



ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

**<<Συγκριτική μελέτη δονητικών χαρακτηριστικών χημικά
επεξεργασμένων καπακιών τζουρά>>**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΜΙΧΑΛΗΣ ΧΕΙΡΙΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΓΙΑΝΝΗΣ ΟΡΦΑΝΟΣ

Ρέθυμνο 10/2022

Ευχαριστίες

Για την παρούσα πτυχιακή εργασία, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους δήλωσαν παρόντες στην εξυπηρέτηση των αναγκών για την ολοκλήρωση της και πιο συγκεκριμένα:

- τον οργανοποιό **Γιώργο Βαβούρη** για όλες τις γνώσεις και την εμπειρία του, που μου πρόσφερε απλόχερα σχετικά με την επιστήμη της κατασκευής των μουσικών οργάνων,
- τον καθηγητή **Γιάννη Ορφανό** για τη συνεισφορά και τη συνέπεια του πριν, μετά και κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 1^ο - Το βορικό άλας σε μουσικά όργανα και σκοπός εργασίας	8
1.1 Τα αποτελέσματα των Joseph Nagyvary , Renald N. Guillemette και Clifford H. Spiegelman	8
1.2 Σκοπός της εργασίας	8
Κεφάλαιο 2^ο – Παρουσίαση τζουρά	10
2.1 Προετοιμασία πειράματος	10
2.2 Λίγα λόγια σχετικά με τον τζουρά	10
2.3 Τα μέρη του οργάνου	10
Κεφάλαιο 3^ο - Διαδικασία κατασκευής τζουρά	13
3.1 Κατασκευή καπακιών	13
1) Θεωρητική εισαγωγή	13
2) Πειραματικό μέρος κατασκευής καπακιών	13
Κεφάλαιο 4^ο – Στοιχεία θεωρίας	16
4.1 Πειραματικές τεχνικές μελέτης δονήσεων καπακιών	16
4.2 Ολογραφία	16
4.4 Ολογραφική συμβολομετρία	18
4.5 E. S. P. I. (Electronic Speckle Pattern Interferometry)	19
4.6 Μαθηματική θεώρηση	20
Κεφάλαιο 5^ο - Πειραματικές τεχνικές και διατάξεις	23
5.1 Πειραματική διάταξη και διαδικασία	23
5.2 Ακουστικές τεχνικές και ανάλυση	25
Κεφάλαιο 6^ο – Εμποτισμός ξύλου και πειραματική επεξεργασία	27
6.1 Γιατί γίνεται εμποτισμός ξύλου	27
6.2 Εμποτιστικές ουσίες	27
6.3 Μεθόδοι εμποτισμού	28
6.4 Ο βόρακας	28
6.5 Πειραματικός εμποτισμός	29
Κεφάλαιο 7^ο - Πειραματικές τεχνικές και διατάξεις	31
7.1 Πραγματοποίηση πειραμάτων	31
7.2 Μετρήσεις με τη μέθοδο ESPI	31
7.2 Ηχοβόλιση-ηχογράφιση με πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο	32

Κεφάλαιο 8° – Αποτελέσματα των πειραμάτων και ανάλυση	33
8.1 Αποτελέσματα E.S.P.I πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 1	33
8.2 Ανάλυση ηχογραφημένου υλικού για το καπάκι 1	36
8.3 Αποτελέσματα E.S.P.I πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 2	40
8.4 Ανάλυση ηχογραφημένου υλικού για το καπάκι 2	44
8.5 Αποτελέσματα E.S.P.I πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 3	46
8.6 Ανάλυση ηχογραφημένου υλικού για το καπάκι 3	51
8.7 Αποτελέσματα E.S.P.I πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 4	53
8.8 Ανάλυση ηχογραφημένου υλικού για το καπάκι 4	58
Κεφάλαιο 9° - Σύγκριση μεγίστων συντονισμών πριν και μετά τον εμποτισμό - Συμπεράσματα	60
Βιβλιογραφία	69
Ηλεκτρονικές πηγές	69
Πτυχιακές εργασίες	70

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι η κατασκευή και επεξεργασία καπακιών τζουρά σε διάφορα διαλύματα καθώς και συγκριτική μελέτη των δονητικών τους χαρακτηριστικών με τη χρήση οπτικών συμβολομετρικών τεχνικών.

Στην εργασία θα γίνει αρχικά η κατασκευή 4 πανομοιότυπων καπακιών τζουρά. Τα καπάκια θα εξεταστούν αρχικά ως προς τα δονητικά τους χαρακτηριστικά με τη χρήση ηλεκτρονικής συμβολομετρίας ψηφίδων (E.S.P.I.).

Στην συνέχεια τρία από τα καπάκια θα εμποτιστούν με διαφορετικά διαλύματα βορικού άλατος σε νερό και ένα καπάκι θα εμποτιστεί μόνο σε νερό σαν αναφορά. Μετά από κοινή διαδικασία αφύγρανσης, θα γίνει ξανά μελέτη των δονητικών τους χαρακτηριστικών.

Στα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων θα γίνει συγκριτική μελέτη και παρουσίαση, από την οποία αναμένεται να προκύψει η επίδραση που θα επιφέρει στον εκπεμπόμενο ήχο, ανάλογα με την επεξεργασία που θα έχουν υποστεί.

Η εργασία περιλαμβάνει την αναφορά με την μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για την κατασκευή και την επεξεργασία των καπακιών του τζουρά καθώς και τα αποτελέσματα της συγκριτικής τους μελέτης.

TITLE - «Comparative study of vibrational characteristics of chemically treated top plates of tzoura»

SUMMARY

The aim of this study is the construction and processing of tzoura top plates in various solutions, as well as the comparative study of their vibrating characteristics with the use of interferometric techniques.

In this study first we are going to construct 4 identical top plates of tzoura. The top plates later are going to be examined initially for their vibrating characteristics with the use of E.S.P.I.

Then, 3 top plates are going to be soaked in different solutions of borate salt in water and one top plate only with water. After a common process of dehumidification, the study of their vibrational characteristics is going to be repeated. In the results of the above-mentioned measurements a comparative study also is going to be done.

A comparative study and presentation will be made of the results of the above measurements, from which it is expected to result in the effect it will have on the emitted sound, depending on the processing they have undergone.

This work includes the report with the methodology followed for the manufacture and processing of the top plates of tzoura and the results of their comparative study.

Εισαγωγή

Για αιώνες πολλοί κατασκευαστές βιολιών προσπάθησαν μάταια να φτιάξουν βιολιά τα οποία κατασκευάστηκαν τον 18^ο από τους εξαιρετικούς κατασκευαστές εγχόρδων και συγκεκριμένα εγχόρδων οργάνων της οικογένειας του βιολιού όπως χαρακτηρίζονται οι Antonio Stradivari και Joseph Guarneri del Gesù. Η αποτυχία τους είναι δύσκολο να εξηγηθεί δεδομένου ότι οι τεχνίτες της εποχής μας έχουν απασχοληθεί με όλη την παραδοσιακή τεχνογνωσία της τέχνης αυτής και έχουν επίσης ενισχυθεί όλο και περισσότερο από το χώρο της ακουστικής έρευνας.

Πολλές μελέτες που έγιναν σε καρυκευμένο έλατο και σφένδαμο κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η υψηλή ακαμψία και η χαμηλή πυκνότητα πρέπει να είναι τα κριτήρια επιλογής του ξύλου. Παρ' όλα αυτά τα αποτελέσματα των οργάνων με αυτόν τον τρόπο επιλογής δεν ήταν πειστικά.

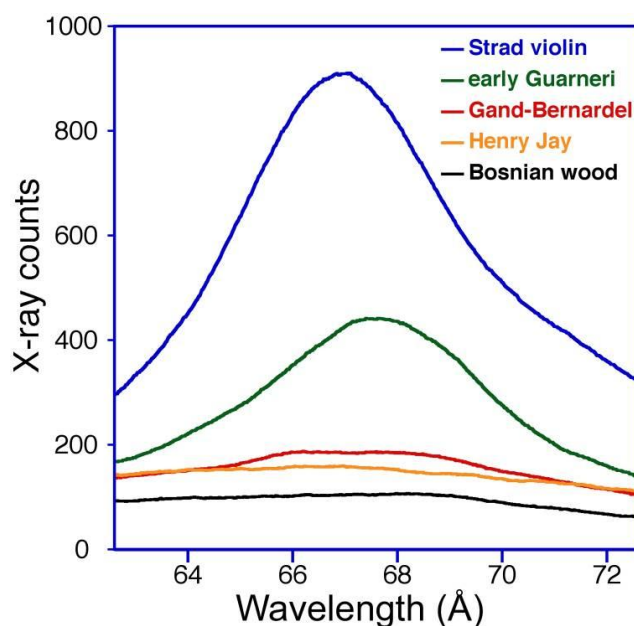
Σε μια προσπάθεια ανακάλυψης των μυστικών των μεγάλων αυτών οργανοποιών, ο J. Nagynary, έχει πραγματοποιήσει μια σειρά πειραμάτων. Τα αποτελέσματα πειράματος που διεξάχθηκε από τον J. Nagynary το 2009, έδειξαν ότι τα ξύλα που χρησιμοποιήθηκαν για τα βιολιά του Stradivari και του Guarneri, είχαν υποστεί χημική επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα, η ανάλυση της στάχτης ξύλου που χρησιμοποιήθηκε από τους Stradivari και Guarneri, αποκάλυψε την παρουσία βόρακα και φθορίου. Τα συμπεράσματα οδηγούν στο ότι η χρήση βορικού άλατος επηρεάζει πολύ θετικά την ακουστική των βιολιών.

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία, στόχος είναι να διερευνηθούν τα αποτελέσματα του πειράματος του Nagynary. Για το σκοπό αυτό θα κατασκευαστούν τέσσερα πανομοιότυπα «καπάκια» τζουρά τα οποία θα επιχειρήσουμε να επεξεργαστούμε χημικά με βορικό άλας. Με τη μέθοδο της χρονικά ολοκληρωμένης ηλεκτρονικής συμβολομετρίας ψηφίδων (time-average ESPI), αλλά και με ανάλυση ηχογραφημένου υλικού θα μπορέσουν να παρατηρηθούν και να καταγραφούν οι δονήσεις των «καπακιών», τα οποία στη συνέχεια θα εμβαπτιστούν σε διάλυμα βορικού άλατος. Στην τελευταία φάση του πειράματος θα μετρήσουμε εκ νέου τις δονήσεις των «καπακιών» ώστε να διαπιστωθούν τυχόν μεταβολές. Επίσης στόχος είναι να δούμε την διαφορά που θα έχουν τα καπάκια στα δονητικά τους χαρακτηριστικά ανάλογα με την ποσότητα που θα έχει το διάλυμα σε βορικό άλας.

Κεφάλαιο 1^ο - Το βορικό άλας σε μουσικά όργανα και σκοπός εργασίας

1.1 Τα αποτελέσματα των Joseph Nagyvary , Renald N. Guillemette και Clifford H. Spiegelman

Στην έρευνα αυτή δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή για την εύρεση βορικού άλας λόγω του ρόλου του ως μυκητοκτόνου εντομοκτόνου με μακρόχρονη χρήση. Βόριο βρέθηκε και στα δύο όργανα του Stradivari και στο όργανο πρώιμης περιόδου του Guarneri. Απουσίαζε στα όργανα ύστερης περιόδου του Guarneri και σε όλα τα δείγματα σφενδάμου του εμπορίου. Η ποσότητα του βορικού άλατος στα όργανα των Gand-Bernardel και ίσως στο Henry Jay ήταν λίγο πιο αυξημένη από τη φυσική συγκέντρωση βόρακα στο ξύλο. Αυτό γίνεται εμφανές στο παρακάτω σχήμα το οποίο δείχνει την συγκέντρωση βόρακα στα δείγματα από τα βιολιά των Stradivari και του GandBernardel, του πρώιμου βιολιού του Guarneri, από τη βιόλα του H. Jay και από δείγματα σύγχρονου σφενδάμου Βοσνίας.



Σχήμα 1.1: Ανίχνευση βορίου. Κορυφές στη συγκέντρωση βορίου μέσω φασματικής σάρωσης σε δείγμα από βιολί Stradivari(μπλε), πρώιμο Guarneri βιολί (πράσινο), βιολί Gand-Bernardel (κόκκινο), βιόλα Henry Jay (πορτοκαλί) και σφεντάμι εμπορίου Βοσνίας (μαύρο).

1.2 Σκοπός της εργασίας

Στην εργασία θα μελετήσουμε αν το βορικό άλας έχει θετική ή αρνητική επίπτωση στο ξύλο. Επίσης θα μελετήσουμε πόση σημασία έχει η ποσότητα του βορικού άλατος σε αυτό. Για την εργασία αυτή κατασκευάσαμε τέσσερα

πανομοιότυπα καπάκια τζούρα. Επιλέξαμε να κατασκευάσουμε καπάκια από τζουρά επειδή η κατασκευή βιολιών είναι πιο πολύπλοκη. Επίσης η εργασία αυτή βασίζεται και σε ερωτηματικά που προέκυψαν από εργασία που έγινε στο παρελθόν όπου στη συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκαν καπάκια από τζουρά.

Κεφάλαιο 2^ο – Παρουσίαση τζουρά

2.1 Προετοιμασία πειράματος

Στο πείραμα αυτό θα κατασκευάσουμε τέσσερα πανομοιότυπα καπάκια από τζουρά. Για να μπορέσουμε να φτιάξουμε καπάκια από τζουρά τα οποία να είναι όσο το δυνατό πανομοιότυπα διαλέξαμε να αποτελούνται από το ίδιο ξύλο, να έχουν το ίδιο βάρος αλλά και το ίδιο πάχος. Όπως θα δούμε στη συνέχεια το αποτέλεσμα με τη μέθοδο της χρονικά ολοκληρωμένης ηλεκτρονικής συμβολομετρίας ψηφίδων (time-average ESPI) δεν έδωσε το ίδιο αποτέλεσμα σε όλα τα καπάκια αλλά αυτό ήταν αναμενόμενο αφού ενώ το ξύλο ήταν το ίδιο η κατασκευή έγινε από δύο ξεχωριστά κομμάτια. Επίσης ρόλο έπαιξε και ο ανθρώπινος παράγοντας. Στο πρώτο στάδιο θα τα μελετήσουμε τα τέσσερα καπάκια ξεχωριστά με τη μέθοδο της χρονικά ολοκληρωμένης ηλεκτρονικής συμβολομετρίας ψηφίδων (time-average ESPI). Επίσης θα γίνει ανάλυση ηχογραφημένου υλικού όπου θα μπορέσουν να παρατηρηθούν και να καταγραφούν οι δονήσεις των «καπακιών». Στη συνέχεια θα τα επαιξεργαστούμε χημικά με βορικό άλας τοποθετώντας τα καπάκια ξεχωριστά σε 4 δοχεία. Σε κάθε δοχείο θα υπάρχει διαφορετική ποσότητα βορικού άλατος και ίδια ποσότητα νερού, ενώ σε ένα δεν θα υπάρχει καθόλου βορικό άλας αλλά μόνο νερό. Στη συνέχεια θα υπάρξει κοινή διαδικασία αφύγρανσης, ενώ στο τελικό στάδιο θα ξανά υλοποιήσουμε όλες τις μετρήσεις που είχαμε κάνει στα καπάκια πριν την επεξεργασία.

2.2 Λίγα λόγια σχετικά με τον τζουρά

Ο τζουράς είναι ένα έγχορδο λαϊκό μουσικό όργανο το οποίο ανήκει στην οικογένεια του λαούτου και θεωρείται εξέλιξη του ταμπουρά και απόγονος της αρχαιοελληνικής πανδούρας. Κατασκευαστικά είναι μια μικρογραφία του μπουζουκιού καθώς έχει όμοιο κεφαλάρι, μανίκι αλλά και μικρότερο σκάφος, αποτελείται κυρίως από έξι ή οκτώ χορδές. Επίσης ο τζουράς είναι περίπου διπλάσιος από τον μπαγλαμά σε μέγεθος. Τα υλικά και η τεχνική κατασκευής του τζουρά είναι πολύ παρόμοια με αυτά του μπουζουκιού αλλά και του μπαγλαμά.

2.3 Τα μέρη του οργάνου

1) Σκάφος

Το σκάφος (εικ. 2,1) έχει συνήθως σχήμα αχλαδοειδές ή αμυγδάλου το οποίο καθορίζεται ανάλογα με τον κατασκευαστή αφού έχει μεγάλη σημασία ως προς τη χροιά που θα έχει το όργανο στην τελική του μορφή. Το σκάφος συνήθως κατασκευάζεται από ξύλα σκληρά όπως έβενο, παλίσανδρο, σφενδάμι, μουριά, μαόνι, καρυδιά κ.α.



Εικόνα 2.1 – Σκάφος τζουρά

2) Το μπράτσο

Το μπράτσο ή μανίκι (εικ. 2.2) είναι το μακρύτερο μέρος του τζουρά το οποίο προσαρμόζεται στον τάκο του σκάφους και συμπίπτει με το επίπεδο του καπακιού. Περιλαμβάνει την ταστιέρα και τα κλειδιά. Το μπράτσο χρησιμεύει για να μπορεί ο μουσικός να μεταβάλλει τον ήχο του οργάνου.



Εικόνα 2.2 – Μπράτσο τζουρά

3) Η ταστιέρα

Η ταστιέρα (εικ. 2.3) είναι ένα είδος ξύλου, συνήθως από έβενο το οποίο βοηθά στην σταθερότητα του μπράτσου αλλά και τη διατήρηση του από τα δάκτυλα. Στην ταστιέρα χαράσσονται συγκεκριμένα διαστήματα για την τοποθεσία των τάστων.



Εικόνα 2.3. – Ταστιέρα τζουρά

4) Ο καβαλάρης

Ο καβαλάρης (εικ. 2.4) συνήθως κατασκευάζεται από έβενο και κόκκαλο, επάνω του τοποθετούνται οι χορδές οι οποίες με την ταλάντωση τους μεταβιβάζουν την δόνηση στο καπάκι. Η θέση του καβαλάρη είναι καθοριστική για το ηχόχρωμα του οργάνου.



Εικόνα 2.4 – Καβαλάρης τζουρά

5) Το καπάκι

Το καπάκι (εικ. 2,5) είναι ένα από τα σπουδαιότερα μέρη του οργάνου αφού έχει καταλυτικό ρόλο στην ποιότητα του ήχου μέσω των συντονισμών που μπορεί να έχει όταν δεχθεί διέγερση σε συχνότητα που συμπίπτει με κάποιον από τους τρόπους δόνησης του. Αυτός είναι και ο λόγος που στην εργασία θα ασχοληθούμε μόνο με το καπάκι και όχι με άλλα μέρη του οργάνου διότι είναι το πιο βασικό στην παραγωγή του ήχου. Επίσης μεγάλο ρόλο στο τελικό ηχητικό αποτέλεσμα έχει το πάχος του καπακιού, τα νερά του ξύλου, τα καμάρια στη τοποθέτησή τους, το μέγεθος της τρύπας αλλά και η καμπυλότητα που μπορεί να δώσει ο κατασκευαστής στο ξύλο. Τα καπάκια του τζουρά συνήθως φτιάχνονται από έλατο, αλλά και ο κέδρος δίνει εξαιρετικά ηχητικά αποτελέσματα.



Εικόνα 2.5 – Καπάκι τζουρά

Κεφάλαιο 3^ο - Διαδικασία κατασκευής τζουρά

3.1 Κατασκευή καπακιών

1) Θεωρητική εισαγωγή

Όπως είπαμε σκοπός μας είναι να φτιάξουμε τέσσερα καπάκια τα οποία να είναι πανομοιότυπα. Για αυτό το λόγο θέσαμε κάποια όρια ως προς την κατασκευή του οργάνου. Τα όρια που θέσαμε είναι τα εξής:

- i) Το βάρος:** Ο μέσος όρος του βάρους των καπακιών που φτιάξαμε είναι 35 gr.
- ii) Ίδιο ξύλο κατασκευής:** Το ξύλο που χρησιμοποιήσαμε για να κατασκευάσουμε τα καπάκια είναι κέδρος Αμερικής.
- iii) Το πάχος:** Το πάχος του καπακιού παίζει μεγάλο ρόλο ως προς τις συχνότητες που θα βγάζει το όργανο. Ένα χοντρό καπάκι βγάζει πιο ψηλές συχνότητες από ένα καπάκι που είναι πιο λεπτό. Στα καπάκια που φτιάξαμε θέσαμε ως μέσο όρο τα 2,4 χιλιοστά.
- iv) Καμάρια:** Τα καμάρια που χρησιμοποιήσαμε είναι κατασκευασμένα από το ίδιο ξύλο, πάχος και ύψος. Επίσης τα κολλήσαμε στο ίδιο σημείο σε όλα τα καπάκια.
- v) Μέγεθος τρύπας:** Η τρύπα στο καπάκι παίζει και αυτή ρόλο στο πόσο μπάσο ή πρίμο θα είναι το όργανο. Για να έχουμε το ίδιο αποτέλεσμα σε όλα τα καπάκια τοποθετήσαμε την τρύπα στο ίδιο σημείο σε όλα τα καπάκια. Επίσης έχουν όλα το ίδιο σχήμα.

2) Πειραματικό μέρος κατασκευής καπακιών

Βήμα 1^ο) Το πρώτο βήμα για να κατασκευάσεις καπάκι για τζουρά είναι η κοπή του ξύλου στο σχήμα που θέλεις να είναι. Αυτό γίνεται με ένα προσχέδιο το οποίο ονομάζεται καλούπι. Εκεί βασίζεσαι για τις διαστάσεις του καπακιού, του σκάφους και του μπράτσου. Όπως φαίνετε και στη φωτογραφία πρώτα σχεδιάσαμε τις διαστάσεις του καπακιού σύμφωνα με το καλούπι και μετά το κόψαμε με το μηχάνημα κοπής. Το ίδιο βήμα ακολουθήσαμε για όλα τα καπάκια. (σχ. 3.1) (σχ. 3.2).



Εικόνα 3.1 - Ειδικό μηχάνημα κοπής ξύλου



Εικόνα 3.2 - Σχεδίαση διαστάσεων καπακιού

Βήμα 2^ο) Το δεύτερο βήμα είναι να τρίψουμε το ξύλο με γυαλόχαρτο έτσι ώστε να έρθει στο πάχος το οποίο το θέλουμε αλλά και για να έρθει το καπάκι στις διαστάσεις που το θέλουμε.

Βήμα 3^ο) Το τρίτο βήμα είναι να σχεδιάσουμε στο ξύλο πού θα τοποθετήσουμε τα καμάρια αλλά και την τρύπα σύμφωνα με το καλούπι. (σχ. 3.3) (σχ. 3.4) (σχ. 3.5)



Εικόνα 3.3 - Σχεδίαση διαστάσεων καπακιού



Εικόνα 3.4 - Σχεδίαση τοποθεσίας των καμαριών και της τρύπας



Εικόνα 3.5 - Σχεδίαση τοποθεσίας των καμαριών και της τρύπας

Βήμα 4^ο) Το τρίτο βήμα είναι να βγάλουμε την τρύπα. Αυτό γίνεται με ένα ειδικό μηχάνημα. (σχ. 3.6).



Εικόνα 3.6 - Ειδικό μηχάνημα για την κοπή της τρύπας.

Βήμα 5^ο) Το πέμπτο βήμα είναι να κολλήσουμε τον καβαλάρη στο καπάκι. Αυτό γίνεται με μία ειδική κόλλα. Για να κολλήσει ο καβαλάρης στο καπάκι θέλει 24 ώρες.

Βήμα 6^ο) Το έκτο βήμα είναι μετρήσουμε στα καπάκια τα όρια που θέσαμε στην αρχή όπως είναι το βάρος, το πάχος και το μέγεθος της τρύπας έτσι ώστε αν υπάρχει κάποιο λάθος να το διορθώσουμε.

Κεφάλαιο 4^ο – Στοιχεία Θεωρίας

4.1 Πειραματικές τεχνικές μελέτης δονήσεων καπακιών.

Για την μελέτη των δονήσεων των καπακιών χρησιμοποιήθηκαν δύο τεχνικές, μία οπτική και μία ακουστική. Μέσω αυτών των τεχνικών μπορούμε να εντοπίσουμε τους τρόπους που το καπάκι μπορεί να ταλαντωθεί. Η οπτική τεχνική που χρησιμοποιήθηκε ανήκει στην οικογένεια της ολογραφίας και ονομάζεται ηλεκτρονική συμβολομετρία ψηφίδων (E.S.P.I) την οποία θα εξηγήσουμε στη συνέχεια. Η ακουστική τεχνική που χρησιμοποιήθηκε ήταν η ηχοβόλιση-ηχογράφιση και η μετέπειτα ανάλυση του ηχογραφημένου υλικού.

4.2. Ολογραφία

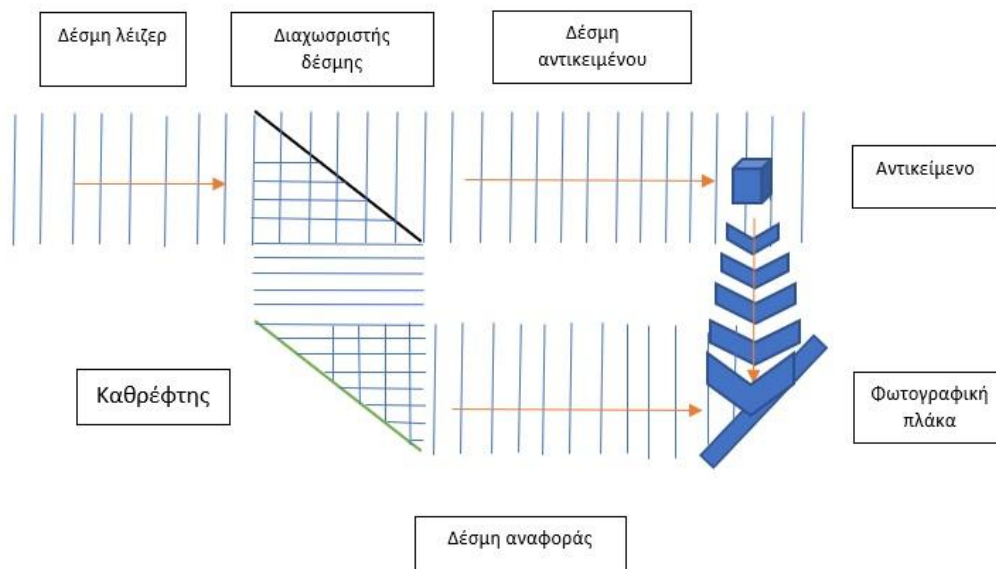
Ο όρος ολογραφία είναι σύνθετη λέξη και προέρχεται από τις δύο λέξεις "όλος" και "γραφή". Ο πρώτος που επινόησε τον όρο είναι ο Dennis Gabor το 1948. Μέσω αυτής της τεχνικής γίνεται η καταγραφή του πλάτους και της φάσης του ηλεκτρικού πεδίου ενός αντικειμένου απεικονίζοντας τη λήψη φωτογραφιών τριών διαστάσεων.

Όταν γίνεται η λήψη μιας απλής φωτογραφίας αυτό που καταγράφεται είναι μια απλή χαρτογράφιση της φωτεινής δέσμης από το φωτογραφικό φιλμ, αυτό πραγματοποιείται με τη καταγραφή δύο διαστάσεων κατανέμοντας την φωτεινή ένταση ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Όμως με αυτό τον τρόπο ο παρατηρητής δεν είναι σε θέση να δει το αντικείμενο σε τρεις διαστάσεις λόγω του ότι το αποτέλεσμα που βλέπουμε στη φωτογραφία δεν είναι πιστή αναπαραγωγή ηλεκτρικού πεδίου που έχει φωτίσει το αντικείμενο, αλλά μόνο του τετραγώνου του πλάτους του ηλεκτρικού πεδίου αυτού. Μέσω όμως της τεχνικής της ολογραφίας μια φωτογραφία μπορεί να αποδίδει σε τρεις διαστάσεις αφού γίνεται η καταγραφή τόσο του πλάτους όσο και της φάσης του αρχικού ηλεκτρικού πεδίου. Με την εφεύρεση του λέιζερ αξιοποιήθηκαν οι αξίες και οι δυνατότητες αυτής της τεχνικής.

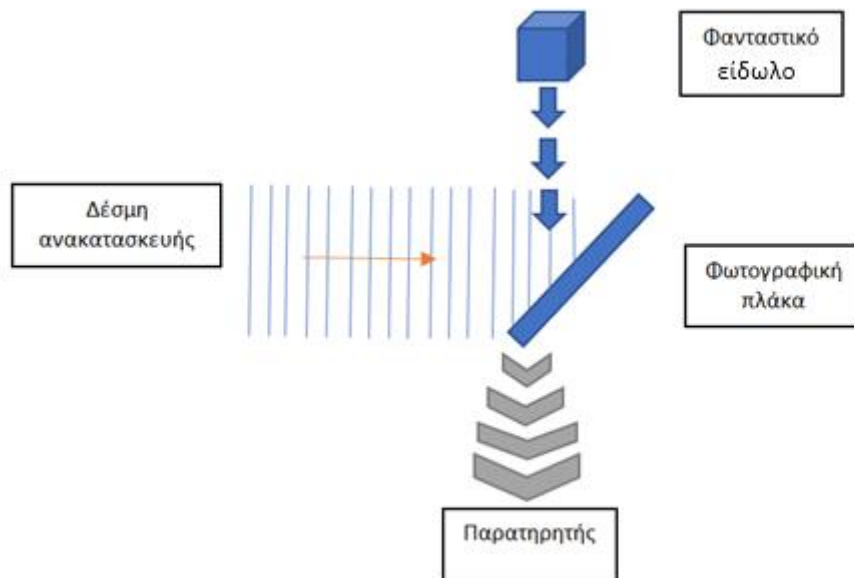
Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στη (εικόνα 4.1.α) απαραίτητη προϋπόθεση για την τεχνική της ολογραφίας είναι η ύπαρξη μια δέσμης σύμφωνης ακτινοβολίας (λέιζερ), η οποία διαχωρίζεται με έναν διαχωριστή δέσμης σε δύο μέρη για την ταυτόχρονη καταγραφή της φωτεινής έντασης και της φάσης. Το ένα μέρος, το

οποίο αποτελεί τη δέσμη αναφοράς, κατευθύνεται απ' ευθείας στο καταγραφικό υλικό (π.χ. μια φωτογραφική πλάκα), ενώ το άλλο μέρος, το οποίο αποτελεί τη δέσμη αντικειμένου, φωτίζει το αντικείμενο που είναι προς ολογράφηση. Το σκεδαζόμενο φως του αντικειμένου μαζί με την δέσμη αναφοράς συμβάλλουν πάνω στην φωτογραφική πλάκα και δημιουργούν χαρακτηριστικό διάγραμμα συμβολής που αποτελείται από κροσσούς συμβολής, που περιέχουν μία πλήρης καταγραφή του αρχικού αντικειμένου και οι τυχόν παρεκκλίσεις του (π.χ. λόγω κίνησης) να αποδίδονται σε διαφορές φάσης στην δέσμη του αντικειμένου.

Αν η εμφανισμένη πλάκα λάβει την αρχική της θέση, δηλαδή τη θέση όταν εκτέθηκε στο φως, και το αντικείμενο προς ολογράφηση απομακρυνθεί, τότε όταν η πλάκα φωτιστεί με δέσμη ανακατασκευής ίδια με την δέσμη αναφοράς, το αρχικό αντικείμενο ανακατασκευάζεται πλήρως σε ένταση και φάση και το είδωλο εμφανίζεται τρισδιάστατο (εικόνα 4.1.β). Το φαινόμενο αυτό πραγματοποιείται λόγω της περίθλασης της δέσμης ανακατασκευής από το διάγραμμα συμβολής της φωτογραφικής πλάκας που καταγράφεται, με αποτέλεσμα παρατηρώντας το αντικείμενο από διαφορετικά σημεία να μας δίνει την εντύπωση, ότι το αντικείμενο περιστρέφεται, ακριβώς όπως εάν ήταν ακόμη εκεί.



α)



β)

Εικόνα 4.1: Τυπική διάταξη ολογραφίας για (α) καταγραφή, και (β) ανακατασκευή.

4.4 Ολογραφική συμβολομετρία

Μια από τις σημαντικότερες τεχνικές μελέτης των αλλαγών της επιφάνειας αντικειμένων θεωρείται η τεχνική της ολογραφικής συμβολομετρίας, αφού μέσω αυτού έχουμε την δυνατότητα να ερευνήσουμε την συμβολομετρική ανάλυση στατικών και δυναμικών αλλαγών μιας οπτικά ανώμαλης επιφάνειας σε αντίθεση με την κλασσική συμβολομετρία, η οποία πιστεύει ότι η μελέτη των αλλαγών θα πρέπει να γίνεται σε επιφάνεια οπτικά ομαλή, αυτό είναι και το κύριο πλεονέκτημα που μας δίνει η τεχνική της ολογραφικής συμβολομετρίας.

Η ολογραφική καταγραφή μιας σκεδάζουσας επιφάνειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση της κίνησής της και να εμφανίζεται με τρεις τρόπους:

- I. **Τεχνική απλή έκθεσης:** Λόγω του ότι το επεξεργασμένο ολόγραμμα δίνει τη δυνατότητα ανακατασκευής ενός φανταστικού ειδώλου του αρχικού αντικειμένου τότε αν το αντικείμενο υποστεί μια μικρή στατική μετατόπιση που να είναι δυνατό να του δημιουργήσει μια μικρή διαφορά φάσης μεταξύ των δυο κυματομετώπων, τότε υπάρχει η παρουσία κροσσών συμβολής. Έτσι λοιπόν, κατά την τεχνική ολογραφικής συμβολομετρίας απλής έκθεσης το αντικείμενο κατέχει την αρχική του θέση σε όλη τη διάρκεια των μετρήσεων και γίνεται η καταγραφή του ολογράμματος. Έπειτα γίνεται επεξεργασία του ολογράμματος και επανατοποθετείται στην

αρχική του θέση, ώστε το φανταστικό είδωλο, να επικαλύπτεται ακριβώς με το αντικείμενο.

- II. **Τεχνική διπλής έκθεσης:** Σε αυτήν τη τεχνική αυτό που καταγράφεται πρώτα είναι το ολόγραμμα του αρχικού αντικειμένου, όπου και στη συνέχεια και πριν την επεξεργασία του ολογράμματος, το ολόγραμμα εκτίθεται στο φως από το μετατοπισμένο αντικείμενο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία δύο επικαλυπτόμενων ανακατασκευασμένων κυμάτων, τα οποία δίνουν κροσσούς συμβολής, το οποίο είναι χαρακτηριστικό της μετατόπισης του αντικειμένου (δηλαδή της διαφοράς στον οπτικό δρόμο).
- III. **Χρονικά ολοκληρωμένη μέθοδος:** Η τεχνική αυτή προϋποθέτει την έκθεση της φωτογραφικής πλάκας στο φως για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα, κατά τον οποίο το δονούμενο αντικείμενο έχει εκτελέσει έναν αριθμό ταλαντώσεων. Το ολόγραμμα που προκύπτει μπορεί να θεωρηθεί ως η υπέρθεση πολλαπλών εικόνων, με αποτέλεσμα την εμφάνιση ενός σχήματος στάσιμου κύματος.

4.5 E. S. P. I. (Electronic Speckle Pattern Interferometry)

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία ασχοληθήκαμε με την τεχνική της ολοκληρωμένης ηλεκτρονικής συμβολομετρίας ψηφίδων (E.S.P.I) η οποία ανήκει στη κατηγορία της τεχνικής χρονικά ολοκληρωμένης ολογραφικής συμβολομετρίας.

Είναι μια μη-καταστρεπτική μέθοδος, της οποίας η εξέλιξη ιστορικά αρχίζει ένα χρόνο μετά από την εισαγωγή της ιδέας της συμβολής δύο σύμφωνων πεδίων τυχαίας φάσης πριν και μετά την παραμόρφωση ενός αντικειμένου. Η συγκεκριμένη τεχνική σημείωσε ιδιαίτερη σημαντικότητα και ανάπτυξη μετά την εισαγωγή της πειραματικής τεχνικής της ελεγχόμενης μετατόπισης φάσης και της ψηφιακής ανάλυσης κροσσών με ηλεκτρονικό υπολογιστή, σημειώνοντας αξιόλογη ερευνητική δραστηριότητα σε θεωρητικό και πειραματικό επίπεδο. Σήμερα αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές συμβολομετρικές τεχνικές στη μελέτη δονήσεων ή παραμορφώσεων αντικειμένων.

Η κατηγορία της συμβολομετρίας ψηφίδων χρησιμοποιείται σαν όρος όταν ένα από τα συμβάλλοντα πεδία είναι ένα πεδίο ψηφίδων, το οποίο προκύπτει από την ανάκλαση φωτός από μια οπτικά ανώμαλη επιφάνεια. Η λέξη «ψηφίδα» περιγράφει την διάστικτη, κοκκιδωτή και τυχαία φύση της κατανομής έντασης του ανακλώμενου φωτός, όπως αυτή παρατηρείται σε κάποια απόσταση από το αντικείμενο.

Η τεχνική ESPI συνδέεται σημαντικά με την ολογραφική συμβολομετρία, αφού και οι δύο τεχνικές παρέχουν την ίδια ευαισθησία, ωστόσο η τεχνική E.S.P.I. απλουστεύει την πειραματική διαδικασία δίχως να απαιτεί την καταγραφή ολογράμματος και με την χρήση της κάμερας ως ψηφιακό καταγραφικό δίνει τη δυνατότητα και το πλεονέκτημα καταγραφής και ταυτόχρονης απεικόνισης των κροσσών σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, η καταγραφή των κροσσών με την τεχνική E.S.P.I. είναι λιγότερο ευκρινείς σε σχέση με την ολογραφική συμβολομετρία.

Με την μέθοδο της χρονικά ολοκληρωμένης ηλεκτρονικής συμβολομετρίας ψηφίδων μπορούμε να παρατηρήσουμε και να καταγράψουμε τις δονήσεις των καπακιών ακόμη και να υπολογίσουμε το πλάτος ταλάντωσης της δονούμενης επιφάνειας που μελετάται κάθε φορά. Αυτό πραγματοποιείται με τη λήψη ασπρόμαυρων φωτογραφιών όπου μέσω διαβαθμίσεων του γκρι, προσδιορίζονται τα ζητούμενα στοιχεία για τους τρόπους δόνησης των αντικειμένων που μελετώνται.

Περιγραφικά, η βασική διάταξη E.S.P.I. περιλαμβάνει την καταγραφή δύο δεσμών λέιζερ σε μία CCD κάμερα, από τις οποίες η μία προέρχεται από ανάκλαση στην υπό εξέταση δονούμενη επιφάνεια (δέσμη αντικειμένου) και η άλλη είναι αναπόσπαστο κομμάτι της αρχικής δέσμης λέιζερ που οδηγείται απ' ευθείας στην CCD κάμερα (δέσμη αναφοράς). Όλη η τεχνική είναι μία διαδικασία αφαίρεσης ή πρόσθεσης διαδοχικών εικόνων που καταγράφονται καθώς το αντικείμενο μετακινείται. Η χρονικά ολοκληρωμένη E.S.P.I. χρησιμοποιείται για την μελέτη περιοδικών αρμονικών παραμορφώσεων, όπου τα δεδομένα λαμβάνονται με την μορφή τηλεοπτικών καρτέ με μεγάλους χρόνους έκθεσης σε σχέση με την περίοδο κίνησης.

4.6 Μαθηματική θεώρηση

Σε αυτό το υπο-κεφάλαιο θα γίνει περιγραφή των βασικών μαθηματικών αρχών που αφορούν τα αρμονικά ταλαντευμένα σώματα με την συγκεκριμένη χρονικά ολοκληρωμένη τεχνική που χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη των καπακιών, δηλαδή αυτή της αφαίρεσης διαδοχικών εικόνων.

Θεωρούμε μια εγκάρσια αρμονικά δονούμενη επιφάνεια και ότι η απομάκρυνση από τη θέση ισορροπίας, w , σε κάθε σημείο της επιφάνειας (x,y) για κάθε χρονική στιγμή, t , είναι της μορφής:

$$w(x, y, t) = A(x, y) \cos[\omega t + \phi_0(x, y)] \quad (4.6.1)$$

όπου $A(x,y)$ είναι η κατανομή του πλάτους ταλάντωσης πάνω στην επιφάνεια, ω η κυκλική συχνότητα της ταλάντωσης και $\phi_0(x,y)$ η κατανομή της φάσης δόνησης πάνω στην επιφάνεια. Η κατανομή φωτεινής έντασης που ανιχνεύει η κάμερα μέσα στο χρόνο έκθεσης, t , είναι:

$$I_1 = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \left\{ I_A + I_B + 2\sqrt{I_A I_B} \cdot \cos\left[\varphi + \frac{2\pi}{\lambda} (1 + \cos\theta) A \cos(\omega t + \varphi_0)\right] \right\} dt \quad (4.6.2)$$

όπου I_A και I_B είναι οι κατανομές έντασης των δεσμών αντικειμένου και αναφοράς αντίστοιχα, ϕ είναι η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο παραπάνω δεσμών, λ είναι το μήκος κύματος της πηγής laser, και θ είναι η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης φωτισμού του αντικειμένου και της διεύθυνσης παρατήρησης. Στην περίπτωση μας $\theta \equiv 0$. Θέτοντας $\Gamma = 4\pi\lambda$ και $t = 2m\pi/\omega$, όπου m είναι ακέραιος, και ολοκληρώνοντας από την εξίσωση (4.6.2) προκύπτει ότι:

$$I_1 = I_A + I_B + 2\sqrt{I_A I_B} |(\cos \phi) J_0(\Gamma A)| \quad (4.6.3)$$

όπου J_0 είναι η συνάρτηση Bessel μηδενικής τάξης πρώτου είδους. Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω της χρονικής ολοκλήρωσης, στην εξίσωση (4.6.3) έχει εξαλειφθεί η φάση της δόνησης, ϕ_0 .

Καθώς η ταλάντωση του αντικειμένου εξακολουθεί, θεωρούμε ότι το πλάτος ταλάντωσης αλλάζει από A σε $A+\Delta A$, λόγω αστάθμητων παραγόντων. Τότε μια δεύτερη εικόνα καταγράφεται, της οποίας η κατανομή φωτεινής έντασης μπορεί παρομοίως να εκφραστεί, μετά από ανάπτυγμα Taylor (υποθέτοντας ΔA πολύ μικρό και κρατώντας μόνο τους δύο πρώτους όρους του αναπτύγματος), ως:

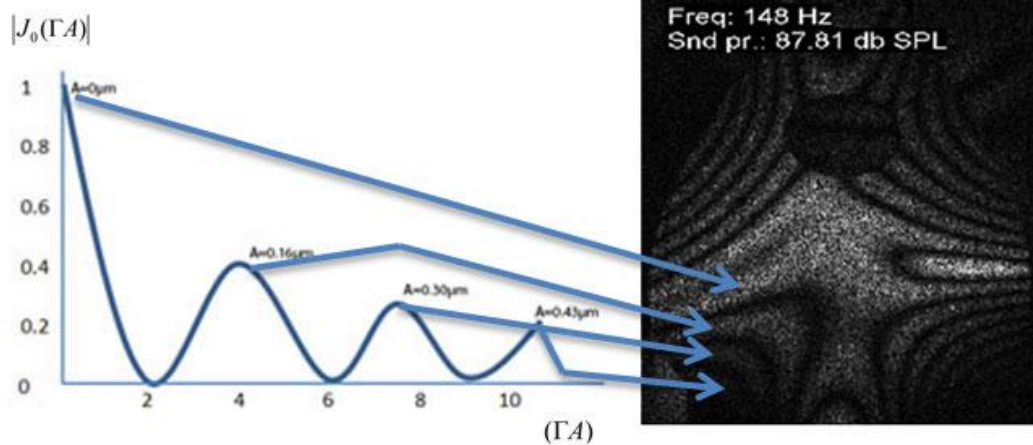
$$I_2 = I_A + I_B + 2\sqrt{I_A I_B} |(\cos \phi) \left[1 - \frac{1}{4} \Gamma^2 (\Delta A)^2 \right] J_0(\Gamma A)| \quad (4.6.4)$$

Οι δύο διαδοχικές εικόνες, I_1 και I_2 , αφαιρούνται μέσω κατάλληλου λογισμικού, και το αποτέλεσμα εκφράζεται ως:

$$I = I_1 - I_2 = \frac{\sqrt{I_A I_B}}{2} |(\cos \phi) \Gamma^2 (\Delta A)^2 J_0(\Gamma A)| \quad (4.6.5)$$

Από την εξίσωση (4.6.5) είναι προφανές ότι το χρονικά ολοκληρωμένο συμβολόγραμμα, I , είναι διαμορφωμένο από τη συνάρτηση Bessel $J_0(\Gamma A)$. Οι εναλλασσόμενοι φωτεινοί και σκοτεινοί κροσσοί είναι ουσιαστικά ισοϋψείς καμπύλες ίδιου πλάτους ταλάντωσης. Οι φωτεινοί κροσσοί αντιστοιχούν στα μέγιστα της $J_0(\Gamma A)$, με τον φωτεινότερο κροσσό να αντιστοιχεί σε δεσμό ($A = 0$). Οι υπόλοιποι φωτεινοί κροσσοί, διαδοχικά μειούμενης φωτεινότητας, αντιστοιχούν σε τιμές πλάτους ταλάντωσης 0.3 λ , 0.56 λ , 0.81 λ , 1.07 λ ...

Στο παρακάτω σχήμα (εικόνα 4.2) απεικονίζεται η αντιστοιχία αυτή για την περίπτωση συμβολογράμματος E.S.P.I. για το καπάκι τζουρά 1 όπου φαίνονται οι υπολογισμένες τιμές πλάτους ταλάντωσης ($\lambda = 532\text{nm}$), αλλά και το ελάχιστο ανιχνεύσιμο πλάτος δόνησης της ESPI, το οποίο βρίσκεται στα 0.16 μm .



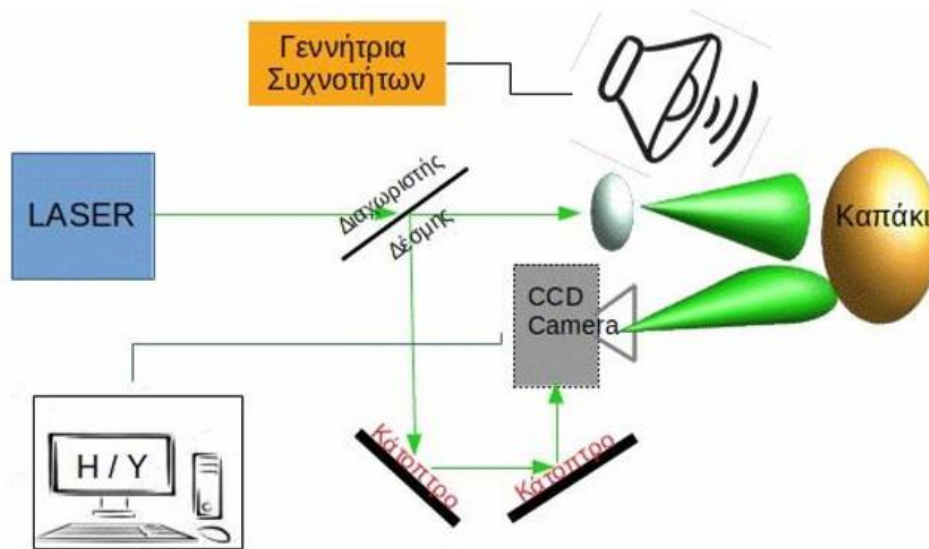
Εικόνα 4.2 : Αντιστοιχία μεγίστων συνάρτησης Bessel $|J_0(\Gamma A)|$ και κατανομής πλάτους ταλάντωσης μετρούμενης με την τεχνική E.S.P.I..

Από τα παραπάνω διαφαίνεται το κύριο μειονέκτημα της τεχνικής ESPI, που είναι ο περιορισμός στη διακριτική ικανότητα που επιβάλλει το γεγονός ότι δεν μπορεί να μετρηθεί με ακρίβεια μετατόπιση που αντιστοιχεί σε λιγότερο από ένα κροσσό. Επιπλέον, λόγω της διαμόρφωσης του συμβολογράμματος με τη συνάρτηση Bessel, δεν μπορούν να μετρηθούν πολύ μεγάλες μετατοπίσεις, αφού σε τέτοια περίπτωση η χωρική πυκνότητα των κροσσών θα είναι τόσο μεγάλη ώστε να καθίστανται πλέον μη ορατοί.

Κεφάλαιο 5^ο - Πειραματικές τεχνικές και διατάξεις

5.1 Πειραματική διάταξη και διαδικασία

Στο σχήμα που ακολουθεί (εικόνα 5.1.1) απεικονίζεται η διάταξη ESPI του εργαστηρίου ακουστικής και οπτικής τεχνολογίας του τμήματος μουσικής τεχνολογίας και ακουστικής στο Ρέθυμνο, και ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζεται η συγκεκριμένη μέθοδος αναλύεται παρατηρώντας το σχήμα αυτό. Σε πρώτο στάδιο το υπό μελέτη αντικείμενο, το καπάκι εν προκειμένω, στηρίζεται σε μεταλλική βάση όπου στα άκρα της υπάρχει απορροφητικό ελαστικό υλικό. Η βάση αυτή είναι εγκατεστημένη σε σταθερό τραπέζι.



Εικόνα 5.1.1 - Πειραματική διάταξη ESPI.

Πηγή λέιζερ, συνεχούς μήκους κύματος (cw), στερεάς κατάστασης διοδικής άντλησης Nd:YAG, ενεργού που υλικού εκπέμπει φωτεινή ακτινοβολία πράσινου φωτός με μήκος κύματος $\lambda = 532 \text{ nm}$ και μέγιστη ισχύς 300mW πάνω σε ένα διαχωριστή δέσμης 80:20 διαχωρίζοντας την δέσμη ακτινοβολίας σε δύο συνιστώσες, μια με 80% η οποία φέρεται ως δέσμη αντικειμένου και μία με 20% της αρχικής εκπεμπόμενης ακτινοβολίας η οποία φέρεται ως δέσμη αναφοράς. Η δέσμη αντικειμένου με ποσοστό 80% διέρχεται μέσω ενός αποκλίνον φακού με ως απώτερο σκοπό να μεγεθύνει ή σμικρύνει τη δέσμη ακτινοβολίας ώστε καλυφθεί όλη η υπό μέτρηση επιφάνεια και στη συνέχεια προσπίπτει πάνω στο υπό μέτρηση κρουστό. Η δέσμη αναφοράς διέρχεται μέσω ενός ουδέτερου φίλτρου μεταβλητής

διαπερατότητας, ώστε να έχουμε τον πλήρη έλεγχο της σχετικής του έντασης και μέσω κατόπτρων οδηγείται στην CCD camera. Για την ομοιόμορφη κατανομή της έντασης πάνω στον αισθητήρα της CCD camera παρεμβάλλεται ένας παραλληλοποιητής - μεγεθυντής X20. Η CCD camera που χρησιμοποιήθηκε για την καταγραφή έχει μέγεθος αισθητήρα 1392×1040 pixels, μέγεθος pixel 6.45×6.45μm μέγιστο ρυθμό καταγραφής 15 frames/sec και διαθέτει ένα κατάλληλο φακό συλλογής φωτός. Η σύνδεσή της με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή γίνεται μέσω πρωτοκόλλου firewire. Επειδή η δέσμη αναφοράς έρχεται κάθετη από τον παραλληλοποιητή προς την κάμερα τοποθετήθηκε στο εσωτερικό της, ανάμεσα από τον φακό και τον αισθητήρα, ένας διαχωριστής δέσμης 50:50 ώστε οι δύο δέσμες να προσπίπτουν τελικά ευθυγραμμισμένες και οι δύο μαζί πάνω στον αισθητήρα.

Η διέγερση των καπακιών έγινε με ηχοβόλιση. Για την επίτευξή της χρειάστηκε ένα γρήγορο σε μεταβολές, τόσο της έντασης όσο και της συχνότητας, ηχείο. Έτσι χρησιμοποιήθηκε το ηχείο της εταιρίας Genelec μοντέλο 8030arm. Για την παραγωγή του εκπεμπόμενου ήχου χρησιμοποιήθηκε γεννήτρια συχνοτήτων (Siglent SDG830) η οποία ήταν παράλληλα συνδεδεμένη με το ηχείο και με ένα παλμογράφο (Siglent SDS1103CML). Το εύρος συχνοτήτων περιορίστηκε στα 50 έως 2500 Hz, ενώ δίπλα στο καπάκι τοποθετήθηκε ηχώμετρο (Phonic PAA3) συνδεδεμένο με τον υπολογιστή για την καταγραφή της στάθμης της ηχητικής πίεσης από το ηχείο.



(α)



(β)

Εικόνα 5.1.2 – α) Πειραματική διάταξη E.S.P.I), β) Πειραματική διάταξη ηχείου-καπακίου

Για την στήριξη των καπακιών χρησιμοποιήθηκε ειδικά κατασκευασμένη βάση στήριξης με ειδικό απορροφητικό υλικό τοποθετημένο στα σημεία στήριξης, ώστε να απομονώνονται τυχόν κραδασμοί από τη βάση στήριξης προς τα καπάκια. Η απουσία ανεπιθύμητων κραδασμών από το περιβάλλον διαπιστώθηκε και πειραματικά, χωρίς διέγερση, καθώς η τεχνική ESPI είναι ευαίσθητη σε πολύ μικρές μετατοπίσεις. Το ηχείο τοποθετήθηκε σε απόσταση 40 cm από το αντικείμενο μέτρησης, ώστε να μην είμαστε μέσα στο εγγύς πεδίο του ηχείου και με όσο τον δυνατόν μικρότερη γωνία ακτινοβολίας. Επίσης τοποθετήθηκαν σε αντίστοιχο ύψος τα δυο κέντρα, ώστε να συμπίπτουν το ένα κέντρο με το άλλο.

Ένας υπολογιστής λειτουργεί ως σύστημα καταγραφής και επεξεργασίας των δεδομένων που εξάγονται από την ψηφιακή κάμερα. Η ηλεκτρονική καταγραφή, επεξεργασία και αποθήκευση των δεδομένων (εικόνων) γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Αυτό που ουσιαστικά γίνεται είναι χρονική συσχέτιση των φωτεινών εντάσεων που καταγράφει η κάμερα (ανακλώμενης και αναφοράς). Όταν γίνει μία εγκάρσια μορφολογική μεταβολή του αντικειμένου που εκτίθεται για μελέτη (αρχίσει να ταλαντώνεται) τότε και η φωτεινή ένταση που καταγράφει η κάμερα από την ανακλώμενη φωτεινή δέσμη θα έχει μεταβληθεί ως προς την δέσμη αναφοράς ανάλογα με την μεταβολή του αντικειμένου. Η μεταβολή της φωτεινής δέσμης ανάκλασης σε συμβολή με την ένταση αναφοράς εμφανίζεται με την μορφή κροσσών συμβολής και διαβαθμίσεων του γκρι στις φωτογραφίες των υπό μελέτη αντικειμένων.

Η πειραματική διαδικασία για την μελέτη των καπακιών με την τεχνική ESPI πραγματοποιήθηκε ως εξής: αρχικά γίνεται οπτική ευθυγράμμιση και ρυθμίζονται οι σχετικές εντάσεις των δεσμών αναφοράς και αντικειμένου στον αισθητήρα της κάμερας. Η εικόνα καταγράφεται συνεχώς καθώς αλλάζει η συχνότητα διέγερσης. Η συχνότητα διέγερσης μεταβάλλεται κατά μικρά βήματα (περίπου 5 Hz), ενώ σε κάθε συχνότητα καταγράφονται αρκετές εικόνες. Όταν η συχνότητα διέγερσης πλησιάζει μια συχνότητα συντονισμού του οργάνου εμφανίζονται κροσσοί, με τον αριθμό τους να μεγιστοποιείται (μέγιστο πλάτος ταλάντωσης) ακριβώς στη συχνότητα συντονισμού. Με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζονται ακριβώς οι ιδιοσυχνότητες με το αντίστοιχο εύρος ζώνης τους και καταγράφονται οι αντίστοιχες ιδιομορφίες κατανομής του πλάτους ταλάντωσης της επιφάνειας. Τα αποτελέσματα της τεχνικής ESPI παρουσιάζονται σε επόμενο κεφάλαιο.

5.2 Ακουστικές τεχνικές και ανάλυση

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου αυτής γίνεται ηχοβόλιση του καπακιού και ηχογραφείται το αποτέλεσμα αυτής. Χρησιμοποιήθηκε monitor ηχείο συχνοτικής απόκρισης (+3-4 dB από τα 60Hz έως τα 16KHz) της εταιρίας Genelec. Το ηχείο εκπέμπει sweep tone και με πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο καταγράφονται οι δονήσεις σε συγκεκριμένα σημεία.

Το ηχείο τοποθετήθηκε σε απόσταση 40 cm από το καπάκι και σε ύψος τέτοιο ώστε να βρίσκεται το κέντρο του κώνου του απέναντι από το κέντρο του καπακιού. Η στάθμη της έντασης διατηρήθηκε σταθερή για όλες τις μετρήσεις. Για τον συνεχή έλεγχο της στάθμης της έντασης χρησιμοποιήθηκε ηχόμετρο το οποίο ήταν τοποθετημένο δίπλα από το καπάκι. Η ηχογράφηση πραγματοποιήθηκε μέσω πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου της εταιρίας Schaller Oyster. Οι καταγραφές ήχου έγιναν μέσω του περιβάλλοντος Audacity και ως κάρτα ήχου χρησιμοποιήθηκε το Zoom H4n. Η επεξεργασία και η ανάλυση του ηχογραφημένου υλικού έγινε μέσω

του περιβάλλοντος Room Eq Wizard. Από το ίδιο λογισμικό έγινε και η εξαγωγή γραφημάτων της συχνοτικής απόκρισης των καπακιών.

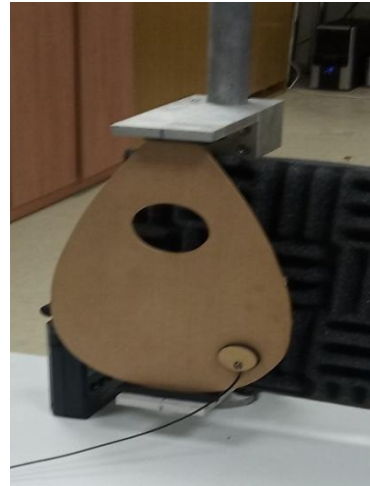
Για κάθε καπάκι έγιναν τρεις μετρήσεις όπως φαίνεται και στις πιο κάτω εικόνες (εικ. 5.2.1 α, β, γ). Έγινε μία μέτρηση στην αριστερή πλευρά του καπακιού, έγινε μία μέτρηση στη μέση του καπακιού και μία άλλη στην άλλη πλευρά του καπακιού.



(α)



(β)



(γ)

Εικόνα 5.2.1 – α) Αριστερή μέτρηση, β) - Κεντρική μέτρηση, γ) Δεξιά μέτρηση

Κεφάλαιο 6^ο – Εμποτισμός ξύλου και πειραματική επεξεργασία

6.1 Γιατί γίνεται εμποτισμός ξύλου

Το ξύλο είναι ένα άριστο υλικό με πολλά πλεονεκτήματα, αλλά και με μειονεκτήματα. Είναι μια ανανεώσιμη πρώτη ύλη η οποία προσφέρεται σε μια ποικιλία σχεδιάσεων και χρωμάτων, ανάλογα με το είδος του ξύλου από το οποίο προέρχεται. Είναι μονωτικό υλικό και αποτελεί την πρώτη ύλη από την οποία μπορεί ο άνθρωπος να παράγει με μηχανική ή χημική κατεργασία πάνω από 2.000 προϊόντα. Τα βασικά μειονεκτήματα του ξύλου αναφέρονται στο γεγονός ότι είναι ανισότροπο και ανομοιογενές υλικό, το οποίο ως προϊόν βιολογικών διεργασιών προσβάλλεται από μύκητες, έντομα, βακτήρια και άλλους μικροοργανισμούς. Το ξύλο αποτελείται από κυτταρίνη, ημικυτταρίνες, λιγνίνη και εκχυλίσματα. Τα δύο πρώτα συστατικά είναι υγροσκοπικά και για το λόγο αυτό το ξύλο είναι και αυτό υγροσκοπικό, δηλ. όταν εκτίθεται στην ατμόσφαιρα προσλαμβάνει υγρασία και διογκώνεται ή χάνει υγρασία από τη μάζα του και συρρικνώνεται. Εκτός από τα μειονεκτήματα αυτά, το ξύλο καίγεται. Για να αντιμετωπίσουμε τα μειονεκτήματα του ξύλου, το υποβάλλουμε σε διάφορους χειρισμούς, όπως είναι ο εμποτισμός της μάζας του με διάφορες χημικές ουσίες, ανάλογα με την τελική χρήση του προϊόντος. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να προστατεύσουμε την κατασκευή μας από προσβολές μυκήτων (δηλ. από σάπισμα), από προσβολές ξυλοφάγων εντόμων και άλλων μικροοργανισμών. Υπάρχουν επίσης χημικές ουσίες - εμποτιστικά ξύλου, με τις οποίες καθιστούμε το ξύλο πιο βραδύκαυστο, ενώ με άλλες ουσίες το ξύλο αποκτάει σταθερές διαστάσεις. Με τους χειρισμούς εμποτισμού του ξύλου πολλαπλασιάζουμε τη διάρκεια ζωής της κατασκευής μας. Ένα ξύλινο σπίτι το οποίο συντηρείται έχει απεριόριστη διάρκεια ζωής. Υπάρχουν πάμπολλες ξύλινες κατοικίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για 500 και 1000 χρόνια, με μόνη φροντίδα την συντήρηση του ξύλου με προστατευτικά συντηρητικά.

6.2 Εμποτιστικές ουσίες

Οι χημικές ουσίες που χρησιμοποιούνται για τον εμποτισμό του ξύλου διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες από τις οποίες οι σπουδαιότερες είναι:

- I. Τα έλαια τα οποία υπάγονται στο γνωστό πισσέλαιο, με το οποίο εμποτίζουμε υπό πίεση τους στύλους δικτύων τηλεφώνου και ρεύματος, τους στρωτήρες σιδηροδρόμων, και ξυλεία περιφράξεων. Πρόκειται για ελαιώδες υγρό με οσμή πίσσας, το οποίο παράγεται από την ξηρή απόσταξη των λιθανθράκων. Είναι πολύ διαδεδομένο και αποτελεσματικό συντηρητικό ξύλου και σε καμία περίπτωση δεν χρησιμοποιείται σε κατασκευές εσωτερικού χώρου, ή κατασκευές με τις οποίες ο άνθρωπος ή τα ζώα έρχονται σε επαφή. Σε

πολλές χώρες της Δύσης και της Ε.Ε., ωστόσο, έχει απαγορευθεί η χρήση του πισσελαίου εξαιτίας της τοξικότητάς του

- II. Τα υδατοδιαλύτα εμποτιστικά υπάγονται διάφορα άλατα ή οξείδια αλάτων του βορίου, χρωμίου, ψευδαργύρου, χαλκού κ.α. Ο συνδυασμός των αλάτων αυτών μας δίνει πολύ αποτελεσματικά εντομοκτόνα μυκητοκτόνα συντηρητικά του ξύλου, τα οποία βρίσκουν παγκόσμια χρήση. Τα τελευταία χρόνια έχει απαγορευθεί η χρήση των αλάτων του αρσενικού (γνωστά ως άλατα CCA) για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος και του ανθρώπου. Τα πλέον ασφαλή από τα άλατα αυτά είναι τα βορικά άλατα (γνωστά ως άλατα CCB) και τα άλατα χαλκού. Τα εμποτιστικά αυτά δεν διατίθενται σε ιδιώτες και ερασιτέχνες αλλά μόνο σε μονάδες εμποτισμού ξυλείας.

6.3 Μεθόδους εμποτισμού

Οι πιο αποτελεσματικές μέθοδοι εμποτισμού του ξύλου είναι αυτές που γίνονται σε κλειστό κύλινδρο με άσκηση πίεσης και κενού μέσα στον κύλινδρο. Με τον τρόπο αυτό το υγρό εμποτιστικό εισχωρεί μέσα στα κενά του ξύλου και έτσι επιτυγχάνεται πλήρης προστασία του ξύλου. Η μέθοδος αυτή είναι η πιο αποτελεσματική και επιβάλλεται σε εξωτερικές εφαρμογές του ξύλου και ειδικότερα όταν η κατασκευή μας έρχεται σε επαφή με το έδαφος ή το νερό ή είναι μέσα στο έδαφος. Όταν η κατασκευή μας δεν κινδυνεύει από μύκητες, τότε μπορεί να εφαρμοσθεί ο εμποτισμός του ξύλου με τη μέθοδο της απλής εμβάπτισης. Η μέθοδος αυτή είναι αρκετά διαδεδομένη στην ελληνική αγορά για κατασκευές στεγών, όπου χρησιμοποιούνται τα βορικά άλατα. Αυτό που θα πρέπει να γνωρίζουμε είναι ότι το εμβάπτισμένο ξύλο έχει μόνο επιφανειακή επάλειψη και όχι σε βάθος, σε αντίθεση προς το εμποτισμένο υπό πίεση που παρέχει απόλυτη προστασία.

6.4 Ο βόρακας

Ο βόρακας είναι ένυδρο ορυκτό του Βορίου και το συναντάμε με τη μορφή λευκής σκόνης. Το όνομά του προέρχεται από την αραβική λέξη buraq = λευκός, λόγω του χρώματός του. Το από τότε ο άνθρωπος γνωρίζει και χρησιμοποιεί τον βόρακα δεν είναι δυνατόν να διευκρινιστεί. Εικάζεται πως οι Βαβυλώνιοι έφεραν τον βόρακα από την Άπω Ανατολή εδώ και τουλάχιστον 4.000 χρόνια. Εκεί υπήρχε άφθονος βόρακας στις δυσπρόσιτες ξηρές λίμνες των υψιπέδων του Θιβέτ, σε υψόμετρα 4000-4500 μέτρων, απ' όπου ποσότητες του μεταφέρονταν με καραβάνια στην Ινδία, με την ονομασία tincal, η οποία είναι σε χρήση μέχρι και σήμερα και δηλώνει ακάθαρτο, ανεπεξέργαστο βόρακα. Σε κείμενα αναφέρεται ότι τον χρησιμοποιούσαν οι χρυσοχόοι, χάρις στην ιδιότητα του τηγμένου βόρακα, να

διευκολύνει τη συγκόλληση τεμαχίων χρυσοῦ ἢ χρυσοῦ με χαλκό, ἐξ ου και μια ἀπὸ τις μετέπειτα ονομασίες του: chrysocolia. Οἱ ἀρχαῖοι Αἰγύπτιοι χρησιμοποιοῦσαν τον βόρακα τόσο στη μεταλλουργία, ὅσο και στην ἰατρική ὅπως ἐπίσης και στην ταρίχευση των νεκρῶν τους, χωρὶς ὠστόσο το τελευταῖο να ἔχει τεκμηριωθεῖ. Βορικά ἄλατα και βορικό οξύ χρησιμοποιοῦσαν οἱ ἀρχαῖοι Ἕλληνες κυρίως για καθαρισμούς και ὡς συντηρητικό τροφίμων λόγω της χαμηλῆς τοξικότητάς του και της αντισηπτικῆς δράσης του. Σε κινεζικά κεραμικά ἀντικείμενα του 300 μ.Χ. διαπιστώθηκε ἡ χρήση βόρακα στα υαλώματα (σμάλτα, glazes), ἐνῶ ἡ χρησιμότητα αὐτῆ του βόρακα περιγράφεται ἀπὸ Ἄραβες ἀλχημιστές ἀπὸ το 700 μ.Χ. Ἡ χρήση αὐτῆ βασίζεται στην ἰδιότητα του τηγμένου βόρακα να διαλυτοποιεῖ μεταλλικά οξειδία ἀποκτώντας διαφορετικά χρώματα. Ο Ἰταλὸς περιηγητῆς και ἔμπορος Marco Polo (1254-1324) ἔφερε ἀπὸ την Κίνα στην Ἰταλία κάποια δείγματα ἀπὸ τα υαλώματα βόρακα κατὰ τον 13ο αἰώνα. Το βορικό οξύ και τα ἄλατά εἶναι πολὺ ἀποτελεσματικά για τον ἔλεγχο και καταστροφή εντόμων και μυκήτων, ἐνῶ δεν εἶναι επικίνδυνα για τα θηλαστικά. Εἶναι τοξικά για κατσαρίδες, μυρμηγκία, τερμίτες, σκαθάρια, ψύλλους και κάμπιες. Για τους παραπάνω λόγους χρησιμοποιεῖται ὡς συντηρητικό ξύλου.

6.5 Πειραματικὸς ἐμποτισμὸς

Στο πειραματικὸ μέρος ἐμποτισμοῦ του ξύλου ἀκολουθήσαμε τέσσερις διαφορετικές μεθόδους σε τέσσερα διαφορετικά δοχεῖα ὅπου στη συνέχεια τοποθετήσαμε τα καπάκια. Στην πρώτη μέθοδο προσπαθήσαμε να φτιάξουμε ἕνα κορεσμένο διάλυμα, δηλαδή προσθέσαμε την περισσότερη δυνατὴ ποσότητα βορικού ἄλατος που μπορεῖ να διαλυθεῖ. Στις ἐπόμενες δύο μεθόδους χρησιμοποιοῦσαμε λιγότερη ποσότητα βορικού χλωρίου, ἐνῶ στην τέταρτη χρησιμοποιοῦσαμε μόνο νερό. Πιο ἀναλυτικά:

- I. Στο πρώτο δοχεῖο προσθέσαμε 3.100 kg νερό και 150 gr βορικό ἄλας
- II. Στο δεύτερο δοχεῖο προσθέσαμε 3.100 kg νερό και 50 gr βορικό ἄλας
- III. Στο τρίτο δοχεῖο προσθέσαμε 3.100 kg νερό και 25 gr βορικό ἄλας
- IV. Στο τέταρτο δοχεῖο προσθέσαμε 3.100 kg νερό

Στις πιο πάνω μετρήσεις δεν συμπεριλάβαμε το βάρος του δοχείου. Στην πιο κάτω εικόνα (Εικ. 6.4.1) φαίνονται τα δοχεῖα ἀρχίζοντας με το πρώτο δοχεῖο ἀριστερά και πιο καπάκι χρησιμοποιοῦσαμε σύμφωνα με τις μετρήσεις που θα δούμε σε ἐπόμενο κεφάλαιο. Ἐπίσης τα καπάκια τοποθετήθηκαν στα διαλύματα για 24 ὥρες.



Εικόνα 6.4.1 – Τα καπάκια κατά τη διάρκεια του εμποτισμού

Στη συνέχεια, τοποθετήσαμε τα τέσσερα καπάκια σε φούρνο, σε θερμοκρασία 50°C και τα αφήσαμε για 14 ώρες να ξηραθούν. Αφήσαμε εσκεμμένα ελάχιστα ανοιχτή την πόρτα του φούρνου ώστε να φεύγει η υγρασία και να μην εγκλωβίζεται, ώστε να στεγνώσει το ξύλο. Εδώ να σημειωθεί ότι αυτός ο τρόπος ξήρανσης για ξύλα και ακόμη περισσότερο για ξύλα που προορίζονται για κατασκευή μουσικών οργάνων δεν εν δεικνύεται. Το ξύλο πρέπει να στεγνώνει με φυσικό τρόπο. Αυτό όμως απαιτεί αναμονή για μεγάλο χρονικό διάστημα, κάτι που δεν μπορούσε να γίνει.

Σε αυτό το μέρος του πειραματισμού είχαμε τη πρώτη μας αστοχία αφού κατά τη διάρκεια εμποτισμού του πρώτου καπακιού στο τέταρτο δοχείο που περιείχε μόνο νερό και κατά τη διεργασία της ξήρανσης ξεκόλλησαν τα καμάρια από το ξύλο με αποτέλεσμα το ξύλο να σκεβρώσει (εικ. 6.4.2) . Για αυτό το λόγο κάναμε ακόμη μια μέτρηση για το καπάκι χωρίς καμάρια και στη κατάσταση που ήταν και μετά ξανα-κολλήσαμε τα καμάρια στο καπάκι με αποτέλεσμα το καπάκι την ώρα που ήτανε στραβό να έρθει στη θέση του (εικ. 6.4.3).



Εικόνα 6.4.2 – Καπάκι 1 μετά τον εμποτισμό



Εικόνα 6.4.3 – Καπάκι 1 κατά τη διαδικασία επανακόλλησης των καμαριών

Κεφάλαιο 7^ο - Πειραματικές τεχνικές και διατάξεις

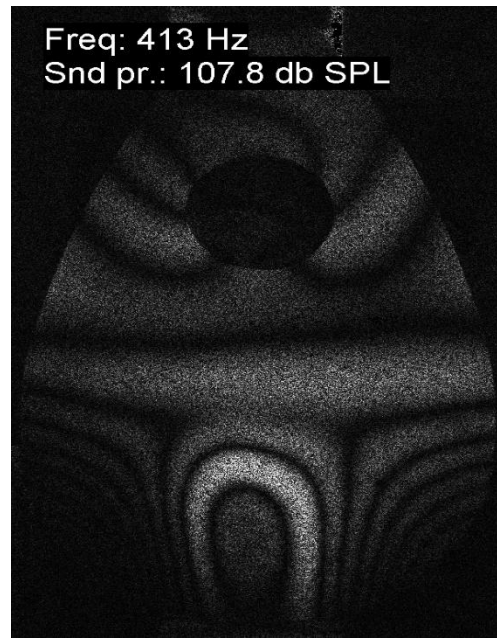
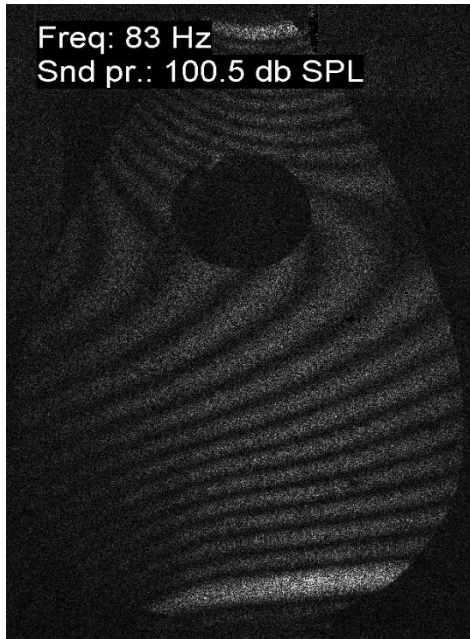
7.1 Πραγματοποίηση πειραμάτων

Για τον προσδιορισμό των ιδιομορφών των καπακιών χρησιμοποιήθηκε η οπτική τεχνική της ηλεκτρονικής συμβολομετρίας ψηφίδων (Electronic Speckle Pattern Interferometry – ESPI) και η ηχοβόλιση-ηχογράφιση με πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο στο καπάκι οι οποίες αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο. Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων όπου:

- α) Στο πρώτο μέρος πραγματοποιούνται μετρήσεις των καπακιών 1, 2, 3, 4 με τη μέθοδο ESPI και με ηχοβόλιση-ηχογράφιση με πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο στο καπάκι.
- β) Στο δεύτερο μέρος ακολουθούν εκ νέου μετρήσεις, μετά το πέρας της χημικής επεξεργασίας των καπακιών 1, 2, 3, 4 με τη μέθοδο ESPI και με ηχοβόλιση-ηχογράφιση με πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο στο καπάκι ώστε να διαπιστωθούν τυχόν μεταβολές. Στο καπάκι 1 γίνονται δύο μετρήσεις μετά το πέρας της χημικής επεξεργασίας λόγω της αστοχίας που είχαμε και εξηγήσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

7.2 Μετρήσεις με τη μέθοδο ESPI

Με ένα μόνιτορ ηχείο γίνεται ηχοβόλιση στα καπάκια με ημιτονικά σήματα. Το εύρος των συχνοτήτων κυμαίνονται από 50 Hz – 2500 με βήμα 1 Hz (sweep tone). Για κάθε καπάκι έγιναν τρεις διαφορετικές μετρήσεις με τρεις διαφορετικές στάθμες (low, medium, high). Η ηχοβόλιση γίνεται με γεννήτρια συχνοτήτων. Οι ιδιοσυχνότητες του καπακιού καταγράφονται σε βίντεο στον υπολογιστή και ταυτόχρονα παρατηρούνται οι περιοχές με μηδενικό πλάτος και το εύρος των συντονισμών (εικ. 7.1.1).



Εικόνα 7.1.1 - Απεικόνιση των ιδιοσυχνοτήτων με τη μέθοδο ESPI.

7.2 Ηχοβόλιση-ηχογράφηση με πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο

Με ένα μόνιτορ ηχείο γίνεται ηχοβόλιση με ημιτονικά σήματα σε όλα τα καπάκια με βήμα 1Hz (sweep tone). Η οδήγηση γίνεται με γεννήτρια συχνοτήτων. Το εύρος μελέτης είναι από 50 έως 2500 Hz και η στάθμη της έντασης διατηρείται στο medium του ηχείου.

Για να καταγραφούν οι δονήσεις στα διάφορα σημεία, τοποθετείται πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος. Ο κρύσταλλος τοποθετείται σε τρία σημεία διαδοχικά: α) στο κάτω αριστερό, β) στο κάτω δεξί και γ) στη μέση του καπακιού, όπως φαίνονται στις εικόνες (εικ. 5.2.1 – α, β, γ) στο κεφάλαιο 5. Η καταγραφή έγινε από το Zoom H4n ως κάρτα ήχου. Στη συνέχεια, τα αποθηκευμένα αρχεία επεξεργάστηκαν με το πρόγραμμα Room Eq Wizard που υπάρχει εγκατεστημένο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή του εργαστηρίου.

Ένα πλεονέκτημα που έχει αυτή η πειραματική διαδικασία είναι η μη συμμετοχή των ανακλάσεων του χώρου μέσα στον οποίο εφαρμόζεται η μέθοδος στις πειραματικές μετρήσεις. Σαν μειονέκτημα όμως που έρχεται και αντισταθμίζει το παραπάνω είναι το βάρος του κρυστάλλου. Επειδή το βάρος του κρυστάλλου είναι συγκρίσιμο με αυτό του καπακιού ενδέχεται να διαστρεβλώνει τα αποτελέσματα, μεταβάλλοντας τις ιδιοσυχνότητες του καπακιού.

Κεφάλαιο 8^ο – Αποτελέσματα των πειραμάτων και ανάλυση

Όπως αναφέραμε και στα προηγούμενα κεφάλαια για την παρατήρηση των δονητικών χαρακτηριστικών των καπακιών χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι. Σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις των καπακιών 1,2,3,4 πριν και μετά την χημική επεξεργασία, καθώς και ο σχολιασμός τους.

8.1 Αποτελέσματα E.S.P.I πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 1

Τα αποτελέσματα που πήραμε, ακολουθώντας τη μεθοδολογία της ESPI για το καπάκι 1 το οποίο το προσθέσαμε σε δοχείο με 3100 gr νερό, όπου είχαμε και την αστοχία να ξεκολλήσουν τα καμάρια με αποτέλεσμα το καπάκι να στραβώσει, αλλά και οι μετρήσεις μετά με τα καμάρια που κολλήσαμε ξανά με αποτέλεσμα το ξύλο να έρθει στη θέση του παρατίθενται στη συνέχεια σε στήλες όπου στην 1^η και τη 4^η στήλη βλέπουμε την απεικόνιση της απόκρισης του καπακιού πριν την χημική επεξεργασία, στην 2^η και 5^η μετά την χημική επεξεργασία χωρίς καμάρια και στην 3^η και 6^η με τα καμάρια που κολλήσαμε ξανά.

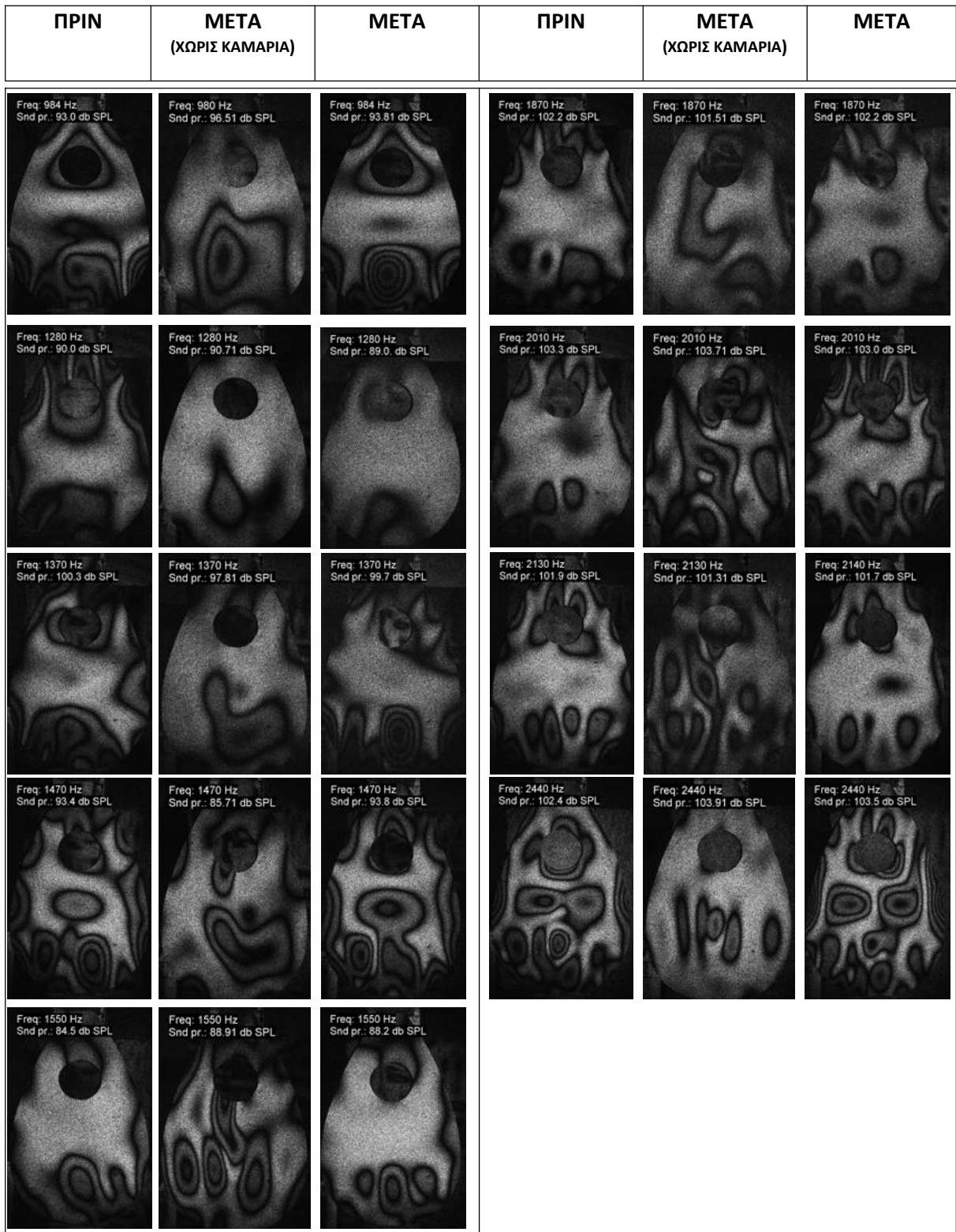
Στις παρακάτω φωτογραφίες μπορούμε να διακρίνουμε τους ιδιορυθμούς του καπακιού πριν και μετά την χημική τους επεξεργασία. Οι συχνότητες που επιλέχθηκαν είναι και αυτές στις οποίες οι ιδιορυθμοί είναι πιο εμφανείς. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η άμεση οπτική αντίληψη της μεταβολής που επιτελέστηκε.

Αυτό που παρατηρούμε στις πιο κάτω φωτογραφίες (εικ. 8.1, εικ. 8.2) είναι ότι μετά τη χημική επεξεργασία του καπακιού με νερό στο καπάκι χωρίς καμάρια προκύπτει μια πολύ διαφορετική κατανομή των ιδιορυθμών. Συγκεκριμένα στις πιο χαμηλές συχνότητες από 50 Hz – 480 Hz βλέπουμε ότι στο καπάκι που έχει εμβλαπτιστεί υπάρχει μία ομοιομορφία και μία συμμετρία το οποίο είναι συναρπαστικό δεδομένου ότι το καπάκι είναι στραβό. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως παρατηρούμε εντελώς το αντίθετο, χαρακτηριστική είναι η φωτογραφία στα 705 Hz όπου οι ιδιορυθμοί του ξύλου είναι πιο συμμετρικοί και ομοιόμορφοι στο καπάκι πριν την επεξεργασία, συγκεκριμένα αυτό το παρατηρούμε με την αύξηση της συχνότητας συγκεκριμένα από τα 800 Hz – 2500 Hz. Το ότι οι ιδιορυθμοί του καπακιού στο καπάκι χωρίς καμάρια είναι πολύ διαφορετικές από το καπάκι πριν την επεξεργασία και όσο μεγαλώνει η συχνότητα δεν υπάρχει κάποια ομοιομορφία μπορεί να αποδοθεί σε μεγάλο βαθμό επειδή το καπάκι είχε στραβώσει.

Αντιθέτως στο καπάκι μετά την εξεργασία και την διόρθωση του στραβώματος με την κόλληση ξανά των καμαριών παρατηρούμε ότι οι ιδιορυθμοί του καπακιού παραμένουν σε μεγάλο βαθμό οι ίδιοι εκτός πάλι στην περίπτωση των 705 Hz όπου οι ιδιορυθμοί του καπακιού πριν την επεξεργασία είναι πιο συμμετρικοί.



Εικόνα 8.1 - Απεικόνιση του ιδιορυθμίν του κατακλιού 1 πριν και μετά τη χημική επεξεργασία (50 – 900 Hz)



Εικόνα 8.2 - Απεικόνιση του ιδιορυθμών του κατακιού 1 πριν και μετά τη χημική επεξεργασία (980 – 2440 Hz)

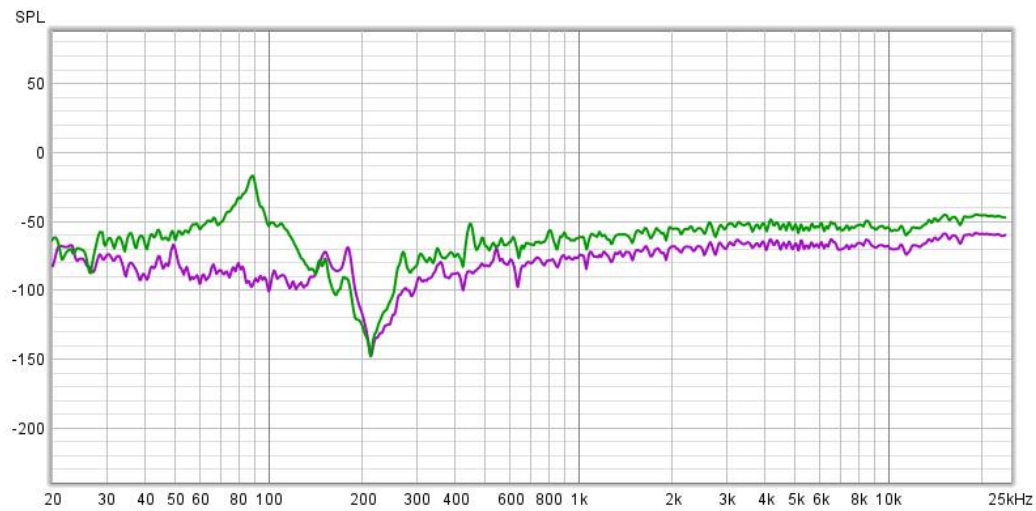
8.2 Ανάλυση ηχογραφημένου υλικού για το καπάκι 1

Σε αυτό το υπο-κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα από τη μέθοδο ανάλυσης ηχογραφημένου υλικού, για την μέτρηση της απόκρισης για το καπάκι 1 μέσω του προγράμματος Room eq wizard. Στα παρακάτω γραφήματα μπορούμε να διακρίνουμε την συχνοτική απόκριση του καπακιού 1 πριν και μετά τον εμποτισμό για κάθε διαφορετικό σημείο που τοποθετήσαμε τον κρύσταλλο, στο συγκεκριμένο καπάκι έχουμε δύο μετρήσεις μετά τον εμποτισμό λόγω και του σφάλματος που είχαμε. Στις πρώτες τρεις φωτογραφίες (εικ. 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3) συγκρίνουμε το καπάκι 1 πριν τον εμποτισμό και το καπάκι 1 μετά τον εμποτισμό (χωρίς καμάρια) και στην τέταρτη φωτογραφία φαίνονται όλα τα γραφήματα για όλα τα σημεία (εικ. 8.2.4).

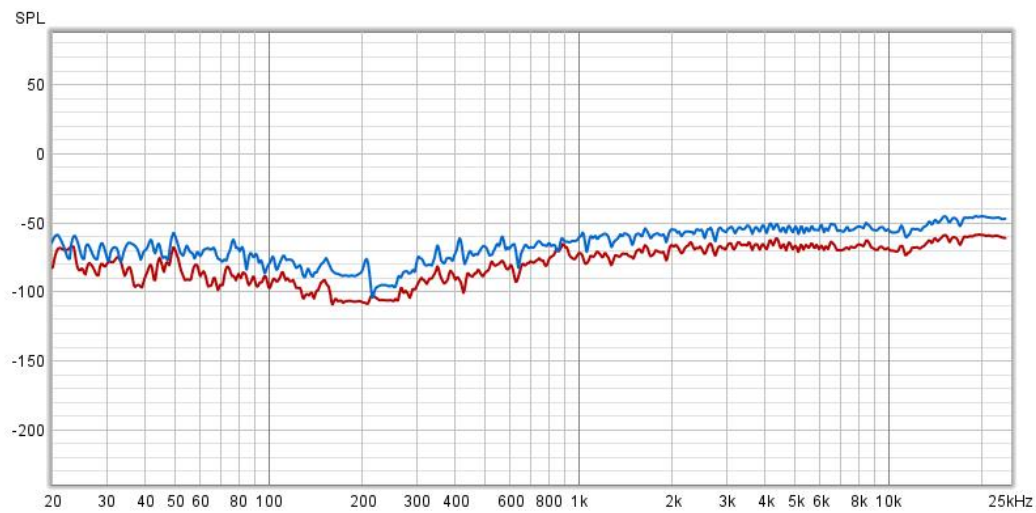
Στις επόμενες τρεις φωτογραφίες (εικ. 8.2.5, 8.2.6, 8.2.7) συγκρίνουμε το καπάκι 1 πριν τον εμποτισμό και το καπάκι 1 μετά τον εμποτισμό (με καμάρια) και στην όγδοη και τελευταία φωτογραφία (εικ. 8.2.8) φαίνονται όλα τα γραφήματα για όλα τα σημεία.

Αυτό που μπορούμε να διακρίνουμε στις πρώτες τρεις φωτογραφίες (εικ. 8.2.1, 8.2.2, 8.2.3) όπου συγκρίνουμε το καπάκι 1 μετά την επεξεργασία όπου είχαμε και την αστοχία με τα καμάρια είναι ότι στη θέση αριστερά υπάρχει μεγαλύτερος συντονισμός στα 90 Hz και 450 Hz περίπου, στη μέση βλέπουμε μία μικρή ενίσχυση του σήματος στα 210 Hz, 350 Hz και 410 Hz. Στη θέση δεξιά παρατηρούμε την δημιουργία κορυφών άρα μεγαλύτερους συντονισμούς στο καπάκι στα 160 Hz, 310 Hz και 450 Hz περίπου,

Στις φωτογραφίες όπου απεικονίζουν το καπάκι 1 μετά την επεξεργασία και με κολλημένα τα καμάρια (εικ. 8.2.5, 8.2.6, 8.2.7, 8.2.8) παρατηρούμε υπάρχει μετατόπιση κάποιων συντονισμών, στη θέση αριστερά αυτό το παρατηρούμε στα 190 Hz και 550 Hz όπου ο συντονισμός αυτός μετά την επεξεργασία μπορούμε να τον διακρίνουμε στα 170 Hz και 490 Hz αντίστοιχα. Στη μέση θέση δεν διακρίνουμε κάποια σημαντική διαφορά. Στη θέση αριστερά παρατηρούμε τη δημιουργία συντονισμών στα 350 Hz και 510 Hz περίπου.



Εικόνα 8.2.1 – Συχνοτική απόκριση για καπάκι 1 πριν και μετά (χωρίς καμάρια), θέση αριστερά στο καπάκι. Λιλά χρώμα πριν και πράσινο χρώμα μετά.



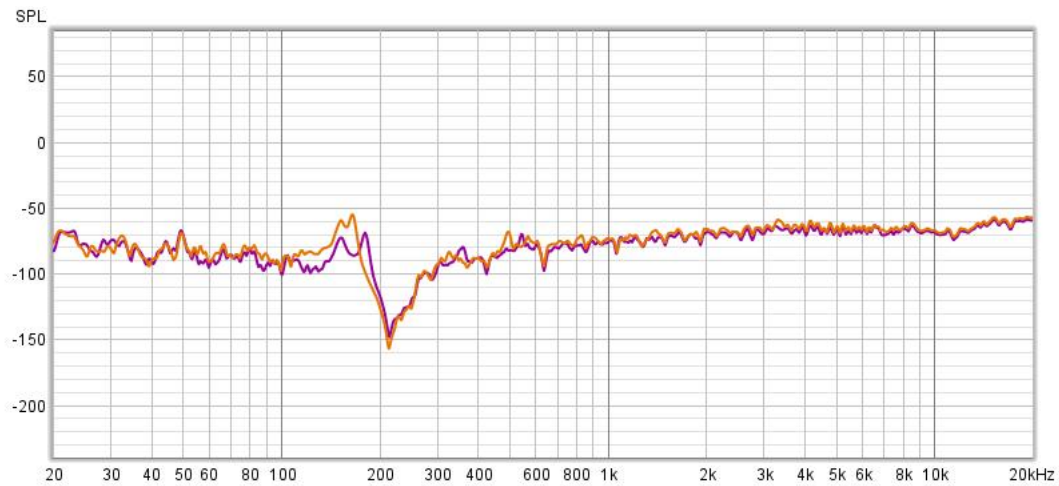
Εικόνα 8.2.2 – Συχνοτική απόκριση για καπάκι 1 πριν και μετά (χωρίς καμάρια), θέση μέση στο καπάκι. Κόκκινο χρώμα πριν και μπλε χρώμα μετά.



Εικόνα 8.2.3 – Συχνοτική απόκριση για καπάκι 1 πριν και μετά (χωρίς καμάρια), θέση δεξιά στο καπάκι. Πράσινο χρώμα πριν και πορτοκαλί χρώμα μετά.



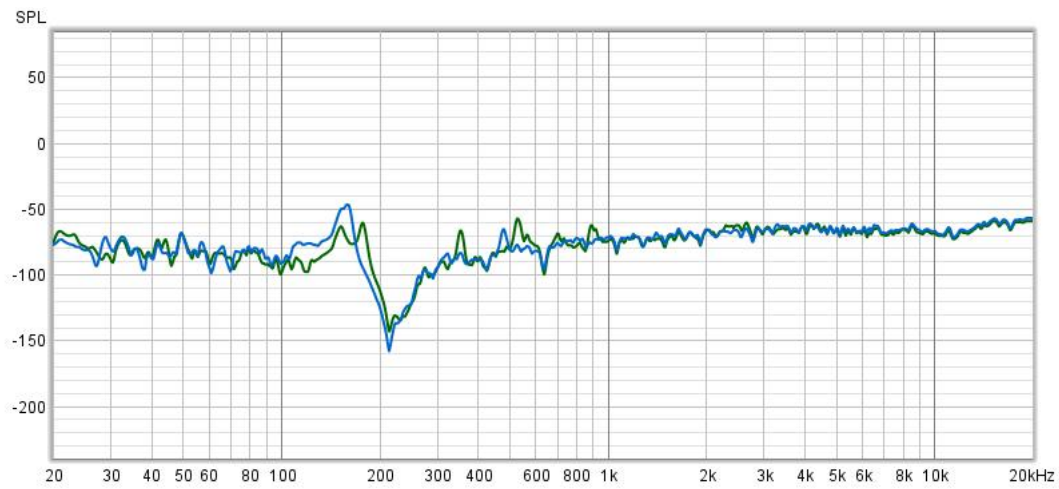
Εικόνα 8.2.4 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 1 πριν και μετά (χωρίς καμάρια), για όλες τις θέσεις Λιλά χρώμα πριν (αριστερά), κόκκινο χρώμα πριν (μέση), πράσινο σκούρο χρώμα (δεξιά) πριν , πράσινο ανοικτό χρώμα (αριστερά) μετά, μπλε χρώμα (μέση) μετά και πορτοκαλί χρώμα (δεξιά) μετά .



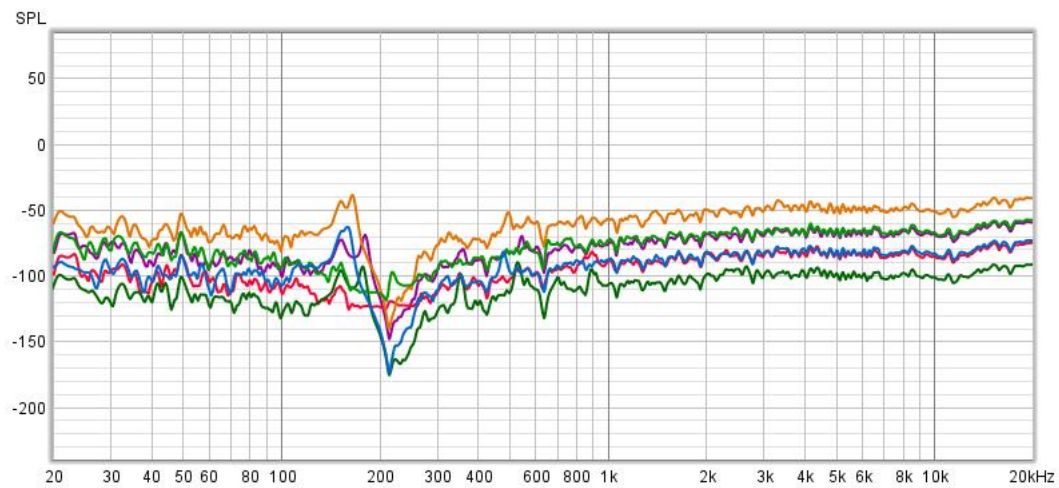
Εικόνα 8.2.5 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 1 πριν και μετά (με καμάρια), θέση αριστερά στο καπάκι. Λιλά χρώμα πριν και πορτοκαλί χρώμα μετά.



Εικόνα 8.2.6 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 1 πριν και μετά (με καμάρια), θέση αριστερά στο καπάκι. Κόκκινο χρώμα πριν και πράσινο χρώμα μετά.



Εικόνα 8.2.7 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 1 πριν και μετά (με καμάρια), θέση αριστερά στο καπάκι. Πράσινο σκούρο χρώμα πριν και μπλε χρώμα μετά.








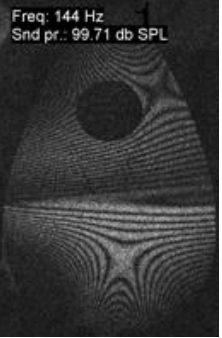

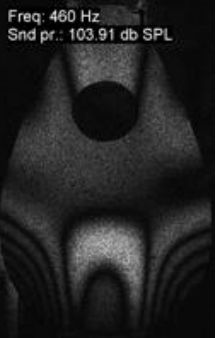


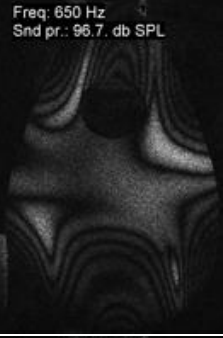
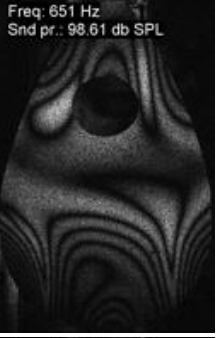



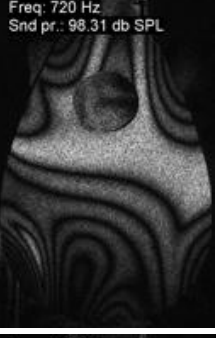



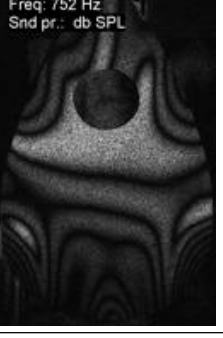
Εικόνα 8.2.8 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 1 πριν και μετά (με καμάρια), για όλες τις θέσεις. Λιλά χρώμα πριν (αριστερά), κόκκινο χρώμα πριν (μέση), πράσινο σκούρο χρώμα (δεξιά) πριν, πορτοκαλί χρώμα (αριστερά) μετά, πράσινο ανοιχτό χρώμα (μέση) μετά και μπλε χρώμα (δεξιά) μετά.


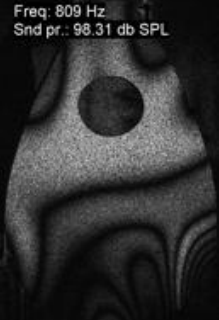
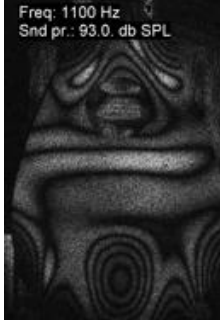
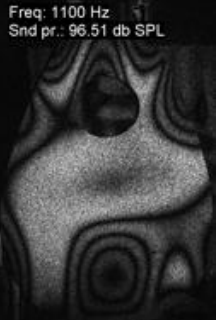

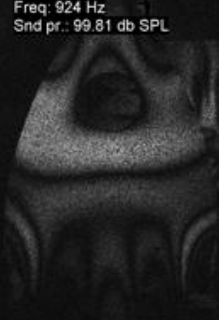
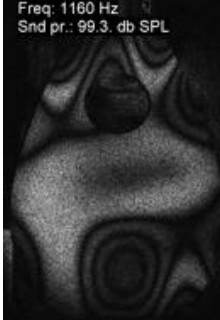
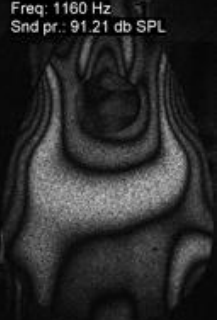

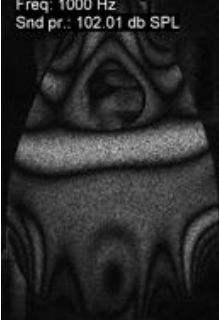
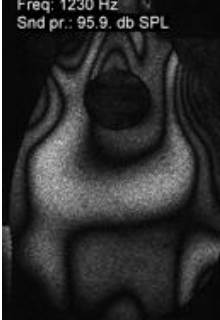
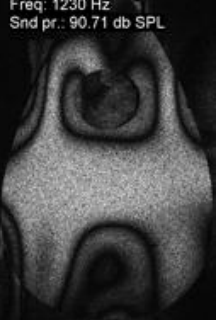


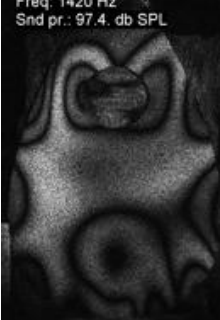
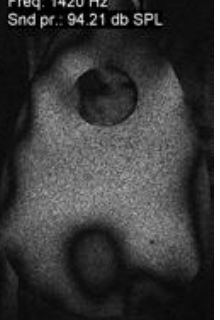
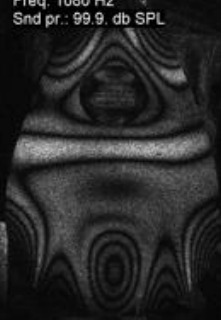

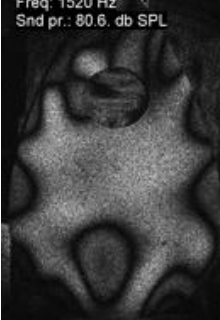
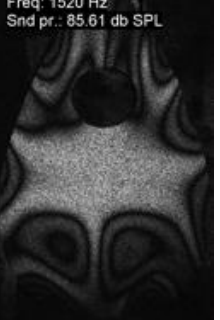
8.3 Αποτελέσματα E.S.P.I πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 2

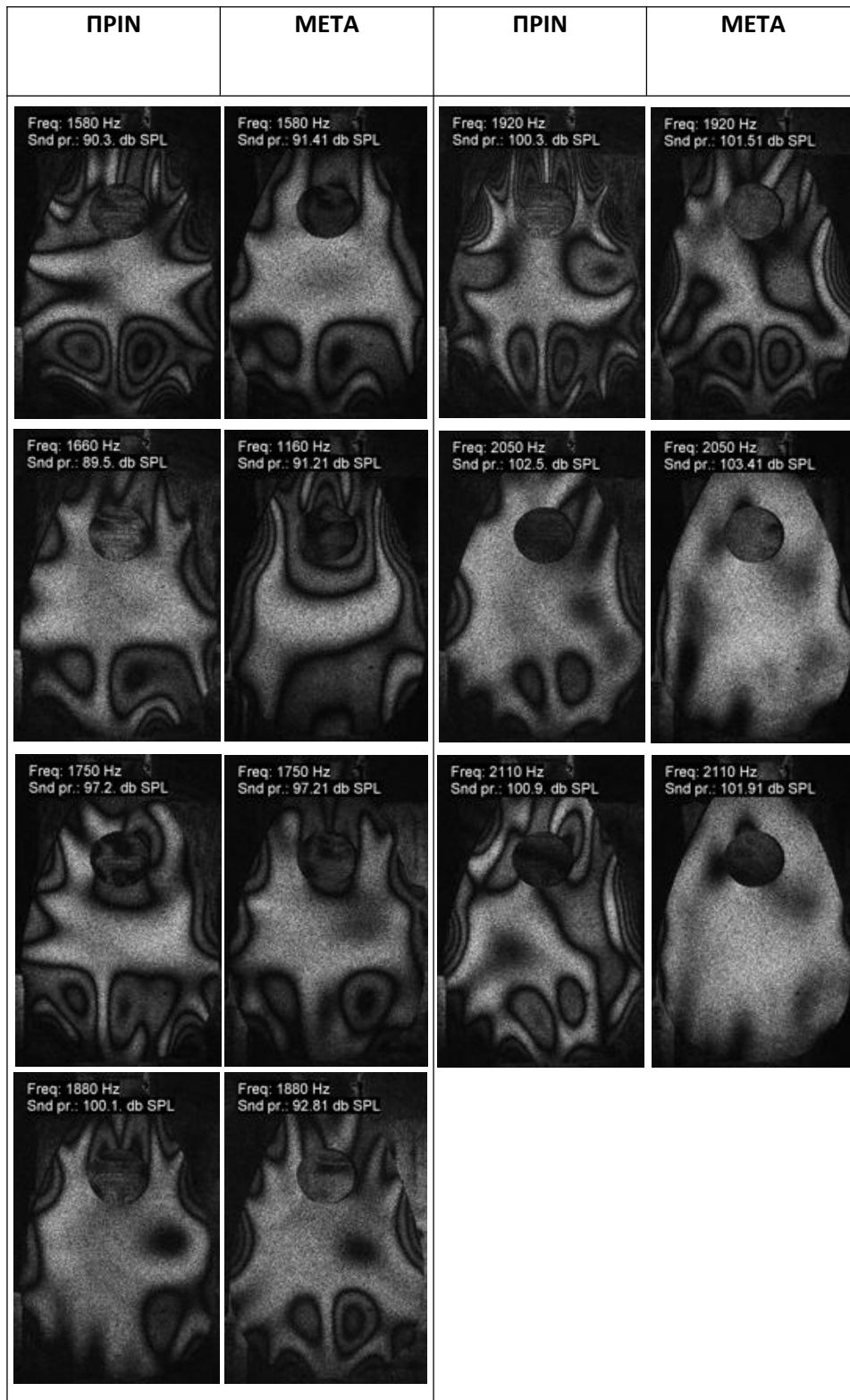
Τα αποτελέσματα που πήραμε, ακολουθώντας τη μεθοδολογία της ESPI για το καπάκι 2 το οποίο το προσθέσαμε σε δοχείο με 3100 gr νερό και 25 gr βορικό άλας, παρατίθενται στη συνέχεια σε στήλες όπου στην 1^η και τη 3^η στήλη βλέπουμε την απεικόνιση της απόκρισης του καπακιού πριν την χημική επεξεργασία, στην 2^η και 4^η μετά την χημική επεξεργασία.

Στις παρακάτω φωτογραφίες μπορούμε να διακρίνουμε τους ιδιορυθμούς του καπακιού πριν και μετά την χημική τους επεξεργασία. Οι συχνότητες που επιλέχθηκαν είναι και αυτές στις οποίες οι ιδιορυθμοί είναι πιο εμφανείς. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η άμεση οπτική αντίληψη της μεταβολής που επιτελέστηκε.

Αυτό που παρατηρούμε στις πιο κάτω φωτογραφίες είναι ότι οι συντονισμοί του καπακιού στις πιο χαμηλές συχνότητες δεν έχουν ιδιαίτερη αλλαγή ως προς την ομοιομορφία εκτός από κάποιες περιπτώσεις όπως αυτή στα 720 Hz, αυτό που μπορούμε να διακρίνουμε είναι ότι σε κάποιες συχνότητες το μέγιστο του συντονισμού έχει μετακινηθεί (π.χ στα 145 Hz). Την αλλαγή των μέγιστων των συντονισμών θα αναλύσουμε πιο λεπτομερώς σε επόμενο κεφάλαιο.

ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ	ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ
<p>Freq: 78 Hz Snd pr.: 95.0. db SPL</p> 	<p>Freq: 80 Hz Snd pr.: 96.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 383 Hz Snd pr.: 104.8. db SPL</p> 	<p>Freq: 383 Hz Snd pr.: 103.31 db SPL</p> 
<p>Freq: 145 Hz Snd pr.: 99.8. db SPL</p> 	<p>Freq: 144 Hz Snd pr.: 99.71 db SPL</p> 	<p>Freq: 460 Hz Snd pr.: 104.2. db SPL</p> 	<p>Freq: 460 Hz Snd pr.: 103.91 db SPL</p> 
<p>Freq: 190 Hz Snd pr.: 102.3. db SPL</p> 	<p>Freq: 191 Hz Snd pr.: 102.51 db SPL</p> 	<p>Freq: 650 Hz Snd pr.: 96.7. db SPL</p> 	<p>Freq: 651 Hz Snd pr.: 98.61 db SPL</p> 
<p>Freq: 258 Hz Snd pr.: 101.4. db SPL</p> 	<p>Freq: 258 Hz Snd pr.: 106.31 db SPL</p> 	<p>Freq: 718 Hz Snd pr.: 100.0. db SPL</p> 	<p>Freq: 720 Hz Snd pr.: 98.31 db SPL</p> 
<p>Freq: 369 Hz Snd pr.: 105.1. db SPL</p> 	<p>Freq: 366 Hz Snd pr.: 105.11 db SPL</p> 	<p>Freq: 751 Hz Snd pr.: 88.3. db SPL</p> 	<p>Freq: 752 Hz Snd pr.: db SPL</p> 

ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ	ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ
<p>Freq: 809 Hz Snd pr.: 101.3. db SPL</p> 	<p>Freq: 809 Hz Snd pr.: 98.31 db SPL</p> 	<p>Freq: 1100 Hz Snd pr.: 93.0. db SPL</p> 	<p>Freq: 1100 Hz Snd pr.: 96.51 db SPL</p> 
<p>Freq: 923 Hz Snd pr.: 99.9. db SPL</p> 	<p>Freq: 924 Hz Snd pr.: 99.81 db SPL</p> 	<p>Freq: 1160 Hz Snd pr.: 99.3. db SPL</p> 	<p>Freq: 1160 Hz Snd pr.: 91.21 db SPL</p> 
<p>Freq: 1000 Hz Snd pr.: 99.3. db SPL</p> 	<p>Freq: 1000 Hz Snd pr.: 102.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 1230 Hz Snd pr.: 95.9. db SPL</p> 	<p>Freq: 1230 Hz Snd pr.: 90.71 db SPL</p> 
<p>Freq: 1010 Hz Snd pr.: 98.7. db SPL</p> 	<p>Freq: 1010 Hz Snd pr.: 101.21 db SPL</p> 	<p>Freq: 1420 Hz Snd pr.: 97.4. db SPL</p> 	<p>Freq: 1420 Hz Snd pr.: 94.21 db SPL</p> 
<p>Freq: 1080 Hz Snd pr.: 99.9. db SPL</p> 	<p>Freq: 1080 Hz Snd pr.: 100.41 db SPL</p> 	<p>Freq: 1520 Hz Snd pr.: 80.6. db SPL</p> 	<p>Freq: 1520 Hz Snd pr.: 85.61 db SPL</p> 

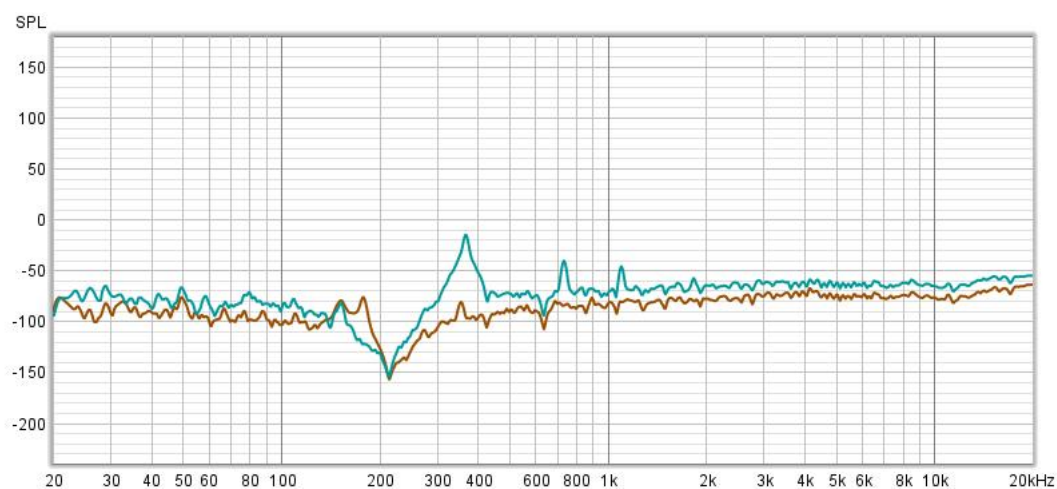


Εικόνα 8.3.1 - Απεικόνιση του ιδιορυθμών του κατακίου πριν και μετά τη χημική επεξεργασία (50 – 2110 Hz)

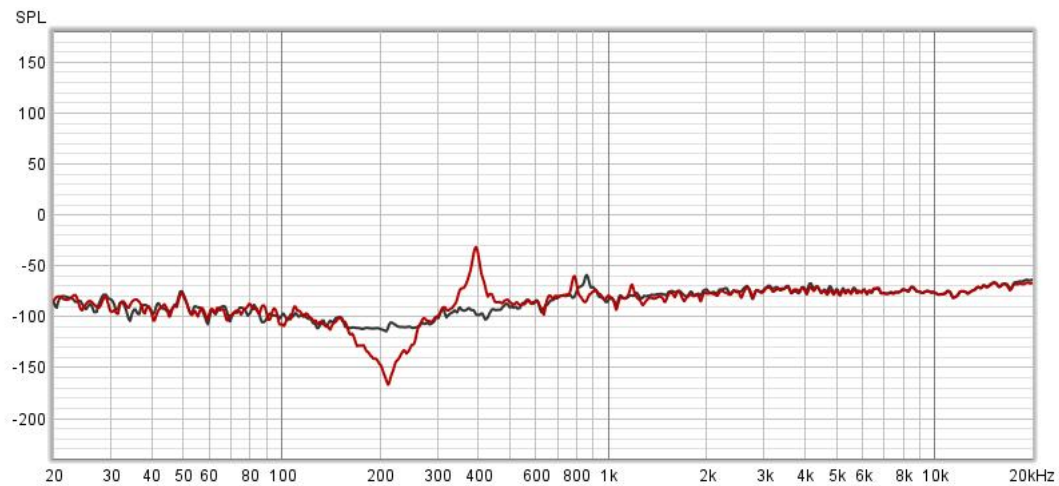
8.4 Ανάλυση ηχογραφημένου υλικού για το καπάκι 2

Σε αυτό το υπο-κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα από τη μέθοδο ανάλυσης ηχογραφημένου υλικού, για την μέτρηση της απόκρισης για το καπάκι 2 μέσω του προγράμματος Room eq wizard. Στα παρακάτω γραφήματα μπορούμε να διακρίνουμε την συχνοτική απόκριση του καπακιού 2 πριν και μετά τον εμποτισμό για κάθε διαφορετικό σημείο που τοποθετήσαμε τον κρύσταλλο. Στις πρώτες τρεις φωτογραφίες (εικ. 8.4.1, 8.4.2, 8.4.3) συγκρίνουμε το καπάκι 2 πριν τον εμποτισμό και το καπάκι 2 μετά τον εμποτισμό και στην τέταρτη φωτογραφία φαίνονται όλα τα γραφήματα για όλα τα σημεία (εικ. 8.2.4).

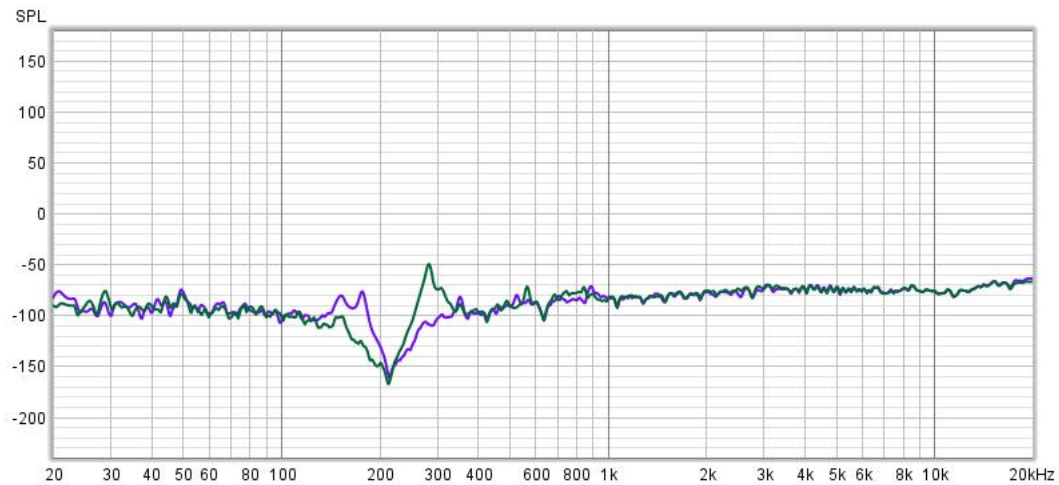
Αυτό που παρατηρούμε στις πιο κάτω φωτογραφίες για το καπάκι 2 μετά τον εμποτισμό είναι τη δημιουργία ξανά κάποιων συντονισμών αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρούμε απότομη πτώση της καμπύλης για κάποιες συχνότητες. Στη θέση αριστερά (εικ. 8.4.1) παρατηρούμε τη δημιουργία συντονισμών στα 370 Hz, 710 Hz και 1100 Hz περίπου αλλά και μια μικρή απόσβεση στα 180 Hz περίπου. Στη μέση θέση (εικ. 8.4.2) βλέπουμε μια μεγάλη πτώση της καμπύλης στα 210 Hz περίπου και τη δημιουργία συντονισμού στα 400 Hz περίπου. Στη θέση δεξιά παρατηρούμε την δημιουργία συντονισμού στα 290 Hz περίπου.



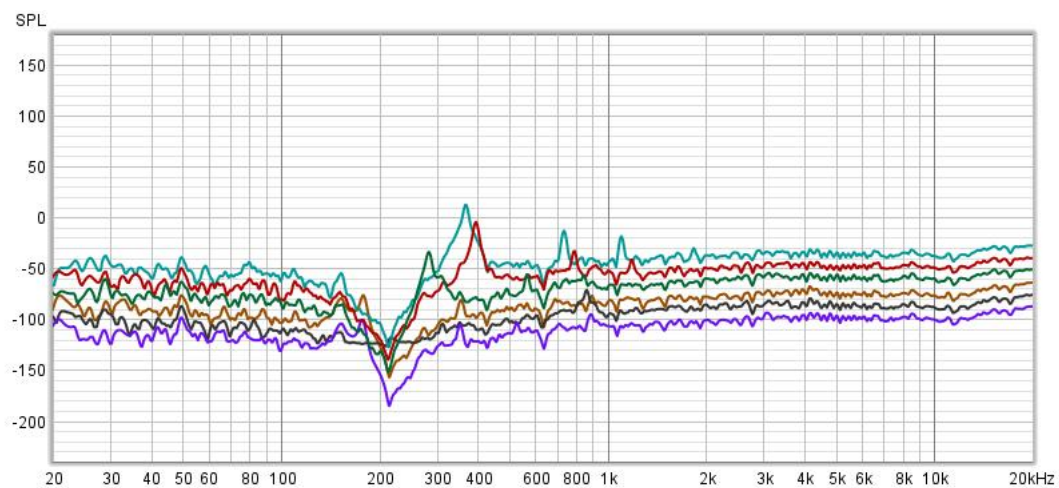
Εικόνα 8.4.1 – Συχνοτική απόκριση για καπάκι 2 πριν και μετά, θέση αριστερά στο καπάκι. Πορτοκαλί χρώμα πριν και πράσινο χρώμα μετά.



Εικόνα 8.4.2 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 2 πριν και μετά, θέση μέση στο καπάκι. Μαύρο χρώμα πριν και κόκκινο χρώμα μετά.



Εικόνα 8.4.3 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 2 πριν και μετά, θέση δεξιά στο καπάκι. Λιλά χρώμα πριν και πράσινο σκούρο χρώμα μετά.



Εικόνα 8.4.4 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 2 πριν και μετά, για όλες τις θέσεις Πορτοκαλί χρώμα πριν (αριστερά), μαύρο χρώμα πριν (μέση), λιλά χρώμα (δεξιά) πριν, πράσινο ανοικτό χρώμα (αριστερά) μετά, κόκκινο χρώμα (μέση) μετά και πράσινο χρώμα (δεξιά) μετά.



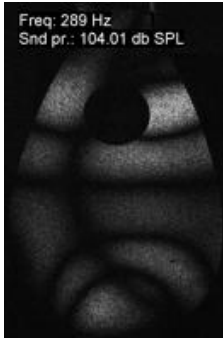


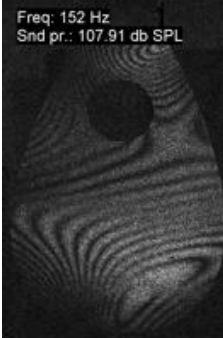
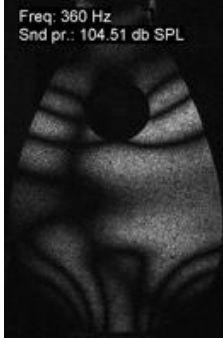
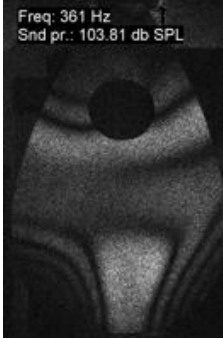

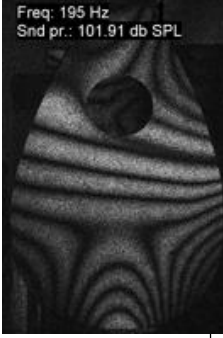
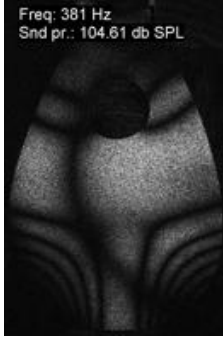
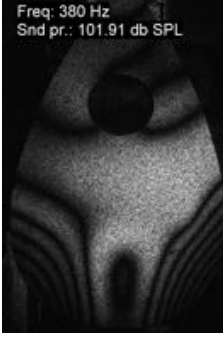
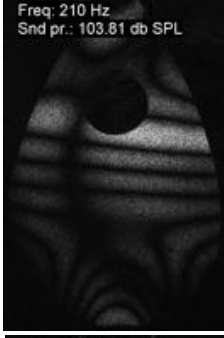
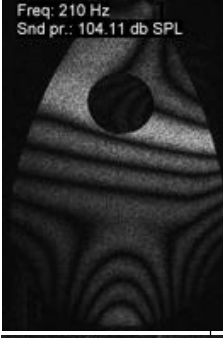
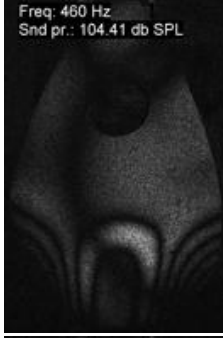
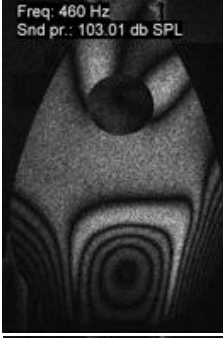
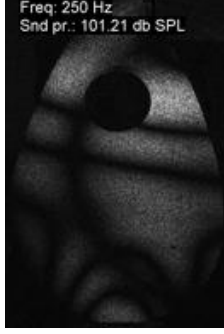

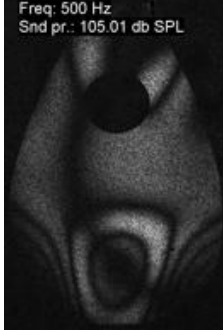
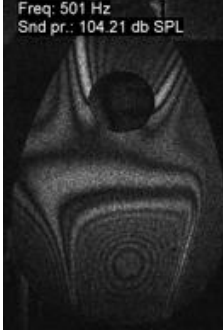
8.5 Αποτελέσματα E.S.P.I πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 3

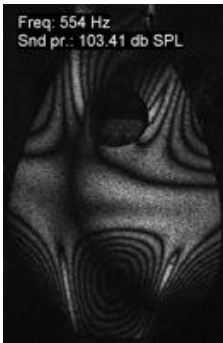
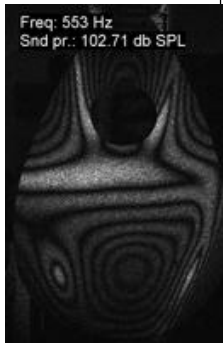

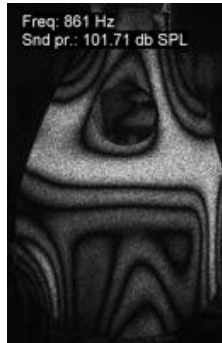
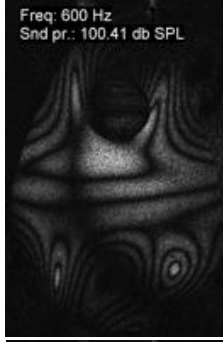

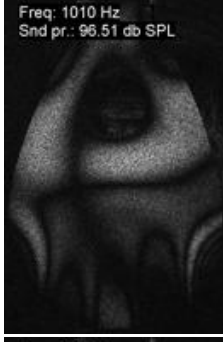
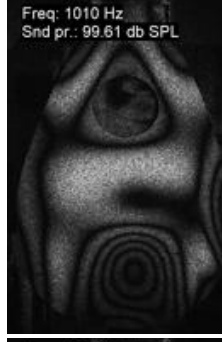
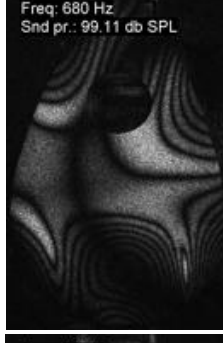
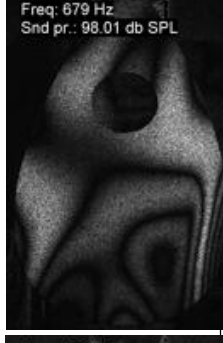

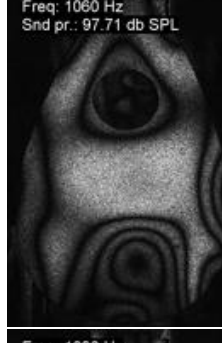

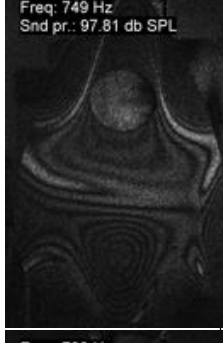
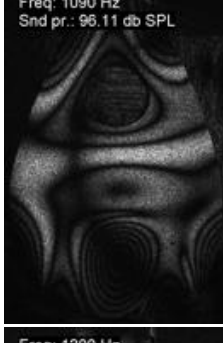
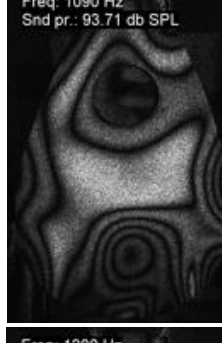


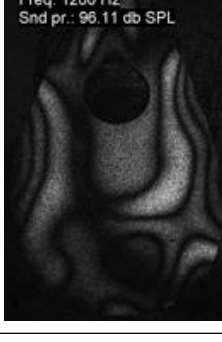
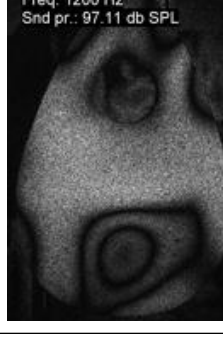
Τα αποτελέσματα που πήραμε, ακολουθώντας τη μεθοδολογία της ESPI για το καπάκι 3 το οποίο το προσθέσαμε σε δοχείο με 3100 gr νερό και 50 gr βορικό άλας, παρατίθενται στη συνέχεια σε στήλες όπου στην 1^η και τη 3^η στήλη βλέπουμε την απεικόνιση της απόκρισης του καπακιού πριν την χημική επεξεργασία, στην 2^η και 4^η μετά την χημική επεξεργασία.


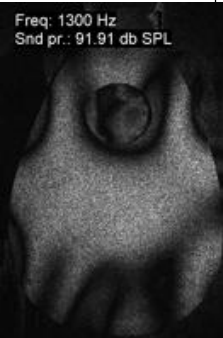

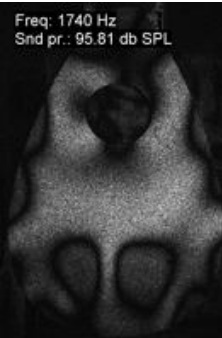





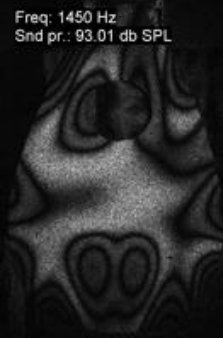
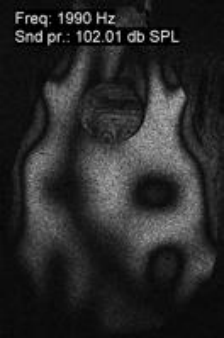
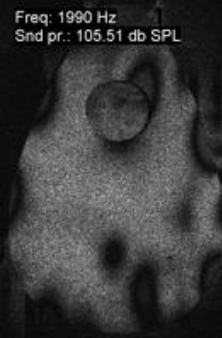

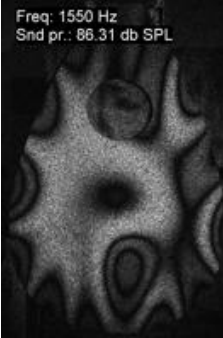
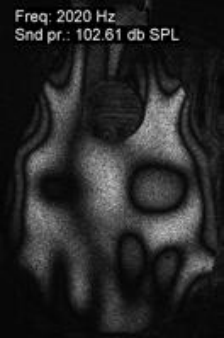
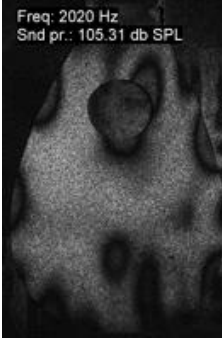

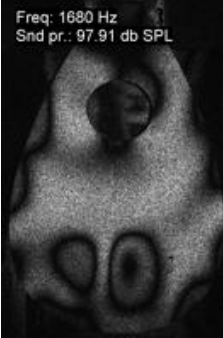

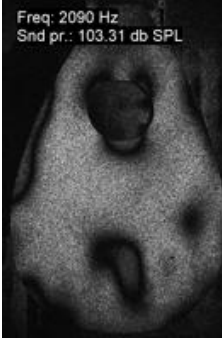
Στις παρακάτω φωτογραφίες μπορούμε να διακρίνουμε τους ιδιορυθμούς του καπακιού πριν και μετά την χημική τους επεξεργασία. Οι συχνότητες που επιλέχθηκαν είναι και αυτές στις οποίες οι ιδιορυθμοί είναι πιο εμφανείς. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η άμεση οπτική αντίληψη της μεταβολής που επιτελέστηκε.

Αυτό που παρατηρούμε στις φωτογραφίες στο πιο κάτω πίνακα (εικ. 8.5.1) είναι ότι και σε αυτή την περίπτωση διακρίνουμε την μετακίνηση των μεγίστων των συντονισμών σε διαφορετικές συχνότητες, π.χ στα 500 Hz ο συντονισμός στο καπάκι 3 μετά την επεξεργασία βρίσκεται στο μέγιστο ενώ στο καπάκι 3 πριν την επεξεργασία είναι περίπου στη μέση του τιμή.

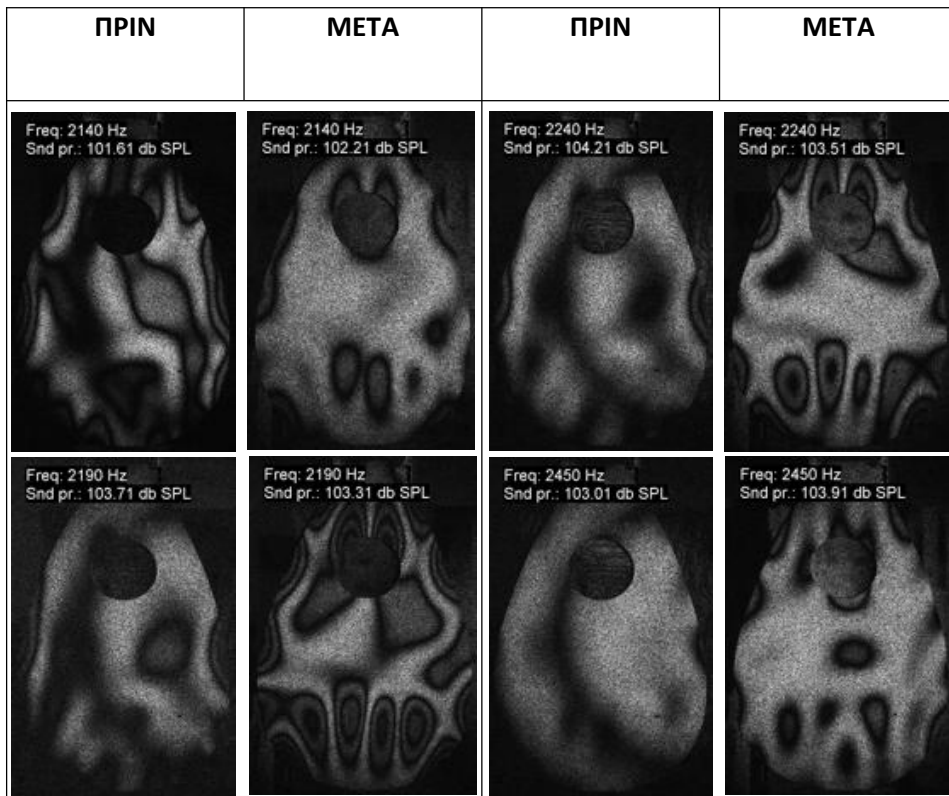
Ως προς την ομοιομορφία των συντονισμών αυτό που παρατηρούμε είναι ότι σε κάποιες περιπτώσεις στο καπάκι πριν την επεξεργασία είναι πιο ομοιόμορφες όπως π.χ στα 460 Hz και 554 Hz, αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις στο καπάκι μετά την επεξεργασία όπως π.χ στα 1450 Hz, 2190 Hz και 2240 Hz.

ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ	ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ
<p>Freq: 85 Hz Snd pr.: 100.71 db SPL</p> 	<p>Freq: 84 Hz Snd pr.: 102.41 db SPL</p> 	<p>Freq: 289 Hz Snd pr.: 104.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 289 Hz Snd pr.: 106.01 db SPL</p> 
<p>Freq: 150 Hz Snd pr.: 104.11 db SPL</p> 	<p>Freq: 152 Hz Snd pr.: 107.91 db SPL</p> 	<p>Freq: 360 Hz Snd pr.: 104.51 db SPL</p> 	<p>Freq: 361 Hz Snd pr.: 103.81 db SPL</p> 
<p>Freq: 197 Hz Snd pr.: 102.51 db SPL</p> 	<p>Freq: 195 Hz Snd pr.: 101.91 db SPL</p> 	<p>Freq: 381 Hz Snd pr.: 104.61 db SPL</p> 	<p>Freq: 380 Hz Snd pr.: 101.91 db SPL</p> 
<p>Freq: 210 Hz Snd pr.: 103.81 db SPL</p> 	<p>Freq: 210 Hz Snd pr.: 104.11 db SPL</p> 	<p>Freq: 460 Hz Snd pr.: 104.41 db SPL</p> 	<p>Freq: 460 Hz Snd pr.: 103.01 db SPL</p> 
<p>Freq: 250 Hz Snd pr.: 101.21 db SPL</p> 	<p>Freq: 251 Hz Snd pr.: 99.51 db SPL</p> 	<p>Freq: 500 Hz Snd pr.: 105.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 501 Hz Snd pr.: 104.21 db SPL</p> 

ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ	ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ
<p>Freq: 554 Hz Snd pr.: 103.41 db SPL</p> 	<p>Freq: 553 Hz Snd pr.: 102.71 db SPL</p> 	<p>Freq: 862 Hz Snd pr.: 100.11 db SPL</p> 	<p>Freq: 861 Hz Snd pr.: 101.71 db SPL</p> 
<p>Freq: 600 Hz Snd pr.: 100.41 db SPL</p> 	<p>Freq: 602 Hz Snd pr.: 99.81 db SPL</p> 	<p>Freq: 1010 Hz Snd pr.: 96.51 db SPL</p> 	<p>Freq: 1010 Hz Snd pr.: 99.61 db SPL</p> 
<p>Freq: 680 Hz Snd pr.: 99.11 db SPL</p> 	<p>Freq: 679 Hz Snd pr.: 98.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 1060 Hz Snd pr.: 99.51 db SPL</p> 	<p>Freq: 1060 Hz Snd pr.: 97.71 db SPL</p> 
<p>Freq: 751 Hz Snd pr.: 80.51 db SPL</p> 	<p>Freq: 749 Hz Snd pr.: 97.81 db SPL</p> 	<p>Freq: 1090 Hz Snd pr.: 96.11 db SPL</p> 	<p>Freq: 1090 Hz Snd pr.: 93.71 db SPL</p> 
<p>Freq: 790 Hz Snd pr.: 98.11 db SPL</p> 	<p>Freq: 790 Hz Snd pr.: 97.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 1200 Hz Snd pr.: 96.11 db SPL</p> 	<p>Freq: 1200 Hz Snd pr.: 97.11 db SPL</p> 

ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ	ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ
<p>Freq: 1300 Hz Snd pr.: 93.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 1300 Hz Snd pr.: 91.91 db SPL</p> 	<p>Freq: 1740 Hz Snd pr.: 91.51 db SPL</p> 	<p>Freq: 1740 Hz Snd pr.: 95.81 db SPL</p> 
<p>Freq: 1360 Hz Snd pr.: 98.81 db SPL</p> 	<p>Freq: 1360 Hz Snd pr.: 95.81 db SPL</p> 	<p>Freq: 1850 Hz Snd pr.: 97.61 db SPL</p> 	<p>Freq: 1850 Hz Snd pr.: 99.31 db SPL</p> 
<p>Freq: 1450 Hz Snd pr.: 95.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 1450 Hz Snd pr.: 93.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 1990 Hz Snd pr.: 102.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 1990 Hz Snd pr.: 105.51 db SPL</p> 
<p>Freq: 1550 Hz Snd pr.: 84.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 1550 Hz Snd pr.: 86.31 db SPL</p> 	<p>Freq: 2020 Hz Snd pr.: 102.61 db SPL</p> 	<p>Freq: 2020 Hz Snd pr.: 105.31 db SPL</p> 
<p>Freq: 1680 Hz Snd pr.: 93.11 db SPL</p> 	<p>Freq: 1680 Hz Snd pr.: 97.91 db SPL</p> 	<p>Freq: 2090 Hz Snd pr.: 102.01 db SPL</p> 	<p>Freq: 2090 Hz Snd pr.: 103.31 db SPL</p> 

0

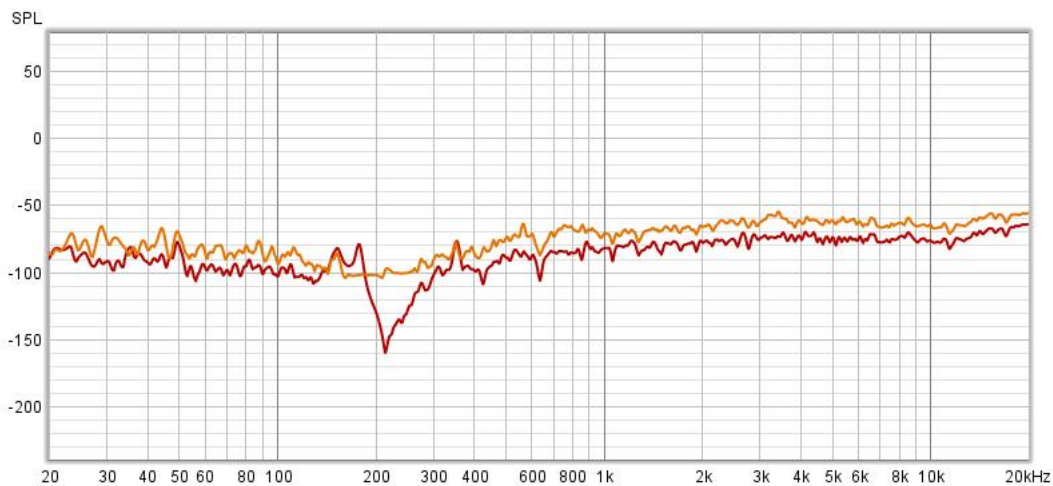


Εικόνα 8.5.1 - Απεικόνιση του ιδιορυθμών του κρανίου πριν και μετά τη χημική επεξεργασία (50 – 2450 Hz)

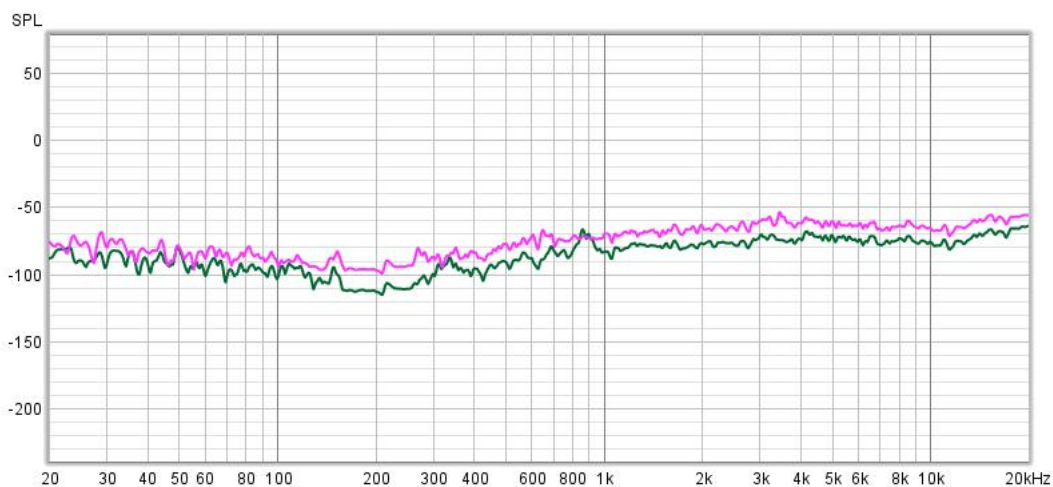
8.6 Ανάλυση ηχογραφημένου υλικού για το καπάκι 3

Σε αυτό το υπο-κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα από τη μέθοδο ανάλυσης ηχογραφημένου υλικού, για την μέτρηση της απόκρισης για το καπάκι 3 μέσω του προγράμματος Room eq wizard. Στα παρακάτω γραφήματα μπορούμε να διακρίνουμε την συχνотική απόκριση του καπακιού 3 πριν και μετά τον εμποτισμό για κάθε διαφορετικό σημείο που τοποθετήσαμε τον κρύσταλλο. Στις πρώτες τρεις φωτογραφίες (εικ. 8.6.1, 8.6.2, 8.6.3) συγκρίνουμε το καπάκι 3 πριν τον εμποτισμό και το καπάκι 3 μετά τον εμποτισμό και στην τέταρτη φωτογραφία φαίνονται όλα τα γραφήματα για όλα τα σημεία (εικ. 8.6.4).

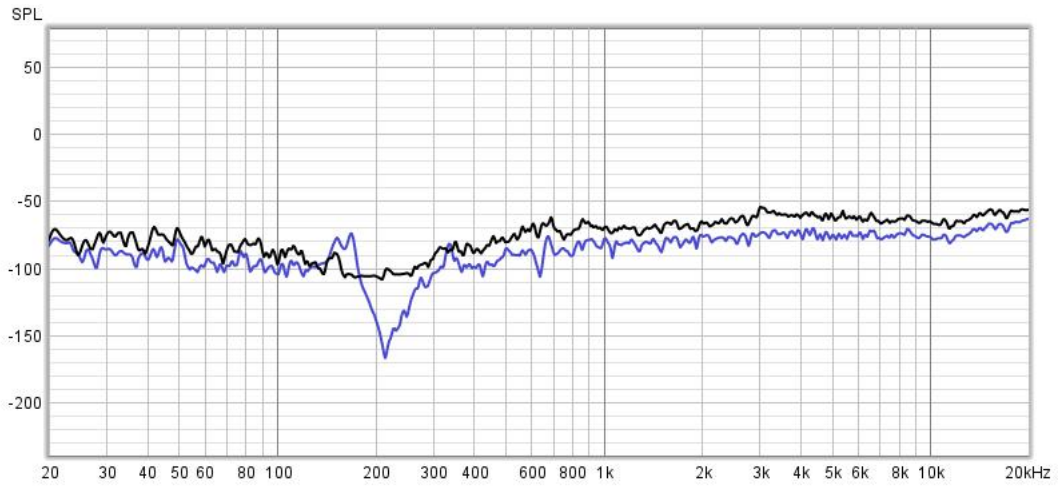
Αυτό που παρατηρούμε στις πιο κάτω φωτογραφίες για το καπάκι 3 μετά τον εμποτισμό είναι ότι σε συχνότητες όπου είχαν απότομη καμπύλη προς τα κάτω ως προς την ακουστική πίεση (dB SPL) την δημιουργία μιας πιο ευθείας γραμμής. Αυτό μπορούμε να το παρατηρήσουμε στη θέση αριστερά περίπου στα 210 Hz (εικ. 8.6.1) και στη θέση δεξιά πάλι περίπου στα 210 Hz. Στη μέση θέση δεν διακρίνουμε κάποια σημαντική αλλαγή.



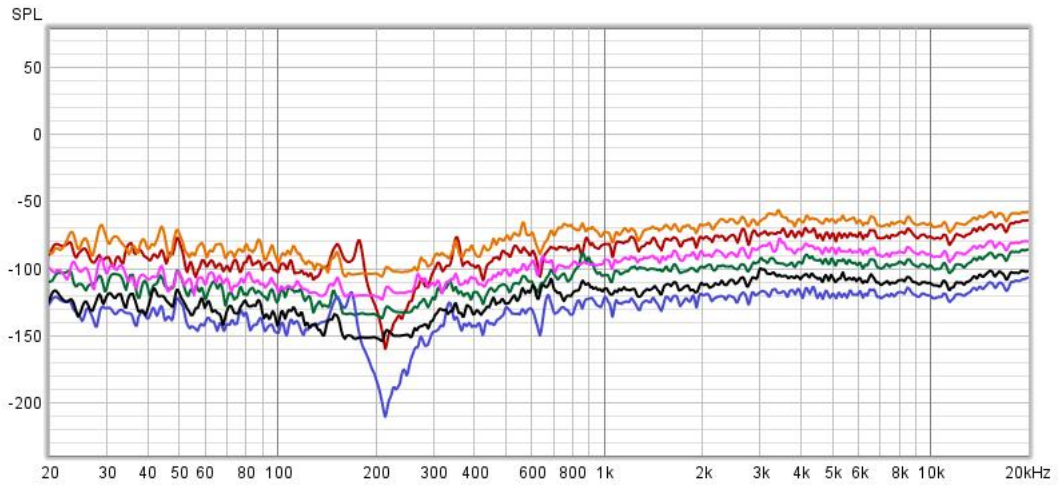
Εικόνα 8.6.1 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 3 πριν και μετά , θέση αριστερά στο καπάκι κόκκινο χρώμα πριν και πορτοκαλί χρώμα μετά.



Εικόνα 8.6.2 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 3 πριν και μετά, θέση μέση στο καπάκι, πράσινο χρώμα πριν και ροζ χρώμα μετά.



Εικόνα 8.6.3 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 3 πριν και μετά, θέση δεξιά στο καπάκι. μπλε χρώμα πριν και μαύρο χρώμα μετά.



Εικόνα 8.6.4 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 3 πριν και μετά, για όλες τις θέσεις κόκκινο χρώμα πριν (αριστερά), πράσινο χρώμα πριν (μέση), μπλε χρώμα (δεξιά) πριν, πορτοκαλί χρώμα (αριστερά) μετά, ροζ χρώμα (μέση) μετά και μαύρο χρώμα (δεξιά) μετά.

















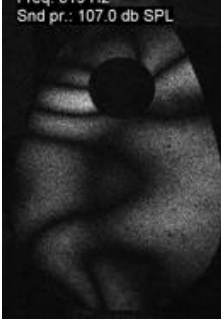



8.7 Αποτελέσματα E.S.P.I πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 4


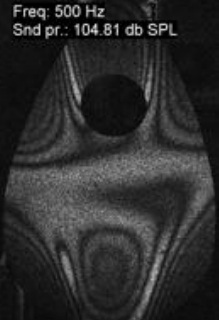

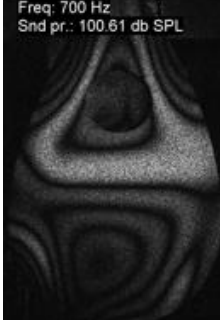
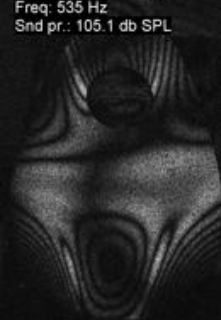


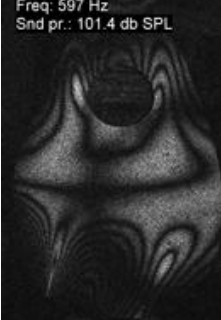
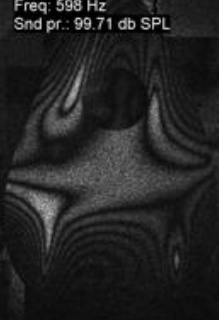

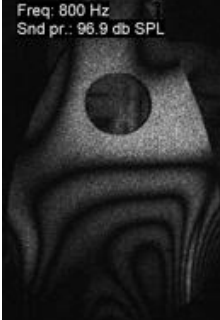

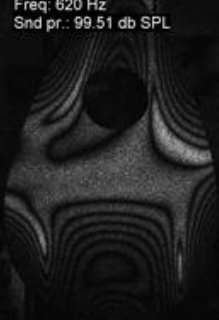

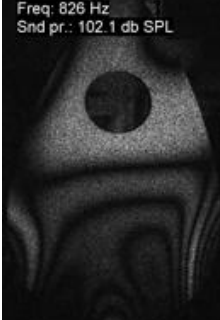
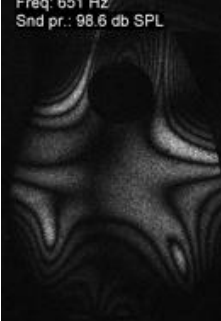

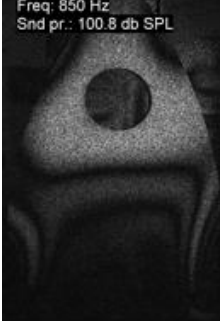
Τα αποτελέσματα που πήραμε, ακολουθώντας τη μεθοδολογία της ESPI για το καπάκι 4 το οποίο το προσθέσαμε σε δοχείο με 3100 gr νερό και 150 gr βορικό άλας, παρατίθενται στη συνέχεια σε στήλες όπου στην 1^η και τη 3^η στήλη βλέπουμε την απεικόνιση της απόκρισης του καπακιού πριν την χημική επεξεργασία, στην 2^η και 4^η μετά την χημική επεξεργασία.




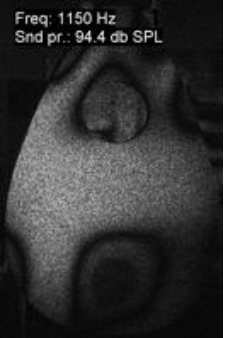



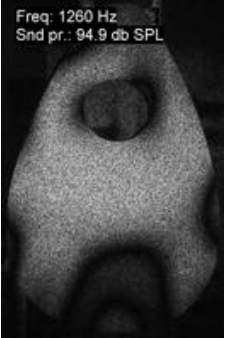

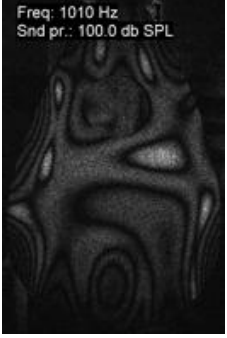
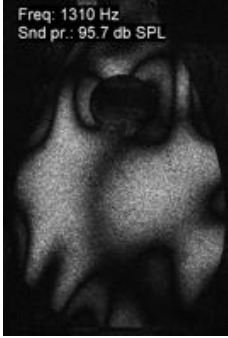

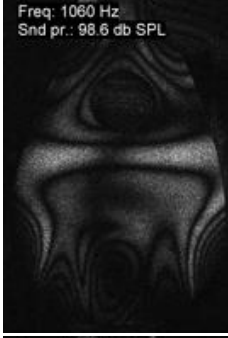
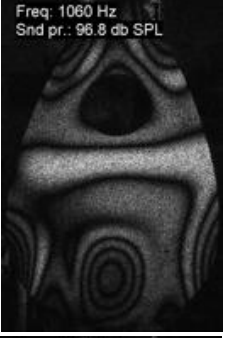
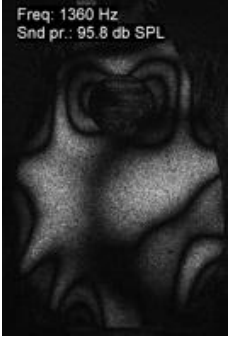

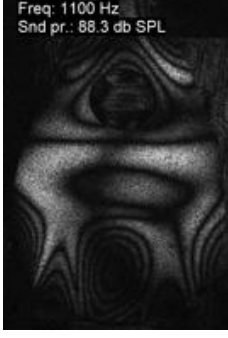
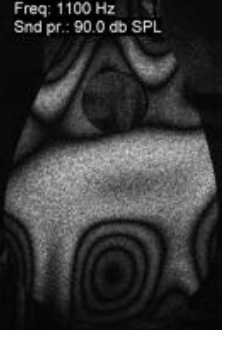
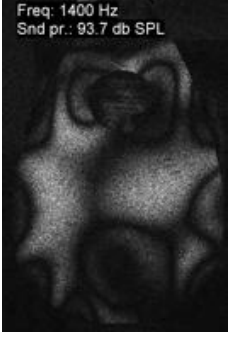

Στις παρακάτω φωτογραφίες μπορούμε να διακρίνουμε τους ιδιορυθμούς του καπακιού πριν και μετά την χημική τους επεξεργασία. Οι συχνότητες που επιλέχθηκαν είναι και αυτές στις οποίες οι ιδιορυθμοί είναι πιο εμφανείς. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η άμεση οπτική αντίληψη της μεταβολής που επιτελέστηκε.

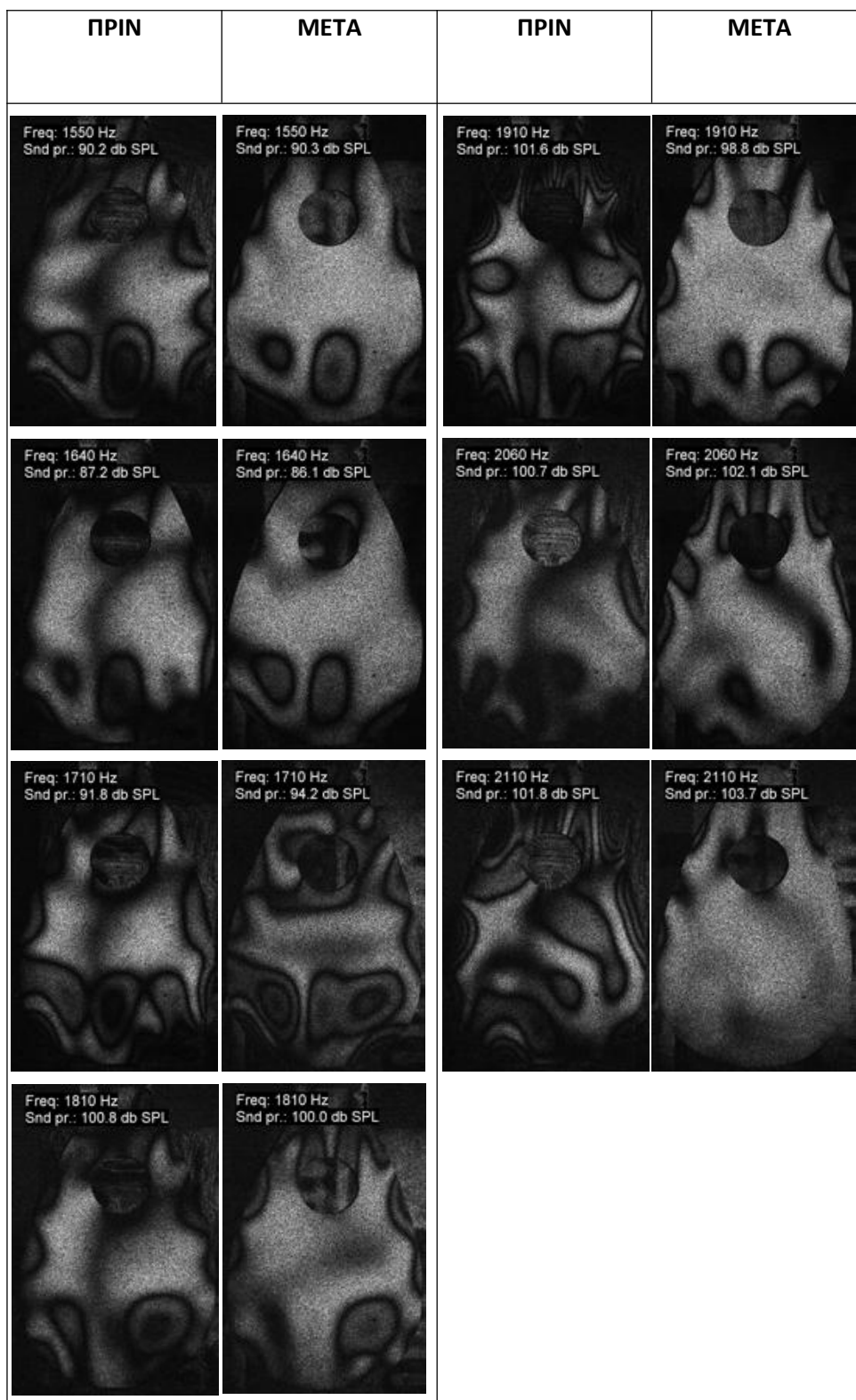
Αυτό που παρατηρούμε στις φωτογραφίες στο πιο κάτω πίνακα είναι ότι και σε αυτή την περίπτωση διακρίνουμε την μετακίνηση των μεγίστων των συντονισμών σε κάποιες συχνότητες όπως π.χ αυτή στα 500 Hz στο καπάκι μετά την επεξεργασία όπου ο συντονισμός είναι πιο μέγιστος συγκριτικά με αυτόν στα 500 Hz πριν την επεξεργασία. Ο συντονισμός στα 500 Hz στο καπάκι μετά την επεξεργασία φαίνεται να βρίσκεται στο ίδιο στάδιο περίπου στα 535 Hz στο καπάκι πριν την επεξεργασία.

Ως προς την ομοιομορφία των συντονισμών παρατηρούμε ότι σε κάποιες περιπτώσεις στο καπάκι μετά την επεξεργασία φαίνεται να υπάρχει βελτίωση, όπως π.χ στα 620 Hz, 652 Hz, 500 Hz και 901 Hz. Σε κάποιες περιπτώσεις όμως παρατηρούμε το ακριβώς αντίθετο όπως στα 535 Hz, 1060 Hz και 1100 Hz.

ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ	ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ
<p>Freq: 65 Hz Snd pr.: 91.9 db SPL</p> 	<p>Freq: 64 Hz Snd pr.: 91.81 db SPL</p> 	<p>Freq: 343 Hz Snd pr.: 106.1 db SPL</p> 	<p>Freq: 342 Hz Snd pr.: 102.21 db SPL</p> 
<p>Freq: 140 Hz Snd pr.: 102.6 db SPL</p> 	<p>Freq: 141 Hz Snd pr.: 102.41 db SPL</p> 	<p>Freq: 360 Hz Snd pr.: 105.3 db SPL</p> 	<p>Freq: 360 Hz Snd pr.: 103.71 db SPL</p> 
<p>Freq: 187 Hz Snd pr.: 103.4 db SPL</p> 	<p>Freq: 187 Hz Snd pr.: 101.21 db SPL</p> 	<p>Freq: 394 Hz Snd pr.: 104.1 db SPL</p> 	<p>Freq: 394 Hz Snd pr.: 101.11 db SPL</p> 
<p>Freq: 240 Hz Snd pr.: 105.3 db SPL</p> 	<p>Freq: 243 Hz Snd pr.: 104.61 db SPL</p> 	<p>Freq: 400 Hz Snd pr.: 103.5 db SPL</p> 	<p>Freq: 400 Hz Snd pr.: 102.11 db SPL</p> 
<p>Freq: 319 Hz Snd pr.: 107.0 db SPL</p> 	<p>Freq: 319 Hz Snd pr.: 103.71 db SPL</p> 	<p>Freq: 435 Hz Snd pr.: 104.3 db SPL</p> 	<p>Freq: 436 Hz Snd pr.: 104.51 db SPL</p> 

ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ	ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ
<p>Freq: 502 Hz Snd pr.: 104.1 db SPL</p> 	<p>Freq: 500 Hz Snd pr.: 104.81 db SPL</p> 	<p>Freq: 701 Hz Snd pr.: 101.4 db SPL</p> 	<p>Freq: 700 Hz Snd pr.: 100.61 db SPL</p> 
<p>Freq: 535 Hz Snd pr.: 105.1 db SPL</p> 	<p>Freq: 536 Hz Snd pr.: 102.61 db SPL</p> 	<p>Freq: 747 Hz Snd pr.: 98.5 db SPL</p> 	<p>Freq: 747 Hz Snd pr.: 102.3 db SPL</p> 
<p>Freq: 597 Hz Snd pr.: 101.4 db SPL</p> 	<p>Freq: 598 Hz Snd pr.: 99.71 db SPL</p> 	<p>Freq: 799 Hz Snd pr.: 101.1 db SPL</p> 	<p>Freq: 800 Hz Snd pr.: 96.9 db SPL</p> 
<p>Freq: 619 Hz Snd pr.: 99.9 db SPL</p> 	<p>Freq: 620 Hz Snd pr.: 99.51 db SPL</p> 	<p>Freq: 826 Hz Snd pr.: 102.2 db SPL</p> 	<p>Freq: 826 Hz Snd pr.: 102.1 db SPL</p> 
<p>Freq: 651 Hz Snd pr.: 98.6 db SPL</p> 	<p>Freq: 652 Hz Snd pr.: 99.71 db SPL</p> 	<p>Freq: 850 Hz Snd pr.: 99.8 db SPL</p> 	<p>Freq: 850 Hz Snd pr.: 100.8 db SPL</p> 

ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ	ΠΡΙΝ	ΜΕΤΑ
<p>Freq: 901 Hz Snd pr.: 98.9 db SPL</p> 	<p>Freq: 901 Hz Snd pr.: 98.8 db SPL</p> 	<p>Freq: 1150 Hz Snd pr.: 91.9 db SPL</p> 	<p>Freq: 1150 Hz Snd pr.: 94.4 db SPL</p> 
<p>Freq: 951 Hz Snd pr.: 97.9 db SPL</p> 	<p>Freq: 952 Hz Snd pr.: 99.5 db SPL</p> 	<p>Freq: 1260 Hz Snd pr.: 91.9 db SPL</p> 	<p>Freq: 1260 Hz Snd pr.: 94.9 db SPL</p> 
<p>Freq: 1010 Hz Snd pr.: 96.0 db SPL</p> 	<p>Freq: 1010 Hz Snd pr.: 100.0 db SPL</p> 	<p>Freq: 1310 Hz Snd pr.: 95.7 db SPL</p> 	<p>Freq: 1310 Hz Snd pr.: 97.5 db SPL</p> 
<p>Freq: 1060 Hz Snd pr.: 98.6 db SPL</p> 	<p>Freq: 1060 Hz Snd pr.: 96.8 db SPL</p> 	<p>Freq: 1360 Hz Snd pr.: 95.8 db SPL</p> 	<p>Freq: 1360 Hz Snd pr.: 97.0 db SPL</p> 
<p>Freq: 1100 Hz Snd pr.: 88.3 db SPL</p> 	<p>Freq: 1100 Hz Snd pr.: 90.0 db SPL</p> 	<p>Freq: 1400 Hz Snd pr.: 93.7 db SPL</p> 	<p>Freq: 1400 Hz Snd pr.: 96.4 db SPL</p> 



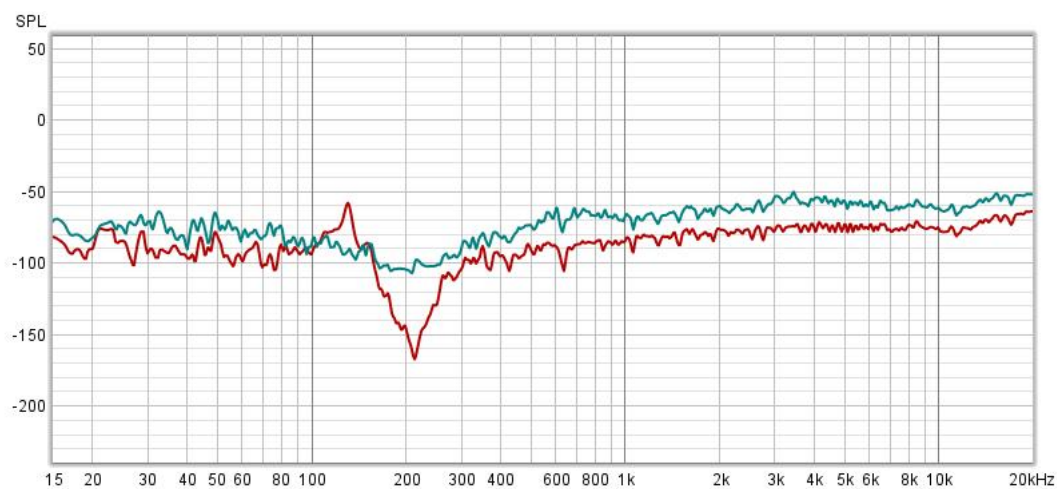
Εικόνα 8.7.1 - Απεικόνιση του ιδιορυθμών του κατακτιού πριν και μετά τη χημική επεξεργασία (50 – 2110 Hz)

8.8 Ανάλυση ηχογραφημένου υλικού για το καπάκι 4

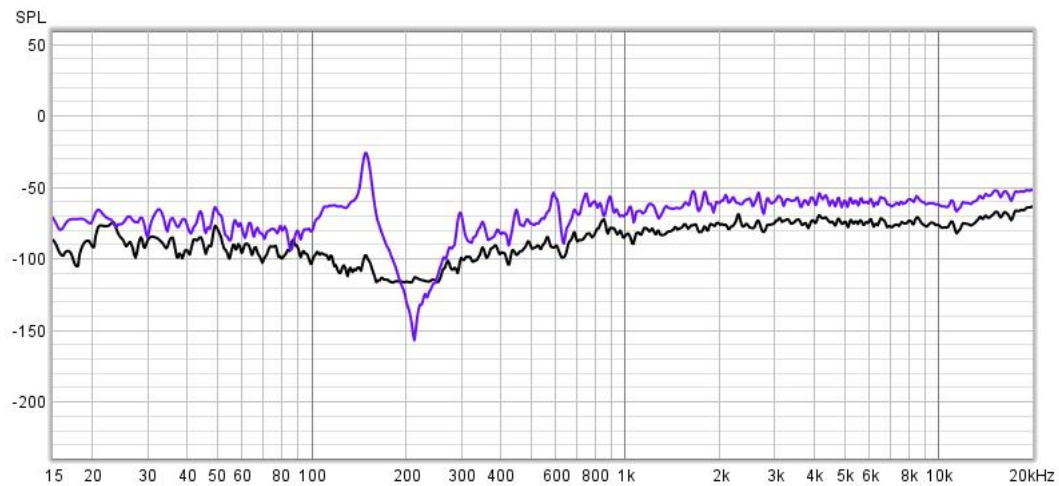
Σε αυτό το υπο-κεφάλαιο παρατίθενται τα αποτελέσματα από τη μέθοδο ανάλυσης ηχογραφημένου υλικού, για την μέτρηση της απόκρισης για το καπάκι 3 μέσω του προγράμματος Room eq wizard. Στα παρακάτω γραφήματα μπορούμε να διακρίνουμε την συχνотική απόκριση του καπακιού 3 πριν και μετά τον εμποτισμό για κάθε διαφορετικό σημείο που τοποθετήσαμε τον κρύσταλλο. Στις πρώτες τρεις φωτογραφίες (εικ. 8.8.1, 8.8.2, 8.8.3) συγκρίνουμε το καπάκι 4 πριν τον εμποτισμό και το καπάκι 4 μετά τον εμποτισμό και στην τέταρτη φωτογραφία φαίνονται όλα τα γραφήματα για όλα τα σημεία (εικ. 8.8.4).

Αυτό που παρατηρούμε στις πιο κάτω για το καπάκι 4 μετά την επεξεργασία είναι την απόσβεση σε κάποιες συχνότητες και τη δημιουργία μιας πιο επίπεδης συχνотικής απόκρισης.

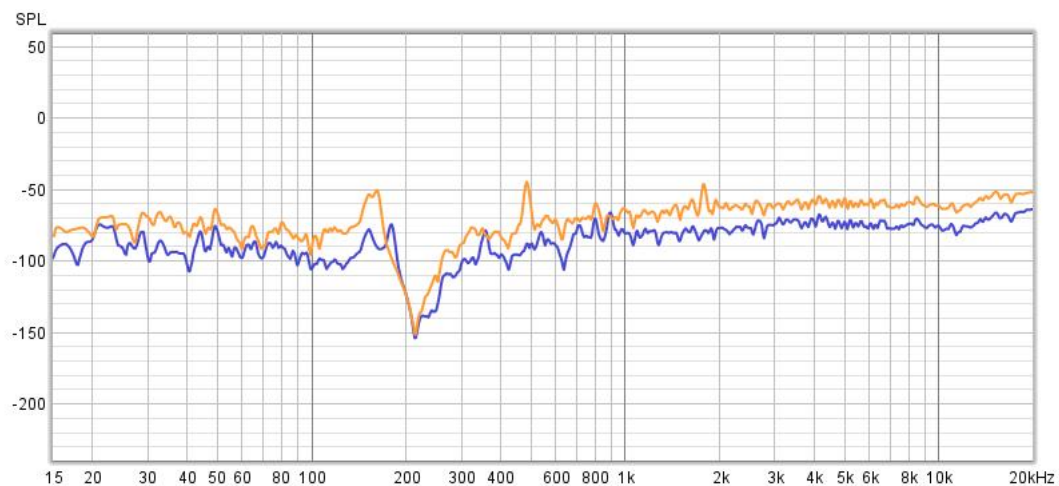
Συγκεκριμένα αυτό το παρατηρούμε στη θέση αριστερά (εικ. 8.8.1) στα 140 Hz και 210 Hz περίπου και στη μέση θέση (εικ 8.8.2) στα 160 Hz και 210 Hz περίπου. Στη θέση δεξιά (εικ. 8.8.3) παρατηρούμε τη δημιουργία κάποιων συντονισμών όπως, π.χ 490 Hz και 1800 Hz περίπου.



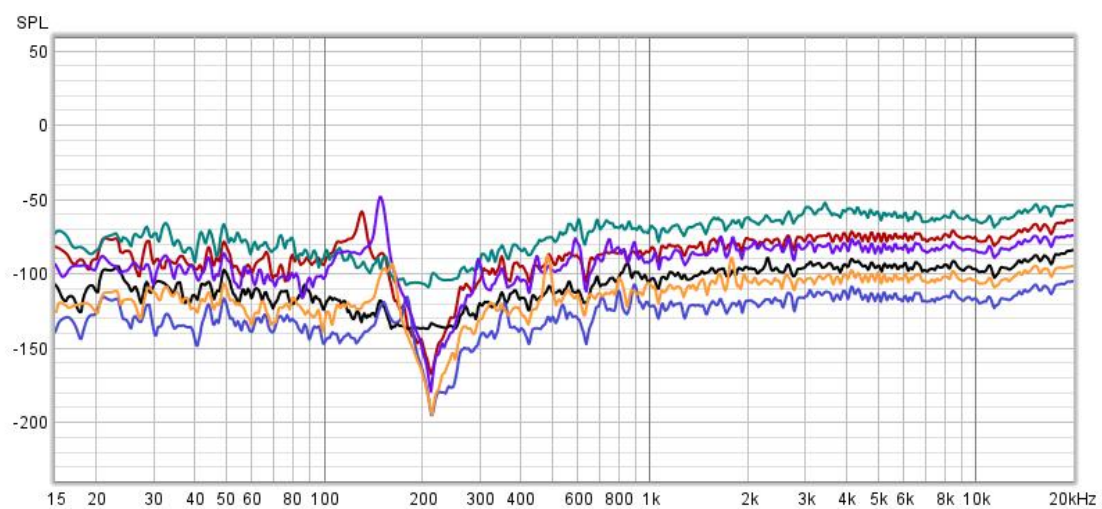
Εικόνα 8.8.1 – Συχνотική απόκριση για καπάκι 4 πριν και μετά, θέση αριστερά στο καπάκι, κόκκινο χρώμα πριν και πράσινο χρώμα μετά.



Εικόνα 8.8.2 – Συχνοτική απόκριση για καπάκι 4 πριν και μετά, θέση μέση στο καπάκι, μαύρο χρώμα πριν και λιλά χρώμα μετά.



Εικόνα 8.8.3 – Συχνοτική απόκριση για καπάκι 4 πριν και μετά, θέση δεξιά στο καπάκι. μπλε χρώμα πριν και πορτοκαλί χρώμα μετά



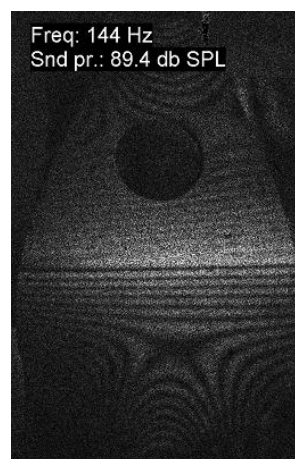
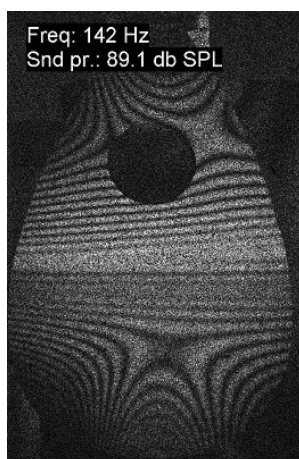
Εικόνα 8.8.4 – Συχνοτική απόκριση για καπάκι 3 πριν και μετά, για όλες τις θέσεις πράσινο χρώμα πριν (αριστερά), μαύρο χρώμα πριν (μέση), μπλε χρώμα (δεξιά) πριν, κόκκινο χρώμα (αριστερά) μετά, λιλά χρώμα (μέση) μετά και πορτοκαλί χρώμα (δεξιά) μετά .

Κεφάλαιο 9^ο - Σύγκριση μεγίστων συντονισμών πριν και μετά τον εμποτισμό - Συμπεράσματα

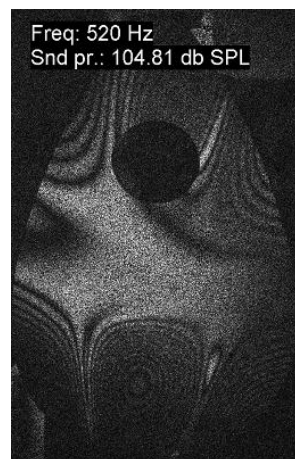
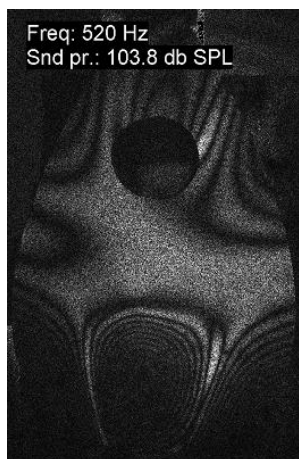
Αυτό που έχουμε παρατηρήσει από τα αποτελέσματα E.S.P.I είναι ότι με την επεξεργασία του καπακιού με βορικό άλας πολλοί συντονισμοί έχουν μετακινηθεί σε άλλη συχνότητα. Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε το φαινόμενο αυτό πιο αναλυτικά και που παρατηρείται με λίγα παραδείγματα από το κάθε καπάκι. Οι συχνότητες που επιλέχθηκαν είναι και αυτές στις οποίες οι ιδιόρρυθμοί είναι πιο εμφανείς.

Καπάκι 1

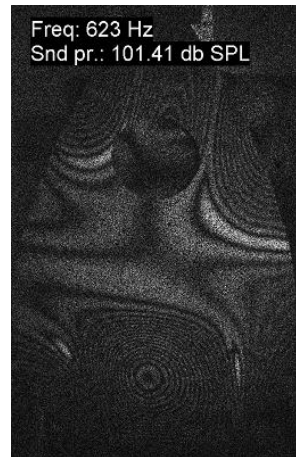
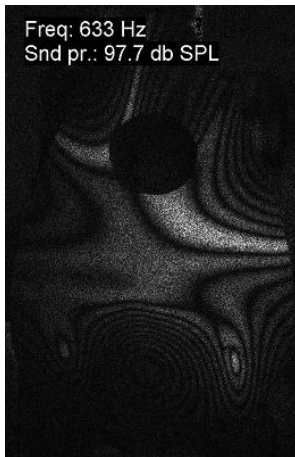
Στο πρώτο καπάκι στο οποίο προσθέσαμε μόνο νερό παρατηρούμε ότι οι ιδιορυθμοί του καπακιού δεν έχουν αλλάξει ιδιαίτερα και ο μέγιστος συντονισμός βρίσκεται στο περίπου ίδιο σημείο όπως και πριν την επεξεργασία. Στο καπάκι 1 (χωρίς καμάρια) λόγω της καμπυλότητας του ξύλου παρατηρήσαμε ότι δημιουργήθηκαν καινούργιοι συντονισμοί για αυτό και σε αυτό το κεφάλαιο δεν το συμπεριλάβαμε.



Εικόνα 9.1 – Μέγιστος συντονισμός στα 144 Hz (πριν) και 142 Hz (μετά)



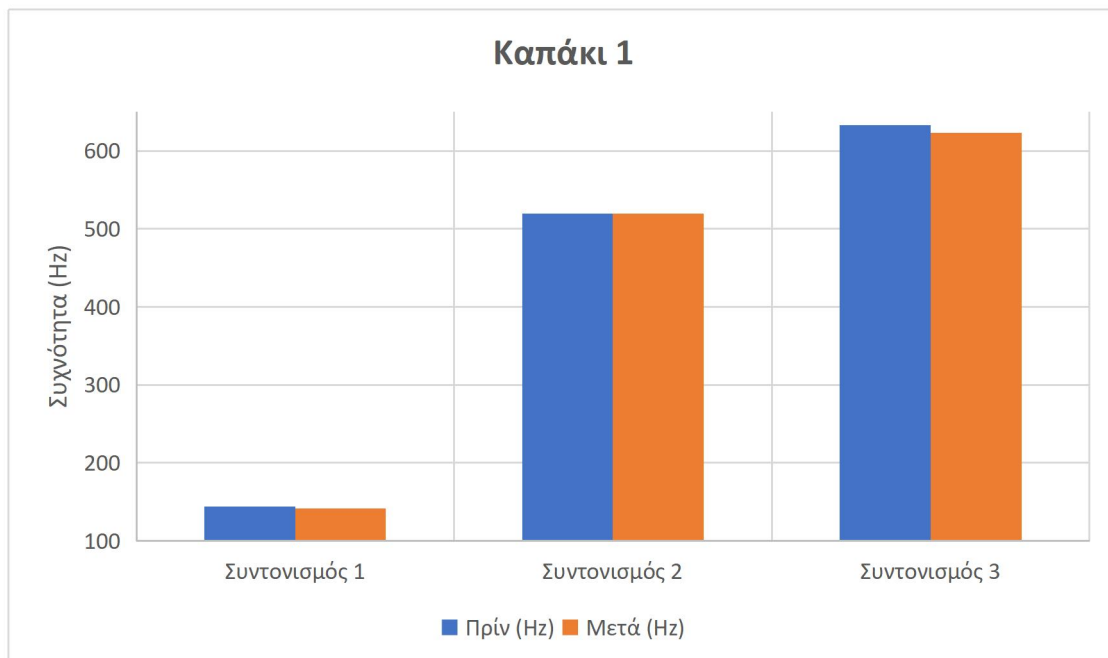
Εικόνα 9.2 – Μέγιστος συντονισμός στα 520 Hz (πριν) και 520 Hz (μετά)



Εικόνα 9.3 – Μέγιστος συντονισμός στα 633 Hz (πριν) και 623 Hz (μετά)

Καπάκι 1

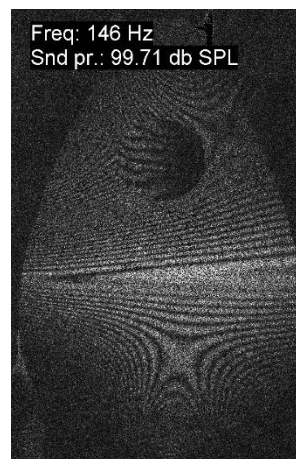
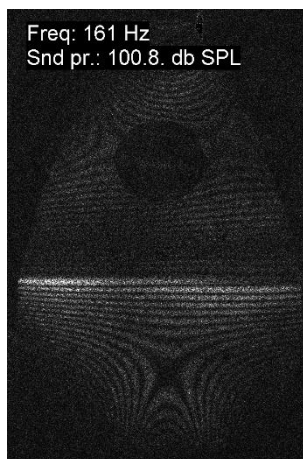
	Πρίν (Hz)	Μετά (Hz)	Διαφορά (Hz)
Συντονισμός 1	144	142	2
Συντονισμός 2	520	520	0
Συντονισμός 3	633	623	10



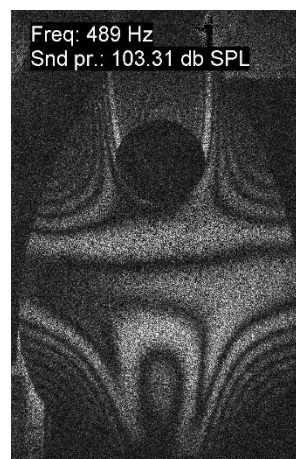
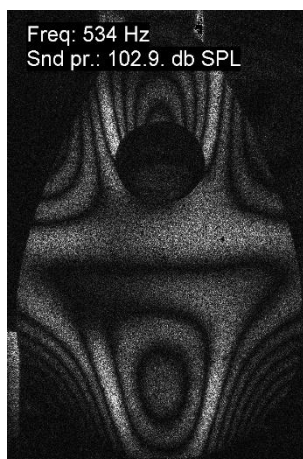
Εικόνα 9.1 - Γραφική παράσταση αλλαγής συχνοτήτων των συντονισμών πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 1

Καπάκι 2

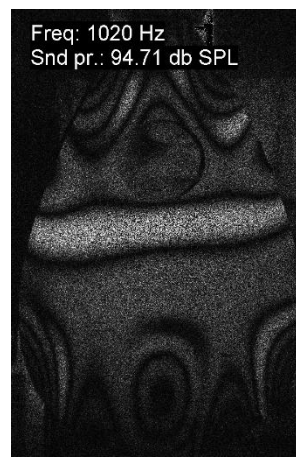
Στο δεύτερο καπάκι όπου προσθέσαμε 25 gr βορικό άλας παρατηρούμε ότι υπάρχει μια διαφορά περίπου από 15 – 60 Hz.



Εικόνα 9.4 – Μέγιστος συντονισμός στα 161 Hz (πριν) και 146 (μετά)



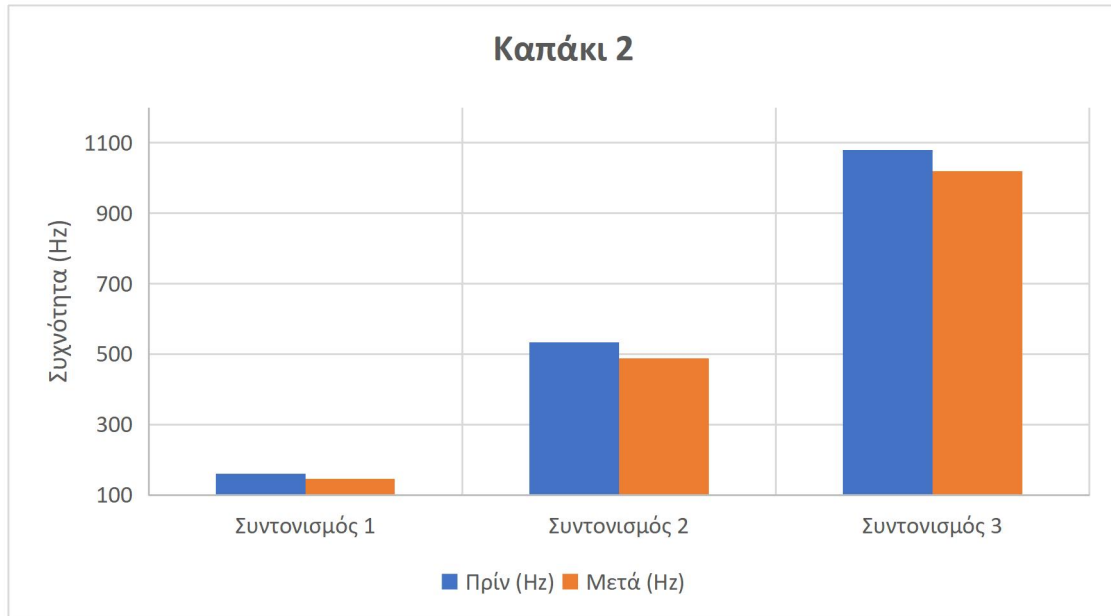
Εικόνα 9.5 – Μέγιστος συντονισμός στα 534 Hz (πριν) και 489 Hz (μετά)



Εικόνα 9.6 – Μέγιστος συντονισμός 1080 Hz (πριν) και 1020 Hz (μετά)

Καπάκι 2

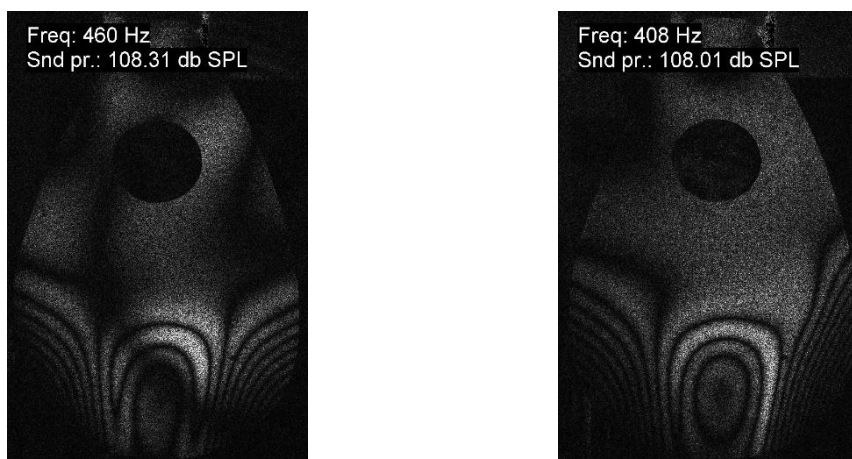
	Πρίν (Hz)	Μετά (Hz)	Διαφορά (Hz)
Συντονισμός 1	161	146	15
Συντονισμός 2	534	489	45
Συντονισμός 3	1080	1020	60



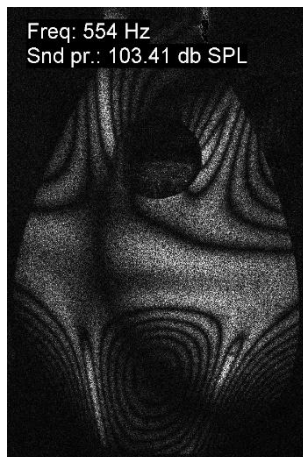
Εικόνα 9.2 - Γραφική παράσταση αλλαγής συχνοτήτων των συντονισμών πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 2

Καπάκι 3

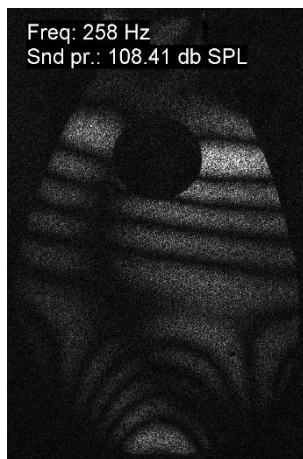
Στο τρίτο καπάκι όπου προσθέσαμε 50 gr βορικό άλας παρατηρούμε ότι υπάρχει μια διαφορά περίπου από 30 - 50 Hz.



Εικόνα 9.7 – Μέγιστος συντονισμός 460 Hz (πρίν) και 408 Hz (μετά)



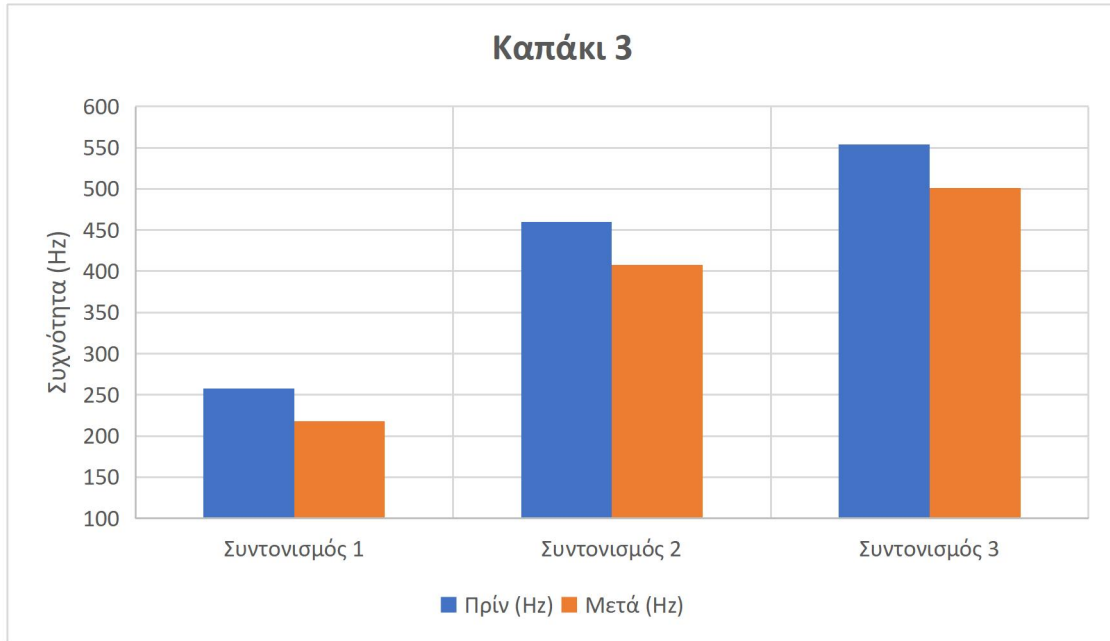
Εικόνα 9.8 – Μέγιστος συντονισμός 554 Hz (πριν) και 501 Hz (μετά)



Εικόνα 9.9 – Μέγιστος συντονισμός στα 258 Hz (πριν) και 218 Hz (μετά)

Καπάκι 3

	Πρίν (Hz)	Μετά (Hz)	Διαφορά (Hz)
Συντονισμός 1	258	218	40
Συντονισμός 2	460	408	52
Συντονισμός 3	554	501	53



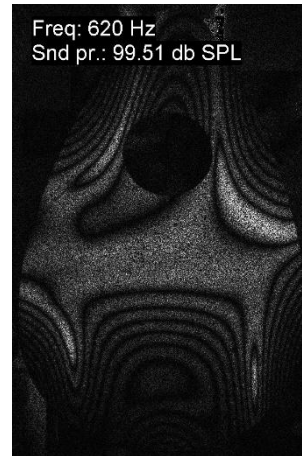
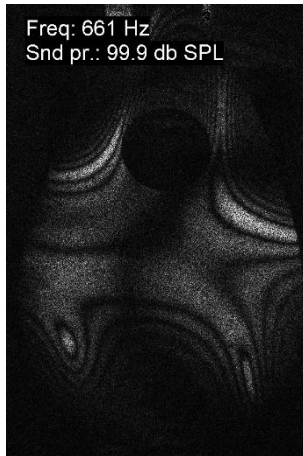
Εικόνα 9.3 - Γραφική παράσταση αλλαγής συχνοτήτων των συντονισμών πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 3

Καπάκι 4

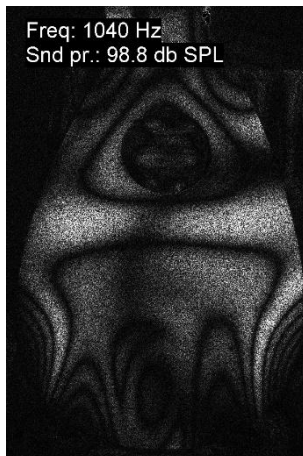
Στο τέταρτο καπάκι όπου προσθέσαμε 150 gr βορικό άλας παρατηρούμε ότι υπάρχει μία διαφορά περίπου από 30 - 80 Hz.



Εικόνα 9.10 – Μέγιστος συντονισμός στα 535 Hz (πριν) και 500 Hz (μετά)



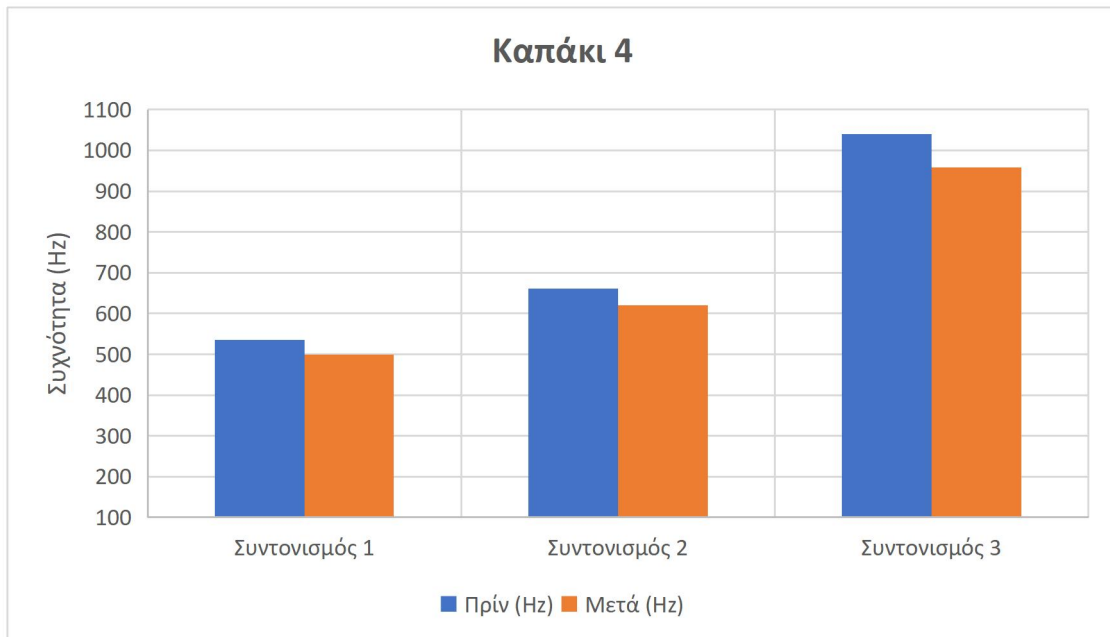
Εικόνα 9.11 – Μέγιστος συντονισμός στα 661 Hz (πριν) και 620 Hz (μετά)



Εικόνα 9.12 – Μέγιστος συντονισμός 1040 Hz (πριν) και 958 Hz (μετά)

Καπάκι 4

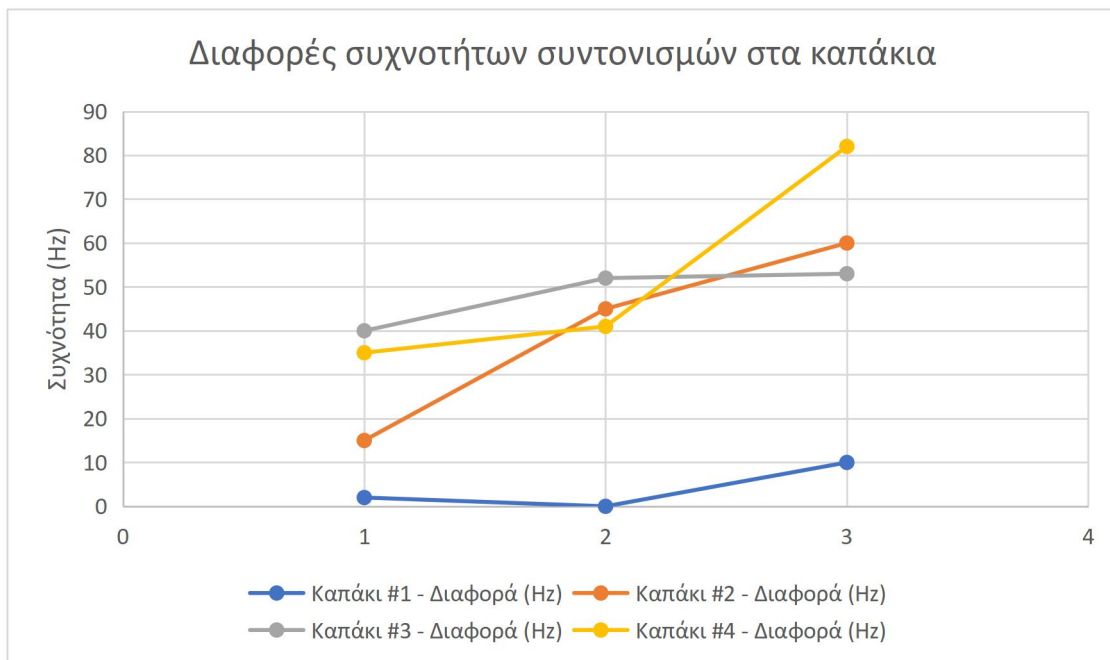
	Πρίν (Hz)	Μετά (Hz)	Διαφορά (Hz)
Συντονισμός 1	535	500	35
Συντονισμός 2	661	620	41
Συντονισμός 3	1040	958	82



Εικόνα 9.4 - Γραφική παράσταση αλλαγής συχνοτήτων των συντονισμών πριν και μετά τον εμποτισμό για το καπάκι 4

Διαφορές συχνοτήτων των συντονισμών

Στο παρακάτω διάγραμμα (XXX) παρατηρούμε την διαφοροποίηση των καπακιών που εμποτίστηκαν με βορικό άλας από αυτό που εμποτίστηκε μόνο με νερό.



Εικόνα 9.4 - Γραφική παράσταση διαφορών των συχνοτήτων συντονισμών για τα 4 καπάκια.

Συμπερασματικά παρατηρούμε ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις στα καπάκια που εμποτίστηκαν με βορικό άλας και θα ήταν χρήσιμο να γίνει μια πιο αναλυτική

αντίστοιχη μελέτη λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους όπως την πυκνότητα του διαλύματος, τις θερμοκρασίες και τους χρόνους εμποτισμού και αφύγρανσης των καπακιών.

Βιβλιογραφία

1. E. Hecht, "Optics", 4 th Edition, Addison-Wesley, 2001
2. Σκαρλάτος, Δ., "Εφαρμοσμένη ακουστική", έκδοση Γ', Πάτρα, εκδόσεις Gotsis, 2008
3. Sirohi, R. S., & Chau, F. S., "Optical methods of measurement: Wholefield techniques", New York: Marcel Dekker Inc., 1999
4. Rastogi, P. K. "Digital speckle pattern interferometry and related techniques", York: Cambridge University Press, 1989
5. E. Bakarezos, V. Vathis, S. Brezas, Y. Orphanos and N. A. Papadogiannis, "Acoustics of the Chelys – An ancient Greek tortoise-shell lyre", Applied Acoustics 73, 478 (2011), <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2011.11.010>
6. Λ. Χαρτοφύλακας, Ε. Μπακαρέζος, Ι. Ορφανός, Ν.Α. Παπαδογιάννης, "Σύνδεση των ακουστικών χαρακτηριστικών της δομής της Κρητικής λύρας με την ποιότητα του εκπεμπόμενου ήχου", Ακουστική 2008, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη, Ελλάδα, 29 Σεπτεμβρίου – 1 Οκτωβρίου 2008, Πρακτικά σσ. 182-191, Εκδ.: Ν. Μπαρκας, 2008
7. Β. Βάθης, Ε. Μπακαρέζος, Ι. Ορφανός, Ν.Α. Παπαδογιάννης, "Ακουστική μελέτη πιστής ανακατασκευής της αρχαίας ελληνικής λύρας χέλυς", Ακουστική 2008, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Ξάνθη, Ελλάδα, 29 Σεπτεμβρίου – 1 Οκτωβρίου 2008, Πρακτικά σσ. 173-181, Εκδ.: Ν. Μπαρκας, 2008
8. M. Bakarezos, S. Gymnopoulos, S. Brezas, Y. Orfanos, E. Maravelakis, C.I. Papadopoulos, M. Tatarakis, A. Antoniadis and N.A. Papadogiannis, "Vibration analysis of the top plates of traditional Greek string musical instruments", 13th International Congress of Acoustics and Vibration (ICSV13), Vienna, Austria, 2-6 July 2006, CD-ROM Proceedings, Eds.: J. Eberhardsteiner, H.A. Mang and H. Waubke, 2006

Ηλεκτρονικές πηγές

1. <https://strati.gr/empotismos-toy-xyloy-praktikos-odigos/>
2. <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CF%8C%CF%81%CE%B1%CE%BA%CE%B1%CF%82>

Πτυχιακές εργασίες

1. Χαρτοφύλακας, Λ., “Διερεύνηση του ρόλου των δονητικών χαρακτηριστικών του αντηχείου έγχορδων παραδοσιακών μουσικών οργάνων και συγκεκριμένα κρητικής λύρας, στα ποιοτικά χαρακτηριστικά του φυσικά εκπεμπόμενου ήχου” Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ρέθυμνο, 2007
2. Σιδηράς, Ι., “Μελέτη δονητικών χαρακτηριστικών παραδοσιακών κρουστών μουσικών οργάνων με τη χρήση οπτικών συμβολομετρικών τεχνικών” Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ρέθυμνο, 2013
3. Αράπουκλες, Σ., Β., “Ακουστικός χαρακτηρισμός ακουστικής κιθάρας με μοντέρνες τεχνικές” Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ρέθυμνο, 2018
4. Σβίγκος, Ν., “Μελέτη ακουστικής συμπεριφοράς καπακίων Τζουρά επεξεργασμένων με χημικές μεθόδους” Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής, Ρέθυμνο, 2019