

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ



ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΡΟΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΨΗΦΙΑΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ
ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΟΥ ΧΕΡΙΟΥ

ΛΟΥΚΡΕΖΗΣ ΑΛΚΙΒΙΑΔΗΣ ΣΤΥΛΙΑΝΟΣ

Διπλωματική Εργασία υποβληθείσα στο Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής ως μέρος των απαιτήσεων για την απόκτηση Προπτυχιακού Διπλώματος

Αιγάλεω, Ιούνιος 2024

**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND
PRODUCTION ENGINEERING**



**UNDERGRADUATE PROGRAM
THESIS**

**THREE DIMENSIONAL DIGITAL DESIGN OF A
PROSTHETIC ARM**

**BY
LOUKREZIS ALKIVIADIS STILIANOS**

Thesis submitted to Department of Industrial Design and Production Engineering of University of West Attica as part of the requirements for Undergraduate Degree acquisition

Egaleo, June 2024

Επιτροπή Αξιολόγησης Διπλωματικής Εργασίας

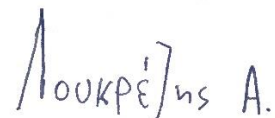
Όνοματεπώνυμο	Βαθμίδα	Ψηφιακή Υπογραφή
Αζαριάδης-Τοπάλογλου Φίλιππος	Καθηγητής	
Χειρχαντέρη Γεωργία	Επίκουρη Καθηγήτρια	
Συμεωνάκη Ελένη	ΕΔΙΠ	

Δήλωση Συγγραφέα Διπλωματικής Εργασίας

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Λουκρέζης Αλκιβιάδης-Στυλιανός του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 18389116, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών:



Λουκρέζης Αλκιβιάδης Στυλιανός

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη στον κύριο Αζαριάδη Φίλιππο, του οποίου η καθοδήγηση, η υποστήριξη και ευγένειά του ήταν πολύτιμη καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας ολοκλήρωσης αυτής της διπλωματικής εργασίας. Είμαι επίσης βαθιά ευγνώμων στην οικογένειά μου για την ενθάρρυνση, κατανόηση και υπομονή τους κατά τη διάρκεια της φοίτησής μου. Τέλος, εκφράζω τις ευχαριστίες μου στους υπόλοιπους αξιότιμους καθηγητές που μου μετέδωσαν τις γνώσεις και τη σοφία τους, διαμορφώνοντας την εκπαιδευτική μου εξέλιξη όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	xi
Abstract.....	xiii
Κατάλογος Πινάκων.....	xv
Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	xvii

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γενικές Πληροφορίες Προσθετικών

1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Χρονική εξέλιξη προσθετικών.....	1
1.3 Βαθμοί ακρωτηριασμού.....	3
1.4 Κατηγορίες προσθετικών άνω άκρων.....	8
1.5 Ανακεφαλαίωση.....	15

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ανάλυση Μυοηλεκτρικής Πρόθεσης Αντιβραχίου

2.1 Εισαγωγή.....	15
2.2 Λειτουργία μυοηλεκτρικού προσθετικού αντιβραχίου.....	15
2.3 Η πορεία πρόσθεσης από την αξιολόγηση ως την αποκατάσταση....	17
2.4 Οφέλη και μειονεκτήματα μυοηλεκτρικής πρόθεσης.....	19
2.5 Ανακεφαλαίωση.....	23

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Προετοιμασία Παραγωγής Προσθετικού

3.1 Εισαγωγή.....	23
3.2 Επιλογή εξαρτημάτων.....	23
3.3 Προετοιμασία των εξαρτημάτων για την πρόσθεση.....	25
3.4 Προκαταρκτικά στάδια σχεδίασης.....	28
3.5 Ανακεφαλαίωση.....	29

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σχεδίαση Μυοηλεκτρικής Πρόθεσης Αντιβραχίου

4.1 Εισαγωγή.....	30
4.2 Ορισμοί βασικών εργαλείων του 3ds Max.....	30
4.3 Ανάλυση της σχεδιαστικής διαδικασίας του μοντέλου.....	33
4.4 Λεπτομέρειες και τελικά στάδια παραγωγής του μοντέλου.....	48
4.5 Ανακεφαλαίωση.....	53

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54
--------------------------	-----------

Τρισδιάστατη Ψηφιακή Σχεδίαση Προσθετικού Χεριού

Λέξεις Κλειδιά: Σχεδίαση, μυοηλεκτρικού, προσθετικού, CAD, μοντέλου, προσομοίωσης

Περίληψη

Η διπλωματική εργασία αποσκοπεί στη σχεδίαση μέσω μεθοδολογίας CAD ενός μυοηλεκτρικού προσθετικού χεριού ικανού να φέρει εις πέρας ικανότητες ενός κανονικού χεριού, ώστε να αποτελέσει λύση και να είναι εύκολο στην προσαρμογή για άτομα που έχουν χάσει το ένα άκρο. Οι στόχοι της εργασίας είναι η παραγωγή λεπτομερειακού 3D μοντέλου του προσθετικού χεριού και εξέταση δυνατότητας κατασκευασιμότητας και προσομοίωσης αυτού.

Three Dimensional Digital Design of a Prosthetic Arm

Keywords: Design, myoelectric, prosthetic, CAD, model, simulation

Abstract

The thesis aims to develop a CAD design of a myoelectric prosthetic arm capable of performing the functions of a normal hand, in order to provide a solution and easy adaptation for people who have lost a limb. The objectives of this work are to produce a detailed 3D model of the prosthetic hand and to examine the feasibility of its manufacturability and simulation.

Κατάλογος Πινάκων

1. Χαρακτηριστικά διαφορετικών τύπων πρόθεσης	22
---	----

Κατάλογος Διαγραμμάτων

1. Επίπεδα ακρωτηριασμού	4
2. Κατηγορίες προσθετικών.....	9
3. Σύνδεση εξαρτημάτων του προσθετικού.....	27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Γενικές Πληροφορίες Προσθετικών

1.1 Εισαγωγή

Η εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα της προσθετικής τις τελευταίες δεκαετίες διαδραματίζει σπουδαίο ρόλο στην άρση των κοινωνικών ανισοτήτων μέσα από τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων με αναπηρία. Συγκεκριμένα, η συνεχής πρόοδος στον τομέα των προσθετικών είναι ενθαρρυντική για το συγκεκριμένο σκοπό, καθώς διατίθενται πολλές εναλλακτικές και διαφορετικά είδη προσθετικών τεχνολογιών που προσαρμόζονται στις οικονομικές, μηχανικές και αισθητικές ανάγκες του ατόμου. Ταυτόχρονα, σημειώνονται βήματα για την παραγωγή καινοτόμων τεχνολογιών που δίνουν καλύτερες λύσεις στις ανάγκες αυτές, τα οποία οδηγούν τελικά στην επιδίωξη μεγαλύτερων και πιο φιλόδοξων στόχων.

Ο τομέας της μυοηλεκτρικής πρόθεσης αποτελεί μια από τις πιο εξελιγμένες μεθόδους πρόθεσης οι οποίες είναι εμπορικά διαθέσιμες και οι οποίες συνδυάζουν περίπλοκες κινήσεις με την ταυτόχρονη δυνατότητα παραγωγής αληθοφανών κοσμητικών γαντιών. Δεν μπορεί, ωστόσο, να αγνοηθεί το γεγονός ότι ακόμα και σήμερα το κόστος για αυτήν την κατηγορία προσθετικών είναι ακόμα αρκετά υψηλό, μετριάζοντας ως ένα βαθμό τα υψηλά τους οφέλη και επηρεάζοντας σημαντικά την πρόσβαση στον μέσο χρήστη. Παρόλα αυτά, κορυφαίες εταιρείες στον τομέα των προσθετικών, όπως είναι η Ottobock ή η Össur, έχουν επενδύσει σε αυτήν την πολλά υποσχόμενη τεχνολογία, συμβάλλοντας σημαντικά στην ανάπτυξη και στην εξέλιξή της.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθεί η ιστορική εξέλιξη των προσθετικών και κυρίως της εισαγωγής της μυοηλεκτρικής τεχνολογίας στον τομέα των προσθετικών, δείχνοντας έτσι την τεράστια συνεισφορά που είχε σε αυτόν τον κλάδο. Ακόμα, θα αναφερθούν οι διαφορετικοί βαθμοί ακρωτηριασμού, καθώς ο βαθμός αυτός διαδραματίζει εξαιρετικά σημαντικό ρόλο στην επιλογή κατάλληλης κατηγορίας προσθετικού και στη λειτουργικότητα της πλειοψηφίας των κατηγοριών αυτών. Τέλος, η ανάλυση των διαφορετικών προσθετικών τεχνολογιών και η σύγκρισή τους, θα αναδείξει τα πλεονεκτήματα αλλά και τις αδυναμίες της καθεμίας.

1.2 Χρονική εξέλιξη προσθετικών

Ιστορικά υπάρχουν ενδείξεις για τη χρήση προσθετικών από την εποχή της αρχαίας Αιγύπτου. Τα προσθετικά αυτά αναπτύχθηκαν για λειτουργικούς και αισθητικούς λόγους, αλλά και για την ψυχοπνευματική αίσθηση της πληρότητας, καθώς πολλοί αρχαίοι πολιτισμοί φοβόντουσαν ότι ο ακρωτηριασμός θα επηρέαζε και τη μετά θάνατον ζωή. Ανάμεσα στα παλαιότερα παραδείγματα προσθετικού είναι μια μούμια η οποία χρονολογείται περίπου τον 15^ο αιώνα π.Χ. και η οποία εκτίθεται στο Μουσείο του Καΐρου. Στη μούμια αυτή, στη θέση ενός δαχτύλου του ποδιού που είχε ακρωτηριαστεί βρίσκεται πρόθεση κατασκευασμένη από δέρμα και ξύλο. Ακόμα, στα βιβλία του Ηρόδοτου αναφέρεται η χρήση προσθετικού στην περίπτωση ενός Πέρση στρατιώτη που αντικατέστησε το πόδι του με ξύλινο. Τα παραπάνω παραδείγματα αποτυπώνουν την ανάγκη του ατόμου για πληρότητα και αποκατάσταση των άκρων, υπογραμμίζοντας ως αποτέλεσμα τη σημασία του τομέα της προσθετικής. [1]

Παρόλο που από τα αρχαία κιόλας χρόνια μπορούσαν να δοθούν λύσεις στην απώλεια ενός άκρου, υπήρχαν σοβαρές επιπλοκές, όπως κίνδυνος μόλυνσεων ή ταλαιπωρία του ασθενή, καθώς οι ακρωτηριασμοί γινόντουσαν χωρίς έμφαση στην απολύμανση και χωρίς αναισθησία τουλάχιστον μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα. Για τους λόγους αυτούς τέτοιες επεμβάσεις ήταν πιθανό να προκαλέσουν μεγαλύτερα προβλήματα υγείας αντί να δώσουν λύσεις σε άτομα που τις είχαν ανάγκη για να συνεχίσουν τη ζωή τους. Ωστόσο, καθώς η επιστήμη και η γνώση εξελίσσονταν, ταυτόχρονα μειώνονταν οι επιπλοκές και αυξάνονταν τα αποτελέσματα τέτοιων επεμβάσεων, αυξάνονταν και οι εναλλακτικές όσον αφορά τα προσθετικά μέλη.

Συγκεκριμένα, η μυοηλεκτρική πρόθεση χρονολογείται από τη δεκαετία του 1940, αλλά σημαντική πρόοδος σημειώνεται τη δεκαετία του 1960. Η πρώτη εμπορική μυοηλεκτρική πρόθεση αναπτύχθηκε στην ΕΣΣΔ και αργότερα σε άλλες χώρες. Η λογική της μυοηλεκτρικής τεχνολογίας, η οποία σε μεγάλο βαθμό παραμένει παρόμοια μέχρι σήμερα στις περισσότερες εμπορικές συσκευές, είναι ότι η συσκευή εκτελείται είτε σε λειτουργία on/off, είτε σε αναλογική λειτουργία συγκρίνοντας το πλάτος του επιφανειακού ηλεκτρομυογραφήματος (εΗΜΓ) με ένα συγκεκριμένο κατώτατο όριο. Ωστόσο, ο αριθμός των αξιόπιστων τρόπων λειτουργίας που μπορούσαν να ελεγχθούν ανά κανάλι περιοριζόταν σε τρεις και οι χρήστες δυσκολευόντουσαν να μάθουν τη διαδικασία της μυϊκής συστολής. Η έλευση των μεθόδων δοκιμής με βάση την αναγνώριση μοτίβων αποτέλεσε σημαντικό επίτευγμα ως προς την ανάπτυξη των μυοηλεκτρικών προθέσεων με αποτέλεσμα να γίνουν αξιόλογα βήματα προς την αντιστοίχιση των προβλεπόμενων κινήσεων σε ένα συγκεκριμένο πρότυπο εΗΜΓ.

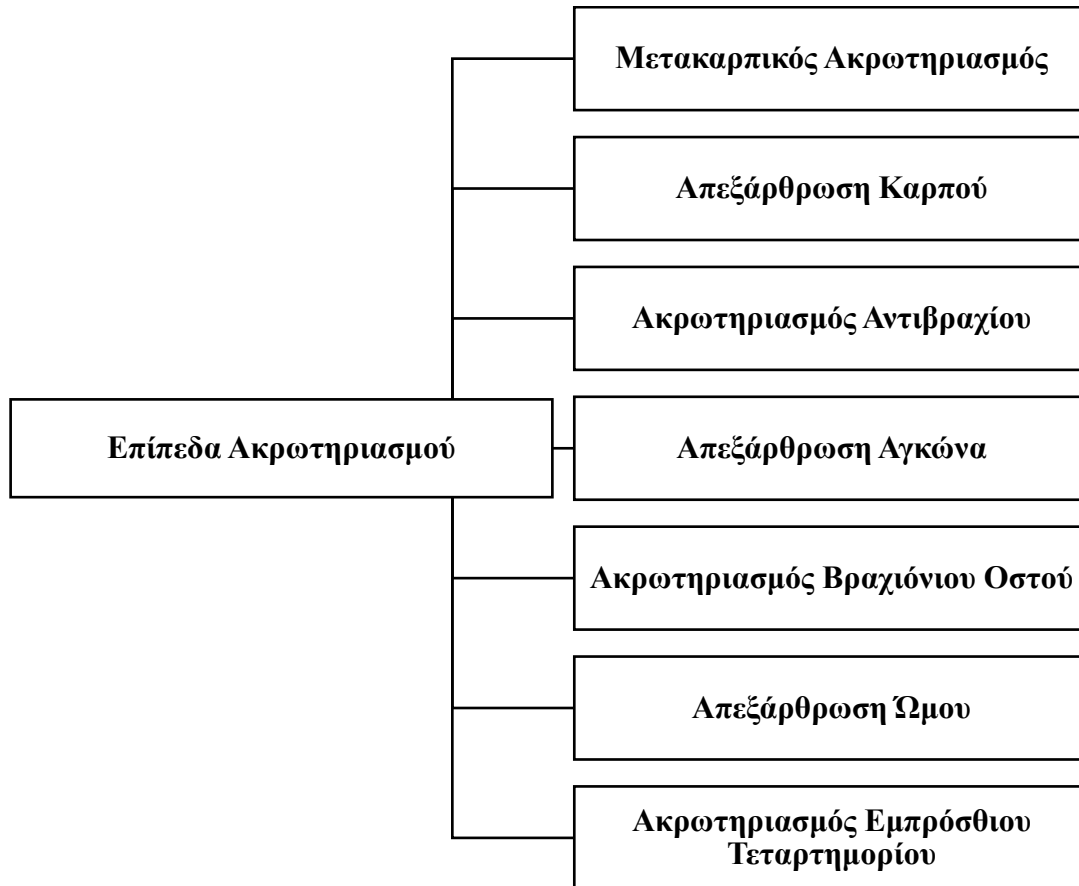
Τα κύρια βήματα περιλάμβαναν τη λήψη μετρήσεων εΗΜΓ, την εξαγωγή χαρακτηριστικών αναγνώρισης από τα καταγεγραμμένα μοτίβα εΗΜΓ, την ταξινόμηση διαφορετικών προβλεπόμενων κινήσεων και την εντολή στον ελεγκτή πρόθεσης να εκτελέσει τις κινήσεις. Τις τελευταίες δεκαετίες, η απόδοση ταξινόμησης αυτών των αλγορίθμων που βασίζονται σε αναγνώριση μοτίβων έχει βελτιωθεί σημαντικά με τη χρήση διαφορετικών τύπων χαρακτηριστικών εΗΜΓ και ταξινομητών για τον εντοπισμό του κολοβώματος (υπολειπόμενου άκρου) του χρήστη. Έτσι, η δοκιμή με βάση την αναγνώριση μοτίβων έχει γίνει η πιο υποσχόμενη μέθοδος για διαισθητικό και εύκολο χειρισμό των προθέσεων των άνω άκρων. Επιπλέον, καινοτόμες χειρουργικές διαδικασίες όπως η στοχευμένη μυϊκή επανανεύρωση έχουν παράσχει φυσιολογικά σχετικά μυοηλεκτρικά σήματα που σχετίζονται με την προηγούμενη λειτουργία του ελλείποντος χεριού. Αυτό επέτρεψε τη χρήση δοκιμών αναγνώρισης μοτίβων σε άτομα με ακρωτηριασμένο χέρι πάνω από τον αγκώνα.

Όμως, η αδυναμία ταυτόχρονου και αναλογικού ελέγχου πολλών βαθμών ελευθερίας, η έλλειψη αισθητηριακής ανταπόκρισης κατά τη διάρκεια της κανονικής εκτέλεσης της εργασίας, η έλλειψη προσαρμοστικών αλγορίθμων επεξεργασίας σήματος για τον μετριάσμο των επιπτώσεων διαφόρων αλλαγών (όπως στη μυϊκή συστολή, τη θέση των ηλεκτροδίων, τη μυϊκή κόπωση κ.λπ.) και η έλλειψη προσέγγισης σύντηξης αισθητήρων είναι παράγοντες που έχουν εμποδίσει την ανάπτυξη ενός κλινικά βιώσιμου συστήματος ελέγχου αναγνώρισης μοτίβων. Για να γεφυρωθεί αυτό το χάσμα μεταξύ των σημερινών προσεγγίσεων στην έρευνα και στην αγορά, χρειάστηκε να μετατοπιστεί το επίκεντρο της έρευνας από τη βελτίωση της ακρίβειας ταξινόμησης στο μετριάσμο των επιπτώσεων αυτών των παραγόντων. [2] [3]

1.3 Βαθμοί ακρωτηριασμού

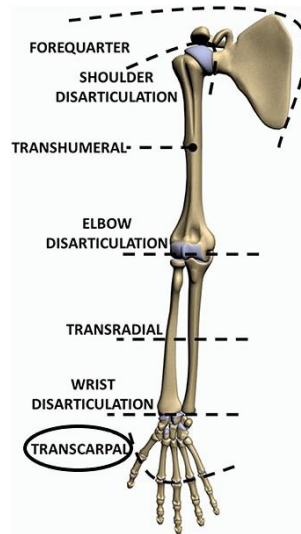
Το επίπεδο ακρωτηριασμού έχει σημαντικό ρόλο, καθώς ανάλογα με το μέρος του χεριού που χάνεται κάποια τεχνολογία ενδέχεται να έχει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις υπόλοιπες και οι δυνατότητες της κάθε τεχνολογίας ως επί το πλείστον ποικίλλουν. Κάθε βαθμός εμφανίζει μοναδικές δυσκολίες στη χειρουργική τεχνική, την προσθετική προσαρμογή και τα λειτουργικά αποτελέσματα. Τα επίπεδα αυτά ποικίλλουν, από ένα μετακάρπιο

ακρωτηριασμό, μέχρι και τον ακρωτηριασμό εμπρόσθιου τεταρτημορίου. Η ολοκληρωμένη γνώση αυτών των επιπέδων κρίνεται απαραίτητη για τη βελτιστοποίηση της φροντίδας των ασθενών, τη διευκόλυνση προσαρμοσμένων στρατηγικών αποκατάστασης και τη βελτίωση της συνολικής ποιότητας ζωής των ασθενών. Τα επίπεδα ακρωτηριασμού είναι τα παρακάτω:



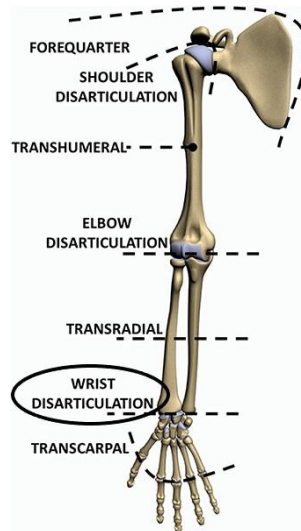
Διάγραμμα 1: Επίπεδα ακρωτηριασμού [4]

1. **Μετακαρπικός Ακρωτηριασμός:** Υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα ακρωτηριασμού στην παλάμη. Αυτά ποικίλλουν από έναν ακρωτηριασμό ψηφίων ή δακτύλων έως έναν ακρωτηριασμό μέσω των οστών του χεριού. Μερικές φορές ο ακρωτηριασμός ψηφίων διαφοροποιείται ως βαθμίδα, αλλά συνήθως ανήκει στον μετακαρπικό ακρωτηριασμό.



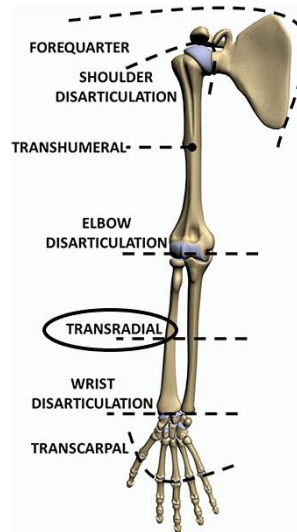
Εικόνα 1: Μετακαρπικός Ακρωτηριασμός [4]

2. Απεξάρθρωση Καρπού: Σε αυτόν τον ακρωτηριασμό το άκρο χάνεται στο ύψος του καρπού αφήνοντας ανεπηρέαστα τα οστά και τους μύες του αντιβραχίου. Υπάρχει δυνατότητα εκτέλεσης όλων των κινήσεων του βραχίονα και του αντιβραχίου. Επιπλέον, μπορούν να συσπαστούν οι υπολειπόμενοι μύες που είναι υπεύθυνοι για τις κινήσεις του καρπού και των δακτύλων με αποτέλεσμα να υπάρχουν αρκετές επιλογές.



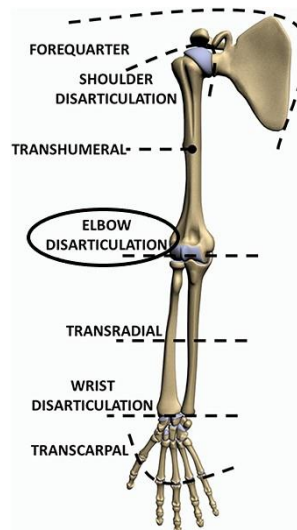
Εικόνα 2: Απεξάρθρωση Καρπού [4]

3. Ακρωτηριασμός Αντιβραχίου (Transradial): Το άκρο χάνεται σε οποιοδήποτε σημείο μεταξύ καρπού και αγκώνα και πιο συγκεκριμένα στην περιοχή των οστών της κερκίδας και της ωλένης. Ωστόσο, εφόσον υπάρχει ακόμα ένα τμήμα του αντιβραχίου, μπορεί να επιτευχθεί περιστροφή. Επιπλέον, είναι δυνατή η σύσπαση των υπολοίπων μυών που είναι υπεύθυνοι για τις περισσότερες κινήσεις του καρπού και των δακτύλων.



Εικόνα 3: Ακρωτηριασμός Αντιβραχίου [4]

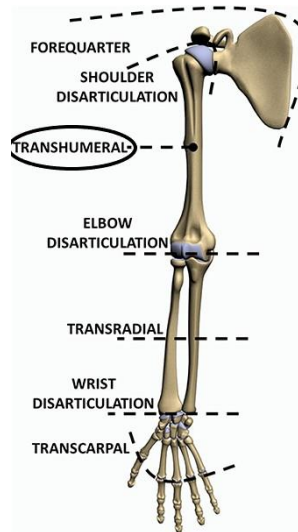
4. Απεξάρθρωση Αγκώνα: Το άκρο χάνεται από τον αγκώνα και κάτω και οι κινήσεις του αγκώνα, του καρπού και των δαχτύλων δεν μπορούν να επιτευχθούν χωρίς κάποιο προσθετικό μέλος που τις διαθέτει. Παρόλα αυτά, υπάρχουν αρκετές εναλλακτικές σε προσθετικές τεχνολογίες ώστε να βρεθούν λύσεις για μια τόσο σοβαρή επέμβαση.



Εικόνα 4: Απεξάρθρωση Αγκώνα [4]

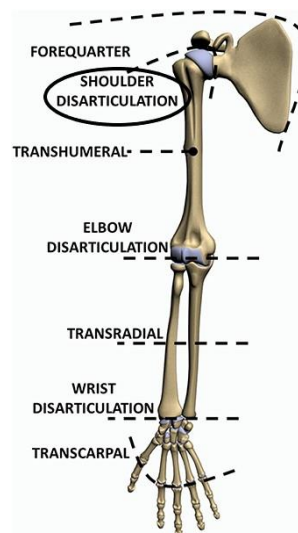
5. Ακρωτηριασμός Βραχιόνιου Οστού: Ο ακρωτηριασμός πραγματοποιείται μεταξύ του ώμου και του αγκώνα στο οστό του βραχίονα. Σε αυτό το επίπεδο ακρωτηριασμού χάνεται όλη η λειτουργικότητα και οι μύες του αντιβραχίου. Ο ακρωτηριασμός σε αυτόν αλλά και σε μεγαλύτερους βαθμούς καθιστά δύσκολη την αποκατάσταση.

Εντούτοις, χάρη στις εξελίξεις στην προσθετική τεχνολογία, τα άτομα μπορούν να επιτύχουν μια ικανοποιητική και σχετικά ενεργή ζωή μετά τον ακρωτηριασμό.



Εικόνα 5: Ακρωτηριασμός Βραχιόνιου Οστού [4]

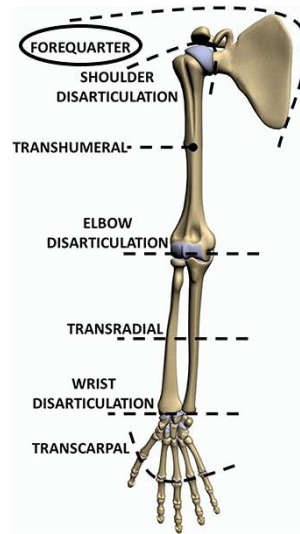
6. Απεξάρθρωση Ωμου: Σε αυτό το επίπεδο χάνεται το χέρι με μύες και οστά με αποτέλεσμα το προσθετικό να διαθέτει λειτουργικότητα ενός ολόκληρου άνω άκρου.



Εικόνα 6: Απεξάρθρωση Ωμου [4]

7. Ακρωτηριασμός Εμπρόσθιου Τεταρτημορίου: Σε αυτό το επίπεδο χάνεται η ωμοπλάτη με την κλείδα. Ως τελευταίο στάδιο ακρωτηριασμού άνω άκρου το προσθετικό θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο για την αντικατάσταση ολόκληρου του άκρου και της ωμικής ζώνης, με υποδοχή που εκτείνεται πάνω από το θωρακικό τοίχωμα για να

παρέχει στήριξη και προσάρτηση και επιπλέον να χρησιμοποιεί μηχανικά εξαρτήματα για την αναπαραγωγή της κίνησης και της λειτουργικότητας του ώμου. [5] [6]

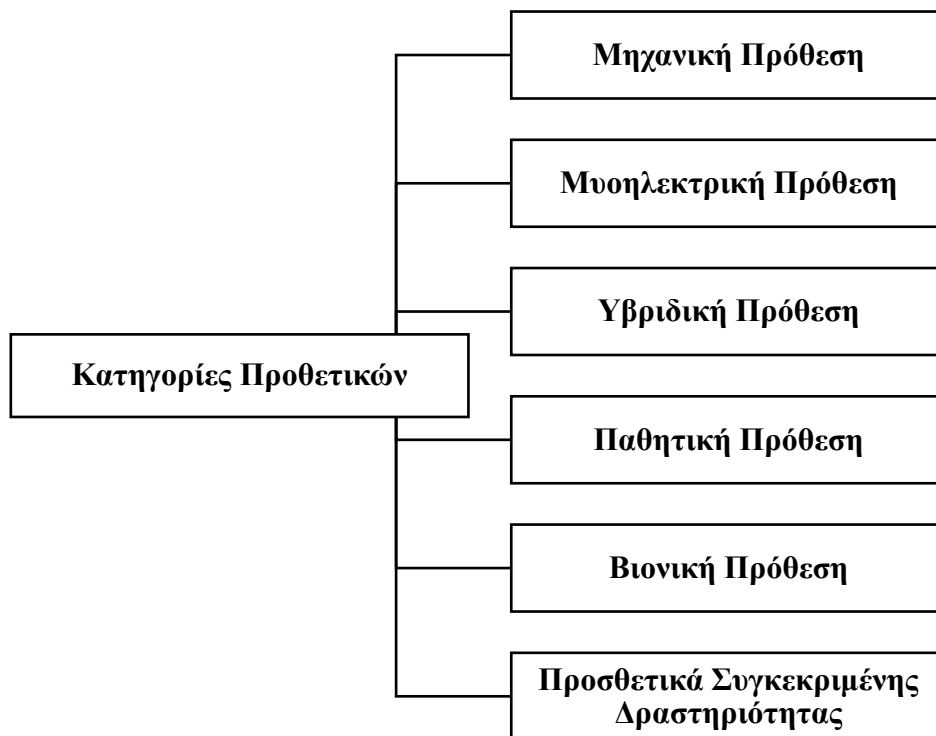


Εικόνα 7: Ακρωτηριασμός Εμπρόσθιου Τεταρτημορίου [4]

1.4 Κατηγορίες προσθετικών άνω άκρων

Η εξέλιξη των τεχνολογιών προσθετικών χεριού είναι διαρκής, προσφέροντας όλο και μεγαλύτερη ανεξαρτησία στα άτομα που ζουν με απώλεια άνω άκρων. Αυτές οι εξελίξεις δεν απεικονίζουν μόνο την τεχνολογική πρόοδο, αλλά ενσωματώνουν επίσης τη δέσμευση για τη βελτίωση της ζωής όσων βασίζονται σε προσθετικές λύσεις για να μπορέσουν να ανακτήσουν την αίσθηση της κανονικότητας και της αυτονομίας. Για τους σκοπούς αυτούς αξιοποιούνται προηγμένα υλικά, εξελιγμένες αρχές μηχανικής και σχεδιασμό με επίκεντρο τον χρήστη.

Στη σημερινή εποχή ο τομέας των προσθετικών έχει αναπτυχθεί ραγδαία και για αυτόν το λόγο υπάρχουν πολλές διαφορετικές εναλλακτικές, ώστε να προσαρμόζονται καλύτερα στις λειτουργικές, οικονομικές αλλά και αισθητικές ανάγκες του χρήστη, προσφέροντας βελτιωμένη επίδοση, ποικιλία επιλογών και προσαρμοστικότητα. Οι επιλογές εξατομίκευσης περιλαμβάνουν ρυθμιζόμενες λαβές, εναλλάξιμα εξαρτήματα και αρθρωτά μέρη που προσαρμόζονται σε διαφορετικούς τρόπους ζωής και δραστηριότητες. Όσον αφορά τις τεχνολογίες, ο ασθενής έχει μεγάλο εύρος επιλογών από προσθέσεις οι οποίες είναι μη λειτουργικές, και στοχεύουν απλώς στην αποκατάσταση μέχρι προσθέσεις περίπλοκων λειτουργιών. Οι βασικές κατηγορίες των προσθετικών για άνω άκρα είναι οι εξής:



Διάγραμμα 2: Κατηγορίες προσθετικών [7]

1. Μηχανική πρόθεση: Αυτές οι προσθετικές συσκευές χρησιμοποιούν καλώδια, ιμάντες και πιο συγκεκριμένα ιμάντες ώμου ή πλάτης για τον έλεγχο των κινήσεων του προσθετικού μέλους μέσω της ικανότητας του χρήστη. Ο ίδιος παράγει κίνηση χρησιμοποιώντας τους υπόλοιπους μύες του σώματός του για να τραβήξει τα καλώδια, τα οποία με τη σειρά τους ελέγχουν τις λειτουργίες του προσθετικού μέλους.



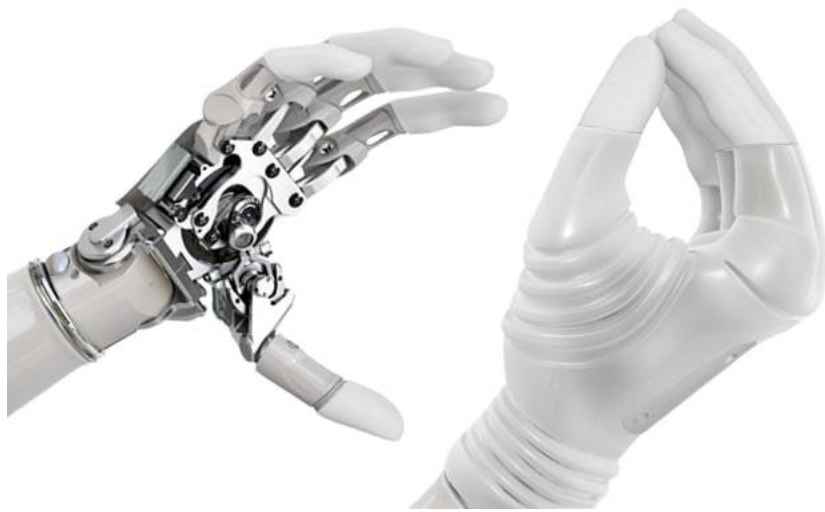
Εικόνα 8: NEXO της Fillauer [11]

2. Μυοηλεκτρική πρόθεση: Τα μυοηλεκτρικά προσθετικά εξαρτήματα τροφοδοτούνται από ηλεκτρικά σήματα από τους μύες του χρήστη. Ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στο δέρμα πάνω από τους εναπομείναντες μύες ανιχνεύουν τις μυϊκές συσπάσεις, οι οποίες στη συνέχεια μεταφράζονται σε κινήσεις του προσθετικού χεριού ή βραχίονα. Τα μυοηλεκτρικά προσθετικά προσφέρουν τις περισσότερες φορές πιο φυσικές κινήσεις και μπορούν να ελεγχθούν πιο διαισθητικά σε σύγκριση με τις μηχανικές προθέσεις.



Εικόνα 9: MyoPlus της Ottobock [12]

3. Υβριδική πρόθεση: Οι υβριδικές προσθετικές συσκευές συνδυάζουν στοιχεία τόσο των μηχανικών, όσο και των μυοηλεκτρικών σχεδίων. Μπορεί να ενσωματώνουν μια καλωδίωση σώματος για έλεγχο μαζί με κάποια μυοηλεκτρικά στοιχεία, αξιοποιώντας παραπάνω από μια τεχνολογία πρόσθεσης για επίτευξη βελτιωμένης λειτουργικότητας.



Εικόνα 10: Michelangelo Hand της Ottobock [13]

4. Παθητική πρόθεση: Τα προσθετικά αυτού του είδους είναι μη μηχανοκίνητες συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για να αντικαθιστούν τα χαμένα άκρα. Τα παθητικά προσθετικά δεν διαθέτουν ηλεκτρονικά εξαρτήματα ή κινητήρες για να μιμηθούν τη φυσική κίνηση των άκρων και έχουν σχεδιαστεί καθαρά για αισθητικούς σκοπούς. Για τα άτομα που προτιμούν μια μη τεχνολογική και πιο προσιτή λύση, κρίνεται ιδανική επιλογή. Η αισθητική αποκατάσταση περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός φυσικού αντιγράφου σιλικόνης του χαμένου μέλους, το οποίο μπορεί να φορεθεί πάνω από το υπολειπόμενο μέλος. Είναι ελαφριές και συχνά προσαρμοσμένες, ώστε να μπορούν να ταιριάζουν με την εμφάνιση του φυσικού μέλους, παρέχοντας συμμετρία και αισθητική ισορροπία.



Εικόνα 11: Παθητικό προσθετικό [14]

5. Βιονική πρόθεση: Τα βιονικά προσθετικά είναι προηγμένες συσκευές που μπορούν να ενσωματώνουν ρομποτική τεχνολογία, για να μιμούνται πιο πιστά τη λειτουργία ενός φυσικού μέλους. Αποτελούν πρωτοποριακή εξέλιξη στον τομέα των υποστηρικτικών τεχνολογιών, που συνδυάζει τη ρομποτική, τη εμβιομηχανική και τα ηλεκτρονικά. Αυτού του είδους τα προσθετικά μπορούν να διαθέτουν μεμονωμένες κινήσεις δακτύλων, συστήματα αισθητηριακής ανταπόκρισης και προηγμένα χαρακτηριστικά ελέγχου. Η τεχνολογία αυτή μιμείται τη φυσική κίνηση των άκρων, παρέχοντας στους χρήστες δυνατότητες που κάποτε θεωρούνταν αδύνατες. Το μέλλον της βιονικής προσθετικής τεχνολογίας υπόσχεται πολλά, με τη συνεχιζόμενη έρευνα να στοχεύει στη συνεχή βελτίωση της οικονομικής προσιτότητας, της αποτελεσματικότητας και της ευρείας ένταξης τέτοιων καινοτόμων συσκευών στην παραγωγή. Είναι από τις καλύτερες μεθόδους προσθετικής τεχνολογίας που είναι διαθέσιμες σήμερα.



Εικόνα 12: Luke Arm της Deka Research [15]

6. Προσθετικά προσαρμοσμένα για συγκεκριμένη δραστηριότητα: Ορισμένα προσθετικά έχουν σχεδιαστεί για συγκεκριμένες δραστηριότητες, όπως αθλήματα ή χόμπι. Για το λόγο αυτό υπάρχουν πολλές υποκατηγορίες αυτού του είδους πρόθεσης χωρίς αυτά τα προσθετικά να έχουν παραπάνω λειτουργίες από όσες απαιτούνται. Αυτές οι προθέσεις προσαρμόζονται, ώστε να ανταποκρίνονται στις μοναδικές απαιτήσεις και τη εμβιομηχανική διαφόρων δραστηριοτήτων, όπως για παράδειγμα το τρέξιμο, η κολύμβηση, η ποδηλασία, η γκολφ, η πεζοπορία και τα θαλάσσια σπορ. [7] [8]



Εικόνα 13: Mill's Rebound Pro της Fillauer [16]

Αξίζει να αναφερθεί πως τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια ανάπτυξης καινούργιων τεχνολογιών προσθετικών μελών. Μια κατηγορία είναι αυτών ελεγχόμενων από το μυαλό, συνδυάζοντας ως αποτέλεσμα μυοηλεκτρική και βιονική τεχνολογία. Το προσθετικό μέλος ελέγχεται μέσω εγκεφαλικών εντολών, οι οποίες λαμβάνονται από ένα ακουστικό ηλεκτροεγκεφαλογραφίας (HEΓ) και ακόμα είναι εξοπλισμένο με ένα δίκτυο έξυπνων αισθητήρων και ενεργοποιητών που παρέχουν στον ασθενή έξυπνη ανταπόκριση σχετικά με το περιβάλλον και το αντικείμενο που έρχεται σε επαφή. Αυτό το δίκτυο παρέχει στο χέρι κανονική λειτουργικότητα του χεριού, καλά αντανακλαστικά και ομαλές κινήσεις. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι αισθητήρων, όπως αισθητήρες θερμοκρασίας, πίεσης, αισθητήρες προσέγγισης υπερήχων, επιταχυνσιόμετρα, ποτενσιόμετρα, μετρητές τάσης και γυροσκόπια. Οι συσκευές αυτές αποτελούν μια πρωτοποριακή διασταύρωση των νευροεπιστημών, της βιοϊατρικής μηχανικής και της ρομποτικής και αποτελούν πρωτοπορία στην ανάπτυξη νευροπροσθετικών συστημάτων, προσφέροντας μια ματιά σε ένα μέλλον όπου η τεχνολογία και το ανθρώπινο νευρικό σύστημα θα ενσωματώνονται απρόσκοπτα. [9]



Εικόνα 14: Σχέδιο πρόθεσης ελεγχόμενης από το μυαλό [17]

Μια άλλη καινοτόμα τεχνολογία είναι αυτή της οστεοενσωματωμένης πρόθεσης, δηλαδή πρόκειται για έναν εξειδικευμένο τύπο προσθετικού μέλους που περιλαμβάνει τη χειρουργική εμφύτευση ενός εξαρτήματος απευθείας στο οστό του υπολειπόμενου μέλους. Αυτή η προσέγγιση δημιουργεί μια άμεση σκελετική πρόσδεση για το προσθετικό μέλος, προσφέροντας αρκετά μοναδικά χαρακτηριστικά και οφέλη. Συγκεκριμένα, το εμφύτευμα είναι σχεδιασμένο να ενσωματώνεται με το οστό με την πάροδο του χρόνου όπου ο οστικός ιστός αναπτύσσεται και προσκολλάται στην επιφάνεια του εμφυτεύματος, μια διαδικασία γνωστή ως οστεοενσωμάτωση. Αυτή η ενσωμάτωση δημιουργεί έναν ανθεκτικό δεσμό μεταξύ του εμφυτεύματος και του οστού παρέχοντας βελτιωμένη άνεση και λειτουργικότητα. [10]



Εικόνα 15: Σχέδιο οστεοενσωματωμένης πρόθεσης [18]

1.5 Ανακεφαλαίωση

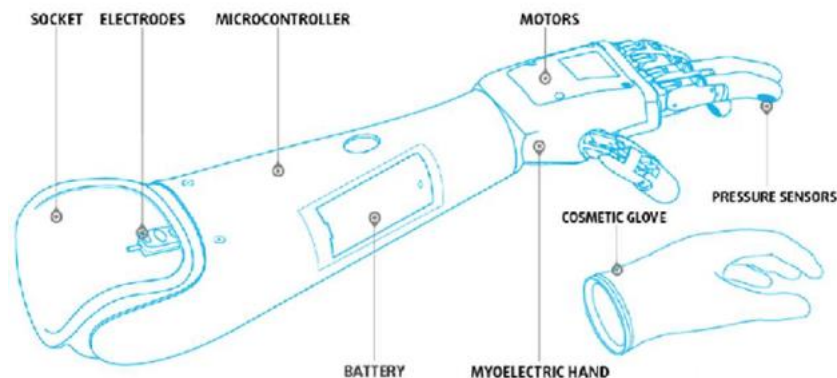
Κατά τη διάρκεια της ιστορίας των προσθετικών σημειώθηκαν σημαντικά ορόσημα όπως είναι η τεχνολογία μυοηλεκτρικής πρόθεσης. Η τεχνολογία αυτή, η οποία έχει δώσει λύσεις σε πολλούς ανθρώπους που επιζητούν μια αισιόδοξη αλλά σχετικά ακριβή ακόμα λύση όσον αφορά τις λειτουργικές και αισθητικές ανάγκες. Ευτυχώς, σήμερα οι διαθέσιμες επιλογές ποικίλλουν, οπότε ο κάθε χρήστης μπορεί να επιλέξει αυτήν που του ταιριάζει με βάση τις ανάγκες του και την οικονομική του δυνατότητα. Δεν θα πρέπει να παραλειφθεί ότι ήδη γίνονται βήματα για την εύρεση πιο αξιόπιστων λύσεων και εξελιγμένων τεχνολογιών που εστιάζουν στη βελτίωση κάθε τομέα για διευκόλυνση ατόμων σε ανάγκη, αποδεικνύοντας τη δυναμική του κλάδου στην ανάπτυξη του οποίου πολλές εταιρείες έχουν εστιάσει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ανάλυση Μυοηλεκτρικής Πρόθεσης Αντιβραχίου

2.1 Εισαγωγή

Εφόσον έχει προηγηθεί η αναφορά διαφορετικών προσθετικών κατηγοριών και έχει επιτευχθεί η περιγραφή τους για την κατανόηση των χαρακτηριστικών τους που τα διαφοροποιούν από τη μυοηλεκτρική τεχνολογία, σκοπός αυτού του κεφαλαίου είναι η εμβάθυνση στην τεχνολογία αυτή, και πιο συγκεκριμένα στο κομμάτι της πρόθεσης αντιβραχίου. Θα εξερευνηθεί εκτενώς η λειτουργία μιας τέτοιας συσκευής, η διαδικασία πρόσθεσής της, καθώς και η μετέπειτα αποκατάσταση, όσον αφορά την εκμάθηση και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής του χρήστη.

2.2 Λειτουργία μυοηλεκτρικού προσθετικού αντιβραχίου



Εικόνα 16: Κύρια μέρη μυοηλεκτρικού προσθετικού αντιβραχίου [19]

Στον πυρήνα της μυοηλεκτρικής πρόθεσης αντιβραχίου βρίσκεται η χρήση μυοηλεκτρικών σημάτων, τα οποία είναι ηλεκτρικά ερεθίσματα που παράγονται από τη σύσπαση των μυών στο υπολειπόμενο άκρο. Τα σήματα αυτά, περισσότερο γνωστά και ως σήματα επιφανειακού ηλεκτρομυογραφήματος (σήματα εΗΜΓ), ανιχνεύονται από ηλεκτρόδια που τοποθετούνται στην επιφάνεια του δέρματος ή εντός της υποδοχής της πρόθεσης πάνω από τον κατάλληλο μυ και στη συνέχεια μεταφράζονται σε συγκεκριμένες κινήσεις του προσθετικού χεριού ή του βραχίονα. Τα σήματα εΗΜΓ είναι εκείνα που πυροδοτούν τις λειτουργίες των κινητήρων και των αισθητήρων πίεσης, ενώ ολόκληρο το προσθετικό τροφοδοτείται μέσω μπαταρίας.

Αρχικά, οι κινητήρες, οι οποίοι βρίσκονται στην παλάμη της συσκευής, εξυπηρετούν τον έλεγχο της κίνησης του χεριού. Αυτοί οι κινητήρες λειτουργούν σε συνδυασμό με τα μυοηλεκτρικά σήματα που λαμβάνονται από τους εναπομείναντες μύες στο άκρο του χρήστη για να επιτρέπουν τον έλεγχο των διαφόρων λειτουργιών του χεριού, οι οποίες, εκτός από τον αποκλειστικό έλεγχο των κινήσεων των δαχτύλων περιλαμβάνουν επίσης την περιστροφή του καρπού, το άνοιγμα/κλείσιμο του χεριού και την απαγωγή/προσαγωγή του αντίχειρα.

Στη συνέχεια, οι αισθητήρες πίεσης, οι οποίοι βρίσκονται στα άκρα των δαχτύλων του προθητικού, επιτρέπουν στον αυτόνομο ελεγκτή να ανιχνεύει την επαφή με το αντικείμενο-στόχο, διευκολύνοντας έτσι την εφαρμογή του κοινού ελέγχου με βάση τις διαφορετικές προθέσεις του χρήστη και την απόφαση του αυτόνομου ελεγκτή. Αυτοί οι αισθητήρες είναι ζωτικής σημασίας για να μπορέσει το προσθετικό χέρι να γεφυρώσει αποτελεσματικά το χάσμα μεταξύ της πρόθεσης του χρήστη και των προσδοκιών εκτέλεσης της εργασίας, ανακουφίζοντας τον ίδιο και ενισχύοντας την αξιοπιστία του μυοηλεκτρικού ελέγχου.

Δεν θα μπορούσε να παραληφθεί η λειτουργία του μικροελεγκτή, ο οποίος αποτελεί βασικό συστατικό του μυοηλεκτρικού προσθετικού χεριού και έχει καθοριστικό ρόλο στην αλληλουχία των λειτουργιών του χεριού, στη διαχείριση των τρόπων λειτουργίας, στον χειρισμό των σφαλμάτων και στην παροχή τεχνητών αισθητηριακών πληροφοριών στον χρήστη. Λειτουργεί ως διπλή μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων, ενεργοποιώντας μεταβάσεις μεταξύ διαφορετικών λειτουργιών βάσει εντολών, και είναι υπεύθυνος για την επίτευξη ουσιαστικής λειτουργίας του χεριού μετά τη λήψη εξωτερικών εντολών, δηλαδή των σημάτων εΗΜΓ. Επιπλέον, ο μικροελεγκτής έχει σχεδιαστεί για να διαχειρίζεται αποτελεσματικά τις λειτουργίες χαμηλής ισχύος, προσφέροντας υψηλή απόδοση στη συσκευή.

Τέλος, η υποδοχή χρησιμεύει ως διεπαφή μεταξύ του κολοβώματος και της προσθετικής συσκευής και είναι υψίστης σημασίας για την παροχή ασφαλούς, άνετης και λειτουργικής σύνδεσης, ενώ είναι δυνατή η χρήση κοσμητικού γαντιού, προσομοιώνοντας οπτικά όσο το δυνατόν περισσότερο ένα αληθινό χέρι, ενισχύοντας έτσι σημαντικά το ηθικό του χρήστη. [19]

2.3 Η πορεία πρόσθεσης από την αξιολόγηση ως την αποκατάσταση

Η απόκτηση ενός μυοηλεκτρικού προσθετικού αντιβραχίου είναι ένα μετασχηματιστικό ταξίδι, που συνδυάζει την προηγμένη τεχνολογία με την εξατομικευμένη φροντίδα για αποκατάσταση της λειτουργικότητας και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των ατόμων που έχουν ακρωτηριαστεί κάτω από τον αγκώνα. Η διαδικασία εγκατάστασης του μυοηλεκτρικού άκρου αντιβραχίου γίνεται σε συγκεκριμένα στάδια, τα οποία αναφέρονται εκτενώς παρακάτω:

Αξιολόγηση του υποψηφίου: Το ταξίδι ξεκινά με μια ενδεδειγμένη αξιολόγηση που διενεργείται από έναν ειδικό προσθετολόγο, εστιάζοντας κυρίως στις ειδικές περιστάσεις του ατόμου, στους στόχους και στα χαρακτηριστικά που περιλαμβάνει το υπολειμματικό μέλος.

1. Ιατρική και φυσική αξιολόγηση: Αφορά τη λεπτομερή εξέταση για τη σωστή αξιολόγηση της υγείας του υπολειπόμενου μέλους, συμπεριλαμβανομένης της μυϊκής δύναμης, του εύρους επίτευξης των κινήσεων και τυχόν ανησυχιών ευαισθησίας.
2. Αξιολόγηση του τρόπου ζωής: Περιλαμβάνει την κατανόηση των καθημερινών δραστηριοτήτων του ατόμου, των επαγγελματικών απαιτήσεων και των χόμπι του, ώστε το προσθετικό μέλος να είναι όσο το δυνατόν προσαρμοσμένο στον τρόπο ζωής του.

Καθορισμός προσδοκιών: Μια ανοιχτή συζήτηση σχετικά με τις δυνατότητες και τους περιορισμούς των μυοηλεκτρικών προσθετικών αντιβραχίου μεταξύ του ειδικού και του ασθενή θέτει ρεαλιστικές προσδοκίες και βοηθά στην επιλογή της καταλληλότερης συσκευής.

1. Εισαγωγή στη μυοηλεκτρική τεχνολογία: Εξήγηση του τρόπου με τον οποίο οι μυοηλεκτρικές προσθετικές συσκευές χρησιμοποιούν ηλεκτρικά σήματα από τους μύες για τον έλεγχο της πρόθεσης για την κατανόηση της λειτουργίας από τον χρήστη.
2. Προεπισκόπηση των διαθέσιμων επιλογών: Παρουσίαση των διαφόρων διαθέσιμων μοντέλων και λειτουργιών, που ενδέχεται να διαφέρουν σε χαρακτηριστικά, όπως στα μοτίβα λαβής, στις κινήσεις του καρπού και σε άλλα προσαρμοσμένα χαρακτηριστικά.

Σχεδιασμός της υποδοχής: Η υποδοχή είναι η διεπαφή μεταξύ του κολοβώματος και του προσθετικού, που προσαρμόζεται έτσι ώστε να προσφέρει στον χρήστη άνεση και έλεγχο.

1. Διαμόρφωση του υπολειπόμενου μέλους: Επιτυγχάνεται μέσω της σχεδίασης ενός καλουπιού του υπολειπόμενου άκρου για τη διασφάλιση της ακριβούς προσαρμογής.
2. Δημιουργία δοκιμαστικής υποδοχής: Συχνά χρησιμοποιείται πρώτα μια δοκιμαστική υποδοχή για τη ρύθμιση της προσαρμογής μέσω οπτικής και φυσικής ανταπόκρισης.

Ενσωμάτωση μυοηλεκτρικών εξαρτημάτων: Ο πυρήνας ενός μυοηλεκτρικού προσθετικού μέλους, οι αισθητήρες και τα ηλεκτρονικά του, ενσωματώνονται προσεκτικά και προσαρμόζονται στα μυϊκά σήματα του ατόμου από τους μύες οι οποίοι είναι διαθέσιμοι.

1. Τοποθέτηση των ηλεκτροδίων: Προσεκτική τοποθέτηση ηλεκτροδίων μέσα στην υποδοχή για τη σωστή και ταυτόχρονα ακριβή ανίχνευση των μυϊκών κινήσεων.
2. Βαθμονόμηση και προγραμματισμός: Σε αυτό το βήμα επιτυγχάνεται η προσαρμογή του λογισμικού ώστε να μπορεί να ανταποκρίνεται κατάλληλα στα μυϊκά σήματα του χρήστη, επιτρέποντας τελικά τον ακριβή έλεγχο των κινήσεων του προσθετικού.

Εξοικείωση του χρήστη με την πρόθεση: Η αποτελεσματική εκπαίδευση είναι ζωτικής σημασίας για να γίνει ο χρήστης ικανός στον έλεγχο του νέου του μέλους και της κατάκτησης αυτής της τεχνολογίας, περιλαμβάνοντας μια σειρά από προοδευτικά απαιτητικές ασκήσεις.

1. Εκπαίδευση βασικών λειτουργιών: Ξεκινώντας με απλές εργασίες και ασκήσεις, όπως το άνοιγμα και το κλείσιμο του χεριού, και προχωρώντας σε πιο σύνθετες κινήσεις.

2. Εκπαίδευση λειτουργικής χρήσης: Εφαρμογή της χρήσης του προσθετικού μέλους σε πραγματικές καταστάσεις στις οποίες ο ασθενής χρειάζεται να μπορεί να ανταπεξέλθει, όπως για παράδειγμα στον χειρισμό αντικειμένων, ή στην πληκτρολόγηση.

Ψυχολογική προσαρμογή: Η προσαρμογή σε ένα μυοηλεκτρικό προσθετικό αντιβραχίου δεν είναι μόνο μια σωματική πρόκληση, αλλά και ένα συναισθηματικό και ψυχολογικό ταξίδι. Ο ασθενής κατά τη διάρκεια της πορείας αυτής δεν είναι μόνος και έχει την υποστήριξη ειδικών.

1. Συστήματα υποστήριξης: Ενθάρρυνση της συμμετοχής του ατόμου σε ομάδες υποστήριξης, συμβουλευτική και ομότιμων δικτύων για την αντιμετώπιση των συναισθηματικών πτυχών με τις οποίες συνήθως συνάδει η διαδικασία προσαρμογής.
2. Ανάπτυξη αυτοπεποίθησης και ανεξαρτησίας: Συμμετοχή σε δραστηριότητες και θεραπεία που ενισχύουν την ανεξαρτησία και την αυτοπεποίθηση του ασθενή όσον αφορά τη χρήση του προσθετικού μέλους εδραιώνοντας μια θετική ταυτότητα, αλλά και την ικανότητα του χρήστη να αντιμετωπίζει τις προκλήσεις με το νέο μέλος.

Τακτικές προσαρμογές και συντήρηση: Καθώς βελτιώνεται η επάρκεια και το επίπεδο άνεσης του χρήστη με το προσθετικό, σε επόμενο στάδιο είναι απαραίτητες οι συνεχείς προσαρμογές και ρυθμίσεις για να διασφαλιστεί η βέλτιστη λειτουργικότητα και άνεση.

1. Τελειοποίηση της προσαρμογής και της λειτουργίας: Οι προσαρμογές ανά τακτά διαστήματα τόσο στην εφαρμογή της υποδοχής όσο και στη επαναρρύθμιση των μυοηλεκτρικών αισθητήρων διασφαλίζουν τη συνεχή αποτελεσματικότητα και άνεση.
2. Συντήρηση ρουτίνας: Περιλαμβάνει ελέγχους για τη διατήρηση της λειτουργικότητας του προσθετικού, αντιμετώπιση της φθοράς ή των τεχνολογικών αναβαθμίσεων. [20]

2.4 Οφέλη και μειονεκτήματα μυοηλεκτρικής πρόθεσης

Έχοντας προβεί στην περιγραφή της μυοηλεκτρικής τεχνολογίας για πρόθεση αντιβραχίου, καθώς και την ανάλυση ολόκληρης της διαδικασίας της, κρίνεται καίριας σημασίας η αναφορά των βασικών θετικών και αρνητικών της τεχνολογίας αυτής, αποτελώντας μια απαραίτητη πληροφορία που οφείλει να γνωρίζει ο ασθενής για να προβεί ή να αποφύγει τελικά την πρόθεση αυτή. Παρακάτω παρατίθενται αναλυτικά μερικά από τα χαρακτηριστικά αυτά:

Οφέλη

1. Ενισχυμένη λειτουργικότητα και έλεγχος: Οι μυοηλεκτρικές προθέσεις προσφέρουν πιο φυσικό και διαισθητικό έλεγχο χρησιμοποιώντας τα ηλεκτρικά σήματα από τους μύες του υπολειπόμενου μέλους του χρήστη για τη λειτουργία της πρόθεσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το προσθετικό αυτής της τεχνολογίας να μιμείται τη φυσική κίνηση του χεριού και του βραχίονα με περισσότερη ακρίβεια από τις μηχανικές εναλλακτικές λύσεις, αποτελώντας ταυτόχρονα μια από τις πιο ευέλικτες προσθετικές επιλογές.
2. Επιλογές αισθητικής και προσαρμοστικότητας: Αυτές οι προθέσεις μπορούν να σχεδιαστούν έτσι ώστε να μοιάζουν πολύ με το φυσικό άκρο του χρήστη όσον αφορά το σχήμα, το μέγεθος και ακόμη και τον τόνο του δέρματος, προσφέροντας σημαντικά ψυχολογικά οφέλη που σχετίζονται με την εικόνα του σώματος και την κοινωνική αλληλεπίδραση. Συγκεκριμένα, πάνω από το μηχανισμό είναι δυνατό να τοποθετηθεί ένα αληθοφανές γάντι από σιλικόνη που θα προσφέρει την επιθυμητή εμφάνιση.
3. Καινοτόμα χαρακτηριστικά: Οι σύγχρονες μυοηλεκτρικές προθέσεις μπορούν να περιλαμβάνουν προηγμένα χαρακτηριστικά, όπως για παράδειγμα είναι η ρυθμιζόμενη δύναμη λαβής, τα πολλαπλά μοτίβα λαβής, ακόμη και η αισθητηριακή ανατροφοδότηση, δυνατότητες που δεν είναι διαθέσιμες στις μηχανικές προθέσεις.
4. Ενισχυμένη επιδεξιότητα και ακρίβεια: Οι μυοηλεκτρικές προθέσεις επιτρέπουν ακριβέστερο έλεγχο των προσθετικών δακτύλων και του χεριού, καθιστώντας δυνατή την επίτευξη εργασιών οι οποίες απαιτούν λεπτές κινητικές δεξιότητες. Συσκευές με μεγαλύτερο βαθμό ελευθερίας βελτιώνουν σημαντικά την ακρίβεια, ενώ γίνονται βήματα δημιουργίας προσθετικών με ίσους βαθμούς ελευθερίας με αληθινό χέρι.
5. Αυξημένο εύρος κίνησης: Τα προηγμένα μυοηλεκτρικά χέρια προσφέρουν πολλαπλές αρθρώσεις των δακτύλων και μια σειρά από μοτίβα λαβής, ενισχύοντας με αυτόν τον τρόπο σημαντικά την ικανότητα του χρήστη να εκτελεί ποικίλες εργασίες ώστε τελικά να μπορεί να ανταπεξέλθει όσο το δυνατόν καλύτερα στην παλιά του καθημερινότητα.
6. Μειωμένη σωματική καταπόνηση: Σε αντίθεση με τα προσθετικά που λειτουργούν με το σώμα και απαιτούν σημαντική σωματική προσπάθεια για τη λειτουργία τους, τα μυοηλεκτρικά προσθετικά παρέχουν τη δική τους ενέργεια, μειώνοντας την κόπωση του χρήστη, αφού οι κινητήρες μέσω σημάτων εΗΜΓ πραγματοποιούν τις κινήσεις.

Μειονεκτήματα

1. Υψηλό κόστος: Ένα από τα κύρια μειονεκτήματα των μυοηλεκτρικών προθέσεων είναι το κόστος τους. Η προηγμένη τεχνολογία και οι επιλογές προσαρμογής τις καθιστούν σημαντικά ακριβότερες τις αντίστοιχες μηχανικές, αποκλείοντας την σαν επιλογή και καθιστώντας την απαγορευτική σε άτομα που αδυνατούν να καλύψουν αυτό το κόστος.
2. Απαιτήσεις συντήρησης: Οι μυοηλεκτρικές προθέσεις απαιτούν τακτική συντήρηση και είναι πιο επιρρεπείς σε βλάβες από την υγρασία ή τις κρούσεις από ό,τι οι αντίστοιχες μηχανικές. Αυτό μπορεί δυνητικά να οδηγήσει σε υψηλότερο μακροπρόθεσμο κόστος και σε πιθανές περιόδους που δεν θα είναι δυνατή η χρήση του προσθετικού.
3. Καμπύλη εκμάθησης και προσαρμογή: Η περίοδος προσαρμογής της τεχνολογίας αυτής συχνά αποδεικνύεται δύσκολη. Υπάρχει συχνά μια ιδιαίτερη καμπύλη εκμάθησης που σχετίζεται με τη χρήση μιας μυοηλεκτρικής πρόθεσης. Οι χρήστες πρέπει να μάθουν να ελέγχουν με ακρίβεια τα ηλεκτρικά σήματα από τους μύες τους για να χειρίζονται αποτελεσματικά την πρόθεση, κάτι το οποίο μπορεί να είναι δύσκολο και χρονοβόρο.
4. Περιορισμένη απτική αίσθηση: Οι χρήστες των μυοηλεκτρικών προθέσεων συχνά αναφέρονται στη χαμηλή αισθητηριακή ανταπόκριση, η οποία μπορεί να καταστήσει τις ευαίσθητες εργασίες πιο δύσκολες. Για μια κοστοβόρα εναλλακτική όπως είναι η μυοηλεκτρική τεχνολογία, η ύπαρξη επαρκούς αίσθησης αφής είναι σημαντική.
5. Εξάρτηση από τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας: Η ανάγκη τακτικής φόρτισης της πρόθεσης ή αντικατάστασης των μπαταριών μπορεί να αποδειχθεί ενοχλητική και περιορίζει τη χρήση της σε μεγάλες περιόδους μακριά από εγκαταστάσεις φόρτισης.
6. Πολυπλοκότητα και επισκευή: Η εξελιγμένη τεχνολογία στις μυοηλεκτρικές προθέσεις σημαίνει ότι όταν απαιτούνται επισκευές, ή ανάγκη ανταλλακτικών, αυτές μπορεί να είναι πιο πολύπλοκες και ακριβές σε σύγκριση με τις πιο βασικές προθέσεις. [21] [22]

Ακολουθεί πίνακας για την καλύτερη κατανόηση κάποιων βασικών χαρακτηριστικών της μυοηλεκτρικής τεχνολογίας σε σύγκριση με τις υπόλοιπες προσθετικές τεχνολογίες:

Πίνακας 1

Χαρακτηριστικά διαφορετικών τύπων πρόθεσης [22] [23] [24]

Μεταβλητές	Μηχανική Πρόθεση	Μυοηλεκτρική Πρόθεση	Υβριδική Πρόθεση	Παθητική Πρόθεση	Βιονική Πρόθεση	Πρόθεση Συγκεκριμένης Δραστηριότητας
Απόδοση	Μέτρια	Εξαιρετική	Καλή	Χαμηλή	Εξαιρετική	Ποικίλει
Τιμή	Χαμηλή	Υψηλή	Μέτρια	Χαμηλή	Υψηλή	Μέτρια - Υψηλή
Βάρος	Μέτριο	Μέτριο	Μέτριο	Ελαφρύ	Βαρύ	Ελαφρύ - Μέτριο
Αντοχή	Υψηλή	Μέτρια	Υψηλή	Χαμηλή	Υψηλή	Μέτρια - Υψηλή
Κίνηση δακτύλων	Ελάχιστη	Εξαιρετική	Καλή	-	Εξαιρετική	Ποικίλει
Περιστροφή καρπού	Ελάχιστη	Καλή	Καλή	-	Εξαιρετική	Ποικίλει
Ευελιξία	Χαμηλή	Μέτρια	Υψηλή	Υψηλή	Υψηλή	Μέτρια - Υψηλή
Καμπύλη εκμάθησης	Μέτρια	Μέτρια	Μέτρια	Εύκολη	Απότομη	Ποικίλει
Ιδανικές περιπτώσεις	Καθημερινή χρήση, βασικές ανάγκες	Ευρεία κάλυψη αναγκών	Κάλυψη αρκετών αναγκών	Για αισθητικούς σκοπούς	Όσοι ψάχνουν κορυφαία τεχνολογία	Άθληση, ιδιαίτερες ασχολίες
Γενική ανταπόκριση	Αξιόπιστη και προσιτή πρόθεση	Ισορροπία απόδοσης και χρηστικότητα	Ευπροσάρμοστη αλλά περίπλοκη πρόθεση	Απλή, ελαφριά και προσιτή πρόθεση	Πρωτοπόρα αλλά ακριβή πρόθεση	Στοχευμένη λειτουργία, δυνητικά ακριβή

2.5 Ανακεφαλαίωση

Η μυοηλεκτρική τεχνολογία περιλαμβάνει διαφορετικά εξαρτήματα όπως είναι τα ηλεκτρόδια, ο μικροελεγκτής, οι κινητήρες και οι αισθητήρες πίεσης, τα οποία λειτουργούν και συνεργάζονται μεταξύ τους για να παράξουν περίπλοκες κινήσεις ώστε να βοηθήσουν τον χρήστη στην καθημερινότητά του. Η απόκτηση ενός μυοηλεκτρικού προσθετικού αντιβραχίου είναι μια σύνθετη διαδικασία που εκτείνεται πέρα από την τεχνική προσαρμογή και την εκπαίδευση. Περιλαμβάνει ένα στάδιο σωματικής και συναισθηματικής προσαρμογής, που απαιτεί μια αφοσιωμένη ομάδα επαγγελματιών και ένα υποστηρικτικό περιβάλλον για την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος. Μέσα από αυτή τη διαδρομή, τα άτομα ανακτούν όχι μόνο τη χαμένη λειτουργικότητα αλλά και την αίσθηση της αυτονομίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Προετοιμασία Παραγωγής Προσθετικού

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το σημείο δίνεται έμφαση στις πληροφορίες που θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν για την παραγωγή ενός ολοκληρωμένου μυοηλεκτρικού μέλους. Μέσω της ανάλυσης της λειτουργίας των επιμέρους τμημάτων και μέσω της εξέτασης των διαφόρων χαρακτηριστικών που έχουν επιλεχθεί για να πληροί το προσθετικό, επιλέγονται τα κατάλληλα εξαρτήματα και εξετάζεται η συναρμολόγησή τους για την επίτευξη ομαλής και ορθής λειτουργίας της συσκευής.

3.2 Επιλογή εξαρτημάτων

Για το σχεδιασμό ενός μυοηλεκτρικού προσθετικού αντιβραχίου κρίνεται αναγκαία η επιλογή των κατάλληλων εξαρτημάτων και μεγεθών ανάλογα και με τα χαρακτηριστικά του χρήστη.

1. **Υποδοχή:** Επιλέγεται τρισδιάστατα εκτυπωμένη υποδοχή, καθώς είναι ένας απλός τρόπος παραγωγής ενός τμήματος εξατομικευμένου στα χαρακτηριστικά του χρήστη

και κυρίως του εναπομείναντος άκρου. Συνήθως αυτή η μέθοδος απαιτεί πολλές διαφορετικές εκτυπώσεις ώστε να επιτευχθεί το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα με στόχο να παρέχει άνεση στο χρήστη. Ως υλικό χρησιμοποιείται το πολυπροπυλένιο, το οποίο είναι ιδιαίτερα ελαφρύ, εύκαμπτο και ανθεκτικό, ιδανικό για μια τέτοια χρήση. [25]

2. **Χέρι:** Επιλέγεται ανθρωπομορφικό χέρι πολλαπλών βαθμών ελευθεριών, όπου τα δάχτυλα λειτουργούν με κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Τα δάχτυλα λειτουργούν με υποενεργοποιημένο μηχανισμό (underactuated mechanism) για πιο φυσική κίνηση. Αυτή η κατηγορία χεριού προσφέρει περισσότερες κινήσεις και ευκολία στο χρήστη. Χρησιμοποιούνται κινητήρες για την κίνηση των δακτύλων, αλλά και του καρπού. Οι κινητήρες αυτοί συνδέονται με την μπαταρία για την παροχή ενέργειας, καθώς και με τον μικροελεγκτή ώστε να εκτελεστούν οι εντολές που δίνονται από αυτόν. Μια καλή επιλογή κινητήρων είναι ένας σερβοκινητήρας 6 αξόνων για τα δάχτυλα, όπως είναι ο DC-Micromotor της Faulhaber ενώ για τον καρπό Flat DC-Micromotor για δυνατότητα περιστροφής. Επιπλέον είναι δυνατή η χρήση αισθητήρων πίεσης στα δάχτυλα ώστε να ικανοποιηθεί όσο γίνεται περισσότερο η ανάγκη του χρήστη για πληρότητα. [26] [27]
3. **Μικροελεγκτής:** Είναι το τμήμα το οποίο επεξεργάζεται τα σήματα από τα ηλεκτρόδια. Μια ιδανική επιλογή μικροελεγκτή κρίνεται ο Cortex-M4, ο οποίος παρέχει στο χρήστη εξαιρετική λειτουργικότητα και τη δυνατότητα πραγματοποίησης περίπλοκων κινήσεων. Λαμβάνοντας είσοδο από τα ηλεκτρόνια και πιο συγκεκριμένα σήματα εΗΜΓ, αυτά τελικά ενισχύονται και φιλτράρονται για την απομάκρυνση του θορύβου. Ακόμα, δίνει έξοδο στο μηχανισμό χειρός, στέλνοντας εντολές στους κινητήρες στο προσθετικό χέρι για την έναρξη της κίνησης με βάση τα επεξεργασμένα σήματα. [28]
4. **Ηλεκτρόδια:** Τα ηλεκτρόδια τοποθετούνται στο δέρμα πάνω από τους μύες του υπολειπόμενου μέλους και ανιχνεύουν ηλεκτρικά σήματα που παράγονται από τις μυϊκές συσπάσεις. Συνδέονται με τον μικροελεγκτή μέσω καλωδίων. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγονται ηλεκτρόδια ELEC60 της Steeper, τα οποία είναι κατάλληλα για καθημερινή χρήση προσφέροντας ευελιξία και αξιοπιστία στον χρήστη. [29]
5. **Μπαταρία:** Η μπαταρία συνδέεται με τον μικροελεγκτή και τους κινητήρες των δακτύλων, διασφαλίζοντας ότι όλα τα εξαρτήματα λαμβάνουν την απαραίτητη ενέργεια για να λειτουργήσουν. Επιλέγεται μπαταρία ιόντων λιθίου με τάση 7,4 V και χωρητικότητα 2000 mAh, όντας ιδανική επιλογή για χρήση σε μικροελεγκτή. [26]

6. **Κοσμητικό γάντι:** Σχεδιάζεται το γάντι σε λογισμικό τρισδιάστατης μοντελοποίησης, όπως είναι το Fusion 360 ή το 3ds Max της Autodesk και έπειτα, μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης με τη χρήση ελαστικού υλικού όπως το TPU παράγεται το γάντι και μπορεί να χυτευτεί στη συνέχεια καουτσούκ σιλικόνης μετέπειτα στο εκτυπωμένο αποτέλεσμα, για περισσότερη ευκαμψία και ρεαλιστική εμφάνιση με υφή δέρματος. [30] [31]

3.3 Προετοιμασία των εξαρτημάτων για την πρόσθεση

Ηλεκτρόδια: Ο καθορισμός του αριθμού ηλεκτροδίων σε μια μυσηλεκτρική πρόθεση είναι καθοριστικής σημασίας ώστε να μπορούν να εκτελεστούν οι κινήσεις οι οποίες οφείλει το προσθετικό να ικανοποιεί. Συνήθως ο αριθμός των ηλεκτρονίων βρίσκεται μέσω του υπολογισμού των βαθμών ελευθερίας. Οι βαθμοί ελευθερίας βρίσκονται υπολογίζοντας τον αριθμό των κινήσεων. Για προθέσεις με 2 έως 4 ηλεκτρόδια εκτελούνται βασικές κινήσεις, με 6 έως 8 ηλεκτρόδια εκτελούνται προχωρημένες κινήσεις και σύνθετες κινήσεις με 8 έως 16 ηλεκτρόδια. Συνεπώς, βασική προϋπόθεση είναι ο υπολογισμός των κινήσεων που αναμένεται να εκτελεί το προσθετικό. Οι κινήσεις του αυτού του προσθετικού περιλαμβάνουν τις εξής:

- Κινήσεις της αρθρώσεως του καρπού: Περιλαμβάνεται η κάμψη και έκταση και πρηνισμός και υπτιασμός, άρα 2 βαθμοί ελευθερίας για τις κινήσεις του καρπού.
- Κινήσεις των αρθρώσεων των δακτύλων: Χωρίζονται σε κινήσεις των υπόλοιπων δακτύλων και σε κινήσεις του αντίχειρα, λόγω της επίτευξής τους από άλλους μύες. Οι κινήσεις είναι η κάμψη και έκταση των δακτύλων (πλην του αντίχειρα, 2 αρθρώσεις) και η κάμψη και έκταση του αντίχειρα, άρα 9 βαθμοί ελευθερίας για τις κινήσεις αυτές.

Για 11 βαθμούς ελευθερίας, διπλασιάζω τον αριθμό αυτόν εφόσον ο κάθε βαθμός αντιστοιχεί σε ένα ζεύγος κινήσεων, άρα 22 και αφαιρώ τις κινήσεις των άνω αρθρώσεων των δακτύλων, άρα χρειάζονται 14 ηλεκτρόδια τα οποία θα τοποθετηθούν στα κατάλληλα σημεία του χεριού.

Ακολουθεί η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στους μύες του χεριού. Η θέση των ηλεκτροδίων κρίνεται απαραίτητη για τη σωστή και ακριβή καταγραφή των ηλεκτρικών σημάτων που παράγονται από τις μυϊκές συσπάσεις. Εφόσον έχει υπολογιστεί ο αριθμός των ηλεκτροδίων για την ικανοποίηση των κινήσεων που επιλέχθηκαν, η κατάλληλη θέση τους

κρίνεται επίσης σημαντική για τη σωστή μετάφραση των ενεργοποιήσεων των μυών στις αντίστοιχες κινήσεις. Ως αποτέλεσμα, η τοποθέτηση των ηλεκτροδίων αναλύεται παρακάτω:

- Κάμψη καρπού: 1 ηλεκτρόδιο στον κερκιδικό καμπτήρα του καρπού.
- Έκταση καρπού: 1 ηλεκτρόδιο στον μακρό κερκιδικό εκτείνοντα τον καρπό.
- Πρηνισμός καρπού: 1 ηλεκτρόδιο στον στρογγύλο πρηνιστή.
- Υπτιασμός καρπού: 1 ηλεκτρόδιο στον υπτιαστή.
- Κάμψη δακτύλων: 4 ηλεκτρόδια στον καμπτήρα των δακτύλων του χεριού επιπολής.
- Έκταση δακτύλων: 4 ηλεκτρόδια στον κοινό εκτείνοντα τους δακτύλους.
- Κάμψη αντίχειρα: 1 ηλεκτρόδιο στον μακρό καμπτήρα του αντίχειρα.
- Έκταση αντίχειρα: 1 ηλεκτρόδιο στον μακρό εκτείνοντα τον αντίχειρα.

Έτσι, η τοποθέτηση των ηλεκτρονίων είναι σαφώς καθορισμένη. [29] [32] [33]

Μικροελεγκτής: Για την προετοιμασία του τμήματος αυτού πρέπει να διαμορφωθούν τα εξής:

- Επεξεργασία σήματος: Μέσω εφαρμογής τεχνικών φιλτραρίσματος σήματος και μείωσης θορύβου εξασφαλίζονται ακριβείς μετρήσεις και σωστή μετάφραση των κινήσεων. Έπειτα, η ανάπτυξη αλγορίθμων στοχεύει στην αναγνώριση μυοηλεκτρικών προτύπων για την αποκωδικοποίηση των σκοπών του χρήστη από τα σήματα EMG.
- Κινητικός έλεγχος: Βασικό στοιχείο είναι ο προγραμματισμός της διαμόρφωσης εύρους παλμών για τον ακριβή έλεγχο της ταχύτητας και της θέσης του κινητήρα και γίνεται εφαρμογή συστημάτων ελέγχου ανατροφοδότησης για την προσαρμογή των ενεργειών του κινητήρα οι οποίες καθορίζονται από τις εισόδους των αισθητήρων (ηλεκτροδίων).
- Επικοινωνία: Επιτυγχάνεται μέσω χρήσης Bluetooth ή άλλων πρωτοκόλλων ασύρματης επικοινωνίας για απομακρυσμένες ενημερώσεις και διαγνωστικά. Ταυτόχρονα, είναι δυνατή η ενσωμάτωση με εξωτερικές συσκευές ή αισθητήρες για βελτιωμένη λειτουργικότητα, όπως μονάδες αδρανειακής μέτρησης για παρακολούθηση κίνησης.
- Διαχείριση ισχύος: Περιλαμβάνει τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας μέσω αποδοτικών πρακτικών κωδικοποίησης και διαμορφώσεων υλικού και την εφαρμογή

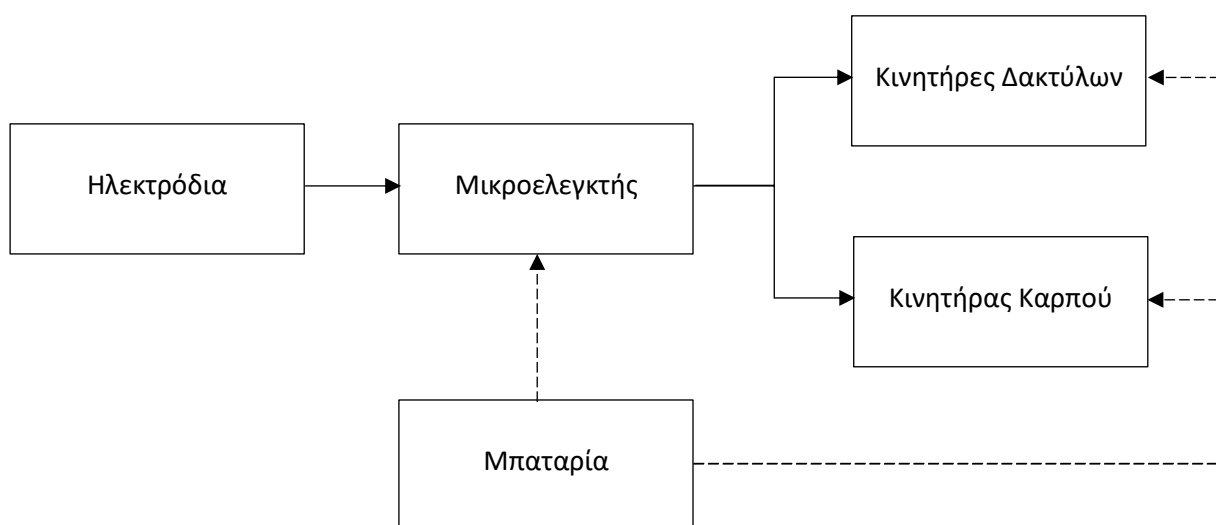
συστημάτων διαχείρισης μπαταρίας για την παρακολούθηση και την παράταση της διάρκειας ζωής της μπαταρίας, ώστε να αυξηθεί σημαντικά η αξιοπιστία της συσκευής.

- Διεπαφή χρήστη: Δυνατότητα ανάπτυξης διαισθητικών διεπαφών χρήστη για τη διαμόρφωση και τον έλεγχο με τη χρήση εφαρμογών για διευκόλυνση του χρήστη. [28]

Κινητήρες: Η διαμόρφωση των κινητήρων γίνεται με την επίτευξη μερικών τροποποιήσεων:

- Έλεγχος κινητήρα: Γίνεται μέσω εφαρμογής αλγορίθμων ακριβούς ελέγχου για τη διαχείριση της ταχύτητας, της θέσης και της ροπής κάθε σερβοκινητήρα. Ακόμα, η χρήση βρόχων ανάδρασης εξασφαλίζει ακριβή τοποθέτηση και κίνηση των δακτύλων, επιτρέποντας ομαλές και ευέλικτες ενέργειες για την πραγματοποίηση κινήσεων.
- Συγχρονισμός: Απαραίτητος είναι ο συντονισμός των κινήσεων πολλαπλών σερβοκινητήρων για την επίτευξη φυσικών και συγχρονισμένων κινήσεων των δακτύλων, καθώς και η εφαρμογή αλγορίθμων αντίστροφης κινηματικής για τη διαχείριση των πολύπλοκων αλληλεπιδράσεων μεταξύ των αρθρώσεων και αξόνων.
- Διαμόρφωση κυκλώματος του Driver: Κρίσιμη είναι η επιλογή των κατάλληλων οδηγών κινητήρα που μπορούν να διαχειριστούν την απαιτούμενη τάση και ρεύμα για τις κινήσεις του καρπού και των δακτύλων. Ακόμα, θα πρέπει να διαπιστωθεί ότι η διαμόρφωση H-bridge έχει ρυθμιστεί για αμφίδρομο έλεγχο των κινητήρων. [34]

Η σύνδεση των βασικών τμημάτων του προσθετικού γίνεται ως εξής:



Διάγραμμα 2: Σύνδεση εξαρτημάτων του προσθετικού [25]

Όσον αφορά τις διαστάσεις που απαιτείται να έχει το προσθετικό, επιλέγονται ορισμένα μεγέθη τα οποία αντικατοπτρίζουν ένα μέσο ενήλικο αντρικό χέρι και πιο συγκεκριμένα:

- Μήκος πήχη: 26 cm
- Περιφέρεια πήχη: 26.4 cm
- Περιφέρεια καρπού: 16.4 cm

Τα υπόλοιπα μεγέθη του χεριού υπολογίζονται αναλογικά με τις συγκεκριμένες ενδείξεις.

3.4 Προκαταρκτικά στάδια σχεδίασης

- **Στάδιο 1: Αναφορές (References):** Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει τη συλλογή οπτικών αναφορών για το τρισδιάστατο μοντέλο που θα παραχθεί. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει σκίτσα, φωτογραφίες ή άλλα τρισδιάστατα μοντέλα που μπορούν να χρησιμεύσουν ως αναφορά για το σχεδιασμό, την υφή και την κίνηση του αντικειμένου.
- **Στάδιο 2: Δημιουργία σκηνής (Set Up Scene):** Στο πρόγραμμα 3ds Max, το πρωταρχικό βήμα είναι η δημιουργία της σκηνής. Αυτό περιλαμβάνει τη δημιουργία του περιβάλλοντος όπου θα υπάρχει το τρισδιάστατο αντικείμενο. Αυτό περιλαμβάνει τον καθορισμό του φωτισμού, των γωνιών της κάμερας και οποιωνδήποτε άλλων αντικειμένων που μπορεί να αλληλεπιδρούν με το κύριο τρισδιάστατο αντικείμενο.
- **Στάδιο 3: Μοντελοποίηση (Modelling):** Η μοντελοποίηση είναι η διαδικασία δημιουργίας του τρισδιάστατου αντικειμένου. Μέσω το 3ds Max, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εργαλεία όπως η εξώθηση (extrusion), η ανύψωση (lofting) και η υποδιαίρεση (subdivision) για να δημιουργηθεί το βασικό σχήμα του αντικειμένου και στη συνέχεια να βελτιωθεί έτσι ώστε να προστεθούν πιο περίπλοκες λεπτομέρειες.
- **Στάδιο 4: Σκίαση (Shading):** Το στάδιο της σκίασης περιλαμβάνει τη διαδικασία εφαρμογής υλικών στο τρισδιάστατο μοντέλο για τον καθορισμό της εμφάνισής του. Αυτό περιλαμβάνει την προσθήκη υφών, τη ρύθμιση των ιδιοτήτων της επιφάνειας όπως η ανακλαστικότητα και η τραχύτητα και τη ρύθμιση του φωτισμού για την επίτευξη της επιθυμητής εμφάνισης του τρισδιάστατου αντικειμένου. Αυτό το βήμα

είναι καίριας σημασίας για τον καθορισμό των οπτικών στοιχείων του αντικείμενου, όπως το χρώμα, η ανακλαστικότητα, η διαφάνεια και η ποιότητα της επιφάνειας.

- **Στάδιο 5: Παραγωγή καρτέ για αναπαράσταση κινήσεων (frame creation for animation):** Μέσω επεξεργασίας του μοντέλου μπορούν να παραχθούν διαφορετικά στιγμιότυπα προσθέτοντας έτσι κίνηση στο αντικείμενο. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει απλές κινήσεις, όπως περιστροφή, μετατόπιση, ή μετακίνηση των αρθρώσεων (bone rigging). Στο 3ds Max, μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ενσωματωμένα εργαλεία για την υλοποίηση των κινήσεων ώστε τελικά να προκύψουν τα απαιτούμενα καρτέ τα οποία στη συνέχεια θα αξιοποιηθούν για να είναι δυνατή η απεικόνιση των κινήσεων.
- **Στάδιο 6: Rendering:** Το rendering είναι η διαδικασία δημιουργίας ενός αληθοφανούς αποτελέσματος στο τρισδιάστατο μοντέλο. Μέσω του rendering γίνεται ανάλυση των τελικών σημείων του μοντέλου και χρησιμεύει επίσης στην ανάδειξη των ανακλάσεων του φωτός στο αντικείμενο. Μέσω του Corona Renderer, ορίζονται οι ρυθμίσεις απόδοσης, όπως είναι η ανάλυση, η ποιότητα και η μορφή του αρχείου, και στη συνέχεια γίνεται η απόδοση των καρτέ που δημιουργήθηκαν σε προηγούμενο στάδιο.
- **Στάδιο 7: Photoshop:** Σε αυτό το τελευταίο στάδιο ετοιμάζονται τα καρτέ έτσι ώστε να ενωθούν και να αποτυπώσουν τις κινήσεις που μπορεί να πραγματοποιήσει το μοντέλο.

3.5 Ανακεφαλαίωση

Εν κατακλείδι, το κεφάλαιο παρέχει μια εικόνα των βασικών εξαρτημάτων και των μηχανισμών ώστε να παραχθεί ένα προσθετικό ικανό να εκτελεί πολύπλοκες κινήσεις για διευκόλυνση της ζωής του χρήστη. Αναφέρθηκαν συνοπτικά τα στάδια παραγωγής ενός διαδικτυακού διδύμου, κάτι το οποίο θα εξερευνηθεί εκτενέστερα στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Σχεδίαση Μυοηλεκτρικής Πρόθεσης Αντιβραχίου

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξερευνηθεί ο σχεδιασμός και η λειτουργικότητα ενός μωηλεκτρικού προσθετικού αντιβραχίου μέσα από τον φακό της τρισδιάστατης μοντελοποίησης. Μέσω της αξιοποίησης λογισμικού, όπως είναι το 3ds Max της Autodesk, θα οπτικοποιηθεί και θα αναπαραχθεί ένα λεπτομερές τρισδιάστατο μοντέλο ενός τέτοιου προσθετικού μέλους, παρουσιάζοντας τις βασικές κινήσεις και των εργαλείων που απαιτούνται για την παραγωγή αυτού του διαδικτυακού διδύμου, παρέχοντας μια απτή οπτικοποίηση αυτών των συσκευών.

4.2 Ορισμοί βασικών εργαλείων του 3ds Max

- **Edit Poly Modifier:** Ο τροποποιητής Edit Poly στο 3ds Max παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο εργαλείων για απευθείας χειρισμό και επεξεργασία της γεωμετρίας των πολυγωνικών μοντέλων. Επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν διάφορες λειτουργίες, όπως επιλογή και μετασχηματισμό υπο-αντικειμένων (κορυφές, ακμές, όρια, κ.λπ.), εξώθηση, λοξότμηση, κοπή σε φέτες και συγκόλληση κ.λπ. Είναι απαραίτητο για λεπτομερείς εργασίες μοντελοποίησης, παρέχοντας μια ευέλικτη και μη καταστροφική ροή εργασίας, καθιστώντας το ένα ισχυρό και αξιόπιστο εργαλείο για τη δημιουργία και τη βελτίωση πολύπλοκων τρισδιάστατων μοντέλων.
- **Edit Mesh Modifier:** Ο τροποποιητής Edit Mesh παρέχει εργαλεία για την επεξεργασία της γεωμετρίας και της μορφής των αντικειμένων πλέγματος σε επίπεδο υπο-αντικειμένου, συμπεριλαμβανομένων κορυφών, ακμών, όψεων, πολυγώνων και στοιχείων. Υποστηρίζει λεπτομερείς λειτουργίες μοντελοποίησης όπως μετασχηματισμός, εξώθηση, λοξότμηση, κοπή και συγκόλληση, δίνοντας στους χρήστες ακριβή έλεγχο του σχήματος και της δομής του μοντέλου. Ενώ η λειτουργικότητά του είναι παρόμοια με τον τροποποιητή Edit Poly, το Edit Mesh χρησιμοποιείται συνήθως σε πιο απλά μοντέλα με χαμηλότερο αριθμό πολυγώνων και παρέχει ένα πιο βασικό σύνολο εργαλείων, καθιστώντας το κατάλληλο για όσους χρειάζονται λεπτομερή επεξεργασία πολυγώνων χωρίς να δημιουργείται η ανάγκη χρήσης προηγμένων αλλά και περίπλοκων λειτουργικών χαρακτηριστικών.

- **CrossSection Modifier:** Ο τροποποιητής CrossSection χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μιας όψης διατομής ενός τρισδιάστατου μοντέλου τεμαχίζοντας τη γεωμετρία κατά μήκος ενός καθορισμένου επιπέδου. Αυτός ο τροποποιητής επιτρέπει στους χρήστες να οπτικοποιήσουν την εσωτερική δομή ενός αντικειμένου, το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στο σχεδιασμό προϊόντων και τις εφαρμογές μηχανικής. Προσαρμόζοντας παραμέτρους όπως η θέση και ο προσανατολισμός των τομών, οι χρήστες μπορούν να δημιουργήσουν ακριβείς διατομές που παρέχουν σαφέστερη κατανόηση των πολύπλοκων σχημάτων και διευκολύνουν τη λεπτομερή ανάλυση.
- **Chamfer Modifier:** Ο τροποποιητής Chamfer είναι μια τεχνική μοντελοποίησης που εξομαλύνει τις άκρες ή τις γωνίες ενός τρισδιάστατου αντικειμένου δημιουργώντας μεταβάσεις λοξοτήσεων μεταξύ των επιφανειών. Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να εξομαλύνει αιχμηρές άκρες ή κορυφές, να προσθέσει πρόσθετη γεωμετρία σε ομαλές μεταβάσεις και να δημιουργήσει πιο ρεαλιστικά ή στυλιζαρισμένα μοντέλα. Οι λοξοτομές χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της οπτικής ποιότητας ενός αντικειμένου προσομοιώνοντας τη φυσική φθορά των άκρων ή για την προετοιμασία ενός μοντέλου για ομαλότερη υποδιαίρεση, κάτι που είναι σημαντικό για τη βελτίωση της λεπτομέρειας και τη βελτίωση της συνολικής εμφάνισης ενός τρισδιάστατου μοντέλου.
- **Bevel Modifier:** Ο τροποποιητής Bevel χρησιμοποιείται για τη δημιουργία τρισδιάστατων σχημάτων προσθέτοντας βάθος και πλάτος σε άκρες ή επιφάνειες, επιτρέποντας πολύπλοκα σχέδια και βελτιώσεις σε επίπεδες επιφάνειες. Σε αντίθεση με τον τροποποιητή Chamfer, ο οποίος χρησιμοποιείται κυρίως για να μαλακώσει ή να στρογγυλέψει τις άκρες κόβοντας τις γωνίες χωρίς να αλλάζει σημαντικά τη συνολική γεωμετρία, ο τροποποιητής Bevel τροποποιεί ενεργά τη δομή ενός αντικειμένου, καθιστώντας το ιδανικό για την ενίσχυση του όγκου. Έτσι, ενώ και οι δύο τροποποιητές βελτιώνουν την αισθητική του μοντέλου που σχεδιάζεται, ο bevel εστιάζει στην προσθήκη πολυπλοκότητας, ενώ ο chamfer εστιάζει στη βελτίωση των άκρων.
- **Shell Modifier:** Ο τροποποιητής Shell προσθέτει πάχος σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο δημιουργώντας εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες, μετατρέποντας ουσιαστικά ένα δισδιάστατο σχήμα ή ένα λεπτό αντικείμενο σε συμπαγή, ογκομετρική μορφή. Αυτός ο τροποποιητής είναι ιδιαίτερα χρήσιμος για την προσθήκη βάθους σε επιφάνειες όπως τοίχοι, καλούπια ή οποιοδήποτε αντικείμενο που απαιτεί συγκεκριμένο πάχος.

Επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο της εσωτερικής και εξωτερικής εξώθησης, καθιστώντας το εξαιρετικά σημαντικό εργαλείο για τη δημιουργία κοίλων αντικειμένων, την ενίσχυση δομικών στοιχείων ή ακόμα και την προετοιμασία μοντέλων για τρισδιάστατη εκτύπωση ή ακόμα και άλλες εφαρμογές που απαιτούν αυξημένο φυσικό πάχος.

- **Symmetry Modifier:** Ο τροποποιητής Symmetry δημιουργεί μια κατοπτρισμένη έκδοση του μοντέλου κατά μήκος ενός καθορισμένου άξονα, επιτρέποντας τη συμμετρική μοντελοποίηση. Είναι χρήσιμο για τη δημιουργία αντικειμένων που είναι πανομοιότυπα και στις δύο πλευρές, όπως ημικυκλικά σχήματα ή αρχιτεκτονικά στοιχεία. Ενημερώστε αυτόματα τους καθρέφτες όταν αλλάζει η αρχική γεωμετρία, διασφαλίζοντας συνέπεια στη διαδικασία μοντελοποίησης και εξοικονομώντας χρόνο. Αυτός ο τροποποιητής είναι απαραίτητος για την αποτελεσματική δημιουργία ενός ισορροπημένου, συμμετρικού σχεδιασμού, διατηρώντας παράλληλα τον έλεγχο της κεντρικής ραφής όπου συναντώνται τα δύο κατοπτρικά μισά μεταξύ τους.
- **Lathe Modifier:** Ο τροποποιητής Lathe είναι ένα εργαλείο μοντελοποίησης που επιτρέπει στο χρήστη να δημιουργεί τρισδιάστατα αντικείμενα περιστρέφοντας ένα δισδιάστατο σχήμα γύρω από έναν καθορισμένο άξονα, δημιουργώντας έτσι συμμετρικά σχήματα. Αυτός ο τροποποιητής είναι χρήσιμος για τη δημιουργία κυλινδρικών και κωνικών αντικειμένων όπως βίδες, μπουκάλια και άλλα κυκλικά σχέδια. Σχεδιάζοντας απλώς ένα σχήμα που περιγράφει το επιθυμητό περίγραμμα και στη συνέχεια εφαρμόζοντας τον τροποποιητή, οι χρήστες μπορούν εύκολα να επιτύχουν πολύπλοκα σχήματα χρησιμοποιώντας αρχικά λείες επιφάνειες. Προσφέρει επίσης επιλογές για τον έλεγχο του αριθμού των τμημάτων, τον καθορισμό σημείων περιστροφής και τη βελτιστοποίηση της τελικής απόδοσης, καθιστώντας το μια ευέλικτη επιλογή για μια αποτελεσματική τρισδιάστατη μοντελοποίηση.
- **Εργαλείο Edge Constraint:** Το εργαλείο Edge Constraint περιορίζει την μετακίνηση επιλεγμένων κορυφών, άκρων ή επιφανειών κατά μήκος των άκρων του πλέγματος, διασφαλίζοντας ότι οι μετασχηματισμοί όπως η μετακίνηση ή η κλιμάκωση δεν παραμορφώνουν την τοπολογία. Αυτό το εργαλείο χρησιμοποιείται για τη διατήρηση του αρχικού σχήματος και της δομής του μοντέλου κατά την πραγματοποίηση προσαρμογών, καθώς διατηρεί τα περιορισμένα στοιχεία ευθυγραμμισμένα με την περιβάλλουσα γεωμετρία. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για εργασίες όπως η δημιουργία

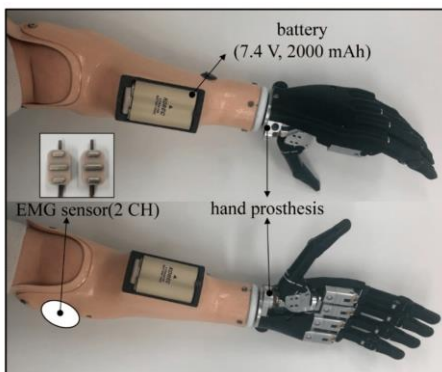
βρόχου άκρων, η βελτίωση των σχημάτων και η πρόληψη παραμορφώσεων κατά τη μοντελοποίηση, συμβάλλοντας έτσι στη διατήρηση της ακεραιότητας του σχεδίου.

- **Εργαλείο Bridge:** Το εργαλείο Bridge δημιουργεί μια πολυγωνική σύνδεση μεταξύ δύο ή περισσότερων επιλεγμένων στοιχείων, όπως άκρες, όρια ή επιφάνειες. Αυτό το εργαλείο είναι εξαιρετικό για την πλήρωση κενών, τη σύνδεση ξεχωριστών τμημάτων ενός μοντέλου ή τη δημιουργία νέας γεωμετρίας μεταξύ ανοιχτών άκρων ή επιφανειών. Παρέχει έλεγχο του αριθμού και της καμπυλότητας των τμημάτων της γέφυρας, καθιστώντας το ένα ευέλικτο εργαλείο που μπορεί να συγχωνεύσει απρόσκοπτα διαφορετικά μέρη ενός μοντέλου και να αυξήσει την πολυπλοκότητα της γεωμετρίας διατηρώντας ένα καθαρό αλλά και ταυτόχρονα ένα ομοιόμορφο πλέγμα.

4.3 Ανάλυση της σχεδιαστικής διαδικασίας του μοντέλου

Για τη σχεδίαση τρισδιάστατου μοντέλου σε λογισμικό CAD, συνηθίζεται η επιλογή ορισμένων αναφορών (references) ώστε να διευκολυνθεί περισσότερο η διαδικασία αυτή.

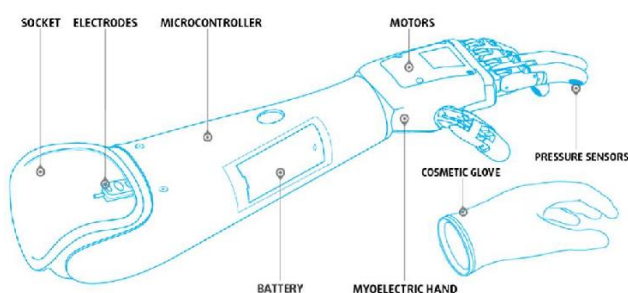
Φωτογραφίες των αναφορών που χρησιμοποιήθηκαν:



Εικόνα 17: Αναφορά 1 [26]



Εικόνα 18: Αναφορά 2 [26]



Εικόνα 19: Αναφορά 3 [19]



Εικόνα 20: Αναφορά 4 [35]

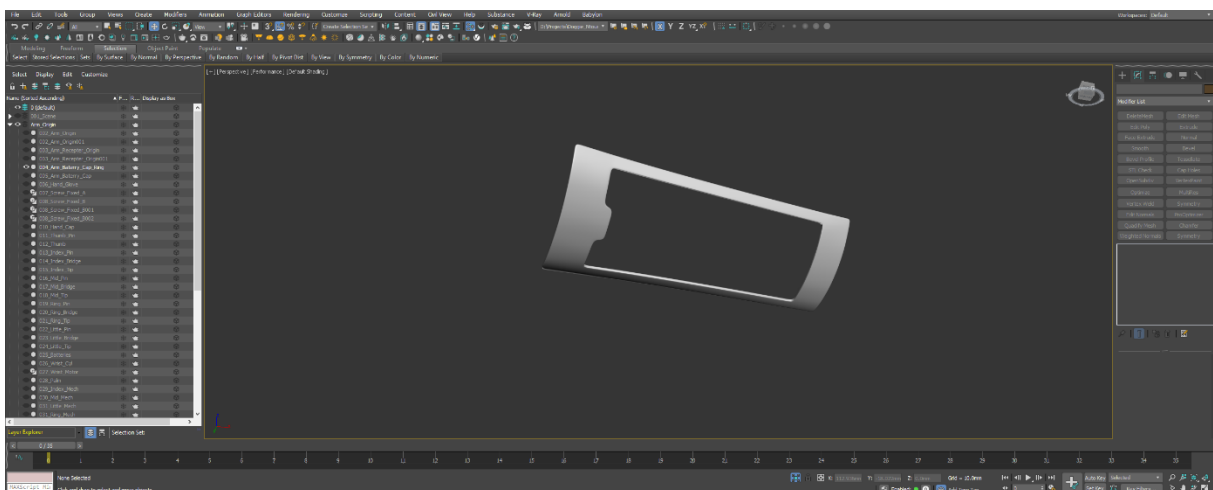
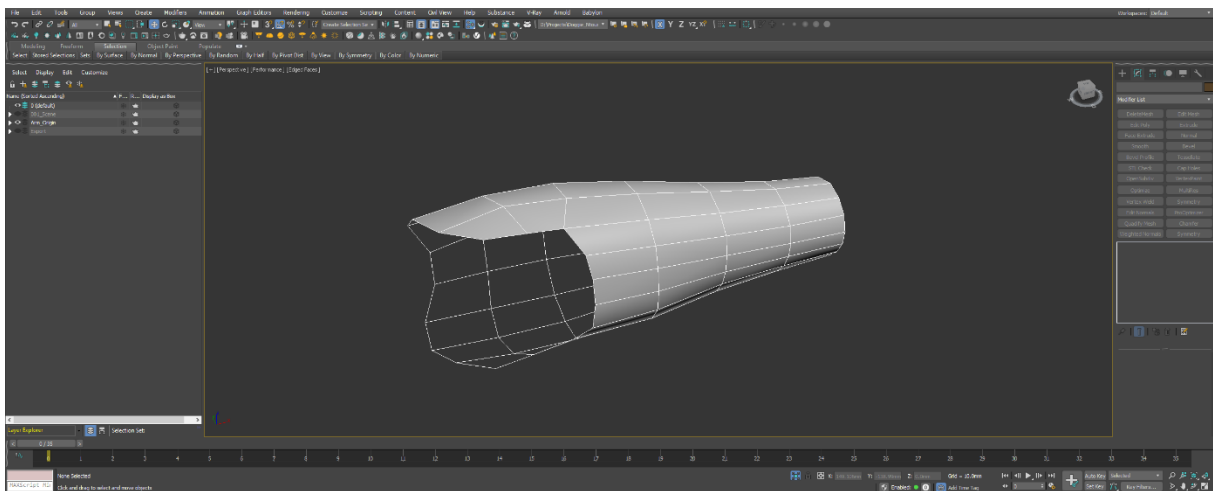
Ακολουθεί η σχεδιαστική διαδικασία στο πρόγραμμα 3ds Max:

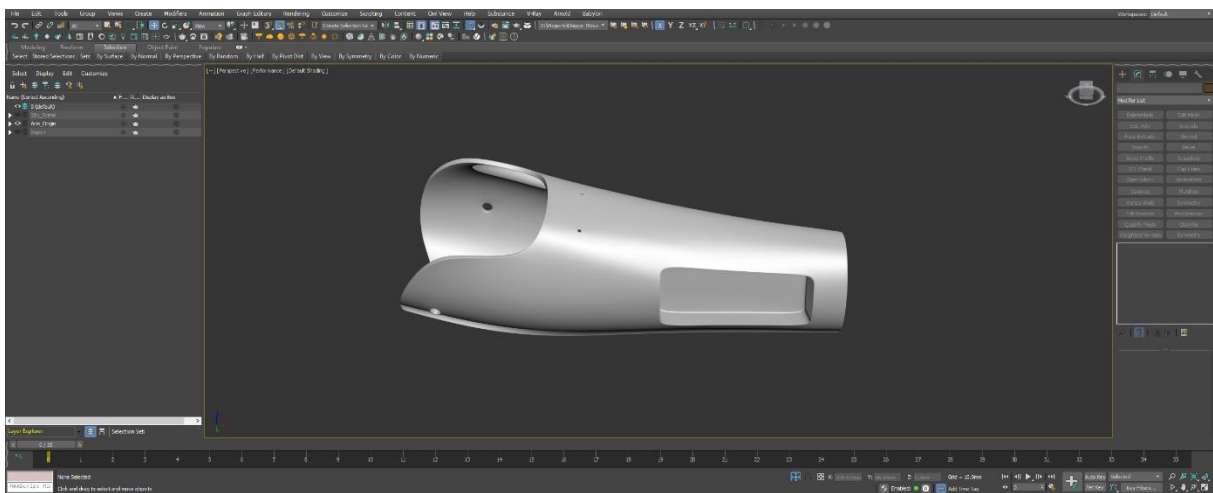
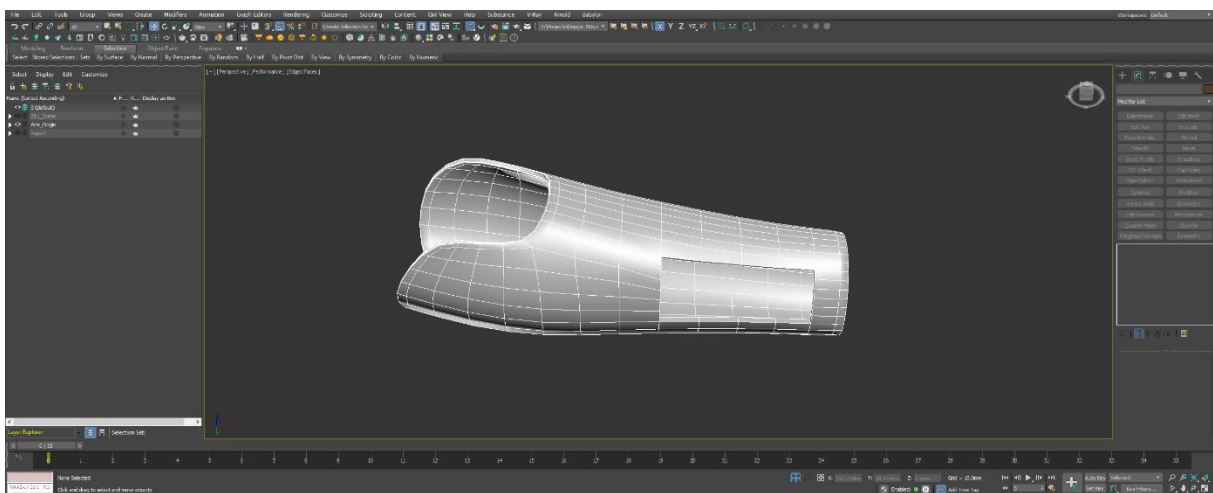
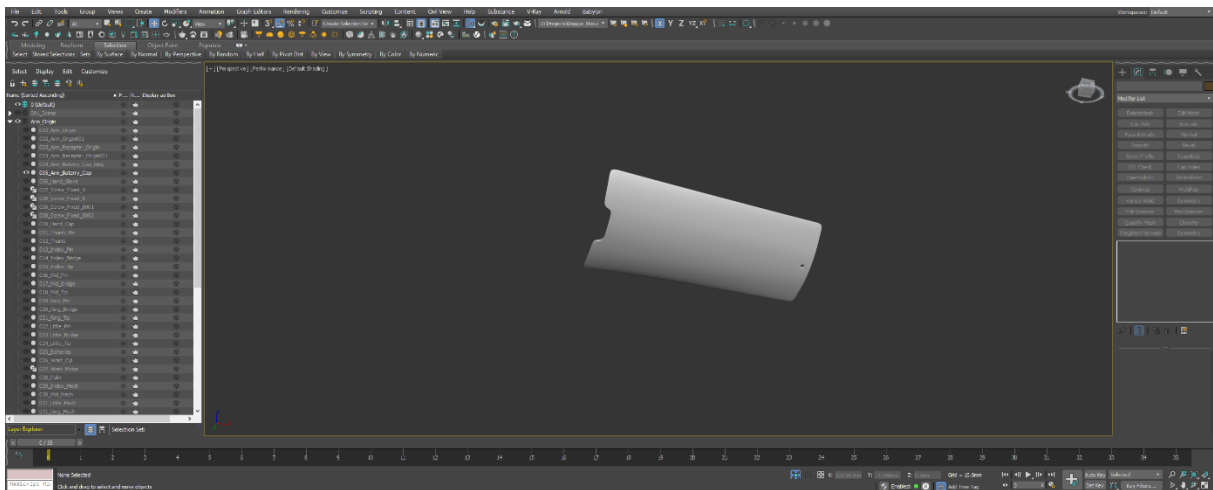
1. **Σχεδίαση του μοντέλου του κύριου τμήματος του προσθετικού:** Αρχικά στην εφαρμογή ρυθμίζω τις μονάδες ως χιλιοστά για μεγαλύτερη σχεδιαστική ακρίβεια. Στη συνέχεια, στην κάτοψη (top panel) επιλέγω στα σχήματα ένα ορθογώνιο με διαστάσεις 76mm x 260mm και μεταφέρω το κέντρο του στην αρχή των αξόνων, το οποίο θα είναι βοηθητικό για τη δημιουργία των τομών του κύριου τμήματος του προσθετικού. Έπειτα, στην πρόσοψη (front panel) δημιουργώ έναν κύκλο στα 38mm με κέντρο την αρχή των αξόνων μετακινώντας τον έπειτα κατά 130mm στον άξονα y. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο array δημιουργώ τρεις επιπλέον κύκλους καλύπτοντας το ύψος του ορθογωνίου. Συγκεκριμένα, επιλέγω τη δημιουργία τριών ακόμα κλώνων του κύκλου με απόσταση -80mm στον άξονα y ο καθένας τους. Το βοηθητικό ορθογώνιο μπορεί σε αυτό το σημείο να σβηστεί και αλλάζοντας panel χρησιμοποιείται η τρισδιάστατη όψη. Επιλέγω τους κύκλους και χρησιμοποιώ το εργαλείο convert to spline ώστε να συνδεθούν με την επιλογή attach. Στη λίστα με τα modifiers προσθέτω cross section, ώστε οι τέσσερις κύκλοι να ενωθούν με νεύρα για καλύτερες προϋποθέσεις για επιφάνειες. Η προτίμηση δημιουργίας ενός κυλίνδρου με αυτόν τον τρόπο και όχι μέσω επιλογής στα σχήματα αποσκοπεί στην ευκολότερη επεξεργασία μέσω του καθενός από τα τέσσερα τμήματα ξεχωριστά του σχήματος. Εφόσον έχει ολοκληρωθεί το ενδεικτικό σχήμα του χεριού, στη συνέχεια, μέσω της επιλογής edit poly και κυρίως μέσω της τοπικής επεξεργασίας μεγέθους (scaling) δίνεται μια αρχική μορφή του χεριού.

Αξίζει να σημειωθεί πως η μορφοποίηση του μοντέλου έγινε σε επίπεδο vertex με περιορισμούς ακμών (edge constraints) το οποίο σημαίνει ότι το κάθε νεύρο κουνιέται στα γειτονικά νεύρα και όχι κατά βούληση. Χρησιμοποιώντας το shell modifier δημιουργείται ένα περίβλημα γύρω από το μοντέλο το οποίο το ρυθμίζω σε πάχος 0.6mm και προσθέτω 2 νεύρα. Για εξομάλυνση των γωνιών του μοντέλου αξιοποιείται το εργαλείο chamfer edges επιλέγοντας τα εσωτερικά και εξωτερικά άκρα του μοντέλου και από τις 2 εισόδους. Η λοξότμηση (chamfering) είναι αρκετά βοηθητική επιλογή όσον αφορά τη μοντελοποίηση σκληρών ακμών (hard edge modeling) και για το λόγο αυτό θα αξιοποιηθεί αρκετά κατά τη διάρκεια της σχεδίασης.

Εν συνεχεία, μέσω της χρήσης του εργαλείου detach γίνεται αποκόλληση των αντίστοιχων επιφανειών οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν μετέπειτα ως το καπάκι της

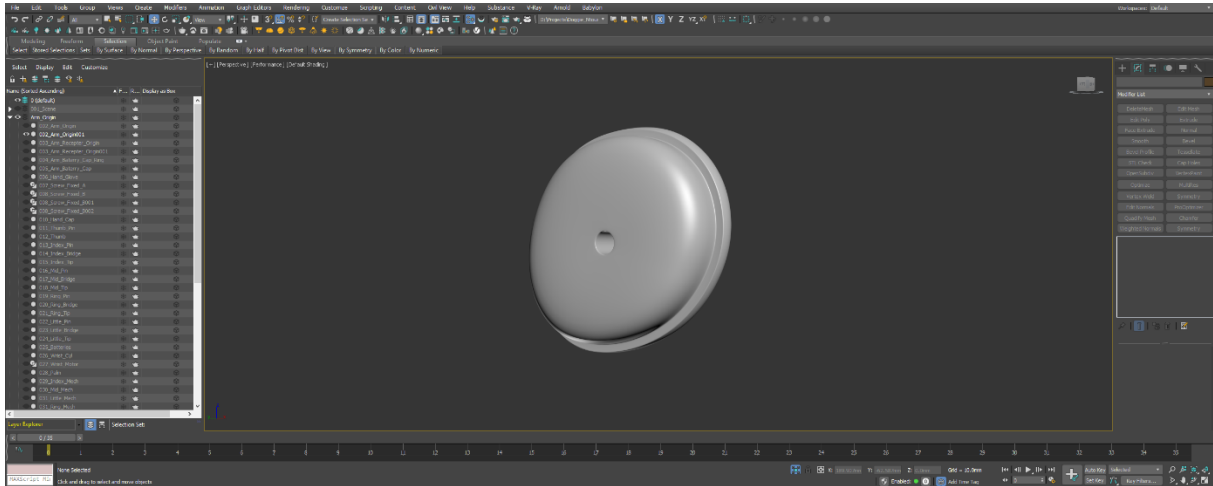
μπαταρίας. Για να έχει το άνοιγμα της μπαταρίας τη σωστή μορφή χρησιμοποιείται ξανά το chamfer edges στις αντίστοιχες άκρες. Μέσω διαγραφής νεύρων προκύπτουν οι οπές για τις βίδες και με chamfering οι οπές αυτές παίρνουν τη μορφή που χρειάζεται. Στις εσωτερικές επιφάνειες της θήκης της μπαταρίας κάνω εξώθηση (extrude) με την επιλογή local groups. Στις εσωτερικές επιφάνειες που δημιουργούνται γίνεται εκ νέου extrude σύμφωνα με το βάθος της μπαταρίας. Ακόμα, η γεφύρωση (bridge) είναι ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η δημιουργία του τοιχώματος της εσοχής. Οι τελευταίες λεπτομέρειες του βασικού τμήματος του μοντέλου περιλαμβάνουν την οριοθέτηση της προσθήκης της μπαταρίας με chamfer και τελικές τροποποιήσεις για διόρθωση πιθανών ατελειών ώστε τελικά να παραχθεί το τελικό μοντέλο του εξαρτήματος.





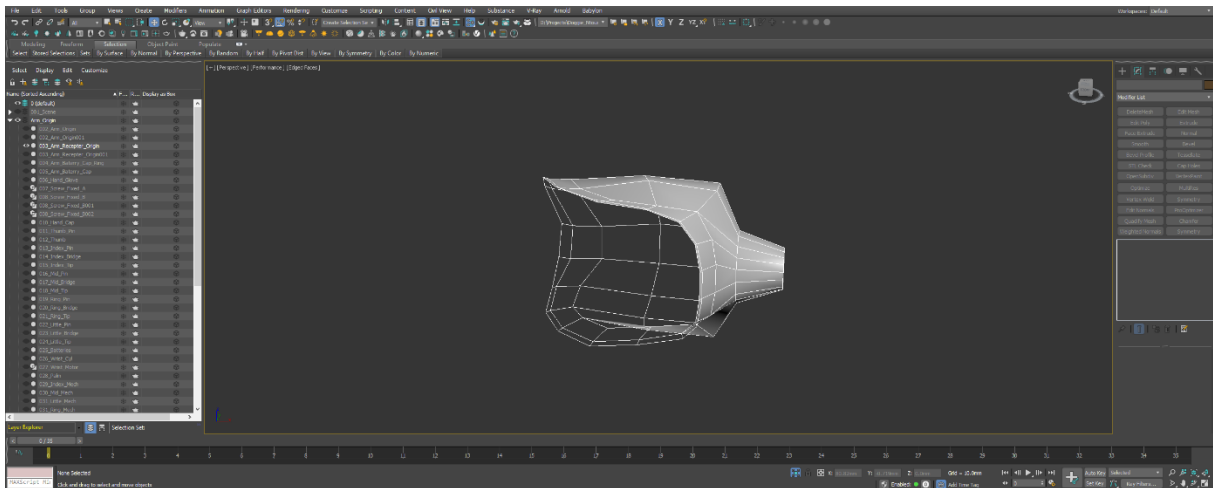
Εικόνες 20-24: Σχεδίαση του κύριου τμήματος του προσθετικού

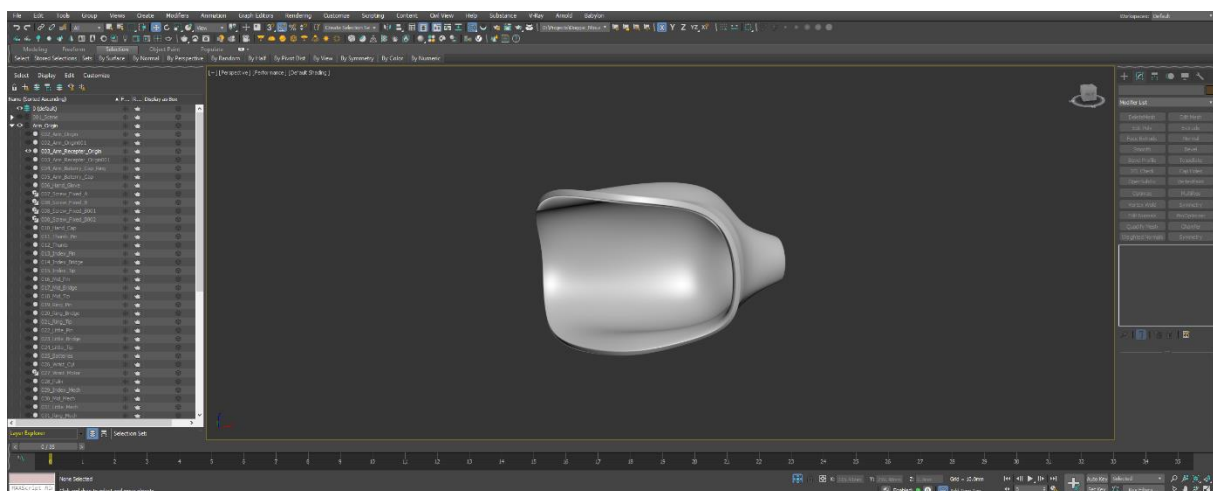
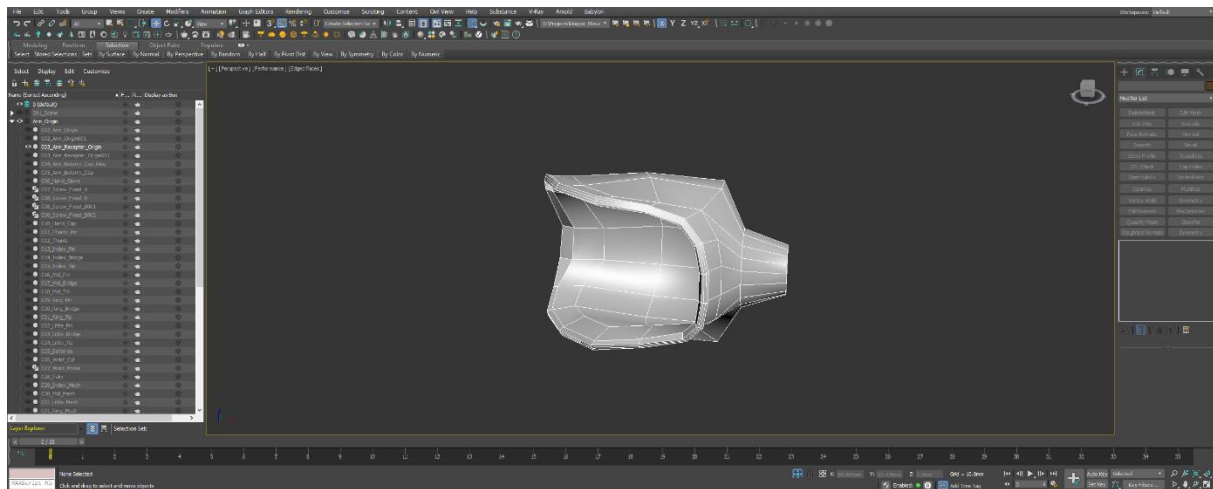
2. **Σχεδίαση του μοντέλου του τμήματος του καρπού:** Κάνοντας αντιγραφή του αρχικού μοντέλου (copy obj) και έπειτα επιλέγοντας τις τελευταίες επιφάνειες, διαγράφοντας τα υπόλοιπα δημιουργώ το νέο εξάρτημα του καρπού. Η μορφοποίησή του γίνεται με το εργαλείο bevel και ακολουθεί η χρήση του chamfer στην εσωτερική τρύπα.



Εικόνα 25: Σχεδίαση του τμήματος του καρπού

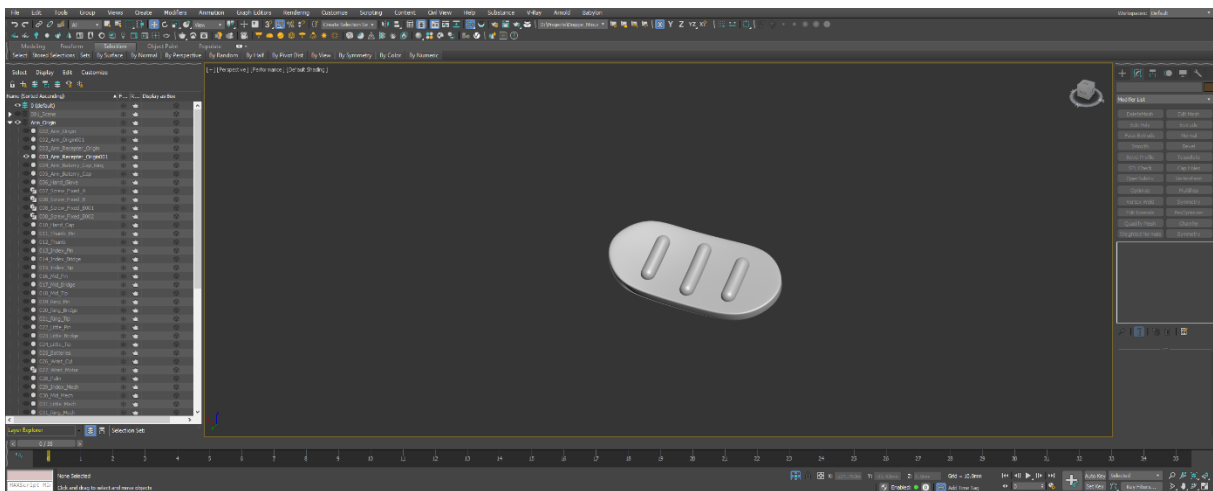
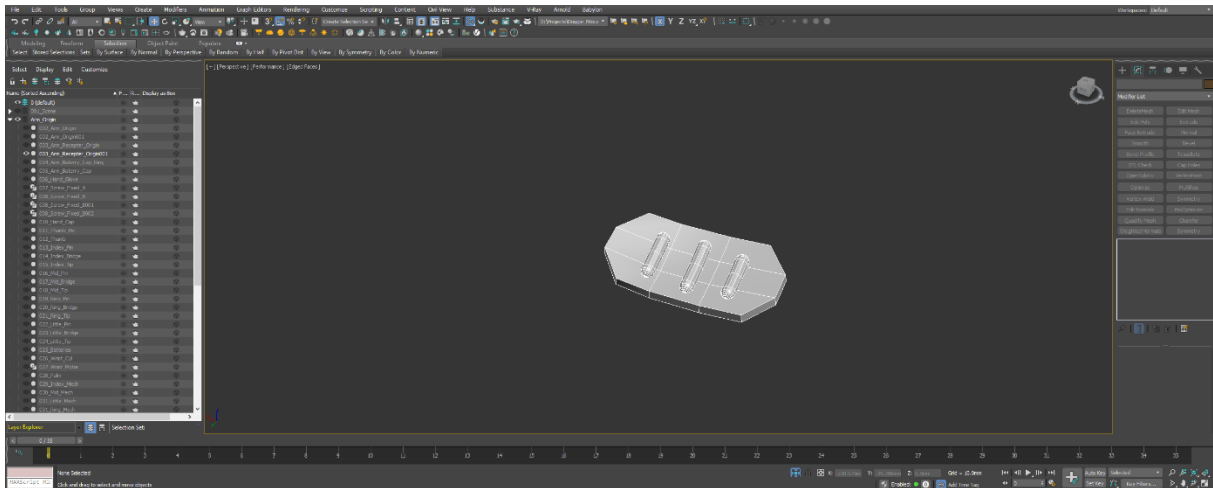
3. **Σχεδίαση του μοντέλου του τμήματος της υποδοχής:** Ξαναγίνεται αντιγραφή του αρχικού μοντέλου και διαγραφή περιττών επιφανειών στην αρχή του χεριού αυτήν τη φορά ώστε να παραχθεί η υποδοχή του προσθετικού. Η μορφοποίηση γίνεται αρχικά με τη χρήση του τροποποιητή edit poly της εσωτερικής τρύπας, στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το shell modifier για το πάχος και τελικά chamfer για σκληρές ακμές.





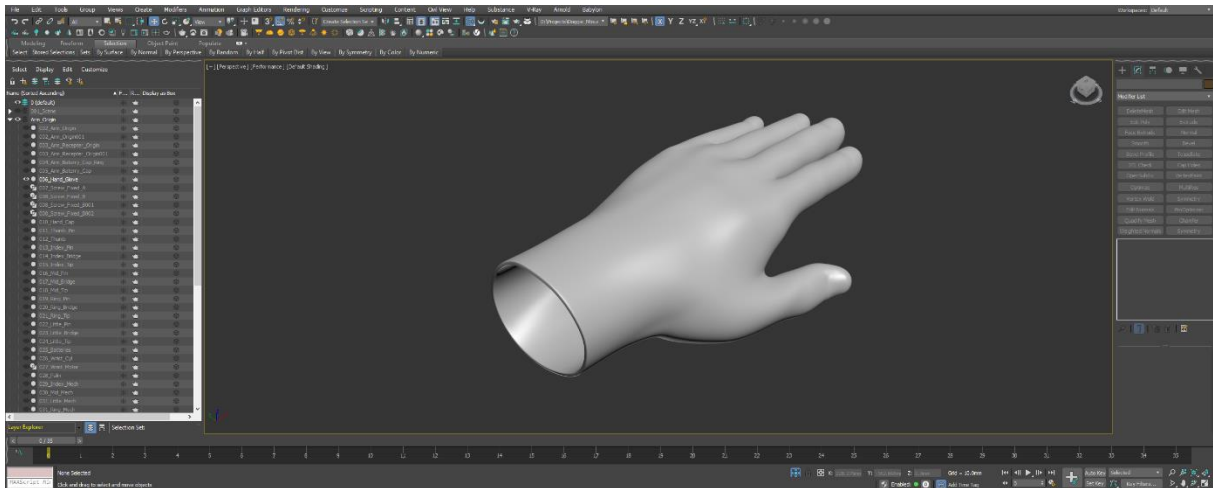
Εικόνες 26-28: Σχεδίαση του τμήματος της υποδοχής

4. **Σχεδίαση των μοντέλων των ηλεκτροδίων:** Παίρνω 4 επιφάνειες από το εσωτερικό του μοντέλου της υποδοχής και άλλες 4 για το άλλο ηλεκτρόδιο και κάνοντας detach σε νέο μοντέλο και shell για το πάχος δημιουργώ τα αρχικά μοντέλα των ηλεκτροδίων. Μέσω του edge constraint μαζεύτηκαν οι ακμές (vertices) στο μέγεθος των ηλεκτροδίων και τα σχέδια στο πάνω μέρος δημιουργήθηκαν μέσω του extended primitives και συγκεκριμένα μέσω της επιλογής capsule. Τέλος, μέσω της τεχνικής chamfering εξομαλύνονται οι ακμές και τελειοποιούνται τα μοντέλα των ηλεκτροδίων.



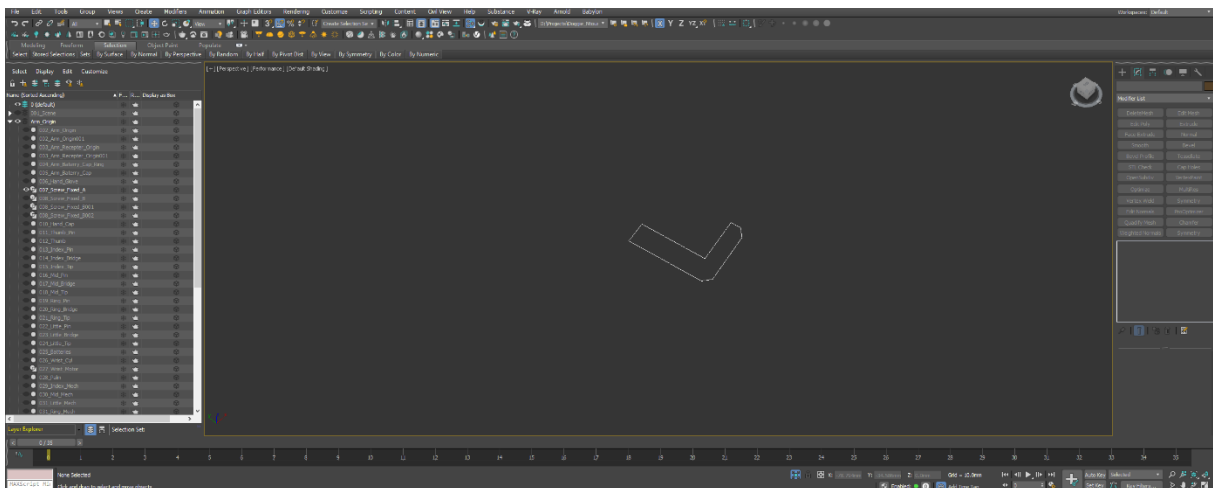
Εικόνες 29-30: Σχεδίαση των ηλεκτροδίων

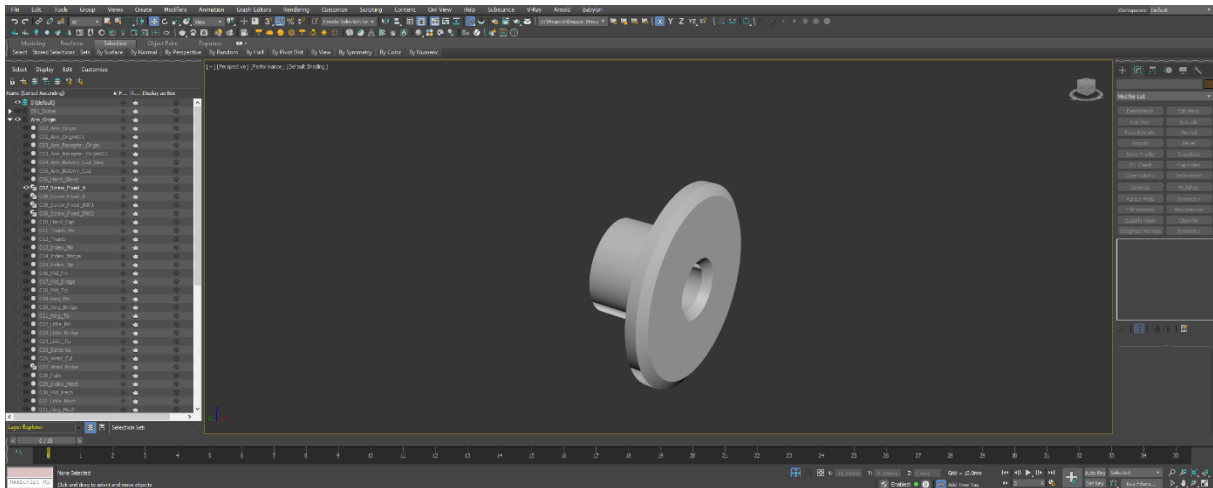
5. **Σχεδίαση του μοντέλου του γαντιού:** Από database βρίσκω ένα μοντέλο γαντιού το οποίο μέσω του cross section modifier το επεξεργάζομαι ώστε να είναι στο μέγεθος που πρέπει για να εφαρμόζεται στις διαστάσεις του μοντέλου. Τέλος, χρησιμοποιώντας το shell modifier και την τεχνική του chamfering επεξεργάζομαι τις τελικές λεπτομέρειες.



Εικόνα 31: Σχεδίαση του γαντιού

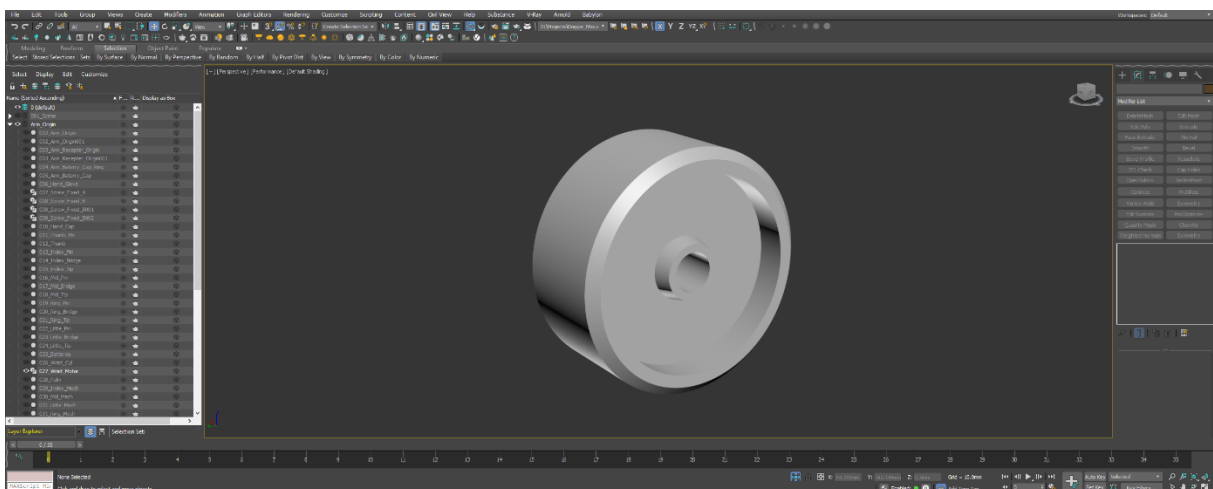
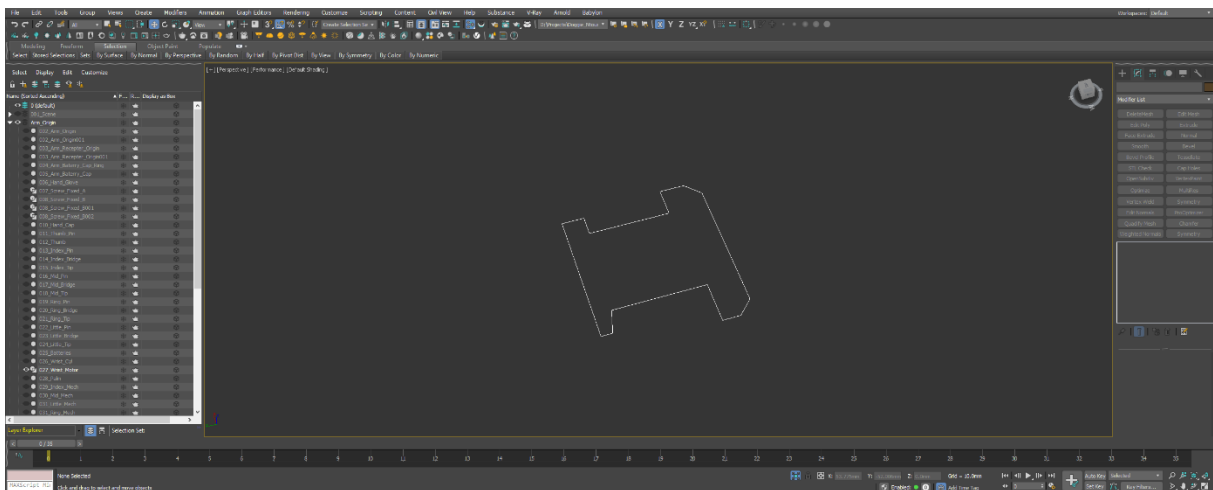
6. Σχεδίαση των μοντέλων των βιδών που βρίσκονται στο κύριο τμήμα και στην υποδοχή του χεριού: Δημιουργώ ένα δισδιάστατο σχέδιο το οποίο λειτουργεί ως ημιτομή και με την τεχνική του τόννου (lathe) παράγονται τα μοντέλα των βιδών αυτών.





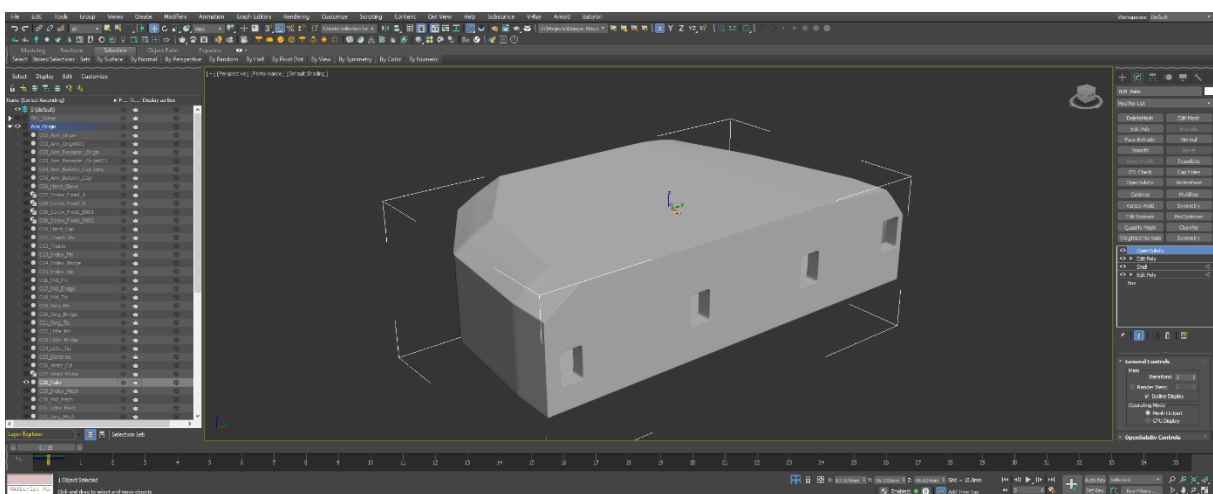
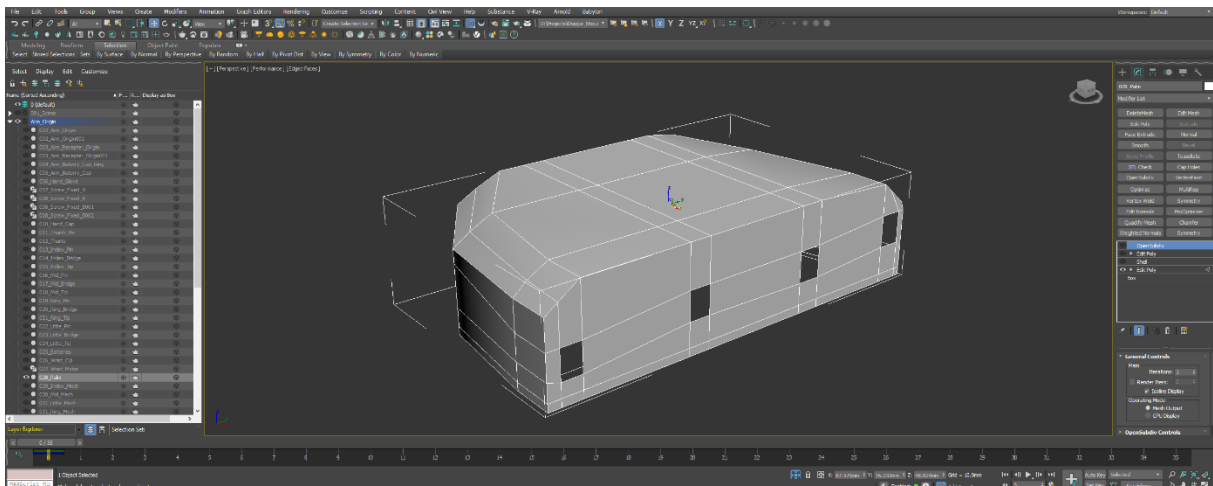
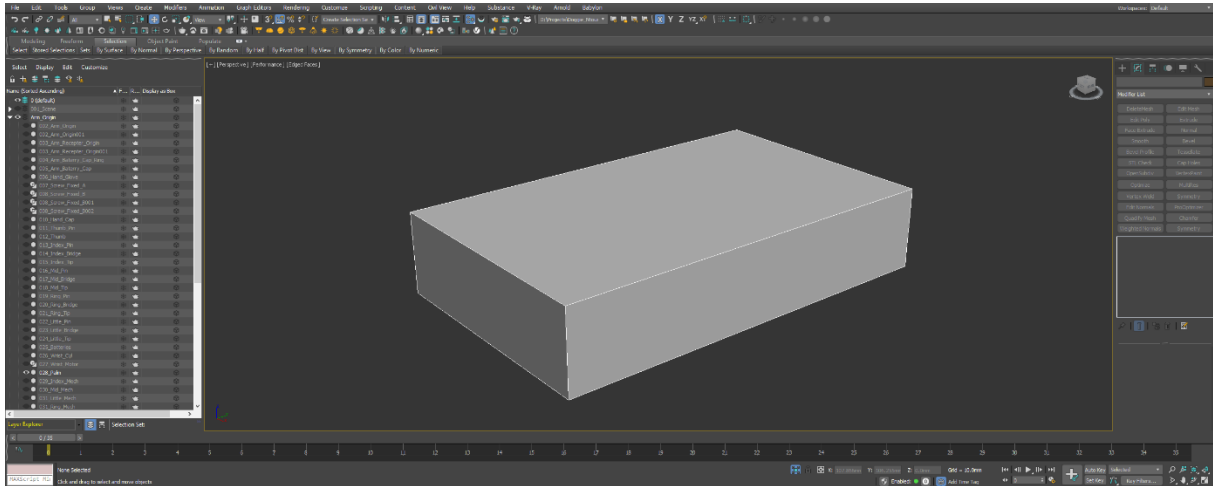
Εικόνες 32-33: Σχεδίαση των βιδών στο κύριο τμήμα και στην υποδοχή του χειριού

7. Σχεδίαση του μοντέλου του καρπού: Όπως στις βίδες παραπάνω, δημιουργώ ξανά μια δισδιάστατη ημιτομή και με το εργαλείο lathe παράγω το μοντέλο του καρπού.



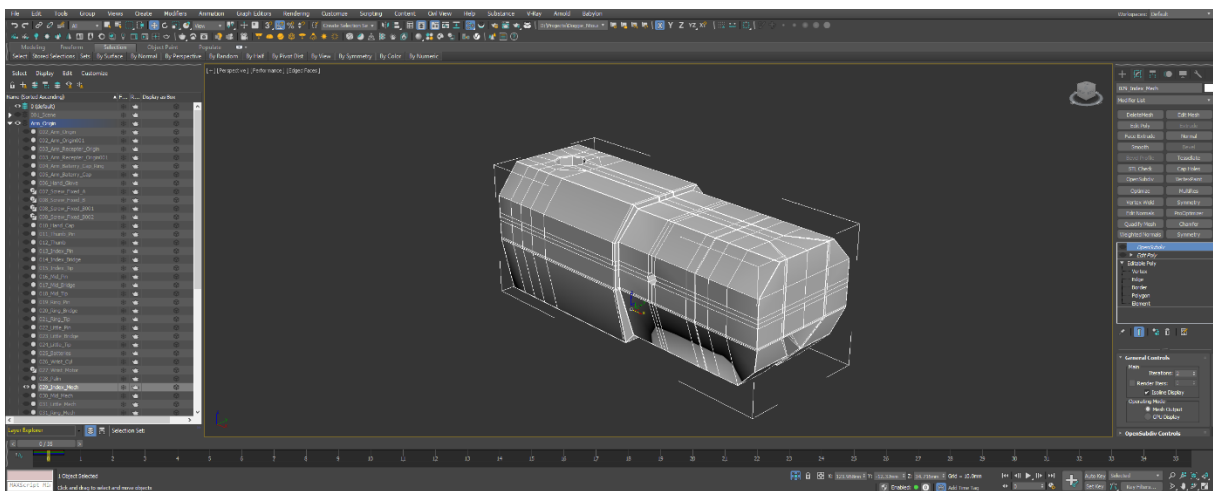
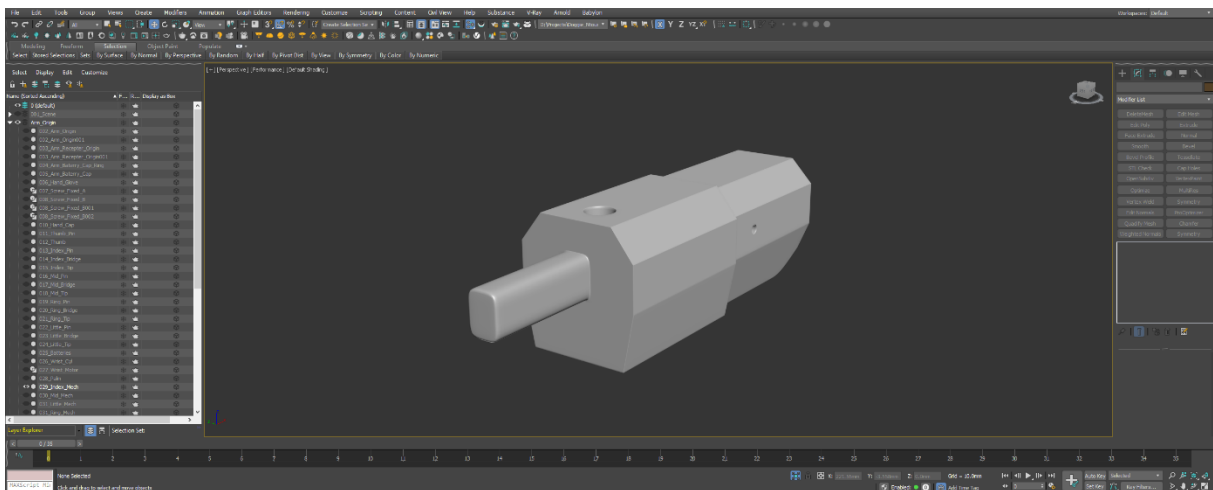
Εικόνα 34-35: Σχεδίαση του καρπού

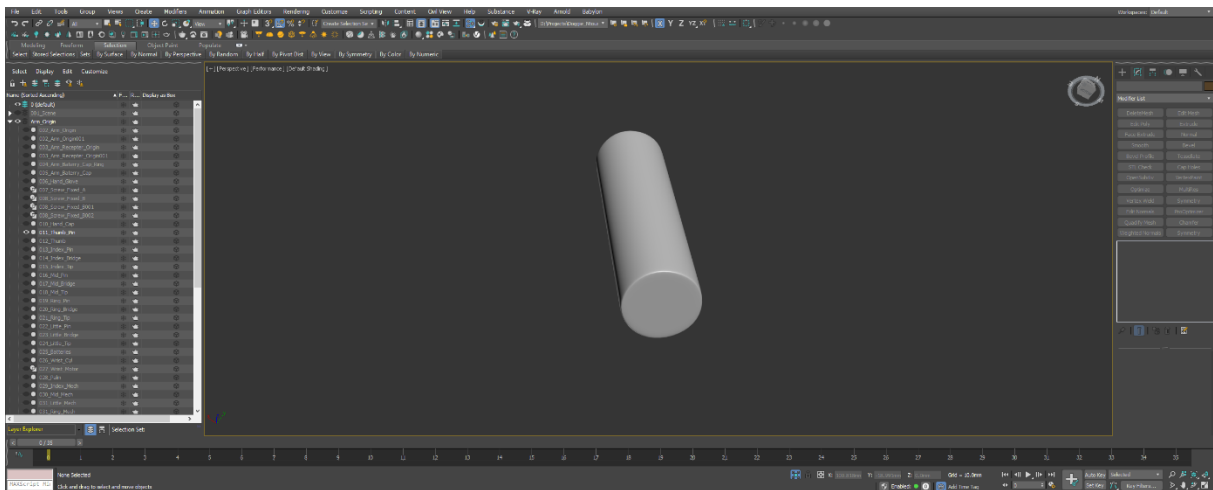
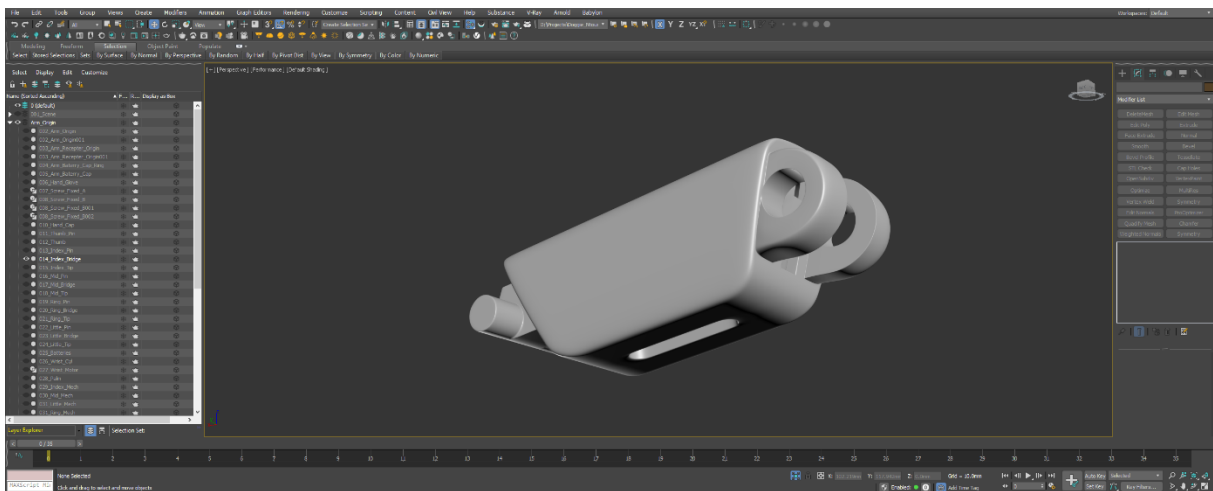
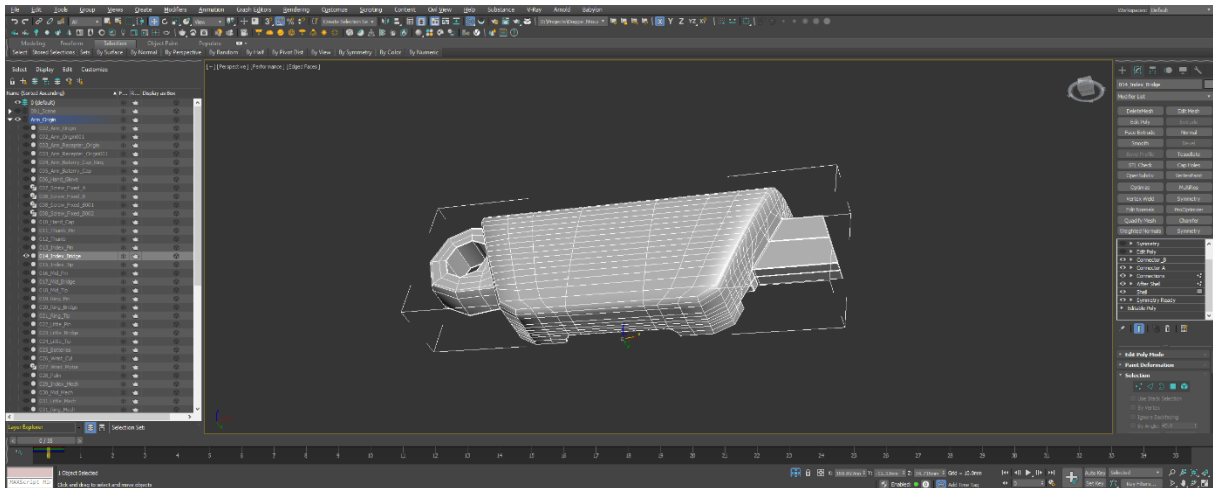
8. **Σχεδίαση του μοντέλου της παλάμης:** Μέσω του εργαλείου create box προκύπτει ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο το οποίο ρυθμίζω σε ανάλογες διαστάσεις, σύμφωνα με τα references, μέσω του edit poly και έπειτα δημιουργώ 4 ανοίγματα για τα 4 δάχτυλα πλην του αντίχειρα. Μέσω του shell modifier προσθέτω βάθος στις οπές αυτές.



Εικόνες 36-38: Σχεδίαση της παλάμης

9. **Σχεδίαση του μοντέλου των δακτύλου (εκτός του αντίχειρα):** Δημιουργώ το κάτω μέρος του δακτύλου μέσω των create box και edit poly, φέρνοντάς το όσο πιο κοντά γίνεται στο reference. Έπειτα προσθέτω το βραχίονα για την παλάμη. Στη συνέχεια κάνω αντιγραφή του κάτω μέρους του δακτύλου και μέσω του slice modifier στους άξονες x και y αρχίζω να δημιουργώ το μεσαίο τμήμα. Με επεξεργασία, δηλαδή χρησιμοποιώντας edit poly και chamfering βελτιώνω το μοντέλο αυτό. Ακολουθεί symmetry στον άξονα x και μέσω του edit mesh προστίθεται η γέφυρα που ενώνει το μεσαίο τμήμα με την άκρη του δακτύλου. Στη συνέχεια, με edit poly δημιουργώ τον κρίκο και τον κύλινδρο που ενώνουν το μεσαίο με το κάτω μέρος του δακτύλου. Ακολουθεί η χρήση του symmetry και έπειτα με το chamfering ολοκληρώνω το μεσαίο τμήμα. Τέλος, μέσω extrude και edit poly δημιουργώ το πρώτο μισό του άνω μέρους του δακτύλου και με τη χρήση ξανά του symmetry ολοκληρώνεται και αυτό το τμήμα.

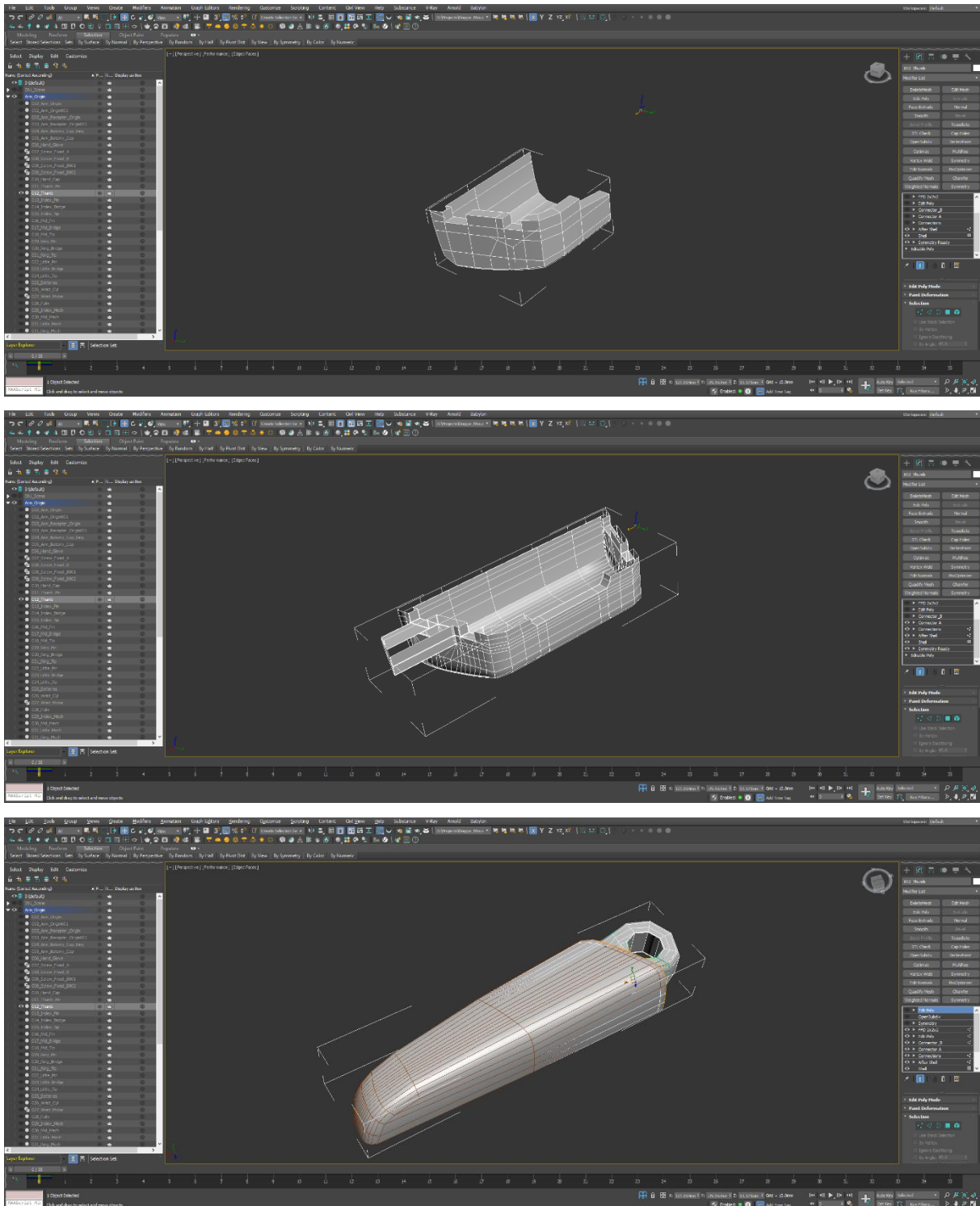




Εικόνες 39-43: Σχεδίαση των δακτύλων (εκτός του αντίχειρα)

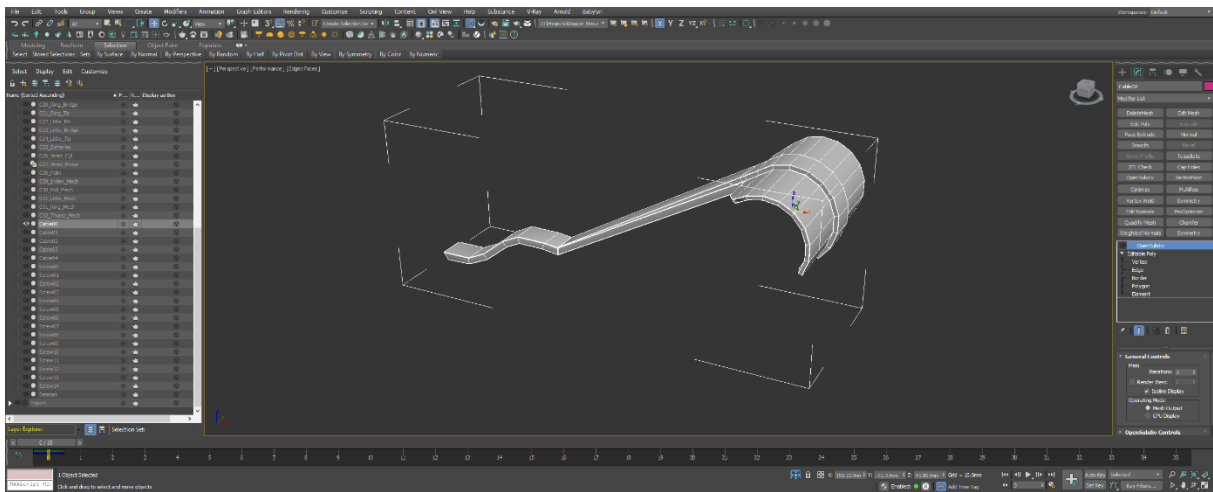
10. Σχεδίαση του μοντέλου του αντίχειρα: Μέσω του create box και του edit poly δημιουργώ ένα κοντύτερο κάτω μέρος σε σχέση με τα υπόλοιπα δάχτυλα, σύμφωνα

πάντα με το reference και με τον ίδιο τρόπο με πριν παράγω ένα μακρύτερο άνω μέρος.
 Ο συνδεδεμένος κύλινδρος έχει παραχθεί παραπάνω, οπότε αρκεί η αλλαγή μεγέθους.



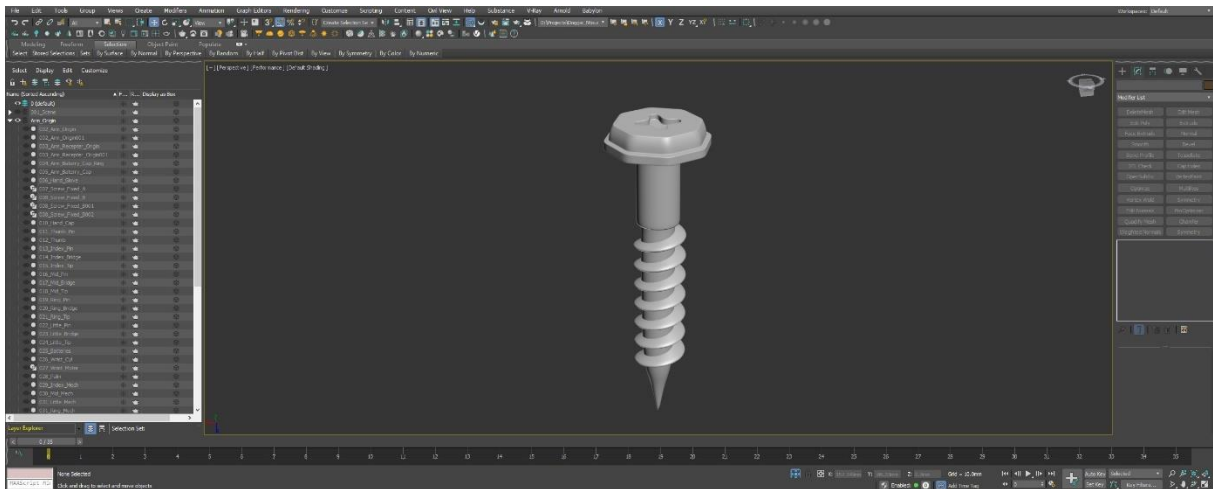
Εικόνα 44-46: Σχεδίαση του αντίχειρα

11. Σχεδίαση του μοντέλου του εξαρτήματος για περιορισμό κινήσεων των δακτύλων:
Μέσω edit poly και chamfering για τελειοποίηση παράγεται το παραπάνω εξάρτημα.



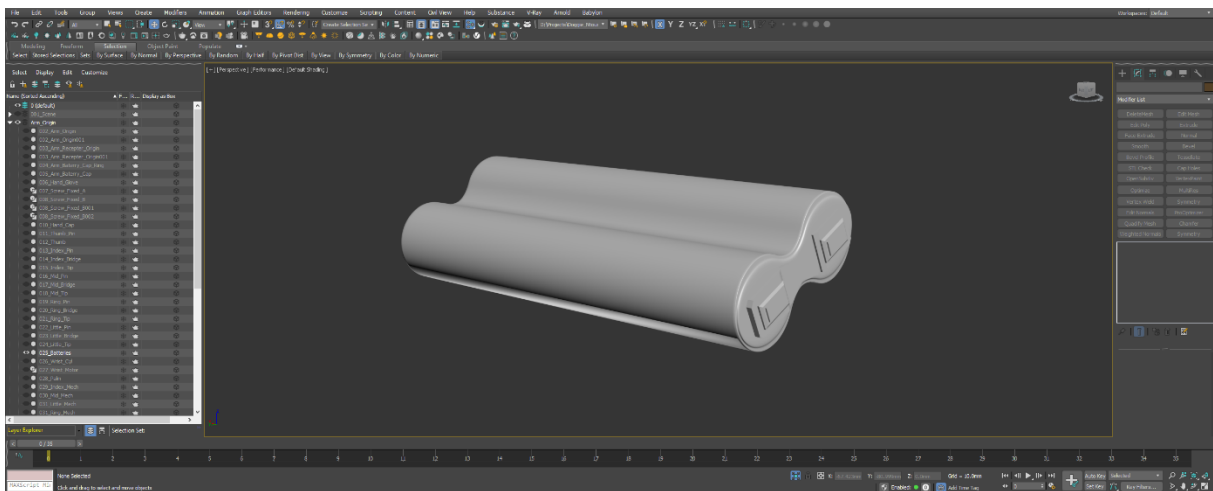
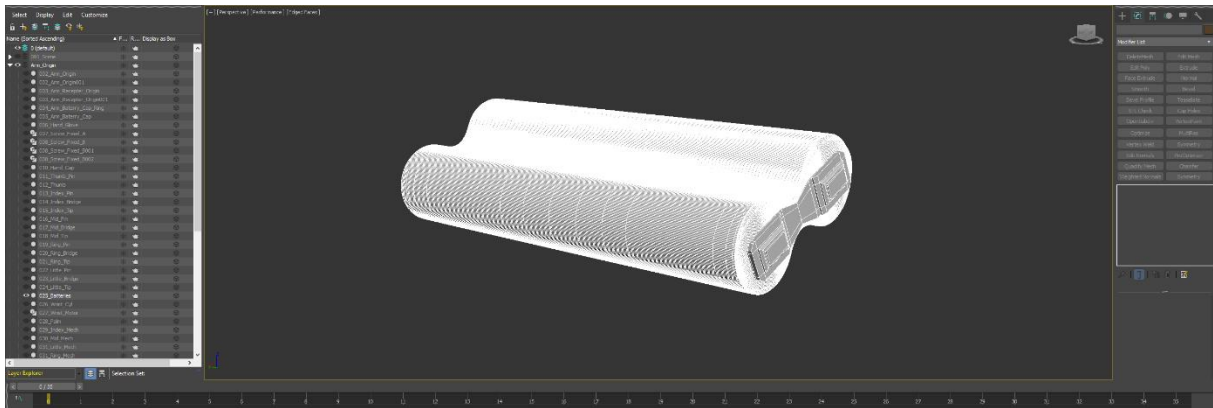
Εικόνα 47: Σχεδίαση του εξαρτήματος για περιορισμό κινήσεων των δακτύλων

12. Σχεδίαση του μοντέλου των βιδών των δακτύλων: Το μοντέλο αυτό βρέθηκε από database το οποίο επεξεργάστηκε έτσι ώστε να είναι στα μεγέθη που χρειάζεται.



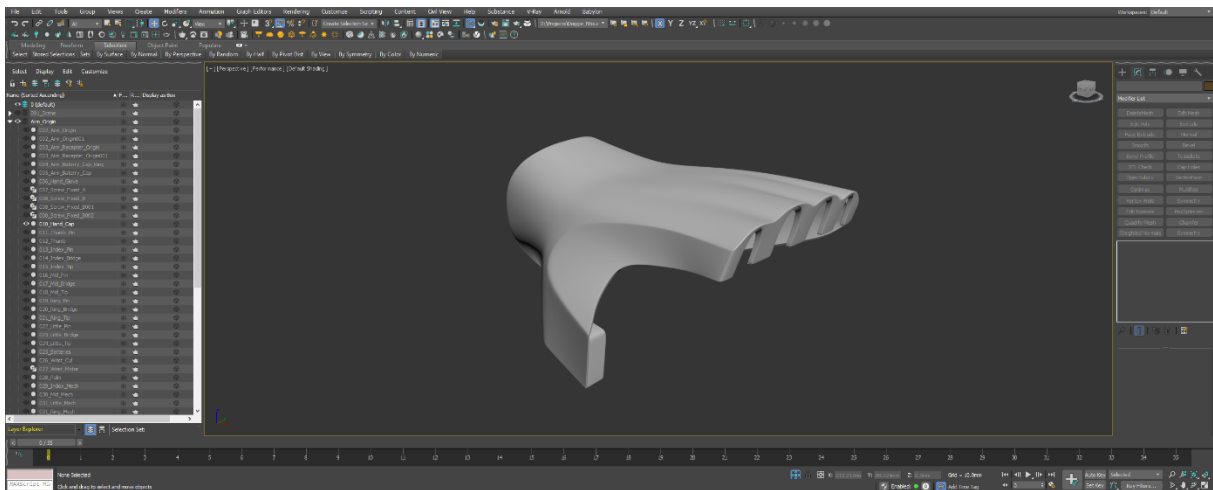
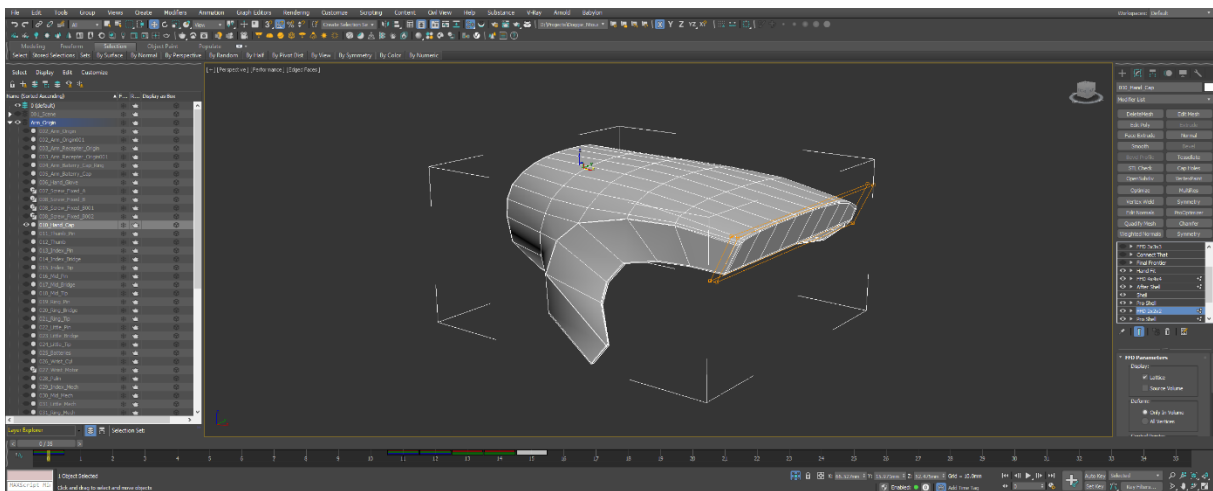
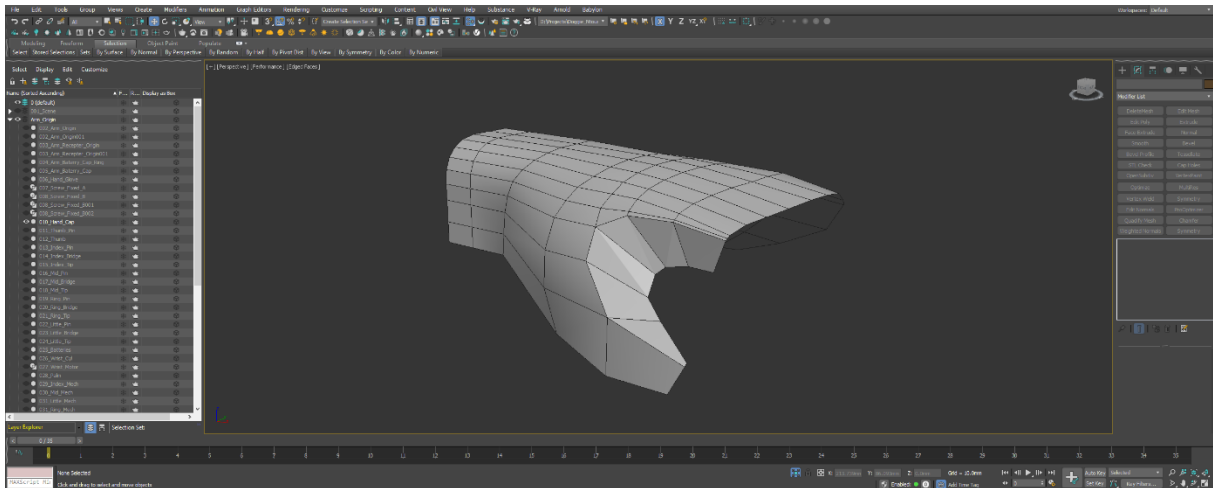
Εικόνα 48: Σχεδίαση των βιδών των δακτύλων

13. Σχεδίαση του μοντέλου της μπαταρίας: Σχεδιάζοντας το σχήμα του απείρου δισδιάστατα και μέσω extrude δίνεται η αρχική μορφή της μπαταρίας. Στη συνέχεια, ακολουθεί chamfering στις άκρες και τελικά μέσω του create box δημιουργώ τις ενώσεις της μπαταρίας, η οποία τοποθετείται στο άνοιγμα του βασικού τμήματος.



Εικόνες 49-50: Σχεδίαση της μπαταρίας

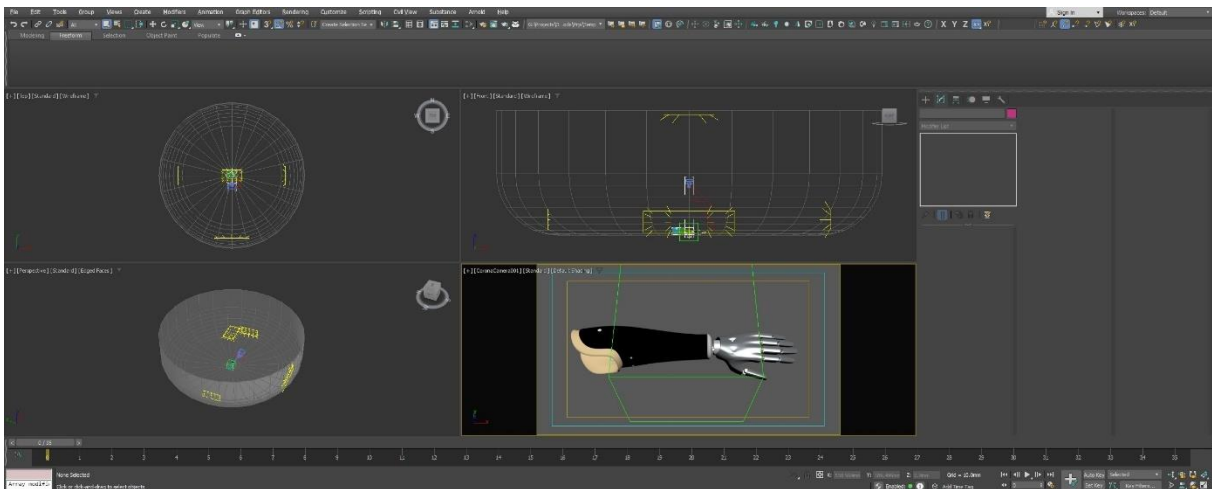
14. **Σχεδίαση του μοντέλου άνω μέρους του χεριού:** Με βάση τους μηχανισμούς του χεριού στο κάτω μέρος, μέσω του edit poly και τη μέθοδο του extrude φτιάχνω ένα υποτυπώδες κάλυμμα, το οποίο στη συνέχεια κοντύνεται ώστε να εμφανιστεί ο μηχανισμός και δημιουργώ εσοχές για τους μηχανισμούς των δαχτύλων. Ακόμα, δίνεται μια φυσική καμπυλότητα του καλύμματος και προστίθεται μια παραπάνω λεπτομέρεια για το μηχανισμό του αντίχειρα. Τέλος, μέσω των τεχνικών του smoothing και του subdivision τελειοποιείται το μοντέλο αυτό και τοποθετείται πάνω από την παλάμη.



Εικόνες 51-53: Σχεδίαση του άνω μέρους του χεριού

4.4 Λεπτομέρειες και τελικά στάδια παραγωγής του μοντέλου

- **Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν:** Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κυρίως περιλαμβάνουν το coronaphysicalmaterial για τα γυαλιστικά πολυμερή, δηλαδή έτοιμα υλικά από τη βιβλιοθήκη του corona renderer που προσομοιώνουν το επιλεγμένο υλικό το οποίο θέλω να έχει το προσθετικό, πλαστικό (πχ το pvc), σιλικόνη και mat rubber.
- **Σκηνή και rendering:** Για τη σκηνή χρησιμοποιήθηκε περιβάλλον hdri, δηλαδή φωτογραφία που έχει αποθηκευμένη τη φωτεινότητα. Συγκεκριμένα, η σκηνή περιορίζεται σε ένα πλαίσιο με 4 φώτα και στο κανάλι του environment έχω ορίσει ένα hdri image το οποίο φωτίζει τη σκηνή σε όλο το περιβάλλον (globally). Για το rendering χρησιμοποιώ τον corona renderer, με τον οποίο δεν απαιτείται παραμετροποίηση όσον αφορά τη δειγματοληψία των ακτινών του φωτός, απαιτείται όμως η ανάθεση της κάθε πηγής φωτός ξεχωριστά, κάτι το οποίο περιλαμβάνει και φυσικά φώτα, αλλά και hdri images. Όλες οι πηγές του φωτός μπαίνουν κάθε μια σε ξεχωριστό κανάλι και ελέγχονται αυτοβούλως στον renderer, κάτι που σημαίνει ότι δίνεται η δυνατότητα να ρυθμίζω τα φώτα κατά τη διάρκεια του rendering. Στο rendering προσθέτω CShading_LightMix και CShading_LightSelect για τελειοποίηση του φωτισμού.

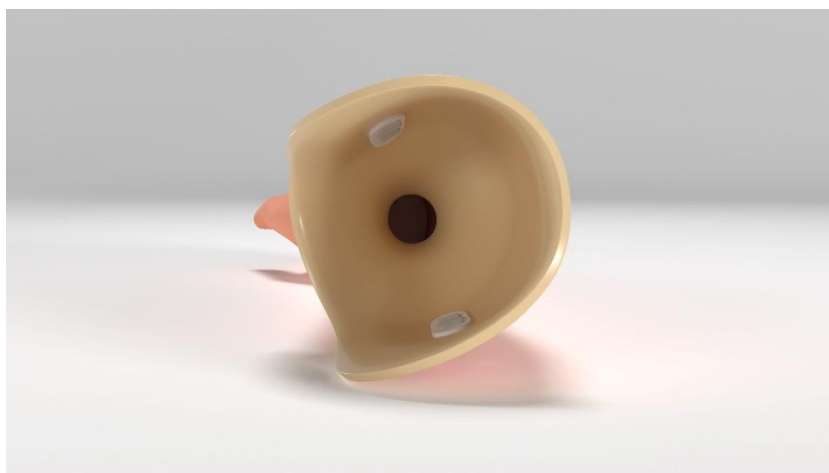
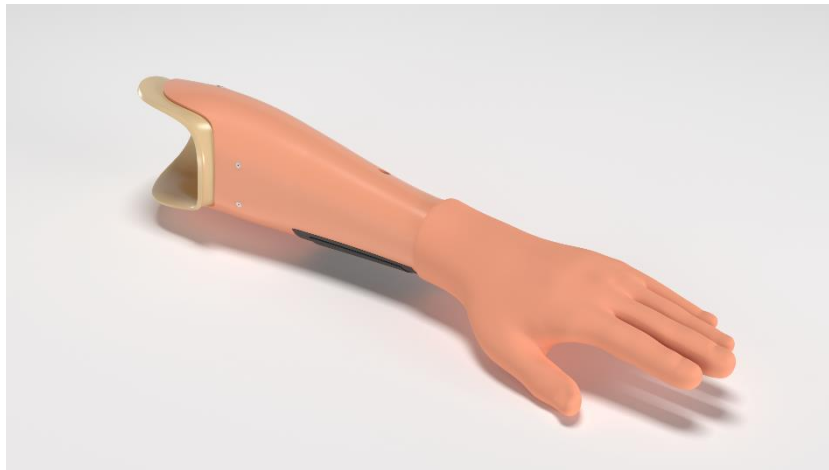


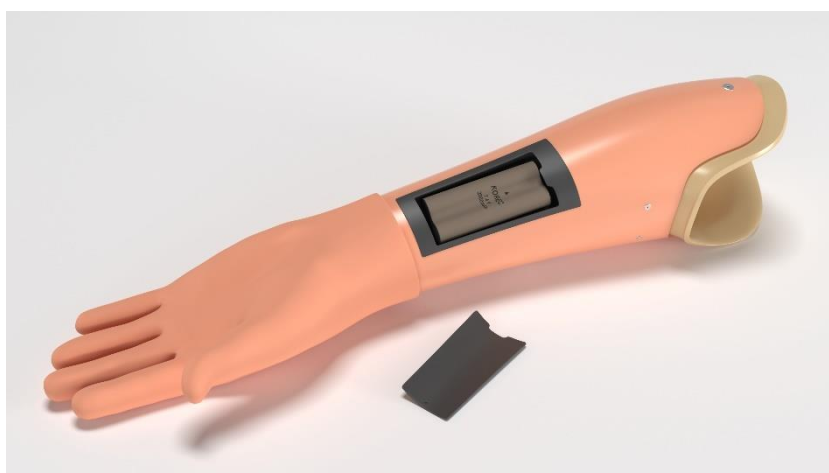
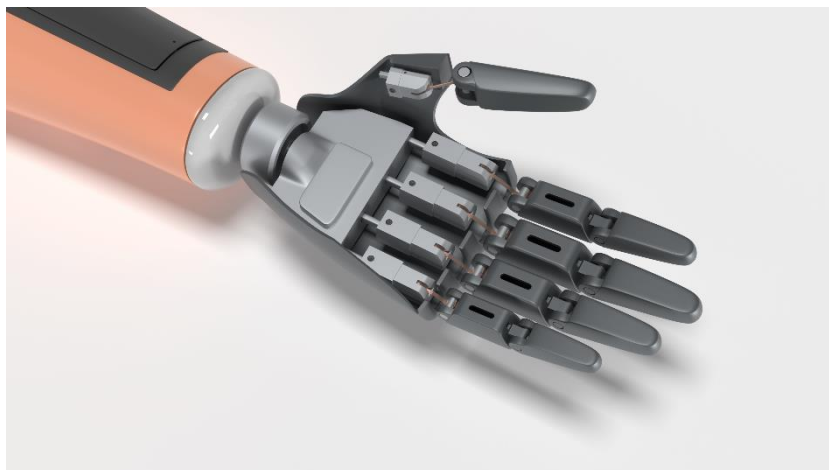
Εικόνα 54: Σκηνή του μοντέλου

- **Δημιουργία καρτέ και photoshop:** Στον corona renderer σε μια αλληλουχία 35 καρτέ τοποθέτησα για κάθε ένα την αντίστοιχη κίνηση του χεριού, υπήρχαν ωστόσο περιπτώσεις που χρειάστηκε να αλλάξω και τη γωνία της κάμερας. Τα καρτέ από το 0 μέχρι το 6 είναι στατικά του χεριού, από το 7 μέχρι το 35 είναι οι κινήσεις των δαχτύλων, άρα στο πεδίο time output δόθηκε range 6-35 και σώζω το αρχείο σαν .tiff format 300DPI (για να έχω την ευχέρεια του τυπώματος) και μετά σε αρχείο jpeg.

Στην καρτέλα του scene στο progressive rendering limits δίνω noise level limit 1.5%, αυτό σημαίνει ότι όταν ο θόρυβος έπεφτε στο 1.5% της εικόνας ο renderer προχωρούσε στο επόμενο καρέ, επίσης σαν override επιλέγω direct visibility override άσπρο. Έπειτα, στην καρτέλα του camera αφήνω τα default settings. Στη συνέχεια, στην καρτέλα του performance, στο global illumination σαν primary solver είχα path tracing, secondary solver και UHD cache, ενώ στα performance settings επιλέγω GI versus AA 16, light samples multiplier 2 και denoising none. Τέλος, στην καρτέλα του system στο image filter διαλέγω την επιλογή high quality. Στο photoshop έκανα ένα action (window actions) για να σώζω μαζικά τα renders είτε για εκτύπωση είτε για web view.

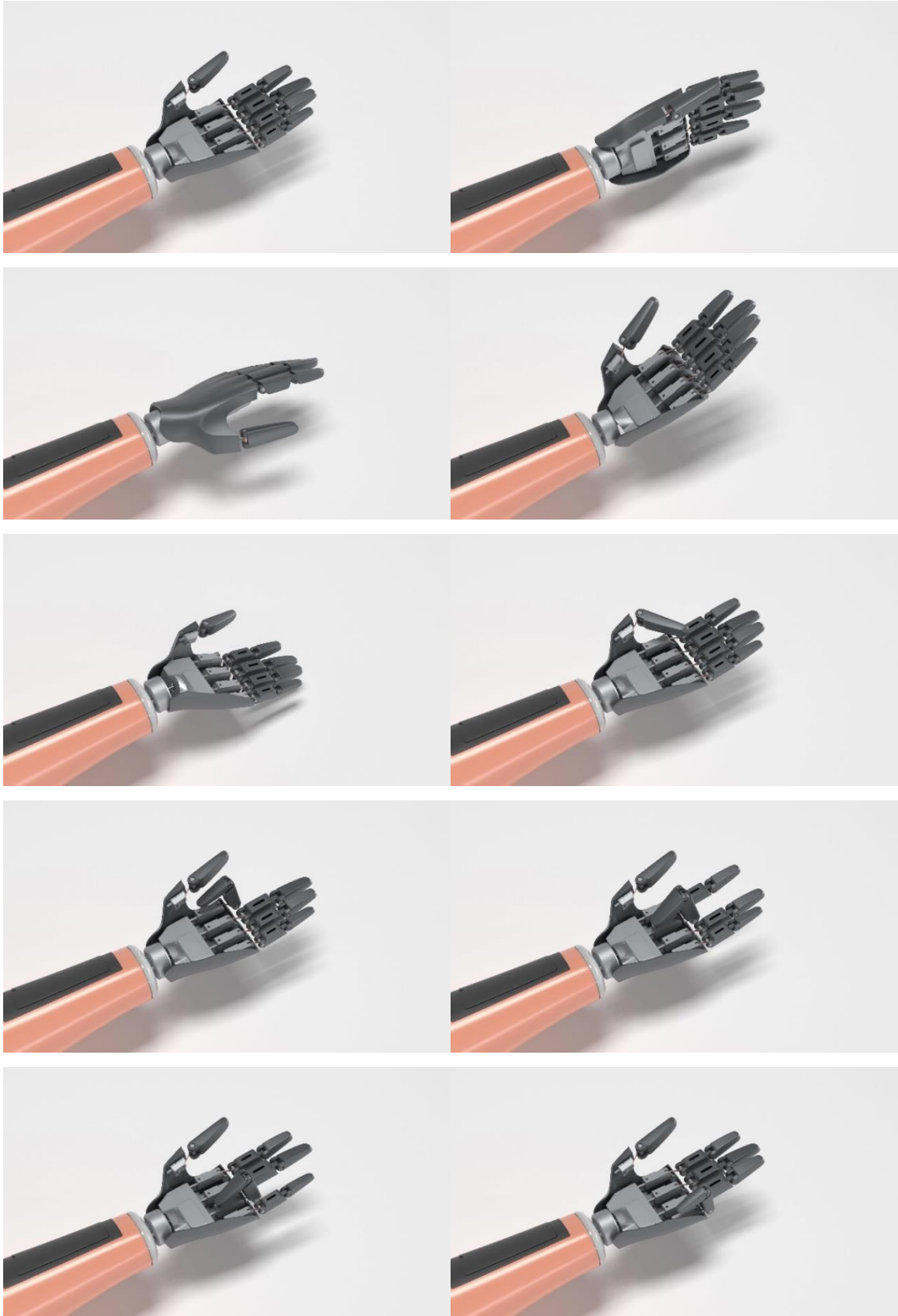
Τελικές φωτογραφίες του προσθετικού:





Εικόνες 55-58: Τελικές φωτογραφίες του μοντέλου

Φωτογραφίες των τελικών καρτέ:



Εικόνες 59-68: Φωτογραφίες τελικών καρτέ του μοντέλου

4.5 Ανακεφαλαίωση

Εν κατακλείδι, παρέχεται μια επισκόπηση της πολύπλευρης διαδικασίας δημιουργίας ενός τρισδιάστατου μοντέλου με τη χρήση του 3ds Max, του Corona Renderer και προγράμματος photoshop. Υπογραμμίζει τα κρίσιμα στάδια της αξιοποίησης των αναφορών, της διαμόρφωσης της σκηνής, της μοντελοποίησης, της σκίασης, της παραγωγής καρέ, του rendering και της μεταπαραγωγής, προσφέροντας μια εικόνα της σημασίας κάθε σταδίου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Daley J. (2017, June 21). *This 3,000-Year-Old wooden toe shows early artistry of prosthetics*. Smithsonian Magazine. <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/study-reveals-secrets-ancient-cairo-toe-180963783/>
2. Thurston A. J. (2007). *PARÉ AND PROSTHETICS: THE EARLY HISTORY OF ARTIFICIAL LIMBS*. ANZ. <https://doi.org/10.1111/j.1445-2197.2007.04330.x>
3. Li G. (2011). *Electromyography Pattern-Recognition-Based control of powered multifunctional Upper-Limb prostheses*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/22876>
4. Dr. Aartiphysio. (2022). *Amputation of upper limb: Indication, treatment, prosthesis*. Mobility Physiotherapy Clinic. <https://mobilephysiotherapyclinic.net/amputation-of-upper-limb/>
5. Vesalius. (n.d.). *Ακρωτηριασμοί Άνω Άκρων – Όλα όσα Πρέπει να Γνωρίζετε*. Vesalius. <https://www.vesalius.gr/blog/akrotiriasmoi-ano-akron>
6. Lalit S. (2021). *Amputation: meaning, types, disability, causes and impact*. WeCapable. <https://wecapable.com/amputation-meaning-types-disability-causes-impact/>
7. Aether Biomedical. (2022, March 11). *Types of upper extremity prosthetic hands*. Aether Biomedical. <https://blog.aetherbiomedical.com/types-of-upper-extremity-prosthetic-hands>
8. Medical Center Orthotics & Prosthetics. (n.d.) *The complete Guide to Arm & Hand Amputations and Prosthetics*. Medical Center Orthotics & Prosthetics. <https://mccopro.com/blog/resources/arm-hand-prosthetics/>
9. Beyrouthy T., Kork S. K. A., Korbane J. A., Abdulmonem A. (2016). *EEG Mind controlled Smart Prosthetic Arm*. Advances in Science Technology and Engineering Systems Journal. <https://doi.org/10.1109/emergitech.2016.7737375>
10. Isaacson B. M., Jeyapalina S. (2014). *Osseointegration: a review of the fundamentals for assuring cementless skeletal fixation*. Orthopedic Research and Reviews. <https://doi.org/10.2147/ORR.S59274>
11. Fillauer LLC. (2023). *NEXO*. Fillauer. <https://fillauer.com/products/nexo-transradial/>

12. Ottobock. (n.d.). *MyoPlus system*. Ottobock. https://www.ottobock.com/en-au/Prosthetics/UpperLimb_MyoPlus
13. Prosthetics in Motion. (n.d.) *THE MICHELANGELO® HAND*. Prosthetics in Motion. <https://www.prostheticsinmotion.com/technology.html>
14. Avilés M. K, Gaibor L. N. G., Asanza V., Lorente-Leyva L. L., Peluffo-Ordóñez D. H. (2023, May). *A 3D Printed, Bionic Hand Powered by EMG Signals and Controlled by an Online Neural Network*. Biomimetics. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8020255>
15. Mobius Bionics. (n.d.). *LUKE Arm*. mobiusbionics. <https://mobiusbionics.com/luke-arm/>
16. TRS Inc. (n.d.). *Mill's rebound pro basketball hand - Fillauer TRS Prosthetics*. Fillauer TRS Inc. <https://www.trsprosthetics.com/product/basketball-rebound/>
17. 3d_Molier International. (2023, July 6). *Brain Controlled Prosthetic Limbs 3D model*. TurboSquid. <https://www.turbosquid.com/FullPreview/2092104>
18. A Step Ahead Prosthetics. (n.d.). *osseointegration-arm-upper-2*. A Step Ahead. <https://www.weareastepahead.com/prosthetics/osseointegration/osseointegration-arm-upper-2/>
19. Calado A., Soares F., Matos D. (2019). *A Review on Commercially Available Anthropomorphic Myoelectric Prosthetic Hands, Pattern-Recognition-Based Microcontrollers and sEMG Sensors used for Prosthetic Control*. ICARSC 2019. <https://doi.org/10.1109/icarsc.2019.8733629>
20. Edelstein J., Carroll K. (2006). *Prosthetics and Patient Management: A Comprehensive Clinical Approach (1st edition.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003526032>
21. Mohebbian M. R., Nosouhi M., Fazilati F., Esfahani Z. N., Amiri G., Malekifar N., Yusefi F., Rastegari M., & Marateb H. R. (2021). *A Comprehensive Review of Myoelectric Prosthesis Control*. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2112.13192>
22. Brack R., Amalu E. H. (2020). *A review of technology, materials and R&D challenges of upper limb prosthesis for improved user suitability*. Journal of orthopaedics. <https://doi.org/10.1016/j.jor.2020.12.009>
23. Carey S. L., Lura D. J., Highsmith M. J. (2015, February 12). *Differences in myoelectric and body-powered upper-limb prostheses: Systematic literature review*. JRRD Journal of Rehabilitation Research and Development. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2014.08.0192>

24. Chen Z., Min H., Wang D., Xia Z., Sun F., Fang B. (2023). *A Review of Myoelectric Control for Prosthetic Hand Manipulation*. *Intelligent Human-Robot Interaction. Biomimetics*. <https://doi.org/10.3390/biomimetics8030328>
25. Bautista L. A., Villegas D. F. (2019). *Manufacture of a myoelectric prosthesis for transradial amputation*. *Journal of Physics Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1160/1/012023>
26. Jung S. Y., Kim S. G., Kim J. H., Park S. H. (2021). *Development of Multifunctional Myoelectric Hand Prosthesis System with Easy and Effective Mode Change Control Method Based on the Thumb Position and State*. *Applied Sciences*. <https://doi.org/10.3390/app11167295>
27. Jesús Villarreal-Gómez, L., Leticia Iglesias, A. (2021). *Biosensors - Current and Novel Strategies for Biosensing*. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87692>
28. Mastinu, E., Ahlberg, J., Lendaro, E., Hermansson, L., Hakansson, B., & Ortiz-Catalan, M. (2018). *An Alternative Myoelectric Pattern Recognition Approach for the Control of Hand Prostheses: A Case Study of Use in Daily Life by a Dysmelia Subject*. *IEEE journal of translational engineering in health and medicine*. <https://doi.org/10.1109/JTEHM.2018.2811458>
29. Yoo H. J., Park H. J., Lee B. (2019, May). *Myoelectric signal classification of targeted muscles using dictionary learning*. *Sensors*. <https://doi.org/10.3390/s19102370>
30. Formlabs. (n.d.). *How to cast silicone parts in 3D printed molds*. Formlabs. <https://formlabs.com/blog/casting-silicone-guide/>
31. Vedi H., Bhaiswar V., Walke P. (2024, August). *Design, analysis and development of low-cost 3D printed prosthetic hand*. *AIP*. <https://doi.org/10.1063/5.0225224>
32. Knibbe J., Alsmith A., Hornbæk K. (2018, September). *Experiencing electrical muscle stimulation*. *Proceedings of the ACM on Interactive Mobile Wearable and Ubiquitous Technologies*. <https://doi.org/10.1145/3264928>
33. Bao X., Zhou Y., Wang Y., Zhang J., Lü X., Wang Z. (2018). *Electrode placement on the forearm for selective stimulation of finger extension/flexion*. *PubMed Central*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190936>
34. Heckathorne W. C. (n.d.) *Components for adult externally powered Systems*. O&P Virtual Library. <https://www.oandplibrary.org/alp/chap06-03.asp>
35. Eugene Rossouw. (n.d.). *Understanding prosthetic arms and arm prostheses*. Eugene Rossouw Prosthetics. <https://www.prostheticrehabclinic.co.za/understanding-prosthetics/arm-prostheses/>