7946	,9772	,28	3,50

Εικόνα C.7.a: Descriptives



Tr_4_PR_BM	1	62	,9718	,71884	,09129	,7892	1,1543	,28	3,50
	2	62	,8000	,00000	,00000	,8000	,8000	,80	,80
	Total	124	,8859	,51352	,04612	,7946	,9772	,28	3,50

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Tr_1_CL_BM	Between Groups	1,152	1	1,152	4,302	,040
	Within Groups	32,660	122	,268		
	Total	33,812	123			
Tr_2_CL_BM	Between Groups	,019	1	,019	,223	,638
	Within Groups	10,622	122	,087		
	Total	10,642	123			
Tr_3_CL_BM	Between Groups	12,666	1	12,666	26,642	,000
	Within Groups	57,998	122	,475		
	Total	70,664	123			
Tr_4_CL_BM	Between Groups	,958	1	,958	2,738	,101
	Within Groups	42,686	122	,350		
	Total	43,644	123			
Tr_1_TQ_BM	Between Groups	,385	1	,385	5,929	,016
	Within Groups	7,923	122	,065		
	Total	8,308	123			
Tr_2_TQ_BM	Between Groups	,029	1	,029	,153	,697
	Within Groups	22,790	122	,187		
	Total	22,818	123			
Tr_3_TQ_BM	Between Groups	5,655	1	5,655	17,740	,000
	Within Groups	38,889	122	,319		
	Total	44,544	123			
Tr_4_TQ_BM	Between Groups	,084	1	,084	,326	,569
	Within Groups	31,517	122	,258		
	Total	31,601	123			
Tr_1_PR_BM	Between Groups	,024	1	,024	,144	,705
	Within Groups	20,024	122	,164		
	Total	20,048	123			
Tr_2_PR_BM	Between Groups	,048	1	,048	,196	,658
	Within Groups	29,825	122	,244		
	Total	29,873	123			
Tr_3_PR_BM	Between Groups	6,081	1	6,081	17,397	,000
	Within Groups	42,645	122	,350		
	Total	48,727	123			
Tr_4_PR_BM	Between Groups	,915	1	,915	3,540	,062
	Within Groups	31,521	122	,258		
	Total	32,435	123			

Εικόνα C.7.b: Αποτελέσματα ANOVA

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ D

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

D.1 Αποτελέσματα χρόνων αντήχησης σε [s].

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 1

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
1	0,77	1,78	0,51	1,22	0,49	1,78
2	2,1	1,38	0,49	0,35	0,32	0,32
3	3,47	0,71	0,49	0,49	0,71	0,47
4	1,27	0,65	0,3	0,3	0,91	0,36
5	0,63	1,08	0,38	0,6	0,41	0,58
6	0,58	1,03	0,45	0,47	0,3	0,3
7	0,49	0,68	0,65	0,95	0,47	0,81
8	0,45	0,63	0,51	1,22	0,53	0,3
9	0,74	1,08	1,38	1,27	0,95	0,84
10	1,32	1,12	0,92	0,92	0,93	0,52
11	0,92	1,08	1,12	1,27	0,84	0,95
12	0,71	2,02	0,38	0,65	0,49	1,27
13	1,17	0,74	0,81	0,38	0,65	0,35
14	0,49	0,3	0,81	0,51	0,63	0,3
15	0,95	0,71	0,49	0,81	1,03	0,58
16	0,62	0,54	0,52	0,51	0,71	0,49
17	0,65	2,59	0,35	1,08	0,31	0,45
18	0,47	2,19	0,47	0,91	0,45	0,45
19	0,58	1,44	0,68	0,88	0,36	0,52
20	0,45	0,68	0,68	1,02	0,77	0,45
21	0,58	2,02	0,81	0,63	1,51	0,58
22	0,49	1,44	0,45	0,84	0,63	0,58
23	0,45	1,03	0,49	0,45	0,31	1,12
24	0,74	0,68	0,81	0,84	0,38	0,3
25	1,17	0,63	0,35	0,47	0,3	0,45
26	2,19	0,3	0,81	0,84	1,51	1,12
27	1,33	0,74	0,88	0,45	0,53	0,58
28	1,33	0,53	0,47	0,63	0,38	0,99
29	1,51	0,51	0,58	0,58	0,53	0,6
30	2,19	1,78	0,99	1,38	0,65	1,22
31	3,5	1,44	1,51	0,35	1,12	0,88

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 1 *(συνέχεια)*

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
32	0,49	0,63	0,45	0,95	0,53	0,81
33	1,57	0,6	1,57	1,08	0,95	0,3
34	1,85	0,3	0,77	0,49	0,81	0,81
35	0,3	0,71	0,65	0,31	0,77	2,1
36	1,85	0,51	0,4	1,22	0,95	0,3
37	0,3	1,38	1,22	1,33	0,3	1,57
38	1,78	0,65	1,51	0,6	2,48	0,71
39	0,58	0,74	0,81	0,99	0,58	0,81
40	1,03	0,4	0,77	1,22	1,51	1,12
41	0,3	3,5	1,27	3,5	2,28	1,93
42	1,03	0,58	0,41	0,84	0,3	0,36
43	0,3	0,3	0,4	0,49	0,4	0,68
44	0,3	0,3	0,3	0,36	2,19	1,93
45	0,3	1,03	0,55	0,68	0,58	0,49
46	0,53	0,3	0,74	0,35	0,32	0,88
47	0,3	0,65	0,41	0,68	0,55	0,36
48	0,34	0,65	0,47	0,65	0,55	0,55
49	0,77	0,71	0,51	0,63	0,81	0,99
50	0,41	0,47	0,53	0,99	0,77	0,88
51	2,48	0,53	0,45	0,3	2,38	1,38
52	1,57	0,63	0,88	0,81	1,44	0,45
53	0,95	1,51	0,81	1,38	2,1	1,27
54	0,35	0,43	0,35	0,35	0,65	0,65
55	0,3	0,71	0,34	1,17	0,4	1,44
56	0,3	0,36	0,47	0,3	0,4	0,32
57	1,51	1,22	2,1	1,51	2,19	0,99
58	0,99	1,64	0,6	0,53	0,95	0,95
59	1,44	1,51	0,55	0,49	0,38	1,12
60	0,91	1,08	0,51	0,6	0,81	0,81
61	0,47	0,49	0,47	0,53	0,49	0,53
62	1,64	0,99	0,88	0,81	1,38	1,03

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 2

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
1	0,28	0,84	0,4	0,84	0,4	0,63
2	0,41	0,38	0,36	0,28	0,43	0,28
3	0,4	0,51	0,28	0,74	0,36	0,43
4	0,91	0,68	1,08	0,3	0,91	0,51
5	0,36	2,28	0,31	0,45	0,41	0,58
6	0,32	0,47	0,36	0,34	0,3	0,41
7	0,34	0,34	0,49	1,08	0,77	1,17
8	0,41	0,65	0,65	0,58	0,34	0,51
9	0,81	0,81	1,08	0,55	0,58	0,68
10	0,95	0,72	1,12	0,42	0,63	0,61
11	0,94	1,12	1,12	0,72	0,92	0,72
12	1,51	0,47	2,28	0,49	1,17	0,81
13	0,91	0,36	0,77	0,49	0,74	0,36
14	1,57	0,75	0,77	0,41	0,58	0,3
15	1,33	1,08	0,53	1,57	1,27	0,45
16	1,22	0,92	0,62	1,02	0,74	0,3
17	0,53	2,19	0,49	0,91	0,3	0,63
18	0,65	1,08	0,47	1,08	0,65	0,91
19	0,62	0,88	0,92	1,02	1,22	1,04
20	0,34	0,65	0,58	0,52	0,77	0,99
21	0,81	0,34	0,53	1,57	0,68	0,3
22	0,91	0,65	0,77	0,34	0,3	0,63
23	1,51	0,81	0,49	1,57	1,27	1,78
24	0,53	0,36	0,55	0,41	1,22	0,41
25	0,32	0,47	0,84	0,91	0,3	0,45
26	0,63	0,49	3,5	1,57	0,3	0,71
27	1,27	0,95	0,84	0,4	1,22	0,34
28	0,6	1,64	0,55	1,17	0,68	1,78
29	1,78	0,81	1,64	0,35	0,84	1,33
30	0,65	1,33	1,38	1,93	0,58	0,68
31	0,53	1,12	0,51	0,49	0,3	0,74

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 2 *(συνέχεια)*

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
32	0,32	0,34	0,51	0,58	0,3	0,79
33	0,6	2,1	0,53	0,95	0,3	0,95
34	0,55	0,53	0,58	0,55	2,93	0,55
35	0,45	0,43	1,12	0,36	1,71	0,51
36	0,91	0,84	0,65	0,6	0,3	0,49
37	0,91	0,65	0,63	1,12	0,3	0,51
38	1,85	0,47	1,51	0,43	1,93	0,3
39	0,81	0,84	1,08	1,38	0,38	0,49
40	0,81	0,47	0,84	0,36	0,74	0,6
41	1,27	1,17	1,22	3,5	2,38	1,08
42	0,99	0,63	0,36	0,71	0,35	0,36
43	0,3	0,3	0,31	0,41	0,47	0,58
44	0,3	0,3	0,3	0,38	0,65	3,5
45	1,17	0,51	1,38	0,51	0,41	0,74
46	0,3	0,51	0,74	0,4	0,53	2,02
47	0,99	0,51	0,91	0,71	0,41	0,71
48	0,55	1,03	0,91	0,49	0,84	0,71
49	1,03	0,6	0,81	0,6	0,51	0,49
50	0,53	0,74	0,77	0,99	0,74	1,33
51	0,3	1,03	0,3	0,3	0,99	1,33
52	0,55	1,44	1,51	0,38	1,03	0,43
53	0,99	1,17	0,49	1,51	2,1	1,33
54	0,3	0,53	0,3	0,53	0,43	0,53
55	0,47	0,6	0,36	0,51	0,31	0,51
56	1,12	0,51	0,3	0,3	0,3	0,3
57	1,85	0,63	2,81	0,63	3,06	0,58
58	0,63	0,68	0,49	0,58	0,88	0,74
59	0,71	0,77	0,3	0,31	3,5	0,38
60	0,77	0,49	0,77	0,63	0,77	0,49
61	0,34	0,36	0,31	0,36	0,32	0,38
62	1,03	0,68	2,1	0,51	0,99	0,65

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 3

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
Α/Α	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
1	0,6	2,1	0,58	1,71	1,64	1,93
2	0,63	0,45	0,6	0,28	0,51	0,4
3	0,35	2,48	0,3	0,31	3,5	0,38
4	1,12	1,71	0,95	0,38	0,3	0,4
5	2,02	1,57	0,77	0,88	1,12	0,38
6	1,44	0,88	2,7	0,34	2,59	0,3
7	0,71	1,93	0,58	1,44	1,08	0,99
8	0,55	1,33	0,95	0,58	0,99	0,65
9	1,51	1,33	2,02	1,85	1,08	1,44
10	1,31	1,42	1,32	1,02	0,63	1,32
11	1,22	1,33	1,78	1,78	1,22	1,08
12	0,88	3,5	1,44	1,93	2,81	3,5
13	1,85	0,53	2,02	0,77	1,22	0,84
14	2,48	2,59	0,68	0,53	0,74	0,43
15	1,85	1,38	0,41	0,58	1,51	1,17
16	2,02	1,98	0,77	0,58	1,02	0,81
17	2,48	2,48	0,65	2,28	0,65	2,38
18	2,28	2,19	0,65	2,38	0,3	2,28
19	1,44	1,98	0,98	1,22	1,02	0,64
20	0,45	1,08	0,77	1,08	1,02	0,68
21	3,5	0,53	0,74	0,53	0,49	1,12
22	1,44	3,5	0,58	0,88	2,59	0,74
23	0,71	1,22	1,12	2,02	0,65	2,38
24	0,55	0,88	2,7	0,88	0,74	0,3
25	1,51	1,93	0,41	0,47	1,17	0,43
26	3,5	1,51	1,12	0,47	1,17	1,12
27	1,44	0,74	0,58	0,88	0,49	0,74
28	1,17	2,28	0,74	2,02	0,58	3,5
29	2,28	2,59	1,51	1,93	2,19	1,64
30	0,77	2,1	2,02	1,44	1,51	1,22
31	3,5	1,22	2,81	0,4	2,19	0,95

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 3 *(συνέχεια)*

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
32	0,88	0,88	2,02	0,34	2,81	0,84
33	0,99	3,33	0,3	2,19	1,85	0,53
34	3,5	2,38	0,99	0,95	1,08	0,71
35	0,3	0,99	0,3	2,7	0,3	1,93
36	1,38	2,7	1,57	1,71	1,71	2,81
37	0,3	2,19	0,88	3,06	0,91	2,81
38	2,7	1,64	2,19	1,38	0,95	2,48
39	0,71	1,51	0,58	1,33	0,55	1,03
40	2,38	1,33	1,85	0,35	3,5	1,85
41	3,5	0,91	1,44	3,5	1,33	3,47
42	0,41	0,49	0,3	1,51	0,3	0,3
43	0,35	0,47	0,55	0,77	1,51	0,95
44	1,64	2,19	2,28	1,78	1,17	3,5
45	1,12	2,02	0,99	1,51	0,47	0,53
46	0,3	2,59	0,95	1,08	0,4	1,93
47	0,77	0,49	0,99	0,84	0,3	0,53
48	0,77	1,38	0,49	0,84	1,51	0,49
49	0,3	1,27	0,51	1,27	0,51	0,51
50	2,02	2,38	1,93	3,19	1,44	2,02
51	1,22	1,22	2,59	0,84	2,1	2,1
52	1,33	1,38	2,02	0,99	2,1	2,02
53	1,78	1,08	2,19	1,57	1,71	2,02
54	0,53	0,99	1,22	1,22	0,95	0,99
55	0,34	0,81	0,4	0,6	0,45	1,33
56	2,93	2,19	0,49	0,55	0,81	1,71
57	2,28	1,57	2,93	2,19	3,5	2,1
58	0,3	1,78	0,6	2,7	0,63	2,02
59	3,5	3,19	3,5	3,5	0,31	3,5
60	0,77	0,99	1,08	1,08	0,88	1,57
61	0,35	0,88	0,51	0,88	0,45	0,45
62	2,02	1,71	2,19	1,33	1,85	1,57

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 4

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
1	0,31	1,64	0,32	1,64	0,28	1,17
2	0,74	0,3	0,34	1,33	0,63	0,99
3	0,28	2,48	0,8	1,93	0,91	0,35
4	0,58	1,17	1,17	0,65	1,33	0,36
5	3,06	3,06	0,68	0,91	0,81	0,35
6	0,31	0,3	0,3	0,38	0,31	0,3
7	0,36	1,08	0,34	1,38	0,68	1,51
8	0,43	0,95	0,43	0,55	0,47	1,08
9	0,35	0,88	0,88	0,88	0,99	0,65
10	0,62	0,96	0,92	0,88	1,12	0,42
11	0,44	0,72	0,72	0,92	0,65	0,72
12	1,44	3,5	1,85	0,55	1,33	2,59
13	0,3	0,65	0,45	0,68	2,81	0,65
14	2,59	2,81	0,77	0,34	0,84	0,45
15	1,27	1,38	0,36	0,65	0,49	1,44
16	2,02	1,38	0,77	0,65	0,86	0,62
17	0,65	3,33	0,47	1,08	0,81	2,19
18	0,65	2,48	0,81	2,59	0,81	1,91
19	0,77	0,65	0,98	0,82	0,81	0,56
20	0,41	1,02	0,49	1,02	0,45	1,22
21	0,43	0,3	0,3	0,95	0,84	0,3
22	0,35	0,3	0,36	3,06	1,12	0,45
23	0,3	1,38	0,77	0,38	0,4	0,65
24	1,44	2,28	0,47	0,65	0,81	0,77
25	0,34	1,33	0,74	0,34	0,31	0,3
26	3,5	2,93	0,91	3,06	1,12	0,65
27	0,81	1,33	0,81	0,95	0,4	0,77
28	0,68	2,28	0,74	1,93	0,77	2,93
29	1,08	0,77	0,95	2,48	0,63	0,65
30	1,03	2,81	0,95	1,64	1,22	1,78
31	0,34	1,17	0,6	0,53	0,47	0,45

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 4 *(συνέχεια)*

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
32	0,36	0,95	0,6	0,38	0,47	1,51
33	0,38	3,06	0,41	3,5	0,3	1,57
34	0,3	3,5	3,5	0,88	0,3	0,81
35	0,3	0,49	0,63	1,64	1,71	0,99
36	0,51	0,84	0,91	1,22	0,65	1,85
37	1,22	1,44	0,71	1,78	0,65	2,81
38	2,7	0,31	1,78	1,64	2,7	3,5
39	0,58	2,19	0,49	1,93	0,74	1,71
40	0,55	1,12	0,58	0,38	2,28	1,03
41	2,02	0,95	3,5	0,84	0,81	1,51
42	0,38	0,71	0,58	1,08	0,32	0,34
43	0,32	0,36	0,3	0,36	0,71	0,47
44	2,02	0,31	1,71	0,3	3,5	2,19
45	1,27	2,02	0,84	0,65	0,81	0,81
46	0,3	2,93	0,3	1,03	0,3	0,91
47	1,27	1,71	0,58	0,65	1,12	0,81
48	0,84	1,71	0,71	1,27	1,12	0,84
49	1,81	1,22	1,03	0,65	0,77	0,63
50	1,51	1,22	1,03	2,1	2,81	1,71
51	0,3	1,57	0,3	0,6	1,78	2,48
52	2,19	0,99	0,58	1,12	0,55	0,84
53	0,95	1,57	0,32	1,57	1,12	2,81
54	0,35	1,22	0,43	1,22	0,35	0,65
55	0,45	1,12	0,31	1,17	0,3	0,55
56	0,36	0,55	0,36	0,34	0,36	0,43
57	3,47	1,57	2,19	0,65	2,7	1,44
58	0,51	1,33	1,08	0,88	0,81	0,95
59	1,27	0,88	3,5	1,33	1,93	0,88
60	2,02	0,77	0,77	0,6	1,27	0,51
61	0,3	0,55	0,32	0,65	0,31	0,58
62	1,81	1,44	1,03	0,95	1,22	1,78

Πίνακας D.1.1: Μέσες τιμές χρόνων αντήχησης.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ		ΜΕΣΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ [s]			
		A	B	C	D
ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ (CLARITY)	High Freq.	0.95	0.77	1.64	1.42
	Low Freq.	0.99	0.78	1.44	0.98
ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ (TONAL QUALITY)	High Freq.	0.80	0.74	1.32	1.12
	Low Freq.	0.69	0.83	1.23	0.85
ΕΓΓΥΤΗΤΑ (PROXIMITY)	High Freq.	0.79	0.74	1.40	1.12
	Low Freq.	0.83	0.84	1.24	0.97

Πίνακας D.1.2: Τυπική απόκλιση

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ		ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ [s]			
		A	B	C	D
ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ (CLARITY)	High Freq.	± 0.62	± 0.44	± 0.78	± 0.89
	Low Freq.	±0.73	±0.42	±0.98	±0.84
ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ (TONAL QUALITY)	High Freq.	±0.48	± 0.53	± 0.82	± 0.72
	Low Freq.	± 0.36	± 0.61	± 0.80	± 0.72
ΕΓΓΥΤΗΤΑ (PROXIMITY)	High Freq.	± 0.45	± 0.52	± 0.93	±0.78
	Low Freq.	±0.57	±0.70	±0.84	±0.72

Πίνακας D.1.3: Ανάλυση της διακύμανσης χρόνων αντήχησης των Χαμηλών και Μεσαίων συχνοτήτων.

ANOVA : ΧΑΜΗΛΕΣ – ΜΕΣΑΙΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ							
Μουσικό απόσπασμα	Κριτήριο Αντίληψης		Sum of Squares	df	Mean Square	F	*Sig.*
Track A	Clarity	Between Groups	1.152	1	1.152	4.302	*0.040*
		Within Groups	32.660	122	0.268		
		Total	33.812	123			
	Tonal Quality	Between Groups	0.385	1	0.385	5.929	*0.016*
		Within Groups	7.923	122	0.065		
		Total	8.308	123			
	Proximity	Between Groups	0.024	1	0.024	0.144	*0.705*
		Within Groups	20.024	122	0.164		
		Total	20.048	123			
Track B	Clarity	Between Groups	0.019	1	0.019	0.223	*0.638*
		Within Groups	10.622	122	0.087		
		Total	10.642	123			
	Tonal Quality	Between Groups	0.029	1	0.029	0.153	*0.697*
		Within Groups	22.790	122	0.187		
		Total	22.818	123			
	Proximity	Between Groups	0.048	1	0.048	0.196	*0.658*
		Within Groups	29.825	122	0.244		
		Total	29.873	123			
Track C	Clarity	Between Groups	12.666	1	12.666	26.642	*0.000*
		Within Groups	57.998	122	0.475		
		Total	70.664	123			
	Tonal Quality	Between Groups	5.655	1	5.655	17.740	*0.000*
		Within Groups	38.889	122	0.319		
		Total	44.544	123			
	Proximity	Between Groups	6.081	1	6.081	17.397	*0.000*
		Within Groups	42.645	122	0.350		
		Total	48.727	123			
Track D	Clarity	Between Groups	0.958	1	0.958	2.738	*0.101*
		Within Groups	42.686	122	0.350		
		Total	43.644	123			
	Tonal Quality	Between Groups	0.084	1	0.084	0.326	*0.569*
		Within Groups	31.517	122	0.258		
		Total	31.601	123			
	Proximity	Between Groups	0.915	1	0.915	3.540	*0.062*
		Within Groups	31.521	122	0.258		
		Total	32.435	123			

Πίνακας D.1.4: Ανάλυση της διακύμανσης χρόνων αντήχησης των Χαμηλών και Μεσαίων συχνοτήτων.

ANOVA : ΥΨΗΛΕΣ – ΜΕΣΑΙΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ							
Μουσικό απόσπασμα	Κριτήριο Αντίληψης		Sum of Squares	df	Mean Square	F	*Sig.*
Track A	Clarity	Between Groups	0.684	1	0.684	3.610	*0.060*
		Within Groups	23.115	122	0.189		
		Total	23.799	123			
	Tonal Quality	Between Groups	0.000	1	0.000	0.003	*0.960*
		Within Groups	14.054	122	0.115		
		Total	14.054	123			
	Proximity	Between Groups	0.003	1	0.003	0.026	*0.871*
		Within Groups	12.070	122	0.099		
		Total	12.073	123			
Track B	Clarity	Between Groups	0.020	1	0.020	0.215	*0.644*
		Within Groups	11.574	122	0.095		
		Total	11.594	123			
	Tonal Quality	Between Groups	0.099	1	0.099	0.693	*0.407*
		Within Groups	17.381	122	0.142		
		Total	17.480	123			
	Proximity	Between Groups	0.115	1	0.115	0.844	*0.360*
		Within Groups	16.573	122	0.136		
		Total	16.688	123			
Track C	Clarity	Between Groups	21.865	1	21.865	72.869	*0.000*
		Within Groups	36.608	122	0.300		
		Total	58.473	123			
	Tonal Quality	Between Groups	8.253	1	8.253	24.419	*0.000*
		Within Groups	41.232	122	0.338		
		Total	49.485	123			
	Proximity	Between Groups	11.124	1	11.124	25.539	*0.000*
		Within Groups	53.140	122	0.436		
		Total	64.264	123			
Track D	Clarity	Between Groups	12.028	1	12.028	30.709	*0.000*
		Within Groups	47.786	122	0.392		
		Total	59.814	123			
	Tonal Quality	Between Groups	3.085	1	3.085	11.902	*0.001*
		Within Groups	31.627	122	0.259		
		Total	34.712	123			
	Proximity	Between Groups	3.076	1	3.076	10.477	*0.002*
		Within Groups	35.818	122	0.294		
		Total	38.894	123			

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα, παρατηρείται ότι στη σχέση Χαμηλών – Μεσαίων συχνοτήτων, σημαντική στατιστική διαφορά (Sig.<0.01) υπάρχει στο 3^{ο} μουσικό απόσπασμα και στα τρία Κριτήρια αντίληψης. Αντίστοιχα, στη σχέση Υψηλών – Μεσαίων συχνοτήτων παρατηρείται σημαντική στατιστική διαφορά στο 3^{ο} και στο 4^{ο} μουσικό απόσπασμα, πάλι σε όλα τα Κριτήρια αντίληψης.

Στα αποτελέσματα που παρατηρήθηκε σημαντική στατιστική διαφορά, εφαρμόστηκε ξανά η μέθοδος ανάλυσης της διακύμανσης με διάφορους συνδυασμούς, έτσι ώστε να εξεταστεί αν υπάρχει και μεταξύ τους σημαντική στατιστική διαφορά.

Αρχικά στις Χαμηλές συχνότητες, χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές από όλα τα Κριτήρια αντίληψης του 3^{ου} μουσικού αποσπάσματος. Η εφαρμογή της ANOVA έγινε πρώτα σε όλα τα Κριτήρια μαζί και έπειτα σε συνδυασμούς ανά δύο έτσι ώστε να καλυφθούν όλες οι πιθανές εκδοχές. Τα αποτελέσματα είχαν ως εξής:

Πίνακας D.1.5: Ανάλυση της διακύμανσης χρόνων αντήχησης σε όλα τα Κριτήρια αντίληψης του 3^{ου}μουσικού αποσπάσματος στις Χαμηλές συχνότητες.

ANOVA : ΟΛΑ ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ | TRACK C | ΧΑΜΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	*Sig.*
Between Groups	1.731	2	0.866	1.135	*0.324*
Within Groups	139.533	183	0.762		
Total	141.264	185			

Πίνακας D.1.6: Ανάλυση της διακύμανσης χρόνων αντήχησης μεταξύ των Κριτηρίων αντίληψης του 3^{ου} μουσικού αποσπάσματος στις Χαμηλές συχνότητες.

ANOVA : ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ | TRACK C | ΧΑΜΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ						
Factors		Sum of Squares	df	Mean Square	F	*Sig.*
CLARITY – TONAL QUALITY	Between Groups	1.395	1	1.395	1.756	*0.188*
	Within Groups	96.888	122	0.794		
	Total	98.282	123			
CLARITY – PROXIMITY	Between Groups	1.194	1	1.194	1.448	*0.231*
	Within Groups	100.644	122	0.825		
	Total	101.838	123			
TONAL QUALITY – PROXIMITY	Between Groups	0.008	1	0.008	0.012	*0.914*
	Within Groups	81.535	122	0.668		
	Total	81.542	123			

Παρατηρείται ότι σε κανέναν συνδυασμό δεν προέκυψε κάποια σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των Κριτηρίων αντίληψης (Sig.>0.01 σε κάθε περίπτωση), οπότε για το 3^{ο} μουσικό απόσπασμα θα προκύψει ο μέσος όρος των χρόνων αντήχησης των Χαμηλών συχνοτήτων του από όλες τις τιμές τους.

Στη συνέχεια, έγινε η ίδια διαδικασία και για τις Υψηλές συχνότητες, στο 3^{ο} και στο 4^{ο} μουσικό απόσπασμα, όπου είχε σημειωθεί σημαντική στατιστική διαφορά σε σχέση με τις Μεσαίες συχνότητες.

Πίνακας D.1.7: Ανάλυση της διακύμανσης χρόνων αντήχησης σε όλα τα Κριτήρια αντίληψης του 3^{ου} μουσικού αποσπάσματος στις Υψηλές συχνότητες.

ANOVA : ΟΛΑ ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ | TRACK C | ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	*Sig.*
Between Groups	3.059	2	1.754	2.451	*0.089*
Within Groups	130.979	183	0.716		
Total	134.488	185			

Πίνακας D.1.8: Ανάλυση της διακύμανσης χρόνων αντήχησης μεταξύ των Κριτηρίων αντίληψης του 3ου μουσικού αποσπάσματος στις Υψηλές συχνότητες.

ANOVA : ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ | TRACK C | ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ						
Factors		Sum of Squares	df	Mean Square	F	*Sig.*
CLARITY – TONAL QUALITY	Between Groups	3.252	1	3.252	5.096	*0.260*
	Within Groups	77.840	122	0.638		
	Total	81.091	123			
CLARITY – PROXIMITY	Between Groups	1.798	1	1.798	2.444	*0.121*
	Within Groups	98.747	122	0.736		
	Total	91.545	123			
TONAL QUALITY – PROXIMITY	Between Groups	0.214	1	0.214	0.277	*0.600*
	Within Groups	94.371	122	0.774		
	Total	94.585	123			

Πίνακας D.1.9: Ανάλυση της διακύμανσης χρόνων αντήχησης σε όλα τα Κριτήρια αντίληψης του 4ου μουσικού αποσπάσματος στις Υψηλές συχνότητες.

ANOVA : ΟΛΑ ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ | TRACK D | ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ					
	Sum of Squares	Df	Mean Square	F	*Sig.*
Between Groups	3.912	2	1.956	3.107	*0.470*
Within Groups	115.231	183	0.630		
Total	119.143	185			

Πίνακας D.1.10: Ανάλυση της διακύμανσης χρόνων αντήχησης μεταξύ των Κριτηρίων αντίληψης του 3ου και 4ου μουσικού αποσπάσματος στις Υψηλές συχνότητες.

ANOVA : ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ | TRACK D | ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ						
Factors		Sum of Squares	df	Mean Square	F	*Sig.*
CLARITY – TONAL QUALITY	Between Groups	2.930	1	2.930	4.501	*0.360*
	Within Groups	79.413	122	0.651		
	Total	82.342	123			
CLARITY – PROXIMITY	Between Groups	2.939	1	2.939	4.289	*0.040*
	Within Groups	83.604	122	0.736		
	Total	86.543	123			
TONAL QUALITY – PROXIMITY	Between Groups	0.000	1	0.000	0.000	*0.997*
	Within Groups	67.445	122	0.553		
	Total	67.445	123			

Τέλος, εφαρμόστηκε η μέθοδος ανάλυσης διακύμανσης για να συσχετιστούν οι τιμές των Κριτηρίων του 3ου και του 4ου μουσικού αποσπάσματος στις Υψηλές συχνότητες.

Πίνακας D.1.11: Ανάλυση της διακύμανσης χρόνων αντήχησης μεταξύ των Κριτηρίων αντίληψης του 4ου μουσικού αποσπάσματος στις Υψηλές συχνότητες.

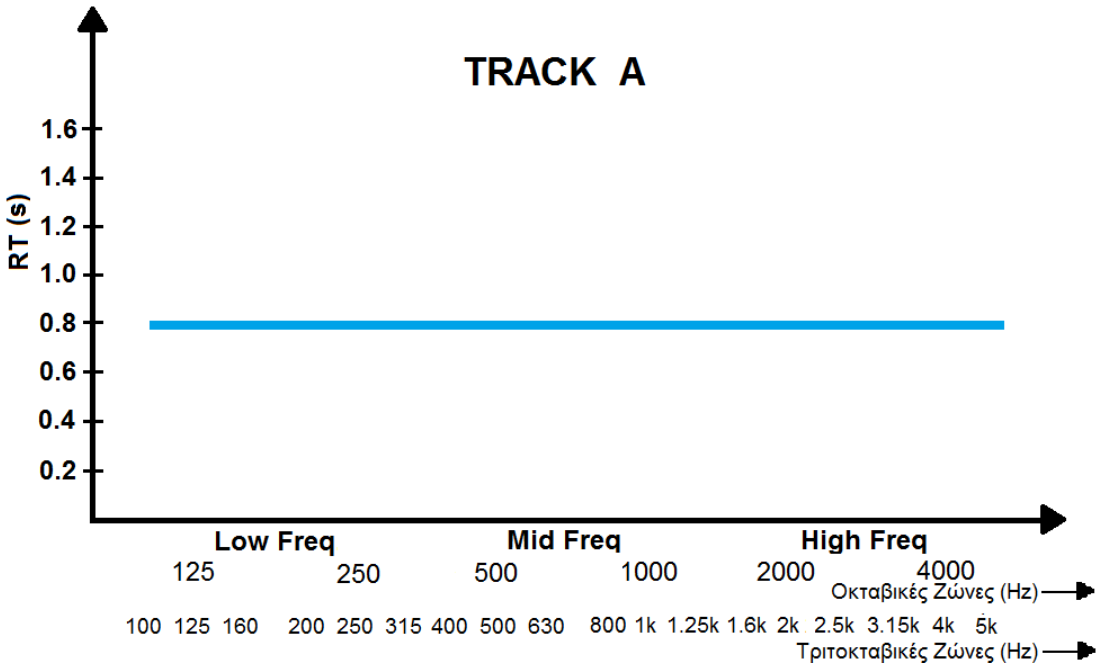
ANOVA : ΣΥΝΔΙΑΣΜΟΣ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ | TRACK C + D | ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ						
Factors		Sum of Squares	df	Mean Square	F	*Sig.*
Track **C** – Track **D** *CLARITY*	Between Groups Within Groups Total	1.459 84.393 85.852	1 122 123	1.459 0.692	2.109	*0.149*
Track **C** – Track **D** *TONAL QUALITY*	Between Groups Within Groups Total	1.246 72.859 74.105	1 122 123	1.426 0.597	2.086	*0.151*
Track **C** – Track **D** *PROXIMITY*	Between Groups Within Groups Total	2.501 88.958 91.459	1 122 123	2.501 0.729	3.430	*0.066*

Ομοίως, δεν παρατηρήθηκε κάποια σημαντική στατιστική διαφορά μεταξύ των τιμών των Κριτηρίων αντίληψης στις Υψηλές συχνότητες, στα μουσικά αποσπάσματα αυτά.

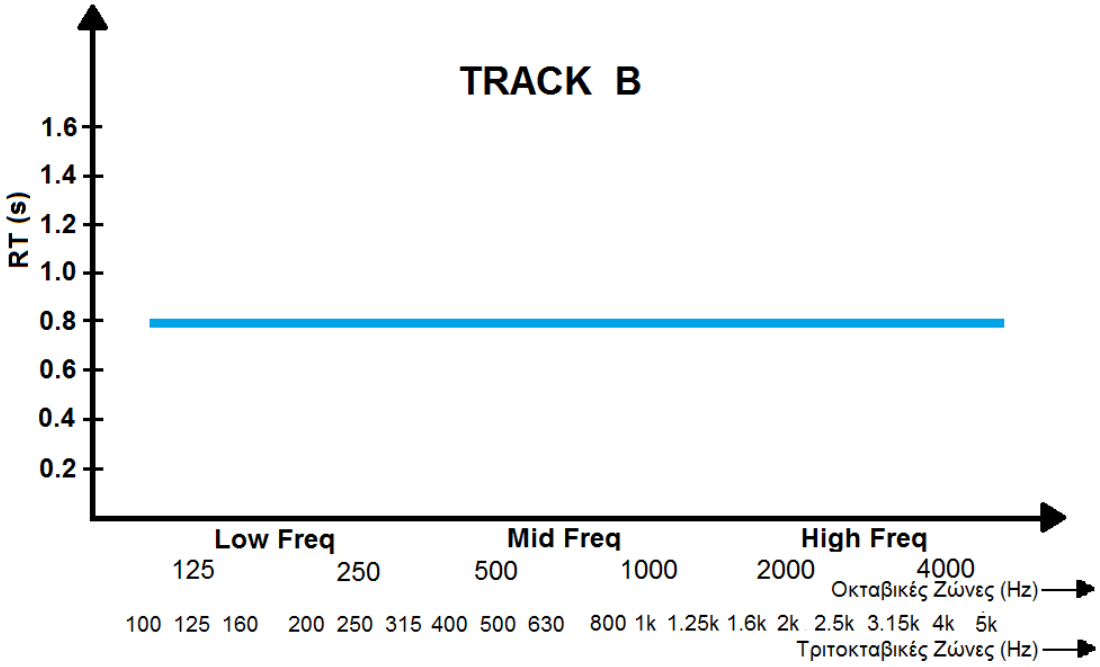
Με βάση τα αποτελέσματα, θα προκύψουν οι γενικοί μέσοι όροι για τους χρόνους αντήχησης στις Χαμηλές και Υψηλές συχνότητες. Στις περιπτώσεις που δεν σημειώθηκε σημαντική στατιστική διαφορά, ο γενικός μέσος όρος θα παραμείνει ίσος με των Μεσαίων συχνοτήτων, δηλαδή 0.80 s. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, θα έχουμε το μέσο όρο των τιμών των Κριτηρίων αντίληψης για κάθε μουσικό απόσπασμα, εφόσον μεταξύ τους δεν εμφάνισαν κάποια στατιστική διαφορά. Στον Πίνακα D.1.12 και στα Διαγράμματα D.1.1 – D.1.4 απεικονίζονται οι τιμές αυτές.

Πίνακας D.1.12: Τελικοί μέσοι χρόνοι αντήχησης του κάθε αποσπάσματος.

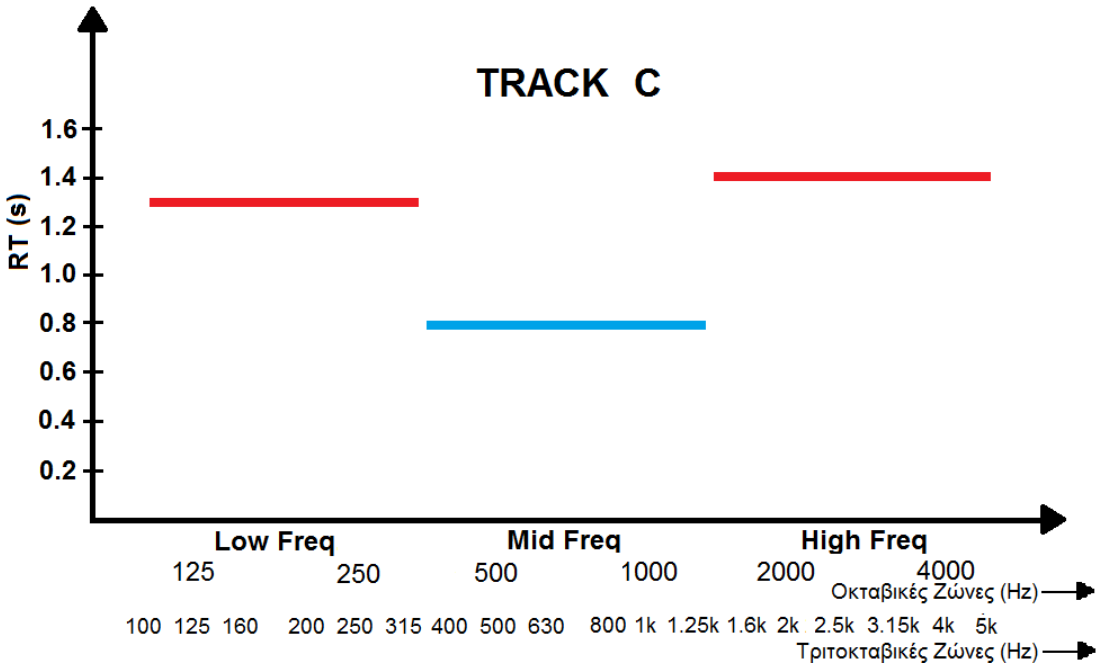
Μουσικό απόσπασμα	**RT [s] ΧΑΜΗΛΩΝ συχνοτήτων**	**RT [s] ΥΨΗΛΩΝ συχνοτήτων**
A	*0.80*	*0.80*
B	*0.80*	*0.80*
C	**1.30**	**1.43**
D	*0.80*	**1.22**



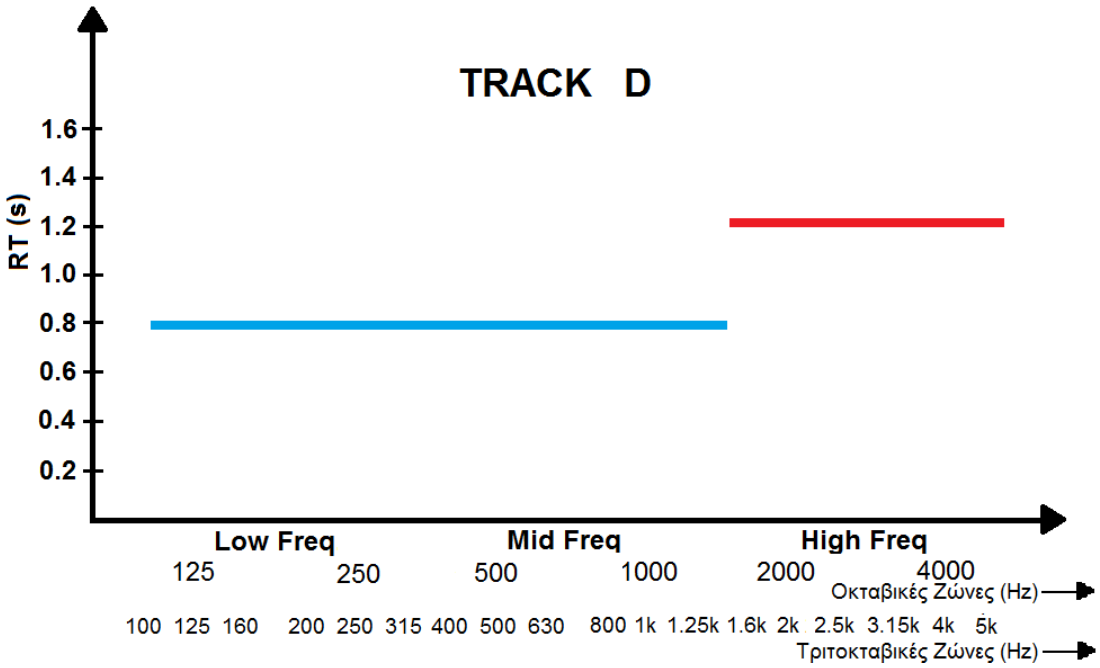
Διάγραμμα D.1.1: Τελικοί μέσοι χρόνοι αντήχησης για solo πιάνο.



Διάγραμμα D.1.2: Τελικοί μέσοι χρόνοι αντήχησης για πιάνο, μπάσο και κρουστά.



Διάγραμμα D.1.3: Τελικοί μέσοι χρόνοι αντήχησης για solo tenoro σαξόφωνο.



Διάγραμμα D.1.4: Τελικοί μέσοι χρόνοι αντήχησης για tenoro σαξόφωνο, πιάνο, μπάσο και κρουστά.

Με το κόκκινο χρώμα επισημαίνονται οι περιπτώσεις όπου υπήρχε διαφοροποίηση του αρχικού χρόνου αντήχησης στο συχνοτικό φάσμα.

D.2 Ανηγμένες τιμές χρόνων αντήχησης σε λόγους ως προς τις Μεσαίες συχνότητες

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 1

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
1	0,96	2,23	0,64	1,53	0,61	2,23
2	2,63	1,73	0,61	0,44	0,40	0,40
3	4,34	0,89	0,61	0,61	0,89	0,59
4	1,59	0,81	0,38	0,38	1,14	0,45
5	0,79	1,35	0,48	0,75	0,51	0,73
6	0,73	1,29	0,56	0,59	0,38	0,38
7	0,61	0,85	0,81	1,19	0,59	1,01
8	0,56	0,79	0,64	1,53	0,66	0,38
9	0,93	1,35	1,73	1,59	1,19	1,05
10	1,65	1,40	1,15	1,15	1,16	0,65
11	1,15	1,35	1,40	1,59	1,05	1,19
12	0,89	2,53	0,48	0,81	0,61	1,59
13	1,46	0,93	1,01	0,48	0,81	0,44
14	0,61	0,38	1,01	0,64	0,79	0,38
15	1,19	0,89	0,61	1,01	1,29	0,73
16	0,78	0,68	0,65	0,64	0,89	0,61
17	0,81	3,24	0,44	1,35	0,39	0,56
18	0,59	2,74	0,59	1,14	0,56	0,56
19	0,73	1,80	0,85	1,10	0,45	0,65
20	0,56	0,85	0,85	1,28	0,96	0,56
21	0,73	2,53	1,01	0,79	1,89	0,73
22	0,61	1,80	0,56	1,05	0,79	0,73
23	0,56	1,29	0,61	0,56	0,39	1,40
24	0,93	0,85	1,01	1,05	0,48	0,38
25	1,46	0,79	0,44	0,59	0,38	0,56
26	2,74	0,38	1,01	1,05	1,89	1,40
27	1,66	0,93	1,10	0,56	0,66	0,73
28	1,66	0,66	0,59	0,79	0,48	1,24
29	1,89	0,64	0,73	0,73	0,66	0,75
30	2,74	2,23	1,24	1,73	0,81	1,53
31	4,38	1,80	1,89	0,44	1,40	1,10

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 1 *(συνέχεια)*

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
32	0,61	0,79	0,56	1,19	0,66	1,01
33	1,96	0,75	1,96	1,35	1,19	0,38
34	2,31	0,38	0,96	0,61	1,01	1,01
35	0,38	0,89	0,81	0,39	0,96	2,63
36	2,31	0,64	0,50	1,53	1,19	0,38
37	0,38	1,73	1,53	1,66	0,38	1,96
38	2,23	0,81	1,89	0,75	3,10	0,89
39	0,73	0,93	1,01	1,24	0,73	1,01
40	1,29	0,50	0,96	1,53	1,89	1,40
41	0,38	4,38	1,59	4,38	2,85	2,41
42	1,29	0,73	0,51	1,05	0,38	0,45
43	0,38	0,38	0,50	0,61	0,50	0,85
44	0,38	0,38	0,38	0,45	2,74	2,41
45	0,38	1,29	0,69	0,85	0,73	0,61
46	0,66	0,38	0,93	0,44	0,40	1,10
47	0,38	0,81	0,51	0,85	0,69	0,45
48	0,43	0,81	0,59	0,81	0,69	0,69
49	0,96	0,89	0,64	0,79	1,01	1,24
50	0,51	0,59	0,66	1,24	0,96	1,10
51	3,10	0,66	0,56	0,38	2,98	1,73
52	1,96	0,79	1,10	1,01	1,80	0,56
53	1,19	1,89	1,01	1,73	2,63	1,59
54	0,44	0,54	0,44	0,44	0,81	0,81
55	0,38	0,89	0,43	1,46	0,50	1,80
56	0,38	0,45	0,59	0,38	0,50	0,40
57	1,89	1,53	2,63	1,89	2,74	1,24
58	1,24	2,05	0,75	0,66	1,19	1,19
59	1,80	1,89	0,69	0,61	0,48	1,40
60	1,14	1,35	0,64	0,75	1,01	1,01
61	0,59	0,61	0,59	0,66	0,61	0,66
62	2,05	1,24	1,10	1,01	1,73	1,29

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 2

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
Α/Α	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
1	0,35	1,05	0,50	1,05	0,50	0,79
2	0,51	0,48	0,45	0,35	0,54	0,35
3	0,50	0,64	0,35	0,93	0,45	0,54
4	1,14	0,85	1,35	0,38	1,14	0,64
5	0,45	2,85	0,39	0,56	0,51	0,73
6	0,40	0,59	0,45	0,43	0,38	0,51
7	0,43	0,43	0,61	1,35	0,96	1,46
8	0,51	0,81	0,81	0,73	0,43	0,64
9	1,01	1,01	1,35	0,69	0,73	0,85
10	1,19	0,90	1,40	0,53	0,79	0,76
11	1,18	1,40	1,40	0,90	1,15	0,90
12	1,89	0,59	2,85	0,61	1,46	1,01
13	1,14	0,45	0,96	0,61	0,93	0,45
14	1,96	0,94	0,96	0,51	0,73	0,38
15	1,66	1,35	0,66	1,96	1,59	0,56
16	1,53	1,15	0,78	1,28	0,93	0,38
17	0,66	2,74	0,61	1,14	0,38	0,79
18	0,81	1,35	0,59	1,35	0,81	1,14
19	0,78	1,10	1,15	1,28	1,53	1,30
20	0,43	0,81	0,73	0,65	0,96	1,24
21	1,01	0,43	0,66	1,96	0,85	0,38
22	1,14	0,81	0,96	0,43	0,38	0,79
23	1,89	1,01	0,61	1,96	1,59	2,23
24	0,66	0,45	0,69	0,51	1,53	0,51
25	0,40	0,59	1,05	1,14	0,38	0,56
26	0,79	0,61	4,38	1,96	0,38	0,89
27	1,59	1,19	1,05	0,50	1,53	0,43
28	0,75	2,05	0,69	1,46	0,85	2,23
29	2,23	1,01	2,05	0,44	1,05	1,66
30	0,81	1,66	1,73	2,41	0,73	0,85
31	0,66	1,40	0,64	0,61	0,38	0,93

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 2 *(συνέχεια)*

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
32	0,40	0,43	0,64	0,73	0,38	0,99
33	0,75	2,63	0,66	1,19	0,38	1,19
34	0,69	0,66	0,73	0,69	3,66	0,69
35	0,56	0,54	1,40	0,45	2,14	0,64
36	1,14	1,05	0,81	0,75	0,38	0,61
37	1,14	0,81	0,79	1,40	0,38	0,64
38	2,31	0,59	1,89	0,54	2,41	0,38
39	1,01	1,05	1,35	1,73	0,48	0,61
40	1,01	0,59	1,05	0,45	0,93	0,75
41	1,59	1,46	1,53	4,38	2,98	1,35
42	1,24	0,79	0,45	0,89	0,44	0,45
43	0,38	0,38	0,39	0,51	0,59	0,73
44	0,38	0,38	0,38	0,48	0,81	4,38
45	1,46	0,64	1,73	0,64	0,51	0,93
46	0,38	0,64	0,93	0,50	0,66	2,53
47	1,24	0,64	1,14	0,89	0,51	0,89
48	0,69	1,29	1,14	0,61	1,05	0,89
49	1,29	0,75	1,01	0,75	0,64	0,61
50	0,66	0,93	0,96	1,24	0,93	1,66
51	0,38	1,29	0,38	0,38	1,24	1,66
52	0,69	1,80	1,89	0,48	1,29	0,54
53	1,24	1,46	0,61	1,89	2,63	1,66
54	0,38	0,66	0,38	0,66	0,54	0,66
55	0,59	0,75	0,45	0,64	0,39	0,64
56	1,40	0,64	0,38	0,38	0,38	0,38
57	2,31	0,79	3,51	0,79	3,83	0,73
58	0,79	0,85	0,61	0,73	1,10	0,93
59	0,89	0,96	0,38	0,39	4,38	0,48
60	0,96	0,61	0,96	0,79	0,96	0,61
61	0,43	0,45	0,39	0,45	0,40	0,48
62	1,29	0,85	2,63	0,64	1,24	0,81

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 3

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
1	0,75	2,63	0,73	2,14	2,05	2,41
2	0,79	0,56	0,75	0,35	0,64	0,50
3	0,44	3,10	0,38	0,39	4,38	0,48
4	1,40	2,14	1,19	0,48	0,38	0,50
5	2,53	1,96	0,96	1,10	1,40	0,48
6	1,80	1,10	3,38	0,43	3,24	0,38
7	0,89	2,41	0,73	1,80	1,35	1,24
8	0,69	1,66	1,19	0,73	1,24	0,81
9	1,89	1,66	2,53	2,31	1,35	1,80
10	1,64	1,78	1,65	1,28	0,79	1,65
11	1,53	1,66	2,23	2,23	1,53	1,35
12	1,10	4,38	1,80	2,41	3,51	4,38
13	2,31	0,66	2,53	0,96	1,53	1,05
14	3,10	3,24	0,85	0,66	0,93	0,54
15	2,31	1,73	0,51	0,73	1,89	1,46
16	2,53	2,48	0,96	0,73	1,28	1,01
17	3,10	3,10	0,81	2,85	0,81	2,98
18	2,85	2,74	0,81	2,98	0,38	2,85
19	1,80	2,48	1,23	1,53	1,28	0,80
20	0,56	1,35	0,96	1,35	1,28	0,85
21	4,38	0,66	0,93	0,66	0,61	1,40
22	1,80	4,38	0,73	1,10	3,24	0,93
23	0,89	1,53	1,40	2,53	0,81	2,98
24	0,69	1,10	3,38	1,10	0,93	0,38
25	1,89	2,41	0,51	0,59	1,46	0,54
26	4,38	1,89	1,40	0,59	1,46	1,40
27	1,80	0,93	0,73	1,10	0,61	0,93
28	1,46	2,85	0,93	2,53	0,73	4,38
29	2,85	3,24	1,89	2,41	2,74	2,05
30	0,96	2,63	2,53	1,80	1,89	1,53
31	4,38	1,53	3,51	0,50	2,74	1,19

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 3 *(συνέχεια)*

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
32	1,10	1,10	2,53	0,43	3,51	1,05
33	1,24	4,16	0,38	2,74	2,31	0,66
34	4,38	2,98	1,24	1,19	1,35	0,89
35	0,38	1,24	0,38	3,38	0,38	2,41
36	1,73	3,38	1,96	2,14	2,14	3,51
37	0,38	2,74	1,10	3,83	1,14	3,51
38	3,38	2,05	2,74	1,73	1,19	3,10
39	0,89	1,89	0,73	1,66	0,69	1,29
40	2,98	1,66	2,31	0,44	4,38	2,31
41	4,38	1,14	1,80	4,38	1,66	4,34
42	0,51	0,61	0,38	1,89	0,38	0,38
43	0,44	0,59	0,69	0,96	1,89	1,19
44	2,05	2,74	2,85	2,23	1,46	4,38
45	1,40	2,53	1,24	1,89	0,59	0,66
46	0,38	3,24	1,19	1,35	0,50	2,41
47	0,96	0,61	1,24	1,05	0,38	0,66
48	0,96	1,73	0,61	1,05	1,89	0,61
49	0,38	1,59	0,64	1,59	0,64	0,64
50	2,53	2,98	2,41	3,99	1,80	2,53
51	1,53	1,53	3,24	1,05	2,63	2,63
52	1,66	1,73	2,53	1,24	2,63	2,53
53	2,23	1,35	2,74	1,96	2,14	2,53
54	0,66	1,24	1,53	1,53	1,19	1,24
55	0,43	1,01	0,50	0,75	0,56	1,66
56	3,66	2,74	0,61	0,69	1,01	2,14
57	2,85	1,96	3,66	2,74	4,38	2,63
58	0,38	2,23	0,75	3,38	0,79	2,53
59	4,38	3,99	4,38	4,38	0,39	4,38
60	0,96	1,24	1,35	1,35	1,10	1,96
61	0,44	1,10	0,64	1,10	0,56	0,56
62	2,53	2,14	2,74	1,66	2,31	1,96

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 4

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
1	0,39	2,05	0,40	2,05	0,35	1,46
2	0,93	0,38	0,43	1,66	0,79	1,24
3	0,35	3,10	1,00	2,41	1,14	0,44
4	0,73	1,46	1,46	0,81	1,66	0,45
5	3,83	3,83	0,85	1,14	1,01	0,44
6	0,39	0,38	0,38	0,48	0,39	0,38
7	0,45	1,35	0,43	1,73	0,85	1,89
8	0,54	1,19	0,54	0,69	0,59	1,35
9	0,44	1,10	1,10	1,10	1,24	0,81
10	0,78	1,20	1,15	1,10	1,40	0,53
11	0,55	0,90	0,90	1,15	0,81	0,90
12	1,80	4,38	2,31	0,69	1,66	3,24
13	0,38	0,81	0,56	0,85	3,51	0,81
14	3,24	3,51	0,96	0,43	1,05	0,56
15	1,59	1,73	0,45	0,81	0,61	1,80
16	2,53	1,73	0,96	0,81	1,08	0,78
17	0,81	4,16	0,59	1,35	1,01	2,74
18	0,81	3,10	1,01	3,24	1,01	2,39
19	0,96	0,81	1,23	1,03	1,01	0,70
20	0,51	1,28	0,61	1,28	0,56	1,53
21	0,54	0,38	0,38	1,19	1,05	0,38
22	0,44	0,38	0,45	3,83	1,40	0,56
23	0,38	1,73	0,96	0,48	0,50	0,81
24	1,80	2,85	0,59	0,81	1,01	0,96
25	0,43	1,66	0,93	0,43	0,39	0,38
26	4,38	3,66	1,14	3,83	1,40	0,81
27	1,01	1,66	1,01	1,19	0,50	0,96
28	0,85	2,85	0,93	2,41	0,96	3,66
29	1,35	0,96	1,19	3,10	0,79	0,81
30	1,29	3,51	1,19	2,05	1,53	2,23
31	0,43	1,46	0,75	0,66	0,59	0,56

ΗΧΟΓΡΑΦΗΜΑ 4 *(συνέχεια)*

	Καθαρότητα (Clarity)		Τονική Ποιότητα (Tonal Quality)		Εγγύτητα (Proximity)	
A/A	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*	*Low Freq*	*High Freq*
32	0,45	1,19	0,75	0,48	0,59	1,89
33	0,48	3,83	0,51	4,38	0,38	1,96
34	0,38	4,38	4,38	1,10	0,38	1,01
35	0,38	0,61	0,79	2,05	2,14	1,24
36	0,64	1,05	1,14	1,53	0,81	2,31
37	1,53	1,80	0,89	2,23	0,81	3,51
38	3,38	0,39	2,23	2,05	3,38	4,38
39	0,73	2,74	0,61	2,41	0,93	2,14
40	0,69	1,40	0,73	0,48	2,85	1,29
41	2,53	1,19	4,38	1,05	1,01	1,89
42	0,48	0,89	0,73	1,35	0,40	0,43
43	0,40	0,45	0,38	0,45	0,89	0,59
44	2,53	0,39	2,14	0,38	4,38	2,74
45	1,59	2,53	1,05	0,81	1,01	1,01
46	0,38	3,66	0,38	1,29	0,38	1,14
47	1,59	2,14	0,73	0,81	1,40	1,01
48	1,05	2,14	0,89	1,59	1,40	1,05
49	2,26	1,53	1,29	0,81	0,96	0,79
50	1,89	1,53	1,29	2,63	3,51	2,14
51	0,38	1,96	0,38	0,75	2,23	3,10
52	2,74	1,24	0,73	1,40	0,69	1,05
53	1,19	1,96	0,40	1,96	1,40	3,51
54	0,44	1,53	0,54	1,53	0,44	0,81
55	0,56	1,40	0,39	1,46	0,38	0,69
56	0,45	0,69	0,45	0,43	0,45	0,54
57	4,34	1,96	2,74	0,81	3,38	1,80
58	0,64	1,66	1,35	1,10	1,01	1,19
59	1,59	1,10	4,38	1,66	2,41	1,10
60	2,53	0,96	0,96	0,75	1,59	0,64
61	0,38	0,69	0,40	0,81	0,39	0,73
62	2,26	1,80	1,29	1,19	1,53	2,23

Πίνακας D.2.1: Ανάλυση της διακύμανσης λόγων των Χαμηλών ως προς τις Μεσαίες συχνότητες μεταξύ των Παραγόντων αντίληψης για κάθε μουσικό απόσπασμα αντίστοιχα.
CL, TQ, PR: Κριτήρια αντίληψης Καθαρότητα, Τονική Ποιότητα και Εγγύτητα αντίστοιχα

ANOVA : ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΣΕ ΧΑΜΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ							
Μουσικό απόσπασμα	Κριτήριο Αντίληψης		Sum of Squares	df	Mean Square	F	*Sig.*
A	CL *vs* TQ	Between Groups	4.482	1	4.482	8.623	*0.004*
		Within Groups	63.411	122	0.520		
		Total	67.893	123			
	TQ *vs* PR	Between Groups	0.936	1	0.936	2.616	*0.080*
		Within Groups	43.667	122	0.358		
		Total	44.603	123			
	CL *vs* PR	Between Groups	1.321	1	1.321	1.958	*0.209*
		Within Groups	82.319	122	0.675		
		Total	83.641	123			
B	CL *vs* TQ	Between Groups	0.148	1	0.148	0.346	*0.557*
		Within Groups	52.206	122	0.428		
		Total	52.355	123			
	TQ *vs* PR	Between Groups	0.004	1	0.004	0.006	*0.939*
		Within Groups	82.210	122	0.674		
		Total	82.214	123			
	CL *vs* PR	Between Groups	0.201	1	0.201	0.387	*0.535*
		Within Groups	63.198	122	0.518		
		Total	63.399	123			
C	CL *vs* TQ	Between Groups	2.179	1	2.179	1.756	*0.198*
		Within Groups	151.387	122	1.241		
		Total	153.566	123			
	TQ *vs* PR	Between Groups	0.012	1	0.012	0.012	*0.914*
		Within Groups	127.398	122	1.044		
		Total	127.410	123			
	CL *vs* PR	Between Groups	1.866	1	1.866	1.448	*0.231*
		Within Groups	157.256	122	1.289		
		Total	159.122	123			
D	CL *vs* TQ	Between Groups	0.741	1	0.741	0.780	*0.379*
		Within Groups	115.942	122	0.950		
		Total	116.684	123			
	TQ *vs* PR	Between Groups	0.694	1	0.694	0.859	*0.356*
		Within Groups	98.496	122	0.807		
		Total	99.190	123			
	CL *vs* PR	Between Groups	0.001	1	0.001	0.001	*0.977*
		Within Groups	115.948	122	0.950		
		Total	115.949	123			

Πίνακας D.2.2: Ανάλυση της διακύμανσης λόγων των Υψηλών ως προς τις Μεσαίες συχνότητες μεταξύ των Παραγόντων αντίληψης για κάθε μουσικό απόσπασμα αντίστοιχα.
CL, TQ, PR: Κριτήρια αντίληψης Καθαρότητα, Τονική Ποιότητα και Εγγύτητα αντίστοιχα

ANOVA : ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΝΤΙΛΗΨΗΣ ΣΕ ΥΨΗΛΕΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ							
Μουσικό απόσπασμα	Κριτήριο Αντίληψης		Sum of Squares	df	Mean Square	F	*Sig.*
A	CL *vs* TQ	Between Groups	1.169	1	1.169	2.446	*0.120*
		Within Groups	58.294	122	0.478		
		Total	59.463	123			
	TQ *vs* PR	Between Groups	0.002	1	0.002	0.005	*0.941*
		Within Groups	40.818	122	0.335		
		Total	40.820	123			
	CL *vs* PR	Between Groups	1.263	1	1.263	2.791	*0.097*
		Within Groups	55.195	122	0.452		
		Total	56.458	123			
B	CL *vs* TQ	Between Groups	0.046	1	0.046	0.124	*0.725*
		Within Groups	45.241	122	0.371		
		Total	45.287	123			
	TQ *vs* PR	Between Groups	0.001	1	0.001	0.002	*0.963*
		Within Groups	53.054	122	0.435		
		Total	53.054	123			
	CL *vs* PR	Between Groups	0.060	1	0.060	0.165	*0.684*
		Within Groups	43.980	122	0.360		
		Total	44.040	123			
C	CL *vs* TQ	Between Groups	5.081	1	5.081	5.096	*0.026*
		Within Groups	121.624	122	0.997		
		Total	126.705	123			
	TQ *vs* PR	Between Groups	0.334	1	0.334	0.277	*0.600*
		Within Groups	147.455	122	1.209		
		Total	147.790	123			
	CL *vs* PR	Between Groups	2.809	1	2.809	2.444	*0.121*
		Within Groups	140.230	122	1.149		
		Total	143.039	123			
D	CL *vs* TQ	Between Groups	4.578	1	4.578	4.501	*0.036*
		Within Groups	124.082	122	1.017		
		Total	128.660	123			
	TQ *vs* PR	Between Groups	0.000	1	0.000	0.000	*0.997*
		Within Groups	105.383	122	0.864		
		Total	105.383	123			
	CL *vs* PR	Between Groups	4.592	1	4.592	4.289	*0.040*
		Within Groups	130.631	122	1.071		
		Total	135.223	123			

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ε

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Ε.1 Κατηγοριοποίηση συμμετεχόντων

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΦΥΛΟ	ΗΛΙΚΙΑ	ΟΡΓΑΝΟ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΕΝΑΣΧΟΛΗΣΗ	ΑΙΘΟΥΣΑ
1	Άρρεν	<20	Κιθάρα	Συχνά	Μαθητής	Βυζάντειο Ωδείο
2	Θήλυ	20-35	Πιάνο	Μέτρια	Καθηγητής	Ωδείο Max Hallecker
3		35-55	Μπάσο	Σπάνια	Ερμηνευτής	Ωδείο Music Art Lab
4		>55	Τύμπανα		Ακροατής	Riverside Studio
5			Φωνή		Άλλο	Xronos Studio
6			Βιολί			Ant1 Media Lab Studio
7			Ηχοληψία			Emphasis Studio
8			Σαξόφωνο			
9			Φλάουτο			
10			Μπουζούκι			
11			Ακκορντεόν			

ΑΚΡΟΑΤΕΣ	ΦΥΛΟ	ΗΛΙΚΙΑ	ΟΡΓΑΝΟ	ΧΡΟΝΙΑ ΕΝΑΣΧΟΛΗΣΗΣ
No.	*(κατηγορία)*	*(κατηγορία)*	*(κατηγορία)*	*(αριθμός)*
1	1	2	1	4
2	1	2	4	8
3	1	2	1	5
4	1	2	3	8
5	2	4	1,5	30
6	1	3	1	10
7	1	2	1,2,3,4	10
8	1	2	1,2,3	3
9	1	2	1,6	10
10	2	2	9	3
11	1	2	6	2
12	1	2	1	3
13	1	2	8	10
14	2	3	5	22
15	1	3	2	24
16	1	3	1	30
17	1	3	1,2,7	33
18	1	3	4	15
19	1	2	7	5
20	1	2	1,5	2
21	1	3	1	11
22	1	2	1	4
23	2	2	5	3
24	1	2	4	6
25	1	1	2	2
26	1	2	1	6
27	1	2	4	8
28	2	1	1,2	7
29	1	2	1	8
30	1	4	1	20
31	1	2	2,5	15

ΑΚΡΟΑΤΕΣ	ΦΥΛΟ	ΗΛΙΚΙΑ	ΟΡΓΑΝΟ	ΧΡΟΝΙΑ ΕΝΑΣΧΟΛΗΣΗΣ
No.	*(κατηγορία)*	*(κατηγορία)*	*(κατηγορία)*	*(αριθμός)*
32	2	2	5	2
33	1	3	3	15
34	1	2	1	7
35	1	2	1	13
36	1	2	1,3,4	10
37	1	2	1,2,10	3
38	1	3	7	15
39	1	2	1,2,4,5	13
40	1	1	1	5
41	2	4	1	30
42	1	3	4	20
43	1	3	1	18
44	1	3	1	20
45	1	3	3	25
46	1	4	4	40
47	2	3	5	10
48	2	2	1	12
49	2	2	11	3
50	2	2	7	15
51	1	3	1,10	2
52	1	3	2	25
53	1	3	2	26
54	1	2	2	0
55	1	1	2	10
56	2	2	2,5	5
57	1	3	1	20
58	1	2	2	5
59	1	2	7	3
60	1	2	7	4
61	1	2	1	6
62	1	2	3	4

ΑΚΡΟΑΤΕΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΕΠΙΠΕΔΟ	ΑΙΘΟΥΣΕΣ
No.	*(κατηγορία)*	*(κατηγορίες)*	*(κατηγορία)*
1	1	1	3
2	1	4	3
3	3	3,4	3
4	2	1,4	3
5	1	3,4	3
6	1	1	1
7	2	4	1
8	2	3,4	1
9	1	3,4	4
10	1	1,4	4
11	2	4	4
12	1	3,4	7
13	1	3	7
14	1	3,4	7
15	1	1,3,4	7
16	1	1,3,4	7
17	1	3,4	7
18	1	4	7
19	2	4	7
20	2	4	7
21	1	3,4	1
22	1	4	1
23	1	3,4	1
24	1	4	1
25	1	1	1
26	1	1,2,3,4	3
27	1	1,3,4	3
28	1	1,4	3
29	2	4	3
30	3	4	3
31	1	1,3,4	5

ΑΚΡΟΑΤΕΣ	ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΕΠΙΠΕΔΟ	ΑΙΘΟΥΣΕΣ
No.	*(κατηγορία)*	*(κατηγορίες)*	*(κατηγορία)*
32	1	1	5
33	1	4	4
34	1	1	4
35	3	4	4
36	1	4	4
37	1	4	4
38	3	4	4
39	2	5 (ηχολήπτης)	4
40	1	1	4
41	3	4	5
42	1	4	5
43	2	4	5
44	3	4	5
45	2	3,4	5
46	1	3,4	5
47	1	3,4	2
48	1	4	2
49	1	4,5(Προσωπική μελέτη)	2
50	1	4	2
51	1	4	3
52	1	1,4	3
53	3	4	3
54	3	4	6
55	1	1	6
56	3	4	6
57	3	4	6
58	2	4	6
59	3	4	6
60	1	4	6
61	1	1,3,4	6
62	1	1,3,4	6

Ε.2 Ηχογραφημένες οδηγίες προς τους συμμετέχοντες

Το πείραμα αντίληψης στο οποίο συμμετέχετε, έχει στόχο τη διερεύνηση της ακουστικής των χώρων ακροατηρίου που αφορούν στη Jazz μουσική. Τα μουσικά αποσπάσματα που θα ακούσετε είναι ανηχοϊκά, το οποίο σημαίνει ότι έχουν ηχογραφηθεί χωρίς ηχητικές ανακλάσεις. Στα ηχογραφήματα αυτά έχει εκ των υστέρων προστεθεί ψηφιακά ένας χώρος του οποίου το χρόνο αντήχησης καλείστε να μεταβάλλετε ούτως ώστε το ακρόαμα να έχει βέλτιστο αποτέλεσμα κατά την άποψή σας.

Στο midi controller που έχετε μπροστά σας, θα χρησιμοποιήσετε δύο χειριστήρια. Το #1 που αφορά στο χρόνο αντήχησης των Χαμηλών συχνοτήτων και το #2 που αφορά στο χρόνο αντήχησης των Υψηλών συχνοτήτων. Τα ηχογραφήματα που θα ακούσετε, είναι τέσσερα κατά σειρά:

Το 'Autumn Leaves', παιγμένο μια φορά από solo piano και μια φορά από trio πιάνο-μπάσο-τύμπανα, και το ' 'round midnight', παιγμένο μια φορά από solo tenoro σαξόφωνο και μια από κουαρτέτο σαξόφωνο-πιάνο-μπάσο-drums. Η διαδικασία θα επαναληφθεί τρείς φορές, δηλαδή μια φορά για κάθε Κριτήριο που θα υπαγορεύεται κατά τη διάρκεια του πειράματος.

Προσπαθήστε να επικεντρωθείτε στην ακουστική ποιότητα του χώρου και όχι στην ερμηνεία και στο περιεχόμενο της μουσικής σύνθεσης. Μη διστάσετε να πειραματιστείτε με όλο το εύρος των χειριστηρίων, ακόμα και με τις ακραίες τιμές τους. Δεν υπάρχει χρονικός περιορισμός. Το ηχογράφημα θα επαναλαμβάνεται μέχρις ότου να ολοκληρώσετε τις απαντήσεις σας. Τέλος, όταν καταλήξετε στις βέλτιστες τιμές κατά την κρίση σας, πατήστε παρατεταμένα οποιοδήποτε πλήκτρο του midi keyboard για να μεταβείτε στο επόμενο ηχογράφημα.

Το 1^{ο} Κριτήριο είναι η Καθαρότητα του ήχου, δηλαδή αυτό που περιγράφεται από αντίθετες λέξεις όπως φωτεινός-σκοτεινός ή διαυγής-θολός κ.λπ. Με γνώμονα το Κριτήριο αυτό, δώστε μας τη βέλτιστη κατά τη γνώμη σας τιμή των δυο χρόνων αντήχησης.

(Πρώτη φάση πειραματικής διαδικασίας)

Το 2^{ο} Κριτήριο είναι η τονική Ποιότητα του ήχου, δηλαδή αυτό που περιγράφεται από αντίθετες λέξεις όπως απαλός-τραχύς ή λείος-αιχμηρός κ.λπ. Με γνώμονα το Κριτήριο αυτό, δώστε μας τη βέλτιστη κατά τη γνώμη σας τιμή των δυο χρόνων αντήχησης.

(Δεύτερη φάση πειραματικής διαδικασίας)

Το 3^{ο} και τελευταίο Κριτήριο είναι η υποκειμενική Εγγύτητα του χώρου, δηλαδή αυτό που περιγράφεται από λέξεις όπως κοντινός-απόμακρος ή ζωντανός-άψυχος κ.λπ. Με γνώμονα το Κριτήριο αυτό, δώστε μας τη βέλτιστη κατά τη γνώμη σας τιμή των δυο χρόνων αντήχησης.

(Τρίτη φάση πειραματικής διαδικασίας)

Σας ευχαριστούμε πάρα πολύ για τη συνεργασία σας. Η εμπειρία σας είναι πολύτιμη για την έρευνά μας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ F

ΕΡΩΤΗΜΑΤΟΛΟΓΙΟ

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Ημερομηνία . . . . . .

Επιλέξτε ένα κουτάκι για κάθε ερώτηση

1. Φύλο:
   - ☐ Άρρεν ☐ Θήλυ

2. Ηλικία:
   - ☐ Έως 20 ☐ 20-35 ☐ 35-55 ☐ Άνω των 55

3. Τι μουσικό όργανο παίζετε; . . . . . .
   .

4. Πόσα χρόνια ακούτε Jazz μουσική; . . . . . .

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

6. Επίπεδο ενασχόλησης με τη Jazz μουσική:
   (μπορείτε να επιλέξετε πάνω από μία κατηγορία)
   - ☐ Μαθητής ☐ Καθηγητής ☐ Ερμηνευτής ☐ Ακροατής
   - ☐ Άλλο . . . . . .

7. Ποιες αίθουσες από τη δική σας εμπειρία θεωρείτε κατάλληλες για ακρόαση Jazz μουσικής στην Ελλάδα ή το εξωτερικό;
   . . . . . .

	ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ		ΤΟΝΙΚΗ ΠΟΙΟΤΗΤΑ		ΕΓΓΥΤΗΤΑ	
	Low	High	Low	High	Low	High
A						
B						
C						
D						

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ G

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑ ΑΓΓΛΙΚΑ
(SHORT VERSION IN ENGLISH)

OPTIMAL SPECTRAL BALANCE OF REVERBERATION IN JAZZ VENUES: EXPERIMENTAL INVESTIGATION

1. Introduction

Jazz is a music genre that was originated around the beginning of 20th century in Afro–American communities in Southern United States. This is distinct from classical music; therefore, acoustics in Jazz auditoria should be approached separately. In recent years, Jazz and other contemporary music genres such as Pop and Rock, have become popular all over the world. Nevertheless, acoustic design principles for Jazz music have hardly been the object of scientific investigation till present days. As a result, in most cases even today Jazz musical events take place in classical concert auditoria, in multipurpose halls, *etc*. Only very recently, a relevant study was reported by Karagiannis *et al*. [1]; in that study optimal reverberation in Jazz venues is explored through synthetic sound field experiments. The present work is based on results of that study and aims to investigate the optimal spectral balance of reverberation in Jazz concert auditoria.

2. Background

Current scientific knowledge for the acoustic design of auditoria, refers almost exclusively to the acoustics of classical music venues and is summarised in the relevant literature [2, 3] (Table 1). Nevertheless, amongst the fewest studies to investigate the acoustics of auditoria of 20th century music, is the work of Larsen which refers to Rock music auditoria and is summarized in [4, 5] (Table 1), as well as the work of Karagiannis *et al*. which investigates the acoustics of Jazz venues [1]; in the latter it is explored the optimal reverberation time (RT) for wind - and for non wind - instruments, using synthetic sound field experiments (Table 1). Also, Sotiropoulou *et al.* [6] have investigated the acoustic perception in live Jazz concerts, employing the multidimensional approach and the semantic rating scale technique. The subjective acoustic qualities (Factors) that were produced in that study are summarised in Table 2.

Given the above, it is not surprising that the generation of classical concert auditoria in the late 20th century and beyond using the benefit of scientific progress, by and large, they all have been blessed with success. By contrast, most of Jazz music events even in present days take place in venues which have been designed on the basis of intuition, or in chamber music halls, multipurpose halls, *etc.* (Table 3).

3. Experimental design, -methods, -procedure

Two music samples, namely ‘A’ and ‘B’ respectively, using synthetic sound field were presented to each of sixty-two assessors through headphones; the latter were of closed type in order to ensure as much as possible, aural isolation. The assessors were chosen to be music experts such as music -teachers, -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 aurally neutral.

Sample 'A' involved a non wind music ensemble comprising piano, double bass and cymbals. In addition to the instruments involved in sample 'A', sample 'B' comprised also a solo tenor saxophone; the wind instrument was deliberately involved, as this is considered typical in almost any Jazz ensemble.

Common Jazz music repertoire was employed. Namely, sample 'A' involved an excerpt from the musical theme "Autumn leaves" by Joseph Kosma. Sample 'B' involved the "'round midnight" theme of Thelonious Monk. The duration of each of the two samples was respectively 53''and 38''; this was so chosen to allow for a complete musical phrase to be presented; each assessor could listen to each music sample as many times as necessary for his evaluation.

Each music sample was divided in three spectral zones, namely the Bass-, the Mid-, and the Treble- zone. The Mid zone involved the octave bands 500 and 1000 Hz. The Bass zone and the Treble zone were extended below and above the Mid zone respectively. The RT at the Mid frequency zone had been set at 0.8 s according to Karagiannis *et al.* [1] (Section 2). The assessors were asked to simultaneously adjust a rotary knob for each of the Bass and Treble zone respectively, so as to optimise listening. Each of the above said rotary knobs, was set to control respectively the RT. Prior to assessing, experimental subjects were instructed accordingly through a recorded message that was played to them *via* their headphones. Each subject had to evaluate each music sample three times, *i.e.* once for each of the above stated subjective acoustic Factors (Table 2).

Each test music sample was made up of source signals which were derived from a reservoir of anechoic music recordings. This involved:

i. A tenor saxophone excerpt taken from the Odeon Software Library [8].

ii. Two piano excerpts; the first (a) was taken from the Odeon Software Library [8], whereas the second excerpt (b) was recorded through a midi keyboard by professional musician employing the virtual instrument "The Grand 2" [9] that uses anechoic music samples.

iii. Two bass excerpts (a, b) which were performed by professional musician in direct line mode.

iv. Twelve excerpts of cymbals that were taken from the anechoic sample collection of the website of the Iowa University USA [10].

The music samples were made by combining the above anechoic recordings, as shown in Table 4.

In order to test for significant differences between evaluations, the Analysis of Variance test was used [11]. The adopted level of significance was at 1%. Results of the Analysis of Variance tests are presented below in Section 4.

Table 1: Recommended RT and spectral content for occupied auditoria [2]. **: unoccupied small auditoria (1000–7000m^3) [4, 5]. Bass ratio: Bass–to–Mid frequency reverberation, Treble ratio: Treble–to–Mid frequency reverberation*

Auditoria	Desired RT [s]	Bass ratio	Treble ratio
Organ music [2]	>2.5	1.40	1.00
Romantic, classical, music [2]	1.8 - 2.2	1.40	1,00
Early classical music [2]	1.6 - 1.8	1.40	1.00
Opera [2]	1.3 - 1.8	1.40	1.00
Chamber music [2]	1.4 - 1.7	1.40	1.00
Rock music* [4, 5]	0.6 - 1.2	1.00	1.00
Jazz ensemble with wind instrument [1]	0.8	-	-
Jazz ensemble without wind instrument [1]	0.6	-	-

Table 2: Independent subjective acoustic Factors for Jazz auditoria, experimentally derived [6].

Independent Subjective Acoustic Factor	Associated Rating 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 - non 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	

Table 3: Basic details of (unoccupied) auditoria occasionally hosting Jazz ensembles [7]. *Bass ratio: Bass–to–Mid frequency reverberation, Treble ratio: Treble–to–Mid frequency reverberation*

Auditoria	Volume [m^3]	RT [s]	Min and max audience capacity	Bass ratio	Treble ratio
1-'Banquet' (Multipurpose venue of the Athens Megaron)	8200	1.16	630 - 1000	1.02	1.00
2- 'Mitropoulos' (Chamber music auditorium of the Athens Megaron)	3560	1.42	494	1.19	1.00
3- The Party Bar (Athens)	378	0.92	150 - 200	0.96	0.96
4- Jazz Point (Athens)	888	1.13	150 - 250	1.23	0.92
5- 1002 nights (Athens)	2352	0.49	300 - 400	1.08	0.94
6- Kerameio (Athens)	352	0.85	100 - 150	1.06	0.85
7- Half Note (Athens)	382	0.72	180	0.90	1.00
8- The Forge (Jazz, Pop and Ethnic *etc.*, in London)	530	1.16	160	0.76	0.95

Table 4: Music sample's content (anechoic source signals involved, are in parenthesis (Section 3)).

Music sample	Music excerpt title	Musical instruments involved	Duration [s]
A	"Autumn leaves"	●Piano (ii, a), ●Bass (iii, a), ●Cymbals (iv)	53
B	"'round midnight"	●Saxophone (i), ●Piano (ii, b), ●Bass (iii, b), ●Cymbals (iv)	38

4. Data analysis and results

For each music sample, a mean value over the sixty-two subjects (mean RT) was worked out for the Bass zone and for the Treble zone respectively. Based on these values, the ratio of Bass-to-Mid frequency RT and the ratio of Treble-to-Mid frequency RT was worked out respectively for each of the three subjective acoustic factors defined in Table 2. Results are shown in Figure 1.

An Analysis of Variance test was applied for the Bass ratio values between two subjective Factors at a time; all possible combinations of subjective Factors were tested. Same analysis was also repeated for the Treble ratio values. Results are shown in Table 5.

By observing Figure 1 and Table 5, it is clear that for each music sample the Bass ratio did not vary significantly between the subjective Factors tested. Same thing is true of the Treble ratio values. Based on these results, for each music sample, all data were pooled together, and a Grand mean was worked out for Bass ratio and for Treble ratio respectively. Results are shown in Figure 2.

Furthermore, an Analysis of Variance test was applied for the Grand mean values of the Bass ratio and the Treble ratio respectively, between the two music samples. Results are shown in Figure 2 and Table 6 and demonstrate that the frequency balance required for Jazz auditoria in the case of non wind instrument ensemble is flat, although an increase in Treble is desired whenever a wind instrument is involved in the ensemble.

Table 5: Comparison of Bass ratio and of Treble ratio respectively, between subjective Factors for each music sample. *CL, TQ, PR: subjective Factors Clarity, Tonal Quality and (aural) Proximity, respectively. A, B: Music samples (Section 3), Br: Bass ratio, Tr: Treble ratio*

Music sample	**Subjective Factors**	**F-ratio**		***Sign.***	
		Br	**Tr**	**Br**	**Tr**
A	CL *vs* TQ	0.35	0.12	*0.55*	*0.72*
	TQ *vs* PR	0.01	0.00	*0.94*	*0.96*
	CL *vs* PR	0.39	0.68	*0.53*	*0.17*
B	CL *vs* TQ	0.78	4.50	*0.37*	*0.04*
	TQ *vs* PR	0.86	0.00	*0.35*	*0.99*
	CL *vs* PR	0.00	4.29	*0.97*	*0.04*

Table 6: Comparison of Bass ratio and Treble ratio respectively, between music samples 'A' and 'B'.

	F-ratio	***Sign.***
Bass Ratio	2.84	*0.09*
Treble Ratio	45.25	*0.00*

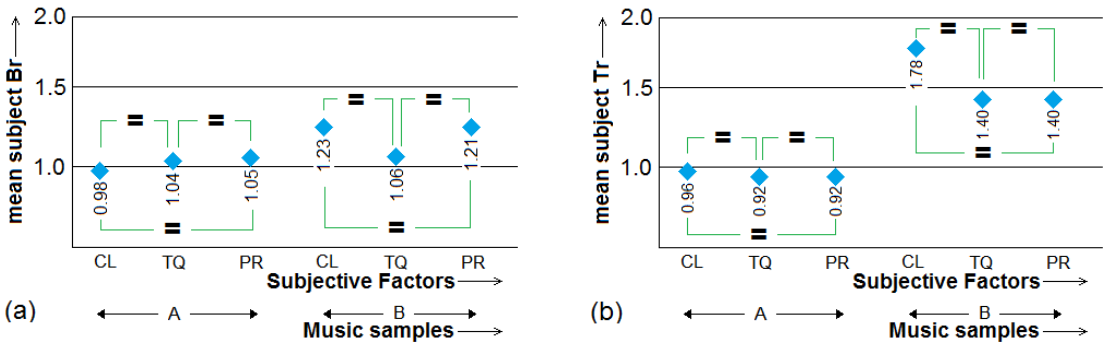


Figure 1: **(a)** Mean subject Br and **(b)** mean subject Tr respectively, *vs* subjective acoustic Factors for the music samples 'A' and 'B'. *Br: Bass ratio, Tr: Treble ratio, CL, TQ, PR: subjective acoustic Factors Clarity, Tonal Quality and Proximity, respectively. " = "denotes that there is no statistically significant difference between groups in comparison (Table 5)*

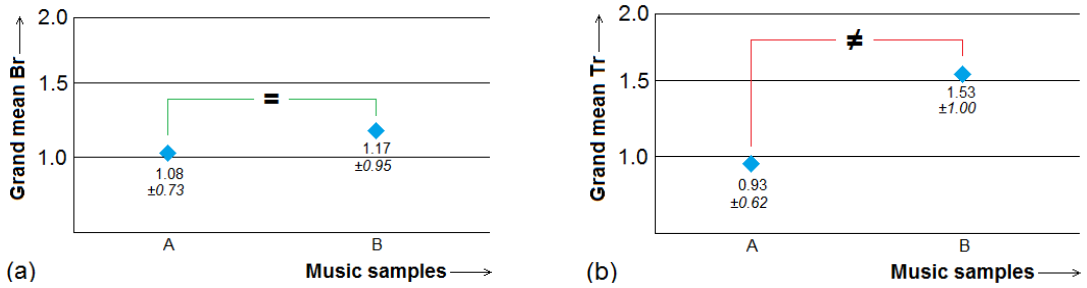


Figure 2: **(a)** Grand mean Br and **(b)** Grand mean Tr respectively, for music samples 'A' and 'B'. *Br: Bass ratio, Tr: Treble ratio. Statistically significant difference between groups in comparison is denoted by "≠ ". " = " denotes that there is no statistically significant difference between groups in comparison (Table 6). Standard deviation of Grand means is denoted in italics*

5. Discussion

The above finding (Section 4) about the distinctness between wind instrument ensemble (sample 'B') and non wind instrument ensemble (sample 'A'), can be explained as follows. The tenor saxophone output is defined in the Mid frequency range, *i.e.* the Bass region is irrelevant to this instrument. As a result, the assessors did not modify the Bass reverberation relative to Mid frequencies. By contrast, the Treble region is closely associated with the nature of most wind instruments including tenor saxophone; therefore, an increase in Treble reverberation was considered appropriate by the assessors in order to enhance listening. These results were found to be independent of each of the three independent subjective acoustic Factors tested. This means either, that present findings are true, or that the acoustic Factors tested refer to a common quality. As the second statement, apparently, is false, it can be inferred that the present findings are true, *i.e.* they are subjectively significant.

Given that it is typical of Jazz ensembles to involve wind instrument, the design of a Jazz auditorium normally should allow for an increase in the high frequency reverberation. This can be achieved either by employing a balanced combination of reflective and absorptive surfaces, or by introducing simulated high frequency reverberation through electronic gear. Of course, it is possible to convert the auditorium spectral response to flat, so as to suit concerts of Jazz ensembles without wind instruments; this can be achieved, for instance, by introducing some high frequency absorptive panels.

By inspection to the acoustics of some small auditoria which are often used for Jazz performances in Athens (Table 3), in can be inferred that those, by and large, satisfy the acoustical requirements stated above, though most of these have been designed on the basis of intuition. Furthermore, the present results indicate that small Rock concert auditoria can also be used for Jazz concerts, as according to recent studies [4, 5] (Table 1), their design is based on a relatively short RT and a relatively flat frequency spectrum. By contrast, it is obvious that a classical concert auditorium in which rich Bass are recommended (Table 1), is unsuitable for Jazz music performances.

6. Conclusions

According to present results, Jazz concert auditoria require, by and large, a relative increase in Treble reverberation in order to support the playing of typical Jazz ensembles, *i.e.* of ensembles involving wind instrument. A flat frequency response is desired only with ensembles without wind instrument. Various ways to apply these findings to the design of Jazz auditoria are discussed in Section 5. Furthermore, it is confirmed that Rock venues of small volume could possibly host Jazz performances, although classical concert auditoria are unsuitable for this purpose.

The above results cast some light on the acoustical design for Jazz auditoria, according to assessments of a large sample of music experts. Further research is required to investigate more parameters which may account for the acoustics of this kind of auditoria. Also, validation of the present results in the live concert situation employing ordinary Jazz concert goers, remains to be done.

REFERENCES

1 Karagiannis, I., Chounti, M.A., Sotiropoulou, A.G. Optimal reverberation in Jazz venues; Experimental investigation, *Proceedings of The Institute of Acoustics/10th International Conference in Auditorium Acoustics*, Hamburg, Germany, 4–6 October, (2018).

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

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

4 Larsen, N.W.A., Thompson, E.R., Gade, A.C. Suitable reverberation times for halls for rock and pop music, *J. Acoust. Soc. Am.*, **127**, 247–255, (2010).

5 Larsen, N.W.A. Rock and Pop Venues: Acoustic and Architectural Design, Springer, Denmark, (2014).

6 Sotiropoulou, A.G., Savvopoulou, A., Karagiannis, I., Tzouvadakis, A.J. Subjective evaluation of acoustics in Jazz clubs, *Acoustics Bulletin*, **36(5)**, 24–31, (2011).

7 Karagiannis, I., Xanthoulis, G., Trispiotis, A., Tzouvadakis, J., Sotiropoulou, A.G. Subjective evaluation of stage acoustics in live Jazz concerts; Multi dimensional description of evaluations, *Proceedings of The Institute of Acoustics/9th International Conference in Auditorium Acoustics*, **37**, Paris, France, 29–31 October, (2015).

8 http://odeon.dk/downloads/anechoic-recordings/

9 http://www.steinberg.net/index.php?id=933&L=1

10 http://theremin.music.uiowa.edu/MIS.html

11 SPSS version 23.