

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ ΚΙΘΑΡΑΣ ΑΠΟ
ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ**

Ακριβός Σωκράτης

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΠΑΠΑΝΙΚΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ: ΠΑΠΑΝΙΚΟΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ
ΖΑΧΑΡΟΠΟΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
ΜΟΥΛΙΑΝΙΤΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	2
Εισαγωγή.....	4
1. ΤΥΠΟΙ ΚΙΘΑΡΑΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	5
Α. ΤΥΠΟΙ ΚΙΘΑΡΑΣ	7
Κλασική/flamenco κιθάρα	7
Ακουστική κιθάρα.....	9
Archtop	9
Resonator	11
Ηλεκτρική κιθάρα	12
Β. Χρήση εναλλακτικών Υλικών στις κιθάρες.....	13
Fiberglass guitars –Airline	13
Κιθάρες από αλουμίνιο	14
Travis Bean.....	14
VELENO	16
Kramer	17
Κιθάρες από σύνθετα υλικά.....	18
Steinberger.....	18
Parker.....	19
Rainsong.....	21
Blackbird.....	22
Ovation.....	23
2. ΘΕΩΡΙΑ-ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	25
ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	25
ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ	25
Α. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ.....	25
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (FREQUENCY).	26
ΕΝΤΑΣΗ (INTENSITY)	27
ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (FREQUENCY SPECTRUM)	28
ΠΕΡΙΒΑΛΟΥΣΑ (ENVELOPE)	29
Β. Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου.....	31
ΥΨΟΣ (PITCH)	32
ΧΡΟΙΑ (TIMBRE)	32
ΑΚΟΥΣΤΟΤΗΤΑ (LOUDNESS).....	32
C. ΔΙΑΔΟΣΗ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΤΕΡΕΑ	33
Ταλαντώσεις χορδής	33
D. Κυματική διάδοση σε χορδή και στάσιμα κύματα.....	34
Κύματα σε στερεά επιφάνεια.....	36
E. Φαινόμενο Helmholtz.....	36
F. Ακουστική Εμπέδηση.....	37
Πραγματικές Συνθήκες	37
3. ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΙΘΑΡΑΣ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ	39
G. ΚΑΠΑΚΙ -SOUNDBOARD	39
H. ΜΠΡΑΤΣΟ	41

I.	ΠΛΑΪΪΝΑ ΚΑΙ ΠΙΣΩ ΚΑΠΑΚΙ –SIDES AND BACK PLATE	43
J.	ΧΟΡΔΕΣ	43
4.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ.....	45
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	47
5.	ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ ANSYS ΚΙΘΑΡΑΣ ΑΠΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ.....	48
	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	48
K.	Διαστάσεις κιθάρας.....	48
	ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΙΘΑΡΑΣ	49
	Πάχος Στρώσεων.....	50
L.	Lay up Στρώσεων.....	50
6.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	54
A.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ	54
B.	Αποτελέσματα	55
7.	Υπολογισμός Τιμών ιδιοσυχνοτήτων στο Ansys.....	56
	Αποτελέσματα-Πίνακας Ιδιοσυχνοτήτων για το καπάκι, το πίσω καπάκι και το σώμα	58
	Συμπεράσματα.....	59
8.	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ ANSYS-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	61
	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	65
	Συμπεράσματα.....	69
9.	Επίλογος.....	73
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	75
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	80

Εισαγωγή

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στην μελέτη της συμπεριφοράς ακουστικής κιθάρας, τα τεχνικά χαρακτηριστικά, τα υλικά κατασκευής καθώς και στην διερεύνηση της χρήσης νέων υλικών (και συγκεκριμένα ινών άνθρακα) που να προσομοιάζουν την παραδοσιακή ξύλινη κιθάρα.

Τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον για την κατασκευή μουσικών οργάνων με μη παραδοσιακά υλικά έχει αυξηθεί. Η χρήση υπολογιστικών συστημάτων CAD, και οι μέθοδοι πεπερασμένων στοιχείων (FEM) έχουν ανοίξει νέους ορίζοντες στην οργανοποιεία.

Η έρευνα για τα χαρακτηριστικά των μουσικών οργάνων έχει ξεκινήσει σχετικά πρόσφατα, από την δεκαετία του 70'. Η δυσκολία στο συγκεκριμένο γνωσιακό πεδίο έγκειται στο ότι είναι τελείως διαφορετική η προσέγγιση του ήχου ως φυσικό φαινόμενο και άλλη η πρόσληψη του ηχητικού φαινομένου από τον άνθρωπο (ψυχοακουστική).

Έτσι ακόμα και όταν υπάρχουν επιστημονικώς τεκμηριωμένα εξαγωγίμα συμπεράσματα, δεν είναι ούτε αυτονόητη, ούτε αυτόματα η αξιοποίησή τους στην οργανοποιεία, η οποία βασίζεται περισσότερο στην εμπειρία, στην παράδοση και στην «try and error» αντίληψη. Στην περίπτωση χρήσης νέων υλικών όμως, η απουσία πρότερης εμπειρίας, επιβάλλει την συμπόρευση των παραδοσιακών μεθόδων με την επιστημονική έρευνα.

Η εργασία περιλαμβάνει εκτός από μια σύντομη περιγραφή των βασικών χαρακτηριστικών της κιθάρας την παρουσίαση χαρακτηριστικών περιπτώσεων χρήσης νέων υλικών ως σήμερα, την παράθεση βασικών θεωρητικών στοιχείων για τον ήχο ως κύμα καθώς και την παρουσίαση πειραματικών εργασιών για την εύρεση της συμπεριφοράς της κιθάρας και συγκεκριμένα την εύρεση ιδιοσυχνοτήτων/ιδιομορφών.

Τέλος επιχειρείται η μοντελοποίηση στο υπολογιστικό πακέτο ANSYS, ακουστικής κιθάρας και σύγκριση της συμπεριφοράς της με πειραματικά δεδομένα αναφοράς.

1. ΤΥΠΟΙ ΚΙΘΑΡΑΣ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κιθάρα ανήκει στην κατηγορία των χορδόφωνων, δηλαδή όργανα στα οποία ο ήχος παράγεται από παλλόμενες χορδές [1]. Επίσης εντάσσεται στην κατηγορία των σύνθετων χορδόφωνων όπου τόσο η χορδή όσο και το σώμα του οργάνου αποτελούν ενιαίο μηχανισμό [2], σε αντίθεση με π.χ. το πιάνο όπου αν αφαιρεθεί το αντηχείο, οι χορδές μπορούν να λειτουργούν κανονικά και να παράγουν ήχο.

Ανάλογα με τον τρόπο χειρισμού τους, τα χορδόφωνα (η έγχορδα) διαχωρίζονται σε νυκτά, όπου η ηχοπαραγωγή οφείλεται στη νύξη (τσιμπήμα) των χορδών (π.χ. λαούτο, μαντολίνο) και τοξωτά, όπου η ηχοπαραγωγή οφείλεται στη δια τόξου τριβή της χορδής (π.χ. βιολί).

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Η κιθάρα αποτελείται από δύο κύρια μέρη: **το σώμα και το μπράτσο** [3].

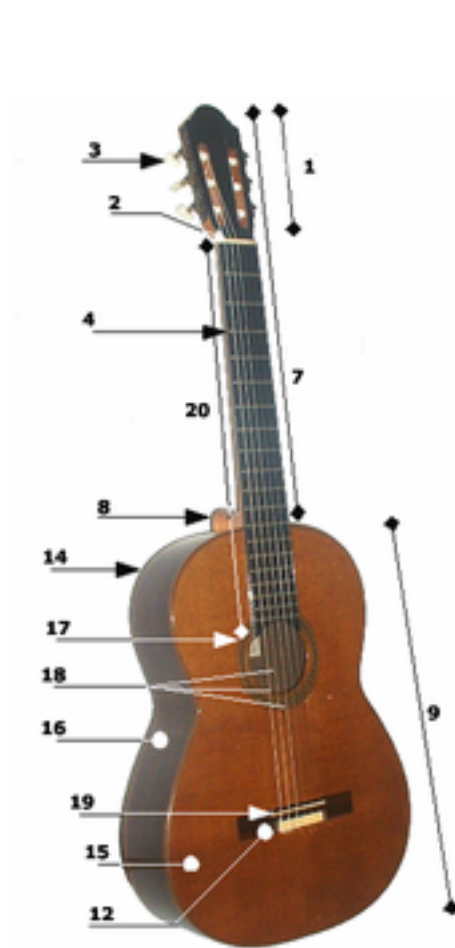
Το σώμα ή σκάφος είναι το πλατύ μέρος της κιθάρας, κατά μήκος του οποίου εκτείνονται οι χορδές και περιλαμβάνει τη γέφυρα (ή αλλιώς καβαλάρη), το σημείο δηλαδή πάνω στο οποίο εφάπτονται οι χορδές, μεταδίδοντας τις παλμικές δονήσεις στο εσωτερικό του οργάνου. Χρησιμεύει επίσης και σαν σημείο στήριξης του χεριού που χτυπάει τις χορδές.

Στην κλασική και ακουστική κιθάρα είναι κοίλο και αποτελεί το αντηχείο του οργάνου, ενισχύοντας τον ήχο της κιθάρας με φυσικό τρόπο, ενώ το ξύλο, το σχέδιο και η ποιότητα κατασκευής του παίζουν αποφασιστικό ρόλο στον τελικό ήχο που θα βγάλει το όργανο.

Στην ηλεκτρική κιθάρα είναι συνήθως συμπαγές, και εδράζονται σε αυτό οι μαγνήτες, τα ποτενσιόμετρα που ρυθμίζουν ένταση και τόνο, καθώς και τυχόν ηλεκτρονικά που μπορεί να υπάρχουν. Και εδώ όμως το υλικό και η ποιότητα κατασκευής παίζουν ρόλο, γιατί επηρεάζουν τον τρόπο που δονείται ολόκληρο το όργανο παράγοντας ήχους.



Εικόνα 1: Ηλεκτρική κιθάρα



Εικόνα 2: Κλασική κιθάρα

1. Κεφαλή (head)
2. Ζυγός
3. Κλειδιά (tuning pegs)
4. Τάστο (fret)
5. Truss rod
6. Ενδείξεις τασπιέρας
7. Λαιμός (neck)
8. Έμβολο ένωσης λαιμού-σκάφους
9. Σκάφος (body)
10. Μαγνήτες (pickups)
11. Ρυθμιστές
12. Γέφυρα (bridge)
13. Ρυθμιστές / ποτενσιόμετρα
14. Πλάτη (back)
15. Σώμα κιθάρας (top)
16. Πλαϊνές όψεις (sides)
17. Ηχείο (hole)
18. Χορδές (strings)
19. Καβαλάρης (bridge)
20. Τασπιέρα (fretboard)

Το **μπράτσο** ή μανίκι ή λαιμός της κιθάρας είναι το μακρόστενο μέρος της, και περιλαμβάνει την ταστιέρα, τον ζυγό και τα κλειδιά. Στις κλασικές κιθάρες είναι ενσωματωμένο στην υπόλοιπη κατασκευή, ενώ στους άλλους τύπους (κυρίως στις ηλεκτρικές) μπορεί να είναι και αποσπώμενο. Το μπράτσο χρησιμεύει για να μπορεί ο κιθαρίστας να μεταβάλλει τον ήχο που βγάζει το όργανο, πατώντας τις χορδές σε διαφορετικά τάστα. Ο ζυγός αποτελεί το απέναντι από τον καβαλάρη σημείο τέντωσης των χορδών, ενώ τα κλειδιά είναι τα σημεία όπου καταλήγουν οι χορδές και διαθέτουν κοχλία που επιτρέπει το μεγαλύτερο ή μικρότερο τέντωμά τους, για σωστό χόρδισμα.

Το πίσω μέρος του μπράτσου είναι καμπυλωτό, για να διευκολύνεται η λαβή και η στήριξη του χεριού που πατάει τις χορδές.

Το ξύλο από το οποίο είναι φτιαγμένο το μπράτσο είναι, όπως και το σώμα, καίριας σημασίας. Για την ταστιέρα επιλέγεται συνήθως έβενος ή τριανταφυλλιά (rosewood), που δίνουν καλύτερη αίσθηση στο παίξιμο και αντέχουν στις φθορές. Για το πίσω μέρος χρησιμοποιούνται ξύλα που διακρίνονται για την αντοχή τους, καθώς λόγω της τάσης των χορδών δεν είναι δύσκολο να παρουσιαστεί σκέβρωμα (καμπύλωση) στο μπράτσο, πράγμα που καταστρέφει τον ήχο μιας κιθάρας και δυσκολεύει το παίξιμο. Πολλές ακουστικές και ηλεκτρικές κιθάρες έχουν μέσα στο μπράτσο ενσωματωμένη μια μεταλλική ράβδο (truss rod), η καμπυλότητα της οποίας (και επομένως και του μπράτσου) μπορεί να ρυθμιστεί με κοχλία, επαναφέροντας τυχόν σκέβρωμα του μπράτσου.

A. ΤΥΠΟΙ ΚΙΘΑΡΑΣ

Τους 2 τελευταίους αιώνες διαμορφώθηκαν οι τύποι κιθάρας όπως του γνωρίζουμε σήμερα.

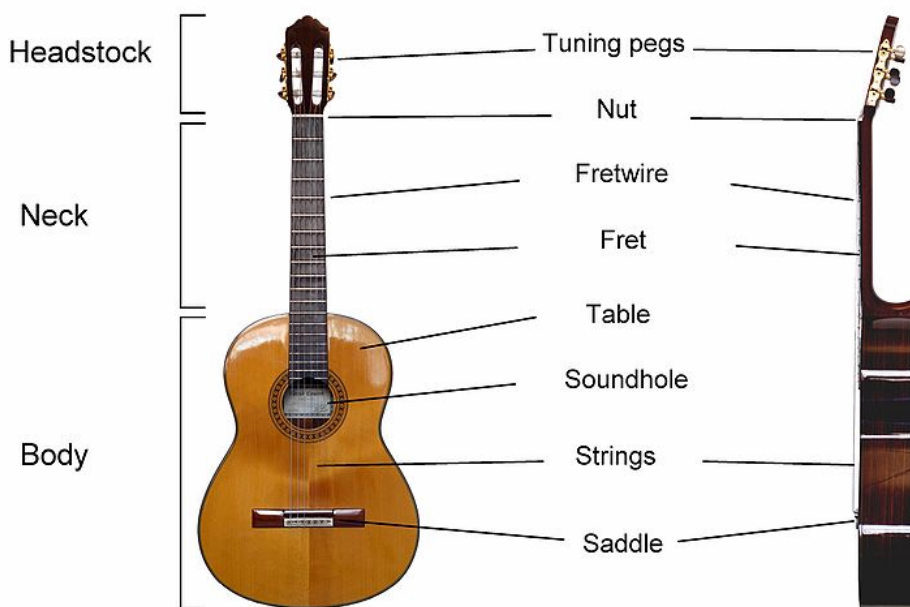
Κλασική/flamenco κιθάρα

Η κλασική κιθάρα προέκυψε από τους διάφορους τύπους κιθάρας που χρησιμοποιήθηκαν από την αναγέννηση ως τον 19ο αιώνα, αλλά έφτασε σε πλήρη ωριμότητα με τη συμβολή του Αντονιο Τορρες και την φήμη που απέκτησε αυτός ως κατασκευαστής για τον Τάρεγκα (διάσημο κιθαρίστα).



Εικόνα 3: Κλασική/flamenco κιθάρα

Το κύριο χαρακτηριστικό της κλασικής κιθάρας είναι η χρήση συνθετικών χορδών (nylon), οι οποίες αντικατέστησαν τις χορδές από έντερα ζώων. Επίσης συνδέεται με ένα συγκεκριμένο τρόπο παιξίματος (χρήση νυχιών) και το κλασσικό ρεπερτόριο, μιας και οι περισσότεροι συνθέτες έγραψαν μουσικά έργα με βάση αυτό το τύπο κιθάρας. Σήμερα η χρήση διαφόρων τύπων κιθάρας σε ασυνήθιστα μουσικά είδη έχει οδηγήσει στην εν μέρει κατάργηση του όρου «κλασσική» και χρησιμοποιείται (διεθνώς τουλάχιστον) ο όρος nylon string guitar.

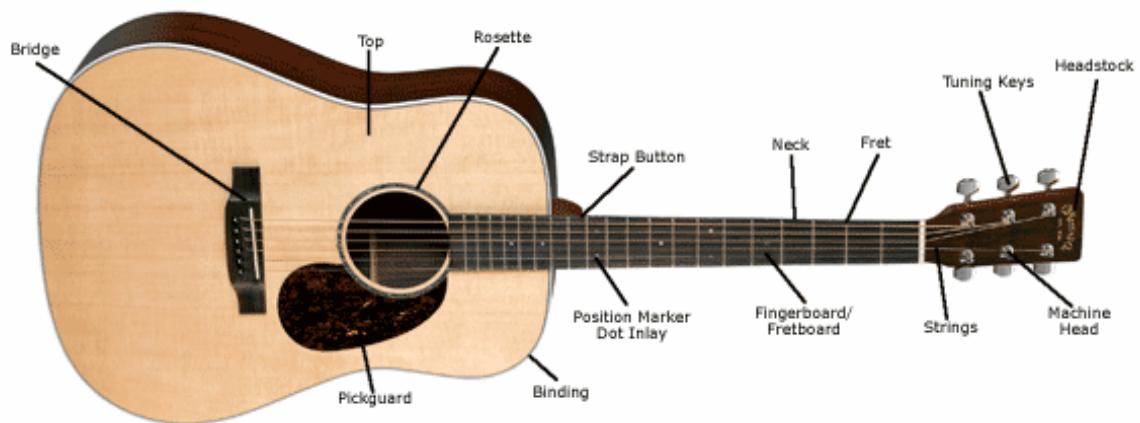


Εικόνα 4: Χαρακτηριστικά κλασικής κιθάρας

Η φλαμένκο κιθάρα είναι παρόμοια με την κλασσική, συνήθως έχει ελαφρώς μικρότερο μέγεθος και επιλέγονται διαφορετικά ξύλα κατασκευής αλλά πρακτικά έχει τις ίδιες δυνατότητες με την κλασσική.

Ακουστική κιθάρα

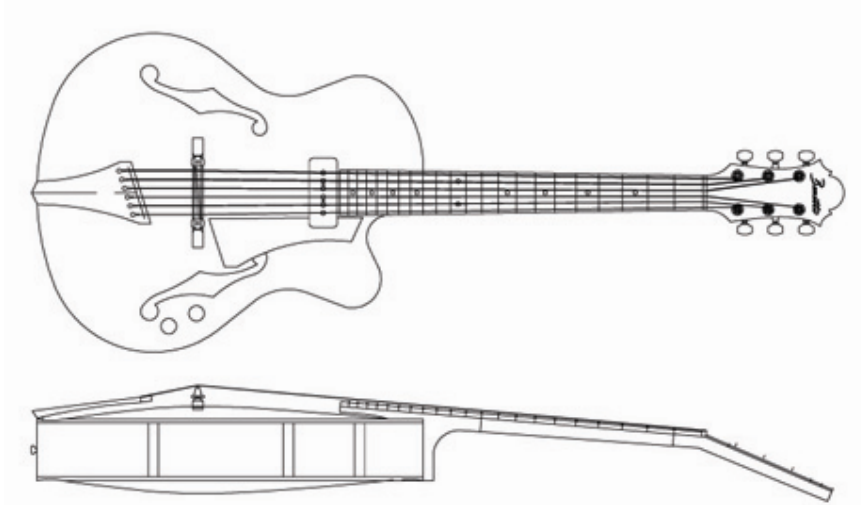
Αν και η κλασσική κιθάρα είναι ακουστική, έχει επικρατήσει η χρήση του όρου «ακουστική» για ένα τύπο κιθάρας που διαμορφώθηκε στα τέλη του 19αι. στην Αμερική με πρωτοπόρο τον Φριντριχ Μάρτιν. Κύριο χαρακτηριστικό της είναι η χρήση μεταλλικών χορδών. Η ακουστική κιθάρα παρουσιάζει αρκετές ομοιότητες με την κλασσική με τις διαφορές να εντοπίζονται καταρχάς στην ανάγκη να αντιμετωπιστεί η μεγαλύτερη τάση των μεταλλικών χορδών. Έτσι το μπράτσο έχει ενσωματωμένη μία μεταλλική ράβδος, ενώ το ηχείο (top) είναι ενισχυμένο (με νεύρα δυσκαμψίας-bracing).



Εικόνα 5: Ακουστική κιθάρα τύπου Dreadnaught [4]

Archtop

Η archtop κιθάρες αναπτύχθηκαν στις αρχές του 20αι. σε μια προσπάθεια να εφαρμοσθούν τεχνικές κατασκευής βιολιών στις κιθάρες. Το όνομα τους το πήραν από το σχήμα του ηχείου (top) που είναι καμπύλο όπως και τα βιολιά σε αντίθεση με τις ακουστικές κιθάρες και τις κλασσικές (flat top). Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η συνολική επιφάνεια του ηχείου και η ένταση. Το άλλο χαρακτηριστικό είναι ότι η γέφυρα (bridge) θυμίζει, πάλι, τα έγχορδα με δοξάρι βιολιά.



Εικόνα 6: Σκίτσο archtop κιθάρας [6]



Οι archtop έγιναν η βάση για τους πρώτους πειραματισμούς με ηλεκτρομαγνήτες και την χρήση ηλεκτρικών ενισχυτών και είχαν μεγάλη επιτυχία στους κιθαρίστες της jazz. Σήμερα οι archtop χρησιμοποιούνται αποκλειστικά με ηλεκτρικό ενισχυτή στη jazz, country, rockabilly μουσική.

Εικόνα 7: archtop κιθάρα [7]



Εικόνα 8: Γέφυρα archtop κιθάρας [7]

Resonator

Η κιθάρες Resonator αναπτύχθηκαν μετά το 1920 σε μια προσπάθεια να αυξηθεί η ένταση καθώς η ακουστική κιθάρα δεν μπορούσε να ακουστεί στις jazz big bands (μεγάλες ορχήστρες με πλήθος πνευστών). Η resonator διαθέτει ένα μεταλλικό κώνο, ο οποίος λειτουργεί ως ένα μηχανικό μεγάφωνο, το υπόλοιπο σώμα της κιθάρας λειτουργεί όπως και η καμπίνα στους ενισχυτές οργάνων και στα ηχεία αναπαραγωγής μουσικής (audio, hi-fi). Η εταιρία National ανέπτυξε τα μοντέλα single cone και tri-cone ενώ η εταιρία Dobro τα μοντέλα spider cone. Και οι τρεις τύποι resonator κιθαρών είναι έργο του Τζον Ντοπυερα (John Dopyera).



Εικόνα 9: Resonator κιθάρα [8]

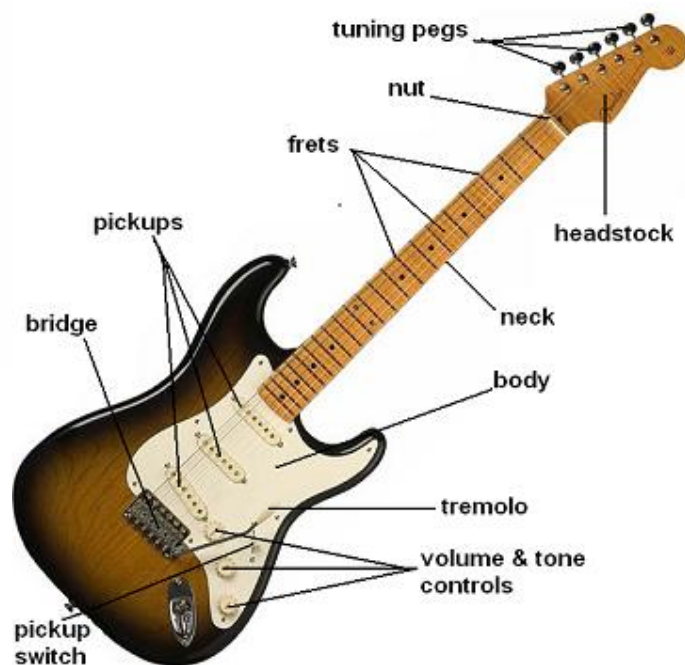
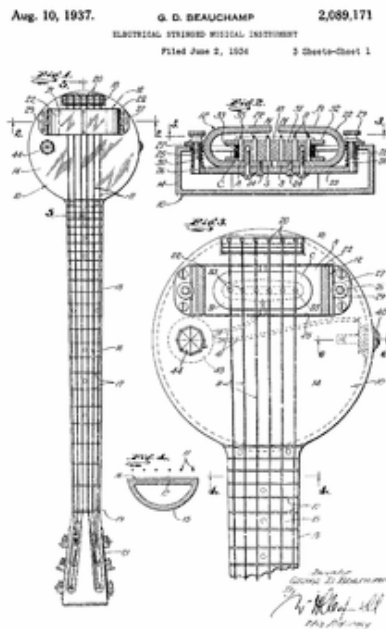


Εικόνα 10: Resonator κιθάρα τύπου Tricone [9]

Ηλεκτρική κιθάρα

Η ανάγκη αύξηση της έντασης του οργάνου οδήγησε στη διαμόρφωση της ηλεκτρικής κιθάρας. Χρησιμοποιεί ηλεκτρομαγνήτες για να μετατρέψει τον ηχητικό παλμό των ασάλινων χορδών της σε ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο μπορεί έπειτα να ενισχυθεί από ένα σύστημα ενισχυτή-ηχείου. Η πρώτη κιθάρα με μαγνήτη (pick up) ήταν η lap steel κιθάρα Rickenbacker το 1931 (γνωστή και ως *frying pan* από το σχήμα της). Οι πρώτες ηλεκτρικές κιθάρες ήταν ακουστικές τύπου archtop, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν από jazz μουσικούς στις προσπάθειά του να ανταγωνιστούν τα πνευστά. Υπέφεραν όμως από ανεπιθύμητους μικροφωνισμούς (feedback). Με πειράματα αποδείχθηκε ότι ευθύνη για τους μικροφωνισμούς είχε το σώμα της ακουστικής κιθάρας. Έτσι δημιουργήθηκε η ηλεκτρική με σώμα από συμπαγές ξύλο, η οποία μπορεί να ακουστεί μόνο με την χρήση ενισχυτή

Εικόνα 11: Πρώτη Rickenbacker ηλεκτρική κιθάρα [10]



Εικόνα 12: Ηλεκτρική κιθάρα τύπου Stratocaster [11]

B. Χρήση εναλλακτικών Υλικών στις κιθάρες

Έως τη δεκαετία του '50 το κύριο υλικό κατασκευής κιθαρών ήταν το ξύλο. Τότε άρχισαν και οι πρώτοι πειραματισμοί με άλλα υλικά, είτε για μείωση του κόστους παραγωγής, είτε για βελτίωση των ηχητικών χαρακτηριστικών των οργάνων. Σήμερα η αύξηση των τιμών των ξύλων οργανοποιείας αποτελεί ένα άλλο κίνητρο για την χρήση εναλλακτικών υλικών.

Fiberglass guitars –Airline



Εικόνα 13: Airline κιθάρα από Plexiglas [12]

Η εταιρία Valco ξεκίνησε την κατασκευή κιθαρών από fiberglass στα τέλη της δεκαετίας του '50 [12]. Το σώμα της κιθάρας ήταν κούφιο (hollow) και αποτελείτο από δύο κομμάτια τα οποία ενώνονταν με βίδες. Όμως οι χορδές δεν στερεώνονταν στο fiberglass αλλά σε ένα ξύλινο δοκάρι στο οποίο ενωνόταν και το μπράτσο. Στην ουσία το ξύλινο δοκάρι φρόντιζε για την δομική ακεραιότητα του οργάνου ενώ το σώμα από fiberglass όριζε το σχήμα. Πιθανότατα η επιλογή αυτού του τρόπου παραγωγής να σχετιζόταν με το κόστος. Με σταθερό το μπράτσο και το ξύλινο δοκάρι μπορούσαν να



Εικόνα 14 [12]



Εικόνα 15: το εσωτερικό μια κιθάρας *airline*, διακρίνεται καθαρά το ξύλινο δοκάρι [12]

κατασκευασθούν σώματα με διαφορετικά σχήματα. Εκείνη την εποχή το CNC Routing ήταν σε πρωταρχικό στάδιο και μακριά από την βιομηχανία κατασκευής μουσικών οργάνων, επομένως η δημιουργία καλουπιών για τα διάφορα σχήματα κιθαρών να ήταν πιο οικονομική από το κόψιμο στο χέρι πολύπλοκων σχημάτων (από ξύλο). Ηχητικά η κιθάρα δεν διαφέρει πολύ από μια παραδοσιακή ξύλινη καθώς το ξύλινο δοκάρι επηρεάζει τον ήχο περισσότερο από το πλαστικό σώμα.

Κιθάρες από αλουμίνιο

Travis Bean

Στις αρχές της δεκαετίας του '70 αμερικανός Τράβις Μπιν (Travis Bean) σχεδίασε και κατασκεύασε κιθάρες από αλουμίνιο [13]. Το μπράτσο της κιθάρα και το τμήμα του σώματος στο οποίο εδράζονται οι χορδές και η γέφυρα ήταν ένα κομμάτι ενώ το σώμα ήταν από ξύλο. Η κατασκευή θυμίζει τις κιθάρες *Airline*. Το ξύλινο

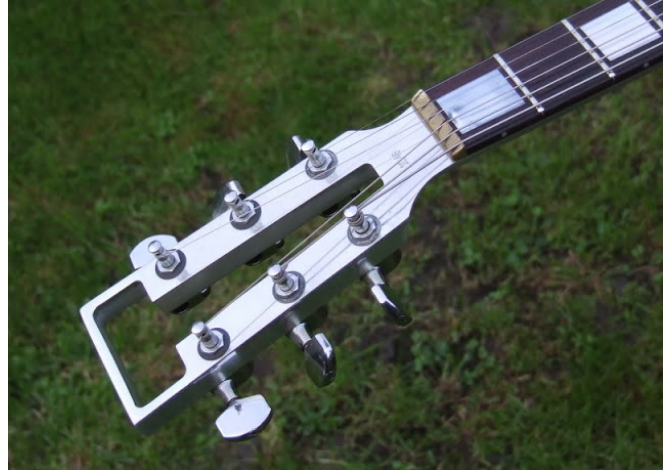


Εικόνα 16: *travis bean* [13]

σώμα όριζε το σχήμα και είχε μικρή επίδραση στον ήχο. Η ακαμψία του αλουμινένιου μπράτσου δίνει ένα μεταλλικό ήχο.



Εικόνα 17: το σώμα είναι από μαόνι [13]



Εικόνα 18: Μπράτσο κιθάρας Travis Bean [13]

ενώ οι νότες χαρακτηρίζονται από μεγάλη διάρκεια. Το μεγαλύτερο πρόβλημα που παρουσίαζαν αυτές οι κιθάρες ήταν το μεγάλο βάρος και ευαισθησία στις εναλλαγές της θερμοκρασίας, ακόμα και η θερμότητα του σώματος του οργανοπαίχτη επηρέαζε το κούρδισμα.



Εικόνα 19: συνδεση μπράτσου-σώματος [13]



Εικόνα 20: φαίνεται καθαρά ότι το μπράτσο είναι κούφιο [13]



Εικόνα 21 :φαίνεται καθαρά πόσο εισχωρεί το μπράτσο μέσα στο σώμα [13]

VELENO

Η κιθάρες Veleno είναι μια σειρά από κιθάρες αλουμινίου που κατασκευάστηκαν από τον John Veleno. Οι πρώτες κιθάρες χτίστηκαν το 1972.

Η κατασκευή της Veleno είναι εξ ολοκλήρου από αλουμίνιο. Ο λαιμός είναι βιδωτός και κατασκευασμένος από ένα ενιαίο κομμάτι αλουμινίου. Το σώμα είναι από δύο κομμάτια, με ένα μπροστινό και ένα πίσω κομμάτι, με τα δύο μισά να συνδέονται στο κέντρο της κιθάρας.



Εικόνα 22 Veleno



Εικόνα 23 σώμα κιθάρας veleno

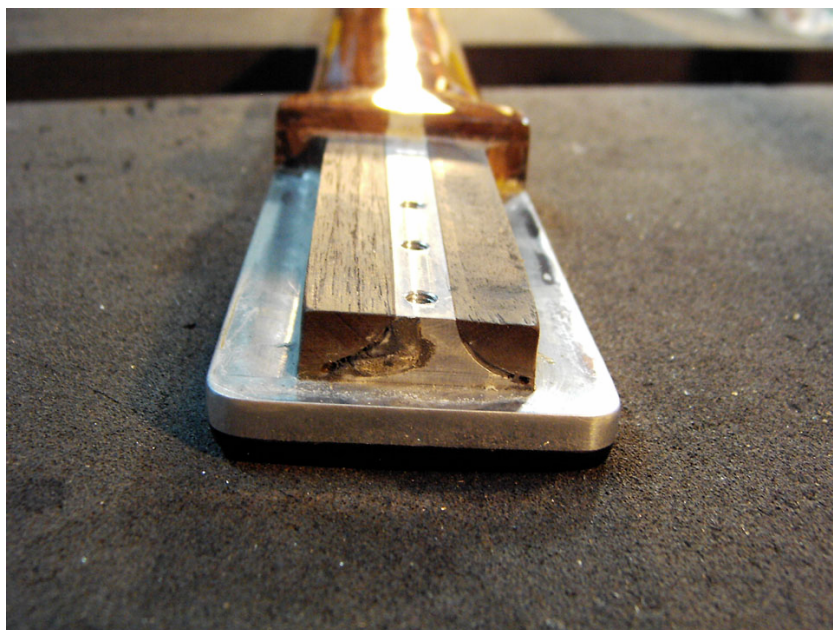
Kramer

Ο Γκάρυ Κρέιμερ (Gary Kramer) αποχωρώντας από την εταιρία που συνδημιούργησε με τον Travis Bean ίδρυσε την Kramer guitars [14]. Η πρώτη παρτίδα παραγωγής των Kramers εισήχθησαν το Νοέμβριο του 1976. Το μανίκι αποτελούνται από ένα τμήμα αλουμινίου σε διατομή «T» το οποίο περιείχε υποδοχές στις οποίες εδράζονταν δύο ένθετα κομμάτια από ξύλο. Η ιδέα για τα ξύλινα ένθετα ήταν να μειωθεί η ψυχρή αίσθηση του αλουμινίου.



Εικόνα 24 μπράτσο της Kramer [14]

Σε αντίθεση με τις Travis bean, το μανίκι δεν επεκτείνονταν κάτω από το σημείο που εδράζονται οι μαγνήτες και η γέφυρα και θυμίζει τα ξύλινα μανίκια.



Εικόνα 25: το σημείο έδρασης του μπράτσου στο σώμα μιας Kramer [14]

Κιθάρες από σύνθετα υλικά

Steinberger



Εικόνα 26: κιθάρα Steinberger [15]

Το πιο διάσημο μοντέλο της Steinberger είναι το όργανο της σειράς L [15]. Αρχικά παράγεται ως ηλεκτρικό μπάσο και αργότερα ως κιθάρα, το όργανο κατασκευασμένο εξ ολοκλήρου από τον Ned Steinberger, και αποτελείται από ανθρακονηματα σε δύο κομμάτια: το κύριο σώμα και το καπάκι. Η κεφαλή είχε εξαλειφθεί, και τα κλειδιά βρίσκονται στο σώμα. Μέριμνα έχει δοθεί ώστε παρά το μικρό σώμα ο παίχτης να μπορεί να παίζει άνετα και καθιστός.



Εικόνα 27: το σώμα έχει minimal διαστάσεις [16]



Εικόνα 28: Υπήρξε από τις πιο πετυχημένες "ακέφαλες" κιθάρες [16]

Parker

Οι κιθάρες Parker κατασκευάζονται από ένα συνδυασμό ξύλου και συνθέτων υλικών [17]. Το σώμα και το μπράτσο αποτελούν ένα κομμάτι συνήθως από ξύλο με καλές ακουστικές ιδιότητες αλλά με χαμηλή αντοχή όπως το έλατο (spruce). Στο πίσω μέρος της κιθάρας τοποθετούνται στρώσεις από ανθρακονήματα, τα οποία ενισχύουν την δυσκαμψία της κιθάρας. Στην ουσία η στρώση από

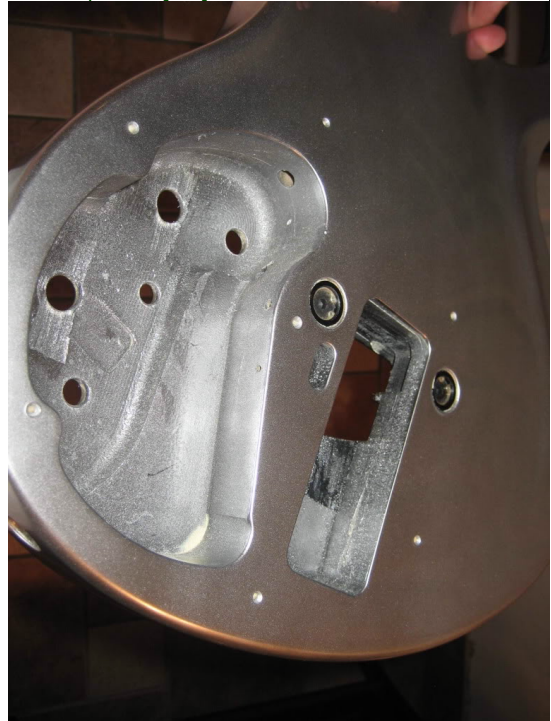


Εικόνα 29: Το ανατομικό σχήμα μιας Parker Fly [18]

Εικόνα 31: το ξύλο χρησιμοποιείται για τις ακουστικές του ιδιότητες [18]



Εικόνα 30: ο χώρος για τα ηλεκτρικά κυκλώματα [18]



σύνθετα υλικά λειτουργεί σαν εξωσκελετός. Με αυτό τον τρόπο διαχωρίζονται οι μηχανικές από τις ακουστικές ιδιότητες και είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν οποιαδήποτε είδη ξύλου για την κατασκευή του οργάνου [18-19].



Εικόνα 32: ο σχεδιασμός έχει ως προτεραιότητα την μείωση του βάρους [18]

Rainsong

Η εταιρία ιδρύθηκε τη δεκαετία του '90 ειδικεύεται σε ακουστικές κιθάρες με χρήση συνθέτων υλικών (CFRP,GFRP). Το μπράτσο και η ταστιέρα αποτελείται από ένα κομμάτι. Με δεδομένη την αντοχή αυτών των υλικών, παραλείπεται η χρήση νεύρων δυσκαμψίας στα καπάκια. Λόγω της χαμηλής απόσβεση των ινών, οι κιθάρες αυτές χαρακτηρίζονται από το δυνατό ήχο ειδικά στις πρώτες νότες [21]. Χαρακτηριστικά, λόγω της δυσκαμψίας του υλικού το καπάκι δεν χρειάζεται εσωτερική ενίσχυση (bracing).



Εικόνα 33: κιθάρα Rainsong [20]



Εικόνα 34: το σώμα είναι εξολοκλήρου από σύνθετα υλικά [20]



Εικόνα 35: πλάτη κιθάρας Rainsong [20]

Blackbird

Η εταιρία παράγει ακουστικές κιθάρες από σύνθετα με έμφαση το χαμηλό βάρος, την αντοχή σε εναλλαγές υγρασίας και θερμοκρασίας και ακαμψία. Βασικό χαρακτηριστικό τους ότι το μπράτσο είναι κούφιο προκειμένου να συμβάλει στη μείωση του βάρους και στην βελτίωση της ακουστότητας[22].



Εικόνα 36: μικρές διαστάσεις για ευκολη μεταφορά [22]



Εικόνα 37: Το μπράτσο είναι κούφιο και αέρας εξέρχεται από μια οπή στο κεφάλι [23]

Η εταιρία έχει αναπτύξει ένα βιοσύνθετο υλικό ως αντικατάστατο των ινών άνθρακα, το οποίο αποτελείται από φυτικές ίνες, με την ονομασία Ekoa.

Ovation

Η εταιρία υπήρξε πρωτοπόρος στη χρήση εναλλακτικών υλικών σε ακουστικές κιθάρες[24]. Αρχές της δεκαετίας του '70 παρουσίασε το μοντέλο Adamas, το οποίο είχε ξύλινο μανίκι, το πάνω μέρος του σώματος (top) ήταν από έλατα, αλλά τα πλαϊνά και το πίσω μέρος ήταν από συνθετικό υλικό με την ονομασία Lyrachord (πατέντα της εταιρίας) αποτελούμενο από ίνες γυαλιού.



Εικόνα 38: η πλάτη της κιθάρας κατασκευασμένη από Lyrachord [24]

Προκειμένου να λύσουν τα προβλήματα ένωσης των πλαϊνών με το πίσω καπάκι κατέληξαν στην υιοθέτηση ενός ενιαίου παραβολικού σχήματος για τα δύο τμήματα. Δοκιμάζοντας το νέο σχήμα παρατήρησαν ότι βελτιώνει την ακουστότητα της κιθάρας και μείωνε την



Εικόνα 39: κιθάρα Ovation [24]

τάση της κιθάρας για μικροφωνισμό σε συναυλίες. Σε συνδυασμό με την ανάπτυξη πρωτοποριακών ηλεκτρονικών για ακουστικά όργανα, οι Οvation έγιναν πολύ δημοφιλείς τις δεκαετίες του '70 και '80.



Εικόνα 40: Η παραβολική πλάτη των Ovation [24]

2. ΘΕΩΡΙΑ-ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ

Κύμα ονομάζεται μια διαταραχή στην κατάσταση ισορροπίας που διαδίδεται από μια περιοχή του χώρου σε μία άλλη και μεταφέρει ενέργεια (αλλά όχι ύλη) [25].

Τα κύματα χωρίζονται σε μηχανικά και ηλεκτρομαγνητικά. Στα μηχανικά κύματα για την διάδοσή τους απαιτείται κάποιο υλικό που ονομάζεται μέσο διάδοσης.

Σε ένα περιοδικό κύμα η διαταραχή κάθε σημείου του μέσου είναι περιοδική συνάρτηση του χρόνου και η μορφή της διαταραχής είναι περιοδική συνάρτηση της απόστασης.

Ταχύτητα κύματος ονομάζεται η ταχύτητα διάδοσης της διαταραχής.

Συχνότητα κύματος ονομάζεται η συχνότητα ταλάντωσης των μορίων του μέσου

Ο ήχος είναι μια ειδική περίπτωση μηχανικού κύματος το οποίο διαδίδεται στον αέρα. Όμως οι μηχανικές διαταραχές διαδίδονται και στα υγρά και στα στερεά.

ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

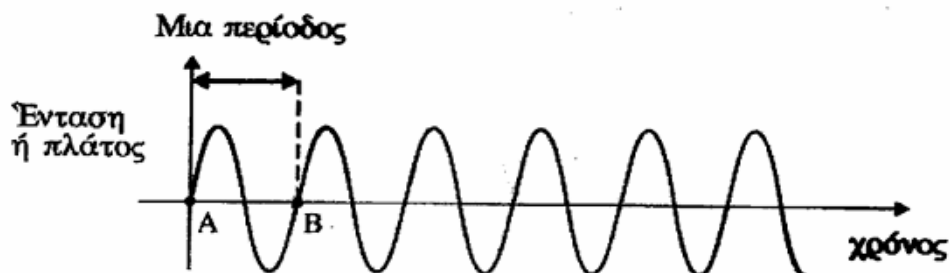
Ήχος ονομάζεται η μηχανική διαταραχή που διαδίδεται με ορισμένη ταχύτητα σε ένα μέσο που μπορεί να αναπτύξει εσωτερικές δυνάμεις, και έχει τέτοιο χαρακτήρα ώστε να μπορέσει να διεγείρει το αισθητήριο της ακοής και να προκαλέσει ακουστικό αίσθημα.

Στη πράξη ο ήχος χρησιμοποιείται και για τον χαρακτηρισμό κυμάτων που δεν γίνονται αντιληπτοί από τους ανθρώπους όπως οι υπέρηχοι και οι υπόηχοι.

A. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Ως αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου καλούμε τα χαρακτηριστικά εκείνα που μπορούν να περιγραφούν και να μελετηθούν από τη φυσική επιστήμη και να προσδιοριστούν ποσοτικά και ποιοτικά επακριβώς μέσω μετρήσεων από εξειδικευμένα όργανα. Για να γίνουν κατανοητά τα παραπάνω αναφέρουμε ότι ένα ηχητικό κύμα μπορεί πλήρως να προσδιοριστεί από την συχνότητά του, την έντασή του, το φάσμα συχνοτήτων του, την ταχύτητα διάδοσής του και το μήκος του. Τα παραπάνω αποτελούν αντικειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου, εξαιτίας του ότι αναφέρονται στη φυσική κατάσταση ενός ήχου και είναι σε θέση να προσδιορίσουν τόσο την ποιότητα όσο και τη ποσότητα του.

ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (FREQUENCY).



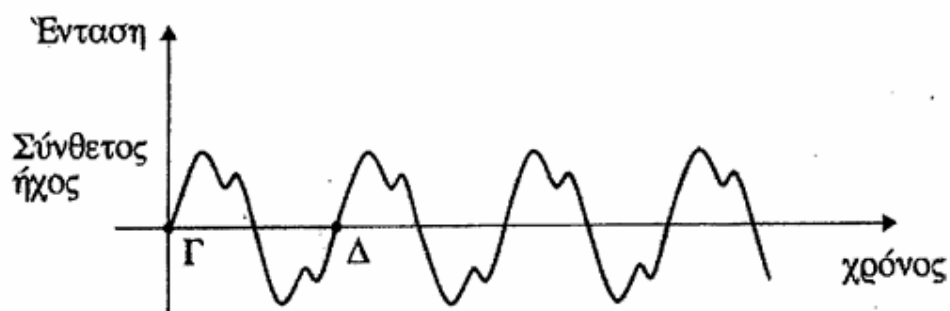
Εικόνα 41: Περίοδος απλού αρμονικού ήχου

Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζεται η αποκαλούμενη ημιτονοειδής καμπύλη, η οποία απεικονίζει την κίνηση ενός απλού ήχου σε συνάρτηση με το χρόνο. Απλός ήχος χαρακτηρίζεται ο ήχος που αποτελείται από μια μόνο συχνότητα και δεν μπορεί να αναλυθεί σε απλούστερες μορφές καθώς στην ουσία αποτελεί την πιο απλή ταλάντωση που λαμβάνει χώρα στη φύση. Η απόσταση από το σημείο A έως το B του σχήματος είναι η περίοδος της ημιτονοειδούς καμπύλης. Είναι δηλαδή ο χρόνος (σε δευτερόλεπτα) που απαιτείται για ένα πλήρη κύκλο.

Το σύνολο των κύκλων που μπορούν να εκτελεστούν μέσα σε ένα δευτερόλεπτο καλείται συχνότητα της ταλάντωσης. Η συχνότητα (frequency) συμβολίζεται με το γράμμα f , μετριέται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο και έχει μονάδα μέτρησης το 1 Hertz (στο διεθνές σύστημα SI συμβολίζεται 1Hz). Ο μαθηματικός τύπος που συνδέει τη συχνότητα f μιας ταλάντωσης και την περίοδο T αυτής είναι :

$$1/f=T \text{ ή } 1/T=f$$

Βέβαια ο ήχος που παράγουν τα περισσότερα μουσικά όργανα δεν είναι ένας απλός ήχος. Δηλαδή δεν αποτελείται από μια μόνο συχνότητα, αλλά από πολλές και γι' αυτό ονομάζεται σύνθετος ήχος. Σε αυτό το φάσμα των πολλών συχνοτήτων κυριαρχεί μια συχνότητα η οποία ονομάζεται θεμελιώδης συχνότητα (fundamental). Οι υπόλοιπες συχνότητες που αποτελούν τον σύνθετο ήχο ονομάζονται παράγωγες και είναι υψηλότερες συχνότητες και συνήθως χαμηλότερης έντασης από τη θεμελιώδη. Στην περίπτωση του σύνθετου ήχου η περίοδος είναι το κομμάτι εκείνο της κυματομορφής που επαναλαμβάνεται σχεδόν αυτούσιο όπως μπορούμε να δούμε στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 42: κυματομορφή σύνθετου ήχου [27]

Το σχήμα απεικονίζει έναν σύνθετο ήχο σε αρκετά απλοποιημένη μορφή. Στην πραγματικότητα η κυματομορφή ενός σύνθετου ήχου είναι πιο πολύπλοκη σε σημείο που δεν είναι τόσο εύκολα αντιληπτή η περίοδος του. Η χρησιμοποίηση της συγκεκριμένης καμπύλης, έχει ως στόχο την καλύτερη κατανόηση και διαφοροποίηση του απλού από τον σύνθετο ήχο.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν το παράδειγμα της νότας ΛΑ που παράγεται από ένα μουσικό όργανο με συχνότητα 440 Hz αντιλαμβανόμαστε ότι η συχνότητα 440 Hz αναφέρεται στη θεμελιώδη συχνότητα αυτού του σύνθετου ήχου. Οι παράγωγες συχνότητες και ο τρόπος που διατάσσονται αυτές σε σχέση με τη θεμελιώδη συχνότητα αποτελούν το φάσμα συχνοτήτων του σύνθετου ήχου.

ΕΝΤΑΣΗ (INTENSITY)

Η ένταση ενός κύματος ορίζεται ως η ενέργεια ανά μονάδα χρόνου (ισχύς), που διαπερνά κάθετα μια επιφάνεια μοναδιαίου εμβαδού. Μονάδα μέτρησης της έντασης στο σύστημα (SI) είναι Watts/m. Επομένως, η ισχύς που εκπέμπεται από σημειακή πηγή κάθετα σε σφαιρική επιφάνεια ακτίνας r προκαλεί ένταση ίση με:

$$I = P/4\pi r^2$$

Βάσει των παραπάνω, μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η ένταση ενός κύματος μειώνεται όσο απομακρυνόμαστε από την ηχητική πηγή και μάλιστα αντιστρόφως ανάλογα του τετραγώνου της απόστασης της επιφάνειας από την πηγή.

Πρέπει να αναφερθεί ότι ο απόλυτος τρόπος μέτρησης του μεγέθους της έντασης με μονάδες W/m^2 , δεν είναι πολύ πρακτικός, λόγω των ελάχιστων ή των τεράστιων αντίστοιχα τιμών που μπορεί να πάρει το μέγεθος αυτό. Για τον λόγο αυτό, ορίστηκε μέσω πειραμάτων το κατώτατο όριο έντασης που μπορεί να γίνει αντιληπτό από το ανθρώπινο αυτί και το οποίο αντιστοιχεί στην τιμή των $10-12 W/m^2$.

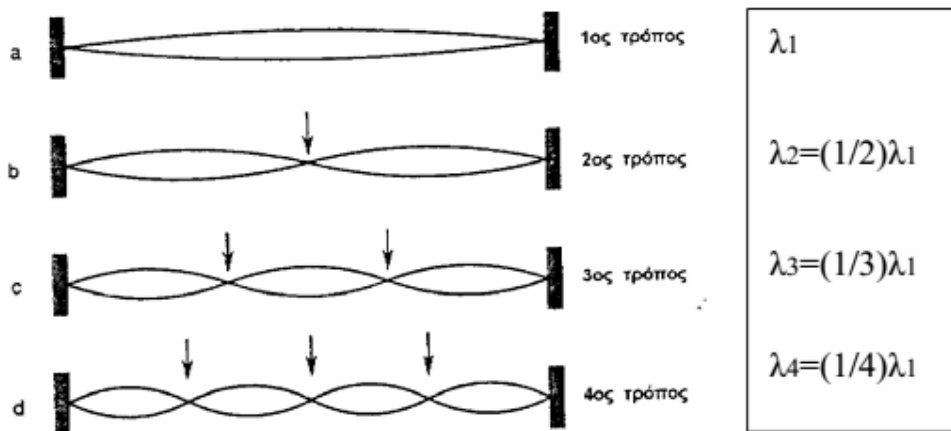
Κάθε τιμή έντασης που πρόκειται να μετρηθεί εξάγεται κατόπιν σύγκρισης με αυτήν την κατώτατη τιμή. Κρίθηκε επίσης απαραίτητη και η χρήση λογαρίθμων όπως σε περιπτώσεις μεγεθών των οποίων οι τιμές προκύπτουν εξαιρετικά μεγάλες ή πάρα πολύ μικρές. Η λογαριθμική μονάδα μέτρησης της στάθμης έντασης είναι το Decibel (dB). Στην κατώτατη τιμή έντασης την 10^{-12} W/m² ορίστηκε αντιστοιχία 0 dB. Ένας ήχος 10 φορές πιο ισχυρός με ένταση 10-11 W/m² αντιστοιχεί σε 10 dB. Με τη βοήθεια πειραμάτων οι επιστήμονες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα 120 dB αποτελούν το ανώτατο όριο ανεκτικότητας της ακοής

ΦΑΣΜΑ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ (FREQUENCY SPECTRUM)

Οι ήχοι που παράγουν σχεδόν όλα τα μουσικά όργανα είναι ήχοι σύνθετοι. Ήχοι δηλαδή που αποτελούνται από μια θεμελιώδη συχνότητα και άλλες παράγωγες. Η θεμελιώδης συνιστώσα έχει την πιο χαμηλή συχνότητα από τις συνιστώσες στον σύνθετο ήχο και σχηματίζει τη θεμέλιο για τις άλλες συνιστώσες. Οι παράγωγες συχνότητες είναι συνήθως χαμηλότερης έντασης από την θεμέλιο. Ο συνολικός αριθμός των συχνοτήτων, η ένταση που έχει κάθε μια, η κατανομή τους και ο τρόπος που συσχετίζονται οι βάσεις τους, αποτελούν το φάσμα συχνοτήτων ενός ήχου, καθορίζοντας το είδος της κυματομορφής του.

Το φάσμα συχνοτήτων ενός ήχου είναι το χαρακτηριστικό εκείνο που κάνει δύο ήχους που έχουν ίδια ένταση και ίδιες θεμελιώδεις συχνότητες να διαφέρουν. Η ίδια νότα για παράδειγμα το ΛΑ που αντιστοιχεί στη συχνότητα των 440 Hz και παράγεται από ένα πιάνο διαφέρει από αυτή της κιθάρας στην ίδια συχνότητα. Ο λόγος είναι ότι οι σύνθετοι αυτοί ήχοι έχουν διαφορετικά φάσματα συχνοτήτων. Για τα γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο δημιουργούνται-γέννιούνται οι παράγωγες συχνότητες σε σχέση με τη θεμελιώδη συχνότητα ενός ήχου-κύματος, αναγκαία είναι η παρουσίαση του παραδείγματος της ταλάντωσης μιας τεντωμένης χορδής. Κατά τη διέγερση της, η χορδή πάλλεται με διάφορους τρόπους όπως παρουσιάζεται παρακάτω: Ταλαντώνεται ως προς το συνολικό μήκος της, ως προς το μισό μήκος της, ως προς το 1/3 και 1/4 και ούτω καθεξής του μήκους της, παράγοντας με αυτό τον τρόπο τη θεμελιώδη συχνότητα, την πρώτη παράγωγο, τη δεύτερη, την τρίτη, και ούτω καθεξής αντίστοιχα

Οι παράγωγες συχνότητες των μουσικών οργάνων είναι κυρίως ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας. Αυτές οι παράγωγες συχνότητες ονομάζονται αρμονικές (harmonics) με την εξής ακολουθία: Σε σύνθετο ήχο με θεμελιώδη συχνότητα 110 Hz, η 1^η αρμονική αντιστοιχεί στα 110 Hz, η 2^η στα 220 Hz, η 3^η στα 330 Hz, η 4^η στα 440 Hz κ.ο.κ.

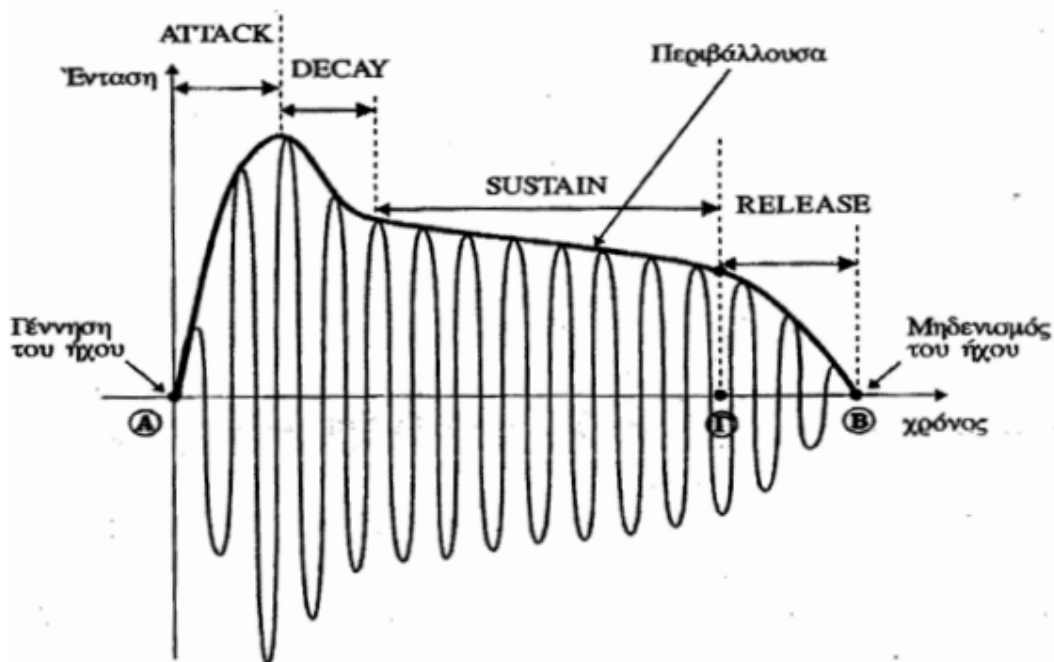


Εικόνα 43: Αρμονικές χορδής [27]

Ο πιο απλός και κατανοητός τρόπος με τον οποίο είναι δυνατό να προσδιορίσουμε τους σύνθετους ήχους, είναι η μέθοδος που βασίζεται στο θεώρημα του Fourier. Σύμφωνα με το θεώρημα αυτό ο σύνθετος ήχος μπορεί να αναλυθεί από μια σειρά ημιτονοειδών κυματομορφών με καθορισμένες συχνότητες, πλάτη και φάσεις κάθε σύνθετης κυματομορφής. Μια τέτοια ανάλυση ονομάζεται ανάλυση Fourier. Η χρήση της μας βοηθάει δηλαδή να αναλύσουμε κάθε σύνθετο ήχο σε πολλούς απλούς και να καταλάβουμε με αυτό τον τρόπο, τη δομή του φάσματος συχνοτήτων ενός ήχου, που παράγεται από ένα μουσικό όργανο.

ΠΕΡΙΒΑΛΟΥΣΑ (ENVELOPE)

Από τη στιγμή που παράγεται ένας ήχος, μέχρι τη στιγμή που θα σιγήσει ολοκληρωτικά, το πλάτος της κυματομορφής του ή αλλιώς η ένταση του μεταβάλλεται. Η μεταβολή αυτή της έντασης του ήχου καθ' όλη τη διάρκεια εξέλιξης του έχει τη μορφή της καμπύλης του σχήματος που δίνεται παρακάτω:



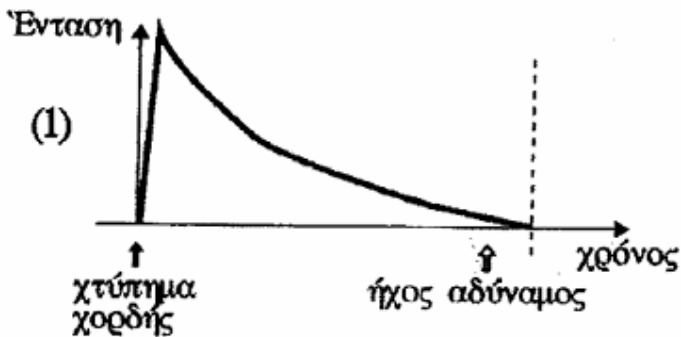
Εικόνα 44: Envelope [27]

Στο διάγραμμα αυτό παρατηρούμε την αναπαράσταση της μεταβολής της έντασης του ήχου σε σχέση με το χρόνο. Η καμπύλη που προκύπτει ονομάζεται περιβάλλουσα. Μπορούμε να διακρίνουμε τέσσερις φάσεις στην καμπύλη :

- α) Η πρώτη φάση αποδίδει την αρχική και ανάλογα με το μουσικό όργανο αργή ή γρήγορη αύξηση της έντασης. Συνδέεται με την ατάκα δηλαδή με το πρώτο χτύπημα για παράδειγμα της χορδής και ονομάζεται **Attack**.
- β) Στη δεύτερη φάση η καμπύλη μας παρουσιάζει την αρχή της μείωσης της έντασης, αμέσως μετά την ατάκα. Ουσιαστικά μιλάμε για την αρχική εξασθένηση του ήχου που ονομάζεται **Decay**.
- γ) Στην τρίτη φάση παρατηρούμε τη διατήρηση μιας μέτριας έντασης, μέχρι το σημείο Γ. Ουσιαστικά αναφερόμαστε στην έννοια της διάρκειας οπότε και η φάση αυτή ονομάζεται **Sustain**.
- δ) Τέλος στην τέταρτη φάση παρατηρούμε τη δραστική μείωση και το μηδενισμό του ήχου. Η φάση αυτή ονομάζεται **Release**.

Η μορφή της περιβάλλουσας εξαρτάται από το είδος της πηγής του ήχου, π.χ. από το είδος του μουσικού οργάνου. Ένα έγχορδο μουσικό όργανο όπως είναι η κιθάρα έχει γρήγορο-έντονο attack, λόγω του ότι η έντασή τους αποκτά απότομα μεγάλες τιμές. Όσο πιο δυνατά χτυπηθεί η χορδή τόσο πιο έντονο είναι το attack. Ταυτόχρονα όμως ο ήχος στην περίπτωση της κιθάρας εξασθενεί γρήγορα. Η καμπύλη της

περιβάλλουσας στην περίπτωση της κιθάρας παρουσιάζεται στο ακόλουθο σχήμα :



Εικόνα 45: περιβαλλουσσα κιθάρας [27]

Ο ήχος δηλαδή φαίνεται να έχει μόνο attack και release, δηλαδή έντονη αύξηση της έντασης και απότομη μείωσή της.

Η χορδή για αρκετό χρόνο συνεχίζει να ταλαντεύεται

ασθενώς, ο ήχος

όμως είναι ουσιαστικά μη αισθητός, μέχρι του σημείου που μηδενίζεται.

B. ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΗΧΟΥ

Με τον όρο υποκειμενικά χαρακτηριστικά αναφερόμαστε στα χαρακτηριστικά εκείνα των ήχων που αφορούν τις αισθήσεις και τις ψυχολογικές εντυπώσεις που δημιουργούνται στον άνθρωπο αναφορικά με τον ρόλο του ως ακροατή. Αυτές οι αισθήσεις κυρίως σχετίζονται με το ποιόν και το ποσόν ενός ήχου και δεν υπάρχει η δυνατότητα να μετρηθούν με τη βοήθεια οργάνων μέτρησης, όπως συμβαίνει στην περίπτωση των αντικειμενικών χαρακτηριστικών των ήχων. Πολύ συχνά είναι δυνατό να διακρίνουμε ορισμένους συσχετισμούς μεταξύ των υποκειμενικών και αντικειμενικών χαρακτηριστικών.

Παρόλα αυτά στην καθημερινή ακουστική πραγματικότητα αυτό που αντιλαμβανόμαστε, ο ήχος δηλαδή, σχεδόν ποτέ δεν αποτελεί ένα ακριβές αντίγραφο του φυσικού ερεθίσματος, δηλαδή του ηχητικού κύματος. Τις περισσότερες των περιπτώσεων έχουμε να κάνουμε με ένα παραλλαγμένο αντίγραφο του φυσικού ήχου, λόγω της ιδιομορφίας της ανθρώπινης ακοής και των αλλοιώσεων και παραμορφώσεων που αυτό υφίσταται.

Η επιστήμη της φυσικής μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια τη συχνότητα ενός ήχου, αλλά το άτομο αντιλαμβάνεται το μουσικό ύψος. Η ένταση του ηχητικού κύματος επίσης μπορεί να μετρηθεί, αλλά το ανθρώπινο ακουστικό αντιλαμβάνεται την ακουστότητα. Ένας σύνθετος ήχος, μπορεί να αναλυθεί στις αρμονικές του συνιστώσες όμως ένας ακροατής αντιλαμβάνεται την χροιά. Τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά των ήχων που έχουν άμεση σχέση με τα αντικειμενικά αλλά δεν ταυτίζονται με αυτά είναι:

- το ύψος (pitch)
- η ακουστότητα (loudness)
- η χροιά (timbre).

ΥΨΟΣ (PITCH)

Υψος ονομάζεται η υποκειμενική απόκριση του αυτιού στην συχνότητα ενός ήχου[26].

Αν και το ύψος εξαρτάται από την συχνότητα, η σχέση μεταξύ τους δεν είναι γραμμική. Επίσης η στάθμη του ήχου και η κυματομορφή του επηρεάζουν τον καθορισμό του ύψους. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερο σε ήχους συχνότητα κάτω από 500 Hz και πάνω από 3000 Hz.

Το ανθρώπινο σύστημα ακοής δεν είναι σε θέση να μετρήσει άμεσα τη συχνότητα ταλάντωσης ενός ηχητικού κύματος. Δύο διαφορετικής συχνότητας ήχοι μπορούν να γίνουν αντιληπτοί από το ανθρώπινο αυτί κατά τρόπο σχετικό. Αντιλαμβάνεται δηλαδή ότι ο ένας ήχος είναι πιο οξύς η πρίμος από τον άλλο και γενικότερα ήχους χαμηλών συχνοτήτων τους αντιλαμβάνεται σαν μπάσους, ενώ ήχους υψηλών συχνοτήτων σαν πρίμους.

Για την μέτρηση του ύψους ως υποκειμενικό αίσθημα, χρησιμοποιείται η μονάδα mel. Ορίζεται ως εξής:

Ήχος 1000 Hz και στάθμης 60 db έχει ύψος 1000 mel . Οποιοσδήποτε άλλος ήχος που έχει υποκειμενικό ύψος διπλάσιο, έχει ύψος 2000 mel ανεξαρτήτως συχνότητας.

ΧΡΟΙΑ (TIMBRE)

Χροιά ονομάζεται τα υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου που κάνουν δυνατό το διαχωρισμό δύο τόνων ίδιας έντασης κα θεμελιώδους συχνότητας αλλά διαφορετικών κυματομορφών.

Η διαφοροποίηση της χροιάς οφείλεται στην διαφορά της σχετικής στάθμης των αρμονικών (συνήθως του πρώτου) ως προς την στάθμη της θεμελιώδους. Η αντίστοιχη φυσική ποσότητα είναι το φάσμα. Η διαμόρφωση της χροιάς είναι το ζητούμενο στην οργανοποιεία.

ΑΚΟΥΣΤΟΤΗΤΑ (LOUDNESS)

Ακουστότητα ορίζεται ως η υποκειμενική απόκριση του αυτιού στη στάθμη του ήχου.

Εξαρτάται από την στάθμη και την συχνότητα. Ενώ θεωρητικά οι άνθρωποι ακούν ήχους στο φάσμα από 16-20000 Hz το ανθρώπινο αυτί, δεν είναι το ίδιο ευαίσθητο σε όλες τις συχνότητες. Κάτω από το 1 kHz καθώς και πάνω από τα 6 kHz η ευαισθησία του παρουσιάζει αισθητή μείωση. Αντίθετα, στην περιοχή των 3 kHz με 4 kHz παρουσιάζει τη μέγιστη ευαισθησία. Η ελάχιστη στάθμη για κάθε συχνότητα σχηματίζει μια καμπύλη που ονομάζεται κατώφλι ακουστότητας. Η καμπύλη που αντιστοιχεί στην υψηλότερη στάθμη του ήχου που πάνω από αυτήν επέρχεται ο πόνος ονομάζεται κατώφλιο πόνου.

Η μονάδα της στάθμης ακουστότητας είναι το **phon**. Έτσι π.χ. η συχνότητα των 50 Hz με ένταση 50 dB γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί περίπου σε τιμή ακουστότητας 20 phons, ενώ η συχνότητα 3 kHz στην ίδια ένταση των 50 dB, γίνεται αντιληπτή περίπου σε τιμή 60 phons. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι η δεύτερη συχνότητα των 3 kHz ηχεί με τριπλάσια ένταση από την πρώτη των 50 Hz, λόγω του ότι η στάθμη ακουστότητας δεν εκφράζει ακουστότητες με απόλυτο τρόπο.

Η λύση στο πρόβλημα αυτό που προέκυπτε λοιπόν δόθηκε με την εισαγωγή μιας υποκειμενικής κλίμακας ακουστότητας. Η κλίμακα αυτή είναι η κλίμακα των **Sons**. Σύμφωνα με την κλίμακα αυτή, τα 2 Sons, ηχούν με διπλάσια ακουστότητα απ' ότι το 1 Son, τα 20 Sons επίσης διπλάσια από τα 10 Sons και ούτω καθεξής. Τέλος το 1 Son ορίστηκε ως ο ήχος που παράγει ένας απλός τόνος συχνότητας 1000 Hz με στάθμη 40 phons.

C.ΔΙΑΔΟΣΗ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΤΕΡΕΑ

Τα κύματα χωρίζονται σε μηχανικά και ηλεκτρομαγνητικά. Στα μηχανικά κύματα για την διάδοση τους απαιτείται κάποιο υλικό που ονομάζεται μέσο διάδοσης. Ο ήχος είναι μια ειδική περίπτωση μηχανικού κύματος το οποίο διαδίδεται στον αέρα, όμως οι μηχανικές διαταραχές διαδίδονται και στα υγρά και στα στερεά.

Τα μουσικά όργανα είναι κατασκευές που αποτελούνται από στερεά σώματα (χορδή, καλάμι και καμπάνα στα πνευστά, ηχείο, κ.ο.κ.). Οι μηχανικές διαταραχές που προκαλούμε σε αυτά και η αλληλεπίδραση αυτών των στοιχείων μεταξύ τους και με τον αέρα παράγει ήχους που μέσω του αέρα φτάνουν στα όργανα της ακοής

Ταλαντώσεις χορδής

Παραδοχές

Σε περίπτωση ταλάντωσης χορδής μήκους L στηριγμένης σε ακλόνητα άκρα και τανυόμενη με μια σταθερή δύναμη T ισχύουν οι εξής παραδοχές[28]:

- Η χορδή είναι τέλεια ελαστική χωρίς να ανθίσταται σε καμπτικές δυνάμεις ή ροπές και η διατομή της είναι πολύ μικρότερη από το μήκος της.
- Η απόκριση $y(x,t)$ θεωρείται αρκετά μικρή, ώστε η δύναμη τάνυσης της χορδής T να παραμείνει σταθερή καθ' όλη την διάρκεια της κίνησης.
- Η οριζόντια μετατόπιση της χορδής είναι σχετικά μικρή.
- Η οριζόντια μετατόπιση κάθε σημείου της χορδής θεωρείται αμελητέα σε σχέση με την κάθετη μετατόπιση $y(x,t)$, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι κάθε σημείο εκτελεί καθαρά εγκάρσια ταλάντωση.

Θεωρούμε ότι η εσωτερική απόσβεση της χορδής δεν υφίσταται και ότι στην χορδή εφαρμόζεται εξωτερική διέγερση ώστε την χρονική στιγμή $t=0$ η εγκάρσια μετατόπιση της χορδής έχει την μορφή $y=g(x)$ που $g(x)$ συνεχής συνάρτηση για $x(0,L)$

Η εξίσωση της κίνησης περιγράφεται από την σχέση:

$$d^2y/dt^2 = 1/c^2 d^2y/dx^2$$

$$\text{όπου } c^2 = T/\rho$$

όπου ρ η γραμμική πυκνότητα

Η επίλυση δίνει τα εξής:

$$Y(x,t) = [A \sin(\omega x/\beta) + B \cos(\omega x/\beta)] [C \sin \omega t + D \cos \omega t]$$

Με σταθερές A, B, C, D που προσδιορίζονται από τις αρχικές και συνοριακές συνθήκες του προβλήματος

Η ταχύτητα του ήχου στη χορδή δίνεται από την εξίσωση:

$$c^2 = T/\rho$$

όπου T είναι η τάση τάνυσης και ρ η γραμμική πυκνότητα του υλικού

D. Κυματική διάδοση σε χορδή και στάσιμα κύματα

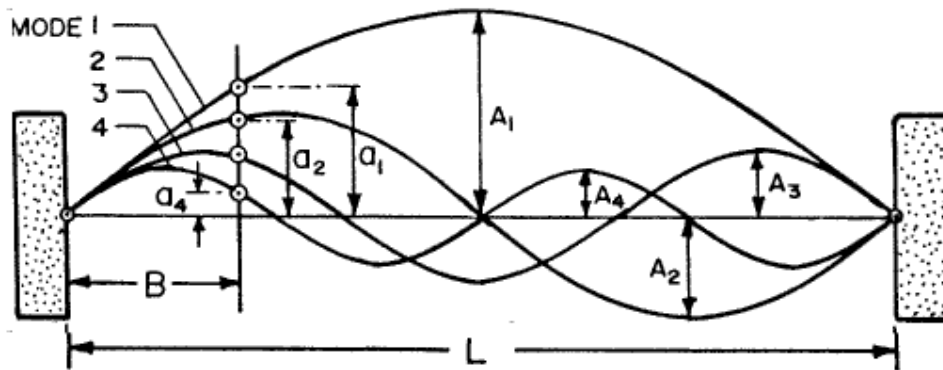


Fig. 23.6. Relationship between the Displacement at the Bowing Point and the Amplitude of Various Modes of a String

Εικόνα 46: χορδή στηριγμένη σε ακλόνητα άκρα

Στην περίπτωση που η διέγερση δεν είναι κατανεμημένη σε όλο το μήκος της χορδής, η αρχική ενέργεια που προσδίδεται στο σύστημα μεταφέρεται σε κάθε σημείο της χορδής δηλαδή παρατηρείται κυματική διάδοση. Όταν το κύμα συναντά εμπόδιο η αλλάζει μέσο διάδοσης υπόκειται σε διάθλαση σκέδαση και ανάκλαση. Στην περίπτωση χορδής στερεωμένης σε ακλόνητα άκρα το ανακλώμενο κύμα έχει ίδια μορφή με το αρχικό αλλά αντίθετη διεύθυνση και εύρος.

Όταν τα δυο κύματα συνδυάζονται, η προκύπτουσα κίνηση δε μοιάζει πλέον με δύο κύματα που διαδίδονται σε αντίθετες κατευθύνσεις και ονομάζεται στάσιμο κύμα. Η κυματομορφή παραμένει στην ίδια θέση κατά μήκος της χορδής και το πλάτος αυξομειώνεται ανάλογα με τη θέση. Υπάρχουν σημεία τα οποία δεν κινούνται ποτέ (κόμβοι) και σημεία με μέγιστο πλάτος ταλάντωσης (κοιλίες).

Η απόκριση της χορδής δίνεται από τη σχέση:

$$Y(x,t) = (2A \cos \omega t) \sin kx$$

Όπου A σταθερά προσδιορισμένη από τις αρχικές και συνοριακές συνθήκες.

Άρα κάθε στιγμή η χορδή έχει ημιτονοειδή μορφή και το πλάτος κάθε σημείου της μεταβάλλεται με το χρόνο σύμφωνα με την παρένθεση στην παραπάνω εξίσωση.

Η χορδή ταλαντώνεται ταυτόχρονα με ένα άπειρο αριθμό ιδιοσυχνοτήτων (αρμονικών όπως προαναφέρθηκε) οι οποίες δίνονται με το τύπο:

$$f=cn/2L \quad (n=1,2,3,\dots)$$

Όπου για $n=1$ η θεμελιώδης συχνότητα και για $n=2,3,\dots$ οι αρμονικές. Οι λεγόμενες αρμονικές καθορίζουν την χροιά ενός ήχου (timbre) ενώ η θεμελιώδης το τονικό ύψος (pitch).

Ταχύτητα μετάδοσης

$$V^2= T/\mu$$

Κύματα σε στερεά επιφάνεια

Ράβδος με διατομή μικρότερη του μήκους κύματος για την ταχύτητα κύματος ισχύει:

για διαμήκη κύματα: $c^2 = E/\rho$

για εγκάρσια κύματα: $c^2 = E/2(1+\sigma)\rho$

Ε. Φαινόμενο Helmholtz

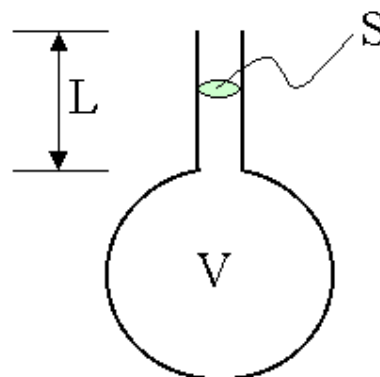
Το σώμα της κιθάρας σχηματίζει ένα δοχείο αέρα που επηρεάζει ιδιαίτερα την απόκριση στις χαμηλές συχνότητες [29]. Το φαινόμενο Helmholtz παρουσιάζεται σε δοχεία αέρα το οποία διαθέτουν οπή με λαιμό, όπως π.χ. ένα μπουκάλι. Στο φαινόμενο Helmholtz ο αέρας που βρίσκεται στο εσωτερικό ενός δοχείου λειτουργεί σαν ελατήριο ενώ ο αέρας στο λαιμό λειτουργεί σαν μάζα όπως ακριβώς και ένα απλό σύστημα μάζας-ελατηρίου.

Για τη συχνότητα ισχύει:

$$f=c/2\pi \left(\sqrt{S/VL}\right)$$

όπου

- c: ταχύτητα του ήχου
- S: επιφάνεια της οπής
- V: όγκος του δοχείου
- L: μήκος του λαιμού



Εικόνα 47 Σωλήνας Helmholtz [29]

Αυτό εξηγεί γιατί κιθάρες με μεγαλύτερο σώμα έχουν συνήθως καλύτερη απόκριση στις χαμηλές συχνότητες.

Στην πραγματικότητα, αν τραγουδήσει κάποιος μια νότα κάπου μεταξύ F#2 και A2 (εξαρτάται από την κιθάρα) ενώ κρατάει το αυτί του κοντά στον ήχο-τρύπα, θα ακούσετε τον αέρα στο σώμα να αντηχεί [30].

F. Ακουστική Εμπέδηση

Η ακουστική εμπέδηση ή διαπερατότητα Z ενός υλικού μέσου εξαρτάται μόνο από τις μηχανικές του ιδιότητες και όχι από τη συχνότητα του ηχητικού κύματος, καθώς ισχύει [31]:

$$Z = \rho c$$

Όπου ρ η πυκνότητα και c η ταχύτητα στο μέσο διάδοσης

Ως μονάδα μέτρησής της χρησιμοποιείται το Rayl ($1 \text{ Rayl} = 10^{-5} \text{ gr/cm}^2 \text{ sec}$).

Ο συντελεστής ανάκλασης πλάτους R_a (για ηλεκτρομαγνητικά κύματα) ορίζεται ως το ποσοστό του πλάτους της προσπίπτουσας δέσμης που ανακλάται και εξαρτάται από το λόγο των ακουστικών εμπεδησεων των δύο μέσων: Παρατηρούμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά (mismatch) της διαπερατότητας, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό της ανακλώμενης δέσμης και τόσο μικρότερο το ποσοστό της δέσμης που διέρχεται στο δεύτερο μέσο.

$$R = [1 - (Z^1/Z^2)] / [1 + (Z^1/Z^2)]$$

Η διαφορά της εμπέδησης της γέφυρας και του καπακιού είναι ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του σχεδιασμού της γεφύρας μιας ακουστικής κιθάρας, καθώς μια μικρή διαφορά στην εμπέδηση θα έχει ως αποτέλεσμα την μεταφορά όλης της ενέργειας της χορδής στο καπάκι.

Πραγματικές Συνθήκες

Στην περίπτωση παλλόμενης χορδής κιθάρας πολλές από τις παραδοχές που ορίσαμε δεν ισχύουν:

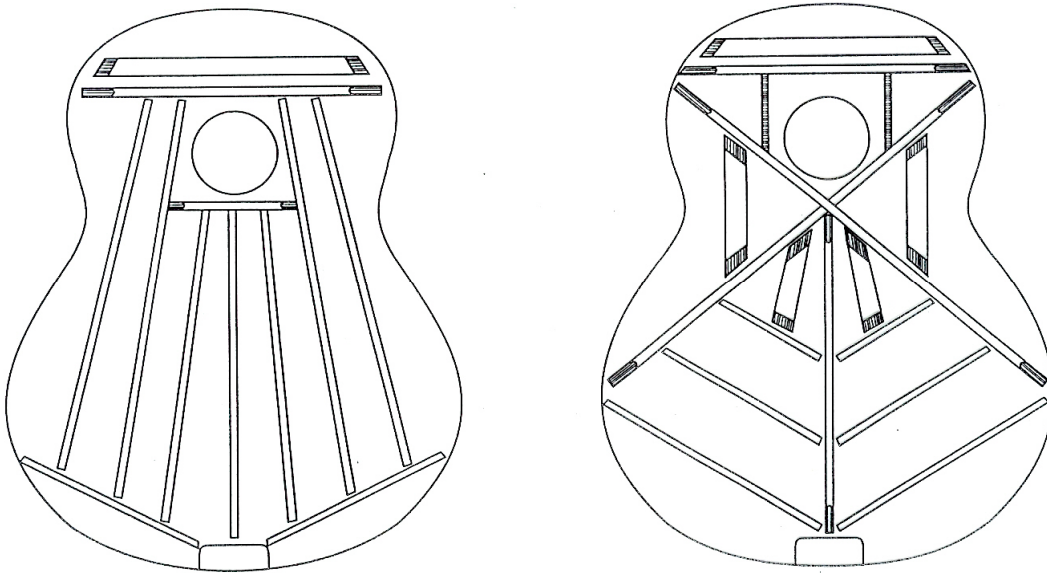
- Το πλάτος της διέγερσης δεν είναι αμελητέο με αποτέλεσμα η τάση τάνυσης της χορδής να μην παραμένει σταθερή
- Τα άκρα της χορδής δεν είναι ακλόνητα. Το ένα άκρο βρίσκεται στο καπάκι της κιθάρας το οποίο παρουσιάζει ελαστικότητα και το άλλο άκρο είναι στηριγμένο στο μπράτσο το οποίο μπορούμε να τα παρομοιάσουμε με μία ελαστική δοκό.

Η παραγωγή μιας νότας στη κιθάρα είναι ένα σύνθετο φαινόμενο κατά το οποίο παρατηρείται κυματική διάδοση με το χτύπημα της χορδής. Η κυματική διαταραχή φτάνει στα άκρα της χορδής όπου ένα μέρος της περνά στο νέο μέσο διάδοσης (γέφυρα και μπράτσο), ενώ ένα άλλο ανακλάται. Με την ανάκλαση δημιουργούνται στάσιμα κύματα και η χορδή πάλλεται στη μόνιμη κατάσταση.

- Καθώς σε πραγματικές συνθήκες δεν ισχύει η παραδοχή ότι η τάση τάνυσης δεν παραμένει σταθερή, αλλά μεταβάλλεται περιοδικά, προτείνεται ότι ο κύριος τρόπος μεταφορά της ενέργειας της χορδής στο καπάκι δεν είναι μέσω της διάδοσης κυμάτων από τη χορδή στη γέφυρα και τελικά στο καπάκι αλλά μέσω της απευθείας εφαρμογής περιοδικά μεταβαλλόμενων δυνάμεων στο καπάκι [32].
- Η εξισώσεις για το φαινόμενο Helmholtz αναφέρονται σε δοχεία τα οποία έχουν οπή μικρής διαμέτρου σχετικά με την επιφάνεια του δοχείου και λαιμό κάτι το οποίο δεν ισχύει για την οπή της κιθάρας η οποία είναι συγκρίσιμη με την επιφάνεια του καπακιού και επίσης το βάθος του λαιμού είναι ίσο με το πάχος του καπακιού. Άρα υπάρχουν αποκλίσεις από το θεωρητικό μοντέλο.

3. ΔΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΙΘΑΡΑΣ ΚΑΙ ΕΜΠΕΙΡΙΚΕΣ ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΕΙΣ

G. ΚΑΠΑΚΙ -SOUNDBOARD



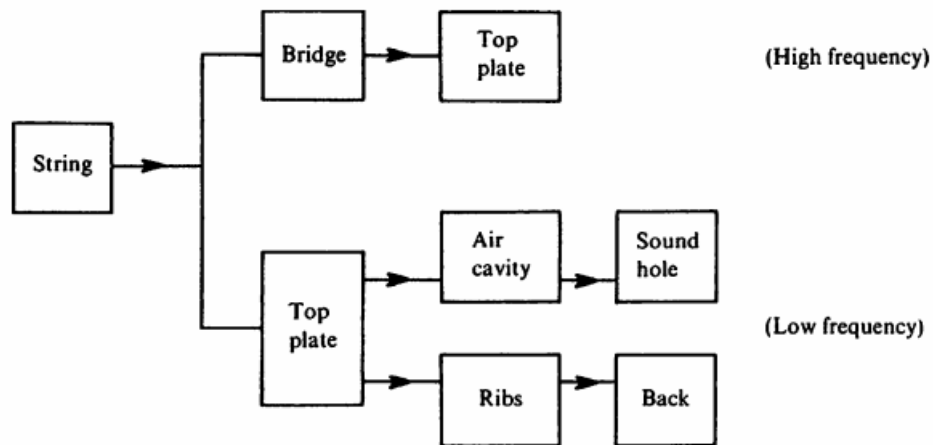
Εικόνα 48: Bracing σε κλασσική και ακουστική κιθάρα

Το καπάκι είναι μια λεπτή 2-3mm, επίπεδη μπροστινή επιφάνεια της κιθάρας. Σκοπό έχει να λαμβάνει και να ενισχύει τις δονήσεις των χορδών. Οι χορδές λόγω της μικρής τους επιφάνειας δεν μπορούν να αλληλεπιδράσουν αποτελεσματικά σε αντίθεση με το καπάκι, το οποίο αυξάνει την ποσότητα του αέρα που βρίσκεται επίσης σε δόνηση. Το ηχείο επιτυγχάνει σημαντική ενίσχυση λόγω της μεγάλης επιφάνειας του [33].

Σε μεγάλο βαθμό υποστηρίζεται από κιθαρίστες και τους κατασκευαστές κιθάρας ότι το ηχείο είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της ακουστικής κιθάρας από την άποψη της δημιουργίας καλής ποιότητας ήχου. Επίσης, το ηχείο παρέχει μια κρίσιμη δομική λειτουργία, δεδομένου ότι πρέπει να υποστηρίξει την τάση των χορδών.

Ένα καλό καπάκι πρέπει να εκπληρώσει τις απαιτήσεις που σχετίζονται με χροιά, προβολή- ένταση (πόσο δυνατά «ακούγεται» το όργανο και πόσο μακριά «φτάνει» ο ήχος π.χ. σε μια αίθουσα συναυλιών), και την ανταπόκριση.

Το καπάκι επηρεάζει κυρίως τις υψηλές συχνότητες, καθώς οι χαμηλές αναπαράγονται συνήθως από το αέρα εντός του σώματος (φαινόμενο Helmholtz) [34].



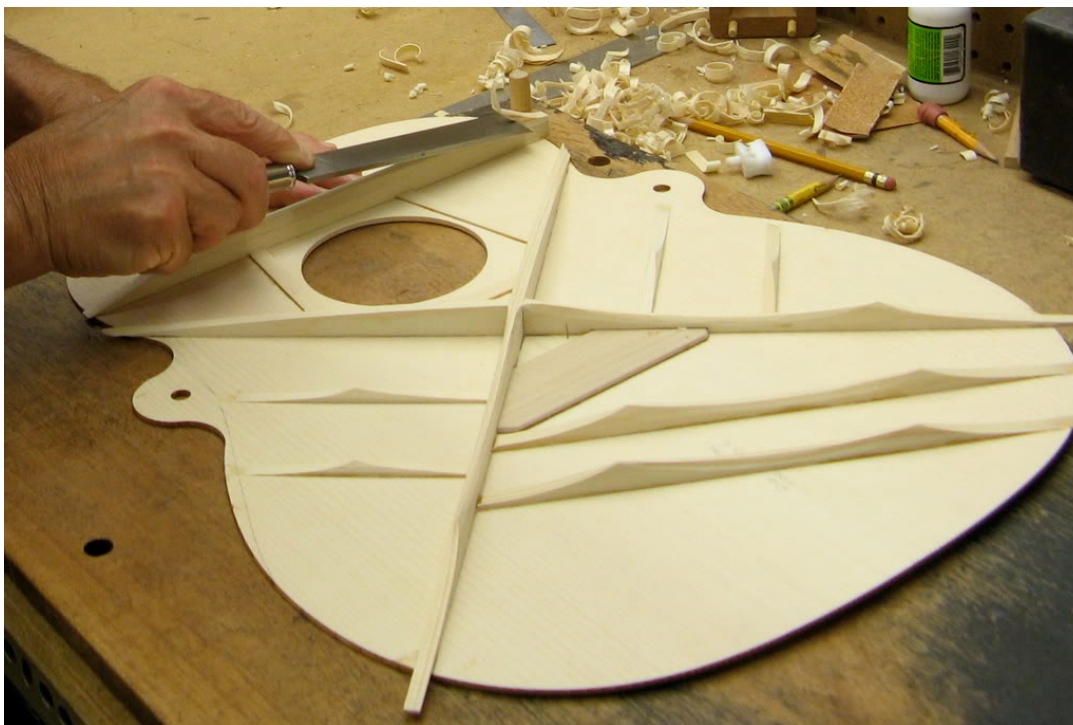
Εικόνα 49 Η παραγωγή ήχου σε σχέση με τα εξαρτήματα της κιθάρας

Συνήθως το καπάκι αποτελείται από ένα ή δυο κομμάτια ξύλου, αν και σε φθηνές κιθάρες χρησιμοποιούνται και καπάκια από laminated ξύλο (κοντραπλακέ). Το επικρατέστερο ξύλο είναι το έλατο (spruce) ενώ χρησιμοποιείται και ο κέδρος.

Σκοπός των οργανοποιών είναι η όσο το δυνατόν μείωση του βάρους χωρίς να παραβιάζεται η δομική ακεραιότητα της κατασκευής. Αυτό οδήγησε στη προσθήκη νεύρων δυσκαμψίας ώστε να είναι το καπάκι όσο το δυνατόν πιο λεπτό ενώ ταυτόχρονα να είναι ικανό να φέρει την τάση των χορδών. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία στον αριθμό και την διάταξη των νεύρων δυσκαμψίας (bracing). Τα πιο συνηθισμένο μοτίβο είναι του Torres για τις κλασσικές κιθάρες και το X για τις ακουστικές (επινόηση της Martin).



Εικόνα 50: Torres bracing [35]



Εικόνα 51: Martin bracing [36]

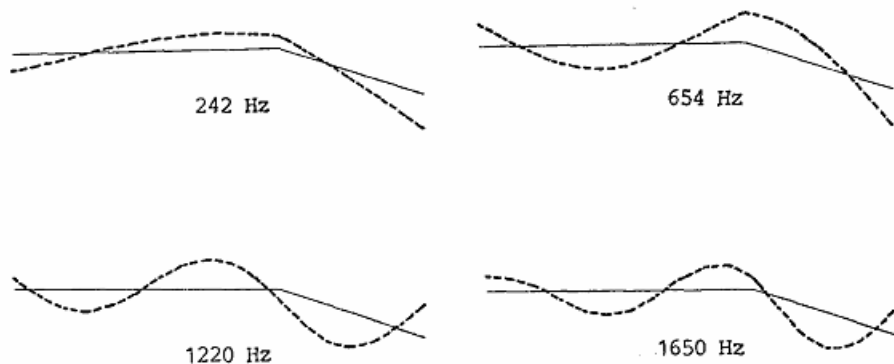
Η. ΜΠΡΑΤΣΟ

Το μπράτσο σύμφωνα με τις έρευνες και εμπειρικές διαπιστώσεις από κατασκευαστές δεν επηρεάζει την διάδοση του ήχου στον αέρα. Συνήθως απαιτείται η ικανή δυσκαμψία ώστε να μην παραμορφώνεται από την τάση των χορδών. Επίσης πρέπει να γίνεται κατάλληλη μελέτη ώστε να μην παρουσιάζει ισχυρά φαινόμενα συντονισμού στο φάσμα των συχνοτήτων της κιθάρας. Σε τέτοια περίπτωση παρουσιάζεται το φαινόμενο *dead spot*, νότες δηλαδή οι οποίες προκαλούν συντονισμό του μπράτσου με αποτέλεσμα να έχουν μικρή διάρκεια (*sustain*). Η ενέργεια της χορδής καταναλώνεται για την ταλάντωση του μπράτσου και όχι για τη διέγερση του σώματος [37].

Για την επίδραση του μπράτσου δεν υπάρχει εκτενής βιβλιογραφία όσο για το σώμα. Οι Meinel, E. and Jansson, E. V. [38] πραγματοποίησαν πειράματα σε δύο μπράτσα ακουστικής κιθάρας 480g και 400g. Τα αποτελέσματα ήταν 227 Hz και 607 Hz για το πρώτο μπράτσο και 242 Hz, 654 Hz, 1220 Hz, 1650 Hz για το δεύτερο. Και στα δύο, οι ιδιομορφές είναι παρόμοιες με αυτές μιας δοκού.



Εικόνα 53: Μπράτσο ακουστικής κιθάρας



Εικόνα 52: Ιδιομορφές μπράτσου ηλεκτρικής κιθάρας

Μια συνηθισμένη υπόθεση είναι ότι το μπράτσο δεν πρέπει καθόλου να διεγείρεται παρά μόνο να παρέχει στήριξη στην χορδή, ώστε να μην κλέβει ενέργεια αυτή.

Σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση όσο αυξάνεται η δυσκαμψία του λαιμού, τόσο αυτός αντιστέκεται στην τάση των χορδών. Αυτό όμως δεν εξηγεί το ότι κιθάρες με διαφορετικό ξύλο και λεπτά μπράτσα έχουν καλές ακουστικές επιδόσεις.

Η αύξηση της δυσκαμψίας επιτυγχάνεται με αύξηση του πάχους του μπράτσου άρα ταυτόχρονα έχουμε και αύξηση της μάζας του. Ποιοι παράγοντες από τους δύο επηρεάζουν περισσότερο δεν είναι ξεκάθαρο. Πάντως σε μπράτσα από ανθρακονηματα (για ηλεκτρικές κιθάρες) ο

λόγος δυσκαμψίας προς μάζα είναι πολύ μεγάλος και οι κιθάρες αυτές χαρακτηρίζονται από πολύ καλό sustain.

Η μάζα επίσης επηρεάζει την απόκριση ιδιοσυχνοτήτων, με πιο προβλέψιμο τρόπο. Όταν μια κιθάρα αντιμετωπίζει πρόβλημα με dead spots (νότες που δεν ακούγονται καλά διότι λόγω συντονισμού το μπράτσο «απορροφά» την ενέργεια της χορδής) μια συνήθης λύση είναι η αλλαγή κλειδιών με άλλα επαρκώς βαρύτερα. Το αποτέλεσμα είναι να χαμηλώνουν οι ιδιοσυχνότητες τόσο, ώστε να βρίσκονται ενδιάμεσα σε δύο νότες (έτσι το dead spot μετριάζεται). Η κοινή διαπίστωση πολλών οργανοπαιχτών και αρκετών κατασκευαστών είναι ότι μπράτσα μεγαλύτερης μάζας έχουν μεγαλύτερο sustain. Και πάλι όμως δεν έχει εξηγηθεί επαρκώς ότι κιθάρες χωρίς κεφάλι, όπου τα κλειδιά βρίσκονται στο σώμα (headless guitar) έχουν εξαιρετικό sustain

Ένα ενδιαφέρον φαινόμενο προκαλείται κατά την μουσική εκτέλεση, αν ο κιθαρίστας ακουμπήσει την άκρη του μπράτσου σε ένα τοίχο το sustain βελτιώνεται αισθητά (μάλιστα αυτό είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιούν οι rock κιθαρίστες για να επιτύχουν ανάδραση-feedback).

Προφανώς η μάζα και η δυσκαμψία ορίζουν την βασική φυσική συχνότητα του μπράτσου (αν το θεωρήσουμε ως μια δοκό), παρόλα αυτά δεν υπάρχουν σαφείς και εκτεταμένες πειραματικές μελέτες που να υπολογίζουν τις φυσικές συχνότητες στα μπράτσα κιθαρών (είτε ακουστικές είτε ηλεκτρικές).

I. ΠΛΑΪΝΑ ΚΑΙ ΠΙΣΩ ΚΑΠΑΚΙ –SIDES AND BACK PLATE

Είναι από παλιά καθιερωμένη η αντίληψη ότι τα πλαϊνά και το πίσω καπάκι δεν επηρεάζουν ιδιαίτερα τον ήχο. Σημαντικό ρόλο σε αυτή την αντίληψη διαδραμάτισε ο Antonio de Torres Jurado, πατέρας της σύγχρονης κλασικής κιθάρας. Ο κύριος ρόλος τους να υποστηρίξουν δομικά το καπάκι, εμπρός και πίσω [39].

J. ΧΟΡΔΕΣ

Οι χορδές αποτελούν τον παράγοντα εκείνο που παίζει πρωταρχικό ρόλο για την παραγωγή και διαμόρφωση του ήχου και παράλληλα είναι ο το μέσο με το οποίο ο χειριστής-οργανοπαίχτης κατεξοχήν αλληλεπιδρά με το όργανο.

Οι χορδές για να λειτουργήσουν απαιτούν μια τάνυση (τέντωμα) η οποία εξαρτάται και από το είδος του υλικού κατασκευής της χορδής. Παλιότερα οι χορδές για κλασικές κιθάρες κατασκευάζονταν από έντερα ζώων, ενώ τώρα είναι συνθετικές. Επίσης χρησιμοποιούνται μεταλλικές χορδές στις ακουστικές και ηλεκτρικές κιθάρες.

Παρατίθενται οι τιμές της πυκνότητας για κάθε υλικό κατασκευής χορδών

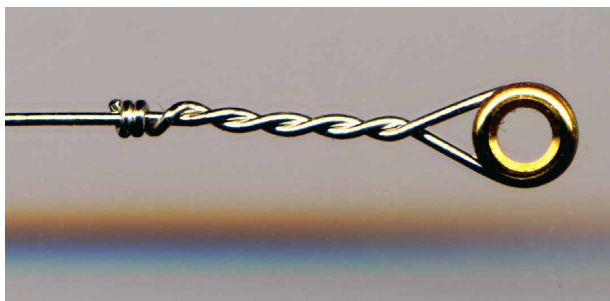
Steel	7700	kg/m ³	[40]
Gut	1300	kg/m ³	
Silk	1300	kg/m ³	
Nylon	1 200	kg/m ³	

Πρακτικά μεταλλικές χορδές μέσης διαμέτρου όταν κουρδίζονται στις καθιερωμένες συχνότητες, ασκούν στο μπράτσο και την γέφυρα μιας ακουστικής κιθάρας, δύναμη τάνυσης περίπου 50 kg.

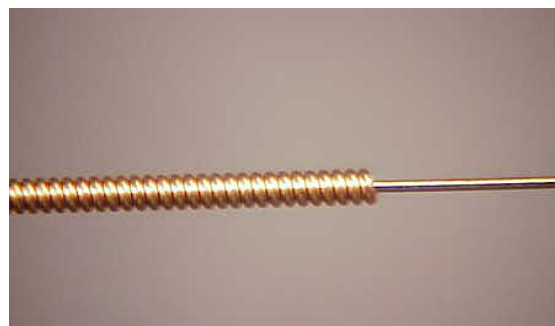
Η συχνότητα μια χορδής μήκους L , δύναμης τάνυσης T και γραμμικής πυκνότητας ρ είναι:

$$F^2 = T/4\rho L$$

Επομένως για να κουρδισθεί μια χορδή σε υψηλότερη συχνότητα θα πρέπει ή να αυξηθεί η δύναμη T , ή να μειωθεί η πυκνότητα ρ ή και οι δυο παράγοντες μαζί. Πρακτικά με δεδομένο υλικό, μείωση της γραμμικής πυκνότητας θα επέλθει με την μείωση της διαμέτρου της χορδής. Στην κιθάρα με δεδομένο ότι όλες οι χορδές έχουν το ίδιο αρχικό μήκος, αυτός είναι ο τρόπος για να ρυθμισθούν όλες οι χορδές στο επιθυμητό τονικό ύψος. Για τις μπάσες χορδές προκειμένου να μην έχουν την επιθυμητή μάζα χωρίς να γίνουν υπερβολικά δύσκαμπτες, αποτελούνται από ένα λεπτό πυρήνα, ο οποίος καλύπτεται με ένα ή περισσότερα στρώσεις σύρματος που τυλίγεται γύρω από τον πυρήνα, Οι χορδές ονομάζονται wound (τυλιχτές)[41].



Εικόνα 55: χορδή τύπου plain [42]



Εικόνα 54: χορδή τύπου wound

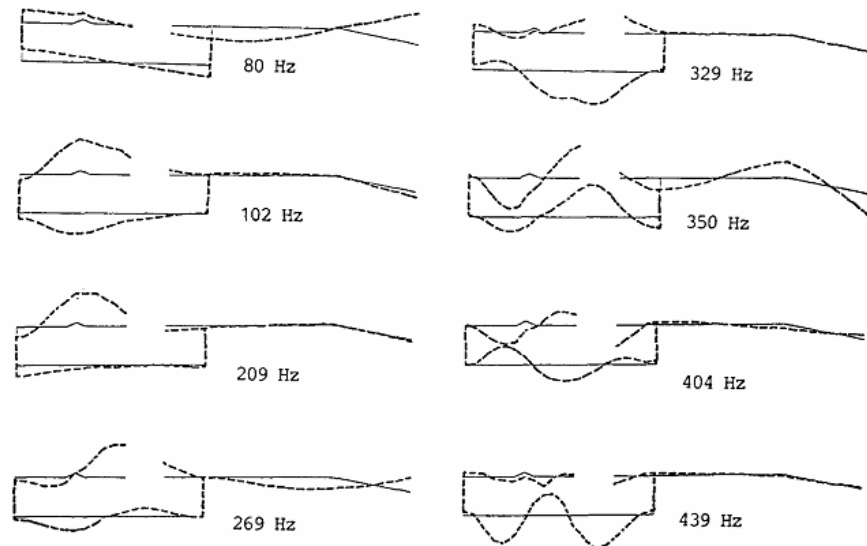
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

ΕΥΡΕΣΗΣ

Στη διεθνή βιβλιογραφία σε πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί ένα παρουσιάζεται μια πληθώρα αποτελεσμάτων. Αυτό οφείλεται κυρίως στις διαφορετικού τύπου κιθάρες που έχουν χρησιμοποιηθεί. Ακόμα και αν μια ερευνητική ομάδα επιθυμεί να χρησιμοποιήσει το ίδιο δοκίμιο, είναι απίθανο να καταφέρει να βρει κιθάρα του εμπορίου η οποία να έχει μείνει ίδια με το πέρασμα των χρόνων. Άλλωστε ο τρόπος κατασκευής τους, οι πρώτες ύλες κ.τ.λ. δεν επιτρέπουν τυποποίηση της παραγωγής τους.

Ένας άλλος παράγοντας είναι φυσικά ο τρόπος διεξαγωγής των πειραμάτων, στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιείται η μέθοδος της κρούσης και η μέτρηση των δονήσεων στο σώμα της κιθάρας. Επίσης έχουν χρησιμοποιηθεί ζεύγη πιεζοηλεκτρικών που λειτουργούν πομποί και δέκτες κυματομορφών. Οι Meinel E. και Jansson E. V. [38] χρησιμοποιώντας ειδικά σφυριά προκάλεσαν ταλάντωση στη κιθάρα, η οποία μετρήθηκε με την βοήθεια επιταχυνσιόμετρων. Τα αποτελέσματα έδωσαν συχνότητες διέγερσης 80, 102, 209, 269, 329, 350, 404, 449 Hz στην πρώτη ιδιοσυχνότητα η κιθάρα συμπεριφέρεται σαν δοκός σε κάμψη. Στην δεύτερη, τα καπάκια κινούνται αντίθετα, ενώ στις επόμενες κινούνται κυρίως σε φάση. Επίσης έκαναν μετρήσεις του σώματος στις οποίες χαρακτηριστικά η πρώτη ιδιοσυχνότητα δεν εμφανίζεται (στα 80 Hz) ενώ οι επόμενες βρίσκονται κοντά στις προηγούμενες μετρήσεις.



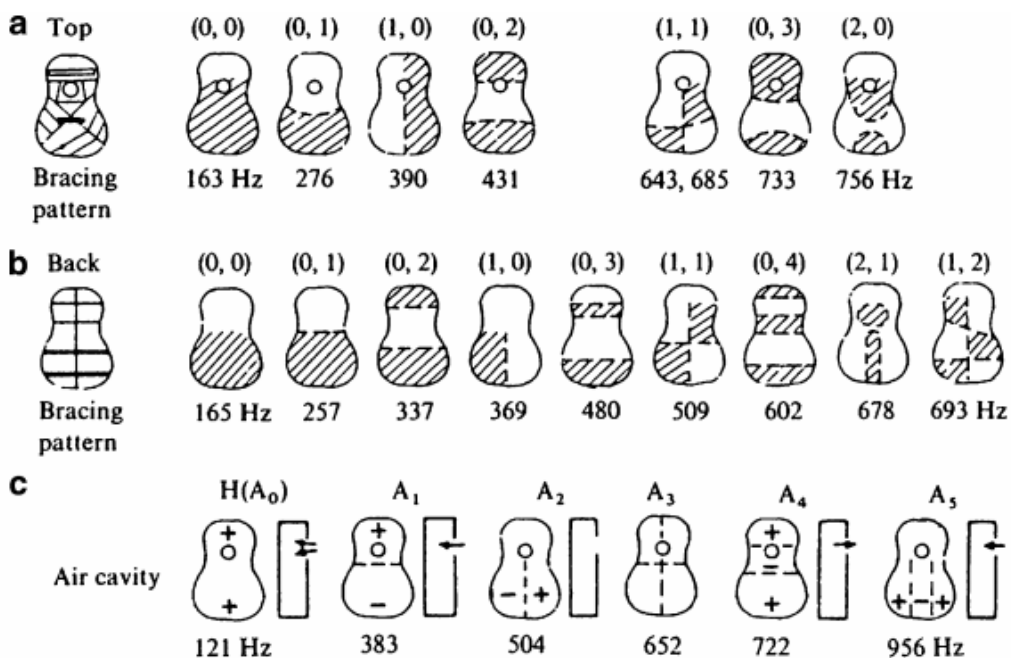
Εικόνα 56: Ιδιομορφές και ιδιοσυχνότητες κατά Meinel και Janson [38]



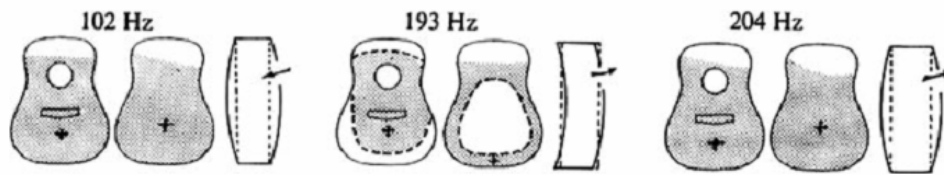
Εικόνα 57: κιθάρα τύπου jumbo [44]

Ο Moon [43] επιχειρεί την μέτρηση των ιδιοσυχνοτήτων με την χρήση πιεζοηλεκτρικών στοιχείων. Το ένα χρησιμοποιείται ως πομπός που διεγείρει το σώμα της κιθάρας και το άλλο ως δέκτης για την μέτρηση των δονήσεων. Για το πείραμα χρησιμοποιήθηκε μια ακουστική κιθάρα τύπου jumbo. Τα αποτελέσματα έδωσαν ιδιοσυχνότητες στα 90, 180, 787 Hz. Αν και η πειραματική μέθοδος λειτούργησε δεν κατάφερε να εξακριβώσει συχνότητες στην περιοχή 200-800Hz (οι οποία είναι χαρακτηριστική σε μία κιθάρα και το ανθρώπινο αυτί είναι ευαίσθητο σε αυτές τις συχνότητες).

Πειράματα έχουν πραγματοποιηθεί, όπου η κιθάρα τοποθετείται στην άμμο ώστε να εξετασθεί ξεχωριστά η συμπεριφορά κάθε τμήματος της [45]. Αυτή η μέθοδος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη ώστε να διερευνηθεί η επίδραση του αέρα εντός του σώματος στην συμπεριφορά του οργάνου. Συνήθως η χαμηλότερη συχνότητα αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως Helmholtz παρότι δεν ανταποκρίνεται πλήρως στις παραδοχές που αφορούν το φαινόμενο.



Εικόνα 58: ιδιοσυχνότητες/ιδιόμορφες για κιθάρας μερικώς η ολικώς θαμμένη στην άμμο



Εικόνα 59: τιμές για Martin [45]

Ο Rossing επίσης μέτρησε τις ιδιοσυχνότητες της ίδιας κιθάρας τοποθετημένης σε ελαστικά στηρίγματα. Τα αποτελέσματα έδωσαν τιμές για 102, 193, 204 Hz.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε όλες τις προηγούμενες εργασίες παρά τις διαφορές στις κιθάρες, τους τρόπους εκτέλεσης των πειραμάτων και τις μεθόδους επεξεργασίας των αποτελεσμάτων παρατηρούνται κάποια κοινά σημεία. Στις χαμηλότερες ιδιοσυχνότητες το σώμα με το μπράτσο συμπεριφέρεται ενιαία, σαν δοκός.

Οι ιδιοσυχνότητες στην περιοχή περίπου 100-200 Hz επίσης έχουν κοινά χαρακτηριστικά. Στην πρώτη τα δυο καπάκια βρίσκονται σε αντίθετη φάση. Αυτή η συμπεριφορά αναφέρεται χαρακτηριστικά ως *breathing mode* διότι το σώμα φαίνεται σαν να αναπνέει τραβώντας τον αέρα στο εσωτερικό του όταν τα καπάκια αποκλίνουν μεταξύ τους. Στην δεύτερη τα καπάκια είναι σε φάση. Στην Τρίτη, τα καπάκια είναι πάλι σε διαφορά φάσης αλλά ο αέρας εξέρχεται από το σώμα όταν τα καπάκια αποκλίνουν.

5. ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ ANSYS ΚΙΘΑΡΑΣ ΑΠΟ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Stephen M. Probert στην εργασία Design, Manufacture and Analysis of a Carbon Fiber Epoxy Composite Acoustic Guitar [46] αναλύει και παρουσιάζει λεπτομερώς την κατασκευή ακουστικής κιθάρας από σύνθετα υλικά. Οι διαστάσεις της κιθάρας είναι παρόμοιες με μια ακουστική κιθάρα του εμπορίου. Ο Stephen M. Probert ύστερα επινοεί μια πειραματική διάταξη με σκοπό την εξεύρεση των ιδιοσυχνοτήτων των δύο οργάνων και τις μεταξύ τους διαφορές.

Έπειτα επιχειρεί την μοντελοποίηση της κιθάρας στο Ansys με σκοπό την επαλήθευση των τιμών των ιδιοσυχνοτήτων. Οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων παρουσίαζαν μεγάλη απόκλιση με αυτές των πειραματικών μετρήσεων.

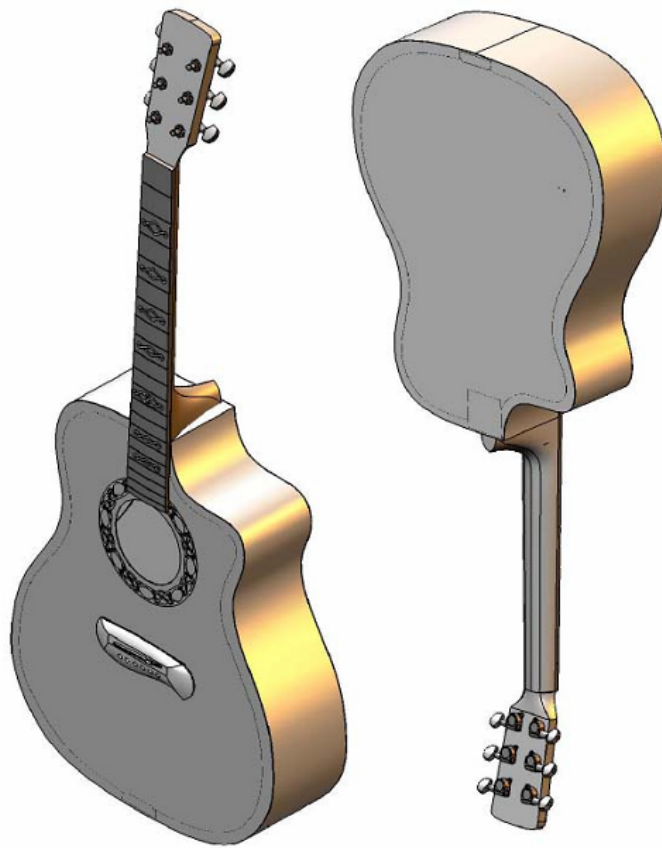
Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η εκ νέου μοντελοποίηση της κιθάρας στο ANSYS με σκοπό τα αποτελέσματα να συμφωνούν με τις πειραματικές μετρήσεις

Κ. Διαστάσεις κιθάρας

Η κιθάρα που μοντελοποιήθηκε στο ANSYS έχει τις ίδιες διαστάσεις με την ακουστική κιθάρα Yamaha FG401 (οι διαστάσεις δίνονται στο παράρτημα).



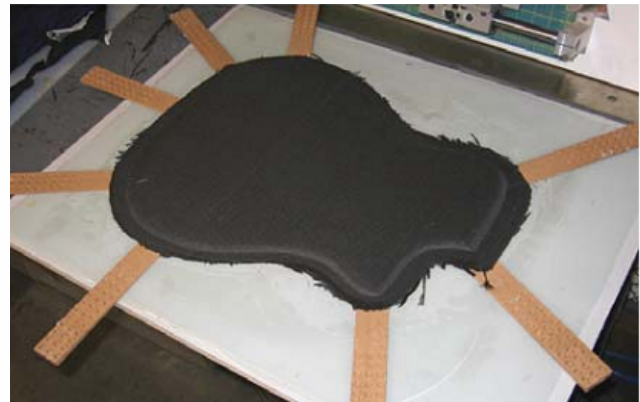
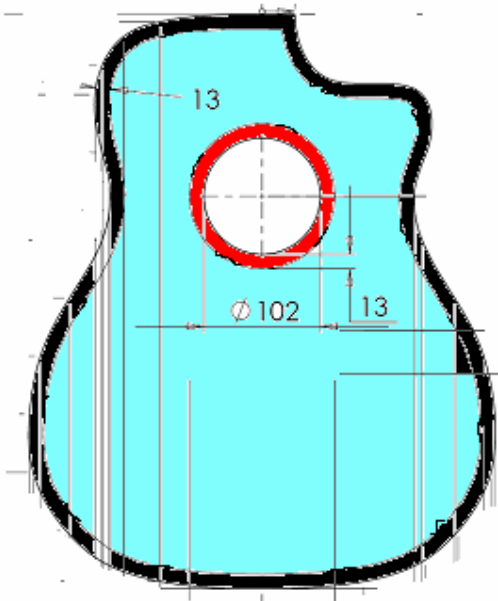
Εικόνα 60: Yamaha FG401 [46]



Εικόνα 61: Σχέδιο CAD της Yamaha FG401 [46]

ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΚΙΘΑΡΑΣ

Η κιθάρα που κατασκεύασε ο Stephen M.P. αποτελείται από το ξύλινο μπράτσο το οποίο είναι ουσιαστικά παρόμοιο με το μπράτσο της Yamaha και το σώμα το οποίο είναι κατασκευασμένο από σύνθετα υλικά. Το καπάκι και το πίσω μέρος αποτελούνται από μια δομή τύπου sandwich με αφρό στη μέση και στρώσεις από ίνες άνθρακα στα άκρα. Αυτού του τύπου lay up έχει υιοθετηθεί και από τις κιθάρες Rainsong, μια εταιρία πρωτοπόρα στη κατασκευή τέτοιων κιθαρών.



Εικόνα 62: Καπάκι της κιθάρας. Διακρίνεται η περιοχή με τον αφρό λόγω μεγαλύτερου πάχους [46]

Πάχος Στρώσεων

Πάχος Αφρού:	3.33 mm
Πάχος στρώσεων ινών:	0.257 mm

L. Lay up Στρώσεων

Τα πλαϊνά, και τα κεντρικά τμήματα εμπρός και πίσω:	[45/0/foam/S]
Γύρω από την οπή:	45/0/S]
Περιοχή στα άκρα του μπρος και πίσω μέρους (καπάκι):	[45/0/S/S]

Ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται (GPa , Kg/m³)

Material	Density	EX	EY	EZ	PXY	PYZ	PXZ	GXY	GYZ	GXZ
Composite	1436	62.40	62.40	10.00	0.40	0.40	0.40	14.70	14.70	14.70
Foam	50	0.03	-	-	0.32	-----				

Mahogany	450	10.67	0.53	1.18	0.30	0.26	0.03	0.94	0.63	0.22
Ebony	1100	19.00	2.11	0.95	0.30	0.26	0.03	1.67	0.40	1.12
Rosewood	775	16.00	2.20	0.72	0.36	0.26	0.03	1.10	0.30	0.84



Εικόνα 63: διακρίνεται η ένωση μεταξύ μπράτσου και σώματος [46]



Εικόνα 64: Η γέφυρα [46]



Εικόνα 65: Το ξυλινο μπράτσο [46]



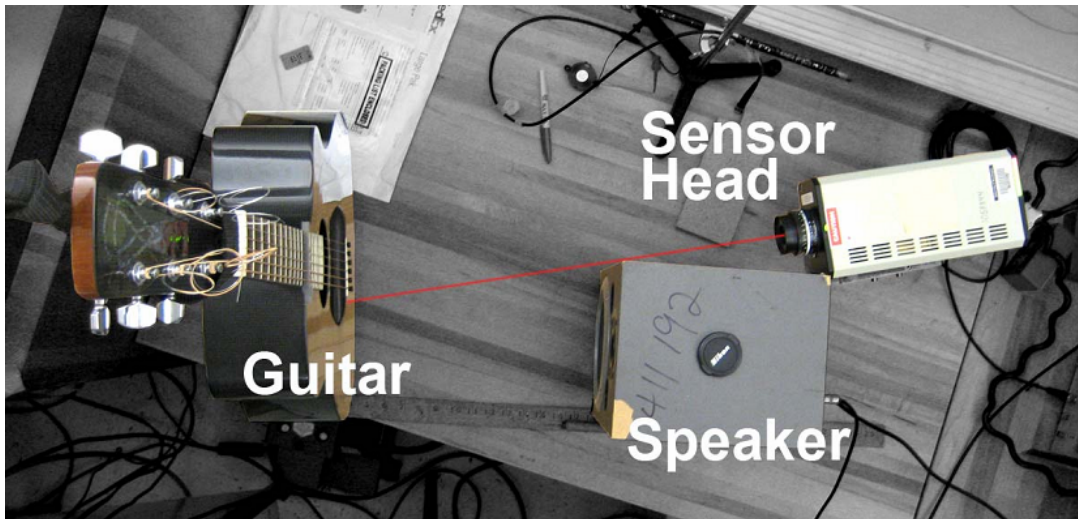
Εικόνα 66: τα κομμάτια του σώματος έτοιμα για συναρμολόγηση [46]



Εικόνα 67: Η κιθάρα συναρμολογημένη [46]

6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Α. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ



Εικόνα 68: Η ακτινα laser που διακρινεται είναι νοητή [46]

Οι δύο κιθάρες κρέμονται από την οροφή με μια ζώνη η οποία δένεται στο λαιμό (neck), στην περιοχή κάτω από τα κλειδιά. Διεγείρονται με ένα ηχείο που παράγει συχνότητες από 0-20 kHz. Για τον ήχο στο ηχείο χρησιμοποιήθηκε ένα synthesizer φάσματος 600 kHz frequency. Με τη βοήθεια συσκευής laser, πραγματοποιείται μέτρηση του πλάτους της διέγερσης με σκοπό την εύρεση των ιδιοσυχνοτήτων. Οι χορδές είναι κουρδισμένες κανονικά και έχει τοποθετηθεί ένα πανί στο δωδέκατο τάστο ώστε να μην συντονίζονται με το ηχείο.



Εικόνα 69: Η ακτίνα Laser προσετέθηκε γραφικά για να υποδείξει το σημείο συλλογής δεδομένων [46]

Β. Αποτελέσματα

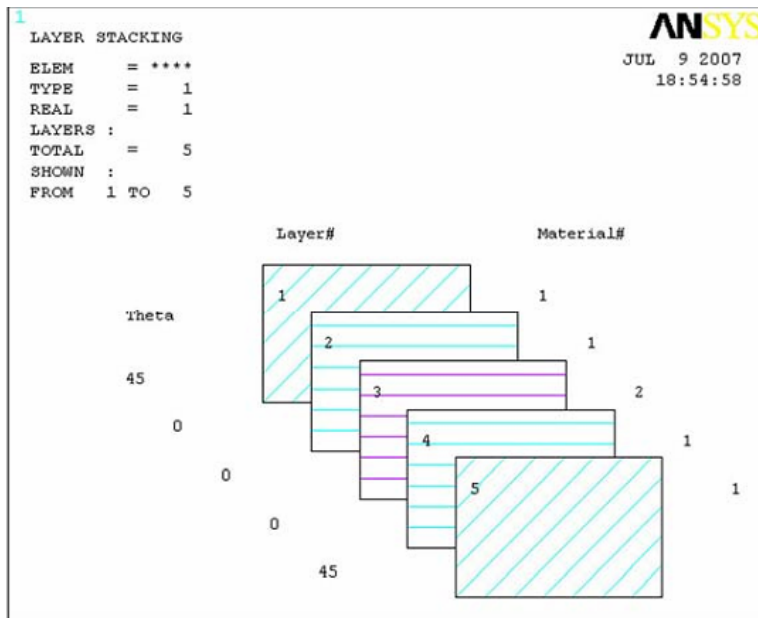
Τα αποτελέσματα δίνονται από τον παρακάτω πίνακα:

	T(1,1)1	T(1,1)2	T(2,1)	T(1,2)1	T(1,2)2	T(3,1)
Composite	99.3	175.3	220	330.5	362.3	~450
Yamaha	105	208	250*	360*	400	~446
Difference (%)	5.4	15.7	12.0	8.2	9.4	0.9

Παρατηρούμε ότι οι διαφορές είναι σημαντικές. Η κιθάρα από σύνθετα υλικά παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές σε όλες τις ιδιοσυχνότητες. Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι η κιθάρα πιθανότατα θα ακούγεται πιο «μουντή» από ότι η ξύλινη, δηλαδή με περισσότερα μπάσα. Αυτό είναι σύμφωνο με την κοινή διαπίστωση σχετικά με τις κιθάρες του εμπορίου από σύνθετα υλικά ότι δηλαδή ακούγονται πιο «μπάσες».

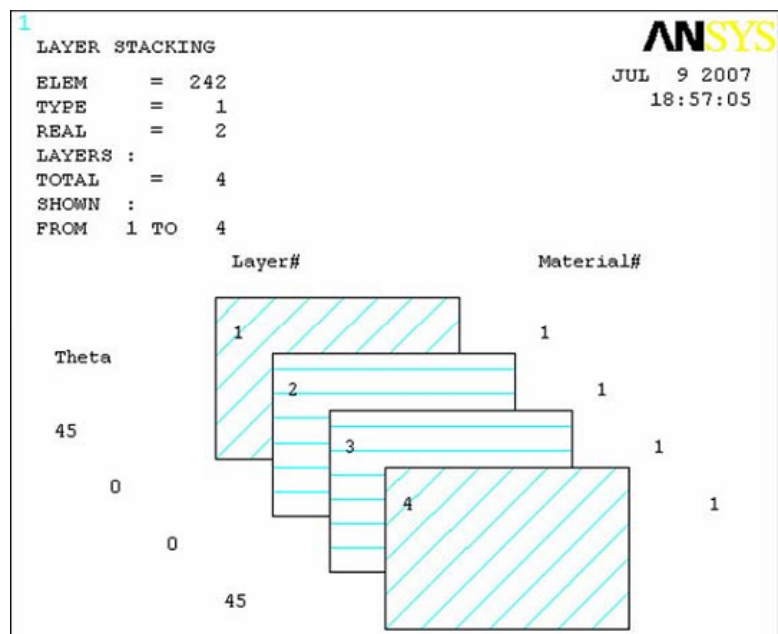
7. Υπολογισμός Τιμών ιδιοσυχνοτήτων στο Ansys

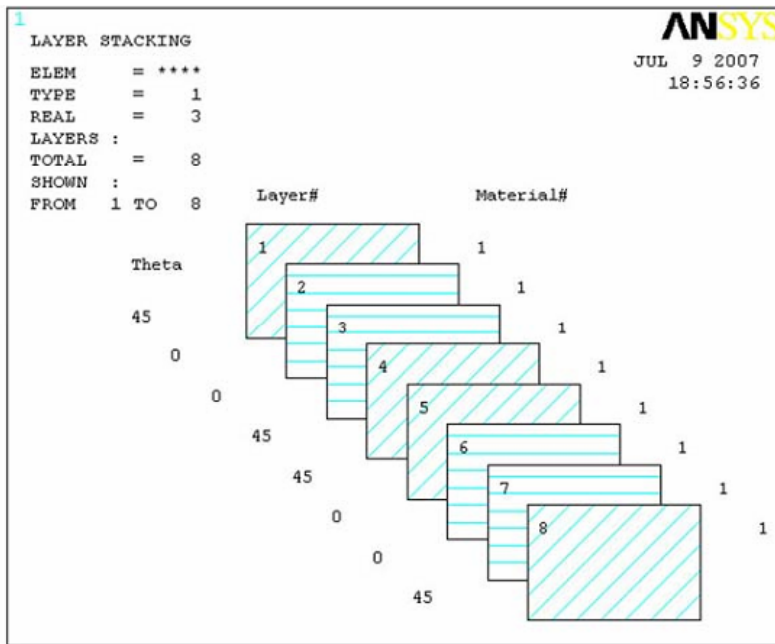
Ο S.M.P. κατόπιν του πειραματικού υπολογισμού κατασκευάζει ένα μοντέλο σε πρόγραμμα CAD το οποίο μετατρέπει σε IGES και το εισάγει στο ANSYS. Καθώς σύμφωνα με τον S.M.P. τα shell στοιχεία στο ANSYS δεν μοντελοποιούν καταστάσεις αέρα-στερεού, επέλεξε να μοντελοποιήσει κατάλληλα το CAD ώστε να χρησιμοποιήσει solid στοιχεία στο ANSYS, ενώ πρακτικά στο μοντέλο θα επικρατούν συνθήκες κενού. Ακολουθούν οι τιμές για το καπάκι (top plate) το πίσω καπάκι (back plate) και το σώμα (body).



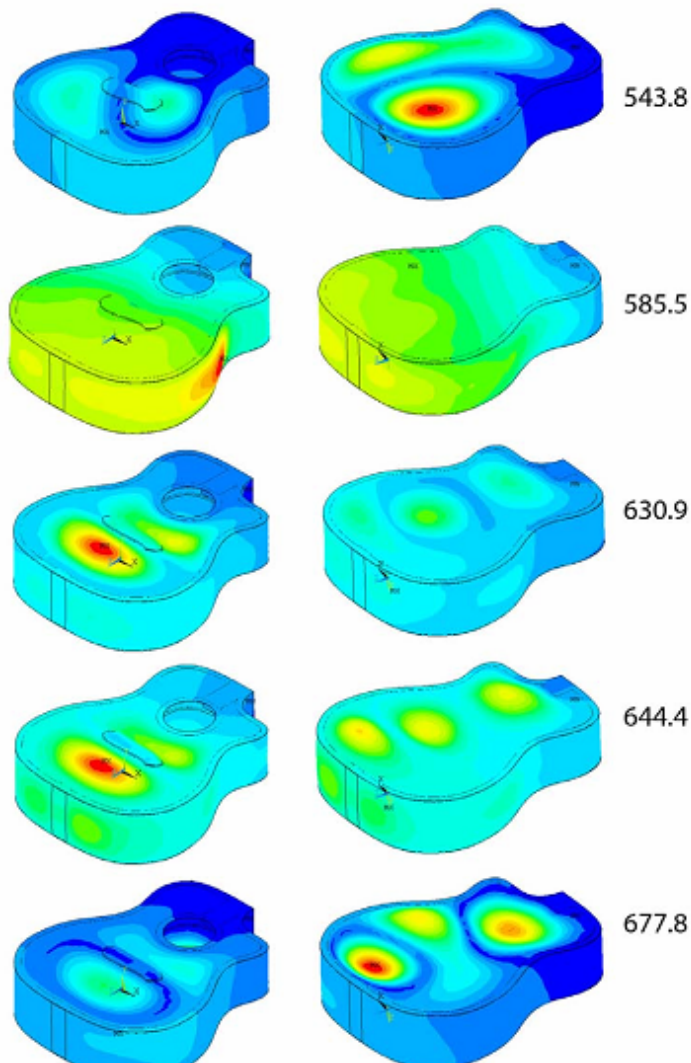
Εικόνα 70: Lay out στρώσεων

Εικόνα 71: Lay out στρώσεων [46]



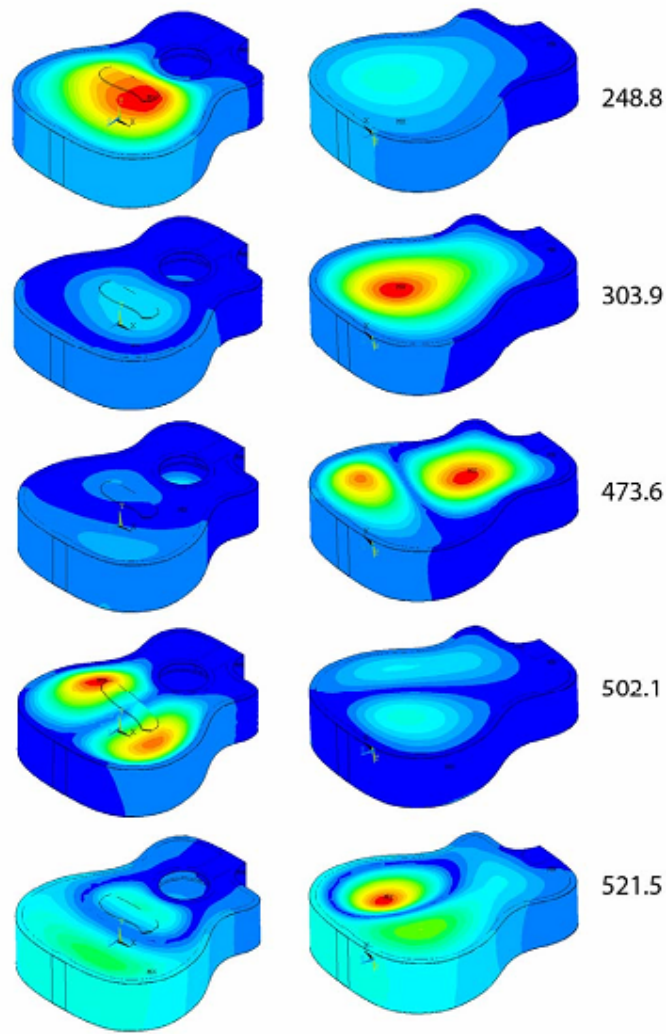


Εικόνα 72: Lay out στρώσεων [46]



Ακολουθούν οι ιδιομορφές που υπολόγισε το ANSYS

Εικόνα 73: Ιδιομορφές της εργασίας αναφοράς [46]



Εικόνα 74: Ιδιομορφές της εργασίας αναφοράς [46]

Αποτελέσματα-Πίνακας Ιδιοσυχνοτήτων για το καπάκι, το πίσω καπάκι και το σώμα

	T(1,1)	B(1,1)	B(1,2)	T(2,1)	B(2,1)1	B(2,1)2	S(waist)	T(1,2)	T(1,2), B(1,3)	B(1,3)
Body	248.8	303.9	473.6	502.1	521.5	543.8	585.5	630.9	644.4	678
Top	256.8	-	-	515.7	-	-	-	621	-	-
Back	-	321.9	482.7	-	549.5	549.5	-	-	-	664
Diff	8	18	9.1	13.6	28	5.7	-	9.9	-	13.5

Το T σημαίνει ότι η μεγαλύτερο πλάτος της ταλάντωσης εμφανίζεται στο καπάκι (Top), ενώ το B ότι εμφανίζεται στο πίσω καπάκι (Back) . Το S αναφέρεται στα πλαϊνά (sides).

	T(1,1)1	T(1,1)2	B(1,1)	B(1,2)	T(2,1)	B(2,1)1	B(2,1)2	S(waist)	T(1,2)	T(1,2), B(1,3)	B(1,3)
Body	-	248.8	303.9	473.6	502.1	521.5	543.8	585.5	630.9	644.4	677.8
TopPlate	-	256.8	-	-	515.7	-	-	-	621	-	-
Measu	99.3	175.3	-	-	220	-	-	-	360	400	-
Dif/nce	-	73.5	-	-	282.1	-	-	-	270.9	244.4	-

Συμπεράσματα

Οι διαφορές μεταξύ των πειραματικών και αναλυτικών μετρήσεων είναι μεγάλες.

Ο S.M.P. για να εντοπίσει την αιτία για τις μεγάλες διαφορές ανάμεσα στο μοντέλο και τις πειραματικές μετρήσεις εξετάζει τις εξής μεταβλητές που χαρακτηρίζουν το μοντέλο:

- Λόγος Poisson
- Μέτρο Ελαστικότητας
- Μέτρο Διάτμησης
- Πάχος του αφρού

Οι περισσότερες παράμετροι δεν δείχνουν να επηρεάζουν σημαντικά το μοντέλο ή όταν το κάνουν, αυτό αφορά κυρίως τις μεγάλες ιδιοσυχνότητες. Έπειτα εξετάσθηκε η πιθανότητα η μάζα στα καπάκια να είναι μεγαλύτερη από ότι έχει ορισθεί στο ANSYS, λόγω παραπάνω υλικού της μήτρας αλλά και από την βαφή (λούστρο).

Με τα νέα δεδομένα οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων μειώθηκαν ως εξής:

	T(1,1)	B(1,1)	B(1,2)	T(2,1)	B(2,1)
Old	248.8	303.9	473.6	502.1	521.5
Compensated	238.8	284.3	442.0	475.4	491.0
Difference	10.0	19.6	31.6	26.7	30.5

Από τα νέα δεδομένα φαίνεται ότι και πάλι οι διαφορές μεταξύ του αναλυτικού μοντέλου και των πειραματικών ευρημάτων παραμένει μεγάλη. Άλλοι παράγοντες που δεν έχουν εξετασθεί είναι:

- η χρήση solid στοιχείων σε μοντέλα που τα shell στοιχεία είναι καταλληλότερα

- η επίδραση του μπράτσου. Δηλαδή ενώ στο πείραμα η κιθάρα αναρτάται από την οροφή για την εξαγωγή του πειράματος, στο μοντέλο στο Ansys παρουσιάζεται μόνο το σώμα.

8. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΣΤΟ ANSYS-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

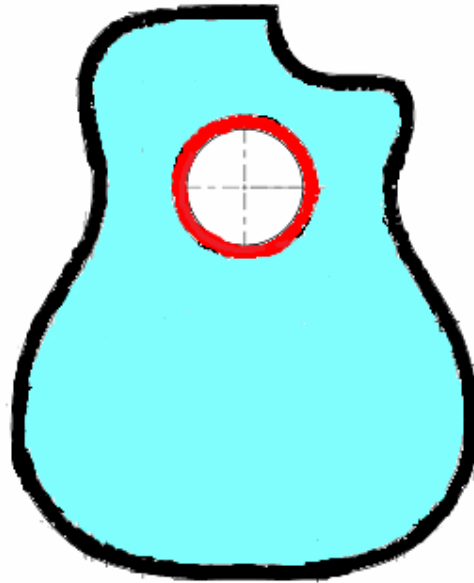
Αρχικά επιχειρήθηκε η κατασκευή ενός μοντέλου στο πρόγραμμα Creo το οποίο κατόπιν θα μετατρεπόταν σε αρχείο τύπου IGES ώστε να εισαχθεί στο ANSYS. Όμως η εισαγωγή του αρχείου στο ANSYS απεδείχθει προβληματική καθώς το πρόγραμμα δεν αναγνώριζε τις ξεχωριστές επιφάνειες και ειδικά το μπράτσο και την γέφυρα. Οπότε το μοντέλο σχεδιάσθηκε εξ ολοκλήρου στο ANSYS



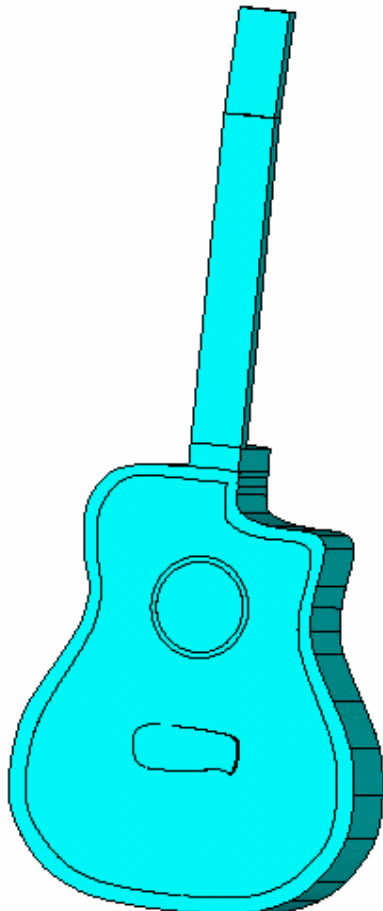
Εικόνα 75: μοντέλο στο Creo

Για την διερεύνηση της συμπεριφοράς του μοντέλου διαμορφώνουμε το γεωμετρικό μοντέλο στο ANSYS. Το μοντέλο ακολουθεί τις βασικές κατευθύνσεις που ορίζει ο S.M.P. (οι διαστάσεις δίνονται στο παράρτημα).

Εικόνα 76: οι Διαφορετικές στρώσεις στο καπάκι

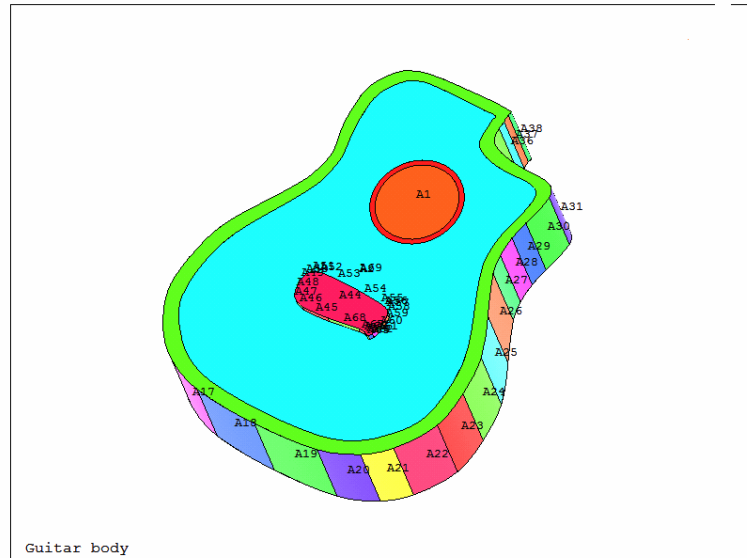


Εικόνα 77: Σώμα και μπράτσο στο ANSYS

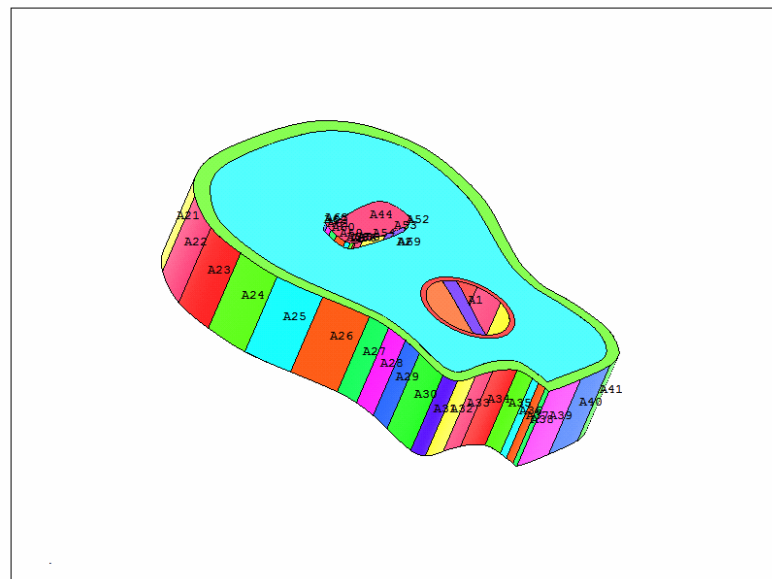


Στο καπάκι επομένως υπάρχουν τρεις διαφορετικού τύπου στρώσεις, γύρω από την οπή (κόκκινος δακτύλιος), στα άκρα (μαύρο περίγραμμα) και το κυρίως μέρος που περιέχει τον αφρό (γαλάζια επιφάνεια). Τα δεδομένα που αφορούν τις ιδιότητες των υλικών και εισήχθησαν στο ANSYS είναι παρόμοια με αυτά που έχουν δοθεί από τον Σ.Μ.Ρ. (βλ. σελ. 49)

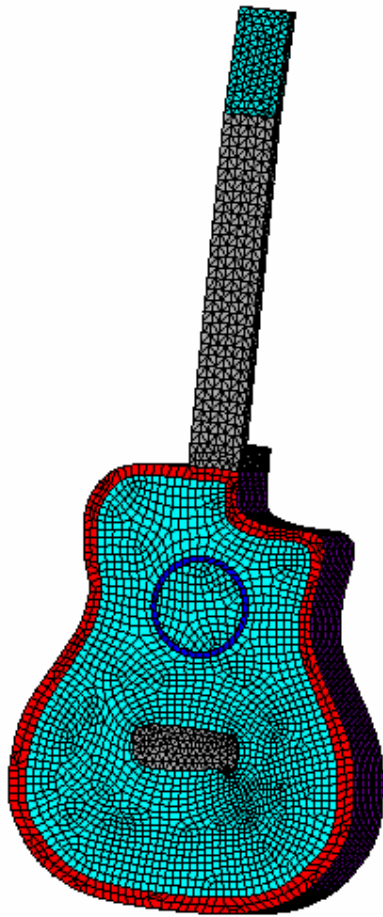
Εικόνα 78: Η διάφορες επιφάνειες το μοντέλου



Εικόνα 79: Διακρίνεται η οπή και το εσωτερικό του σώματος



Εικόνα 80: Υπολογισμός των πεπερασμένων στοιχείων

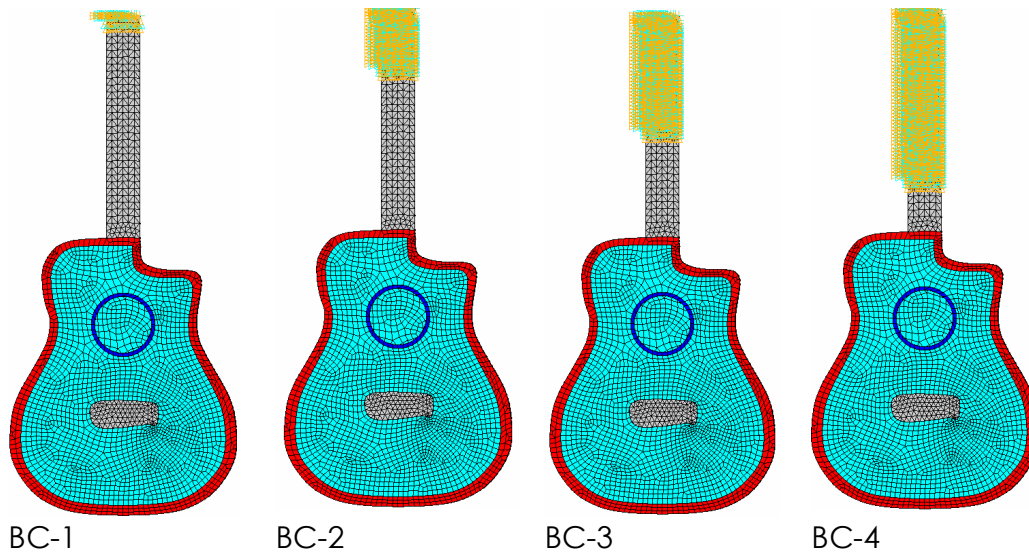


1

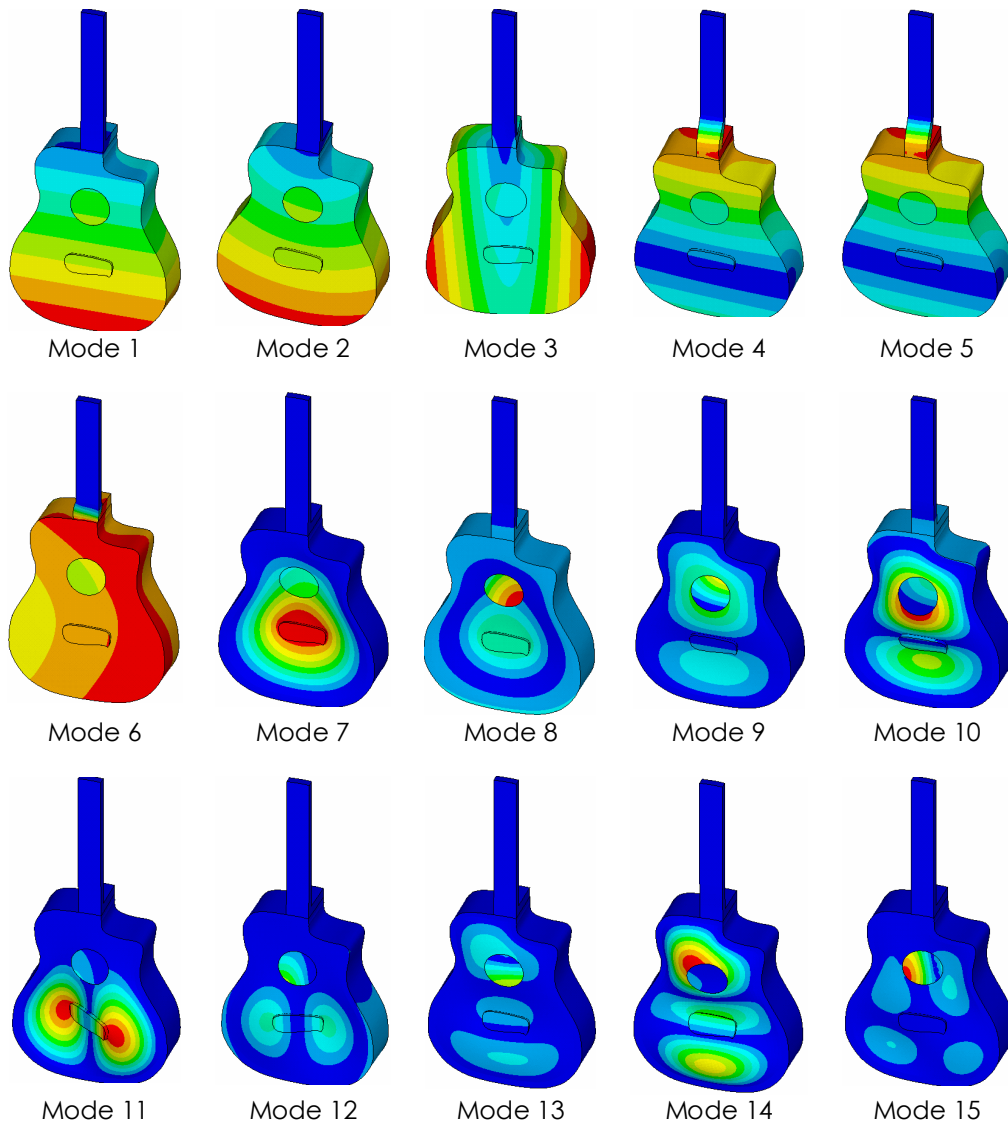
Για τη διακριτοποίηση σε αντίθεση με την εργασία αναφοράς, επιλεχθήκαν shell στοιχεία (και όχι solid), τα shell181. Μετά την διακριτοποίηση το ζητούμενο ήταν ο προσδιορισμός των Συνοριακών Συνθηκών (ΣΣ). Θυμίζουμε ότι στο πείραμα ο S.M.P. ανήρτησε την κιθάρα από την οροφή. Προκειμένου να προσομοιωθεί το πείραμα στο ANSYS, εισήχθη στο πρόγραμμα η παράμετρος της βαρύτητας και εφαρμόσθηκαν ΣΣ στο μπράτσο.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η εκτέλεση του προγράμματος ανέδειξε λεπτομέρειες οι οποίες δεν είχαν παρατηρηθεί στην εργασία αναφοράς. Στο πείραμα της εργασίας αναφοράς η κιθάρα είναι «κρεμασμένη» από το λαιμό και ελεύθερη για μετατόπιση και περιστροφή. Στα αποτελέσματα εμφανίζονται ιδιοσυχνότητες στις οποίες η κιθάρα λειτουργεί ως εκκρεμές. Αυτό είναι πιο φανερό από τα γραφήματα των ιδιομορφών στα οποία η κιθάρα φαίνεται να στρέφεται από το σημείο στήριξης. Για το λόγο αυτό εφαρμόστηκαν 4 διαφορετικά σενάρια ΣΣ, με μοναδική μεταβλητή παράμετρο το μέρος το μήκους του μπράτσου το οποίο πακτώνεται.



Εικόνα 81: εφαρμογή διαφορετικών συνθηκών



Εικόνα 82: ιδιομορφές

Στο παραπάνω πίνακα απεικονίζονται οι ιδιομορφές για τις ΣΣ BC-4. Όπως βλέπουμε στο πίνακα στις ιδιομορφές από 1-6, το σώμα στρέφεται γύρω από το σημείο στήριξης. Εκτός από την ιδιομορφή 3, όπου η κιθάρα φαίνεται να στρέφεται γύρω από το κατακόρυφο άξονα, στις υπόλοιπες ιδιομορφές φαίνεται το δοκίμιο να στρέφεται σε άξονα παράλληλο με το επίπεδο που ορίζει το καπάκι. Αυτό σημαίνει ότι η μετατόπιση της κιθάρας πραγματοποιείται σε άξονα κάθετο στο καπάκι. Καθόλου τυχαία στο πείραμα αναφοράς, η διέγερση (δηλαδή το ηχείο) βρίσκεται απέναντι από την επιφάνεια στην επιφάνεια, ενώ η ακτίνα του LASER είναι επίσης κάθετη στο καπάκι. Σε κάθε περίπτωση η στροφή του δοκιμίου μειώνει την ακρίβεια των πειραματικών μετρήσεων.

Από την ιδιομορφή 7 το μπράτσο σταματά να διεγείρεται έντονα και υπερτερούν οι ταλαντώσεις στο σώμα.

Ακολουθούν οι πίνακες των τιμών ιδιοσυχνοτήτων για τις Συνοριακές Συνθήκες BC-4 και BC-1:

	TIME/FREQ	LOAD		CUMULATIVE
		STEP	SUBSTEP	
1	2.3091	1	1	1
2	4.794	1	2	2
3	8.6941	1	3	3
4	65.138	1	4	4
5	87.087	1	5	5
6	103.43	1	6	6
7	231.37	1	7	7
8	286.55	1	8	8
9	416.28	1	9	9
10	448.89	1	10	10
11	463.87	1	11	11
12	502.12	1	12	12
13	580.29	1	13	13
14	606.42	1	14	14
15	656.75	1	15	15

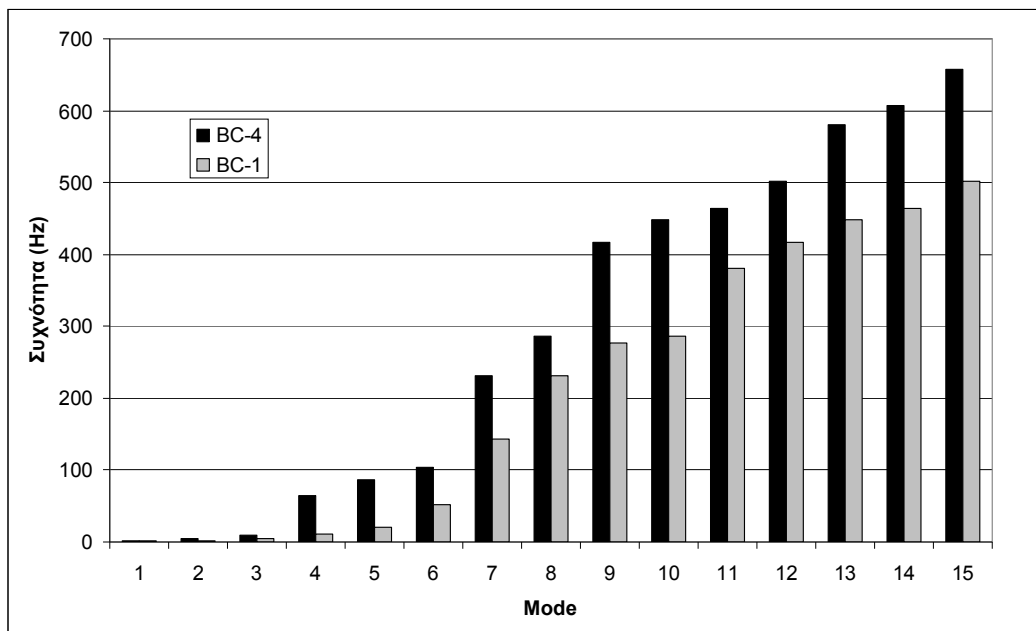
Εικόνα 83: BC-1 Σ.Σ

	TIME/FREQ	LOAD		CUMULATIVE
		STEP	SUBSTEP	
1	0.80233	1	1	1
2	1.7401	1	2	2
3	3.9924	1	3	3
4	10.817	1	4	4
5	20.736	1	5	5
6	52.492	1	6	6

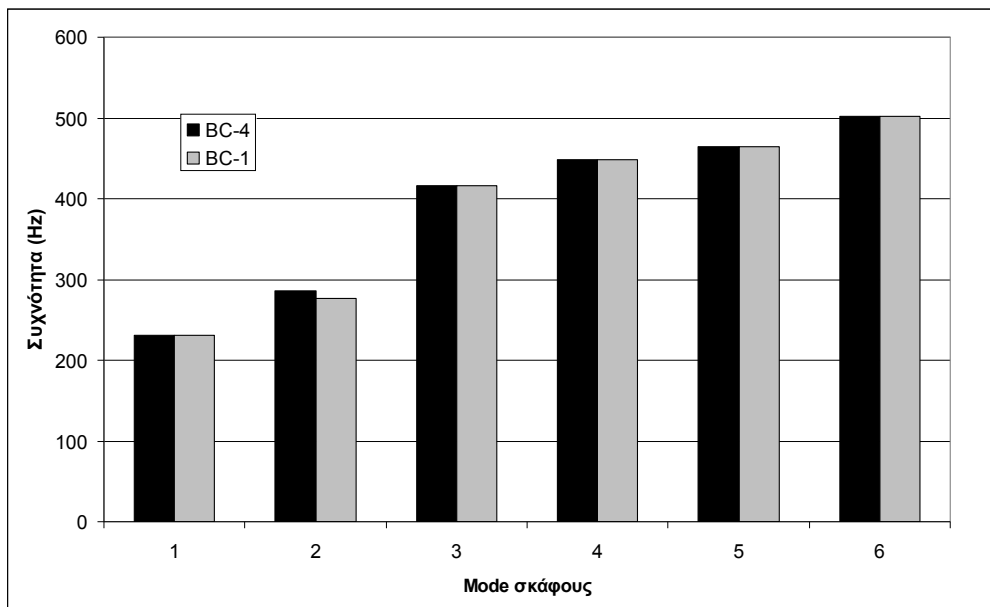
7	143.65	1	7	7
8	231.34	1	8	8
9	276.57	1	9	9
10	286.11	1	10	10
11	380.08	1	11	11
12	416.31	1	12	12
13	448.62	1	13	13
14	463.85	1	14	14
15	502.02	1	15	15

Εικόνα 84: BC-4 Σ.Σ.

Παρατηρούμε ότι η ιδιομορφή 7 στις ΣΣ BC-4, έχει παρόμοια τιμή με την ιδιομορφή 8 στις ΣΣ BC-1. Όμοια η ιδιομορφή 8 στις ΣΣ BC-4 βρίσκεται κοντά ή είναι παρόμοια με τις ιδιομορφές 9 και 10 στις ΣΣ BC-1. Με εξαίρεση την ιδιομορφή 11 στις ΣΣ BC-1 που δεν δείχνει να αντιστοιχεί σε κάποια τιμή στις ΣΣ BC-4 παρατηρείται μια αντιστοιχία στις τιμές των ιδιοσυχνοτήτων. Η ιδιομορφή 11 η οποία παρουσιάζεται μόνο στην μία περίπτωση ΣΣ δεν ένα ασυνήθιστο φαινόμενο, καθώς σε πολύπλοκης γεωμετρίας μοντέλα τα οποία παρουσιάζουν πλήθος ιδιοσυχνοτήτων, οι οποίες να βρίσκονται κοντά η μία με την άλλη πολλές φορές ο εντοπισμός τους υπερβαίνει την ακρίβεια των πειραματικών διατάξεων, είτε των υπολογιστικών μοντέλων [46]. Οι υπόλοιπες ιδιοσυχνότητες έχουν παρόμοιες τιμές αλλά εμφανίζονται σε διαφορετική τάξη. Αυτή η διαπίστωση είναι φανερή στα διαγράμματα που ακολουθούν:



Εικόνα 85: σύγκριση των διαφορετικών αποτελεσμάτων για τις Σ.Σ.



Εικόνα 86: σύγκριση αποτελεσμάτων για διαφορετικές Σ.Σ. μόνο για το σκάφος

Συμπεράσματα

Θεωρώντας την ιδιοσυχνότητα 7 ως την πρώτη στην οποία το σώμα ταλαντώνεται χωρίς η κιθάρα να στρέφεται γύρω από το σημείο στήριξης παρατηρούμε ότι η τιμή της, 231 Hz, είναι χαμηλότερη από αυτή που παραθέτει ο S.M.P. (248 Hz, βλ. σελ 58). Η μελέτη έδειξε ότι η παρουσία του μπράτσου δεν δείχνει να επηρεάζει την τιμή των ιδιοσυχνοτήτων που χαρακτηρίζουν το σώμα, ακόμα και όταν αλλάζουν οι ΣΣ.

Η βελτίωση πιθανότερα οφείλεται στην χρήση shell στοιχείων αντί των solids που χρησιμοποίησε ο S.M.P. Η παρούσα εργασία αποδεικνύει ότι η σωστή διακριτοποίηση του δοκιμίου και η χρήση των κατάλληλων εργαλείων μπορεί να υπερκεράσει τις όποιες αναντιστοιχίες στην γεωμετρία του μοντέλου σε σχέση με το πραγματικό.

Αν και τα μοντέλο είναι βελτιωμένο σε σχέση με αυτό της εργασίας αναφοράς, υπάρχει ακόμα απόσταση μεταξύ των πειραματικών και υπολογιστικών αποτελεσμάτων.

Αυτό μπορεί να οφείλεται:

- σε ατέλειες του μοντέλου στο ANSYS
- σε ανεπιθύμητες μετατοπίσεις/στροφές του δοκιμίου στην πειραματική διαδικασία με αποτέλεσμα τα πειραματικά δεδομένα να μην είναι τόσο ακριβή και να μην αποδίδουν την πραγματική συμπεριφορά της κιθάρας.
- Οι ανοχές στην κατασκευή της κιθάρας από σύνθετα (πραγματικές διαστάσεις, πυκνότητα ινών στο σύνθετο, μηχανική συμπεριφορά των συγκεκριμένων ξύλινων τμημάτων όπως, της

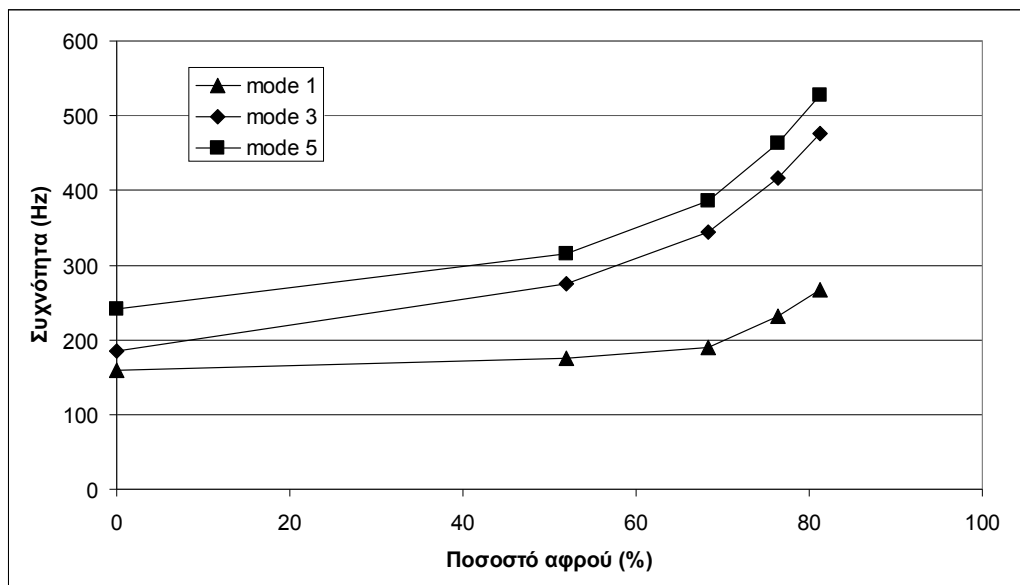
γέφυρας και του μπράτσου) είναι τέτοιες ώστε να επηρεάζουν σημαντικά τις μετρήσεις

- Στην έλλειψη της επίδρασης του αέρα στο μοντέλο στο ANSYS, οποίος προκαλεί μέσω του φαινομένου Helmholtz επιπλέον διεγέρσεις στις χαμηλές συχνότητες γύρω στα 100 Hz.

Διερεύνηση της μεταβολής της συμπεριφοράς της κιθάρας με την μεταβολή του πάχους του αφρού.

Προκειμένου να επιτευχθεί σύγκλιση τιμών μεταξύ πειραματικών μετρήσεων και αποτελεσμάτων του ANSYS επιχειρείται η εξακρίβωση των όποιων μεταβολών επιφέρει η αλλαγή του πάχους του αφρού για τρεις ιδιοσυχνότητες. Συγκεκριμένα μεταβλήθηκε το πάχος της στρώσης του αφρού από 0 έως 4.44 mm (το αρχικό πάχος ήταν 3.33 mm). Για κάθε πάχος υπολογίστηκε η κατ' όγκο αναλογία του αφρού (το πάχος του σύνθετου παραμένει σταθερό σε περίπου 1 mm).

Το διάγραμμα που ακολουθεί παρουσιάζει τις ιδιοσυχνότητες 1, 3 και 5 για διάφορα ποσοστά αφρού. Όπως αναμενόταν, η αύξηση του ποσοστού του αφρού αυξάνει τις ιδιοσυχνότητες (μικρή αύξηση της μάζας αλλά σημαντική αύξηση της δυσκαμψίας). Η αύξηση αυτή είναι πολύ σημαντική για ποσοστό αφρού πάνω από 70%.



Ακολουθούν πίνακες με τις μεταβολές των ιδιοσυχνοτήτων σε σχέση με το πάχος του αφρού (f):

f=0.001 mm

SET	TIME/FREQ	LOAD	STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	2.4065	1	1	1	
2	5.0271	1	2	2	
3	9.0500	1	3	3	
4	66.566	1	4	4	
5	87.310	1	5	5	
6	91.658	1	6	6	
7	105.04	1	7	7	
8	109.53	1	8	8	
9	159.04	1	9	9	
10	171.39	1	10	10	
11	185.60	1	11	11	
12	199.67	1	12	12	
13	240.81	1	13	13	
14	266.43	1	14	14	
15	295.23	1	15	15	

f=1.11 mm

SET	TIME/FREQ	LOAD	STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	2.3700	1	1	1	
2	4.8903	1	2	2	
3	8.9222	1	3	3	
4	65.952	1	4	4	
5	87.851	1	5	5	
6	105.43	1	6	6	
7	139.41	1	7	7	
8	174.59	1	8	8	
9	256.48	1	9	9	
10	275.41	1	10	10	
11	289.19	1	11	11	
12	315.79	1	12	12	
13	371.58	1	13	13	
14	386.14	1	14	14	
15	431.80	1	15	15	

f=2.22 mm

SET	TIME/FREQ	LOAD	STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	2.3391	1	1	1	
2	4.8428	1	2	2	
3	8.8061	1	3	3	
4	65.642	1	4	4	

5	87.531	1	5	5
6	104.45	1	6	6
7	189.93	1	7	7
8	235.30	1	8	8
9	345.01	1	9	9
10	370.12	1	10	10
11	386.10	1	11	11
12	418.86	1	12	12
13	488.33	1	13	13
14	507.43	1	14	14
15	558.12	1	15	15

f=4.44 mm

SET	TIME/FREQ	LOAD	STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	2.2801	1	1	1	
2	4.7439	1	2	2	
3	8.5860	1	3	3	
4	64.556	1	4	4	
5	86.531	1	5	5	
6	102.39	1	6	6	
7	266.87	1	7	7	
8	331.30	1	8	8	
9	475.88	1	9	9	
10	515.97	1	10	10	
11	528.84	1	11	11	
12	571.68	1	12	12	
13	656.13	1	13	13	
14	689.13	1	14	14	
15	736.65	1	15	15	

9. Επίλογος

Τα αποτελέσματα της εργασίας παρουσιάζουν ένα πλήθος χρήσιμων συμπερασμάτων που αφορούν, όχι μόνο τη κατασκευή ενός μοντέλου κιθάρας στον υπολογιστή αλλά και στις μεθόδους για την πραγματοποίηση πειραμάτων.

- Η χρήση των σωστών στοιχείων σε κάθε εφαρμογή είναι πρωτεύουσας σημασίας. Η χρήση τρισδιάστατων (solid) στοιχείων σε μοντέλα που απαιτούν διδιάστατα (shell), μπορεί να οδηγήσει σε αποτελέσματα με μεγάλη απόκλιση από τις πειραματικές τιμές.
- Η ανάλυση στο ANSYS έδειξε ότι η προσθήκη του μπράτσου δεν είναι απολύτως απαραίτητη για την κατανόηση της συμπεριφοράς του σώματος. Αυτή η διαπίστωση έχει παρατηρηθεί και σε άλλες περιπτώσεις, αλλά αφορούσε διαφορετικού τύπου πειραματικές διαδικασίες [38].
- Σε κάθε περίπτωση η εφαρμογή των Συνοριακών Συνθηκών να μην αλλάζει το αριθμό των ιδιοσυχνοτήτων που χαρακτηρίζουν την κιθάρα σαν ενιαίο σώμα, ειδικά σε συχνότητες μέχρι 100 Hz, αλλά δεν δείχνει να επηρεάζει τις τιμές των ιδιοσυχνοτήτων στις οποίες το σώμα διεγείρεται.
- Η προσπάθεια πιστότερης προσομοίωσης στον υπολογιστή των συνθηκών του πειράματος που υιοθέτησε ο S.M.P. ανέδειξε και κάποιες αδυναμίες της συγκεκριμένης πειραματικής διάταξης. Η στροφή/ μετατόπιση του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος, πιθανότατα επηρεάζει την συσκευή Laser στην αποτύπωση της διέγερσης της κιθάρας. Μια λύση στο πρόβλημα αυτό και για να μηδενισθεί η όποια πιθανότητα λανθασμένων εκτιμήσεων για την συμπεριφορά της κιθάρας, θα ήταν η υιοθέτηση της τεχνικής του Moon [43], δηλαδή της χρήσης πιεζοηλεκτρικών στοιχείων αν όχι για την διέγερση του σώματος, τουλάχιστον για την αποτύπωση των τιμών των ιδιοσυχνοτήτων. Έτσι οι μετατοπίσεις/στροφές που προκαλεί το ηχείο-διεγέρτης στη κιθάρα δεν θα επηρεάζει την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.
- Το μοντέλο στο ANSYS παρουσίασε χαμηλότερες ιδιοσυχνότητες από ότι το αντίστοιχο της εργασίας αναφοράς. Παρόλα αυτά η απόσταση σε σχέση με τις πειραματικές τιμές παραμένει σημαντική. Με δεδομένο ότι η συμπεριφορά του μοντέλου στην αύξηση του πάχους του αφρού στα καπάκια είναι προβλεπόμενη, θα πρέπει να αναζητηθούν άλλοι παράγοντες, στους οποίους οφείλεται ότι τα

πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζουν χαμηλότερες ιδιοσυχνότητες από ότι τα υπολογιστικά.

- Τα αποτελέσματα του πειράματος συμφωνούν με την βιβλιογραφία στο ότι σε χαμηλές συχνότητες το σώμα με το μπράτσο συμπεριφέρεται ενιαία, σαν δοκός. Σε περιοχές συχνοτήτων 100-300 Hz παρατηρείται συμφωνία στην συμπεριφορά των πειραματικών διατάξεων χαρακτηριστικά. Πάντα εμφανίζεται μια ιδιοσυχνότητα στην οποία τα δυο καπάκια βρίσκονται σε αντίθετη φάση και το σώμα φαίνεται σαν να αναπνέει τραβώντας τον αέρα στο εσωτερικό του όταν τα καπάκια αποκλίνουν μεταξύ τους. Στην δεύτερη, τα καπάκια είναι σε φάση χωρίς σημαντική συμβολή του αέρα του σκάφους και τέλος στην τρίτη, τα καπάκια είναι πάλι σε διαφορά φάσης αλλά ο αέρας εξέρχεται από το σώμα όταν τα καπάκια αποκλίνουν. Η απουσία στο υπολογιστικό μοντέλο του φαινομένου Helmholtz φαίνεται να έχει, αν όχι παραπάνω, τουλάχιστον ίδια βαρύτητα με την επίδραση του μπράτσου. Επομένως κρίνεται απαραίτητη η παραπέρα έρευνα για την εύρεση τρόπου ώστε η επίδραση του αέρα να συμπεριληφθεί στην κατασκευή του υπολογιστικού μοντέλου.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Α. ΣΧΕΔΙΑ ΚΙΘΑΡΑΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ (ΥΑΜΑΗΑ FG401)

156

Appendix A: Guitar Machine Drawings

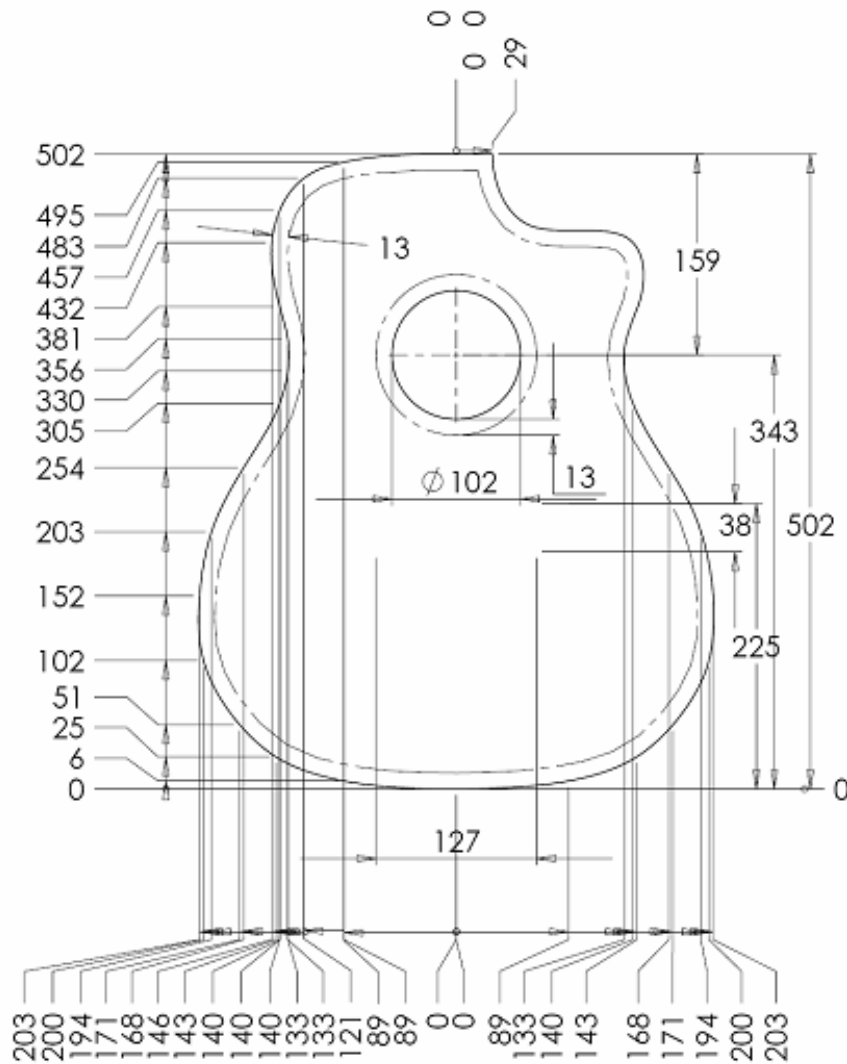


Figure A.1. Machine drawing of guitar top.

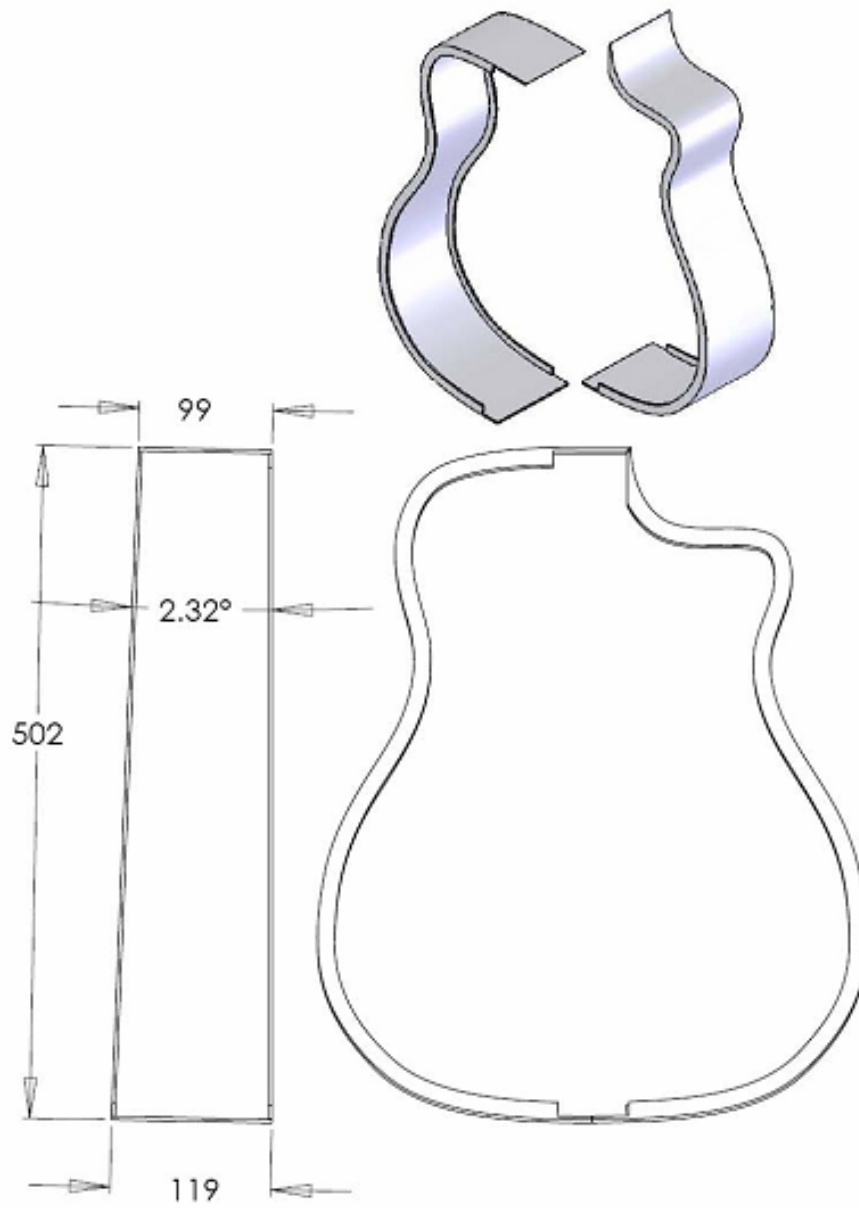


Figure A.2. Machine drawing of guitar sides.

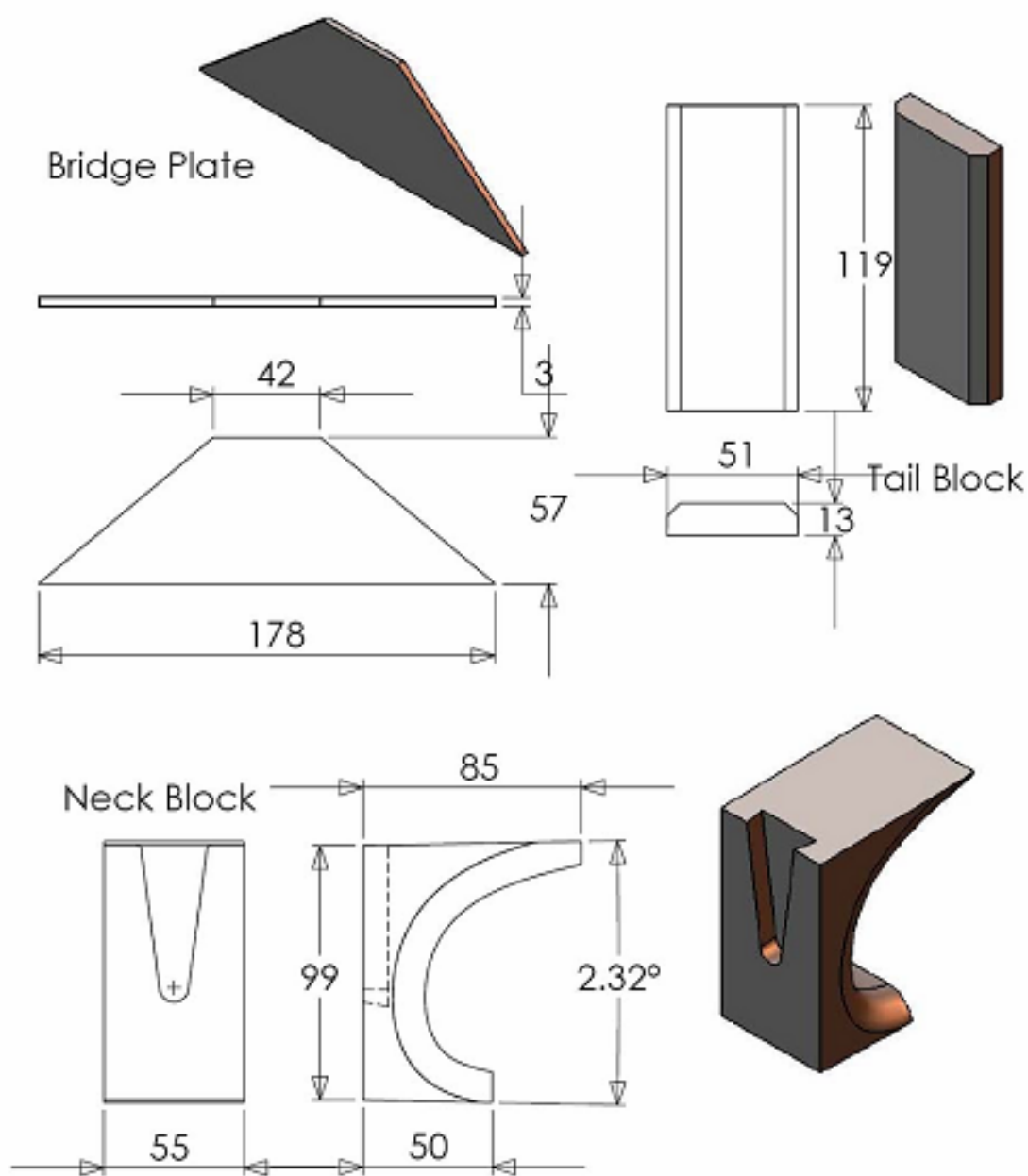


Figure A.4. Machine drawing of the bridge plate, tail block and neck block.

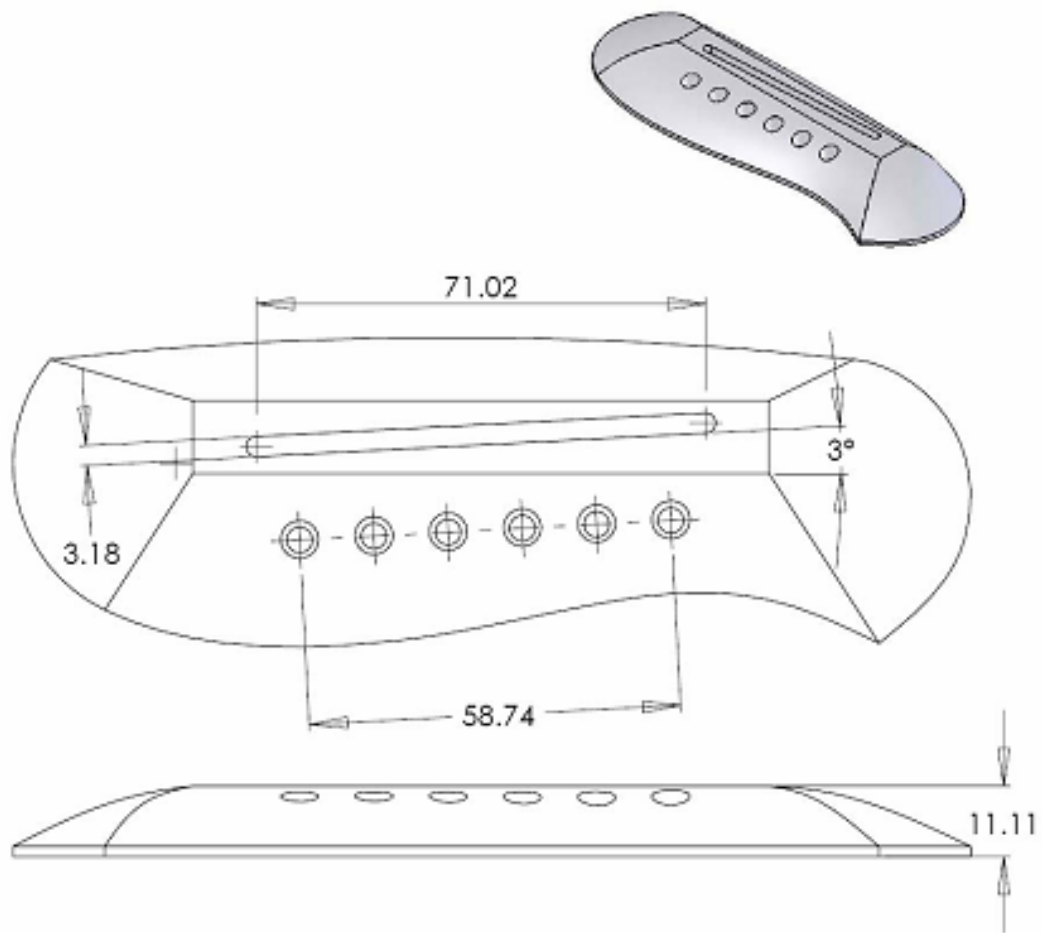


Figure A.5. Machine drawing of the bridge.

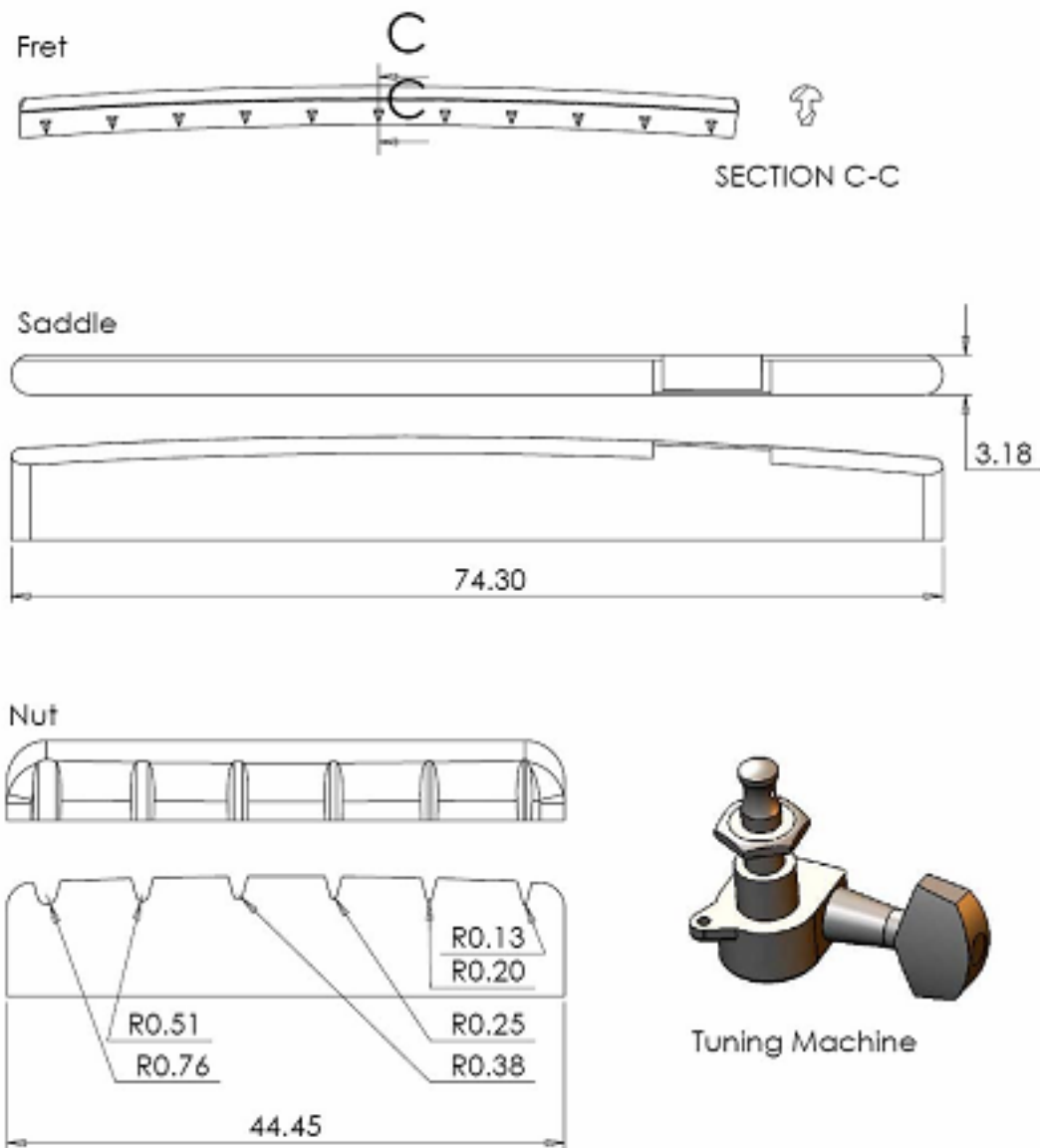


Figure A.7. Machine drawings of a fret, saddle, nut and tuning machine.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Σημειώσεις στο μάθημα οργανολογία Ι, Μυρτώ Κορκοκιου, ΤΕΙ Ιονίων νήσων – τμήμα τεχνολογίας ήχου & μουσικών οργάνων, 2012
- [2] <https://el.wikipedia.org/wiki/χορδόφωνο>
- [3] <https://en.wikipedia.org/wiki/Guitar>
- [4] <http://sites.psu.edu/wethepeople/2013/12/08/acoustic-guitars>
- [5] <http://www.guitarsbykb.com/>
- [6] <http://www.netinstruments.com/electric-guitars/electric-guitar/66-gibson-johnny-smith-original-case-superb-electric-guitar/image/37527.jpg/>
- [7] <http://www.chicagofretworks.com/2009/01/07/vintage-harmony-archtop-custom-pickup-mod/>
- [8] <http://www2.gibson.com/News-Lifestyle/Features/en-us/how-resonator-guitars-work-1218-2012.aspx>
- [9] <http://www.acousticguitarforum.com/forums/showthread/>
- [10] http://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρική_κιθάρα
- [11] <http://www.build-a-recording-studio.com/electric-guitar.html>
- [12] <https://reverb.com/news/jack-white-and-airline>
- [13] <http://greatguitarsound.blogspot.gr/2011/07/guitar-news-travis-bean-electric-guitar.html>
- [14] <http://www.vintagekramer.com/alum.html>
- [15] <http://dwyers.id.au/ant/guitars/gone/steinberger.htm>
- [16] <http://www.rhapsody.fr/steinberger-spirit-gtpro-deluxe-black-gtprobk1,6401.html>
- [17] https://en.wikipedia.org/wiki/Parker_Guitars
- [18] <http://forums.parkerguitars.com/index.php?topic=1186.0>
- [19] <http://www.musicradar.com/reviews/guitars/parker-fly-deluxe-288505>
- [20] <http://www.rainsong.com/index.html>
- [21] <http://www.physicscentral.com/explore/people/decker.cfm>
- [22] <https://www.blackbirdguitar.com/>
- [23] <http://www.besportier.com/archives/blackbird-rider-guitar.html>
- [24] <https://reverb.com/news/the-great-american-roundback-a-tribute-to-ovation>
- [25] Hugh Young, Πανεπιστημιακή Φυσική τόμος Α, εκδόσεις Παπαζήση, 1994
- [26] Δημήτρης Σκαρλάτος, Εφαρμοσμένη ακουστική, εκδόσεις Φιλομάθεια, 2003
- [27] Χάρης Τριανταφυλλίδης, Μελέτη του τρόπου που επιδρά το καπάκι στον ήχο ενός εγχόρδου μουσικού οργάνου : το ούτι, 2005
- [28] Στεφ. Α. Παϊπέτης Δημοσθ. Κ. Πολύζος, Ταλαντώσεις και Κύματα, Εκδόσεις Ίων, 2003)
- [29] Ryan O'Neill, Michael Reilly, Michael Wu, Helmholtz Resonators

- [30] Dries Standaert, **Assignment Music and Mathematics, Guitar Acoustics**
- [31] Παπαδόπουλος Ι., **Μέθοδοι απεικόνισης υπερήχων**
- [32] Jesús Alejandro Torres, Ricardo R. Boullosa, **Influence of the bridge on the vibrations of the top plate of a classical guitar, 2009**
- [33] Jamie Darken, **GOOD VIBRATIONS: PHYSICS OF THE ACOUSTIC GUITAR**
- [34] Thomas D. Rossing (editor), **The science of string instruments, Springer, 2010**
- [35] <http://www.reynoldsguitars.com/images/torresbracing.jpg>
- [36] <http://theunofficialmartinguitarforum.yuku.com/topic/94064/Golden-Era-bracing>
- [37] Helmut Fleischer, **Dead Spots of electric guitar and basses, 1999**
- [38] Meinel, E. and Jansson, E. V, **On the influence of the neck on the guitar body vibrations, 1991**
- [39] Ra Infa, **The acoustics of the steel string guitar, September 2007**
- [40] <http://www.daddario.com/dastringtensionguide.page?sid=62b42310-1713-4d38-930e-4c3b7efaf84d>
- [41] Erik Jansson, **Acoustics for violin and guitar makers, KTH Royal Institute of Technology, 2002**
- [42] <http://www.frets.com/FretsPages/Musician/Strings/Strings/strings01.html>
- [43] **Eric W. Moon, Vibrational Analysis of Guitar Bodies, Department of Physics, University of Illinois**
- [44] http://www.premierguitar.com/articles/Blueridge_BG_2500_Super_Jumbo_Acoustic_Guitar_Review
- [45] **Rossing Thomas D, "The Science of Sound", Addison Wesley, 1990.**
- [46] **Stephen M. Probert, Design, Manufacture and Analysis of a Carbon Fiber Epoxy Composite Acoustic Guitar, University of Washington, 2007**