



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος:

**ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΗΧΗ
ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΜΕΛΟΥΣ**

**Όνοματεπώνυμο: Γεώργιος Καμπουράκης
(ΑΜ:5808)**

Επιβλέπων καθηγητές : Δρ. Φασουλός Ιωάννης, Δρ. Πετούσης Μάρκος

2018

Κατάλογος περιεχομένων

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	11
1.1	Περιγραφή προβλήματος	11
1.2	Σκοπός, στόχοι και κίνητρα της πτυχιακής εργασίας	11
1.3	Αναφορά τρόπου προσέγγισης του προβλήματος και μεθοδολογία	12
2	ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΑ ΜΕΛΗ	14
2.1	Ιστορική αναδρομή προσθετικής	14
2.2	Συμπτώματα ασθενών που πρέπει να ληφθούν υπόψιν	16
2.3	Στατιστικά στοιχεία ασθενών με ακρωτηριασμό	16
2.4	Είδη προσθετικών μελών	17
2.5	Τα βασικά στοιχεία των προσθετικών μελών	19
2.6	Επιμέρους υλικά που χρησιμοποιούνται ευρύτερα στην κατασκευή προσθετικών μελών.....	20
2.7	Περιγραφή σύγχρονου προσθετικού μέλους (State of the Art).....	21
2.8	Σύστημα ανάρτησης με υποδοχή αναρρόφησης	22
2.8.1	Αναφορά γενικής μεθόδου μελέτης και κατασκευής της υποδοχής με υποπίεση	23
2.9	Διαδικασία αποκατάστασης μέλους	24
3	ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ.....	26
3.1	Σύνθετα υλικά	26
3.1.1	Ιδιότητες σύνθετων υλικών.....	27
3.1.2	Κατηγορίες σύνθετων υλικών	28
3.1.3	Ινώδη υλικά	28
3.1.4	Μορφές ινών στα ινώδη υλικά	30
3.1.5	Μήτρες	31
3.1.6	Τύπος σύνθετου υλικού που χρησιμοποιείται στην εργασία	32
3.2	Τύποι συμβατικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή.....	33
3.2.1	Πολυοξυμεθυλένιο (POM)	33
3.2.2	Ανοξείδωτος χάλυβας	34
3.2.3	Πολυγαλακτικό οξύ (PLA)	35
3.2.4	Αλουμίνιο σειράς 2000.....	36

4	ΣΧΕΔΙΟΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ	37
4.1	Περιγραφή της μεθόδου μελέτης του προσθετικού πήχη	37
4.2	Το ολοκληρωμένο μοντέλο του προσθετικού πήχη που σχεδιάστηκε	38
4.3	Εξωτερικό περίβλημα	38
4.4	Διάταξη εσωτερικής βάσης του προσθετικού πήχη	39
4.4.1	Επιμέρους εξαρτήματα της εσωτερικής βάσης.....	40
4.5	Σύστημα ανάρτησης προσθετικού πήχη	43
4.5.1	Τύπος του συστήματος ανάρτησης που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία	43
4.5.2	Τα εξαρτήματα που αποτελείται το σύστημα ανάρτησης στην εργασία	44
5	ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΤΟΥ	45
5.1	Εργαλεία σχεδιασμού και κατασκευής με τη βοήθεια Η/Υ (CAD – CAM)	45
5.1.1	Συστήματα σχεδιασμού (CAD)	45
5.1.2	Συστήματα κατεργασίας (CAM)	46
5.1.3	Σχεδιασμός για παραγωγή και συναρμολόγηση (DFMA)	46
5.1.4	Περιγραφή εντολών που χρησιμοποιούνται για τη σχεδίαση.....	47
5.2	Περιγραφή μεθοδολογίας για την παραμετρική σχεδίαση του πήχη	48
5.2.1	Σχεδιασμός περιβλήματος	48
5.2.2	Σχεδιασμός σφηνών	49
5.2.3	Σχεδιασμός λάμας – συνδέσμου	50
5.2.4	Σχεδιασμός κεντρικής βάσης.....	51
5.2.5	Γεωμετρική μοντελοποίηση των εξαρτημάτων του συστήματος ανάρτησης	52
6	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ ΚΑΙ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥΣ	55
6.1	Διαδικασία κατασκευής του περιβλήματος από ανθρακονήματα	55
6.1.1	Καλούπι κατασκευής περιβλήματος	56
6.1.2	Υλοποίηση κατασκευής του περιβλήματος από ανθρακονήματα.....	57
6.1.3	Αποτελέσματα κατασκευής CFRP.....	60
6.2	Διαδικασία κατασκευής της εσωτερικής βάσης	62
6.2.1	Κατασκευή σφηνών.....	62
6.2.2	Κατασκευή λάμας - συνδέσμου	63
6.2.3	Κατασκευή κεντρικής βάσης	64
6.3	Κατασκευή συστήματος ανάρτησης προσθετικού πήχη.	67
6.3.1	Δακτύλιος σύνδεσης.....	67
6.3.2	Σύνδεσμοι.....	68
6.4	Τελική μορφή και Χαρακτηριστικά και μέσα συναρμολόγησης των εξαρτημάτων του προσθετικού πήχη 69	
6.4.1	Προδιαγραφές προσθετικού πήχη που κατασκευάστηκε	70
6.4.2	Περιγραφή διαδικασίας συναρμολόγησης.....	71

6.4.3	Συνοπτική κοστολόγηση κατασκευής του προσθετικού πήχη.....	72
7	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	73
8	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	75

Περιεχόμενα Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 2.1:	ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΤΕΧΝΗΤΟ ΜΕΛΟΣ ΒΡΕΘΗΚΕ ΣΤΗΝ ΑΙΓΥΠΤΟ ΤΗΝ ΕΠΟΧΗ 950 – 710 Π.Χ.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 2.2:	ΑΝΤΙΓΡΑΦΟ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ ΠΟΥ ΧΡΟΝΟΛΟΓΕΙΤΑΙ ΑΠΟ ΤΟ 1550 ΕΩΣ ΤΟ 1600.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 2.3:	ΚΟΣΜΗΤΙΚΟ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟ ΜΕΛΟΣ ΑΝΩ ΑΚΡΟΥ ΜΕ ΑΝΑΡΤΗΣΗ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΤΟΝ ΑΓΚΩΝΑ.	17
ΕΙΚΟΝΑ 2.4:	ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟ ΜΕΛΟΣ ΑΝΩ ΟΛΙΚΟΥ ΑΚΡΟΥ ΜΕ ΣΤΗΡΙΞΗ ΣΤΟΝ ΚΟΡΜΟ ΤΟΥ ΣΩΜΑΤΟΣ.....	18
ΕΙΚΟΝΑ 2.5:	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟ ΜΕΛΟΣ ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ ΒΕΒΙΟΝICS / ΟΤΤΟ ΒΟΣΚ ΠΟΥ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΤΗΚΕ ΑΠΟ ΤΟΝ ΙΔΙΟΚΤΗΤΗ ΤΟΥ ΝΙΓΕΛ ΑΣΚΛΑΝΔ ΣΕ ΣΥΝΕΔΡΙΟ ΤΗΣ TEDx ΣΤΗΝ ΑΘΗΝΑ ΤΟ 2015.	18
ΕΙΚΟΝΑ 2.6:	ΥΒΡΙΔΙΚΟ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟ ΜΕΛΟΣ ΑΝΩ ΑΚΡΟΥ ΜΕ ΑΝΑΡΤΗΣΗ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΣΤΗΝ ΠΛΑΤΗ.	19
ΕΙΚΟΝΑ 2.7:	ΠΡΟΗΓΜΕΝΟ 3D PRINTED ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟ ΜΕΛΟΣ “HERO ARM” ΤΗΣ ΕΤΑΙΡΙΑΣ OREN ΒΙΟΝICS.	21
ΕΙΚΟΝΑ 2.8:	ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΜΕ ΥΠΟΔΟΧΗ ΠΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΜΕ ΥΠΟΠΙΞΗ. ΈΧΕΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΘΕΙ ΣΕ ΚΟΛΟΒΩΜΑ ΑΣΘΕΝΟΥΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΤΑΙΡΙΑ ΟΤΤΟ ΒΟΣΚ ΣΤΗΝ Μ. ΒΡΕΤΑΝΙΑ. ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΗΣ ΕΙΝΑΙ ΜΑΛΑΚΟ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΟ ΠΟΛΥΜΕΡΕΣ.	22
ΕΙΚΟΝΑ 2.9:	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΠΟΔΟΧΗΣ ΑΠΟ ΘΕΡΜΟΠΛΑΣΤΙΚΟ ΠΟΛΥΜΕΡΕΣ ΜΕ ΤΗΝ ΒΟΗΘΕΙΑ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΑΠΟ ΓΥΦΟ.	23
ΕΙΚΟΝΑ 2.10:	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΔΟΧΗΣ ΣΕ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΟΡΦΗ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ: AUTODESK MESHMIXER.	24
ΕΙΚΟΝΑ 3.1:	ΟΙ 2 ΠΙΟ ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΥΦΑΝΤΩΝ ΣΤΙΣ ΙΝΕΣ ΑΠΟ ΑΝΘΡΑΚΑ. ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ Ο ΤΥΠΟΣ “PLAIN WEAVE”. ΔΕΞΙΑ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ Ο ΤΥΠΟΣ “2Χ2 TWILL”.	31
ΕΙΚΟΝΑ 3.2:	ΤΥΠΟΣ ΠΟΛΥΑΚΕΤΑΛΗΣ ΕΝ ΟΝΟΜΑΤΙ ΕRTACETAL. ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ.	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.3:	ΛΑΜΑ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΤΟ ΣΥΝΔΕΣΜΟ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ.	34
ΕΙΚΟΝΑ 3.4:	PLA ΥΛΙΚΟ ΠΡΩΤΗΣ ΥΛΗΣ ΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΕΚΤΥΠΩΤΗ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΦΗΝΩΝ.	35
ΕΙΚΟΝΑ 3.5:	ΆΞΟΝΑΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ 2024 ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ.	36
ΕΙΚΟΝΑ 4.1:	ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΜΕΛΟΥΣ ΣΕ ΙΣΟΜΕΤΡΙΚΗ ΟΨΗ.....	38
ΕΙΚΟΝΑ 4.2:	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΗ ΜΟΡΦΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΑΝΘΡΑΚΟΝΗΜΑΤΑ.	39
ΕΙΚΟΝΑ 4.3:	ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΕΞΑΡΤΗΜΑ ΒΑΣΗΣ ΟΠΟΥ ΣΕ ΑΥΤΟ ΣΥΝΔΕΟΝΤΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ, ΟΙ ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΚΑΙ ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ.	40
ΕΙΚΟΝΑ 4.4:	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΦΗΝΩΝ, ΑΡΙΣΤΕΡΑ Η ΜΙΚΡΗ ΚΑΙ ΔΕΞΙΑ Η ΜΕΓΑΛΗ.	41
ΕΙΚΟΝΑ 4.5:	ΟΙ ΔΥΟ ΣΦΗΝΕΣ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΕΣ ΕΠΑΝΩ ΣΤΟ ΕΜΠΡΟΣ ΤΜΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ.	42
ΕΙΚΟΝΑ 4.6:	ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΣΕ RENDER ΤΗΣ ΛΑΜΑΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ.....	42
ΕΙΚΟΝΑ 4.7:	ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ.	44
ΕΙΚΟΝΑ 5.1:	ΜΕΘΟΔΟΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ. ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ “SKETCH” ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΑΙ ΔΕΞΙΑ Η ΜΟΡΦΗ ΜΕ ΤΗΝ ΕΝΤΟΛΗ “BOUNDARY BLEND”.....	49
ΕΙΚΟΝΑ 5.2:	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΦΩΤΟΡΕΑΛΙΣΤΙΚΗ ΟΨΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΑΝΘΡΑΚΟΝΗΜΑΤΑ ΜΕ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ.	49
ΕΙΚΟΝΑ 5.3:	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΔΥΟ ΣΦΗΝΩΝ, ΑΡΙΣΤΕΡΑ Η ΜΙΚΡΗ ΚΑΙ ΔΕΞΙΑ Η ΜΕΓΑΛΗ.	50
ΕΙΚΟΝΑ 5.4:	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΑΜΑΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ.	51
ΕΙΚΟΝΑ 5.5:	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΡΦΗ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ ΣΕ ΔΥΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΕΣ ΟΨΕΙΣ ΜΕ ΤΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΟΥΣ.	51
ΕΙΚΟΝΑ 5.6:	ΑΡΙΣΤΕΡΑ Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΔΕΞΙΑ Η ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΑΥΛΑΚΙΟΥ ΣΤΟ ΠΛΑΙ.	52
ΕΙΚΟΝΑ 5.7:	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΟΥ ΚΑΙ ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΥ ΚΟΛΟΒΩΜΑΤΟΣ – ΑΓΚΩΝΑ. ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΚΑΜΠΥΛΕΣ. ΔΕΞΙΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΝΤΟΛΗΣ “BLEND”.....	53
ΕΙΚΟΝΑ 5.8:	ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ.	54
ΕΙΚΟΝΑ 5.9:	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΗΧΗ.....	54
ΕΙΚΟΝΑ 6.1:	ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΤΟΥ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΣΕ RENDER ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΣΕ ΙΣΟΜΕΤΡΙΚΗ ΟΨΗ.	56
ΕΙΚΟΝΑ 6.2:	ΚΑΛΟΥΠΙ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΑΝΘΡΑΚΟΝΗΜΑΤΑ.	56
ΕΙΚΟΝΑ 6.3:	ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΚΕΝΟΥ VENTURI ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΚΑΙ ΘΑΛΑΜΟΣ ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ ΓΙΑ ΤΗ ΣΚΛΗΡΥΝΣΗ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ ΔΕΞΙΑ.	58
ΕΙΚΟΝΑ 6.4:	ΣΤΙΓΜΙΟΤΥΠΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΑΝΘΡΑΚΟΝΗΜΑΤΑ ΜΕ ΑΡΙΘΜΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΣΥΝΔΕΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΘΕ ΕΙΚΟΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΡΑΠΑΝΩ.	60

ΕΙΚΟΝΑ 6.5:	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΙΣ 3 ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΟΥ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑΤΟΣ. ΕΠΑΝΩ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΤΟ ΜΙΚΡΟ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΕΤΑΙ. ΚΑΤΩ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΤΟ ΠΡΩΤΟ ΜΕΓΑΛΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΔΕΞΙΑ Η ΤΡΙΤΗ ΚΑΙ ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ ΠΡΟΣΠΑΘΕΙΑ.	61
ΕΙΚΟΝΑ 6.6:	ΤΟ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΚΟΠΗ ΣΤΙΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΜΕ ΑΚΡΥΛΙΚΟ ΒΕΡΝΙΚΙ.	61
ΕΙΚΟΝΑ 6.7:	ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΤΟ ΠΕΡΙΒΛΗΜΑ ΣΕ ΟΡΘΙΑ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΔΕΞΙΑ ΦΑΙΝΕΤΑΙ Η ΜΑΖΑ ΤΟΥ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ 95GR.....	62
ΕΙΚΟΝΑ 6.8:	ΟΙ ΔΥΟ ΣΦΗΝΕΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ.	63
ΕΙΚΟΝΑ 6.9:	ΜΗΧΑΝΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ ΛΑΜΑΣ. ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΤΟ ΕΙΔΙΚΟ ΨΑΛΙΔΙ ΓΙΑ ΛΑΜΑΡΙΝΕΣ ΚΑΙ ΔΕΞΙΑ Η ΣΤΡΑΝΤΖΑ.	63
ΕΙΚΟΝΑ 6.10:	ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ ΟΠΩΝ ΣΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ.....	64
ΕΙΚΟΝΑ 6.11:	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΠΡΟΦΙΛ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΣΤΟΝ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΤΟΡΝΟ.	64
ΕΙΚΟΝΑ 6.12:	ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΣΤΗ ΦΡΕΖΑ CNC ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΩΤΗ, ΑΛΛΑ ΚΑΙ ΓΙΑ ΤΗ ΔΕΥΤΕΡΗ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΣΤΟ ΔΙΑΙΡΕΤΗ. ..	65
ΕΙΚΟΝΑ 6.13:	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΕΠΑΝΩ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΚΟΝΔΥΛΙΑ Φ6 ΚΑΙ Φ3 ENDMILL.	65
ΕΙΚΟΝΑ 6.14:	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΠΛΑΪΝΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΓΙΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΥΛΑΚΙΟΥ ΜΕ ΚΟΝΔΥΛΙ Φ6 “ENDMILL” ΚΑΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΡΥΠΑΣ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΠΟΥ ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ 90° ΑΠΟ ΤΗΝ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ ΜΕ Φ4 ΤΡΥΠΑΝΙ.	66
ΕΙΚΟΝΑ 6.15:	ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΜΕ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΜΑΝΕΛΑ ΣΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΤΟΡΝΟ.....	66
ΕΙΚΟΝΑ 6.16:	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΤΗΣ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΒΑΣΗΣ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΣΕΙΡΑ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ (ΟΠΩΣ ΑΥΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΤΗΚΕ ΣΤΗΝ ΕΙΚΟΝΑ 4.3 ΕΠΑΝΩ ΣΕ ΖΥΓΑΡΙΑ ΜΕ ΜΑΖΑ ΣΤΑ 231GR.	67
ΕΙΚΟΝΑ 6.17:	ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ ΜΕ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗ ΑΠΟ ΣΠΡΕΙ ΠΛΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	67
ΕΙΚΟΝΑ 6.18:	ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΟΠΩΝ ΣΤΟ ΔΑΚΤΥΛΙΟ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΚΑΙ ΤΟ ΤΕΛΙΚΟ ΕΞΑΡΤΗΜΑ ΜΕ ΤΟΥΣ ΑΚΕΦΑΛΟΥΣ ΚΟΧΛΙΕΣ ALLEN ΣΤΑ ΔΕΞΙΑ.	68
ΕΙΚΟΝΑ 6.19	ΟΙ ΔΥΟ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΟΙ ΤΥΠΟΙ ΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΡΤΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ ΕΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΑΓΚΩΝΑ.	68
ΕΙΚΟΝΑ 6.20:	ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟ ΜΕΛΟΣ ΣΕ ΠΛΑΪΝΗ ΚΑΙ ΑΝΩ ΟΨΗ	69
ΕΙΚΟΝΑ 6.21:	ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟ ΜΕΛΟΣ ΣΕ ΥΠΟ ΓΩΝΙΑ ΟΨΗ.	69
ΕΙΚΟΝΑ 6.22:	ΜΕ ΚΟΚΚΙΝΟ ΦΑΙΝΟΝΤΑΙ ΟΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΙΜΟΙ ΧΩΡΟΙ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ.	70
ΕΙΚΟΝΑ 6.23:	ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΤΩΝ ΕΚΑΣΤΟΤΕ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ.....	71

Περιεχόμενα πινάκων

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1:	ΕΙΔΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΚΑΙ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	28
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2:	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΤΩΝ ΟΠΟΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΖΟΝΤΑΙ ΙΝΕΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ.	30
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3:	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΡΟΜ (ERTACETAL).....	33
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4:	ΜΕΡΙΚΕΣ ΑΠΟ ΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΝΩΞΕΙΔΟΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΤΥΠΟΥ 304L.	35
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.5:	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΓΑΛΑΚΤΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ (PLA).....	35
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.6:	ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ 2024.....	36
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1:	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ ΠΟΥ ΜΕΛΕΤΗΘΗΚΕ.	70
ΠΙΝΑΚΑΣ 6.2:	ΚΟΣΤΟΛΟΓΗΣΗ ΥΛΙΚΩΝ, ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΩΡΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΠΗΧΗ.	72

Abstract

The subject of this thesis is the design and manufacture of a prosthetic forearm which, along with an existing robotic hand, it constitutes a complete artificial upper limb. At first, it has been an introduction to the subject of work, describing the purpose of the construction, as well as the motivations and objectives that led to its completion. In addition a reference has been made to the way in which the 3D design and manufacturing logic of CAD/ CAM is directed to all parts of the prosthetic forearm.

The second chapter reports a minor analysis to the epidemiology of people that suffer from mutilation, the possible symptoms resulting from the loss of a limb and some brief statistical data that concern these people. After that there has been an initial mini review of the history as well as a description and analysis of the prosthetics. Then a description and explanation is made about the types that exist nowadays and then the most essential parts of them are referred. There is also a description to the most widely used materials in this section and besides, there is a reference to a state of the art artificial upper limb. Next, it is being a presentation to the material that are used during the manufacturing of the dissertations subject. Therefore, the is being a presentation and extensive analysis of the composite materials and more specifically the carbon fiber of which the outer shell of the prosthesis is made. The characteristics and properties of all these materials are included.

The next phase contains the main subject that is being elaborated in the fourth chapter. Firstly, it is being a description of the method in which the resulting problems are solved. Additionally, it is being a study in every main component of the artificial forearm separately.

The fifth chapter deals with the process by which the geometric 3D modeling of both the integral prosthetic forearm and its components are formed using CAD. Before that, it is being a small intro about the tools and design methods are used as well as the software and it's several commands that are used.

In the sixth and last chapter, the manufacturing process of the carbon fiber shell and the auxiliary components (such as mold, vacuum system) used on the process are being analyzed. At the same time, an analysis to the manufacturing process of the internal components takes place such as the inner base and the suspension system, to retain the forearm to the remaining limb. Finally, it is being a complete presentation to the whole prosthesis as well as to the way which is assembled.

CAD systems are being used during the manufacturing in most of the parts that are shown below.

Keywords: prosthesis, forearm, design, manufacture, carbon, upper, limb, CAD/CAM

Περίληψη

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η μελέτη και κατασκευή ενός προσθετικού πήχη που, μαζί με ρομποτική διάταξη αρπάγης, αποτελεί ολοκληρωμένο τεχνητό – βιονικό μέλος άνω άκρου.

Αρχικά, γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα της εργασίας και περιγράφονται, ο σκοπός της κατασκευής καθώς και τα κίνητρα και οι στόχοι που οδήγησαν στην ολοκλήρωσή της. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στον τρόπο που κατευθύνεται η λογική της μελέτης, του σχεδιασμού και της κατασκευής για όλα τα εξαρτήματα του προσθετικού πήχη.

Πέραν αυτών, στα επόμενα δύο κεφάλαια γίνεται θεωρητική προσέγγιση του προβλήματος. Συγκεκριμένα, στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά και μικρή ανάλυση της επιδημιολογίας των ακρωτηριασμένων, των πιθανών συμπτωμάτων που προκύπτουν κατά την απώλεια μέλους – άκρου όπως και συνοπτικών στατιστικών στοιχείων που αφορούν τους ανθρώπους αυτούς. Επίσης γίνεται περιγραφή και ανάλυση στα προσθετικά μέλη, αρχικά κάνοντας μια μικρή επισκόπηση στην ιστορία τους. Στη συνέχεια περιγράφονται και εξηγούνται τα είδη που υπάρχουν μέχρι σήμερα ενώ γίνεται λόγος στα πιο βασικά μέρη τους. Ακόμη γίνεται αναφορά στα πιο διαδεδομένα υλικά που χρησιμοποιούνται στον τομέα αυτόν και εκτός αυτού γίνεται περιγραφή ενός από τα πιο σύγχρονα προσθετικά μέλη που υπάρχουν μέχρι σήμερα.

Στη συνέχεια γίνεται παρουσίαση των υλικών που χρησιμοποιούνται συγκεκριμένα στην κατασκευή της πτυχιακής εργασίας. Επί τούτου, πραγματοποιείται αναφορά και εκτενέστερη ανάλυση στα σύνθετα υλικά και συγκεκριμένα στα ανθρακονήματα, με τα οποία κατασκευάζεται το εξωτερικό περίβλημα του προσθετικού πήχη. Συμπεριλαμβάνονται τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες από τα υλικά αυτά.

Σε επόμενη φάση, η εκπόνηση του κυρίου θέματος λαμβάνει χώρα στο τέταρτο κεφάλαιο. Αρχικά περιγράφεται η μέθοδος με την οποία γίνεται η προσέγγιση των προβλημάτων που προκύπτουν. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται και μελετάται κάθε κύριο εξάρτημα του τεχνητού πήχη, ξεχωριστά.

Το πέμπτο κεφάλαιο αφορά τη διαδικασία με την οποία γίνεται η γεωμετρική μοντελοποίηση τόσο του ολοκληρωμένου προσθετικού πήχη, όσο και των εκάστοτε εξαρτημάτων του. Προτού γίνει αυτό όμως, γίνεται μια μικρή εισαγωγή στα εργαλεία και τις μεθόδους σχεδιασμού που χρησιμοποιούνται, όπως και στο λογισμικό και τις εντολές που χρησιμοποιούνται.

Στο έκτο και τελευταίο, ουσιαστικά, κεφάλαιο λαμβάνει χώρα η αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας κατασκευής του περιβλήματος από ανθρακονήματα, όπως και των βοηθητικών εξαρτημάτων (καλούπι, σύστημα κενού) που χρησιμοποιούνται για λογαριασμό του. Παράλληλα, γίνεται ανάπτυξη περιγραφής για τη διαδικασία κατασκευής των υπολοίπων εξαρτημάτων, όπως της διάταξης της εσωτερικής βάσης και του συστήματος ανάρτησης για τη συγκράτηση του τεχνητού πήχη στο παραμένον άκρο. Τέλος γίνεται παρουσίαση του

ολοκληρωμένου προσθετικού μέλους και περιγράφεται ο τρόπος που επιτυγχάνεται η συναρμολόγηση των εξαρτημάτων του.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επιχορηγήθηκε οικονομικά από το «1ο Εσωτερικό Πρόγραμμα Ενίσχυσης της Ερευνας» του ΤΕΙ Κρήτης και συγκεκριμένα από τον Ειδικό Λογαριασμό Κονδυλίων Έρευνας (ΕΛΚΕ) του ΤΕΙ Κρήτης. Η εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος «Σχεδίαση, κατασκευή και έλεγχος ανθρωπόμορφης ρομποτικής πρόθεσης με δυνατότητες κίνησης και λαβής αντικειμένων - ΑΡΠΑ».

1

Εισαγωγή

Εισαγωγή κεφαλαίου

Το θέμα της πτυχιακής εργασίας βασίζεται στον τομέα της προσθετικής, συγκεκριμένα υποκατάστασης των τεχνητών μελών των άνω άκρων. Σκοπός της υποκατάστασης είναι η βελτίωση της ζωής των ατόμων με ειδικές ανάγκες, οι οποίοι έχουν χάσει ένα μέρος του σώματός τους είτε από αρρώστια, είτε από τραυματισμό.

1.1 Περιγραφή προβλήματος

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στην κατασκευή ενός τεχνητού πήχη υπό ορισμένες προδιαγραφές σύνδεσης με αρπάγη από τη μία πλευρά και με ανθρώπινο κολόβωμα, μέσω ενός συστήματος ανάρτησης, από την άλλη που μετά τη συναρμολόγησή τους, δημιουργείται ένα ολοκληρωμένο προσθετικό μέλος άνω άκρου. Μέσα στον πήχη, εκτός από την εσωτερική βάση συγκράτησης της αρπάγης, προβλέπεται η ύπαρξη ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και εξαρτημάτων (πλακέτες, ηλεκτρικοί αγωγοί, κινητήρες, αισθητήρες, μπαταρίες), τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία της ρομποτικής διάταξης της αρπάγης.

Με σκοπό την ανάπτυξη του τεχνητού πήχη, χρειάζεται να λυθούν ορισμένα προβλήματα που αφορούν, τόσο τη σύνδεση με τη ρομποτική διάταξη αρπάγης, όσο και τη σύνδεση με το ανθρώπινο κολόβωμα. Προς μελέτη λαμβάνονται υπόψιν τα παρακάτω:

- Σύνδεση του τεχνητού μέλους με σύστημα ανάρτησης του κολοβώματος.
- Μέθοδος συγκράτησης της ρομποτικής διάταξης χεριού στο τεχνητό μέλος.

1.2 Σκοπός, στόχοι και κίνητρα της πτυχιακής εργασίας

Με αφορμή τη μελέτη και κατασκευή του προσθετικού πήχη, η εργασία αποτελεί αντικείμενο για εκμάθηση και εξοικείωση στα μέσα που χρησιμοποιούνται στον κατασκευαστικό τομέα της μηχανολογίας. Χρησιμοποιώντας εργαλεία σχεδίασης CAD/CAM και μηχανές κατεργασιών (συμβατικές και αυτομάτου ελέγχου CNC) αποκτάται εμπειρία στο χειρισμό τους και γενικότερα γίνεται κατανόηση του τρόπου παραγωγής διαφόρων αντικειμένων. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας διάφορα υλικά, συμβατικά και προηγμένα, αποκτάται εμπειρία και γνώση στα χαρακτηριστικά, στις ιδιότητες, αλλά και στις ιδιαιτερότητές τους όσον αφορά τον τρόπο κατεργασίας.

Ειδικότερα, μέσα από αυτή την εργασία, γίνεται κατανοητό το ζήτημα της αναγκαιότητας της ανάπτυξης των προσθετικών μελών, αλλά και της μείωσης του κόστους τους στην αγορά, που είναι πολύ σοβαρό και θα βοηθήσει όλους αυτούς τους ανθρώπους που βιώνουν διάφορα προβλήματα στην καθημερινότητά τους.

Όσον αφορά το μηχανολογικό κομμάτι, η μελέτη και η κατασκευή του προσθετικού πήχη παρέχει περεταίρω εξοικείωση στις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή ενός προσθετικού μέλους, από το σχεδιασμό μέχρι την κατασκευή και συναρμολόγηση των εξαρτημάτων του. Παράλληλα, παρέχεται γνώση και εμπειρία για στη χρήση του λογισμικού τρισδιάστατης σχεδίασης (PTC Creo Parametric), αλλά και στη λειτουργία, συμβατικών και αυτομάτου ελέγχου, εργαλειομηχανών.

Επίσης, μέσα από τη χρήση ορισμένων συμβατικών υλικών γίνεται κατανόηση στα χαρακτηριστικά και τις ιδιαιτερότητες που έχουν, όσον αφορά στην κατεργασιμότητά τους. Εκτός αυτού, χρησιμοποιείται τύπος σύνθετου υλικού, ενισχυμένου με ίνες άνθρακα (Carbon Fibre Reinforced Polymer) για την κατασκευή ενός εξαρτήματος του τεχνητού πήχη. Από τη χρήση αυτή, παρέχεται εξοικείωση και εμπειρία στη διαδικασία κατασκευής του όπως και εκμάθηση των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων που μπορεί να αποκτήσει με την κατάλληλη σειρά ενεργειών.

Οι άνθρωποι οι οποίοι έχουν υποστεί απώλεια βιολογικού μέλους έχουν ανάγκη για αποκατάσταση, λειτουργική και συνάμα κοινωνική. Η ανάγκη αυτή, γενικότερα, αποτελεί βασικό κίνητρο για την εκπόνηση αυτής της εργασίας, με σκοπό να δοθεί ευκαιρία σε περεταίρω εξέλιξη στα προσθετικά μέλη.

1.3 Αναφορά τρόπου προσέγγισης του προβλήματος και μεθοδολογία

Η διαδικασία ξεκινάει με σχεδιασμό ενός βοηθητικού μοντέλου, το οποίο είναι ένα ενδεικτικό κολόβωμα. Ο σκοπός του βοηθητικού τρισδιάστατου μοντέλου είναι η αύξηση του επιπέδου ρεαλισμού και επομένως της εμφάνισης και κατανόησης του ολόκληρου του σχεδίου που πρόκειται να δημιουργηθεί. Οι διαστάσεις του ενδεικτικού κολοβώματος γίνονται κατά προσέγγιση και η σχεδίαση του προσθετικού πήχη γίνεται συνδέοντάς τον με αυτό.

Στη συνέχεια, γίνεται μοντελοποίηση του εξωτερικού περιβλήματος. Ο λόγος που γίνεται στην αρχή είναι για να γίνουν πιο σαφείς οι περιορισμοί των διαστάσεων για τη μελέτη της εσωτερικής βάσης. Επιπλέον, το τρισδιάστατο μοντέλο γίνεται πιο κατανοητό όσον αφορά την εμφάνισή του, επομένως μπορεί να γίνει πιο εύκολα αντιληπτό αν κάποια διάσταση, όπως το συνολικό μήκος της κατασκευής, είναι υπερβολικά μεγάλη ή μικρή.

Σε επόμενη φάση, μελετάται ένας τρόπος κατάλληλης σύνδεσης του πήχη με την αρπάγη. Σημειώνεται ότι η αρπάγη δεν περιστρέφεται γύρω από τον εαυτό της, οπότε η περιστροφή δεν μεταφέρεται στον πήχη, άρα και η συγκράτηση είναι σταθερή. Ως εκ τούτου, μελετάται μια εσωτερική βάση η οποία πρέπει να είναι εξαιρετικά απλή έτσι ώστε να κάνει εύκολη τη συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση.

Τέλος, γίνεται μελέτη σχεδιασμού, κατασκευής και συναρμολόγησης για ένα σύστημα ανάρτησης το οποίο συγκρατεί τον πήχη στο παραμένον άκρο του ανθρώπου. Ειδικότερα, επιλέγεται η σχεδίαση και κατασκευή ενός συστήματος το οποίο μπορεί να κρατήσει αρκετά σταθερά το προσθετικό μέλος, ενώ παράλληλα πρέπει να είναι δυνατόν να συνδέεται και να αποσυνδέεται εύκολα και γρήγορα. Μελετάται λοιπόν και για τον κατάλληλο τρόπο της σύνδεσης αυτής.

2 Προσθετικά μέλη

Περιγραφή κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο αρχικά γίνεται αναφορά στα προσθετικά μέλη και στην ιστορία τους από τα παλαιότερα χρόνια μέχρι σήμερα. Στη συνέχεια αναφέρονται ορισμένα συμπτώματα που προκύπτουν από ένα ακρωτηριασμό όπως και συνοπτικά στατιστικά στοιχεία. Επιπλέον, γίνεται περιγραφή και σύντομη ανάλυση στους τύπους που υπάρχουν, γενικότερα στα βασικά μέρη που αποτελούνται όπως και στα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους. Τέλος, γίνεται έκθεση σε ένα σύγχρονο και εξελιγμένο προσθετικό μέλος που υπάρχει στην αγορά σήμερα.

Ορισμός

Προσθετικό μέλος είναι μία εξωτερικά εφαρμοσμένη συσκευή η οποία χρησιμοποιείται με σκοπό να αποκαταστήσει ολόκληρο ή μέρος βιολογικού άκρου το οποίο έχει αποκοπεί από το ανθρώπινο σώμα (Ευρωπαϊκό πρότυπο: BS EN ISO 9999:2002).

Η αιτία της ανάπτυξης της προσθετικής άκρων ή μελών είναι οι δυσκολίες που έχουν οι άνθρωποι με ακρωτηριασμό στην λειτουργική και κοινωνική προσαρμογή τους. Σήμερα η επιστήμη αυτή, βασιζόμενη στην τεχνολογία μπορεί να αποκαταστήσει σε μεγάλο βαθμό τις λειτουργίες που χάνονται κατά την απώλεια βιολογικού μέλους.

Παρόλο που οι επιστήμονες δεν έχουν καταφέρει ακόμα να φτάσουν την προσθετική σε ένα σημείο που να μπορεί να συναγωνιστεί τη λειτουργικότητα των βιολογικών άκρων, συνεχώς εξελίσσονται και παρέχουν δυνατότητες που είναι πολύ σημαντικές και αυξάνουν την ποιότητα ζωής των ανθρώπων. Η ανάπτυξη της προσθετικής είναι ένα σημαντικό βήμα στην επαναφορά της λειτουργικότητας των άκρων σε ανθρώπους που έχουν ακρωτηριαστεί, μέχρι την ανάπτυξη της ιατρικής και της τεχνικής μεταμόσχευσης που προβλέπεται να υπάρξει στο μέλλον [5].

2.1 Ιστορική αναδρομή προσθετικής

Η πολυπλοκότητα της ιστορίας της προσθετικής καταδεικνύει τις μεγάλες αλλαγές/εξελίξεις που συνέβησαν με το πέρασμα του χρόνου. Έρευνες δείχνουν ότι το πρώτο τεχνητό μέλος βρέθηκε στην Αίγυπτο (950 – 710 π.Χ.) και ήταν ένα τεχνητό δάχτυλο ποδιού από ξύλο και δέρμα το οποίο ανήκε σε μια ευγενή κυρία (Εικόνα 2.1). Την εποχή αυτή, οι Αιγύπτιοι θεωρούσαν σημαντικά τα δάχτυλα των ποδιών έτσι ώστε να μπορούν να φορούν τα παραδοσιακά Αιγυπτιακά σανδάλια.



Εικόνα 2.1: Το πρώτο τεχνητό μέλος βρέθηκε στην Αίγυπτο την εποχή 950 – 710 π.Χ.

Στις αρχές του 16^{ου} αιώνα, ο Γάλλος στρατιωτικός γιατρός Ambroise Paré, ο οποίος ήταν ειδικός στις τεχνικές ακρωτηριασμού, εφηύρε ένα αρθρωτό μηχανικό χέρι όπως και προσθετικά πόδια τα οποία στηρίζονταν στο γόνατο με έναν ιμάντα. Επίσης, στη δεκαετία του 1690, ο ολλανδός χειρουργός Pieter Verduyn ανέπτυξε προσθετική στο πόδι με εξειδικευμένες αρθρώσεις και δερμάτινο κολάρο για καλύτερη επαφή με το κολόβωμα. Πολλές από τις καινοτομίες που αναπτύχθηκαν από αυτούς τους δύο γιατρούς, ακόμα και σήμερα, εξακολουθούν να έχουν κοινά χαρακτηριστικά με τις τεχνικές προσθετικής που κατασκευάζονται.



Εικόνα 2.2: Αντίγραφο προσθετικού βραχίονα που χρονολογείται από το 1550 έως το 1600.

Στη δεκαετία του 1840, οπότε και/ όταν εφευρέθηκε το αναισθητικό αέριο, οι γιατροί είχαν τη δυνατότητα για χειρουργικές επεμβάσεις σε ακρωτηριασμένους που τους επέτρεπε να διαμορφώσουν τα κολοβώματα για τη βελτίωση της σύνδεσής τους με τα τεχνητά μέλη.

Ύστερα από το τέλος του Β' παγκοσμίου πολέμου ιδρύθηκε το Πρόγραμμα Τεχνητών Άκρων από τον Αμερικανικό κυβερνητικό οργανισμό. Σκοπός του προγράμματος αυτού ήταν η εξέλιξη και η

ανάπτυξη των τεχνητών άκρων και εφαρμόστηκε στους παλαιμάχους που είχαν ακρωτηριαστεί. Η επιτυχία του προγράμματος ήταν μεγάλη, αφού βοήθησε η εξέλιξη σε τομείς όπως χειρουργικές τεχνικές, τεχνολογία υλικών, μέθοδοι σχεδιασμού και ηλεκτρονικών υπολογιστών. Οι τομείς των επιστημών αυτών βοήθησαν τα τεχνητά μέλη να γίνουν όσο το δυνατόν πιο ρεαλιστικά και λειτουργικά [6].

2.2 Συμπτώματα ασθενών που πρέπει να ληφθούν υπόψη

Ο πόνος αποτελεί ένα σύμπτωμα πολύ συνηθισμένο σε ακρωτηριασμένους και παρατηρείται σε ποσοστό από 50 – 80% των ασθενών αυτών. Υπάρχουν όμως και περιπτώσεις που οι ασθενείς αισθάνονται φαγούρα, μούδιασμα ή κάψιμο στην περιοχή του κολοβώματος.

Συχνά ένας ασθενής που έχει ακρωτηριαστεί, αισθάνεται πόνο στο κολόβωμα αλλά και στο μέλος του σώματος που έχει χάσει. Το φαινόμενο αυτό αναφέρεται από τους ιατρούς ως «πόνος του μέλους φάντασμα» και οφείλεται από βλάβη των κεντρικών και περιφερειακών νευρώνων οι οποίοι στέλνουν λανθασμένα σήματα στον εγκέφαλο του ασθενούς, προκαλώντας του την αίσθηση ότι το αποκομμένο μέλος υπάρχει ακόμα.

Τα συμπτώματα αυτά ενδέχεται, σε μερικούς ανθρώπους, να είναι έντονα. Αυτό σημαίνει ότι το εξάρτημα που μελετάται θα πρέπει να μην επιβαρύνει την κατάσταση αυτή. Επομένως, απαραίτητη είναι η λήψη μέτρων για την κατάλληλη επαφή του τεχνητού μέλους με το δέρμα του κολοβώματος. Τα υλικά του είναι σκληρά και η άμεση επαφή τους με το δέρμα ενδέχεται να προκαλέσει περεταίρω πόνο και φαγούρα. Ένα παράδειγμα είναι η χρήση ειδικού θερμοπλαστικού υλικού ανάμεσα στο εξάρτημα και το δέρμα, αλλά και χρήση επιδέσμων ή επιθεμάτων στην περιοχή αυτή [1].

2.3 Στατιστικά στοιχεία ασθενών με ακρωτηριασμό

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία, σε ακρωτηριασμό ενός τουλάχιστον άκρου, υποβάλλονται κάθε χρόνο περίπου 5 χιλιάδες άτομα στην Ελλάδα, οι περισσότεροι σε ηλικίες 50 – 75 ετών και στα δύο φύλα η συχνότητα ανδρών προς γυναικών. Από αυτούς, το 80 – 85 % ακρωτηριάζονται σε κάτω άκρο ενώ το 20 – 25% σε άνω. Οι περισσότεροι ακρωτηριασμοί οφείλονται σε διάφορες ασθένειες, όπως ο σακχαρώδης διαβήτης (περίπου το 50%), σε τροχαία αλλά και σε εργατικά ατυχήματα.

Στις Η.Π.Α. περίπου 2 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν με απώλεια ενός τουλάχιστον άκρου και κάθε χρόνο υπάρχουν περίπου 185 χιλιάδες κρούσματα ακρωτηριασμών. Οι κύριες αιτίες τους είναι 54% από ασθένειες, 44% από τραυματισμούς και λιγότερο από 2% από καρκίνο. Τα άτομα που πάσχουν από τέτοιου είδους ασθένειες συχνά πάσχουν από αγωνία και φόβο για την απώλεια σκέλους, ψυχικά προβλήματα από την αλλαγή του σωματικού τους ειδώλου, ενώ έχουν ανάγκη για νέες προσαρμογές στη ζωή τους [2].

Οι ασθενείς που έχουν υποστεί ακρωτηριασμούς άνω ή κάτω άκρου παρουσιάζουν πολλά προβλήματα που δυσκολεύουν την καθημερινότητά τους, μειώνουν τις πιθανότητες εύρεσης

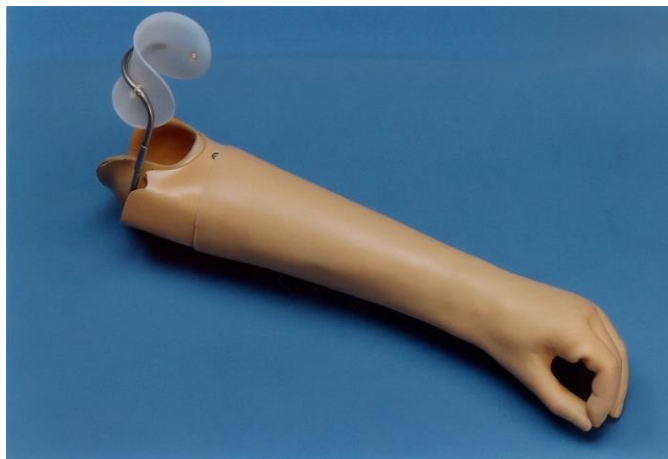
εργασίας και δυσχεραίνουν την κοινωνική τους ζωή. Τα νούμερα είναι χαρακτηριστικά του μεγέθους του προβλήματος και ενδεικτικά της ανάγκης που υπάρχει. Γι' αυτό τον λόγο οι επιστήμονες προσπαθούν να εξελίσσουν τα τεχνητά μέλη συνεχώς και να προσφέρουν τη δυνατότητα επιλογής στον ασθενή και τον ιατρό να αποκατασταθεί η βλάβη με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και με χαμηλότερο το κόστος [3].

2.4 Είδη προσθετικών μελών

Τα είδη των προσθετικών μελών για την αποκατάσταση ακρωτηριασμών, συχνά, χωρίζονται σε 4 κατηγορίες.

- Κοσμητικά ή παθητικά
- Μηχανικά
- Ηλεκτρονικά
- Υβριδικά

Το κάθε είδος μελετάται και χρησιμοποιείται για διαφορετικούς σκοπούς, όπως για παράδειγμα, ανάλογα με τα επίπεδα λειτουργικότητας και κόστους του τεχνητού μέλους που επιθυμεί ο χρήστης. Συγκεκριμένα, τα κοσμητικά τεχνητά μέλη είναι, συγκριτικά με τα άλλα, ελαφριά, αισθητικά όμορφα, έχουν εύκολη κατασκευή, ενώ έχουν και χαμηλό κόστος. Όμως είναι παθητικά και ακατάλληλα για διμερείς ακρωτηριασμούς.



Εικόνα 2.3: Κοσμητικό προσθετικό μέλος άνω άκρου με ανάρτηση στήριξης στον αγκώνα.

Τα μηχανικά προσθετικά μέλη κινούνται με τη βοήθεια άλλων μελών του ανθρωπίνου σώματος, πράγμα που τα κάνει λειτουργικά. Επίσης είναι αρκετά ανθεκτικά. Η διαφορά είναι πως για να λειτουργήσουν απαιτούν κινήσεις από άλλα μέρη του σώματος και για το λόγο αυτό προκαλείται μια σύγχυση στις κινήσεις του ασθενή. Επομένως θα πρέπει να αφιερώσει χρόνο για να συνηθίσει τις λειτουργίες τους. Επίσης απαιτούνται συνδέσεις των μερών με ιμάντες ή

άλλου είδους μετάδοσης κίνησης. Εντούτοις ο ασθενής ενδέχεται να κουράζεται σε πολύωρη λειτουργία.



Εικόνα 2.4: Μηχανικό προσθετικό μέλος άνω ολικού άκρου με στήριξη στον κορμό του σώματος.

Τα ηλεκτρονικά προσθετικά μέλη διακρίνονται συχνά σε δύο βασικές υποκατηγορίες. Τα μυοηλεκτρονικά και τα νευροηλεκτρονικά προσθετικά μέλη. Τύποι αυτοί έχουν παρόμοιο τρόπο λειτουργίας, με τη διαφορά να βρίσκεται στη μέθοδο που λαμβάνεται το σήμα από το χρήστη για να κινηθεί το προσθετικό μέλος.

Τα μυοηλεκτρονικά προσθετικά μέλη παίρνουν κινητικές μετρήσεις με τη βοήθεια μυοηλεκτρονικών αισθητηρίων οργάνων EMG τα οποία είναι τοποθετημένα στους μύες που ευθύνονται για τη λειτουργία του μέλους που έχει χαθεί. Οι κινήσεις γίνονται με ηλεκτρικούς επενεργητές είτε περιστροφικούς είτε γραμμικούς. Άρα, δεν απαιτούν ούτε ιμάντες ανάρτησης, ούτε σύνδεση με άλλα μέλη του σώματος. Επομένως δεν κουράζουν τόσο όσο οι μηχανικές προθέσεις. Τα μειονεκτήματά τους, όμως, είναι το αυξημένο βάρος, η δύσκολη ή πολλές φορές ανεπαρκής λήψη των κατάλληλων σημάτων, το αυξημένο κόστος και η συντήρησή τους.



Εικόνα 2.5: Ηλεκτρονικό προσθετικό μέλος της εταιρίας Bebionics / Otto Bock που παρουσιάστηκε από τον ιδιοκτήτη του Nigel Ackland σε συνέδριο της TEDx στην Αθήνα το 2015.

Τα νευροηλεκτρονικά προσθετικά μέλη μοιάζουν με τα μυοηλεκτρονικά, όσον αφορά την αρχή λειτουργίας τους. Η διαφορά είναι ότι παίρνουν μετρήσεις από το νευρικό σύστημα που ευθύνεται για την κίνηση του χαμένου μέλους, προσθέτοντας ακρίβεια και ταχύτητα στη λήψη των σημάτων που απαιτούνται για τη σωστή λειτουργία του μέλους. Τα μειονεκτήματά τους είναι η απαραίτητες ιατρικές χειρουργικές διαδικασίες, με σκοπό να συνδεθούν τα αισθητήρια όργανα με τα ανθρώπινα νεύρα και επομένως, το κόστος ανεβαίνει ακόμα περισσότερο σχετικά με τα μυοηλεκτρονικά προσθετικά μέλη.

Τέλος, τα υβριδικά προσθετικά μέλη συνδυάζουν λειτουργίες από τους παραπάνω τύπους μελών. Χρησιμοποιούνται για ασθενείς που έχουν χάσει μεγαλύτερο μέλος του σώματός τους, όπως ολόκληρο άνω ή κάτω άκρο. Είναι κατανοητό πως το κόστος ανεβαίνει ακόμα περισσότερο σε αυτού του τύπου τα τεχνητά μέλη [7].



Εικόνα 2.6: Υβριδικό προσθετικό μέλος άνω άκρου με ανάρτηση στήριξης στην πλάτη.

2.5 Τα βασικά στοιχεία των προσθετικών μελών

Βασική διαφορά των σημερινών τεχνητών μελών με αυτά που υπήρχαν στα παλαιότερα χρόνια είναι τα υλικά που χρησιμοποιούνται, όπως τα εξειδικευμένα πολυμερή. Με τη χρήση των υλικών αυτών, τα προσθετικά μέλη γίνονται ελαφρύτερα, ισχυρά και πιο ρεαλιστικά. Η εξέλιξη της ηλεκτρονικής και της πληροφορικής όμως, γίνονται πρακτικά και είναι ικανά να εκτελέσουν αυτοματοποιημένες εργασίες, σημαντικές για τη λειτουργικότητά τους.

Παρόλο που τα προσθετικά μέλη έχουν εκσυγχρονιστεί αρκετά, κάποια βασικά στοιχεία παραμένουν ως είχαν. Τα βασικά αυτά στοιχεία είναι:

- Ο πυλώνας
- Η υποδοχή
- Το σύστημα ανάρτησης

Ο πυλώνας αποτελεί το σκελετό του τεχνητού μέλους και στηρίζει όλη την κατασκευή. Ενώ παλαιότερα χρησιμοποιούνταν μέταλλα, στη σημερινή εποχή έχουν αντικατασταθεί με σύνθετα

υλικά από ίνες άνθρακα. Μερικές φορές χρησιμοποιείται αφρώδες υλικό που περικλείει τον πυλώνα. Το υλικό αυτό διαμορφώνεται και χρωματίζεται με σκοπό να δώσει στο τεχνητό μέλος μια αληθοφανή εμφάνιση.

Η υποδοχή είναι το τμήμα του τεχνητού μέλους που συνδέεται με το κολόβωμα του ακρωτηριασμένου. Η σύνδεσή του θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα μελετημένη επειδή στο σημείο αυτό μεταδίδονται οι δυνάμεις του προσθετικού μέλους στο άκρο του ασθενούς για την αποφυγή ερεθισμού ή βλάβης στο δέρμα και στους ιστούς. Συνήθως, ανάμεσα στο δέρμα και στην υποδοχή, τοποθετείται μια απαλή επένδυση για να γίνει η παραπάνω σύνδεση πιο άνετη.

Το σύστημα ανάρτησης κρατάει σταθερά το προσθετικό μέλος στο σώμα του ασθενούς και μπορεί να πάρει διάφορες μορφές, όπως ιμάντες, ζώνες ή μανίκια. Επίσης υπάρχει ένα ακόμα σύστημα ανάρτησης που βασίζεται σε υποπίεση, όπου το τεχνητό μέλος συνδέεται αεροστεγώς στο κολόβωμα και έτσι σφραγίζεται η επαφή τους. Κάθε περίπτωση σύνδεσης προσθετικού μέλους είναι σχεδιασμένη για συγκεκριμένο κολόβωμα. Τέλος, ο κατάλληλος τύπος ανάρτησης βασίζεται με μεγάλο βαθμό στην ύπαρξη ή μη μεγάλης άρθρωσης όπως είναι το γόνατο για το κάτω μέλος και ο αγκώνας για το άνω μέλος του σώματος. [7]

2.6 Επιμέρους υλικά που χρησιμοποιούνται ευρύτερα στην κατασκευή προσθετικών μελών

Γενικότερα, για την παραγωγή των προσθετικών μελών, τα υλικά που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι υλικά τα οποία έχουν υψηλό βαθμό στιβαρότητας / βάρους ούτως ώστε η συνολική μάζα του μέλους να παραμένει σε χαμηλά επίπεδα για να μην επιβαρύνεται το παραμένον άκρο. Επιπλέον, λόγω ορισμένων εξαρτημάτων μικρών διαστάσεων που αποτελούν ένα προσθετικό μέλος, τα υλικά αυτά θα πρέπει να έχουν καλή κατεργασιμότητα με χαμηλά επίπεδα ανοχών έτσι ώστε να μπορούν να φτάσουν την απαραίτητη ακρίβεια, η οποία είναι σημαντική για αποφυγή τζόγων. [7]

Εντούτοις, τα υλικά αυτά είναι συνήθως μικρής πυκνότητας μέταλλα, σκληρά πολυμερή, σιλικόνη αλλά και προηγμένα σύνθετα πολυμερή με ενίσχυση ινών.

Ειδικότερα, κάποια από αυτά τα υλικά είναι:

- Σκληρά αλουμίνια
- Κράματα τιτανίου και μαγνησίου
- ABS και POM πλαστικά
- Ρητίνες
- Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες άνθρακα, αραμιδίου, γυαλιού και πολυεστέρα

Επιπλέον, με την ανάπτυξη των τρισδιάστατων εκτυπωτών, γίνεται ευρύτερη χρήση για εκτύπωση μικρών εξαρτημάτων με πρώτες ύλες (οι ακρίβειες εκτύπωσης φαίνονται στην παρένθεση) όπως:

- Πολυαμίδιο (1mm)

- ABS (1mm)
- Εποξική Ρητίνη (1mm)
- Χρυσός / άργυρος (0.5mm)
- Τιτάνιο (0.2mm)

2.7 Περιγραφή σύγχρονου προσθετικού μέλους (State of the Art)

Ένα παράδειγμα για την εξέλιξη της προσθετικής είναι το τεχνητό μέλος άνω άκρου εν ονόματι «Hero Arm» της εταιρίας Open Bionics η οποία εδρεύει στο Bristol της Αγγλίας. Πρόκειται για ένα από τα πιο σύγχρονα τεχνητά μέλη που έχουν δημιουργηθεί μέχρι σήμερα, καθώς συνδυάζει πολύ υψηλά επίπεδα λειτουργικότητας [8].

Οι αναλογίες που έχει η συσκευή είναι πολύ κοντά σε αυτές ενός βιολογικού άκρου και σαν εμφάνιση, μοιάζει με τεχνολογική ανάπτυξη ερχόμενη από το μέλλον, η οποία παρεμπιπτόντως προτιμάται από τους ασθενείς συγκριτικά με την εμφάνιση του ανθρώπινου δέρματος καθώς παρέχεται δυνατότητα προσαρμογής με διάφορα καλύμματα.



Εικόνα 2.7: Προηγμένο 3d Printed προσθετικό μέλος “Hero Arm” της εταιρίας Open Bionics.

Το συγκεκριμένο τεχνητό μέλος είναι δυνατό να κάνει τις περισσότερες απαραίτητες κινήσεις που χρειάζεται ένας άνθρωπος, όπως αρπάγη αντικειμένων, επαφή δύο δακτύλων, άνοιγμα παλάμης «κόλλα πέντε», κλείσιμο παλάμης «γροθιά», “thumbs up” και κράτημα αυγού και επιπλέον διαθέτει λειτουργία αυτόματης σταθερής σύσφιξης δακτύλων.

Η συσκευή υπάγεται στην κατηγορία των ηλεκτρονικών προσθετικών μελών άνω άκρου προ αγκώνα και λειτουργεί με μυοηλεκτρονικούς αισθητήρες. Το υλικό κατασκευής του είναι 3D Printed πλαστικό, ιατρικά πιστοποιημένο, και ζυγίζει λιγότερο από 1 κιλό. Ο καρπός του χεριού έχει τη δυνατότητα να περιστρέφεται 180° και στη σχεδιάσή του, κυριαρχεί το «modular design» το οποίο δίνει τη δυνατότητα εύκολης συναρμολόγησης / αποσυναρμολόγησης.

Η υποδοχή του είναι φτιαγμένη από σιλικόνη και είναι αεριζόμενη για αποφυγή ιδρώτα στο δέρμα. Τέλος, η συσκευή έχει αυτονομία μίας μέρας και παρέχει διάφορους τρόπους ανάδρασης είτε για λειτουργίες, είτε για προειδοποιήσεις με φωτισμό, ήχους και δονήσεις.

Όσον αφορά τον πήχη της συσκευής, παρατηρείται ότι έχει αποσπώμενη υποδοχή με ρυθμιζόμενη σύσφιξη, από την άλλη πλευρά διαχωρίζεται με το χέρι μέσω του περιστρεφόμενου μηχανισμού, ενώ στο κέντρο βρίσκεται η μπαταρία. Οι κινητήρες για τη λειτουργία του χεριού βρίσκονται μέσα στην παλάμη [9].

Το σημαντικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου προσθετικού μέλους είναι η τιμή με την οποία μπορεί κάποιος να το αποκτήσει καθώς κοστίζει μόλις 5.000 λίρες Αγγλίας, σχετικά με άλλα προϊόντα που έχουν έως και 10 φορές την τιμή αυτή [10].

2.8 Σύστημα ανάρτησης με υποδοχή αναρρόφησης

Στο παρελθόν, οι μέθοδοι συγκράτησης ενός προσθετικού μέλους άνω άκρου με το μέλος του ασθενούς γινόταν με λουριά και ιμάντες με σκοπό να επιτευχθεί μια αξιόπιστη εφαρμογή και συγκράτηση. Όμως με την πάροδο των χρόνων που αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι ανάλυσης των ακρωτηριασμένων άκρων και των υλικών που χρησιμοποιούνται, το σύστημα ανάρτησης που έχει επικρατήσει είναι η ανάρτηση υποδοχής αναρρόφησης.

Η ανάρτηση υποδοχής αναρρόφησης λειτουργεί σαν μια βεντούζα, στηρίζεται δηλαδή σε αρνητική πίεση που δημιουργείται μέσα στην υποδοχή του κολόβωματος. Μία βαλβίδα αέρα μονής κατεύθυνσης ενσωματώνεται στην υποδοχή και καθώς ο ασθενής τοποθετεί το κολόβωμα, ο αέρας αυτός εξέρχεται. Όταν πλέον έχει τοποθετηθεί το κολόβωμα στη θέση του, ο αέρας δεν μπορεί να εισέλθει με σκοπό να δημιουργείται μια υποπίεση η οποία λειτουργεί σαν αντίσταση και δεν αφήνει το κολόβωμα να βγει.



Εικόνα 2.8: Σύστημα ανάρτησης με υποδοχή που λειτουργεί με υποπίεση. Έχει τοποθετηθεί σε κολόβωμα ασθενούς από την εταιρία Otto Bock στην Μ. Βρετανία. Το υλικό κατασκευής της είναι μαλακό θερμοπλαστικό πολυμερές.

2.8.1 Αναφορά γενικής μεθόδου μελέτης και κατασκευής της υποδοχής με υποπίεση

Αρχικά ο ασθενής επισκέπτεται τον υπεύθυνο για την κατασκευή της υποδοχής. Γίνεται ανάλυση της μορφής του κολοβώματος, μέτρηση των διαστάσεων που απαιτούνται για την υλοποίηση καθώς και σχεδίαση του με τη βοήθεια λογισμικού τρισδιάστατης σχεδίασης. Στη συνέχεια γίνεται μοντελοποίηση και δημιουργία της υποδοχής είτε απ' ευθείας επάνω στο κολόβωμα, είτε ανεξάρτητα από αυτό. Ο τρόπος της δημιουργίας εξαρτάται από το υλικό που χρησιμοποιείται για την υποδοχή. Το υλικό της υποδοχής μπορεί να είναι είτε μαλακό (σιλικόνη, θερμοπλαστικό), είτε σκληρό (εποξική ρητίνη, σκληρό πλαστικό) ή συνδυασμός αυτών, ανάλογα με τον τύπο, τη μορφή και τα χαρακτηριστικά του τεχνητού μέλους.

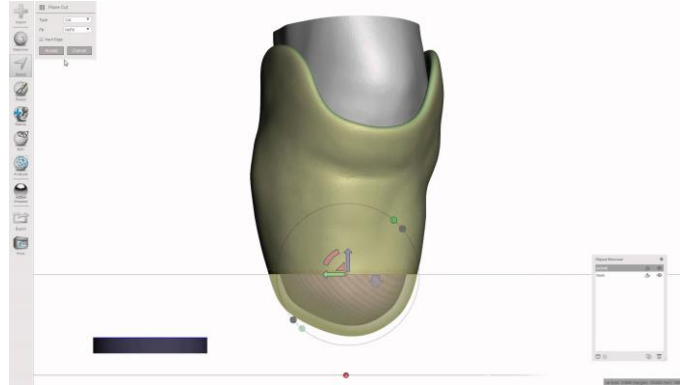


Εικόνα 2.9: Κατασκευή υποδοχής από θερμοπλαστικό πολυμερές με την βοήθεια καλουπιού από γύψο.

Η μελέτη και η διαστασιολόγηση του ακρωτηριασμένου άκρου και του σώματος γενικά γίνεται με διάφορους τρόπους. Ο απλούστερος τρόπος είναι η μέτρηση των απαραίτητων διαστάσεων με μια απλή μεζούρα. Η μέθοδος αντιγραφής του κολοβώματος γίνεται με δύο τρόπους. Ο πρώτος αφορά την άμεση δημιουργία της υποδοχής επάνω στο ακρωτηριασμένο άκρο.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι υλικά τα οποία σκληραίνουν σε συγκεκριμένο χρόνο και θερμοκρασία (θερμοπλαστικό, σιλικόνη). Ο δεύτερος τρόπος γίνεται με χρήση υλικών, όπως ο γύψος, τα οποία εφαρμόζονται επάνω στην επιφάνεια και σκληραίνουν σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έτσι κατά τη σκλήρυνσή τους παίρνουν τη μορφή που απαιτείται. Στη συνέχεια γίνεται αφαίρεση του υλικού αυτού και χύτευση του αντίγραφου του κολοβώματος.

Σε περίπτωση που απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια στην αντιγραφή του κολοβώματος δυνατή είναι η χρήση τρισδιάστατης σάρωσης και εκτύπωσης. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνονται καλύτερα αποτελέσματα και επιπλέον ο χρόνος μελέτης και αντιγραφής του κολοβώματος γίνεται αυτοματοποιημένα, πιο γρήγορα και χωρίς λάθη, αλλά και με υψηλότερο κόστος.



Εικόνα 2.10: Σχεδιασμός υποδοχής σε τρισδιάστατη ψηφιακή μορφή με τη βοήθεια του λογισμικού: Autodesk Meshmixer.

2.9 Διαδικασία αποκατάστασης μέλους

Η αποκατάσταση του μέλους με τεχνητό είναι αρκετά πολύπλοκη διαδικασία η οποία εμπλέκει ποικίλες τεχνικές με κλινικά ζητήματα, που προέρχονται από τον πάσχοντα, τα οποία πρέπει να αντιμετωπίζονται. Επομένως, η προσθετική αποτελείται από συνεργασία ειδικών, όπως μηχανικούς, τεχνικούς, γιατρούς, φυσιοθεραπευτές και ψυχολόγους. Η συνεργασία των ανθρώπων αυτών παρέχει στον ασθενή ένα τεχνητό μέλος, μελετημένο και κατασκευασμένο για τον ίδιο το οποίο εξυπηρετεί τις ανάγκες του με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

Το πρώτο πράγμα λοιπόν που γίνεται είναι η διερεύνηση και η βαθιά κατανόηση των αναγκών του ασθενή. Ως αναφορά, η κατάλληλη επιλογή του τύπου προσθετικού μέλους βασίζεται σε διάφορα ορόσημα, όπως:

- Ηλικία και φύλλο ασθενή
- Ανατομική κατάσταση κολοβώματος (εύρος κίνησης, μυϊκή δύναμη, κατάσταση δέρματος, επίπεδο ακρωτηριασμού)
- Ψυχολογική κατάσταση ασθενή
- Επίπεδο αίσθησης πόνου του άκρου
- Πιθανή παρουσία άλλων ασθενειών
- Επίπεδο ικανότητας εκμάθησης
- Περιβάλλον καθημερινότητας και οικογενειακή στήριξη
- Τυχόν εμπειρία από προηγούμενη αποκατάσταση μέλους
- Προσωπικά κίνητρα για αποκατάσταση, προσδοκίες και ιδιαιτερότητες του ασθενή
- Επίπεδο επιθυμητής αντιγραφής του βιολογικού άκρου

Για τη μεγιστοποίηση του αποτελέσματος της αποκατάστασης, η σωστή επιλογή του κατάλληλου προσθετικού μέλους για ένα συγκεκριμένο ασθενή βασίζεται στη σωστή αξιολόγηση των παραπάνω χαρακτηριστικών του και πρέπει να γίνεται από έμπειρο ειδικό προσωπικό.

Σε γενικές γραμμές, για την ικανοποίηση των αναγκών του ασθενούς, ένα προσθετικό μέλος πρέπει να έχει τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

- Υψηλή ικανότητα και απόδοση
- Κατάλληλη στιβαρότητα
- Αποτελεσματικότητα συστημάτων ελέγχου
- Μορφή ανθρώπινου άκρου
- Χαμηλό βάρος
- Αυτονομία (για ηλεκτρονικά τεχνητά μέλη)
- Σωστό μέγεθος και αναλογίες
- Άνεση για τον χρήστη
- Εύκολη εφαρμογή
- Εύκολος χειρισμός
- Αξιόπιστη λειτουργία
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου
- Ευκολία επισκευής και συντήρησης
- Χαμηλή τιμή

Ορισμένα από αυτά αφορούν την λειτουργικότητα του τεχνητού μέλους, άλλα τη φορητότητα ενώ άλλα χαρακτηριστικά έχουν να κάνουν με τεχνολογικά και κατασκευαστικά ζητήματα. Το επίπεδο τήρησής τους εξαρτάται κυρίως από το σχεδιασμό των εξαρτημάτων, μηχανολογικών και ηλεκτρονικών, που έχει ένα προσθετικό μέλος [4].

3

Υλικά κατασκευής του προσθετικού πήχη

Περιγραφή κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα σύνθετα υλικά, στις ιδιότητές τους, αναλύεται ο τύπος των ανθρακονημάτων που χρησιμοποιούνται και επεξηγείται ο λόγος που επιλέχθηκε. Στη συνέχεια, γίνεται σύντομη περιγραφή των συμβατικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή, των χαρακτηριστικών που έχουν αλλά και αιτιολογείται η επιλογή εφαρμογής τους.

3.1 Σύνθετα υλικά

Ορισμός

Σε ένα σύστημα ο όρος «σύνθετο» σημαίνει ότι αυτό αποτελείται από δύο ή περισσότερα διακριτά μέρη. Σε γενικές γραμμές, λοιπόν, ένα υλικό το οποίο αποτελείται από δύο ή περισσότερα διαφορετικά υλικά ή φάσεις μπορεί να χαρακτηριστεί ως σύνθετο υλικό (composite material).

Ειδικότερα, ως σύνθετα αναγνωρίζονται τα υλικά, τα οποία αποτελούνται από επιμέρους υλικά με σημαντικά διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες μεταξύ τους, ενώ το ίδιο το σύνθετο υλικό έχει κι αυτό σημαντικά διαφορετικές ιδιότητες από εκείνες των συστατικών του.

Ένα υλικό, για να καταταχθεί στην κατηγορία των σύνθετων, θα πρέπει να ακολουθείται ο εξής κανόνας: Το σύνθετο υλικό που θα προκύψει θα πρέπει να είναι ο συνδυασμός συστατικών μερών, όπου οι ιδιότητες του καθενός από τα μέρη αυτά να είναι τουλάχιστον πενταπλάσιες από του άλλου και η περιεκτικότητα κατά όγκο του ενός να μην είναι λιγότερη από 10%.

Τα σύνθετα υλικά χωρίζονται σε συνιστώσες φάσεις. Η μία ονομάζεται «μήτρα» και είναι συνεχής φάση. Είναι χαμηλής πυκνότητας και ο ρόλος της είναι η μεταφορά των ασκούμενων φορτίων στο μέσο ενίσχυσης. Η δεύτερη αναφέρεται ως «συστατικό ενίσχυσης» ή «έγκλεισμα» και είναι ασυνεχής φάση. Το συστατικό ενίσχυσης παραλαμβάνει τα φορτία της μήτρας και συνεπώς προσδίδει τις βελτιωμένες μηχανικές, κυρίως, ιδιότητες. Επιπλέον, μπορεί να θεωρηθεί και μία τρίτη φάση ή ενδιάμεση φάση που έχει μεταβλητές ιδιότητες και αποτελεί ένα σύνδεσμο για τα φορτία μεταξύ μήτρας και ενισχυτικού μέσου. Έχει συγκεκριμένο πάχος και σχηματίζεται κατά τη διάρκεια κατασκευής του συνθετικού υλικού [11].

3.1.1 Ιδιότητες σύνθετων υλικών

Η ραγδαία αύξηση της χρήσης των σύνθετων υλικών σε όλους τους τομείς της επιστήμης οφείλεται σαφέστατα στις ιδιότητες και τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν έναντι των υλικών που αντικαθιστούν. Τα σύνθετα υλικά πλεονεκτούν κυρίως διότι διαθέτουν συνήθως τις βέλτιστες ιδιότητες των υλικών που τα αποτελούν, αλλά και ιδιότητες που τα υλικά αυτά δεν διέθεταν αρχικά.

Σημαντικό επίσης είναι το γεγονός ότι μπορούν να παραλαμβάνουν φορτία μετά από αστοχία. Αυτό γίνεται διότι κατά την σταδιακή θραύση των ινών του σύνθετου υλικού, τα φορτία μεταφέρονται σε διάφορες κατευθύνσεις μέσα στο υλικό και σε ίνες που δεν έχουν ακόμα αστοχήσει. Λόγω αυτού, παρατηρείται και αντοχή σε εγκοπές και ρωγμές. Άρα λοιπόν, συνεπάγεται και μεγαλύτερη αντοχή στην κόπωση των υλικών αυτών, όπως παρατηρείται σε εφαρμογές κτιρίων. Τέλος τα σύνθετα υλικά πλεονεκτούν σε ηλεκτροχημική διάβρωση, πράγμα που δεν συνηθίζεται στα μέταλλα, απόσβεση ταλαντώσεων που παρουσιάζουν κάποια σύνθετα (τύπου sandwich), όπως επίσης και αντοχή σε κρούσεις που παρουσιάζουν τα ινώδη σύνθετα.

Τόσο η μήτρα, όσο και το ενισχυτικό μέσο, συνεισφέρουν στις ιδιότητες του σύνθετου υλικού. Με τη σωστή επιλογή του συνδυασμού τους και με την κατάλληλη σειρά διεργασιών, μπορεί ο κατασκευαστής να δώσει στο υλικό τις ιδιότητες που χρειάζεται για την κατάλληλη εφαρμογή που προορίζεται [11].

Οι ιδιότητες αυτές μπορεί να είναι:

- Υψηλή αντοχή
- Μεγάλη δυσκαμψία
- Αντίσταση σε διάβρωση
- Χαμηλό βάρος
- Αντίσταση σε φθορά
- Καλή συμπεριφορά σε κόπωση και κρούση
- Καλή θερμική αγωγιμότητα
- Καλή θερμική μόνωση
- Ακουστική μόνωση
- Χαμηλό κόστος συντήρησης

Κάθε σύνθετο είναι κατασκευασμένο και διαθέτει κάποιες από αυτές τις ιδιότητες. Ένα παράδειγμα είναι τα ινώδη σύνθετα υλικά τα οποία διαθέτουν δυσκαμψία, αντοχή, χαμηλό βάρος και χαμηλό κόστος.

Άλλο ένα μεγάλο χαρακτηριστικό που έχουν τα σύνθετα υλικά είναι οι «ειδικές ιδιότητες». Πράγμα που σημαίνει ότι διαθέτουν τις παραπάνω ιδιότητες σε συνάρτηση με την πυκνότητά τους. Ο λόγος αυτός είναι αρκετά μεγαλύτερος από αυτό των παραδοσιακών υλικών που αντικαθιστούν σιγά σιγά (Πίνακας 3.1) [12].

Υλικό	Πυκνότητα ρ (Kg/mm ³)	Μέτρο του Young E (GPa)	Αντοχή σε εφελκισμό Ts (MPa)	Παραμόρ- φωση σε θραύση ϵ_u (%)	Συντελεστής θερμικής διαστολής α (10 ⁻⁶ °C ⁻¹)	Ειδικό μέτρο ελαστικό- τητας E/d	Ειδική αντοχή σε εφελ- κισμό Ts/d
Κράμα Mg – Zn- Al υψηλής αντοχής	2.8	72	503	11	24	25.7	180
Κράμα Χάλυβα	7.85	207	2000	12-28	11	26.4	270
Νικέλιο Ni	8.2	204	1200	26	16	24.9	1100
Ανθρακονήματα CFE-UD (60%)	Long:1.62 Trans:1.62	220 7	1400 38	0.8 0.6	-0.2 30	135 -	865 -
Υαλονήματα GFP-UD (50%)	Long:1.93 Trans:1.93	38 10	750 22	1.8 0.2	11 -	19.7 -	390 -

Πίνακας 3.1: Ειδικές ιδιότητες διαφόρων μετάλλων και σύνθετων υλικών

3.1.2 Κατηγορίες σύνθετων υλικών

Η ταξινόμηση των σύνθετων υλικών μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, ανάλογα με το κριτήριο που χρησιμοποιείται κάθε φορά. Συνήθως όμως το μέσο ενίσχυσης είναι αυτό με το οποίο οι περισσότεροι τα ταξινομούν. Σύμφωνα με το κριτήριο αυτό, οι κατηγορίες που κατατάσσονται τα σύνθετα υλικά είναι οι παρακάτω [11]:

- *Ινώδη Υλικά (Fibre Reinforced Materials)*
- *Κοκκώδη Υλικά (Particulates)*
- *Πολύστρωτα Υλικά (Laminates)*

Οι κατηγορίες σύνθετων υλικών διακρίνονται επίσης με βάση τον τύπο της μήτρας και είναι:

- *Σύνθετα υλικά Μεταλλικής Μήτρας*
- *Σύνθετα υλικά Κεραμικής Μήτρας*
- *Σύνθετα υλικά Πολυμερικής Μήτρας*

3.1.3 Ινώδη υλικά

Τα υλικά αυτά περιέχουν ίνες σε συγκεκριμένους ή τυχαίους προσανατολισμούς από υλικό το οποίο είναι ισχυρότερο από το αυτό της μήτρας. Οι ίνες μπορεί να είναι κεραμικές, μεταλλικές ή και από πολυμερές υλικό.

Τα ινώδη υλικά είναι ίσως ο πιο απλός τύπος των σύνθετων υλικών, αναπτύσσονται πολύ γρήγορα και οι χρήσεις τους αυξάνονται σημαντικά σε σχέση με τα άλλα σύνθετα. Ο λόγος που τα κάνει επιτυχημένα είναι το γεγονός ότι συνδυάζουν υψηλή αντοχή και μέτρο ελαστικότητας σε σχέση με το βάρος τους, ενώ ο σχεδιασμός τους επίσης είναι αρκετά εύκολος. Έτσι έχουν καταφέρει να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά υλικά σε μεγάλο βαθμό παρόλο που η τιμή στην οποία μπορεί κανείς να τα αποκτήσει ακόμα και σήμερα, είναι υψηλή.

Επεμβαίνοντας τόσο στη σύσταση, όσο και στη γεωμετρία του σύνθετου αυτού υλικού, είναι αρκετά εύκολο κανείς να επιτύχει τις ιδιότητες που επιθυμεί ανάλογα με την εφαρμογή που προορίζεται.

Οι εφαρμογές των σύνθετων υλικών που ενισχύονται με ίνες είναι πολλές. Μερικές από αυτές μπορούν να βρεθούν σε οικιακές και ηλεκτρικές συσκευές, σε αθλητικά είδη (ρακέτες, ποδήλατα), σε δομικά κατασκευαστικά στοιχεία (μανδύες επισκευής για κολώνες σε γέφυρες, ενίσχυση σκυροδέματος σε κολώνες κτιρίων), σε εξαρτήματα οχημάτων και μέσων μεταφοράς όπως επίσης στην αεροναυπηγική και αεροδιαστημική (σασί φτερών αεροπλάνων και διαστημόπλοιων) και πολλά άλλα [11].

3.1.3.1 Τύποι ινών στα ινώδη υλικά

Η χρήση ινών για την ενίσχυση των σύνθετων υλικών είναι πολύ συνηθισμένη και βρίσκεται σε όλα τα είδη τους, όπως πλαστικά, μεταλλικά και κεραμικά. Σκοπός της χρήσης τους είναι να τα κάνουν ισχυρά, δύσκαμπτα και σκληρά σε σχέση με αντίστοιχα παρόμοια υλικά προτού ενισχυθούν. Επίσης, δίδεται δυνατότητα να προστεθούν ιδιότητες όπως χαμηλή πυκνότητα, ηλεκτρική αγωγιμότητα και θερμική αντίσταση.

Το μέτρο ελαστικότητας (E), η τάση θραύσης σε εφελκυσμό (Ultimate Tensile Strength), η δυσκαμψία (Stiffness), η δυσθραυστότητα (Toughness) και η πυκνότητα (ρ) είναι χαρακτηριστικά που λαμβάνονται υπόψιν έτσι ώστε να επιλεγεί το κατάλληλο υλικό κατασκευής των ινών, ανάλογα με τις απαιτήσεις της χρήσης του σύνθετου υλικού. Οι ίνες αυτές μπορεί να προέρχονται από μέταλλα, κεραμικά ή πολυμερή. Οι συνηθέστεροι τύποι ινών ενίσχυσης των σύνθετων υλικών είναι από:

- άνθρακα
- βόριο
- πολυαμίδιο
- αραμίδιο
- γυαλί
- πυρίτιο
- πολυαιθυλένιο
- χαλαζία

Οι ίνες άνθρακα χρησιμοποιούνται περισσότερο από τις υπόλοιπες λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων (Πίνακας 3.2) που αναφέρθηκαν παραπάνω και συνάμα του χαμηλού κόστους διότι είναι πιο συνηθισμένες σε σχέση με τις άλλες. Σε ειδικές περιπτώσεις βρίσκονται και συνδυασμοί ινών άνθρακα – γυαλιού ή άνθρακα – πολυαμιδίου όπως για παράδειγμα στα αεροσκάφη.

Υλικό	Ειδικό βάρος	Εφελκυστική αντοχή(GPa)	Ειδική αντοχή (GPa)	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Ειδικό μέτρο ελαστικότητας (GPa)
Αραμίδιο (Kevlar 49)	1.44	3.6 – 4.1	2.5 – 2.85	131	91
Άνθρακας	1.78 – 2.15	1.5 – 4.8	0.70 – 2.70	228 – 724	106 – 407
Γυαλί τύπου E	2.58	3.45	1.34	72.5	28.1
Βόριο	2.57	3.6	1.4	400	156
Καρβίδιο του πυριτίου	3	3.9	1.3	400	156

Πίνακας 3.2: Ιδιότητες διαφόρων υλικών των οποίων κατασκευάζονται ίνες ενίσχυσης.

Η περιεκτικότητα ενός σύνθετου σε ίνες είναι λιγότερη από 70% και είναι σημαντικό το ποσοστό αυτό να λαμβάνεται υπόψιν για οποιαδήποτε μελέτη και κατασκευή [11].

3.1.3.2 Χειροποίητη στρώση (Hand Lay-up)

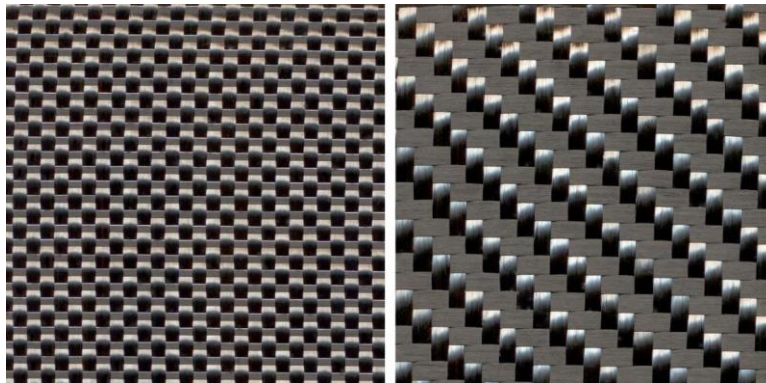
Η συγκεκριμένη τεχνική παραγωγής σύνθετου είναι η πιο απλή αλλά συνάμα και η πιο αργή και επίπονη. Η διαδικασία ξεκινά με τις ίνες που τοποθετούνται στο καλούπι σε στρώσεις. Στη συνέχεια απλώνεται η πολυμερική ρητίνη (μήτρα) επάνω στις ίνες με τρεις τρόπους, απλή έγχυση (pouring), επάλειψη (brushing) ή ψεκασμό (spraying) και η επιφάνεια συμπιέζεται με ρολό για την καλύτερη συνάφεια των παραπάνω και την αποφυγή εμφάνισης αέρα ανάμεσά τους. Τέλος, ακολουθεί αφαίρεση του αέρα και ξήρανση του συνθέτου [11].

3.1.4 Μορφές ινών στα ινώδη υλικά

Ένα εξάρτημα από ινώδες σύνθετο υλικό μπορεί να περιέχει εκατομμύρια ίνες μιας ή πολλών διευθύνσεων με σκοπό σε συνδυασμό τους να είναι ικανές να αντέξουν διάφορα μεγάλα φορτία. Οι κυριότερες μορφές τους είναι:

1. Οι **Θύσανοι λεπτών νημάτων** που κατασκευάζονται από πάρα πολλά νήματα παράλληλα, χωρίς στρέψη που ονομάζονται “tow”.
2. Οι **Ταινίες μιας διεύθυνσης** οι οποίες αποτελούνται από “tows” και εφαρμόζονται σε καλούπια ενώ ταυτόχρονα εμποτίζονται με ρητίνη για να μην δημιουργούνται κενά.
3. Τα **υφαντά ή ενισχυτικά υφάσματα** τα οποία μπορεί να έχουν πολλούς διαφορετικούς τύπους (Εικόνα 3.1). Οι τύποι που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι δύο και είναι οι εξής:
 - Υφαντά διπλής διεύθυνσης με απλή πλέξη (Plain Weave). Στην συγκεκριμένη πλέξη, οριζόντιοι και κάθετοι θύσανοι ινών διασταυρώνονται κάθετα μεταξύ τους και βρίσκονται εναλλάξ ο ένας πάνω στον άλλο.
 - Υφαντά με διαγώνια πλέξη (2/2 Twill). Η συγκεκριμένη μορφή πλέξης χαρακτηρίζεται από διαγώνιες γραμμές από τις οποίες έχει πάρει και την ονομασία της. Φέρει μεγαλύτερη πυκνότητα ινών ανά μονάδα επιφάνειας και έχει διαφορετική μορφή δύο όψεις της.

Υπάρχουν όμως και άλλες μορφές που είναι λιγότερο συνηθισμένες, όπως πλέξη μονής διεύθυνσης (Unidirectional), πλέξη Fish και Satin.



Εικόνα 3.1: Οι 2 πιο συνηθισμένες μορφές υφαντών στις ίνες από άνθρακα. Αριστερά βρίσκεται ο τύπος “Plain Weave”. Δεξιά βρίσκεται ο τύπος “2X2 Twill”.

Οι διασταυρώσεις των παραπάνω πλέξεων γίνονται σε γωνία 90° μεταξύ τους, όμως σε κάποιες περιπτώσεις που απαιτούνται ακόμα πιο ισχυρά και δύσκαμπτα σύνθετα, κατασκευάζονται πλεκτά με διασταυρώσεις σε γωνίες 45° ή 60° [11].

3.1.5 Μήτρες

Στα σύνθετα υλικά, η μήτρα είναι το μέσο σύνδεσης του ενισχυτικού μέσου και είναι εξίσου σημαντική με αυτό. Ο ρόλος της είναι πολύ σημαντικός διότι μεταφέρει τα μηχανικά φορτία που ασκούνται στο σύνθετο υλικό προς το μέσο ενίσχυσης. Επίσης παρέχει προστασία της επιφάνειάς του από τα περιβάλλον και από διάφορους παράγοντες, όπως υγρασία και θερμότητα, αλλά και από χημικές προσβολές. Επιπλέον, παρέχει ανθεκτικότητα και ηλεκτρική μόνωση στο υλικό. Σε περίπτωση που η μήτρα είναι πιο όλκιμη από το μέσο ενίσχυσης, μειώνει τις πιθανότητες θραύσης διότι αποτρέπει τη διάδοση των ρωγμών.

Για να μπορεί να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις, η μήτρα πρέπει να χαρακτηρίζεται από διάφορες ιδιότητες, όπως ολκιμότητα, ανθεκτικότητα, σχετική ευκαμψία και σημείο τήξης μεγαλύτερο από τη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας του σύνθετου. Οι ιδιότητες αυτές πρέπει να είναι συμβατές με τις αντίστοιχες του μέσου ενίσχυσης. Τέλος, σχεδόν πάντα, η μήτρα έχει μικρότερη πυκνότητα, αντοχή και δυσκαμψία από αυτό της ενίσχυσης.

Ανάλογα με τον τύπο της μήτρας, καθορίζεται η μέθοδος κατασκευής του σύνθετου υλικού. Όσο πιο καλή φυσική και χημική ένωση έχει η μήτρα με το μέσο ενίσχυσης, τόσο πιο καλό είναι το σύνθετο υλικό και περιορίζονται οι ανεπιθύμητες χημικές και άλλες αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους. Επίσης, ιδιότητες όπως το ιξώδες και η θερμοκρασία υαλώδους μετάβασης T_g πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν για τον κατάλληλο συνδυασμό με το μέσο ενίσχυσης.

Οι μήτρες που χρησιμοποιούνται στα σύνθετα υλικά χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες, **πολυμερικές, μεταλλικές και κεραμικές**. Κάθε τύπος δίδει στο σύνθετο διαφορετικές χημικές,

Θερμικές, ηλεκτρικές και μηχανικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες αυτές παίζουν ρόλο στην επιλογή της κατάλληλης μήτρας για την εκάστοτε εφαρμογή και το περιβάλλον χρήσης του σύνθετου υλικού [12].

3.1.5.1 Εποξειδικές ρητίνες

Οι εποξειδικές ρητίνες ανήκουν στα θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή. Πρωτοεμφανίστηκαν το 1947 στις Η.Π.Α. και χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, ενώ αποτελούν βάση των γνωστών σύνθετων υλικών που ενισχύονται με ίνες άνθρακα (CFRP) και ίνες γυαλιού (GFRP).

Όσον αφορά τη χημική σύστασή τους, αποτελούνται από αλυσίδες που έχουν τουλάχιστον δύο ομάδες εποξειδίου. Τα προπολυμερή τους παράγονται από την αντίδραση συμπύκνωσης της διφαινόλης Α και της επιχλωρυδρίνης. Μπορεί να είναι ρευστά, υγρά ή στερεά και αντιδρώντας με κατάλληλους σκληρυντές, μετατρέπονται σε άκαμπτα στερεά λόγω του σχηματισμού σταυροδεσμών (crosslinks) στις μακρομοριακές αλυσίδες τους. Έτσι δημιουργείται ένα ισχυρό τρισδιάστατο δίκτυο το οποίο περιορίζει την κινητικότητα των μακρομορίων και δεν καταστρέφεται.

Οι σκληρυντές που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι οι διαμίνες, οι διανυδρίτες του τετρακαρβοξυλικού οξέος, κ.α. Ανάλογα με τις συνθήκες σκλήρυνσης, τις επιθυμητές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες και τις εφαρμογές που προορίζεται το πολυμερές, επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος σκληρυντή. Επίσης ρόλο παίζει και η ποσότητα του σκλήρυντή που θα χρησιμοποιηθεί στο μίγμα διότι επηρεάζεται η ταχύτητα του πολυμερισμού, όπως επίσης και το πλήθος των σταυροδεσμών που θα σχηματιστούν. Η διαδικασία του πολυμερισμού μπορεί να διαρκέσει από μερικά λεπτά έως και μια μέρα.

Κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή σύνθετων υλικών, όταν χρησιμοποιούνται εποξειδικές ρητίνες, πρέπει λαμβάνεται υπόψιν ο χαμηλός βαθμός συρρίκνωσης που έχουν κατά τη διάρκεια, αλλά και μετά τη διαδικασία του πολυμερισμού. Αυτό συμβαίνει λόγω της αναδιάταξης και του αναπροσανατολισμού των μορίων τους, ενώ στερεοποιούνται με τη βοήθεια του σκληρυντή. Σε σχέση με άλλους τύπους ρητινών που συρρικνώνονται κατά 8%, οι εποξειδικές συρρικνώνονται μόλις 2%. Αυτό μόνο καλό μπορεί να είναι επειδή μειώνεται η ύπαρξη των εσωτερικών τάσεων μέσα στο υλικό, συνεπώς βελτιώνονται και οι μηχανικές ιδιότητές του υλικού.

Οι εποξειδικές ρητίνες, πέρα από τα σύνθετα υλικά, χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων. Είναι καλοί ηλεκτρικοί μονωτές και προστατεύουν τα ηλεκτρονικά στοιχεία από βραχυκυκλώματα, σκόνη και υγρασία [11].

3.1.6 Τύπος σύνθετου υλικού που χρησιμοποιείται στην εργασία

Ο τύπος σύνθετου υλικού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του περιβλήματος του προσθετικού πήχη είναι ύφασμα σύνθετου υλικού ενισχυμένου με ίνες άνθρακα, σε πλεκτή διαγώνια διάταξη 90° ανά δύο κλωστές (2x2 Twill), προεμπροτισμένο με εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών με την κάθε κλωστή να αποτελείται από 3000 ίνες άνθρακα. Το υλικό είναι προϊόν της εταιρίας Toray Carbon Fibers America.

Ο λόγος που χρησιμοποιείται ο συγκεκριμένος τύπος είναι επειδή συνδυάζει αρκετά καλές ιδιότητες σε σχέση με τη μάζα του και επιπλέον είναι αρκετά οικονομικός, όντας ο βασικός τύπος ανθρακονημάτων, σε σύγκριση με τους άλλους τύπους που βρίσκονται στην αγορά. Επίσης, με 3000 ίνες ανά κλωστή, ο τύπος αυτός υπάγεται στα πιο ελαφρά υφάσματα με 198g / 1km ίνας.

3.2 Τύποι συμβατικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή

3.2.1 Πολυοξυμεθυλένιο (POM)

Το πολυοξυμεθυλένιο ή αλλιώς πολυακετάλη είναι ένα βιομηχανικό θερμοπλαστικό το οποίο χρησιμοποιείται για κατασκευή εξαρτημάτων που χρειάζονται καλή ακρίβεια. Παράγεται από τη μεθανόλη μέσω διαφόρων χημικών αντιδράσεων με διάφορες ουσίες από τις οποίες παράγονται διάφοροι τύποι του πολυμερούς αυτού, όπως για παράδειγμα Ertalon και Ertacetal. Συνήθως το υλικό αυτό βρίσκει εφαρμογές σε κοχλίες, γρανάζια, χειρολαβές, σε διάφορα μικρά εξαρτήματα στη βιομηχανία και επιπλέον στην κατασκευή της βάσης της κατασκευής στην πτυχιακή.

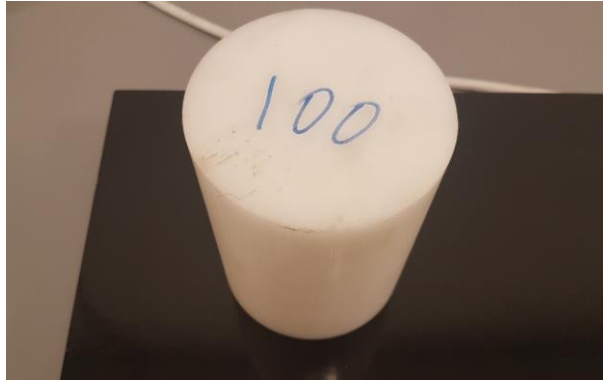
Τα βασικά χαρακτηριστικά του Ertacetal είναι:

- Υψηλή σκληρότητα
- Καλή ανθεκτικότητα
- Καλή ακαμψία
- Καλή αντοχή στη φθορά
- Χαμηλή υδαταπορρόφηση
- Χαμηλό κόστος

Πυκνότητα	1.41 g/cm ³
Μέτρο ελαστικότητας	3.1 GPa
Μέγιστη αντοχή εφελκυσμού	76 MPa
Μέγιστη θερμοκρασία εφαρμογής	104 °C
Θερμοκρασία τήξης	175 °C

Πίνακας 3.3: Ιδιότητες του POM (Ertacetal).

Στην εργασία το POM χρησιμοποιείται για την κατασκευή του εξαρτήματος που αποτελεί την κεντρική βάση (Εικόνα 3.2). Ο τύπος του συγκεκριμένου υλικού που χρησιμοποιείται είναι το Ertalon (Homopolymer) λόγω της καλύτερης κατεργασιμότητας έναντι άλλων τύπων του, πολύ καλής σκληρότητας και στιβαρότητας, όπως επίσης και για το χαμηλό κόστος που έχει [13].



Εικόνα 3.2: Τύπος πολυακετάλης εν ονόματι Ertacetal. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή της βάσης.

3.2.2 Ανοξειδωτος χάλυβας

Ο ανοξειδωτος χάλυβας είναι κράμα σιδήρου, άνθρακα και χρωμίου με ελάχιστη περιεκτικότητα σε χρώμιο 10,5 % κ.β. Το χρώμιο δημιουργεί ένα μικροσκοπικό στρώμα (5 – 15 nm) τριοξειδίου του χρωμίου (Cr_2O_3), το οποίο προστατεύει το μεταλλικό υπόστρωμα από την οξείδωση και τη διάβρωση. Εκτός από χρώμιο, οι ανοξειδωτοι χάλυβες μπορεί να περιέχουν και άλλα κραματικά στοιχεία, όπως νικέλιο Ni, μολυβδαίνιο Mo, μαγγάνιο Mn κλπ.



Εικόνα 3.3: Λάμα ανοξειδωτου χάλυβα που χρησιμοποιείται για το σύνδεσμο της βάσης στην κατασκευή.

Στην εργασία χρησιμοποιείται λάμα ανοξειδωτου χάλυβα σειράς 300 και συγκεκριμένα ο τύπος 304L. Ο τύπος αυτός έχει χαρακτηρίζεται από την παρουσία μολυβδαίνιου (γύρω στο 2%) και έχει [14]:

- Υψηλή αντοχή στη διάβρωση
- Μεγάλη δυνατότητα διαμόρφωσης
- Χαμηλό όριο διαρροής
- Σχετικά υψηλό όριο θραύσης
- Υψηλή ικανότητα συγκόλλησης

Πυκνότητα	8 g/cm ³
Μέτρο ελαστικότητας	200 GPa
Μέγιστη αντοχή εφελκυσμού	500 MPa
Μέγιστη θερμοκρασία εφαρμογής	650 °C
Θερμοκρασία τήξης	1400 °C

Πίνακας 3.4: Μερικές από τις ιδιότητες του ανωξειδωτού χάλυβα τύπου 304L.

3.2.3 Πολυγαλακτικό οξύ (PLA)

Το πολυγαλακτικό οξύ είναι ένας βιοδιασπάσιμος και βιοδραστικός θερμοπλαστικός πολυεστέρας ο οποίος προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, όπως το άμυλο καλαμποκιού και το ζαχαροκάλαμο.

Το PLA χρησιμοποιείται συχνά σαν πρώτη ύλη σε επιτραπέζιους 3D εκτυπωτές επεξεργασίας ινών. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως ένα διασπώμενο υλικό συσκευασίας, παραγωγής με χύτευση, έγχυση σε καλούπι και επιπλέον χρησιμοποιείται σε ιατρικά εμφυτεύματα λόγω της διάσπασής του σε αβλαβές γαλακτικό οξύ.

Πυκνότητα	1.3 g/cm ³
Μέτρο ελαστικότητας	3.5 GPa
Μέγιστη αντοχή εφελκυσμού	50 MPa
Μέγιστη θερμοκρασία εφαρμογής	60 °C
Θερμοκρασία τήξης	160 °C

Πίνακας 3.5: Ιδιότητες πολυγαλακτικού οξέος (PLA).

Η χρήση του PLA βρίσκεται σαν υλικό τρισδιάστατης εκτύπωσης (Εικόνα 3.4) στην κατασκευή των δύο σφηνών για τη συγκράτηση της ρομποτικής αρπάγης στο εμπρός τμήμα του προσθετικού πήχη κυρίως λόγω του χαμηλού κόστους που έχει [15].

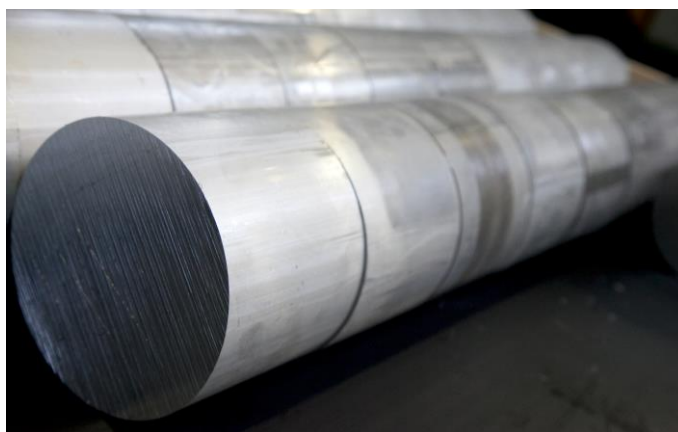


Εικόνα 3.4: PLA υλικό πρώτης ύλης για τρισδιάστατο εκτυπωτή που χρησιμοποιείται στην κατασκευή σφηνών.

3.2.4 Αλουμίνιο σειράς 2000

Το αλουμίνιο σειράς 2000 (Εικόνα 3.5) είναι ένας από τους τύπους που αποτελούν τα σκληρά αλουμίνια. Είναι, πιθανότατα, ο πιο συνηθισμένος τύπος και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές αεροναυπηγικής και στρατιωτικού εξοπλισμού. Η σειρά αυτή περιέχει αλουμίνια κατασκευασμένα σε λαμαρίνες, ράβδους, πλάκες, καλώδια και άξονες.

Στη χημική σύσταση του συγκεκριμένου τύπου αλουμινίου βρίσκονται στοιχεία χαλκού αλλά ορισμένες ποσότητες από σιλικόνη, μαγγάνιο, μαγνήσιο, νικέλιο και / ή τιτάνιο. Μετά από συγκεκριμένες επεξεργασίες θέρμανσης και τεχνητής γήρανσης, το αλουμίνιο αυτό αποκτά τις απαραίτητες ιδιότητες, οι οποίες είναι δυνατόν να φτάσουν κάποιες από αυτές του μαλακού χάλυβα.



Εικόνα 3.5: Άξονας αλουμινίου 2024 για την κατασκευή του δακτυλίου του συστήματος ανάρτησης.

Πιο συγκεκριμένα, οι πιο σημαντικές ιδιότητες που έχει ο τύπος αυτός είναι η υψηλή στιβαρότητα σχετικά με τη μάζα του και η καλή κατεργασιμότητα, ενώ δεν έχει πολύ καλή αντίσταση στη διάβρωση. Ο τύπος που χρησιμοποιείται στην κατασκευή του δακτυλίου είναι το αλουμίνιο 2024, το οποίο είναι και το πιο διαδεδομένο σε αυτή τη σειρά λόγω χαμηλού κόστους και επαρκών ιδιοτήτων για τη χρήση του[20].

Πυκνότητα	3 g/cm ³
Μέτρο ελαστικότητας	71 GPa
Μέγιστη αντοχή εφελκυσμού	200 MPa
Μέγιστη θερμοκρασία εφαρμογής	500 °C
Θερμοκρασία τήξης	640 °C

Πίνακας 3.6: Ιδιότητες αλουμινίου 2024

4

Σχεδιομελέτη του προσθετικού πήχη και των εξαρτημάτων του

Περιγραφή κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή και ανάπτυξη της μελέτης και κατασκευής του προσθετικού πήχη, η οποία περιλαμβάνει τη μοντελοποίηση των εκάστοτε εξαρτημάτων του. Συγκεκριμένα, η μελέτη χωρίζεται σε τρία μέρη. Το πρώτο είναι η μελέτη του εξωτερικού περιβλήματος, το δεύτερο, η μελέτη της εσωτερικής βάσης, ενώ το τρίτο αφορά το σύστημα ανάρτησης που συνδέεται με το προσθετικό μέλος. Τέλος, γίνεται αναφορά στους τρόπους συναρμολόγησης και στο αποτέλεσμα του συνολικού προσθετικού πήχη.

4.1 Περιγραφή της μεθόδου μελέτης του προσθετικού πήχη

Η μελέτη αφορά ένα εξάρτημα με το οποίο, όταν συνδεθεί με μία ρομποτική διάταξη χεριού, δημιουργεί ένα προσθετικό μέλος άνω άκρου μέχρι την άρθρωση του αγκώνα. Θα πρέπει λοιπόν να ληφθούν υπόψιν οι παρακάτω προδιαγραφές:

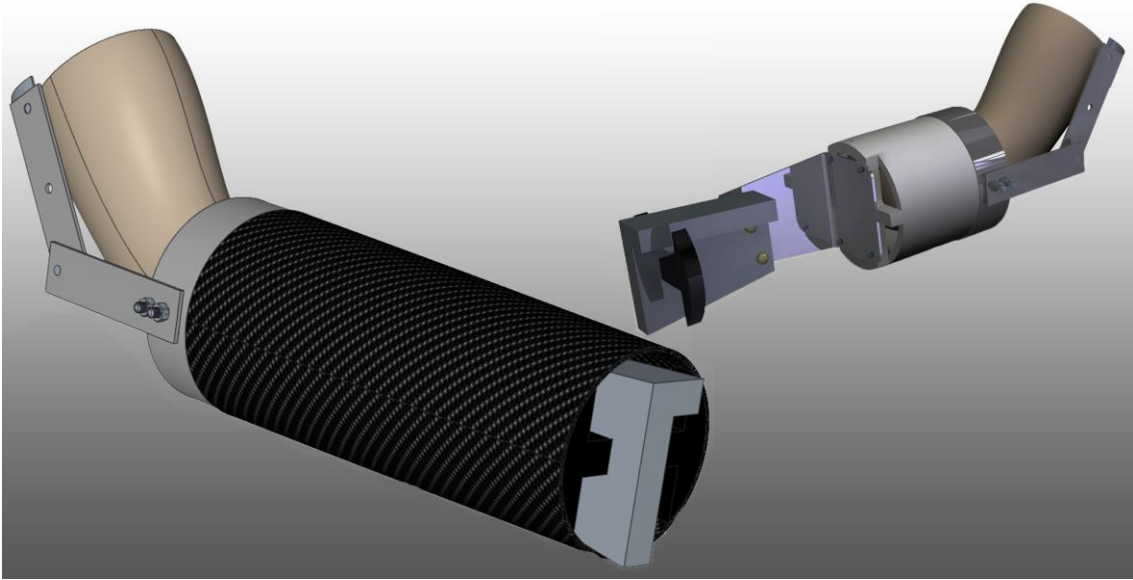
- Συγκράτηση ρομποτικού μηχανισμού
- Προσαρμογή σε ακρωτηριασμένο άκρο προ του αγκώνα
- Αντοχή καταπονήσεων
- Προστασία των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία του ρομποτικού μηχανισμού από εξωτερικούς παράγοντες
- Χαμηλά επίπεδα μάζας
- Κατανομή του κέντρου μάζας κοντά στην άρθρωση του αγκώνα
- Υψηλά επίπεδα μορφής, μεγέθους και αναλογιών σε σχέση με το βιολογικό
- Εύκολη συναρμολόγηση / αποσυναρμολόγηση
- Εύκολη εφαρμογή
- Εύκολος χειρισμός

Τα παραπάνω ζητήματα καθορίζουν τη διαδικασία με την οποία υλοποιείται η μελέτη και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες. Αυτές είναι οι εξής:

- Εξωτερικό περίβλημα του προσθετικού μέλους
- Εσωτερική διάταξη βάσης
- Σύστημα ανάρτησης του πήχη στο κολόβωμα

4.2 Το ολοκληρωμένο μοντέλο του προσθετικού πήχη που σχεδιάστηκε

Σύμφωνα με τις παραπάνω προδιαγραφές, μελετάται και σχεδιάζεται η γεωμετρική μοντελοποίηση του ολοκληρωμένου προσθετικού πήχη, όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.1). Σημειώνεται ότι, σε εικόνες παρακάτω εμφανίζεται ένα αντικείμενο στο εμπρός μέρος του πήχη. Το αντικείμενο αυτό στην ουσία αντικαθιστά τη βάση της ρομποτικής διάταξης και έχει ίδιες διαστάσεις με αυτή, συμπεριλαμβανομένων των εξαρτημάτων που βρίσκονται επάνω σε αυτή.



Εικόνα 4.1: Ολοκληρωμένο τρισδιάστατο μοντέλο συναρμολόγησης του προσθετικού μέλους σε ισομετρική όψη.

4.3 Εξωτερικό περίβλημα

Ο ρόλος του περιβλήματος είναι η συγκράτηση - απομόνωση των μετατοπίσεων της αρπάγης στο εμπρός τμήμα του πήχη. Ο τρόπος συγκράτησης γίνεται μέσω δύο σφηνών οι οποίες μεταφέρουν τα φορτία έτσι ώστε να τα παραλάβει το περίβλημα. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι το περίβλημα πρέπει να είναι μονοκόμματο για να μην καταπονείται από συγκέντρωση τάσεων συναρμολόγησης.



Εικόνα 4.2: Τρισδιάστατη φωτορεαλιστική μορφή του περιβλήματος από ανθρακονήματα.

Επιπλέον, το περίβλημα παρέχει προστασία των εσωτερικών εξαρτημάτων (βάση, πλακέτες, κινητήρες, ηλεκτρικοί αγωγοί) από φυσικές επιδράσεις, όπως υγρασία και σκόνη, αλλά και από πιθανές απροσεξίες σε κινήσεις του ανθρώπου που θα το χρησιμοποιήσει. Λόγω της ευαισθησίας των εσωτερικών μηχανισμών, η επικάλυψή του κρίνεται απαραίτητη για τη σωστή και αξιόπιστη λειτουργία του τεχνητού μέλους.

Όπως αναφέρεται νωρίτερα, στο υποκεφάλαιο 3.1.6, το υλικό που επιλέγεται για την κατασκευή του περιβλήματος είναι τα ανθρακονήματα – CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer), καθώς συμβάλει στη μειωμένη μάζα του προσθετικού πήχη.

Η μορφή του περιβλήματος μελετήθηκε έτσι ώστε να διευκολύνεται για κατασκευαστικούς λόγους, κάνοντάς το συμμετρικό κατά μήκος του, γύρω από τον άξονα περιστροφής. Ο λόγος που επιλέγεται αυτό είναι για τη διευκόλυνση της κατασκευής του καλουπιού με το οποίο θα κατασκευαστεί, άρα και το περίβλημα. Οι διαστάσεις του περιβλήματος προέρχονται από το μήκος του προσθετικού μέλους που ορίζεται, όπως και από τις διαστάσεις της ρομποτικής διάταξης του χεριού.

4.4 Διάταξη εσωτερικής βάσης του προσθετικού πήχη

Η εσωτερική διάταξη της βάσης βρίσκεται εσωτερικά του προσθετικού μέλους και αποτελεί το μέσο σύνδεσης της ρομποτικής διάταξης της αρπάγης – χεριού με το κολόβωμα του ασθενούς. Η χρήση της κρίνεται απαραίτητη και πρέπει να παρέχει την κατάλληλη στιβαρότητα, που είναι σημαντική για την συγκράτηση του χεριού απορροφώντας τις καταπονήσεις και απομονώνοντας όλες τις μετατοπίσεις του.

Ο τρόπος διαμόρφωσης της διάταξης βάσης έχει βασικό ρόλο στην απλότητα συναρμολόγησης και στην εύκολη σύνδεση / αποσύνδεση της ρομποτικής αρπάγης και του συστήματος ανάρτησης του κολοβώματος. Επιπλέον, στο εσωτερικό του προσθετικού πήχη βρίσκονται διάφορα εξαρτήματα για τη λειτουργία των μηχανισμών του χεριού, τα οποία θα πρέπει να συγκρατηθούν σταθερά έτσι ώστε να μην μετακινούνται κατά τη χρήση του τεχνητού μέλους. Επομένως η εσωτερική διάταξη βάσης θα πρέπει να παρέχει την κατάλληλη διαμόρφωση χώρου μέσα στο τεχνητό μέλος.

Τέλος, εκτός από τη μάζα, σημαντικό είναι και το σημείο του κέντρου μάζας που εφαρμόζεται στον προσθετικό πήχη. Η διάταξη της βάσης μελετάται έτσι ώστε το κέντρο μάζας της να βρίσκεται στο πίσω μέρος του προσθετικού πήχη, κοντά στην άρθρωση μειώνοντας έτσι τη ροπή που εφαρμόζεται στον αγκώνα η οποία επιβαρύνει τους μύες του χεριού και επομένως κουράζει τον ασθενή.

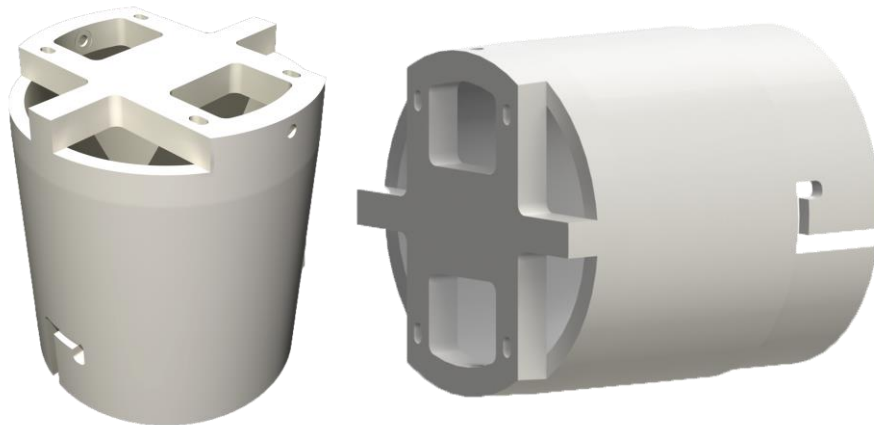
4.4.1 Επιμέρους εξαρτήματα της εσωτερικής βάσης

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω χαρακτηριστικά, η βάση που μελετήθηκε αποτελείται από πέντε κύρια εξαρτήματα:

- 1 εξάρτημα το οποίο αποτελεί την κεντρική βάση και συνδέεται με τους συνδέσμους.
- 2 σφήνες που πατάνε πάνω στο χέρι και σφηνώνουν στο ανθρακόνημα.
- 1 μεταλλική λάμα σύνδεσης της βάσης του ρομποτικού μηχανισμού στο πίσω μέρος του χεριού.

4.4.1.1 Κεντρική βάση

Η κεντρική βάση (Εικόνα 4.3) αποτελεί ένα εξίσου βασικό εξάρτημα του προσθετικού πήχη διότι συνδέει τη ρομποτική διάταξη της αρπάγης, μέσω των συνδέσμων, και το κολόβωμα του ασθενούς, μέσω του συστήματος ανάρτησης.



Εικόνα 4.3: Κεντρικό εξάρτημα βάσης όπου σε αυτό συνδέονται το περίβλημα, οι σύνδεσμοι και το σύστημα ανάρτησης.

Εκτός από μέσο σύνδεσης των υπολοίπων μερών, η κεντρική βάση είναι το εξάρτημα που παραλαμβάνει τα εξωτερικά φορτία της διάταξης αρπάγης και μελετάται έτσι ώστε να αντέχει σε αυτά. Εντούτοις, η κεντρική βάση κατασκευάζεται ως ένα μονοκόμματο εξάρτημα έτσι ώστε να αποφεύγονται οι περιττές επαφές στις ενώσεις, όντας σημεία που συγκεντρώνονται τάσεις.

Η Μορφή της κεντρικής βάσης είναι κυλινδρική έτσι ώστε να είναι εύκολο να ενωθεί με το εξωτερικό περίβλημα καθώς σφηνώνει σε αυτό. Η εξωτερική της επιφάνεια έχει κωνικότητα ίση με αυτή του περιβλήματος με σκοπό να εφαρμόζει ολόκληρη η επιφάνειά της σε αυτό. Παράλληλα η βάση έχει δύο επιπλέον οπές για σύνδεση με το περίβλημα με σκοπό να αποφευχθούν οι περιστροφικές μετατοπίσεις.

Το υλικό κατασκευής της είναι το πολυμερές Ertacetal, το οποίο είναι σκληρό και στιβαρό και διαμορφώνεται πιο εύκολα σε εργαλειομηχανές σχετικά με άλλα πολυμερή, όπως αναφέρεται και στο κεφάλαιο 3.2.1.

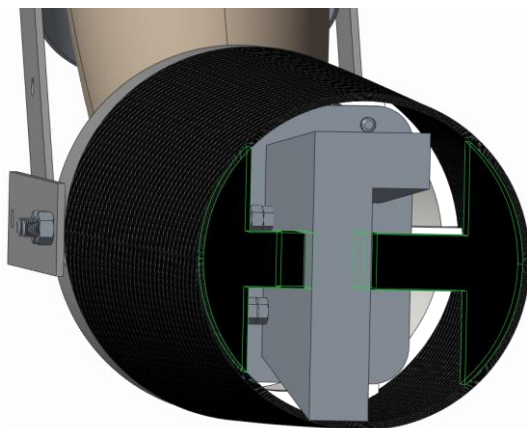
4.4.1.2 Σφήνες

Οι σφήνες (Εικόνα 4.4) είναι εξαρτήματα τα οποία συνδέονται επάνω στη βάση της ρομποτικής διάταξης του χεριού. Ο ρόλος τους είναι να σφηνώνουν στο εξωτερικό περίβλημα δημιουργώντας έτσι την απομόνωση των μετατοπίσεων της ρομποτικής διάταξης και τη μεταφορά των εξωτερικών δυνάμεων της στο ανθρακόνημα.



Εικόνα 4.4: Τρισδιάστατη μοντελοποίηση των δύο σφηνών, αριστερά η μικρή και δεξιά η μεγάλη.

Η μικρή σφήνα συνδέεται στην κάτω επιφάνεια της βάσης της ρομποτικής διάταξης ενώ η μεγάλη στην πάνω επιφάνειά της. Είναι κατασκευασμένες από PLA (Υποκεφάλαιο 3.2.3) με πλεονέκτημα την ελάχιστη επιβάρυνση λόγω της μικρής τους μάζας.



Εικόνα 4.5: Οι δύο σφήνες τοποθετημένες επάνω στο εμπρός τμήμα του προσθετικού πήχη.

Η μορφή των σφηνών μελετάται για να είναι ικανές να αντέχουν εξωτερικές τάσεις προς τις δύο κατευθύνσεις, κάθετες του κατά μήκος άξονα του προσθετικού μέλους. Στο επάνω σημείο του τόξου που σχηματίζεται, έχει εφαρμοστεί μια κωνικότητα, ίση με αυτή του περιβλήματος, έτσι ώστε να υπάρχει σωστή επαφή των δύο εξαρτημάτων. Τέλος, στην κάτω επιφάνεια υπάρχουν οπές για σύνδεση με τη βάση της ρομποτικής διάταξης με κοχλία.

4.4.1.3 Λάμα σύνδεσης της βάσης

Λάμα σύνδεσης της βάσης (Εικόνα 4.6) είναι το εξάρτημα που αποτελεί το μέσο σύνδεσης της ρομποτικής διάταξης του χεριού με το εξάρτημα της κεντρικής βάσης του προσθετικού πήχη. Σκοπός της εφαρμογής της είναι η σταθερή συγκράτηση της βάσης του ρομποτικού μηχανισμού και ο περιορισμός των μετατοπίσεών του.



Εικόνα 4.6: Φωτορεαλιστική εικόνα σε render της λάμας συνδέσμου της εσωτερικής βάσης.

Είναι μόνιμα συνδεδεμένη επάνω στο χέρι και στη συνέχεια μαζί με αυτό συνδέονται στη βάση, αφού έτσι είναι ευκολότερο να γίνει συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση του χεριού από τον πήχη, όταν έχει ήδη τοποθετηθεί το εξωτερικό περίβλημα. Όπως προαναφέρθηκε, το υλικό κατασκευής της είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας τύπου 304L (Υποκεφάλαιο 3.2.2).

Επίσης, η μορφή που έχει η λάμα εξυπηρετεί στη συγκράτηση διαφόρων εξαρτημάτων με σκοπό τη λειτουργία του ρομποτικού μηχανισμού. Στο χώρο που διαμορφώνεται είναι δυνατόν να τοποθετηθεί, για παράδειγμα, μπαταρία κάνοντας εφικτή τη φορητότητα του προσθετικού μέλους.

Ο τρόπος σύνδεσης του εξαρτήματος αυτού με το χέρι γίνεται μέσω δύο κοχλιών M4 οι οποίοι ήδη υπάρχουν. Με άλλα λόγια, το εξάρτημα της λάμας – συνδέσμου προσαρμόστηκε επάνω στο ρομποτικό μηχανισμό έτσι ώστε να μη χρειάζεται να γίνει οποιαδήποτε διαμόρφωση σε αυτόν. Από την άλλη έχουν ανοιχτεί τέσσερις οπές με σπειρώματα M4 για να συνδέονται με την κεντρική βάση του πήχη με κοχλίες.

4.5 Σύστημα ανάρτησης προσθετικού πήχη

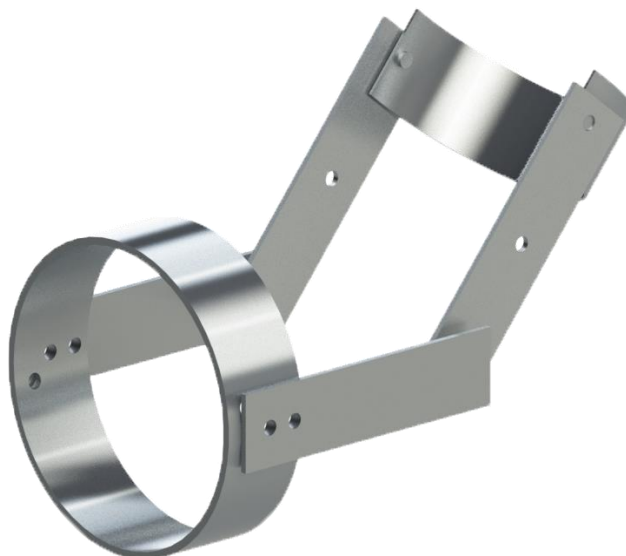
Όπως προαναφέρθηκε, σύστημα ανάρτησης ονομάζεται το τμήμα του προσθετικού πήχη το οποίο συνδέεται με το κολόβωμα του ανθρώπου που έχει ακρωτηριαστεί. Είναι ένα εξίσου σημαντικό τμήμα του τεχνητού μέλους καθώς ευθύνεται για τη σύνδεσή του με το παραμένον μέλος του άκρου του ασθενούς.

Ειδικότερα, ο ρόλος του συστήματος αυτού είναι η επαρκώς κατάλληλη και άνετη συγκράτηση του προσθετικού πήχη με το κολόβωμα και, παράλληλα, η γρήγορη και εύκολη εφαρμογή - απόσπασή του από το βιολογικό μέλος του ασθενούς. Τα υλικά κατασκευής της, η μορφή της και ο τρόπος με τον οποίο συνδέεται τόσο με την υπόλοιπη πρόθεση, όσο και με το κολόβωμα είναι ορισμένα ζητήματα που χρειάζονται ανάλυση.

4.5.1 Τύπος του συστήματος ανάρτησης που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία

Η σύγχρονη μέθοδος ανάρτησης που χρησιμοποιείται στους προσθετικούς πήχεις απαιτεί διάφορα προηγμένα συστήματα και εργαλεία. Επιπλέον, η κάθε περίπτωση ανθρώπου με ακρωτηριασμένο μέλος είναι ξεχωριστή και συνεπώς ο άνθρωπος αυτός έχει τις δικές του ιδιαιτερότητες, όσον αφορά την ανατομία του άκρου του και συμπτώματα ή θέματα επιπέδου άνεσης. Τα παραπάνω καταλήγουν στο γεγονός ότι η κάθε περίπτωση μελέτης σχεδιασμού και κατασκευής του συστήματος ανάρτησης είναι ξεχωριστή.

Λόγω των περιορισμών των συστημάτων και εργαλείων που κάνουν την κατασκευή προηγμένου συστήματος ανάρτησης με υποδοχή αναρρόφησης αδύνατη, στη συγκεκριμένη εργασία μελετάται και κατασκευάζεται ένα πιο απλό σύστημα ανάρτησης, όπου μέσω αυτών, γίνεται συγκράτηση στο σημείο επάνω από την άρθρωση του αγκώνα, στο μπράτσο του χεριού (Εικόνα 4.7). Με τη μέθοδο αυτή, βέβαια, δημιουργούνται ορισμένα προβλήματα διότι πρόκειται για γενική χρήση. Τα κυριότερα από αυτά είναι η περιορισμένη άνεση στις κινήσεις και τα αυξημένα επίπεδα μάζας και όγκου στην περιοχή της άρθρωσης.



Εικόνα 4.7: Ολοκληρωμένο σύστημα ανάρτησης για λογαριασμό του προσθετικού πήχη.

4.5.2 Τα εξαρτήματα που αποτελείται το σύστημα ανάρτησης στην εργασία

Τα κύρια εξαρτήματα που αποτελούν το σύστημα ανάρτησης που κατασκευάζεται για την συγκράτηση του προσθετικού πήχη, όπως φαίνονται στην Εικόνα 4.7 είναι:

- 4 λάμες – σύνδεσμοι
- 2 κοχλίες - αρθρώσεις
- 1 δακτύλιο σύνδεσης
- 1 λάμα κυρτή τύπου U

Επίσης χρησιμοποιούνται δευτερεύοντα εξαρτήματα όπως κοχλίες, περικόχλια και μόνιμες ηλώσεις με σκοπό να συνδέσουν όλα τα κύρια εξαρτήματα μεταξύ τους. Οι μόνιμες ηλώσεις γίνονται επάνω στο δακτύλιο με σκοπό να δημιουργηθούν τα δύο εξογκώματα από μέσα που χρειάζονται για τη λειτουργία ταχυσυνδέσμου στη συναρμολόγηση με την κεντρική βάση του πήχη.

5

Παραμετρική σχεδίαση του προσθετικού πήχη και των εξαρτημάτων του

Περιγραφή κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται η ανάλυση της διαδικασίας μοντελοποίησης του προσθετικού πήχη όπως και του βοηθητικού μοντέλου του κολοβώματος έτσι ώστε να αναπτυχθεί ένα ολοκληρωμένο μοντέλο σχεδίασης. Συμπεριλαμβάνεται η διαστασιολόγηση των εξαρτημάτων που αποτελούν τον προσθετικό πήχη.

5.1 Εργαλεία σχεδιασμού και κατασκευής με τη βοήθεια Η/Υ (CAD – CAM)

Στην μοντελοποίηση του προσθετικού πήχη χρησιμοποιείται το λογισμικό Creo Parametric της εταιρίας PTC (Η.Π.Α.). Το λογισμικό αυτό είναι ευρέως διαδεδομένο κυρίως διότι παρέχει όλα τα εργαλεία για την σχεδίαση, συναρμολόγηση και τον σχεδιασμό κατασκευής των εξαρτημάτων του προσθετικού πήχη.

5.1.1 Συστήματα σχεδιασμού (CAD)

Τα συστήματα σχεδίασης CAD (Computer Aided Design) είναι η πλέον εξελιγμένη και διαδεδομένη μέθοδος δισδιάστατου (2D) και τρισδιάστατου (3D) σχεδιασμού. Βρίσκονται σε μορφή λογισμικών που λειτουργούν με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή και συνεργάζονται άμεσα με τα εργαλεία ανάλυσης CAE και κατεργασίας CAM. Χρησιμοποιούνται σε όλους τους τομείς της βιομηχανίας, στις κατασκευαστικές τεχνολογίες και στις υπολογιστικές μεθόδους απεικόνισης. Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα αυτά βρίσκουν ευρύτατη χρήση στην αυτοκινητοβιομηχανία, τη ναυπηγική και την αεροδιαστημική, στον βιομηχανικό και αρχιτεκτονικό σχεδιασμό [16].

Το περιβάλλον εργασίας των συστημάτων αυτών κυμαίνεται από απλά σχήματα μέχρι εξαιρετικά πολύπλοκα, ακανόνιστα σχήματα και μεγάλες συναρμολογήσεις. Δεν περιορίζονται όμως μόνο σε αυτά, διότι ενσωματώνουν εγχειρίδια, μηχανολογικά σχέδια, επιλογή υλικών, διαδικασίες και κατεργασίες, διαστάσεις, ανοχές, αντοχές κ.α. Λόγω αυτής της τεράστιας οικονομικής επιρροής, το CAD αποτέλεσε σημαντική κινητήρια δύναμη για την έρευνα στην υπολογιστική γεωμετρία, τα γραφικά υπολογιστών (hardware και software), αλλά και στη διαφορική γεωμετρία. Τα βασικά πλεονεκτήματα των συστημάτων σχεδιασμού CAD είναι:

- Ακριβής απεικόνιση τεμαχίου.
- Δυνατότητα προσομοιωμένης συναρμολόγησης δύο ή περισσότερων εξαρτημάτων.

- Εποπτικός έλεγχος τεμαχίου.
- Άμεση μεταφορά σε σχέδιο 2 διαστάσεων για εξαγωγή όψεων και τομών.
- Δυνατότητα παραμετροποίησης για μαζική παραγωγή.
- Φωτορεαλισμός.

5.1.2 Συστήματα κατεργασίας (CAM)

CAM (Computer Aided Manufacturing) είναι τα λογισμικά (ή και οι μέθοδοι) που χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία προγραμμάτων κύκλων κατεργασίας σε εργαλειομηχανές CNC όπως κέντρα κατεργασίας, τόνρους, φρέζες, συστήματα ηλεκτροδιάβρωσης κ.α. Σε περιπτώσεις που η γεωμετρία ενός σχεδίου, προς κατεργασία δεν είναι πολύπλοκη ο κώδικας ή πρόγραμμα (G code) εισάγεται στο μηχάνημα απευθείας, πληκτρολογώντας στον πίνακα ελέγχου του μηχανήματος τις κατάλληλες εντολές.

Σε περιπτώσεις όμως μηχανολογικών σχεδίων σύνθετης γεωμετρίας όπως καλούπια και μήτρες ή σχεδίων με πολύπλοκες μηχανολογικές απαιτήσεις, τα λογισμικά CAM είναι απαραίτητα για να αναπαράγουν με απόλυτη ακρίβεια και ταχύτητα τους κύκλους κατεργασίας. Σε γενικές γραμμές η ανάπτυξη των λογισμικών CAM έχει κατανεμηθεί σε δυο βασικές κατηγορίες:

- Τα συστήματα CAM τα οποία χρησιμοποιούνται για σύνθετες γεωμετρικές κατασκευές και οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται από το σύστημα, δίνουν υψηλής ακρίβειας διαδρομές και βέλτιστους χρόνους κατεργασίας, ώστε να υπάρχει μέγιστη ακρίβεια κοπής και διάρκεια ζωής του εργαλείου και
- Η δεύτερη κατηγορία συστημάτων CAM χρησιμοποιείται για την παραγωγή απλούστερων γεωμετρικών στοιχείων όπου απαιτείται αυτοματοποίηση ή αλλιώς μεγάλη επαναληψιμότητα σε παρεμφερείς διαδικασίες όπως διάτρηση με τέσσερα διαφορετικά μεγέθη τρυπανιών [16].

5.1.3 Σχεδιασμός για παραγωγή και συναρμολόγηση (DFMA)

Ο σχεδιασμός για παραγωγή και συναρμολόγηση (Design for Manufacturing and Assembly – DFMA) είναι τεχνικές οι οποίες συνδέουν το σχεδιασμό με τις διαδικασίες επιλογής κατάλληλων υλικών, μεθόδων παραγωγής και προγραμματισμού των διαδικασιών κατασκευής, συναρμολόγησης, δοκιμής και ελέγχου ποιότητας του προϊόντος που μελετάται.

Για να εφαρμοστεί η συγκεκριμένη τεχνική, πρέπει οι σχεδιαστές να έχουν γνώσεις σχετικά με τις ιδιότητες των υλικών, τα χαρακτηριστικά των διαφόρων μεθόδων, αλλά και τον εκάστοτε τύπο της διαδικασίας παραγωγής. Επίσης θα πρέπει να είναι σε θέση να εκτιμήσουν την επίδραση που επιφέρουν οι σχεδιαστικές αλλαγές στην επιλογή της μεθόδου παραγωγής, στη συναρμολόγηση, στην επιθεώρηση, στη χρήση εργαλείων καθώς και στο κόστος του προϊόντος.

Η συναρμολόγηση των διαφόρων απλών εξαρτημάτων που δημιουργούν ένα σύνθετο προϊόν ή μηχανολογική κατασκευή είναι ένα από τα βασικότερα στάδια στο συνολικό κύκλο σχεδιασμού και παραγωγής του προϊόντος. Παράγοντες όπως η ευκολία, η ταχύτητα και το χαμηλό κόστος πρέπει να ληφθούν υπόψιν έτσι ώστε να γίνει επιλογή του κατάλληλου τρόπου σύνδεσης των

επιμέρους εξαρτημάτων σε ένα ενιαίο σύνολο. Τα προϊόντα που σχεδιάζονται, θα πρέπει να μελετώνται έτσι ώστε να αποσυνδέονται / αποσυναρμολογούνται σχετικά εύκολα για να είναι δυνατή η επιθεώρηση, η συντήρηση και η μεταφορά τους [17].

5.1.4 Περιγραφή εντολών που χρησιμοποιούνται για τη σχεδίαση

Κατά την τρισδιάστατη γεωμετρική μοντελοποίηση του προσθετικού πήχη, χρησιμοποιούνται ορισμένες εντολές που βρίσκονται στο λογισμικό “PTC Creo Parametric 3”. Με σκοπό να γίνει κατανοητός ο τρόπος που σχεδιάστηκε, γίνεται σύντομη επεξήγησή τους παρακάτω. (PTC_Corp., n.d.)

Η εντολή Sketch (σκίτσο) είναι μια μέθοδος δημιουργίας δισδιάστατου σκίτσου σε ένα επίπεδο σχεδιάζοντας γραμμές, καμπύλες ή κάθε είδος κανονικού ή ακανόνιστου σχήματος. Από τη χρήση της εντολής αυτής βασίζονται οι λειτουργίες πολλών εντολών σχεδίασης, όπως Extrude, Revolve, Sweep κ.λπ. ή αναφοράς, όπως Datum και πολλές άλλες.

Η εντολή Extrude (Εξώθηση) είναι μια μέθοδος δημιουργίας τρισδιάστατης γεωμετρίας μεταφέροντας ένα δισδιάστατο σκίτσο από το επίπεδό του σε ένα προκαθορισμένο επίπεδο ή συνδυασμό επιπέδων στο χώρο. Η εντολή αυτή μπορεί να δημιουργήσει τέσσερις τύπους εξώθησης:

- Εξώθηση στερεού (πρόσθεση υλικού)
- Κοπή στερεού (αφαίρεση υλικού)
- Εξώθηση επιφάνειας (surface)
- Κοπή επιφάνειας (surface)

Η εντολή Revolve (περιστροφή) είναι μια μέθοδος καθορισμού τρισδιάστατης γεωμετρίας περιστρέφοντας ένα σκίτσο (Sketch) γύρω από ένα άξονα περιστροφής, ο οποίος είναι απαραίτητος για τη λειτουργία της και πρέπει να δημιουργηθεί ή να δηλωθεί σαν υπάρχων. Χρησιμοποιείται για τη δημιουργία στερεού ή επιφάνειας για πρόσθεση ή αφαίρεση υλικού. Συγκεκριμένα, δημιουργούνται οι εξής τύποι με περιστρεφόμενη:

- εξώθηση στερεού
- κοπή στερεού
- δημιουργία επιφάνειας
- κοπή επιφάνειας

Η εντολή Datum Plane (επίπεδο αναφοράς) χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει ένα επίπεδο αναφοράς, σε μια συγκεκριμένη επιφάνεια όπου δεν υπήρχε πριν τη χρήση της, με σκοπό να χρησιμοποιηθούν οι εντολές σχεδίασης, για δημιουργία επισημάνσεων σε ανοχές, όπως και για δημιουργία διαστάσεων.

Η εντολή Mirror (κατοπτρισμός) είναι ένα εργαλείο αντιγραφής γεωμετρίας και χαρακτηριστικών, γύρω από μια επίπεδη επιφάνεια. Το αντίγραφο μπορεί να εξαρτάται από το

αρχικό και τις αλλαγές του ή να είναι ανεξάρτητο. Το εργαλείο αυτό μπορεί να αντιγράψει γεωμετρία, επιφάνειες, καμπύλες, μοτίβα και στοιχεία αναφοράς.

Η εντολή Blend (ανάμειξη τμημάτων) χρησιμοποιείται για δημιουργία μιας αναμειγμένης επιφάνειας ή στερεού που αποτελείται από σύνδεση μιας σειρά από δύο ή περισσότερα επίπεδα τμήματα (sketch) μεταξύ τους. η εντολή αυτή δημιουργεί τρεις τύπους ανάμειξης:

- Παράλληλη – όλες οι ενότητες μείξης βρίσκονται σε παράλληλα επίπεδα
- Περιστροφική – οι ενότητες μείξης περιστρέφονται γύρω από ένα άξονα περιστροφής. Η γωνία περιστροφής είναι από -120° έως 120° .
- Συνδυασμένη – συνδυάζονται οι δύο παραπάνω τύποι ανάμειξης.

Η εντολή Boundary blend (ανάμειξη τμημάτων με προσδιορισμό τροχιάς) έχει όμοια χαρακτηριστικά με την προηγούμενη εντολή “Blend” με τη διαφορά ότι χρειάζεται να δημιουργηθεί ακόμα μια γραμμή η οποία συνδέει τα τμήματα μεταξύ τους και προσδιορίζεται η τροχιά που ακολουθείται κατά την δημιουργία του τρισδιάστατου μοντέλου.

Η εντολή Thicken (προσδιορισμός πάχους τοιχώματος) χρησιμοποιείται κυρίως σε επιφάνειες (surface) που έχουν δημιουργηθεί και δίνει ορισμένο πάχος μετατρέποντάς τις σε στερεά σώματα.

Η εντολή Round (εξομάλυνση ακμής με καμπύλη) χρησιμοποιείται για εξομάλυνση ακμής ενός τρισδιάστατου μοντέλου κάνοντάς τη καμπύλη με ορισμένη ακτίνα [18].

5.2 Περιγραφή μεθοδολογίας για την παραμετρική σχεδίαση του πήχη

Με τη βοήθεια του λογισμικού και των μεθόδων τρισδιάστατης σχεδίασης γίνεται ο σχεδιασμός του τρισδιάστατου μοντέλου για τον αγκώνα — κολόβωμα έτσι ώστε να αποτελέσει μια βάση για τη σχεδίαση του προσθετικού πήχη. Επιπλέον, σύμφωνα με τη μορφή του κολοβώματος, σχεδιάζεται και το σύστημα ανάρτησης.

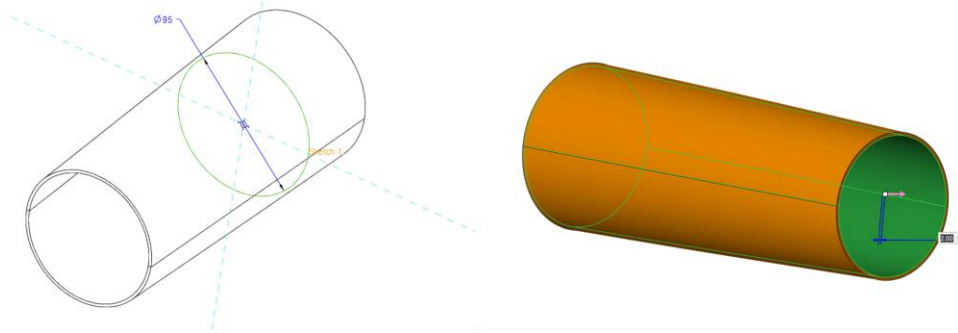
Στη συνέχεια, γίνεται μοντελοποίηση του εξωτερικού περιβλήματος με αναφορά το προηγούμενο μοντέλο έτσι ώστε η σχεδίασή του να είναι οπτικά πιο εύκολη. Ο λόγος που σχεδιάζεται αρχικά το εξωτερικό μέρος του πήχη είναι για τη δημιουργία του εσωτερικού χώρου σε τρισδιάστατη μορφή. Έτσι, ο χώρος γίνεται εύκολα κατανοητός και η σχεδίαση της εσωτερικής βάσης αποκτά τους απαραίτητους περιορισμούς για να μην υπερβαίνει τα όρια των εξωτερικών διαστάσεων. Τέλος, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς χώρου που δημιουργούνται από το σχεδιασμό του περιβλήματος, σχεδιάζεται η εσωτερική βάση.

Η μοντελοποίηση των εκάστοτε εξαρτημάτων γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις τεχνικές DFMA, όσο και τους περιορισμούς στη διαθεσιμότητα των εργαλειομηχανών.

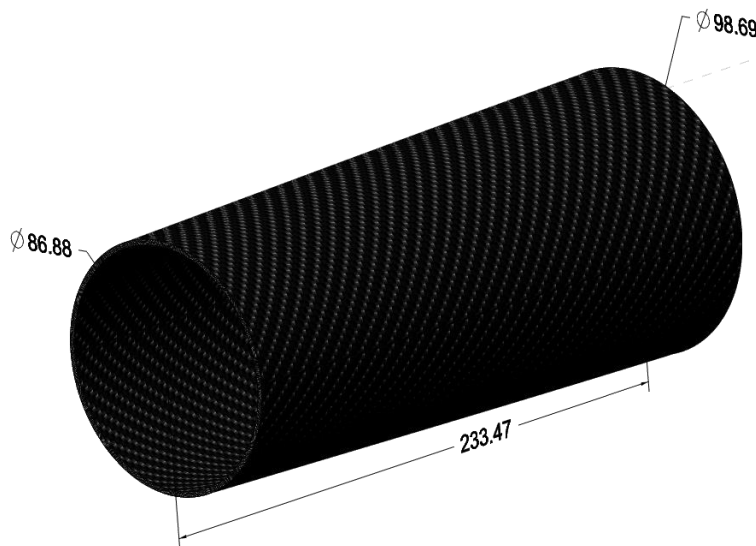
5.2.1 Σχεδιασμός περιβλήματος

Για τη γεωμετρική μοντελοποίηση του περιβλήματος η διαδικασία ξεκινάει με σχεδίαση 3 κύκλων σε 3 διαφορετικά επίπεδα, παράλληλα μεταξύ τους, σε συγκεκριμένες αποστάσεις. Στη

συνέχεια χρησιμοποιείται η εντολή “Boundary Blend” ενώνοντας τους τρεις κύκλους, διαμορφώνοντας έτσι τη γεωμετρία του περιβλήματος. Ακόμα, χρησιμοποιώντας την εντολή “Thicken”, δίδεται συγκεκριμένο πάχος 2mm στο περίβλημα. Τέλος σχεδιάζονται οι δύο οπές της σύνδεσής του με τη βάση οι οποίες έγιναν με την εντολή “Extrude”.



Εικόνα 5.1: Μέθοδος γεωμετρικής μοντελοποίησης του περιβλήματος στο λογισμικό. Αριστερά φαίνεται το “Sketch” με τις διαστάσεις του και δεξιά η μορφή με την εντολή “Boundary Blend”.



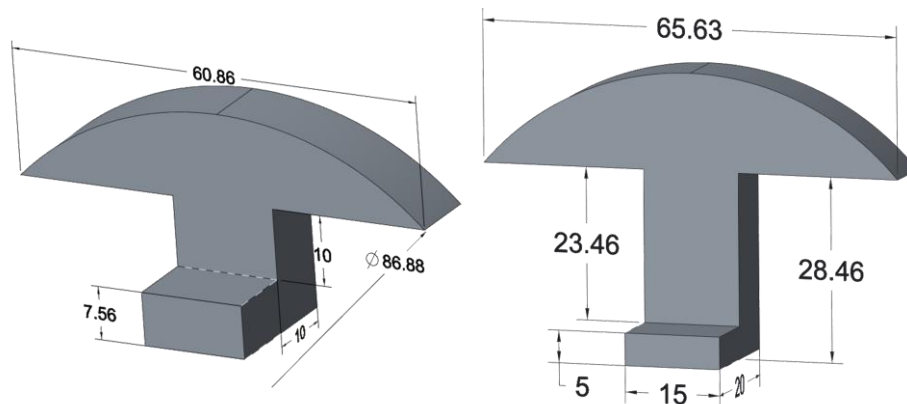
Εικόνα 5.2: Τρισδιάστατη φωτορεαλιστική όψη του περιβλήματος από ανθρακονήματα με διαστάσεις.

5.2.2 Σχεδιασμός σφηνών

Η γεωμετρική μοντελοποίηση των σφηνών αρχίζει με σχεδίαση ενός κύκλου με την εντολή “Sketch”, ο οποίος είναι ίδιας διατομής με αυτή της εσωτερικής επιφάνειας του περιβλήματος. Επόμενο βήμα είναι η δημιουργία βάθους του κύκλου αυτού με την εντολή “Extrude” δημιουργώντας μια μορφή δίσκου. Στη συνέχεια, επάνω στο δίσκο αυτό, σχεδιάστηκε ένα σχήμα για την πρώτη διαμόρφωση των σφηνών. Επιπλέον, δημιουργούνται οι δύο πλαϊνές επιφάνειες επαπτόμενες επάνω στην καμπύλη.

Επιπροσθέτως, σχεδιάζεται η πίσω τριγωνική επιφάνεια με τις ίδιες εντολές, αρχικά δημιουργώντας τη μία πλευρά και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας την εντολή “Mirror”, δημιουργείται και η άλλη. Τέλος συνδέονται μεταξύ τους σχεδιάζοντας τη βάση που ακουμπάει στο χέρι και επιπλέον σχεδιάζεται η τρύπα σύνδεσης με κοχλία. Επίσης σχεδιάζεται μια τριγωνική επιφάνεια στην πλαϊνή όψη του μοντέλου και με την εντολή “Revolve”, διαμορφώνεται κωνική επιφάνεια στην πάνω πλευρά της καμπύλης, ίδια με αυτή του περιβλήματος.

Όμοια, με την λογική της μιας σφήνας δημιουργείται και η άλλη, στο ίδιο μοντέλο. Εκτός αυτού, χρησιμοποιείται η εντολή “Extrude” με λειτουργία αφαίρεσης υλικού για να διαχωριστεί με την παραπάνω.

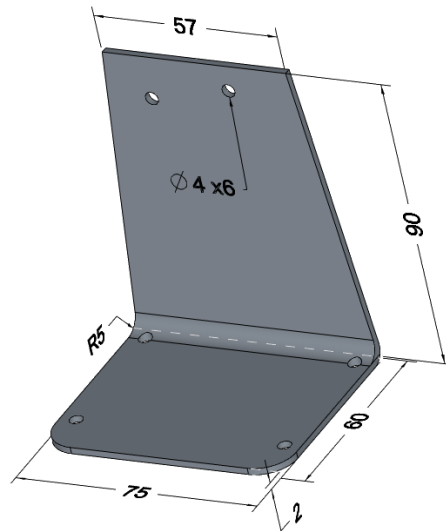


Εικόνα 5.3: Διαστάσεις των δύο σφηνών, αριστερά η μικρή και δεξιά η μεγάλη.

5.2.3 Σχεδιασμός λάμας – συνδέσμου

Η γεωμετρική μοντελοποίηση του εξαρτήματος αυτού ξεκινάει σχεδιάζοντας το σκίτσο με την εντολή “Sketch”. Επιπλέον χρησιμοποιείται η εντολή “Extrude” με σκοπό να δοθεί το κατάλληλο βάθος δημιουργώντας έτσι το τρισδιάστατο μοντέλο.

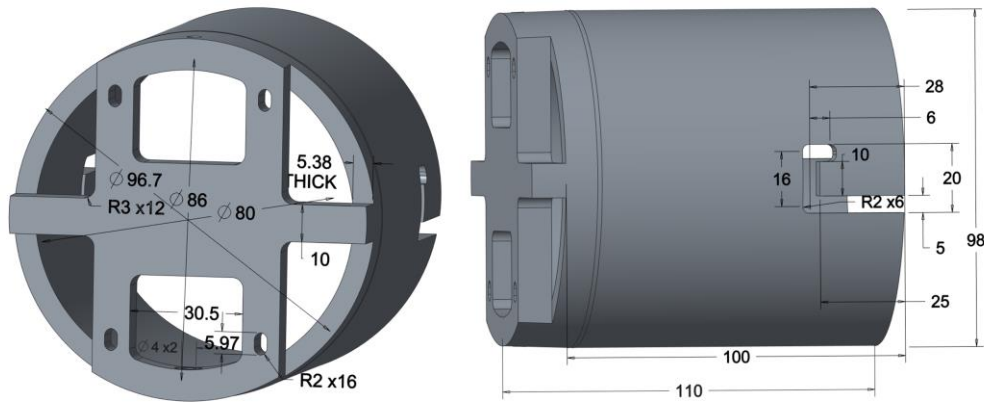
Στη συνέχεια μετρούνται οι υπάρχον τρύπες από το ρομποτικό μηχανισμό και σχεδιάζονται στο τρισδιάστατο μοντέλο μέσα στο λογισμικό. Σε επόμενη φάση, το μοντέλο του συνδέσμου τοποθετείται στο Assembly του προσθετικού πήχη. Με αυτό τον τρόπο είναι πολύ εύκολο να βρεθούν τα σημεία που πρέπει να σχεδιαστούν οι τέσσερις τρύπες όπου συνδέεται στην κεντρική βάση. Κατά την ολοκλήρωση του κυρίως μοντέλου, οι δύο οπίσθιες γωνίες της λάμας (από την πλευρά που συνδέεται στην κεντρική βάση) μετατρέπονται σε καμπύλες με την εντολή “Round”.



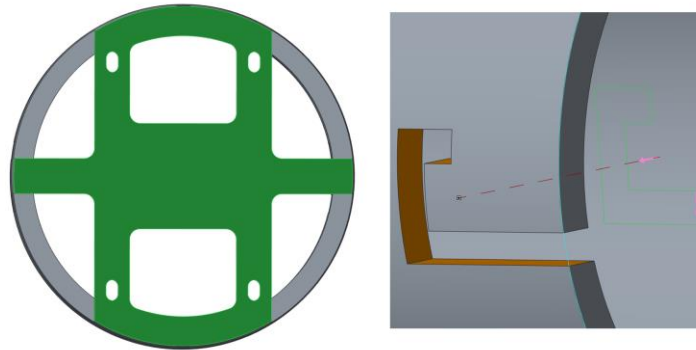
Εικόνα 5.4: Διαστάσεις λάμας συνδέσμου της εσωτερικής βάσης.

5.2.4 Σχεδιασμός κεντρικής βάσης

Η διαδικασία γεωμετρικής μοντελοποίησης ξεκίνησε με τη δημιουργία της εμπρόσθιας βάσης χρησιμοποιώντας τις εντολές “Sketch”, “Extrude” αλλά και “Revolve” για τις 4 μεγάλες καμπύλες που φαίνονται στο σχήμα.



Εικόνα 5.5: Τρισδιάστατη μορφή κεντρικής βάσης του προσθετικού πήχη σε δύο τρισδιάστατες όψεις με τις διαστάσεις τους.



Εικόνα 5.6: Αριστερά η μοντελοποίηση της εμπρόσθιας βάσης και δεξιά η μοντελοποίηση του αυλακιού στο πλάι.

Στη συνέχεια γίνονται τέσσερις σπές με σκοπό τη σύνδεση των συνδέσμων επάνω της και οι εσωτερικές γωνίες γίνονται καμπύλες με ακτίνα 3mm.

Σε επόμενη φάση, γίνεται μοντελοποίηση ενός κυλίνδρου, ο οποίος εφάπτεται στην πίσω πλευρά της εμπρόσθιας βάσης και δημιουργείται μια πρώτη όψη για την επιθυμητή μορφή της κεντρικής βάσης. Εκτός αυτών, δημιουργούνται οι δύο πλαϊνές βάσεις σύνδεσης με το σύστημα ανάρτησης με τις παραπάνω εντολές.

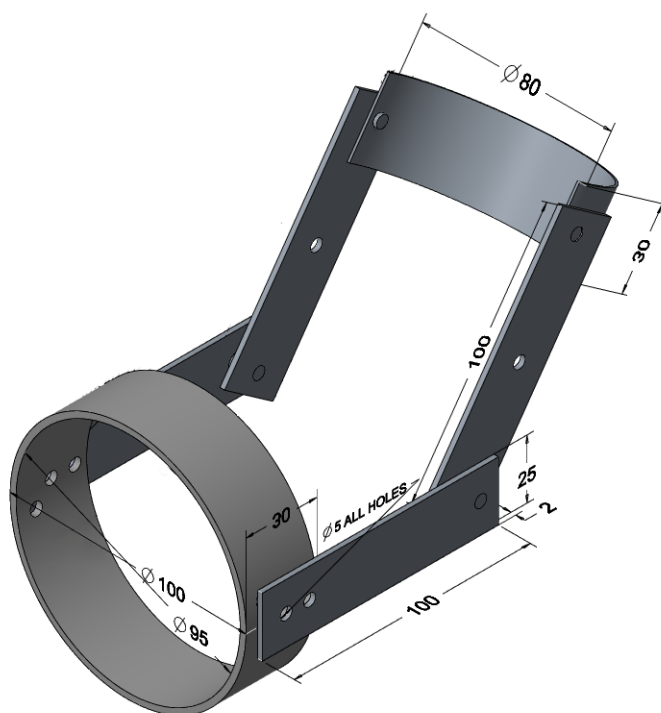
5.2.5 Γεωμετρική μοντελοποίηση των εξαρτημάτων του συστήματος ανάρτησης

Η γεωμετρική μοντελοποίηση του συστήματος ξεκινάει με σχεδίαση ενός δακτυλίου ο οποίος εφαρμόζει στην πίσω κυλινδρική επιφάνεια της κεντρικής βάσης και καλύπτει τα σημεία όπου βρίσκονται τα αυλάκια του ταχυσυνδέσμου. Στη συνέχεια, σχεδιάζονται οι δύο οριζόντιοι σύνδεσμοι, οι οποίοι συνδέονται στο δακτύλιο μέσω δύο κοχλιών σε σειρά οριζόντια, ο καθένας, με σκοπό να μην υπάρχουν περιστροφές.

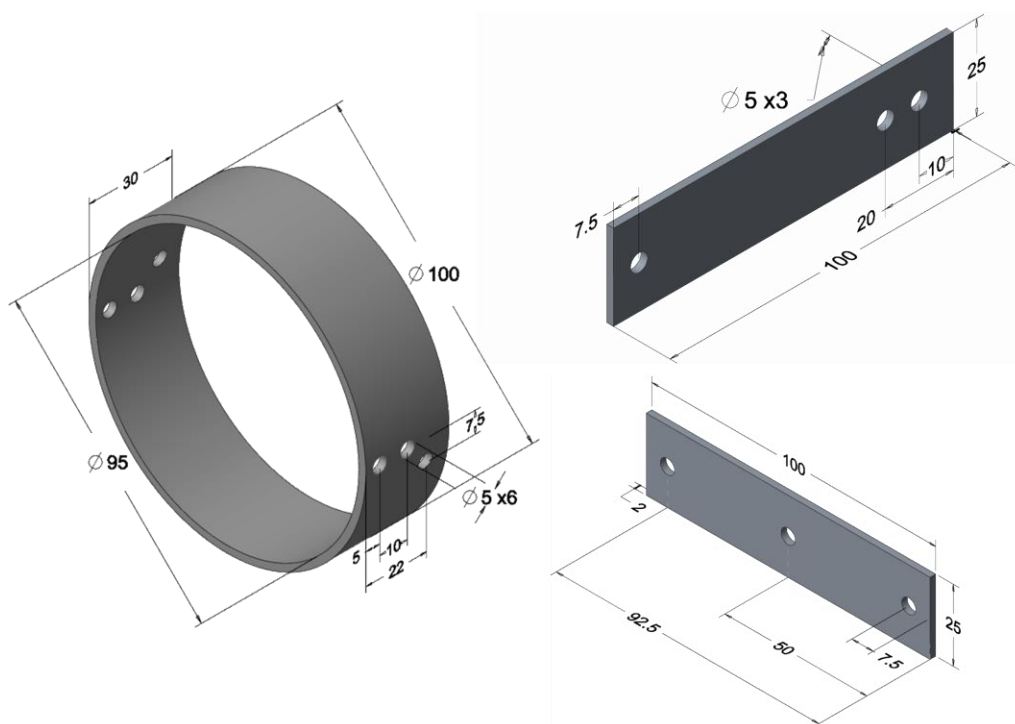
Επιπλέον γίνεται μοντελοποίηση δύο ενδεικτικών αρθρώσεων από την άλλη πλευρά των συνδέσμων και σχεδιάζονται δύο επιπλέον σύνδεσμοι υπό γωνία, ίδια με αυτή του χεριού πάνω από τον αγκώνα. Τέλος γίνεται γεωμετρική μοντελοποίηση της λάμας σε κούρμπα, η οποία επίσης συνδέεται στους συνδέσμους υπό γωνία μέσω κοχλιών και παξιμαδιών.

5.2.5.1 Γεωμετρική μοντελοποίηση ενδεικτικού κολοβώματος – αγκώνα στο λογισμικό

Για τη γεωμετρική μοντελοποίηση του ενδεικτικού κολοβώματος – αγκώνα αρχικά ορίζονται αρκετά επίπεδα, κάποια παράλληλα μεταξύ τους, ενώ άλλα βρίσκονται υπό γωνία. Πιο συγκεκριμένα, τα επίπεδα που βρίσκονται σε γωνία με τα άλλα είναι αυτά που δημιουργούν τη γωνία στην άρθρωση του αγκώνα. Στη συνέχεια, σε αυτά τα επίπεδα, με την εντολή “Sketch”, σχεδιάζονται καμπύλες σχήματος κύκλου και οβάλ έτσι ώστε να δημιουργηθεί όσο το δυνατόν καλύτερο το αποτέλεσμα του αγκώνα.



Εικόνα 5.8: Διαστασιολόγηση συστήματος ανάρτησης του προσθετικού πήχη.



Εικόνα 5.9: Διαστάσεις των κύριων εξαρτημάτων που συστήματος ανάρτησης που χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση του πήχη.

6

Κατασκευή εξαρτημάτων προσθετικού πήχη και συναρμολόγησή τους

Περιγραφή κεφαλαίου

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή των μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν τόσο στο λογισμικό σχεδίασης, όσο και στις διαφορετικές υλοποιήσεις με σκοπό την κατασκευή των εξαρτημάτων του προσθετικού πήχη. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στον τρόπο συναρμολόγησής τους έτσι ώστε να δημιουργηθεί το προσθετικό μέλος.

6.1 Διαδικασία κατασκευής του περιβλήματος από ανθρακονήματα

Όπως και σε οποιαδήποτε κατασκευή εξαρτήματος από CFRP αλλά και άλλων σύνθετων υλικών, χρησιμοποιείται η μέθοδος κατασκευής με καλούπι. Επάνω σε αυτό τοποθετούνται τα ανθρακονήματα με συγκεκριμένη διαδικασία και συνθήκες έτσι ώστε να επιτευχθούν οι κατάλληλες ιδιότητες του υλικού.

Η ανάλυση της διαδικασίας χωρίζεται σε:

- Κατασκευή καλουπιού
- Κατασκευή του περιβλήματος από ανθρακονήματα

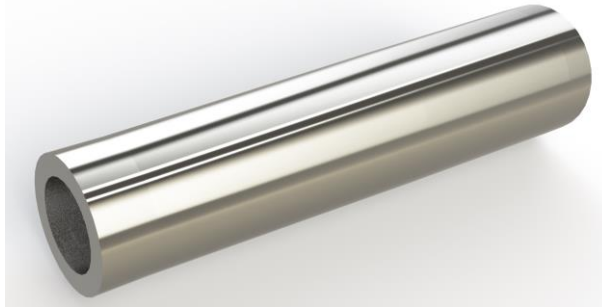
Η μέθοδος κατασκευής CFRP με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να γίνει με δύο τρόπους:

- Θηλυκό ή κλειστού τύπου καλούπι: Είναι ο περισσότερο διαδεδομένος τρόπος στη βιομηχανία στις περισσότερες εφαρμογές διότι το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι η καλύτερη επιφάνεια του σύνθετου υλικού. Συνήθως αποτελείται από περισσότερα από ένα τμήματα που το κάνει πιο σύνθετο και πολύπλοκο.
- Αρσενικό ή ανοιχτού τύπου καλούπι: Ο τρόπος αυτός χρησιμοποιείται πιο σπάνια διότι δεν φέρει τόσο καλό αποτέλεσμα όσο το κλειστού τύπου καλούπι. Είναι όμως πιο απλό και πιο εύκολο να κατασκευασθεί και παράλληλα χρειάζεται λιγότερο απαιτητικές συνθήκες για να δημιουργηθεί ένα σύνθετο υλικό.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε ο δεύτερος τρόπος, με ανοιχτού τύπου καλούπι.

6.1.1 Καλούπι κατασκευής περιβλήματος

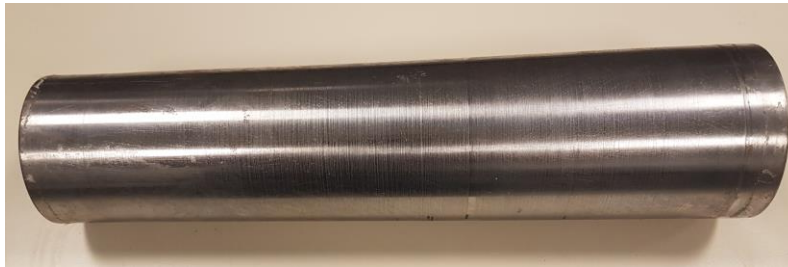
Το καλούπι αποτελείται από άξονα κοινού χάλυβα ο οποίος, μετά από κατεργασία, έρχεται στις διαστάσεις που χρειάζεται. Έχει 2 κωνικές επιφάνειες που ενώνονται μεταξύ τους οι οποίες πρέπει να είναι ίδιες με αυτές του περιβλήματος από ανθρακονήματος. Σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψιν κατά τη διαστασιολόγηση του καλουπιού είναι οι γωνίες στις κωνικότητες, οι οποίες πρέπει να είναι ίσες με αυτές του περιβλήματος. Το μήκος του καλουπιού χρειάζεται να είναι μεγαλύτερο από το προβλεπόμενο του περιβλήματος διότι ενδέχεται τα άκρα του ανθρακονήματος να μην είναι σωστά πιεσμένα κατά τη διαδικασία σκλήρυνσης στο θάλαμο θέρμανσης. Επομένως θα πρέπει να κοπεί και να έρθει στις διαστάσεις που χρειάζεται.



Εικόνα 6.1: Τρισδιάστατο μοντέλο του καλουπιού σε render του λογισμικού σε ισομετρική όψη.

6.1.1.1 Μεθοδολογία κατεργασίας καλουπιού

Η κατεργασία του καλουπιού είναι σχετικά απλή και γίνεται σε συμβατικό τόρνο. Το ακατέργαστο υλικό είναι ένας διάτρητος άξονας από κοινό χάλυβα ο οποίος κόβεται σε πριονοταινία για μέταλλα.



Εικόνα 6.2: Καλούπι που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του περιβλήματος από ανθρακονήματα.

Η διαδικασία ξεκινάει με κατεργασία προφίλ εσωτερικής επιφάνειας με εσωτερική μανέλα σε μήκος περίπου 30mm από τις επιφάνειες του άξονα (καλιμπράρισμα). Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι για να μπορεί να συγκρατηθεί καλά στις σιαγόνες του τσοκ του τόρνου και για να πατήσει ο κεντροφορέας από την άλλη πλευρά. Στη συνέχεια γίνεται κατεργασία προφίλ της εξωτερικής επιφάνειας του καλουπιού έτσι ώστε να φτάσει σε διάμετρο $\Phi 100$. Δημιουργούνται οι

απαραίτητες γωνίες για τις κωνικότητες, ρυθμίζοντας το ανώτατο φορείο του εργαλειοδέτη. Στη μια πλευρά 1.4° και στην άλλη 1° . Τέλος, γίνονται κατεργασίες των 2 κάθετων επιφανειών του άξονα έτσι ώστε να φτάσει το επιθυμητό μήκος.

6.1.2 Υλοποίηση κατασκευής του περιβλήματος από ανθρακονήματα

Η διαδικασία κατασκευής εξαρτήματος με ανθρακονήματα είναι σύνθετη και χρειάζεται αρκετά εξαρτήματα και αναλώσιμα για την υλοποίηση. Επιπλέον επιβάλει συγκεκριμένη μέθοδο και συνθήκες με σκοπό το σύνθετο υλικό να αποκτήσει τις απαραίτητες ιδιότητες. Οι συνθήκες αυτές είναι:

- Απώλεια αέρα στο σύστημα που βρίσκονται τα ανθρακοϋφάσματα.
- Σκλήρυνση με θέρμανση σε ορισμένη θερμοκρασία για ορισμένο χρόνο (Curing).

6.1.2.1 Εργαλεία και αναλώσιμα που χρησιμοποιούνται

Γίνεται χρήση των βοηθητικών εργαλείων:

- Ψαλίδι
- Φαλτσέτα
- Σπάτουλα
- Καθαρή βενζίνη
- Ιατρικά γάντια
- Πανάκια από μικροΐνες

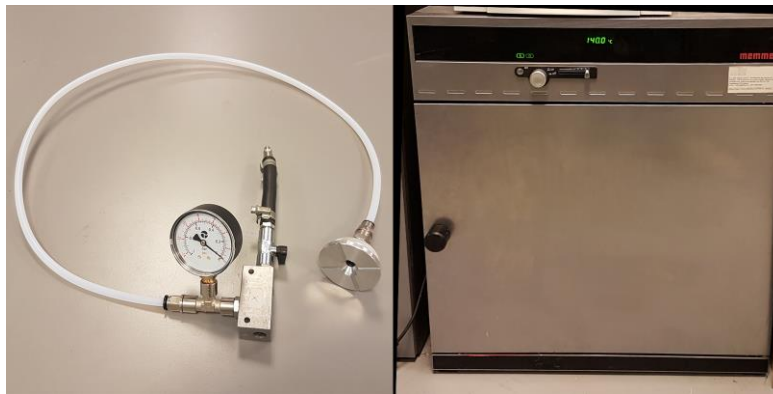
Για την κατασκευή χρησιμοποιούνται τα αναλώσιμα που φαίνονται παρακάτω:

- **Αποκολλητικό κερί υψηλής θερμοκρασίας (Wax)** για αποκόλληση του εξαρτήματος από το καλούπι κατά την ολοκλήρωση της διαδικασίας.
- **Προεμποτισμένο ανθρακοϋφάσμα.** Περιέχει στο εσωτερικό του την ποσότητα της εποξικής ρητίνης που χρειάζεται για την κατασκευή.
- **Αποκολλητικό φιλμ (Release film).** Διάτρητο λεπτό φιλμ. Τοποθετείται μεταξύ του Breather και του ανθρακοϋφάσματος. Εξυπηρετεί στην ομοιόμορφη συμπίεση και κατανομή της ρητίνης προς το Breather και στην ακόμη πιο εύκολη αποκόλληση όλων των παρελκομένων από το τελικό προϊόν.
- **Αφρώδες υλικό (Breather Bleeder).** Αφρώδες υλικό με μορφή τσόχας. Τοποθετείται μεταξύ του Release Film και της σακούλας κενού για την απορρόφηση της περιττής ποσότητας ρητίνης (καθώς και πιθανών φυσαλίδων αέρα) από το προϊόν κατά την υποπίεση και τη δημιουργία κενού.
- **Κολλητική ταινία μόνωσης.** Ελαστική κολλητική ταινία (σαν τσίχλα) για το κόλλημα και τη σφράγιση της σακούλας κενού περιμετρικά στο καλούπι.
- **Μεμβράνη κενού.** Ελαστική λεπτή μεμβράνη (Nylon) σφράγισης του προς κατασκευή αντικειμένου. Είναι το υλικό που μπαίνει τελευταίο πάνω από όλα τα υπόλοιπα υλικά. Κολλιέται περιμετρικά στην άκρη του καλουπιού με την κολλητική ταινία μόνωσης.

6.1.2.2 Πνευματική διάταξη κενού και θάλαμος σκλήρυνσης (curing)

Η απώλεια αέρα μέσα στα ανθρακοϋφάσματα παίζει σημαντικό ρόλο στις ιδιότητες του σύνθετου. Η εποξική ρητίνη που βρίσκεται εσωτερικά στο υλικό περιέχει φυσαλίδες αέρα, οι οποίες, αν μείνουν μέσα του, οι ιδιότητες του υλικού χάνονται επιτόπου. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι διότι χάνεται συνοχή στη δομή του υλικού με αποτέλεσμα τη συγκέντρωση τάσεων στα σημεία αυτά. Για την εν λόγω απώλεια του αέρα χρησιμοποιείται διάταξη κενού χρησιμοποιώντας το φαινόμενο Venturi. Η διάταξη αποτελείται από:

- Πνευματικό ταχυσύνδεσμο
- Πνευματικό αγωγό Φ1/4''
- 2 σφιγκτήρες
- Βαλβίδα παροχής
- 4 Νίπελ συνδέσεως
- Σύνδεσμο τύπου T
- Σύστημα Venturi (τζιφάρι)
- Μανόμετρο κενού
- Σωληνάκι Teflon 1/8''
- Ρακόρ
- Ρακόρ υψηλής θερμοκρασίας
- Αντάπτορας σακούλας κενού



Εικόνα 6.3: Πνευματικό σύστημα κενού Venturi αριστερά και θάλαμος θέρμανσης που χρησιμοποιήθηκε για τη σκλήρυνση του περιβλήματος δεξιά.

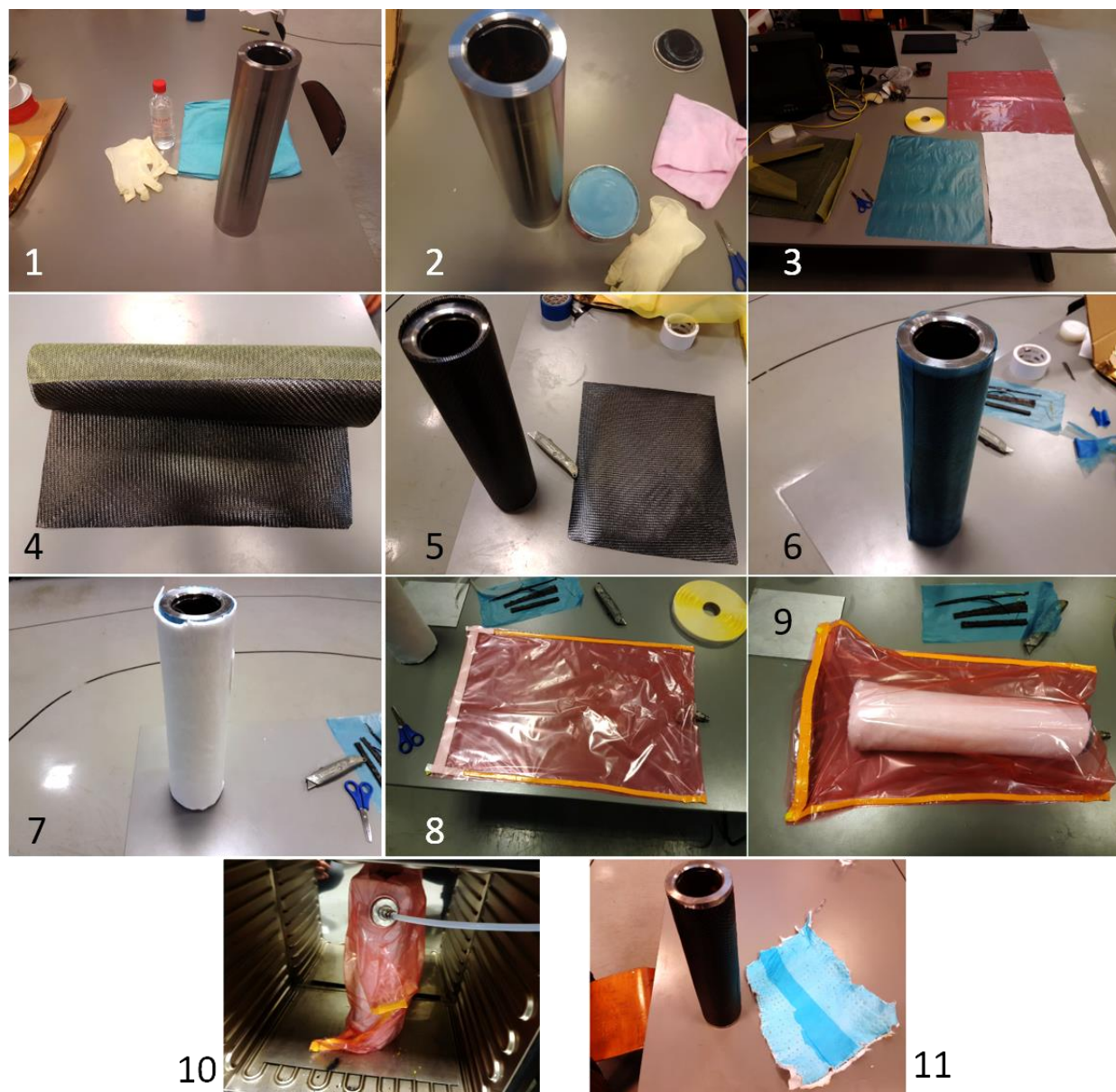
Η σκλήρυνση του υλικού γίνεται με τη βοήθεια του θαλάμου του εργαστηρίου, σε θερμοκρασία **140°C** για **5 ώρες** με **2°C / min** έως ότου φτάσει την μέγιστη θερμοκρασία.

6.1.2.3 Ανάλυση της υλοποίησης

Η υλοποίηση της κατασκευής είναι σύνθετη και χρειάζεται προσοχή, ειδικότερα στον τρόπο που εφαρμόζονται τα υφάσματα. Προσοχή χρειάζεται επίσης και στον τρόπο που στεγανοποιείται η

μεμβράνη του κενού με σκοπό να γίνει όσο το δυνατόν καλύτερη υποπίεση. Η διαδικασία περιγράφεται παρακάτω ως εξής [19]:

1. Το καλούπι καθαρίζεται καλά από πιθανές ακαθαρσίες με καθαρή βενζίνη και ένα πανί με μικροΐνες.
2. Τοποθετείται το αποκολλητικό κερι με ένα πανί από μικροΐνες επάνω στην επιφάνεια του καλουπιού σε 5 στρώσεις ανά 5 λεπτά.
3. Το καλούπι αφήνεται 15 λεπτά για να στεγνώσει το κερι έτσι ώστε να δημιουργήσει μια στρώση κάλυψης.
4. Γίνεται μέτρηση της επιφάνειας του καλουπιού και κόβονται τα υφάσματα στις διαστάσεις του στο περίπου. Η δεύτερη στρώση κόβεται σε γωνία 45° σε σχέση με την πρώτη. Επίσης κόβονται: το φιλμ αποκόλλησης, το αφρώδες ύφασμα και η σακούλα κενού. Αυτά, καλό είναι να κόβονται σε μεγαλύτερες διαστάσεις σχετικά με τα υφάσματα για σιγουριά.
5. Τα ανθρακοϋφάσματα απλώνονται στο καλούπι σε 2 στρώσεις με μονή επικάλυψη. Επιπλέον τοποθετείται τρίτη στρώση σε επίπεδα που δέχονται παραπάνω καταπονήσεις οι οποίες προέκυψαν από την ανάλυση δυνάμεων. Τα υφάσματα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο σφιχτά επάνω στο καλούπι για να αποφευχθούν τυχόν ζάρες κατά την σκλήρυνση. Στη συνέχεια κόβεται το περιττό υλικό με χρήση ψαλιδιού ή φαλτσέτας.
6. Στην επιφάνεια των ανθρακοϋφασμάτων τοποθετείται το φιλμ αποκόλλησης το οποίο κολλάει επάνω στα υφάσματα λόγω της ρητίνης που έχουν.
7. Το καλούπι με τα αναλώσιμα τυλίγονται με το αφρώδες υλικό (Breather Bleeder).
8. Γίνεται προετοιμασία της μεμβράνης κενού με τοποθέτηση κολλητικής ταινίας στις δύο από τις τρεις πλευρές της έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια σακούλα. Επίσης Ανοίγεται μια οπή στη μεμβράνη για να τοποθετηθεί ο σύνδεσμος κενού.
9. Τοποθετείται το καλούπι με τα παραπάνω παρελκόμενα μέσα στη σακούλα που δημιουργήθηκε και σφραγίζεται η τρίτη πλευρά της.
10. Η σακούλα μαζί με το καλούπι τοποθετούνται μέσα στο θάλαμο θέρμανσης, συνδέεται η διάταξη αναρρόφησης αέρα και αφήνεται 5 ώρες για σκλήρυνση με ταυτόχρονη υποπίεση.
11. Μετά την ολοκλήρωση της σκλήρυνσης, το καλούπι αφαιρείται από το θάλαμο θέρμανσης και προσεκτικά αφαιρούνται και τα αναλώσιμα και αφήνεται να κρυώσει για να γίνει το ξεκαλούπωμα.



Εικόνα 6.4: Στιγμιότυπα από την διαδικασία κατασκευής του περιβλήματος από ανθρακονήματα με αριθμήσεις που συνδέουν την κάθε εικόνα με την περιγραφή παραπάνω.

6.1.3 Αποτελέσματα κατασκευής CFRP

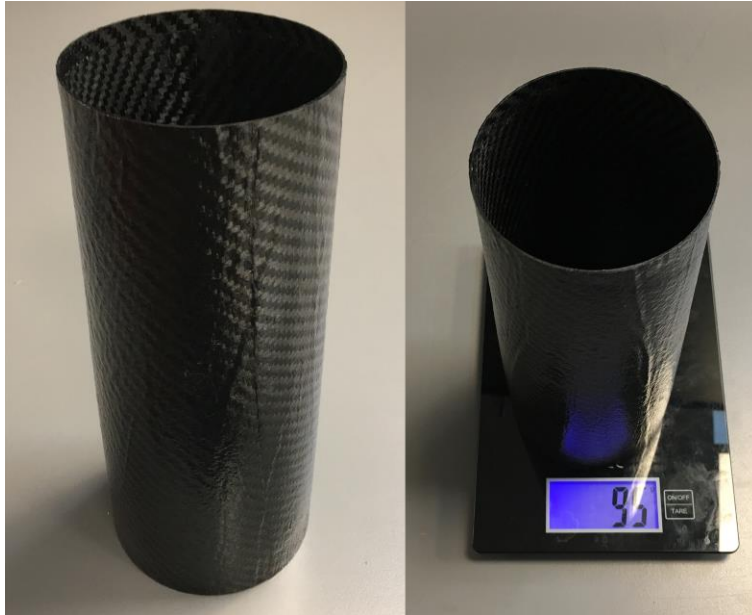
Η διαδικασία κατασκευής του περιβλήματος του πήχη έγινε 3 φορές. Η πρώτη έγινε με μικρότερο καλούπι και 2 στρώσεις υφάσματος, η δεύτερη με το πραγματικό καλούπι και τρεις στρώσεις και στην τρίτη έγινε μια τελευταία προσπάθεια με δύο στρώσεις με επιπλέον ενίσχυση σε ορισμένα σημεία. Εκείνη έφερε και το καλύτερο αποτέλεσμα.



Εικόνα 6.5: Αποτελέσματα από τις 3 προσπάθειες κατασκευής του περιβλήματος. Επάνω βρίσκεται το μικρό – πειραματικό που κατασκευάζεται. Κάτω αριστερά βρίσκεται το πρώτο μεγάλο περίβλημα και κάτω δεξιά η τρίτη και τελευταία προσπάθεια.



Εικόνα 6.6: το εξωτερικό περίβλημα του προσθετικού πήχη μετά από κοπή στις απαιτούμενες διαστάσεις και επικάλυψη με ακρυλικό βερνίκι.



Εικόνα 6.7: Αριστερά φαίνεται το περίβλημα σε όρθια θέση και δεξιά φαίνεται η μάζα του που είναι 95gr.

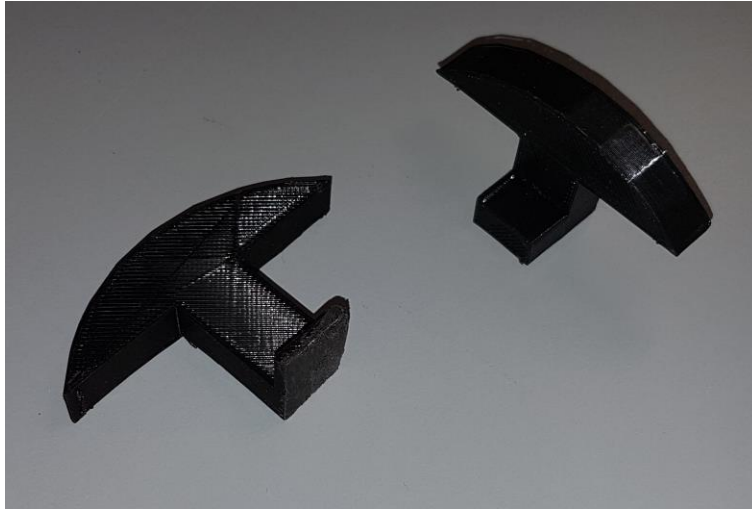
6.2 Διαδικασία κατασκευής της εσωτερικής βάσης

Η κατασκευή των επιμέρους εξαρτημάτων της εσωτερικής βάσης αποτελείται από διάφορες μεθόδους και μέσα κατασκευής / κατεργασίας υλικού, όπως τρισδιάστατος εκτυπωτής, συμβατικός τόρνος και CNC φρέζα τριών αξόνων. Παράλληλα δίνεται προσοχή στην ακρίβεια της κάθε κατεργασίας με σκοπό η συναρμολόγηση να γίνει εύκολα και σωστά.

6.2.1 Κατασκευή σφηνών

Η κατασκευή των σφηνών είναι πολύ απλή και γρήγορη, σχετικά με τα υπόλοιπα εξαρτήματα. Σε αυτό βοηθάει η μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης, όπου μέσω διαδοχικής πρόσθεσης επάλληλων στρώσεων υλικού (στη συγκεκριμένη περίπτωση PLA πολυμερές), κατασκευάζει το αντικείμενο που έχει οριστεί στο λογισμικό του 3D Printer.

Η διαδικασία ξεκινάει με αποθήκευση του τρισδιάστατου μοντέλου σε αρχείο STL (Stereolithography) το οποίο μπορεί να διαβάσει ο εκτυπωτής. Στη συνέχεια το αρχείο φορτώνεται στο περιβάλλον του λογισμικού του (XYZ Maker) και εισέρχονται οι απαραίτητες παράμετροι.



Εικόνα 6.8: Οι δύο σφήνες του προσθετικού πήχη μετά από τρισδιάστατη εκτύπωση.

6.2.2 Κατασκευή λάμας - συνδέσμου

Η κατασκευή της λάμας – συνδέσμου ξεκινάει με κοπή της λάμας στις απαιτούμενες διαστάσεις με τη βοήθεια ειδικού ψαλιδιού. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται χειροκίνητη στράντζα (τσάκα) με σκοπό να δημιουργηθεί η γωνία στη λάμα στο σημείο που χρειάζεται.



Εικόνα 6.9: Μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν για την διαμόρφωση της λάμας. Αριστερά το ειδικό ψαλίδι για λαμαρίνες και δεξιά η στράντζα.

Κατά την ολοκλήρωση της διαμόρφωσης της λάμας, μετρούνται τα σημεία που πρέπει να ανοιχτούν τρύπες, χρησιμοποιείται πόντα χειρός και σφυρί για να σηματοδοτούν τα σημεία αυτά και επιπλέον χρησιμοποιείται επιτραπέζιο δράπανο για να ανοιχτούν οι τρύπες αυτές.



Εικόνα 6.10: Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την διαμόρφωση των οπών στα σημεία που πρέπει.

Επειδή ο ανοξείδωτος χάλυβας έχει υψηλή σκληρότητα και ένα κοινό τρυπάνι δεν μπορεί να τον τρυπήσει εύκολα, χρησιμοποιείται ειδικό τρυπάνι κοβαλτίου με διατομή 2.5 mm, για αρχή. Αφού γίνει αυτό, γίνεται χρήση κοινού τρυπανιού $\Phi 3.5$ ανοίγοντας και τις έξι οπές.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία τρυπήματος της λάμας, χρησιμοποιείται κολαούζο M4 με τη βοήθεια ηλεκτρικού εργαλείου χειρός για δημιουργία σπειρωμάτων στις τέσσερις οπές σύνδεσης της λάμας με την κεντρική βάση. Τέλος χρησιμοποιείται επιτραπέζιος τροχός για τη μετατροπή των γωνιών σε καμπύλες στα δύο σημεία της λάμας που έχουν σχεδιαστεί. Όλα τα εργαλεία και οι μηχανές βρίσκονται στο εργαστήριο του Τ.Ε.Ι.

6.2.3 Κατασκευή κεντρικής βάσης

Η διαδικασία ξεκίνησε με κατεργασία του ακατέργαστου υλικού σε συμβατικό τόρνο του εργαστηρίου. Η διαδικασία περιλάμβανε την κατεργασία προσώπου για να φτάσει στις επιθυμητές διαστάσεις, τη δημιουργία 1° κωνικής εξωτερικής επιφάνειας και αφαίρεση υλικού στο εσωτερικό σε βάθος 40mm για να είναι δυνατόν να συγκρατηθεί στη φρέζα.

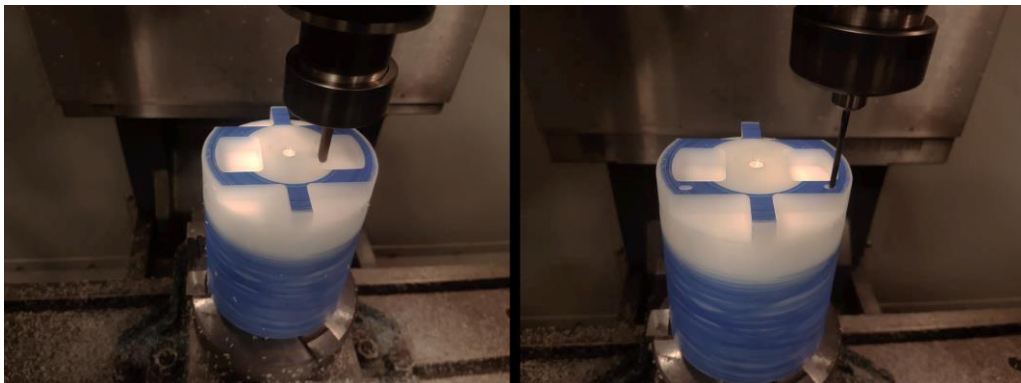


Εικόνα 6.11: Κατεργασία προφίλ της βάσης στον συμβατικό τόρνο.

Στη συνέχεια δημιουργήθηκε ο κώδικας κατεργασίας G από το σχεδιαστικό λογισμικό PTC Creo και το αντικείμενο συγκρατήθηκε στη φρέζα σε όρθια θέση μέσω τσοκ και μηδενίστηκε στη μηχανή με τη βοήθεια εργαλείου μηδενισμού Taster. Επίσης μηδενίστηκαν και τα κοπτικά που χρειάστηκαν, τα οποία ήταν 2 κονδύλια, Φ3 και Φ6 Endmill. Μετά το μηδενισμό του αντικειμένου, έγινε κατεργασία της πάνω επιφάνειάς του για τη δημιουργία της βάσης.



Εικόνα 6.12: Μηδενισμός αντικειμένου στη φρέζα CNC για την πρώτη, αλλά και για τη δεύτερη συγκράτηση στο διαιρέτη.



Εικόνα 6.13: Κατεργασία της επάνω επιφάνειας της βάσης κονδύλια Φ6 και Φ3 Endmill.

Κατά την ολοκλήρωση κατεργασίας της πάνω βάσης, το αντικείμενο συγκρατήθηκε σε συμβατικό διαιρέτη ο οποίος βρίσκεται πάνω στην τράπεζα της CNC φρέζας για κατεργασία των τεσσάρων πλαϊνών επιφανειών και δημιουργήθηκε δεύτερος κώδικας G από το λογισμικό. Η δεύτερη κατεργασία περιλάμβανε δύο αυλάκια για τη δημιουργία του τύπου ταχυσύνδεσμου σε 0° και 180° με κονδύλι Φ6 και δύο τρύπες με τρυπάνι Φ4 σε 90° και 270° .



Εικόνα 6.14: Κατεργασία πλαϊνής επιφάνειας του αντικειμένου για δημιουργία αυλακιού με κονδύλι $\Phi 6$ "Endmill" και δημιουργία τρύπας στην επιφάνεια που βρίσκεται 90° από την προηγούμενη του αντικειμένου με $\Phi 4$ τρυπάνι.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε ο συμβατικός τόρνος για δεύτερη φορά για την τελειοποίηση του κύκλου κατεργασίας όπου αφαιρέθηκε το υλικό στο εσωτερικό του αντικειμένου έως ότου το πάχος του κυλίνδρου να φτάσει τα 6mm σε μήκος 100mm από την κάτω επιφάνεια, μέχρι δηλαδή το επίπεδο που ξεκινάει η επάνω βάση. Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στον τόρνο ήταν ένα μακρύ τρυπάνι $\Phi 20$ και μια εσωτερική μανέλα μήκους 150mm.



Εικόνα 6.15: Κατεργασία εσωτερικής επιφάνειας της κεντρικής βάσης με εσωτερική μανέλα σε συμβατικό τόρνο.



Εικόνα 6.16: Αποτέλεσμα της κεντρικής βάσης μετά από τη σειρά κατεργασιών (όπως αυτή σχεδιάστηκε στην Εικόνα 4.3 επάνω σε ζυγαριά με μάζα στα 231gr.

6.3 Κατασκευή συστήματος ανάρτησης προσθετικού πήχη.

Η κατασκευή του συστήματος ανάρτησης γίνεται έχοντας σαν αναφορά την απλότητα της συναρμολόγησης. Χρησιμοποιείται συμβατικός τόρνος και CNC φρέζα για την κατασκευή του δακτυλίου και ηλεκτρικό χειροκίνητο τρυπάνι για τις τρύπες στις λάμες.



Εικόνα 6.17: Ολοκληρωμένη κατασκευή του συστήματος ανάρτησης του προσθετικού πήχη με επικάλυψη από σπρέι πλαστικοποίησης.

6.3.1 Δακτύλιος σύνδεσης

Αρχικά, ένα ακατέργαστο κομμάτι από άξονα αλουμινίου σειράς 1000 πιάνεται σε συμβατικό τόρνο με σκοπό να δημιουργηθεί ο δακτύλιος σύνδεσης με την κεντρική βάση. Οι διαστάσεις του ακατέργαστου είναι: $D=102\text{mm}$, $L=40\text{mm}$.

Η κατεργασία περιλαμβάνει την αφαίρεση υλικού της εξωτερικής καμπυλωτής πλευράς με την εξωτερική μανέλα με σκοπό να καλιμπραριστεί και να έρθει η διάμετρος σε $D=100\text{mm}$. Στη συνέχεια χρησιμοποιείται μανέλα κοπής με σκοπό ο άξονας να έρθει στο απαραίτητο μήκος,

δηλαδή $L=30\text{mm}$. Τέλος χρησιμοποιείται εσωτερική μανέλα στον τόρνο και αφαιρείται όλο το υλικό από το εσωτερικό του δημιουργώντας έτσι το δακτύλιο με πάχος τοιχώματος $t=2.5\text{mm}$. Η συγκράτηση του δακτυλίου είναι αρκετά δύσκολη και απαιτεί προσεκτικές κινήσεις κατά τη χρήση του τόρνου, διότι το πάχος είναι πολύ μικρό και το υλικό δεν έχει την αντοχή να αντέξει την καταπόνηση των οδοντών του τσοκ.



Εικόνα 6.18: Δημιουργία σπών στο δακτύλιο σύνδεσης του συστήματος ανάρτησης αριστερά και το τελικό εξάρτημα με τους ακέφαλους κοχλίες Allen στα δεξιά.

6.3.2 Σύνδεσμοι

Η κατασκευή των συνδέσμων γίνεται αρχικά παραλαμβάνοντας 4 λάμες μήκους 100mm, πλάτους 25mm και πάχους 2mm. Το μόνο που γίνεται είναι η τρύπες στα σημεία όπου χρειάζεται. Αρχικά χρησιμοποιείται πόντα με σκοπό να γίνει ένας οδηγός για το τρυπάνι χειρός, στη συνέχεια ανοίγονται τρύπες $\Phi 3$ και τέλος χρησιμοποιείται τρυπάνι $\Phi 5$.



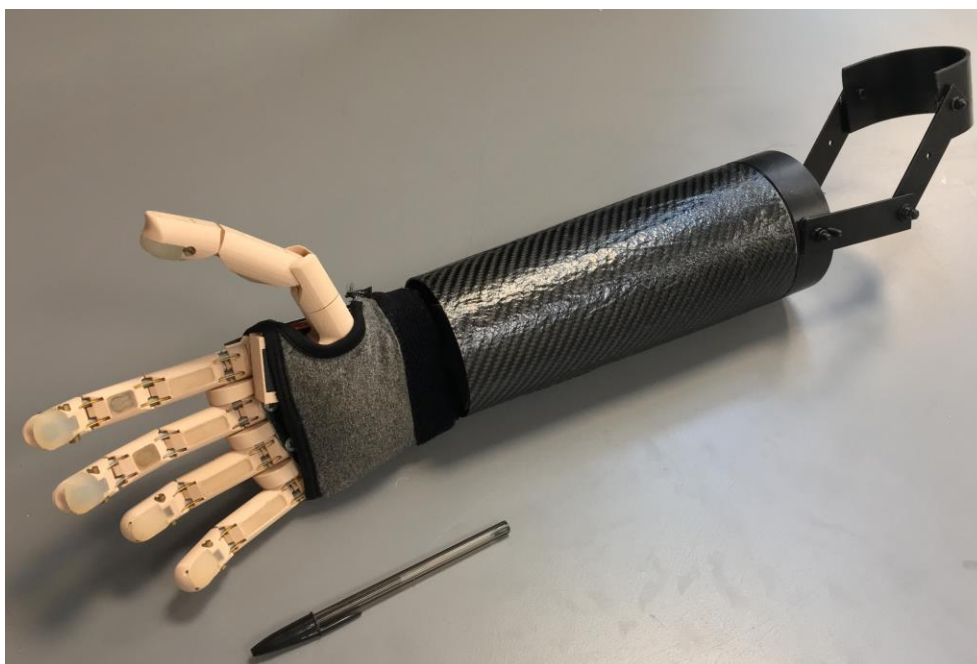
Εικόνα 6.19 Οι δύο διαφορετικοί τύποι των συνδέσμων του συστήματος ανάρτησης για τη συγκράτηση του προσθετικού πήχη επάνω από τον αγκώνα.

6.4 Τελική μορφή και Χαρακτηριστικά και μέσα συναρμολόγησης των εξαρτημάτων του προσθετικού πήχη

Παρακάτω φαίνονται φωτογραφίες από το τελικό αποτέλεσμα της κατασκευής του προσθετικού πήχη μαζί με τη ρομποτική διάταξη του χεριού.



Εικόνα 6.20: Ολοκληρωμένο προσθετικό μέλος σε πλαϊνή και άνω όψη



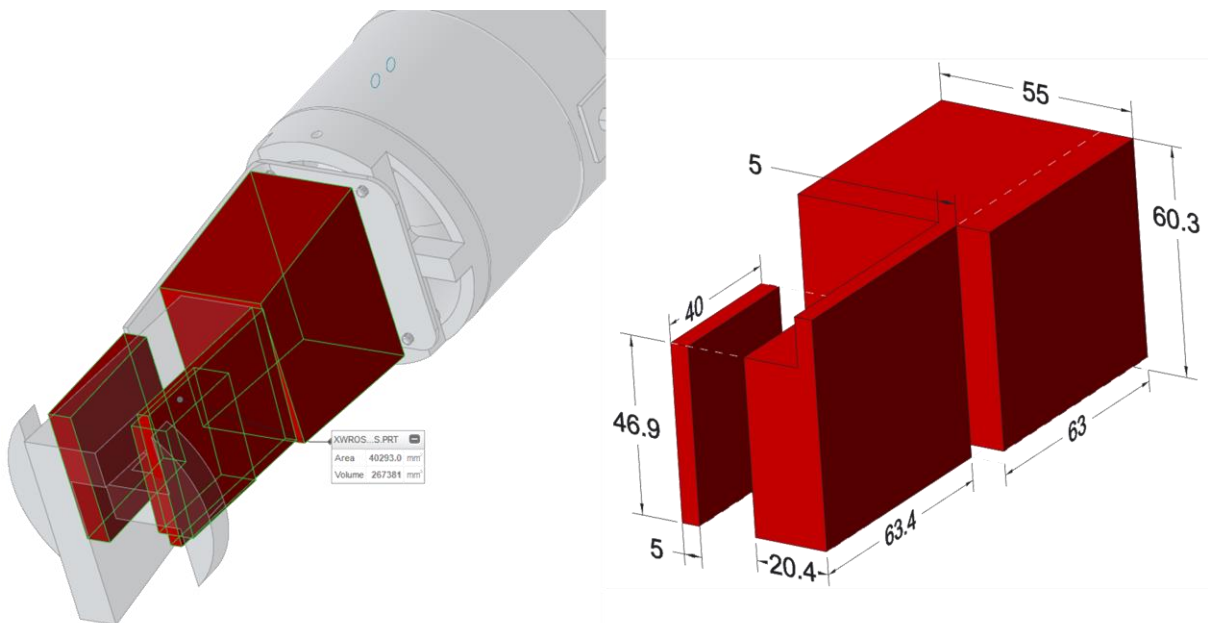
Εικόνα 6.21: Ολοκληρωμένο προσθετικό μέλος σε υπό γωνία όψη.

6.4.1 Προδιαγραφές προσθετικού πήχη που κατασκευάστηκε

Ο προσθετικός πήχης που μελετήθηκε έχει ορισμένα χαρακτηριστικά και προδιαγραφές. Αυτά προέκυψαν από την κατασκευή των επιμέρους εξαρτημάτων αλλά και από τη συναρμολόγησή τους.

Συνολική μάζα προσθετικού μέλους	1340 gr
Αξιοποιήσιμος συνολικός όγκος εσωτερικού χώρου ()	267.4 ml
Μέγιστη προτεινόμενη διατομή κολοβώματος	Φ75(mm)
Μέγιστο προτεινόμενο μήκος κολοβώματος (από την άρθρωση του αγκώνα)	150mm

Πίνακας 6.1: Προδιαγραφές προσθετικού πήχη που μελετήθηκε.



Εικόνα 6.22: Με κόκκινο φαίνονται οι αξιοποιήσιμοι χώροι στο εσωτερικό του προσθετικού πήχη και οι διαστάσεις τους.

Χαρακτηριστικά προσθετικού πήχη:

- Εύκολη εφαρμογή και απόσπαση
- Εύκολη και απλή συναρμολόγηση των εξαρτημάτων
- Στήριξη επάνω από τον αγκώνα
- Στιβαρότητα
- Απλότητα κατασκευής

6.4.2 Περιγραφή διαδικασίας συναρμολόγησης

Η διαδικασία συναρμολόγησης των εξαρτημάτων του προσθετικού πήχη είναι αρκετά εύκολη και απλή, σύμφωνα με τις προδιαγραφές που λήφθηκαν υπόψη. Συγκεκριμένα, η ρομποτική αρπάγη συγκρατείται ανάμεσα στους συνδέσμους μέσω 2 κοχλιών M4. Οι κοχλίες υπάρχουν ήδη στην βάση της αρπάγης, πράγμα που φέρει απλότητα διότι δεν χρειάζεται να γίνουν περαιτέρω κατεργασίες σε αυτή. Ανοίγονται λοιπόν δύο οπές στους αλουμινένιους συνδέσμους της εσωτερικής βάσης. Επίσης, χρησιμοποιούνται δύο σφήνες, που βρίσκονται επάνω στη βάση του χεριού για τη συγκράτησή του στο εμπρός μέρος.

Όσον αφορά τη σύνδεση της λάμας στο κεντρικό εξάρτημα της βάσης, δημιουργούνται 4 τρύπες και σπειρώματα M4. Χρησιμοποιούνται 4 κοχλίες οι οποίοι βιδώνουν οριζόντια από το πίσω εσωτερικό σημείο που τοποθετείται το κολόβωμα. Ο τρόπος της σύνδεσης είναι εξαιρετικά εύκολος σε αυτή τη φάση.

Ύστερα από τη σύνδεση της ρομποτικής διάταξης αρπάγης με τη λάμα και την κεντρική βάση, σειρά έχει η συναρμολόγηση του συστήματος ανάρτησης. Χρησιμοποιούνται κοχλίες 4 κοχλίες M4, 4 ακέφαλοι κοχλίες M5 Allen και περικόχλια ασφαλείας.

Στα σημεία, αριστερά και δεξιά, που συνδέονται οι οριζόντιοι σύνδεσμοι με αυτούς υπό γωνία, χρησιμοποιούνται κοχλίες με διπλά περικόχλια και ροδέλες με σκοπό να δημιουργηθούν εύκολα και απλά οι αρθρώσεις. Παράλληλα, η κυρτή πίσω λάμα στήριξης του χεριού συνδέεται επίσης με κοχλίες, περικόχλια και ροδέλες M5. Εκτός αυτών, οι ακέφαλοι κοχλίες χρησιμοποιούνται στο δακτύλιο σύνδεσης συνδέοντάς τον με τους με τους οριζόντιους συνδέσμους.

Τέλος, η σύνδεση του συστήματος ανάρτησης με το προσθετικό μέλος γίνεται μέσω ενός ειδικά διαμορφωμένου, για την κατασκευή, ταχυσύνδεσμου. Με αυτό τον τρόπο δίδεται η δυνατότητα εύκολης και γρήγορης σύνδεσης – αποσύνδεσης του τεχνητού μέλους με το βιολογικό άκρο. Τα εξαρτήματα που αποτελούν τον ταχυσύνδεσμο είναι η πλαστική κεντρική βάση με το δακτύλιο σύνδεσης του συστήματος ανάρτησης.



Εικόνα 6.23: Φωτογραφίες των εκάστοτε εξαρτημάτων κατά τη συναρμολόγηση.

6.4.3 Συνοπτική κοστολόγηση κατασκευής του προσθετικού πήχη

Η κοστολόγηση της κατασκευής του προσθετικού πήχη είναι δυνατόν να χωριστεί σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη έχει να κάνει με τις ώρες εργασίας που χρειάστηκε να αφιερωθούν με σκοπό να γίνουν οι απαραίτητες κατεργασίες. Η δεύτερη αφορά τα υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για το καθένα από τα εξαρτήματα. Παρακάτω φαίνεται πίνακας που συνδυάζει τα δύο παραπάνω.

Εξάρτημα	Ώρες εργασίας	Κόστος υλικών – εξαρτημάτων (€)
Καλούπι περιβλήματος	4	50
Περίβλημα από ανθρακονήματα	6	100
Σφήνες	2	5
Λάμα - σύνδεσμος	3	5
Κεντρική βάση	8	10
Δακτύλιος συστήματος ανάρτησης	3	10
Υπόλοιπα εξαρτήματα συστήματος ανάρτησης	1	5
Λοιπά εξαρτήματα (βίδες, άλλα αναλώσιμα)	-	15
Σύνολο	27	200

Πίνακας 6.2: Κοστολόγηση υλικών, εξαρτημάτων και ωρών εργασίας για την κατασκευή του προσθετικού πήχη.

Υποθέτοντας ότι το κόστος εργασίας για έναν μη έμπειρο και ανειδίκευτο μηχανικό ανέρχεται στα 0.50€ / λεπτό, το κόστος για τις 27 ώρες εργασίας που χρειάστηκε για την υλοποίηση της κατασκευής είναι περίπου 800€.

Προσθέτοντας το κόστος από τις ώρες εργασίας με αυτό των υλικών και εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν, το σύνολο ανέρχεται στα 1000€.

Σημειώνεται ότι το κόστος σχεδιασμού του προσθετικού πήχη, άλλων αναλώσιμων που χρησιμοποιήθηκαν όπως και το κόστος λειτουργίας των μηχανών δεν υπολογίζεται καθώς δεν υπήρξε χρέωση διότι παρέχονται από το εργαστήριο του Τ.Ε.Ι.

7

Συμπεράσματα

Κατά τη διαδικασία της μελέτης σχεδίασης και της κατασκευής του προσθετικού πήχη προκύπτουν διάφορα συμπεράσματα. Ορισμένα από αυτά αφορούν τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για τη γεωμετρική μοντελοποίηση, ενώ άλλα τον τρόπο κατασκευής των εξαρτημάτων του.

Λόγω των περιορισμών στα εργαλεία και μέσα κατεργασίας, η μοντελοποίηση των επιμέρους εξαρτημάτων μελετήθηκε έτσι ώστε οι κατεργασίες να είναι εφικτό να πραγματοποιηθούν. Επομένως, τα σχέδια έγιναν πιο απλά και έτσι κάποια εξαρτήματα, όπως το εξωτερικό περίβλημα, δεν απέκτησαν τη μορφή ενός βιολογικού πήχη.

Επίσης, η μέθοδος του καλουπιού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του περιβλήματος από ανθρακονήματα ήταν με καλούπι ανοιχτού τύπου. αυτό έγινε διότι ήταν πιο εύκολο να εφαρμοστούν τα υφάσματα και γενικά η διαδικασία έγινε πολύ πιο απλή. Εάν εφαρμοζόταν η μέθοδος με κλειστό καλούπι θα υπήρχε αυξημένο κόστος (περισσότερο υλικό), η θερμοχωρητικότητα του υλικού θα ήταν πολύ μεγάλη και θα ήταν δύσκολο να υπολογιστεί η θερμοκρασία που θα έπρεπε να έχει ο θάλαμος θέρμανσης όπως και ο χρόνος ψήσιματος. Επιπλέον, χρειαζόταν απόλυτο κενό, πράγμα που δεν έγινε εφικτό με το σύστημα αναρρόφησης αέρα "Venturi" που χρησιμοποιήθηκε.

Το αποτέλεσμα της κατασκευής του περιβλήματος από ανθρακονήματα δεν ήταν το απολύτως επιθυμητό, διότι, παρά το γεγονός ότι πήρε τη μορφή που έπρεπε, δεν ισχύει το ίδιο με τις ιδιότητές του. Γι' αυτό το αποτέλεσμα ευθύνεται η μέθοδος του ανοιχτού καλουπιού και η αδυναμία του συστήματος αναρρόφησης Venturi που χρησιμοποιήθηκε. Ενώ το επιθυμητό ήταν το απόλυτο κενό αέρος (0 bar), το σύστημα Venturi έφτασε 0.2 bar απόλυτη πίεση.

Όσον αφορά την κατασκευή των υπολοίπων εξαρτημάτων, ορισμένοι περιορισμοί οδήγησαν σε συμπεράσματα που αφορούν τη γεωμετρία αλλά και τη συναρμολόγηση των επιμέρους εξαρτημάτων.

Υπάρχουν σημεία τα οποία δεν εφαρμόζουν όπως θα έπρεπε με σκοπό να κάνουν δυσκολότερη τη συναρμολόγηση των εξαρτημάτων της εσωτερικής βάσης αλλά και του συστήματος ανάρτησης. Σε αυτό συνεπάγεται ότι σε ορισμένα εξαρτήματα χρησιμοποιήθηκαν χειροκίνητες κατεργασίες με αποτέλεσμα την έλλειψη της ακρίβειας που αφορά τα σημεία συναρμολόγησης ή επαφής. Το συμπέρασμα είναι ότι όσο λιγότερο χρησιμοποιούνται χειροκίνητες κατεργασίες σε ένα εξάρτημα, τόσο καλύτερο αποτέλεσμα προκύπτει.

Παρά τα παραπάνω αρνητικά συμπεράσματα, σημαντική είναι η εμπειρία που αναπτύχθηκε στα μέσα τρισδιάστατης μοντελοποίησης, στα διαφορετικά μέσα και εργαλεία κατεργασιών (CNC φρέζα, συμβατικός τόρνος). Εκτός αυτών, αποκτήθηκε γνώση και εμπειρία στην χρήση σύνθετου υλικού (C.F.R.P.) για την κατασκευή του εξωτερικού περιβλήματος του προσθετικού πήχη.

Επίσης, αποκτήθηκε γνώση στο αντικείμενο των προσθετικών μελών και στις τεχνολογίες σχεδίασης και κατασκευής, ενώ έγιναν αντιληπτές οι ιδιαιτερότητές τους σε ότι αφορά τα παραπάνω.

Σαν μελλοντική βελτίωση, θα μπορούσε να γίνει ανάλυση με τη μέθοδο πεπερασμένων στοιχείων (Simulation) στο ολοκληρωμένο 3D σχέδιο, μέσω του λογισμικού, με σκοπό να εμφανιστούν αποτελέσματα για την αντοχή του από καταπονήσεις. Έτσι θα είναι εφικτό να εξεταστεί εάν χρειάζεται να προστεθεί ή να αφαιρεθεί μάζα υλικού στα σημεία που χρειάζεται να ενισχυθούν ή να μικρύνει η μάζα τους αντίστοιχα. Επιπλέον θα ήταν εφικτό να γίνει περαιτέρω μελέτη στην επιλογή των κατάλληλων υλικών για τα εξαρτήματα αυτά.

Τέλος, με εφαρμογή της σωστής μεθόδου κατασκευής του εξωτερικού περιβλήματος, όπως προαναφέρθηκε, αλλά και των απαραίτητων εργαλείων και συστημάτων, θα μπορούσε να ληφθεί ένα πολύ καλύτερο αποτέλεσμα για το παραπάνω εξάρτημα.

8

Βιβλιογραφία

1. Hopkins, J., 2001. πόνος "μέλους - φάντασμα". [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.in.gr/2001/10/17/health/health-news/apokalyptontai-ta-aitia toy-ponoy-sto-melos-fantasma-epeita-apo-akrwtiriasmo/>
2. Κοτρώνη, Α., n.d. *MedReha*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.medreha.com/>
3. Δρ. Σπυριούνης, Π., 2017. *Τραύμα - ακρωτηριασμοί άκρων*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://www.spyriounis-plastic.gr/102-diorthosi-kolovomaton-akrotiriasmou-gia-prosthetiki-melous>
4. D. J. Atkins, R.H. Meier III, *Comprehensive Management of the upper-limb amputee*, Springer-Verlag, New York, 1989.
5. Anon., n.d. *How artificial limb is made - material, manufacture, making, used, parts, components, structure, procedure*. [Ηλεκτρονικό] Available at: www.madehow.com
6. Hunter_Oatman, 2012. *Collectors Weekly*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://www.collectorsweekly.com/articles/war-and-prosthetics/>
7. Troncossi, M., 2006. *Prototype manufacturing of a novel teo-DoF myoelectric shoulder*. s.l.:University of Bologna.
8. *Hero Arm*. n.d. [Video] United Kingdom: Open Bionics. Available at: https://www.youtube.com/watch?v=HUW_m7oYVP4
9. *Hero_Arm_by_Open_Bionics*, n.d. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://openbionics.com/hero-arm/>
10. *prosthetic_arm_cost*, n.d. [Ηλεκτρονικό] Available at: <http://health.costhelper.com/prosthetic-arms.html>
11. *Σύνθετα υλικά*, n.d. *Σύνθετα Υλικά (Composites)*. [Ηλεκτρονικό] Available at: http://courseware.mech.ntua.gr/ml00001/mathimata/C1_Sintheta_ilika.pdf
12. *Carbon Fiber Composites*, Deborah D. L. Chung, Butterworth-Heinemann
13. Wikipedia, n.d. *Polyoxymethylene*. [Ηλεκτρονικό] Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Polyoxymethylene>
14. *Μεταλλογνωσία*, ΤΟΜΟΣ ΙΙΙ «Τα Βιομηχανικά Κράματα», Κωνσταντίνου Κονοφάγου καθηγητού ΕΜΠ, 1984.
15. Wikipedia, n.d. *Polylactic acid*. [Ηλεκτρονικό] Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Polylactic_acid
16. G. Boothroyd, P. Dewhurst, 1989. *Product Design for Manufacture and Assembly*. s.l.:Marcell Dekker.

17. Bedworth, D.D., Henderson, M.R., Wolfe, P.M. (1991) Computer-integrated design and manufacturing, McGraw-Hill, New York.
18. PTC_Corp., n.d. *PTC Features*. [Ηλεκτρονικό]
Available at:
https://support.ptc.com/help/creo_hc/creo30_pma_hc/usascii/index.html#page/part_modeling/part_modeling/part_three_sub/About_the_Extruded_Feature.html
19. COMPOSITE MATERIALS design and applications Daniel Gay Suong V. Hoa Stephen W. Tsai CRC press.
20. Καπετανάκης_Μιχάλης, 2014. *Έρευνα και μελέτη των κραμάτων αλουμινίου και τρόποι ενίσχυσης των μηχανικών ιδιοτήτων τους*. Ηράκλειο: ΤΕΙ Κρητης.