ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής



Πτυχιακή εργασία

Κατασκευή και μελέτη δονητικών χαρακτηριστικών Τζουρά

Ορέστης Μιχαηλίδης

Επιβλέποντες:

Δρ. Δημητρίου Βασίλης Καθηγητής,

Δρ. Ορφανός Γιάννης ΕΔΙΠ

Ρέθυμνο, Απρίλης 2024

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής

Πτυχιακή Εργασία

Κατασκευή και μελέτη δονητικών χαρακτηριστικών Τζουρά

του

Ορέστη Μιχαηλίδη

Επιβλέποντες:

Δρ. Δημητρίου Βασίλης Καθηγητής

Δρ. Ορφανός Γιάννης ΕΔΙΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την [Ημερομηνία 15/04/2024].

Βασίλης Δημητρίου	Γιάννης Ορφανός	Ευάγγελος Κασελούρης
Καθηγητής	ΕΔΙΠ	Επίκουρος Καθηγητής

Ρέθυμνο, Απρίλης 2024

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες ……..…..5

Περίληψη ……...…6

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή και η ιστορία του τζουρά ……...…...8

Κεφάλαιο 2: Κατασκευή τζουρά……..……..9

Κεφάλαιο 3: Κρουστική απόκριση Τζουρά και Καπακιών …….....35

- 3.1 Πειραματικές μετρήσεις κρουστικής απόκρισης …….....…….....35
- 3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων κρουστικής απόκρισης……..…….....37
- 3.3 Συμπεράσματα μετρήσεων κρουστικής απόκρισης ….....……37

Κεφάλαιο 4: Μετρήσεις με ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων (ESPI).....39

- 4.1 Πειραματική διάταξη και αποτελέσματα μετρήσεων ESPI .....……39
- 4.2 Συμπεράσματα μετρήσεων με ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων (ESPI).....51

Κεφάλαιο 5: Συμπεράσματα …….....52

Βιβλιογραφία…….…….…..53

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Ορέστης Μιχαηλίδης, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας & Ακουστικής του Ελληνικού Μεσογειακού Πανεπιστημίου δεν υποδηλώνει απαραιτήτως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα για αρχή να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές για τη καθοδήγηση της Πτυχιακής και για την εξήγηση των πειραμάτων στο εργαστήριο, συγκεκριμένα τον Δρ. Γιάννη Ορφανό τον Δρ. Βασίλη Δημητρίου, τον Δρ. Ευάγγελο Κασελούρη, μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, και το Δρ. Σπύρο Μπρέζα. Τέλος, θα ήθελα να δώσω θερμές ευχαριστίες στον οργανοποιό κύριο Μάριο Τορναρίτη που χωρίς αυτόν δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί αυτή η μελέτη.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη πτυχιακή με τίτλο «Κατασκευή και μελέτη δονητικών χαρακτηριστικών τζουρά» για αρχή γίνεται μια ιστορική αναδρομή της εξέλιξης του μουσικού οργάνου. Στη συνέχεια παρουσιάζεται με λεπτομερή βήματα η μεθοδολογία κατασκευής του οργάνου από το αρχικό ως το τελικό στάδιό της, ενώ παρουσιάζεται και η κατασκευή τριών διαφορετικών καπακιών. Σε αυτά, όπως και σε ολόκληρο το όργανο, πραγματοποιήθηκε η μελέτη της δονητικής τους συμπεριφοράς με πειραματικές μετρήσεις και μετέπειτα σύγκριση των αποτελεσμάτων, των τριών καπακιών και του οργάνου, μεταξύ τους. Οι πειραματικές μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με τη μέθοδο της κρουστικής απόκρισης και με τη μέθοδο της χρονικά ολοκληρωμένης ψηφιακής ολογραφίας κοκκίδων – ESPI.

ABSTRACT

In this thesis entitled "Construction and study of the vibrational characteristics of tzoura" a historical review of the development of the musical instrument is initially presented. Then the manufacturing methodology of the instrument is presented in detailed steps from the first to the final stage of construction, while the construction of three different soundboards is also presented. For these three soundboards and for the whole instrument their vibrational behavior is studied via experimental measurements and the results taken from the three different soundboards and from the whole instrument are then presented. The experimental measurements were carried out by the impulse response method and by the time-integrated electronic speckle pattern interferometry (ESPI) method.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Εισαγωγή και η ιστορία του τζουρά

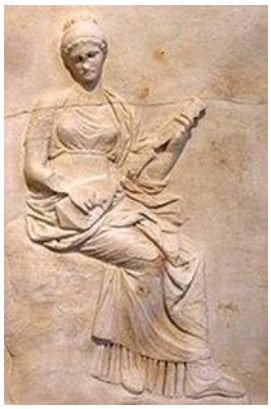
Ο τζουράς ανήκει στην οικογένεια των νυκτών μουσικών οργάνων όπου υπάρχει σε 3χορδη μορφή με κούρδισμα ΡΕ ΛΑ ΡΕ ή σε 4χορδη μορφή με κούρδισμα ΡΕ ΛΑ ΦΑ ΝΤΟ [1]. Είναι αχλαδόσχημο και έχει μέγεθος λίγο μεγαλύτερο του μπαγλαμά και λίγο μικρότερο του μεσομπούζουκου. Κατασκευάζεται με σκαφτό σκάφος ή με ντούγιες. Στην Ελλάδα το 400 π.χ υπήρχαν αχλαδόσχημα όργανα εικονογραφημένα σε ανάγλυφα σαν Αρχαία Πανδουρίδα και μεταγενέστερα κατά τη διάρκεια της τουρκοκρατίας είχε και το όνομα ταμπουράς [2], όπως παρουσιάζονται στα ένθετα της εικόνας 1 από 1.1 έως και 1.5. Ο τζουράς είχε έντονη παρουσία στην εποχή του ρεμπέτικου ενώ η παρουσία του συνέχισε και τη σύγχρονη εποχή με τους πιο σύγχρονους συνθέτες όπως το Μάνο Λοίζο, Χρίστο Νικολόπουλο και άλλους. Με την αναβίωση του ρεμπέτικου στις αρχές της δεκαετίας του 80 το όργανο επανήλθε, καθιερώθηκε και απέκτησε τη χαμένη του αίγλη στους λαϊκούς οργανοπαίκτες και ιδιαίτερα στους λάτρεις του ρεμπέτικου. Επίσης λόγο της ιδιαιτερότητας του ήχου του, χρησιμοποιήθηκε και σε άλλου είδους μουσικές όπως ethnic music αλλά και σε μουσική επένδυση κινηματογραφικών ταινιών σε συνδυασμό με άλλα όργανα. Γνωστά τραγούδια που χρησιμοποιήθηκε το όργανο είναι η πρώτη εκτέλεση της “Ευδοκίας”, “Ο Κουταλιανός”, “Παπεράκι του Πουρνόβα”.



Εικόνα 1.1 Πανδούρα [4]



Εικόνα 1.2 Ταμπουράς [3]



Εικόνα 1.3 Αρχαία πανδουρίδα [5]



Εικόνα 1.4 Σκαφτό σκάφος τζουρά.



Εικόνα 1.5 Ντούγιες σκάφους

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Κατασκευή του τζουρά

Σαν πρώτο βήμα αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε τον σκαφτό τρόπο κατασκευής του σκάφους και επιλέξαμε το ξύλο το οποίο είναι καρυδιά. Να σημειωθεί ότι σχεδόν όλα τα ξύλα που χρησιμοποιεί στο εργαστήριο ο οργανοποιός είναι παλιά και με πολλή καλή απόκριση στον ήχο του οποιουδήποτε οργάνου. Στη συνέχεια τοποθετήσαμε μια μόλα, η οποία δημιουργήθηκε με το πέρασμα του χρόνου και εμπειρικά από τον οργανοποιό με τον παραδοσιακό τρόπο, δηλαδή σφυρί και σκαρπέλο, και σημαδέψαμε με μολύβι το πως θα κόψουμε το ξύλο.



Εικόνα 2.1 Δημιουργία περιγράμματος σκάφους.

Αφού κόψαμε το ξύλο αρχίσαμε να αφαιρούμε όσα πιο πολλά κομμάτια γίνεται για να μην μείνουμε αρκετή ώρα στον παντογράφο και επίσης κάναμε μια τρύπα στο πίσω μέρος του ξύλου για να στερεωθεί στον παντογράφο (Εικόνα 2.2).



Εικόνα 2.2 Κόψιμο ξύλου σκάφους και προετοιμασία για στερέωση στον παντογράφο.

Ο παντογράφος, είναι ένα μηχάνημα στο οποίο μπορούμε να εφαρμόσουμε μια μόλα όπως φαίνεται στις επόμενες φωτογραφίες (Εικόνα 2.3). Πάνω από αυτήν τη μόλα υπάρχει μια λαβή η οποία στην άκρη της έχει ένα κυλινδρικό μικρό πλαστικό το οποίο πατάει στη μόλα. Δίπλα υπάρχει ακριβώς η ίδια διάταξη με τη διαφορά ότι έχει τοποθετημένο ένα ρούτερ ξύλου με αποτέλεσμα όπου αγγίζει το μικρό πλαστικό στη μόλα να αφαιρεί το ξύλο που αντιστοιχεί εκεί.



Εικόνα 2.3 Δημιουργία σκαφτού σκάφους στον παντογράφο.

Αφού υλοποιήθηκε το σχήμα του σκάφους προχωρήσαμε στη κατασκευή του μάνικου. Το μάνικο όπως φαίνεται στην Εικόνα 2.4 είναι φτιαγμένο από τρία ξύλα, τα δυο από σφένδαμο και το μεσαίο από καρυδιά. Τα δυο έξω ξύλα προέρχονται από το ίδιο κομμάτι. Όπως και σε αλλά μέρη χρησιμοποιείται μια απλή τεχνική για τη σωστή κόλληση και ανθεκτικότητα του μάνικου. Η τεχνική είναι ότι απλά γυρνάμε το ένα ξύλο ούτως ώστε τα νερά του ξύλου να κατευθύνονται αντίθετα από το άλλο και ο λόγος είναι ότι αν τα νερά του έχουν την ίδια φορά δεν θα είναι αρκετά ανθεκτικό και υπάρχει πιθανότητα για ρωγμές αλλά επίσης και μη ολοκληρωμένης μεταφοράς του ήχου σε ολόκληρο το όργανο. Το μεσαίο ξύλο το χρησιμοποιούμε για να περιορίζει τις επιπτώσεις από τις κλιματολογικές συνθήκες. Αν ήταν ένα ξύλο όλο το μανικό θα ήταν πολύ ευαίσθητο και με κακή ισορροπία.



Εικόνα 2.4 Μάνικο.

Στη συνέχεια κολλήσαμε τα ξύλα μεταξύ τους με ψαρόκολλα (Εικόνα 2.5) και πέρασαν τρεις μέρες για να κολλήσουν πολύ καλά. Γενικά, επειδή η κόλληση γίνεται με ψαρόκολλα χρειάζονται τουλάχιστον τρεις μέρες για αυτήν. Ωστόσο, το καλοκαίρι χρειάζονται πιο λίγες μέρες λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας.



Εικόνα 2.5 Ψαρόκολλα.





Εικόνα 2.6 Κόλληση ξύλων με ψαρόκολλα.

Όσο περιμέναμε το μάνικο να στεγνώσει προχωρήσαμε στη διαδικασία κατασκευής του καπακιού. Για το καπάκι χρησιμοποιήθηκε ξύλο έλατου με την ίδια τεχνική που εφαρμόσαμε και στο μάνικο. Οι διαστάσεις του, όπως φαίνονται στην Εικόνα 2.7, ακολουθούν το διαστασιολογημένο χάρτινο περίγραμμα όπου σχεδιάσαμε με μολύβι γύρω γύρω ακριβώς συμμετρικά με τα δύο μέρη του καπακιού.



Εικόνα 2.7 Διαστάσεις καπακιού.

Το καπάκι στη συνέχεια κατεργάστηκε με πλάνιση (Εικόνα 2.8) και τρίφτηκε για να μην υπάρχει κενό ενδιάμεσα της ένωσης και κατόπιν κολλήθηκε.



Εικόνα 2.8 Πλάνισμα, τρίψιμο, και κόλληση του καπακιού.

Έπειτα πήραμε ένα κομμάτι εβένου, Εικόνα 2.9, για να ξεκινήσουμε τη προετοιμασία της ταστιέρας ενώ την ίδια ώρα δουλεύαμε το μάνικο (Εικόνα 2.10) και το σκάφος (Εικόνα 2.11).



Εικόνα 2.9 Προετοιμασία ταστιέρας.

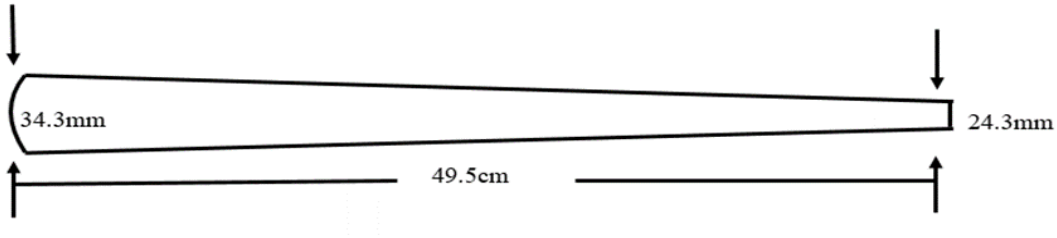


Εικόνα 2.10 Προετοιμασία μάνικου.



Εικόνα 2.11 Προετοιμασία σκάφους.

Το μήκος της ταστιέρας είναι 49.5 cm και το πλάτος με κλίση προς τα κάτω της ταστιέρας είναι 24.3 mm-34.3 mm, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 2.12.



Εικόνα 2.12 Διαστάσεις Ταστιέρας.

Μέχρι τώρα έχει ετοιμαστεί το σκάφος, το μάνικο, η ταστιέρα και το καπάκι αλλά κανένα δεν είναι σε τελική μορφή. Κανένα μέρος του όργανού δεν θα είναι σε τελική μορφή πάρα μόνο όταν το όργανο ολοκληρωθεί. Στη συνέχεια γυρίσαμε και πάλι πίσω στο σκάφος για να φτιάξουμε το μόρσο (χελιδονοουρά) στο οποίο θα εφάρμοζε μέσα το μάνικο. Όπως βλέπουμε στην Εικόνα 2.13 χρησιμοποιήθηκε μια βοηθητική βάση. Αυτό μας βοήθησε ως οδηγός για να χαράξουμε το αυλάκι με ένα χειροκίνητο ρούτερ, Εικόνα 2.14, όπου μπήκε μέσα το μάνικο. Αφού χαράξαμε το αυλάκι, Εικόνα 2.15, εφαρμόστηκε στο μάνικο, και αντιγράφτηκε η γεωμετρία του κομματιού που απουσιάζει από τη βάση σε αυτό, για να γίνει σωστά η κοπή της γεωμετρίας (Εικόνα 2.16).



Εικόνα 2.13 Βάση μόρσου.



Εικόνα 2.14 Χρήση ρούτερ.



Εικόνα 2.15 Χάραξη αυλακιού.





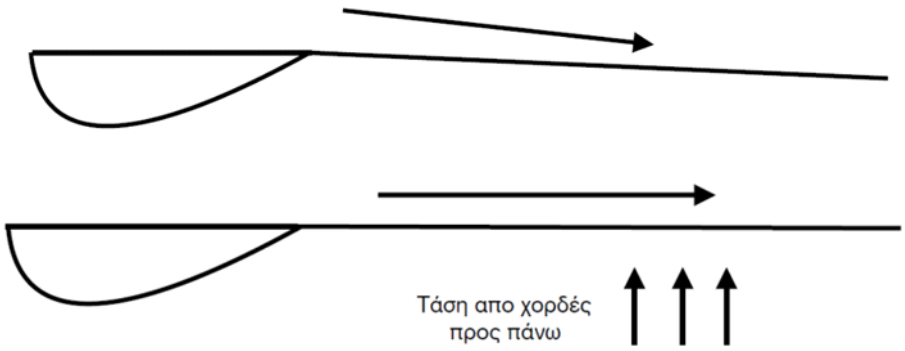
Εικόνα 2.16 Εφαρμογή στο μάνικο.

Πριν γίνει η κόλληση με την ψαρόκολλά θα πρέπει να βεβαιωθούμε ότι έχουμε τις απαραίτητες κλίσεις για το μάνικο και ότι είναι στο κέντρο του σκάφους, προκειμένου να γίνει σωστά η κόλληση. Αυτό το πετύχαμε με μικρές σφήνες που τοποθετήθηκαν ανάμεσα στην ένωση μάνικου και σκάφους (Εικόνα 2.17). Μετά από αυτό βάλαμε τη ψαρόκολλα.



Εικόνα 2.17 Τοποθέτηση σφηνών ανάμεσα στην ένωση μάνικου και σκάφους και χρήση ψαρόκολλας.

Η κλίση που θα πρέπει να έχει το μάνικο με το σκάφος φαίνεται στην Εικόνα 2.18. Στο τέλος της κατασκευής όταν το όργανο θα κουρδιστεί και θα υπάρξει τάση από τις χορδές, το μάνικο λόγω της κλίσης οδηγείται στη σωστή απόσταση και θέση του.



Εικόνα 2.18 Κλίση Μάνικου.

Στη συνέχεια δουλέψαμε πάνω στο καπάκι. Έγινε κάψιμο της κόλλας και τρίψιμο μέχρι να φτάσει σε πάχος τα 2,4 mm (Εικόνα 2.19) και η δημιουργία της τρύπας (Εικόνα 2.20) η οποία ξεκινά στα 508,3 mm.



Εικόνα 2.19 Κάψιμο της κόλλας σε καπάκι και τρίψιμο.





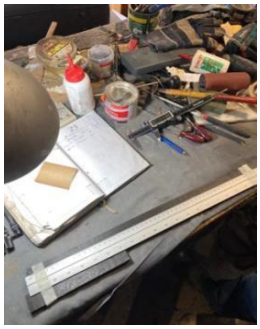
Εικόνα 2.20 Δημιουργία τρύπας και ροδάντζας σε αυτή.

Παράλληλα ξεκινήσαμε τη διαδικασία να χαράξουμε τα τάστα στην ταστιέρα (Εικόνα 2.21). Για τον τζουρά χρησιμοποιήσαμε την κλίμακα των 61 cm (Πίνακας 1, Εικόνα 2.22). Αυτή η απόσταση είναι μεταξύ του μεγάλου καβαλάρη και την αρχή της ταστιέρας.





Εικόνα 2.21 Χάραξη τάστων στην ταστιέρα.





Εικόνα 2.22 Κλίμακα των 61 cm.

Κ Λ Ι Μ Α Κ Α	61 cm
ΤΑΣΤΟ	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΣΕ mm
1	34.2
2	66.6
3	97.1
4	125.8
5	153
6	178.7
7	202.9
8	225.7
9	247.3
10	267.6
11	286.9
12	305
13	322.1
14	338.3
15	353.5
16	367.9
17	381.5
18	394.3
19	406.4
20	417.9
21	428.6
22	438.8
23	448.4
24	457.5
25	466.1
26	474.1
27	481.8
28	489
29	495.8
30	502.2

Το επόμενο βήμα ήταν να κόψουμε μικρά ξύλα πεύκου spruce για τη κατασκευή των καμαριών στο καπάκι (Εικόνα 2.23). Οι αποστάσεις των καμαριών φαίνονται στην Εικόνα 2.24.

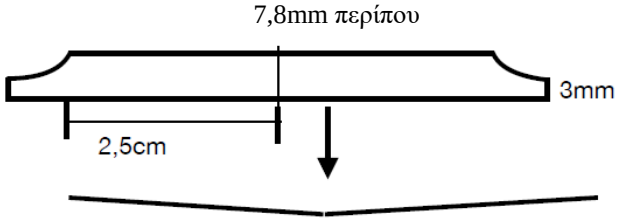


Εικόνα 2.23 Μικρά ξύλα πεύκου.



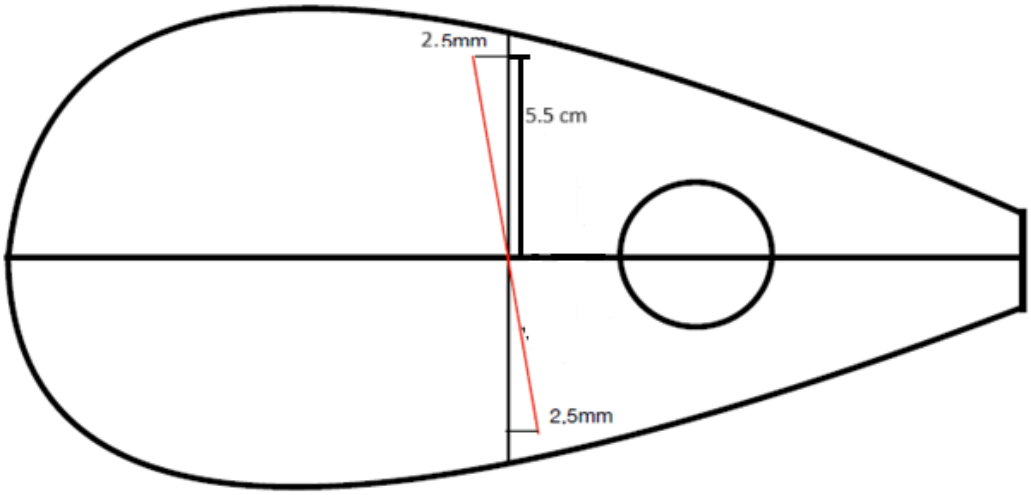
Εικόνα 2.24 Αποστάσεις καμαριών.

Οι διαστάσεις των καμαριών φαίνονται στην Εικόνα 2.25. Το κέντρο στα 2,5 cm πρέπει να είναι ακριβώς στη μέση του καπακιού. Η καμπύλη φτάνει να είναι περίπου στα 3 mm στις άκρες της καμάρας. Το ύψος είναι περίπου 7,8 mm και το πάχος είναι περίπου 4.5 mm. Στα καμάρια δίνεται μια μικρή κλίση, το λεγόμενο πομπέ, δεξιά και αριστερά για να δημιουργηθεί μια μικρή καμπύλη η οποία έχει βάθος 2.5 mm στο καπάκι, και βοηθά στη καλύτερη ποιότητα παραγόμενου ήχου, στη διάρκεια του ήχου και την αντοχή του στην πίεση από τον καβαλάρη και τις χορδές σε αυτόν.



Εικόνα 2.25 Διαστάσεις Καμαριών.

Επιπλέον, η κλίση στη μεγάλη καμάρα δίπλα από το ηχείο δημιουργείται για να καταφέρουμε απόκλιση για πρίμα, δηλαδή να έχουμε πιο πολύ έμφαση στις μεσαίες και κυρίως στις ψηλές συχνότητες. Επειδή ο τζουράς είναι όργανο με μικρό ηχείο και περιορισμένο όγκο ήχου δίνεται έμφαση στις ψηλές συχνότητες για να μπορεί να ξεχωρίσει. Στην Εικόνα 2.26 βλέπουμε την κλίση αυτή της καμάρας.



Εικόνα 2.26 Κλίση μεγάλης καμάρας.

Για να δημιουργηθεί η κλίση στην καμάρα από το κέντρο έγινε μετατόπιση 2,5 mm και στις δύο πλευρές (Εικόνα 2.26). Στην εικόνα 2.27 φαίνεται και η πραγματική φωτογραφία όπου με μολύβι φαίνεται χαραγμένη η κλίση ως προς την ευθεία.



Εικόνα 2.27 Καπάκι με μεγάλη καμάρα.

Μετά τις κολλήσεις (εικόνα 2.28) οι δύο μεγάλες καμάρες έχουν τις αποστάσεις μεταξύ τους που φαίνονται στην Εικόνα 2.29.





Εικόνα 2.28 Κολλήσεις καμαριών σε καπάκι.

Το στήριγμα, τόξο στην εικόνα 2.29, είναι για την ένωση, αλλά και γενικά για να είναι το καπάκι ανθεκτικό και για να αντέχει υψηλή τάση.



Εικόνα 2.29 Στήριγμα και αποστάσεις καμαριών.

Στη συνέχεια τρίψαμε το σκάφος στη πάνω μεριά και χαράξαμε 6 μικρές αυλακώσεις που θα εφαρμοστούν μέσα οι καμάρες με αποτέλεσμα να γίνει σωστή κόλληση στο καπάκι (Εικόνα 2.30).



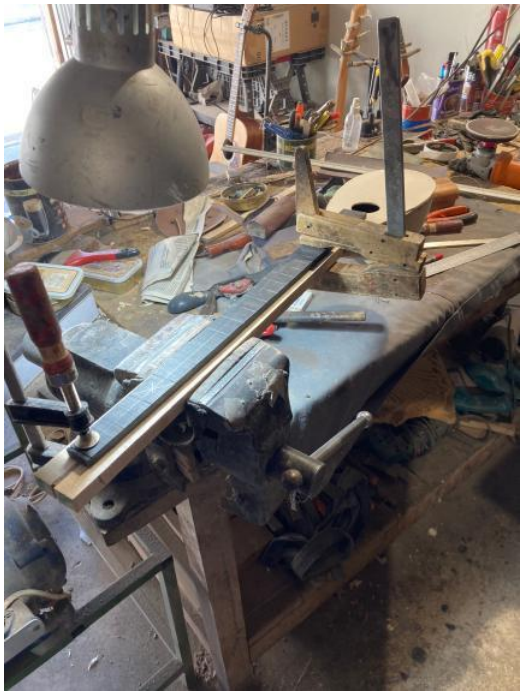
Εικόνα 2.30 Τρίψιμο σκάφους, χάραξη αυλακώσεων, κόλληση με καπάκι.

Μετά την αναμονή του να στεγνώσει το καπάκι πραγματοποιήθηκε τρίψιμο του μάνικου και του καπακιού ώστε να είναι στο ίδιο επίπεδο, ενώ παράλληλα ελέγχαμε και την κλίση με ένα χάρακα (Εικόνα 2.31).



Εικόνα 2.31 Τρίψιμο μάνικου και καπακιού, έλεγχος κλίσης με χάρακα.

Όταν ήρθε στο ίδιο επίπεδο το μάνικο με το καπάκι πετυχαίνοντας λεία επιφάνια και σωστές κλίσεις, τοποθετήσαμε προσωρινά τη ταστιέρα για να χαράξουμε με μολύβι τη θέση της (Εικόνα 2.32).




Εικόνα 2.32 Προσωρινή τοποθέτηση ταστιέρας.

Στη συνέχεια ξεκίνησε η δημιουργία του καράουλου (εικόνα 2.33).





Εικόνα 2.33 Δημιουργία του καράουλου.

Για το καράουλο χρησιμοποιήσαμε ξύλο alder το οποίο τοποθετήθηκε και κολλήθηκε στη κλίση του μάνικου όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.34.



Εικόνα 2.34 Κόλληση καράουλου στην κλίση του μάνικου.

Την ίδια ώρα κόψαμε μικρά ξύλα καρυδιάς για τη δημιουργία του κορδονιού το οποίο μπαίνει γύρω από το καπάκι και το σκάφος (Εικόνα 2.35).



Εικόνα 2.35 Δημιουργία κορδονιού.

Να σημειωθεί ότι τα κορδόνια μπήκαν μέσα σε νερό για μερικές ώρες για να μπορέσουμε να τους δώσουμε το σχήμα που χρειάζεται και επίσης ανάμεσα από το κορδόνι και το καπάκι για να πραγματοποιηθεί η κόλληση τοποθετήθηκε ένα πολύ λεπτό φύλλο σφενταμιού (Εικόνα 2.36).



Εικόνα 2.36 Χρήση λεπτού φύλλου σφενταμιού για την κόλληση του κορδονιού στο καπάκι.

Οπότε το όργανο πήρε την μορφή που παρουσιάζεται στην εικόνα 2.37.



Εικόνα 2.37 Ο τζουράς πριν την τοποθέτηση της ταστιέρας.

Ιδανικά μετά από τρείς μέρες όπου αφήσαμε τις κολλήσεις να στεγνώσουν πλανιάραμε την ένωση του καράουλου με το μάνικο για να κολλήσουμε τη ταστιέρα (Εικόνα 2.38).



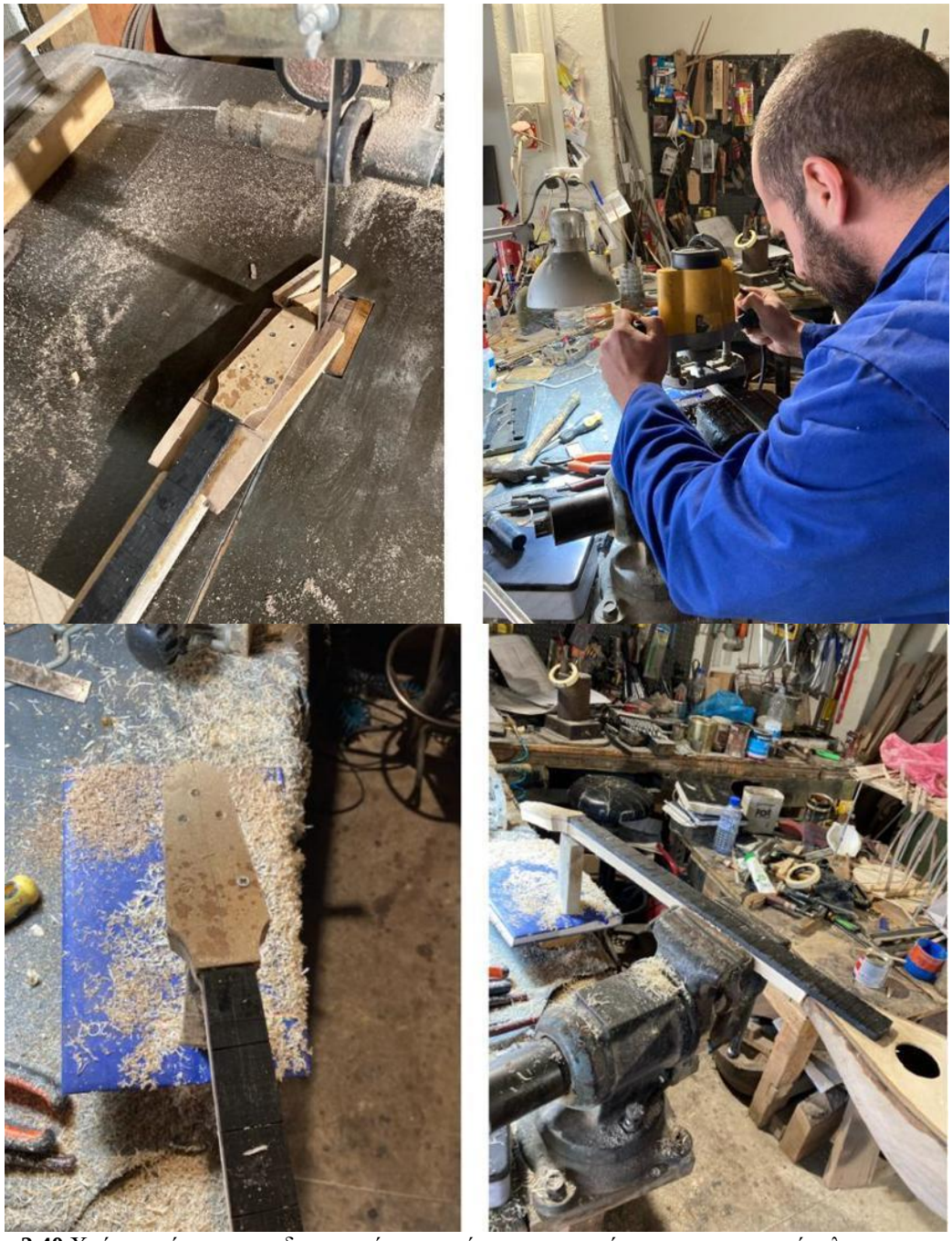
Εικόνα 2.38 Κόλληση ταστιέρας.

Αφού κόλλησε και η ταστιέρα ξεκίνησε η διαδικασία να δοθεί μορφή στο μάνικο και το καράουλο. Ξεκινώντας από το καράουλο, βάλαμε ξύλο καρυδιάς από πάνω και στη συνέχεια μια μόλα για το τελικό σχήμα του. Οι τρύπες που έχει η μόλα αποτελούν και ενδεικτικά σημάδια για να μπουν ακριβώς εκεί μετά τα κλειδιά.



Εικόνα 2.39 Μορφοποίηση μάνικου και καράουλου.

Στη συνέχεια κόπηκε με ρούτερ το περίγραμμα όλου του μάνικου και του καράουλου για να ξεκινήσουμε να του δίνουμε το σχήμα του (Εικόνα 2.40).



Εικόνα 2.40 Χρήση ρούτερ για τη δημιουργία περιγράμματος του μάνικου και του καράουλου.

Τρίψαμε την ταστιέρα, χαράξαμε ξανά το κέντρο της και ανοίξαμε τρύπες στα τάστα (3 5 7 10 12 15 17 19 22 24) για να υποδεχτούν τη διακόσμηση. Τις τρύπες τις διακοσμήσαμε με όστρακα όπως βλέπουμε στις Εικόνες 2.41 και 2.42.



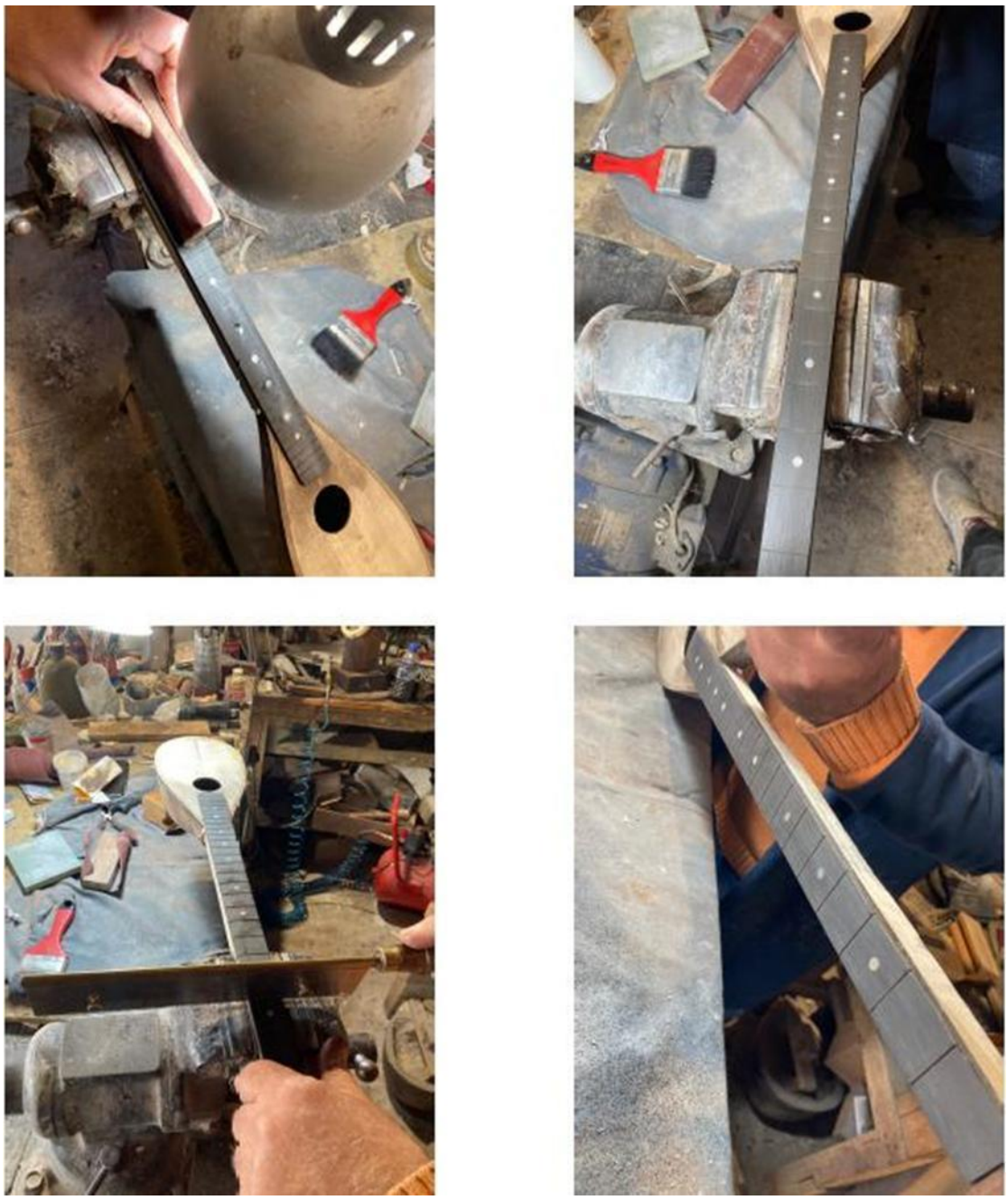

Εικόνα 2.41 Τριψιμο/Όστρακα.





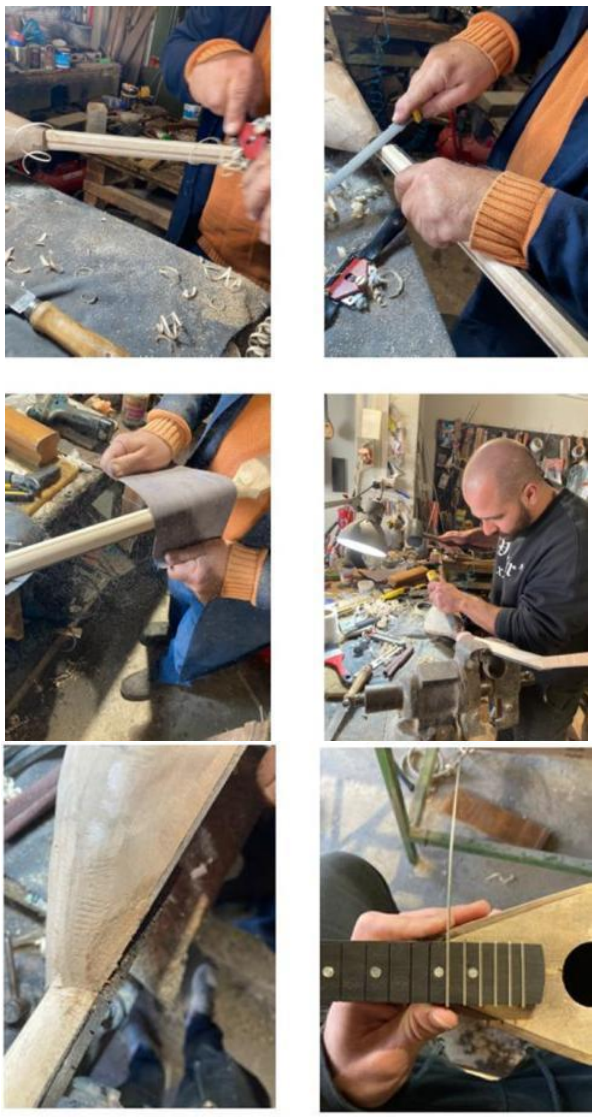

Εικόνα 2.42 Διακόσμηση ταστιέρας με όστρακα.

Για την κόλληση των οστράκων χρησιμοποιήσαμε αυτόματη κόλλα και μετά την κόλληση ξανατρίψαμε την επιφάνεια ούτως ώστε να γίνουν ένα τα όστρακα με την ταστιέρα. Επίσης ξαναχαράξαμε τα τάστα για το λόγο ότι χάθηκαν λίγο από το προηγούμενο τρίψιμο (Εικόνα 2.43).



Εικόνα 2.43 Κόλληση, τρίψιμο οστράκων στην ταστιέρα και χάραξη ξανά των τάστων.

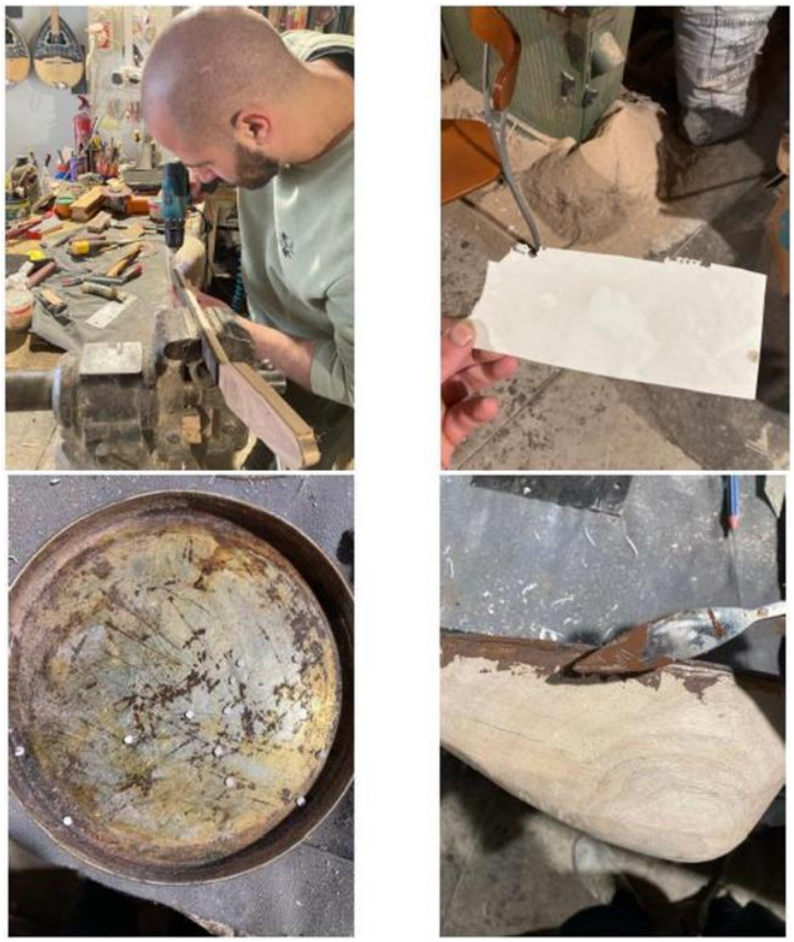
Ενώ το όργανο ξεκίνησε να παίρνει τη μορφή του, τα επόμενα βήματα ήταν να δώσουμε τελικά το σχήμα του μάνικου και να μπουν τα λεπτά σιδερένια χωρίσματα ανάμεσα στις χαράξεις των τάστων (Εικόνα 2.44).





Εικόνα 2.44 Τελικό σχήμα μάνικου με τα μεταλλικά χωρίσματα των τάστων.

Έπειτα έγινε επιδιόρθωσή ατελειών με στόκο και τοποθέτηση των διακοσμητικών αλλά και βοηθητικών τελειών από πλαστικό για την ανάδειξη των τάστων (Εικόνα 2.45).






Εικόνα 2.45 Επιδιόρθωσή ατελειών με στόκο και τοποθέτηση των διακοσμητικών αλλά και βοηθητικών τελειών από πλαστικό για την ανάδειξη των τάστων.

Στη συνέχεια διαλέξαμε τα κλειδιά που θα βάζαμε και με μια πρόχειρη βάση κλειδιών ανοίξαμε τις τρύπες (Εικόνα 2.46).

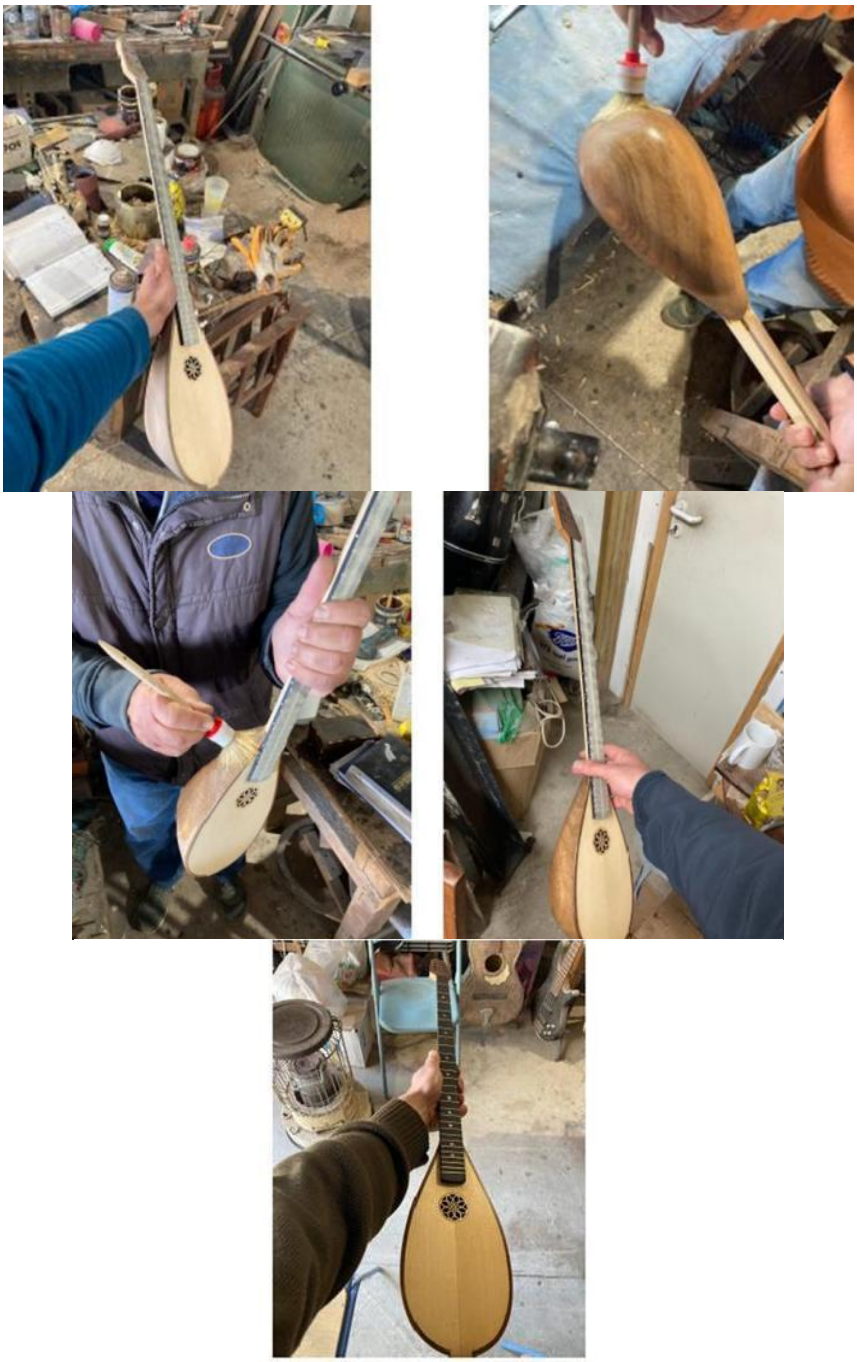






Εικόνα 2.46 Επιλογή κλειδιών-Άνοιγμα τρυπών.

Τέλος τρίψαμε τα στοκαρίσματα και ξεκίνησε η διαδικασία για το λούστρο (Εικόνα 2.47). Για τα λούστρα χρησιμοποιήσαμε απλό βερνίκι και μια μίξη λαδιού με κερί. Το πρώτο λούστρο έγινε με το βερνίκι και τα υπόλοιπα με το λάδι. Έγιναν 5 λούστρα με διαφορά 3 με 5 ημερών μέχρι να απορροφήσει το ξύλο το λάδι, ώστε να ξαναβάλουμε μέχρι να έρθει στην τελική του μορφή.



Εικόνα 2.47 Λουστράρισμα οργάνου.

Το μόνο που έμεινε ήταν να μπουν τα κλειδιά, ο μεγάλος και μικρός καβαλάρης, η χορδιέρα και οι χορδές. Το μήκος του μεγάλου καβαλάρη είναι 7,3 cm, και το πλάτος 4,5 mm. Επίσης οι διπλές χορδές έχουν μεταξύ τους 2,5 mm απόσταση. Ο μεγάλος καβαλάρης και ο τελικός τζουράς φαίνονται στην εικόνα 2.48.



Εικόνα 2.48 Καβαλάρης (πάνω) και τελικός τζουράς (κάτω).

Επιπλέον, για τη μελέτη των δονητικών χαρακτηριστικών που θα πραγματοποιηθεί, κατασκευάσαμε επίσης 3 επιπλέον καπάκια (Εικόνα 2.49) τα οποία θα μελετηθούν μαζί με τον τζουρά. Τα καπάκια κατασκευάστηκαν ακριβώς με τον ίδιο τρόπο που παρουσιάστηκε κατά την κατασκευή του τζουρά με πάχος:

- Καπάκι 1 => 1,9 mm (0,5 mm πιο λεπτό από αυτό του τζουρά, βάρος 24γρ)
- Καπάκι 2 => 2,4 mm (αυτό που έχει ο ίδιος ο τζουράς, βάρος 32γρ)
- Καπάκι 3 => 2,9 mm (0,5 mm πιο παχύ από αυτό του τζουρά, βάρος 35γρ)



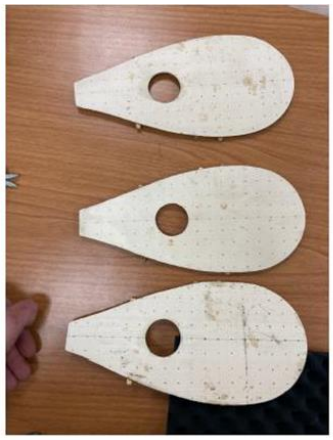
Εικόνα 2.49 Τρία καπάκια διαφορετικού πάχους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. Κρουστική απόκριση Τζουρά και Καπακιών

Για το συγκεκριμένο πείραμα της κρουστικής απόκρισης χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας που καταγράφει την απόκριση στη διέγερση που προκαλέσαμε με ένα μικρό σφυράκι κρούσης πάνω στα καπάκια και το όργανο.

3.1 Πειραματικές μετρήσεις κρουστικής απόκρισης

Η διέγερση του οργάνου έγινε από ένα σφυρί κρούσης (PCB, Model 086E80) και η απόκριση καταγράφηκε από ένα επιταχυνσιόμετρο (PCB, Model TLD352A56). Τα σήματα καταγράφηκαν από πολυαναλυτή πραγματικού χρόνου (OROS, Model OR34) και καταχωρήθηκαν σε Η/Υ [6,7]. Για τη διαδικασία αυτή ιδανικά θα έπρεπε να κτυπήσουμε σε όλο το εμβαδόν των καπακιών/τζουρά αλλά αυτό θα το πετυχαίναμε μόνο με κάποιου ίδιους ρομποτικό μηχάνημα οπότε χωρίσαμε τα καπάκια σε σημεία ανά 1,5 cm με αποτέλεσμα να έχουμε 114 περίπου σημεία στο κάθε καπάκι (Εικόνες 3.1-3.2) και στο τζουρά (Εικόνα 3.3) κοντά στα 80 σημεία για τον λόγο ότι κάποια σημεία του καπακιού τα χάνουμε λόγω της ύπαρξη της ταστιέρας, των χορδών και του καβαλάρη. Στην εικόνα 3.2 βλέπουμε τη στήριξη για τα καπάκια, ενώ ο τζουράς στηρίχθηκε στο μάνικο, κατά τη διάρκεια των μετρήσεων της κρουστικής απόκρισης αλλά και για τις μετρήσεις με τη συμβολομετρία ESPI που θα δούμε στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 3.1 Σημεία σε καπάκια.



Εικόνα 3.2 Βάση στήριξης των καπακιών. Φαίνεται και το επιταχυνσιόμετρο.



Εικόνα 3.3 Σημεία στο όργανο.

Σε κάθε σημείο σε όλα τα καπάκια και το όργανο γίνεται κρούση με το σφυράκι 10 φόρες ώστε το λογισμικό (NVGate) που χρησιμοποιούμε στον υπολογιστή να καταγράψει ένα μέσο όρο για να έχουμε στο τέλος τα αποτελέσματα των συχνοτικών αποκρίσεων.

3.2 Αποτελέσματα μετρήσεων κρουστικής απόκρισης

Στην εικόνα 3.4 φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων, όπου απεικονίζονται 5 συχνοτικές αποκρίσεις, για τα 3 καπάκια, για το καπάκι 2, των 2,4 mm πάχος, με ροδάντζα όπως για τον τζουρά.

Τα τρία καπάκια έχουν πάχη:

Καπάκι 1 => 1,9 mm

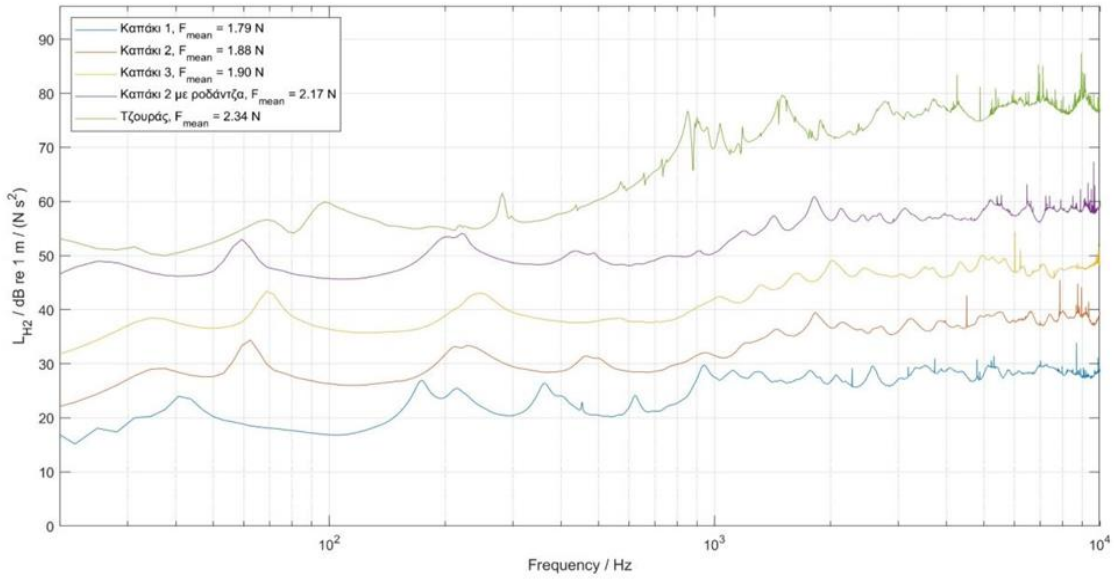
Καπάκι 2 => 2,4 mm

Καπάκι 3 => 2,9 mm

Γενικότερα για τον υπολογισμό των dB χρησιμοποιείται ο λόγος επιτάχυνσης/δύναμης με τιμή αναφοράς το 1 (m / s^2) / N :

$$A(\omega) = \frac{X(\omega)}{F(\omega)}(\frac{ms^{-2}}{N})$$

Στο ένθετο, πάνω αριστερά, της εικόνας 3.4 βλέπουμε το μέσο όρο της δύναμης F_{mean}, σε N, που ασκήθηκε με το σφυρί σε κάθε καπάκι και όργανο. Η στάθμη κάθε γραφικής παράστασης έχει μετατοπιστεί για λόγους ευκρίνειας και σύγκρισης.



Εικόνα 3.4 Κρουστική απόκριση

Σχετικά με τη δύναμη που ασκήθηκε στο κάθε καπάκι και στο όργανο βλέπουμε ότι στο λεπτό καπάκι ασκήθηκε ο λιγότερος μέσος όρος δύναμης και όσο μεγαλώνει το πάχος κάθε καπακιού αυξάνεται η δύναμη, ενώ σε ολόκληρο το όργανο ασκείται ο μεγαλύτερος μέσος όρος δύναμης. Αυτό ίσως οφείλεται στο ότι όσο πιο λεπτό είναι το ξύλο τόσο λιγότερη δύναμη χρειάζεται για να δονηθεί. Όσο για το καπάκι που είναι στο όργανο υπάρχουν δυο κύριοι λόγοι για το ότι δέχεται το μεγαλύτερο μέσο όρο δύναμης: Ο ένας είναι ότι καλύψαμε το καπάκι του όργανού με χαρτοταινία για να ζωγραφίσουμε τα σημεία και να μην υπάρξει κάποιού είδους γδάρσιμο στο όργανο με τη κρούση από το σφυρί με αποτέλεσμα αυτή η επιπλέον στρώση υλικού να εμποδίζει τη δύναμη. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι το καπάκι πλέον με το όργανο είναι ένα σώμα από τις κολλήσεις που πραγματοποιήθηκαν και αυτό έχει ως αποτέλεσμα, ειδικά στα άκρα του καπακιού που γίνεται η κόλληση, να είναι πιο σταθερό και συμπαγές με αποτέλεσμα για να δημιουργηθούν ταλαντώσεις στο ξύλο να χρειάζεται περισσότερη δύναμη.

Καπάκι 1: Στο καπάκι 1 βλέπουμε ένα μέγιστο πλάτος δόνησης κοντά στα 40 Hz περίπου, έπειτα ακολουθεί μια πτώση και μια αύξηση κοντά στα 180 Hz με 220 Hz. Συνεχίζοντας πάλι με μια μικρή πτώση παρατηρούμε ξανά κοντά στα 350 Hz μια άνοδο η οποία μειώνεται ομαλά μέχρι που αυξάνεται ξανά γύρω στα 620 Hz, αλλά έχοντας χαμηλότερο πλάτος δόνησης. Στη συνέχεια έχουμε μια αύξηση του πλάτος δόνησης στα 970 Hz και από εκείνο το σημείο και μετά βλέπουμε αυξομειώσεις κοντά στο ίδιο πλάτος δόνησης μέχρι και τα 10 kHz.

Καπάκι 2: Στο καπάκι 2 παρατηρείται μέγιστο πλάτος δόνησης κοντά στα 60 Hz, στα 210-240 και στα 460-490 Hz. Από τα 490 Hz μέχρι τα 1800 Hz περίπου παρατηρούμε μια ομαλή αύξηση του πλάτους δόνησης μέχρι τα 10 kHz με μικρές αυξομειώσεις.

Καπάκι 3: Στο καπάκι 3 το οποίο είναι και το πιο παχύ παρατηρούμε μέγιστο πλάτος δόνησης στα 70 Hz. Σε σχέση με τα προηγούμενα καπάκια η κύρια διαφορά είναι ότι στα 300 Hz με 800 Hz δεν έχουμε αύξηση του πλάτους δόνησης αλλά αντιθέτως μειώνεται μέχρι που αρχίζει να αυξάνεται ξανά από τα 800 Hz περίπου έως τα 2000 Hz. Από εκείνο το σημείο και μετά βλέπουμε το πλάτος να παραμένει σταθερό μέχρι τα 10 kHz με μικρές αυξομειώσεις.

Καπάκι 2 με ροδάντζα: Στο καπάκι 2 με ροδάντζα παρατηρούμε παρόμοια απόκριση με το καπάκι 2 έχοντας offset περίπου 5 Hz στη συχνότητα σε σχέση με το καπάκι 2, μέχρι τα 450 Hz περίπου. Για αυξανόμενη συχνότητα από τα 450 Hz και μετά το πλάτος δόνησης ακολουθεί παρόμοια συμπεριφορά σε σχέση με το καπάκι 2 χωρίς ροδάντζα ή ίσως υπάρχει ελάχιστη διαφορά που δεν φαίνεται ξεκάθαρα.

Τζουράς: Στο τζουρά υπάρχει μέγιστο πλάτος δόνησης στα 70 Hz και μεγαλύτερο πάτος δόνησης κοντά στα 95 Hz. Μετά τα 95 Hz υπάρχει μείωση του πλάτους μέχρι που συναντάμε μέγιστο στα 270 Hz περίπου, με λίγο μεγαλύτερο πλάτος δόνησης από τα 95 Hz. Από εκείνο το σημείο και μετά υπάρχει μια σταθερή αύξηση του πλάτους έως τα 850 Hz με απότομη πτώση του πλάτους και έπειτα ξανά αύξηση στο ίδιο πλάτος περίπου στα 900 Hz. Μεταξύ 900-1000 Hz υπάρχει μια αυξομείωση του πλάτους δόνησης. Στη συνέχεια συναντάμε κορυφές στα 1250 Hz και 1450 Hz περίπου. Έπειτα παρατηρούμε μια πτώση του πλάτους δόνησης και ένα μέγιστο περίπου στα 1750 Hz. Από εκείνο το σημείο και μετά υπάρχει μια ομαλή αύξηση του πλάτους μέχρι τα 2750 Hz και στη συνέχεια το ίδιο πλάτος παρατηρείται με μικρές αυξομειώσεις μέχρι και τα 10 kHz.

3.3 Συμπεράσματα μετρήσεων κρουστικής απόκρισης

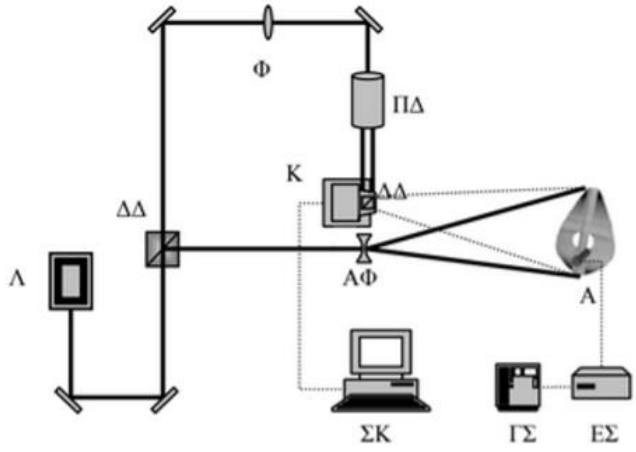
Στο καπάκι 1 παρατηρείται ότι το πλάτος δόνησης του, σε σχέση με τα άλλα καπάκια, τείνει προς χαμηλότερες συχνότητες (διαφορά 20-30 Hz). Στα 1000 Hz έχει σχεδόν το ίδιο πλάτος δόνησης που φθάνει μέχρι τα 10 kHz, ενώ στα άλλα καπάκια στα 1000 Hz το πλάτος δόνησης ξεκινά να αυξάνεται σιγά σιγά. Γενικά, το πάχος αυτού του καπακιού (1.9 mm) είναι πολύ καλό για τις χαμηλές συχνότητες. Ωστόσο, για τον συγκεκριμένο τζουρά που θα παίζει σε μεσαίες και ψηλές συχνότητες, δεν είναι το ιδανικότερο. Ένα τέτοιου είδους καπάκι με αυτό το πάχος θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε όργανα με χαμηλότερες συχνότητες, όπως λαούτο, μπουζούκι ή κιθάρα, για παράδειγμα.

Στο καπάκι 2, που είναι και το καπάκι του τζουρά, παρατηρούνται διαφορές σε σχέση με το καπάκι 1, όπως το ότι είναι πολύ πιο ομαλό στις μεσαίες συχνότητες. Γενικά, το καπάκι 2, εξαιτίας του ότι το ακούσαμε στην πραγματικότητα, μπορεί να ειπωθεί με σιγουριά ότι έχει τις κατάλληλες δονήσεις για το συγκεκριμένο όργανο.
Η δονητική συμπεριφορά του καπακιού 3 δεν διαφέρει πολύ από το καπάκι 2. Οι κύριες διαφορές είναι ότι στο φάσμα συχνοτήτων έχει λίγες υψηλές συχνότητες, και μια μικρή ακόμα διαφορά είναι ότι στις μεσαίες συχνότητες χάνουμε μια κορυφή σε σχέση με το καπάκι 2. Το καπάκι 3, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε τζουρά. Απλά, θεωρητικά, θα χάναμε λίγη από τη ζεστασιά που προσφέρουν οι μεσαίες συχνότητες, αλλά θα κερδίζαμε κάποιες ψηλές συχνότητες.
Στο καπάκι 2 με ροδάντζα παρατηρείται διαφορά 5 Hz offset σε σχέση με το καπάκι 2. Μια σημαντική διαφορά είναι ότι ο μέσος όρος της δύναμης όπου ασκήθηκε είναι λίγο μεγαλύτερος στο καπάκι αυτό σε σχέση με το 2. Αυτό σημαίνει ότι χρειάστηκε να ασκηθεί πιο μεγάλη δύναμη στο καπάκι. Ως αποτέλεσμα, καταλαβαίνουμε ότι η ροδάντζα διαδραματίζει κάποιο ρόλο στη δόνηση του ξύλου. Η ροδάντζα προσθέτει ένα κράτημα στο καπάκι, ειδικά γύρω από το ηχείο όπου είναι τοποθετημένη.
Τέλος ο τζουράς παρουσιάζει εντελώς διαφορετικά αποτελέσματα από τα καπάκια. Οι συντονισμοί παρατηρούνται σε διαφορετικό συχνοτικό εύρος. Μεταξύ 800-2000 Hz βλέπουμε αρκετές αρμονικές που στα καπάκια γενικά δεν παρατηρούνται. Το καπάκι σε συνδυασμό με το ολικό όργανο, και λόγω των διαφορετικών συνθηκών στήριξης για την υλοποίηση του πειράματος, παρουσιάζει διαφορετική δονητική συμπεριφορά. Παρατηρήθηκε ότι το κάθε καπάκι ανταποκρίνεται καλύτερα σε συγκεκριμένες συχνότητες και συνεπώς μπορούμε να τοποθετήσουμε το ανάλογο καπάκι στο όργανο μας με βάση το συχνοτικό εύρος που θέλουμε να προσεγγίσουμε.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Μετρήσεις με ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων (ESPI)

Οι τελικές πειραματικές μετρήσεις που υλοποιήσαμε ήταν με τη χρήση της ηλεκτρονικής συμβολομετρίας ψηφίδων (ESPI) [6-8] για να εξεταστούν τα καπάκια και το όργανο ως προς τα δονητικά τους χαρακτηριστικά. Ξεκινώντας με το πείραμα αυτό θα πρέπει να έχουμε συγκεκριμένο φωτισμό στο χώρο για κάθε φορά που θα κάνουμε τις μετρήσεις γιατί η διάταξη χρησιμοποιεί laser και κάμερα. Επίσης όλα όσα χρειάστηκε να μετρήσουμε (τα καπάκια και το όργανο) ήταν πάντα τοποθετημένα στο ίδιο σημείο για να μπορούμε να έχουμε σωστές εικόνες και με ίδιο μέγεθος και φωτισμό. Η διάταξη της ESPI που παρουσιάζεται στην εικόνα 4.1 είναι ουσιαστικά μια διάταξη με συνεχές laser (532 nm) όπου η δέσμη του laser διαχωρίζεται αρχικά από ένα διαχωριστή δέσμης και στη συνέχεια αντανακλάται από καθρέπτες. Η μια δέσμη έχει στο τέλος ένα σύστημα φακών και φωτίζει το αντικείμενο μας με αποτέλεσμα να φαίνεται το αντικείμενο στο χρώμα του laser (πράσινο) με την κοκκίδωση που δίνει το φως του. Η δεύτερη δέσμη, δέσμη αναφοράς (reference) κατευθύνεται με καθρέπτες σε κάμερα που έχει τη δυνατότητα να καταγράφει το είδωλο του φωτισμένου αντικειμένου και ταυτόχρονα να καταγράφει και τη δέσμη αναφοράς. Η κάμερα είναι συνδεμένη με τον υπολογιστή όπου γίνεται επεξεργασία της εικόνας και το αποτέλεσμα το βλέπουμε στην οθόνη του υπολογιστή. Τέλος έχουμε ένα ηχείο το οποίο είναι συνδεμένο με γεννήτρια ήχου και ηχοβολεί το αντικείμενο με συγκεκριμένες συχνότητες.

4.1 Πειραματική διάταξη και αποτελέσματα μετρήσεων ESPI



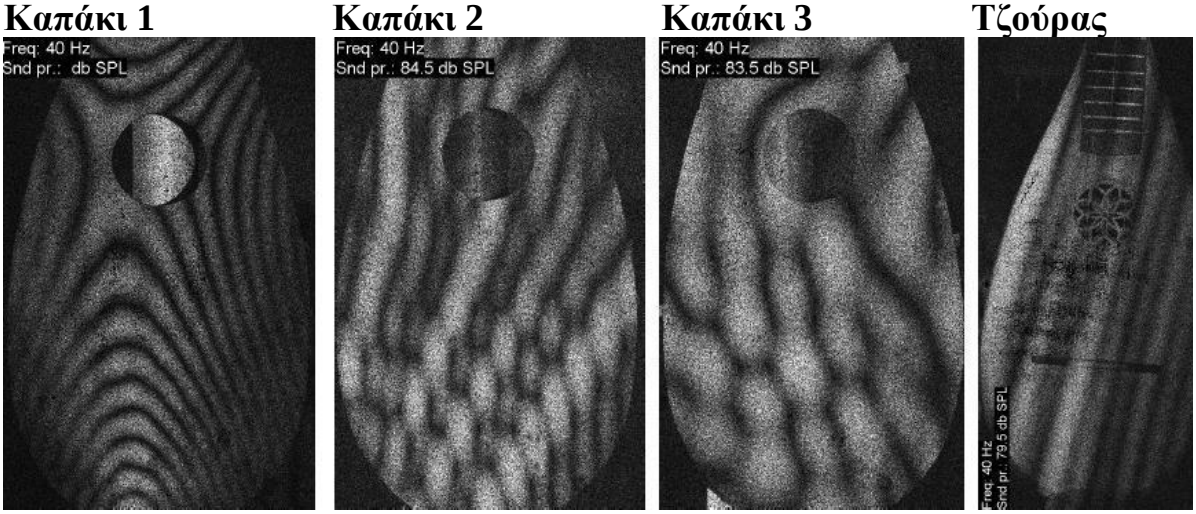
Πειραματική διάταξη ESPI: Λ-λέιζερ, ΔΔ-διαχωριστής δέσμης, Φ-φίλτρο μεταβλητής απορρόφησης, ΠΔ-παραλληλοποιητής δέσμης, Κ-κάμερα CCD, ΑΦ-αποκλίνων φακός, Α-αντικείμενο, ΣΚ-σύστημα καταγραφής, ΓΣ-γεννήτρια συχνοτήτων, ΕΣ-ενισχυτής σήματος.

Εικόνα 4.1 Πειραματική διάταξη

Με αυτό το πείραμα δύναται να καταγράφουμε και να βλέπουμε τους κανονικούς τρόπους δόνησης και τις ιδιομορφές στα καπάκια και το όργανο, τα όποια είναι οι κατανομές των δονήσεων ανάλογα με το τι συχνότητα το ηχοβολούμε και εμφανίζονται σαν σχηματισμοί με άσπρες και μαύρες γραμμές (κροσσοί). Οι ιδιομορφές όσο ανεβαίνουμε σε συχνότητα γίνονται πιο πολύπλοκες ενώ όσο πιο πυκνοί είναι οι κροσσοί σημαίνει ότι έχουμε μεγαλύτερο πλάτος δόνησης.

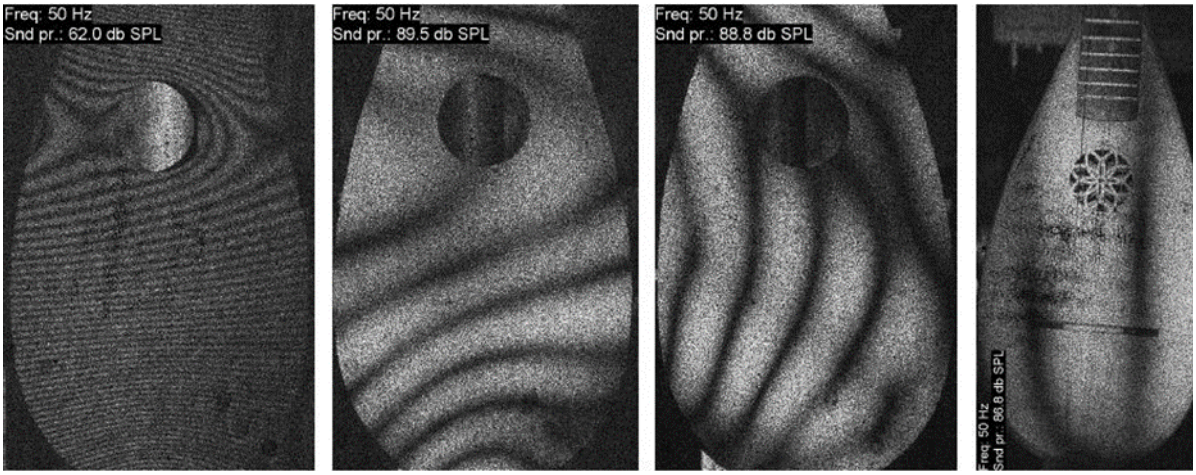
Στη συνέχεια παρουσιάζονται ενδεικτικές εικόνες συντονισμών από τα καπάκια 1,2,3 στις τρεις πρώτες στήλες και στον τελικό ολοκληρωμένο τζουρά στην τελευταία στήλη, όπως δηλώνεται στην εικόνα 4.2 και ξεκινώντας από τα 40 Hz μέχρι τα 2.5 kHz.

Ξεκινώντας στα 40 Hz (Εικόνα 4.2) παρατηρούμε ότι υπάρχει συντονισμός στο καπάκι 1, ενώ στα υπόλοιπα έχουμε την συνολική κίνηση του οργάνου.



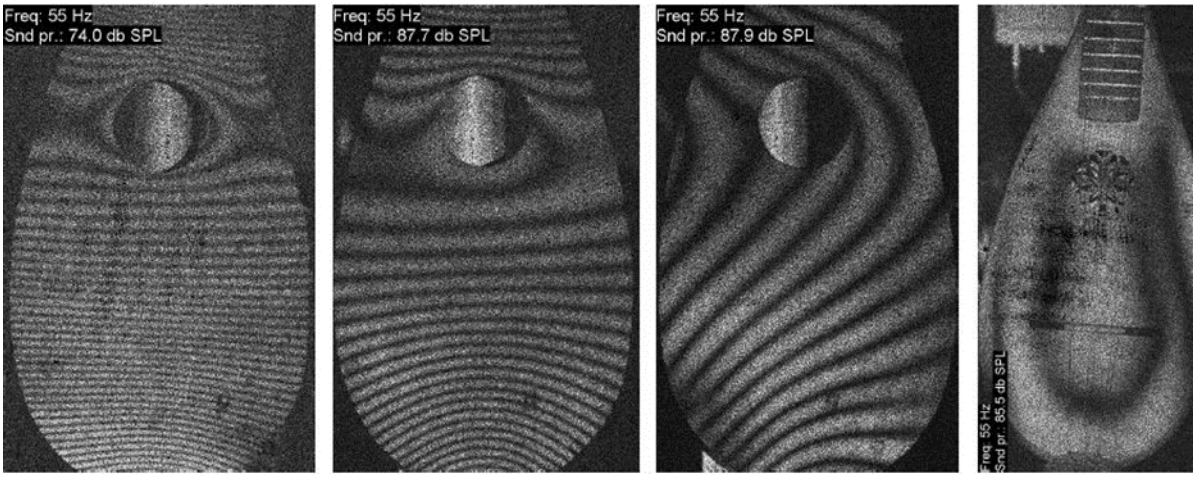
Εικόνα 4.2 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 40 Hz.

Στα 50 Hz (Εικόνα 4.3) βλέπουμε το καπάκι 1 να συντονίζεται στο μέγιστο πλάτος δόνησης του (0,1) τρόπου δόνησης, ενώ έχουμε την αρχή δημιουργίας τρόπου δόνησης του (0,1) στα καπάκια 2 και 3 και του (1,1) στον τζουρά.



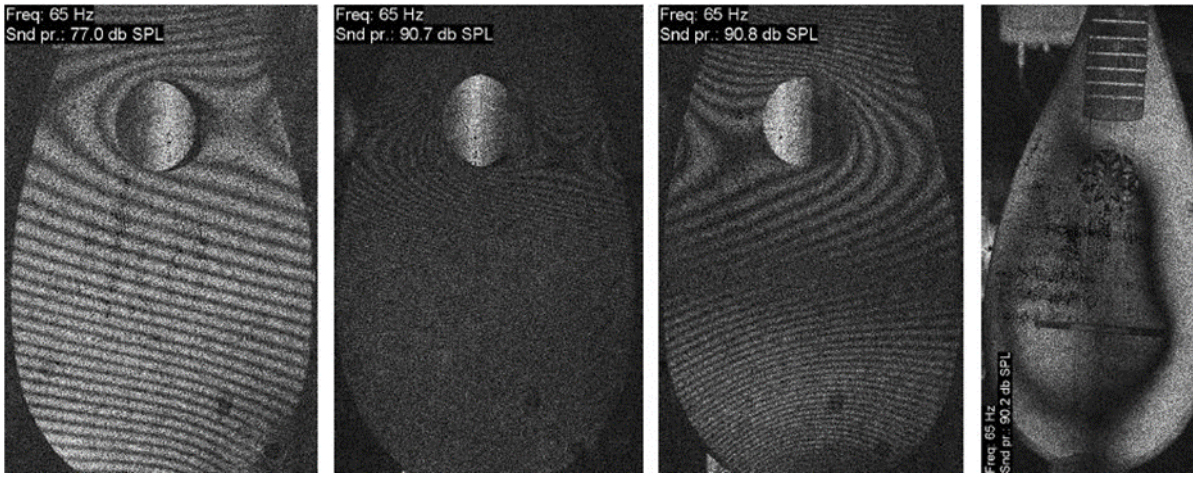
Εικόνα 4.3 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 50 Hz.

Στα 55 Hz (Εικόνα 4.4) βλέπουμε το συντονισμό στο καπάκι 1 να εξασθενεί, ενώ στα καπάκια 2 και 3 έχουμε μεγαλύτερο πλάτος.



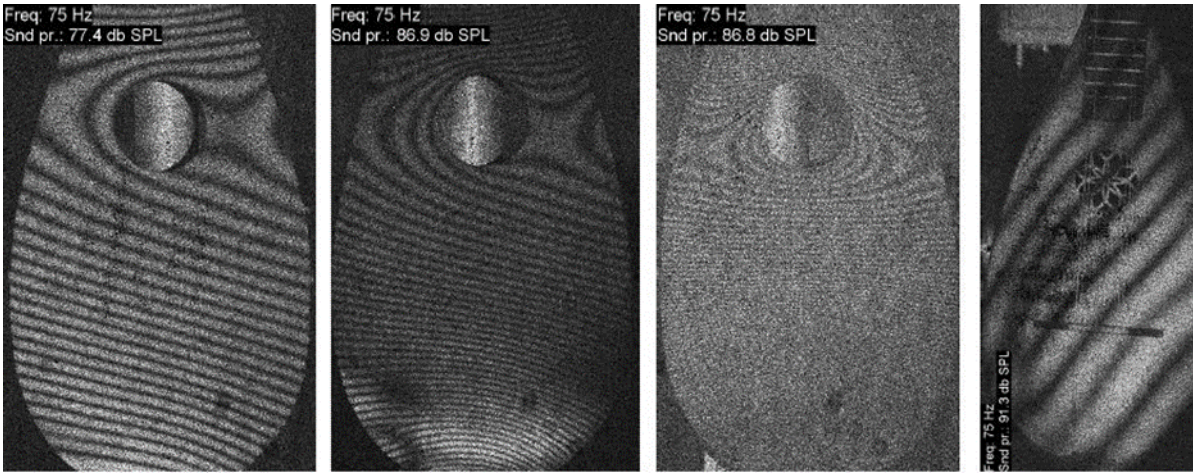
Εικόνα 4.4 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 55 Hz.

Συνεχίζοντας στα 65 Hz (Εικόνα 4.5), το καπάκι 2 έχει το μέγιστο του συντονισμού, στο καπάκι 1 έχουμε εξασθένηση και το καπάκι 3 αύξηση της ταλάντωσης. Στον τζουρά αρχίζει να αλλοιώνεται ο τρόπος δόνησης (1,1).



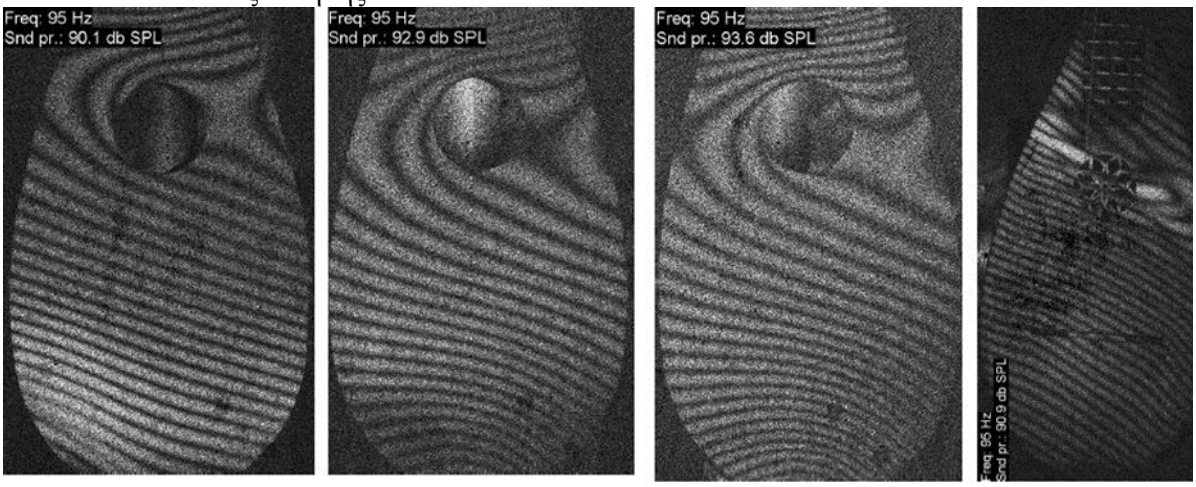
Εικόνα 4.5 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 65 Hz.

Στα 75 Hz (Εικόνα 4.6) βλέπουμε το μέγιστο πλάτος δόνησης στο καπάκι 3, ενώ στα υπόλοιπα δύο καπάκι αραιώνει η πυκνότητα των κροσσών. Στο τζουρά έχουμε την έναρξη του τρόπου δόνησης (0,1).



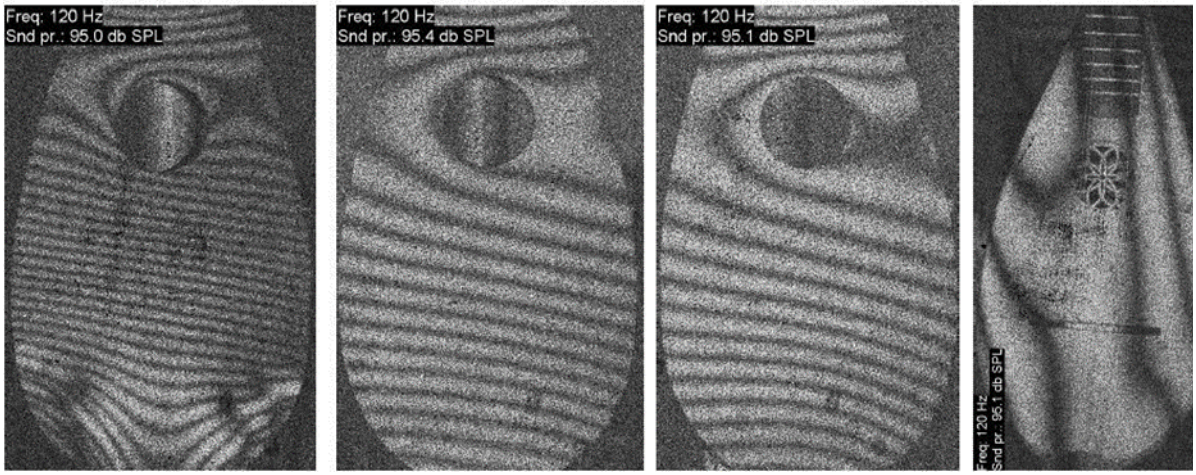
Εικόνα 5.6 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 75 Hz.

Στα 95 Hz (Εικόνα 4.7) έχουμε το μέγιστο του συντονισμού για τον τζουρά, ενώ στα καπάκια, ελαττώνεται το πλάτος δόνησης.

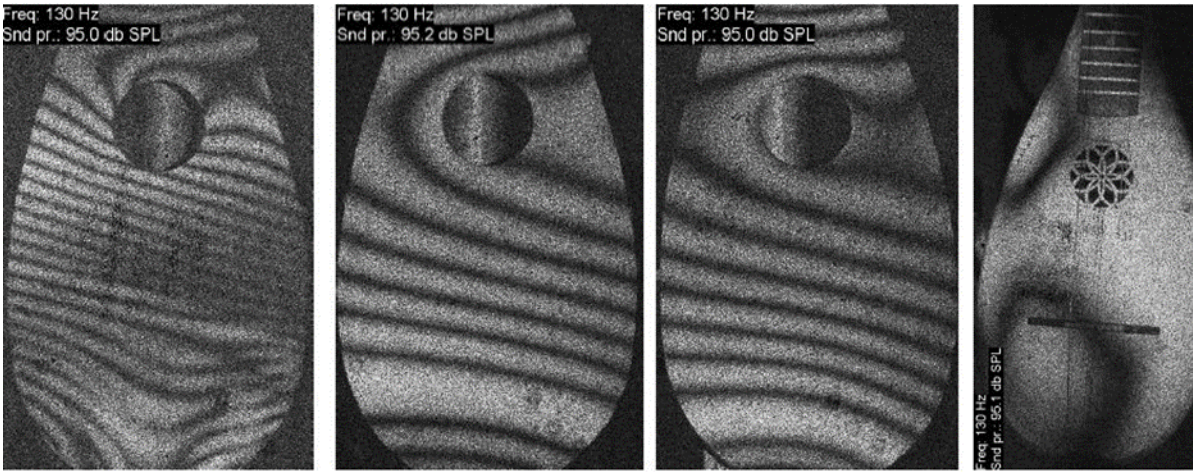


Εικόνα 4.7 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 95 Hz.

Συνεχίζοντας στα 120 Hz (Εικόνα 4.8) έχουμε το μέγιστο του τρόπου δόνησης (2,2) για το καπάκι 1, ενώ στα υπόλοιπα καπάκια μειώνεται η πυκνότητα και το πλάτος ταλάντωσης. Στον τζουρά εμφανίζεται ο (1,2) τρόπος δόνησης. Στα 130 Hz (Εικόνα 4.9), στα καπάκια συνεχίζεται η μείωση της δόνησης.

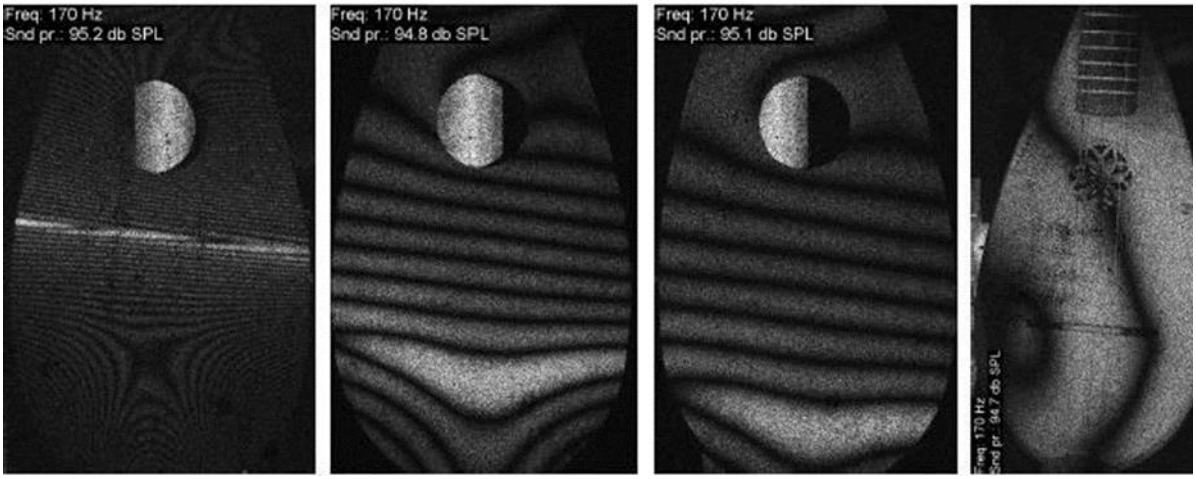


Εικόνα 4.8 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 120 Hz.



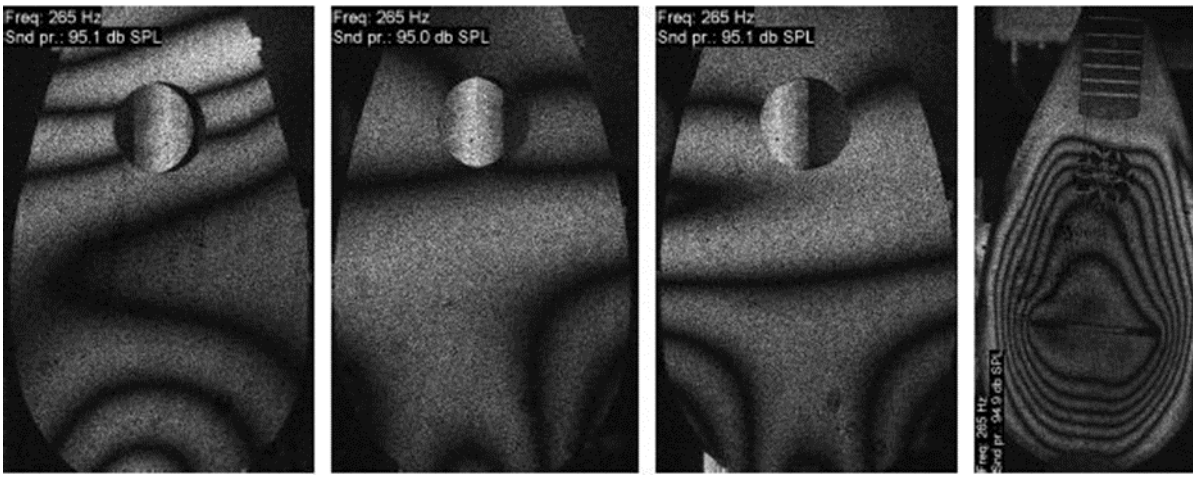
Εικόνα 4.9 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 130 Hz.

Συνεχίζοντας στα 170 Hz (Εικόνα 4.10), έχουμε το μέγιστο του συντονισμού για το καπάκι 1, ενώ στα καπάκια 2 και 3 βλέπουμε τη δημιουργία επόμενων συντονισμών (2,2).



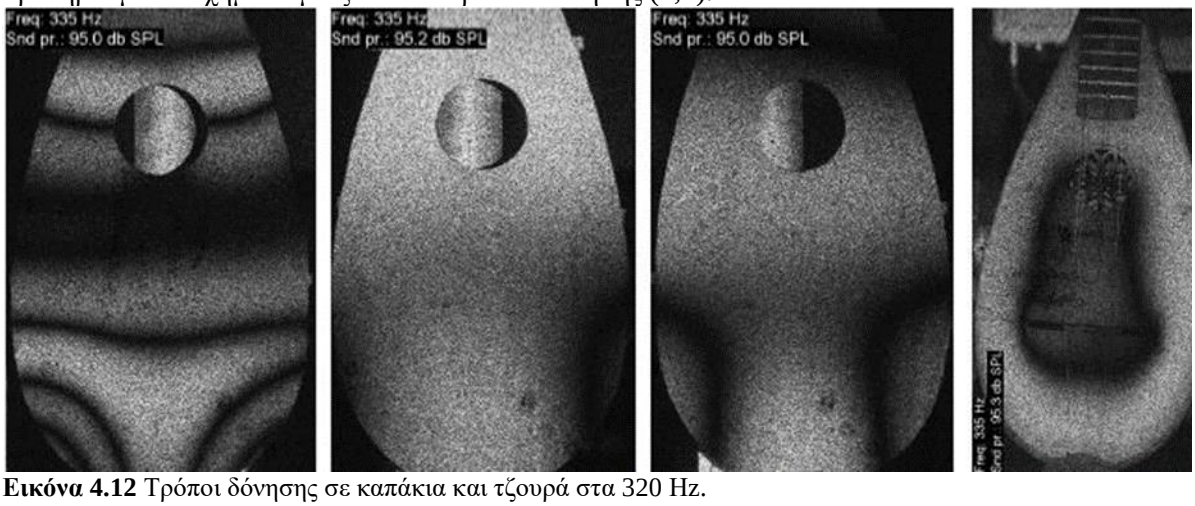
Εικόνα 4.10 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 170 Hz.

Συνεχίζοντας στα 265 Hz (Εικόνα 4.11), στα καπάκια 2, 3 παρατηρούμε τον τρόπο δόνησης (2,2) και στο καπάκι 1 του (1,2). Στο τζουρά έχουμε τη μετάβαση σε επόμενο συντονισμό (1,1).



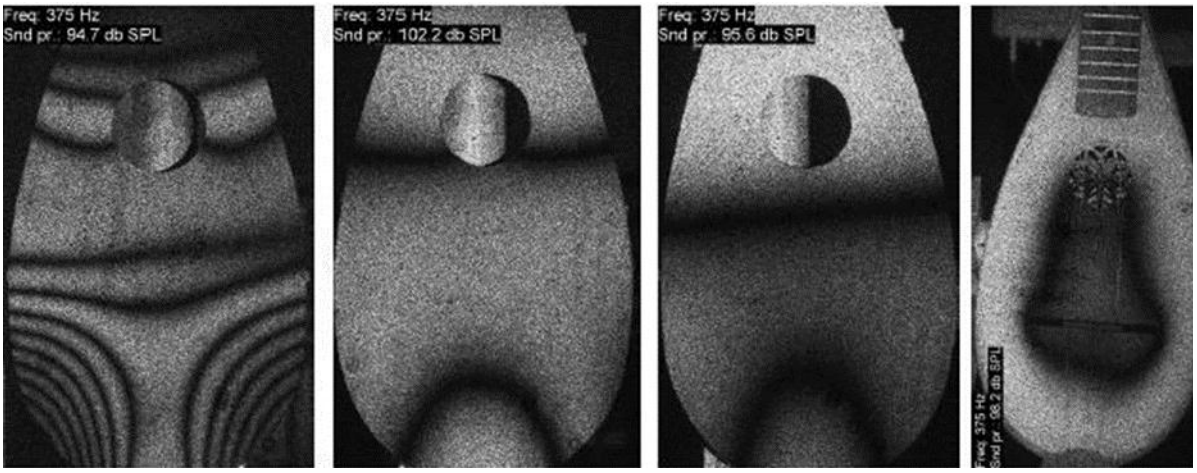
Εικόνα 4.11 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 265 Hz.

Στο τζουρά μετά στα 320 Hz (Εικόνα 4.12) βλέπουμε ότι η δόνηση του μειώνεται. Στο καπάκι 1 παρατηρούμε το σχηματισμό ξανά του τρόπου δόνησης (2,2).



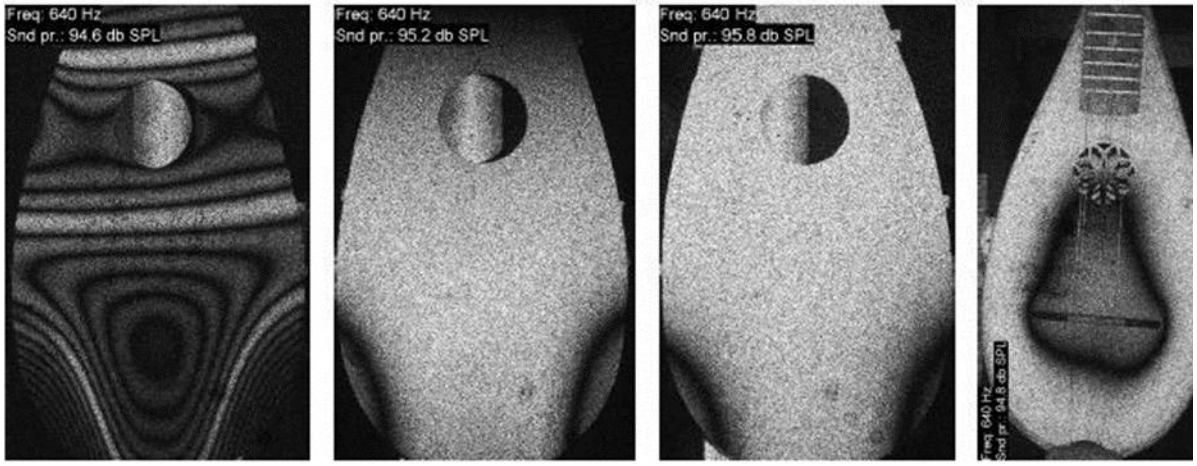
Εικόνα 4.12 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 320 Hz.

Συνεχίζοντας στα 375 Hz (Εικόνα 4.13) βλέπουμε το μέγιστο του συντονισμού στο καπάκι 1, ενώ στα καπάκια 2, 3 και το τζουρά έχουμε μικρό πλάτος δόνησης.



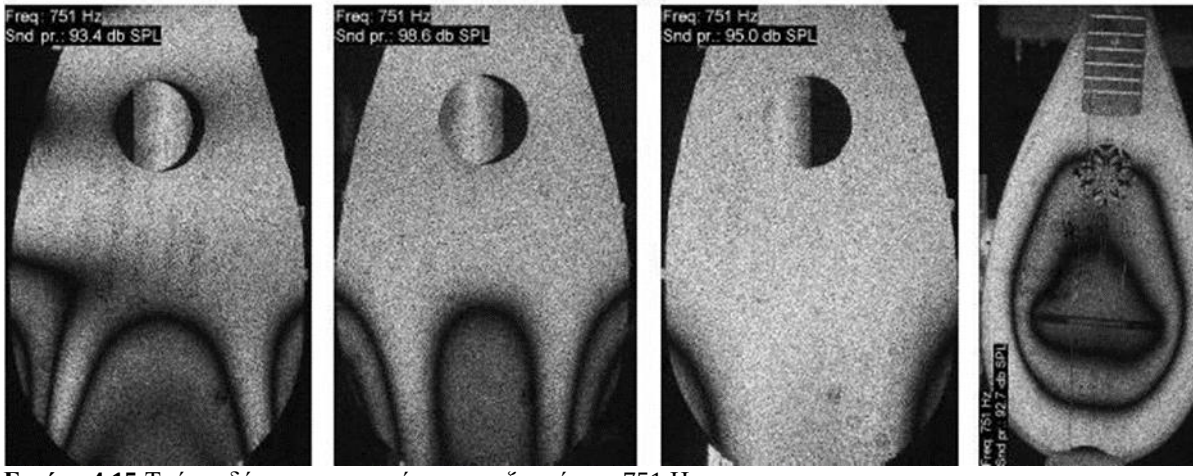
Εικόνα 4.13 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 375 Hz.

Στα 640 Hz (Εικόνα 4.14) βλέπουμε το μέγιστο πλάτος του τρόπου δόνησης (3,2) στο καπάκι 1.



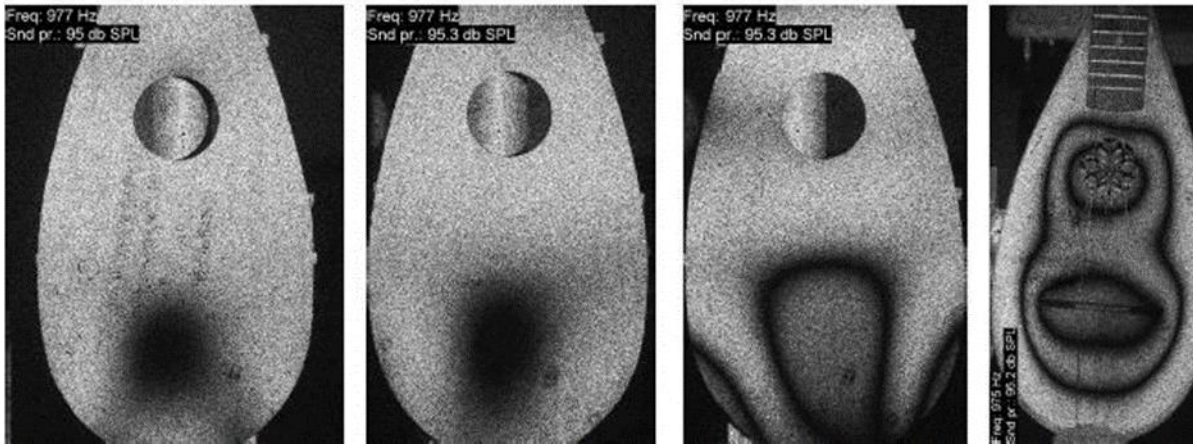
Εικόνα 4.14 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 640 Hz.

Στα 751 Hz (Εικόνα 4.15) βλέπουμε το μέγιστο του συντονισμού στο καπάκι 2 για το τρόπο δόνησης (3,2).



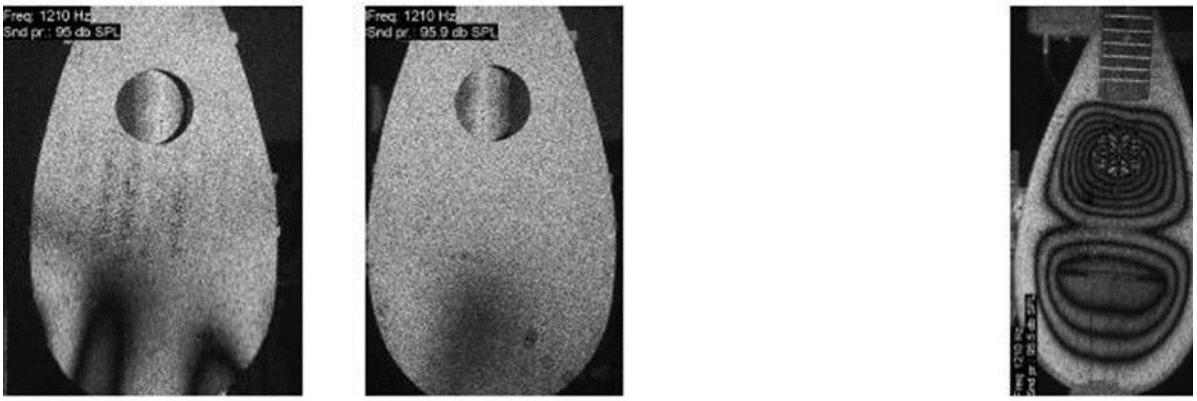
Εικόνα 4.15 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 751 Hz

Στα 977 Hz (Εικόνα 4.16) παρατηρούμε τη δημιουργία του επόμενου τρόπου δόνησης (1,2) για το τζουρά.



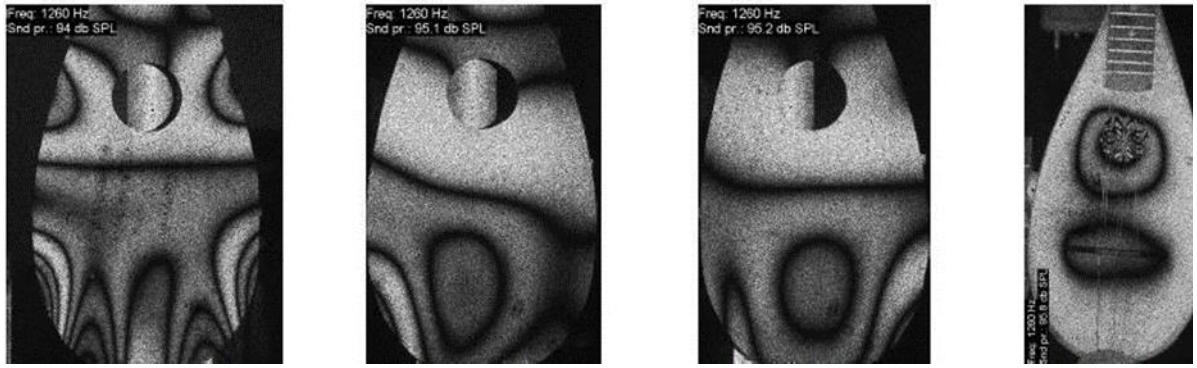
Εικόνα 4.16 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 977 Hz

Στα 1210 Hz (Εικόνα 4.17) παρατηρούμε το μέγιστο πλάτος του τρόπου δόνησης (1,2) για το τζουρά.



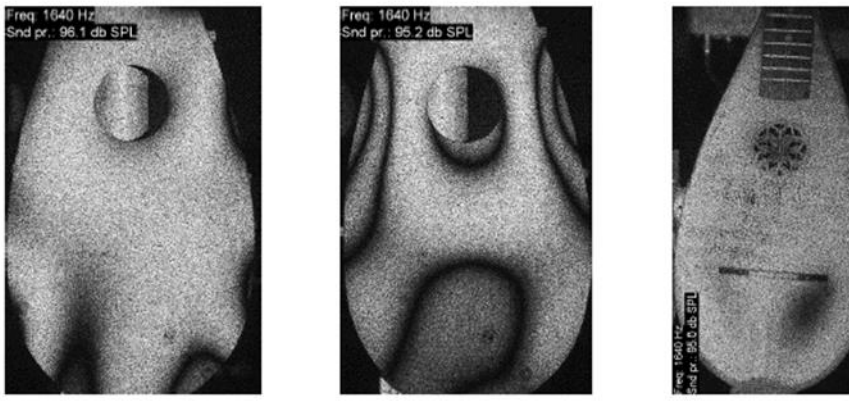
Εικόνα 4.17 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 1210 Hz

Στα 1260 Hz (Εικόνα 4.18) παρατηρούμε το νέο τρόπο δόνησης (5,2) για το καπάκι 1.



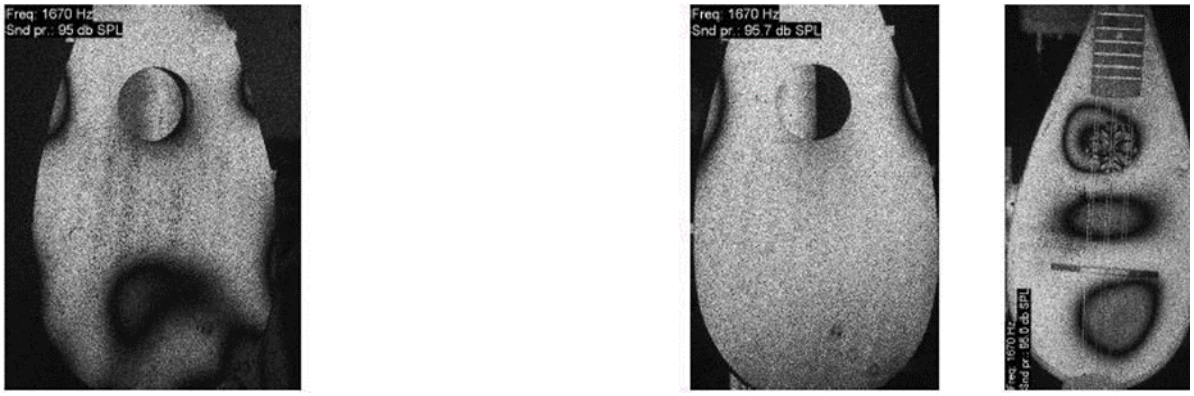
Εικόνα 4.18 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 1260 Hz

Στα 1640 Hz (Εικόνα 4.19) παρατηρούμε το μέγιστο του τρόπου δόνησης για το καπάκι 3 και την δημιουργία νέων τρόπων δόνησης για το καπάκι 2 (4,3) και τον τζουρά (2,2).



Εικόνα 4.19 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 1640 Hz

Στα 1670 Hz (Εικόνα 4.20) παρατηρούμε τον τρόπο δόνησης (1,3) για το τζουρά.



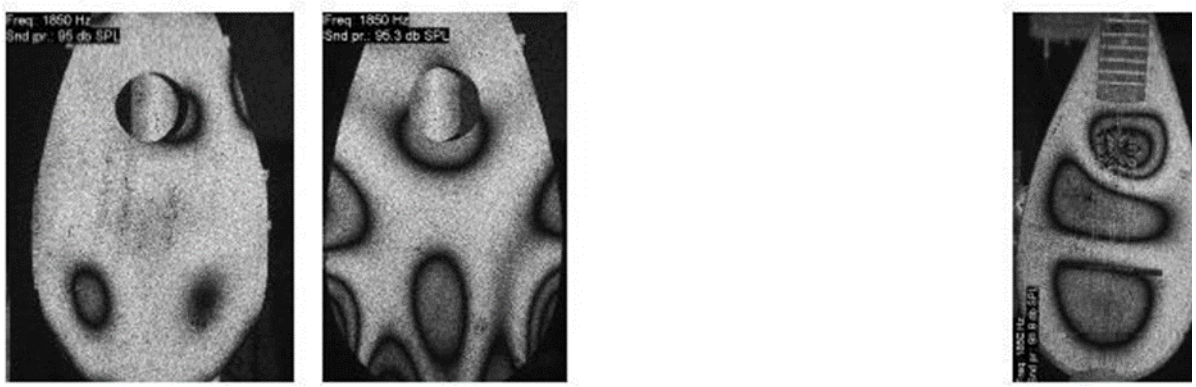
Εικόνα 4.20 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 1670 Hz

Στα 1760 Hz (Εικόνα 4.21) παρατηρούμε το μέγιστο πλάτος δόνησης του (5,3) στο καπάκι 1.



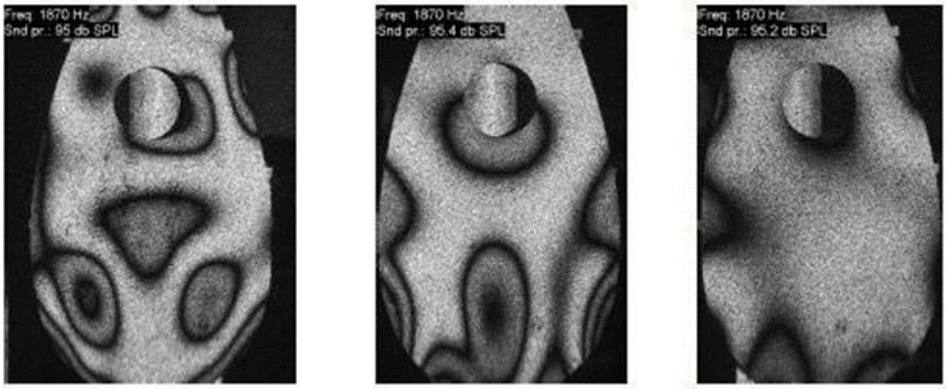
Εικόνα 4.21 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 1760 Hz

Στα 1860 Hz (Εικόνα 4.22) παρατηρούμε τη δημιουργία ξανά του τρόπου δόνησης (1,3) για τον τζουρά και του (5,2) για το καπάκι 2.



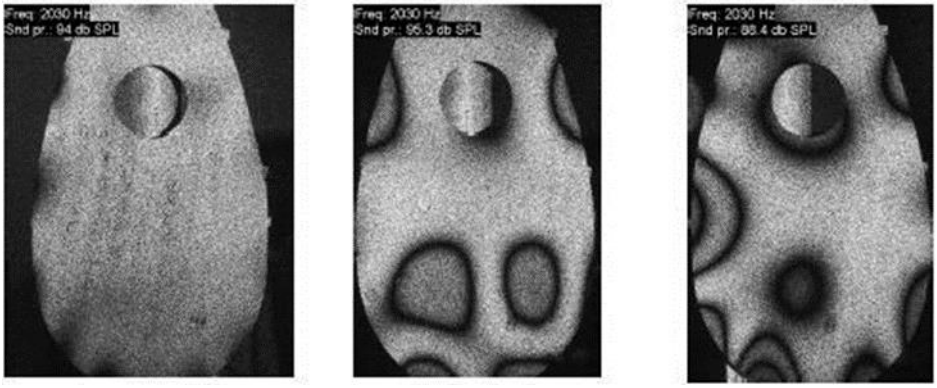
Εικόνα 4.22 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 1860 Hz

Στα 1870 Hz (Εικόνα 4.23) παρατηρούμε το μέγιστο πλάτος του τρόπου δόνησης για το καπάκι 2 και την δημιουργία του τρόπου δόνησης (4,3) για το καπάκι 3.



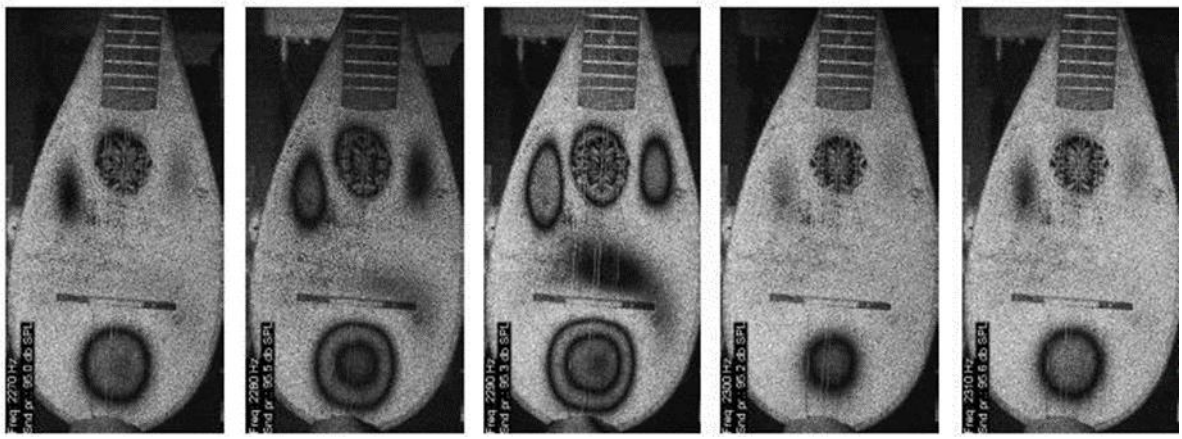
Εικόνα 4.23 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 1870 Hz

Στα 2030 Hz (Εικόνα 4.24) παρατηρούμε τη δημιουργία του τρόπου δόνησης (5,2) για το καπάκι 3.



Εικόνα 4.24 Τρόποι δόνησης σε καπάκια και τζουρά στα 2030 Hz

Σε υψηλές συχνότητες, μετά τα 2 kHz, για τον τζουρά παρατίθενται στην Εικόνα 4.25 αποτελέσματα του τρόπου δόνησης για το συχνοτικό εύρος 2270-2310 Hz.



Εικόνα 4.25 Τρόποι δόνησης σε τζουρά μεταξύ 2270-2310 Hz

Στους πίνακες 4.1-4.4 που παρατίθενται παρακάτω, καταγράφηκαν ξεχωριστά για κάθε καπάκι και το όργανο η συχνότητα αρχής και τέλους των δονήσεων και το μέγιστο του συντονισμού τους για εύρος συχνοτήτων ξεκινώντας από τα 40 Hz μέχρι τα 2,5 kHz. Το μέγιστο του συντονισμού καθορίζεται με βάση τους πυκνότερους κροσσούς.

Καπάκι 1

Πίνακας 4.1 *Κανονικοί τρόποι δόνησης*

Τρόπος δόνησης	**Συχνότητα (Hz)**		
(x,y)	**Από**	**Έως**	**Μέγιστο**
0,1	43	100	49
2,2	100	150	115
3,2	150	230	180
1,2	230	310	280
2,2	310	540	374
3,2	540	1100	620
4,2	1100	1250	1240
5,2	1250	1380	1300
5,3	1380	1900	1760

Καπάκι 2

Πίνακας 4.2 *Κανονικοί τρόποι δόνησης*

Τρόπος δόνησης	**Συχνότητα (Hz)**		
(x,y)	**Από**	**Έως**	**Μέγιστο**
0,1	40	150	80
2,2	150	650	545
3,2	650	1640	770
4,3	1640	1860	1760
5,2	1860	2100	1870

Καπάκι 3

Πίνακας 4.3 *Κανονικοί τρόποι δόνησης*

Τρόπος δόνησης	**Συχνότητα (Hz)**		
(x,y)	**Από**	**Έως**	**Μέγιστο**
0,1	40	150	85
2,2	150	670	545
3,2	670	1870	1640
4,3	1870	2020	2000
5,2	2020	2100	2030

Τζουράς

Πίνακας 4.4 *Κανονικοί τρόποι δόνησης*

Τρόπος δόνησης	**Συχνότητα (Hz)**		
(x,y)	**Από**	**Έως**	**Μέγιστο**
0,1	40	50	45
1,1	50	70	65
0,1	70	120	90
1,2	120	250	240
1,1	250	945	925
1,2	945	1640	1180
2,2	1640	1670	1650
1,3	1670	1760	1680
2,2	1760	1860	1810
1,3	1860	2000	1930
3,2	2000	2400	2290

4.2 Συμπεράσματα

Το καπάκι 1 παρατηρείται ότι έχει περισσότερους τρόπους δόνησης. Σε αυτό συνεισφέρει το μικρότερο πάχος του. Ένα τέτοιο καπάκι αν το κολλούσαμε στο όργανο αφού έχει τόσους πολλούς συντονισμούς θα έχει και πιο περίπλοκη απόκριση με σύνθετο ήχο λόγω των πολλών συχνοτήτων.

Τα καπάκια 2 και 3 ακολουθούν παρόμοια δονητική συμπεριφορά και έχουν ίδιες ιδιομορφές σε κοντινές ή και ίδιες συχνότητες, αλλά με άλλο μέγιστο συντονισμού. Αυτό το γεγονός έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της κρουστικής απόκρισης.

Παρατηρείται ότι το καπάκι 1 έχει περισσότερους συντονισμούς στις πιο χαμηλές συχνότητες και επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της κρουστικής απόκρισης ότι το καπάκι αυτό θα έχει καλύτερη απόκριση στις χαμηλές συχνότητες.

Στο **τζουρά** βλέπουμε ότι πολλοί τρόποι δόνησης εμφανίζονται μεταξύ 50-250 Hz όπου είναι και στις συχνότητες που παίζει το όργανο. Επίσης ο τζουράς παρουσιάζει διαφορές στις συχνότητες που παρατηρούνται οι ιδιομορφές σε σχέση με τα καπάκια. Σε αυτό συνεισφέρει και ο διαφορετικός στήριξης του οργάνου σε σχέση με τα καπάκια. Επιπλέον, υπάρχουν αρκετά εύρη συχνοτήτων που κανένα από τα καπάκια δεν ταλαντώνεται καθόλου ή πολύ ελάχιστα σε αντίθεση με τον τζουρά που ταλαντώνεται σε όλες τις συχνότητες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Συμπεράσματα

Στην εργασία αυτή παρουσιάστηκε λεπτομερώς η κατασκευή ενός παραδοσιακού τζουρά. και 3 ελεύθερων καπακιών. Η δονητική και ακουστική τους συμπεριφορά μελετήθηκε μέσω πειραμάτων κρουστικής απόκρισης και μέσω της πειραματικής μεθόδου της ηλεκτρονικής συμβολομετρίας ψηφίδων (ESPI).

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο θέμα της κατασκευής η εμπειρία και ή γνώση του κατασκευαστή είναι μείζονος σημασίας. Σχετικά με τις μετρήσεις της κρουστικής απόκρισης παρατηρήθηκαν διαφορές στα καπάκια. Στο καπάκι 1 παρατηρείται ότι το πλάτος δόνησης του, σε σχέση με τα άλλα καπάκια, τείνει προς χαμηλότερες συχνότητες (διαφορά 20-30 Hz). Στα 1000 Hz έχει σχεδόν το ίδιο πλάτος δόνησης που φθάνει μέχρι τα 10 kHz, ενώ στα άλλα καπάκια στα 1000 Hz το πλάτος δόνησης ξεκινά να αυξάνεται σιγά σιγά. Στο καπάκι 2, που είναι και το καπάκι του τζουρά, παρατηρούνται διαφορές σε σχέση με το καπάκι 1, όπως το ότι είναι πολύ πιο ομαλό στις μεσαίες συχνότητες. Γενικά, το καπάκι 2 έχει τις κατάλληλες δονήσεις για το συγκεκριμένο όργανο. Η δονητική συμπεριφορά του καπακιού 3 δεν διαφέρει πολύ από το καπάκι 2. Οι κύριες διαφορές είναι ότι στο φάσμα συχνοτήτων έχει λίγες υψηλές συχνότητες. Το καπάκι 3, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε τζουρά. Στο καπάκι 2 με ροδάντζα παρατηρείται διαφορά 5 Hz offset σε σχέση με το καπάκι 2. Μια σημαντική διαφορά είναι ότι ο μέσος όρος της δύναμης όπου ασκήθηκε είναι λίγο μεγαλύτερος στο καπάκι αυτό σε σχέση με το 2. Αυτό σημαίνει ότι χρειάστηκε να ασκηθεί πιο μεγάλη δύναμη στο καπάκι. Ως αποτέλεσμα, καταλαβαίνουμε ότι η ροδάντζα προσθέτει ένα κράτημα στο καπάκι, ειδικά γύρω από το ηχείο όπου είναι τοποθετημένη. Τέλος ο τζουράς παρουσιάζει εντελώς διαφορετικά αποτελέσματα από τα καπάκια. Οι συντονισμοί παρατηρούνται σε διαφορετικό συχνοτικό εύρος. Κοντά στα 1000 Hz βλέπουμε αρκετές αρμονικές που στα καπάκια γενικά δεν παρατηρούνται. Το καπάκι σε συνδυασμό με το ολικό όργανο, και λόγω των διαφορετικών συνθηκών στήριξης για την υλοποίηση του πειράματος, παρουσιάζει διαφορετική δονητική συμπεριφορά. Παρατηρήθηκε ότι το κάθε καπάκι ανταποκρίνεται καλύτερα σε συγκεκριμένες συχνότητες και συνεπώς μπορούμε να τοποθετήσουμε το ανάλογο καπάκι στο όργανο μας με βάση το συχνοτικό εύρος που θέλουμε να προσεγγίσουμε.
Στις μετρήσεις με την ESPI το καπάκι 1 παρατηρείται ότι έχει περισσότερους τρόπους δόνησης. Σε αυτό συνεισφέρει το μικρότερο πάχος του. Ένα τέτοιο καπάκι αν το κολλούσαμε στο όργανο αφού έχει τόσους πολλούς συντονισμούς θα έχει και πιο περίπλοκη απόκριση με σύνθετο ήχο λόγω των πολλών συχνοτήτων. Τα καπάκια 2 και 3 ακολουθούν παρόμοια δονητική συμπεριφορά και έχουν ίδιες ιδιομορφές σε κοντινές ή και ίδιες συχνότητες, αλλά με άλλο μέγιστο συντονισμού. Αυτό το γεγονός έρχεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της κρουστικής απόκρισης. Παρατηρείται ότι το καπάκι 1 έχει περισσότερους συντονισμούς στις πιο χαμηλές συχνότητες και επιβεβαιώνει τα αποτελέσματα της κρουστικής απόκρισης ότι το καπάκι αυτό θα έχει καλύτερη απόκριση στις χαμηλές συχνότητες. Ο τζουράς παρουσιάζει διαφορές στις συχνότητες που παρατηρούνται οι ιδιομορφές σε σχέση με τα καπάκια. Σε αυτό συνεισφέρει και ο διαφορετικός στήριξης του οργάνου σε σχέση με τα καπάκια. Επιπλέον, υπάρχουν αρκετά εύρη συχνοτήτων που κανένα από τα καπάκια δεν δονείται καθόλου ή πολύ ελάχιστα σε αντίθεση με τον τζουρά που δονείται σε όλες τις συχνότητες.

Βιβλιογραφία

[1] https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B6%CE%BF%CF%85%CF%81%CE%AC%CF%82

[2] Ελληνικά Λαϊκα Μουσικά Οργανα Εγκυκλοπαίδεια του Φοίβο Ανωγιαννάκη

[3] Ταμπουράς-https://www.karatzios.gr/tampoyras-student-me-ntoyges-dixromes-me-thiki/2312/1/32346

[4] Πανδούρα-https://luthieros.com/product/pandura/

[5] Αρχαία Πανδούρα https://en.wikipedia.org/wiki/Pandura

[6] Brezas S, Kaselouris E, Orphanos Y, Tatarakis M, Bakarezos M, Papadogiannis NA, Dimitriou V. Vibrational Analysis of a Splash Cymbal by Experimental Measurements and Parametric CAD-FEM Simulations. Vibration. 2024; 7(1):146-160.

[7] Brezas S, Katsipis M, Orphanos Y, Kaselouris E, Kechrakos K, Kefaloyannis N, Papadaki H, Sarantis-Karamesinis A, Petrakis S, Theodorakis I, et al. An Integrated Method for the Vibroacoustic Evaluation of a Carbon Fiber Bouzouki. Applied Sciences. 2023; 13(7):4585.

[8] Bakarezos, E. Orphanos, Y. Kaselouris, E. Dimitriou, V. Tatarakis, M. Papadogiannis, N.A. Laser-Based Interferometric Techniques for the Study of Musical Instruments. In Computational Phonogram Archiving. Current Research in Systematic Musicology, 1st ed.; Bader, R., Ed.; Springer: Cham, Switzerland, 2019; Volume 5, pp. 251–268.