ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΜΕΣΟΓΕΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΟΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ
Τμήμα Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής



Σχεδιασμός τζουρά και ανάλυση ιδιοσυχνοτήτων με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων

Αθανάσιος Σκουτέλης
Γεώργιος Σκουτέλης

Επιβλέποντες καθηγητές
Δρ. Δημητρίου Βασίλης, Καθηγητής
Δρ. Κασελούρης Ευάγγελος, Επίκουρος Καθηγητής

ΡΕΘΥΜΝΟ 2024

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την παρούσα πτυχιακή εργασία, θέλουμε να ευχαριστήσουμε ιδιαιτέρως τους γονείς μας για την ενθάρρυνση και την ηθική συμπαράσταση τους. Θέλουμε επίσης να ευχαριστήσουμε τους καθηγητές που επέβλεψαν την πτυχιακή εργασία μας πιο συγκεκριμένα: τον Δρ. Ευάγγελο Κασελούρη και τον Δρ. Βασίλη Δημητρίου για την βοήθεια που μας πρόσφεραν καθώς και τον Δρ. Ιωάννη Ορφανό μέλος της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής. Ακόμα θέλουμε να ευχαριστήσουμε τον φοιτητή Ορέστη Μιχαηλίδη για όλες τις απαντήσεις που μας έδωσε σε όσες απορίες είχαμε πουαφορούσαν την κατασκευή του μουσικού οργάνου του τζουρά.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 4

ABSTRACT 5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο Έγχορδα μουσικά όργανα-Τζουράς.....6

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....6

1.1 Ιστορική αναδρομή του τζουρά 6

1.2 Μέρη του τζουρά.....7

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο Φυσική των έγχορδων μουσικών οργάνων 9

2.1 Συντονισμοί και τρόποι ταλάντωσης.....9

2.2 Κοιλότητες (Helmholtz).....10

2.3 Τα έγχορδα ως σύστημα παραγωγής ήχου.....11

2.4Τρόποι δόνησης.....12

2.5 Ξύλο (φυσικό σύνθετο).....13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο Μετρήσεις γεωμετρικών χαρακτηριστικών του Τζουρά.....16

3.1 Εισαγωγή.....16

3.2 Όργανα Μετρήσεων του τζουρά 16

3.3 Βήματα μέτρησης διαστάσεων του τζουρά 17

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο Δημιουργία της γεωμετρίας του τζουρά στο Autodesk Inventor.....21

4.1 Εισαγωγή στο Autodesk Inventor.....21

4.2 Βήματα Κατασκευής της γεωμετρίας.....21

4.3 ASSEMBLY – βήματα ένωσης μερών του τζουρά.....50

4.4 Ιδιότητες Υλικών Τζουρά.....55

4.4.1 Μηχανικές Ιδιότητες Υλικού.....55

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο Προσομοιώσεις Δονήσεων Τζουρά.....57

5.1 Εισαγωγή.....57

5.2 Βήματα Υλοποίησης Προσομοιώσεων στο Inventor.....57

5.3 Αποτελέσματα προσομοιώσεων.....61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο Συμπεράσματα.....64

Βιβλιογραφία.....65

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο τη σχεδιομελέτη και την ανάλυση της δονητικής συμπεριφοράς τζουρά μέσω υπολογιστικής μοντελοποίησης και προσομοιώσεων.

Στο ***πρώτο κεφάλαιο*** της εργασίας παρουσιάζεται μια ιστορική αναδρομή της εξέλιξης του τζουρά. Οι μουσικοί που παίζουν τζουρά τον χρησιμοποιούν για να δώσουν ρυθμό και χρώμα στη μουσική, καθώς ο τρόπος παιξίματος τους μπορεί να είναι πολύ εκφραστικός. Οι ρίζες του τζουρά μπορούν να βρεθούν ιστορικάστην αρχαία Ελλάδα. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά όπως το μέγεθος, το σχήμα, το πάχος, καθώς και οι ιδιότητες του υλικού όπως ελαστικότητα και πυκνότητα, επηρεάζουν τον ήχο. Στο ***δεύτερο κεφάλαιο*** παρουσιάζονται οι βασικές αρχές φυσικής και μαθηματικών, που διέπουν ταέγχορδα μουσικά όργανακαι τη δονητική και ακουστική τους συμπεριφορά. Στο ***τρίτο κεφάλαιο***παρουσιάζονται οι μετρήσεις των γεωμετρικών χαρακτηριστικών που πραγματοποιήθηκαν στον υπό μελέτη τζουράώστε να δημιουργηθεί η γεωμετρία του σε ψηφιακή μορφή. Στο ***τέταρτο κεφάλαιο,*** βάση των πειραματικών μετρήσεων του τρίτου κεφαλαίου, σχεδιάζεται η γεωμετρία του μουσικού οργάνου στην Educational έκδοση του προγράμματος Inventor της Autodesk. Στο ***πέμπτο κεφάλαιο*** πραγματοποιούνται προσομοιώσεις δονητικής ανάλυσης ιδιοσυχνοτήτων του τζουρά στον υπολογιστή, μέσω του επιλύτη του AutodeskInventor, για διαφορετικάπάχητου καπακιού, καθώς και επιπλέον για το πλήρεςόργανο (εκτός από τάστα, καράουλο, κλειδιά). Τέλος στο **έκτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα της πτυχιακής εργασίας.

ABSTRACT

The subject of the thesis is the design and analysis of the vibrational behavior of a tzouras through computational modeling and numerical simulations.

In the first chapter of the work, a historical review of the evolution of tzouras is presented. Musicians who play tzouras use it to add rhythm and color to the music, as their playing style can be very expressive. Tzoura's roots can be traced back to ancient Greece. Geometrical characteristics such as size, shape, thickness, as well as material properties such as elasticity and density, affect sound. In the second chapter, the basic principles of physics and mathematics, which govern the stringed musical instruments and their vibrational and acoustic behaviorare presented. The third chapter presents the measurements of the geometrical characteristics of the musical instrument to create its geometry in digital form. In the fourth chapter, based on the experimental measurements of the third chapter, the geometry of the musical instrument is designed in the educational version of Autodesk Inventor. In the fifth chapter, simulations of vibration analysis of eigenfrequencies of the Computer Aided Design (CAD) of the instrument are carried out in Autodesk Inventor, for different soundboard thickness and for the assembly of the instrument. Finally, in the sixth chapter, the main conclusions of the thesis are presented.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. Έγχορδα μουσικά όργανα -Τζουράς

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επικεντρώνεται στον σχεδιασμό ολόκληρου του παραδοσιακού έγχορδου τζουρά.Στη συνέχεια πραγματοποιείται ανάλυση ιδιοσυχνοτήτων με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων. Ο τζουράς αποτελεί ένα μουσικό όργανο που έχει σημαντικό ρόλο στην παραδοσιακή μουσική. Η ακουστική απόδοση του οργάνου, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το καπάκι του. Έτσι λοιπόν, πρόκειται να πραγματοποιηθεί μία λεπτομερής ανάλυση του σχεδιασμού του καπακιού τζουρά και έπειτα θα ακολουθήσει ο σχεδιασμός των υπόλοιπων μερών. Οι παράμετροι επιτρέπουν την προσαρμογή του καπακιού σε διάφορες παραλλαγές που αφορούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του οργάνου, όπως το υλικό κατασκευής, οι διαστάσεις του οργάνου και οι γεωμετρικές λεπτομέρειες των εξωτερικών επιφανειών, με στόχο τη βελτιστοποίηση του ακουστότητας του οργάνου.Μέσω αυτών των συνδυασμών που αφορούν τον παραμετρικό σχεδιασμό και την ανάλυση ιδιοσυχνοτήτων, οι κατασκευαστές μουσικών οργάνων μπορούν να αποκτήσουν μια εμπεριστατωμένη προσέγγιση για τον σχεδιασμό, την ανάπτυξη και την κατασκευή μουσικών οργάνων, έχοντας ως αποτέλεσμα την βελτίωση της ποιότητας του παραγόμενου ήχου.

1.1 Ιστορική αναδρομή του τζουρά

Ο τζουράς αποτελεί ένα παραδοσιακό μουσικό όργανο το οποίο ανήκει στην οικογένεια των ταμπουράδων. Αν και η φήμη του είναι λιγότερο γνωστή από αυτή του μπαγλαμά ή του μπουζουκιού, ο τζουράς παρουσιάζει μια πλούσια ιστορική παράδοση στην ελληνική μουσική. Ως έγχορδο μουσικό όργανο, ο τζουράς έχει τρεις κύριες παραλλαγές: τον τζουρά, τον τζουράκι και τον τζουραμά. Και οι τρεις τύποι τζουρά παίζονται με τον ίδιο τρόπο, αλλά έχουν μικρές διαφορές στο μέγεθος και τη μορφή στην εκάστοτε παραλλαγή. Ο τζουράς είναι ο μεγαλύτερος από αυτούς και παρουσιάζει μεγαλύτερο ηχητικό όγκο θα λέγαμε. Το τζουράκι είναι μικρότερο και πιο κομψό στην μορφή του, ενώ ο τζουραμάς είναι ακόμα μικρότερος στο μέγεθος του και χρησιμοποιείται συνήθως ως όργανο συνοδείας [1].



Εικόνα 1.1Τζουράς [2]

Στην ελληνική παραδοσιακή μουσική, ο τζουράς, χρησιμοποιείται σε πολλά είδη μουσικής, όπως το ρεμπέτικο, το λαϊκό και το δημοτικό τραγούδι. Είναι συχνό, οι μουσικοί που παίζουν τζουρά να τον χρησιμοποιούν για να δώσουν ρυθμό και χρώμα στη μουσική, καθώς ο τρόπος παιξίματος τους μπορεί να είναι πολύ εκφραστικός.Οι ρίζες του τζουρά μπορούν να βρεθούν ιστορικά, πίσω στην αρχαία Ελλάδα, όπου η χρήση του ως όργανο αποτελούσε σημαντικό ρόλο στις μουσικές συνοδείες και θρησκευτικά τελετουργικά της εποχής εκείνης [2]. Στον 20ό αιώνα, ο τζουράς απέκτησε μεγαλύτερη φήμη στον ρεμπέτικο κόσμο, και από τότε αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της ελληνικής μουσικής κουλτούρας. Η οικογένεια των μουσικών οργάνων στην οποία εντάσσεται ο τζουράς έχει εξελιχθεί και προσαρμοστεί αρκετά στις ανάγκες της μουσικής εκτέλεσης μέσα στην πορεία του χρόνου.

Ο τζουράς έχει ρίζες στην αρχαία Ελλάδα, όπου χρησιμοποιούνταν ως ένα από τα πρώτα μουσικά όργανα για την απόδοση μουσικής και θρησκευτικών τελετουργιών. Η

εξέλιξη του οργάνου συνέβη κατά τη διάρκεια των αιώνων, και ο τζουράς προσαρμόστηκε στις ανάγκες της ελληνικής παραδοσιακής μουσικής. Κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα, ο τζουράς έγινε πιο δημοφιλής, ειδικά στον πειραιώτικο υπόκοσμο, όπου αναπτύχθηκε το ρεμπέτικο τραγούδι. Σε αυτό το μουσικό είδος, ο τζουράς προσέφερε τον χαρακτηριστικό ήχο και τον ρυθμό που απαιτούνταν για τις συνοδείες των ρεμπέτικων τραγουδιών. Με κομμάτια όπως το "Το Μινόρε της Αυγής," ο τζουράς έγινε σύμβολο του αντισυμβατικού πνεύματος των ρεμπέτηδων. Κατά τη δεκαετία του 20, ο τζουράς εξελίχθηκε περαιτέρω με την είσοδο του στο λαϊκό τραγούδι. Σε συνδυασμό με άλλα μουσικά όργανα όπως το μπουζούκι, τον ακορντεόν, και τον κλαρίνο, ο τζουράς συνέβαλε στη δημιουργία μιας πλούσιας μουσικής παράδοσης που αντικατοπτρίζει την ποικιλομορφία και την πλούσια κουλτούρα της Ελλάδας. Σήμερα, ο τζουράς συνεχίζει να έχει έναν σημαντικό ρόλο στην ελληνική μουσική σκηνή. Με την πάροδο του χρόνου, έχει εξελιχθεί και προσαρμοστεί, αλλά παραμένει ένα σύμβολο της ελληνικής παραδοσιακής μουσικής και του πάθους που αυτή εκπέμπει. Ο τζουράς συνεχίζει να εμπνέει μουσικούς και ακροατές παγκοσμίως, αναδεικνύοντας την πλούσια και πολύτιμη μουσική κληρονομιά της Ελλάδας.

1.2 Τα μέρη του τζουρά

Ο τζουράς είναι ένα μουσικό όργανο που ανήκει στην οικογένεια των ταμπουράδων και διαθέτει ξεχωριστά τεχνικά χαρακτηριστικά που το καθιστούν μοναδικό στον κόσμο της μουσικής. Ας εξετάσουμε μερικά από τα σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά του τζουρά.
Κατασκευή και Υλικά: Ο τζουράς κατασκευάζεται συνήθως από ξύλο, με το καπάκι να είναι από έλατο, κέδρο ή και άλλα είδη ξύλου. Το σκάφος μπορεί να είναι κατασκευασμένο από διάφορα είδη ξύλου, ενώ το μάνικο και το καράολο μπορεί να είναι από καρυδιά ή από σφενδάμι.

Αριθμός Χορδών: Ο τζουράς συνήθως διαθέτει τρεις χορδές. Στο παρελθόν, υπήρχαν και τζουράδες με δύο χορδές, αλλά συνήθως, οι περισσότεροι σύγχρονοι τζουράδες έχουν τρεις.
Κούρδισμα: Το κούρδισμα του τζουρά ποικίλλει, αλλά το πιο συνηθισμένο είναι το ρε-λα-ρε (D-A-D) για τους τζουράδες του ρεμπέτικου και το ρε-σολ-ρε (D-G-D) για τους τζουράδες του δημοτικού τραγουδιού.
Τεχνική Παιξίματος: Ο τζουράς παίζεται με τη χρήση πένας ή των δακτύλων, ανάλογα με τον προτιμώμενο τρόπο του μουσικού. Οι μουσικοί χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές όπως το "τσακίσματο" και το "σκαμπίλι" για να παράγουν διάφορες ποικιλίες ήχων και ρυθμών.
Ήχος: Ο ήχος του τζουρά είναι φωτεινός και ζεστός, με έναν χαρακτηριστικό, αναγνωρίσιμο τόνο. Ο μουσικός μπορεί να ελέγξει την ένταση και την έκφραση του ήχου ανάλογα με το πώς παίζει το όργανο.
Χρήση στη Μουσική: Ο τζουράς χρησιμοποιείται ευρέως στο ρεμπέτικο, το δημοτικό τραγούδι, και άλλα είδη ελληνικής παραδοσιακής μουσικής. Είναι γνωστός για τον ρόλο του στη δημιουργία και την ενίσχυση του ρυθμού και της μελωδίας στη μουσική αυτή.Ο τζουράς, με τα χαρακτηριστικά του όπως η κατασκευή, το κούρδισμα, και η τεχνική παιξίματος, συμβάλλει στην πλούσια μουσική κληρονομιά της Ελλάδας και συνεχίζει να εμπνέει μουσικούς και ακροατές με τον μοναδικό του ήχο και τον πολιτισμικό πλούτο που φέρνει στον παγκόσμιο χώρο της μουσικής.



Εικόνα 1.2Κύρια μέρη του τζουρά

Μέρη του Τζουρά:
Ο τζουράς, όπως και πολλά μουσικά όργανα, αποτελείται από διάφορα μέρη που συνδυάζονται για να παράγουν τον χαρακτηριστικό ήχο του. Ακολουθεί η περιγραφή των κυρίων μερών που αποτελείται ένας τζουράς:

Το Σκάφος (Body): Το σκάφος του τζουρά είναι η κύρια ακουστική κοιλότητα του οργάνου και συνήθως κατασκευάζεται από ξύλο καρυδιάς. Το σχήμα και το μέγεθος του σκάφους επηρεάζουν τον τόνο και την παραγωγή του ηχητικού περιεχομένου. Εμφανίζεται συχνά η τεχνική του σκαφτού σκάφους όπου ένα ενιαίο κομμάτι ξύλου δέχεται την κατάλληλη επεξεργασία ώστε να αποκτήσει το τελικό επιθυμητό σχήμα.
Το Καπάκι (Soundboard): Το καπάκι είναι η ξύλινη επιφάνεια του τζουρά και καλύπτει το σκάφος από πάνω. Συνήθως κατασκευάζεται από ξύλο όπως έλατο ή κέδρο και είναι υπεύθυνο για τη μετάδοση των δονήσεων των χορδών στον αέρα, παράγοντας τον ήχο κάθε νότας.
Το μάνικο (Neck): Το μάνικοείναι το μακρύ, λεπτό κομμάτι ξύλου που συνδέει το καπάκι με το κύριο σώμα του τζουρά. Επάνω του τοποθετούνται τα τάστα.
Οι Χορδές (Strings): Ο τζουράς συνήθως διαθέτει τρεις χορδές, αν και υπάρχουν και παραλλαγές με περισσότερες. Οι χορδές τεντώνονται από το καραούλο στον καβαλάρη και παράγουν τις νότες όταν πατιούνται ή χτυπιούνται.
Ο Καβαλάρης (Bridge): Ο καβαλάρης είναι ένα μικρό ξύλινο ή κατά κανόνα ελεφαντόδοντο κομμάτι που στηρίζει τις χορδές πάνω στο καπάκι. Είναι υπεύθυνος για τη μετάδοση των δονήσεων των χορδών στο καπάκι.
Τα Τάστα (Frets): Στο καραούλο τοποθετούνται τα τάστα που το διαιρούν σε διάφορα τμήματα. Ο μουσικός πιέζει τις χορδές επάνω στα τάστα για να παράγει διάφορες νότες.
Τα Κλειδιά (TuningPegs): Τα κλειδιά βρίσκονται στο καραούλο και χρησιμοποιούνται για το κούρδισμα των χορδών. Ο μουσικός περιστρέφει τα κλειδιά για να ρυθμίσει την τάση των χορδών και να πετύχει τις επιθυμητές νότες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. Φυσική των έγχορδων μουσικών οργάνων

Το δεύτερο κεφάλαιο της πτυχιακής πραγματεύεται τις βασικές αρχές απόκρισης των έγχορδων μουσικών οργάνων. Για την παραγωγή του ήχου, ο μουσικός οδηγεί την χορδή πέρα από την θέση ισορροπίας της μέσω δυνάμεων τριβής που αναπτύσσονται ανάμεσα στην πένα και την χορδή. Όταν η (συνισταμένη) δύναμή επαναφοράς της χορδής γίνει μεγαλύτερη από την δύναμή που την συγκρατεί πάνω στην πένα (ή όταν ο οργανοπαίκτης απομακρύνει την πένα από την χορδή) τότε η χορδή ελευθερώνεται και εκτελεί φθίνουσα ταλάντωση έως ότου βρεθεί στην αρχική θέση ισορροπίας της. Μέρος της ενέργειας της ταλαντευόμενης χορδής μεταφέρεται στο σώμα του οργάνου μέσω της γέφυρας η οποία ουσιαστικά δρα ως ένα μέσο αναμετάδοσης της μηχανικής ενέργειας. Το σώμα του οργάνου αποτελείται από το καπάκι, το σκάφος και το μάνικο.

2.1 Συντονισμοί και τρόποι ταλάντωσης

Ο συντονισμός, είναι ένα θεμελιώδες φυσικό φαινόμενο το οποίο μπορεί να παρατηρηθεί στην μηχανική συμπεριφορά ενός εξαιρετικά μεγάλου αριθμού συστημάτων που αφορούν διαφόρους τομείς της μηχανικής. Ο ρόλος του φαινομένου του συντονισμού, είναι ένα σπουδαίο χαρακτηριστικό για τα όλα τα πεδία μελέτης που ερευνώνται στο ευρύτερο πεδίο της ακουστικής μηχανικής και ιδιαίτερα στο αντικείμενο το οποίο αφορά τον σχεδιασμό και την κατασκευή κάθε είδους μουσικού οργάνου. Λόγω το ότι η παρούσα μελέτη της εργασίας μας, αφορά τον σχεδιασμό με Η/Υ και την υπολογιστική προσομοίωση ενός τζουρά, δεν θα μπορούσαμε να αμελήσουμε την σημασία του φαινομένου καθώς επίσης και την χρησιμότητα που παρουσιάζει το παρόν φυσικό φαινόμενο. Έτσι λοιπόν ξεκινώντας, ο συντονισμός τυπικά χαρακτηρίζεται ως το φαινόμενο όπου η ενέργεια μίας εξωτερικής πηγής μπορεί να μεταφερθεί από κάποιο φυσικό μέσο, σε ένα σύστημα, το οποίο στη συνέχεια αποκρίνεται με μία δόνηση στη φυσική του συχνότητα. Αυτή η συχνότητα καθορίζεται από τις εγγενείς φυσικές ιδιότητες του συστήματος, όπως είναι: η μάζα του, οι διαστάσεις του, το μέτρο της ελαστικότητας του και άλλα χαρακτηριστικά των ιδιοτήτων του υλικού ή των υλικών από τα οποία το σύστημα αποτελείται. Όταν η εξωτερική πηγή ταιριάζει με τη φυσική συχνότητα του συστήματος, η μεταφορά ενέργειας μεγιστοποιείται, προκαλώντας τον συντονισμό του συστήματος. Στην προκειμένη περίπτωση, η οποιαδήποτε εξωτερική πηγή καλείται διεγέρτης, ενώ το σύστημα το οποίο παρουσιάζει συντονισμό στην ίδια συχνότητα, θα λέγεται ταλαντωτής. Για να παραχθεί κάποιος ήχος από τον τζουρά, ο οργανοπαίκτης αρχικά, μεταβάλλει την θέση της χορδής, πέρα την θέση ισορροπίας της, μέσω των αναπτυσσόμενων δυνάμεων τριβής μεταξύ της πένας, όταν αυτή έρχεται σε επαφή με την χορδή. Όταν η χορδή παρουσιάσει μεγαλύτερη συνισταμένη δύναμη επαναφοράς σε σχέση με την αναπτυσσομένη δύναμή που συγκρατεί την πένα πάνω στην χορδή, ή όταν ο οργανοπαίκτης απομακρύνει την πένα από την χορδή, τότε αντίστοιχα και στις δύο περιπτώσεις, η χορδή ελευθερώνεται από την πένα και εκτελεί φθίνουσα ταλάντωση, έως ότου βρεθεί στο αρχικό σημείο ισορροπίας της, λόγω του ότι η ταλάντωση της δέχεται απόσβεση η οποία οφείλεται σε ενεργειακές απώλειες. Μέρος της ενέργειας από την ταλαντευόμενη χορδή, μεταφέρεται στα υπόλοιπα μέρη του οργάνου μέσω του καβαλάρη, ο οποίος βρίσκεται τοποθετημένος επάνω στο καπάκι του τζουρά. Έπειτα, το καπάκι του οργάνου, σχηματίζει με την σειρά του μία ιδιοσυχνότητα, ανάλογα την συχνότητα της ταλαντευόμενης χορδής.

Το καπάκι, είναι κατά κύριο λόγο, το μέρος του μουσικού οργάνου, το οποίο παρουσιάζει το μεγαλύτερο ενδιαφέρον ως προς την συνολική ακουστική συμπεριφορά ολόκληρου του οργάνου, όταν αυτό παράγει ήχο. Πέρα από το καπάκι, ένα ακόμη μέρος

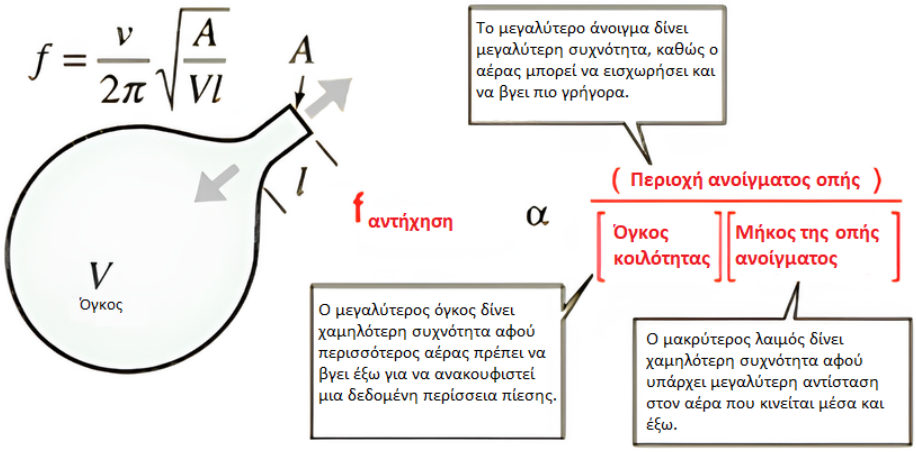
που επηρεάζει την ακουστότητα του οργάνου, είναι το σκάφος, το οποίο με την οποιαδήποτε ταλάντωση του καπακιού, εκείνο δρα ως ένα αντηχείο ή αλλιώς ως ένας συντονιστής Helmholtz. Το αντηχείο ή συντονιστής Helmholtz επιτρέπει στα ηχητικά κύματα να ενισχύονται και να τροποποιούνται με ελεγχόμενο τρόπο. Το σκάφος ως αντηχείο επιτρέπει στα ηχητικά κύματα να μπορούν να διαμορφωθούν και να εστιαστούν με κατάλληλο τρόπο για να παράγουν τον τόνο που είναι επιθυμητής. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της προσεκτικής σχεδίασης του σχήματος, του μεγέθους και την επιλογή του κατάλληλου υλικού κατασκευής. Εκτός από την ενίσχυση των ηχητικών κυμάτων, ο συντονιστής Helmholtz διαδραματίζει επίσης κρίσιμο ρόλο στο φιλτράρισμα των ανεπιθύμητων συχνοτήτων. Οι ανεπιθύμητες συχνότητες μπορούν να εξαλειφθούν ή να μειωθούν, με αποτέλεσμα το όργανο να παράγει ήχο με έναν πιο εστιασμένο και εκλεπτυσμένο τόνο. Εκτός από το ρόλο του στη διαμόρφωση του τόνου του μουσικού οργάνου, το αντηχείο Helmholtz (σκάφος), παίζει επίσης καθοριστικό ρόλο στην κατεύθυνση του παραγόμενου ήχου από αυτό. Με την ενίσχυση και την τροποποίηση των ηχητικών κυμάτων, το αντηχείο βοηθά στην κατεύθυνση τους προς τον ακροατή, επιτρέποντάς του να ακούει το όργανο πιο καθαρά και με μεγαλύτερη ευκρίνεια.

2.2 Κοιλότητες (Helmholtz)

Ο συντονιστής Helmholtz είναι ένας συγκεκριμένος τύπος αντηχείου που έχει σχεδιαστεί για να ενισχύει ηχητικά κύματα σε μια συγκεκριμένη συχνότητα συντονισμού. Έλαβε το όνομά του από τον Hermann von Helmholtz, έναν Γερμανό φυσικό που περιέγραψε για πρώτη φορά το φαινόμενο του συντονισμού τον 19ο αιώνα. Το αντηχείο Helmholtz αποτελείται από μια κοιλότητα ή θάλαμο που συνδέεται με ένα άνοιγμα ή λαιμό, που επιτρέπει στα ηχητικά κύματα να εισέρχονται και να εξέρχονται από τον αντηχείο.

Το αντηχείο Helmholtz έχει πολυάριθμες εφαρμογές στη μουσική, την ακουστική και τη μηχανική γενικότερα. Στη μουσική, χρησιμοποιείται για τη βελτίωση και την τροποποίηση ηχητικών κυμάτων ενισχύοντας συγκεκριμένες συχνότητες. Στην ακουστική, χρησιμοποιείται για να μελετήσει τις ιδιότητες των ηχητικών κυμάτων και τις αλληλεπιδράσεις τους με διαφορετικά υλικά. Στη μηχανική, χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση συστημάτων για αποτελεσματική μεταφορά και μετάδοση ενέργειας.

Ο συντονιστής Helmholtz λειτουργεί ενισχύοντας ηχητικά κύματα που ταιριάζουν με τη συχνότητα συντονισμού του. Όταν τα ηχητικά κύματα εισέρχονται στον συντονιστή, προκαλούν τα μόρια του αέρα μέσα στην κοιλότητα να δονούνται με την ίδια συχνότητα. Αυτά τα δονούμενα μόρια αέρα στη συνέχεια αλληλεπιδρούν με τα περιβάλλοντα μόρια του αέρα, προκαλώντας τα να δονούνται με την ίδια συχνότητα. Αυτή η διαδικασία ενίσχυσης δημιουργεί αύξηση της ένταση των ηχητικών κυμάτων.



Εικόνα 2.1Σχέση για ιδιοσυχνότητα κοιλότητας[15]

2.3 Τα έγχορδα ως σύστημα παραγωγής ήχου

Οποιοδήποτε έγχορδο μουσικό όργανο, είναι δυνατόν να θεωρηθεί ως μία γεννήτρια ήχου, η οποία με την σειρά της αποτελεί ουσιαστικά, το αποτέλεσμα της δονητικής συμπεριφοράς δύο συζευγμένων συστημάτων που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Το πρώτο σύστημα είναι αυτό των χορδών, ενώ το δεύτερο σύστημα είναι το σώμα του οργάνου, δηλαδή, όλα τα υπόλοιπα μέρη του, τα οποία το αποτελούν όπως το καπάκι, το σκάφος και το μάνικο. Λόγω του ότι το δεύτερο σύστημα (σώμα), αποτελείται από διάφορα άλλα μέρη, τότε τα μέρη αυτά μπορούν με την σειρά τους να θεωρηθούν ως μία συνολική σύνθεση συζευγμένων υποσυστημάτων. Ορισμένα εξ αυτών των υποσυστημάτων παρουσιάζουν ισχυρότερη σύζευξη μεταξύ τους, ενώ άλλα ασθενέστερη. Τα επιμέρους μέρη του οργάνου, παρότι ως αποτελούμενα μεμονωμένα συστήματα παρουσιάζουν σχετικά απλή δονητική συμπεριφορά, όταν συμπεριφερθούν μαζί ως ένα ενιαίο σύστημα που παράγει ηχητικό αποτέλεσμα, τότε το επίπεδο των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων έχει ως αποτέλεσμα μία εξαιρετικά περίπλοκη δονητική συμπεριφορά, η οποία συμβάλει με καθοριστικό τρόπο στην συνολική ακουστότητα του συνολικού συστήματος ως έγχορδο όργανο [8,22-23].

Ξεκινώντας από τις χορδές, είναι προφανές ότι η επιφάνεια τους είναι αρκετά μικρότερη σε σχέση με τα υπόλοιπα μέρη του οργάνου. Αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα το επίπεδο της έντασης των παραγόμενων ήχων τους να είναι εξαιρετικά χαμηλό, ούτως κάποιος να μπορέσει να διακρίνει τον ήχο τους. Όταν όμως οι χορδές δονούνται, τότε η ενέργεια τους μπορεί να μεταφερθεί μέσω του καβαλάρη, στο σώμα του καπακιού και στην συνέχεια στα υπόλοιπα μέρη του οργάνου. Μέσω αυτής της μεταφοράς ενέργειας από τις δονούμενες χορδές στο υπόλοιπο όργανο, ο παραγόμενος ήχος ενισχύεται και έπειτα διαδίδεται μέσω του περιβαλλόμενου αέρα στον γύρω χώρο, ως αισθητός και διακριτός από τους ανθρώπους. Το τελικό ηχητικό αποτέλεσμα που παράγεται από το όργανο, είναι προερχόμενο από τα διεγειρόμενα μόρια του αέρα τα οποία βρίσκονται εντός του ηχείου του οργάνου, το σκάφος δηλαδή και ειδικότερα τα σημεία γύρω από το δονούμενου καπακιού. Αυτή η κοιλότητα που παρουσιάζεται στο όργανο λόγω του καπακιού το οποίο βρίσκεται κολλημένο με το σκάφος, αποτελεί ένα αντηχείο τύπου: Helmholtz.

Έτσι λοιπόν, εάν θεωρήσουμε ότι το σύστημα των χορδών του οργάνου παραμένει σταθερό, νοώντας ότι οι παράμετροι του μήκους τους, οι μάζες τους και οι τάσεις τους παραμένουν αμετάβλητες, τότε οι μεταβλητές που αναμφίβολα έχουν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση της ακουστότητας του οργάνου και το μέγιστο δυνατό ηχόχρωμα του

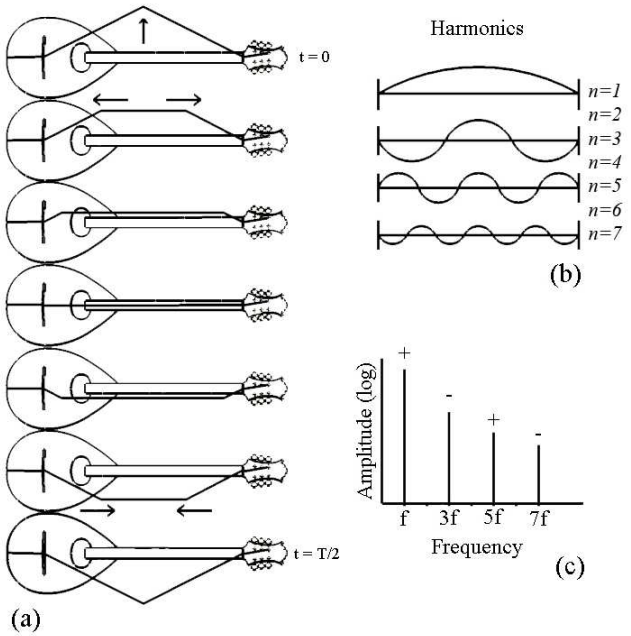
είναι οι ακόλουθες: τα υλικά κατασκευής κάθε μέρους του μουσικού οργάνου και ιδιαίτερα τα υλικά του καπακιού, των καμαριών, του καβαλάρη και του σκάφους (αντηχείο) και τέλος η γεωμετρία του καπακιού του έγχορδου οργάνου που έχει σχεδιαστεί. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υπολοίπων μερών του οργάνου, συμβάλλουν σε αρκετά μικρότερο βαθμό σε σχέση με αυτά του καπακιού και του σκάφους τα οποία παρουσιάζουν την ισχυρότερη σύζευξη με το σύστημα των δονούμενων χορδών [9]. Στην συνέχεια θα επικεντρωθούμε στα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν τα υλικά και την γεωμετρία των μερών του καπακιού και του σκάφος του μουσικού οργάνου, εφόσον αυτά είναι στην ουσία τα μέρη που συμβάλλουν στον μεγαλύτερο βαθμό, ποιες από τις παραγόμενες δονήσεις των χορδών ενδέχεται να ενισχυθούν και ποιες από αυτές θα εξασθενίσουν.

2.4Τρόποι δόνησης

Για να μπορέσουμε να εμβαθύνουμε την κατανόηση μας για τους τρόπους των δονήσεων μίας ιδανικής χορδής όπου δεν υπάρχουν ενεργειακές απώλειες, κατά συνέπεια δεν υπάρχει ταλάντωση με απόσβεση, είναι σημαντικό να επικεντρωθούμε στην μελέτη της συμπεριφοράς των χορδών που δέχονται διέγερση, έχοντας εγκάρσια μετατόπιση στο κεντρικό τους σημείο. Η μαθηματική σχέση που διέπει τον τρόπο όπου η συχνότητα των τρόπων ταλάντωσης μίας ιδανικής χορδής η οποία βρίσκεταιπακτωμένηκαισταδύοάκρατηςδίδεται από τον τύπο:

$$f_n = \frac{n}{2L} \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Όπου f η συχνότητα κάθε τρόπου ταλάντωσης [Hz], n ο αριθμός του τρόπου ταλάντωσης (δόνηση) [φυσικός αριθμός], L το ενεργό μήκος της χορδής σε [m], T η τάση σε [Pa] και τέλος η γραμμική πυκνότητα μ σε [Kg/m].



Εικόνα 2.4 Κίνηση ιδανικής χορδής που δέχεται εγκάρσια μετατόπιση στο κέντρο της: Στιγμιότυπα κατά το πρώτο μισό του κύκλου της κίνησης (a), κανονικοί τρόποι δόνησης (b) και μετασχηματισμός στο πεδίο της συχνότητας με + και – να συμβολίζει την αρχική φάση των αρμονικών (c).

Έπειτα από την εφαρμογή της ανάλυση Fourier για την γενική λύση, μπορούν να υπολογιστούν και τα αρχικά πλάτη ταλάντωσης για κάθε τρόπο ταλάντωσης της δονούμενης χορδής με την χρήση του ακόλουθου μαθηματικού τύπου:

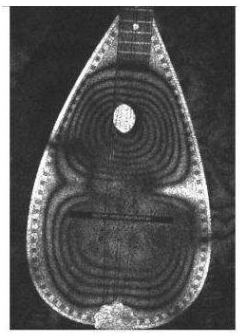
$$A_n = \frac{2h}{n\pi^2}\frac{L^2}{l(L-l)}\sin(\frac{n\pi l}{L})$$

Όπου A_n, το αρχικό πλάτος του εκάστοτε τρόπου ταλάντωσης της χορδής σε [m], h η αρχική απόκλιση σε [m] και l η απόσταση του σημείουεφαρμογής σε [m] της δύναμήςF σε [N] από το ένα άκρο της.

Παρατηρείται από την εικόνα ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της κίνησης της χορδής που είναι η απουσία των τρόπων δόνησης που αντιστοιχούν σε άρτια πολλαπλάσια του δείκτη n. Γενικά προκύπτει από την λύση της εξίσωσης στο πεδίο της συχνότητας πως όταν η χορδή μήκους L δέχεται αρχική διέγερση σε ένα σημείο της l (που είναι η απόσταση ένα άκρο της) τότε τα αρμονικά στοιχεία με δείκτη n(L/l) έχουν μηδενικό πλάτος ταλάντωσης όταν L/l είναι ακέραιος. Η δύναμη της εγκάρσιας ταλάντωσης της χορδής που εφαρμόζεται στο ένα άκρο της F = T (dy/dx)x=0 έχει την μορφή:

$$F(t) = A\sum_{n}^{\infty}\left[\frac{\sin(n\pi l/L)}{n}\right]\cos n\omega t$$

Οι τρόποι δόνησης που εμφανίζονται στα ολοκληρωμένα όργανα είναι σύνθετοι σεμορφή. Οι περιοχές όπου σχηματίζονται δεσμοί και κοιλίες πλάτους ταλάντωσης δεν παρουσιάζονται με την ίδια συμμετρία που έχουν, για παράδειγμα, σε μια παραλληλόγραμμη επιφάνεια. Για τον λόγο αυτό το σύστημααρίθμησης δεν βασίζεται στην καταμέτρηση των δεσμών ταλάντωσης κατά πλάτος και κατά μήκος της επιφάνειας αλλά ο αριθμός των μεγίστων κατά τους αντίστοιχους άξονες.



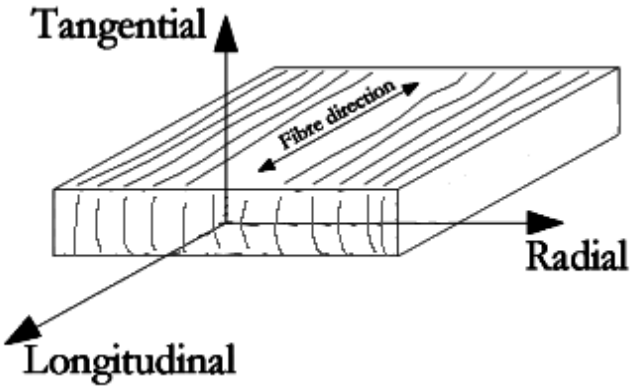
1,2

Εικόνα 2.5 Η μέθοδος ονομασίας των τρόπων δόνησης σε ολοκληρωμένα όργανα με βάση τις περιοχές που εντοπίζονται τα μέγιστα πλάτη ταλάντωσης (κοιλίες) κατά πλάτος και κατά μήκος των καπακιών (x,y): τζουράς (1,2) [4].

2.5 Ξύλο (φυσικό σύνθετο)

Επειδή το ξύλο είναι έντονα προσανατολισμένο υλικό, είναι απαραίτητο για τη μελέτη της δομής του να οριστούν οι 3 διευθύνσεις του. Σε ένα σημείο του ξύλου, αξονική (longitudinal) είναι η διεύθυνση που είναι παράλληλη στο διαμήκη άξονα του κορμού, ακτινική (radial) είναι η διεύθυνση της ακτίνας που συνδέει το σημείο με το διαμήκη

άξονα του κορμού και εφαπτομένη (tangential) είναι η κάθετη στην ακτίνα διεύθυνση που διέρχεται από το σημείο [10].



Εικόνα 2.6 Οι 3 διευθύνσεις του ξύλου

Από την αρχή της ιστορίας του ανθρώπου, το ξύλο αποτελεί ένα από τα πρώτα και παλαιότερα δομικά υλικά που χρησιμοποίησε και εξακολουθεί να χρησιμοποιεί ο άνθρωπος σε ένα τεράστιο αριθμό πλήθους των κατασκευών του, από τις πιο απλές μέχρι τις πιο περίπλοκες κατασκευές αντικειμένων σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας. Έτσι και στην μουσική και ειδικότερα στην οργανολογία και την κατασκευή διαφόρων μουσικών οργάνων, το ξύλο αποτελεί ένα αρκετά χρήσιμο υλικό με εξαιρετική σημασία στην κατασκευή τους, καθώς είναι ένα ανανεώσιμο υλικό το οποίο βρίσκεται σε αφθονία στην φύση και λόγω αυτού, το κόστος αγοράς του είναι συνήθως χαμηλότερο σε σχέση με άλλα είδη υλικών όπως για παράδειγμα τα μέταλλα.

Λόγω όλων των παραπάνω, είναι αναγκαίο να σημειώσουμε κάποια από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα της επιλογής του ξύλου ως υλικό κατασκευής για τα έγχορδα μουσικά όργανα. Πρώτο: το ξύλο είναι ένα υλικό όπου κάθε τεχνίτης μπορεί με ευκολία να το επεξεργαστεί, καταναλώνοντας συνάμα, χαμηλότερα ποσοστά ηλεκτρικής ενέργειας και αφιέρωση λιγότερων εργατοωρών χρόνου κατασκευής από τον οργανοποιό (κόστος παραγωγής και κόστος άμεσης εργασίας). Δεύτερο: Το ξύλο παρουσιάζει αρκετά καλές ακουστικές ιδιότητες για την κατασκευή των τμημάτων των μουσικών οργάνων. Τρίτο: Το κόστος αγοράς του είναι σαφώς χαμηλότερο σε σχέση με άλλα διαθέσιμα υλικά κατασκευής (κόστος άμεσων υλικών). Τέταρτο: Σε περίπτωση όπου το ξύλο δεχθεί φθορά ή ολική καταστροφή (φύρα παραγωγής), τότε ως υλικό δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με αρνητικό τρόπο, καθότι είναι ένα οργανικό υλικό. Πέμπτο: Σε σχέση με το βάρος του, το ξύλο παρουσιάζει αρκετά υψηλές αντοχές ως υλικό, σε σχέση με άλλα υλικά, όπως τα μέταλλα που αναφέραμε και προηγουμένως.

Παρόλα αυτά όμως, αυτό δεν σημαίνει ότι το ξύλο είναι το τέλειο υλικό κατασκευής, όπως και κάθε άλλο υλικό άλλωστε. Για αυτόν τον λόγο, θα αναφέρουμε και κάποια από τα κυριότερα μειονεκτήματα που δυστυχώς ενδέχεται να επηρεάσουν αρνητικά την απόδοση της χρήσεως του για την κατασκευή κάθε μουσικού οργάνου. Έτσι, το πρώτο μειονέκτημα του ξύλου ως υλικό είναι: η υγροσκοπικότητα, ένα φαινόμενο κατά το οποίο οι διαστάσεις του ξύλινου αντικειμένου μεταβάλλονται (συστολή ή διαστολή του υλικού), εντός κάποιων ορίων, αναλόγως με τα ποσοστά υγρασίας όπου το ξύλο δέχεται πρόσληψη ή απώλεια υγρασίας από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αλλοίωση των μηχανικών του ιδιοτήτων ως υλικό κατασκευής. Δεύτερον: επειδή το ξύλο είναι ένα οργανικό υλικό προϊόν, ελλοχεύει κίνδυνος της φθοράς του από διάφορα είδη ζωντανών οργανισμών όπως έντομα και διάφορα άλλα

είδη μικροοργανισμών όπως τους μύκητες. Τρίτον: Οι πιθανές μεταβολές στην θερμοκρασία του υλικού, μπορούν να προκαλέσουν φθορά στο υλικό. Τέταρτον: το ξύλο είναι ανισότροπο υλικό κατασκευής, συνεπώς η δομή του δεν είναι η ίδια από σημείο σε σημείο.

Η δομή του ξύλο σε μικροσκοπικό επίπεδο, αποτελείται από ίνες ή τριχοειδή επιμήκη κύτταρα που σχηματίζουν αξονικό προσανατολισμό διάταξης. Επίσης, τα κύτταρα του ξύλου σχηματίζουν και ακτινικό προσανατολισμό (ακτίνες του ξύλου). Ακόμα είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι τριχοειδή αυτά κύτταρα έχουν διατομή που μοιάζει συνήθως με σχήμα εξαγώνου, με το μέσο μήκος τους να είναι περίπου στα: 2-5 mm ενώ ή μέση διάμετρος τους να είναι: 20-40 μm. Η μοριακή σύσταση του ξύλου αποτελείται συνήθως από κυτταρίνη σε ποσοστό της τάξης του: 40% ─ 50%, την ημικυτταρίνη σε ποσοστό: 20% ─ 35% και τέλος την λιγνίνη που αποτελεί το : 20% ─ 30% του υλικού. Οι υπόλοιπες ουσίες που αποτελούν συνήθως διάφορα φυσικά έλαια και άλατα που περιέχει το ξύλο σε ποσοστό: 10%.Η διαδικασία της προσλήψεως νερού που λαμβάνει το ξύλο από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται είναι η εξής: το νερό συγκεντρώνεται στα τοιχώματα των κυττάρων ως «δεσμευμένο νερό», έως ένα ποσοστό υγρασίας «σημείο κορεσμού των ινών ή «σημείο ινοκόρου», σε ποσοστό της τάξεως 25-30% ανάλογα με το είδος του ξύλου. Αυτό έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου του ξύλου καθώς το νερό γεμίζει τις κοιλότητες των κυττάρων του, μέχρι να φτάσει στο σημείο που καλείται: «ποσοστό ισορροπίας», ανάλογα με τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Επίσης είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι κάθε ξύλο, μπορεί να παρουσιάσει διαφορετικές ιδιότητες, λόγω των διαφορετικών τιμών πυκνότητας του και των υπόλοιπων δομικών ιδιοτήτων του σε σχέση με άλλα είδη ξυλείας.

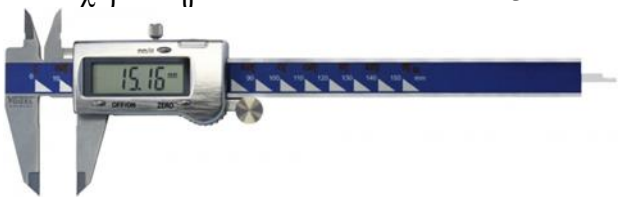
ΚΕΦΑΛΑΙΟ3.Μετρήσεις γεωμετρικών χαρακτηριστικών του Τζουρά

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται συνοπτικά η διαδικασία μέτρησης των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του τζουρά και η προετοιμασία για την CADμοντελοποίηση του. Η σωστή διαστασιολόγηση αποτελεί μια πρόκληση καθώς ο τζουράς αποτελείται από διαφορετικά μέρη, πάχη και καμπυλότητες. Το πρώτο βήμα που έγινε ήταν η επιλογή των μονάδων μέτρησης που θα χρησιμοποιηθούν καθώς και η εύρεση των κατάλληλων εργαλείων.

3.2 Όργανα Μετρήσεων του Τζουρά

Το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιήθηκε είναι ένα ψηφιακό παχύμετρο, ένα χρήσιμο εργαλείο, με το οποίο μπορεί να μετρηθούν διαφορετικές διαστάσεις. Παρακάτω παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του στον πίνακα 3.1:



Εικόνα 3.1Παχύμετρο [3]

Ανάγνωση	*0,01 mm / 0,0005 ίντσες*
Επαναληψιμότητα +-	*0,01 mm*
Μέγιστη ανοχή σφάλματος +-	*0,02 mm*
Μήκος σιαγόνας	*40 mm*
Άκρη μέτρησης (σχήμα σταυρού)	*16,5 mm*

Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά Παχύμετρου [3]



Εικόνα 3.2Χάρακας

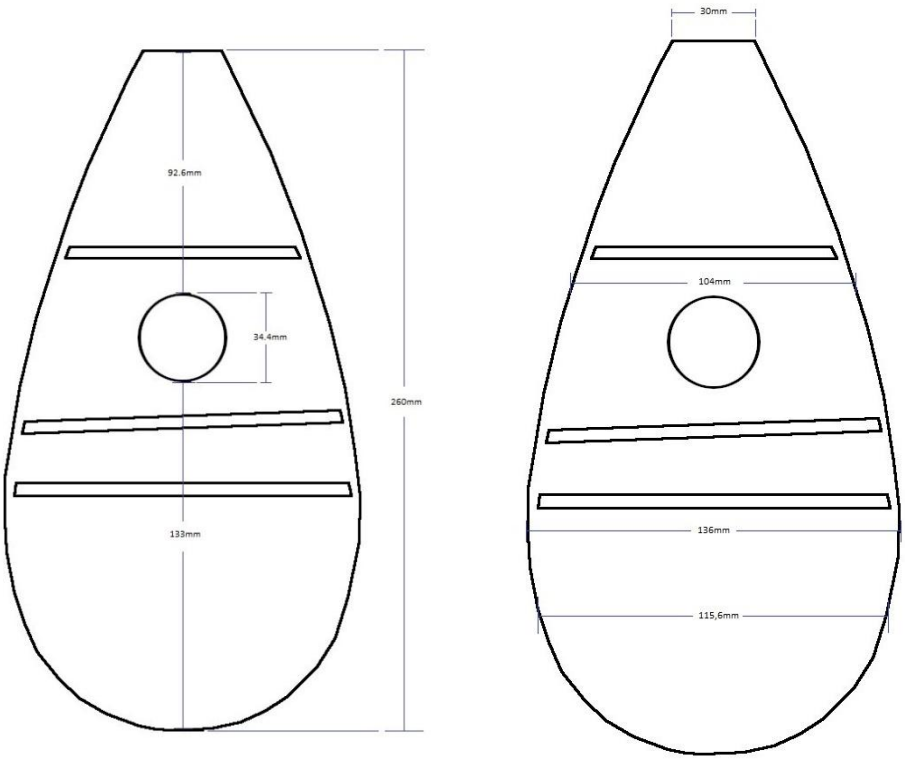
Ο χάρακας χρησιμοποιήθηκε όπου ήταν αδύνατον να επέμβουμε με το παχύμετρο.

3.3Βήματα μέτρησης διαστάσεων του τζουρά

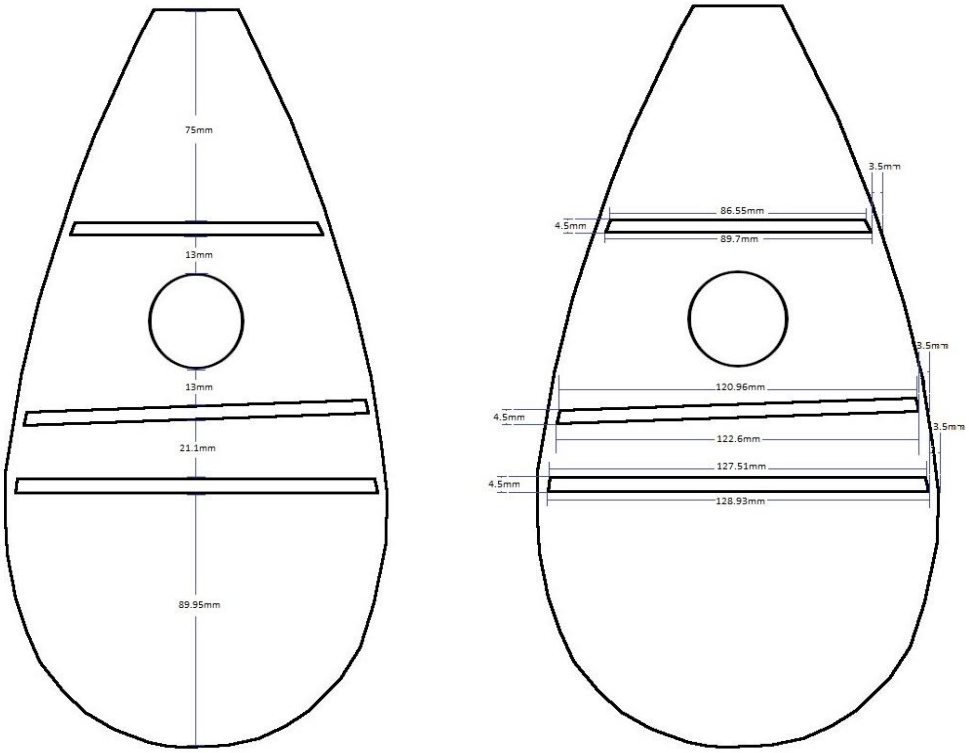
Ξεκινάμε με τις μετρήσεις των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του καπακιού του τζουρά όπως φαίνεται παρακάτω. Σημειώνεται ότι το 2ο καμάρι στο καπάκι είναι τοποθετημένη υπό κλίση περίπου ίση των 2 μοιρών, η οποία βασίζεται πάνω στο πραγματικό όργανο.



Εικόνα 3.3Το παρών όργανο είναι κατασκευής Ορέστη Μιχαηλίδη 2022 [16]. Έχει αχλαδόσχημο σκάφος.

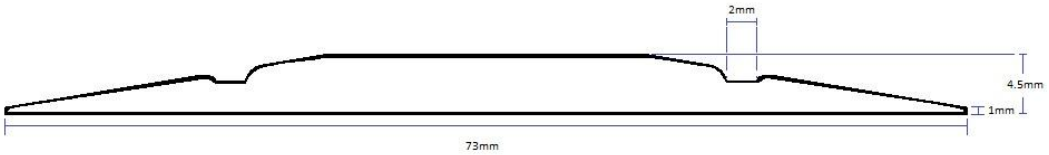


Εικόνα 3.4 Μετρήσεις καπακιού, καμαριών τζουρά



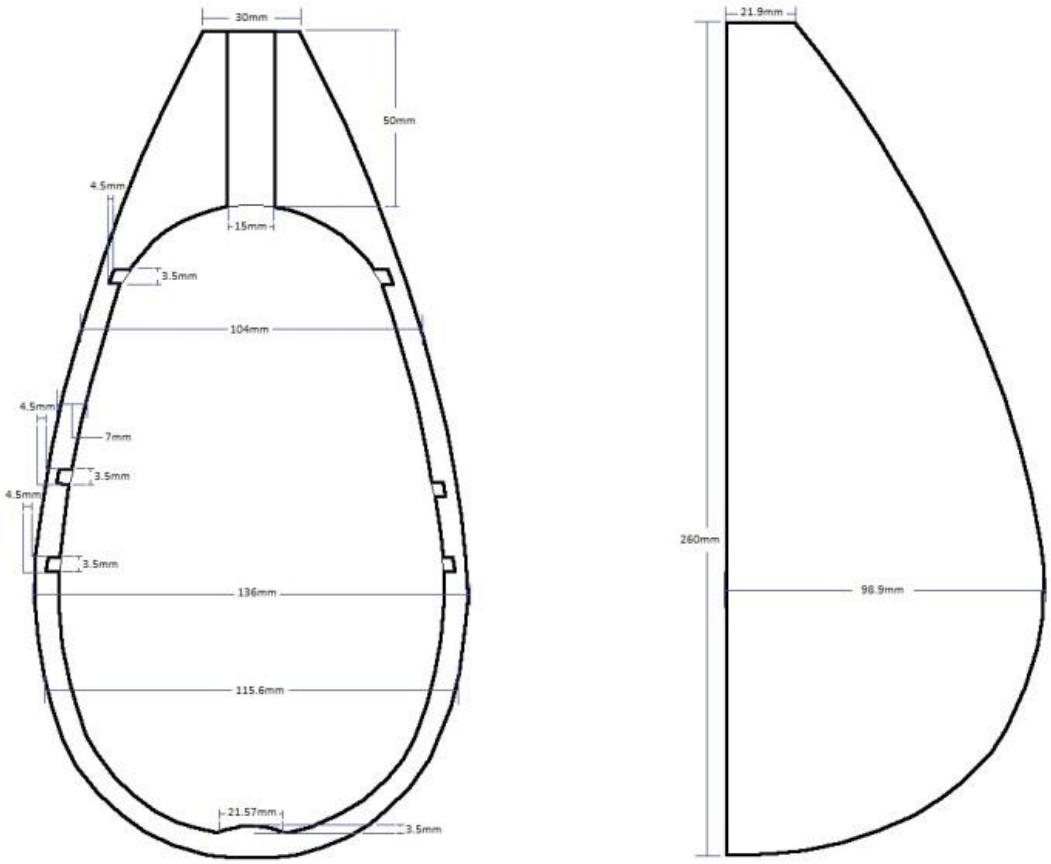
Εικόνα 3.5Μετρήσεις καπακιού, καμαριών τζουρά

Συνεχίζουμε με τις μετρήσεις του καβαλάρη. Το πάχος του είναι ίσο με 4,5mm.



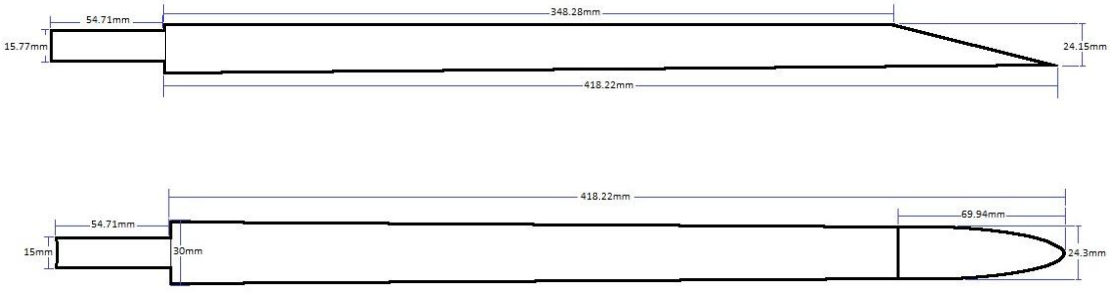
Εικόνα 3.5Μετρήσεις καβαλάρη τζουρά

Εδώ βλέπουμε τις μετρήσεις πάνω στο σκάφος (εικόνα 3.6). Στο σκάφος υπάρχει εσοχή στην οποία τοποθετείται το μάνικο.Τα καμάρια από το καπάκι για να εφάπτονται σωστά πρέπει να υπάρχουν συγκεκριμένες εσοχές που να αντιστοιχούν με κενά ίσα των 3mm.



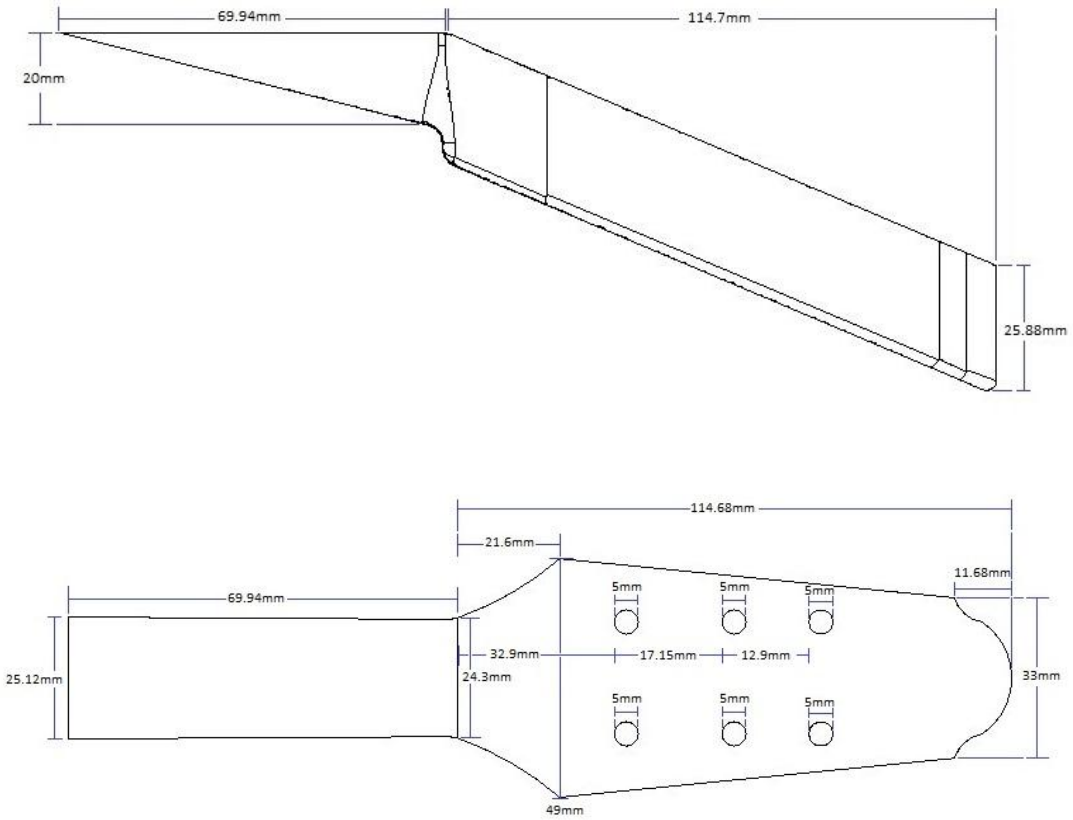
Εικόνα 3.6Μετρήσεις σκάφους τζουρά

Προχωράμε με τις μετρήσεις του μάνικου του τζουρά. Στο σημείο όπου απεικονίζεται η φθίνουσα κλίση, αυτή αντιστοιχεί περίπου με 167 μοίρες. Επιπλέον, στην αρχική κάθετη ευθεία των 15,77mm είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι είναι καμπυλωτή, με τιμή ίση με 0,6mm.



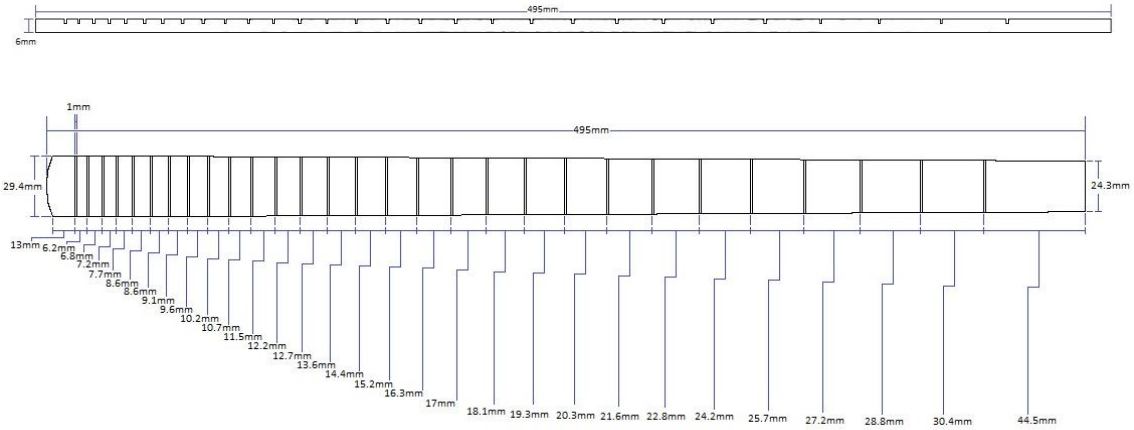
Εικόνα 3.7Μετρήσεις μάνικου τζουρά

Εδώ, έχουμε τις μετρήσεις του καραούλου του τζουρά. Επαναλαμβάνουμε ότι εκεί που φαίνεται η φθίνουσα κλίση (167) μοίρες εφάπτεται το άκρο με τη κλίση του μάνικου. Μπορούμε να διακρίνουμε τις οπές καθώς και τις αποστάσεις μεταξύ αυτών.



Εικόνα 3.8Μετρήσεις καραούλου τζουρά

Περαιτέρω, έχουμε τις σημειωμένες μετρήσεις της ταστιέρας. Οι εσοχές για τα τάστα έχουν βάθος ίσο με 2mm. Αναφέρουμε ότι στο σημείο με ύψος 29,4mm, εάν λάβουμε υπόψη μια νοητή κάθετη ευθεία τότε μπορούμε να πούμε ότι η εκείνη καμπυλώνεται με τιμή ίση των 3,23mm σε σχέση με το αρχικό σημείο.



Εικόνα 3.9Μετρήσεις ταστιέρας τζουρά

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. Δημιουργία της γεωμετρίας του τζουρά στο AutodeskInventor

4.1 Εισαγωγή στο AutodeskInventor

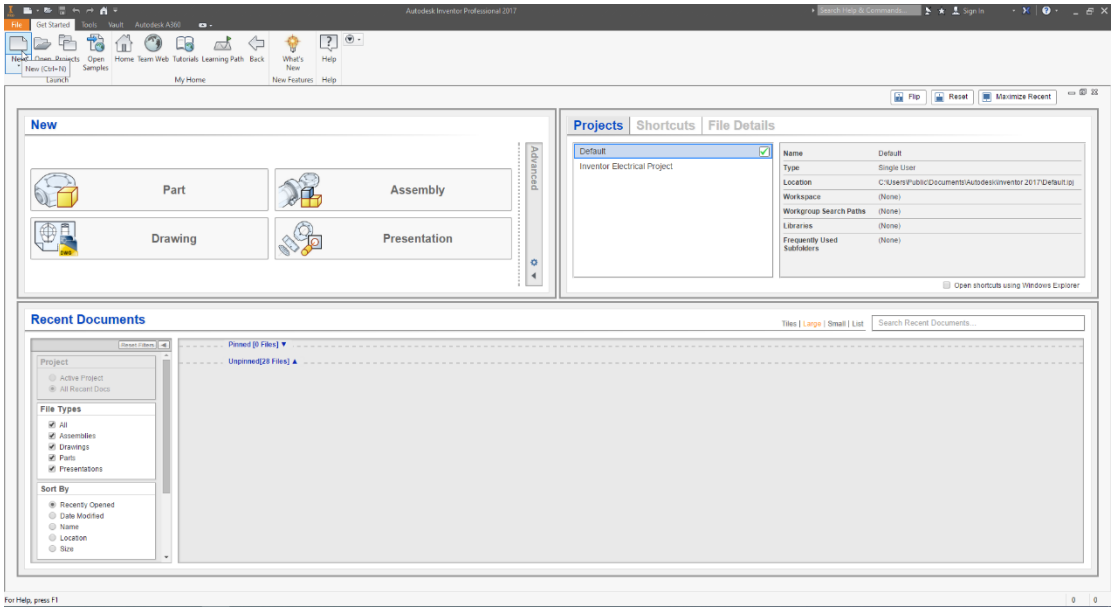
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα βασικά βήματα για τη δημιουργία της γεωμετρίας του τζουρά μέσω του προγράμματος Inventor της εταιρείας Autodesk.

Η εταιρεία Autodesk είναι Αμερικάνικη εταιρεία, η οποία έχει την έδρα της στο SanRafael της Καλιφόρνιας. Η εταιρεία εξειδικεύεται σε προγράμματα σχεδίασης προβλημάτων αρχιτεκτονικής και μηχανικής. Η Autodesk έγινε περισσότερο γνωστή για το AutoCAD, μια εμπορική εφαρμογή λογισμικού σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD). Άλλα προγράμματα τα οποία έχει αναπτύξει η Autodesk είναι το Inventor, Fusion 360 και AutodeskProductDesignSuite, για να απεικονίσει, να προσομοιώσει και να αναλύσει την απόδοση του πραγματικού κόσμου, χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό μοντέλο στη διαδικασία σχεδιασμού. Η εταιρεία έχει επίσης τμήμα που ασχολείται με Media και Entertainment και δημιουργεί λογισμικό για οπτικά εφέ, ταξινόμηση χρωμάτων και επεξεργασία καθώς και κινούμενα σχέδια, ανάπτυξη παιχνιδιών και οπτικοποίηση σχεδίασης. Το 3DSMax και το Maya είναι και τα δύο λογισμικά τρισδιάστατων κινουμένων σχεδίων που χρησιμοποιούνται σε οπτικά εφέ ταινιών και σε ανάπτυξη παιχνιδιών.

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήσαμε την εκπαιδευτική έκδοση AutodeskInventor. Θα ακολουθήσει μια εισαγωγή του προγράμματος και στη συνέχεια ένας αναλυτικός σχεδιασμός του μουσικού οργάνου, βήμα προς βήμα για το πως σχεδιάζεται σε υπολογιστικό περιβάλλον οτζουράς. Το AutodeskInventor είναι εφαρμογή σχεδιασμού η οποία εκτελείται μέσω υπολογιστή, με σκοπό τη τρισδιάστατη σχεδίαση, προσομοίωση και οπτικοποίηση διαφόρων μοντέλων. Το Inventor μας επιτρέπει να επεξεργαστούμε σε 2D και 3D σε ένα ενιαίο περιβάλλον.

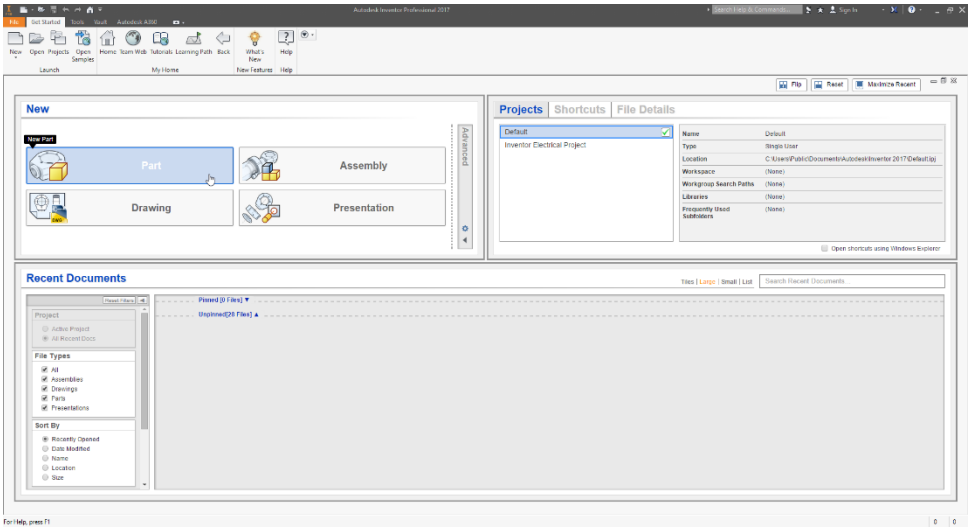
4.2 Βήματα Κατασκευής της γεωμετρίας

Όταν ανοίγουμε το Inventor, η αρχική σελίδα είναι η παρακάτω:



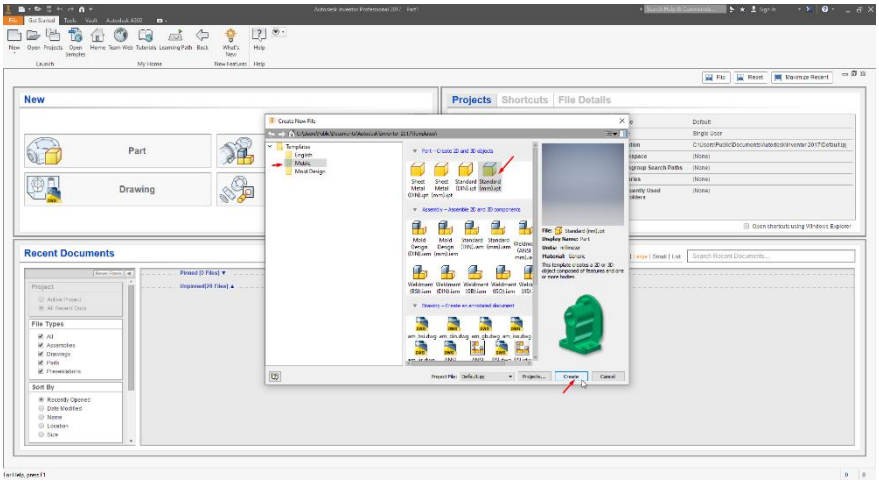
Εικόνα 4.1 Στιγμιότυπο οθόνης από παράθυρο αφετηρίας κατά το άνοιγμα του Inventor.

Υπάρχουν διάφορες επιλογές για το είδος κατασκευής που θέλουμε να πραγματοποιήσουμε. Συγκεκριμένα, έχουμε τα Part, Assembly, Drawing και το Presentation.
Επιλέγουμε το**Part** όταν θέλουμε να κατασκευάσουμε ένα object, αντικείμενο το οποίο μπορεί να είναι δισδιάστατο ή και τρισδιάστατο. Το Assembly πρόκειται για ένα σύνολο πολλαπλών Parts. Ένα πολύπλοκο μηχάνημα μπορεί να αποτελείται από πολλά εξαρτήματα. Σχεδιάζουμε ξεχωριστά τα εξαρτήματα και στη συνέχεια τα συναρμολογούμε στο **Assembly**. Το**Drawing** χρησιμοποιείται για σχεδίαση πάνω σε βαθμονομημένο background. Το **Presentation** περιλαμβάνει μία ή περισσότερες σκηνές. Οι σκηνές είναι ανεξάρτητες και μπορούν να χρησιμοποιούν διαφορετικά μοντέλα πηγής και διαφορετικά σύνολα αναπαραστάσεων μοντέλων. Παρακάτω θα δούμε βήμα προς βήμα πως κατασκευάσαμε τον τζουρά στο Inventor. Η παρουσίαση θα είναι σε μορφή tutorial με κάποιες παραπάνω επεξηγήσεις για ορισμένες λειτουργίες του προγράμματος που δουλεύουμε.
1. Το πρώτο βήμα μας είναι να διαλέξουμε createnewpart.



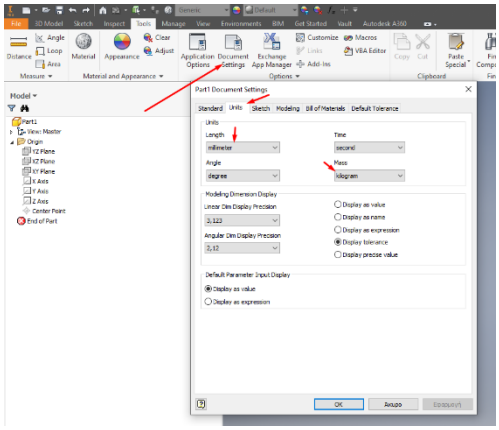
Εικόνα 4.2 Στιγμιότυπο οθόνης από παράθυρο αφετηρίας και επιλογή “Part” στο Inventor.

2) Στη συνέχεια επιλέγουμε το Metric και μετά το Standard(mm).ipt όπως φαίνεται στην εικόνα 4.2. Είναι άκρως σημαντικό το αρχείο μας να έχει τις σωστές μονάδες μέτρησης.



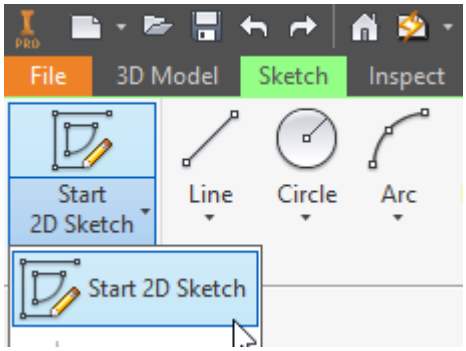
Εικόνα 4.3 Στιγμιότυπο οθόνης μετά την επιλογή “Part”.

3) Επιλέγουμε το “Create” και αφού το καινούργιο μας κενό αρχείο ανοίξει το επόμενο βήμα είναι να ελέγξουμε ότι οι μονάδες μέτρησης είναι ορθές και αυτό θα το δούμε στις ρυθμίσεις του αρχείου, “DocumentSettings”. Προχωράμε στο πεδίο “Tools” και μετάδιαλέγουμε το “DocumentSettings”. Αν έχουμε πραγματοποιήσει σωστά τα προηγούμενα βήματα θα πρέπει να αναγράφονται τα παρακάτω στοιχεία: το μήκος θα υπολογίζεται σε mm, οι γωνίες σε μοίρες, ο χρόνος σε s και η μάζα σε kg.



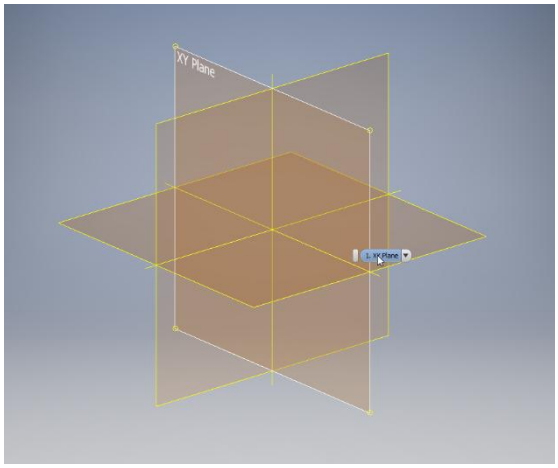
Εικόνα 4.4 Στιγμιότυπο οθόνης από παράθυρο μετά την επιλογή “Tools”.

4) Το επόμενο μας βήμα είναι να ξεκινήσουμε ένα sketch, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 4.5, επιλέγουμε το πεδίο “Sketch”, στη συνέχεια το “Start 2DSketch”. Όταν επιλέξουμε το “Start 2DSketch”, εμφανίζονται στην οθόνη οι τρεις διαστάσεις που μπορούμε να σχεδιάσουμε.



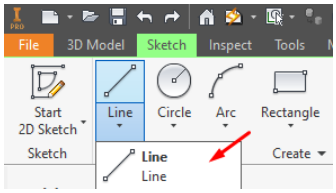
Εικόνα 4.5 Επιλογή "Start 2DSketch".

5) Όταν πατάμε το "Start 2D Sketch", εμφανίζονται στην οθόνη του υπολογιστή οι άξονες εργασίας. Θα επιλέξουμε το επίπεδο XY όπου και θα σχεδιαστεί η γεωμετρία του τζουρά. Για αυτό το σκοπό θα χρησιμοποιηθούν οι μετρήσεις που καταγράφηκαν στο εργαστήριο, οι οποίες βρίσκονται στο τρίτο κεφάλαιο.



Εικόνα 4.6 Οι άξονες εργασίας και ο επιλεγμένος άξονας XY

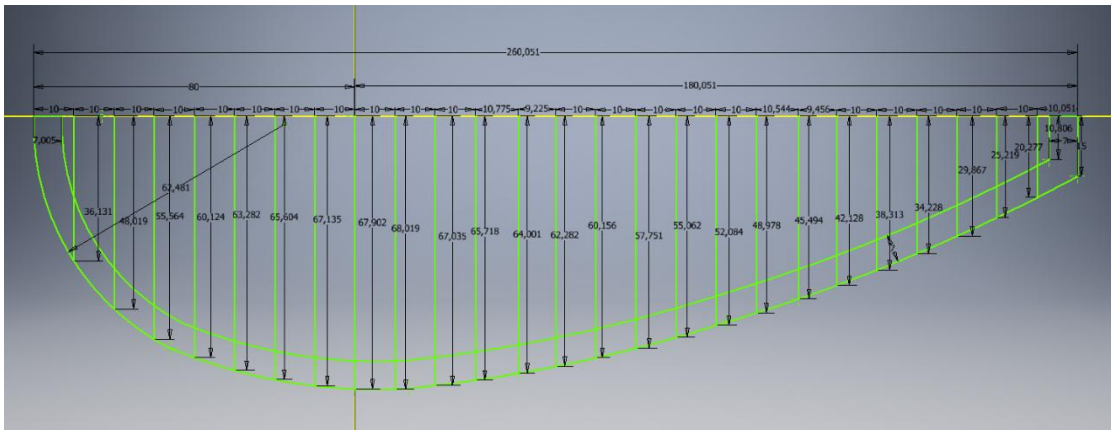
7) Αφού διαλέξουμε λοιπόν το πεδίο σχεδιασμού μας, ξεκινάμε το σκίτσο μας με την επιλογή Line που αφορά τη δημιουργία γραμμής με ένα σημείο αρχής και ένα του τέλους.



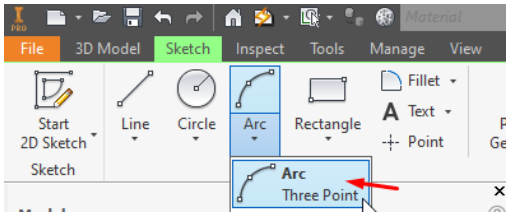
Εικόνα 4.7 Επιλογή "Line"

Θα σχεδιάσουμε μια ευθεία εφαπτόμενη και παράλληλη στον άξονα Y, ξεκινώντας από το κεντρικό σημείο x=0, y=0. Η πρώτη γραμμή που θα φέρουμε θα έχει μήκος ίσο με 80 mm παράλληλη του άξονα Y η οποία όμως θα βρίσκεται κάτω του κεντρικού σημείου, δηλαδή x=0, y=-80mm. Μια δεύτερη γραμμήθα έχει μήκος ίσο με 180,051mm πέρα από το κεντρικό σημείο, δηλαδή x=0, y=180,051mm. Στο σημείο y=180.051 mm φέρουμε γραμμή μήκους 15 mmπαράλληλα του άξονα X (x=15mm).Από το πρώτο σημείο που δημιουργείται (x=0, y=-80mm) ξεκινάμε εμείς να τοποθετούμε γραμμές ανά 10mm από ένα σημείο. Οι μετρήσεις αυτές είναι

σύμφωνα με τις καταγραμμένες στο κεφάλαιο 3, οι οποίες βασίζονται σε πραγματικό όργανο τζουρά. Εκτείνουμε δηλαδή γραμμές ανά 10mm μέχρι να φτάσουμε στο τελικό μήκος του σκάφους (εξαιρώντας της πρώτης γραμμής που προαναφέραμε) του τζουρά το οποίο θα βρίσκεται μέχρι το σημείο x=0, y=170mm.

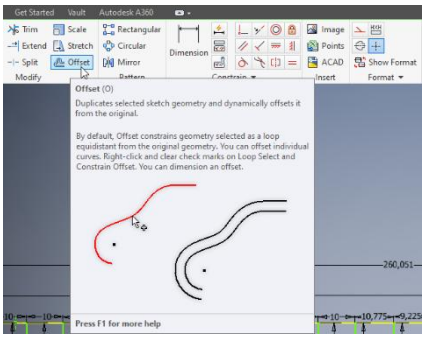


Εικόνα 4.8 Σχεδίαση γεωμετρίας σκάφους τζουρά.



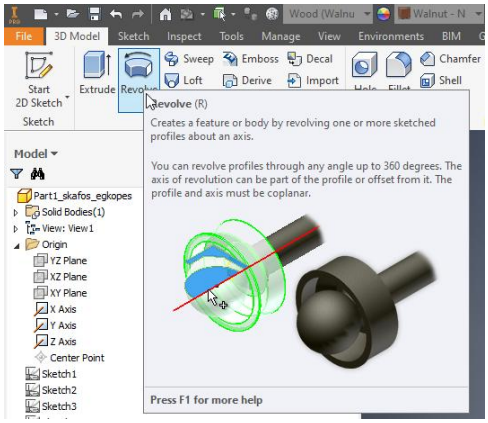
Εικόνα 4.9Επιλογή "Arc".

9) Μπορούμε μετά με το εργαλείο Arc να ενώσουμε αρχικά το σημείο x=0, y=-80mm με το x=57,822mm, y=-45,953mm. Ακολουθούμε ενώνονταςτο σημείο x=57,822mm, y=-45,953mmμε το x=67,738mm, y=13.612mm, το σημείο x=67,738mm, y=13.612mm με το x=51,198mm, y=92,796mm και τέλος το σημείο x=51,198mm, y=92,796mm με το x=15mm, y=180.051mm. Έτσι λοιπόν έχουμε τις κατάλληλες καμπύλες για το σκάφος του τζουρά.Χρησιμοποιούμε το εργαλείο Offset (Εικόνα 4.10) για να επιλέξουμε τα τόξα που σχεδιάσαμε και τα αντιγράφουμε εσωτερικά, απέχοντας περίπου 7mmαπό τα αρχικά τόξα μας όπως φαίνεται παραπάνω στην Εικόνα 4.8.



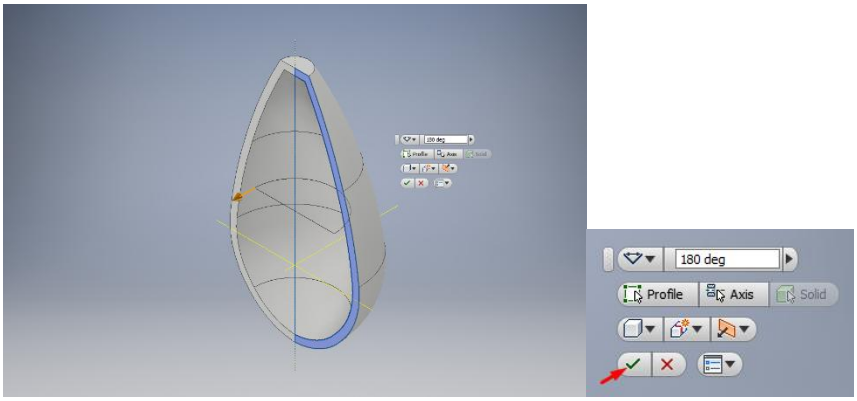
Εικόνα 4.10Επιλογή "Offset".

10) Με βάση το παραπάνω σχέδιο, μετατρέπουμε από δισδιάστατη σε τρισδιάστατη την γεωμετρία του σχεδίου μας. Αυτό θα το πετύχουμε με τη βοήθεια της εντολής Revolve. Η γεωμετρία περιστρέφεται γύρω από τον Y άξονα ως προς το κέντρο. Το σκίτσο το οποίο έχουμε κατασκευάσει θέλουμε να περιστραφεί με το revolve γύρω από το Y=0 και έως 180 μοίρες. Το Revolve βρίσκεται στο πεδίο 3D Model.

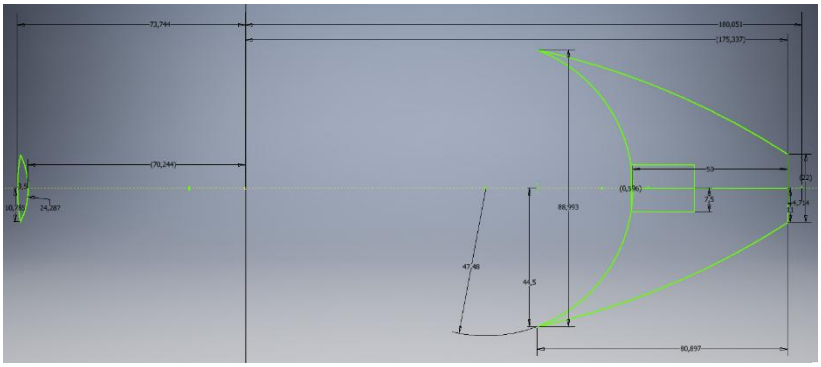


Εικόνα 4.11 Revolve.

Στη συνέχεια επιλέγουμε τη γεωμετρία (profile) και επιλέγουμε και τον άξονα που έχουμε φτιάξει (γραμμή από την αρχή των αξόνων και εφαπτόμενη προς τον Y άξονα). Το Revolveδημιουργεί το απεικονιζόμενο αντικείμενο στην εικόνα 4.12. Είναι εμφανές ότι διατηρείται το κενό ανάμεσα στη γεωμετρία και τον άξονα.

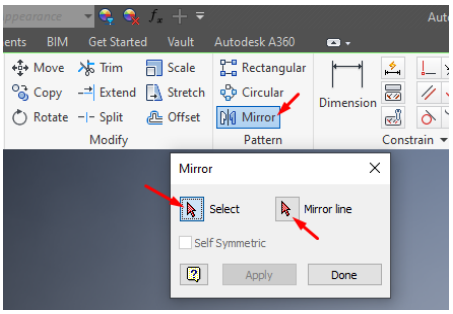


Εικόνα 4.12Επιλογή επιφάνειας και δημιουργία 3D γεωμετρίας με το εργαλείο Revolve.



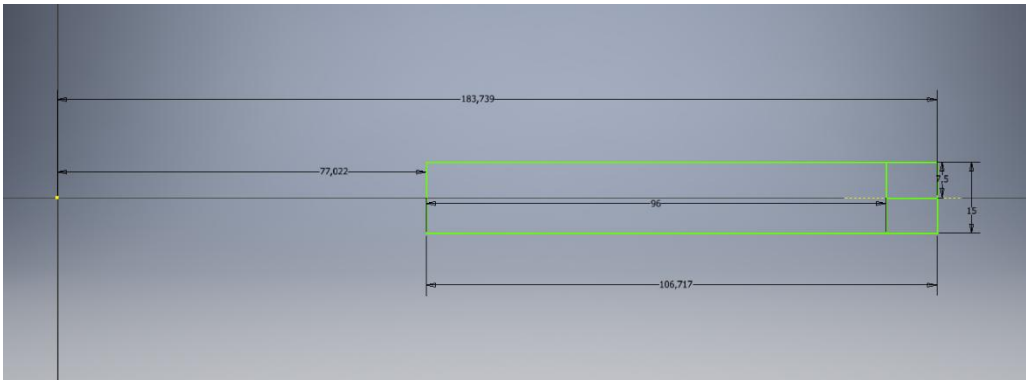
Εικόνα 4.13Σχεδίαση γεωμετρίας εσωτερικού μέρους του σκάφους τζουρά.

11) Φτιάχνουμε και 2ο sketch το οποίο θα έχει τη γεωμετρία του εσωτερικού του σκάφους του τζουρά. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαδικασία δημιουργίας 2D σχεδίου είναι ακριβώς ίδια όπως προαναφέρθηκε παραπάνω. Ξεκινάμε από το σημείοy=180.051mm σχεδιάζοντας μια γραμμή ίση με 11mm και παράλληλη του άξονα x. Στο σημείο y=99.154mm φέρνουμε ένα τόξο παράλληλο του άξονα x το οποίο απέχει 44.5mm προς το σημείο που βρίσκεται η προηγούμενη χαραγμένη γραμμή. Η κλίση που βασίζεται το τόξο λαμβάνεται από το 1ο σχέδιο.Έπειτα, από το σημείο y=130.051mm σχεδιάζουμε μία γραμμή παράλληλη του άξονα y που απέχει 50mm με τη προηγούμενη γραμμή των 11mm. Φέρνουμε τόξο από το ίδιο σημείο προς το σημείο y=99.154mm μεκλίση που εξαρτάται από τη θέση της 1ης εσοχήςκαμαριούτου καπακιού του τζουρά η οποία θα αναφερθεί παρακάτω.
12) Στο σημείο y= 149,983mm φέρνουμε μια γραμμή ίση με 7.5mm και παράλληλη του άξονα x και από εκεί φέρνουμε και ενώνουμε ακόλουθη κάθετη γραμμή πάνω στο τόξο σε σημείο περίπου του y= 130.051mm.
13)Στο σημείο x=0, y=-73,744mm σχεδιάζουμεένα τόξο ίσο με 10,785mm και παράλληλο του άξονα x με κλίση που εξαρτάται από το 1ο σχέδιο. Στο σημείο y=-70.244mm σχεδιάζουμε ένα τόξο ίσο με 10,785mm και παράλληλο του άξονα x το οποίο ενώνεται στο τέλος του προηγούμενου τόξου.



Εικόνα 4.14Επιλογή γεωμετρίας και άξονα με το εργαλείο Mirror.

14) Με το εργαλείο Mirror(εικόνα 4.14) μπορούμε να κάνουμε το σχέδιο μας αντιγραφή επιλέγοντας τη γεωμετρία και έχοντας επιλεγμένο τον άξονα y για να έχουμε συμμετρικό σχέδιο με δύο πλευρές.

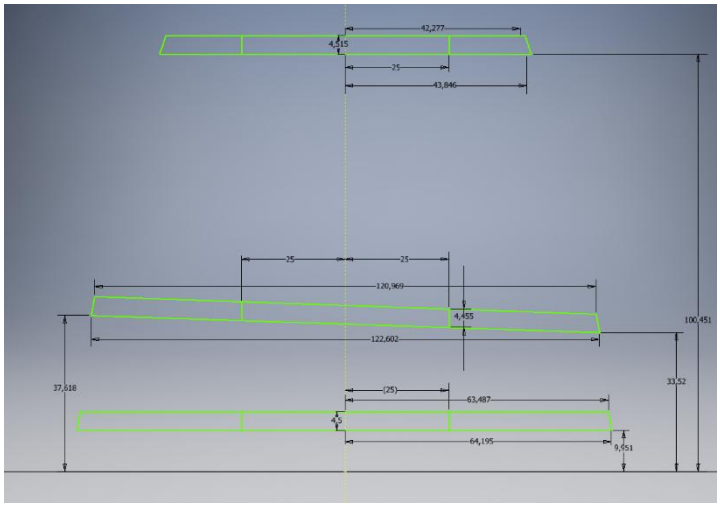


Εικόνα 4.15Σχεδίαση επιπρόσθετης γεωμετρίας εσωτερικού μέρους του σκάφους τζουρά.

15) Φτιάχνουμε και 3ο sketch το οποίο θα έχει τη γεωμετρία της κεντρικής εσοχής του εσωτερικού του σκάφους ώστε να χωράει το άκρος του μάνικου του τζουρά όταν όλα τα μέρη του οργάνου ενωθούν στο Assembly. Από το σημείο y=77.022mm σχεδιάζουμε μια γραμμή ίση με 7.5mm και παράλληλη του άξονα x.Στο τέλος αυτής της γραμμής φέρνουμε ακόλουθη γραμμή η οποία ισούται με 106.717mm (δηλαδή έως το σημείο y=183.739mm). Η γραμμή αυτή ενώνεται με ακόλουθη γραμμή των 7.5mm πίσω στο σημείο y=183.739mm και σημείο x=0. Στο σημείο y= 173,022mm σχεδιάζουμε μια γραμμή παράλληλη του άξονα x ίση με 7.5mm η οποία ενώνεται με τη μεγαλύτερηγραμμή στο σχέδιο αυτό. Με το εργαλείο mirror μπορούμε να κάνουμε το σχέδιο μας αντιγραφή έχοντας συμμετρικό σχέδιο με δύο πλευρές όπως φαίνεται παραπάνω.

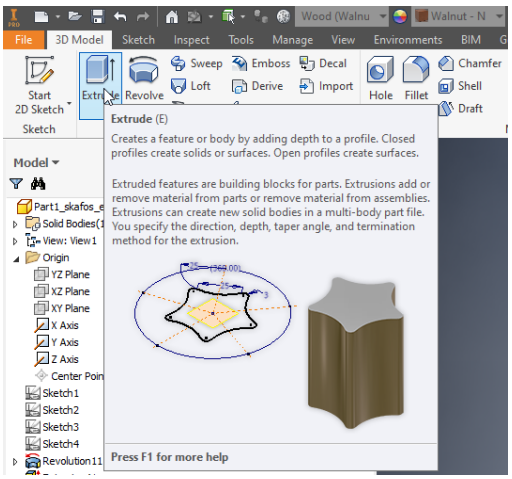
16) Φτιάχνουμε 4ο sketch το οποίο θα έχει τη γεωμετρία των εσοχών των καμαριών του καπακιού του τζουρά. Ξεκινάμε για τη 1η εσοχή καμαριούστο σημείο y=100,451mm, x=0 καισχεδιάζουμε μια γραμμή παράλληλη του άξονα x ίση με 43,846mm. Ελαφρώς πιο πάνω στο σημείο y=104,966mm, φέρουμε γραμμή παράλληλη του άξονα x ίση με 42,277mm. Αυτές τις δύο γραμμές τις ενώνουμε μεταξύ τους με γραμμή που ισούται με 4,515mm, δηλαδή ενώνουμε το σημείο x=42,277mm, y=104,966mm με το σημείο x=43,846mm, y=100,451mm. Επιπλέον, στο σημείο y=104,966mm και x=25mm ενώνουμε τις δύο γραμμές μεταξύ τους με γραμμή ίση των 4,515mm.Για τη 2η εσοχή καμαριού έχουμε το σημείο x=-61,3mm, y=37,618mm όπου θα χαράξουμε μια γραμμή με κλίση περίπου 2,5 μοιρών προς τα κάτω ίση με122,602mm. Ελαφρώς πιο πάνω στο σημείο x=-60,484mm, y=42,178mm φέρουμε όπως τη προηγούμενη μια γραμμή με κλίση περίπου 2,5 μοιρών ίση με120,969mm προς τα κάτω παράλληλη με τη προηγούμενη γραμμή. Σε αυτές τις δύο γραμμές ενώνουμε μεταξύ τα άκρα τους με γραμμές που ισούνται με περίπου 4,5mm, δηλαδή ενώνουμε το σημείο x=-61,300mm, y=37,618mm με το σημείο x=-60,484mm, y=42,178mm καθώς και το σημείο x=61,302mm, y=33,520mm με το σημείο x=60,486mm, y=37,947mm. Επιπλέον, ενώνουμε τις δύο αυτές γραμμές με δύο ίσιες κατακόρυφες γραμμέςπερίπουίσες με 4,5mm (χωρίς κλίση) μεταξύ τους, στα σημεία x=-25mm και x=25mm. Προφανώς, εξαιτίας της κλίσης της 2ης καμαριού που λαμβάνουμε υπόψιν στο σκίτσο δεν χρησιμοποιούμε το εργαλείο Mirror. Για τη 3η εσοχή καμαριού έχουμε το σημείο x=0, y=9,951mm στο οποίο σχεδιάζουμε μια γραμμή παράλληλη του άξονα x ίση με 64,195mm. Ελαφρώς πιο πάνω στο σημείο y=14,451mm, φέρουμε γραμμή παράλληλη του άξονα x ίση με 63,487mm. Αυτές τις δύο γραμμές τις ενώνουμε μεταξύ τους με γραμμή που ισούται περίπου με 4,5mm, δηλαδή ενώνουμε το σημείο x=64,195mm, y=9,951mm με το σημείο x=63,407mm, y=14,451mm. Επιπλέον, στο σημείο x=25mm, y=14,451mm ενώνουμε αυτές τις δύο

παράλληλες γραμμές μεταξύ τους με γραμμή ίση με 4,5mm.Το 1ο και 3ο καμάρι μπορούμε με το εργαλείο mirror να τις κάνουμε συμμετρικές με δύο πλευρές έχοντας κάνει τη μία ήδη.



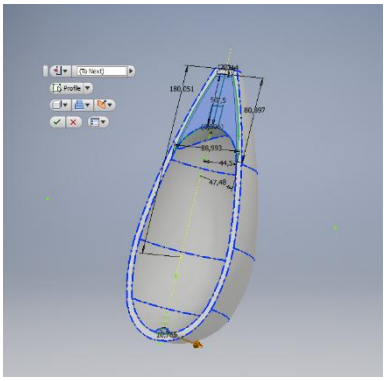
Εικόνα 4.16 Σχεδίαση γεωμετρίας εσοχών των καμαριών του καπακιού τζουρά.

17) Με βάση το 2ο sketch που έχει τη σχετική γεωμετρία του εσωτερικού του σκάφους του τζουρά, επιλέγουμε από την καρτέλα 3D Model την εντολήExtrude.



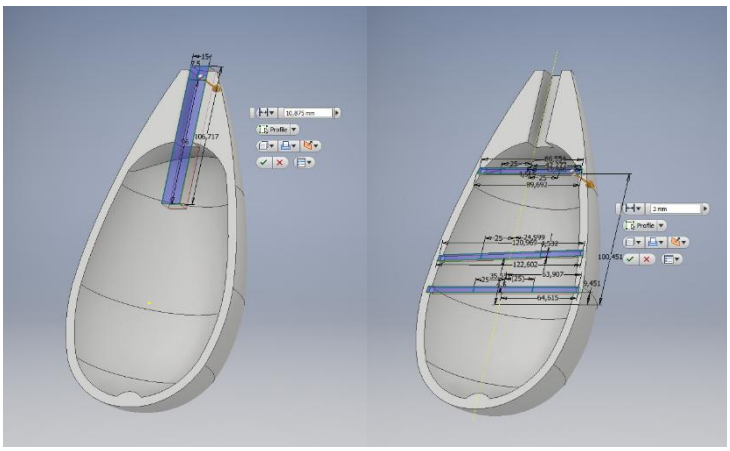
Εικόνα 4.17 Extrude.

Οπότε, έχοντας τη σχεδιασμένη γεωμετρία του 2ου sketch επιλέγουμε την επιφάνεια την οποία εξωθούμε, με την εντολή Extrude, μέχρι εκεί που συναντάται το βάθος του σκάφους με επιλογή “Join”και “To Next”.



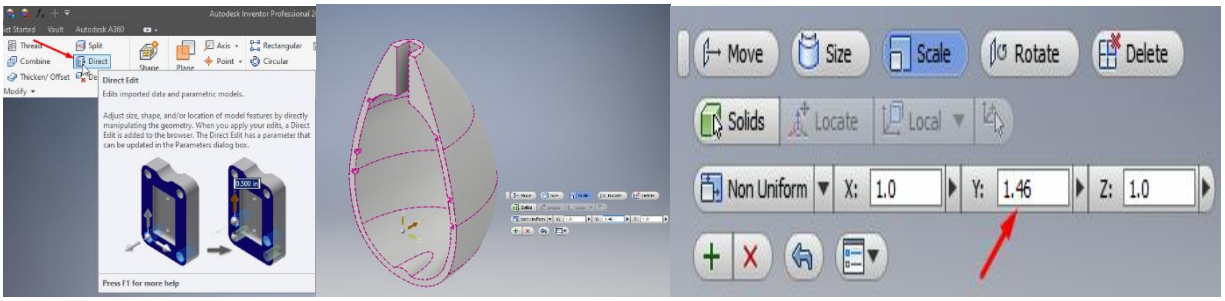
Εικόνα 4.18 Extrudeσχετικής γεωμετρίας εσωτερικού του σκάφους του τζουρά.

18) Το ίδιο εργαλείο θα χρησιμοποιήσουμε και στα υπόλοιπα σχέδια (3ο και 4ο) προκειμένου να λάβουμε τις κατάλληλες εσοχές στο εσωτερικό του σκάφους. Στο 3ο σκίτσο το πάχος λόγω Extrude θα ισούται με 10.875mm με την επιλογή "Cut". Στο 4ο σκίτσο θα ισούται με 3mm με την επιλογή "Cut".



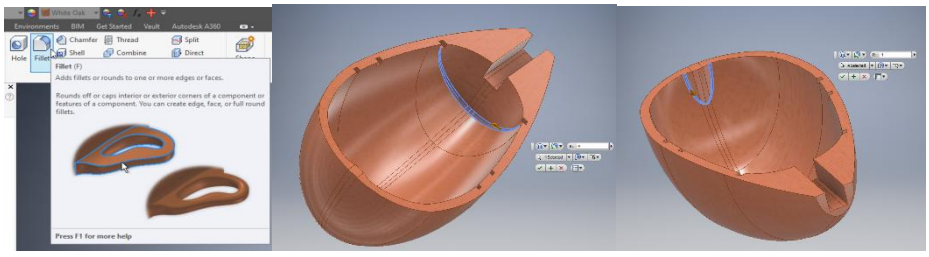
Εικόνα 4.19 Extrudeσχετικής γεωμετρίας κατάλληλων εσοχών εσωτερικού του σκάφους τζουρά.

19) Επειδή το συνολικό αποτέλεσμα είναι μικρότερο σε ύψος συγκριτικά με αυτό που είναι αναγκαίο, κάνουμε διόρθωση με το εργαλείο Direct το οποίο βρίσκεται στο πεδίο 3D Model. Συγκεκριμένα, επιλέγουμε το "Scale" σε "Solids" και "Non Uniform" πάνω στον άξονα y με αύξηση ίση με 1.46 όπως φαίνεται εδώ:



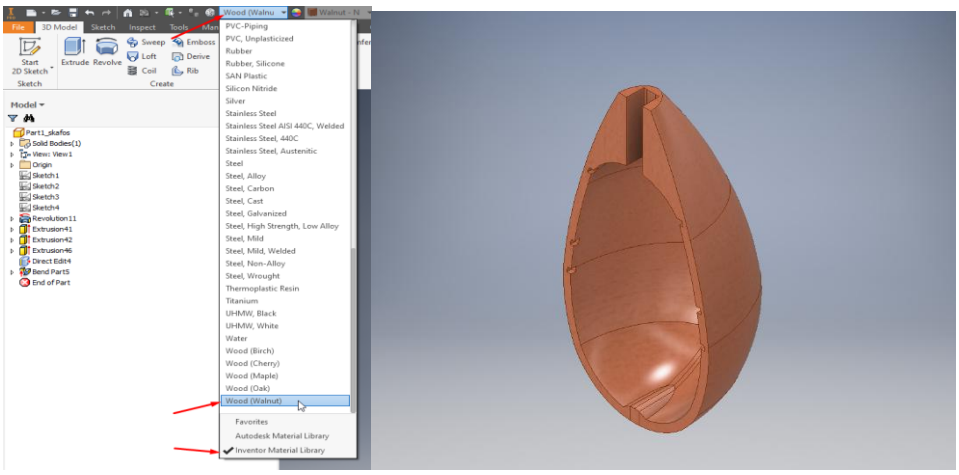
Εικόνα 4.20 Direct με επιλογή "Scale" σε "Solids" και "NonUniform" στον άξονα y

20) Για να κάνουμε το 3D μοντέλο του σκάφους μας πιο ομοιόμορφο θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο Fillet το οποίο βρίσκεται στο πεδίο 3D Model. Θα επιλέξουμε το "Edge" στα 4mm αρχικά στις κάτω τρείς καμπυλωτές γραμμές, στο τέλος που ξεκινά η εσοχή του μάνικου και στο καμπυλωτό κεντρικό σχήμα που κάθεται το καπάκι όπως απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 4.22 Fillet με επιλογή "Edge"

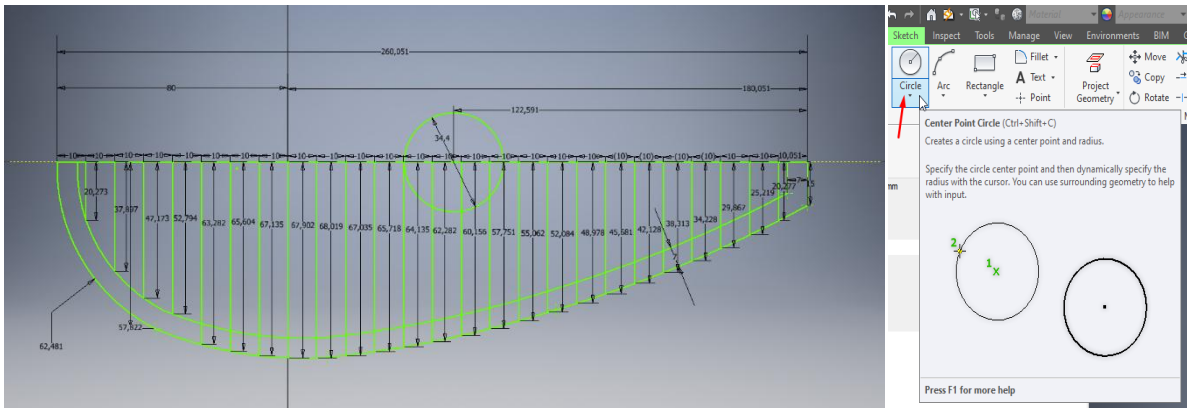
Στη συνέχεια επιλέγουμε υλικό το οποίο θα είναι η καρυδιά. Για να προσθέσουμε το υλικό στο αντικείμενο μας θα πάμε στο πεδίο “material”.



Εικόνα 4.23Επιλογή υλικού “Wood (Walnut)”.

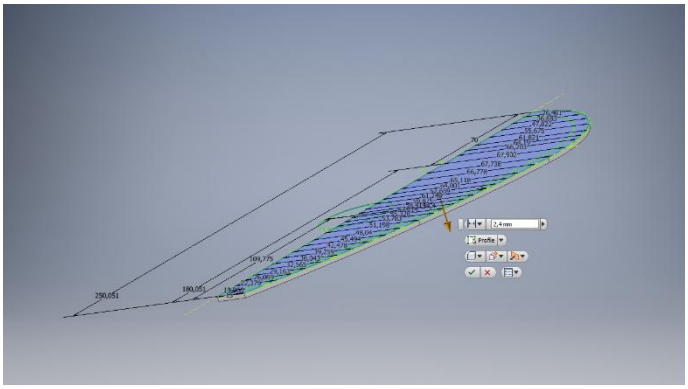
Κατευθυνόμαστε προς τα κάτω και διαλέγουμε την επιλογή “Wood (Walnut)”.Για την απεικόνισηεπιλέγεται αυτόματα η εμφάνιση του “Walnut – Natural Polished”(Εικόνα 4.23).

21) Το σχέδιο του καπακιού τζουρά είναι το ίδιο με του σκάφους μόνο που στο σημείο y= 109,775mm (x=0), ανοίγουμε με το εργαλείο Circle ένα κύκλο με περίμετρο που ισούται με 34,4mm.



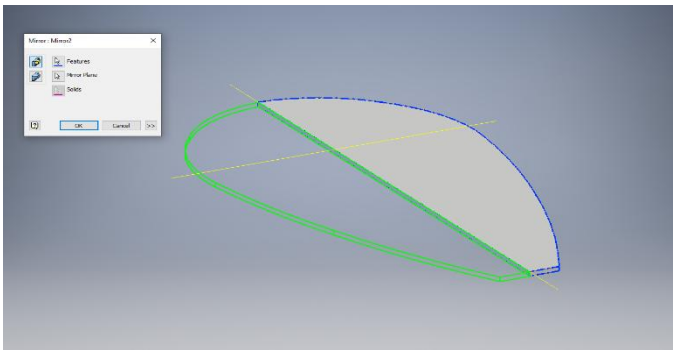
Εικόνα 4.24Σχεδίαση γεωμετρίας καπακιού – Επιλογή “Circle”

22) Με βάση το παραπάνω sketch που έχει τη σχετική γεωμετρία του καπακιού του τζουρά, επιλέγουμε από την καρτέλα 3D Model το εργαλείο Extrude. Επιλέγουμε όλη την επιφάνεια του καπακιού και κάνουμε Extrude που ισούται με 2.4mm με επιλογή “Join”.



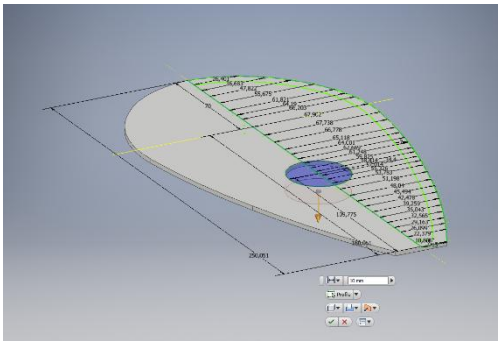
Εικόνα 4.25 Extrude επιφάνειας καπακιού ίση με 2,4mm επιλέγοντας “Join”

23) Το σχέδιο αυτό μπορούμε με το εργαλείο Mirror να το κάνουμε συμμετρικό με δύο πλευρές (έχοντας κάνει τη μία ήδη) επιλέγοντας τη γεωμετρία του σκίτσου με το “Features” και το αντίστοιχο επίπεδο προς αντιγραφή με το “Mirror Plane”. Το Mirror Plane βρίσκεται στο πεδίο 3D Model.



Εικόνα 4.26 Mirror επιφάνειας καπακιού με το “Features” και το αντίστοιχο επίπεδο προς αντιγραφή επιλέγοντας “MirrorPlane”.

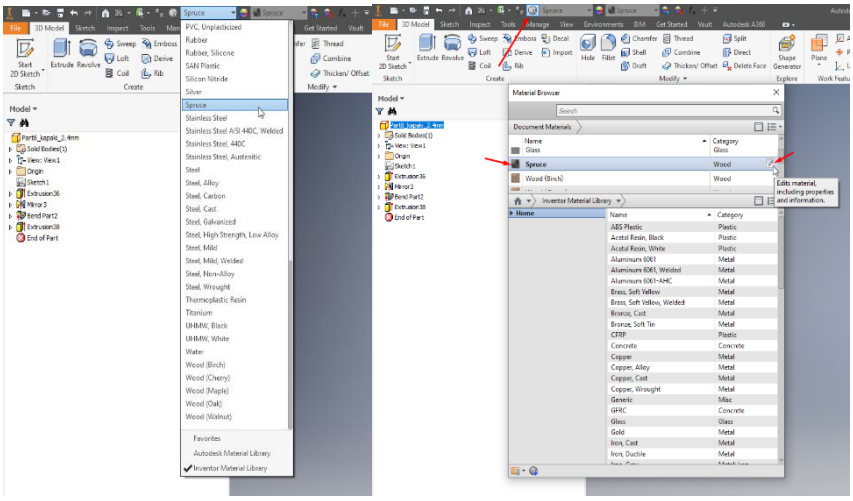
Στη συνέχεια κάνουμε Extrudeμε το “Cut” πάνω στην επιφάνεια του κύκλου και ρυθμίζουμε να έχει αρκετό βάθος ώστε να αφαιρεθεί πλήρως, δηλαδή πάνω από 2,4mm.



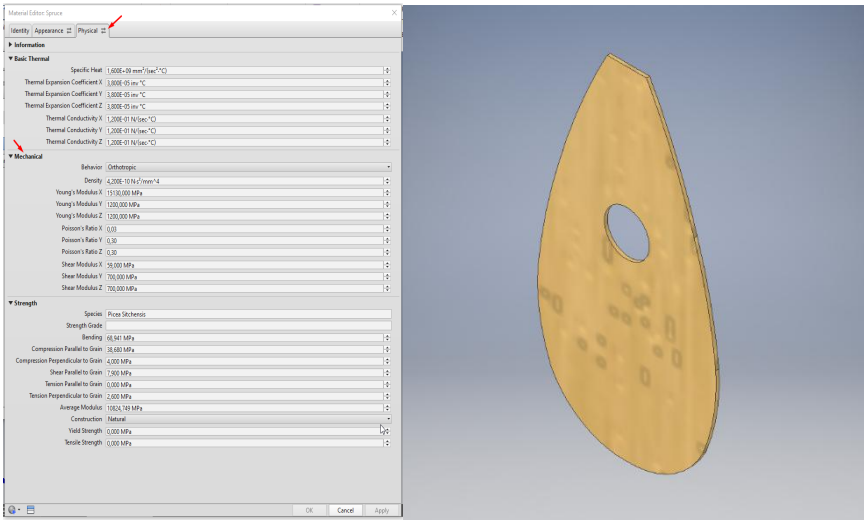
Εικόνα 4.27 Extrude με επιλογή “Cut”

24) Στη συνέχεια επιλέγουμε αρχικό υλικό για τη προσομοίωση το οποίο θα είναι το έλατο. Για να προσθέσουμε το υλικό στο αντικείμενο μας θα πάμε στο πεδίο “material”και διαλέγουμε την επιλογή “Spruce ”. Οπτικά θα επιλεχθεί αυτόματα η εμφάνιση του “Spruce” (εικόνα 4.29). Όταν θα έχουμε επιλέξει το υλικό με το οποίο θα δουλέψουμε μπορούμε να πάμε στις ιδιότητες του και να δούμε χαρακτηριστικά

και τις φυσικές ιδιότητές του. Όπως φαίνεται στην εικόνα 4.30 μπορούμε να δούμε την ταυτότητα (Identity), την εμφάνιση (Appearance), καθώς και τις φυσικές ιδιότητες (Physical).



Εικόνα 4.29Επιλογή υλικού “Spruce”.



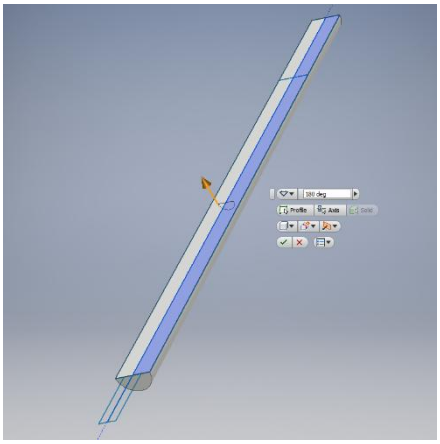
Εικόνα 4.30Ιδιότητες υλικού “Spruce”.

25) Για το μάνικο, δημιουργούμε σχέδιο και ξεκινάμε φέροντας από κεντρικό σημείο y=0,x=0 κατασκευαστική γραμμή παράλληλη του άξονα y που θα ισούται με 700mm. Από το σημείο y=125.308mm, σχεδιάζουμε μια γραμμή ίση με 7.5mm και παράλληλη του άξονα x. Στο σημείο y=125.308mm, x=7,5mm φέρουμε μια γραμμή παράλληλη του άξονα y ίση με 54,714mm. Στο σημείο y=180.022mm, x=7,5mm σχεδιάζουμε μια γραμμή ίση με 7.5mm και παράλληλη του άξονα x. Στο σημείο y=598,242mmσχεδιάζουμε μια γραμμή ίση με 12.15mm και παράλληλη του άξονα x. Την γραμμή αυτήν την ενώνουμε στο σημείο y=180.022mm, x=15mm όπου συναντάται η προηγούμενη γραμμή. Επιπλέον, από το σημείο y=125.308mm σχεδιάζουμε μια γραμμή ίση με 472,934mm και παράλληλη του άξονα y. Στο σημείο y=528,502mm, x=0 σχεδιάζουμε μια γραμμή παράλληλη του άξονα x η οποία θα ενώνεται κατακόρυφα με τη μεγαλύτερη γραμμή.



Εικόνα 4.31Σχεδίαση γεωμετρίας μάνικου

26) Με βάση το παραπάνω σχέδιο, μετατρέπουμε τη δισδιάστατη γεωμετρία μας σε τρισδιάστατη γεωμετρία, με τη βοήθεια της εντολής Revolve. Η γεωμετρία περιστρέφεται γύρω από τον Y άξονα ως προς το κέντρο της οπής του τζουρά. Η γεωμετρία η οποία έχουμε κατασκευάσει θέλουμε να περιστραφεί με το revolve γύρω από το Y=0 και έως 180 μοίρες.



Εικόνα 4.32 Revolveέως 180 μοίρες

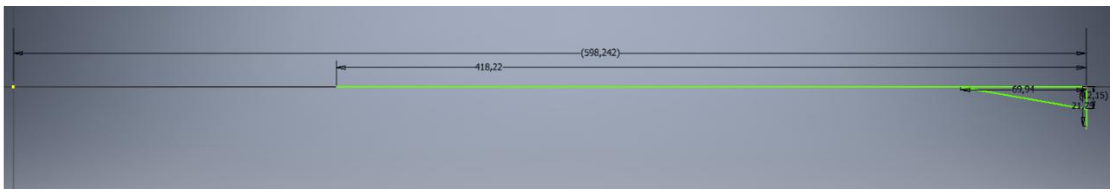
27) Επειδή το αποτέλεσμα είναι μικρότερο σε ύψος συγκριτικά με αυτό που είναι αναγκαίο, κάνουμε διόρθωση με το εργαλείο Direct στο δημιουργημένο 3D μοντέλο. Συγκεκριμένα, επιλέγουμε το "Scale"σε "Solids" και "NonUniform" πάνω στον άξονα γμε αύξηση ίση με 1.45 όπως φαίνεται εδώ:



Εικόνα 4.33 Direct με επιλογή "Scale" σε "Solids" και "NonUniform" στον άξονα y

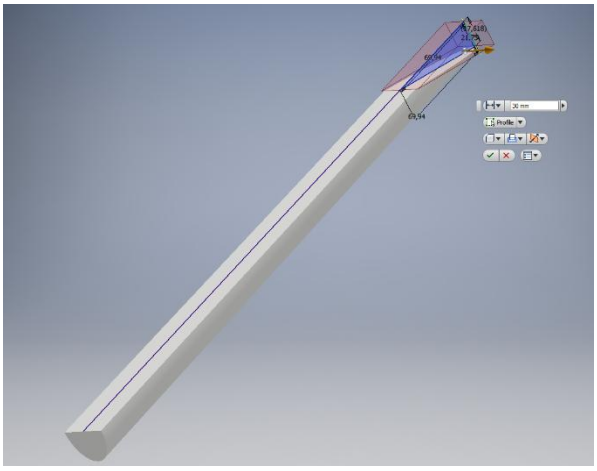
28) Με βάση το προηγούμενο σχέδιο μπορούμε να επιλέξουμε το πλάνο YZ ώστε να σχεδιάσουμε στο πλάι του μάνικου. Αρχινάμε από το σημείο y=528,302mm και σχεδιάζουμε γραμμή ίση με 69,94mmπαράλληλη του άξονα y. Έτσι, πετυχαίνουμε κλίση περίπου 167 μοιρών.Στο σημείο y=598,242mm φέρουμε κάθετη γραμμή που

ισούται με 21,75mm. Από το σημείο y=528,302mm, φέρουμε και ενώνουμε γραμμή εκεί που τελειώνει η προηγούμενη κάθετη γραμμή.



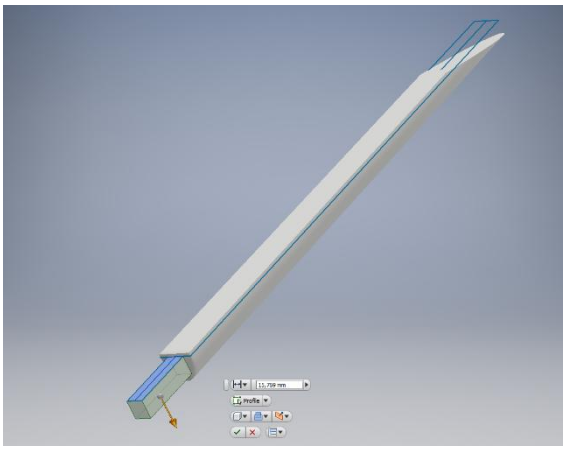
Εικόνα 4.34Σχεδίαση σχετικής γεωμετρίας για κατάλληλη κλίση στο ένα άκρο μάνικου

29) Μπορούμε να κάνουμε το παραπάνω σκίτσο Extrude επιλέγοντας "Cut"και "Symmetric" 30mm ώστε να δημιουργήσουμε τη κλίση που θέλουμε. Το άκρο αυτό θα συνδέεται με το κατάλληλο άκρο του καραούλου, όπως θα δούμε στο υποκεφάλαιο 4.3,που αναφέρεται το κομμάτι του Assembly.

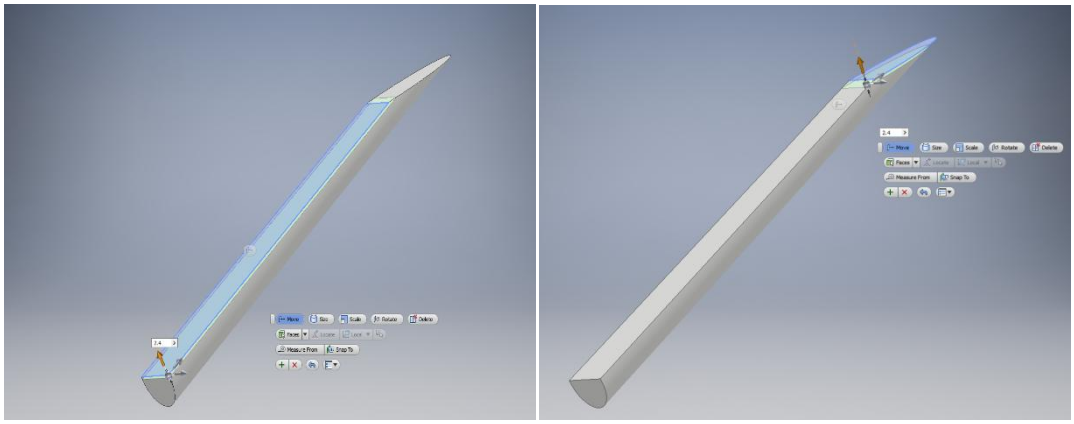


Εικόνα 4.35 Extrude επιλέγοντας "Cut"και "Symmetric"

Επιπλέον, πραγματοποιούμε Extrude με "Join" ίσο με 15,769mm στο αρχικό μικρό άκρο του μάνικου.



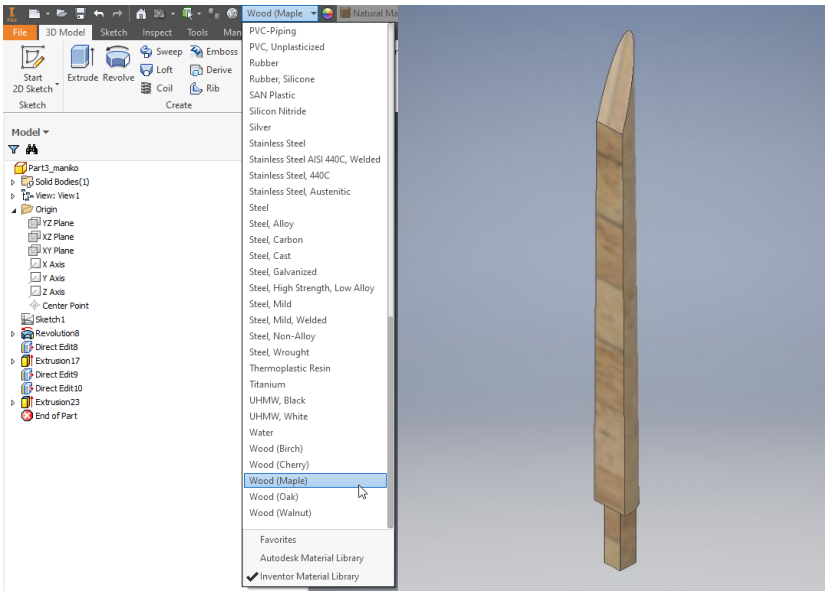
Εικόνα 4.36 Extrude επιλέγοντας "Join"



Εικόνα 4.37 Direct με επιλογή "Move" στον άξονα y

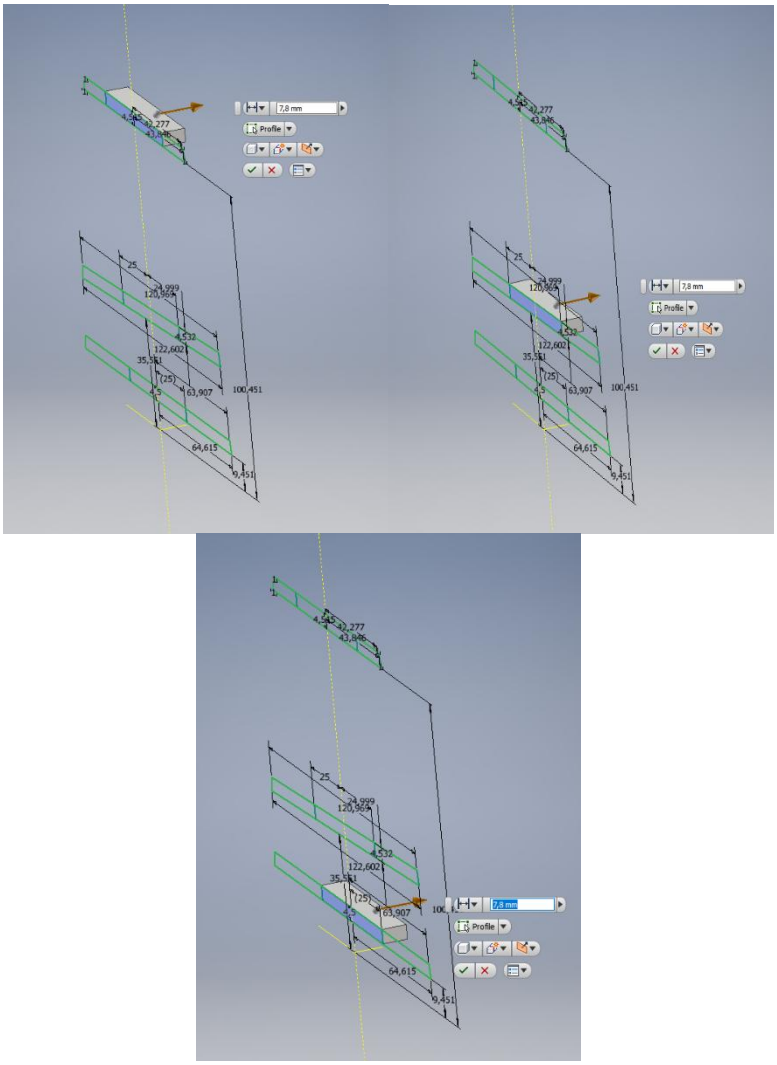
30) Διορθώνουμε με το εργαλείοDirectεπιλέγοντας"Move" πάνω στον άξονα yμε προσθήκη ίση με 2.4mm (επιλογή σε Faces) στην άνω μεγαλύτερη πλευρά του μάνικου. Παρομοίως και στο μικρότερο άκρο με τη κλίση που δημιουργήσαμε, διορθώνουμε προς τα πάνω με προσθήκη 2.4mm στον άξονα y (επιλογή σε Faces).

31) Επιλέγουμε υλικό το οποίο θα είναι ο σφένδαμος. Για να προσθέσουμε το υλικό στο αντικείμενο μας θα πάμε στο πεδίο "material". Διαλέγουμε την επιλογή "Wood (Maple)". Οπτικά θα επιλεχθεί αυτόματα η εμφάνιση του "NaturalMaple".



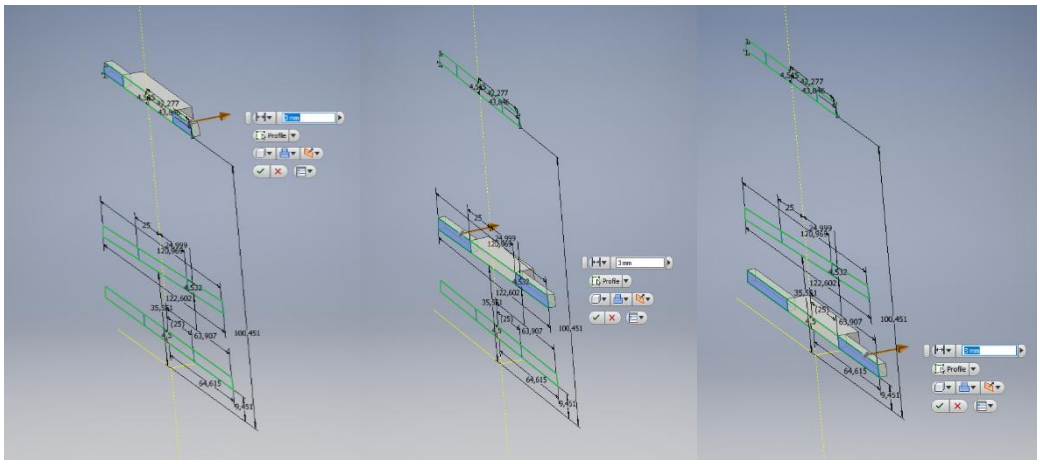
Εικόνα 4.38Επιλογή υλικού "Wood (Maple)".

32) Έχοντας το 4ο sketch το οποίο έχει τη γεωμετρία των εσοχών των καμαριών του σκάφους του τζουρά μπορούμε άμεσα να κάνουμε ξεχωριστά μέρη (parts) το κάθε καμάρι, τρία στο σύνολο. Οπότε ξεκινάμε με το εργαλείο Extrudeέχοντας επιλέξει "Join" σε όλες τακαμάριαστο κεντρικό τους μέρος, έχοντας τιμή ίση με 7.8mm.



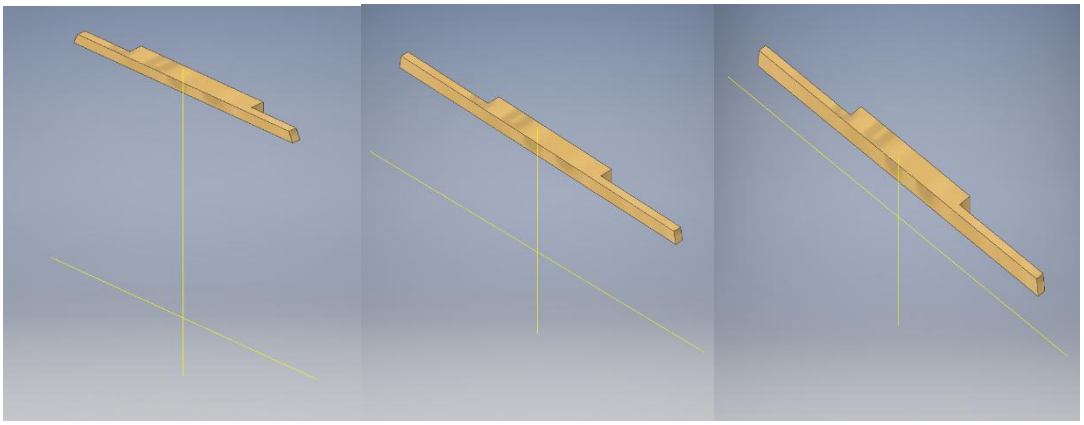
Εικόνα 4.39 Extrude και επιλογή "Join" με προσθήκη 7,8mm στο κεντρικό μέρος.

Έπειτα επιλέγουμε Extrude με "Join" ίσο με 3mm σε όλα τακαμάρια στα εξωτερικά μέρη τους.



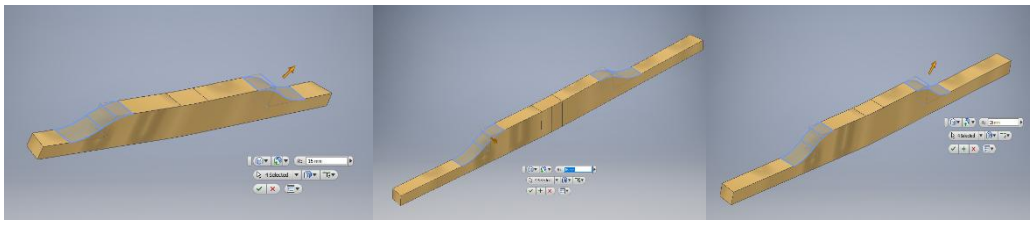
Εικόνα 4.40 Extrude και επιλογή "Join" με προσθήκη 3mm στα εξωτερικά μέρη.

33) Στη συνέχεια επιλέγουμε αρχικό υλικό για τη προσομοίωση το οποίο θα είναι το έλατο. Για να προσθέσουμε το υλικό στο αντικείμενο μας θα πάμε στο πεδίο “material”. Εκεί διαλέγουμε την επιλογή “Spruce”. Οπτικά θα επιλεχθεί αυτόματα η εμφάνιση του “Spruce”. Όταν θα έχουμε επιλέξει το υλικό με το οποίο θα δουλέψουμε μπορούμε να πάμε στις ιδιότητες και να ορίσουμε ακριβώς τις ίδιες τιμές του μέρους του καπακιού.



Εικόνα 4.42Επιλογή υλικού “Spruce”.

34) Για να κάνουμε τα 3D μοντέλα των καμαριών μας πιο ομοιόμορφα θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο Fillet το οποίο βρίσκεται στο πεδίο 3D Model. Θα επιλέξουμε το “Edge” στα 16mm αρχικά σταδύο άνω υψηλότεραεξωτερικάσημεία και έπειτα στα δύο κάτω κεντρικά σημεία όπως απεικονίζεται παρακάτω (εικόνα 4.43).



Εικόνα 4.43 Fillet 1^{ου}, 2^{ου} και 3^{ου}καμαριού.

35) Για τη ταστιέρα, φτιάχνουμε σχέδιο και ξεκινάμε φέροντας από κεντρικό σημείο y=0,x=0 κατασκευαστική γραμμή παράλληλη του άξονα yπου θα ισούται με 700mm. Στο σημείο y=168,022mm φέρουμε μια γραμμή ίση με 663,022mm και παράλληλη του άξονα y. Στο ίδιο σημείο y=168,022mm φέρουμε μια γραμμή ίση με 15mm και παράλληλη του άξονα x. Στο σημείο y=663,022mm φέρουμε μια γραμμή ίση με 12.5mm και παράλληλη του άξονα x. Το δεύτερη γραμμή την ενώνουμε με τη τρίτη γραμμή. Στο σημείο y=181,022mm φέρουμε μια κάθετη γραμμή παράλληλη του άξονα xη οποία ενώνεται με τη μεγαλύτερη γραμμή (ενώνει κάθετη γραμμή 15mm με κάθετη γραμμή 12.5mm) που αναφέραμε προηγουμένως. Στο σημείο y=168,022mm φέρουμε μια γραμμή ίση με 13.5mm και παράλληλη του άξονα x. Για τις επόμενες 28 κάθετες γραμμές ισχύει το ίδιο με τη κάθετη γραμμή η οποία βρίσκεται στο σημείο y=181,522mm.

Σημειώνεται ότι χρησιμοποιήσαμε την κλίμακα των 61cm στο τζουρά. Αυτή η απόσταση είναι από το καβαλάρη μέχρι την αρχή της ταστιέρας.

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

Πίνακας 4.1 Κλίμακα των 61cm για τα τάστα του τζουρά

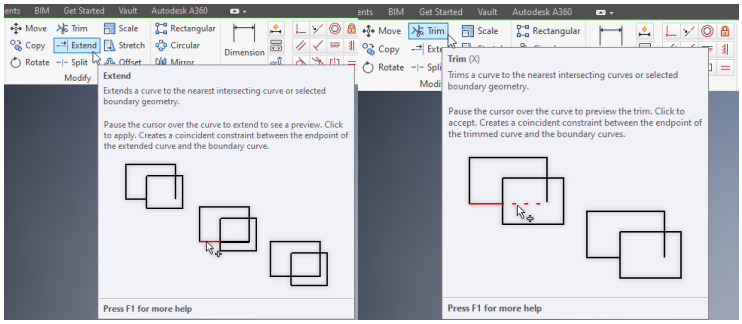
Λαμβάνουμε από τις τιμές του παραπάνω πίνακα τις διαφορές μεταξύ αυτών των σημείων και έτσι προχωράμε με τη δημιουργία των σημείων που σχεδιάζονται οι κάθετες γραμμές.

Διαφορά μεταξύ σημείων	Άξονας Υ
13,5mm	168,022mm
	181,522mm
6,3mm	187,822mm

6,8mm	194,622mm
7,2mm	201,822mm
7,7mm	209,522mm
8,6mm	218,122mm
8,6mm	226,722mm
9,1mm	235,822mm
9,6mm	245,422mm
10,2mm	255,622mm
10,7mm	266,322mm
11,5mm	277,822mm
12,2mm	289,994mm
12,7mm	302,722mm
13,6mm	316,322mm
14,4mm	330,722mm
15,2mm	345,922mm
16,3mm	362,192mm
17mm	379,222mm
18,1mm	397,322mm
19,3mm	416,622mm
20,3mm	436,922mm
21,6mm	458,522mm
22,8mm	481,322mm
24,2mm	505,522mm
25,7mm	531,222mm
27,2mm	558,422mm
28,8mm	587,187mm
30,4mm	617,622mm
44,5mm	662,122mm

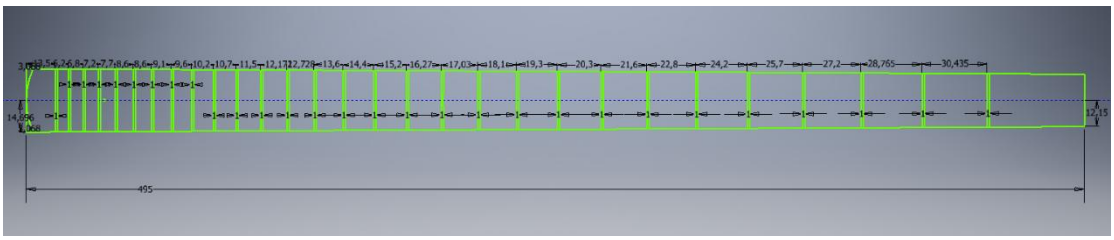
Πίνακας 4.2 Κλίμακα με διαφορές απόστασης στον Άξονα Υμεταξύ των σημείων των ταστών που σχεδιάζονται οι κάθετες γραμμές

36) Σημειώνεται ότι στη συνέχεια διορθώνουμε τις άκρες που ενώνονται οι κάθετες γραμμές με τη μεγαλύτερη γραμμή προκειμένου να εφάπτονται σωστά έχοντας το εργαλείο Extend για επέκταση εφόσον απαιτείται σε περίπτωση που δεν επαρκεί το μήκος μιας γραμμής ή το εργαλείο Trim για περικοπή μιας μη εφαπτόμενης γραμμής. Επίσης για να μπορέσουμε να κάνουμε τις εγκοπές για τα τάστα, θα σχεδιάσουμε όμοιες κάθετες γραμμές όπως αυτές που αναφέραμε οι οποίες θα απέχουν απόσταση 1m. Επαναλαμβάνουμε τη διόρθωση σε τυχόν αστοχίες.



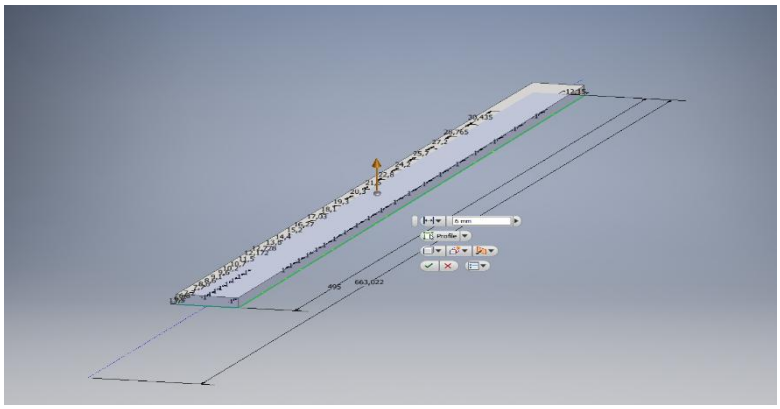
Εικόνα 4.44 Extend και Trim

Στη συνέχεια κάνουμε mirror όλο το σχέδιο ώστε να είναι συμμετρικό και στις δύο πλευρές του.



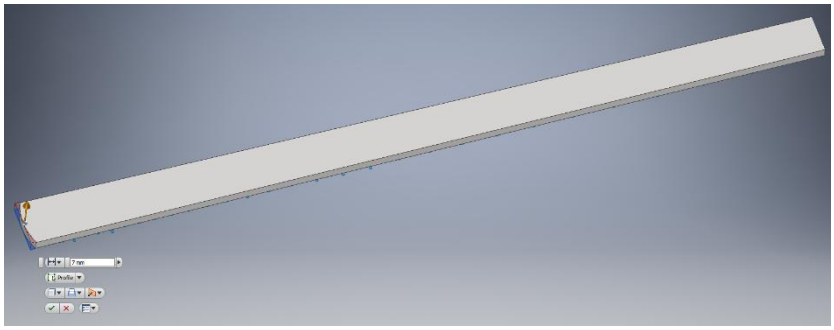
Εικόνα 4.45 Σχεδίαση γεωμετρίας ταστιέρας του τζουρά

37) Σύμφωνα με το παραπάνω σκίτσο ακολουθεί χρήση του εργαλείου Extrudeμε "Join" έχοντας προσθήκη 6mm σε όλη την επιφάνεια της ταστιέρας όπως απεικονίζεται εδώ:



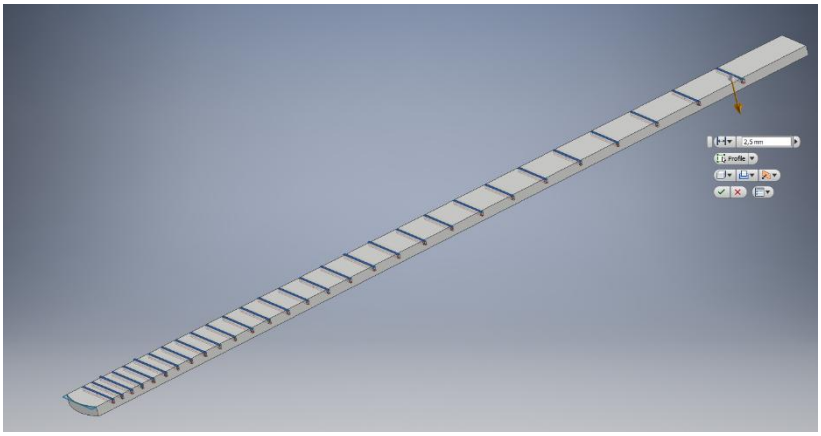
Εικόνα 4.46 Extrude με "Join" ίσο με 6mm

Στο αρχικό μεγαλύτερο άκρο της ταστιέρας κάνουμε Extrudeμε "Cut" που ισούται με 7mm ώστε να δημιουργηθεί έτσι ένα καμπυλωτό άκρο που να προσομοιάζει το πραγματικό μέρος του οργάνου του τζούρα στο οποίο βασίζεται.



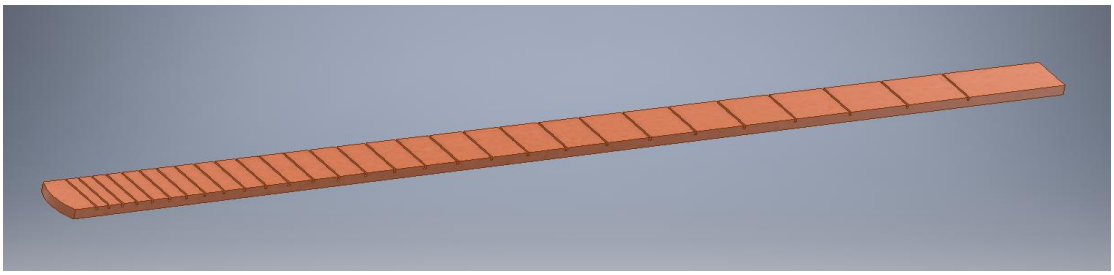
Εικόνα 4.47 Extrude με "Cut" ίσο με 7mm

Με τις διπλές κάθετες γραμμές οι οποίες εφάπτονται στις μεγαλύτερες γραμμές θα πραγματοποιήσουμε εγκοπές πάχους 2,5mmκάνοντας Extrudeμε επιλογή "Cut" για να λάβουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.



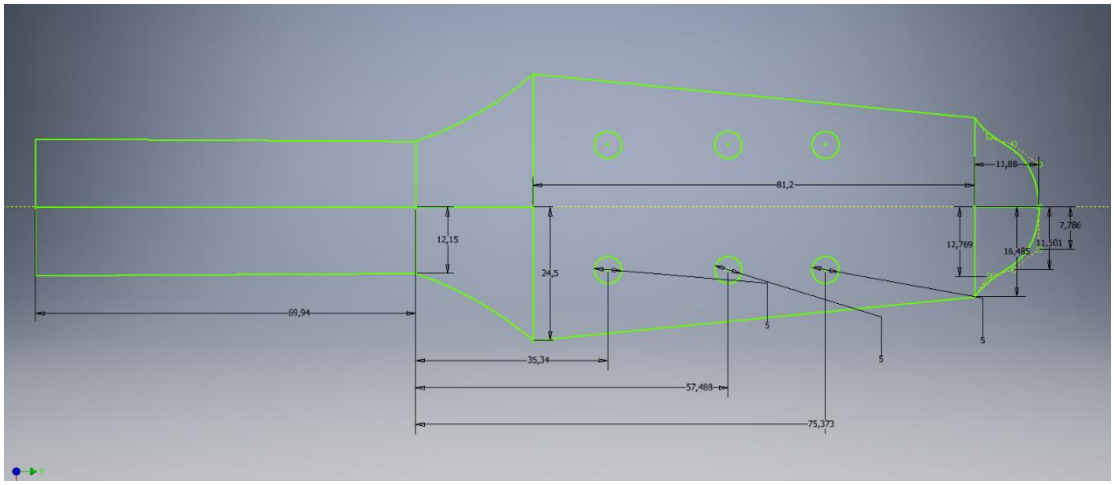
Εικόνα 4.48 Extrude με "Cut" ίσο με 2,5mm

38) Στη συνέχεια επιλέγουμε αρχικό υλικό για τη προσομοίωση το οποίο θα είναι η καρυδιά. Για να προσθέσουμε το υλικό στο αντικείμενο μας θα πάμε στο πεδίο "material"και διαλέγουμε την επιλογή "Wood (Walnut)". Οπτικά θα επιλεχθεί αυτόματα η εμφάνιση του "Walnut – NaturalPolished".



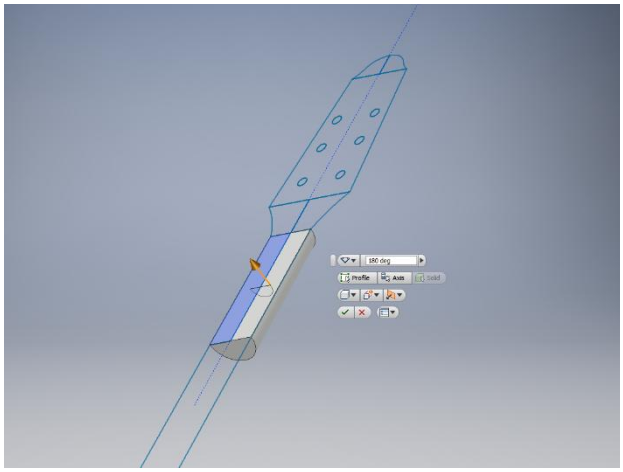
Εικόνα 4.49Επιλογή υλικού "Wood (Walnut)".

39) Για το καραούλο, αντιγράφουμε το $1^{ο}$ σχέδιο του μάνικου για αναφορά γεωμετρίας και σχεδιάζουμε περαιτέρω σχέδιο ξεκινώντας από το σημείο y=528,302mm. Για να προχωρήσουμε με το σχεδιασμό χρειάζεται να επιμηκύνουμε τη κατασκευαστική γραμμή από 700mm σε 750mm. Σχεδιάζουμε γραμμή ίση με 12.15mmπαράλληλη του άξονα x.Στο ίδιο σημείο x=15m, y=528,302mm (τέλος της πρώτης γραμμής) σχεδιάζουμε μια γραμμή ίση με 69.94mmπαράλληλη του άξονα y. Στο σημείο y=598,262mmσχεδιάζουμε γραμμή ίση με 12.15mmπαράλληλη του άξονα x ενώνοντας την με τη προηγούμενη μεγαλύτερη γραμμή. Στο σημείο y=618,262mmσχεδιάζουμε γραμμή ίση με 24.5mmπαράλληλη του άξονα x. Ενώνουμε το τέλος της γραμμής του σημείου y=598,262mm με το τέλος της γραμμής του σημείου y=618,262mm με ένα τόξο (Arc). Ακολουθεί στο σημείο y=699,462mm γραμμή ίση με 16.485mmπαράλληλη του άξονα x. Ενώνουμε με γραμμή το τέλος της γραμμής του σημείου y=618,262mm με το τέλος της γραμμής του σημείου y=699,462mm. Στο τέλος της γραμμής του σημείου y=699,462mm φέρουμε τόξο μέχρι το σημείο x=0, y=711,362mm. Επιπλέον στα σημεία y=633.602mm, y=655.75mm και y=673,373mm με αντίστοιχο κοινό σημείο x=12,15mm δημιουργούμε κύκλους διαμέτρου ίσου με 5mm. Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε το εργαλείοMirrorσε όλο το σχέδιο ώστε να είναι συμμετρικό και στις δύο πλευρές του.



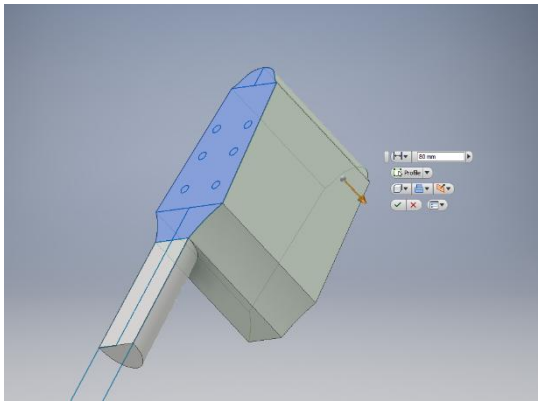
Εικόνα 4.50Σχεδίαση γεωμετρίας καραούλου τζουρά

40) Με βάση το παραπάνω σχέδιο, μετατρέπουμε τη δισδιάστατη γεωμετρία μας σε τρισδιάστατη γεωμετρία, με τη βοήθεια της εντολής Revolve. Η γεωμετρία περιστρέφεται γύρω από τον Y άξονα χρησιμοποιώντας μόνο τη μία πλευρά του σχεδίου. Η γεωμετρία η οποία έχουμε κατασκευάσει θέλουμε να περιστραφεί με το Revolve γύρω από το Y=0 και έως 180 μοίρες. Στη συγκεκριμένη αυτή περίπτωση θα το χρειαστούμε μονάχα στο αρχικό ορθογώνιο παραλληλόγραμμο άκρο του καραούλου όπως φαίνεται παρακάτω.



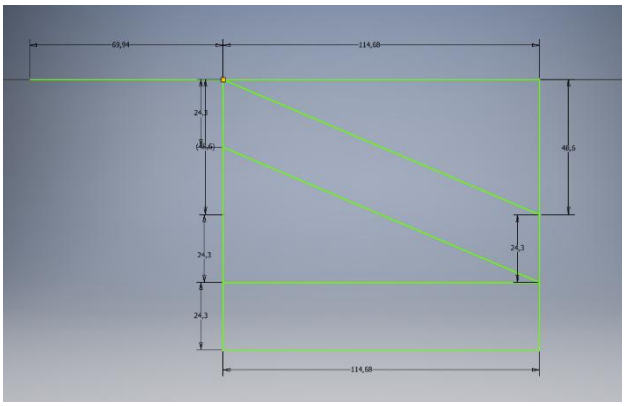
Εικόνα 4.51 Revolve αρχικού άκρου καραούλου

41) Το υπόλοιπο μέρος του σκίτσου θα το κάνουμε Extrudeμε “Join” ίσο με 90mm διότι το καραούλο στο πραγματικό όργανο βρίσκεται υπό κλίση. Εξαιτίας των οπών που έχουμε ήδη στο σκίτσο, δεν θα χρειαστεί ξεχωριστό μέρος με Extrude για να έχουμε τρύπες αφού λαμβάνονται υπόψιν αυτόματα από την επιλογή του Inventor.



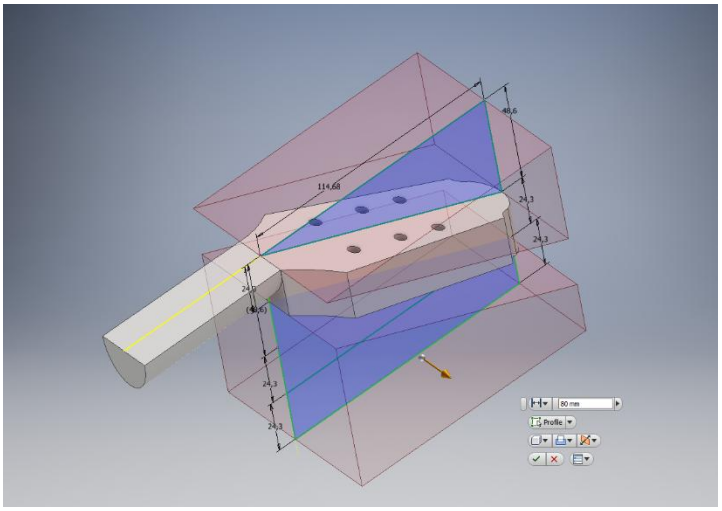
Εικόνα 4.52 Extrude με "Join" ίσο με 90mm

42) Μετά στο σημείο y=598.262mm ξεκινάμε σχεδιάζοντας γραμμή ίση με 114.68mmπαράλληλη του άξονα y. Στο ίδιο σημείο όπως πριν (y=598.262mm) φέρουμε γραμμή ίση με 48.6mmπαράλληλη του άξονα x. Ακολουθούμε τη πορεία της γραμμής ίση των 48.6mmμε γραμμή ίση των 24.3mm και μια επακόλουθη γραμμή των 24.3mm. Στο τέλος αυτής της γραμμής (y=598.262mm, x=97.2mm) σχεδιάζουμεμια γραμμή ίση με 114.68mmκαι παράλληλη του άξονα y. Στο σημείο y=712,942mm φέρουμε γραμμή ίση με 48.6mm,παράλληλη του άξονα x. Ακολουθούμε τη πορεία της γραμμής που ισούται με 48.6mm περαιτέρω με γραμμή ίση των 24.3mm και μια επακόλουθη γραμμή των 24.3mm. Αμέσως μπορούμε στο σημείο y=598.262mm να σχεδιάσουμε γραμμή ίση με 114.68mm και να την ενώσουμε στο σημείο y=712,942mm, x=48,6mm. Στο σημείο y=598.262mm, x=24.3mm φέρουμε γραμμή ίση με 114.68mm ενώνοντας την στο σημείο y=712,942mm, x=72,9mm. Έτσι έχουμε έτοιμο σχέδιο στο οποίο θα βασιστούμε προκειμένου να επιτύχουμε τη κλίση του καραούλου όπως φαίνεται στην εικόνα 4.53.



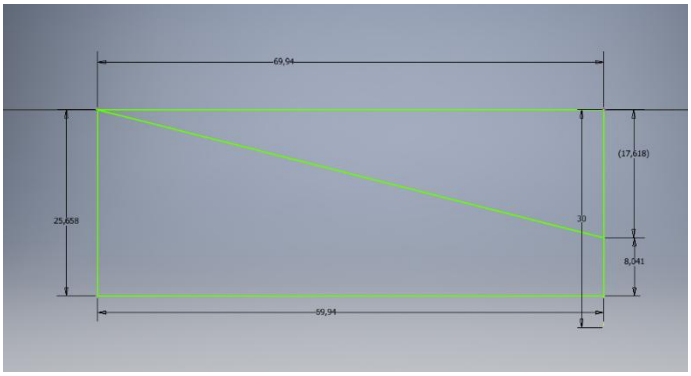
Εικόνα 4.53Σχεδίαση γεωμετρίας για επίτευξη κλίσης καραούλου

43) Επομένως, επιλέγουμε Extrude με επιλογή "Cut" και "Symmetric" έχοντας τιμή ίση με 80mm στην άνω και κάτω επιφάνεια του σχεδίου και έτσι λαμβάνουμε τη κλίση μας.



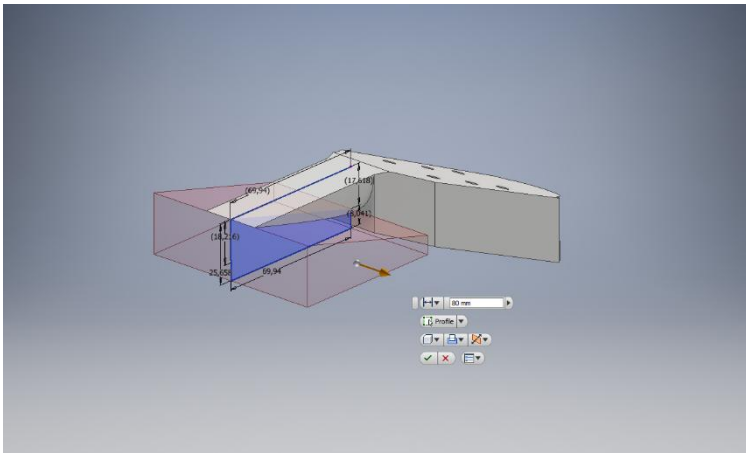
Εικόνα 4.54 Extrude με επιλογή “Cut” και “Symmetric”

44) Στο σημείο y=528,302mmσχεδιάζουμε μια γραμμή ίση με 69.94mmπαράλληλη του άξονα y. Στο ίδιο σημείο του άξονα y φέρουμε μια γραμμή ίση με 25.658mm. Στο σημείο y=528,302mm, x=25.658mmσχεδιάζουμε μια γραμμή ίση με 69.94mmπαράλληλη του άξονα y. Στο σημείο y=598,242mm φέρουμε μια γραμμή ίση με 17.618mm και έπειτα μια επακόλουθη γραμμή ίση με 8.041mm η οποία θα ενώνεται με τη μεγαλύτερη γραμμή (ίση των 69.94mm).Στο σημείο y=528,302mm (x=0), σχεδιάζουμε μια γραμμή ίση με 69.94mm και θα την ενώσουμε στο σημείοy=598,242mm, x=17.618mm.



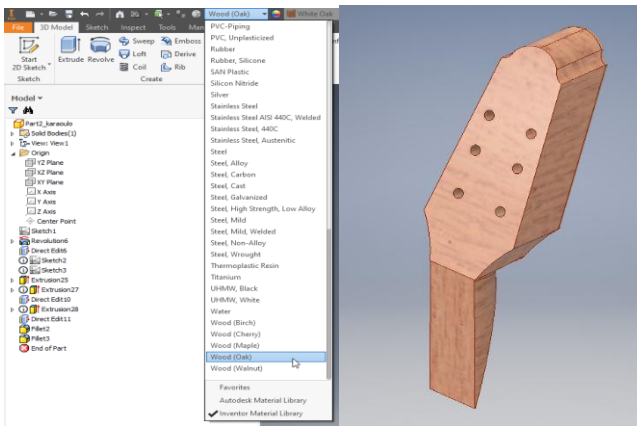
Εικόνα 4.55Σχεδίαση γεωμετρίας για επίτευξη κλίσης αρχικού άκρου καραούλου. Στο σημείο αυτό θα εφάπτεται το άκρο του μάνικου.

45) Σύμφωνα με το παραπάνω σκίτσο, μπορούμε να επιλέξουμε Extrude με “Cut” και “Symmetric” έχοντας τιμή ίση των 80mm στην κάτω μεγαλύτερη επιφάνεια του σχεδίου (με τη φθίνουσα κλίση).



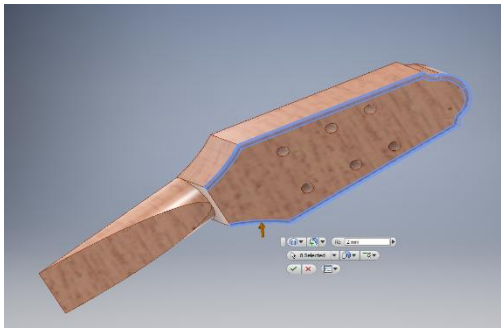
Εικόνα 4.56 Extrude με "Cut" και "Symmetric" αρχικού άκρου καραούλου

46) Έπειτα επιλέγουμε αρχικό υλικό το οποίο θα είναι η βελανιδιά. Για να προσθέσουμε το υλικό στο αντικείμενο μας θα πάμε στο πεδίο "material" και διαλέγουμε την επιλογή "Wood (Oak)". Οπτικά θα επιλεχθεί αυτόματα η εμφάνιση του "WhiteOak".



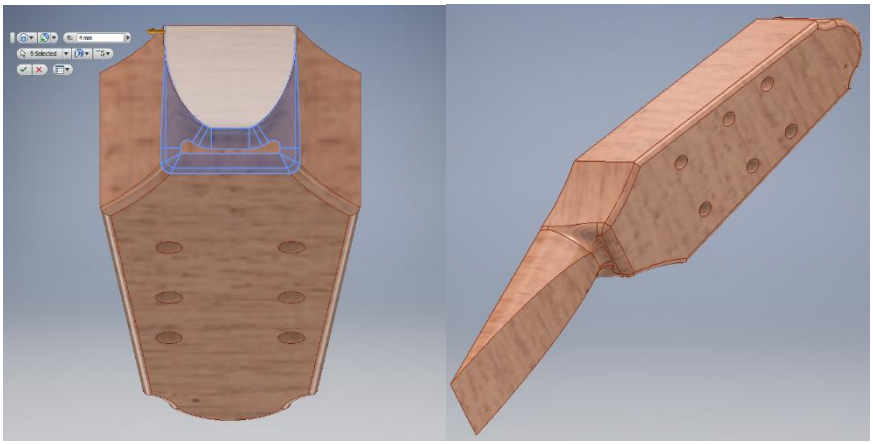
Εικόνα 4.57Επιλογή υλικού "Wood (Oak)"

47) Στη συνέχεια θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο Fillet επιλέγοντας το "Edge" αρχικά στα 2mmστις κάτω περιμετρικά γωνίες εκτός της κεντρικής.



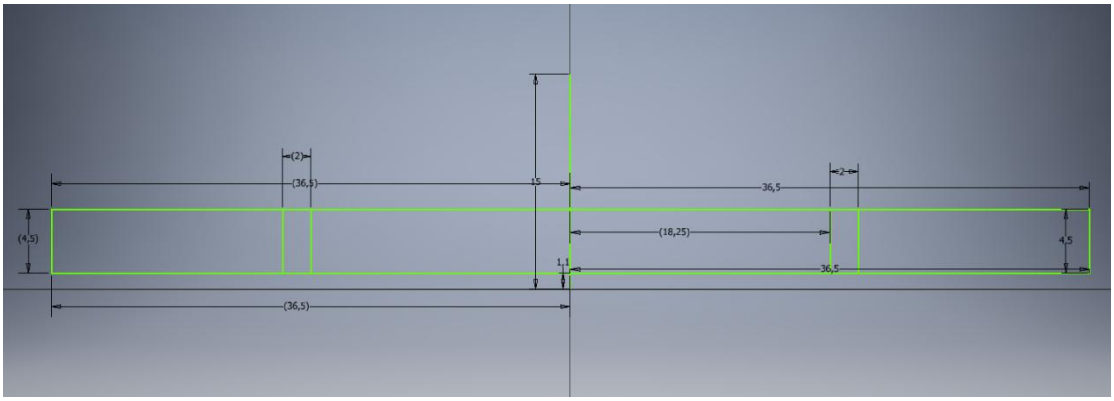
Εικόνα 4.58 Fillet 2mm

Θα επαναλάβουμε τη χρήση του εργαλείου Filletστα 4mm εκεί που βρίσκεται η βάση του καραούλου, στις κάτω κεντρικές γωνίες που ενώνεται το μέρος με τη φθίνουσα κλίση όπως απεικονίζεται στην εικόνα 4.59.



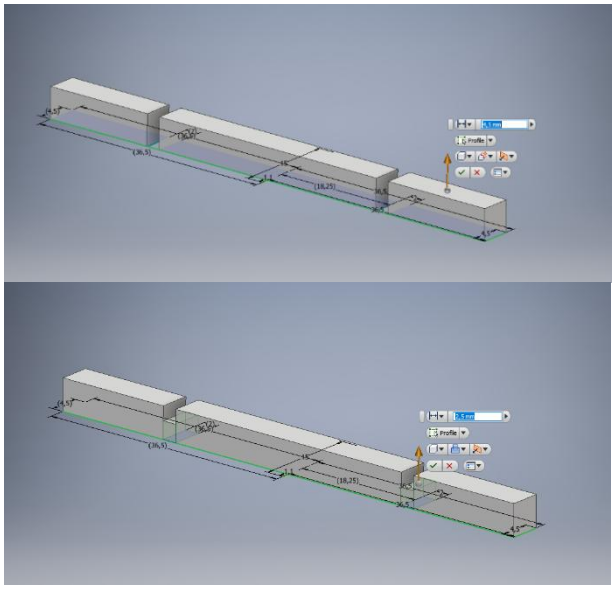
Εικόνα 4.59 Fillet 4mm

48) Για τον καβαλάρη δημιουργούμε sketch το οποίο θα έχει τη γεωμετρία του. Τοποθετούμε κατασκευαστική γραμμή ίση των 15mm και παράλληλη του άξονα y.Εργαζόμαστε από το σημείο x=0mm, y=1mmσχεδιάζοντας μια γραμμή ίση με 36.5mm και παράλληλη του άξονα x. Ελαφρώς πιο πάνω στο σημείο y= 5,5mmσχεδιάζουμε γραμμή ίση με 36.5mm και παράλληλη του άξονα x. Σε κοινό σημείο y=5,5mm, ενώνουμε με τρεις γραμμές επίπεδες του άξονα y και ίσες με 4.5mm τα σημεία x=18,25mm, x=20,25mm και x=36,5mm κάθετα σε κοινό σημείο y=1mm. Με το εργαλείο Mirror μπορούμε να κάνουμε το σχέδιο μας αντιγραφή καταλήγοντας σε συμμετρικό σχέδιο με δύο πλευρές όπως φαίνεται παρακάτω.



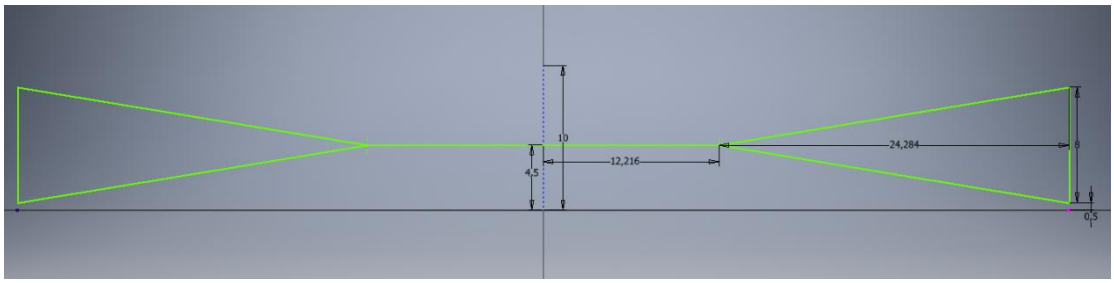
Εικόνα 4.60 Σχεδίαση βασικής γεωμετρίας καβαλάρη.

49) Συνεχίζουμε δουλεύοντας με το εργαλείο Extrude και επιλέγοντας “Join” αρχικά με προσθήκη 4,5mmστα μεγαλύτερα κομμάτια του σχεδίου και έπειτα προσθήκη 2,5mm στα δύο κεντρικάμικρά κομμάτια.



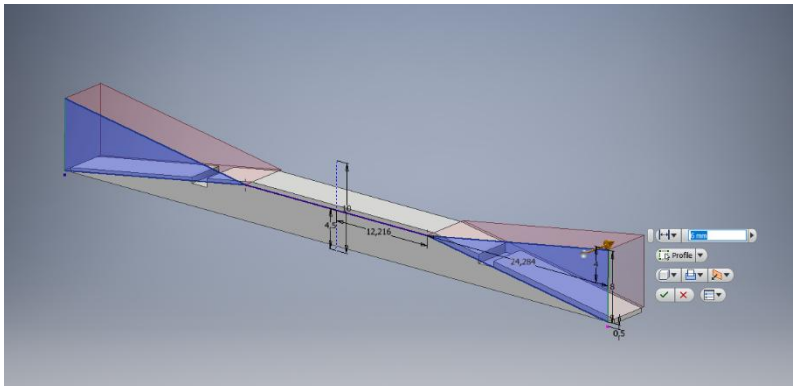
Εικόνα 4.61 Extrude με "Join" αρχικά ίσο με 4.5mm και έπειτα ίσο με 2,5mm.

50) Προχωράμε στη δημιουργία 2^{ου} σκίτσου του καβαλάρη. Τοποθετούμε κατασκευαστική γραμμή ίση των 10mm και παράλληλη του άξονα y. Σχεδιάζουμε από το σημείο x=0mm, y=4,5mm μια γραμμή ίση με 12.216mm και παράλληλη του άξονα x. Σύμφωνα με τη γραμμή αυτή φέρουμε μια γραμμή ίση με 24,284mm έως στο σημείο y=8,5mm. Στο σημείο x=36,5mm, y=8,5mm σχεδιάζουμε μια γραμμή ίση με 8mm η οποία είναι παράλληλη του άξονα y. Μπορούμε έτσι να ενώσουμε με μια γραμμή ίση με 24,284mm το σημείο x=36,5mm, y=0,5mm με το σημείο x=12,216mm, y=4,5mm. Με το εργαλείο Mirror μπορούμε να κάνουμε το σχέδιο μας συμμετρικό με δύο πλευρές.



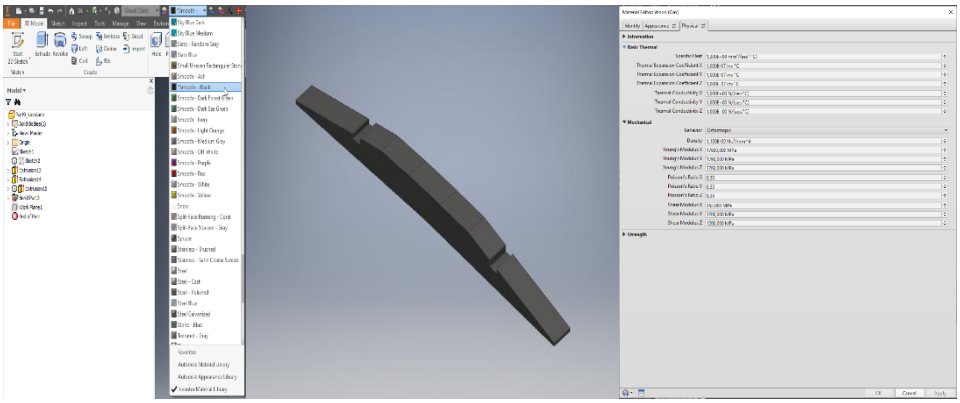
Εικόνα 4.62 Σχεδίαση γεωμετρίας για επίτευξη κλίσης στα εξωτερικά άκρα καβαλάρη.

51) Χρησιμοποιούμε το εργαλείο Extrude και επιλέγουμε "Cut" 6mm ώστε να δημιουργηθεί η κλίση που θέλουμε πλευρά προς πλευρά.



Εικόνα 4.63 Extrude με "Cut" ίσο με 6mm.

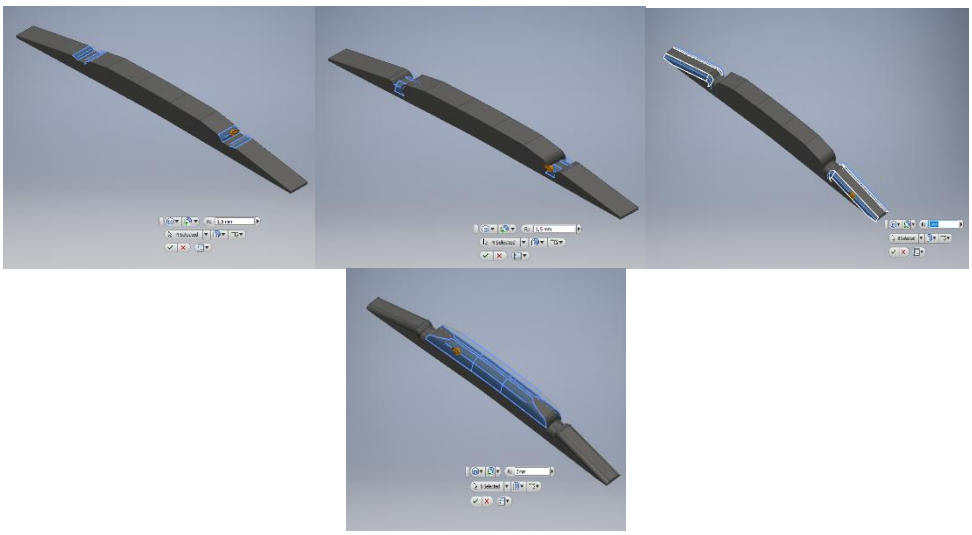
52) Έπειτα επιλέγουμε υλικό για τη προσομοίωση το οποίο θα είναι η βελανιδιά. Για να προσθέσουμε το υλικό στο αντικείμενο μας θα πάμε στο πεδίο “material”και διαλέγουμε την επιλογή “Wood (Oak)”. Στην εμφάνιση του θα επιλέξουμε το “Smooth - Black”.



Εικόνα 4.65 Επιλογή υλικού “Wood (Oak)”, προβολή ιδιοτήτων υλικού

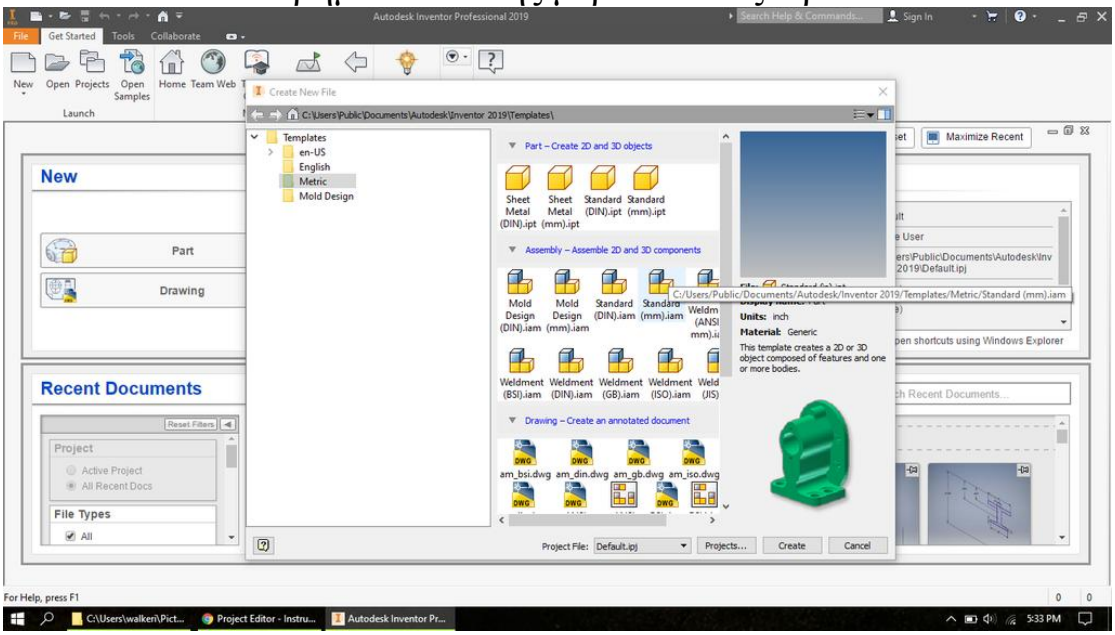
Τα χαρακτηριστικά και οι φυσικές ιδιότητές του φαίνονται στην παραπάνω εικόνα. Μπορούμε να δούμε την ταυτότητα (Identity), την εμφάνιση (Appearance), καθώς και τις φυσικές ιδιότητες (Physical). Εδώ θέλουμε ιδιότητες αντίστοιχες του έβενου ως υλικό.

53) Για να κάνουμε το 3D μοντέλο του καβαλάρη μας πιο ομοιόμορφο θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο Fillet επιλέγοντας το “Edge” αρχικά ίσο με 1,5mm εσωτερικά στις τέσσερις άνω κεντρικές επιφάνειες όπου βρίσκονται οι εγκοπές καιεξωτερικά στις τέσσερις κάτω κεντρικές επιφάνειες των εγκοπών. Επιπλέον, επαναλαμβάνουμε τη χρήση του εργαλείου Fillet ίσο με 1mm στις εξωτερικές γραμμές δεξιά-αριστερά του καβαλάρη εξαιρώντας το κεντρικό μέρος και τις εγκοπές. Στη συνέχεια αλλάζουμε τη προηγούμενη τιμή από 1mm σε 2mm επιλέγοντας τις εξωτερικές κεντρικές γραμμές δεξιά-αριστερά εκτός των εγκοπών όπωςαπεικονίζεται παρακάτω.



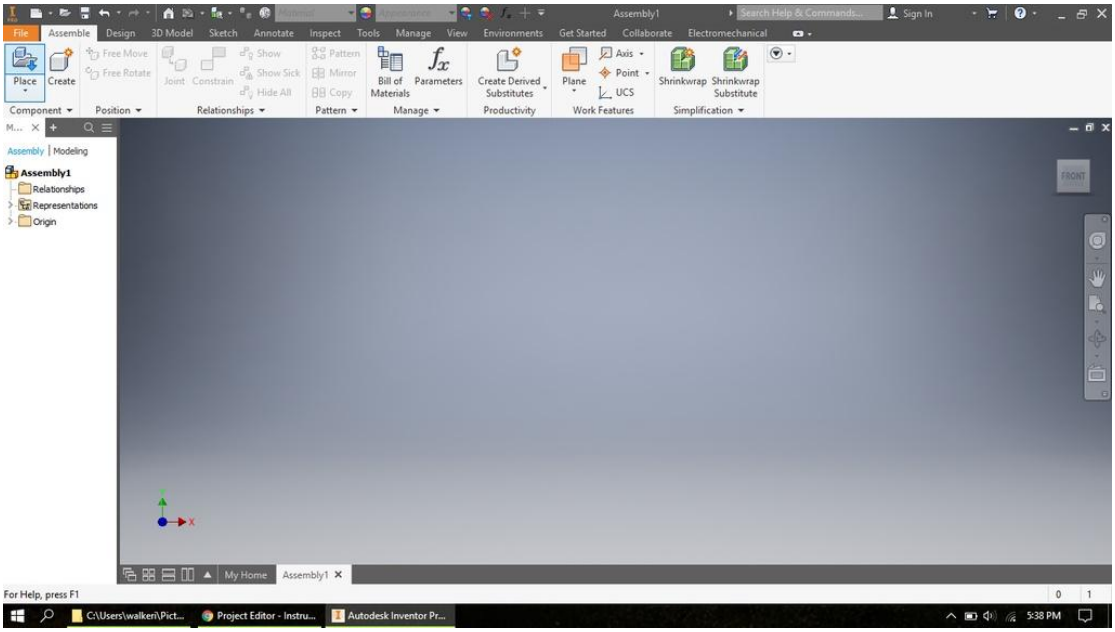
Εικόνα 4.66 Fillet 1,5mm, 1mm και 2mm

4.3ASSEMBLY– βήματα ένωσης μερών του τζουρά



Εικόνα 4.67Επιλογή "File", "New" και “Metric”

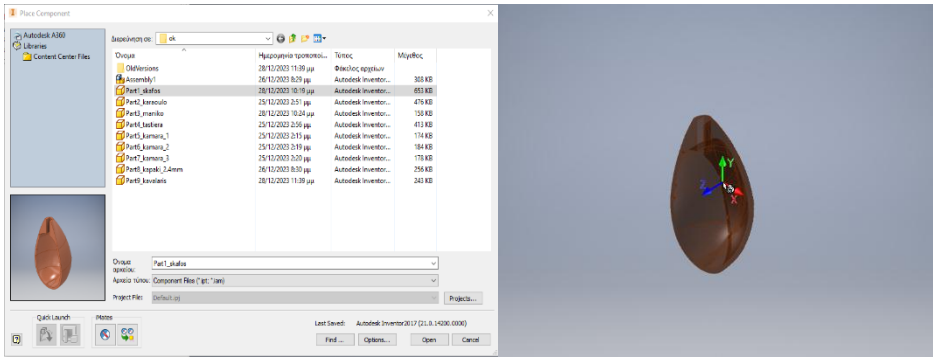
1) Για το Assembly στο Inventor επιλέγουμε "File", "New" στην επάνω αριστερή γωνία. Στο παράθυρο που εμφανίζεται (φαίνεται στην παραπάνω εικόνα) επιλέγουμε "Metric". Χρησιμοποιήσαμε mm για τα μέρη του τζουρά.



Εικόνα 4.68Επιλογή "Place"

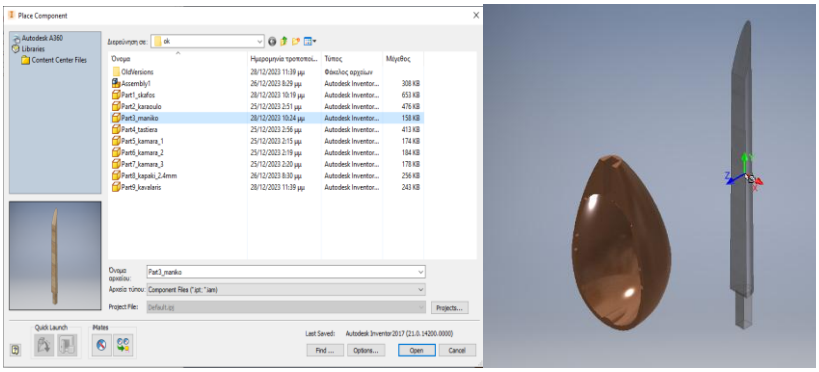
Πατάμε "Place" στην επάνω αριστερή γωνία, κάτω από την καρτέλα “Annotate”.

2) Ξεκινάμε επιλέγοντας το σκάφος και τοποθετώντας αυτό σε μια θέση στο περιβάλλον του Inventor (δεν απαιτείταινα βρίσκεται στο κέντρο διότι ευθυγραμμίζεται αυτόματα).



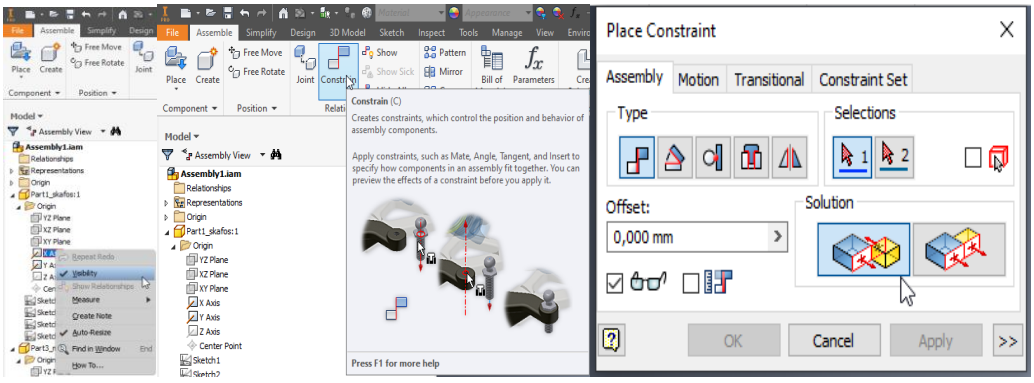
Εικόνα 4.69 Επιλογή σκάφους τζουρά

3) Τοποθετούμε σε μια θέση και το μάνικο, ιδανικά δίπλα στο σκάφογια διευκόλυνση πρόσβασης και προβολής.



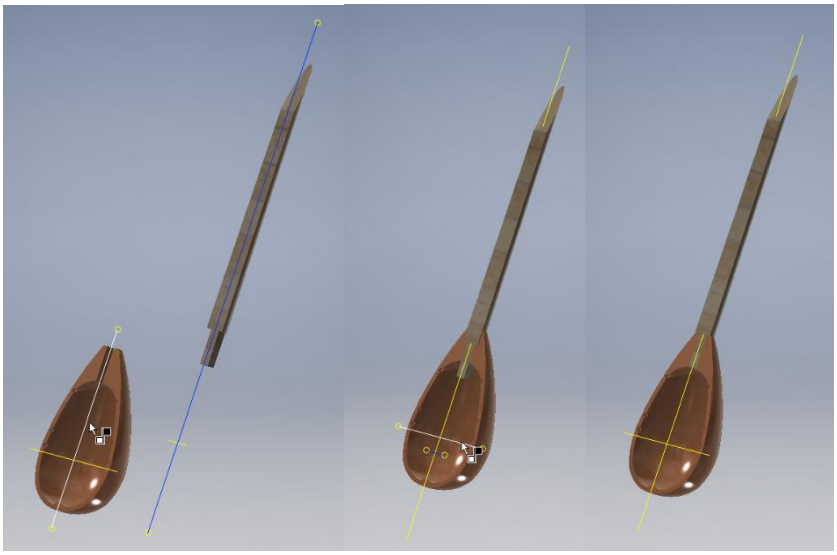
Εικόνα 4.70 Επιλογή σκάφους τζουρά

4) Βεβαιώνουμε ότι έχουμε ορατούς τους άξονες x, y του σκάφους και του μάνικου. Ξεκινάμε με το εργαλείο Constrain στη καρτέλα “Assemble”.



Εικόνα 4.71 Επιλογή ορατότητας άξονα x, υσκάφους και μάνικου τζουρά και Constraint με επιλογή “Mate”

5) Ένας περιορισμός Mate τοποθετεί επιλεγμένα μέρη πρόσωπο με πρόσωπο ή με τις όψεις ομοιόμορφες. Η γεωμετρία που επιλέγουμε είναι συνήθως μια όψη μέρους, αλλά μπορούμε επίσης να επιλέξουμε καμπύλες, επίπεδα, άκρες ή σημεία. Εργαζόμαστε χρησιμοποιώντας Constrain με επιλογή “Mate” πάνω στους άξονες x, y του σκάφους και του μάνικου. Έτσι, ο άξονας x του σκάφους αντιστοιχίζεται στον άξονα x του μάνικου και ο άξονας y του σκάφους αντιστοιχίζεται στον άξονα y του μάνικου. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω θα λάβουμε αυτά τα δύο μέρη ενωμένα σε ένα(εικόνα 4.72).



Εικόνα 4.72 Constraint με επιλογή “Mate” μεταξύ μάνικου και σκάφους τζουρά

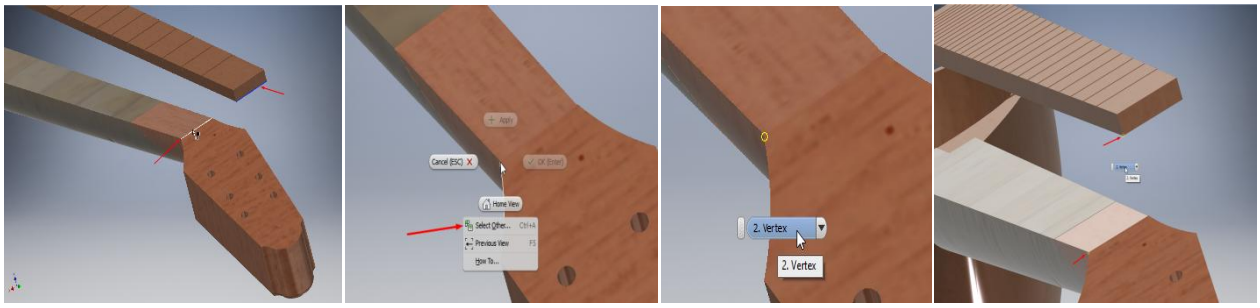
6) Στο σημείο αυτό ακολουθούμε με παρόμοια λογική τον περιορισμό του μάνικου και του καραούλου. Αυτά τα δύο μέρη τα περιορίζουμε χρησιμοποιώντας Constrain με επιλογή “Mate” αρχικά στο μάνικο στην τελική παράλληλη γραμμή προτού ακολουθήσει η κλίση των 167 μοιρών και στην αρχική παράλληλη γραμμή του καραούλου όπως φαίνεται παρακάτω.

Εν προκειμένω να έχουμε ιδανικότερη ευθυγράμμιση στα μέρη αυτά θα περιορίσουμε τους εσωτερικούς άξονες τους μεταξύ τους, πρώτα του καραούλου και έπειτα του μάνικου.



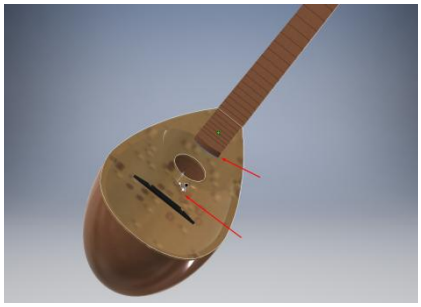
Εικόνα 4.73 Constraint με επιλογή “Mate” μεταξύ καραούλου και μάνικου τζουρά

7) Για το μέρος της ταστιέρας θα πραγματοποιήσουμε Constrain επιλέγοντας “Mate” στη κάτω παράλληλη γραμμή του μικρότερου άκρου της ταστιέρας προς την αρχική πάνω παράλληλη επιφάνεια (έπειτα του μικρότερου μέρους με την κλίση) του καραούλου. Ακολουθεί Constrain επιλέγοντας “Mate” στο αρχικό δεξιό πάνω σημείο (έπειτα του μικρότερου μέρους με την κλίση) του καραούλου με το τελικό δεξιό κάτω σημείο της ταστιέρας.



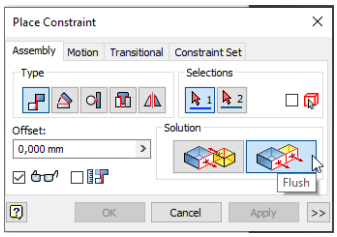
Εικόνα 4.74 Constraint με επιλογή "Mate" καθώς και επιλογή σε άκρα "Vertex" μεταξύ ταστιέρας και καραούλου τζουρά

Έπειτα έχουμεConstrainμε επιλογή "Mate" στην αρχική κάτω παράλληλη γραμμή της ταστιέρας προς τη μία όψη της επιφάνειας του καπακιού.



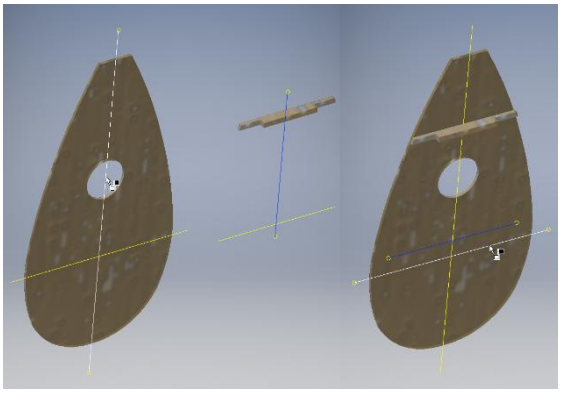
Εικόνα 4.75 Constraint με επιλογή "Mate" μεταξύ ταστιέρας και καπακιού τζουρά

8) Ένας περιορισμός Flush χρησιμοποιείται για ευθυγράμμιση χαρακτηριστικών σε μέρη είτε πρόσωπο με πρόσωπο ή με τις όψεις. Η γεωμετρία που επιλέγουμε είναι συνήθως μια όψη μέρους, αλλά μπορούμε επίσης να επιλέξουμε καμπύλες, επίπεδα, άκρες ή σημεία.



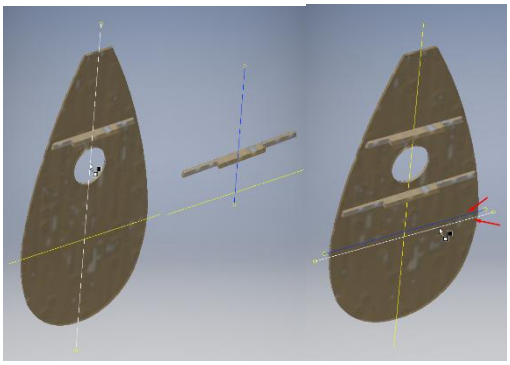
Εικόνα 4.76 Constraint με επιλογή "Flush"

Εδώ θα περιορίσουμε τακαμάρια και τον καβαλάρη στο καπάκι του τζουρά και όταν ενωθούν όλα μαζί τότε θα τα τοποθετήσουμε στο συνολικό απεικονιστικό 3Dμοντέλο. Οπότε, περιορίζουμε τους εσωτερικούς άξονες τους μεταξύ τους, πρώτα του 1^{ου}καμαριού και έπειτα του καπακιού.



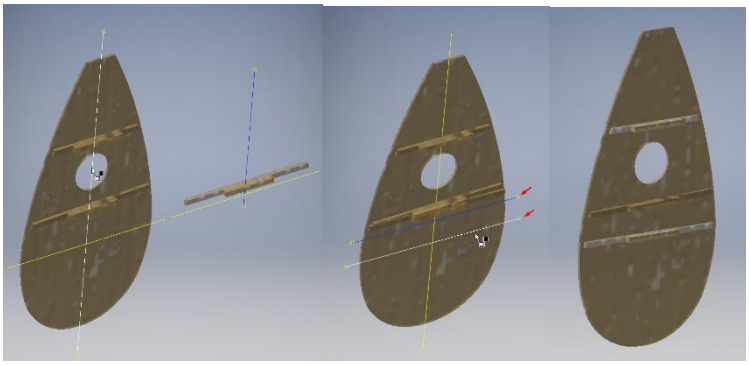
Εικόνα 4.77 Constraint με επιλογή “Mate” μεταξύ 1ου καμαριού και καπακιού τζουρά

9) Συνεχίζουμε περιορίζοντας τους εσωτερικούς του 2ου καμαριού και έπειτα του καπακιού.



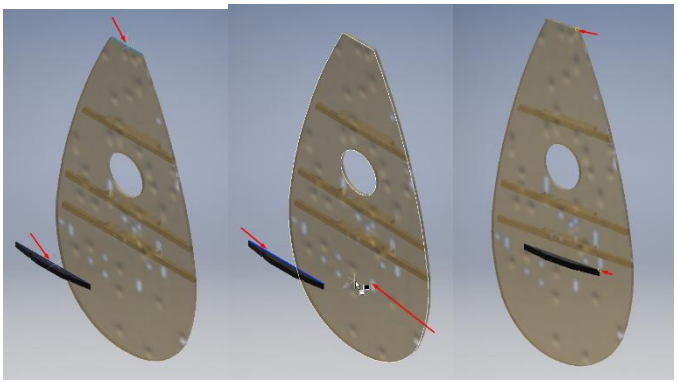
Εικόνα 4.78 Constraint με επιλογή “Mate” μεταξύ 2ου καμαριού και καπακιού τζουρά

10) Στο 3ο καμάριθα περιορίσουμετους εσωτερικούς της άξονες με αυτούς του καπακιού.



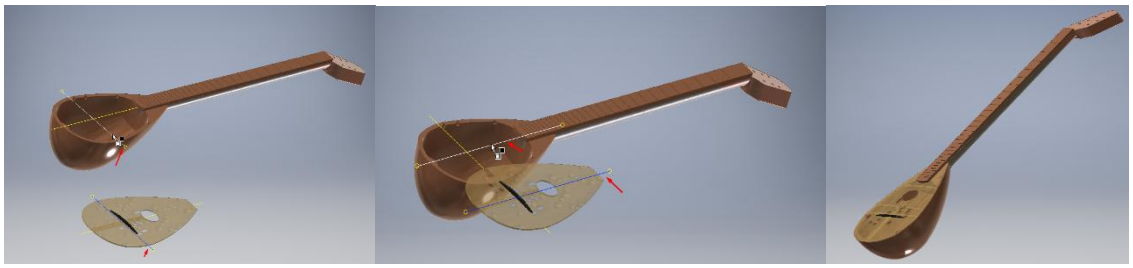
Εικόνα 4.79 Constraint με επιλογή “Mate” μεταξύ 3ου καμαριού και καπακιού τζουρά

11) Στον καβαλάρη θέτουμε περιορισμό επιλέγοντας “Flush” στο εξωτερικό πρόσωπο του με το μικρότερο επίπεδο πρόσωπο του καπακιού, έχοντας Offset ίσο με 178,613mm. ΕφαρμόζουμεConstrain και “Mate” στηεξωτερική κάτω παράλληλη γραμμή του καβαλάρη με την επιφάνεια του καπακιού. Επιπλέον, επαναλαμβάνουμε Constrain και “Mate” στο δεξιό κάτω εξωτερικό άκροτου καβαλάρη με το κάτω δεξιόεξωτερικό άκρο του καπακιού, έχοντας Offset ίσο με 180mm.



Εικόνα 4.80 Constraint με επιλογή "Flush" καθώς και επιλογή "Mate" μεταξύ καβαλάρη και καπακιού τζουρά

12) Τέλος, εργαζόμαστε χρησιμοποιώντας Constrain με επιλογή "Mate" πάνω στους άξονες x, y του σκάφους και του καπακιού του τζουρά. Έτσι, ο άξονας x του καπακιού αντιστοιχίζεται στον άξονα x του σκάφους και ο άξονας y του καπακιού αντιστοιχίζεται στον άξονα y του σκάφους.



Εικόνα 4.81 Constraint με επιλογή "Mate" μεταξύ καπακιού και σκάφους τζουρά

4.4 Ιδιότητες Υλικών Τζουρά

Στη συνέχεια παρατίθενται οι βασικές θερμικές και μηχανικές ιδιότητες που λαμβάνονται υπόψη στις προσομοιώσεις που θα υλοποιηθούν.

4.4.1 Μηχανικές Ιδιότητες Υλικού

IsotropicBehaviour (Ισοτροπική Συμπεριφορά): Όταν μια ιδιότητα είναι ίδια προς όλες τις κατευθύνσεις, το υλικό είναι ισότροπο. Αντιθέτως, όταν μια ιδιότητα ποικίλλει ανάλογα με την κατεύθυνση, το υλικό είναι ανισότροπο. Η ισοτροπία και η ανισοτροπία είναι σημαντικές στην επιστήμη των υλικών, την οπτική, την αστρονομία, τη χημεία, την κρυσταλλογραφία και σε πολλούς ακόμα επιστημονικούς κλάδους. Οι ιδιότητες που είναι ισότροπες σε ορισμένα υλικά και ανισότροπες σε άλλα αποτελούν το δείκτη διάθλασης, απορρόφηση, ηλεκτρική αγωγιμότητα, αντοχή σε εφελκυσμό, μέτρο ελαστικότητας Young κ.λπ. Αξίζει να τονίσουμε ότι ένα υλικό μπορεί να είναι ισότροπο για μια ιδιότητα, αλλά ανισότροπο για μια άλλη. Για παράδειγμα, ένα κομμάτι πολωμένου γυαλιού είναι ισότροπο για μηχανικές ιδιότητες, αλλά ανισότροπο για φιλτράρισμα φωτός.

Young'sModulus (Συντελεστής Young): Το μέτρο του Young (E) είναι μια ιδιότητα του υλικού που εκφράζει πόσο εύκολα μπορεί να παραμορφωθεί και ορίζεται ως ο λόγος της εφελκυστικής τάσης (σ) προς την εφελκυστική παραμόρφωση (ε). Όπου η τάση είναι το ποσό της δύναμης που εφαρμόζεται ανά μονάδα επιφάνειας ($\sigma = F/A$) και η παραμόρφωση είναι η επιμήκυνση ανά μονάδα μήκους ($\varepsilon = dl/l$).

Poisson'sRatio (Λόγος Poisson): Στην επιστήμη των υλικών και στη μηχανική των στερεών, ο λόγος του Poisson είναι ένα μέτρο του φαινομένου Poisson, της παραμόρφωσης (διαστολής ή συστολής) ενός υλικού σε κατευθύνσεις κάθετες στη συγκεκριμένη κατεύθυνση φόρτισης. Η τιμή του λόγου Poisson είναι η αρνητική του λόγου της εγκάρσιας τάσης προς την αξονική τάση. Τα περισσότερα υλικά έχουν τιμές λόγου Poisson που κυμαίνονται μεταξύ 0,0 και 0,5. Για μαλακά υλικά, όπως το καουτσούκ, όπου ο συντελεστής όγκου είναι πολύ μεγαλύτερος από το μέτρο διάτμησης, ο λόγος Poisson είναι κοντά στο 0,5.

ShearModulus (Συντελεστής Διάτμησης): Πρόκειται για μια αριθμητική σταθερά που περιγράφει τις ελαστικές ιδιότητες ενός στερεού υπό την εφαρμογή εγκάρσιων εσωτερικών δυνάμεων, όπως προκύπτουν για παράδειγμα στη στρέψη ενός μεταλλικού σωλήνα. Ο συντελεστής διάτμησης είναι ένα μέτρο της ικανότητας ενός υλικού να αντιστέκεται σε εγκάρσιες παραμορφώσεις. Μεγάλες δυνάμεις διάτμησης μπορούν να οδηγήσουν σε μόνιμη παραμόρφωση ή θραύση.

Density (Πυκνότητα): Η έννοια της πυκνότητας είναι το πόσο συμπαγές είναι ένα υλικό ως προς ένα σταθερό όγκο. Η εξίσωση για την πυκνότητα είναι:$\rho=m/V$, όπου m είναι η μάζα που μετράτε σε κιλά και V είναι ο όγκος που μετράτε σε κυβικά μέτρα. Τα kg/m^3 είναι η τυπική μονάδα μέτρησης που χρησιμοποιείται στο SI.

YieldStrength (Αντοχή Διαρροής): Τα υλικά αρχίζουν να καταπονούνται πλαστικά και η τάση στο οποίο συμβαίνει αυτό ονομάζεται τάση διαρροής. Όταν αντίστοιχα τα υλικά καταπονούνται αναπτύσσοντας τάση μικρότερη από την τάση διαρροής, τότε θα υποστούν μόνο ελαστική καταπόνηση και δεν θα συμβεί μόνιμη παραμόρφωση του υλικού. Με άλλα λόγια, πριν από την τάση διαρροής, οποιαδήποτε παραμόρφωση που πραγματοποιείται σε ένα υλικό είναι αντιστρέψιμη. Η αντοχή διαρροής, σ_y, είναι μια σταθερά του υλικού και για μεγαλύτερη τιμή από αυτή τη σταθερά το υλικό αρχίσει να παραμορφώνεται πλαστικά.

TensileStrength (Αντοχή Εφελκυσμού): Η αντοχή σε εφελκυσμό είναι η ποσότητα του φορτίου ή της τάσης που μπορεί να αντέξει ένα υλικό πριν σπάσει. Όπως υποδηλώνει το όνομά, η αντοχή σε εφελκυσμό είναι η αντίσταση του υλικού στην τάση που προκαλείται από τα μηχανικά φορτία που εφαρμόζονται στο υλικό. Η ικανότητα αντίστασης στη θραύση υπό τάση εφελκυσμού είναι μία από τις πιο σημαντικές και ευρέως μετρημένες ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται για δομικές εφαρμογές. Η αντοχή εφελκυσμού είναι η μέγιστη εφελκυστική τάση στην οποία μπορεί να υποβληθεί ένα υλικό πριν από την αστοχία, αν και ο πραγματικός ορισμός της αστοχίας συνήθως ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο και το σχεδιασμό του υλικού. Η έννοια της αντοχής σε εφελκυσμό είναι υψίστης σημασίας στη μηχανική καθώς και στους τομείς της επιστήμης των υλικών, της μηχανολογίας και της δομικής μηχανικής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. Προσομοιώσεις Δονήσεων Τζουρά

5.1 Εισαγωγή

Η υπολογιστική προσομοίωση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων με χρήση λογισμικού απαιτεί κάποια συγκεκριμένα στάδια:

- Εισαγωγή της γεωμετρίας της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD ή δημιουργία της γεωμετρίας της κατασκευής στο CAD πρόγραμμα.
- Δημιουργία του πλέγματος, με πεπερασμένα στοιχεία, του μοντέλου. Επιλογή του είδος της επίλυσης (π.χ. ανάλυση ιδιοσυχνοτήτων, μηχανική ανάλυση, θερμική ανάλυση, θερμομηχανική ανάλυση, ηλεκτρο-θερμο-μηχανική ανάλυση). Αυτή η διαδικασία δύναται να γίνει σε πρόγραμμα υπολογιστή που αποκαλείται προ-επεξεργαστής (pre-processor).
- Όταν ετοιμαστούν τα δεδομένα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το οποίο πραγματοποιεί την επίλυση του αριθμητικού προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα λέγονται solver.
- Όταν τελειώσει η επίλυση τα αποτελέσματα δύναται να επεξεργαστούν από ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται postprocessor, για να μπορέσει ο μελετητής να δει-επεξεργαστεί τα αποτελέσματα.

Περαιτέρω, οι πολύπλοκες δονήσεις των μουσικών οργάνων μπορούν να περιγραφούν με όρους κανονικών τρόπων δόνησης. Η ανάλυση ιδιοσυχνοτήτων των μουσικών οργάνων είναι η μελέτη των δυναμικών ιδιοτήτων τους υπό δονητική διέγερση. Για αυτήν την περίπτωση, το όργανο μπορεί να θεωρηθεί ως ελαστική κατασκευή. Η απόκριση συχνότητας ενός μουσικού οργάνου βρίσκεται όταν κάποιος αθροίσει τις δονητικές αποκρίσεις των μερών του ανάλογα με το βαθμό συμμετοχής τους στη δομική κίνηση [11]. Κάθε τρόπος δόνησης προσδιορίζεται από τρεις κύριες παραμέτρους, δηλαδή τη φυσική συχνότητα, το σχήμα του τρόπου λειτουργίας, ιδιομορφή, και τον παράγοντα απόσβεσης. Οποιοδήποτε μοτίβο παραμόρφωσης ενός μουσικού οργάνου εκφράζεται με συνδυασμό των ιδιομορφών. Η ιδιομορφή του τρόπου δόνησης είναι ένα μοτίβο που σχετίζεται με μια συγκεκριμένη φυσική συχνότητα και αντιπροσωπεύει τη σχετική μετατόπιση όλων των τμημάτων του οργάνου, σε διάφορες κατευθύνσεις, για αυτόν τον τρόπο δόνησης. Ο συντελεστής απόσβεσης κάθε τρόπου λειτουργίας συνδέεται με τη φυσική του συχνότητα, ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογος με την κατανομή μάζας.

Στο κεφάλαιο αυτό, με τη βοήθεια του Inventor υλοποιήθηκαν προσομοιώσεις για να βρούμε τους βασικούς τρόπους δόνησης του τζουρά σε δύο σενάρια. Στο πρώτο σενάριο μοντελοποιήθηκε μόνο το καπάκι (με καμάρια, καβαλάρη) ενώ στο δεύτερο προστέθηκε το σκάφος και το μάνικο του οργάνου. Οι οριακές συνθήκες για τις προσομοιώσεις αυτές ακολούθησαν τις πειραματικές μετρήσεις της [16] εργασίας.

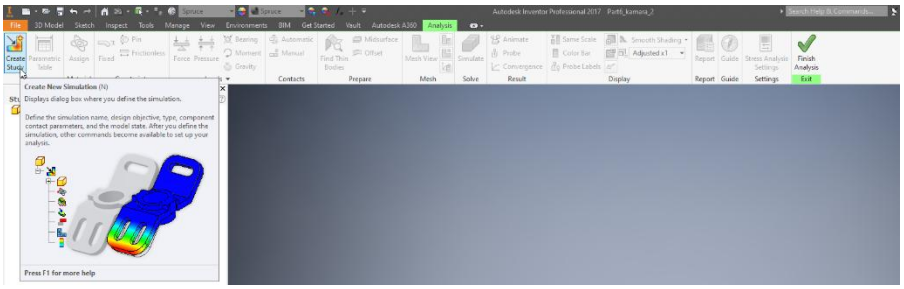
5.2 Βήματα Υλοποίησης Προσομοιώσεων στο Inventor

Αρχικά, για να υλοποιήσουμε τις προσομοιώσεις στο Inventor χρησιμοποιούμε τη λειτουργία που ονομάζεται Stress Analysis. Πρόκειται για μια ανάλυση καταπόνησης του υλικού το οποίο στην συγκεκριμένη περίπτωση μας είναι του καπακιού του τζουρά με τακαμάρια και τον καβαλάρη. Το Stress Analysis μπορούμε να το εντοπίσουμε στην πάνω δεξιά γωνία του παραθύρου όπως φαίνεται στην εικόνα 5.1.



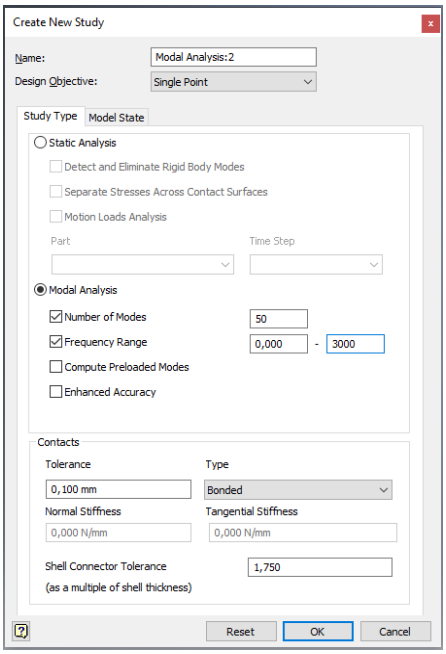
Εικόνα 5.1 Επιλογή "StressAnalysis".

Αφού το επιλέξουμε, διαλέγουμε το "CreateStudy", δηλαδή να δημιουργήσουμε μια μελέτη. Στη μελέτη αυτή επιλέγουμε πιο συγκεκριμένα κριτήρια που εστιάζουμε τη προσοχή μας.



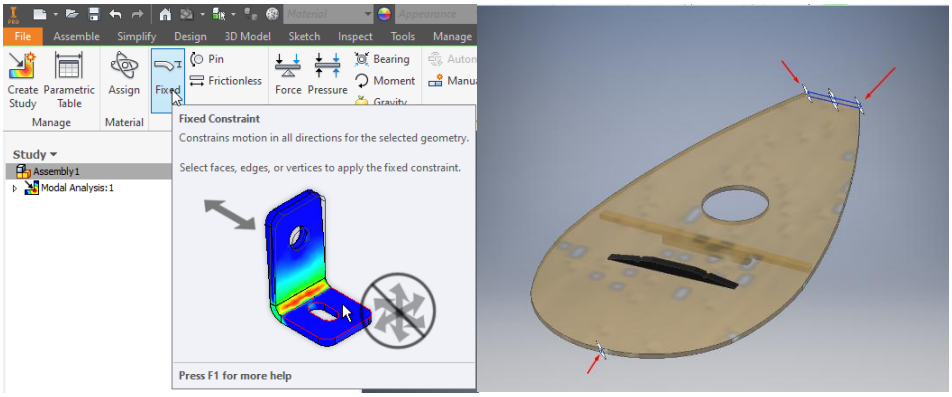
Εικόνα 5.2 Επιλογή "CreateStudy".

Όπως μπορούμε να δούμε στην εικόνα 5.3, όταν πατήσουμε το πεδίο "Create Study", το πρόγραμμα ανοίγει ένα καινούργιο πεδίο με νέες παραμέτρους. Επιλέγουμε για την υλοποίηση δονητικής ανάλυσης το "ModalAnalysis" και στο "NumberofModes" τον αριθμό των τρόπος δόνησης που θα μας εξάγει το πρόγραμμα. Ακριβώς κάτω υπάρχει το πεδίο "Frequency Range" εύρος συχνοτήτων, όπου θα βάλουμε μεταξύ 0-3000Hz. Για τους σκοπούς αυτής της διερευνητικής εργασίας εστιάζουμε στους πρώτους πενήντα τρόπους δόνησης.



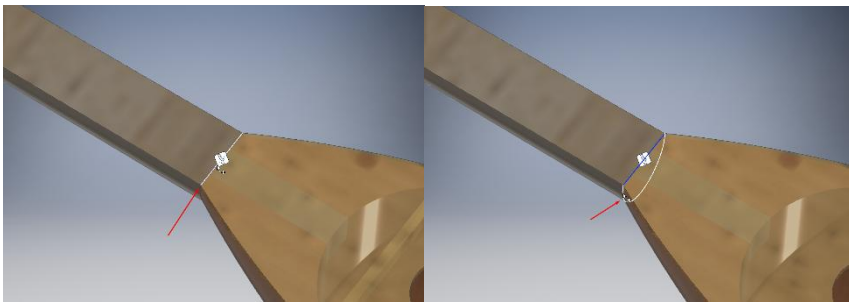
Εικόνα 5.3Παράθυρο "Create new study".

Για να γίνουνρεαλιστικές οι προσομοιώσεις λαμβάνουμε υπόψη οριακές συνθήκες.Ξεκινάμε με τη πάκτωση του άνω μέρους και κάτω μέρος του καπακιού του όπως παρουσιάζεται εδώ (εικόνα 5.4).



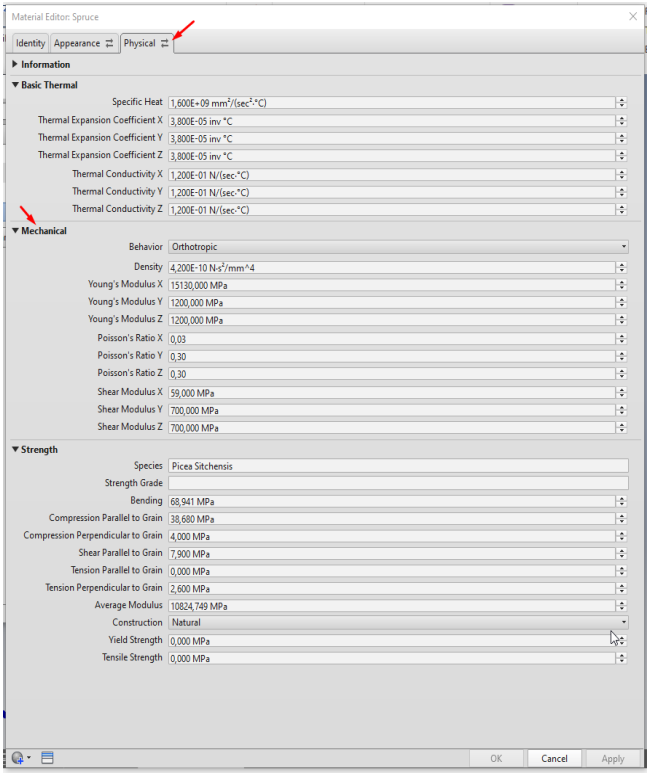
Εικόνα 5.4 Fixedconstraints

Μια επιπλέον προσέγγιση που πραγματοποιείται είναι ο περιορισμός στις μετατοπίσεις και περιστροφές στο τέλος του σκάφους και στην αρχή του μάνικου του τζουρά μας. Στις παρακάτω εικόνες μπορούμε να δούμε τις επιφάνειες που θα πακτώσουμε με τη βοήθεια της λειτουργίας Constraint.

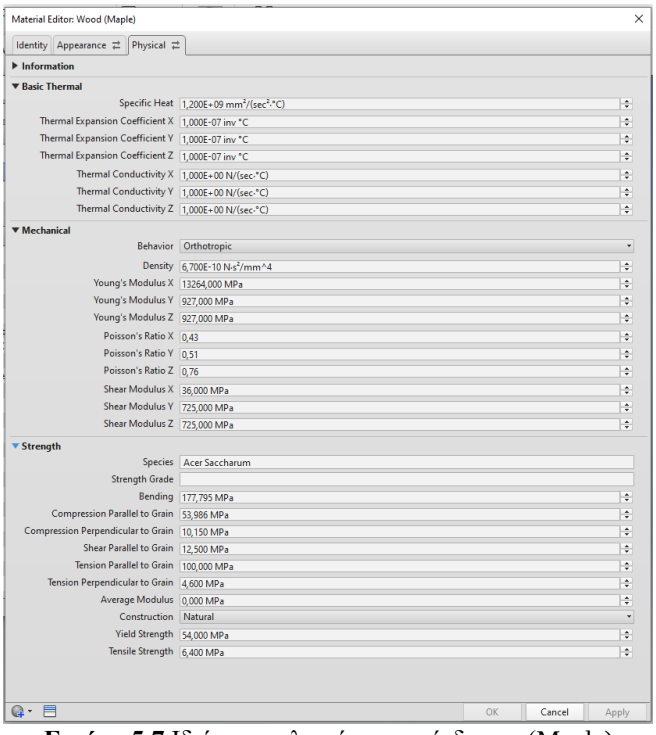


Εικόνα 5.5 Fixedconstraints

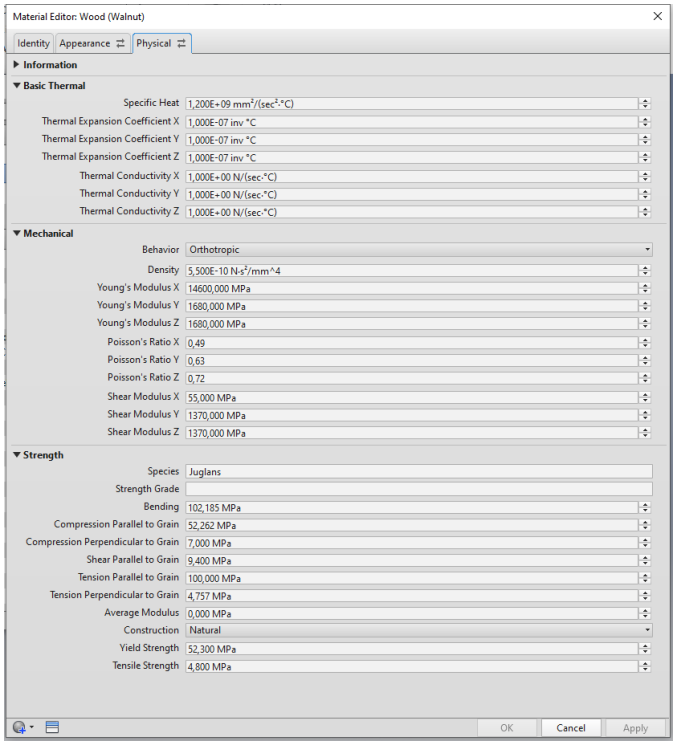
Στο πρώτο σενάριο προσομοίωσης, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των ακολούθων μερών, ως ένα ενιαίο σύστημα: Καπάκι, Καμάρια, Καβαλάρης. Το συγκεκριμένο σύστημα μερών του τζουρά, προσομοιώθηκε για τρία διαφορετικά πάχη του καπακιού: 1.9mm, 2.4mm και 2.9mm. Τα υλικά κατασκευής ορίστηκαν ως εξής: ξύλο ελάτου για το καπάκι και τακαμάρια, ενώ για τον καβαλάρη ορίστηκε ως υλικό κατασκευής ξύλο από έβενο. Στο δεύτερο σενάριο προσομοίωσης, αναλύθηκε ως σύστημα των ακόλουθων μερών: Καπάκι, Καμάρια, Καβαλάρης, το Σκάφος και το μάνικο του τζουρά, όμως για αυτήν την φορά, το πάχος του καπακιού ήταν: 2,4mm. Τα υλικά κατασκευής των αναφερθέντων μερών είχαν οριστεί ως εξής: Για το καπάκι και τακαμάρια το υλικό κατασκευής ήταν ξύλο από έλατο. Ο καβαλάρης είχε ως υλικό κατασκευής ξύλο από έβενο, ενώ το σκάφος είχε υλικό κατασκευής ξύλο από καρυδιά και το μανικό είχε ως υλικό ξύλο από σφένδαμο.
Παρακάτω ακολουθούν οι ιδιότητες για τα υλικά που μελετώνται. Τα υλικά για τους σκοπούς της έρευνας αυτής είναι τέσσερα: το έλατο, ο σφένδαμος, η καρυδιά και ο έβενος.



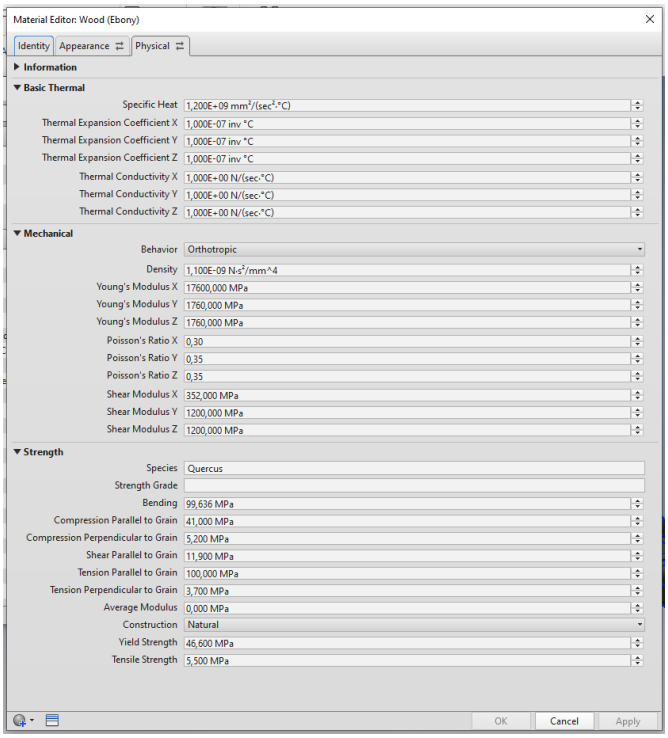
Εικόνα 5.6 Ιδιότητες υλικού του έλατου (Spruce)



Εικόνα 5.7 Ιδιότητες υλικού του σφένδαμου (Maple)



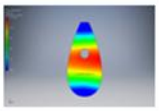
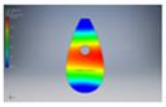
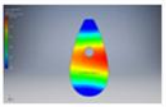
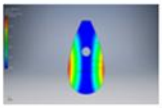
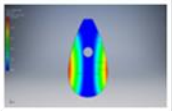
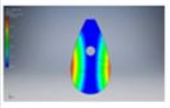
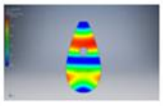
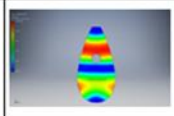
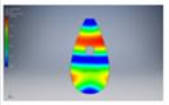
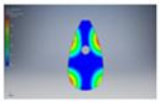
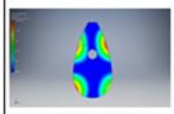
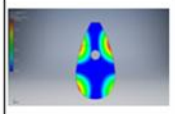
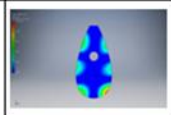
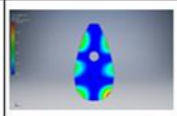
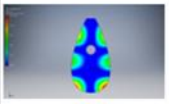
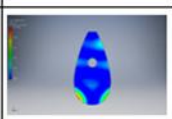
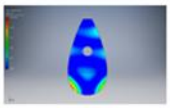
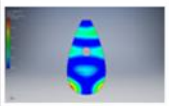
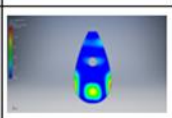
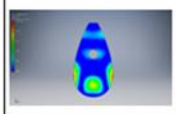
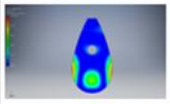
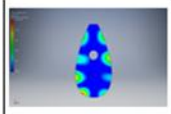
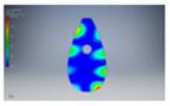
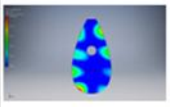
Εικόνα 5.8 Ιδιότητες υλικού της καρυδιάς (Walnut)



Εικόνα 5.9 Ιδιότητες υλικού του εβένου (Ebony)

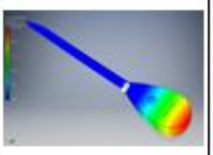
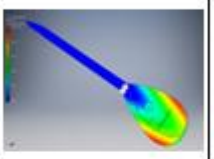
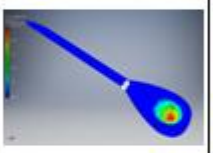
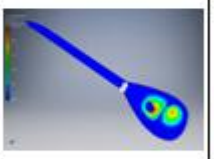
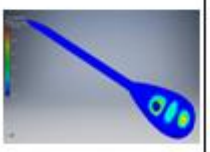
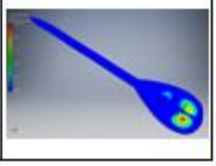
5.3 Αποτελέσματα Προσομοιώσεων

Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων θα τα παρουσιάσουμε σε δύο μέρη. Αρχικά θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων που αφορούν μόνο το σύστημα καπάκι, καβαλάρης, καμάρια. Στην εικόνα 5.10 παρουσιάζονται οι 8 πρώτοι τρόποι δόνησης για το σύστημα καπάκι, καβαλάρης, καμάρια.

Modes	Freq. (Hz)	Spruce (1,9mm)	Freq. (Hz)	Spruce (2,4mm)	Freq. (Hz)	Spruce (2,9mm)
(1,1)	99,5		123,5		150,5	
(2, 1)	145		175,7		212,7	
(2,2)	314,8		392,2		473,2	
(2, 2)	559,3		648,9		750,9	
(2, 3)	898,5		1076,3		1278,3	
(2,3)	1075,7		1326,2		1572,4	
(3,3)	1432		1640,9		1852,4	
(2,4)	1593,6		1874,6		2168	

Εικόνα 5.10 Συχνότητες και ιδιομορφές των 8 πρώτων τρόπων δόνησης για το καπάκι, τακαμάρια και καβαλάρη

Η μέγιστη μετατόπιση και για τους 8 πρώτους τρόπους δόνησης βρέθηκε να είναι 2.9 mm. Χρησιμοποιώντας τη σχέση abs[(Vmax-Vmin)/(Vmax)]*100% βρίσκουμε ότι το μικρότερο ποσοστό διαφοράς στη συχνότητα συντονισμού, μεταξύ του πιο λεπτού και του πιο παχύ καπακιού,είναι 22.6% για τον τρόπο δόνησης (3,3) και το μεγαλύτερο ποσοστό διαφοράς είναι 33.9% για τον τρόπο δόνησης (1,1). Επιπλέον, στην εικόνα 5.11 παρουσιάζονται οι 5 πρώτοι τρόποι δόνησηςγια το μουσικό όργανο που αποτελείται από σκάφος, καπάκι (2,4 mm), καμάρια, καβαλάρη και μάνικο. Παρατηρείται ότι οι τρόποι δόνησης παρατηρούνται για πολύ υψηλότερες συχνότητες σε σχέση με αυτές του μεμονωμένου καπακιού. Αυτό οφείλεται κυρίως στις διαφορετικές οριακές συνθήκες μεταξύ των δύο προσομοιώσεων.

Modes	Freq. (Hz)	Ebony, Maple, Walnut, Spruce (2,4 mm)
(0, 0)	219,6	
(0, 0)	795,3	
(1, 1)	1848,1	
(1, 2)	2194	
(1, 3)	3372,5	
(2, 1)	4075,9	

Εικόνα 5.11 Συχνότητες και ιδιομορφές των 5 πρώτων τρόπων δόνησης για το σκάφος, καπάκι (2,4 mm), καμάρια, καβαλάρη και μάνικο

Οι κύριοι τρόποι δόνησης και οι φυσικές συχνότητες που λαμβάνονται από τις προσομοιώσεις δείχνουν την επίδραση των διαφορετικών μηχανικών και γεωμετρικών ιδιοτήτων στη δονητική απόκριση τουτζουρά [12]. Οι προκύπτουσες συχνότητες συντονισμού και οι ιδιομορφές των δύο περιπτώσεων προσφέρουν πολύτιμες πληροφορίες για την αξιολόγηση των ακουστικών χαρακτηριστικών ενός τζουρά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω για τη βελτιστοποίηση και τον έλεγχο της δονητικής συμπεριφοράς του [13].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6. Συμπεράσματα

Η παρούσα εργασία αφορά τονσχεδιασμό μουσικού οργάνου(τζουρά) που πραγματοποιήθηκε σε υπολογιστικό περιβάλλον του προγράμματος Autocad Inventor 2017.Σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ήτανο σχεδιασμός και η προσομοίωση,με την χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων FEM,της δονητικής συμπεριφοράς του έγχορδου μουσικού οργάνου. Αρχικά καταγράφθηκαν διάφορες μετρήσεις των διαστάσεων του μήκους, πλάτους, του πάχους και των απαραίτητων γωνιών, για κάθε μέρος του μουσικό οργάνου. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός του μουσικού οργάνου σε υπολογιστικό περιβάλλον, με σκοπό την ακόλουθη προσομοίωση του για να ληφθούν τα τελικά αποτελέσματα της δονητικής συμπεριφοράς του. Έχει αποδειχτεί με βάσει διάφορες επιστημονικές έρευνες ότι κατά κύριο λόγο, το καπάκι τους και το σκάφος, επηρεάζουν καθοριστικά τους τρόπους συντονισμού που, συμβάλλοντας σε εξαιρετικά μεγάλο βαθμό, στο ηχητικό αποτέλεσμα των οργάνων. Έτσι λοιπόν, οι προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν σε υπολογιστικό περιβάλλον αφορούσαν 2 διαφορετικά σενάρια ανάλυσης της δονητικής συμπεριφοράς του τζουρά. Στο πρώτο σενάριο προσομοίωσης, πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των ακολούθων μερών, ως ένα ενιαίο σύστημα: Καπάκι, Καμάρια, Καβαλάρης. Το συγκεκριμένο σύστημα μερών του τζουρά, προσομοιώθηκε για τρία διαφορετικά πάχη του καπακιού: 1.9mm, 2.4mm και 2.9mm. Τα υλικά κατασκευής ορίστηκαν ως εξής: ξύλο ελάτου για το καπάκι και τακαμάρια, ενώ για τον καβαλάρη ορίστηκε ως υλικό κατασκευής ξύλο από έβενο. Στο δεύτερο σενάριο προσομοίωσης, αναλύθηκε ως σύστημα των ακόλουθων μερών: καπάκι, καμάρια, καβαλάρης, το σκάφος και το μάνικο του τζουρά, όμως για αυτήν την φορά, το πάχος του καπακιού ήταν: 2,4mm. Τα υλικά κατασκευής των αναφερθέντων μερών είχαν οριστεί ως εξής: Για το καπάκι και τακαμάρια το υλικό κατασκευής ήταν ξύλο από έλατο. Ο καβαλάρης είχε ως υλικό κατασκευής ξύλο από έβενο, ενώ το σκάφος είχε υλικό κατασκευής ξύλο από καρυδιά και το μανικό είχε ως υλικό ξύλο από σφένδαμο.

Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι, τα δύο σενάρια προσομοίωσης είχαν διαφορετικές οριακές συνθήκες(διαφορετικά τμήματα πάκτωσης με βάση πειραματικές μετρήσεις), με αποτέλεσμα να παρατηρηθούν διαφορές στην δονητική συμπεριφορά.Έτσι λοιπόν, για το πρώτο σενάριο προσομοίωσης τα σημεία πάκτωσης ήταν το άνω και το κάτω μέρος του καπακιού του τζουρά. Αντίθετά, στο δεύτερο σενάριο προσομοίωσης, θεωρήθηκε μόνο ένα σημείο πάκτωσης, το οποίο βρίσκεται στο μέρος όπου το σκάφος τελειώνει, ξεκινά και ενώνεται το μέρος του μάνικου. Έπειτα από το στάδιο των προσομοιώσεων, παρατηρήθηκε ότι το πάχος, τα υλικά κατασκευής και τα σημεία όπου τα μέρη πακτώνονται, παίζουν αναμφίβολα σημαντικό ρόλο στο τρόπο της δονητικής συμπεριφοράς του έγχορδου μουσικού οργάνου. Μέσω αυτών των ευρημάτων μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι η χρήση του σχεδιασμού με Η/Υ ενός έγχορδου μουσικού οργάνου, στην προκειμένη περίπτωση τζουράς, μπορεί να αποδειχτεί εξαιρετικά ωφέλιμη, όχι μόνο για σημαντικά θέματα που αφορούν την κατανόηση των ακουστικών αρχών ενός μουσικού οργάνου, αλλά μπορούν κάλλιστα, να έχουν επίσης πρακτικές συνέπειες για τον σχεδιασμό, την κατασκευή, αλλά και τη βελτιστοποίηση των έγχορδων μουσικών οργάνων. Αξιοποιώντας την μέθοδο του παραμετρικού σχεδιασμού, οι οργανοποιοί, οι κατασκευαστές και οι τεχνίτες μπορούν να δοκιμάσουν, διαφορετικές τιμές στο πάχος του καπακιού για να επιτύχουν τα απαραίτητα επιθυμητά ηχητικά αποτελέσματα που χαρακτηρίζουν ένα μουσικό όργανο ξεχωριστό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1.Φοίβος Ανωγειανάκης (1976) Ελληνικά λαϊκά μουσικά όργανα: 231.

2.https://el.wikipedia.org/wiki/Τζουράς, 19/11/2023.

3. Digital Caliper (https://shop.vogel-germany.de/messschieber/digital-messschieber-din-862-datenausgang-mini-usb-150-mm-6-inch.html)
4. Λ. Χαρτοφύλακας, Ακουστική και ηχητική ανάλυση των οργάνων της οικογένειας του μπουζουκιού, Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Τμήμα Μουσικών Σπουδών, Ιόνιο Πανεπιστήμιο, 2009.
5. R.E. Berg, Stork D.G., The physics of sound.
6. Κ. Μπάμπαρης, Μελέτη χρήσης νέου υλικού για καπάκι μπουζουκιού, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Σχεδίασης Προϊόντων και Συστημάτων, Ιόνιο Πανεπιστήμιο, 2017.
7. Παντελής Δ., Μη μεταλλικά τεχνικά υλικά, Εκδόσεις Παπασωτηρίου
8. V. Bucur, Acoustics of Wood, Springer
9. S. Record, The mechanical properties of wood, e-book 2004
10. I. Bremaud, Acoustical properties of wood in string instruments soundboards and tuned idiophones: Biological and cultural diversity, 2013
11. E. Kaselouris, M. Bakarezos, M. Tatarakis, N. A. Papadogiannis, V. Dimitriou, A Review of Finite Element Studies in String Musical Instruments, Acoustics, Vol. 4, 2022, pp. 183-202.
12. E. Kaselouris, Y. Orphanos, M. Bakarezos, M. Tatarakis, N. A. Papadogiannis, V. Dimitriou, Influence of the plate thickness and material properties on the violin top plate modes. In Proceedings of the INTER-NOISE 2021−International Congress and Exposition of Noise Control Engineering, Washington, DC, USA, 1-4 August 2021; Institute of Noise Control Engineering: Reston, VA, USA, 2021, Vol. 63, pp. 3369-3377.
13. S. Brezas et al. An Integrated Method for the Vibroacoustic Evaluation of a Carbon Fiber Bouzouki, Applied Sciences 13, 4585, 2023.
14. Λουτρίδης, Σπυρίδων Ι. - Ακουστική - Αρχές και εφαρμογές – Εκδότης Τζιόλα (2015).
15. http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Waves/cavh.html
16. Ορέστης Μιχαηλίδης, Κατασκευή και μελέτη δονητικών χαρακτηριστικών τζουρά, Πτυχιακή εργασία ΕΛΜΕΠΑ, 2024.