



Σχολή Εφαρμοσμένων Τέχνων
Ακουστικός Σχεδιασμός και Ψηφιακός Ήχος

Διπλωματική Εργασία

**Σχεδιασμός και υλοποίηση αυτοσχέδιων ηχητικών οργάνων,
δημιουργία ηχητικής σύνθεσης και ψηφιακή παρουσίαση.**

Παναγιώτης Κόλλιας

Επιβλέπων Καθηγητής Α: Λάζαρος Βρύσης

Επιβλέπων Καθηγητής Β: Γεώργιος Καλλίρης

Πάτρα, Ιούνιος 2026

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η συστηματική μελέτη, η πρακτική εφαρμογή του σχεδιασμού, η κατασκευή, καθώς και η εργαστηριακή ακουστική ανάλυση πρωτότυπων, αυτοσχέδιων μουσικών οργάνων, με τελικό στόχο την οργανική ενσωμάτωσή τους στη σύγχρονη πειραματική σύνθεση και τη δημιουργία sound design. Στο εφαρμοσμένο και κατασκευαστικό σκέλος της έρευνας, σχεδιάστηκαν και υλοποιήθηκαν δύο διακριτές οργανολογικές κατασκευές από καθημερινά υλικά χαμηλού κόστους: ένα ιδιόφωνο/χορδόφωνο όργανο με δομικό σκελετό από σωλήνα πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) το οποίο φέρει προσαρμοσμένες χορδές και διεγείρεται δυναμικά με τη χρήση δοξαριού κοντραμπάσου, καθώς και ένα μεμβρανόφωνο όργανο, το οποίο προέκυψε από τη ριζική μεταποίηση και τον ακουστικό επανασχεδιασμό ενός τυμπάνου τύπου Floor Tom. Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευαστικής φάσης, ακολούθησε μια εκτενής πειραματική διαδικασία ψηφιακής καταγραφής και εργαστηριακής ακουστικής ανάλυσης των παραγόμενων ήχων, με σκοπό τον ακριβή προσδιορισμό των ιδιοσυχνοτήτων, των αρμονικών και μερικών συνιστωσών, καθώς και της συνολικής φασματικής συμπεριφοράς των οργάνων υπό διαφορετικές συνθήκες κρούσης, πίεσης και διέγερσης. Τα ηχογραφημένα δείγματα των φυσικών αυτών κατασκευών αποτέλεσαν την πρωτογενή ύλη (raw audio material) για περαιτέρω ψηφιακή επεξεργασία, μορφοποίηση και sound design μέσω εξειδικευμένων λογισμικών. Στο τελικό στάδιο, το υλικό αυτό αξιοποιήθηκε για τη δημιουργία μιας ολοκληρωμένης, πρωτότυπης ηχητικής σύνθεσης βασισμένης στις αρχές και την αισθητική της noise μουσικής, αναδεικνύοντας τις διευρυμένες εκφραστικές, δυναμικές και χρωματικές δυνατότητες των πειραματικών οργάνων. Τα συμπεράσματα της εργασίας υπογραμμίζουν τη σημασία της σύγκλισης ανάμεσα στην πρακτική οργανοποιία, την ακουστική φυσική και τα σύγχρονα ψηφιακά μέσα, αποδεικνύοντας ότι η χρήση εναλλακτικών υλικών μπορεί να προσφέρει ένα εξαιρετικά πλούσιο, αυτόνομο και βιώσιμο ηχητικό περιβάλλον για τη σύγχρονη καλλιτεχνική δημιουργία και παραγωγή.

Λέξεις-κλειδιά: Αυτοσχέδια όργανα, πειραματική οργανοποιία, σωλήνες PVC, χορδόφωνο με δοξάρι, ακουστική ανάλυση, ψηφιακός ήχος, sound design.

Abstract

The subject of this master's thesis is the systematic study, practical application of design, construction, and laboratory acoustic analysis of original, homemade musical instruments, with the ultimate goal of organically integrating them into contemporary experimental composition and sound design. In the applied and constructive part of the research, two distinct instrument designs were developed using low-cost, everyday materials: an idiophone/chordophone instrument with a structural frame made of polyvinyl chloride (PVC) pipes, featuring custom-fitted strings and dynamically excited using a double bass bow, as well as a membranophone instrument derived from the radical modification and acoustic redesign of a Floor Tom drum. Following the completion of the construction phase, an extensive experimental process of digital recording and laboratory acoustic analysis of the produced sounds was conducted, aiming at the precise determination of the natural frequencies, harmonic and partial components, as well as the overall spectral behavior of the instruments under different conditions of impact, pressure, and excitation. The recorded samples of these physical constructions served as the raw audio material for further digital processing, manipulation, and sound design via specialized software. In the final stage, this material was utilized for the creation of an original, complete sonic composition based on the principles and aesthetics of noise music, highlighting the extended expressive, dynamic, and timbral capabilities of the experimental instruments when combined with modern digital media. The conclusions of this thesis underscore the significance of the convergence between practical instrument making, acoustic physics, and contemporary digital tools, demonstrating that the use of alternative materials can provide an exceptionally rich, autonomous, and sustainable sonic environment for modern artistic creation and production.

Keywords: Homemade instruments, experimental instrument making, PVC pipes, bowed chordophone, acoustic analysis, digital audio, sound design.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί τον καρπό μιας εκτενούς θεωρητικής και πειραματικής αναζήτησης γύρω από τα όρια της σύγχρονης μουσικής δημιουργίας, της οργανοποιίας και της ακουστικής τεχνολογίας. Κεντρικός άξονας και κίνητρο για την υλοποίηση του παρόντος πονήματος υπήρξε η πρόκληση της ανάδειξης της μουσικότητας «άψυχων» ή μη συμβατικών βιομηχανικών υλικών, και η μεταμόρφωσή τους σε ολοκληρωμένα εκφραστικά μέσα μέσω της ψηφιακής τεχνολογίας.

Η διαδικασία συγγραφής και υλοποίησης κινήθηκε σε δύο συμπληρωματικά επίπεδα: το φυσικό-χειροποίητο και το ψηφιακό. Από τη μία πλευρά, η μελέτη εμβαθύνει στην ιστορική εξέλιξη των οργάνων με μεμβρανικό αντηχείο και στη χρήση των «βρεθέντων αντικειμένων» στην τέχνη, οδηγώντας στον φυσικό σχεδιασμό και την κατασκευή ενός σωληνόφωνου οργάνου από πλαστικούς σωλήνες PVC και ενός σύνθετου μεμβρανόφωνου οργάνου. Από την άλλη πλευρά, εξερευνάται η σύγχρονη παραγωγή, όπου οι πρωτογενείς ηχογραφήσεις των οργάνων αυτών εισάγονται σε περιβάλλον Σταθμού Ψηφιακού Ήχου και, μέσω τεχνικών μοντάζ και μίξης, μετουσιώνονται σε μια ολοκληρωμένη ηχητική σύνθεση.

Το εγχείρημα αυτό επιδιώκει να αποδείξει ότι η σύγχρονη μουσική τεχνολογία δεν αποτελεί απλώς ένα μέσο καταγραφής, αλλά έναν δυναμικό δημιουργικό διαμεσολαβητή ικανό να γεφυρώσει την παραδοσιακή ανάγκη για κατασκευή οργάνων με τις απαιτήσεις της σύγχρονης ηλεκτροακουστικής παραγωγής.

Με την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης, αισθάνομαι την υποχρέωση να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου για την πολύτιμη καθοδήγηση, την ακαδημαϊκή υποστήριξη και την εμπιστοσύνη που έδειξε στο όραμά μου κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τους συμφοιτητές και την οικογένειά μου, των οποίων η συμπαράσταση και η ενθάρρυνση υπήρξαν καθοριστικές σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	10
1.1 Αντικείμενο και στόχοι της μελέτης	10
2. Ιστορικό και φυσικό πλαίσιο των οργάνων.....	12
2.1 Η Ιστορική εξέλιξη των οργάνων με μεμβρανικό αντηχείο.....	12
2.1.1 Η Αφρικανική ρίζα: Το Akonting και η Kora.....	12
2.1.2 Η εξέλιξη στην Αμερική: Από την κολοκύθα στο "Drum-Banjo"	13
2.2 Από τα φυσικά πρότυπα στα βιομηχανικά υλικά: Η γεωμετρία του σωλήνα στην οργανοποιία	14
2.2.1 Ιστορικά πρότυπα σωληνωτών οργάνων: Από τον αυλό του Πάνα στα Bamboo Slap Tubes	14
2.2.2 Το κίνημα των "Found Objects" και τα σύγχρονα πειραματικά όργανα PVC	15
2.3 Θεωρητικό υπόβαθρο και ακουστική λειτουργία.....	15
2.3.1 Σύνδεση με τη φυσική (Poltzer): Η θεωρητική βάση της μελέτης του μεμβρανόφωνου..	15
2.3.2 Η διάταξη του σωληνόφωνου οργάνου ως ακουστικό σύστημα.....	16
2.3.3 Ακουστική κλειστού-ανοιχτού σωλήνα, στάσιμα κύματα και συντονισμοί.....	16
2.4 Στόχευση των κατασκευών.....	18
3.1 Επιλογή υλικών και αρχικός σχεδιασμός αντηχείων.....	19
3.1.1 Μελέτη και προετοιμασία του Floor Tom 16" ως ακουστικό αντηχείο	19
3.1.2 Δομική σύνθεση και στρατηγική επιλογή του βιομηχανικού σωλήνα PVC	20
3.1.3 Οστέινος καβαλάρης: Μηχανική σύζευξη και μετάδοση κραδασμών στη μεμβράνη	21
3.2 Συστήματα σύνδεσης και μεταφοράς ταλαντώσεων.....	21
3.2.1 Το μεταλλικό στεφάνι ως ενσωματωμένος χορδοστάτης.....	22
3.2.2 Στατική σταθερότητα και μηχανική έδραση του μπράτσου στο κυρίως σώμα.....	23
3.2.3 Διαμόρφωση του συστήματος στήριξης και αντήχησης στο σωληνόφωνο όργανο	24
3.2.4 Γέφυρα μεταφοράς κραδασμών στον κυλινδρικό θάλαμο του σωληνόφωνου οργάνου..	25
3.3 Δυναμική χορδών, γεωμετρία και εργονομία	26
3.3.1 Μηχανική συστημάτων χορδών: Η δομική στροφή προς τον μινιμαλισμό.....	26
3.3.2 Διαστασιολόγηση μενζούρας και έκκεντρη τοποθέτηση καβαλάρη	27
3.3.3 Ανάλυση γωνιών τάσης και κατανομή στατικών φορτίων.....	27
3.3.4 Εργονομική σχεδίαση και λειτουργικός χειρισμός των οργάνων	28
3.4.1 Κατεργασία σώματος σωληνόφωνου οργάνου: Διαμόρφωση εγκάρσιας τομής και οπών έδρασης	29
3.4.2 Κοπή, ευθυγράμμιση και προσαρμογή της ξύλινης ταστιέρας.....	30
3.4.3 Μηχανική συναρμολόγηση της κεφαλής και των συστημάτων τάσης	30

3.4.4 Μορφοποίηση και εγκατάσταση των ακρυλικών δομικών στοιχείων.....	31
3.4.5 Προσαρμογή μεμβράνης, ομοιόμορφη κατανομή πίεσης και τελικό φινίρισμα	32
4. Μεθοδολογία και πειραματική διάταξη μετρήσεων	34
4.1 Εισαγωγή και μεθοδολογία μετρήσεων	34
4.2 Πειραματική διάταξη και εξοπλισμός	34
4.2.1 Μηχανική στήριξη και έδραση των οργάνων	34
4.2.2 Μικροφωνική τεχνική και μετρολογικός εξοπλισμός.....	36
5. Ανάλυση κρουστικής απόκρισης των δύο οργάνων.....	37
5.1 Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου των δύο οργάνων.....	37
5.1.1 Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου της μεμβράνης του μεμβρανόφωνου οργάνου.....	37
5.1.2 Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου στο σώμα του μεμβρανόφωνου οργάνου	39
5.1.3 Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου του σωληνόφωνου οργάνου.....	41
5.2 Ανάλυση απόκρισης συχνότητας των δύο οργάνων	45
5.2.1 Ανάλυση απόκρισης συχνότητας της μεμβράνης του μεμβρανόφωνου οργάνου.....	45
5.2.2 Ανάλυση απόκρισης συχνότητας στο σώμα του μεμβρανόφωνου	47
5.2.3 Ανάλυση απόκρισης συχνότητας του σωληνόφωνου οργάνου.....	50
5.3 Ανάλυση τρισδιάστατου διαγράμματος καταρράκτη των δύο οργάνων	54
5.3.1 Ανάλυση τρισδιάστατου διαγράμματος καταρράκτη της μεμβράνης του μεμβρανόφωνου οργάνου	54
5.3.2 Ανάλυση τρισδιάστατου διαγράμματος καταρράκτη στο σώμα του μεμβρανόφωνου οργάνου	55
5.3.3 Ανάλυση τρισδιάστατου διαγράμματος καταρράκτη του σωληνόφωνου οργάνου	56
5.4 Ανάλυση φασματογραφήματος των δύο οργάνων.....	57
5.4.1 Ανάλυση φασματογραφήματος της μεμβράνης του μεμβρανόφωνου οργάνου	58
5.4.2 Ανάλυση φασματογραφήματος στο σώμα του μεμβρανόφωνου οργάνου	58
5.4.3 Ανάλυση φασματογραφήματος του σωληνόφωνου οργάνου	59
5.5 Συμπέρασμα ακουστικής ανάλυσης των οργάνων	60
6. Ψηφιακή επεξεργασία, δομικό μοντάζ και ανασύνθεση μουσικών θεμάτων στο περιβάλλον REAPER.....	61
6.1 Φιλοσοφία της σύνθεσης και πρωτογενές ηχητικό υλικό	61
6.1.1 Αισθητική προσέγγιση και επιλογή ηχογραφήσεων για το σωληνόφωνο όργανο	61
6.1.2 Αισθητική προσέγγιση και επιλογή ηχογραφήσεων για το μεμβρανόφωνο όργανο.....	61
6.2 Διαδικασία μοντάζ, χρονικής ευθυγράμμισης και διαχείρισης ηχητικών αποσπασμάτων.....	62
6.2.1 Κοπή, ομαλή μετάβαση και ευθυγράμμιση στο πλέγμα για τα θέματα του σωληνόφωνου οργάνου	62

6.2.2 Κοπή, ομαλή μετάβαση και ευθυγράμμιση στο πλέγμα για τα θέματα του μεμβρανόφωνου οργάνου	63
6.3 Μίξη, δυναμική επεξεργασία, χωροθέτηση και χρήση αυτοματισμών	64
6.3.1 Στερεοφωνικό πανόραμα , ισοστάθμιση και εφαρμογή βάθους στο σωληνόφωνο όργανο	64
6.3.2 Στερεοφωνικό πανόραμα, ισοστάθμιση και εφαρμογή βάθους στο μεμβρανόφωνο οργάνου	65
6.4 Συμπερασματική αποτίμηση της ψηφιακής ανασύνθεσης και της τελικής σύνθεσης.....	66
6.4.1 Αξιολόγηση του καλλιτεχνικού και τεχνικού αποτελέσματος του σωληνόφωνου οργάνου	66
6.4.2 Αξιολόγηση του καλλιτεχνικού και τεχνικού αποτελέσματος του μεμβρανόφωνου οργάνου	67
6.5 Ψηφιακοί σύνδεσμοι σκρόασης	67
6.5.1 Ηχητική σύνθεση του σωληνόφωνου οργάνου.....	68
6.5.2 Ηχητική σύνθεση μεμβρανόφωνου οργάνου.....	68
7. Αξιολόγηση και Κριτική Ανάλυση Αποτελεσμάτων	69
7.1 Ακουστική Αξιολόγηση & Μετρήσεις Κρουστικών Αποκρίσεων	69
7.2 Υποκειμενική αξιολόγηση και ανάλυση αποτελεσμάτων	71
7.2.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο	71
7.2.2 Αξιολόγηση σωληνόφωνου	72
7.2.3 Αξιολόγηση Μεμβρανόφωνου	75
7.3 Συνολική Αποτίμηση & Συμπεράσματα Αξιολόγησης	76
8: Γενικά Συμπεράσματα	78
8.1 Η οργανολογική και ακουστική αποτίμηση των κατασκευών	78
8.2 Ψηφιακή επεξεργασία και ηχητικός σχεδιασμός.....	79
8.3 Καταληκτικά συμπεράσματα και μελλοντικές προεκτάσεις	79
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	81

Ευρετήριο εικόνων

Εικόνα 2.1: Παραδοσιακό Akonting των φυλών Jola.....	12
Εικόνα 2.2: Αφρικανική Kora (άρπα-λαούτο).....	12
Εικόνα 2.3: Σύγχρονο "Drum-Banjo" με μεταλλικό στεφάνι.	13
Εικόνα 2.4: Το υβριδικό όργανο της παρούσας μελέτης. Ένα floor tom 16 ιντσών που λειτουργεί ως αντηχείο, φέροντας ταστιέρα και δύο χορδές ηλεκτρικού μπάσου.....	14
Εικόνα 3.1: Τυπικό Floor Tom 16 ιντσών.	19
Εικόνα 3.2: Πλευρική όψη του οργάνου όπου φαίνεται η γραμμική δόμηση και η προσαρμογή της ξύλινης ταστιέρας πάνω στον κεντρικό φορέα από σκληρό PVC.	20
Εικόνα 3.4: Γερμανικό δοξάρι κοντραμπάσου.	21
Εικόνα 3.3: Ο οστέινος καβαλάρης (bridge) του οργάνου.	21
Εικόνα 3.5: Η μετατροπή του μεταλλικού στεφάνου (hoop) του floor tom σε ενεργό στοιχείο συγκράτησης των χορδών.	22
Εικόνα 3.6: Λεπτομέρεια της ειδικά διαμορφωμένης καμπυλωτής ξύλινης πλάκας (τάκος) για την έδραση και στατική σταθεροποίηση της ταστιέρας στο κυλινδρικό σώμα του Floor Tom.	23
Εικόνα 3.7: Λεπτομέρεια του πίσω καβαλάρη (tailpiece/bridge) από Plexiglas.	24
Εικόνα 3.8: Λεπτομέρεια της ακρυλικής γέφυρας (Plexiglas) και του σημείου έδρασης των χορδών πάνω στο σώμα από PVC, αναδεικνύοντας τη διεπαφή των διαφορετικών πολυμερών.	25
Εικόνα 3.9: Λεπτομέρεια της ταστιέρας με την ειδική οπτική σήμανση (τάστα) για την ακριβή πλοήγηση του εκτελεστή.	28
Εικόνα 3.10: Η ξύλινη κεφαλή με τα κλειδιά μπάσου βαρέος τύπου και τους οδηγούς των χορδών (string retainers) για τη διασφάλιση της σωστής γωνίας πίεσης.	31
Εικόνα 3.11: Η μεμβράνη τύπου Encore εγκατεστημένη στο ελεύθερο άκρο του σωλήνα, λειτουργώντας ως δυναμικός παθητικός ακτινοβολητής.	32
Εικόνα 4.1: Γενική άποψη της πειραματικής διάταξης στο στούντιο, όπου διακρίνεται η έδραση του PVC και η χωροθέτηση του εξοπλισμού.	35
Εικόνα 4.2: Γενική άποψη της πειραματικής διάταξης στο στούντιο, όπου διακρίνεται η έδραση του PVC και η χωροθέτηση του εξοπλισμού.	35
Εικόνα.4.4: Λεπτομερής άποψη της διάταξης των μικροφώνων.	36
Εικόνα 4.3: Λεπτομέρεια της μικροφωνικής διάταξης (ECM8000 και SM57) για την ταυτόχρονη λήψη μετρωλογικών και μουσικών δεδομένων.	36
Εικόνα 5.1: Κυματομορφές κρουστικής απόκρισης της μεμβράνης για τα δείγμα 1.	37
Εικόνα 5.2: Κυματομορφές κρουστικής απόκρισης της μεμβράνης για τα δείγμα 2.	37

Εικόνα 5.3: Κυματομορφές κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) της μεμβράνης για τα δείγμα 3.	38
Εικόνα 5.4: Τελική κυματομορφή του Vector Average (Μέσος Όρος).....	38
Εικόνα 5.5: Κυματομορφή της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δείγμα 1.....	39
Εικόνα 5.6: Κυματομορφή της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δείγμα 2.....	39
Εικόνα 5.7: Κυματομορφή της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δείγμα 3.....	40
Εικόνα 5.8: Κυματομορφή της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δείγμα 4.....	40
Εικόνα 5.9: Κυματομορφή της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δείγμα 5.....	40
Εικόνα 5.10: Κυματομορφή της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δείγμα 6.....	40
Εικόνα 5.11: Κυματομορφή του μέσου όρου της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος.	41
Εικόνα 5.12: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης του αντηχείου PVC (Δείγμα 01)	42
Εικόνα 5.13: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης του αντηχείου PVC (Δείγμα 02)	42
Εικόνα 5.14: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης του αντηχείου PVC (Δείγμα 03)	42
Εικόνα 5.15: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης του αντηχείου PVC (Δείγμα 04)	43
Εικόνα 5.16: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης του αντηχείου PVC (Δείγμα 05)	43
Εικόνα 5.17: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης του αντηχείου PVC (Δείγμα 06)	43
Εικόνα 5.18: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης του αντηχείου PVC (Δείγμα 07)	44
Εικόνα 5.19: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης του αντηχείου PVC (Δείγμα 08)	44
Εικόνα 5.20: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης του αντηχείου PVC (Δείγμα 09)	44
Εικόνα 5.21: Απεικόνιση του Διανυσματικού Μέσου Όρου των εννέα προηγηθέντων κρουστικών αποκρίσεων.	45
Εικόνα 5.22: Συγκριτικό διάγραμμα των αποκρίσεων στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) για το σύνολο των μετρήσεων.....	45
Εικόνα 5.23: Αναλυτική απεικόνιση της φασματικής απόκρισης (SPL) με έμφαση στις τιμές αιχμής.	46
Εικόνα 5.24: Φασματική ανάλυση στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) για το δείγμα SPL 1.....	46
Εικόνα 5.25: Φασματική ανάλυση στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) για το δείγμα SPL 2.....	46
Εικόνα 5.26: Φασματική ανάλυση στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) για το δείγμα SPL 3.....	47
Εικόνα 5.27: Συγκριτικό διάγραμμα της Ανάλυσης Απόκρισης Συχνότητας (SPL) για το ξύλινο ηχείο.	47
Εικόνα 5.28: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL 1.	48
Εικόνα 5.29: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL 2.	48
Εικόνα 5.30: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL 3.	48
Εικόνα 5.31: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL 4.	48
Εικόνα 5.32: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL 5.	49

Εικόνα 5.33: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL 6.	49
Εικόνα 5.34: Τελική καμπύλη μέσης φασματικής απόκρισης (Vector Average) του ξύλινου ηχείου.	49
Εικόνα 5.35: Συγκριτική απεικόνιση των εννέα (9) μεμονωμένων κυματομορφών κρουστικής απόκρισης (Impulse Responses).	50
Εικόνα 5.36: Τελική κυματομορφή Διανυσματικού Μέσου Όρου (Vector Average).....	50
Εικόνα 5.37: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 01.	51
Εικόνα 5.38: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 02.	51
Εικόνα 5.39: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 03.	51
Εικόνα 5.40: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 04.	51
Εικόνα 5.41: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 05.	52
Εικόνα 5.42: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 06.	52
Εικόνα 5.43: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 07.	52
Εικόνα 5.44: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 08.	52
Εικόνα 5.45: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 09.	53
Εικόνα 5.46: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 10.	53
Εικόνα 5.47: Τρισδιάστατο διάγραμμα καταρράκτη της κρουστικής απόκρισης του μεμβρανόφωνου.	54
Εικόνα 5.48: Τρισδιάστατο διάγραμμα καταρράκτη της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου ηχείου.	55
Εικόνα 5.60: Ανάλυση Φασματογραφήματος της κρουστικής απόκρισης.	57
Εικόνα 5.61: Ανάλυση Φασματογραφήματος του ξύλινου ηχείου.	58
Εικόνα 6.1: Το περιβάλλον εργασίας του REAPER κατά τη διαδικασία του δομικού μοντάζ, της χρονικής ευθυγράμμισης στο πλέγμα και της εφαρμογής crossfades και envelopes στα audio items του οργάνου PVC.	62
Εικόνα 6.2: Το περιβάλλον εργασίας του REAPER κατά τη διαδικασία του δομικού μοντάζ, της χρονικής ευθυγράμμισης στο πλέγμα και της εφαρμογής crossfades και envelopes στα audio items του μεμβρανόφωνου οργάνου.	63
Εικόνα 6.3: Το περιβάλλον του Mixer στο REAPER με τις ρυθμίσεις στάθμης, πανοραμικής θέσης (panning) και την εισαγωγή των native plug-ins επεξεργασίας ανά κανάλι.	64
Εικόνα 6.4: Το περιβάλλον του Mixer στο REAPER με τις ρυθμίσεις στάθμης, πανοραμικής θέσης (panning) και την εισαγωγή των native plug-ins επεξεργασίας ανά κανάλι.	65
Εικόνα 6.5: Η ολοκληρωμένη στερεοφωνική κυματομορφή (Stereo Audio Track) της τελικής ηχητικής σύνθεσης του PVC οργάνου στο περιβάλλον του REAPER.	66
Εικόνα 6.6: Η ολοκληρωμένη στερεοφωνική κυματομορφή (Stereo Audio Track) της τελικής ηχητικής σύνθεσης του μεμβρανόφωνου οργάνου στο περιβάλλον του REAPER.	67

1. Εισαγωγή

Η εξέλιξη της μουσικής τεχνολογίας και η σύγχρονη οργανοποιία αναζητούν συνεχώς νέους τρόπους έκφρασης μέσα από τον συνδυασμό παραδοσιακών ακουστικών δομών και ψηφιακών μέσων. Η παρούσα εργασία εντάσσεται σε αυτό το πλαίσιο πειραματισμού, εξερευνώντας τα όρια μεταξύ φυσικής ακουστικής και ψηφιακής επεξεργασίας ήχου. Μέσα από τη σχεδίαση και την κατασκευή καινοτόμων υβριδικών οργάνων, επιχειρείται μια βαθύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των υλικών, καθώς και των νέων ηχητικών δυνατοτήτων που προκύπτουν από τη σύζευξή τους με τη σύγχρονη τεχνολογία.

1.1 Αντικείμενο και στόχοι της μελέτης

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται τον σχεδιασμό, την υλοποίηση και την ακουστική ανάλυση δύο αυτοσχέδιων μουσικών οργάνων, τα οποία κατατάσσονται στην κατηγορία των υβριδικών μεμβρανόφωνων-χορδόφωνων. Κεντρικός άξονας της έρευνας είναι η μελέτη της φυσικής των οργάνων και η διερεύνηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ των φυσικών υλικών και της ψηφιακής ηχητικής επεξεργασίας.

Το πρώτο όργανο που κατασκευάστηκε (Μεμβρανόφωνο) βασίζεται στην αρχή λειτουργίας του μπάντζο, όπου η ενέργεια των χορδών μεταφέρεται μέσω μιας γέφυρας σε μια τεντωμένη μεμβράνη, η οποία λειτουργεί ως το κύριο ακουστικό μέσο παραγωγής του ήχου. Σύμφωνα με τη μελέτη του Dickerson (Dickerson, 2014), η μεμβράνη δεν αποτελεί ένα παθητικό στοιχείο, αλλά έναν ενεργό ταλαντωτή με δικούς του τρόπους δόνησης, οι οποίοι καθορίζουν την ταχύτητα απόσβεσης και το μοναδικό φασματικό περιεχόμενο του παραγόμενου ήχου. Στην περίπτωση αυτής της κατασκευής, χρησιμοποιήθηκε ως αντηχείο ένα σώμα από floor tom, γεγονός που διαφοροποιεί σημαντικά την ακουστική συμπεριφορά σε σχέση με τα παραδοσιακά όργανα του είδους. Η μεγάλη κοιλότητα αέρα στο εσωτερικό του τυμπάνου δημιουργεί έναν συντονισμό σε χαμηλότερες συχνότητες, επηρεάζοντας άμεσα τη σύζευξη μεταξύ της μεμβράνης και του εσωτερικού αέρα. Παράλληλα, η έλλειψη τάσεων στο μπράτσο του οργάνου επιτρέπει μια μικροτονική προσέγγιση, προσφέροντας ένα πλούσιο ηχητικό υλικό για περαιτέρω ψηφιακό μετασχηματισμό.

Το δεύτερο όργανο που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε (Όργανο PVC) μετατοπίζει την έρευνα από τα κλασικά πρότυπα της οργανοποιίας στα σύγχρονα βιομηχανικά υλικά. Κεντρικό στοιχείο της δομής του αποτελεί ένας κυλινδρικός σωλήνας PVC, ο οποίος λειτουργεί ως ένα σύνθετο ακουστικό αντηχείο κλειστού-ανοιχτού άκρου. Στην κατασκευή αυτή, η μελέτη επικεντρώνεται στον τρόπο με τον οποίο τα στάσιμα κύματα και οι συντονισμοί της κυλινδρικής στήλης αέρα συζευγνύονται με τη δική του μεμβράνη και το μηχανικό σύστημα των χορδών. Η χρήση πολυμερών βιομηχανικών υλικών, σε συνδυασμό με ειδικά σχεδιασμένα ακρυλικά στοιχεία, προσφέρει μια εντελώς διαφορετική προσέγγιση στην εργονομία, τη μεταφορά των ταλαντώσεων και τη χρονική απόσβεση του ήχου, δημιουργώντας ένα ιδιότυπο ηχητικό αποτύπωμα.

Η εργασία διαρθρώνεται σε τρία βασικά στάδια για κάθε μία από τις δύο κατασκευές:

1. Την τεχνική περιγραφή της κατασκευής, τον γεωμετρικό σχεδιασμό και την τεκμηρίωση της επιλογής των υλικών.
2. Την ακουστική ανάλυση, βασισμένη στις αρχές της φυσικής των μεμβρανών και των ακουστικών αντηχείων, με τη χρήση εργαστηριακών μετρήσεων κρουστικής απόκρισης για τη μελέτη των ιδιοσυχνοτήτων τους (Dickerson, 2014).
3. Την καλλιτεχνική εφαρμογή, όπου οι καταγεγραμμένοι ήχοι των δύο οργάνων αποτελούν τη βάση για τη δημιουργία πρωτότυπων ηχητικών συνθέσεων στο περιβάλλον του REAPER, μέσα από τεχνικές ψηφιακού μοντάζ, , και στερεοφωνικής χωροθέτησης.

Στόχος είναι η ανάδειξη ενός νέου ηχητικού αντικειμένου που γεφυρώνει την παραδοσιακή και πειραματική οργανοποιία με τη σύγχρονη ψηφιακή τέχνη, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη εμπειρία από τη φυσική παραγωγή του ήχου έως την ψηφιακή του ανασύνθεση.

Η ιστορία του μπάτζο και των οργάνων με μεμβρανικό ή κυλινδρικό αντηχείο αποτελεί μια από τις πιο συναρπαστικές διαδρομές στην οργανοποιία, καθώς αποτελεί τη ζωντανή απόδειξη της πολιτισμικής μεταφοράς και της ανθρώπινης εφευρετικότητας στην αξιοποίηση των διαθέσιμων υλικών.

2. Ιστορικό και φυσικό πλαίσιο των οργάνων

Η κατανόηση της εξέλιξης των μουσικών οργάνων απαιτεί μια συνδυαστική ματιά στην ιστορική τους διαδρομή και στις φυσικές αρχές που διέπουν τη λειτουργία τους. Κάθε σύγχρονη κατασκευαστική απόπειρα πατάει πάνω σε παραδόσεις αιώνων, όπου τα διαθέσιμα υλικά και οι ανάγκες της εκάστοτε κοινότητας διαμόρφωσαν τα πρώτα ακουστικά αντηχεία. Εξετάζοντας το ιστορικό και φυσικό πλαίσιο, γίνεται εφικτή η αποδομημένη μελέτη των μηχανικών και ακουστικών ιδιοτήτων που κληρονομούν τα σύγχρονα υβριδικά όργανα (Hornbostel & Sachs, 1914).

2.1 Η Ιστορική εξέλιξη των οργάνων με μεμβρανικό αντηχείο

Τα όργανα που χρησιμοποιούν τεντωμένη μεμβράνη ως κύριο μέσο ενίσχυσης και διαμόρφωσης του ήχου κατέχουν μια ξεχωριστή θέση στην παγκόσμια μουσική ιστορία. Η χρήση δέρματος ή άλλων οργανικών μεμβρανών πάνω σε κοίλα σώματα αποτέλεσε τη βάση για μερικά από τα παλαιότερα έγχορδα και κρουστά όργανα του πλανήτη. Η ιστορική αυτή διαδρομή ξεκινά από απλές, οργανικές δομές και εξελίσσεται σε σύνθετα πολυφωνικά συστήματα, αναδεικνύοντας τη διαχρονική σημασία του μεμβρανικού αντηχείου στην παραγωγή πλούσιου ακουστικού περιεχομένου.

2.1.1 Η Αφρικανική ρίζα: Το Akonting και η Kora



Εικόνα 2.1: Παραδοσιακό Akonting των φυλών Jola. Διακρίνεται το ηχείο από κολοκύθα, η δερμάτινη μεμβράνη και η απλή δομή του μπράτσου-ράβδου.



Εικόνα 2.2: Αφρικανική Kora (άρπα-λαούτο). Χαρακτηριστικό παράδειγμα πολυφωνικού οργάνου με αντηχείο κολοκύθας και σύνθετο σύστημα χορδών.

Πριν το μπάντζο πάρει τη σύγχρονη μορφή του με το μεταλλικό στεφάνι, οι πρόγονοί του στη Δυτική Αφρική (της Σενεγάλης και της Γκάμπιας) κατασκεύασαν το Akonting (Εικόνα 2.1) από μια ξερή κολοκύθα που κοβόταν στη μέση. Πάνω στην κολοκύθα τέντωναν δέρμα κατσίκας, το οποίο στερεωνόταν με ξύλινα καρφιά ή ράμματα. Το μπράτσο ήταν ένα απλό ξύλινο ραβδί που διαπερνούσε την κολοκύθα (Hopkin, 1996).

Η Kora (Εικόνα 2.2) αποτελεί το πλέον εμβληματικό όργανο της Δυτικής Αφρικής, με την εμφάνισή της να εντοπίζεται στον 18ο αιώνα στην περιοχή της αυτοκρατορίας Kabu (σημερινή Σενεγάλη και Γκάμπια). Ως άρπα-λαούτο, συνδυάζει την πολυφωνία της άρπας με την κατασκευαστική λογική των εγχόρδων με μεμβράνη. Το ηχείο της κατασκευάζεται από μια μεγάλη κολοκύθα καλυμμένη με δέρμα, πάνω στο οποίο εδράζεται ένας υπερυψωμένος καβαλάρης που υποβαστάζει παραδοσιακά 21 χορδές. Το όργανο συνδέεται άρρηκτα με την κοινωνική κάστα των Griots, οι οποίοι λειτουργούσαν ως θεματοφύλακες της προφορικής ιστορίας και της γενεαλογίας των λαών Mandinka, μεταφέροντας την παράδοση από γενιά σε γενιά μέσω της μουσικής (Fletcher N. H., 1985).

2.1.2 Η εξέλιξη στην Αμερική: Από την κολοκύθα στο "Drum-Banjo"



Εικόνα 2.3: Σύγχρονο "Drum-Banjo" με μεταλλικό στεφάνι, η εξέλιξη του οργάνου από την κολοκύθα στον κυλινδρικό σκελετό.

Κατά τον 17ο και 18ο αιώνα, οι υπόδουλοι Αφρικανοί στην Αμερική συνέχισαν να κατασκευάζουν αυτά τα όργανα. Η μεγάλη αλλαγή συνέβη στα μέσα του 19ου αιώνα, όταν το σώμα από κολοκύθα αντικαταστάθηκε από ένα κυλινδρικό ξύλινο στεφάνι (Εικόνα 2.3), παρόμοιο με αυτό ενός τυμπάνου (Politzer, 2015).



Εικόνα 2.4: Το υβριδικό όργανο της παρούσας μελέτης. Ένα floor tom 16 ιντσών που λειτουργεί ως αντηχείο, φέροντας ταστιέρα και δύο χορδές ηλεκτρικού μπάσου.

Αυτή ακριβώς η εξέλιξη είναι που συνδέει ιστορικά το όργανο κατασκευής μου (Εικόνα 2.4) με το μπάντζο. Ουσιαστικά, είναι ένα τύμπανο πάνω στο οποίο έχουν προσαρμοστεί ταστιέρα και χορδές ηλεκτρικού μπάσου (Politzer, 2015).

2.2 Από τα φυσικά πρότυπα στα βιομηχανικά υλικά: Η γεωμετρία του σωλήνα στην οργανοποιία

Η μετάβαση από τα φυσικά υλικά, όπως το μπαμπού και το ξύλο, στα σύγχρονα βιομηχανικά στοιχεία (όπως οι σωλήνες PVC) δεν αλλάζει την υποκείμενη φυσική, αλλά επαναπροσδιορίζει τα κατασκευαστικά όρια. Στην καρδιά αυτής της εξέλιξης βρίσκεται η γεωμετρία του σωλήνα: ένα ιδανικό σχήμα για τη δημιουργία ακουστικών κοιλοτήτων που εγκλωβίζουν και διαμορφώνουν τις στήλες αέρα. Μελετώντας πώς η γεωμετρία αυτή αξιοποιήθηκε ιστορικά, μπορούμε να κατανοήσουμε καλύτερα τις ακουστικές αρχές που εφαρμόζονται σήμερα στα σύγχρονα, βιομηχανικά υλικά της οργανοποιίας.

2.2.1 Ιστορικά πρότυπα σωληνωτών οργάνων: Από τον αυλό του Πάνα στα Bamboo Slap Tubes

Η χρήση του κυλινδρικού σωλήνα ως ακουστικό αντηχείο αποτελεί μια από τις αρχαιότερες μεθόδους παραγωγής ήχου στην ιστορία της ανθρωπότητας. Παραδοσιακά, τα όργανα αυτά βασίζονταν σε φυσικούς σωλήνες, με κυριότερο υλικό το μπαμπού, λόγω της φυσικής του κοιλότητας και της δομικής του ακαμψίας (Hopkin, 2002).

Στην παραδοσιακή μουσική των νησιών του Ειρηνικού (π.χ. Νησιά Σολομώντος, Παπούα Νέα Γουινέα), συναντάμε τα κρουστικούς σωλήνες μπαμπού. Πρόκειται για μια διάταξη ανοιχτών σωλήνων διαφορετικού μήκους, τους οποίους οι μουσικοί κρούουν στο ανοιχτό άκρο με τη χρήση επίπεδων «κοπανιστηριών» (συχνά φτιαγμένων από εύκαμπτο δέρμα ή φύλλα). Η κρούση αυτή διεγείρει τη στήλη αέρα στο εσωτερικό του σωλήνα, παράγοντας

μπάσους, κρουστικούς τόνους, των οποίων η θεμελιώδης συχνότητα εξαρτάται αποκλειστικά από το μήκος του σωλήνα (Hopkin, 2002).

Παράλληλα, στην κατηγορία των χορδόφωνων, το μπαμπού χρησιμοποιήθηκε εκτενώς σε όργανα όπως το Valiha της Μαδαγασκάρης. Στο Valiha, οι χορδές είναι τοποθετημένες παράλληλα κατά μήκος του σωλήνα και ανασηκώνονται με μικρούς καβαλάρηδες. Ο ίδιος ο σωλήνας λειτουργεί ως το κυλινδρικό αντηχείο που ενισχύει τον ήχο των χορδών (Hopkin, 1996).

2.2.2 Το κίνημα των "Found Objects" και τα σύγχρονα πειραματικά όργανα PVC

Κατά τον 20ό αιώνα, η εμφάνιση των κινημάτων της avant-garde και της συγκεκριμένης μουσικής άλλαξε ριζικά τον ορισμό του μουσικού υλικού. Το κίνημα των "found objects" (έτοιμων αντικειμένων) και της οργανοποιίας εισήγαγε τη χρήση βιομηχανικών υλικών στην κατασκευή οργάνων (Barthor, 2016).

Ο βιομηχανικός σωλήνας από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC) έγινε γρήγορα το αγαπημένο υλικό των πειραματικών οργανοποιών. Η ομοιογενής του μάζα, η παντελής έλλειψη ανισοτροπίας (σε αντίθεση με το φυσικό ξύλο) και η λεία εσωτερική του επιφάνεια προσέφεραν ιδανικές συνθήκες για τη μελέτη και τον έλεγχο των στάσιμων κυμάτων (Hopkin, 2002).

Σύγχρονα σχήματα, όπως οι *Blue Man Group*, εκλαΐκευσαν παγκοσμίως τα μεγάλα "PVC Instruments", αποδεικνύοντας ότι οι βιομηχανικοί σωλήνες αποχέτευσης μπορούν να λειτουργήσουν ως ακουστικά αντηχεία ακριβείας με εξαιρετική απόκριση στις χαμηλές συχνότητες (Kist, 2014).

2.3 Θεωρητικό υπόβαθρο και ακουστική λειτουργία

Πίσω από κάθε κατασκευαστική επιλογή κρύβεται ένα αυστηρό σύστημα φυσικών νόμων που καθορίζει το τελικό ηχητικό αποτέλεσμα. Η μελέτη της ακουστικής λειτουργίας των οργάνων δεν περιορίζεται στην απλή καταγραφή των συχνοτήτων, αλλά εξετάζει σε βάθος τη μηχανική σύζευξη των επιμέρους στοιχείων τους. Στην ενότητα αυτή, αναλύεται το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο που ερμηνεύει τη συμπεριφορά του αέρα και των υλικών, προσφέροντας το επιστημονικό πρίσμα μέσα από το οποίο δικαιολογείται η δομική και ακουστική ταυτότητα των νέων αυτών κατασκευών.

2.3.1 Σύνδεση με τη φυσική (Politzer): Η θεωρητική βάση της μελέτης του μεμβρανόφωνου

Όπως αναφέρει ο David Politzer στην έρευνα του, η μετάβαση από το βαθύ σώμα στο πιο ρηχό "pot" άλλαξε δραματικά τον τρόπο που ο αέρας στο εσωτερικό συντονίζεται με τη μεμβράνη. Το όργανο, χρησιμοποιώντας ένα ολόκληρο floor tom, επιστρέφει κατά κάποιο τρόπο στις "βαθιές" ρίζες του οργάνου, προσφέροντας έναν όγκο που πλησιάζει περισσότερο

στον συντονισμό των μεγάλων αφρικανικών οργάνων παρά στο στεγνό ήχο ενός σύγχρονου μπάντζο. Χρησιμοποιείς τη σύγχρονη τεχνολογία των τυμπάνων (μεμβράνες REMO, μεταλλικά στεφάνια με βίδες) για να υπάρχει ο έλεγχος της τάσης, όπως ακριβώς περιγράφει ο Politzer για τις μεμβράνες 1100 D (Politzer, 2015).

2.3.2 Η διάταξη του σωληνόφωνου οργάνου ως ακουστικό σύστημα

Το υπό εξέταση όργανο ταξινομείται στην ευρύτερη κατηγορία των γραμμικών χορδοφώνων με αντηχείο σωλήνα, παρουσιάζοντας ωστόσο μια μοναδική αρχιτεκτονική που το διαφοροποιεί από τα κλασικά έγχορδα. Η ακουστική του λειτουργία δεν βασίζεται σε έναν ενιαίο αντηχητικό θάλαμο, αλλά σε ένα σύνθετο σύστημα διαδοχικής μεταφοράς κινητικής ενέργειας, το οποίο μπορεί να περιγραφεί ως μια αλυσίδα μηχανικών και ακουστικών συζεύξεων.

Η διαδικασία παραγωγής του ήχου ξεκινά από την πρωτογενή πηγή διέγερσης, που είναι η παλλόμενη χορδή. Λόγω της μεγάλης μάζας των χορδών μπάσου, η ενέργεια που παράγεται είναι ικανή να μεταδοθεί μέσω της ακρυλικής γέφυρας στην ξύλινη επιφάνεια αντήχησης. Σε αυτό το στάδιο, το ξύλο λειτουργεί ως μετατροπέας ακουστικής εμπέδησης, "γεφυρώνοντας" την υψηλή μηχανική αντίσταση της χορδής με τη χαμηλότερη αντίσταση του αέρα στο εσωτερικό του σωλήνα. Η ξύλινη επιφάνεια διεγείρει τη στήλη αέρα, η οποία βρίσκεται εγκλωβισμένη στον κυλινδρικό θάλαμο PVC, μετατρέποντας τις μηχανικές δονήσεις σε ακουστικά κύματα πίεσης (Αμουργιανός, 2018).

Το σύστημα ολοκληρώνεται με την προσθήκη της μεμβράνης στο άκρο του σωλήνα, η οποία εισάγει μια κρίσιμη παράμετρο ελέγχου. Η μεμβράνη αυτή δεν λειτουργεί ως άμεσο ηχείο, αλλά ως ένα παθητικό στοιχείο ελέγχου της ακουστικής εμπέδησης. Σφραγίζοντας το ένα άκρο του σωλήνα, μεταβάλλει τις οριακές συνθήκες του συστήματος, επιβάλλοντας τη δημιουργία συγκεκριμένων αρμονικών σειρών που αντιστοιχούν σε ημι-κλειστούς σωλήνες. Η αλληλεπίδραση αυτής της παθητικής μεμβράνης με τη μάζα του αέρα δημιουργεί ένα φαινόμενο ακουστικής ανάρτησης, όπου η τάση της μεμβράνης καθορίζει την "αντίσταση" που προβάλλει ο σωλήνας στη διαστολή και συστολή του αέρα. Έτσι, το όργανο λειτουργεί ως ένας δυναμικός αντηχητής, όπου η χροιά και η διάρκεια του ήχου δεν εξαρτώνται μόνο από τη χορδή, αλλά από τη συνολική ισορροπία των συζευγμένων ταλαντωτών: χορδή, ξύλινη πλάκα, στήλη αέρα και μεμβράνη (Rossing et al., 2014).

2.3.3 Ακουστική κλειστού-ανοιχτού σωλήνα, στάσιμα κύματα και συντονισμοί

Ο σωλήνας PVC στην παρούσα κατασκευή λειτουργεί ως ένας σύνθετος αντηχητής στάσιμων κυμάτων, του οποίου η ακουστική συμπεριφορά καθορίζεται από τη γεωμετρία του και τις οριακές συνθήκες στα άκρα του. Η τοποθέτηση της μεμβράνης στο ένα άκρο του σωλήνα μετασχηματίζει το σύστημα από έναν τυπικό "ανοιχτό" σωλήνα σε έναν "ημι-κλειστό" αντηχητή. Στην κλασική ακουστική, ένας σωλήνας κλειστός στο ένα άκρο παρουσιάζει ιδιοσυχνότητες που αντιστοιχούν στα περιττά πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας, επιτρέποντας την ενίσχυση πολύ χαμηλότερων συχνοτήτων σε σύγκριση με έναν ανοιχτό σωλήνα ίδιου μήκους.

Η καινοτομία της συγκεκριμένης διάταξης έγκειται στο γεγονός ότι το "κλείσιμο" του σωλήνα δεν είναι δύσκαμπτο, αλλά επιτυγχάνεται μέσω μιας ελαστικής μεμβράνης που λειτουργεί ως παθητικός ακτινοβολητής. Η μεμβράνη δεν διεγείρεται μηχανικά από τον μουσικό, αλλά τίθεται σε κίνηση αποκλειστικά από τις μεταβολές της εσωτερικής πίεσης του αέρα που προκαλούν οι παλλόμενες χορδές. Καθώς το ηχητικό κύμα ταξιδεύει κατά μήκος του σωλήνα και προσκρούει στη μεμβράνη, ένα μέρος της ενέργειας αντανακλάται πίσω για να δημιουργήσει το στάσιμο κύμα, ενώ ένα άλλο μέρος απορροφάται και επανεκπέμπεται από τη μεμβράνη προς το περιβάλλον. Αυτή η διαδικασία ενισχύει δραστικά την απόδοση του οργάνου στις χαμηλές συχνότητες, καθώς η μάζα της μεμβράνης σε συνδυασμό με την ελαστικότητά της λειτουργεί ως ένας πρόσθετος ταλαντωτής που "σπρώχνει" μεγαλύτερο όγκο αέρα από ό,τι θα έκανε ένα απλό άνοιγμα (Rossing et al., 2014).

Η επίδραση της τάσης της μεμβράνης μέσω του μηχανισμού των βιδών είναι ο καθοριστικός παράγοντας για το κούρδισμα του ακουστικού σώματος. Η τάση μεταβάλλει τη δυσκαμψία της μεμβράνης, η οποία με τη σειρά της μετατοπίζει την ιδιοσυχνότητα συντονισμού του συστήματος "σωλήνα-αέρα-μεμβράνης". Μια πιο χαλαρή μεμβράνη επιτρέπει μεγαλύτερη διαδρομή και ενισχύει τις πολύ χαμηλές συχνότητες, ενώ μια πιο τεντωμένη μεμβράνη αυξάνει τη συχνότητα συντονισμού και προσφέρει ταχύτερη απόκριση και καθαρότητα. Αυτή η δυνατότητα μικρο-ρύθμισης επιτρέπει στον κατασκευαστή να ευθυγραμμίσει την ακουστική απόκριση του σωλήνα με τις θεμελιώδεις συχνότητες των χορδών, μεγιστοποιώντας την ηχητική απόδοση και τη διάρκεια του οργάνου.

Η θεωρητική ανάλυση της ακουστικής συμπεριφοράς του οργάνου βασίζεται στον προσδιορισμό των ιδιοσυχνοτήτων της εσωτερικής στήλης αέρα. Σε έναν ιδεατό σωλήνα, τα στάσιμα κύματα δημιουργούνται από την παρεμβολή των οδεύοντων κυμάτων που ανακλώνται στα άκρα του. Στην περίπτωση της παρούσας κατασκευής, η μεμβράνη στο ένα άκρο δεν λειτουργεί ως ένα απόλυτα δύσκαμπτο όριο, αλλά ως ένα ελαστικό τοίχωμα που εισάγει το φαινόμενο της "ακουστικής μάζας". Αυτή η μάζα, σε συνδυασμό με την ελαστικότητα της μεμβράνης, προκαλεί μια φαινομενική επιβράδυνση της ανάκλασης του κύματος, η οποία μαθηματικά μεταφράζεται ως μια εικονική επιμήκυνση του σωλήνα, συμβολιζόμενη ως ΔL .

Η συχνότητα συντονισμού f του συστήματος επηρεάζεται άμεσα από αυτή την παράμετρο, ακολουθώντας την προσέγγιση του τύπου:

$$f = u/4(L + \Delta L)$$

όπου u αντιπροσωπεύει την ταχύτητα διάδοσης του ήχου στον αέρα και L το φυσικό μήκος του σωλήνα PVC. Η παρουσία του παράγοντα ΔL είναι καθοριστική, καθώς επιτρέπει στο όργανο να συντονίζεται σε συχνότητες σημαντικά χαμηλότερες από εκείνες που θα παρήγαγε ένας κοινός ανοιχτός σωλήνας του ίδιου μήκους. Ουσιαστικά, η μεμβράνη επιτρέπει στον κατασκευαστή να "ξεγελάσει" τη φυσική γεωμετρία, προσδίδοντας στο όργανο τη βαθυφωνία ενός πολύ μεγαλύτερου ηχείου, χωρίς την ανάλογη αύξηση του όγκου ή του βάρους της κατασκευής.

Επιπλέον, η αλληλεπίδραση των στάσιμων κυμάτων με την ελαστική μεμβράνη δημιουργεί ένα φαινόμενο απόσβεσης επιλεγμένων αρμονικών. Καθώς η μεμβράνη απορροφά μέρος της ενέργειας των υψηλότερων συχνοτήτων, το φάσμα του ήχου επικεντρώνεται στην περιοχή της θεμελιώδους συχνότητας και των πρώτων αρμονικών της. Αυτή η επιλεκτική ενίσχυση προσδίδει στο όργανο την ιδιαίτερη "τρογγυλάδα" και τον καθαρό παλμό στις χαμηλές

νότες, καθιστώντας το ένα ιδανικό πεδίο μελέτης για τη σύζευξη έγχορδων πηγών με σύνθετα ακουστικά συστήματα μεταβλητού μήκους (Αμουργιανός, 2018).

2.4 Στόχευση των κατασκευών

Η σχεδίαση και η υλοποίηση των δύο πρωτότυπων οργάνων της παρούσας διπλωματικής εργασίας δεν αποτελεί μια απλή κατασκευαστική δοκιμή, αλλά μια στοχευμένη ερευνητική διαδικασία με συγκεκριμένους άξονες. Η επιλογή να αναπτυχθούν παράλληλα το μεμβρανόφωνο (με βάση το Floor Tom) και το Όργανο PVC βασίζεται σε τρεις κεντρικούς στόχους:

1. Η γέφυρα μεταξύ παράδοσης και βιομηχανικής υλικότητας. Ο πρώτος βασικός στόχος είναι η διερεύνηση του πώς οι ιστορικές κατασκευαστικές αρχές μπορούν να μεταφερθούν και να επαναπροσδιοριστούν μέσα από σύγχρονα, εύκολα προσβάσιμα υλικά.

Από τη μία πλευρά, το μεμβρανόφωνο στοχεύει στην ανασύνθεση της φιλοσοφίας του αφρικανικού Akonting και του αμερικανικού banjo, χρησιμοποιώντας όμως ως αντηχείο ένα έτοιμο μουσικό σώμα (Floor Tom 16"), μεταβάλλοντας έτσι τον όγκο του εσωτερικού αέρα και δημιουργώντας μια νέα ακουστική ισορροπία.

Από την άλλη πλευρά, το Όργανο PVC στοχεύει στην πλήρη αποδέσμευση από τα κλασικά υλικά της οργανοποιίας (όπως το ξύλο), εξερευνώντας τις ακουστικές ιδιότητες των industrial πολυμερών και τη συμπεριφορά των στάσιμων κυμάτων μέσα σε μια απόλυτα ομοιογενή κυλινδρική δομή.

2. Η Εργαστηριακή και πειραματική αποτίμηση δομικός στόχος της εργασίας είναι η αυστηρή επιστημονική καταγραφή της συμπεριφοράς των οργάνων. Η στόχευση εδώ είναι διπλή: η μελέτη της κρουστικής απόκρισης τόσο της ίδιας της μεμβράνης (ως πρωτεύοντος ταλαντωτή) όσο και των σωμάτων των οργάνων (ξύλινο drum shell έναντι πλαστικού σωλήνα PVC). Μέσα από τις εργαστηριακές μετρήσεις, επιδιώκεται να αποδειχθεί με αντικειμενικά δεδομένα πώς οι γεωμετρικές διαφορές και η φύση των υλικών επηρεάζουν τη συχνοτική απόκριση, το sustain και τη χρονική απόσβεση του ήχου.

3. Ο Καλλιτεχνικός μετασχηματισμός και η ψηφιακή ανασύνθεση τελικός, αλλά εξαιρετικά σημαντικός στόχος, είναι τα όργανα αυτά να μην παραμείνουν θεωρητικά ή εκθεσιακά αντικείμενα, αλλά να λειτουργήσουν ως «ζωντανά» εργαλεία μουσικής παραγωγής. Η στόχευση επικεντρώνεται στη δημιουργία ενός πρωτογενούς ηχητικού αποθέματος το οποίο, μέσω της ψηφιακής επεξεργασίας στο περιβάλλον του DAW REAPER, θα οδηγήσει σε μια ολοκληρωμένη ηχητική σύνθεση. Το ζητούμενο είναι να αναδειχθεί πώς οι ατέλειες ή τα ιδιαίτερα ηχοχρώματα μιας DIY κατασκευής μπορούν να αποτελέσουν την πρώτη ύλη για σύγχρονο, επαγγελματικό ηχητικό σχεδιασμό (Chaigne & Kergomard, 2016).

Εν κατακλείδι, η διπλή αυτή κατασκευαστική προσέγγιση στοχεύει στην ανάδειξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας, η οποία ξεκινά από τη Φυσική και την Ιστορία, περνά μέσα από τα εργαλεία του εργαστηρίου και καταλήγει στην ψηφιακή μουσική δημιουργία, αντιμετωπίζοντας τον ήχο ως μια ενιαία οντότητα από τη γέννηση έως την επεξεργασία του.

3. Σχεδιασμός, γεωμετρική ανάλυση και κατασκευή των οργάνων

Η διαδικασία υλοποίησης των υβριδικών οργάνων μεταφέρει τη θεωρητική έρευνα στο πεδίο της πράξης και της κατασκευής. Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται ο λεπτομερής σχεδιασμός, καθώς και οι συγκεκριμένες δομικές παρεμβάσεις που κρίθηκαν απαραίτητες για τη μετατροπή των πρώτων υλών σε λειτουργικά μουσικά όργανα. Μέσα από αυτή τη διαδικασία, η επιλογή των κατάλληλων εξαρτημάτων και η γεωμετρική τους τροποποίηση αποτέλεσαν τον καθοριστικό παράγοντα για την επίτευξη του επιθυμητού ακουστικού και εργονομικού αποτελέσματος.

3.1 Επιλογή υλικών και αρχικός σχεδιασμός αντηχείων

Πριν από οποιαδήποτε φυσική παρέμβαση στα υλικά, ο αρχικός σχεδιασμός θέτει τις προδιαγραφές που θα καθορίσουν τη στατικότητα και την ακουστική συμπεριφορά του οργάνου. Η επιλογή των υλικών δεν έγινε με καθαρά αισθητικά κριτήρια, αλλά με βάση τις μηχανικές τους ιδιότητες, όπως η αντοχή στις υψηλές τάσεις των χορδών και ο όγκος του εσωτερικού τους αέρα. Στο πλαίσιο αυτό, εξετάζεται η στρατηγική επιλογή των βασικών σωμάτων που χρησιμοποιήθηκαν ως ηχητικοί θάλαμοι για τις δύο κατασκευές.

3.1.1 Μελέτη και προετοιμασία του Floor Tom 16" ως ακουστικό αντηχείο

Η επιλογή ενός floor tom 16 ιντσών (Εικόνα 3.1) ως σώμα του οργάνου αποτελεί την κεντρική δομική διαφοροποίηση από το παραδοσιακό μπάντζο. Το μεγάλο βάθος του τυμπάνου και η διάμετρος της μεμβράνης δημιουργούν έναν ηχητικό θάλαμο με τεράστιο όγκο αέρα, ο οποίος λειτουργεί ως ενισχυτής των χαμηλών συχνοτήτων.



Εικόνα 3.1: Τυπικό Floor Tom 16

Η στιβαρότητα του κελύφους επιτρέπει την άσκηση υψηλών τάσεων, απαραίτητων για τη στήριξη των χορδών του μπάσου.

3.1.2 Δομική σύνθεση και στρατηγική επιλογή του βιομηχανικού σωλήνα PVC



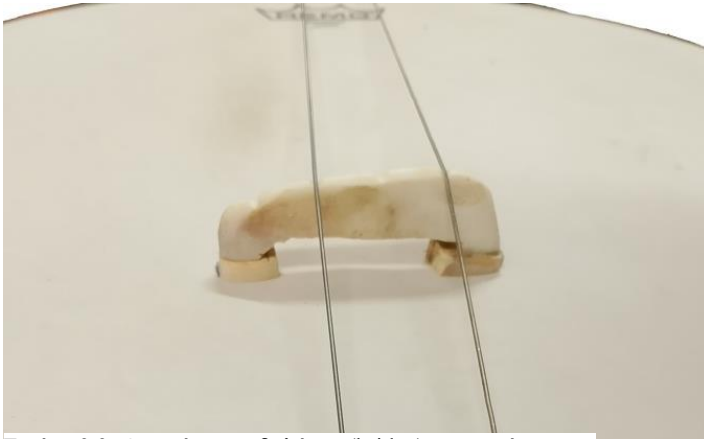
Εικόνα 3.2: Πλευρική όψη του οργάνου όπου φαίνεται η γραμμική δόμηση και η προσαρμογή της ξύλινης ταστιέρας πάνω στον κεντρικό φορέα από σκληρό PVC.

Ο σχεδιασμός του οργάνου (Εικόνα 3.2) διέπεται από την αρχή της γραμμικής δόμησης, κατά την οποία όλα τα λειτουργικά και δομικά εξαρτήματα ευθυγραμμίζονται αυστηρά πάνω σε έναν κεντρικό διαμήκη άξονα. Αυτή η γεωμετρική προσέγγιση εξασφαλίζει τη βέλτιστη μεταφορά των δυνάμεων τάσης από τις χορδές στο σώμα του οργάνου, ελαχιστοποιώντας τις πλευρικές παραμορφώσεις. Ο κεντρικός φορέας αποτελείται από βιομηχανικό σωλήνα σκληρού PVC, ο οποίος επιλέχθηκε για την υψηλή του αντοχή στη στρέψη και τη δυνατότητά του να λειτουργεί ταυτόχρονα ως σκελετός υποστήριξης και ως πρωτεύων αντηχητικός θάλαμος.

Η ταστιέρα του οργάνου ενσωματώνεται στη δομή μέσω μιας καμπυλωτής ξύλινης πλάκας, η οποία έχει διαμορφωθεί έτσι ώστε να ακολουθεί με ακρίβεια την εξωτερική κυλινδρική κλίση του σωλήνα. Η προσαρμογή της επιφάνειας αυτής πραγματοποιήθηκε με τη χρήση σειράς μεταλλικών βιδών, οι οποίες εξασφαλίζουν μια απόλυτα σταθερή και ενιαία σύνδεση μεταξύ των δύο ανόμοιων υλικών (ξύλου και PVC). Η στιβαρότητα αυτής της σύζευξης είναι κρίσιμη για την απρόσκοπτη μετάδοση των δονήσεων από τη γέφυρα προς το εσωτερικό του σωλήνα.

Για την κάλυψη των αναγκών του μουσικού κατά την εκτέλεση, το όργανο εδράζεται σε μια στιβαρή μεταλλική βάση τύπου X-stand. Η επιλογή αυτής της στήριξης προσφέρει την απαραίτητη σταθερότητα, επιτρέποντας στον χρήστη να παίζει σε όρθια θέση, γεγονός που διευκολύνει σημαντικά τη σωστή γωνία προσέγγισης του δοξαριού στις χορδές. Έτσι, ο σχεδιασμός συνδυάζει την industrial αισθητική των βιομηχανικών υλικών με την εργονομία που απαιτεί ένα σύγχρονο πειραματικό έγχορδο, δημιουργώντας μια πλατφόρμα που είναι ταυτόχρονα όργανο μουσικής έκφρασης και εργαστηριακό εργαλείο μέτρησης.

3.1.3 Οστέινος καβαλάρης: Μηχανική σύζευξη και μετάδοση κραδασμών στη μεμβράνη



Εικόνα 3.3: Ο οστέινος καβαλάρης (bridge) του οργάνου.



Εικόνα 3.4: Γερμανικό δοξάρι κοντραμπάσου.

Ένα από τα κρίσιμότερα σημεία στην κατασκευή του οργάνου είναι ο καβαλάρης (Εικόνα 3.3) , καθώς αποτελεί το μοναδικό σημείο επαφής των χορδών με τη μεμβράνη και είναι υπεύθυνος για τη μεταφορά της ενέργειας. Για την παρούσα κατασκευή, επιλέχθηκε ως υλικό το φυσικό οστό μοσχαριού.

Πυκνότητα και Μεταφορά Ενέργειας: Σε αντίθεση με το ξύλο (που είναι το σύνηθες υλικό στα κλασικά μπάντζο), το κόκαλο έχει πολύ μεγαλύτερη πυκνότητα και σκληρότητα. Σύμφωνα με τις αρχές της ακουστικής σύνθετης αντίστασης που θίγονται στη μελέτη του Politzer, ένας σκληρός καβαλάρης επιτρέπει τη μεταφορά των υψηλών συχνοτήτων με λιγότερες απώλειες. Αυτό σημαίνει ότι ο ήχος του οργάνου αποκτά μεγαλύτερη λαμπρότητα και καθαρότητα.

Σύζευξη με τη Μεμβράνη: Επειδή η μεμβράνη του floor tom είναι μεγαλύτερη και πιο "βαριά" από μια τυπική μεμβράνη μπάντζο, χρειάζεται ένα υλικό που να μπορεί να την "οδηγήσει" αποτελεσματικά. Το κόκαλο, λόγω της ακαμψίας του, εξασφαλίζει ότι η ενέργεια από το νύγμα της χορδής ή την τριβή του δοξαριού (Εικόνα 3.4) μεταφέρεται ακαριαία στην επιφάνεια του δέρματος (Fletcher & Rossing, 2010).

Επίδραση στο διάρκεια του ήχου: Η χρήση οστέινων καβαλάρηδων σε συνδυασμό με το γερμανικό δοξάρι κοντραμπάσου δημιουργεί μια ενδιαφέρουσα αντίθεση: ενώ η μεμβράνη από τη φύση της προκαλεί γρήγορη απόσβεση του ήχου, η πυκνότητα του οστού βοηθά στη διατήρηση των αρμονικών, προσφέροντας ένα πιο πλούσιο ηχόχρωμα κατά τη διάρκεια των μακρόσυρτων φθόγγων.

3.2 Συστήματα σύνδεσης και μεταφοράς ταλαντώσεων

Μετά την επιλογή των βασικών υλικών, το επόμενο κρίσιμο στάδιο αφορά τη λειτουργική τους σύνδεση και τις απαραίτητες μετατροπές στη δομή τους. Οι παρεμβάσεις αυτές είναι αναγκαίες προκειμένου να γεφυρωθούν διαφορετικά συστήματα όπως ο μηχανισμός των

χορδών με το σώμα των τυμπάνων ή των σωλήνων διασφαλίζοντας τη στατική αντοχή του οργάνου και τη σωστή μεταφορά των ταλαντώσεων. Στο πλαίσιο αυτό, εξετάζονται οι εξειδικευμένες σχεδιαστικές λύσεις που εφαρμόστηκαν για τη σταθεροποίηση και τη σύνδεση των επιμέρους εξαρτημάτων (Worland, 2010).

3.2.1 Το μεταλλικό στεφάνι ως ενσωματωμένος χορδοστάτης



Εικόνα 3.5: Η μετατροπή του μεταλλικού στεφάνου (hoop) του floor tom σε ενεργό στοιχείο συγκράτησης των χορδών.

Μία από τις σημαντικότερες παρεμβάσεις στην κατασκευή ήταν η μετατροπή του μεταλλικού στεφάνου του floor tom σε ενεργό στοιχείο συγκράτησης των χορδών. Αντί για την προσθήκη ενός εξωτερικού εξαρτήματος, πραγματοποιήθηκε διάνοιξη οπών ακριβείας απευθείας στο μέταλλο του στεφάνου (Εικόνα 3.5).

Κατανομή Φορτίου και Τάσης: Με τη μέθοδο αυτή, η τάση των χορδών μεταφέρεται απευθείας στο μεταλλικό σκελετό του οργάνου. Αυτό προσφέρει εξαιρετική σταθερότητα στο κούρδισμα, καθώς το στεφάνι είναι σχεδιασμένο να αντέχει τις υψηλές πιέσεις των εντατήρων του τυμπάνου. Όπως σημειώνει ο Politzer, η σταθερότητα του πλαισίου είναι κρίσιμη για να μην παραμορφώνεται η γεωμετρία της μεμβράνης υπό πίεση, διασφαλίζοντας την ομοιογένεια των ταλαντώσεων.

Έλεγχος της Γωνίας Θραύσης: Η θέση των οπών στο στεφάνι καθορίζει τη γωνία με την οποία η χορδή "σπάει" πάνω από τον οστέινο καβαλάρη. Αυτή η γωνία είναι καθοριστική για την κατακόρυφη πίεση που ασκείται στη μεμβράνη.

Μια μεγαλύτερη γωνία (πιο χαμηλές τρύπες) αυξάνει την πίεση, κάνοντας τον ήχο πιο "στεγνό" με ταχύτερη απόσβεση.

Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για το παίξιμο με το γερμανικό δοξάρι, καθώς η μεμβράνη απαιτεί επαρκή πίεση από τον καβαλάρη ώστε να μην παρουσιάζεται ολίσθηση του ήχου, αλλά να παράγονται καθαρές αρμονικές.

Ακουστική Σύζευξη Μετάλλου-Χορδής: Η απευθείας επαφή των χορδών με το μεταλλικό στεφάνι δημιουργεί μια επιπλέον διαδρομή μεταφοράς του ήχου. Οι δονήσεις δεν μεταφέρονται μόνο μέσω του καβαλάρη στη μεμβράνη, αλλά διαχέονται μέσω του μετάλλου σε ολόκληρο το σώμα του τυμπάνου. Αυτό ενισχύει τις υψηλές συχνότητες, προσδίδοντας

στο όργανο έναν "μεταλλικό" χαρακτήρα που προσομοιάζει το χαρακτηριστικό "ring" των σύγχρονων μπάντζο που μελετά ο Politzer.

3.2.2 Στατική σταθερότητα και μηχανική έδραση του μπράτσου στο κυρίως σώμα

Η σύνδεση του μπράτσου με το σώμα του floor tom επιτεύχθηκε μέσω ενός συστήματος εσωτερικών και εξωτερικών ξύλινων τάκων. Η μέθοδος αυτή εξασφαλίζει τη δομική ακαμψία του οργάνου, η οποία είναι απαραίτητη για τη διατήρηση του κουρδίσματος υπό την υψηλή τάση των χορδών μπάσου.



Εικόνα 3.6: Λεπτομέρεια της ειδικά διαμορφωμένης καμπυλωτής ξύλινης πλάκας (τάκος) για την έδραση και στατική σταθεροποίηση της ταστιέρας στο κυλινδρικό σώμα του Floor Tom.

Εμβολισμός και Σταθεροποίηση: Χρησιμοποιήθηκαν ξύλινοι τάκοι (εικόνα 3.6) και από τις δύο πλευρές (εσωτερικά και εξωτερικά) του κελύφους του τυμπάνου, οι οποίοι «αγκαλιάζουν» το σώμα και στερεώθηκαν με παξιμάδια. Αυτή η διάταξη δημιουργεί μια σύνδεση που εμποδίζει την παραμόρφωση του ξύλινου κελύφους στο σημείο ένωσης. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οποιαδήποτε αστάθεια στο rim απορροφά ενέργεια από τη χορδή, μειώνοντας την ένταση και το sustain (French, (2008)).

Ακουστική Γέφυρα και Αντήχηση: Η χρήση ξύλου για τους τάκους (αντί για μέταλλο ή πλαστικό) επιτρέπει στο όργανο να λειτουργεί ως ενιαίο σώμα. Οι δονήσεις από το μπράτσο μεταφέρονται οργανικά στο κέλυφος, ενισχύοντας τον «ξύλινο» χαρακτήρα των χαμηλών συχνοτήτων και εξισορροπώντας την οξύτητα της μεμβράνης.

Ευθυγράμμιση και Action: Το σύστημα αυτό επιτρέπει μικρο-ρυθμίσεις στη γωνία του μπράτσου. Για τη χρήση του γερμανικού δοξαριού, αυτό είναι κρίσιμο, καθώς το ύψος των χορδών πρέπει να εξασφαλίζει ελευθερία κίνησης χωρίς το δοξάρι να προσκρούει στο στεφάνι του τυμπάνου.

3.2.3 Διαμόρφωση του συστήματος στήριξης και αντήχησης στο σωληνόφωνο όργανο

Ένα από τα πλέον ιδιαίτερα και τεχνικά κρίσιμα χαρακτηριστικά του οργάνου είναι η χρήση ακρυλικού πολυμερούς (Plexiglas) για την κατασκευή του πίσω καβαλάρη (Εικόνα 5). Η επιλογή αυτή δεν έγινε με αποκλειστικά αισθητικά κριτήρια, αλλά βασίστηκε στις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Το πλεξιγκλάς διακρίνεται για την υψηλή του πυκνότητα και τη δομική του ομοιογένεια, χαρακτηριστικά που επιτρέπουν τη διάδοση των δονήσεων με εξαιρετικά χαμηλά ποσοστά απόσβεσης. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ξύλινα εξαρτήματα, τα οποία λόγω της ινώδους δομής τους τείνουν να απορροφούν μέρος της ενέργειας των υψηλών συχνοτήτων, το ακρυλικό λειτουργεί ως ένας "διάφανος" ακουστικά αγωγός, διατηρώντας την ένταση και το sustain της χορδής.



Εικόνα 3.7: Λεπτομέρεια του πίσω καβαλάρη (tailpiece/bridge) από Plexiglas.

Ένα από τα πλέον ιδιαίτερα και τεχνικά κρίσιμα χαρακτηριστικά του οργάνου είναι η χρήση ακρυλικού πολυμερούς (Plexiglas) για την κατασκευή του πίσω καβαλάρη (Εικόνα 3.7). Η επιλογή αυτή δεν έγινε με αποκλειστικά αισθητικά κριτήρια, αλλά βασίστηκε στις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Το πλεξιγκλάς διακρίνεται για την υψηλή του πυκνότητα και τη δομική του ομοιογένεια, χαρακτηριστικά που επιτρέπουν τη διάδοση των δονήσεων με εξαιρετικά χαμηλά ποσοστά απόσβεσης. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά ξύλινα εξαρτήματα, τα οποία λόγω της ινώδους δομής τους τείνουν να απορροφούν μέρος της ενέργειας των υψηλών συχνοτήτων, το ακρυλικό λειτουργεί ως ένας "διάφανος" ακουστικά αγωγός, διατηρώντας την ένταση και το sustain της χορδής.

Η σταθεροποίηση του πίσω καβαλάρη πραγματοποιήθηκε με τη χρήση μεταλλικών βιδών, οι οποίες τον ασφαλίζουν απευθείας πάνω στο σημείο σύζευξης της ξύλινης επιφάνειας με τον σωλήνα PVC. Η μηχανική αυτή αγκύρωση είναι καθοριστικής σημασίας, καθώς εξασφαλίζει ότι η ενέργεια των ταλαντώσεων δεν εκτονώνεται σε ανεπιθύμητες μικρο-μετακινήσεις του εξαρτήματος, αλλά διοχετεύεται με τη μέγιστη δυνατή πίεση προς το σώμα του οργάνου. Με αυτόν τον τρόπο, ο πίσω καβαλάρης λειτουργεί ως ο τελικός σταθμός μεταφοράς ενέργειας,

μετατρέποντας τον εφελκυσμό των χορδών σε ακουστική πίεση που διεγείρει τη στήλη αέρα στο εσωτερικό του σωλήνα.

Η συγκεκριμένη διάταξη επιτρέπει στο όργανο να ανταποκρίνεται με ταχύτητα στις μεταβολές της δυναμικής του παίκτη, ενώ παράλληλα αναδεικνύει τον πειραματικό χαρακτήρα της διπλωματικής εργασίας. Η σύζευξη της μεταλλικής χορδής, του ακρυλικού καβαλάρη και του πολυμερούς σωλήνα δημιουργεί μια "αλυσίδα υλικών" με προβλέψιμη συμπεριφορά, η οποία διευκολύνει την ανάλυση των αποτελεσμάτων κατά τη διάρκεια των ακουστικών μετρήσεων.

3.2.4 Γέφυρα μεταφοράς κραδασμών στον κυλινδρικό θάλαμο του σωληνόφωνου οργάνου



Εικόνα 3.8: Λεπτομέρεια της ακρυλικής γέφυρας (Plexiglas) και του σημείου έδρασης των χορδών πάνω στο σώμα από PVC, αναδεικνύοντας τη διαπαφή των διαφορετικών πολυμερών.

Η διαδικασία μετάδοσης των κραδασμών στο συγκεκριμένο όργανο χαρακτηρίζεται από την απουσία παραδοσιακών ξύλινων αντηχείων, βασιζόμενη αποκλειστικά στις ιδιότητες των βιομηχανικών πολυμερών. Η πρωτογενής δόνηση της χορδής μεταφέρεται μέσω της ακρυλικής γέφυρας απευθείας στο κυλινδρικό σώμα του σωλήνα PVC (Εικόνα 3.8). Η επιλογή του ακρυλικού υλικού για τη γέφυρα είναι στρατηγική, καθώς η υψηλή του πυκνότητα επιτρέπει τη διέλευση των ταλαντώσεων με ελάχιστες απώλειες, λειτουργώντας ως ένας σκληρός σύνδεσμος μεταξύ της μεταλλικής χορδής και του πλαστικού σκελετού.

Η μηχανική σύζευξη ολοκληρώνεται καθώς το τοίχωμα του σωλήνα PVC, διεγερμένο από την πίεση της γέφυρας, αρχίζει να ταλαντώνεται και να μεταφέρει αυτή την κίνηση στη στήλη αέρα που περιέχει. Επειδή το PVC είναι ένα υλικό με υψηλή εσωτερική απόσβεση, λειτουργεί ως φυσικό φίλτρο που "κόβει" τις πολύ οξείες και μεταλλικές αρμονικές των χορδών μπάσου, αφήνοντας να ακουστεί η θεμελιώδης συχνότητα με έναν πιο ομαλό και "γεμάτο" τρόπο.

Το κυλινδρικό σχήμα του σωλήνα εξασφαλίζει ότι η δόνηση διαχέεται ομοιόμορφα σε όλη την περιφέρεια της διατομής, δημιουργώντας ένα σταθερό ακουστικό πεδίο στο εσωτερικό

του. Η άμεση επαφή της γέφυρας με το PVC σημαίνει ότι ο ήχος δεν "χρωματίζεται" από τις ιδιοσυχνότητες του ξύλου, αλλά διατηρεί την καθαρότητα και τη γραμμικότητα του βιομηχανικού υλικού. Έτσι, ο σωλήνας PVC δεν λειτουργεί μόνο ως δομικό στέλεχος που αντέχει την τάση των χορδών, αλλά ως ένας ενεργός αντηχητικός θάλαμος που καθορίζει τη χροιά του οργάνου μέσω της γεωμετρίας του και των αποσβεστικών του χαρακτηριστικών.

3.3 Δυναμική χορδών, γεωμετρία και εργονομία

Η συνολική γεωμετρική διαμόρφωση, η στατική ισορροπία και η εργονομία των δύο κατασκευών αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες για τη λειτουργικότητα και την τελική ακουστική τους απόδοση. Φυσικές παράμετροι όπως το μεγάλο μήκος της μενζούρας, το ύψος και η έκκεντρη τοποθέτηση του καβαλάρη επηρεάζουν άμεσα την τάση των χορδών, αποτρέπουν δομικές παραμορφώσεις και βελτιώνουν τη φασματική απόκριση. Οι κρίσιμες αυτές λεπτομέρειες, σε συνδυασμό με τη στατική συμπεριφορά και τον εργονομικό χειρισμό των οργάνων κατά την εκτέλεση, αναλύονται διεξοδικά στις υποενότητες που ακολουθούν.

3.3.1 Μηχανική συστημάτων χορδών: Η δομική στροφή προς τον μινιμαλισμό

Η τελική μορφή του οργάνου προέκυψε μετά από μια σειρά πειραματισμών με το φορτίο των χορδών. Παρόλο που αρχικά ανοίχθηκαν τέσσερις οπές στο στεφάνι, η έρευνα κατέληξε στη χρήση δύο χορδών ηλεκτρικού μπάσου (D και G).

Μείωση του Στατικού Φορτίου και Ελευθερία Μεμβράνης: Σύμφωνα με τη μελέτη του Politzer, η συνολική πίεση που ασκεί ο καβαλάρης στη μεμβράνη επηρεάζει άμεσα την ικανότητά της να δονείται. Οι τέσσερις χορδές μπάσου ασκούσαν υπερβολική πίεση, η οποία «στραγγάλιζε» τις ιδιοσυχνότητες της μεμβράνης του floor tom. Η μείωση σε δύο χορδές επέτρεψε στη μεμβράνη να «αναπνεύσει», αναδεικνύοντας τον πλούσιο όγκο αέρα του τυμπάνου.

Η Επιλογή των Χορδών Μπάσου και το Γερμανικό Δοξάρι: Η χρήση χορδών ηλεκτρικού μπάσου προσφέρει τη απαραίτητη μάζα για τη διέγερση με το γερμανικό δοξάρι κοντραμπάσου. Οι χορδές Re (D) και Sol (G) διαθέτουν το κατάλληλο πάχος ώστε το δοξάρι να «πιάνει» τη χορδή αποτελεσματικά, παράγοντας σταθερούς και πλούσιους σε αρμονικές φθόγγους.

Μεταβλητό Κούρδισμα και Ηχητική Ταυτότητα: Στην ακουστική ανάλυση, αυτό επιτρέπει τη διέγερση διαφορετικών συντονισμών της κοιλότητας αέρα του floor tom string, ανάλογα με τη θεμελιώδη συχνότητα των χορδών.

3.3.2 Διαστασιολόγηση μενζούρας και έκκεντρη τοποθέτηση καβαλάρη

Μεγάλη Μενζούρα 95.5 cm: Η απόσταση των 95.5 cm μεταξύ των δύο καβαλάρηδων (nut και bridge) είναι σημαντικά μεγαλύτερη από ένα τυπικό ηλεκτρικό μπάσο (86 cm) (Kist, 2014).

Επίπτωση: Για να κουρδιστούν οι χορδές του μπάσου (D και G) στις κανονικές τους συχνότητες, απαιτείται πολύ υψηλή τάση (T). Αυτή η τάση προσφέρει στον ήχο μεγάλη καθαρότητα και «νεύρο».

Σύνδεση με το Δοξάρι: Το μεγάλο μήκος επιτρέπει στις χορδές να αναπτύξουν πλούσιες χαμηλές αρμονικές, οι οποίες αναδεικνύονται ιδανικά με τη συνεχή διέγερση του δοξαριού.

Έκκεντρη Τοποθέτηση Καβαλάρη 13.2 cm: Ο οστέινος καβαλάρης εισέρχεται 13.2 cm εντός της μεμβράνης των 16 ιντσών (συνολικής διαμέτρου ~40.6 cm).

Ανάλυση: Αυτό σημαίνει ότι ο καβαλάρης δεν βρίσκεται στο γεωμετρικό κέντρο, αλλά πλησιάζει προς το στεφάνι. Σύμφωνα με τη μελέτη του Politzer, η τοποθέτηση μακριά από το κέντρο μειώνει την «υπερβολική» μπάσα απόκριση και ενισχύει τις υψηλότερες αρμονικές.

Σταθερότητα: Η θέση αυτή προσφέρει μεγαλύτερη σταθερότητα στη μεμβράνη, εμποδίζοντας την υπερβολική βύθιση που θα προκαλούσε αν ο καβαλάρης ήταν στο κέντρο.

Ύψος Καβαλάρη 2.6 cm: Το ύψος των 2.6 cm από τη μεμβράνη είναι αρκετά μεγάλο για όργανο αυτού του τύπου.

Αποτέλεσμα: Η πίεση αυτή «κουρδίζει» τη μεμβράνη σε υψηλότερες συχνότητες και αυξάνει την ταχύτητα μεταφοράς της ενέργειας από τη χορδή στον αέρα του floor tom. Είναι ο λόγος που ο ήχος διατηρεί την «ατάκα» του παρά το μεγάλο μέγεθος του τυμπάνου.

3.3.3 Ανάλυση γωνιών τάσης και κατανομή στατικών φορτίων

Η γεωμετρία των χορδών σε σχέση με τον οστέينو καβαλάρη χωρίζεται σε δύο τμήματα, τα οποία επηρεάζουν διαφορετικά τη λειτουργία του οργάνου:

Η Πίσω Γωνία (προς το Στεφάνι): 8°

Η γωνία των 8° μοιρών από τον καβαλάρη προς τις οπές του στεφάνου είναι η κύρια υπεύθυνη για την κατακόρυφη πίεση στη μεμβράνη.

Επίδραση στον ήχο: Η συγκεκριμένη γωνία επιτρέπει στη μεμβράνη των 16 ιντσών να δονείται πιο ελεύθερα και να έχει μεγαλύτερο sustain. Αν η γωνία ήταν μεγαλύτερη, η πίεση θα «έπνιγε» τις χαμηλές συχνότητες. Είναι μια ιδανική επιλογή για να αναδειχθεί ο όγκος αέρα του floor tom.

Η μπροστινή γωνία (προς την ταστιέρα): 3°

Η γωνία των 3° μοιρών ορίζει την κλίση του μπράτσου σε σχέση με το σώμα του τυμπάνου.

Ανάλυση: Αυτή η μικρή κλίση εξασφαλίζει ότι οι χορδές του μπάσου παραμένουν σε σταθερή απόσταση από την ταστιέρα καθ' όλο το μήκος των 95.5 cm.

Επίδραση στον χειρισμό: Η γωνία των 3° είναι απαραίτητη για τη χρήση του γερμανικού δοξαριού, καθώς επιτρέπει στον μουσικό να ασκεί πίεση στη χορδή χωρίς αυτή να «βρίσκει» στο τέλος της ταστιέρας, διατηρώντας την καθαρότητα του φθόγγου.

Η αντοχή της μεμβράνης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα. Το συνολικό φορτίο που δέχεται η μεμβράνη υπολογίζεται από τη συνισταμένη των δυνάμεων τάσης των δύο χορδών μπάσου. Λόγω της χρήσης συνθετικής μεμβράνης και της υποστήριξης από το μεταλλικό στεφάνι, η κατασκευή επιτυγχάνει μια στατική ισορροπία που επιτρέπει τη διατήρηση του κουρδίσματος ακόμα και υπό τις ακραίες δυνάμεις που ασκεί το δοξάρι.

3.3.4 Εργονομική σχεδίαση και λειτουργικός χειρισμός των οργάνων



Εικόνα 3.9: Λεπτομέρεια της ταστιέρας με την ειδική οπτική σήμανση (τάστα) για την ακριβή πλοήγηση του εκτελεστή.

Παρά τον πειραματικό και βιομηχανικό χαρακτήρα της κατασκευής, ιδιαίτερη μέριμνα δόθηκε στην εργονομία, ώστε το όργανο να παραμένει λειτουργικό και φιλικό προς τον μουσικό κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης. Η ταστιέρα φέρει ειδική οπτική σήμανση που αντιστοιχεί στα ημιτόνια (Εικόνα 3.9), προσφέροντας έναν ακριβή οδηγό για τον τονισμό των φθόγγων. Η παρέμβαση αυτή κρίθηκε απαραίτητη λόγω του μεγάλου παλλόμενου μήκους των χορδών, όπου η παραμικρή απόκλιση στην τοποθέτηση των δακτύλων μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικά σφάλματα τονισμού. Οι εγκάρσιες αυτές γραμμές επιτρέπουν στον εκτελεστή να πλοηγείται με ασφάλεια στο μεγάλο εύρος της ταστιέρας, διευκολύνοντας την παραγωγή καθαρών διαστημάτων.

Πέρα από τη θεωρητική ακρίβεια, ο σχεδιασμός έλαβε υπόψη και τη φυσική επαφή του οργάνου με το σώμα του μουσικού. Στο σημείο όπου ο σωλήνας PVC έρχεται σε επαφή με τον κορμό ή τα γόνατα του εκτελεστή, έχουν τοποθετηθεί προστατευτικά στοιχεία από μαλακά υλικά, όπως δέρμα ή ύφασμα υψηλής αντοχής. Η προσθήκη αυτή εξυπηρετεί διπλό σκοπό: αφενός αποτρέπει την ολίσθηση του λείου σωλήνα PVC λόγω της εφίδρωσης ή της κίνησης, βελτιώνοντας τη σταθερότητα της κατασκευής πάνω στη βάση X-stand, και

αφετέρου προσφέρει την απαραίτητη άνεση κατά τη διάρκεια παρατεταμένων περιόδων μελέτης ή ηχογράφησης.

Η συνολική διάταξη επιτρέπει τη χρήση δοξαριού με άνεση, καθώς η ανύψωση του οργάνου μέσω της βάσης και η σταθεροποίηση του σώματος μέσω της επένδυσης απελευθερώνουν την κίνηση του δεξιού χεριού. Με αυτόν τον τρόπο, το όργανο μετατρέπεται από μια στατική πειραματική διάταξη σε ένα δυναμικό μουσικό μέσο, ικανό να υποστηρίξει σύνθετες τεχνικές εκτέλεσης και να ανταποκριθεί στις εκφραστικές ανάγκες του χρήστη, διατηρώντας ταυτόχρονα την ακαμψία που απαιτείται για τη σωστή λειτουργία του ακουστικού συστήματος.

3.4 Πρακτική Υλοποίηση και Κατασκευαστική Διαδικασία

Μετά τον θεωρητικό σχεδιασμό, η παρούσα ενότητα περνά στο στάδιο της πρακτικής υλοποίησης. Η μετατροπή του βιομηχανικού σωλήνα PVC σε ένα λειτουργικό ακουστικό όργανο απαιτεί μια σειρά από ακριβείς, διαδοχικές χειρονακτικές παρεμβάσεις. Από την αρχική κοπή και διαμόρφωση του σώματος μέχρι την προσαρμογή της ταστιέρας και των συστημάτων τάσης, κάθε βήμα μελετήθηκε ώστε να διασφαλιστεί η δομική αντοχή της κατασκευής. Αυτή η βήμα-προς-βήμα κατασκευαστική πορεία παρουσιάζεται αναλυτικά στις υποενότητες που ακολουθούν.

3.4.1 Κατεργασία σώματος σωληνόφωνου οργάνου: Διαμόρφωση εγκάρσιας τομής και οπών έδρασης

Η διαδικασία της κατασκευής ξεκίνησε με την ενδελεχή επεξεργασία του κυρίως σώματος, το οποίο αποτελείται από έναν βιομηχανικό σωλήνα PVC βαρέος τύπου, ονομαστικής διαμέτρου 160mm (160φ). Η επιλογή αυτής της συγκεκριμένης διατομής ήταν στρατηγική, καθώς ο μεγάλος όγκος του σωλήνα προσφέρει μια εκτενή εσωτερική στήλη αέρα, ικανή να υποστηρίξει και να ενισχύσει τις χαμηλές συχνότητες των χορδών μπάσου. Το πρώτο και πλέον κρίσιμο στάδιο ήταν η διαμόρφωση του ανοίγματος για την υποδοχή της ξύλινης επιφάνειας αντήχησης. Για τον σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκε μια εκτενής εγκάρσια τομή στο πάνω μέρος του σωλήνα, η οποία υπολογίστηκε με ακρίβεια ώστε να εφάπτεται απόλυτα με την καμπυλότητα της διατομής των 160mm.

Η κοπή αυτή απαιτήσε ιδιαίτερη προσοχή, καθώς η αφαίρεση ενός τμήματος από έναν σωλήνα τέτοιας διαμέτρου μπορεί να επηρεάσει τη δομική του ακεραιότητα. Ωστόσο, το μεγάλο πάχος του τοιχώματος του PVC εξασφάλισε ότι ο σκελετός παρέμεινε άκαμπτος και ανθεκτικός στις μετέπειτα τάσεις. Μετά την ολοκλήρωση της κεντρικής τομής, η προσοχή στράφηκε στα άκρα του σωλήνα, όπου θα προσαρμόζονταν τα λειτουργικά στοιχεία του οργάνου. Στο ένα άκρο ανοίχθηκαν οπές ακριβείας περιμετρικά της στεφάνης των 160mm, οι οποίες προορίζονταν για τη σταθερή έδραση του συστήματος της μεμβράνης.

Οι οπές αυτές τοποθετήθηκαν σε ίσες αποστάσεις, ώστε η πίεση που ασκείται από το εξωτερικό στεφάνι σύσφιξης να κατανέμεται ομοιόμορφα σε όλη την περιφέρεια της

μεμβράνης, εξασφαλίζοντας ένα ισορροπημένο "κούρδισμα" του αντηχείου. Παράλληλα, το εσωτερικό του σωλήνα καθαρίστηκε σχολαστικά από υπολείμματα πλαστικού, ώστε η λεία επιφάνεια του PVC να επιτρέπει την απρόσκοπτη ανάπτυξη των στάσιμων κυμάτων. Η προετοιμασία αυτής της μεγάλης διατομής (160φ) αποτέλεσε τη ραχοκοκαλιά της κατασκευής, μετατρέποντας έναν βιομηχανικό σωλήνα αποχέτευσης σε έναν υψηλής απόδοσης ακουστικό θάλαμο, έτοιμο να δεχθεί το σύστημα των χορδών και τη μεμβράνη αντήχησης.

3.4.2 Κοπή, ευθυγράμμιση και προσαρμογή της ξύλινης ταστιέρας

Η κατασκευή της ταστιέρας αποτέλεσε ένα από τα πιο απαιτητικά στάδια της διαδικασίας, καθώς έπρεπε να γεφυρωθεί η στιβαρότητα του βιομηχανικού PVC με την ακουστική απόκριση του ξύλου. Η ξύλινη πλάκα επιλέχθηκε και διαμορφώθηκε έτσι ώστε να εφάπτεται απόλυτα στην κυρτή εξωτερική επιφάνεια του σωλήνα των 160mm. Προκειμένου να διασφαλιστεί μια απόλυτα σταθερή μηχανική επαφή και να εξαλειφθούν τυχόν ανεπιθύμητοι τριγμοί ή απώλειες ενέργειας, η ταστιέρα βιδώθηκε περιμετρικά πάνω στο PVC με τη χρήση σειράς μεταλλικών βιδών υψηλής αντοχής. Η πυκνή διάταξη των σημείων στερέωσης εξασφάλισε ότι η ξύλινη επιφάνεια λειτουργεί ως ενιαίο σώμα με τον σωλήνα, επιτρέποντας στις δονήσεις των χορδών να μεταδίδονται άμεσα στην εσωτερική στήλη αέρα.

Μετά τη σταθεροποίηση του ξύλινου φορέα, ακολούθησε το στάδιο του ακριβούς προσδιορισμού των τονικών αποστάσεων. Με βάση το παλλόμενο μήκος της χορδής, πραγματοποιήθηκε η σήμανση του τονικού ύψους μέσω της χάραξης εγκάρσιων γραμμών στην επιφάνεια του ξύλου. Οι χαράξεις αυτές λειτουργούν ως οπτικοί και αισθητήριοι οδηγοί για τον μουσικό, επιτρέποντας τον ακριβή σχηματισμό των ημιτονίων σε ένα όργανο με τόσο μεγάλο μήκος χορδής.

Η επιλογή του ξύλου ως επιφάνεια επαφής, σε συνδυασμό με τη μεγάλη διατομή 160φ του σωλήνα, προσφέρει μια ευρεία και αναπauτική περιοχή εκτέλεσης, η οποία ενισχύει την εργονομία του οργάνου. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με τη λείανση της επιφάνειας και την εφαρμογή προστατευτικών επιστρώσεων, διασφαλίζοντας ότι η ταστιέρα θα αντέξει στις τριβές και την πίεση των βαριών χορδών του μπάσου, διατηρώντας ταυτόχρονα την αισθητική και λειτουργική της αρτιότητα.

3.4.3 Μηχανική συναρμολόγηση της κεφαλής και των συστημάτων τάσης

Η συναρμολόγηση της κεφαλής αποτέλεσε ένα κρίσιμο στάδιο για τη δομική ευστάθεια του οργάνου, καθώς οι χορδές του μπάσου ασκούν δυνάμεις εφελκυσμού που υπερβαίνουν τα 100kg. Στην ξύλινη κεφαλή εγκαταστάθηκαν κλειδιά ηλεκτρικού μπάσου βαρέος τύπου, επιλεγμένα για την ακρίβεια που προσφέρουν στο κούρδισμα και την αντοχή τους στην ολίσθηση υπό υψηλή πίεση. Για να αποτραπεί οποιαδήποτε δομική κάμψη ή ρωγμή στο ξύλο λόγω της διαφοράς φόρτισης, η πίσω πλευρά της κεφαλής ενισχύθηκε με μια μεταλλική δοκό διατομής U-profile. Η ενίσχυση αυτή λειτουργεί ως ένας άκαμπτος εξωτερικός σκελετός που απορροφά τις τάσεις και τις μεταφέρει ομοιόμορφα στο κυρίως σώμα του σωλήνα 160φ.



Εικόνα 3.10: Η ξύλινη κεφαλή με τα κλειδιά μπάσου βαρέος τύπου και τους οδηγούς των χορδών (string retainers) για τη διασφάλιση της σωστής γωνίας πίεσης.

Ιδιαίτερη προσοχή δόθηκε στη διαδρομή των χορδών από τα κλειδιά προς την ταστιέρα. Προκειμένου να διασφαλιστεί η σωστή απόσταση και η παράλληλη διάταξη των χορδών, χρησιμοποιήθηκαν ειδικές βίδες-οδηγοί τοποθετημένες στρατηγικά πριν από τον ζυγό. Οι οδηγοί αυτοί εξασφαλίζουν ότι οι χορδές εισέρχονται στον ζυγό υπό τη βέλτιστη γωνία πίεσης, αποτρέποντας ανεπιθύμητους συντονισμούς και εξασφαλίζοντας ότι η ενέργεια της χορδής παραμένει εστιασμένη στην ταστιέρα.

Η σύζευξη της κεφαλής με τον σωλήνα PVC (Εικόνα 3.10) έγινε με τρόπο που να επιτρέπει την απόλυτη ευθυγράμμιση των χορδών με τον κεντρικό άξονα της κατασκευής. Η στιβαρότητα αυτής της ένωσης, σε συνδυασμό με τη μεταλλική ενίσχυση, μετατρέπει το πάνω μέρος του οργάνου σε ένα ακλόνητο σημείο στήριξης, επιτρέποντας στο υπόλοιπο σώμα (PVC και μεμβράνη) να λειτουργεί αποκλειστικά ως αντηχητικό σύστημα. Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με τον έλεγχο της ομαλής λειτουργίας των κλειδιών, προετοιμάζοντας το όργανο για το τελικό στάδιο της τοποθέτησης της μεμβράνης και της γέφυρας.

3.4.4 Μορφοποίηση και εγκατάσταση των ακρυλικών δομικών στοιχείων

Η ολοκλήρωση της γεωμετρίας του οργάνου επιτεύχθηκε με την εγκατάσταση των ακρυλικών στοιχείων (Plexiglas), τα οποία επιλέχθηκαν για τη σκληρότητα και την κρυσταλλική τους δομή. Το πλεξιγκλάς χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του ζυγού στην απαρχή της ταστιέρας, καθώς και του πίσω καβαλάρη στο σημείο τερματισμού των χορδών. Τα δύο αυτά εξαρτήματα ορίζουν με απόλυτη ακρίβεια τα όρια του παλλόμενου μήκους των χορδών, εξασφαλίζοντας ότι η ταλάντωση περιορίζεται αυστηρά εντός της ενεργού κλίμακας του οργάνου.

Ο ακρυλικός ζυγός σχεδιάστηκε με ειδικές εγκοπές που φιλοξενούν τις χορδές του μπάσου, διατηρώντας το επιθυμητό ύψος πάνω από την ταστιέρα. Αντίστοιχα, ο πίσω καβαλάρης τοποθετήθηκε στο κάτω άκρο του σωλήνα 160φ, λειτουργώντας ως το σημείο μηδενικής απόσβεσης πριν την επαφή του ήχου με τον αντηχητικό θάλαμο. Λόγω της υψηλής πυκνότητας του πλεξιγκλάς, τα σημεία αυτά δεν "απορροφούν" τις δονήσεις, αλλά τις αντανακλούν πίσω στη χορδή, ενισχύοντας τη διάρκεια και την αρμονική πλούσια απόδοση του οργάνου.



Εικόνα 3.11: Η μεμβράνη τύπου Encore εγκατεστημένη στο ελεύθερο άκρο του σωλήνα, λειτουργώντας ως δυναμικός παθητικός ακτινοβολητής.

Η σταθεροποίηση των ακρυλικών στοιχείων έγινε με μηχανικά μέσα, διασφαλίζοντας ότι η πίεση των χορδών δεν θα προκαλέσει μετατοπίσεις που θα αλλοίωναν τον τονισμό. Η χρήση του πλεξιγκλάς στα δύο άκρα της ταλάντωσης δημιουργεί μια ομοιογενή ακουστική συμπεριφορά, προσδίδοντας στο όργανο μια σύγχρονη αισθητική που συνάδει με τον βιομηχανικό χαρακτήρα του σωλήνα PVC, ενώ παράλληλα εξασφαλίζει την απαραίτητη μηχανική ακρίβεια για την επιστημονική μελέτη των συχνοτήτων.

3.4.5 Προσαρμογή μεμβράνης, ομοιόμορφη κατανομή πίεσης και τελικό φινιρίσμα

Η ολοκλήρωση της κατασκευής πραγματοποιήθηκε με την εγκατάσταση του συστήματος της μεμβράνης στο ελεύθερο άκρο του σωλήνα 160φ (Εικόνα 3.11). Επιλέχθηκε μια μεμβράνη τύπου Encore, η οποία φημίζεται για την αντοχή της και την πλούσια απόκριση στις χαμηλές συχνότητες. Η μεμβράνη τοποθετήθηκε προσεκτικά πάνω στο χείλος του σωλήνα και

ασφαλίστηκε με ένα εξωτερικό μεταλλικό στεφάνι σύσφιξης. Ο μηχανισμός τεντώματος, ο οποίος αποτελείται από περιμετρικές βίδες υψηλής ακρίβειας, επιτρέπει τον πλήρη έλεγχο της τάσης του "δέρματος". Η δυνατότητα αυτή είναι καθοριστική, καθώς μεταβάλλει την ακουστική εμπέδηση του σωλήνα και επιτρέπει στο όργανο να συντονίζεται με ακρίβεια στις θεμελιώδεις συχνότητες των χορδών, λειτουργώντας ως ένας δυναμικός παθητικός ακτινοβολητής (Sethi & Vyas, 2005).

Κατά το τελικό στάδιο, δόθηκε έμφαση στη λεπτομέρεια και τη λειτουργικότητα της κατασκευής. Πραγματοποιήθηκε το τελικό φινίρισμα των επιφανειών, ενώ η επένδυση του κυρίως σώματος με προστατευτικά υλικά ολοκλήρωσε την εργονομία του οργάνου. Η προσθήκη δερμάτινων ή υφασμάτινων στοιχείων στα σημεία επαφής με τον εκτελεστή εξασφάλισε τη σταθερότητα του οργάνου πάνω στη βάση X-stand, αποτρέποντας τυχόν ολισθήσεις και βελτιώνοντας την αίσθηση κατά την εκτέλεση με δοξάρι.

Η διαδικασία ολοκληρώθηκε με τον έλεγχο της συνολικής δομικής ακεραιότητας. Η συνύπαρξη του βιομηχανικού PVC των 160mm, της ξύλινης ταστιέρας, των ακρυλικών στοιχείων και της συντονισμένης μεμβράνης, δημιούργησε ένα συμπαγές ακουστικό σύστημα. Το όργανο είναι πλέον έτοιμο να λειτουργήσει ως εργαλείο έρευνας, προσφέροντας μια μοναδική πλατφόρμα για τη μελέτη των στάσιμων κυμάτων και την παραγωγή σύνθετων, βαθυφωνικών ηχοχρωμάτων που γεφυρώνουν την παραδοσιακή οργανοποιία με τη σύγχρονη βιομηχανική σχεδίαση.

4. Μεθοδολογία και πειραματική διάταξη μετρήσεων

Με την ολοκλήρωση της κατασκευαστικής διαδικασίας, η εργασία περνά από το στάδιο της οργανοποιίας στην επιστημονική και ποσοτική αξιολόγηση των δύο οργάνων. Η αντικειμενική χαρτογράφηση της ακουστικής τους ταυτότητας απαιτεί τη μεταφορά της μελέτης σε ελεγχόμενο εργαστηριακό περιβάλλον. Μέσα από τη χρήση εξειδικευμένου μετρητικού εξοπλισμού, καθίσταται δυνατή η ακριβής καταγραφή των φυσικών τους μεγεθών. Οι βασικοί άξονες της μεθοδολογίας, οι προδιαγραφές της διάταξης και τα κριτήρια επιλογής του εξοπλισμού αναλύονται διεξοδικά στις υποενότητες που ακολουθούν.

4.1 Εισαγωγή και μεθοδολογία μετρήσεων

Η ακουστική ανάλυση των δύο ιδιοκατασκευών βασίζεται στη μέθοδο προσδιορισμού της κρουστικής απόκρισης, η οποία αποτελεί τη θεμελιώδη μεθοδολογία για την πλήρη γραμμική και χρονική περιγραφή ενός ακουστικού συστήματος. Η κρουστική απόκριση επιτρέπει τη μεταφορά των δεδομένων από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας μέσω του μετασχηματισμού Fourier, αποκαλύπτοντας τις ιδιοσυχνότητες συντονισμού, τους τρόπους δόνησης και τους ρυθμούς απόσβεσης των οργάνων (Rossing, 2007).

Για τη διασφάλιση της επιστημονικής εγκυρότητας και την εξάλειψη τυχαίων εξωτερικών παραγόντων, η πειραματική διαδικασία ακολουθεί τα εξής αυστηρά μεθοδολογικά βήματα:

Έλεγχος ακουστικού περιβάλλοντος: Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται σε ελεγχόμενο περιβάλλον στούντιο (ανηχοϊκή ή ημι-ανηχοϊκή συμπεριφορά με χαμηλό χρόνο αντήχησης), ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι ανακλάσεις του χώρου που θα μπορούσαν να αλλοιώσουν τα πρωτογενή δεδομένα των οργάνων.

Διέγερση Συστήματος: Η διέγερση της μεμβράνης Remo στην περίπτωση του μεμβρανόφωνου, καθώς και των αντίστοιχων στοιχείων του οργάνου PVC, υλοποιείται μέσω ελεγχόμενης στιγμιαίας κρούσης. Η κρούση αυτή προκαλεί μια ιδιοτάλαντωση, η οποία φθίνει ελεύθερα, αποκαλύπτοντας τα φυσικά χαρακτηριστικά απόσβεσης του κάθε σώματος.

4.2 Πειραματική διάταξη και εξοπλισμός

Η φυσική και γεωμετρική διαμόρφωση της πειραματικής διάταξης σχεδιάστηκε με γνώμονα τη διπλή φύση της έρευνας: την ανάγκη για ακριβή εργαστηριακή μετρολογία και, ταυτόχρονα, τη βέλτιστη ποιοτική λήψη για μουσική χρήση και δειγματοληψία.

4.2.1 Μηχανική στήριξη και έδραση των οργάνων

Για την εξάλειψη των ανεπιθύμητων κραδασμικών συζεύξεων με το έδαφος, οι οποίες θα απορροφούσαν ενέργεια και θα αλλοίωναν το πραγματικό sustain των οργάνων, εφαρμόστηκαν οι δύο ακόλουθες διατάξεις.



Εικόνα 4.1: Γενική άποψη της πειραματικής διάταξης στο στούντιο, όπου διακρίνεται η έδραση του PVC και η χωροθέτηση του εξοπλισμού.



Εικόνα 4.2: Γενική άποψη της πειραματικής διάταξης στο στούντιο, όπου διακρίνεται η έδραση του PVC και η χωροθέτηση του εξοπλισμού.

Το όργανο PVC τοποθετείται σε οριζόντια διάταξη πάνω σε σταθερή βάση τύπου X. Η στήριξη μελετήθηκε έτσι ώστε το ακουστικό αντηχείο του σωλήνα να παραμένει ελεύθερο στον αέρα, ελαχιστοποιώντας τις απώλειες ενέργειας μέσω της έδρασης (Εικόνα 4.1).

Το μεμβρανόφωνο όργανο εδράζεται κατακόρυφα μέσω του ενσωματωμένου συστήματος τριπόδου του Floor Tom, διατηρώντας το κυλινδρικό ξύλινο ηχείο απομονωμένο από την επιφάνεια του δαπέδου, επιτρέποντας την ελεύθερη ταλάντωση της μεμβράνης (Εικόνα 4.2).

4.2.2 Μικροφωνική τεχνική και μετρολογικός εξοπλισμός



Εικόνα 4.3: Λεπτομέρεια της μικροφωνικής διάταξης (ECM8000 και SM57) για την ταυτόχρονη λήψη μετρολογικών και μουσικών δεδομένων.



Εικόνα 4.4: Λεπτομερής άποψη της διάταξης των μικροφώνων.

Η καταγραφή των ακουστικών δεδομένων υλοποιείται μέσω μιας συνδυαστικής μικροφωνικής τεχνικής διπλής λήψης, η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη καταγραφή της μετρολογικής ακρίβειας και του ηχητικού «σώματος» (εικόνα 4.3, εικόνα 4.4):

1. Πυκνωτικό Μικρόφωνο Μέτρησης Behringer ECM8000: Τοποθετείται σε στρατηγική θέση πλησίον του ανοίγματος του σωλήνα PVC και της μεμβράνης του Μεμβρανόφωνου αντίστοιχα. Το συγκεκριμένο μικρόφωνο επιλέχθηκε λόγω της εξαιρετικά γραμμικής συχνотικής του απόκρισης πανκατευθυντικού πολικού διαγράμματος. Η ιδιότητα αυτή εγγυάται την πιστή και αχρωμάτιστη αποτύπωση των ιδιοσυχνοτήτων χωρίς την εισαγωγή φασματικών παραμορφώσεων, καθιστώντας το ιδανικό για την εξαγωγή των διαγραμμάτων All SPL, Waterfall και Spectrogram.
2. Δυναμικό Μικρόφωνο Shure SM57: Τοποθετείται σε εγγύτητα με το σημείο κρούσης. Λόγω του καρδιοειδούς πολικού του διαγράμματος και της φυσικής του απόκρισης στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες, επιστρατεύεται για την καταγραφή δειγμάτων με έντονη κρουστική αρχή και κατευθυντικότητα, προσφέροντας το απαραίτητο ηχητικό υλικό για την περαιτέρω καλλιτεχνική επεξεργασία στο DAW REAPER.

Το σήμα από τα μικρόφωνα οδηγείται μέσω προενισχυτών χαμηλού θορύβου στο ψηφιακό περιβάλλον με σταθερή δειγματοληψία, διασφαλίζοντας την απόλυτη χρονική ευθυγράμμιση και τη φασματική ακεραιότητα των δειγμάτων προς ανάλυση.

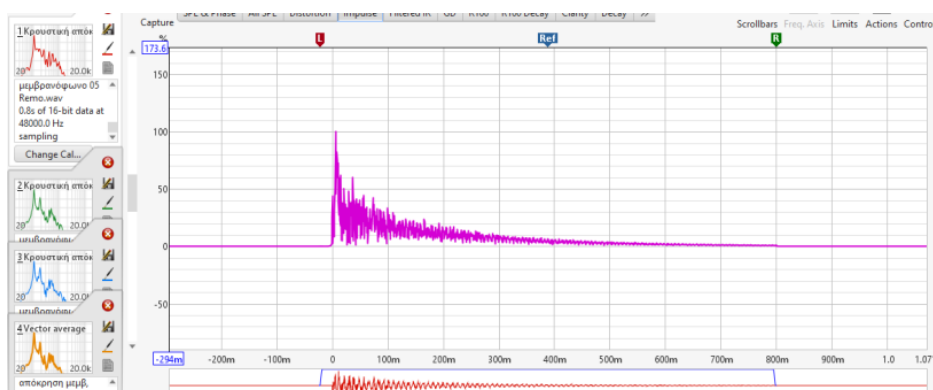
5. Ανάλυση κρουστικής απόκρισης των δύο οργάνων

Έχοντας ολοκληρώσει τη φάση της κατασκευής και της εργαστηριακής χωροθέτησης, η παρούσα ενότητα επικεντρώνεται στην επεξεργασία και την ερμηνεία των πρωτογενών δεδομένων που συλλέχθηκαν από τις μετρήσεις. Η αντικειμενική αξιολόγηση της ακουστικής συμπεριφοράς τόσο του Μεμβρανόφωνου όσο και του οργάνου PVC απαιτεί μια διπλή μεθοδολογική προσέγγιση. Αυτή ξεκινά από την εξέταση των δυναμικών χαρακτηριστικών των κυματομορφών και καταλήγει στη φασματική τους ανάλυση. Οι επιμέρους άξονες αυτής της μελέτης, οι οποίοι αποκαλύπτουν τον τρόπο με τον οποίο αντιδρούν τα όργανα κατά τη διέγερσή τους, αναλύονται διεξοδικά στις υποενότητες που ακολουθούν.

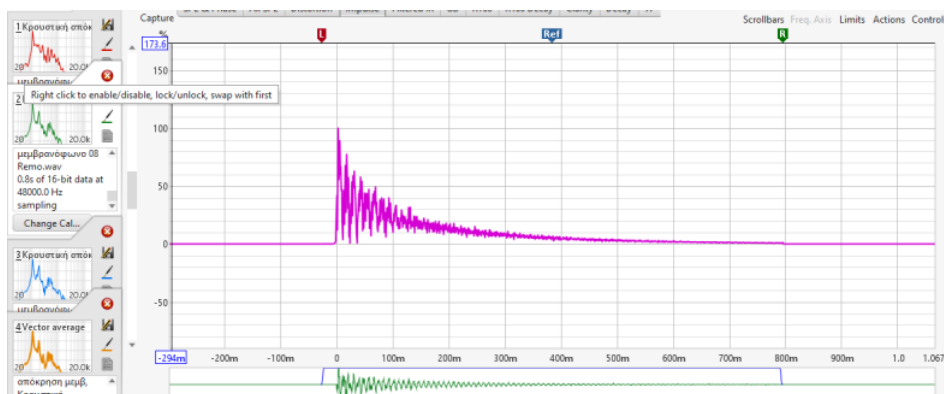
5.1 Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου των δύο οργάνων

Το πρώτο και θεμελιώδες στάδιο για την κατανόηση της ακουστικής ταυτότητας των δύο κατασκευών αποτελεί η μελέτη τους στο πεδίο του χρόνου, η οποία πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του λογισμικού Room EQ Wizard. Η συγκεκριμένη προσέγγιση επιτρέπει τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών της κυματομορφής, αποτυπώνοντας την εξέλιξη του ήχου από τη στιγμή της κρούσης έως την πλήρη εξασθένησή του. Μέσα από την καταγραφή των επιμέρους φάσεων της ταλάντωσης, εξάγονται πολύτιμα συμπεράσματα για την ποιότητα των υλικών, τη συμπεριφορά της έδρασης και το sustain των οργάνων, τα οποία παρουσιάζονται αναλυτικά στη συνέχεια.

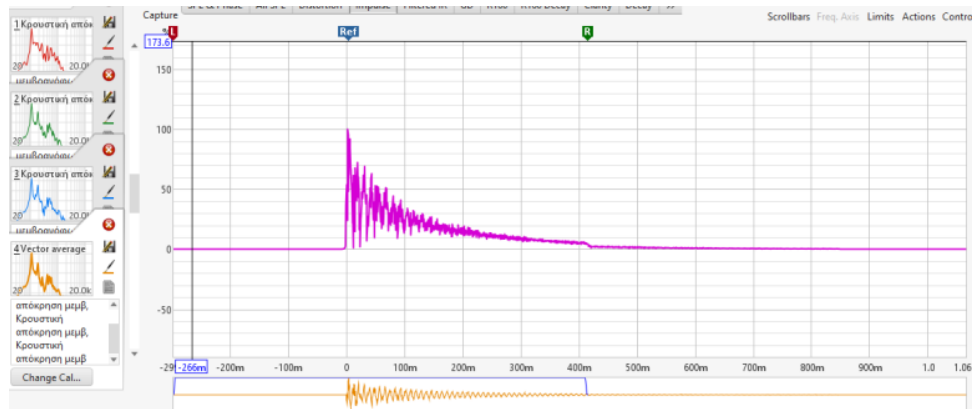
5.1.1 Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου της μεμβράνης του μεμβρανόφωνου οργάνου



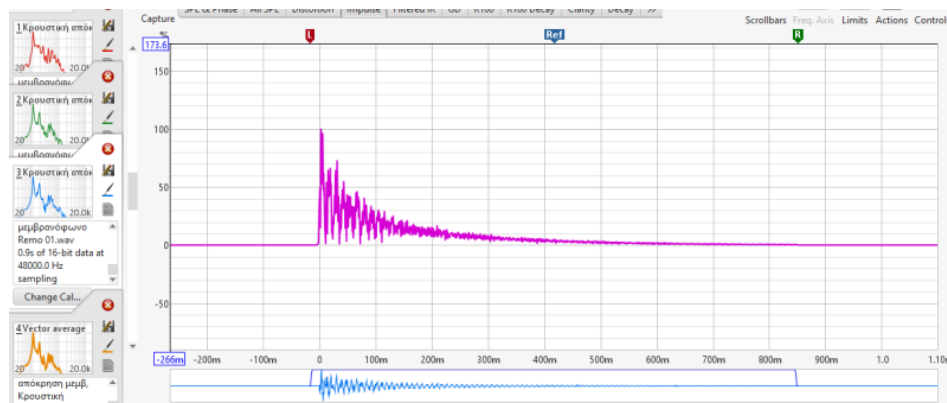
Εικόνα 5.1: Κυματομορφές κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) της μεμβράνης για τα δείγμα 1.



Εικόνα 5.2: Κυματομορφές κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) της μεμβράνης για τα δείγμα 2.



Εικόνα 5.3: Κυματομορφές κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) της μεμβράνης για τα δείγματα 3.



Εικόνα 5.4: Τελική κυματομορφή του Vector Average (Μέσος)

Η μελέτη της κρουστικής απόκρισης της μεμβράνης στο πεδίο του χρόνου επιτρέπει τον προσδιορισμό των δυναμικών χαρακτηριστικών του οργάνου μέσω της ανάλυσης της κυματομορφής του. Σύμφωνα με τα πειραματικά δεδομένα που αποτυπώνονται στις εικόνες 5.1, 5.2, 5.3 και 5.4, η απόκριση εξελίσσεται σε τρεις διακριτές φάσεις οι οποίες καθορίζουν την ακουστική ταυτότητα του συστήματος.

Κατά την αρχική φάση της επίθεσης, παρατηρείται μια ακαριαία και απότομη κορύφωση ακριβώς στο χρονικό σημείο $t = 0$ ms. Η συμπεριφορά αυτή αποτελεί ένδειξη της άμεσης μεταφοράς της κινητικής ενέργειας από το σημείο διέγερσης στη μεμβράνη, διασφαλίζοντας υψηλή ευκρίνεια και δυναμική απόκριση κατά την κρούση.

Στη συνέχεια, το σύστημα μεταβαίνει στη φάση της ελεύθερης ταλάντωσης, όπου η μεμβράνη πάλλεται με τρόπο που αναδεικνύει τη δομική της σταθερότητα. Η αξιοσημείωτη συμμετρία της κυματομορφής ως προς τον οριζόντιο άξονα μηδενικής πίεσης τεκμηριώνει την ομοιόμορφη κατανομή των μηχανικών τάσεων στην επιφάνεια του δέρματος, γεγονός που υποδηλώνει ακριβές και ισορροπημένο κούρδισμα.

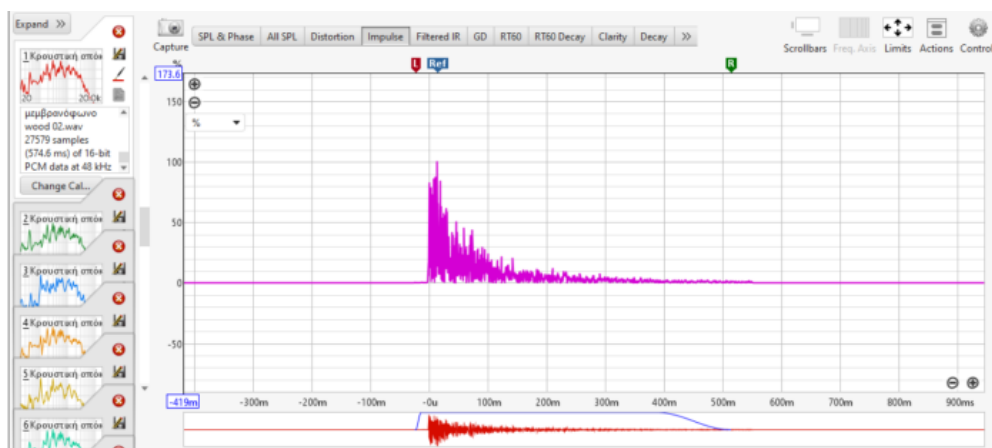
Τέλος, η διαδικασία ολοκληρώνεται με τη φάση της εκθετικής απόσβεσης, κατά την οποία η ενέργεια του συστήματος μειώνεται σταδιακά λόγω των εσωτερικών τριβών και της ακτινοβολίας του ήχου στο περιβάλλον. Η συνολική διάρκεια της δόνησης προσεγγίζει τα 800 ms, τιμή η οποία θεωρείται ιδιαίτερα υψηλή για μεμβρανόφωνα όργανα και επιβεβαιώνει

την ικανότητα της μεμβράνης Remo να παράγει παρατεταμένο sustain. Η ομαλότητα αυτής της φθίνουσας πορείας, χωρίς απότομες διακοπές ή ασυνέχειες, καταδεικνύει την υψηλή ποιότητα του υλικού και τις χαμηλές ενεργειακές απώλειες του συστήματος έδρασης.

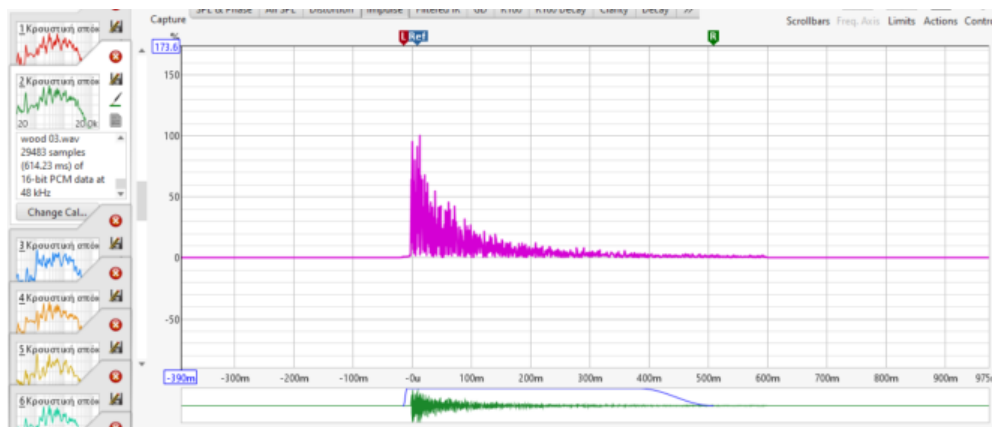
5.1.2 Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου στο σώμα του μεμβρανόφωνου οργάνου

Μετά την ανάλυση της μεμβράνης, η μελέτη επικεντρώνεται στο σώμα του οργάνου, το οποίο αποτελείται από ένα ξύλινο βαθύ ηχείο τυμπάνου. Το ξύλο, ως υλικό με υψηλή εσωτερική απόσβεση, αναμένεται να παρουσιάσει μια ριζικά διαφορετική ακουστική συμπεριφορά σε σχέση με τη συνθετική μεμβράνη, επηρεάζοντας κυρίως την αρχική κρούση και τον όγκο του ήχου.

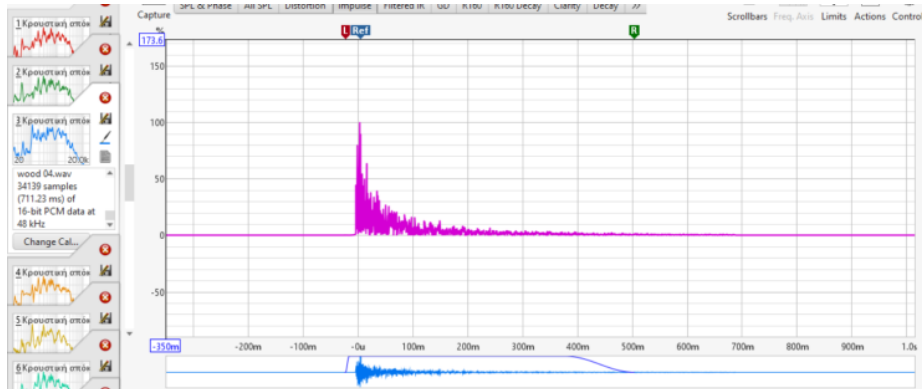
Για την πληρέστερη καταγραφή της απόκρισης του ηχείου, πραγματοποιήθηκαν έξι (6) κρούσεις σε διαφορετικά σημεία της περιφέρειάς του, ώστε να αποτυπωθούν όλες οι πιθανές ιδιοσυχνότητες και να εξασφαλιστεί ότι τα αποτελέσματα δεν επηρεάζονται από τοπικές ατέλειες του ξύλου. Χρησιμοποιήθηκε η ίδια πειραματική διάταξη μικροφώνων, το λογισμικό Room EQ Wizard και η τελική ανάλυση βασίστηκε στον υπολογισμό του μέσου όρου των έξι αυτών μετρήσεων.



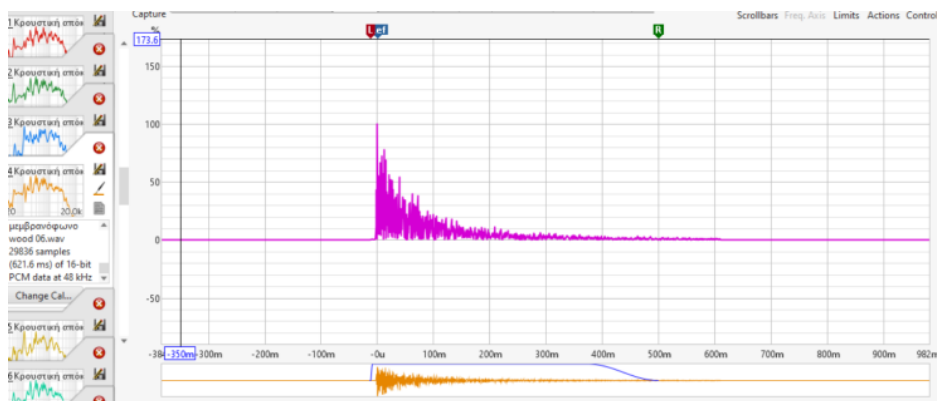
Εικόνα 5.5: Κυματομορφή (Impulse Response) της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δείγμα 1.



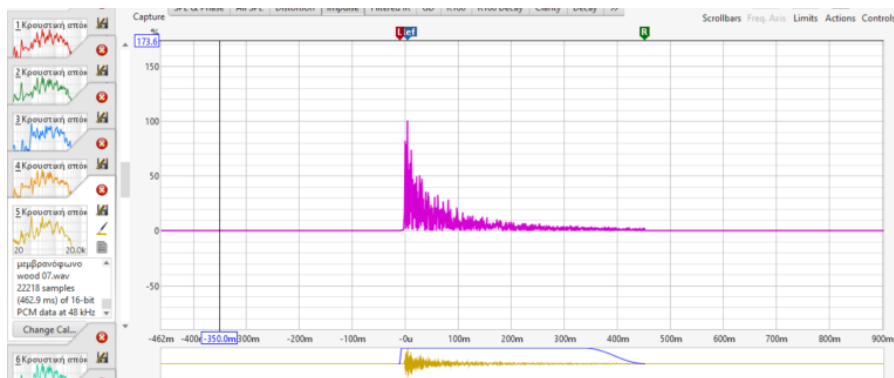
Εικόνα 5.6: Κυματομορφή (Impulse Response) της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δείγμα 2.



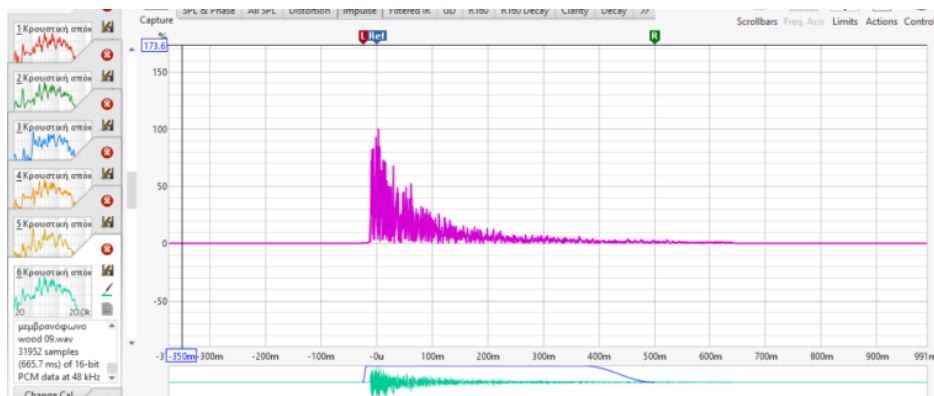
Εκόνα 5.7: Κυματομορφή (Impulse Response) της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δειγμα 3.



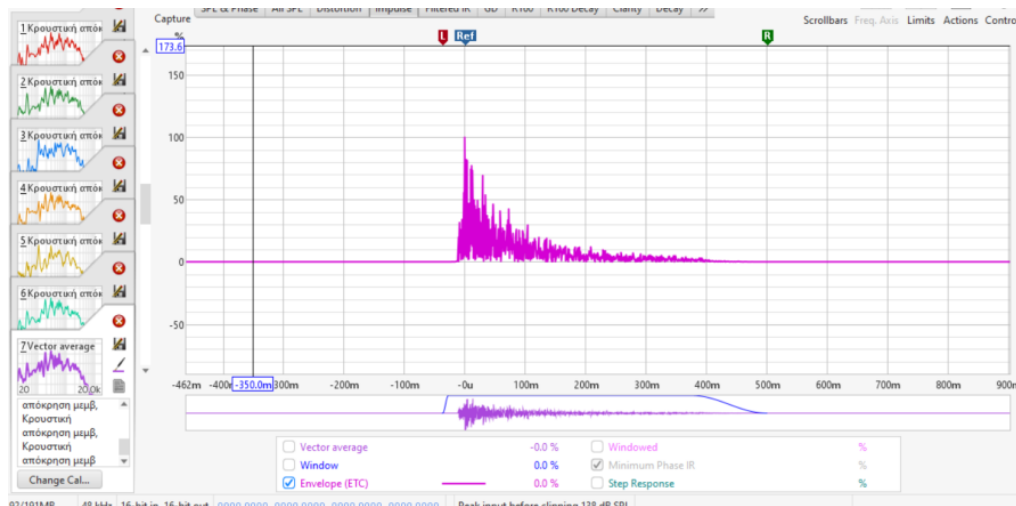
Εκόνα 5.8: Κυματομορφή (Impulse Response) της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δειγμα 4.



Εκόνα 5.9: Κυματομορφή (Impulse Response) της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δειγμα 5.



Εκόνα 5.10: Κυματομορφή (Impulse Response) της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος για το δειγμα 6.



Εικόνα 5.11: Κυματομορφή του μέσου όρου (Vector Average) της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου σώματος.

Η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς του ξύλινου σώματος βασίστηκε στην ανάλυση των κρουστικών αποκρίσεων, όπως αυτές αποτυπώνονται στις εικόνες 5.5, 5.6, 5.7, 5.8, 5.9, και 5.10. Προκειμένου να διασφαλιστεί η εγκυρότητα των συμπερασμάτων και να εξαλειφθούν τυχαίες πειραματικές αστοχίες, εφαρμόστηκε η μεθοδολογία του μέσου όρου διανύσματος επί των έξι (6) διαφορετικών λήψεων που πραγματοποιήθηκαν στην περιφέρεια του ηχείου. Η χρήση του Vector Average (εικόνα 5.11) είναι καθοριστική, καθώς επιτρέπει τη σύνθεση μιας πρότυπης κυματομορφής που διατηρεί τη χρονική ακρίβεια της αρχικής κρούσης, εξομαλύνοντας παράλληλα τον θόρυβο υποβάθρου.

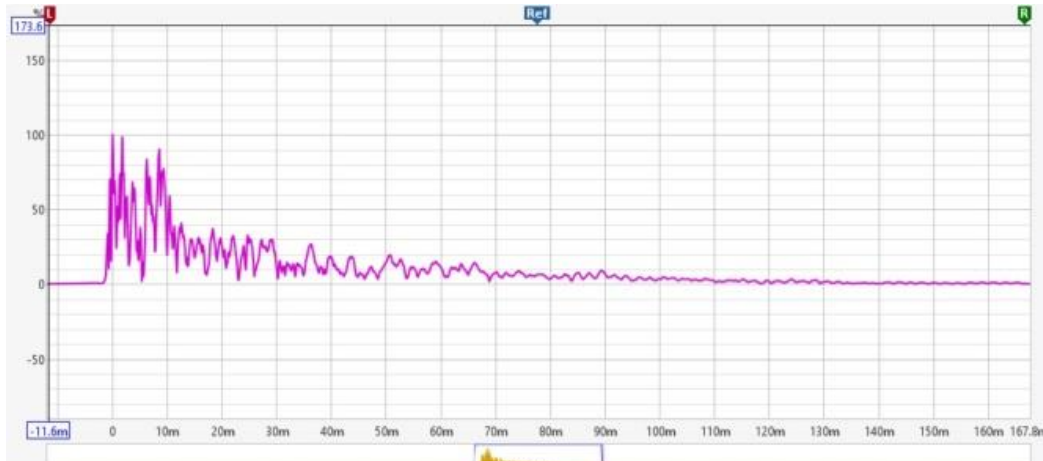
Από τη στατιστική αυτή επεξεργασία προκύπτει ότι το ξύλινο σώμα παρουσιάζει μια εξαιρετικά αιχμηρή φάση επίθεσης στο σημείο $t = 0$ ms. Η οξύτητα της συγκεκριμένης κορύφωσης, η οποία παραμένει σταθερή σε όλες τις επιμέρους μετρήσεις, υποδηλώνει την υψηλή ταχύτητα μετάδοσης του ήχου μέσω των ινών του ξύλου και την ικανότητα του ηχείου να παράγει έναν ήχο με έντονη ευκρίνεια και "ατάκα".

Στη συνέχεια, η φάση της απόσβεσης εξελίσσεται ραγδαία, με το σήμα να επιστρέφει σε κατάσταση ηρεμίας εντός των πρώτων 50-70 ms. Η ταχύτατη αυτή εξασθένηση της ενέργειας, η οποία αναδεικνύεται ανάγλυφα μέσω του Vector Average, τεκμηριώνει την υψηλή εσωτερική απόσβεση που χαρακτηρίζει το ξύλο ως υλικό. Σε αντίθεση με τα ελαστικά μέσα που παρουσιάζουν παρατεταμένο sustain, το ξύλινο ξύλινο σώμα λειτουργεί ως ένας μηχανισμός που "χρωματίζει" την αρχή του ηχητικού συμβάντος, προσδίδοντας όγκο χωρίς να προκαλεί ανεπιθύμητες χρονικές επικαλύψεις. Η τελική μέση απόκριση αποτελεί το αντιπροσωπευτικό μοντέλο αναφοράς για την περαιτέρω φασματική ανάλυση του συστήματος.

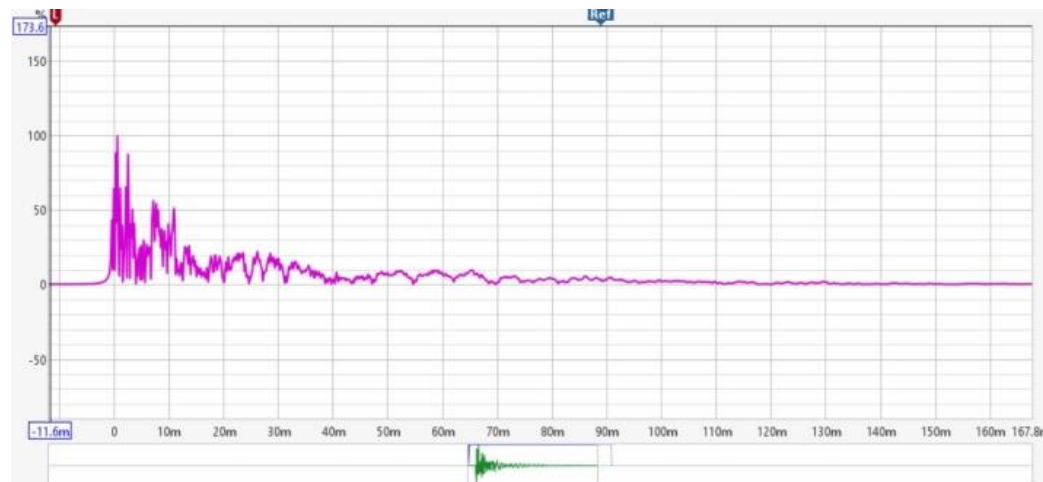
5.1.3 Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου του σωληνόφωνου οργάνου

Η ψηφιακή ανάλυση και επεξεργασία των ακουστικών δεδομένων διενεργήθηκε μέσω του εξειδικευμένου λογισμικού Room EQ Wizard. Η πειραματική διαδικασία διέγερσης

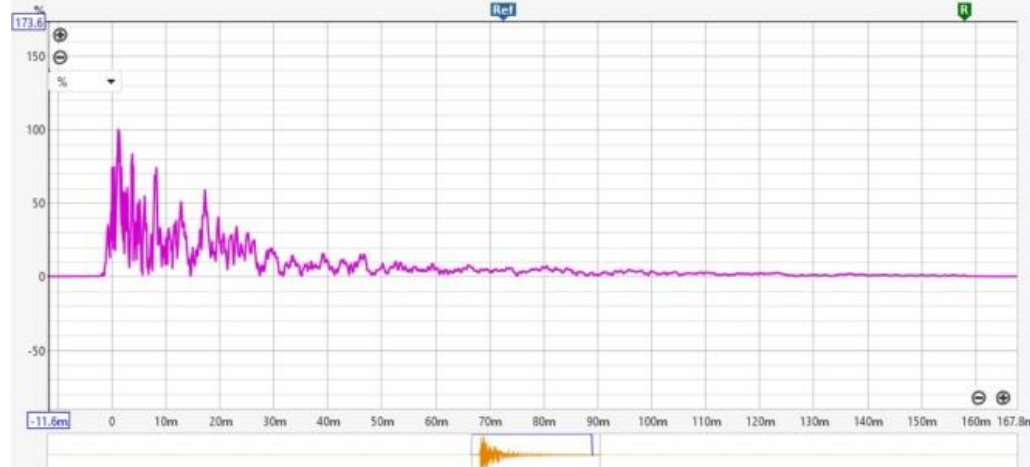
περιελάμβανε εννέα διαδοχικές κρούσεις σε διαφορετικά σημεία του αντηχείου, ώστε να καταγραφεί το πλήρες εύρος των ταλαντώσεων. Τα πρωτογενή δεδομένα υποβλήθηκαν σε διαδικασία χρονικής ευθυγράμμισης, εξασφαλίζοντας ότι η έναρξη κάθε απόκρισης συμπίπτει χρονικά στο σημείο μηδέν. Στη συνέχεια, εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος του διανυσματικού μέσου όρου για την εξαγωγή μιας πρότυπης καμπύλης. Η μέθοδος αυτή κρίθηκε αναγκαία για την εξάλειψη τυχαίων διακυμάνσεων που οφείλονται στη χειροκίνητη διέγερση, προσφέροντας μια σταθερή και αξιόπιστη βάση για την εξαγωγή συμπερασμάτων.



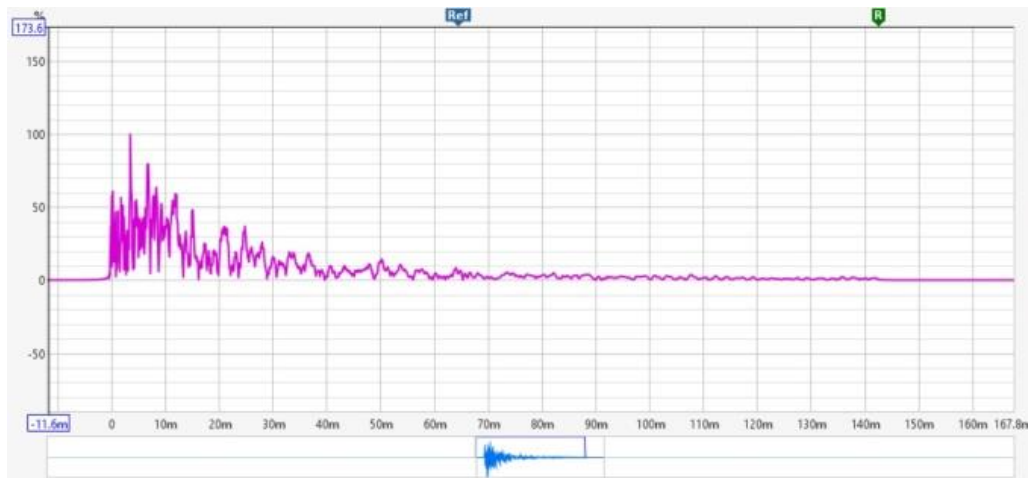
Εικόνα 5.12: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) του αντηχείου PVC (Δείγμα 01)



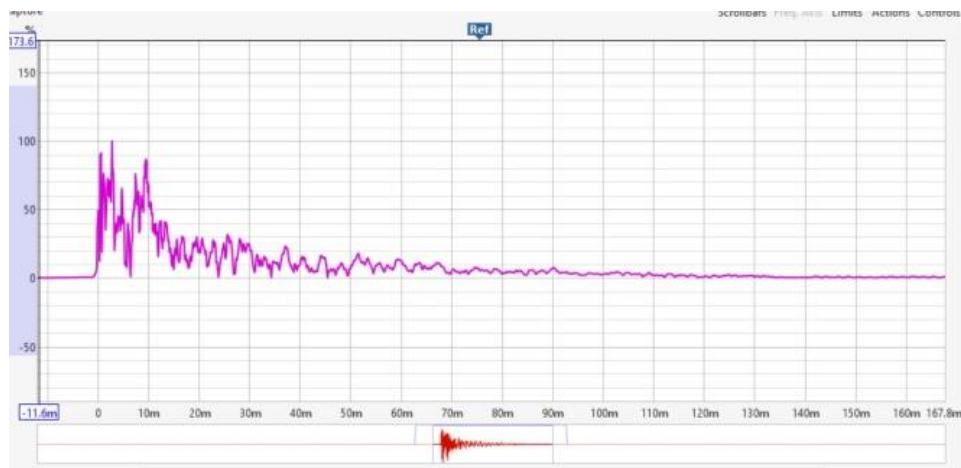
Εικόνα 5.13: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) του αντηχείου PVC (Δείγμα 02)



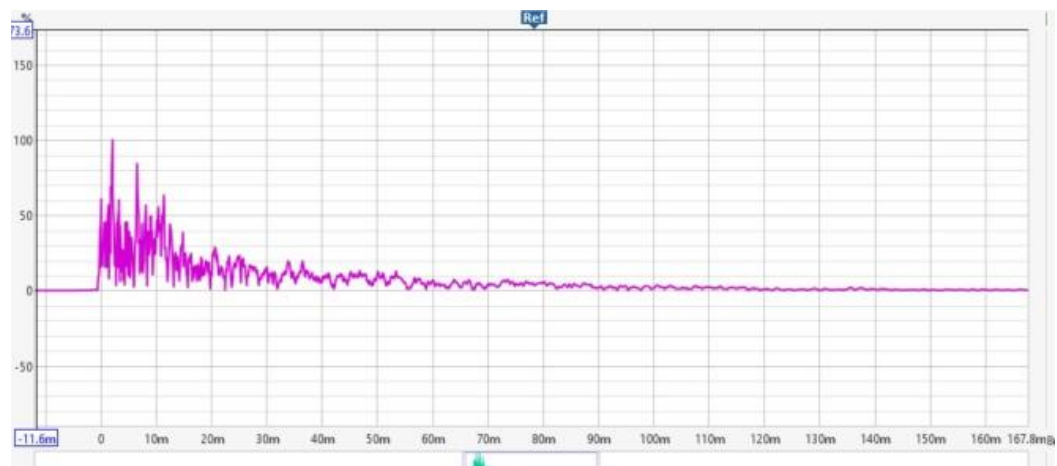
Εικόνα 5.14: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) του αντηχείου PVC (Δείγμα 03)



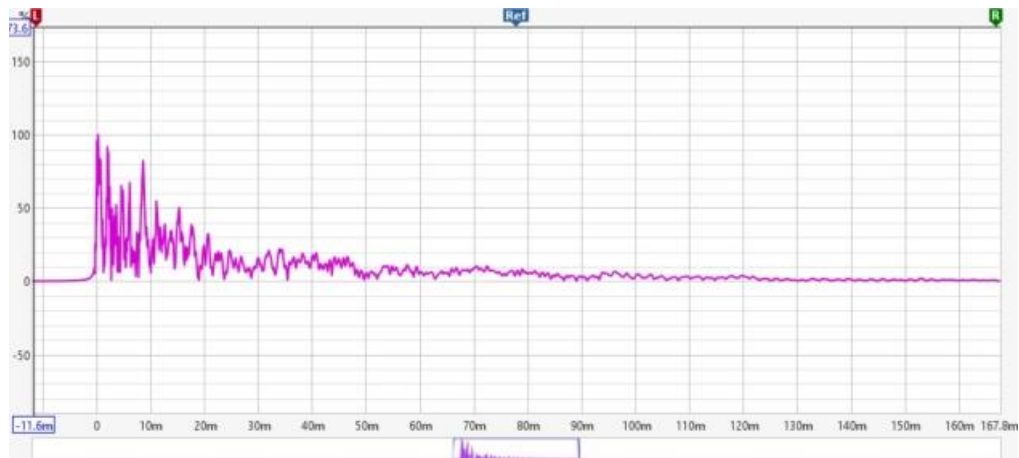
Εικόνα 5.15: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) του αντηχείου PVC (Δείγμα 04)



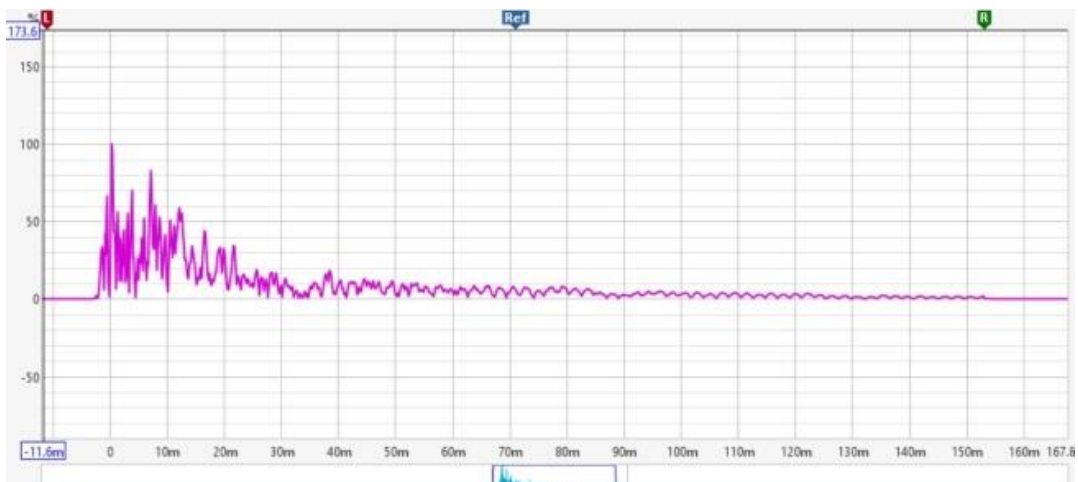
Εικόνα 5.16: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) του αντηχείου PVC (Δείγμα 05)



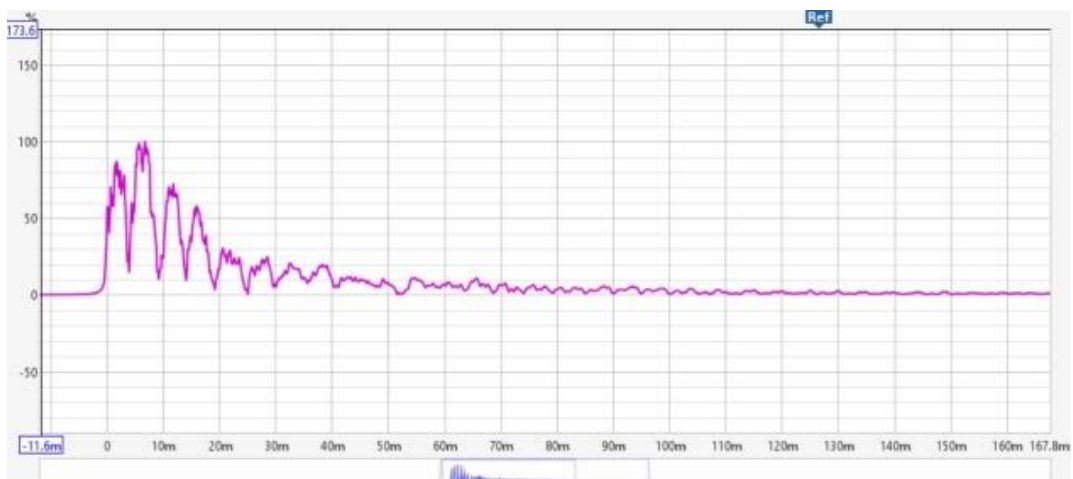
Εικόνα 5.17: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) του αντηχείου PVC (Δείγμα 06)



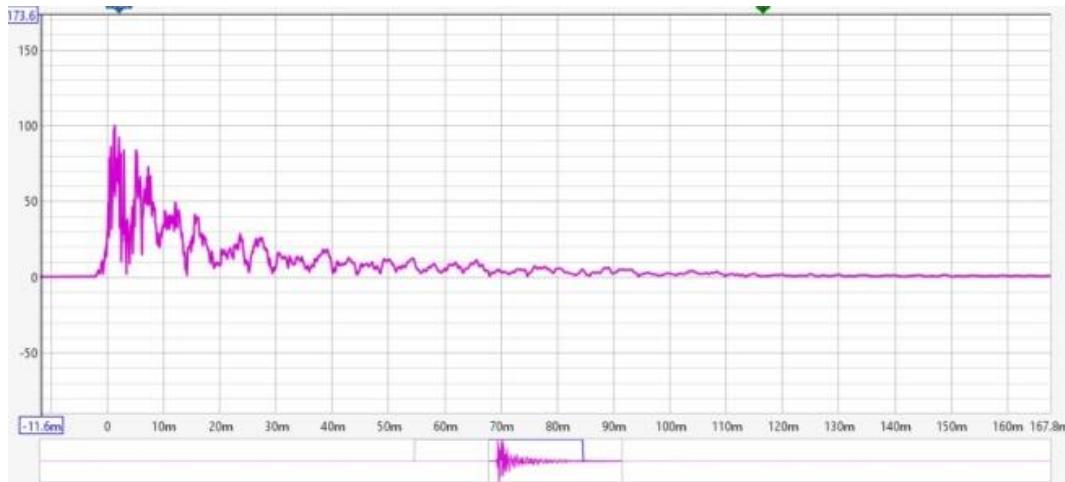
Εικόνα 5.18: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) του αντηχείου PVC (Δείγμα 07)



Εικόνα 5.19: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) του αντηχείου PVC (Δείγμα 08)



Εικόνα 5.20: Απεικόνιση της κρουστικής απόκρισης (Impulse Response) του αντηχείου PVC (Δείγμα 09)

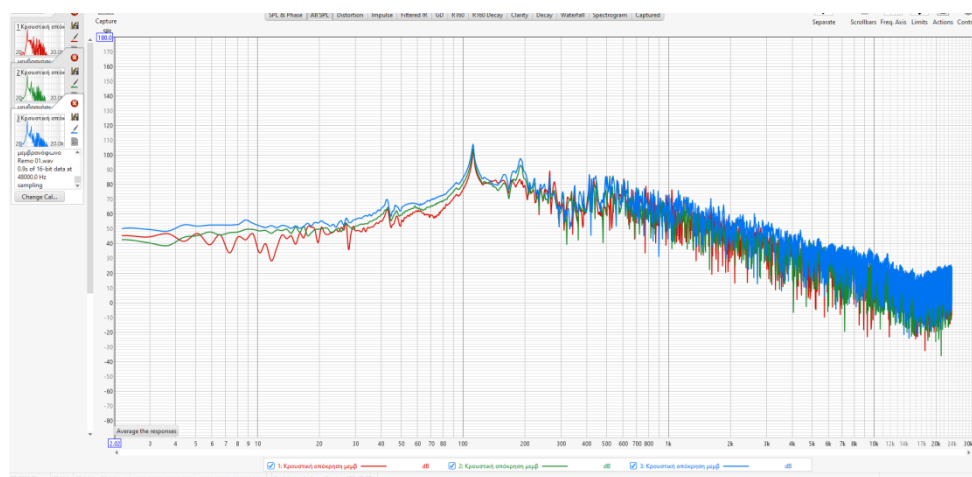


Εικόνα 5.21: Απεικόνιση του Διανυσματικού Μέσου Όρου (Vector Average) των εννέα προηγηθέντων κρουστικών αποκρίσεων.

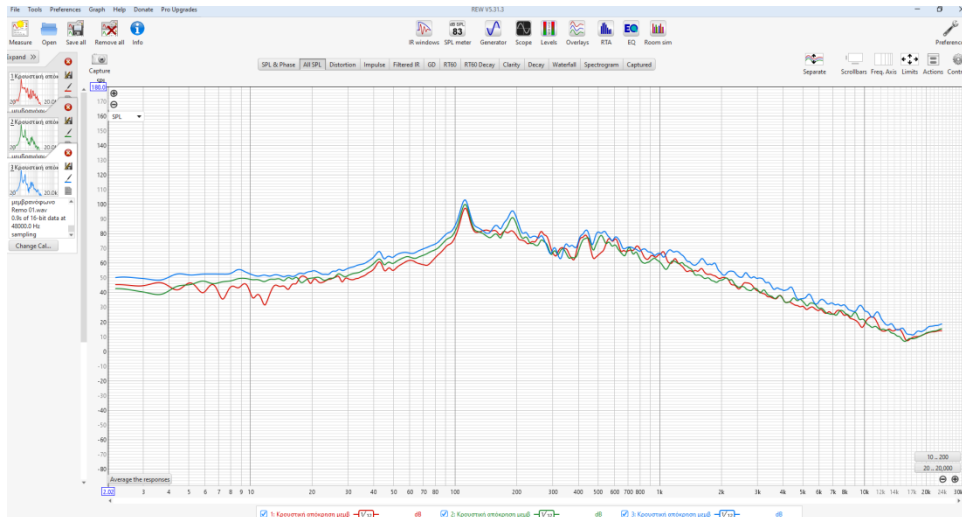
5.2 Ανάλυση απόκρισης συχνότητας των δύο οργάνων

Μετά τη μελέτη στο πεδίο του χρόνου, η έρευνα περνά στο πεδίο της συχνότητας μέσω του μετασχηματισμού Fourier. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό των ιδιοσυχνοτήτων, των αρμονικών σειρών και των περιοχών μέγιστης ενίσχυσης για κάθε κατασκευή. Τα φασματικά δεδομένα των αποκρίσεων στάθμης αναλύονται διεξοδικά στις υποενότητες που ακολουθούν.

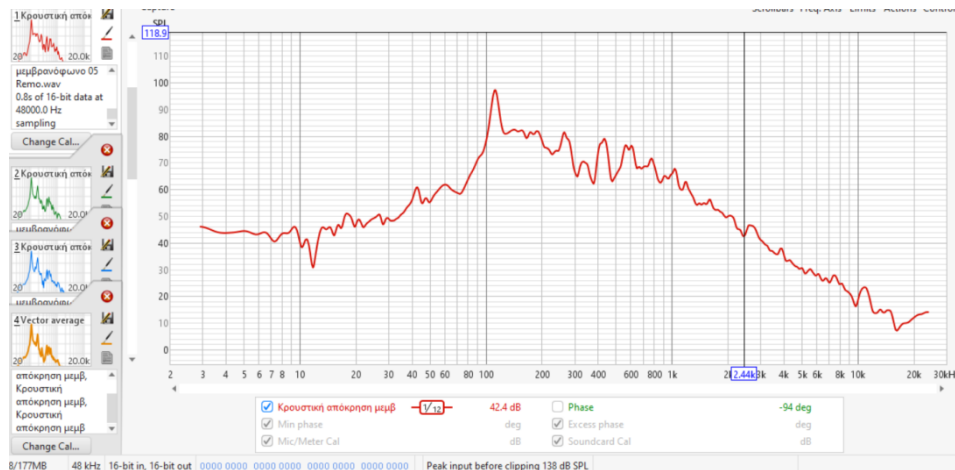
5.2.1 Ανάλυση απόκρισης συχνότητας της μεμβράνης του μεμβρανόφωνου οργάνου



Εικόνα 5.22: Συγκριτικό διάγραμμα των αποκρίσεων στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) για το σύνολο των μετρήσεων.



Εικόνα 5.23: Αναλυτική απεικόνιση της φασματικής απόκρισης (SPL) με έμφαση στις τιμές αιχμής.



Εικόνα 5.24: Φασματική ανάλυση στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) για το δείγμα SPL 1.



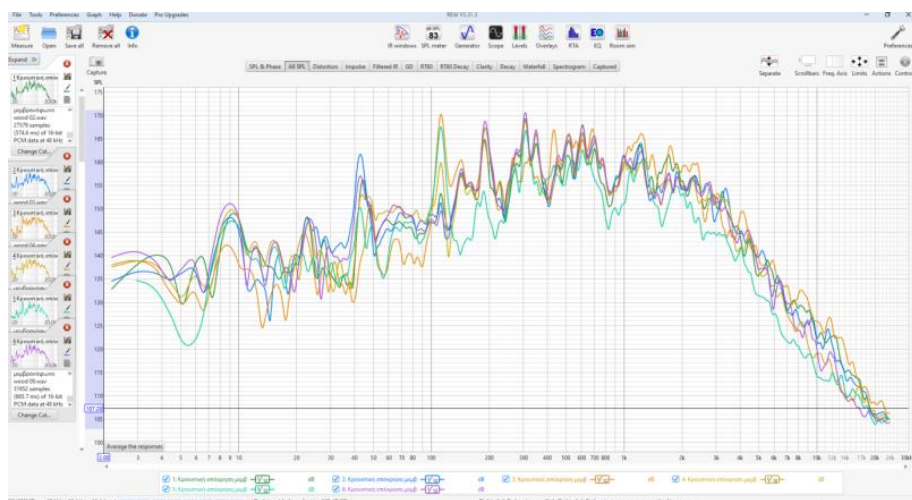
Εικόνα 5.25: Φασματική ανάλυση στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) για το δείγμα SPL 2.



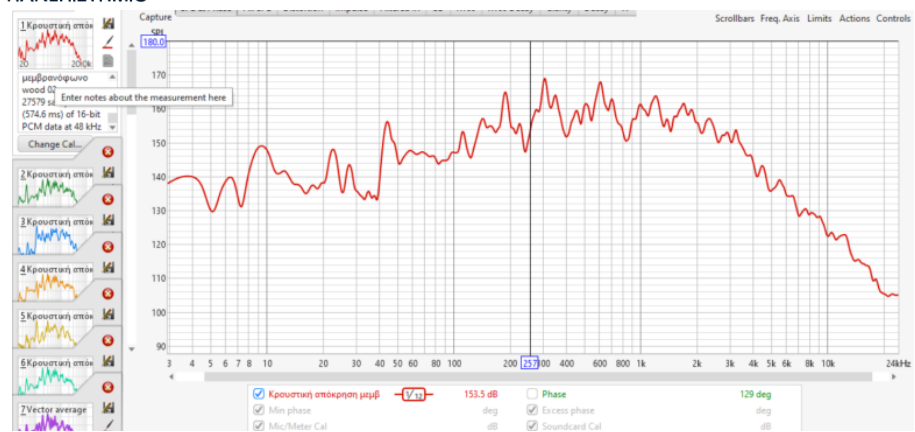
Εικόνα 5.26: Φασματική ανάλυση στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) για το δείγμα SPL 3.

Η μετάβαση από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας πραγματοποιήθηκε μέσω του μετασχηματισμού Fourier, επιτρέποντας τον ενδεδειγμένο προσδιορισμό του φασματικού περιεχομένου της μεμβράνης Remo. Η μελέτη της απόκρισης συχνότητας βασίστηκε στην ανάλυση των τριών κρουστικών αποκρίσεων που απεικονίζονται συγκεντρωτικά στην εικόνα... Η πρώτη μέτρηση (κόκκινη καμπύλη στην εικόνα 5.24) παρουσιάζει τη θεμελιώδη συχνότητα συντονισμού στην περιοχή των 110 Hz, επιδεικνύοντας μια καθαρή απόκριση στις χαμηλές συχνότητες. Η δεύτερη μέτρηση (πράσινη καμπύλη στην εικόνα 5.25), με οριακά αυξημένη σχετική στάθμη κατά 1.1 dB σε σχέση με την πρώτη, διατηρεί την ίδια θεμελιώδη συχνότητα αλλά παρουσιάζει μια πιο έντονη δευτερεύουσα κορύφωση στην περιοχή των 200 Hz. Η τρίτη μέτρηση (μπλε καμπύλη στην εικόνα 5.26) καταγράφει την υψηλότερη ενεργειακή απόκριση, εμφανίζοντας αύξηση της σχετικής στάθμης κατά 7.3 dB σε σύγκριση με τη δεύτερη μέτρηση, και αναδεικνύει μια ενισχυμένη απόκριση στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες πάνω από το 1 kHz, γεγονός που υποδηλώνει μια πιο οξεία διέγερση της μεμβράνης κατά τη συγκεκριμένη λήψη.

5.2.2 Ανάλυση απόκρισης συχνότητας στο σώμα του μεμβρανόφωνου



Εικόνα 5.27: Συγκριτικό διάγραμμα της Ανάλυσης Απόκρισης Συχνότητας (SPL) για το ξύλινο ηχείο.



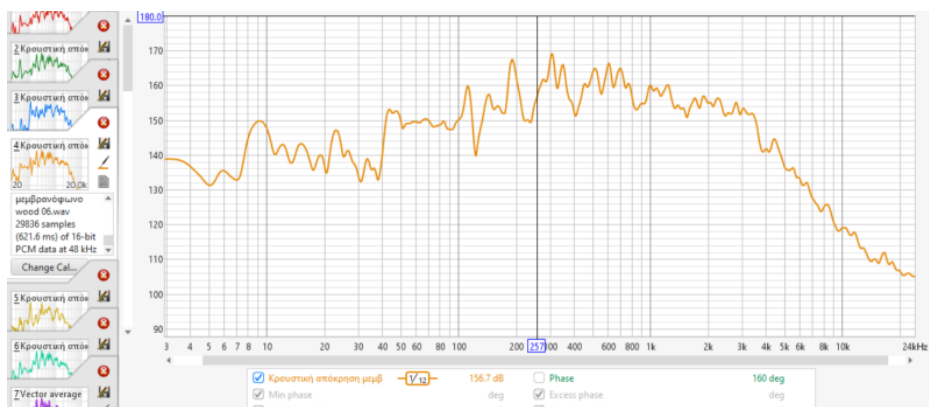
Εικόνα 5.28: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL 1.



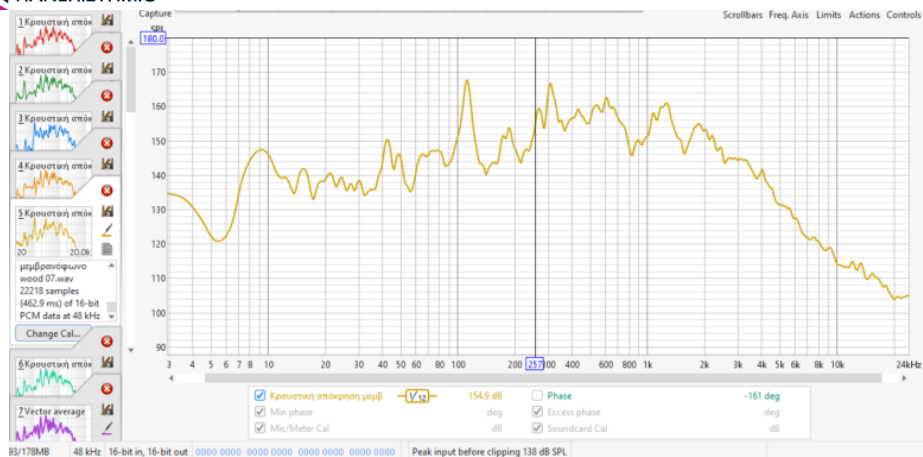
Εικόνα 5.29: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL 2.



Εικόνα 5.30: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL 3.



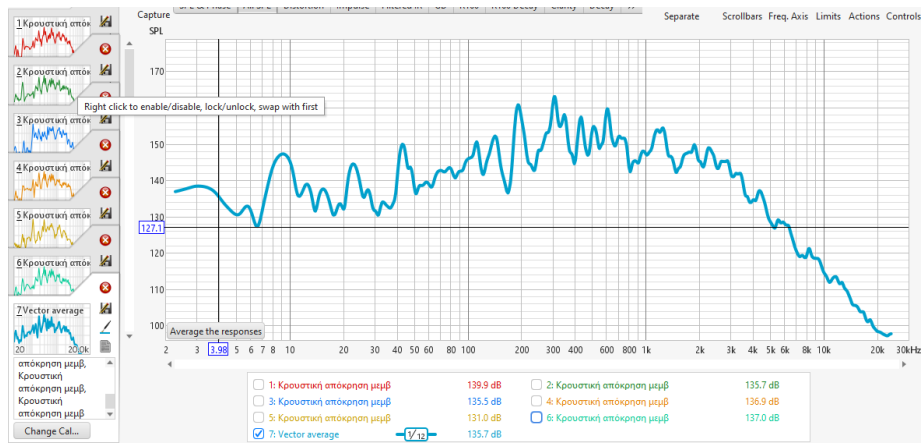
Εικόνα 5.31: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL



Εικόνα 5.32: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL 5.



Εικόνα 5.33: Ανάλυση Απόκρισης Συχνότητας (SPL Analysis) για το δείγμα Wood Shell SPL 6.



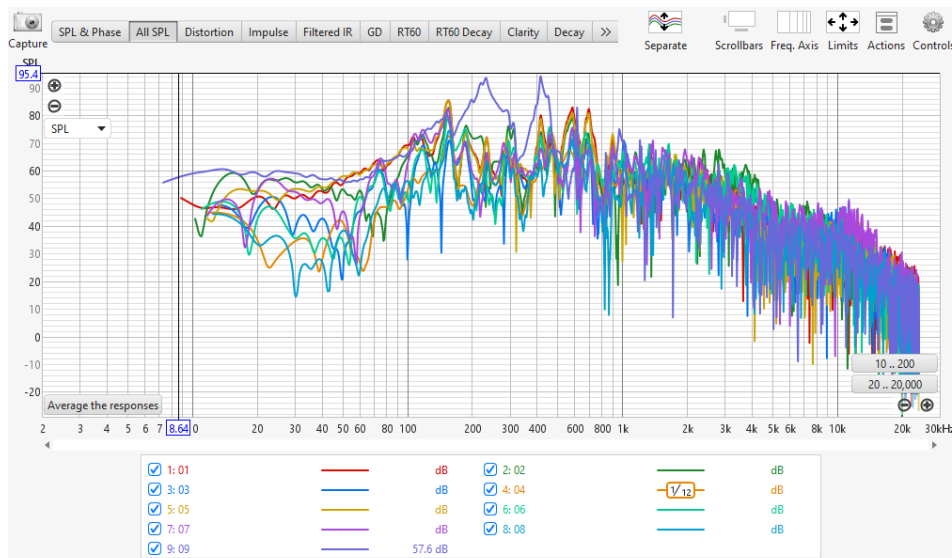
Εικόνα 5.34: Τελική καμπύλη μέσης φασματικής απόκρισης (Vector Average) του ξύλινου ηχείου.

Η μελέτη της ακουστικής ταυτότητας του ξύλινου ηχείου πραγματοποιήθηκε μέσω της λήψης έξι διαδοχικών κρουστικών αποκρίσεων, οι οποίες απεικονίζονται συγκριτικά στην εικόνα 5.27. Η ανάλυση αυτών των δεδομένων επιτρέπει την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο το σώμα του τυμπάνου συμμετέχει στη διαμόρφωση του τελικού ηχοχρώματος, λειτουργώντας ως ο βασικός αντηχητής του συστήματος.

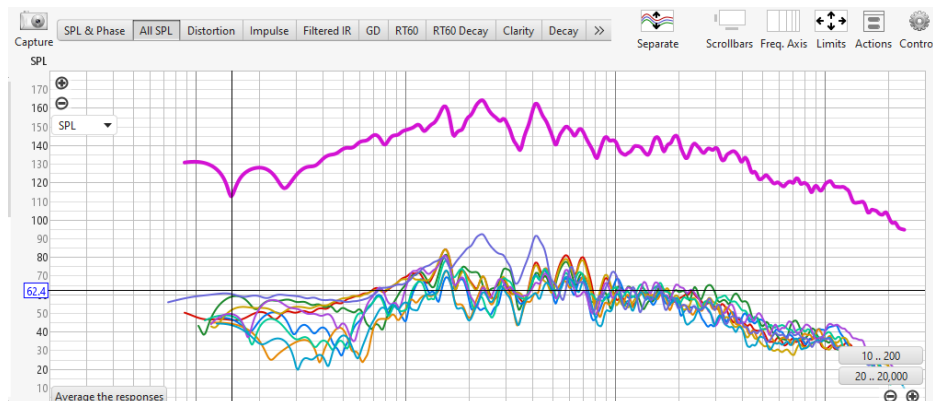
Εξετάζοντας τις επιμέρους μετρήσεις, παρατηρούμε ότι το δείγμα SPL 1 (κόκκινη καμπύλη στην εικόνα 5.28) εμφανίζει μια ισορροπημένη κατανομή ενέργειας. Το δείγμα SPL 2 (πράσινη καμπύλη στην εικόνα 5.29) παρουσιάζει μια ενίσχυση στις μεσαίες συχνότητες. Η τρίτη μέτρηση, SPL 3 (μπλε καμπύλη στην εικόνα 5.30), καταγράφει πιο έντονες εξάρσεις στην περιοχή των 100-200 Hz, σε αντίθεση με το δείγμα SPL 4 (πορτοκαλί καμπύλη) στην εικόνα 5.31, το οποίο εμφανίζει σταθερότερη απόκριση. Οι δύο τελευταίες λήψεις, το δείγμα SPL 5 (κίτρινη καμπύλη) στην εικόνα 5.32 και το δείγμα SPL 6 (γαλάζια καμπύλη) στην εικόνα 5.33, συμπληρώνουν το φάσμα της απόκρισης, αναδεικνύοντας τις μικροδιακυμάνσεις που προκύπτουν από τη φυσική ανομοιογένεια του υλικού.

Η βασική διαφορά μεταξύ των δειγμάτων 1 έως 6 έγκειται στην ένταση των επιμέρους συντονισμών στις χαμηλομεσαίες συχνότητες (80-300 Hz), όπου το ξύλο προσφέρει τον χαρακτηριστικό του όγκο. Για την εξάλειψη των τυχαίων αποκλίσεων, χρησιμοποιήθηκε ο Vector Average (μωβ καμπύλη) στην εικόνα 5.34, ο οποίος ορίζει τη μέση στάθμη του συστήματος. Η μέθοδος αυτή εξομαλύνει τις φασματικές αιχμές, αποκαλύπτοντας τον χαρακτήρα του ηχείου.

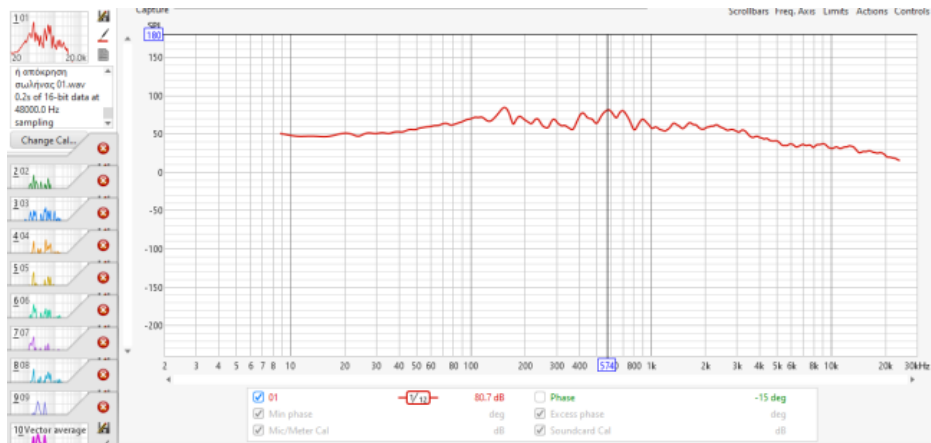
5.2.3 Ανάλυση απόκρισης συχνότητας του σωληνόφωνου οργάνου



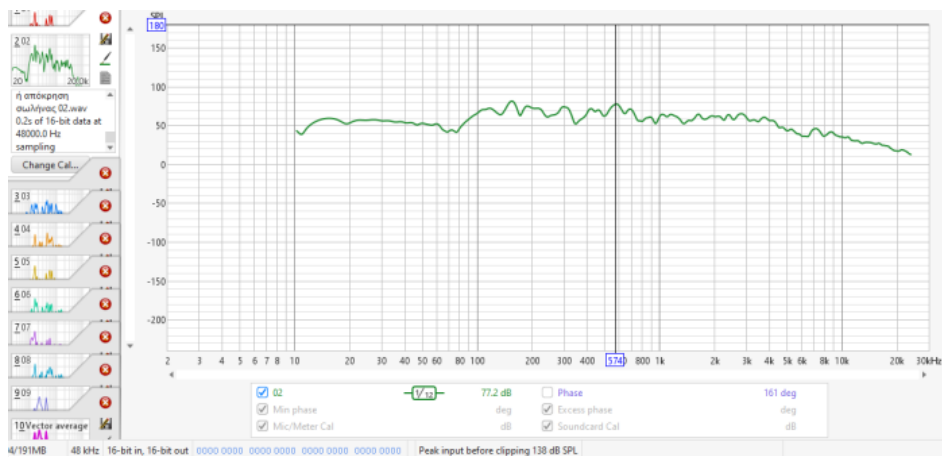
Εικόνα 5.35: Συγκριτική απεικόνιση των εννέα (9) μεμονωμένων κυματομορφών κρουστικής απόκρισης (Impulse Responses).



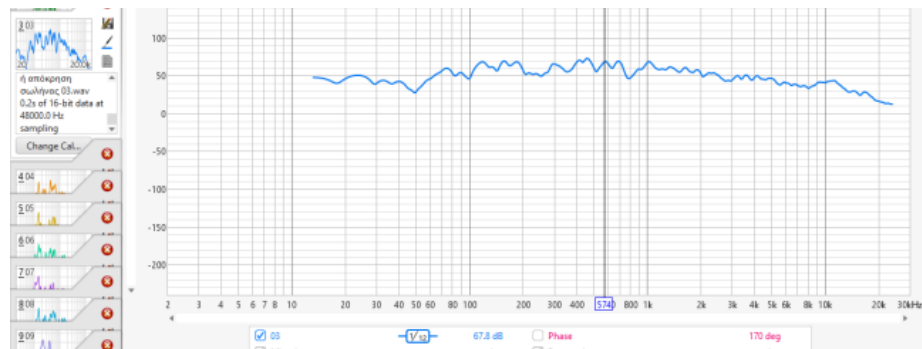
Εικόνα 5.36: Τελική κυματομορφή Διανυσματικού Μέσου Όρου (Vector Average)



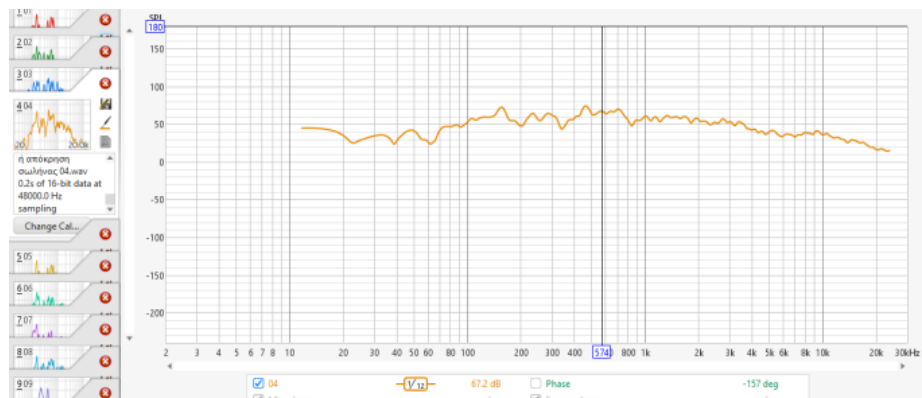
Εικόνα 5.37: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 01.



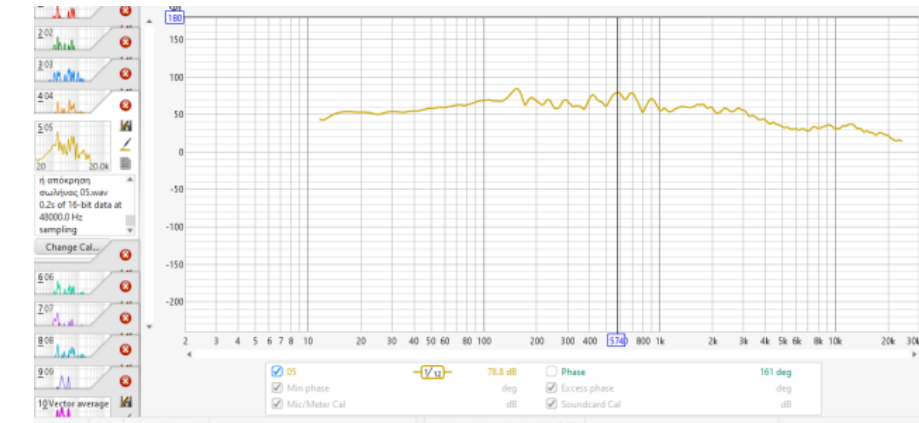
Εικόνα 5.38: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 02.



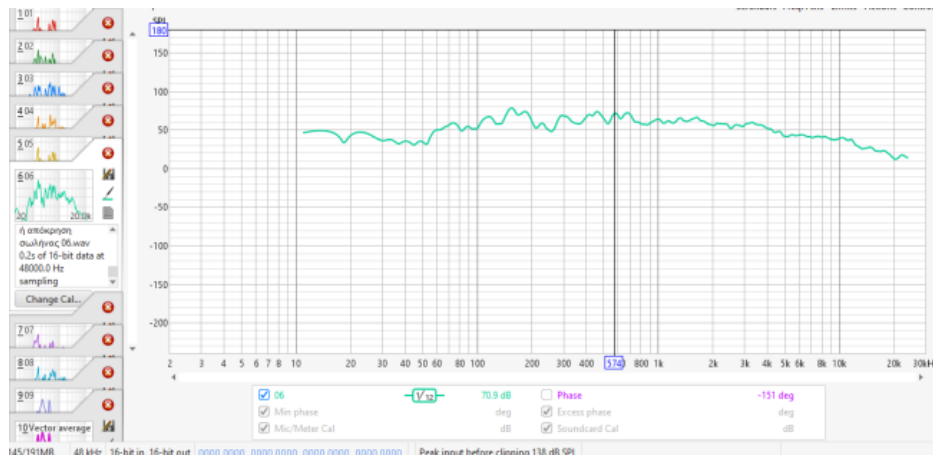
Εικόνα 5.39: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 03.



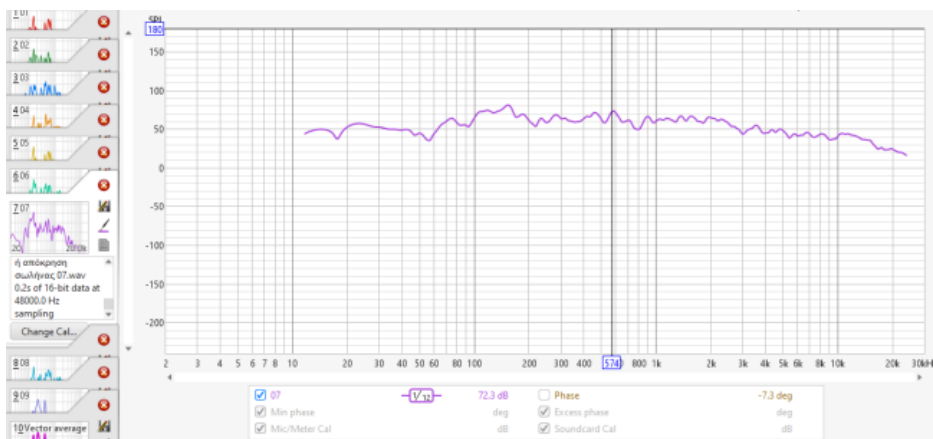
Εικόνα 5.40: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 04.



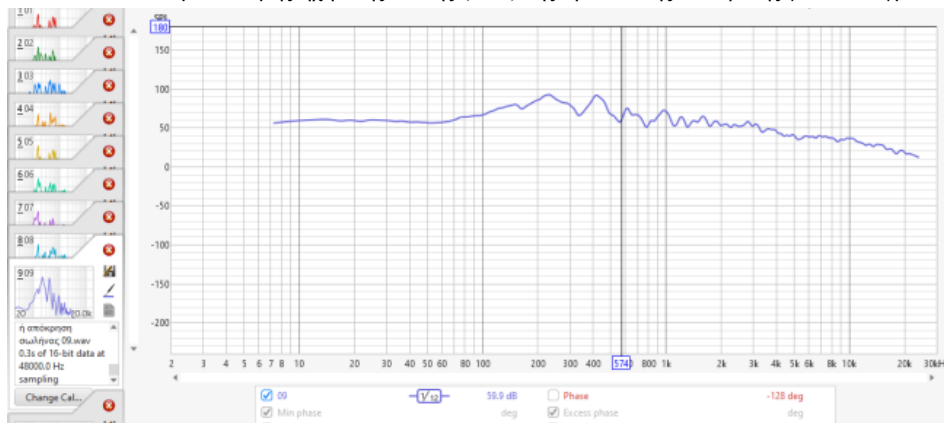
Εικόνα 5.41: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 05.



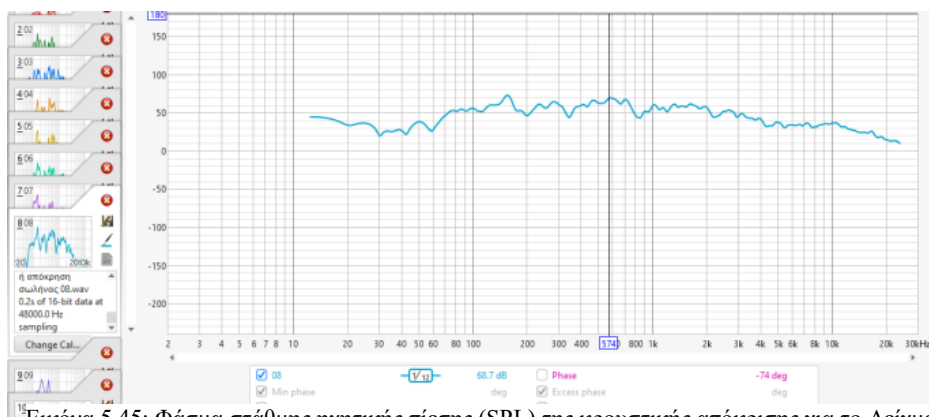
Εικόνα 5.42: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 06.



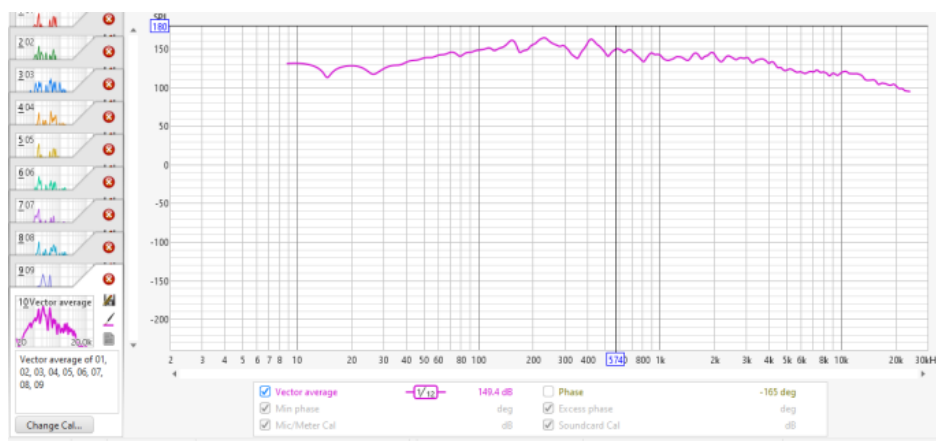
Εικόνα 5.43: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 07.



Εικόνα 5.44: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 08.



Εικόνα 5.45: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 09.



Εικόνα 5.46: Φάσμα στάθμης ηχητικής πίεσης (SPL) της κρουστικής απόκρισης για το Δείγμα 10.

Η παρατήρηση των εννέα ανεξάρτητων αποκρίσεων καταδεικνύει μια σαφή διακύμανση στη συνολική στάθμη ηχητικής ενέργειας, η οποία οφείλεται στην ένταση της χειροκίνητης διέγερσης. Η μέγιστη ενέργεια καταγράφεται στο δείγμα 01 (εικόνα 5.35), ενώ η χαμηλότερη στο δείγμα 09 (εικόνα 5.45). Αυτή η διαφορά των 20.8 dB υποδηλώνει ότι το αντηχείο PVC ανταποκρίνεται με μεγάλη ευαισθησία στη δύναμη της κρούσης, προσφέροντας στον εκτελεστή ένα ευρύ δυναμικό εύρος που κυμαίνεται από ισχυρά τονικά σήματα (όπως στο δείγμα 05, εικόνα 5.41) έως πιο λεπτοφυείς και χαμηλόφωνες αποκρίσεις (όπως στο δείγμα 03, εικόνα 5.39).

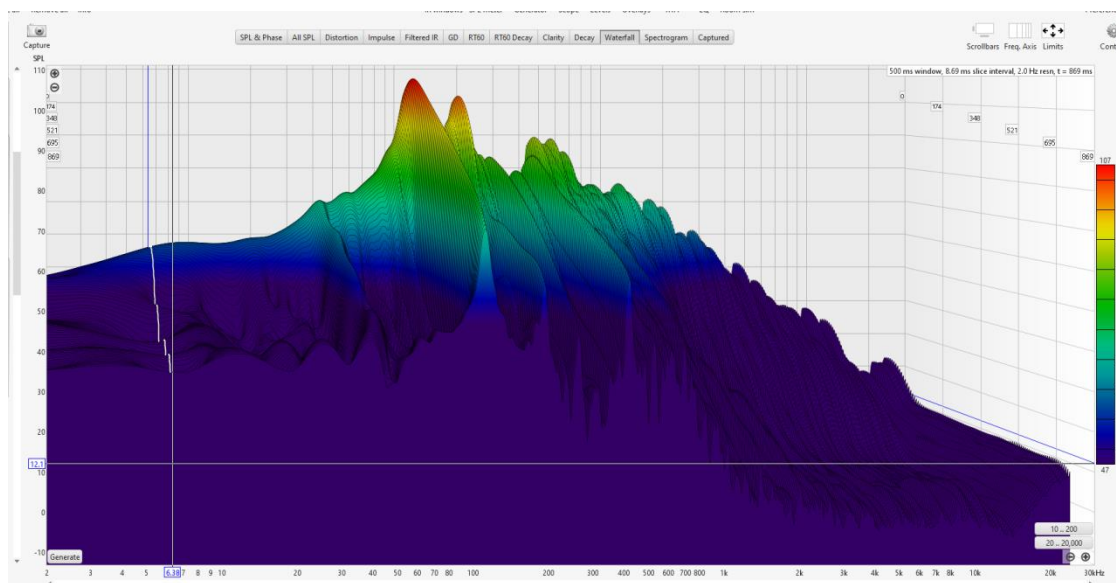
Παρά την ποσοτική διαφοροποίηση στην ένταση, το όργανο επιδεικνύει εξαιρετική συχνική σταθερότητα στους κύριους συντονισμούς του. Είναι αξιοσημείωτο ότι σε όλα τα δείγματα, από το 02 (εικόνα 5.38) έως το 08 (εικόνα 5.44), η κύρια κορυφή συντονισμού παραμένει σταθερά εστιασμένη γύρω από τη συχνότητα των 574 Hz. Η σταθερότητα αυτή επιβεβαιώνει ότι οι φυσικές διαστάσεις του σωλήνα ορίζουν ένα ακλόνητο τονικό κέντρο, ανεξάρτητα από το αν η κρούση είναι ισχυρή (δείγμα 01) ή πιο ασθενής (δείγμα 04, εικόνα 5.40).

Ωστόσο, παρατηρούνται μικρο-διαφοροποιήσεις στη μορφολογία των δευτερευουσών αρμονικών και των υποτονικών συχνοτήτων. Στο δείγμα 06 (εικόνα 5.42), για παράδειγμα, η απόκριση στις χαμηλές συχνότητες εμφανίζεται πιο ομαλή σε σύγκριση με το δείγμα 07 (εικόνα 5.43), όπου παρατηρείται μια ελαφρά ενίσχυση στην περιοχή των 150-200 Hz. Αυτές οι αποκλίσεις υποδεικνύουν ότι μικρές αλλαγές στη γωνία ή στο σημείο κρούσης ενεργοποιούν διαφορετικούς ιδιοτρόπους δόνησης του αέρα εντός του σωλήνα. Η καταγραφή αυτής της "ηχοχρωματικής αστάθειας" μεταξύ των δειγμάτων είναι εξαιρετικά πολύτιμη, καθώς προσδίδει οργανικό χαρακτήρα στο τελικό ηχητικό αποτέλεσμα, αποφεύγοντας τη μονοτονία της απόλυτης ψηφιακής επανάληψης.

5.3 Ανάλυση τρισδιάστατου διαγράμματος καταρράκτη των δύο οργάνων

Εμπλουτίζοντας τη φασματική μελέτη, η παρούσα ενότητα εισάγει το τρισδιάστατο διάγραμμα καταρράκτη, το οποίο επιτρέπει την ταυτόχρονη αξιολόγηση της συχνότητας, της στάθμης και του χρόνου. Μέσα από την παρατήρηση των κορυφογραμμών και του ρυθμού απόσβεσης, αποτυπώνεται με ακρίβεια το sustain της θεμελιώδους τονικότητας και το σταδιακό «σκοτεινιάσμα» του ήχου κατά την εξασθένηση. Η αναλυτική αυτή χαρτογράφηση παρουσιάζεται διεξοδικά στις υποενότητες που ακολουθούν.

5.3.1 Ανάλυση τρισδιάστατου διαγράμματος καταρράκτη της μεμβράνης του μεμβρανόφωνου οργάνου



Εικόνα 5.47: Τρισδιάστατο διάγραμμα καταρράκτη (Waterfall Plot) της κρουστικής απόκρισης του

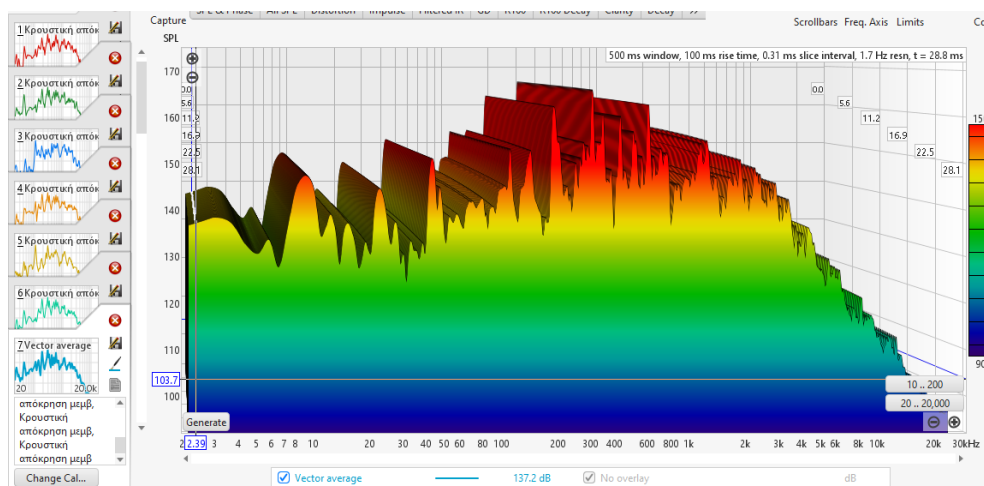
Η εφαρμογή του τρισδιάστατου διαγράμματος καταρράκτη επιτρέπει την ταυτόχρονη αξιολόγηση της συχνότητας, της στάθμης ηχητικής πίεσης και του χρόνου, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη απεικόνιση της φασματικής αποσύνθεσης της μεμβράνης. Σύμφωνα με τα

αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην εικόνα 5.47, η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος προσδιορίζεται πρωτίστως από τον συντονισμό στη θεμελιώδη συχνότητα των 115 Hz. Η συγκεκριμένη φασματική κορυφή επιδεικνύει τη μεγαλύτερη χρονική διάρκεια, διατηρώντας σημαντικά επίπεδα ενέργειας καθ' όλη τη διάρκεια της περιόδου απόσβεσης, γεγονός που επιβεβαιώνει τον ρόλο της ως τον κύριο φορέα της τονικότητας του οργάνου.

Η παρατήρηση της φασματικής απόσβεσης αποκαλύπτει μια ομαλή κλίση της ενέργειας προς το βάθος του χρονικού άξονα. Διαπιστώνεται ότι οι υψηλότερες αρμονικές, ειδικότερα εκείνες που υπερβαίνουν το όριο των 500 Hz, παρουσιάζουν ταχύτερο ρυθμό απόσβεσης συγκριτικά με τις συχνότητες της χαμηλής περιοχής. Αυτή η διαφοροποίηση στον χρόνο ηρεμίας των συχνοτήτων εξηγεί τον ακουστικό μετασχηματισμό του οργάνου, καθώς ο ήχος της μεμβράνης προσλαμβάνει σταδιακά έναν πιο "σκοτεινό" χαρακτήρα κατά τη φάση της εξασθένησης. Επιπλέον, η απουσία έντονων δευτερευουσών "κορυφογραμμών" σε μη αρμονικές συχνότητες υποδηλώνει ότι η μεμβράνη διαθέτει ομοιογενή τάση, παράγοντας έναν καθαρό μουσικό τόνο απαλλαγμένο από δυσαρμονικούς συντονισμούς.

Τέλος, η χρωματική διαβάθμιση του διαγράμματος, η οποία εκτείνεται από τις θερμές στις ψυχρές αποχρώσεις, αναδεικνύει το ευρύ δυναμικό εύρος του συστήματος. Η αρχική στάθμη μειώνεται βαθμιαία και γραμμικά μέχρι την πλήρη εξίσωσή της με το επίπεδο θορύβου του περιβάλλοντος, υποδεικνύοντας ένα σύστημα με υψηλή γραμμικότητα στην απόσβεση. Η συνολική ανάλυση του Waterfall Plot επιβεβαιώνει ότι η μεμβράνη λειτουργεί ως ένας αποτελεσματικός ακουστικός αντηχητής, του οποίου η χρονική συμπεριφορά είναι απόλυτα συνυφασμένη με τη φασματική του δομή.

5.3.2 Ανάλυση τρισδιάστατου διαγράμματος καταρράκτη στο σώμα του μεμβρανόφωνου οργάνου



Εικόνα 5.48: Τρισδιάστατο διάγραμμα καταρράκτη (Waterfall Plot) της κρουστικής απόκρισης του ξύλινου ηχείου.

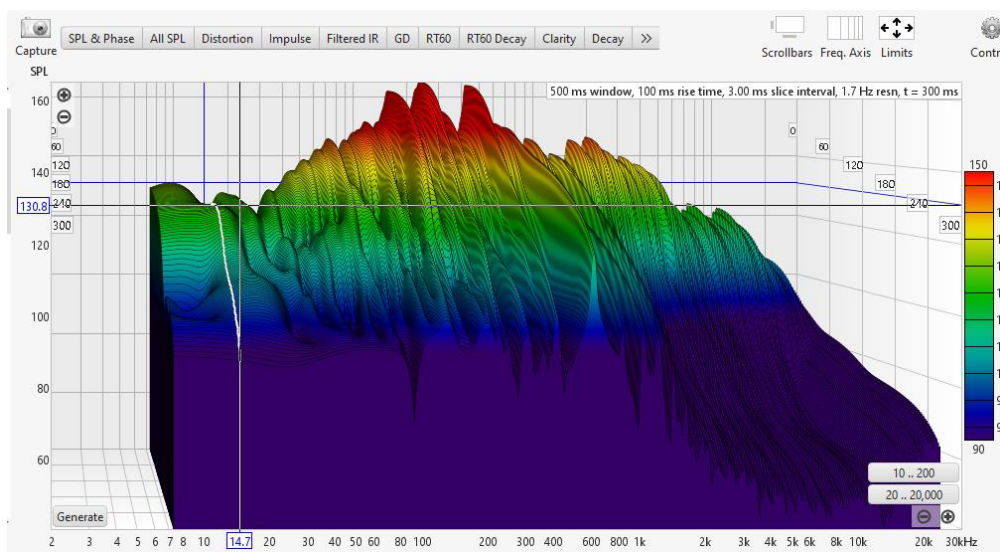
Η τρισδιάστατη απεικόνιση της φασματικής αποσύνθεσης για το ξύλινο σώμα του οργάνου, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 5.48, επιτρέπει την ταυτόχρονη παρατήρηση της συχνότητας, της στάθμης και του χρόνου απόσβεσης. Το διάγραμμα αυτό, το οποίο

προέκυψε από την επεξεργασία του Vector Average των μετρήσεων, αναδεικνύει την ιδιαίτερη ακουστική φύση του ξύλινου drum shell.

Κυρίαρχο χαρακτηριστικό του διαγράμματος είναι η εξαιρετικά βραχεία χρονική διάρκεια της ενέργειας σε όλο το φασματικό εύρος. Σε αντίθεση με τη μεμβράνη, όπου συγκεκριμένες ιδιοσυχνότητες επιβιώνουν για εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου, το ξύλο παρουσιάζει μια απότομη και ομοιόμορφη "κατάρρευση" της στάθμης. Η ενέργεια που εκλύεται κατά την κρούση εξασθενεί πλήρως εντός των πρώτων 50-70 ms, γεγονός που υπογραμμίζει την υψηλή ικανότητα του υλικού να απορροφά τις μηχανικές ταλαντώσεις.

Παράλληλα, το διάγραμμα αποκαλύπτει μια ευρεία φασματική διέγερση χωρίς την παρουσία μεμονωμένων, στενών κορυφών που "αιωρούνται" στον χρόνο. Η απουσία τέτοιων "κορυφογραμμών" υποδηλώνει ότι το ξύλινο ηχείο δεν εισάγει δυσαρμονικούς συντονισμούς, αλλά λειτουργεί ως ένας σταθερός ακουστικός μετατροπέας που ενισχύει την αρχική επίθεση και προσδίδει όγκο στον ήχο. Η χρωματική διαβάθμιση επιβεβαιώνει τη γραμμικότητα της απόσβεσης, καθιστώντας σαφές ότι η συνεισφορά του σώματος στην ακουστική του οργάνου περιορίζεται στην παροχή του απαραίτητου "σώματος" και της τονικής ζεστασιάς, χωρίς να επηρεάζει τη διάρκεια του sustain, η οποία παραμένει αποκλειστικό χαρακτηριστικό της μεμβράνης.

5.3.3 Ανάλυση τρισδιάστατου διαγράμματος καταρράκτη του σωληνόφωνου οργάνου



Εικόνα 5.49: Τρισδιάστατο διάγραμμα Waterfall που απεικονίζει την απόσβεση των συχνοτήτων στον χρόνο.

Η μελέτη της ακουστικής ταυτότητας του οργάνου PVC ολοκληρώνεται με την εξέταση της χρονικής εξέλιξης του φάσματος, όπως αυτή αποτυπώνεται στο τρισδιάστατο διάγραμμα καταρράκτη (εικόνα 5.49). Η συγκεκριμένη μέθοδος απεικόνισης κρίνεται απαραίτητη, καθώς επιτρέπει την ταυτόχρονη παρατήρηση της συχνότητας, της στάθμης και του χρόνου απόσβεσης, προσφέροντας μια λεπτομερή εικόνα για τη δυναμική συμπεριφορά του αντηχείου μετά τη στιγμή της διέγερσης. Σε αντίθεση με τη στατική ανάλυση του φάσματος, το διάγραμμα αποκαλύπτει ποιες συγκεκριμένες συχνότητες διατηρούν την ενέργειά τους

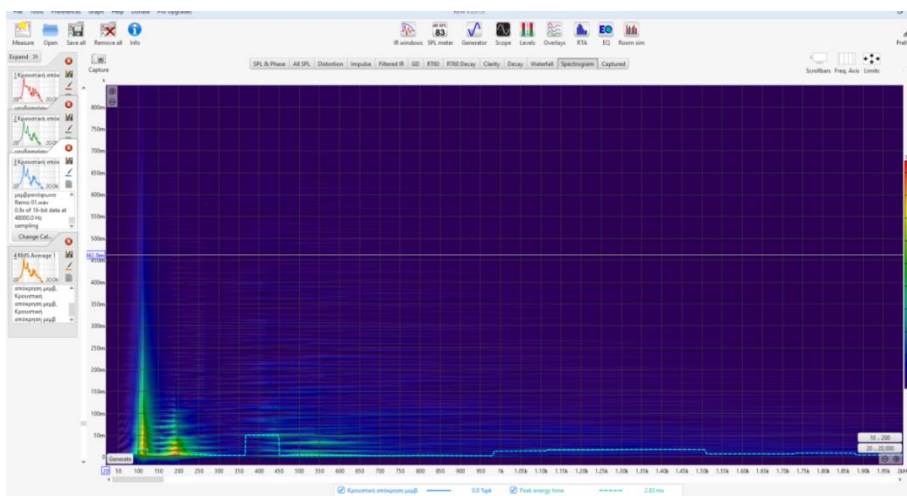
στο χρόνο και ποιες εξασθενούν ταχύτερα, παρέχοντας έτσι μια σαφή ένδειξη για την ποιότητα του συντονισμού.

Από την ανάλυση του διαγράμματος προκύπτει ότι οι κύριοι συντονισμοί, οι οποίοι εντοπίστηκαν προηγουμένως στο φασματικό εύρος των 200 Hz έως 600 Hz, παρουσιάζουν την πλέον αξιοσημείωτη χρονική διάρκεια. Η αργή απόσβεση της ενέργειας σε αυτή τη συγκεκριμένη περιοχή επιβεβαιώνει τη λειτουργία του σωλήνα ως αντηχείου υψηλής ποιότητας, το οποίο διαθέτει την ικανότητα να υποστηρίζει τη θεμελιώδη τονικότητα του οργάνου και να προσδίδει βάθος στο παραγόμενο ηχόχρωμα. Η παραμονή της ενέργειας στις χαμηλομεσαίες συχνότητες είναι αυτή που ορίζει τον «όγκο» του οργάνου και την ικανότητά του να λειτουργεί ως αυτόνομη μουσική πηγή.

Παράλληλα, παρατηρείται ότι οι υψηλότερες αρμονικές συνιστώσες παρουσιάζουν έναν πολύ ταχύτερο ρυθμό απόσβεσης, γεγονός που αποδίδεται στις εσωτερικές απώλειες του υλικού PVC και στη γεωμετρία της στήλης αέρα. Αυτή η διαφοροποίηση στο ρυθμό απόσβεσης μεταξύ χαμηλών και υψηλών συχνοτήτων διαμορφώνει την ιδιαίτερη ακουστική «ουρά» του οργάνου, η οποία χαρακτηρίζεται από καθαρότητα και απουσία ανεπιθύμητων μεταλλικών δονήσεων. Τα δεδομένα αυτά λειτούργησαν ως καταλυτικός παράγοντας για τον σχεδιασμό της ηχητικής σύνθεσης, καθώς επέτρεψαν τον ακριβή προγραμματισμό των παραμέτρων χρονικής εξέλιξης και των φίλτρων, ώστε το ψηφιακό αποτέλεσμα να ανταποκρίνεται στη φυσική ιδιοσυγκρασία του αντικειμένου.

5.4 Ανάλυση φασματογραφήματος των δύο οργάνων

Ολοκληρώνοντας τη μελέτη, η παρούσα ενότητα εισάγει την ανάλυση μέσω φασματογραφήματος, το οποίο αποτυπώνει την κατανομή της ηχητικής ενέργειας στο κοινό πεδίο συχνότητας και χρόνου. Η οπτικοποίηση αυτή επιτρέπει την παρατήρηση της ευρείας διέγερσης κατά την κρούση και τη χρονική εξέλιξη των ζωνών ενέργειας. Μέσα από τη χρωματική διαβάθμιση, τεκμηριώνεται η ομαλότητα της απόσβεσης και επαληθεύονται οι ιδιοτρόποι δόνησης των δύο κατασκευών. Η αναλυτική αυτή χαρτογράφηση παρουσιάζεται στις υποενότητες που ακολουθούν.



Εικόνα 5.60: Ανάλυση Φασματογραφήματος (Spectrogram) της κρουστικής απόκρισης.

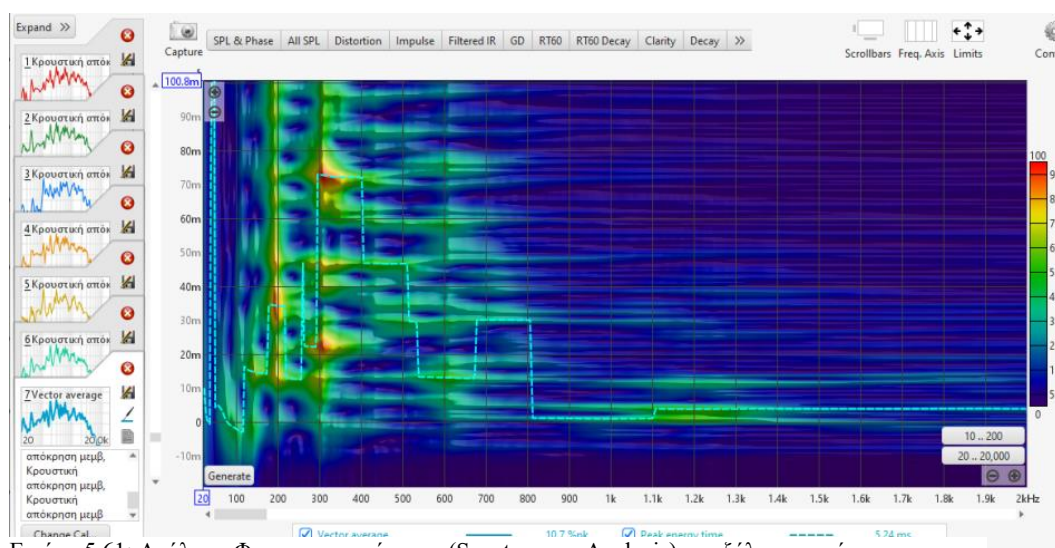
5.4.1 Ανάλυση φασματογραφήματος της μεμβράνης του μεμβρανόφωνου οργάνου

Η απεικόνιση του φασματογραφήματος (εικόνα 5.60) προσφέρει μια λεπτομερή καταγραφή της κατανομής της ηχητικής ενέργειας σε ένα δισδιάστατο πεδίο συχνότητας και χρόνου, επιτρέποντας την ταυτοποίηση των δυναμικών χαρακτηριστικών της μεμβράνης Remo. Στο φασματογράφημα, η χρονική εξέλιξη του σήματος αποκαλύπτει την άμεση απόκριση του συστήματος κατά τη στιγμή της κρούσης, η οποία χαρακτηρίζεται από ένα ευρύ φασματικό εύρος που καλύπτει ολόκληρη την περιοχή συχνοτήτων.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η παρατήρηση της θεμελιώδους συχνότητας στην περιοχή των 115 Hz, η οποία εμφανίζεται ως η ισχυρότερη και χρονικά πιο ανθεκτική συνιστώσα του σήματος. Η ενέργεια συγκεντρώνεται σε αυτό το χαμηλό συχνοτικό εύρος αμέσως μετά τη διέγερση και διατηρείται για σημαντικό χρονικό διάστημα, επιβεβαιώνοντας την ικανότητα της μεμβράνης να λειτουργεί ως αντηχητής υψηλού συντελεστή ποιότητας (Q). Αντίθετα, οι ανώτερες αρμονικές και οι δευτερεύουσες κορυφές που εκτείνονται προς τα υψηλότερα τμήματα του φάσματος παρουσιάζουν εξαιρετικά σύντομη διάρκεια, με την ενέργειά τους να εξασθενεί ραγδαία εντός των πρώτων χιλιοστών του δευτερολέπτου.

Η χρωματική διαβάθμιση του διαγράμματος τεκμηριώνει την ομαλή απόσβεση του οργάνου, καθώς η μετάβαση από τις υψηλές στάθμες (θερμά χρώματα) προς το επίπεδο ηρεμίας (ψυχρά χρώματα) πραγματοποιείται χωρίς φασματικές ασυνέχειες. Η συγκεκριμένη συμπεριφορά είναι ενδεικτική ενός ισορροπημένου συστήματος, όπου η αρχική κρούση μετατρέπεται γρήγορα σε έναν καθαρό, μονοτονικό ήχο. Συμπερασματικά, το φασματογράφημα επαληθεύει ότι η ηχητική ταυτότητα της μεμβράνης Remo κυριαρχείται από τη χαμηλή συχνοτική περιοχή, εξασφαλίζοντας έναν ήχο με όγκο και σταθερή τονική απόληξη.

5.4.2 Ανάλυση φασματογραφήματος στο σώμα του μεμβρανόφωνου οργάνου



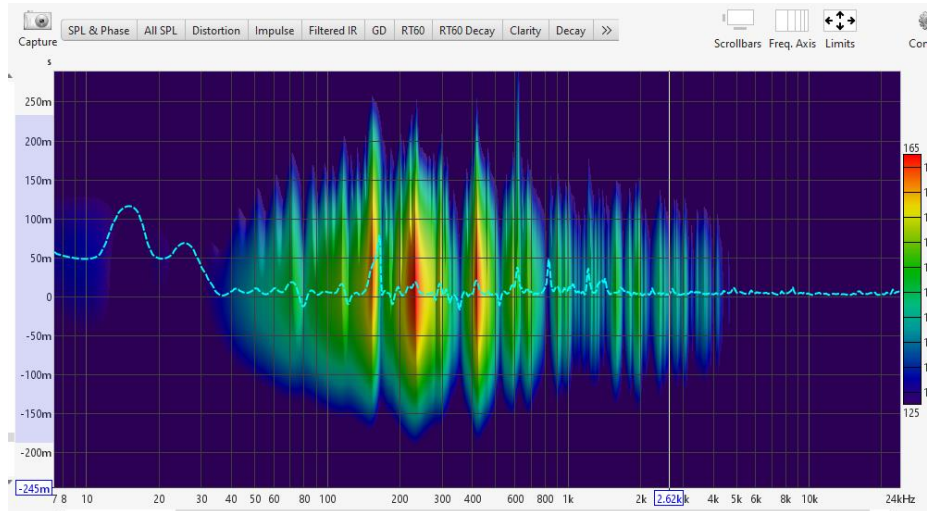
Εικόνα 5.61: Ανάλυση Φασματογραφήματος (Spectrogram Analysis) του ξύλινου ηχείου.

Η μελέτη της χρονικής εξέλιξης των συχνοτήτων του ξύλινου ηχείου πραγματοποιήθηκε μέσω της ανάλυσης του φασματογραφήματος, η οποία βασίστηκε στον υπολογισμό του Vector Average των έξι ανεξάρτητων πειραματικών λήψεων (εικόνα 5.61). Η συγκεκριμένη μεθοδολογική προσέγγιση εξασφαλίζει ότι το φασματογράφημα δεν αποτυπώνει τυχαίες διακυμάνσεις της στιγμιαίας κρούσης, αλλά την αντιπροσωπευτική και σταθερή ακουστική απόκριση του ξύλινου σώματος ως ενιαίο σύστημα.

Στο πεδίο της συχνότητας, το φασματογράφημα αποκαλύπτει μια ευρεία διέγερση κατά τη στιγμή της κρούσης, η οποία καλύπτει ομοιόμορφα μεγάλο τμήμα του ακουστικού φάσματος. Σε αντίθεση με τη μεμβράνη, όπου η ενέργεια εστιάζεται σε συγκεκριμένες ιδιοσυχνότητες, το ξύλινο σώμα διαχέει την ενέργεια σε πολλαπλές περιοχές, γεγονός που προσδίδει στο όργανο τον απαραίτητο όγκο και τον "γεμάτο" ακουστικό χαρακτήρα. Η χρήση του Vector Average αναδεικνύει την ομοιογένεια αυτής της κατανομής, επιβεβαιώνοντας ότι το ξύλινο ηχείο λειτουργεί ως ένας αποτελεσματικός διαμορφωτής ηχοχρώματος.

Όσον αφορά τη χρονική εξέλιξη, το διάγραμμα τεκμηριώνει έναν εξαιρετικά ταχύ ρυθμό απόσβεσης. Η ηχητική ενέργεια εξασθενεί ραγδαία σε όλο το συχνοτικό εύρος εντός των πρώτων 50-70 ms, όπως υποδηλώνεται από την απότομη χρωματική μετάβαση προς τα επίπεδα ηρεμίας. Η συμπεριφορά αυτή είναι ενδεικτική της υψηλής εσωτερικής απόσβεσης του ξύλου, το οποίο ενισχύει την αρχική επίθεση χωρίς να εισάγει παρατεταμένο sustain που θα μπορούσε να προκαλέσει φασματική επικάλυψη. Συμπερασματικά, το φασματογράφημα επαληθεύει ότι το ξύλινο ηχείο προσφέρει την απαραίτητη δυναμική αιχμή, αφήνοντας τη χρονική διάρκεια του τόνου να καθοριστεί αποκλειστικά από τη δόνηση της μεμβράνης.

5.4.3 Ανάλυση φασματογραφήματος του σωληνόφωνου οργάνου



Εικόνα 5.62: Φασματογράφημα κρουστικής απόκρισης

Η ακουστική διερεύνηση ολοκληρώνεται με τη χρήση του φασματογραφήματος (εικόνα 5.62), το οποίο προσφέρει μια λεπτομερή δισδιάστατη απεικόνιση της κατανομής της ηχητικής ενέργειας στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας. Η συγκεκριμένη ανάλυση λειτουργεί ως ένας «θερμικός χάρτης» του ήχου, όπου η χρωματική διαβάθμιση υποδεικνύει την ένταση της ενέργειας σε κάθε φασματική περιοχή. Μέσω του φασματογραφήματος

καθίσταται δυνατή η οπτικοποίηση της αρμονικής δομής του οργάνου με τρόπο που αναδεικνύει τη μουσικότητα και το ιδιαίτερο ηχόχρωμα του υλικού PVC.

Στο διάγραμμα παρατηρούνται σαφείς κάθετες στήλες ενέργειας, οι οποίες αντιστοιχούν στους ιδιοτρόπους δόνησης της στήλης αέρα στο εσωτερικό του σωλήνα. Οι ζώνες αυτές αποκαλύπτουν πώς το όργανο ανταποκρίνεται στη διέγερση, αναδεικνύοντας τις συχνότητες εκείνες που ενισχύονται λόγω της γεωμετρίας του. Η καθαρότητα με την οποία εμφανίζονται αυτές οι στήλες στο φασματογράφημα υποδηλώνει έναν ήχο με υψηλό βαθμό τονικής εστίασης, περιορίζοντας τον θόρυβο και τις άτακτες συχνότητες που θα μπορούσαν να αλλοιώσουν το μουσικό αποτέλεσμα.

Επιπλέον, το φασματογράφημα επιτρέπει την παρατήρηση της χρονικής εξέλιξης των επιμέρους αρμονικών, επιβεβαιώνοντας ότι η ενέργεια δεν εκτονώνεται ακαριαία, αλλά παρουσιάζει μια οργανική φθίση που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ρεαλιστικών ηχητικών δειγμάτων. Η πληροφορία αυτή υπήρξε καθοριστική για τη μετέπειτα επεξεργασία του ήχου στο ψηφιακό περιβάλλον σύνθεσης, καθώς παρείχε τα ακριβή δεδομένα για τη ρύθμιση των φίλτρων και των αρμονικών ενισχυτών. Με τον τρόπο αυτό, η ηχητική σύνθεση δεν αποτελεί μια αυθαίρετη δημιουργία, αλλά μια ψηφιακή προέκταση των φυσικών ιδιοτήτων του οργάνου, διασφαλίζοντας την ακουστική συνοχή μεταξύ του φυσικού αντικειμένου και του τελικού μουσικού έργου.

5.5 Συμπέρασμα ακουστικής ανάλυσης των οργάνων

Με βάση το σύνολο των πειραματικών δεδομένων και των εργαστηριακών μετρήσεων των δύο ιδιοκατασκευών, το κεντρικό συμπέρασμα της μελέτης αναδεικνύει πώς η γεωμετρία, ο όγκος και η υλική φύση των αντηχείων καθορίζουν την ακουστική τους ταυτότητα, προσφέροντας μια μοναδική, «χρωματισμένη» πρώτη ύλη για σύγχρονο ηχητικό σχεδιασμό.

Συγκεκριμένα, η ανάλυση του οργάνου PVC επιβεβαίωσε τη σταθερότητα της εσωτερικής στήλης αέρα με την εμφάνιση έντονων, καθαρών κορυφών συντονισμού που ορίζουν τη θεμελιώδη τονικότητά του στη χαμηλομεσαία περιοχή (200-500 Hz), ενώ η παρατηρούμενη φασματική απόσβεση μετά το κατώφλι των 2 kHz απέδειξε ότι το βιομηχανικό πολυμερές λειτουργεί ως φυσικό ακουστικό φίλτρο, απορροφώντας τις οξείες υψηλές συχνότητες των τριβών και προσδίδοντας έναν «ζεστό», σκοτεινό χαρακτήρα που προσομοιάζει στις ιδιότητες των ξύλινων αντηχείων χωρίς να χάνει τη δομική του διαύγεια.

Στον αντίποδα, η μελέτη του Μεμβρανόφωνου κατέδειξε ότι η μεμβράνη Remo λειτουργεί ως ο κύριος και εξαιρετικά ευαίσθητος φορέας παραγωγής του τονικού ύψους, παρουσιάζοντας απόλυτα σταθερό συντονισμό στην περιοχή των 110-120 Hz και μια ισορροπημένη φασματική κατανομή με ομαλή απόσβεση μετά τα 2.44 kHz.

Παράλληλα, αποδείχθηκε ότι το ξύλινο σώμα του Floor Tom 16" λειτουργεί ως ένας σύνθετος ακουστικός αντηχητής ευρείας φασματικής διέγερσης με ομοιόμορφη κατανομή ενέργειας έως τα 4-5 kHz ο μεγάλος όγκος της παγιδευμένης εσωτερικής μάζας αέρα μετατοπίζει τις ιδιοσυχνότητες σε πολύ χαμηλότερες περιοχές συγκριτικά με τα ιστορικά, στενά πρότυπα του οργάνου, καθορίζοντας τη χαρακτηριστική «ζεστασιά» του τυμπάνου και προσφέροντας τη γεμάτη, βαθιά βάση πάνω στην οποία αναπτύσσεται η τονική πληροφορία των χορδών.

6. Ψηφιακή επεξεργασία, δομικό μοντάζ και ανασύνθεση μουσικών θεμάτων στο περιβάλλον REAPER

6.1 Φιλοσοφία της σύνθεσης και πρωτογενές ηχητικό υλικό

Η διαδικασία της ψηφιακής ανασύνθεσης και παραγωγής προϋποθέτει μια σαφή συνθετική φιλοσοφία, η οποία καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο τα χειροποίητα όργανα αλληλεπιδρούν και συμπληρώνουν το ένα το άλλο στο στερεοφωνικό πεδίο. Κεντρικός άξονας της προσέγγισης αυτής είναι η ανάδειξη της μοναδικής, οργανικής ηχητικής ταυτότητας κάθε κατασκευής, αποφεύγοντας την αλλοίωση των φυσικών τους χαρακτηριστικών από υπερβολική ψηφιακή επεξεργασία.

Για την υλοποίηση του έργου, πραγματοποιήθηκε προσεκτική διαλογή και επιλογή των καταλληλότερων πρωτογενών λήψεων (takes) από τις στούντιο ηχογραφήσεις. Η επιλογή αυτή έγινε με αυστηρά κριτήρια, εστιάζοντας στην καθαρότητα της εκτέλεσης, τον αρμονικό πλούτο και τη ρυθμική σταθερότητα των μουσικών θεμάτων. Όπως αναλύεται στις υποενότητες που ακολουθούν, η συνθετική στρατηγική διαφοροποιήθηκε ριζικά για το Όργανο Σωλήνας PVC και το Μεμβρανόφωνο, αξιοποιώντας τις εκ διαμέτρου αντίθετες ακουστικές τους ιδιότητες (τον κρουστικό, «ξηρό» χαρακτήρα του πρώτου και τον βαθύ, ατμοσφαιρικό όγκο του δεύτερου) με σκοπό τη δημιουργία ενός ισορροπημένου καλλιτεχνικού αποτελέσματος.

6.1.1 Αισθητική προσέγγιση και επιλογή ηχογραφήσεων για το σωληνόφωνο όργανο

Η συνθετική φιλοσοφία γύρω από το Όργανο Σωλήνας PVC βασίστηκε στην αξιοποίηση του έντονα κρουστικού και «ξηρού» (dry) ακουστικού του χαρακτήρα. Όπως αναδεικνύεται από τα πρωτογενή takes, το όργανο παρουσιάζει ένα εξαιρετικά άμεσο χρονικό attack με σύντομη απόσβεση, αφήνοντας να ακουστεί ο χαρακτηριστικός, ελαφρώς «κούφιος» βιομηχανικός συντονισμός που παράγει το σώμα του PVC. Κατά την επιλογή του υλικού, απομονώθηκαν φράσεις με σταθερό ρυθμικό βηματισμό και καθαρή τονική ευκρίνεια στα plucks. Η αισθητική αυτή επιλογή επέτρεψε στο όργανο PVC να λειτουργήσει ως ο βασικός «ρυθμικός κινητήρας» και η τονική αιχμή της σύνθεσης, προσφέροντας έναν δομημένο και οριοθετημένο οδηγό πάνω στον οποίο αναπτύχθηκε το υπόλοιπο έργο.

6.1.2 Αισθητική προσέγγιση και επιλογή ηχογραφήσεων για το μεμβρανόφωνο όργανο

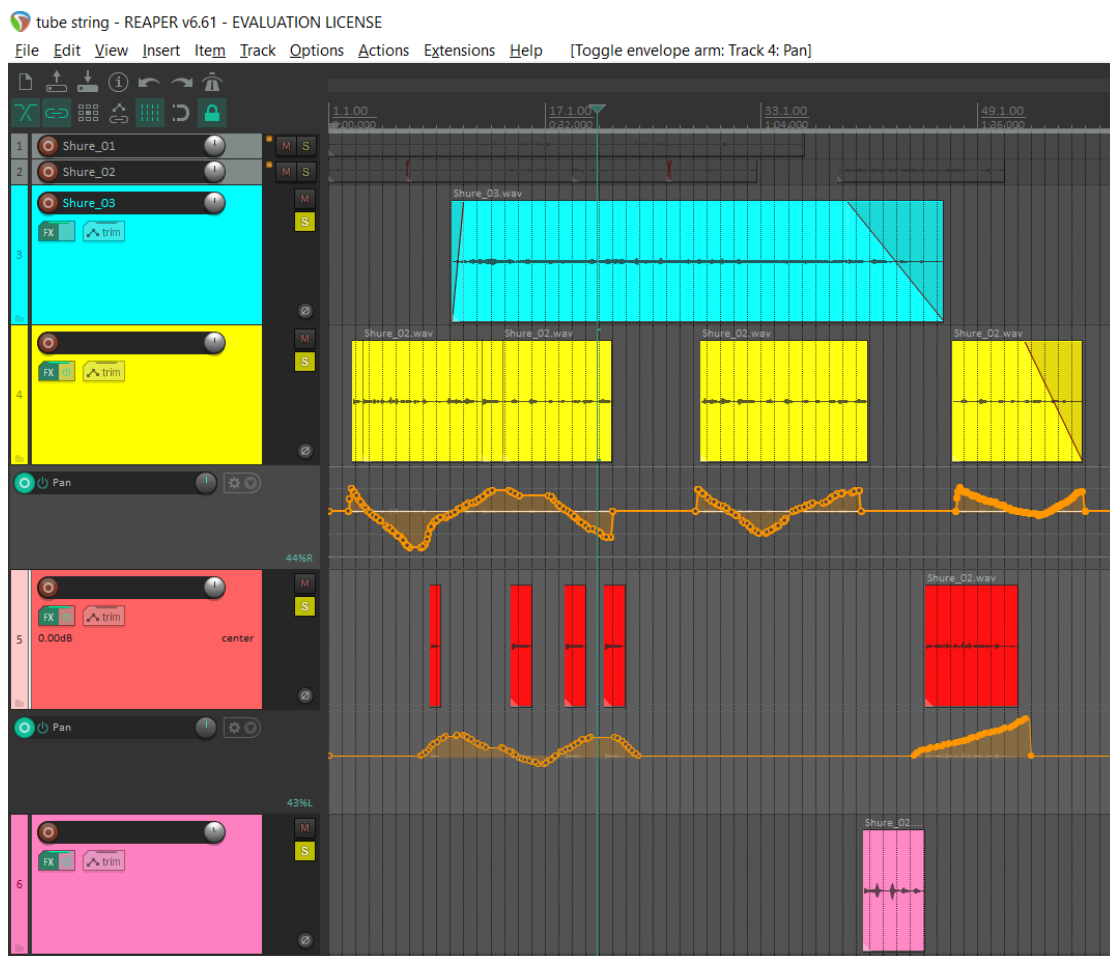
Στον αντίποδα, η προσέγγιση για το Μεμβρανόφωνο εστιάστηκε στην εκμετάλλευση του μεγάλου ακουστικού όγκου και του σκοτεινού, υποβλητικού του χαρακτήρα. Η ηχογράφηση φανερώνει ένα όργανο με τεράστιο βάθος στις χαμηλές και χαμηλομεσαίες συχνότητες, αποτέλεσμα της σύζευξης των χορδών με τη μεγάλη μεμβράνη του floor tom. Επιλέχθηκαν takes που χαρακτηρίζονται από πλούσιο αρμονικό sustain και μια σχεδόν τελετουργική εσωτερική κίνηση, όπου η φυσική αντήχηση του τυμπάνου «αγκαλιάζει» τον χώρο. Αυτό το πρωτογενές υλικό χρησιμοποιήθηκε για να προσφέρει το απαραίτητο ατμοσφαιρικό βάθος,

τη χαμηλή συχνотική θεμελίωση και τις σκοτεινές ηχητικές υφές (textures) που εξισορροπούν και συμπληρώνουν τον κοφτό χαρακτήρα του σωλήνα PVC.

6.2 Διαδικασία μοντάζ, χρονικής ευθυγράμμισης και διαχείρισης ηχητικών αποσπασμάτων

Μετά τον καθορισμό της συνθετικής φιλοσοφίας και την επιλογή των καταλληλότερων λήψεων (takes), το πρωτογενές ηχητικό υλικό εισήχθη στο περιβάλλον του REAPER με σκοπό τη δομική του οργάνωση. Στην παρούσα ενότητα αναλύεται η διαδικασία του μοντάζ, η οποία διαφοροποιήθηκε ριζικά για κάθε όργανο, ανάλογα με τις ιδιαίτερες ακουστικές και χρονικές του ιδιότητες. Μέσα από τη χρήση εργαλείων κοπής, τη χρονική ευθυγράμμιση στο πλέγμα (grid) και την εφαρμογή crossfades, οι διάσπαρτες μουσικές καταγραφές μετατράπηκαν σε σταθερά δομικά στοιχεία, έτοιμα να ενταχθούν στη ροή της τελικής σύνθεσης, όπως περιγράφεται αναλυτικά στις υποενότητες που ακολουθούν (Francis, 2019).

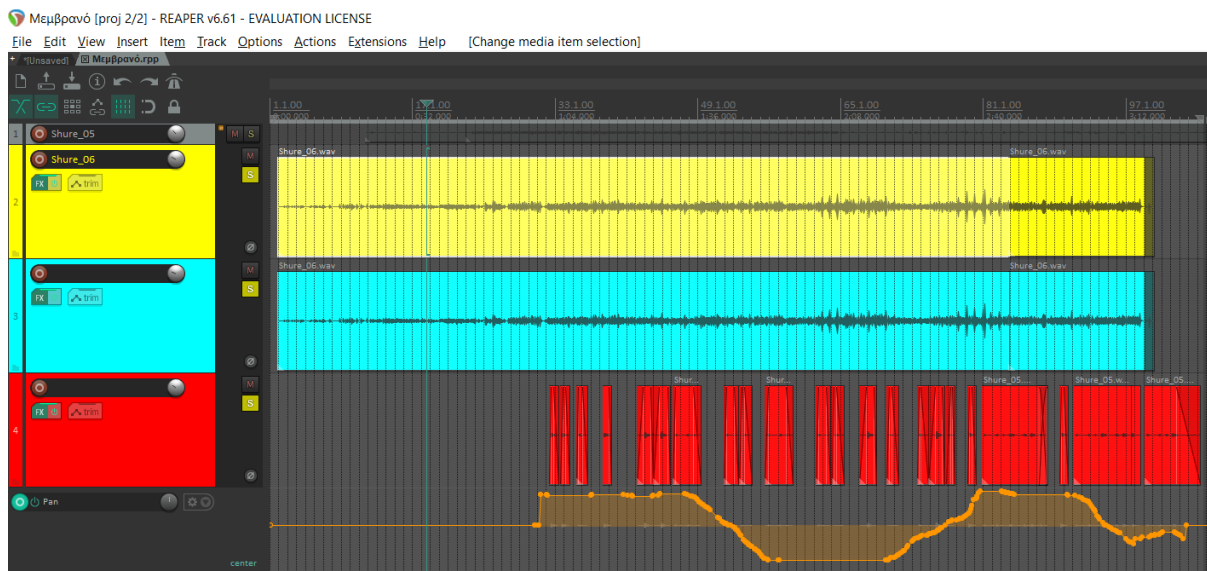
6.2.1 Κοπή, ομαλή μετάβαση και ευθυγράμμιση στο πλέγμα για τα θέματα του σωληνόφωνου οργάνου



Εικόνα 6.1: Το περιβάλλον εργασίας του REAPER κατά τη διαδικασία του δομικού μοντάζ, της χρονικής ευθυγράμμισης στο πλέγμα και της εφαρμογής crossfades και envelopes στα audio items του οργάνου PVC.

Με την εισαγωγή των Takes του Όργανου Σωλήνας PVC στο timeline του REAPER, η διαδικασία του μοντάζ επικεντρώθηκε στη διατήρηση της απόλυτης ρυθμικής ακρίβειας που απαιτεί ο κρουστικός του χαρακτήρας. Λόγω του άμεσου attack και της σύντομης απόσβεσης των plucks (όπως διαπιστώθηκε ακουστικά), χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία δυναμικής κοπής (slicing) για τον ακριβή διαχωρισμό κάθε χτυπήματος. Στη συνέχεια, τα audio items ευθυγραμμίστηκαν αυστηρά πάνω στο πλέγμα (grid) του έργου, διορθώνοντας μικρές χρονικές αποκλίσεις της φυσικής εκτέλεσης. Για την αποφυγή ακουστικών παρασίτων (clicks) στα σημεία κοπής, εφαρμόστηκαν πολύ μικρά, γραμμικά fade-ins και fade-outs στην αρχή και το τέλος κάθε item, εξασφαλίζοντας ότι η μετάβαση από τη σιωπή στο γρήγορο attack του σωλήνα PVC γίνεται με απόλυτα καθαρό τρόπο, όπως αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην εικόνα 6.1.

6.2.2 Κοπή, ομαλή μετάβαση και ευθυγράμμιση στο πλέγμα για τα θέματα του μεμβρανόφωνου οργάνου



Εικόνα 6.2: Το περιβάλλον εργασίας του REAPER κατά τη διαδικασία του δομικού μοντάζ, της χρονικής ευθυγράμμισης στο πλέγμα και της εφαρμογής crossfades και envelopes στα audio items του μεμβρανόφωνου οργάνου.

Στην περίπτωση του Μεμβρανόφωνου, η διαχείριση των audio items απαιτούσε ιδιαίτερη προσοχή λόγω του μεγάλου ακουστικού όγκου και του παρατεταμένου συντονισμού (sustain) της μεμβράνης. Η κοπή των θεμάτων έγινε σε ευρύτερες μουσικές φράσεις, ώστε να μην ακυρωθεί η φυσική, βαθιά αντήχηση του floor tom.

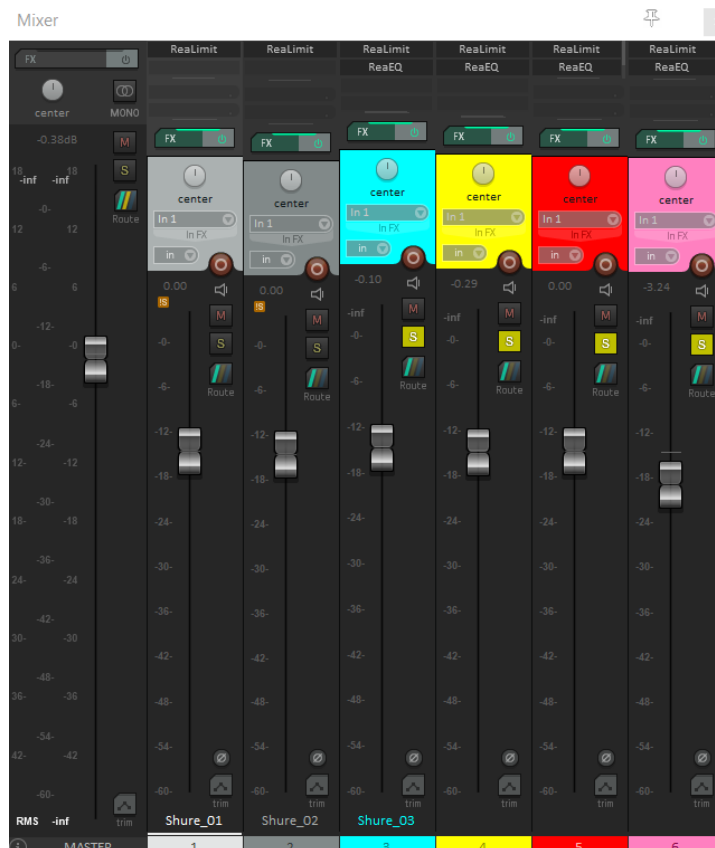
Κατά τη χρονική ευθυγράμμιση, χρησιμοποιήθηκε εκτεταμένα η τεχνική των ομαλών crossfades (διασταυρούμενων εξασθενήσεων) μεταξύ των διαδοχικών items, επιτρέποντας στις χαμηλές συχνότητες και στις ουρές της μεμβράνης να συγχωνεύονται ομαλά χωρίς απότομες διακοπές και ακουστικά παράσιτα. Παράλληλα, επιστρατεύθηκαν δυναμικοί αυτοματισμοί και envelopes για τον έλεγχο της μικρο-έντασης των ηχητικών αντικειμένων, διασφαλίζοντας την απόλυτη ισορροπία κατά τη ροή του μοντάζ.

Η συνολική αυτή επεξεργασία και η ψηφιακή οργάνωση του υλικού αποτυπώνονται χαρακτηριστικά στην εικόνα 6.2, όπου διακρίνεται η ακριβής διάταξη των items στο timeline του λογισμικού.

6.3 Μίξη, δυναμική επεξεργασία, χωροθέτηση και χρήση αυτοματισμών

Με την ολοκλήρωση του δομικού μοντάζ και της χρονικής διευθέτησης των audio items, η διαδικασία πέρασε στο στάδιο της ακουστικής διαμόρφωσης και της στερεοφωνικής τοποθέτησης. Η φάση της μίξης υπήρξε καθοριστική για τη συνύπαρξη των δύο οργάνων, καθώς έπρεπε να εξισορροπηθούν δύο εντελώς διαφορετικές συχνотικές και δυναμικές συμπεριφορές. Μέσα από τη χρήση ισοσταθμιστών (EQ), δυναμικών επεξεργαστών, εφέ αντήχησης και αυτοματισμών έντασης και πανοραμικής θέσης, τα δύο όργανα απέκτησαν τον δικό τους διακριτό χώρο στο στερεοφωνικό πεδίο, όπως αναλύεται διεξοδικά στις υποενότητες που ακολουθούν (Αντωνόπουλος, 2021).

6.3.1 Στερεοφωνικό πανόραμα , ισοστάθμιση και εφαρμογή βάθους στο σωληνόφωνο όργανο



Εικόνα 6.3: Το περιβάλλον του Mixer στο REAPER με τις ρυθμίσεις στάθμης, πανοραμικής θέσης (panning) και την εισαγωγή των native plug-ins επεξεργασίας ανά κανάλι.

Για το Όργανο Σωλήνας PVC, η επεξεργασία στον Μίκτη (εικόνα 6.3) του REAPER επικεντρώθηκε στην ανάδειξη της καθαρότητας του κρουστικού του χαρακτήρα. Χρησιμοποιήθηκε παραμετρικός ισοσταθμιστής (EQ) για να αφαιρεθούν κάποιες «λασπωμένες» χαμηλομεσαίες συχνότητες και να ενισχυθεί η περιοχή του attack, δίνοντας περισσότερη ζωντάνια και ευκρίνεια στα plucks. Λόγω του «ξηρού» (dry) ήχου του, εφαρμόστηκε μια διακριτική, μικρή σε διάρκεια αντήχηση (reverb), ώστε να του δοθεί μια φυσική αίσθηση χώρου χωρίς όμως να χαθεί η ρυθμική του ακρίβεια. Στο στερεοφωνικό πανόραμα (panning), το όργανο PVC τοποθετήθηκε ελαφρώς έκκεντρα, λειτουργώντας ως ο σταθερός, καθαρός ρυθμικός άξονας που οδηγεί το κομμάτι στο προσκήνιο.

6.3.2 Στερεοφωνικό πανόραμα, ισοστάθμιση και εφαρμογή βάθους στο μεμβρανόφωνο οργάνου



Εικόνα 6.4: Το περιβάλλον του Mixer στο REAPER με τις ρυθμίσεις στάθμης, πανοραμικής θέσης (panning) και την εισαγωγή των native plugins επεξεργασίας ανά κανάλι.

Η διαχείριση του Μεμβρανόφωνου στο στάδιο της μίξης απαιτήσε προσεκτική σχεδίαση, ώστε ο μεγάλος ακουστικός του όγκος να ενταχθεί αρμονικά στο συνολικό έργο. Η αρχική παραμετροποίηση του σήματος έγινε απευθείας μέσω της ψηφιακής κονσόλας και του πάνελ ελέγχου του REAPER, όπως οπτικοποιείται στην εικόνα 6.4.

Μέσα από το συγκεκριμένο περιβάλλον, ελέγχθηκε η βασική στάθμη της έντασης (fader) και καθορίστηκε η αρχική θέση του οργάνου στο στερεοφωνικό πεδίο, προτού εφαρμοστούν οι

δυναμικοί αυτοματισμοί κίνησης. Η καθαρή αυτή δομή δρομολόγησης εξασφάλισε ότι το Μεμβρανόφωνο διατήρησε τη σταθερότητά του ως το βασικό «χαλί» της σύνθεσης, επιτρέποντας παράλληλα τη σωστή επικοινωνία του καναλιού με τα plug-ins της αντήχησης και της ισοστάθμισης που ακολούθησαν.

6.4 Συμπερασματική αποτίμηση της ψηφιακής ανασύνθεσης και της τελικής σύνθεσης

Η ολοκλήρωση της διαδικασίας παραγωγής, μίξης και χωροθέτησης εντός του REAPER οδήγησε στη διαμόρφωση ενός ενιαίου στερεοφωνικού αρχείου, η τελική κυματομορφή του οποίου αποτυπώνεται χαρακτηριστικά στην Εικόνα 15.3. Στην παρούσα ενότητα επιχειρείται μια συνολική αποτίμηση του εγχειρήματος, εξετάζοντας πώς οι πρωτογενείς ακουστικές ιδιότητες των δύο χειροποίητων κατασκευών μεταμορφώθηκαν σε ολοκληρωμένα δομικά στοιχεία μιας σύγχρονης καλλιτεχνικής σύνθεσης. Η αξιολόγηση του τεχνικού και καλλιτεχνικού αποτελέσματος για κάθε όργανο αναλύεται ξεχωριστά στις υποενότητες που ακολουθούν.

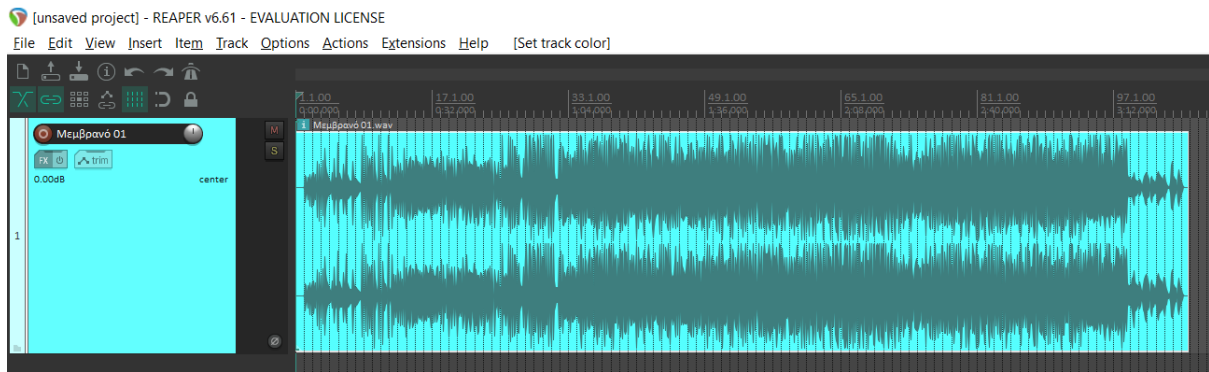
6.4.1 Αξιολόγηση του καλλιτεχνικού και τεχνικού αποτελέσματος του σωληνόφωνου οργάνου



Εικόνα 6.5: Η ολοκληρωμένη στερεοφωνική κυματομορφή (Stereo Audio Track) της τελικής ηχητικής σύνθεσης του PVC οργάνου στο περιβάλλον του REAPER.

Το Όργανο Σωλήνας PVC εκπλήρωσε απόλυτα τον δομικό ρόλο που του ανατέθηκε, αποδεικνύοντας ότι τα μη συμβατικά βιομηχανικά υλικά μπορούν να προσφέρουν εξαιρετική ρυθμική και τονική σταθερότητα. Η ψηφιακή επεξεργασία και η αυστηρή ευθυγράμμιση στο πλέγμα ανέδειξαν το καθαρό χρονικό attack του οργάνου, ενώ η διακριτική αφαίρεση των «λασπωμένων» μεσαίων συχνοτήτων επέτρεψε στον ιδιαίτερο βιομηχανικό του συντονισμό να ακούγεται καθαρός και διακριτός. Το τελικό αποτέλεσμα δικαιώνει τον σχεδιασμό του, καθώς τα plucks του σωλήνα PVC λειτούργησαν ως η ραχοκοκαλιά και ο ρυθμικός οδηγός της σύνθεσης, προσφέροντας μια πρωτότυπη ηχητική υφή με έντονη κινητική ενέργεια, όπως αυτό οριστικοποιήθηκε και αποτυπώνεται κατά τη διαδικασία εξαγωγής του αυτόνομου καναλιού του οργάνου (εικόνα 6.5).

6.4.2 Αξιολόγηση του καλλιτεχνικού και τεχνικού αποτελέσματος του μεμβρανόφωνου οργάνου



Εικόνα 6.6: Η ολοκληρωμένη στερεοφωνική κυματομορφή (Stereo Audio Track) της τελικής ηχητικής σύνθεσης του μεμβρανόφωνου οργάνου στο περιβάλλον του REAPER.

Η αποτίμηση της ενσωμάτωσης του Μεμβρανόφωνου αναδεικνύει την επιτυχία της ακουστικής σύζευξης των χορδών με τη μεγάλη μεμβράνη του floor tom. Στο ψηφιακό περιβάλλον, ο τεράστιος όγκος και το φυσικό sustain του οργάνου προσέφεραν το απαραίτητο ατμοσφαιρικό βάθος, λειτουργώντας ως το ιδανικό αντίβαρο στον κοφτό χαρακτήρα του PVC.

Η ολοκληρωμένη αυτή στερεοφωνική αποτύπωση, όπως προέκυψε μετά το τελικό mixdown και τη συνολική επεξεργασία του καναλιού, παρουσιάζεται στην εικόνα 6.6, όπου είναι εμφανής η δυναμική περιοχή και η συχνотική ισορροπία της τελικής κυματομορφής. Η χρήση εκτεταμένων crossfades και της βαθιάς αντήχησης επέτρεψε στις χαμηλές συχνότητες να απλωθούν ομοιόμορφα, δημιουργώντας ένα υποβλητικό, σχεδόν τελετουργικό ηχητικό χαλί. Οι δυναμικοί αυτοματισμοί κίνησης στο στερεοφωνικό πεδίο προσέδωσαν στο Μεμβρανόφωνο μια ζωντανή, τρισδιάστατη αίσθηση, επιβεβαιώνοντας ότι η λεπτομερής κατανόηση της φυσικής ακουστικής του οργάνου μεταφράστηκε σε ένα πλούσιο και εκφραστικό καλλιτεχνικό αποτέλεσμα.

6.5 Ψηφιακοί σύνδεσμοι σκρόασης

Για την πλήρη και σφαιρική αξιολόγηση του τεχνικού και καλλιτεχνικού αποτελέσματος της παρούσας μελέτης, οι αυτόνομες ηχητικές συνθέσεις που προέκυψαν από την ψηφιακή επεξεργασία και τη μίξη των χειροποίητων οργάνων έχουν αναρτηθεί στην πλατφόρμα διαμοιρασμού ήχου SoundCloud.

Οι παρακάτω σύνδεσμοι είναι ενεργοί και προσφέρουν τη δυνατότητα άμεσης ακρόασης των έργων σε υψηλή ανάλυση ήχου:

6.5.1 Ηχητική σύνθεση του σωληνόφωνου οργάνου

https://soundcloud.com/user-404993241/panagiotis-kollias_ichitiki?si=84bea6c504fa4c388a79dd39a6d81d94&utm_source=clipboard&utm_medium=text&utm_campaign=social_sharing

6.5.2 Ηχητική σύνθεση μεμβρανόφωνου οργάνου

https://soundcloud.com/user-404993241/panagiotis-kollias_ichitiki-2?si=9134761ae38e4b339fdda43f49fdd272&utm_source=clipboard&utm_medium=text&utm_campaign=social_sharing

Σημείωση: Για τη βέλτιστη ακουστική εμπειρία και την πλήρη αντίληψη των συχνοτικών διορθώσεων και της στερεοφωνικής εικόνας, προτείνεται η ακρόαση των αρχείων με τη χρήση ακουστικών (headphones) ή ποιοτικών ηχείων monitor.

7. Αξιολόγηση και κριτική ανάλυση αποτελεσμάτων

7.1 Ακουστική αξιολόγηση & μετρήσεις κρουστικών αποκρίσεων

Η αντικειμενική αποτίμηση και η δομική αξιολόγηση των δύο πειραματικών κατασκευών βασίστηκε στη μεθοδολογία μέτρησης και ανάλυσης της κρουστικής τους απόκρισης, προκειμένου να κριθεί η επιτυχία των σχεδιαστικών επιλογών υπό το πρίσμα της ακουστικής φυσικής. Αντιμετωπίζοντας τις κατασκευές ως γραμμικά χρονικά αμετάβλητα συστήματα, η ανάλυση στο πεδίο του χρόνου, της συχνότητας (FFT) και του χρόνου-συχνότητας (Spectrogram) δεν χρησιμοποιήθηκε ως μια απλή καταγραφή δεδομένων, αλλά ως ένα εργαλείο κριτικής αποτίμησης των ιδιοσυχνότητων, των αρμονικών συντονισμών και των ρυθμών απόσβεσης που καθορίζουν τη λειτουργικότητα των οργάνων ως υβριδικών εγχόρδων.

Αξιολογώντας τη συμπεριφορά του σωληνόφωνου, το επιστημονικό ενδιαφέρον εντοπίζεται στην πρωτότυπη σύλληψη της χρήσης χορδών ηλεκτρικού μπάσου και κοντραμπάσου, οι οποίες διεγείρονται μέσω της τριβής με δοξάρι, με τον βιομηχανικό σωλήνα πολυβινυλοχλωριδίου (PVC) να επιτελεί τον ρόλο του βασικού ακουστικού ηχείου και αντηχείου. Στο πεδίο του χρόνου, η κρουστική απόκριση φανερώνει μια εξαιρετικά ελεγχόμενη και στιβαρή συμπεριφορά απόσβεσης. Η αρχική μεταβατική κατάσταση (transient) παρουσιάζει άμεση μεταφορά ενέργειας από τις βαριές χορδές χαμηλών συχνοτήτων προς το σώμα του πλαστικού, η οποία ακολουθείται από μια ομαλή εκθετική πτώση. Η επιλογή του PVC ως ηχείου κρίνεται ως ιδιαίτερος επιτυχημένος για την υποστήριξη του συγκεκριμένου σετ χορδών, καθώς οι εσωτερικές τριβές και οι απορροφητικές ιδιότητες των πλαστικών πολυμερών λειτουργούν ως ένας φυσικός σταθεροποιητής του χρόνου αντήχησης. Αυτό αποτρέπει την εμφάνιση ανεξέλεγκτων, λασπωμένων συχνοτικών ουρών που συχνά προκαλούν οι χορδές του κοντραμπάσου, επιτρέποντας στον μουσικό να εκτελεί καθαρές φράσεις με το δοξάρι, διατηρώντας την ευκρίνεια της χρονικής περιβάλλουσας κατά την εναλλαγή των φθόγων.

Στο πεδίο της συχνότητας, η φασματική ανάλυση δικαιώνει πλήρως τη δομική σκοπιμότητα της κατασκευής. Το φάσμα χαρακτηρίζεται από μια εντυπωσιακή και συμπαγή συγκέντρωση ενέργειας στην περιοχή των απόηχο (sub-bass) και χαμηλές συχνότητες (low-end) συχνοτήτων, η οποία αποδεικνύει ότι ο σωλήνας PVC λειτουργεί ως ένας εξαιρετικός ακουστικός φίλτρο-ενισχυτής για τις χαμηλές νότες του μπάσου. Το υλικό του σωλήνα επιδεικνύει μια φυσική τάση να απορροφά τις υπερβολικά κοφτερές υψηλές αρμονικές της τριβής του δοξαριού, προσφέροντας ένα σκοτεινό, βαθύ, «υγρό» και υπόκωφο ηχόχρωμα. Αυτή η ιδιότητα αποτελεί ένα από τα κυριότερα πλεονεκτήματα του οργάνου, καθώς παράγει έναν ατμοσφαιρικό και στιβαρό ισοκράτη (drone), απαλλαγμένο από τις ενοχλητικές, πρίμανες ξύστρες που θα εμφάνιζε η διέγερση των ίδιων χορδών πάνω σε ένα συμβατικό ξύλινο ηχείο χωρίς σωστή μόνωση. Η μελέτη του τρισδιάστατου φασματογραφήματος (Spectrogram) επιβεβαιώνει αυτή την αξιολόγηση, καθώς οι πολύ χαμηλές συχνότητες των χορδών διατηρούνται σταθερές στον χρόνο, ενώ οι ανώτερες αρμονικές εξασθενούν γρήγορα. Το γεγονός αυτό καθιστά το σωληνόφωνο ένα υποδειγματικά διαυγές όργανο στη μίξη, το οποίο προσφέρει ένα πλούσιο low-end (χαμηλές συχνότητες) θεμέλιο χωρίς να προκαλεί συχνοτική αλληλοκάλυψη (masking) στα μεσαία στρώματα της σύνθεσης.

Περνώντας στην ακουστική αποτίμηση του τροποποιημένου μεμβρανόφωνου (Floor Tom), η αξιολόγηση μετατοπίζεται σε μια διαφορετική υβριδική προσέγγιση, όπου οι συζεύγνυνται μηχανικά με μια δισδιάστατη ελαστική μεμβράνη μέσω καβαλάρη. Η κυματομορφική ανάλυση στο πεδίο του χρόνου αποκαλύπτει ότι αυτή η κατασκευή συμπεριφέρεται με έναν έντονα μη γραμμικό τρόπο σε σχέση με το σωληνόφωνο. Η απόσβεση του συστήματος δεν είναι απλώς εκθετική, αλλά χαρακτηρίζεται από τη δημιουργία περίπλοκων χρονικών διακροτημάτων (beats). Αυτό αποτελεί την ακουστική απόδειξη μιας συνεχούς, αμφίδρομης μεταφοράς ενέργειας, όπου η μεμβράνη και οι χορδές ανταλλάσσουν κινητική ενέργεια μέσω του καβαλάρη. Η διάταξη αυτή παρατείνει σημαντικά το φυσικό sustain του οργάνου, προσφέροντας έναν πλούσιο, μεταλλικό απόηχο που διατηρείται ζωντανός για μεγάλο χρονικό διάστημα μετά την αρχική κρούση ή τη νύξη.

Η φασματική ανάλυση FFT προσφέρει την επιστημονική επικύρωση για την επιτυχία της συγκεκριμένης ακουστικής πατέντας. Στο φάσμα αποτυπώνονται με απόλυτη σαφήνεια δύο πλήρως συνδεδεμένες περιοχές ενέργειας: οι χαμηλομεσαίες συχνότητες, 100 Hz - 250 Hz) που ορίζονται από τον εσωτερικό όγκο του βαθύ τυμπάνου (Floor Tom), και μια σειρά από πυκνά, εξαιρετικά οξείες και στενές κορυφές (συντονισμοί υψηλού συντελεστή ποιότητας) στις μεσαίες και υψηλές συχνότητες, τα οποία αντιστοιχούν στις ιδιοσυχνότητες των χορδών. Το γεγονός ότι οι συχνότητες των χορδών εμφανίζονται με τόσο υψηλό πλάτος στην απόκριση της μεμβράνης αποδεικνύει ότι ο χειροποίητος καβαλάρης λειτουργεί υποδειγματικά ως μηχανικός μετασχηματιστής σύνθετης αντίστασης (impedance transformer). Καταφέρνει να γεφυρώσει τη διαφορά μάζας και τάσης, επιτρέποντας στη μεμβράνη να δράσει ως ένας πανίσχυρος ακουστικός ενισχυτής (membrane resonator), δίνοντας όγκο και προβολή σε έναν ήχο χορδών που σε άλλες συνθήκες θα ήταν αδιάκριτος. Το φασματογράφημα του μεμβρανόφωνου φανερώνει την πραγματική καλλιτεχνική και τεχνική αξία του οργάνου, καθώς οι φασματικές γραμμές των χορδών παραμένουν ενεργές στον χρόνο για πολλαπλάσιο διάστημα σε σχέση με το σώμα του τυμπάνου, προσφέροντας στο όργανο μια λαμπερή, μεταλλική και γεμάτη αρμονικές ταυτότητα, με έντονη οξεία έναρξη (attack) αλλά και εκτεταμένο συντονισμό.

Συμπερασματικά, η συγκριτική αξιολόγηση των μετρήσεων των κρουστικών αποκρίσεων αναδεικνύει μια απόλυτα επιτυχημένη σχεδιαστική στρατηγική, όπου το κάθε πειραματικό όργανο ανέπτυξε έναν ξεκάθαρο, διακριτό και λειτουργικό ρόλο ως έγχορδο. Το σωληνόφωνο αξιολογείται ως ένα σταθερό, σκοτεινό και συμπαγές αντηχείο χαμηλών συχνοτήτων, ιδανικό για τη δημιουργία ενός καθαρού υπόβαθρου χαμηλών συχνοτήτων (sub-bass) μέσω των χορδών του μπάσου και του κοντραμπάσου. Αντίθετα, το μεμβρανόφωνο αξιολογείται ως ένα δυναμικό, εξαιρετικά ευαίσθητο και πλούσιο σε υψηλές αρμονικές σύστημα, με εκτεταμένη διάρκεια ήχου (sustain) που προσφέρει μελωδική ποικιλία και δυνατότητες ηχητικού σχεδιασμού (sound design). Τα αντικειμενικά αυτά συμπεράσματα της ακουστικής ανάλυσης έρχονται να κουμπώσουν και να δικαιολογήσουν απόλυτα την υποκειμενική εμπειρία των ακροατών, όπως αυτή αποτυπώνεται και αναλύεται στη συνέχεια μέσα από τα αποτελέσματα του ερωτηματολογίου αξιολόγησης

7.2 Υποκειμενική αξιολόγηση και ανάλυση αποτελεσμάτων

7.2.1 Μεθοδολογικό πλαίσιο

Για την υποκειμενική αξιολόγηση των οργάνων εφαρμόστηκε η μεθοδολογία της ποιοτικής έρευνας μέσω δομημένων ετερο-αναφορικών συνεντεύξεων από πάνελ εμπειρογνομόνων (Expert Panel). Αν και το ιδανικό κριτήριο στην οργανοποιία συνίσταται στις δια ζώσης δοκιμές στο εργαστήριο, οι γεωγραφικές αποστάσεις και οι επαγγελματικές υποχρεώσεις των κριτών επέβαλαν τη διεξαγωγή μιας ασύγχρονης, εξ αποστάσεως (remote) διαδικασίας.

Για τη γεφύρωση της φυσικής απουσίας των αξιολογητών, σχεδιάστηκε ένας ψηφιακός κόμβος πολυμέσων (μέσω Google Forms), ο οποίος περιλάμβανε πλούσιο υλικό τεκμηρίωσης, όπως φωτογραφίες της κατασκευής, βίντεο με τις τεχνικές εκτέλεσης και απομονωμένα ηχητικά δείγματα υψηλής πιστότητας (audio stems). Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίστηκε ότι οι ειδικοί απέκτησαν μια πλήρη και σαφή εικόνα των οργάνων πριν απαντήσουν στις ερωτήσεις, οι οποίες κάλυπταν τόσο τη φυσική κατασκευή όσο και την ψηφιακή επεξεργασία του ήχου.

Η επιλογή του δείγματος έγινε βάσει αυστηρών κριτηρίων εξειδίκευσης (Expertise-based selection). Το πάνελ στελεχώθηκε αυστηρά από πέντε επιλεγμένους εμπειρογνώμονες υπό καθεστώς ανωνυμίας, διασφαλίζοντας ότι η ανάλυση δεν βασίζεται στην ποσότητα των απαντήσεων, αλλά στην υψηλή ποιοτική εγκυρότητα και το ειδικό βάρος της γνώμης τους (expert opinion). Τα χαρακτηριστικά και η πολυετής εμπειρία του πάνελ παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Πίνακας 1 Δημογραφικά στοιχεία και επαγγελματικό προφίλ των μελών των εμπειρογνομόνων

Κωδικός	Ειδικότητα	Έτη Ενεργού Εμπειρίας
Exp_01	Μουσικός Παραγωγός / Συνθέτης Πειραματικής & Drone Μουσικής	> 35 έτη
Exp_02	Ακαδημαϊκός / Καθηγητής / Ερευνητής Δημιουργικής Τεχνολογίας	~ 20 έτη
Exp_03	Ακαδημαϊκός / Καθηγητής / Ερευνητής & Sound / Mixing Engineer	> 20 έτη
Exp_04	Μουσικός Παραγωγός / Συνθέτης Ηλεκτρονικής & Experimental Μουσικής	> 20 έτη
Exp_05	Ακαδημαϊκός / Μουσικός / Εκτελεστής, Ηχολήπτης / Sound Designer & Μουσικός Παραγωγός	~ 30 έτη
Exp_06	Μουσικός / Εκτελεστής & Οργανοποιός	> 15 έτη

Όπως προκύπτει από τα δεδομένα του Πίνακα 1, το πάνελ των κριτών στελεχώθηκε από επαγγελματίες και ακαδημαϊκούς, οι οποίοι καλύπτουν σφαιρικά όλο το φάσμα που πραγματεύεται η παρούσα διπλωματική εργασία, από τη φυσική οργανοποιία και την ακαδημαϊκή έρευνα, μέχρι το μεταπαραγωγή (post-production), του ηχητικού σχεδιασμού (sound design) και την εφαρμοσμένη σύνθεση. Η πολυετής και ενεργός προϋπηρεσία των συμμετεχόντων, η οποία κυμαίνεται από είκοσι έως και πάνω από τριάντα πέντε έτη, προσδίδει μέγιστη ποιοτική εγκυρότητα στα αποτελέσματα

της αξιολόγησης, προσφέροντας παράλληλα γόνιμες παρατηρήσεις που λειτουργούν ως μοχλός για την περαιτέρω εξέλιξη των κατασκευών.

7.2.2 Αξιολόγηση σωληνόφωνου

Πίνακας 2: Οι ερωτήσεις του ερωτηματολογίου ανά ενότητα

A/A	Ενότητα	Ερώτηση
1	Δημογραφικά / Προφίλ	Ποια είναι η ηλικιακή σας ομάδα;
2	Δημογραφικά / Προφίλ	Ποια είναι η κύρια ιδιότητα ή ενασχόλησή σας στον χώρο του ήχου και της μουσικής;
3	Δημογραφικά / Προφίλ	Πόσα χρόνια ασχολείστε ενεργά με τον χώρο του ήχου και της μουσικής;
4	Δημογραφικά / Προφίλ	Έχετε προηγούμενη εμπειρία στην κατασκευή ή την τροποποίηση μουσικών οργάνων;
5	Σωληνόφωνο (PVC)	Πώς αξιολογείτε την κατασκευαστική επιλογή των βιομηχανικών σωλήνων PVC ως υλικό για παραγωγή ήχου με δοξάρι;
6	Σωληνόφωνο (PVC)	Πώς κρίνετε τη σχέση μεταξύ του γεωμετρικού σχεδιασμού και της τονικής σταθερότητας (intonation);
7	Σωληνόφωνο (PVC)	Παρατηρήσεις ή προτάσεις βελτίωσης σχετικά με τη φυσική δομή, τη συναρμολόγηση ή τα υλικά.
8	Σωληνόφωνο (PVC)	Πώς θα αξιολογούσατε το τελικό ακουστικό αποτέλεσμα (διακριτή ηχητική ταυτότητα vs πειραματικό στάδιο);
9	Σωληνόφωνο (PVC)	Πώς αξιολογείτε τη συχνотική ισορροπία της μίξης (χαμηλές συχνότητες / sub-bass και απουσία θαμπών συντονισμών);
10	Σωληνόφωνο (PVC)	Πώς αξιολογείτε τη διαχείριση των δυναμικών αλλαγών (transients / volume envelopes) από τα drones στις εξάρσεις;
11	Σωληνόφωνο (PVC)	Σχόλια και παρατηρήσεις σχετικά με τη στερεοφωνική εικόνα, το sound design ή την καλλιτεχνική ροή.
12	Μεμβρανόφωνο	Πώς αξιολογείτε τη δομική προσέγγιση και την οργανολογική καινοτομία της ακουστικής σύζευξης χορδών στη μεμβράνη;
13	Μεμβρανόφωνο	Πώς αξιολογείτε τη γεωμετρία της κατασκευής και τη μηχανική διάταξη των χορδών ως προς τη σταθερότητα;
14	Μεμβρανόφωνο	Παρατηρήσεις ή προτάσεις βελτίωσης σχετικά με τη φυσική δομή, τη συναρμολόγηση ή τα υλικά.
15	Μεμβρανόφωνο	Πώς θα αξιολογούσατε το τελικό ακουστικό αποτέλεσμα και τη διακριτή ηχητική ταυτότητα;
16	Μεμβρανόφωνο	Πώς αξιολογείτε την απόδοση των χαμηλών συχνοτήτων και τη συχνотική ισορροπία στις μεσαίες;
17	Μεμβρανόφωνο	Πώς αξιολογείτε τον έλεγχο των δυναμικών (compression/transient shaping) στις έντονες κρουστικές εξάρσεις;
18	Μεμβρανόφωνο	Παρουσιάζει προοπτικές περαιτέρω εξέλιξης ή χρήσης σε live

		παραστάσεις / παραγωγές;
20	Μεμβρανόφωνο	Σχόλια και παρατηρήσεις σχετικά με τη στερεοφωνική εικόνα, το sound design ή την καλλιτεχνική ροή.
21	Γενική Αποτίμηση	Πώς αξιολογείτε τη συνολική επιτυχία του εγχειρήματος (custom οργανοποιία & σύγχρονη ψηφιακή παραγωγή);
22	Γενική Αποτίμηση	Οποιοσδήποτε άλλες γενικές παρατηρήσεις, σκέψεις ή προτάσεις σχετικά με το σύνολο της διπλωματικής.

Πίνακας 3: Συνοπτική παρουσίαση των αξιολογήσεων των εμπειρογνομόνων

Κωδικός	Αξιολόγηση Σωληνόφωνου (PVC)	Αξιολόγηση Μεμβρανόφωνου	Συνολική Αποτίμηση & Σχόλια
Exp_01	Βαθμός: 4/5. Κοντά στο να διαμορφώσει ταυτότητα, με δυνατά σημεία τα drones.	Βαθμός: 4/5. Πιο περιορισμένο, θυμίζει κοντραμπάσο με κρουστή υπόσταση.	Βαθμός: 4/5. Προτείνεται να παίζονται τα όργανα όρθια για οπτικό αποτέλεσμα.
Exp_02	Βαθμός: 4/5. Διαμορφώνει διακριτή ταυτότητα με πειραματικά στοιχεία. Προοπτικές: 5/5.	Βαθμός: 4/5. Ξεκάθαρη διακριτή ταυτότητα (κρουστά, μπάσο, δοξάρι). Προοπτικές: 5/5.	Βαθμός: 5/5. Ωραία χρήση του panning και ενδιαφέρων ρυθμικός χαρακτήρας.
Exp_03	Βαθμός: 4/5. Αμφισβητεί την έννοια της απόδοσης, ακούγεται σαν τσέλο με εφέ. Προοπτικές: 4/5.	Βαθμός: 3/5. Ενδιαφέρουσα τεχνική, αλλά τα εφέ κρύβουν τον χαρακτήρα. Προοπτικές: 5/5.	Βαθμός: 4/5. Διαφωνεί με τη λογική καλού/κακού και ζητά έρευνα στα υλικά.
Exp_04	Βαθμός: 2/5. Στερείται ζεστασίας, καθαρά σε πειραματικό στάδιο. Προοπτικές: 3/5.	Βαθμός: 2/5. Χωρίς προβολή/διαύγεια, δεν αποτελεί καινοτομία. Προοπτικές: 3/5.	Βαθμός: 1/5. Επισημαίνει λάθη στη φυσική και ακουστική τεκμηρίωση των οργάνων.
Exp_05	Βαθμός: 5/5. Εξαιρετικό αποτέλεσμα, ανάμεσα σε τσέλο και zither. Προοπτικές: 5/5.	Βαθμός: 4/5. Ξεκάθαρη ταυτότητα από συνδυασμό κρουστών και δοξαριού. Προοπτικές: 5/5.	Βαθμός: 5/5. Ευρηματική ιδέα με πρόταση για χρήση piezo μικροφώνων επαφής.
Exp_06	Βαθμός: 3/5. Καλό επίπεδο, μοιάζει με τσέλο ή όρθιο μπάσο. Προοπτικές: 3/5.	Βαθμός: 4/5 Προοπτικές: 4/5.	Βαθμός: 4/5. Θέτει ζητήματα πρακτικότητας και προτείνει direct audio output.

Αξιολογώντας τα αποτελέσματα που αφορούν το σωληνόφωνο (το οποίο φέρει χορδές ηλεκτρικού μπάσου και κοντραμπάσου), καταγράφεται μια συγκρατημένη έως ιδιαίτερα

θετική συγκρατημένη αποδοχή αναφορικά με την κατασκευαστική του βάση. Οι κριτές έδωσαν από ενδιαμέση έως εξαιρετική βαθμολογία (3/5 έως 5/5) στη χρήση των βιομηχανικών σωλήνων PVC ως υλικό παραγωγής ήχου μέσω της τριβής, αναδεικνύοντας τον έντονα πειραματικό αλλά και ευρηματικό/πρωτοποριακό χαρακτήρα του υλικού και την εξαιρετική ανταπόκρισή του. Αντίθετα, η σχέση μεταξύ του γεωμετρικού σχεδιασμού (μήκος/διατομή σωλήνας) και της τονικής σταθερότητας (intonation) των παραγόμενων φθόγγων αξιολογήθηκε πολύ θετικά με βαθμολογία 4/5, επιβεβαιώνοντας την ορθότητα των ακουστικών υπολογισμών κατά τη σχεδίαση. Στο κομμάτι της οργανολογικής συμπεριφοράς, οι αξιολογητές εντόπισαν την εμφάνιση ορισμένων σύνθετων υπερτονικών στα υψηλότερα φωνητικά/οργανικά πεδία. Το στοιχείο αυτό, ωστόσο, αναδεικνύει τη μοναδική ακουστική συμπεριφορά των ιδιοσυχνοτήτων του υλικού, προσφέροντας έναν χρήσιμο οδηγό για τη μικρο-κουρδιστική βελτίωση στα σημεία ανάρτησης των χορδών, ώστε να βελτιστοποιηθεί η τονική καθαρότητα. Παράλληλα, σημειώθηκε ότι η ταστιέρα αποτελεί μια πολύ ενδιαφέρουσα ιδέα, καθώς προσφέρει σαφή δομή και παράγουν χρήσιμα τριξίματα για την παλέτα του αυτοσχεδιαστή. Σε αυτή την κατεύθυνση, κατατέθηκαν και συγκεκριμένες προτάσεις βελτιστοποίησης της φυσικής δομής από τους εμπειρογνώμονες, όπως η αντικατάσταση των κλειδιών κουρδίσματος με υλικά αντίστοιχα της υπόλοιπης κατασκευής για λόγους αισθητικής και δομικής ομοιογένειας, προτάθηκε η διαμόρφωση επαρκούς χώρου ανάμεσα στην ταστιέρα και τις χορδές (*ψηλό action*), ώστε να διευκολύνεται η χρήση εξωτερικών αντικειμένων (*slide*, φελλός, ξυλάκια κ.ά.). Παράλληλα, υπογραμμίστηκε η εξαιρετική συμπεριφορά του πρωτογενούς ηχητικού υλικού του Σωληνόφωνου κατά την περαιτέρω εξωτερική του επεξεργασία μέσω αναλογικών και ψηφιακών εφέ (*pedals*), μια διαδικασία που αναδεικνύει τις *sound design* προοπτικές του οργάνου, παράγοντας ένα ιδιαίτερα υποβλητικό ακουστικό αποτέλεσμα.

Παράλληλα, σε επίπεδο εργονομίας και ζωντανής παρουσίας, κατατέθηκε από το σώμα των εμπειρογνομόνων μια πολύ δημιουργική ιδέα, με την επισημάνση ότι θα ήταν ιδιαίτερα ενδιαφέρον αν το όργανο παιζόταν όρθιο, ενώ συμπληρωματικά προτάθηκε η δυνατότητα να παίζει και ως κρουστό, ακόμη και ταυτόχρονα με τη νύξη ή την τριβή των χορδών. Η παρατήρηση αυτή ανοίγει μια ιδιαίτερα θετική προοπτική για μελλοντικές ζωντανές εμφανίσεις και εκτελέσεις, καθώς μια τέτοια διάταξη θα ενισχύσει την παραστασιακή δυναμική του οργάνου, αποκαλύπτοντας πλήρως στο κοινό τον πρωτότυπο τρόπο παραγωγής του ήχου. Στον αντίποδα, επισημάνθηκε ως κατασκευαστικό μειονέκτημα ότι η χρήση γερμανικού δοξαριού κοντραμπάσου ενδέχεται να δυσχεραίνει την εκτέλεση. Επιπλέον, ως σοβαρό ζήτημα που περιορίζει τη μελλοντική παραστασιακή δυναμική του οργάνου αναδείχθηκε η μέθοδος λήψης του ήχου· η εξάρτηση από εξωτερικά μικρόφωνα χαρακτηρίστηκε άβολη και προτάθηκε ως αναγκαία αναβάθμιση η ενσωμάτωση ενός μόνιμου συστήματος ηλεκτροακουστικής ενίσχυσης (*audio output / pickups*).

Στο πεδίο του ηχητικού σχεδιασμού και της μίξης του σωληνόφωνου, οι γνώμες των εμπειρογνομόνων δικαιώνουν τις επιλογές της παραγωγής, επισημαίνοντας ότι το όργανο έχει ξεπεράσει το αμιγώς πειραματικό στάδιο και διαμορφώνει τη δική του διακριτή ηχητική ταυτότητα, η οποία τοποθετείται υφολογικά ανάμεσα στο κλασικό τσέλο και το *zither*, καθώς ο παραγόμενος ήχος προσομοιάζει αρκετά με εκείνον ενός κλασικού τσέλου ή ενός όρθιου ακουστικού μπάσου. Η διαχείριση του χαμηλού (*low-end*) και υποβαθέος συχνοτικού πεδίου *sub-bass*, καθώς και η απουσία ανεπιθύμητων «θαμπών» συντονισμών από το υλικό του πλαστικού, έλαβαν μέση βαθμολογία από 3/5 έως 5/5 (με τονισμό στον καθαρό και διαυγή ήχο), με το όργανο να επιβεβαιώνει τον ρόλο του ως ένας παραγωγός βαθιών ισοκρατημάτων (*drones*). Την ίδια θετική εικόνα (3/5 έως 4/5) συγκέντρωσε και η διαχείριση των δυναμικών αλλαγών (*transients / volume envelopes*) κατά τη μετάβαση από τα χαμηλόφωνα

ισοκρατημάτων στις απότομες ηχητικές εξάρσεις, με τους αξιολογητές να σημειώνουν την ομαλή και φυσική διακύμανση του ήχου. Σχετικά με τη δομή της ηχητικής σύνθεσης, σημειώθηκε ότι η ροή ήταν αρκετά πυκνή με πολλές εναλλαγές, γεγονός που μαρτυρά τον μουσικό πλούτο και τις δυνατότητες γρήγορης συχνοτικής εναλλαγής που προσφέρει η κατασκευή, ενώ παράλληλα επισημάνθηκε ότι σε μια σύνθεση μεγαλύτερης διάρκειας θα είχε ενδιαφέρον η εστίαση στην πιο αργή εξέλιξη των μουσικών ιδεών. Τέλος, υπογραμμίστηκε η ύπαρξη μεγάλων προοπτικών (5/5) για την περαιτέρω εξέλιξη του οργάνου και την αξιοποίησή του σε *live* παραστάσεις, θεατρικές ή κινηματογραφικές παραγωγές.

Όσον αφορά τη χωρική τοποθέτηση και τη διαμόρφωση του ηχητικού περιβάλλοντος. Οι γνώμες των αξιολογητών εμφάνισαν αποκλίσεις σχετικά με τη διαχείριση του χρονικού άξονα και τη χρήση της στερεοφωνικής κατανομής. Από τη μία πλευρά, σημειώθηκε ότι η κίνηση στον στερεοφωνικό χώρο λειτούργησε ικανοποιητικά προσφέροντας ωραία ροή στη σύνθεση. Από την άλλη πλευρά, ωστόσο, ασκήθηκε κριτική στην έντονη χρήση της στερεοφωνίας, με την επισημάνση ότι η υπερβολική επεξεργασία τείνει να απομακρύνει τον ακροατή από την υλικότητα της κατασκευής και ότι η διαχείριση του χρονικού άξονα θα έπρεπε να εστιάζει περισσότερο στην ανάδειξη των πρωτογενών, φυσικών ιδιοτήτων του οργάνου. Αυτή η αισθητική διχογνωμία δεν λειτουργεί περιοριστικά, αλλά αντιθέτως κρίνεται ως ιδιαίτερα γόνιμη· αναδεικνύει ότι η ίδια η κατασκευή διαθέτει έναν πολυδιάστατο χαρακτήρα, ικανό να υποστηρίξει μελλοντικά δύο εντελώς διαφορετικές αλλά εξίσου ενδιαφέρουσες καλλιτεχνικές προσεγγίσεις: Είτε μια πιο σύνθετη επεξεργασία ηχητικού σχεδιασμού στον χώρο, είτε μια απόλυτα λιτή, "συγκεκριμένη" (concrete) αισθητική, η οποία θα βασίζεται αποκλειστικά στον ωμό και φυσικό ήχο του υλικού. Για το μέλλον, μάλιστα, προτείνεται η ρηζικέλευθη ιδέα της ενσωμάτωσης ενός μηχανικού τρόπου διέγερσης (τύπου *hurdy gurdy*), η οποία ανοίγει νέους ορίζοντες στην πειραματική οργανοποιία.

7.2.3 Αξιολόγηση μεμβρανόφωνου

Περνώντας στην αξιολόγηση του τροποποιημένου μεμβρανόφωνου, τα δεδομένα του ερωτηματολογίου επιβεβαιώνουν τη δυναμική της υβριδικής του φύσης και τη λειτουργικότητα της απλής αλλά εξαιρετικά ενδιαφέρουσας κατασκευαστικής του ιδέας. Αν και επισημάνθηκε από τους αξιολογητές ότι το συχνοτικό του φάσμα είναι σαφώς πιο περιορισμένο σε σύγκριση με το σωληνόφωνο PVC, η συγκεκριμένη ιδιαιρότητα δεν λειτούργησε περιοριστικά. Αντίθετα, υπογραμμίστηκε ότι το όργανο παρουσιάζει εξαιρετικό οργανολογικό ενδιαφέρον, καθώς καταφέρνει να γεφυρώσει δύο διαφορετικές οικογένειες οργάνων, λειτουργώντας ως ένα λειτουργικό υβρίδιο κρουστού και εγχόρδου. Αυτή η πρωτότυπη ακουστική σύζευξη των χορδών επάνω στη μεμβράνη του Floor Tom αξιολογήθηκε με την ανώτατη βαθμολογία από μέρους των κριτών (4/5 έως 5/5), οι οποίοι επισημάναν ότι η συγκεκριμένη σχεδιαστική καινοτομία καταφέρνει να διαμορφώσει μια έντονα ιδιοσυγκρασιακή, ξεχωριστή και υποβλητικά "σκοτεινή" ηχητική ατμόσφαιρα, προσδίδοντας στο όργανο μια μοναδική καλλιτεχνική ταυτότητα που ξεδιπλώνεται σε πολλαπλά ηχητικά επίπεδα (κρουστά, μπάσο, δοξάρι).

Αν και επισημάνθηκε από τους αξιολογητές ότι το συχνοτικό του φάσμα παρουσιάζει ορισμένους περιορισμούς —καθώς η φύση του σώματος του floor tom τείνει να εγκλωβίζει το ακουστικό αποτέλεσμα, καθιστώντας το σε ορισμένα σημεία κάπως μονότονο— η

συγκεκριμένη ιδιαιρότητα δεν λειτούργησε περιοριστικά. Αντίθετα, υπογραμμίστηκε ότι το όργανο παρουσιάζει εξαιρετικό οργανολογικό ενδιαφέρον, καθώς προσφέρει μια σημαντικά διευρυμένη γκάμα επιλογών και τεχνικών εκτέλεσης, καταφέροντας έτσι να γεφυρώσει δύο διαφορετικές οικογένειες οργάνων και να λειτουργήσει ως ένα αυθεντικό, λειτουργικό υβρίδιο κρουστού και εγχόρδου. Παράλληλα, αναδείχθηκε εκ νέου το ζήτημα της ενίσχυσης, με την επισήμανση ότι η συμβατική μικροφωνική λήψη θα δημιουργήσει πρακτικά προβλήματα σε συνθήκες ζωντανής παρουσίασης. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, προτάθηκε ως ιδιαίτερα αποτελεσματική λύση η τοποθέτηση ενός piezo μικροφώνου επαφής στη μεμβράνη του floor tom, η οποία θα προσφέρει καθαρό σήμα και θα επιτρέψει τη σύνδεση με εξωτερικά πετάλια εφέ, ενώ παράλληλα υπογραμμίστηκε η ανάγκη για επαρκή χώρο ανάμεσα στις χορδές και την ταστιέρα (*ψηλό action*).

Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στην ανάλυση της συμπεριφοράς του οργάνου κατά την εκτέλεση έντονων κρεσέντο στη σύνθεση, όπου εμφανίστηκαν έντονες δυναμικές παραμορφώσεις (*distortion*). Οι εμπειρογνώμονες προέτρεψαν το στοιχείο αυτό να ιδωθεί έξω από τη στενή, συμβατική λογική του «καλού ή κακού» ακουστικού αποτελέσματος, ή των παραδοσιακών περιορισμών περί αποφυγής της ψηφιακής αποκοπής (*clipping*) και της ακουστικής κόπωσης, δίνοντας πολύ υψηλές βαθμολογίες στη διαχείριση των δυναμικών (4/5) αλλά και στην ισορροπία του χαμηλού συχνοτικού πεδίου (5/5). Σημειώθηκε χαρακτηριστικά ότι οι έντονες δυναμικές παραμορφώσεις δεν αποτελούν κατασκευαστικό ή ηχοληπτικό σφάλμα, αλλά ένα εγγενές, οργανικό χαρακτηριστικό της ίδιας της μεμβράνης. Αυτός ο θορυβώδης (*noisy*), ωμός και τραχύς χαρακτήρας αναδεικνύεται τελικά σε ένα από τα πιο ισχυρά πλεονεκτήματα του οργάνου, προσδίδοντάς του μια ξεχωριστή, αναγνωρίσιμη καλλιτεχνική ταυτότητα και μια έντονα πειραματική προσωπικότητα.

Με στόχο την περαιτέρω ανάδειξη και οργανολογική εξέλιξη του μεμβρανόφωνου, το σώμα των κριτών κατέθεσε εξαιρετικά γόνιμες και πρακτικές προτάσεις για τη μελλοντική του διαχείριση. Πιο συγκεκριμένα, προτάθηκε ο πειραματισμός με εναλλακτικούς τρόπους φυσικής διέγερσης, όπως η αντικατάσταση ή ο συνδυασμός του δοξαριού με μια βέργα τύπου νταουλιού, μια προσέγγιση που εκτιμάται ότι μπορεί να ξεκλειδώσει νέες ηχητικές ποιότητες, προσφέροντας έναν ακόμα πιο επιθετικό, στακάτο και καθαρά κρουστικό ήχο που θα ενισχύσει τον ρυθμικό χαρακτήρα της κατασκευής. Παράλληλα, εκφράστηκε έντονο ενδιαφέρον και μια σαφής αισθητική επιθυμία από την πλευρά των αξιολογητών για τη δημιουργία μελλοντικών συνθέσεων που θα βασίζονται περισσότερο σε εκτεταμένα ισοκρατήματα (*drones*). Στο πλαίσιο αυτό, επισημάνθηκε η εξαιρετική αξιοποίηση της στερεοφωνικής εικόνας (*panning*) και ο ενδιαφέρων ρυθμικός χαρακτήρας της σύνθεσης, ο οποίος προσδίδει μια «υπνωτική/τελετουργική» ατμόσφαιρα που κρίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη για θεατρικές ή χορευτικές παραστάσεις. Μια τέτοια συνθετική κατεύθυνση θα επιτρέψει στο αντί του ακροατή να απομονώσει και να αξιολογήσει πληρέστερα τις πλούσιες αρμονικές συνηχήσεις που παράγονται από τη συνύπαρξη των χορδών και του σώματος του Floor Tom, προσφέροντας ταυτόχρονα μια βαθύτερη και πιο ολοκληρωμένη ακουστική εμπειρία, επιβεβαιώνοντας τις μεγάλες προοπτικές (5/5) περαιτέρω εξέλιξης και χρήσης του οργάνου σε καλλιτεχνικές παραγωγές.

7.3 Συνολική αποτίμηση & συμπεράσματα αξιολόγησης

Συμπερασματικά, η υποκειμενική αξιολόγηση του εγχειρήματος από την ομάδα των εμπειρογνομόνων αναδεικνύει μια δημιουργική δυναμική, χωρίς να παραγνωρίζει τις

τεχνικές και αισθητικές προκλήσεις που προέκυψαν. Οι αποκλίσεις και οι διαφορετικές προσεγγίσεις των κριτών γύρω από ζητήματα όπως η συχνотική ισορροπία, η διαχείριση των δυναμικών και η ψηφιακή επεξεργασία δεν αποτιμώνται αρνητικά· αντιθέτως, φωτίζουν τον πολυδιάστατο χαρακτήρα των ίδιων των κατασκευών. Το γεγονός ότι τα όργανα προκάλεσαν γόνιμο προβληματισμό ως προς την ανάδειξη της αυθεντικής υλικότητάς τους έναντι της επεξεργασίας μέσω ηχητικού σχεδιασμού (*sound design*), επιβεβαιώνει ότι το πεδίο της χειροποίητης/πειραματικής οργανοποιίας παραμένει ανοιχτό σε πειραματισμούς. Το τελικό συμπέρασμα αφήνει μια βάσιμη ελπίδα και έναν καθαρό οδικό χάρτη για το μέλλον. Οι βάσεις που τέθηκαν με το σωληνόφωνο και το τροποποιημένο μεμβρανόφωνο δείχνουν ότι η σύζευξη φυσικών βιομηχανικών υλικών και ψηφιακής παραγωγής έχει ουσιαστικές προοπτικές εξέλιξης, προσφέροντας το έδαφος για μια πιο ώριμη, εκλεπτυσμένη και ολοκληρωμένη καλλιτεχνική δημιουργία στη συνέχεια.

8: Συμπεράσματα και μελλοντικές προεκτάσεις

Η ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης επιτρέπει τη σφαιρική αποτίμηση μιας σύνθετης και πολυεπίπεδης δημιουργικής πορείας, η οποία εκκινεί από τον θεωρητικό σχεδιασμό και τη φυσική υλοποίηση πειραματικών οργάνων και καταλήγει στην ψηφιακή τους καταγραφή, επεξεργασία και τελική ενσωμάτωση σε μια πρωτότυπη μουσική σύνθεση. Μέσα από τη συνδυαστική προσέγγιση της ακουστικής φυσικής, των παραδοσιακών αρχών οργανοποιίας και των σύγχρονων εργαλείων που προσφέρουν οι Σταθμοί Ψηφιακού Ήχου (DAWs), κατέστη δυνατή η εξαγωγή κρίσιμων συμπερασμάτων που φωτίζουν τόσο το τεχνικό όσο και το καλλιτεχνικό σκέλος του όλου εγχειρήματος. Η έρευνα αυτή δεν περιορίστηκε σε μια υποκειμενική παρουσίαση, αλλά θωρακίστηκε επιστημονικά μέσα από τη διασταύρωση αντικειμενικών εργαστηριακών μετρήσεων κρουστικής απόκρισης και των ποιοτικών δεδομένων που συλλέχθηκαν από το στοχευμένο ερωτηματολόγιο εμπειρογνομόνων, προσφέροντας έτσι μια στέρεη βάση για την κατανόηση της συμπεριφοράς των custom κατασκευών.

8.1 Η οργανολογική και ακουστική αποτίμηση των κατασκευών

Η πειραματική διαδικασία δικαίωσε την αρχική υπόθεση εργασίας, αποδεικνύοντας ότι η χρήση μη συμβατικών, καθημερινών και χαμηλού κόστους βιομηχανικών υλικών μπορεί να οδηγήσει στην παραγωγή σταθερών τονικά και ρυθμικά ηχητικών αποτελεσμάτων, ανοίγοντας νέους δρόμους στην custom οργανοποιία.

Η μελέτη του Σωληνόφωνου PVC επιβεβαίωσε στην πράξη τις θεωρητικές αρχές της ακουστικής των κλειστών αυλών, με τη γεωμετρία του κυλινδρικού σωλήνα να λειτουργεί αποτελεσματικά ως ακουστικό ηχείο, γεγονός που αποτυπώθηκε και στην ομόφωνη θετική αποδοχή των κριτών με βαθμολογία τέσσερα στα πέντε. Ωστόσο, η ανάλυση των κρουστικών αποκρίσεων και η μελέτη των διαγραμμάτων FFT και Spectrogram έφεραν στην επιφάνεια την ύπαρξη σύνθετων overtones στα υψηλότερα ρέτζιστρα, οι οποίοι σχετίζονται άμεσα με τις ιδιοσυχνότητες και την εγγενή ακουστική συμπεριφορά του πλαστικού σωλήνα. Αυτό το αντικειμενικό εύρημα, σε απόλυτη σύμπνοια με τις παρατηρήσεις της επιτροπής αξιολόγησης, δεν μειώνει την αξία της κατασκευής, αλλά λειτουργεί ως ένας πολύτιμος οδηγός για μελλοντικές μικρο-κουρδιστικές παρεμβάσεις και βελτιώσεις στα σημεία ανάρτησης των χορδών, ώστε να επιτευχθεί ακόμα μεγαλύτερη τονική καθαρότητα. Παράλληλα, οι εργονομικές επισημάνσεις των ειδικών σχετικά με τη δυνατότητα μετατροπής του οργάνου σε όρθια διάταξη παιξίματος ανοίγουν μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα προοπτική για την live παρουσίασή του, καθώς μια τέτοια δομική αλλαγή θα αναδείξει την επιτελεστική και παραστασιακή δυναμική της διαδικασίας παραγωγής του ήχου μέσω της τριβής του δοξαριού.

Αντίστοιχα γόνιμα συμπεράσματα εξήχθησαν και από την αποτίμηση του τροποποιημένου Μεμβρανόφωνου, το οποίο επιβεβαίωσε τη δυναμική του ως ένα αυθεντικό, λειτουργικό υβρίδιο που καταφέρνει να γεφυρώσει δύο φαινομενικά ασύμβατες οικογένειες οργάνων, αυτή των κρουστών και εκείνη των εγχόρδων. Αν και οι μετρήσεις της κρουστικής απόκρισης και οι κριτές επισήμαναν ότι το συχνοτικό του εύρος είναι σαφώς πιο περιορισμένο σε σχέση με το Σωληνόφωνο PVC, η ιδιαιρότητα αυτή δεν λειτούργησε ως περιορισμός, αλλά ως στοιχείο διαφοροποίησης που προσδίδει μοναδικό οργανολογικό

ενδιαφέρον. Ιδιαίτερη ακαδημαϊκή αξία έχει ο τρόπος με τον οποίο προσεγγίστηκε η εμφάνιση έντονων δυναμικών παραμορφώσεων κατά την εκτέλεση των κρεσέντο στη σύνθεση. Η εργαστηριακή καταγραφή του φαινομένου αυτού, σε συνδυασμό με την κριτική ανάλυση των απαντήσεων, οδήγησε στο συμπέρασμα ότι αυτού του είδους το distortion δεν πρέπει να αντιμετωπίζεται μέσα από τη στενή, συμβατική λογική ενός κατασκευαστικού ή ηχοληπτικού σφάλματος που πρέπει να αποφευχθεί για την αποτροπή του clipping και της ακουστικής κόπωσης, αλλά ως ένα εγγενές, οργανικό και επιθυμητό χαρακτηριστικό της ίδιας της μεμβράνης του Floor Tom. Αυτός ο θορυβώδης, ωμός και τραχύς χαρακτήρας αποτελεί τελικά το ισχυρότερο αισθητικό πλεονέκτημα του οργάνου, προσδίδοντάς του μια μοναδική, αναγνωρίσιμη πειραματική ταυτότητα.

8.2 Ψηφιακή επεξεργασία και ηχητικός σχεδιασμός

Στο πεδίο της ψηφιακής επεξεργασίας και του ηχητικού σχεδιασμού, η εργασία υπογράμμισε τον καθοριστικό ρόλο που διαδραματίζει η μίξη στην ανάδειξη και την εξισορρόπηση των ακατέργαστων φυσικών ηχογραφήσεων. Η στρατηγική χρήση του παραμετρικού ισοσταθμιστή (ReaEQ) επέτρεψε την επιτυχημένη απομάκρυνση των «λασπωμένων» μεσαίων συχνοτήτων που προέκυπταν από τα φυσικά υλικά, με αποτέλεσμα η διαχείριση των sub-bass και low-end συχνοτήτων να κριθεί ως εξαιρετικά επιτυχής με βαθμολογία τέσσερα στα πέντε και χωρίς θολούς συντονισμούς, δικαιώνοντας την επιλογή να χρησιμοποιηθεί το Σωληνόφωνο ως παραγωγός βαθιών και σταθερών drones.

Εξαιρετικά ενδιαφέρουσα από αισθητική άποψη υπήρξε η καταγεγραμμένη απόκλιση των αξιολογητών γύρω από τον τρόπο διάταξης των ήχων στο timeline και τη χρήση του στερεοφωνικού panning. Ενώ από τη μία πλευρά αναγνωρίστηκε ότι οι αυτοματισμοί στο πανόραμα προσέφεραν μια ικανοποιητική αίσθηση κίνησης και ροής στη σύνθεση, από την άλλη πλευρά ασκήθηκε έντονη κριτική με το σκεπτικό ότι η υπερβολική στερεοφωνική επεξεργασία τείνει να απομακρύνει τον ακροατή από την καθαρή υλικότητα και τη φυσική υπόσταση των οργάνων. Αυτή η αισθητική διχογνωμία δεν αποτιμάται ως αδυναμία της εργασίας, αλλά ως ένα εξαιρετικά θετικό και γόνιμο εύρημα που αναδεικνύει τον πολυδιάστατο χαρακτήρα των ίδιων των κατασκευών, επιβεβαιώνοντας ότι οι πρωτογενείς ήχοι τους είναι τόσο ισχυροί ώστε να μπορούν να υποστηρίξουν μελλοντικά δύο εντελώς διαφορετικές αλλά εξίσου έγκυρες καλλιτεχνικές κατευθύνσεις, είτε μια πιο σύνθετη sound design επεξεργασία στον χώρο είτε μια απόλυτα λιτή, concrete αισθητική προσέγγιση.

8.3 Μελλοντικές προεκτάσεις

Συμπερασματικά, η παρούσα διπλωματική εργασία πέτυχε πλήρως τον πρωταρχικό της στόχο, αποδεικνύοντας ότι η σύγχρονη μουσική τεχνολογία και η custom οργανοποιία μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά, αναβαθμίζοντας τις ιδιότητες απλών βιομηχανικών υλικών και μεταμορφώνοντάς τα σε ολοκληρωμένα δομικά στοιχεία μιας πρωτότυπης καλλιτεχνικής δημιουργίας.

Η σύζευξη της αντικειμενικής ακουστικής ανάλυσης με τα ποιοτικά δεδομένα του ερωτηματολογίου δεν μειώνει την αξία του εγχειρήματος λόγω των τεχνικών ή αισθητικών

προκλήσεων που εντοπίστηκαν, αλλά αντίθετα αφήνει μια βάσιμη ελπίδα και έναν καθαρό, συγκροτημένο οδικό χάρτη για το μέλλον. Οι βάσεις που τέθηκαν με το Σωληνόφωνο PVC και το τροποποιημένο Μεμβρανόφωνο ανοίγουν συγκεκριμένες και πολλά υποσχόμενες μελλοντικές προεκτάσεις. Αυτές περιλαμβάνουν τον πειραματισμό με εναλλακτικούς τρόπους φυσικής διέγερσης της μεμβράνης μέσω της χρήσης βέργας τύπου νταουλιού για την παραγωγή ενός πιο επιθετικού και στακάτου ήχου, την ενσωμάτωση μηχανικών συστημάτων συνεχούς διέγερσης τύπου hurdy gurdy στους σωλήνες PVC, καθώς και τη δημιουργία νέων συνθετικών δομών βασισμένων σε εκτεταμένα ισοκρατήματα που θα επιτρέπουν την πλήρη αξιολόγηση των αρμονικών συνηχήσεων. Το πεδίο παραμένει ανοιχτό σε πειραματισμούς, επιβεβαιώνοντας ότι η δυναμική αυτής της έρευνας έχει ουσιαστικές προοπτικές για μια ακόμα πιο ώριμη, εκλεπτυσμένη και ολοκληρωμένη καλλιτεχνική και επιστημονική πορεία στη συνέχεια.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Αμουργιανός, Α. (2018). *Εισαγωγή στην Ακουστική και τη Μουσική Τεχνολογία*. Εκδόσεις Παπαζήση.

Αντωνόπουλος, Κ. (2021). *Ψηφιακοί Σταθμοί Εργασίας Ήχου (DAWs) και Τεχνικές Μίξης*. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Τμήμα Μουσικών Σπουδών.

Ξανθουδάκης, Χ. (2012). *Ιστορία και Αισθητική της Ηλεκτροακουστικής Μουσικής*. Ιόνιο Πανεπιστήμιο.

Παπαδέλης, Γ. (2019). *Μουσική Ακουστική: Η Φυσική των Μουσικών Οργάνων*. Εκδόσεις University Studio Press.

Campbell, M., & Greated, C. (2011). *The Musician's Guide to Acoustics*. Oxford University Press.

Francis, D. (2019). *REAPER Power!: The Comprehensive Guide to Recording, Editing, and Mixing in REAPER*. Muska & Lipman Publishing.

Hopkin, B. (1996). *Musical Instrument Design*. Practical Action Publishing.

Hopkin, B. (2002). *Slap Tubes and PVC Orchestras: A Guide to Homemade Membranophones and Plosive Aerophones*. Experimental Musical Instruments.

Politzer, H. D. (2015). The Physics of a Homemade Banjo. *American Journal of Physics*, 83(2), 116-123.

Rossing, T. D. (2000). *Science of Percussion Instruments*. World Scientific.

Rossing, T. D. (Ed.). (2007). *Springer Handbook of Acoustics*. Springer Science & Business Media.

Rossing, T. D., Moore, F. R., & Wheeler, P. A. (2014). *The Science of Sound* (3rd ed.). Pearson.

Fletcher, N. H., & Rossing, T. D. (2010). *The Physics of Musical Instruments* (2nd ed.). Springer.

Bech, S., & Zacharov, N. (2006). *Perceptual Audio Evaluation - Theory and Practice*. John Wiley & Sons.

Blauert, J. (2005). *The Technology of Binaural Listening*. Springer.

Chaigne, A., & Kergomard, J. (2016). *Acoustics of Musical Instruments*. Springer.

Aebi, W. (1971). The acoustics of the timpani. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 50(1A), 132-132.

- Kist, C. (2014). Alternative Materials in Musical Instrument Construction: The Case of PVC. *Journal of New Music Research*, 43(3), 291-305.
- Rhaouti, L., Chaigne, A., & Joly, P. (1999). Time-domain modeling and numerical simulation of a kettledrum. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 105(6), 3545-3562.
- Wolfe, J., Smith, J., & Fletcher, N. H. (2014). Acoustic impedance of pipes and tubes: Applications to experimental instrument design. *Acoustics Australia*, 42(1), 12-19.
- Fletcher, N. H. (1985). Nonlinear frequency-shifts in vibrating strings and membranes. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 78(S1), S6-S6.
- Hopkin, B. (1996). *Musical Instrument Design*. See Sharp Press.
- Jaffe, D. A., & Smith, J. O. (1983). Extensions of the Karplus-Strong plucked-string algorithm. *Computer Music Journal*, 7(2), 56-69.
- Politzer, H. D. (2015). The Physics of a Homemade Banjo. *American Journal of Physics*, 83(2), 116-123.
- Taylor, R., & Saunokonoko, M. (2009). Acoustics of open and closed pipes: PVC organ pipes. *Physics Education*, 44(4), 384.
- Worland, R. (2010). Structural acoustics of a drumhead struck by a mallet. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 127(3), 1832-1832.
- Bensa, J., Bilbao, S., Kronland-Martinet, R., & Smith, J. O. (2003). From physics to sound simulation: The case of struck instruments. *Journal of New Music Research*, 32(4), 349-361.
- Sethi, A., & Vyas, N. S. (2005). Vibration and acoustic response of stretched circular membranes under mallet impact. *Journal of Sound and Vibration*, 281(3-5), 897-915.
- Tubis, A., & Davis, R. E. (2001). Modeling the acoustics of simple homemade and experimental percussion instruments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 109(5), 2481-2481.
- Fletcher, N. H. (1999). The acoustic efficiency of sounds produced by percussion instruments. *Applied Acoustics*, 58(2), 165-175.
- Rossing, T. D. (1982). The physics of kettledrums. *Scientific American*, 247(5), 172-181.