



**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ &  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

# ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΜΕΛΟΥΣ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΑΠΟ ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΗ.

**ΒΑΣΙΛΑΚΟΣ ΠΑΥΣΑΝΙΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ**

Αριθμός μητρώου: 50347058

Επιβλέπουσα καθηγήτρια:

Σωτηρία Γαλατά

ΑΘΗΝΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2024



**University of West Attica**  
Faculty of Engineering  
Department of Electrical  
and Electronics Engineering

CREATION OF ARTIFICIAL MEMBER DRIVEN BY  
MICROPROCESSOR.

VASILAKOS PAFSANIAS ANTONIOS

Registration number: 50347058

Supervising professor:

Sotiria Galata

ATHENS SEPTEMBER 2024

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Σωτηρία Γαλατά (επιβλέπουσα) Αναπληρώτρια καθηγήτρια	Οδυσσέας Τσακίριδης Επίκουρος καθηγητής	Φωτόπουλος Παναγιώτης Αναπληρωτής καθηγητής

**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ** και Παισανίας Αντώνιος Βασιλάκος,

Ιούλιος, 2024

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

#### **ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Βασιλάκος Παισανίας Αντώνιος του Αποστόλου με αριθμό μητρώου 50347058 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής μηχανικών του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και ηλεκτρονικών μηχανικών, 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».

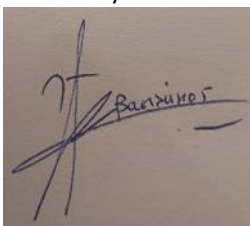
Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι ..... και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών

Ημερομηνία

Βασιλάκος Παισανίας Αντώνιος

Σεπτέμβριος 2024



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μέρος της ολοκλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών μου για το τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Στόχος ήταν η κατασκευή ενός μηχανικού χεριού κινούμενο από μικροελεγκτή.

Η πηγαία ανάγκη του ανθρώπου να δημιουργεί πρόσθετα μέλη τοποθετείται χρονικά στο μακρινό παρελθόν κι εξελίχθηκε σε μια διαδικασία που στο πέρασμα του χρόνου χαρακτηρίστηκε από συνεχείς καινοτομίες και τεχνολογική πρόοδο. Είναι αδιαμφισβήτητο ότι η χρησιμοποίηση των πρόσθετων μελών ενισχύει την ανεξαρτησία των κινήσεων στα άτομα και βελτιστοποιεί στο μέγιστο τη ζωή τους σε επίπεδο καθημερινότητας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε απόπειρα να κατασκευαστούν από την αρχή τα μέρη του τεχνητού μέλους με την διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Σε δεύτερο επίπεδο, τα εκτυπωμένα μέρη μετά από συναρμολόγηση πήραν την μορφή ανθρώπινου χεριού και τοποθετήθηκαν εντός της κατασκευής οι σέρβο κινητήρες.

Στη συνέχεια, με τη χρήση της κατάλληλης συνδεσμολογίας μεταξύ των σέρβο κινητήρων (Arduino Uno, breadboard και flex sensors) που είναι κολλημένοι σε ένα χειρόκτιο (γάντι) και της τροφοδοσία τους, ο μικρό ελεγκτής έλαβε σήμα από το χέρι του χειρίστη. Υστέρα το σήμα συνέχισε να εκπέμπει και με τον κατάλληλο προγραμματισμό παρουσίασε σαν αποτέλεσμα την κίνηση των δακτύλων του τεχνητού μέλους (άνοιγμα-κλείσιμο).

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του μηχανικού χεριού και της απαραίτητης συνδεσμολογίας του έγινε ο προβλεπόμενος έλεγχος για την ορθή λειτουργία του.

**Λέξεις κλειδιά:** Μηχανικό χέρι, τεχνητό μέλος, μικροελεγκτής, μικρό επεξεργαστής, flex sensors, Arduino Uno, breadboard, χειρόκτιο, τρισδιάστατη εκτύπωση, σέρβο κινητήρες.

## ABSTRACT

This thesis is part of the completion of my undergraduate studies for the Department of Electrical and Electronic Engineering at the University of West Attica. The goal was to build a mechanical arm driven by a microcontroller.

The original human need to create additional members is placed in the distant past and evolved into a process that over time was characterized by continuous innovations and technological progress. It is indisputable that the use of additional limbs strengthens the independence of movements in individuals and optimizes their life to the maximum on a daily basis.

In this thesis, an attempt was made to manufacture the parts of the artificial limb from scratch with the process of 3D printing. In a second level, the printed parts after assembly took the form of a human hand and the servo motors were placed inside the structure.

Then, using the appropriate wiring between the servo motors (Arduino Uno, breadboard and flex sensors) attached to a hand (glove) and their power supply, the small controller received a signal from the operator's hand. Afterwards the signal continued to emit and with the appropriate programming presented as a result the movement of the fingers of the artificial limb (opening-closing).

After the completion of the construction of the mechanical hand and the necessary wiring, the prescribed control was carried out for its correct operation.

**Keywords:** Mechanical hand, artificial limb, microcontroller, small processor, flex sensors, Arduino Uno, breadboard, manual, 3D printing, servo motors.

Ευχαριστίες:

Θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς την επιβλέπων καθηγήτρια μου , την κυρία Σωτηρία Γαλατά που μου έδωσε την ευκαιρία να δημιουργήσω καθώς και να ολοκληρώσω την διπλωματική μου εργασία, καθώς και για την βοήθεια της, συμβουλευτική και ψυχολογική, κατά την διάρκεια εκπόνησης της.

Τέλος θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους δικούς μου ανθρώπους που με τον δικό τους τρόπο με στήριξαν σε όλη την ακαδημαϊκή μου πορεία και στην μέχρι τώρα ζωή μου.

## Πίνακας περιεχομένων

<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>8</b>
1.1 Ορισμός τεχνητών μελών.....	8
1.2 Ιστορική αναδρομή τεχνητών μελών.....	8
1.3 Κατηγορίες τεχνητών μελών.....	27
1.4 Επίπεδα ακρωτηριασμού.....	29
1.5 Συστατικά τεχνητών μελών.....	34
1.6 Υλικά τεχνητών μελών.....	37
<b>2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....</b>	<b>39</b>
2.1 Arduino.....	39
2.2 Σερβοκινητήρες.....	46
2.3 Αισθητήρες κάμψης.....	50
2.4 Breadboard power supply module.....	52
2.5 3D Printing εκτυπωτής.....	54
<b>3. ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΜΕΛΟΥΣ.....</b>	<b>58</b>
<b>4. ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΧΕΡΙΟΥ.....</b>	<b>66</b>
4.1 Το περιβάλλον IDE του Arduino.....	66
4.2 Οι εντολές του προγράμματος.....	68
<b>5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>77</b>
<b>6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΒΕΛΤΙΩΣΕΙΣ.....</b>	<b>80</b>
<b>7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>81</b>



## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### 1.1 Ορισμός τεχνητών μελών

Με τον όρο τεχνητά μέλη ορίζουμε τις συσκευές που χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν εν μέρη ή πλήρως ένα μέρος του σώματος που λείπει, μπορεί να έχει χαθεί λόγω τραύματος, ασθένειας ή ακόμα και γενετικής διαταραχής. Μπορούν να κυμαίνονται είτε από απλά μέλη αλλά και ακόμα από προηγμένα με την βοήθεια της ρομποτικής και της τεχνολογίας των αισθητήρων.

Τα τεχνητά προσθετικά μέλη αναπτύσσονται για να αντιμετωπίσουν τις ανάγκες ανθρώπων που έχουν χάσει ή έχουν υποστεί βλάβη στα φυσικά τους μέλη. Αυτά τα προσθετικά μέλη μπορούν να περιλαμβάνουν προσθετικές προθέσεις για άκρα (όπως προσθετικά χεριά ή πόδια), καθώς και τεχνητές αρθρώσεις όπως γοφοί ή γόνατα.

Η τεχνολογική πρόοδος σε αυτόν τον τομέα έχει επιτρέψει την κατασκευή προσθετικών μελών που προσομοιάζουν λεπτομερώς την φυσική κίνηση και λειτουργία του ανθρωπίνου σώματος. Για παράδειγμα κάποια μέλη είναι σχεδιασμένα να αντιδρούν σε κινητικά σήματα από τον εγκέφαλο ή το νευρικό σύστημα του χρήστη, επιτρέποντας του να κινεί το τεχνητό μέλος με μεγάλη φυσικότητα και ευελιξία. Η συγκεκριμένη τεχνολογία ονομάζεται νευροσύνδεση και έχει τεράστιο δυναμικό στο να βελτιώσει την ποιότητα ζωής των ανθρώπων που χρησιμοποιούν προσθετικά μέλη.

### 1.2 Ιστορική αναδρομή των τεχνητών μελών.

#### Εισαγωγή.

Η ιστορία των τεχνητών μελών είναι μια ιστορία καινοτομίας, προσαρμογής και ανθρωπίνης επινοητικότητας. Ξεκινώντας από τα πρώτα βήματα της ανθρωπότητας για να αντικαταστήσει χαμένα μέλη με απλά υλικά φτάνουμε στην εποχή της υψηλής τεχνολογίας με εξαιρετικά προηγμένες προσθετικές συσκευές.

## Η αρχαιότητα.(950 π.Χ.-476 μ.Χ.)

**950π.Χ** Τεχνητά πόδια της Αίγυπτου. Η πρώτη καταγεγραμμένη χρήση τεχνητού μέλους έγινε από χρήση ξύλου στην προσπάθεια δημιουργίας ποδιού, που βρέθηκε στην Αίγυπτο και συγκεκριμένα στην πρωτεύουσα το Κάιρο. Έτσι οι αρχαίοι Αιγύπτιοι έδειξαν ότι ήδη είχαν αναπτύξει μεθόδους για να αντιμετωπίσουν την ακρωτηριασμένη κινητικότητα. [3]

**600π.Χ** Φτιάχτηκε το δάκτυλο ποδιού με όνομα “Greville Chester Great toe “. Το συγκεκριμένο μέλος αναφέρεται σε μια αρχαία αιγυπτιακή προσθετική των άκρων και ήταν φτιαγμένο από ξύλο και δέρμα. Ανακαλύφτηκε από αρχαιολόγους το 1997, είναι ένα από τα παλιότερα γνωστά προσθετικά συστήματα. Πιστεύεται ότι αυτό το τεχνητό δάκτυλο φορέθηκε από ένα άτομο υψηλής κοινωνικής θέσης λόγω του περίπλοκου σχεδιασμού και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν. Πήρε το όνομα του από την συλλογή Greville chester που είναι μια ιδιωτική συλλογή από αντικείμενα της Αίγυπτου και στεγάζεται στο βρετανικό μουσείο του Λονδίνου. Το συγκεκριμένο δάκτυλο παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για την προηγμένη ιατρική και τεχνολογική γνώση του αρχαίου αιγυπτιακού κόσμου.[2]

**340π.Χ** Στην Ινδία, τα επικά κείμενα όπως το Μαχάμπαρατα περιέχουν αναφορές σε πολεμιστές που χρησιμοποιούν σιδερένια προσθετικά μέλη. Αυτό αντανακλά μια πρώιμη κατανόηση των μηχανικών αρχών και της ανάγκης για λειτουργική αναπλήρωση αναπηριών.

**350π.Χ** Ανακαλύφτηκε το “πόδι Carua “ στην ομώνυμη πόλη της αρχαίας Ιταλίας Καπουέ. Κατασκευάστηκε από μπρούτζο και είχε έναν εντυπωσιακό σχεδιασμό ενώ παράλληλα διέθετε λεπτές ράβδους και ιμάντες που ασφάλιζαν το άκρο στην θέση του. Ήταν εξοπλισμένο με μια σύνθετη μηχανιστική δομή που του επέτρεπε να κινείται με μια σχετική φυσικότητα. Είναι ένα παράδειγμα των πρώτων προσπαθειών της αρχαίας τεχνολογίας να δημιουργήσει προσθετικά μέλη που προσομοιάζουν την κίνηση των ανθρωπίνων μελών.[4]



Εικόνα 1. Το δάκτυλο που ανακαλύφτηκε στο Κάιρο.[3,4]



Εικόνα 2. Το προσθετικό μέλος Greville Chester.[2]

**201π.Χ** Κατά την περίοδο της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας ο στρατηγός Margus Sergius δημιούργησε ένα προσθετικό χέρι από μέταλλο για να του επιτρέψει να κρατάει την ασπίδα του στην μάχη. Πολέμησε κατά τον δεύτερο Πουνικό πόλεμο 218-201π.Χ και θεωρείται ένας από τους πρωτοστάτες την προσθετικής μελών για πολεμική χρήση.[5,6]

**500μ.Χ** Στην Ελλάδα και Ρώμη τα προσθετικά μέλη είναι καταγεγραμμένα αλλά όχι πολύ συχνά. Υπήρχαν κάποιες απλές κατασκευές για τεχνητά πόδια και χέρια, συχνά από ξύλο και μέταλλο που είχαν στόχο να βοηθήσουν στην κίνηση ή να επιτρέψουν σε στρατιώτες να συνεχίσουν την μάχη.

## **Ο Μεσαίωνα (476μ.Χ-1453μ.Χ)**

**476 -1453** Κατά τον μεσαίωνα τα προσθετικά μέλη έγιναν πιο συνηθισμένα, ειδικά στους στρατιώτες που τραυματίζονταν στις μάχες. Τα προσθετικά αυτά ήταν συνήθως κατασκευασμένα από ξυλουργούς και σιδηρουργούς και έτειναν να είναι βαριά και δυσκίνητα, αλλά σταδιακά εισήχθησαν βελτιώσεις όπως οι μεταλλικές κολλήσεις. Κατά μέσο όρο η συγκεκριμένη εποχή δεν προσφέρει σημαντικές καταγραφές καινοτομίας με τις αναβαθμίσεις να παραμένουν σχετικά απλές και πρωτόγονες.[4]

## **Η αναγέννηση (1490 – 1700)**

**1495** Ο Λεονάρντο ντα βίντσι σχεδίασε ένα ρομπότ περπατητή, λειτουργούσε με την χρήση μηχανισμών για την προώθηση της κίνησης. Το σχέδιο του περιλάμβανε μια σειρά από μηχανικούς σχεδιασμούς που θα επέτρεπαν στο ρομπότ να κινείται με μια μορφή περπατήματος. Αποτελεί ένα ενδιαφέρον παράδειγμα της προσπάθειας του να αναπαράγει την ανθρώπινη κίνηση με μηχανικά μέσα. Πάνω σε αυτά τα έγγραφα έγιναν οι πρώτες προσπάθειες της ιατρικής για δημιουργία προσθετικών ακρών. [11]

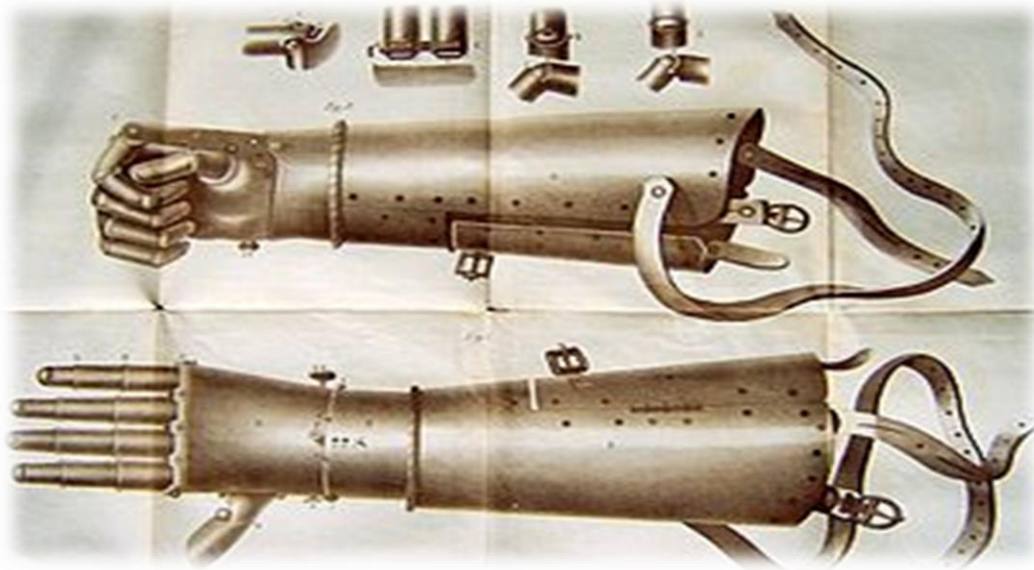
**1500** Εφευρέθηκε για λογαριασμό του Ιταλού αξιωματικού Roberto de Medici το προσθετικό χέρι με το όνομα "The first hand of Florence ". Το " πρώτο χέρι της Φλωρεντίας" ήταν φτιαγμένο από σίδηρο. Ήταν εξαιρετικά προηγμένο για τη εποχή του και σχεδιασμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να προσφέρει αρμονικά επίπεδα κινητικότητας και λειτουργικότητας. Είχε αρθρώσεις στον καρπό και τα δάκτυλα, το

καρπικό τμήμα μπορούσε να επιστραφεί και τα δάκτυλα να λυγίσουν. Είχε ένα κουμπί κοντά στο καρπικό οστό που επέτρεπε, με το πάτημα του, να κλείσουν τα δάκτυλα και να “παγιδεύουν” το επιθυμητό αντικείμενο για χρήση. Εσωτερικά χρησιμοποιούσε την δύναμη ελατήριου για την σταθεροποίηση των δακτύλων. Η καινοτομία με τα ελατήρια δεν άλλαξε σχεδόν καθόλου τους επόμενους αιώνες. Σήμερα εκτίθεται στο μουσείο Στίμπερτ στην Φλωρεντία.[9,10]



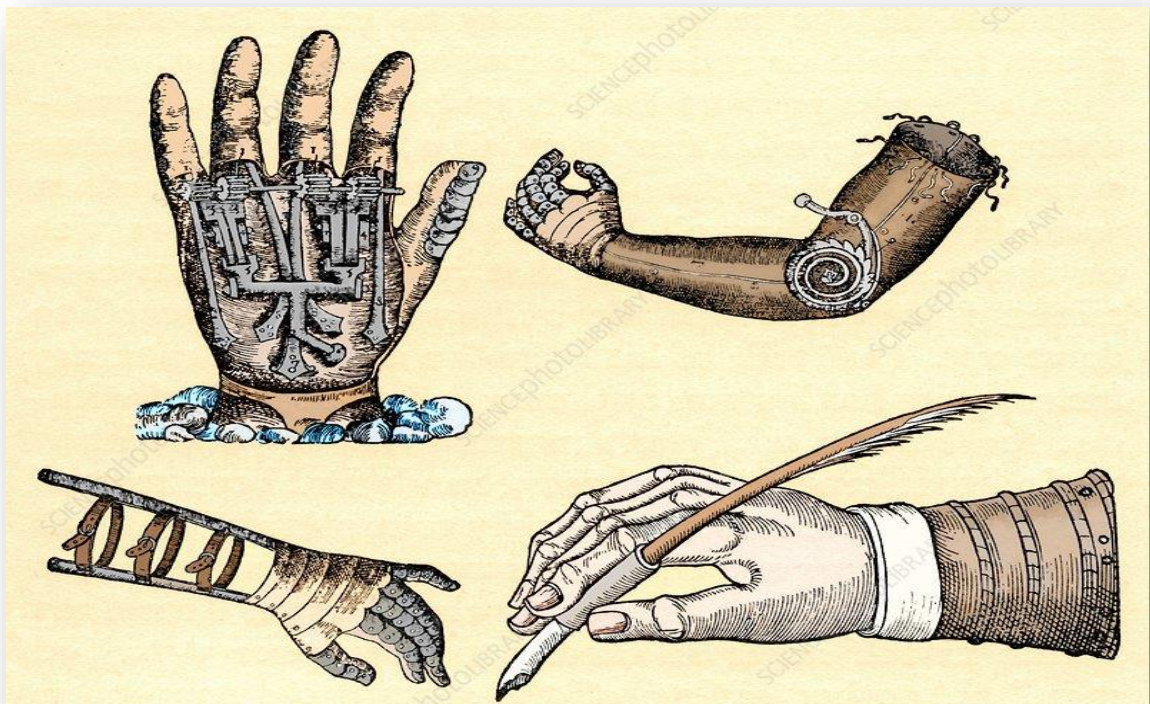
**Εικόνα 3. Το πρώτο χέρι της Φλωρεντίας “The first hand of florence”.[10]**

**1504** Ο Γκότφριντ Γκετς φον Μπέρλιχινγκερ, ή αλλιώς ο “Γκετς ο σιδεροχέρης”, ήταν ένας Γερμανός αυτοκρατορικός ιππότης και μισθοφόρος που έχασε το χέρι του σε μια μάχη στην πόλη Λάντσχουντ. Στην θέση του τοποθετήθηκε ένα σιδερένιο χέρι κατασκευασμένο από σίδηρο οπού είχε συρματόσχοινα και ελατήρια που επέτρεπαν στα δάκτυλα του να κινούνται και να σφίγγουν αρκετά δυνατά ώστε να κρατάει αντικείμενα. Πιο συγκεκριμένα αποτελούταν από αρθρώσεις στον καρπό και τα δάκτυλα που επέτρεπαν βασικές κινήσεις. Τα δάκτυλα μπορούσαν να κλείσουν ή να ανοίξουν διευκολύνοντας την κράτηση αντικειμένων όπως ένα ξίφος ή ακόμα και πένα γραφής. Ο μηχανισμός λειτουργίας των δακτύλων είχε μέσα διαφορά ελατήρια που επέτρεπε στον Γκετς να το χρησιμοποιεί σχεδόν σαν φυσικό χέρι. Το συγκεκριμένο τεχνητό μέλος σχεδιάστηκε για να είναι λειτουργικό και αισθητικά παρόμοιο με ένα πραγματικό χέρι, πάρα την ψηλαφητή βαρύτητα και την ψυχρότητα του σιδηρού. Χάρης αυτήν την καινοτομία ο Γκετς μπόρεσε να είναι ακμαιότατος στις πολεμικές του επιχειρήσεις. Σήμερα το χέρι αυτό εκτίθεται στο κάστρο Χόρνμπεργκ.[8]



Εικόνα 4. Το σιδερένιο χέρι του Γκότφριντ Γκετς φον Μπέρλινγκεν.[8]

1550 Δημιουργήθηκε από τον Γάλλο χειρουργό Ambroise Pare ένα μηχανικό χέρι με το όνομα "Le Pettit Lorain" που λειτουργούσε με λαβές και ελατήρια. Κατασκευάστηκε για λογαριασμό Γάλλου λοχαγού για πολεμική χρήση. Για πολλούς ο Pare θεωρείται ο πατέρας της σύγχρονης χειρουργικής. Ήταν ένας πρωτοπόρος στον τομέα της τραυματολογίας και της περίθαλψης των πολεμικών τραυμάτων. Αξίζει να αναφερθεί ότι δημιούργησε ακόμα και τεχνητές μύτες.[12]





**Εικόνα 5.6. Το Le Pettit Lorain , του Ambroise Pare.[12,13]**

**1696** Ο Ολλανδός χειρουργός Pieter Adriaazon Verduyn ανέπτυξε το πρώτο προσθετικό πόδι για κάτω από το γόνατο επιτρέποντας φυσική κίνηση του ποδιού στην συγκεκριμένη περιοχή του γονάτου. Πραγματοποίησε έναν από τους πρώτους ακρωτηριασμούς κνήμης όπως αναφέρετε στην διατριβή του.[13]



Εικόνα 7. Ο Pieter Adriaazou Verduyn με την εφεύρεση του, το προσθετικό πόδι.[13]

## Η νεότερη εποχή (1700 – 1900)

**1799** Ο Karl Heinrich Klingert ήταν Γερμανός χειρουργός που έζησε κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα, έγινε γνωστός για τις σημαντικές συνεισφορές του στον τομέα της χειρουργικής και συγκεκριμένα της ορθοπαιδικής. Έφτιαξε ένα τεχνητό χέρι για έναν κυνηγό που πυροβόλησε και ακρωτηρίασε το δεξί του χέρι κατά την διάρκεια του κυνηγιού.[9]

**1800** Ο James Potts ήταν Άγγλος εφευρέτης από το Λονδίνο που έζησε κατά τον 19<sup>ο</sup> αιώνα. Είναι ιδιαίτερα γνωστός για την εφεύρεση του πρώτου επιτυχημένου προσθετικού μέλους για την κάτω άκρη γνωστό και ως Potts artificial leg (Το τεχνητό πόδι Potts ). Ο Potts ανέπτυξε αυτό το τεχνητό μέλος για να βοηθήσει τους



ανθρώπους που είχαν χάσει το πόδι τους ή και τα πόδια τους σε ατυχήματα ή λόγω ασθeneιών. Το προσθετικό αυτό μέλος κατασκευάστηκε από ξύλο και μέταλλο και πρόσφερε μια προσφιλή λύση για την αποκατάσταση της κινητικότητας και της λειτουργίας των ανθρώπων της εποχής που είχαν χάσει τα κάτω άκρα τους. Η εφεύρεση αυτή του James Potts συνέβαλε σημαντικά στην ανάπτυξη της τεχνολογίας προσθετικών μελών και άνοιξε τον δρόμο για περαιτέρω καινοτομίες στον συγκεκριμένο τομέα. Το τεχνητό αυτό μέλος χρησιμοποιήθηκε από τον Henry Paget που έχασε το πόδι του στην μάχη του Βατερλό το 1815.[14]



**Εικόνα 8. Το Anglesey leg ή Potts Artificial leg του James Potts.[15]**

**1812-1818** Ο Γερμανός οδοντίατρος και τεχνικός χειρουργός με καταγωγή από το Βερολίνο, Peter Baliff θέλησε να δημιουργήσει ένα προσθετικό μέλος που θα χρησιμοποιούσε τις μυϊκές λαβές του κορμού και του ώμου ώστε να καταφέρει να κινήσει και να κάμψει τα τελικά άκρα της εφεύρεσης του.[9]

**1860** Ο Γάλλος αριστοκράτης και εφευρέτης Comte de Beaufort, γνωστός για τις συνεισφορές του στον τομέα της προσθετικής, κυρίως των προσθετικών χεριών. Ανέπτυξε ένα σύστημα από χειρολαβές που λειτουργούσε με σύνθετα συστήματα μηχανικής και πιέζονταν από τον χρήστη με διάφορους τρόπους, όπως μέσω κινήσεων του ώμου ή άλλων μυών. Αυτή η αλληλεπίδραση μεταξύ του φυσικού σώματος και των χειρολαβών επέτρεψε στον χρήστη να εκτελεί κινήσεις που προσομοιώνουν την φυσική λειτουργία του άκρου που απουσιάζει. Επίσης δημιούργησε έναν γάντζο με διπλό άγκιστρο ελεγχόμενο από κορδόνι που μπορούσε να πιάσει και να σφίξει αντικείμενα. Η καινοτομία του Beaufort επέτρεψε σε πολλούς

που είχαν υποστεί ακρωτηριασμό να ανακτήσουν κομμάτι της ανεξαρτησίας τους και να επαναφέρουν την λειτουργικότητά τους.

**1861μ.Χ** Ο James Edward Hanger ήταν ένας βετεράνος που αμερικανικού εμφυλίου (1861-1865) που πολέμησε στο πλευρό του στρατού των ομοσπονδιακών πολιτειών. Κατά την διάρκεια της μάχης, το πόδι του ακρωτηριάστηκε όταν έπεσε κοντά του μια οβίδα από κανόνι. Σχεδίασε και εφηύρε ένα προσθετικό πόδι, από βαρέλι και μέταλλο, με το όνομα Hanger limb. Το τεχνητό αυτό πόδι περιλάμβανε μια κίνηση αρθρώσεων και ελατήρια που επέτρεπαν μια πιο φυσική κίνηση κατά το περπάτημα. Αξίζει να σημειωθεί πως δημιούργησε μια αλυσίδα κλινικών με το όνομα Hanger Clinics που σήμερα είναι μια τεράστια βιομηχανία στον τομέα των προσθετικών μελών.[17]



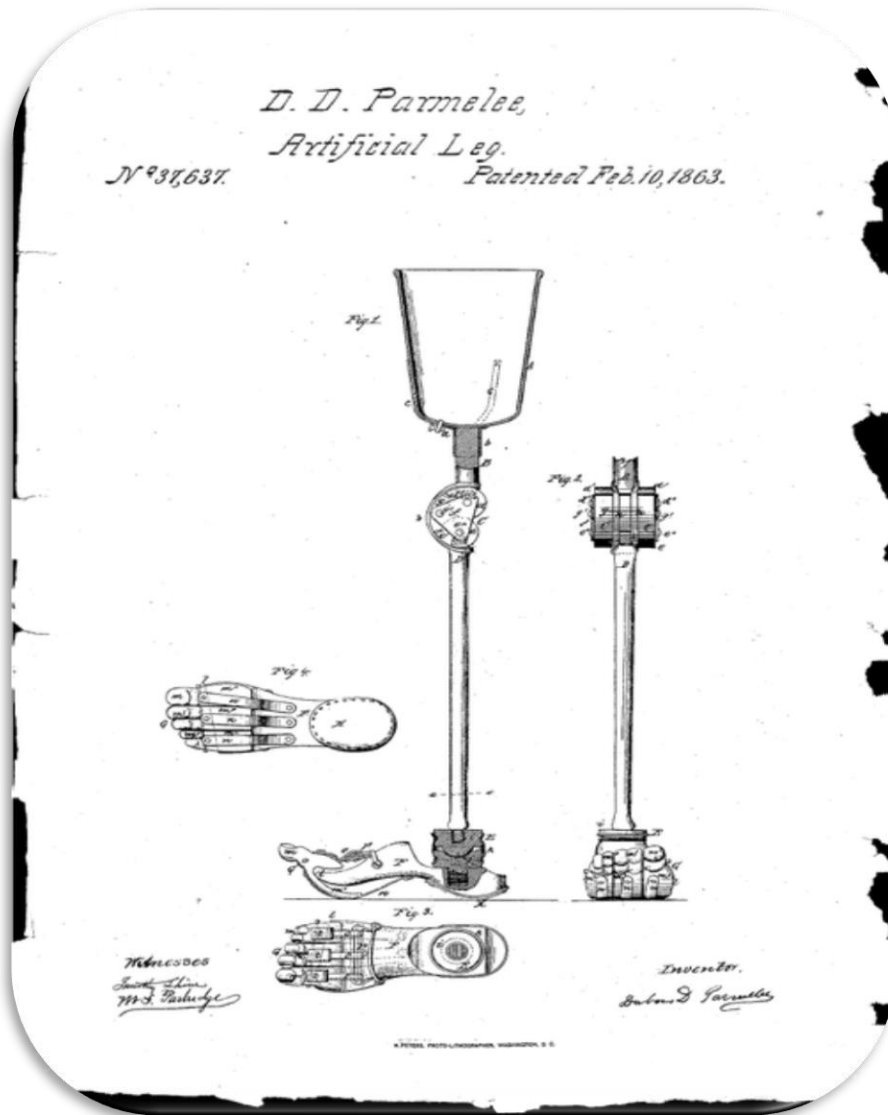
**Εικόνα 9. Ο James Edward Hanger κρατώντας την εφεύρεση του.**

**1862μ.Χ** Ο Dr Douglas Bly ένας φυσικός από το Ρότσεστερ της νέας Υόρκης δημιούργησε ένα πρωτοποριακό προσθετικό πόδι. Η ανάγκη που έφερε ο εμφύλιος για προσθετικά μέλη έκανε την εφεύρεση του Douglas να διαφημίζεται στα φυλλάδια της εποχής από το 1859 μέχρι το 1862. Ήταν κατασκευασμένο από μια σφαίρα από ελεφαντόδοντο που ακουμπούσε μέσα σε μια υποδοχή από λάστιχο, πρόσφερε έτσι ένα πιο ομαλό και λιγότερο ενοχλητικό, κατά την στήριξη, πόδι και παράλληλα πέτυχε φυσική αναστροφή και ανατροπή του ανθρωπίνου ποδιού. [13][19]

**1863** Ο Dubois D. Parmelee από την νέα Υόρκη δημιούργησε ένα τεχνητό πόδι που για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκε μια υποδοχή αναρρόφησης για τοποθέτηση στο σημείο ακρωτηριασμού ενός άκρου. Το προσθετικό αυτό μέλος δεν απαιτούσε ζώνη ισχίου, ιμάντα ωμού ή κάποιου άλλου τύπου λουρί που συνηθιζόταν στην τεχνολογία της εποχής. Η έμπνευση του προήλθε από την ανάγκη της εποχής για προσθετική τεχνολογία λόγω των πολλών ακρωτηριασμών από τον αμερικανικό εμφύλιο πόλεμο. Ακόμα αξίζει να αναφέρουμε ότι τιμήθηκε με το βραβείο ευρεσιτεχνίας των ΗΠΑ στις 10 Φεβρουάριου του 1963.[21]



**Εικόνα 10** Η κατασκευή του Dubois D. Parmelee. [21]



Εικόνα 11 . Τα σχέδια της πατέντας του Dubois D. Parmelee.[21]

**1864μ.Χ** Ο Samuel Decker, ήταν ένας ακόμα βετεράνος του αμερικανικού εμφύλιου πολέμου που έχασε τα χέρια του στην μάχη. Πίστευε πως τα τεχνητά μέλη θα έπρεπε να επαναφέρουν καθημερινές λειτουργίες που ο ασθενής έχει πλέον χάσει. Δημιούργησε τους δικούς του τεχνητούς βραχίονες δίνοντας οδηγίες σε συνεργάτες του να τους κατασκευάσουν. Αργότερα ο Decker έγινε επίσημος θυρωρός στην βουλή των αντιπροσώπων της Αμερικής.[18]



**Εικόνα 12. Ο Samuel Decker με τους τεχνητούς βραχίονες έχοντας προσαρμόσει ένα κουτάλι.[18]**

**1865.** Ο Benjamin Morgan Palmer ήταν ένας Αμερικανός ορθοπεδικός που έγινε γνωστός για την προσφορά του στην προσθετική κυρίως μετά τον αμερικανικό εμφύλιο πόλεμο. Ήταν πρωτοπόρος στην χρήση ξύλου για τεχνητά μέλη όπως πόδια και χέρια. Συγκεκριμένα χρησιμοποίησε μια σειρά ελατηρίων και μεταλλικών τενόντων για να προκαλέσει άρθρωση σε όλα τα άκρα του ανθρώπινου σώματος όπως δάκτυλα και πέλματα. Ο Palmer ανέπτυξε και κατασκεύασε πολλά προσθετικά μέλη με την χρήση ξύλου και άλλων υλικών προσφέροντας έτσι ευκολότερη πρόσβαση σε αυτά για ανθρώπους που είχαν χάσει μέλη του σώματος τους είτε από τραυματισμούς είτε από αρρώστιες.[25]

**1866.** Ο Γάλλος γιατρός Dr. Griouilleau κατασκεύασε μια πατέντα, ένα κολόβωμα βραχίονα όπου ο χρήστης θα χειριζόταν γεωργικά εργαλεία. Απαρτιζόταν από γάντζους και κρίκους που ταίριαζαν γύρω από τα αγροτικά εργαλεία και προκαλούσαν έναν πολυμερισμό με τον εργάτη. Όλα αυτά 50 χρόνια πριν τον 1<sup>ο</sup> Παγκόσμιο πόλεμο .[25]

**1885.** Ο Henry Heather Bigg ήταν Βρετανός ορθοπεδικός που ασχολήθηκε έντονα με τη ανάπτυξη και βελτίωση προσθετικών άκρων καθώς και βοηθητικών συσκευών για άτομα με αναπηρίες. Μαζί με τον γιο του Allen Heather Bigg εργάστηκαν πάνω στην σχεδίαση και κατασκευή τεχνητών χεριών. Το πιο γνωστό έργο τους είναι το "Stanhope arm", ένα προσθετικό άκρο χεριού το οποίο επέτρεπε στον χρήστη να

εκτελεί διάφορες λειτουργίες με μεγαλύτερη ευκολία από προηγούμενα μοντέλα της εποχής. Το 1885 δημοσιεύθηκε το βιβλίο του με τίτλο "Artificial Limbs and the Amputations which Afford the Most Appropriate Stumps in Civil and Military Surgery". Περιείχε μια λεπτομερή επισκόπηση των τεχνικών και των εξελίξεων στον τομέα των προσθετικών μελών. Αναφέρεται στις καλύτερες πρακτικές για τις ακρωτηριάσεις δίνοντας συμβουλές για το πως να δημιουργηθούν οι καλύτερες δυνατές συνθήκες για την χρήση των προσθετικών μελών, αποτελεί σήμερα ένα ιστορικό κείμενο της προσθετικής τεχνολογίας.[23]

## Σύγχρονη εποχή (1900 – Σήμερα)

**1900** Ο Ιταλός εφευρέτης Giuseppe Vanghetti ανέπτυξε την τεχνική "kinetoplasti". Ήταν μια πρωτοποριακή τεχνική που επέτρεπε στις προσθετικές άκρες να κινούνται με φυσικό τρόπο ,χρησιμοποιώντας την μυϊκή δύναμη του ακρωτηριασμένου μέλους. Ο Vanghetti σχεδίασε τις προσθετικές συσκευές να συνδέονται και να ενεργοποιούνται από τους εναπομείναντες μύς του χρήστη επιτρέποντας κινήσεις που προσομοίαζε ένα πραγματικό ανθρώπινο μέλος. Παράλληλα ανέπτυξε την μέθοδο "cinematic", στην οποία "έδενε " το εναπομείναντα άκρο με άλλα αντικείμενα όπως γάντζους ή σχοινιά. Επικεντρώνεται κυρίως στην χρήση συνδέσμων και αρθρώσεων που μιμούνται τη φυσική δυναμική και κινηματική των ανθρώπινων μελών. Μέσω αυτής της μεθόδου οι προσθετικές άκρες μπορούσαν να κινούνται πιο ρεαλιστικά με μεγαλύτερη ευελιξία και ελευθέρια κινήσεων.[26]

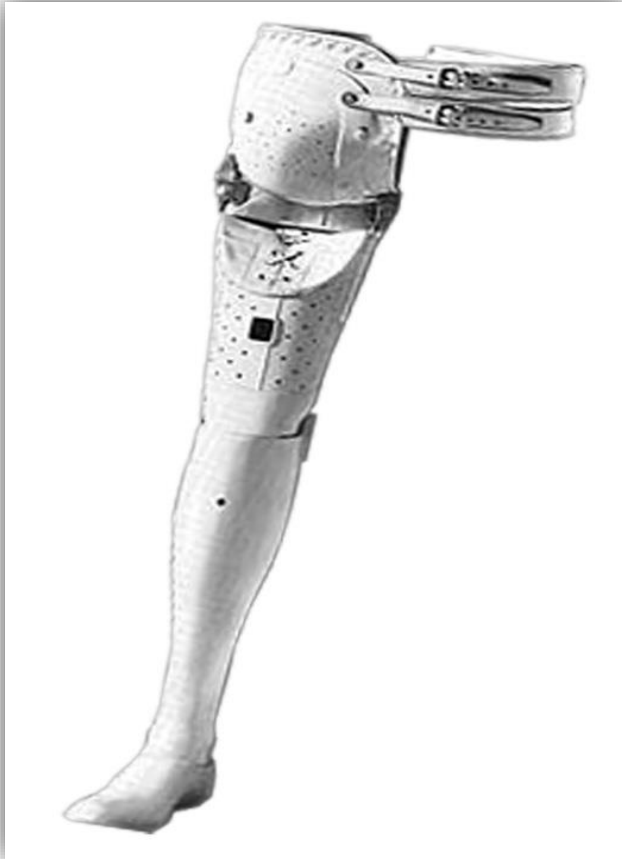
**1911** Ο William T. Carnes δημιούργησε το Carnes arm. Ένα προσθετικό χέρι που ο βασικός του κορμός αποτελούταν από ελαφρύ αλουμίνιο, ατσάλι στα δάκτυλα και για τις άκρες αυτών σκληρό ξύλο. Εσωτερικά διέθετε έναν μηχανισμό που επέτρεπε τη μεταφορά της κίνησης μέσω χρήσης καλωδίων και ελατήριων, τα οποία βοηθούσαν στο άνοιγμα και κλείσιμο των δακτύλων του προσθετικού χεριού. Ο Carnes προέβη σε αυτήν την εφεύρεση μετά από προσωπικό ακρωτηριασμό που είχε.[25]



**Εικόνα 13. Το Carnes arm έχοντας προβεί σε μετατροπές.[25]**

**1912** Ο John W. Dorrance κατασκεύασε ένα “χέρι γάντζο” με το όνομα “Dorrance Hook”, ο οποίος αποτελεί μια πολύ σημαντική εξέλιξη στην τεχνολογία προσθετικών χεριών. Το συγκεκριμένο τεχνητό μέλος σχεδιάστηκε για να λειτουργεί με έναν μοναδικό και απλό τρόπο. Ο χρήστης μπορούσε να ελέγχει τον γάντζο με τις κινήσεις του υπόλοιπου χεριού ή του ώμου ανάλογα με το επίπεδο του ακρωτηριασμού. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα προς τον χρήστη να εκτελεί μια σειρά από καθημερινές εργασίες πιο εύκολα από ότι με τις πιο περίπλοκες και βαριές προσθετικές συσκευές της εποχής. Η εφεύρεση του Dorrance είχε μεγάλη επίδραση στην βιομηχανία προσθετικών και βοήθησε χιλιάδες ανθρώπους να βελτιώσουν την καθημερινή τους ζωή. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο Dorrance έφτιαξε δική του βιομηχανία στον τομέα των προσθετικών μελών με το όνομα Hosmer Dorrance Corporation που εδρεύει στην California της Αμερικής.[9]

**1913** Ο βρετανός πιλότος Marcel Desoutter έχασε το πόδι του σε μια προσπάθεια προσγείωσης του αεροπλάνου Gnome Bleriot που ήταν κυβερνήτης. Το ξύλινο πόδι που του δόθηκε δεν κάλυπτε τις προσδοκίες του και με την βοήθεια του αδερφού του Charles, που διέθετε γνώσεις μηχανολογίας, δημιούργησαν ένα τεχνητό πόδι φτιαγμένο από ντουλαρουμίνιο κάνοντας το ελαφρύ και εύκολο στην χρήση του. Εσωτερικά διέθετε ένα ελατήριο στο σχεδιασμό του που του επέτρεπε αυξημένη ελαστικότητα και απορρόφηση κραδασμών κατά την κίνηση. Αυτό έκανε το προσθετικό πόδι πιο άνετο και λειτουργικό για τον χρήστη καθιστώντας το κατάλληλο για καθημερινές δραστηριότητες όπως περπάτημά, τρέξιμο ή στην περίπτωση του Desoutter ακόμα και πιλοτάρισμα αεροπλάνου. Τα επόμενα χρόνια τα δυο αδέρφια δημιούργησαν μια εταιρία με το όνομα Desoutter bros που ειδικεύεται στην κατασκευή ελαφρών τεχνητών μελών.[27]



**Εικόνα 14. Η εφεύρεση των αδερφών Desoutter, το Desoutter foot.[27]**

**1915** Ο Γερμανός χειρουργός Ferdinand Sauerbruch είχε μεγάλη επίδραση στην χειρουργική και ιατρική τεχνολογία. Είναι γνωστός κατά κύριο λόγο για την εφεύρεση του το "Sauerbruch Arm ", ένας τεχνητός προσθετικός βραχίονας που επέτρεπε στον χρήστη να προσομοιώσει τις κινήσεις του χεριού με την δύναμη των μυών του. Αποτελούνταν από σωλήνες και νήματα που όταν ο χρήστης " έσφιγγε" ή χαλάρωνε τους συγκεκριμένους μύς τα νήματα με την κίνηση τους προκαλούσαν το άνοιγμα, κλείσιμο των δάκτυλων.



**Εικόνα 15. Η κατασκευή του Ferdinand Sauerbruch.**



**1922** Ο George W. Bennett εφηύρε το προσθετικό πόδι “Bennett Mechanical leg” που τον έκανε ευρέως γνωστό στην επιστημονική κοινότητα της εποχής. Χρησιμοποίησε ελατήρια και μηχανολογική επιστήμη καταφέροντας έτσι να πέτυχει αρμονική κίνηση γονάτου και αστράγαλου.

**1946** Ο Γάλλος Juenin Hanger δημιούργησε ένα τεχνητό πόδι με το όνομα “Stabilax” που κλείδωνέ με την βοήθεια της πίεσης από την “φτέρνα” δίνοντας την αίσθηση φυσικής κίνησης. Αποτελούνταν από ξύλο μέταλλο και σε κάποια σημεία δέρμα. Υποστήριζε ότι οι μεταπολεμική εποχή άνθιζε το εμπόριο και την καινοτομία των προσθετικών μελών.[28]



**Εικόνα 16. Το πόδι Stabilax.[28]**

**1948** Δημιουργήθηκε η πρώτη μωηλεκτρική συσκευή από τον φοιτητή φυσικής του πανεπιστημίου του μονάχου Reinhold Reiter. Συγκεκριμένα έφτιαξε έναν βραχίονα που ανταποκρινόταν με έναν ηλεκτρομογράφο από τον χρήστη.

Παράλληλα την ίδια εποχή παρουσιάστηκε και δοκιμάστηκε το καλώδιο Bowden. Ήταν ένα κομψό βελτιωμένο καλώδιο που χρησιμοποιήθηκε για αντικατάσταση από τους ογκώδεις ιμάντες εσωτερικά των τεχνητών μελών κυρίως των χεριών. Πρόκειται για μια πολύ σημαντική αναβάθμιση που πέρα της οπτικής βελτίωσης χαμήλωσε και το κόστος παραγωγής των προσθετικών.[30]

**1954** Ο Ernst Marquardt, ένας Γερμανός εφευρέτης κατασκεύασε, το SACH foot (solid Ankle Cushioned Heel ). Ήταν το πρώτο προσθετικό πέλμα. Σχεδιάστηκε για να προσομοιώσει την κίνηση και τη αίσθηση ενός φυσικού ποδιού με περιορισμένη κινητικότητα στον αστράγαλο αλλά με αυξημένη άνεση στην φτέρνα κατά το βάδισμα. Το προσθετικό αυτό μέλος περιλάμβανε έναν σκληρό αστράγαλο και μια μαλακή ελαστική φτέρνα που απορροφούσε τους κραδασμούς και μείωνε την πίεση σε άλλα μέρη του σώματος όπως τα γόνατα και η μέση.

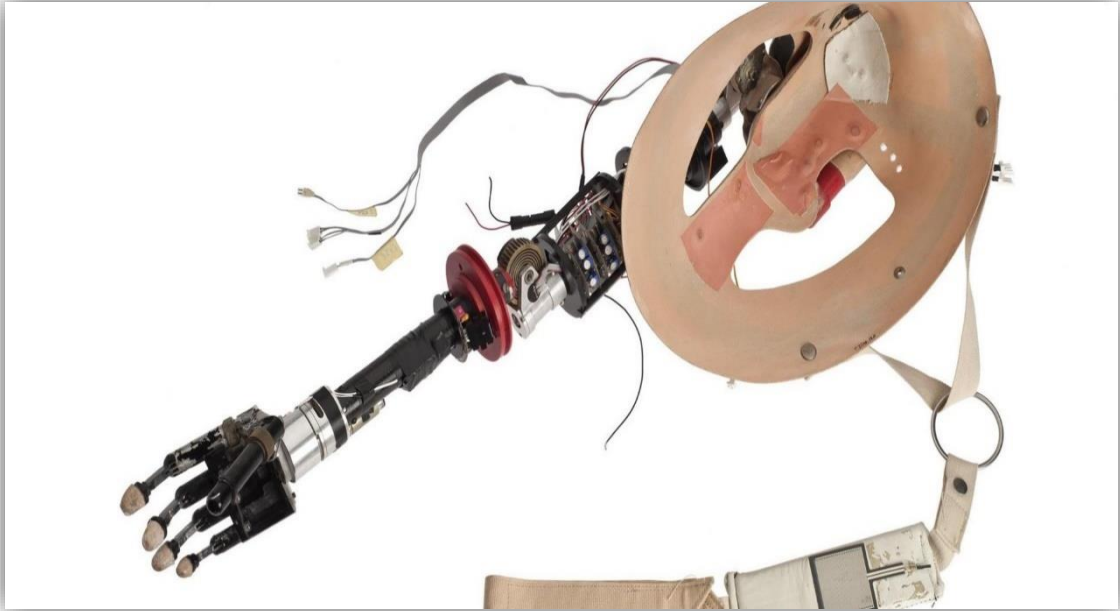
**1983** Ο Αμερικάνος Van Phillips έχοντας χάσει το πόδι του από το γόνατο και κάτω σε ηλικία 21 ετών εμπνεύστηκε και δημιούργησε ένα τεχνητό προσθετικό πόδι με το όνομα Flex foot cheetah. Εμπνευσμένος από την ταχύτητα και τον τρόπο τρεξίματος του ομώνυμου ζώου έδωσε λύση σε ανθρώπους που υπέφεραν από τα προβλήματα ενός ακρωτηριασμού. Το προσθετικό αυτό μέλος αποτελούνταν από μια μονοσκελής συσκευή φτιαγμένη από ανθρακονήματα και γραφίτη. Χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα από μεγάλο ποσοστό δρομέων των παραολυμπιακών αγώνων εκτός από απλούς πολίτες. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο Phillips δημιούργησε την δική του εταιρία προσθετικών μελών με το όνομα Flex foot διατηρώντας την μέχρι σήμερα.[31]



**Εικόνα 17.** Η πρωτοποριακή εφεύρεση του Van Phillips το Flex foot cheetah.[31]

**1998** Αναπτύχθηκε το πρώτο βιονικό χέρι από τον σκωτσέζο David Gow με το όνομα Edinburgh Modular Arm Sytem, πιο συγκεκριμένα τον Αύγουστο εκείνης της χρονιάς

στο Princess Margaret Rose Orthopaedic Hospital στην Σκωτία. Αποτελούνταν από εφαρμοστό ώμο και διέθετε ολόκληρο βραχίονα ,καρπό και δάκτυλα. Κινούνταν από ηλεκτρονικούς μικρό αισθητήρες και κατά κύριο λόγο φτιάχτηκε από μέταλλο και πλαστικό ενώ ζύγιζε 1,8 κιλά. Σήμερα εκθειάζεται στο μουσείο ιστορίας της σκωτίας στο Εδιμβούργο.[32]



**Εικόνα 18. Το πρώτο βιονικό χέρι , εφεύρεση του David Gow.[32]**

**2007** Ο Dean Kamen Αμερικάνος μηχανικός και επιχειρηματίας δημιούργησε το 2007 ένα βιονικό χέρι με το όνομα Luke arm. Ήταν ένα πρωτοποριακό προηγμένο προσθετικό που επέτρεπε στον χρήστη το κουνάει με μεγάλη φυσικότητα και ευελιξία. Διέθετε προηγμένα αισθητήρια και μηχανικά συστήματα που επέτρεπαν στον χρήστη να κουνάει δάκτυλα, καρπό και αγκώνα με μεγάλη ακρίβεια και έλεγχο.[33]



**Εικόνα 18,19 Το Luke arm σε εφαρμογή κρατήματος ενός σκεύους.[33]**

**2014** Δημιουργήθηκε από τον Αμερικανό Hugh Herr το πρώτο βιονικό γόνατο που λειτουργούσε με ηλεκτρομυογράφους και αργότερα το πρώτο βιονικό πέλμα με την ονομασία Biom Ankle. Συγκεκριμένα με αυτήν την κατασκευή κατάφερε να ξανά σκαρφαλώσει σε βουνά και να πατήσει με άκρες βράχων με πάχος όσο ένα νόμισμα αλλά και σε τοποθεσίες λεπτού πάγου.[34]

**Σήμερα :** Η κατασκευή τεχνητών μελών έχει εξελιχθεί σημαντικά με την εισαγωγή προηγμένων τεχνικών όπως η ρομποτική και η τρισδιάστατη εκτύπωση. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν προσαρμογή ελαφρυτέρων πιο ανθεκτικών προσθετικών που βελτιώνουν σημαντικά την ποιότητα ζωής των χρηστών και παρουσιάζουν συνεχώς προοδευτική εξέλιξη.

### 1.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΜΕΛΩΝ

Η προσθετική τεχνητών μελών έχει παρουσιάσει μεγάλη κάμψη κατά τα χρονιά όσο και ζήτηση. Δίνει λύσεις σε άτομα που έχουν υποστεί απώλειες ή έχουν ελλείψεις στα άκρα του σώματος τους. Ανάλογα με τις ανάγκες και τις απαιτήσεις του χρήστη τα τεχνητά μέλη μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες. Αυτές οι κατηγορίες περιλαμβάνουν τα προσθετικά μέλη για τα άνω άκρα και τα κάτω, καθώς και για μερικές απώλειες και ελλείψεις. Επιπλέον υπάρχουν κοσμητικά μέλη που προσφέρουν αισθητική βελτίωση χωρίς να παρέχουν λειτουργικότητα.

Κάθε κατηγορία προσφέρει μοναδικές λύσεις και η συνεχής εξέλιξη τους μέσω της τεχνολογικής καινοτομίας έχει ένα σημαντικό αντίκτυπο στην ποιότητα ζωής και την ανεξαρτησία των χρηστών τους. Από προηγμένες βιονικές προσθετικές χειροβασίες μέχρι εξειδικευμένες προσθετικές ποδοκνημικές αρθρώσεις οι διαθέσιμες επιλογές προσφέρουν εξατομικευμένες λύσεις για κάθε χρήστη.

#### 1. Ακρωτηριασμός άνω ακρών.

Ο ακρωτηριασμός άνω ακρών αφορά την απώλεια μέρους ή ολοκλήρου του άνω άκρου, που μπορεί να περιλαμβάνει χέρια, παλάμες, δάκτυλα και ωμούς. Οι προσθετικές συσκευές που αναπτύσσονται για να αντικαταστήσουν ή να βελτιώσουν τη λειτουργικότητα των άνω ακρών είναι κρίσιμες για την επαναφορά της αυτονομίας και της ποιότητας ζωής των ανθρώπων που έχουν υποστεί ακρωτηριασμό.

### 1.1 Προσθετικά χεριών και παλαμών.

Είναι σχεδιασμένα για να αντικαταστήσουν τη λειτουργικότητα του χεριού ή της παλάμης. Υπάρχουν διάφοροι τύποι προσθετικών χεριών, από παθητικά που εστιάζουν στην διακοσμητική εμφάνιση μέχρι ενεργητικά που επιτρέπουν την εκτέλεση σύνθετων κινήσεων. Τα συγκεκριμένα προσθετικά μπορεί να ελέγχονται μέσω καλωδίων που ενεργοποιούνται από το αντίθετο άκρο ή μέσω πιο προηγμένων συστημάτων όπως η μυοηλεκτρική ενεργοποίηση, όπου οι κινήσεις ελέγχονται από τα ηλεκτρικά σήματα των μυών.[35]

### 1.2 Προσθετικά βραχιόνων.

Τα προσθετικά βραχιόνων καλύπτουν απώλειες που περιλαμβάνουν τον βραχίονα κάτω από τον ώμο και μέχρι τα δάκτυλα. Η σχεδίαση τέτοιων προσθετικών περιλαμβάνει συχνά συνδυασμούς κινητήρων για να παρέχεται μεγαλύτερη ευελιξία και λειτουργικότητα. Παράλληλα στον βραχίονα μπορεί να συμπεριλαμβάνονται μυοηλεκτρικές λειτουργίες όπου οι προσθετικές συσκευές είναι εξοπλισμένες με αισθητήρες που ανιχνεύουν τα μυϊκά σήματα μέσω ειδικών επιφανειακών ηλεκτροδίων. Η ανάπτυξη και η εφαρμογή αυτών των προσθετικών μελών συχνά παρουσιάζει την ανάγκη για μια στενή συνεργασία μεταξύ τεχνολόγων και ιατρών για να διασφαλιστεί ότι οι προσθετικές λύσεις είναι όχι μόνο λειτουργικές αλλά και άνετες για καθημερινή χρήση.[35]

## 2. Ακρωτηριασμός κάτω άκρων

Ο ακρωτηριασμός των κάτω άκρων αναφέρετε στην απώλεια μέρους ή ολόκληρου του κάτω άκρου συμπεριλαμβανομένων των ποδιών των ποδοκνημικών και των μηριαίων. Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω ατυχημάτων, ασθενειών, παθήσεων και άλλων παραγόντων. Τέτοιες απώλειες άκρων μπορούν να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην κινητικότητα και την ποιότητα ζωής του ατόμου που φέρει το πρόβλημα.

### 2.1.1 Προσθετικά ποδιών και ποδοκνημικά.

Τα προσθετικά ποδιών είναι σχεδιασμένα για να αντικαταστήσουν τα άκρα που έχουν χαθεί ή απενεργοποιηθεί. Η προσθετική ποδοκνημική περιλαμβάνει την αποκατάσταση της λειτουργικότητας της πελματικής περιοχής και της σύνδεσης της με το προσθετικό πόδι. Αυτά τα

προσθετικά μπορούν να προσφέρουν βασική υποστήριξη για την κίνηση και την ευκολία του περπατήματος. [35]

### **2.2.1 Προσθετικά μηριαίων.**

Τα προσθετικά μηριαίων αποσκοπούν στην αντικατάσταση του άνω μέρους του ποδιού και του μηριαίου οστού. Τα συγκεκριμένα τεχνητά μέλη μπορούν να παρέχουν σημαντική υποστήριξη για την κίνηση και την ισορροπία και παράλληλα μπορούν να προσαρμοστούν για να ταιριάζουν με τις ατομικές ανάγκες και τον τρόπο ζωής του χρήστη. Μπορούν να περιλαμβάνουν κινητήρες για την προώθηση της κίνησης ενώ ορισμένοι μπορούν να προσφέρουν εξειδικευμένες λειτουργίες όπως την προσομοίωση φυσικού περπατήματος ακόμα και αθλητικών κινήσεων.[35]

## **3. Μερικά προσθετικά μέλη.**

Τα μερικά προσθετικά μέλη είναι τεχνητά άκρα που χρησιμοποιούνται για την μερική αντικατάσταση ή ενίσχυση ενός μέρους, αντί για ολόκληρο το άκρο. Αυτά τα προσθετικά είναι σχεδιασμένα για να παρέχουν λειτουργικότητα και αισθητική κάλυψη σε περιπτώσεις που υπάρχει μερικός ακρωτηριασμός ή απώλεια μέρους του άκρου.

### **3.1.1 Δακτύλων.**

Χρησιμοποιούνται για την αντικατάσταση μερικών ή ολόκληρων των δακτύλων. Μπορούν να είναι παθητικά ή λειτουργικά επιτρέποντας βασικές κινήσεις όπως το άνοιγμα και το κλείσιμο στην τοποθεσία της παλάμης. Στην ίδια κατηγορία μπορεί να συμπεριληφθεί και η τοποθέτηση τεχνητών νυχιών που χρησιμοποιείται για καλλωπιστικούς λόγους.[37]

### **3.1.2 Πέλματος.**

Αντικαθιστούν τμήμα του ποδιού κάτω από τον αστράγαλο όπως τα δάκτυλα ή το πέλμα. Χρησιμοποιούνται για να αντικαταστήσουν την λειτουργικότητα και την αισθητική του ποδιού. Μπορούν να χωριστούν σε μερικές υποκατηγορίες όπως προσθετικά μπροστινού, μεσαίου πέλματος αλλά και δακτύλων ποδιού. Βοηθάνε στην αποκατάσταση της φυσικής βάρδισης και στην απορρόφηση κραδασμών από το έδαφος. Παρέχουν υποστήριξη και σταθερότητα επιτρέποντας την φυσική κίνηση του ποδιού. Συνήθως κατασκευάζονται από σιλικόνη, ανθρακονήματα και πολυουρεθάνη. Δημιουργούνται είτε με 3D printing είτε με μωηλεκτρικούς αισθητήρες.[37]



**Εικόνα 20. Φωτογραφία μερικών προσθετικών για αισθητικούς λόγους.**

## **1.4 Επίπεδα ακρωτηριασμού.**

### **Απεξάρθρωση ώμου (shoulder disarticulation).**

Η απεξάρθρωση ώμου είναι μια κατάσταση όπου τα οστά του ώμου βγαίνουν εκτός της αρθρωτικής τους κοινής επιφάνειας . Αυτό μπορεί να συμβεί λόγω τραυματισμών όπως ατυχήματα ή πτώσεις αλλά και λόγω ύπερ διάτασης ή υπερβολικής πίεσης στην συγκεκριμένη περιοχή.[36]

### **Απεξάρθρωση αγκώνα (elbow disarticulation).**

Η απεξάρθρωση αγκώνα είναι μια παρόμοια κατάσταση με την απεξάρθρωση ώμου για διαφορετικό σημείο των άκρων. Τα οστά του αγκώνα βγαίνουν εκτός της φυσιολογικής τους θέσης χάνοντας την σύνδεση μεταξύ τους. Μπορεί να συμβεί είτε από ατύχημα, πτώση ή άμεση δύναμη στον αγκώνα στα όρια του τραυματισμού.[38]

### **Ακρωτηριασμός εμπρόσθιου τεταρτημόριου (forequarter).**

Ο ακρωτηριασμός εμπρόσθιου τεταρτημόριου είναι μια σύνθετη επέμβαση όπου αφαιρείται όλο το πάνω άκρο συμπεριλαμβανομένου του ώμου, του άνω μέρους του ώμου, του βραχίονα και της ωμοπλάτης. Συνήθως αυτός ο τύπος ακρωτηριασμού

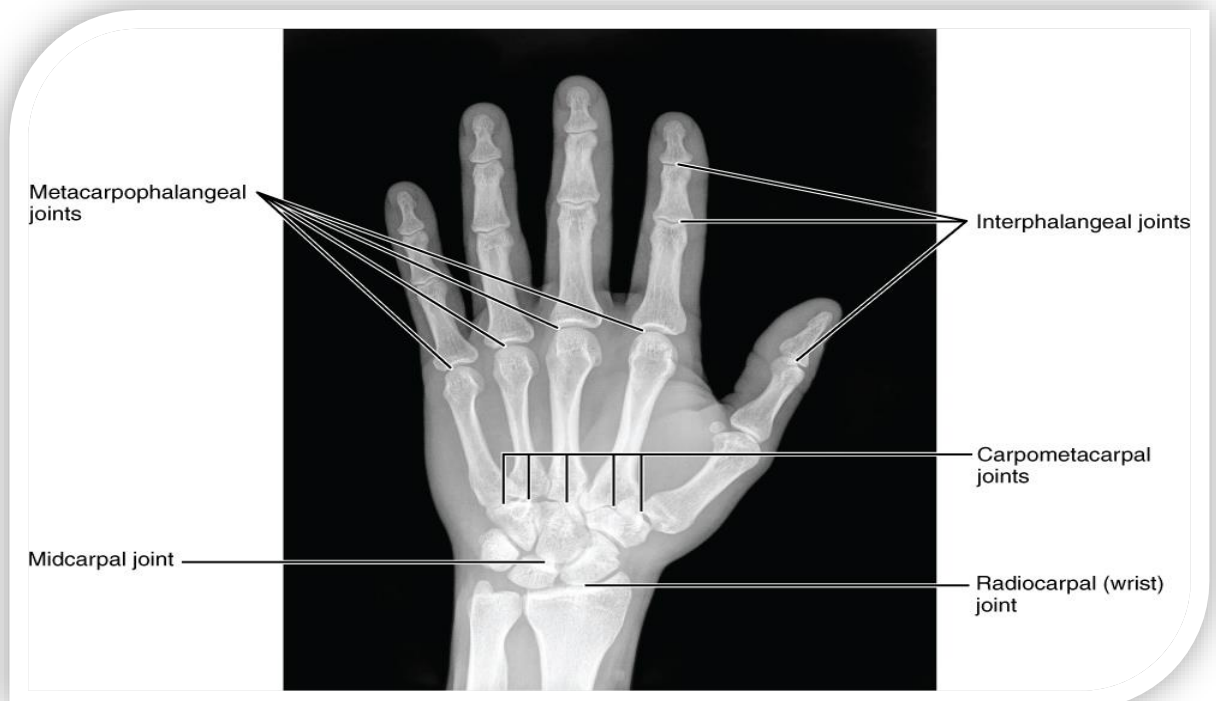
αντιμετωπίζει σοβαρές παθήσεις όπως μόλυνση του άκρου ή κακοήθεια όγκων. Χρησιμοποιείται σαν τελευταία ακραία επιλογή για τον ασθενή.[38]

### Ακρωτηριασμός αντιβραχίου (transracial amputation).

Ο ακρωτηριασμός αντιβραχίου αφορά την αφαίρεση του κάτω μέρους του βραχίονα περιλαμβάνοντας την περιοχή από τον αγκώνα μέχρι και το χέρι. Αυτός ο τύπος ακρωτηριασμού εφαρμόζεται όταν έχει προηγηθεί σοβαρός τραυματισμός, μόλυνση ή νόσος που καταστρέφει τους ιστούς του άκρου όπως ο καρκίνος ή η νόσος του Χάνσεν (λέπρα).[38]

### Μετακαρπικός ακρωτηριασμός.

Ο μετακάρπιος ακρωτηριασμός αφορά την αφαίρεση μέρους ή όλων των μετακαρπίων οστών τα οποία βρίσκονται στο χέρι αναμεσα από τις φάλαγγές (δάκτυλα) και των καρπιαίων οστών. Κρίνεται απαραίτητος όταν ο ασθενής έχει προσβληθεί από σοβαρούς τραυματισμούς έντονης πίεσης, καρκίνο ή κάποια άλλη λοίμωξη που προσβάλλει τα χέρια. Η συγκεκριμένη επέμβαση λαμβάνει χώρα στην περιοχή του χεριού με την προσπάθεια να παραμείνει όσο το δυνατόν περισσότερη λειτουργικότητα στο χέρι και να μειωθεί ο πόνος.[38]



Εικόνα 21. Φωτογραφία x-ray με απεικόνιση των τμημάτων ενός χεριού.



**Απεξάρθρωση καρπού.**

Η απεξάρθρωση καρπού αναφέρετε στην χειρουργική αφαίρεση του καρπού δηλαδή των οστών που συνδέουν τον αντιβράχιο με το χέρι. Εφαρμόζετε συνήθως όταν ο ασθενής πάσχει από κατακλάσεις που δεν επουλώνονται, λοιμώξεις ή αρθρίτιδα που δεν ανταποκρίνονται άλλες μορφές θεραπείας.[38]

**Ακρωτηριασμός βραχιόνιου οστού (transhumeral amputation).**

Ο ακρωτηριασμός βραχιόνιου οστού αφορά την αφαίρεση του άνω άκρου του μπράτσου από τον αγκώνα. Η επέμβαση αυτή πρέπει να διατηρήσει όσο το δυνατόν περισσότερο μήκος στον υπολειπόμενο βραχίονα ώστε να καταστεί πιο εύκολη η τοποθέτηση τεχνητού μέλους για την βέλτιστη χρήση του. Η συγκεκριμένη αφαίρεση εφαρμόζεται όταν ο ασθενής έχει υποστεί νέκρωση ιστών, δυσπλασίες ή κάποια μορφή καρκίνου που δεν επιδέχεται άλλη αντιμετώπιση.[38]

**Ακρωτηριασμός δακτύλων (Digital Amputation).**

Ο ακρωτηριασμός δακτύλων είναι μια χειρουργική διαδικασία κατά την οποία αφαιρούνται ένα ή περισσότερα δάκτυλα από το πόδι. Αυτή η επέμβαση γίνεται όταν χρειάζεται να κατασταλεί κάποια μορφή κακοήθη όγκου ή έχει προηγηθεί κάποιο κυκλοφοριακό πρόβλημα λόγω σοβαρού εγκεύματος.[38]

**Ακρωτηριασμός κνήμης (Transtibial Amputation).**

Ο ακρωτηριασμός κνήμης είναι μια μορφή ακρωτηριασμού του κάτω άκρου που περιλαμβάνει την αφαίρεση του ποδιού πάνω από τον αστράγαλο και κάτω από το γόνατο δηλαδή στο σημείο της κνήμης και της περόνης. Συνήθως εφαρμόζεται όταν έχει προηγηθεί προσβολή καρκίνου, σοβαρών λοιμώξεων ή αγγειακών προβλημάτων.[41]

**Ακρωτηριασμός γόνατος (Knee disarticulation).**

Ο ακρωτηριασμός γόνατος ή αλλιώς εξάρθρωση γόνατος είναι μια χειρουργική διαδικασία όπου αφαιρείται το πόδι στο επίπεδο του γονάτου διατηρώντας το άνω μέρος του άκρου. Είναι αναγκαία να εφαρμοστεί όταν ο ασθενής έχει προσβληθεί από κάποια νόσο όπως το ζαχαρώδης διαβήτη και έχει εξελιχθεί σε γάγγραινα.[45]

### **Ακρωτηριασμός μηρού (Transfemoral amputation).**

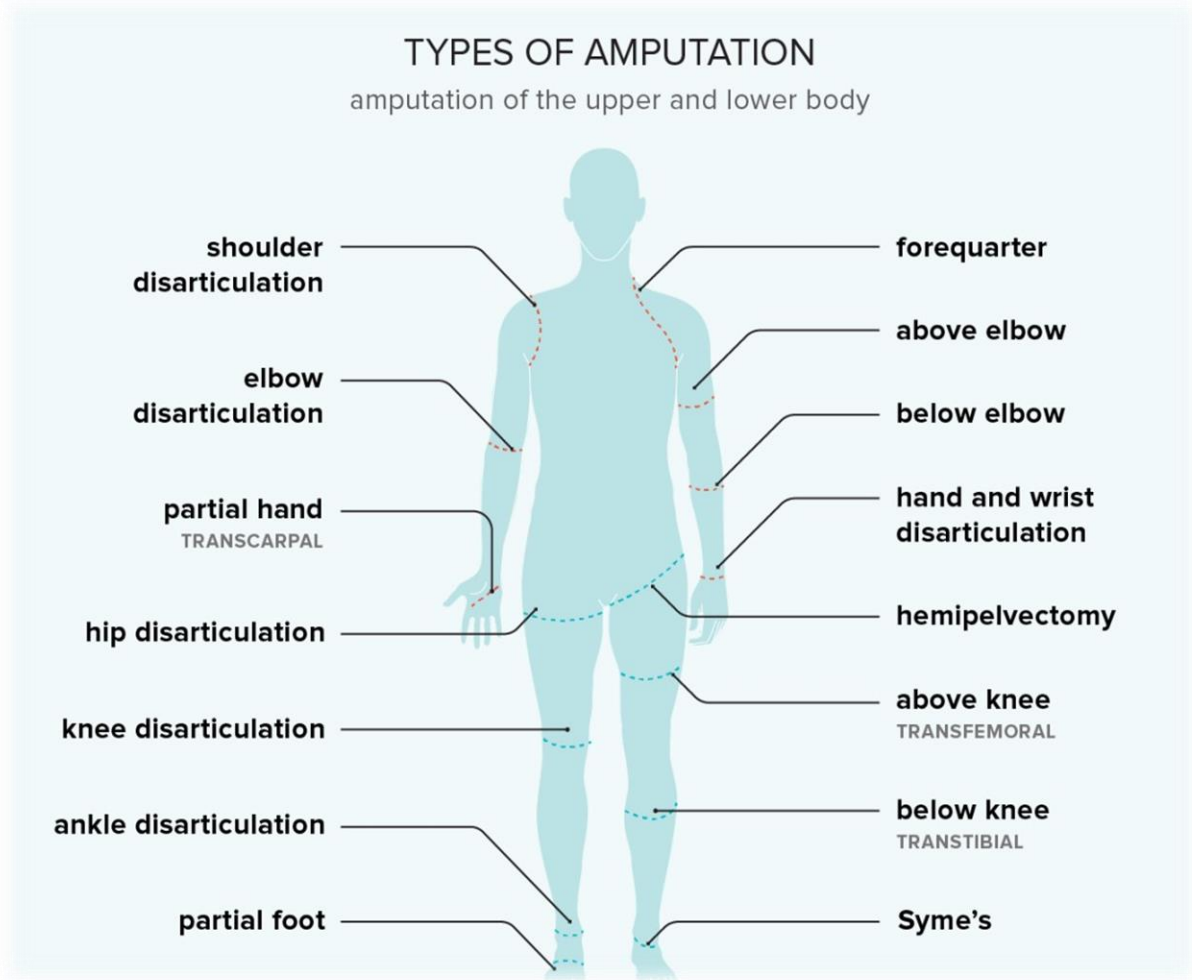
Ο ακρωτηριασμός μηρού είναι μια επέμβαση όπου αφαιρείτε το πόδι στο επίπεδο του μηρού συγκεκριμένα μεταξύ ισχίου και μηριαίου οστού. Κατά την διάρκεια του χειρουργείου ακρωτηριάζεται ένα σημείο όπου επιτρέπει την καλύτερη δυνατή λειτουργικότητα και προσαρμογή στην προσθετική πρόθεση.[47]

### **Εξάρθρωση ισχίου (Hip disarticulation).**

Στην παρούσα διαδικασία πραγματοποιείται η αφαίρεση ολόκληρου του του ισχίου καθώς και η άρθρωση του γοφού από το πόδι. Εφαρμόζετε για διάφορους λόγους όπως σκληρούς τραυματισμούς, ανεπάρκεια αιμάτωσης και σε κάποιες περιπτώσεις για την βελτίωση της λειτουργικότητας ή της αισθητικής.[46]

### **Ημιπελεκτομή (Hemipelvectomy).**

Η ημιπελεκτομή αναφέρετε στην χειρουργική επέμβαση κατά την οποία αφαιρείτε μια πλευρά ή η μισή πελματική κοιλότητα. Κατά την διάρκεια της ημιπελεκτομή ολόκληρο ή μεγάλο μέρος του ισχίου και του πυελικού σκελετού αφαιρείται χειρουργικά. Συγκεκριμένα περιλαμβάνει την απομάκρυνση του ισχίου ,του μηριαίου οστού, της λεκάνης και άλλων ιστών που μπορεί να επηρεάζονται.[48,49]



Εικόνα 22. Επίπεδα ακρωτηριασμού άνω και κάτω άκρου.

## 1.5 Συστατικά τεχνητών μελών.

Οι προσθετικές συσκευές αποτελούνται από διάφορα συστατικά και υλικά που συνδυάζονται για να παρέχουν την απαιτούμενη λειτουργικότητα και άνεση στον χρήστη.

### Στοιχεία ελέγχου.

Τα στοιχεία ελέγχου σε μια προσθετική συσκευή είναι κρίσιμα για την λειτουργικότητα και την αλληλεπίδραση της συσκευής με τον χρήστη. Περιλαμβάνουν μια ποικιλία τεχνολογιών που επιτρέπουν την κίνηση και τον έλεγχο της προσθετικής με τρόπους που μιμούνται τις φυσικές ανθρώπινες κινήσεις όσο το δυνατόν πιο αρμονικά. Συγκεκριμένα μπορεί να αποτελούνται από:

**Αισθητήρες.**

Οι αισθητήρες είναι συσκευές που ανιχνεύουν ένα φυσικό μέγεθος και παράγουν από αυτό μια μετρήσιμη έξοδο. Σε ένα συνθετικό μέλος οι αισθητήρες μπορεί να τοποθετηθούν για να καταγράφουν τα μυοηλεκτρικά σήματα από τους εναπομείναντες μύες του χρήστη οι οποίοι μεταδίδουν εντολές από τον εγκέφαλο για την κίνηση της προσθετικής.

**Μικροελεγκτές.**

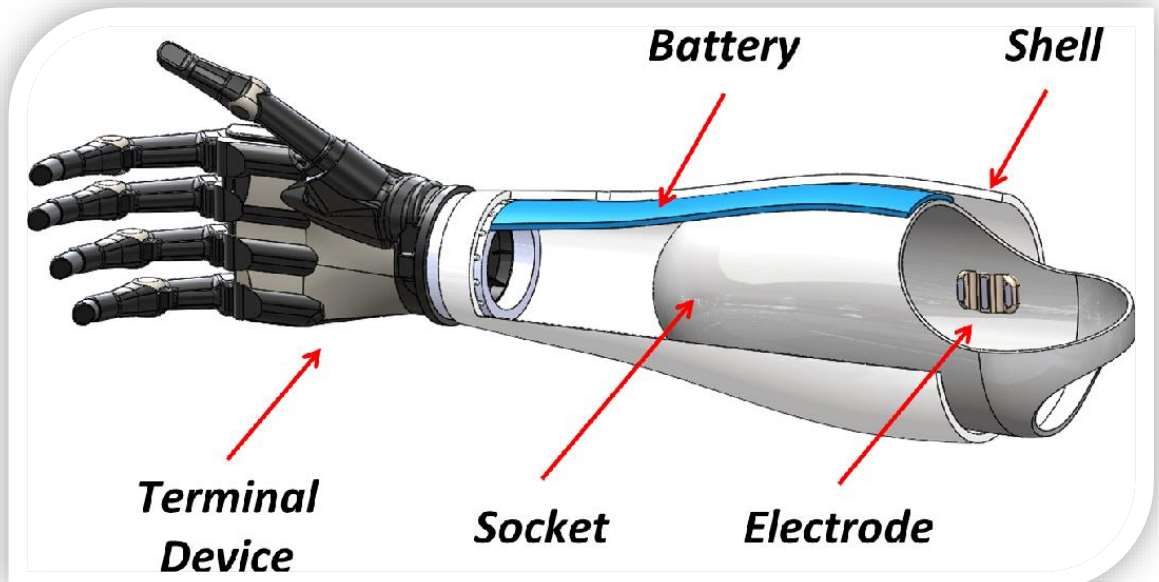
Οι μικροελεγκτές παίζουν τον ρόλο πολλών μικρών “εγκεφάλων” μιας προσθετικής συσκευής. Διαχειρίζονται τις εισόδους από τους αισθητήρες και αποφασίζουν τις κατάλληλες αποκρίσεις στις εντολές του χρήστη. Ρυθμίζουν την ταχύτητα την δύναμη και το εύρος της κίνησης εξασφαλίζοντας ότι το τεχνητό μέλος λειτουργεί με φυσικό και αποτελεσματικό τρόπο.

**Λογισμικό.**

Το λογισμικό είναι η συλλογή από προγραμματιστικές διαδικασίες και οδηγίες που εκτελούν εντολές σε ένα υπολογιστικό σύστημα. Προγραμματίζεται για να μιμείται συγκεκριμένες κινήσεις ή να προσαρμόζει τη λειτουργία της συσκευής ανάλογα με τις ανάγκες της δραστηριότητας του χρήστη.

**Συσκευές εισόδου.**

Οι συσκευές εισόδου είναι ειδικά εργαλεία όπως τηλεχειριστήρια και διακόπτες που επιτρέπουν στους χρήστες να διαμορφώνουν και να ελέγχουν ενεργά τις λειτουργίες των τεχνητών άκρων τους ενισχύοντας την αυτονομία τους.



Εικόνα 23. Συστατικά προσθέσεων άνω άκρου.

**Σύστημα σύνδεσης.**

Τα συστήματα σύνδεσης είναι το σύνολο των μηχανισμών, εξαρτημάτων ή διασυνδέσεων που χρησιμοποιούνται για να συνδέσουν μια προσθετική συσκευή στο σώμα του χρήστη.

**Ανατομικές προσαρμογές.**

Είναι εξαρτήματα που προσαρμόζονται πάνω στο σώμα του χρήστη και προσφέρουν την απαραίτητη εφαρμογή και στήριξη για την προσθετική συσκευή. Μπορούν να αποτελούνται από ζώνες, ελαστικά κομμάτια ή πλαίσια που τοποθετούνται γύρω από το άκρο ή τον κορμό του χρήστη.[52]

**Συνδεδετικά μέρη.**

Είναι υπεύθυνα για την σύνδεση των ανατομικών προσαρμογών με τα υπόλοιπα μέρη της προσθετικής συσκευής όπως τα μπράτσα ή τα ποδιά. Μπορεί να αποτελούνται από διάφορα υλικά και κατασκευές όπως αρθρώσεις, βίδες ,μηχανισμούς ασφάλισης, κονέκτορες και αποσπόμενα μέρη.[52]

**Ρυθμιζόμενα συστήματα.**

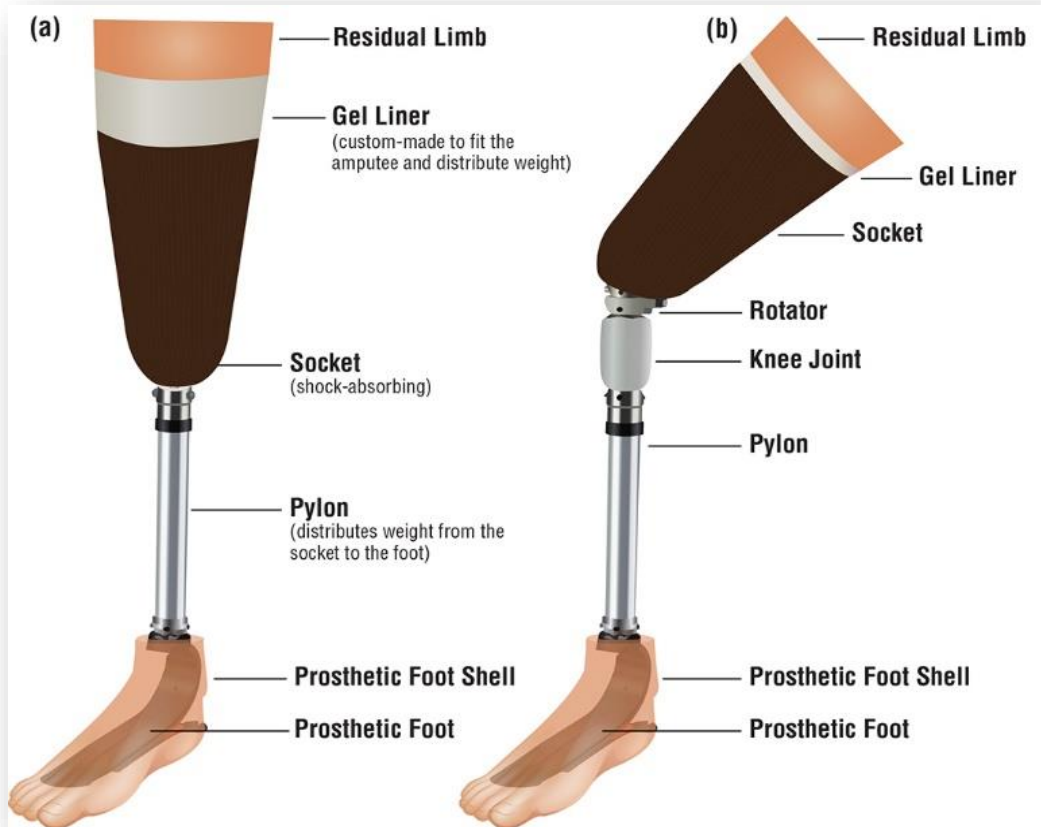
Επιτρέπουν στον χρήστη να προσαρμόσει την εφαρμογή της προσθετικής συσκευής που συνοδεύει το τεχνητό μέλος. Αποτελούνται από ρυθμιζόμενα λουριά, μπαντάνες και άλλα μέρη που μπορούν να ρυθμίσουν γωνίες ή μέγεθος.[52]

**Κινητήρες.**

Στα σύγχρονα προσθετικά μέλη χρησιμοποιούν κινητήρες για τη παροχή κίνησης. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιούνται μικροί ηλεκτρικοί κινητήρες που είναι υπεύθυνοι για το άνοιγμα και κλείσιμο χεριών, την κάμψη γονάτων ή ακόμα και για την προσομοίωση των φυσικών κινήσεων του ανθρώπου κατά το βάδισμα.

**Μπαταρίες.**

Οι μπαταρίες εφαρμόζονται για την τροφοδοσία ενός τεχνητού άκρου. Παρέχουν την απαραίτητη ενέργεια για την λειτουργία των κινητήρων και άλλων ηλεκτρονικών συστημάτων. Είναι αναγκαίο να είναι αποδοτικές ώστε να διαρκούν αρκετά με μια μόνο φόρτιση και να έχουν μακρά διάρκεια ζωής.



Εικόνα 24. Συστατικά προσθέσεων κάτω άκρων. [52]

## 1.6 Υλικά τεχνητών μελών.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή των τεχνητών μελών ποικίλουν ανάλογα με τον τύπο του προσθετικού, τις ανάγκες του χρήστη και την τεχνολογία που χρησιμοποιείται. Ανάμεσα από τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή προθετικών ακρών είναι τα εξής.

**Πλαστικό:** Κατά πλειονότητα χρησιμοποιείτε το πολυπροπυλένιο και το πολυαιθυλένιο. Τα πλαστικά είναι ελαφριά και ανθεκτικά υλικά καταλληλά για την δημιουργία προσθετικών μελών που χρησιμοποιούνται καθημερινά. Παράλληλα είναι εύκαμπτά και μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες και τις διαστάσεις του χρήστη.

**Μέταλλο:** Συνήθως χρησιμοποιείται αλουμίνιο και ανοξείδωτος χάλυβας. Το μέταλλο παρέχει υψηλή αντοχή και σταθερότητα και εφαρμόζεται συχνά σε προσθετικά μέλη που αντιμετωπίζουν υψηλό βάρος ή έντονες καταπονήσεις.

**Σιλικόνη, καουτσούκ:** Τα συγκεκριμένα ελαστικά υλικά χρησιμοποιούνται για την δημιουργία επιθέματος που προσομοιάζει το φυσικό δέρμα και τον ανθρώπινο ιστό. Προσφέρουν φυσική όψη και αίσθηση.

**Ανθρακονήματα:** Είναι ελαφριά και ανθεκτικά υλικά που προσφέρουν εξαιρετική αντοχή σε θραύση, σταθερότητα με ελάχιστο βάρος και χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής.

**Υαλοβάμβακας:** Είναι ένα μονωτικό υλικό που αποτελείται από ίνες γυαλιού. Επιπροσθέτως είναι ελαφρύ και ανθεκτικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή εξωτερικών επιφανειών του τεχνητού μέλους όπως η εξωτερική επικάλυψη ή η προσομοίωση του δέρματος.

**Τιτάνιο:** Είναι ένα ελαφρύ όλκιμο μέταλλο με υψηλή αντοχή και μικρή πυκνότητα ενώ παράλληλά έχει ανθεκτικότητα στην διάβρωση. Είναι άριστο για προσθετικά μέλη που απαιτούν αντοχή.

**Ξύλο:** Το ξύλο προσφέρει φυσική όψη και αίσθηση στο προσθετικό ,ενώ παράλληλα είναι ελαφρύ και εύκαμπτο. Είναι εύκολο στην επεξεργασία του καθώς και φτηνό.

**Δέρμα:** Το δέρμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία εξωτερικής επιφάνειας για να μιμείται το φυσικό δέρμα του ανθρώπινου σώματος. Αυτό μπορεί να βελτιώσει την εμφάνιση και την αντίληψη του προσθετικού άκρου καθιστώντας το πιο φυσικό και αποδεκτό προς τον χρήστη.

## 2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί και θα αναπτυχθεί το hardware που χρησιμοποιήθηκε για την παρούσα διπλωματική εργασία. Δηλαδή το Arduino, το γάντι, οι flex sensors, οι servo κινητήρες, το breadboard, το τροφοδοτικό, και ο 3d εκτυπωτής.

### 2.1 Arduino

Το Arduino είναι ένα υλισμικό ανοιχτής πηγής με ενσωματωμένο μικροελεγκτή με εισόδους αλλά και εξόδους το οποίο μπορεί να προγραμματιστεί με την γλώσσα wiring, μια γλώσσα πανομοιότυπη με την C++.

Το Arduino ξεκίνησε σαν ένα έργο για τους φοιτητές του Interaction Design Institute of Ivrea ενός πανεπιστημίου της πόλης Ιβρέα της Ιταλίας το 2005. Η βασική ιδέα ήταν να δημιουργηθεί μια φτηνή εύκολη στο χρήστη πλατφόρμα για την δημιουργία διαδραστικών έργων. Οι συνιδρυτές του Arduino ήταν οι Massimo Banzi, David Cuartielles, Tom Igoe, Gianluca Martino, και David Mellis, οι οποίοι είχαν το όραμα να φτιάξουν ένα εργαλείο που θα “κατέστρεφε” τα εμπόδια μεταξύ τεχνολογίας και μηχανικών.

Το όνομα Arduino προέρχεται από ένα μπαρ στην Ivrea όπου οι συνιδρυτές συνήθιζαν να συναντιούνται, η πλατφόρμα βασίστηκε σε ανοιχτό κώδικα επιτρέποντάς στους χρήστες να αναπτύξουν και να μοιραστούν ελεύθερα τις δίκες τους εκδόσεις του hardware και του software πράγμα που επιτάχυνε την εξάπλωση και τη δημοτικότητα της πλατφόρμας.

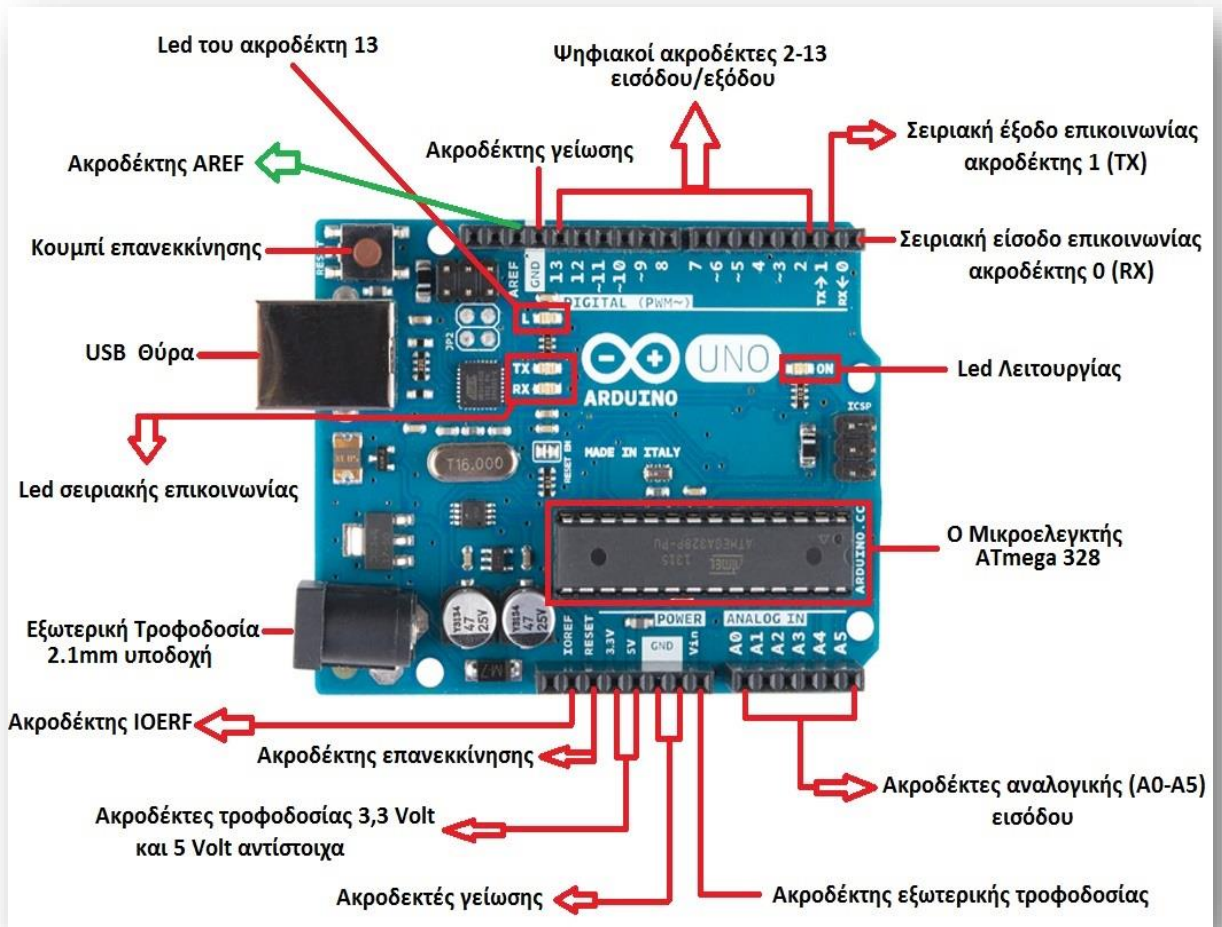
Η προσβασιμότητα του Arduino σε συνδυασμό με ευελιξία και τον ανοιχτό κώδικα έχουν κάνει την πλατφόρμα καταλυτικό εργαλείο στην εκπαίδευση της ηλεκτρονικής του προγραμματισμού και σε πλήθος άλλων εφαρμογών από ρομποτική μέχρι αυτοματισμό.

Το Arduino Uno, που χρησιμοποιήθηκε για την συγκεκριμένη εργασία είναι ένα συγκεκριμένο μοντέλο του Arduino το οποίο αποτελεί μια από τις πιο δημοφιλείς εκδόσεις της πλατφόρμας. Παρόλο που υπάρχουν διάφορα μοντέλα το Arduino Uno έχει ορισμένα χαρακτηριστικά που το καθιστούν εξαιρετικά δημοφιλές στην κοινότητα του ηλεκτρονικού προγραμματισμού.

Ποιο αναλυτικά η έκδοση Uno είναι μικρή σε μέγεθος καθιστώντας την έτσι κατάλληλα για projects που απαιτούν μικρούς χώρους. Παρέχει πολλές ψηφιακές εισόδους αλλά και εξόδους καθώς και αναλογικές εισόδους, επιτρέποντας έτσι την σύνδεση με διάφορους αισθητήρες και ενεργοποίηση διάφορων συσκευών. Έχει ενσωματωμένη θύρα USB και στις καινούργιες εκδόσεις διαθέτει θύρα type c που επιτρέπει εύκολο προγραμματισμό και επικοινωνία με υπολογιστές και άλλες



συσκευές. Παράλληλα περιλαμβάνει επεξεργαστή AVR, μνήμη flash και RAM.[53,54,56]



Εικόνα 25. Τα μέρη του Arduino Uno.[57]

Στην υλοποίηση του τεχνητού μέλους χρησιμοποιήθηκε ένα Arduino Uno που αποτελείται από τα εξής.

- ❖ **Κουμπί επανεκκίνησης (reset button):** Η λειτουργία του κουμπιού επανεκκίνησης είναι να επαναφέρει τον μικροελεγκτή πίσω στην αρχική του κατάσταση για να ξεκινήσει από την αρχή το πρόγραμμα που τρέχει στο Arduino.
- ❖ **Led D13:** Το led στον ακροδέκτη 13 υποδεικνύει ότι το Arduino είναι ενεργό και τρέχει κάποιο πρόγραμμα όταν είναι αναμμένο. Συνήθως χρησιμοποιείται για να δείξει την κατάσταση λειτουργίας του Arduino.
- ❖ **Ακροδέκτης AREF (analog reference):** Ο ακροδέκτης AREF χρησιμοποιείται για να ορίσουμε μια εξωτερική τάση αναφοράς για τις αναλογικές εισόδους του Arduino.

- ❖ **Ακροδέκτης γείωσης (GRND):** Η γείωση είναι ένας βασικός συνδετικός ακροδέκτης που χρησιμοποιείται για να ολοκληρωθούν ηλεκτρικά κυκλώματα παρέχοντάς ένα κοινό σημείο αναφοράς για τις αρνητικές τάσεις.
- ❖ **Ψηφιακοί ακροδέκτες εισόδου εξόδου 2-13 (digital 2-13):** Μπορούν να διαμορφωθούν είτε ως ψηφιακοί είσοδοι είτε ως ψηφιακοί έξοδοι ανάλογα με τις ανάγκες του προγράμματος εντός του Arduino.
- ❖ **Σειριακή έξοδος 1 (TX):** Ο ακροδέκτης αυτός η αλλιώς transmit χρησιμοποιείται για την αποστολή δεδομένων από το Arduino σε μια άλλη συσκευή.
- ❖ **Σειριακή είσοδος 0 (RX):** Ο συγκεκριμένος ακροδέκτης ή αλλιώς receive συμβάλει στην λήψη δεδομένων από μια άλλη συσκευή προς το Arduino.
- ❖ **Led λειτουργίας:** Είναι μια μικρή φωτεινή δίοδος που φωτίζεται όταν το Arduino είναι συνδεδεμένο σε πηγή τροφοδοσίας.
- ❖ **Μικροελεγκτής ATmega328:** Είναι η “καρδιά” του Arduino ,υπεύθυνος για την εκτέλεση προγραμμάτων, διαχειρίζεται εισόδους και εξόδους από και προς το Arduino. Διαθέτει κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) καθώς και μνήμη.
- ❖ **Ακροδέκτες αναλογικής εισόδου (A0 A5):** Χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση λογικών τιμών και την μετατροπή αυτών σε ψηφιακή τιμή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τον μικροελεγκτή. Παράλληλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση φυσικών μεταβολών όπως θερμοκρασία, φωτεινότητα και απόσταση.
- ❖ **Ακροδέκτης εξωτερικής τροφοδοσίας:** Είναι ένας ακροδέκτης που χρησιμοποιείται για να τροφοδοτήσει την πλακέτα με ρεύμα από μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας όπως μια μπαταριά ή ένα τροφοδοτικό. Αυτός ο ακροδέκτης συνήθως σημειώνεται με την ένδειξη Vin.
- ❖ **Ακροδέκτες γείωσης(GND):** Ο ακροδέκτης γείωσης χρησιμοποιείται για να ολοκληρωθούν ηλεκτρονικά κυκλώματα συνδέοντας τους αρνητικούς πόλους των συνδέσεων και των εξαρτημάτων στην γείωση.
- ❖ **Ακροδέκτες 3.3 και 5 volt:** Προσφέρουν μια σταθερή τάση εξόδου. Ο ακροδέκτης των 3.3 βολτ δίνει μια σταθερή τάση εξόδου 3.3 βολτ η οποία είναι χρήσιμη για την τροφοδοσία εξαρτημάτων και αισθητήρων που απαιτούν χαμηλότερη τάση. Ο ακροδέκτης των 5 βολτ αντίστοιχα παρέχει σταθερή τάση εξόδου 5 βολτ και

είναι ιδιαίτερα χρήσιμος καθώς χρησιμοποιείται για την πλειονότητα των συμβατικών εξαρτημάτων και αισθητήρων που χρησιμοποιούνται σε ένα Arduino.

- ❖ **Ακροδέκτης επανεκκίνησης (reset button):** Χρησιμοποιείται για να επανεκκινήσει τον μικροελεγκτή ATmega328 . Διακόπτει και ξανά αρχίζει το πρόγραμμα που τρέχει στο Arduino από την αρχή χωρίς να αλλάζει τις συνδέσεις που έχουν γίνει.
- ❖ **Ακροδέκτης IOFER(analog reference):** Χρησιμοποιείται για να προσφέρει στα συνδεδεμένα εξαρτήματα τη σωστή τάση αναφοράς εξασφαλίζοντας συμβατότητα.
- ❖ **Εξωτερική τροφοδοσία 2.1mm:** Η συγκεκριμένη κυκλική θύρα διαμέτρου 2.1χιλιοστων επιτρέπει στο Arduino να λειτουργεί ανεξάρτητα από την usb σύνδεση στον υπολογιστή παρέχοντας μεγαλύτερη ευελιξία για έργα που απαιτούν τάση μεταξύ 7 βολτ και 12 βολτ.
- ❖ **LED σειριακής επικοινωνίας RX και TX:** Είναι δυο μικρές φωτεινοί δίοδοι που δείχνουν την ενεργή επικοινωνία μεταξύ ενός υπολογιστή και του Arduino. Το TX LED (transmit) ανάβει όταν το Arduino στέλνει δεδομένα ενώ αντίστοιχα το RX LED (receive) ανάβει όταν το Arduino λαμβάνει δεδομένα.
- ❖ **Θύρα USB:** Η θύρα USB σε ένα Arduino είναι το κύριο μέσο για την σύνδεση του Arduino με ένα υπολογιστή. Μπορεί ακόμα να παρέχει την απαραίτητη ηλεκτρική τροφοδοσία στον μικροελεγκτή για να λειτουργήσει καθώς και να χρησιμοποιηθεί για σειριακή επικοινωνία μεταξύ ενός υπολογιστή και του Arduino. Σε καινούργιες εκδόσεις παρατηρούμε ότι έχει αντικατασταθεί με θύρα μορφής type c.

Έχουν δημιουργηθεί ποικίλες εκδόσεις του Arduino . Κάθε έκδοση προσφέρει μοναδικές δυνατότητες και είναι ειδικά κατασκευασμένη για συγκεκριμένη χρήση. Μερικές από αυτές είναι:

- **Arduino Uno:** Η πιο δημοφιλής και κλασική έκδοση, κατάλληλη για αρχάριους και γενική χρήση.
- **Arduino NANO:** Μικρότερη έκδοση του Uno ιδανική για έργα με περιορισμένο χώρο.
- **Arduino MEGA 2560:** Έκδοση με περισσότερους ψηφιακούς και αναλογικούς δέκτες και μεγαλύτερη μνήμη, κατάλληλο για πιο πολύπλοκα έργα.

- **Arduino Leonardo:** Μπορεί να λειτουργήσει και ως USB HID (Human interface device) παίζοντας τον ρολό του πληκτρολογίου ή του ποντικιού.
- **Arduino DUE:** Είναι βασισμένη έκδοση πάνω σε ARM Cortex – M3, προσφέρει μεγαλύτερη ταχύτητα και μνήμη.
- **Arduino Micro:** Μικρότερη έκδοση από το Leonardo με παρόμοιες δυνατότητες ιδανικό για combat έργα.
- **Arduino Yun:** Αυτή η έκδοση μπορεί να συνδυάσει την δύναμη των Linux και του Arduino με ιδανική χρήση για έργα δικτύωσης και IOT (Internet of Things) καθώς διαθέτει και Wi-Fi.
- **Arduino Zero:** Μια έκδοση βασισμένη σε ARM Cortex –M0+ για προηγμένα έργα.
- **Arduino MKR1000:** Μια έκδοση με Wi-Fi σχεδιασμένη για IOT εφαρμογές.
- **Arduino MKR1010:** Πιο ενημερωμένη μορφή του MKR1000.
- **Arduino MKR GSM 1400:** Υποστηρίζει GSM και είναι κατάλληλο για έργα που απαιτούν κινητή σύνδεση.
- **Arduino MKR NB 1500:** Η συγκεκριμένη έκδοση υποστηρίζει LTE cat M1 /NB IOT για εφαρμογές του ιντερνέτ σε περιοχές με χαμηλή κάλυψη.
- **Arduino MKR FOX 1200:** Σχεδιασμένο για IOT εφαρμογές που χρησιμοποιούν το sigfox δίκτυο.
- **Arduino MKR WAN 1300:** Επικοινωνεί με άλλα δίκτυα IOT και υποστηρίζει Lola.
- **Arduino MKR Vidor 4000:** Αυτή η έκδοση διαθέτει ενσωματωμένο FPGA για υψηλές επιδόσεις και προσαρμοσμένες εφαρμογές.
- **Arduino PRO mini:** Ένα πολύ μικρό και ελαφρύ Arduino που είναι σχεδιασμένο για ενσωματωμένα έργα.

- **Arduino Esplora:** Έχει σχεδιαστεί για εκπαιδευτικούς σκοπούς με ενσωματωμένους αισθητήρες. Η εμφάνιση του θυμίζει χειριστήριο κονσόλας βίντεο παιχνιδιών.
- **Arduino Lilypad:** Μια έκδοση σχεδιασμένη για φορητές εφαρμογές (wearables) αλλά και ενδύματα.
- **Arduino Robot:** Σχεδιασμένο για ρομποτικά έργα με ενσωματωμένους αισθητήρες και κινητήρες. Διέθετε ρόδες.
- **Arduino Portenta H7:** Πρόσφερε ισχυρές επιδώσεις για επαγγελματικά έργα IOT καθώς και για βιομηχανικές εφαρμογές.
- **Arduino Bluetooth:** Είχε ενσωματωμένο Bluetooth interface για προγραμματισμό.

Ένα Arduino διαθέτει πολλά πλεονεκτήματα έναντι άλλων μικροελεγκτών . Μερικά από αυτά είναι: [58,59]

- **Ευκολία χρήσης:** Η συγκεκριμένη πλακέτα είναι ιδιαίτερα φιλική προς τον χρήστη καθιστώντας την εύκολη στο προγραμματισμό ακόμα και για αρχάριους. Η γλώσσα προγραμματισμού της βασίζεται σε μια απλοποιημένη έκδοση της C++ που είναι εύκολη στην εκμάθηση.
- **Πλήθος βιβλιοθηκών:** Υπάρχει μια πληθώρα βιβλιοθηκών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αλληλοεπιδράσουν με διάφορους αισθητήρες, μονάδες και συσκευές. Παράλληλα υπάρχουν πολλά παραδείγματα κώδικα διαθέσιμα διευκολύνοντας την εκμάθηση και ανάπτυξη έργων.
- **Χαμηλό κόστος:** Οι πλακέτες Arduino είναι οικονομικές, γεγονός που τις καθιστά προσβάσιμες για μαθητές, φοιτητές επαγγελματίες αλλά και χομπίστες.
- **Ανεξαρτησία πλατφόρμας:** Οι μικροελεγκτές Arduino εκτελούνται σε λειτουργικά συστήματα των Windows Linux και Macintosh.
- **Ανοιχτός κώδικας(open source):** Το Arduino διαθέτει ανοιχτό κώδικα τόσο στο hardware όσο και στο software. Αυτό δίνει την ευκαιρία στους χρήστες να μελετήσουν να προσαρμόσουν και να τροποποιήσουν την πλακέτα και το λογισμικό στα μετρά και τις ανάγκες τους.

- **Εύκολη σύνδεση:** Συνδέονται ευκολά με ηλεκτρονικούς υπολογιστές μέσω USB και θυρών type C επιτρέποντας γρήγορη και απλή επικοινωνία.
- **Υποστήριξη μικροελεγκτών:** Ανάλογα το μοντέλο το Arduino υποστηρίζει τόσο μικροελεγκτές AVR (ATmega328) όσο και μικροελεγκτές ARM (SAMD21), παρέχοντας μεγάλες επιδώσεις και δυνατότητες.
- **Ευελιξία και επεκτασιμότητα:** Η μεγάλη ποικιλία των Arduino δίνει την δυνατότητα επιλογής από μικρές φορητές πλακέτες μέχρι ισχυρές πλακέτες για πιο περίπλοκα έργα. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη να διαλέξει το κατάλληλο Arduino που χρειάζεται για το έργο του.

Για την παρούσα διπλωματική εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα Arduino R4 Wi-Fi.

### **Τεχνικά χαρακτηριστικά Arduino Uno R4 Wi-Fi.**

**Μικροελεγκτής:** Renesas RA4M1 (Arm Cortex-M4)

**Τάση λειτουργίας:** 5V

**Τάση εισόδου(προτεινόμενη):** 6-24V

**Τάση εισόδου (όρια):** 5-30V

**Ψηφιακά I/O PINS:** 14

**Ψηφιακά PWM I/O PINS:** 6

**Αναλογικά PINS εισόδου:** 6

**Ρεύμα DC ανά PIN I/O:** 8ma

**Radio module:** ESP32-S3-MINI-1-N8

**Μνήμη flash:** 256KB

**Μνήμη RAM:** 32KB

**Μνήμη ROM:** 384KB

**Μνήμη SRAM:** 512KB

**Ταχύτητα (clock speed) :** 48 MHz

**DAG:** 1

**Μήκος:** 53.34 mm (χιλιοστά)

**Πλάτος:** 68.85mm (χιλιοστά)

**UART:** 1

**I2C:1**

**CAN:1**

**SPI:1**

**ICSP Header: NAI**

**Θύρα: Type C.**

## **2.2 Σερβοκινητήρες (Servo motors)**

Οι σερβοκινητήρες είναι ειδικοί κινητήρες που συνδυάζουν έναν ηλεκτρικό κινητήρα με έναν μηχανισμό ανατροφοδότησης (feedback mechanism) για ακριβή έλεγχο θέσης, ταχύτητας και επιτάχυνσης. Συχνά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται ακριβής κίνηση όπως ρομπότ, αεροπορικά μοντέλα βιομηχανικά μηχανήματα και συστήματα αυτοματισμού.

Αποτελούνται από

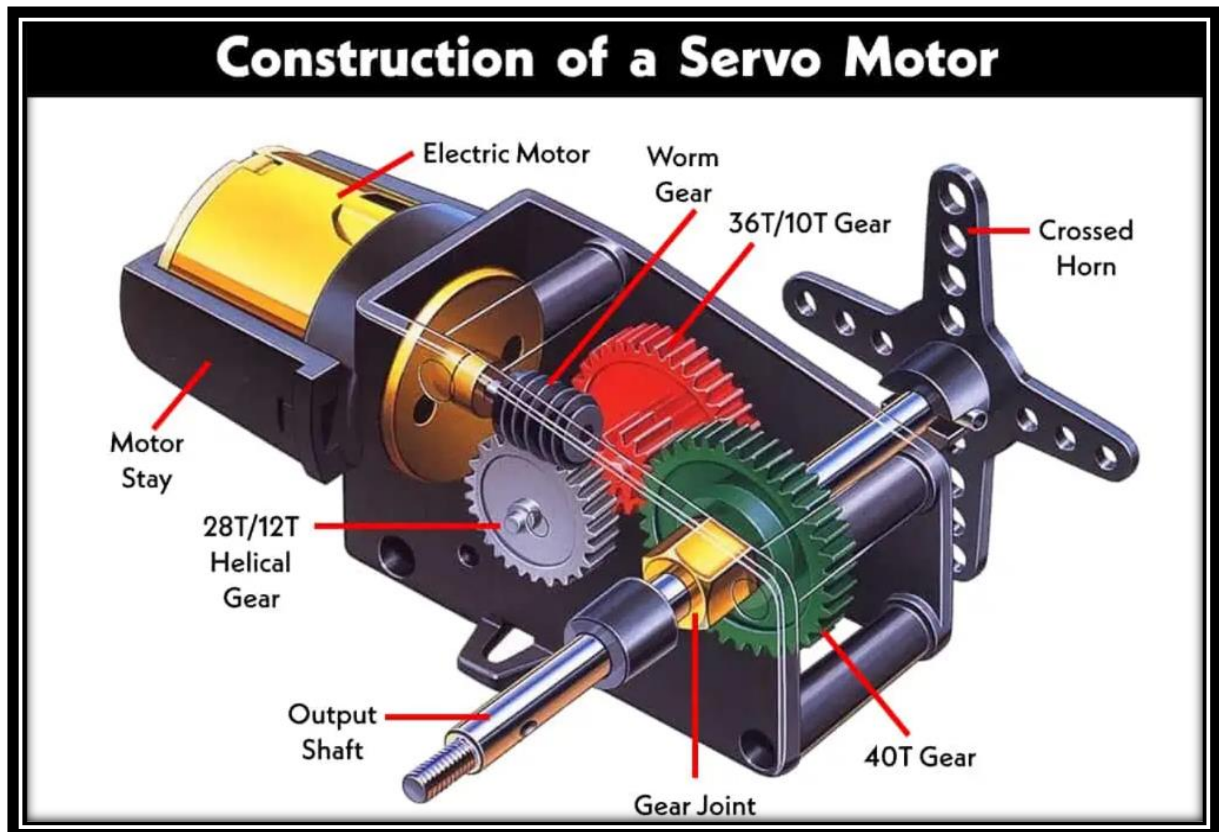
- I. Κινητήρα (motor): Ηλεκτρικός κινητήρας που παρέχει την δύναμη για την κίνηση.
- II. Γρανάζια (gears): Συνοδεύουν τον κινητήρα για να μειώσουν την ταχύτητα και να αυξήσουν την ροπή.
- III. Αισθητήρες θέσης (position sensors): Συνήθως σε αυτήν την θέση βρίσκουμε ένα ποτενσιόμετρο που ανιχνεύει τη γωνιακή θέση του άξονα και παρέχει ανατροφοδότηση στο κύκλωμα.
- IV. Κύκλωμα ελέγχου (control circuit): Παίζει τον ρόλο του “δεκτή”, καθώς λαμβάνει την είσοδο από τον ελεγκτή παράλληλα και την σύγκριση με την τρέχουσα θέση για να ρυθμίσει τον κινητήρα.

Λειτουργούν με ένα τρόπο που τους επιτρέπεται να ελέγχουν με ακρίβεια την γωνιακή τους θέση. Λαμβάνουν σήματα PWM (Pulse Width Modulation) από έναν ελεγκτή (π.χ. Arduino). Το PWM σήμα είναι μια σειρά παλμών που καθορίζουν την θέση του σερβοκινητήρα. Η διάρκεια του παλμού (πλάτος) είναι αυτή που καθορίζει την επιθυμητή γωνιά. Μέσα στον σερβοκινητήρα υπάρχει ένας αισθητήρας θέσης συνήθως ένα ποτενσιόμετρο. Το ποτενσιόμετρο είναι συνδεδεμένο στον άξονα του κινητήρα και ανιχνεύει την γωνιακή του θέση, η ανατροφοδότηση από το ποτενσιόμετρο στέλνεται στο κύκλωμα ελέγχου. Παράλληλα το κύκλωμα ελέγχου (control circuit) λαμβάνει το σήμα PWM και την ανατροφοδότηση από το ποτενσιόμετρο καθώς συγκρίνει την τρέχουσα θέση του κινητήρα με την επιθυμητή θέση που καθορίζεται από το PWM. Σε περίπτωση που η τρέχουσα θέση διαφέρει από την επιθυμητή, το κύκλωμα ελέγχου στέλνει σήματα στον κινητήρα για να διορθώσει την θέση του.[62]

**Εφαρμογές:**

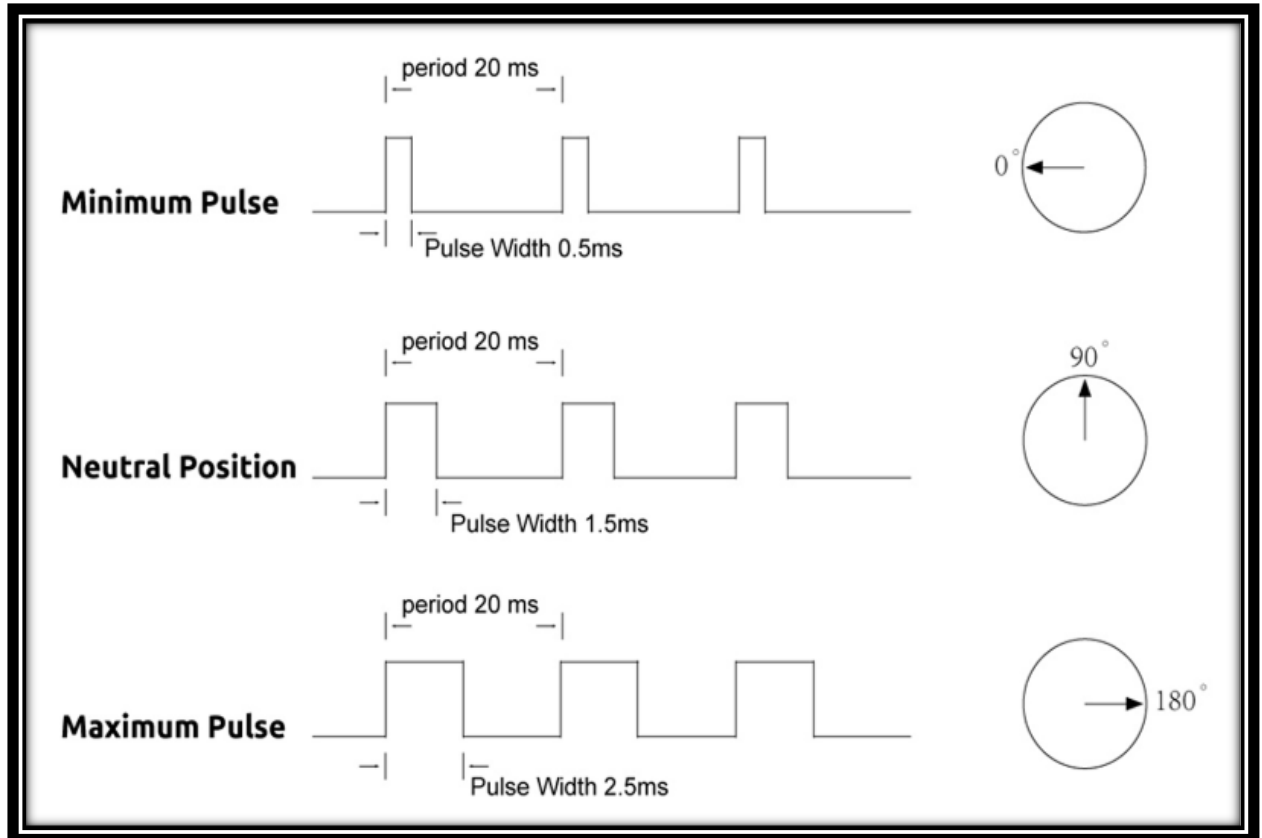
Οι σερβοκινητήρες βρίσκουν εφαρμογές σε πολλές περιοχές και πεδία λόγω της ακριβούς τους λειτουργίας.

- **Ρομποτική:** Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των αρθρώσεων στα ανθρωποειδή ρομπότ επιτρέποντας ακριβείς κινήσεις και χειρισμούς.
- **Αεροπλάνα, μη επανδρωμένα σκάφη:** Ελέγχουν τα πτερύγια και τα πηδάλια των μοντέρνων αεροσκαφών επιτρέποντας σταθερό και ακριβή έλεγχο πτήσης.
- **3D εκτυπωτές:** Λαμβάνουν χώρα στους άξονες για ακριβή έλεγχο της κίνησης τους.
- **Συστήματα Αυτοματισμού:** Χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες για ομαλή και ελεγχόμενη μεταφορά. [63]



Εικόνα 26. Τα μέρη του σερβοκινητήρα.





Εικόνα 27. Συμπεριφορά άξονα από παρακολούθηση εσωτερικού παλμού.

#### Πλεονεκτήματα σερβοκινητήρων.

- **Ακρίβεια:** Προσφέρουν εξαιρετικά ακριβή έλεγχο θέσης.
- **Ταχύτητα απόκρισης:** Ανταποκρίνονται γρηγορά στις απότομες αλλαγές σήματος.
- **Δύναμη και ροπή:** Παρέχουν αρκετή δύναμη και ροπή για να χειριστούν φορτία αυξημένου βάρους.
- **Απλότητα στην χρήση.** Μπορούν να ελεγχθούν με απλά σήματα PWM, κάνοντας τους κατάλληλους για πολλαπλές εφαρμογές.[61]

#### Είδη σερβοκινητήρων.

Υπάρχουν διάφορα είδη σερβοκινητήρων, αλλά έχουν δημιουργηθεί από δύο βασικούς που είναι οι AC και οι DC.

**AC Servo motors:** Οι AC σερβοκινητήρες είναι ένας πολύ σημαντικός τύπος servo που χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν υψηλή ισχύ καθώς και ακριβή έλεγχο θέσης και ταχύτητας. Λειτουργούν με εναλλασσόμενο ρεύμα AC και τριφασικό σύστημα για μεγαλύτερη απόδοση. Διαθέτουν έναν κινητήρα AC που παίζει τον ρόλο του βασικού μηχανισμού που παράγει κίνηση. Παράλληλα έχουν έναν ενισχυτή που διαχειρίζεται την τροφοδοσία του servo και τον έλεγχο της ταχύτητας και της θέσης

ενώ ακόμα βρίσκουμε και διάφορους αισθητήρες (encoders,resolvers) που ανιχνεύουν την τρέχουσα θέση και ταχύτητα του άξονα του κινητήρα. Προσφέρουν υψηλές τιμές ροπής και ταχύτητας καθιστώντας τους ιδανικούς για βιομηχανικές εφαρμογές.[63]

**DC Servo motors:** Οι DC σερβοκινητήρες είναι οι πιο διαδεδομένοι τύποι servo χάρη στην απλότητα και την ευκολία που τους διακατέχει. Λειτουργούν με συνεχές ρεύμα DC. Διαθέτουν έναν κινητήρα που είναι υπεύθυνος για την κίνηση. Μέσα στα εξαρτήματα τους βρίσκεται και ένας αισθητήρας που ανιχνεύει την τρέχουσα θέση του άξονα του κινητήρα. Ακόμα έχουν έναν ηλεκτρονικό ελεγκτή, ένα μικρό κύκλωμα που διαχειρίζεται τον έλεγχο της ταχύτητας του servo. Η ροπή του μετρείται σε kg/cm και η ταχύτητα περιστροφής σε sec/60° και προσφέρουν καλές τιμές ροπής και ταχύτητας για εφαρμογές χαμηλής και μεσαίας ισχύος.[63]

Για την συγκεκριμένη διπλωματική επιλέχτηκε ο σερβοκινητήρας MG90S Servo Metal Gear διότι διαθέτει μέχρι και 180° ελικοειδή κίνηση και μπορεί να πέτυχει το άνοιγμα και το κλείσιμο των δάκτυλων του τεχνητού μέλους με ευκολία.

#### Τεχνικά χαρακτηριστικά MG90S.[64]

**Μοντέλο:** MG90S

**Κατασκευαστής:** WAVESHARE

**Servo standar:** 25T(Futaba/Feetech)

**Deadband:**5us

**Περιστροφή:** 180°

**Stall Torque (4.8V):** 2.2kg/cm

**Stall Torque (6.0V):** 2.8kg/cm

**Operating speed (4.8V no load):** 0.11 sec/ 60°C

**Operating speed (6.0V no load):** 0.1sec/60°C

**Εύρος PWM σήματος:** 500μs – 2500μs

**Συχνότητα PWM:** 50 Hz

**Εύρος θερμοκρασίας:** -30° to 60°

**Τύπος γραναζιών:** Μεταλλικά

**Περιστροφή Rotate angle:** 180°

**Τάση λειτουργίας Operating Voltage:** 4.8V~6.0V

**Μηχανισμός:** Μεταλλικός

**Βάρος:** 12.2g

**Μικτό βάρος:** 0.017kg

**Διαστάσεις:** 22.8mm x 12.2mm x 28.5mm

**Λειτουργία servo :** Αναλογική

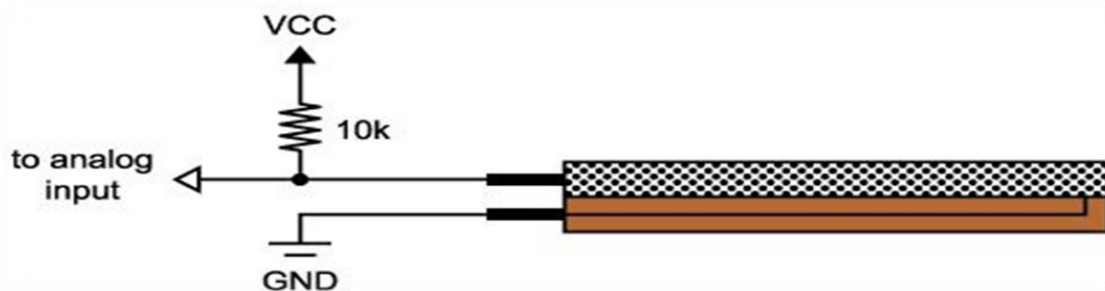
**Μήκος καλωδίου σύνδεσης:** 150mm

## 2.3 Αισθητήρες κάμψης Flex sensors

Οι Flex sensors είναι λεπτοί ειδικοί εύκαμπτοι αισθητήρες όπου αλλάζουν την ηλεκτρική τους αντίσταση ανάλογα με την ποσότητα κάμψης που υφίστανται. Όσο κάμπτονται μετρούν την “ποσότητα” παραμόρφωσης σε μια επιφάνεια. Αποτελούν βασικό στοιχείο όπου η ανίχνευση της κίνησης ή της θέσης είναι απαραίτητη. Αποτελούνται συνήθως από ένα εύκαμπτο υπόστρωμα, κατασκευασμένο από πολυμερές υλικό ή από πλαστικό. Πάνω σε αυτό το υπόστρωμα είναι τοποθετημένο ένα αγώγιμο υλικό όπως άνθρακας ή μελάνι γραφίτη που αλλάζει την ηλεκτρική αντίστασή ανάλογα με την κάμψη.

Λειτουργούν με έναν σχετικά περίπλοκο τρόπο. Όταν ο αισθητήρας είναι ευθύς η αντίσταση του αγώγιμου υλικού είναι σε ένα σταθερό επίπεδο. Καθώς ο αισθητήρας κάμπτεται το υλικό αυτό τεντώνεται προκαλώντας αύξηση της αντίστασης. Η συγκεκριμένη αλλαγή στην αντίσταση μπορεί να μετρηθεί μέσω ενός κυκλώματος διαχωριστή τάσης και να μετατραπεί σε ηλεκτρικό ρεύμα.

Οι αισθητήρες κάμψης μπορούν γενικά να κάμπτονται σε διάφορες γωνίες συχνά έως 90° ή και παραπάνω ανάλογα το μοντέλο τους. Έχουν υψηλή ευαισθησία στις μικρές αλλαγές στην κάμψη, επιτρέποντας ακριβείς μετρήσεις. Είναι ανθεκτικοί στην παραμόρφωση που τους ασκείται και σχεδιασμένοι να αντέχουν πολλαπλούς κύκλους κάμψης χωρίς να χάνουν την ακρίβεια τους.[64]



**Εικόνα 28.** Ο σχεδιασμός τροφοδοσίας ενός αισθητήρα κάμψης (flex sensor).

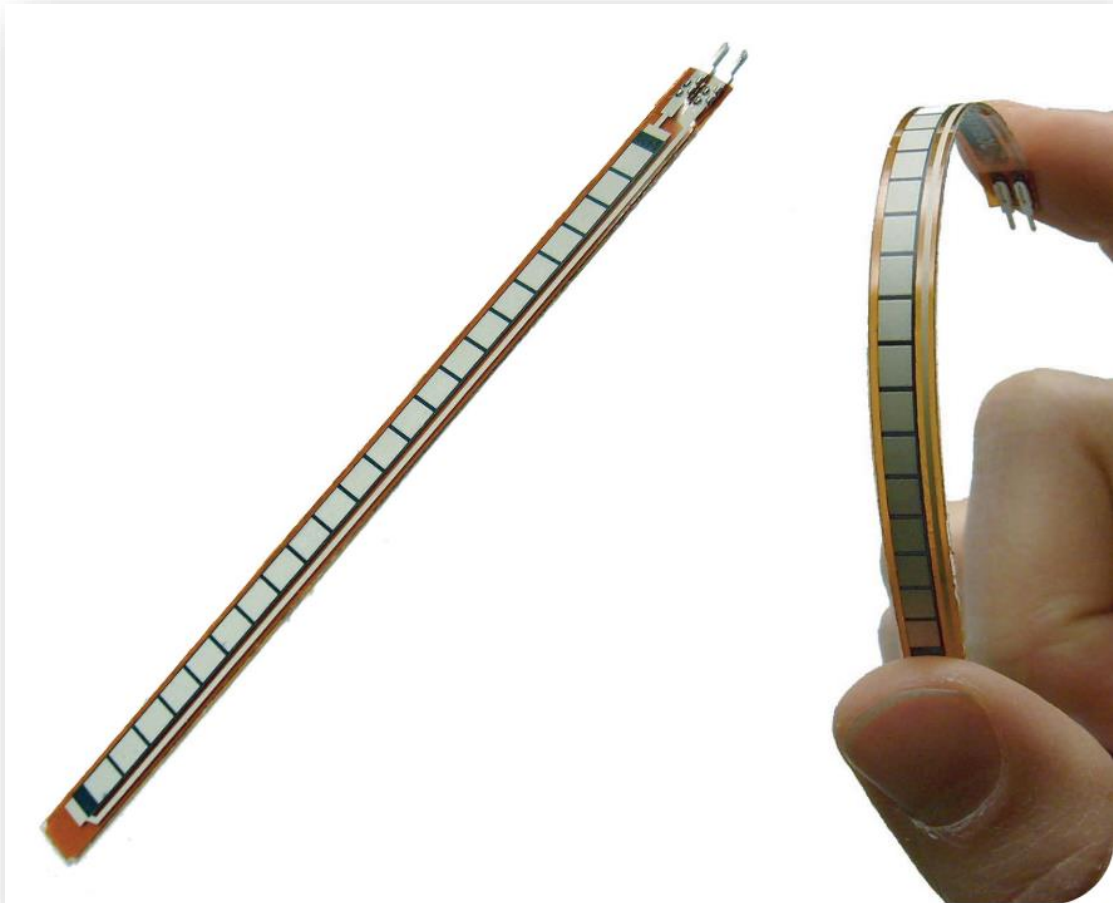
### Εφαρμογές.

**Ρομποτική:** Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση της κίνησης των αρθρώσεων σε ρομποτικούς βραχίονες ή για την καταγραφή των κινήσεων των δακτύλων σε ρομποτικά γάντια.

**Υγειονομική φροντίδα:** Εφαρμόζονται σε συσκευές αποκατάστασης για την παρακολούθηση της κίνησης των αρθρώσεων των ασθενών.

**Τεχνολογία Wearable:** Ενσωματώνονται σε φορητές συσκευές για την παρακολούθηση της στάσης του σώματος ή την καταγραφή αθλητικών επιδόσεων.

**Διαδραστικά συστήματα:** Χρησιμοποιούνται σε διαδραστικά παιχνίδια και συστήματα εικονικής πραγματικότητας για την ανίχνευση των κινήσεων των χρηστών. [64]



**Εικόνα 29.** Αισθητήρας κάμψης (Flex sensor) σε προσωρινή παραμόρφωση.

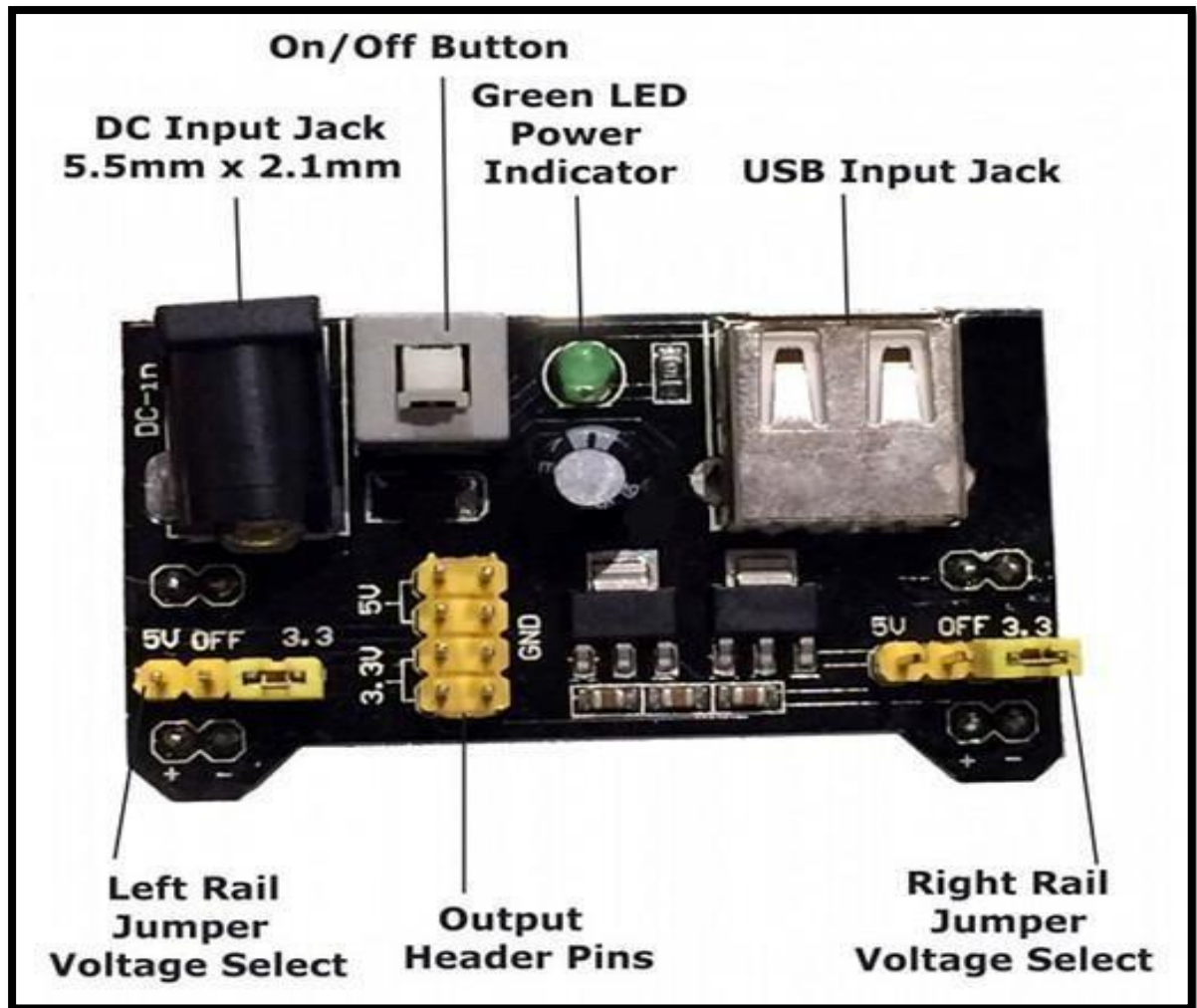
## **2.4 Breadboard power supply module.**

Το breadboard power supply module είναι μια μονάδα τροφοδοσίας που σχεδιάστηκε για να παρέχει σταθερή τάση σε ένα απλό breadboard, διευκολύνοντας την κατασκευή και τον έλεγχο πρωτοτύπων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Το συγκεκριμένο εξάρτημα μπορεί να τροφοδοτείται από μια εξωτερική πηγή ισχύος, όπως μια μπαταριά ή έναν προσαγωγέα AC-DC, και να παρέχει τάσεις όπως 3.3V και 5V που χρησιμοποιούνται συνήθως στα ηλεκτρονικά projects.

Διαθέτει υποδοχή για σύνδεση εξωτερικού τροφοδοτικού (DC barrel jack) και ακροδέκτες για σύνδεση μπαταριών ή άλλων πηγών ισχύος. Οι τάσεις εισόδου μπορεί να κυμαίνονται από 6V μέχρι 12V. Οι έξοδοι ισχύος είναι διαθέσιμες μέσω ακροδεκτών και προσαρμόζονται στα rails του breadboard. Ακόμα διαθέτει διακόπτες για την εναλλαγή από 3.3V σε 5V. Μέσα στα ενσωματωμένα στοιχεία του περιλαμβάνει και προστασία από υπερφόρτωση και υπερθέρμανση για την ασφαλή λειτουργία των κυκλωμάτων που χρησιμοποιείται. Παράλληλα διαθέτει LED ενδείξεις για να δείχνει τη λειτουργία και την κατάσταση της τροφοδοσίας.

### **Πλεονεκτήματα.**

- ✓ **Ευκολία χρήσης:** Η χρήση του power supply module breadboard απλοποιεί την διαδικασία τροφοδοσίας κυκλωμάτων, εξαλείφοντας την ανάγκη για εξωτερικά τροφοδοτικά και πολύπλοκες συνδέσεις.
- ✓ **Σταθερότητα και ασφάλεια:** Παρέχει σταθερές και ακριβείς τάσεις εξόδου μειώνοντας τον κίνδυνο ζημίας και βραχυκυκλώματος σε ευαίσθητα ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Οι ενσωματωμένες προστασίες που διαθέτει διασφαλίζουν ότι το κύκλωμα λειτουργεί με ασφάλεια ακόμα και σε περιπτώσεις υπερφόρτωσης.
- ✓ **Ευελιξία:** Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλη ποικιλία έργων από απλά εκπαιδευτικά κυκλώματα μέχρι και πιο περίπλοκες εφαρμογές. Η δυνατότητα επιλογής που διαθέτει των 3.3V 5V το καθιστά κατάλληλο για συνδυασμό με πληθώρα εξαρτημάτων.



Εικόνα 30. Τα εξαρτήματα ενός breadboard power supply module.

#### Εξαρτήματα.

- ✓ **DC Input jack:** Είναι μια υποδοχή για το συγκεκριμένο breadboard που επιτρέπει την σύνδεση εξωτερικής πηγής τροφοδοσίας όπως τροφοδοτικά ή μπαταρίες.
- ✓ **On/off Button:** Είναι ένας απλός διακόπτης που επιτρέπει στον χρήστη να ελέγχει την τροφοδοσία χωρίς να αποσυνδέει φυσικά την πηγή ρεύματος.
- ✓ **Green LED Power Indicator:** Είναι ένα πράσινο LED που παρέχει οπτική επιβεβαίωση της κατάστασης τροφοδοσίας.
- ✓ **USB Input jack:** Είναι μια θύρα που επιτρέπει την τροφοδοσία του module μέσω ενός USB καλωδίου.

- ✓ **Left Rail Jumper Voltage Select:** Είναι ένας μηχανισμός που επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει την τάση που θα παρέχεται στο αριστερό rail του breadboard.
- ✓ **Output Header Pins:** Είναι οι ακροδέκτες εξόδου που παρέχουν την επιλεγμένη τάση τροφοδοσίας στα κυκλώματα του breadboard.
- ✓ **Right Rail Jumper Voltage Select:** Είναι ένας μηχανισμός που επιτρέπει στον χρήστη να επιλέξει την τάση που θα παρέχεται στο δεξί rail του breadboard.

### 2.5 3D Printing εκτυπωτής.

Η 3D εκτύπωση γνωστή και ως additive manufacturing, είναι μια διαδικασία κατά την οποία δημιουργούνται τρισδιάστατα αντικείμενα από ένα ψηφιακό αρχείο μέσω ειδικών εκτυπωτών. Η διαδικασία πραγματοποιείται όταν ειδική ρητίνη τοποθετείται στρώμα-στρώμα για να δημιουργήσει αργά και σταθερά ένα μοντέλο από ένα ψηφιακό αρχείο.

Η συγκεκριμένη εφαρμογή ξεκινά με την δημιουργία ενός ψηφιακού μοντέλου του αντικειμένου, συνήθως χρησιμοποιώντας λογισμικό CAD (Computer Aided Design). Στην συνέχεια το ψηφιακό μοντέλο μετατρέπεται σε αρχείο STL (Stereolithography). Με αυτήν την μετατροπή περιγράφεται η επιφάνεια του αντικειμένου χρησιμοποιώντας τριγωνικά στοιχεία δηλαδή συντεταγμένες στους άξονες Z, X και Y που καθοδηγούν της κινήσεις του εκτυπωτή. Στην συνέχεια το STL αρχείο εισάγεται σε ένα λογισμικό τεμαχισμού (slicer) το οποίο χωρίζει το μοντέλο σε κομμάτια και δημιουργείται ένα αρχείο G code.

Το G code αρχείο περιέχει οδηγίες καθώς και λεπτομέρειες για τον εκτυπωτή σχετικά με το πως να δημιουργήσει κάθε στρώση. Ο εκτυπωτής διαβάζει το G code και αρχίζει την δημιουργία του αντικειμένου. Μόλις ολοκληρωθεί η εκτύπωση το αντικείμενο μπορεί να αφαιρεθεί με ασφάλεια και να υποστεί περαιτέρω επεξεργασία όπως λείανση, συναρμολόγηση, ξύσιμο ή βαφή.

Το 1981 ο Hideo Kodama της Nagoya Municipal Industrial Research Institute ήταν ο πρώτος που δημοσίευσε μια λειτουργική μέθοδο ταχείας προτυποποίησης (Rapid Prototyping) χρησιμοποιώντας φωτοπολυμερή (photopolymer). Ωστόσο δεν κατάφερε να εξασφαλίσει δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Την χρονιά 1984 ο Charles Hull εφηύρε την στερεολιθογραφία (SLA). Αργότερα δημιούργησε τον πρώτο εμπορικό 3D εκτυπωτή τον SLA-1 και ίδρυσε την εταιρία του με το όνομα 3D Systems Corporation το 1987. Έναν χρόνο αργότερα το 1988 ο Carl Deckard ανέπτυξε την τεχνική Selective laser Sintering (SLS) στο πανεπιστήμιο του Τέξας. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιούσε λέιζερ για να συγκολλήσει υλικά σε σκόνη διευρύνοντας έτσι την γκάμα των υλικών

για την τρισδιάστατη εκτύπωση. Το Ινστιτούτο τεχνολογίας της Μασαχουσέτης (MIT) κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας μια διαδικασία γνωστή ως “ 3D Printing techniques” η οποία έθεσε τα θεμέλια για την μετέπειτα τεχνική Binder Jetting το 1992. Ο Dr Andrian Bowyer στόχευε στην δημιουργία ενός αυτό αναπαραγόμενου τρισδιάστατου εκτυπωτή με το έργο RepRap. Έτσι έκανε ιδιαίτερα προσιτή την διαδικασία του 3D printing το 2007. Την χρονιά 2016 η ρωσική εταιρία Apis Cor κατασκεύασε και παρουσίασε το πρώτο τρισδιάστατο εκτυπωμένο σπίτι.[65,66,67,68]

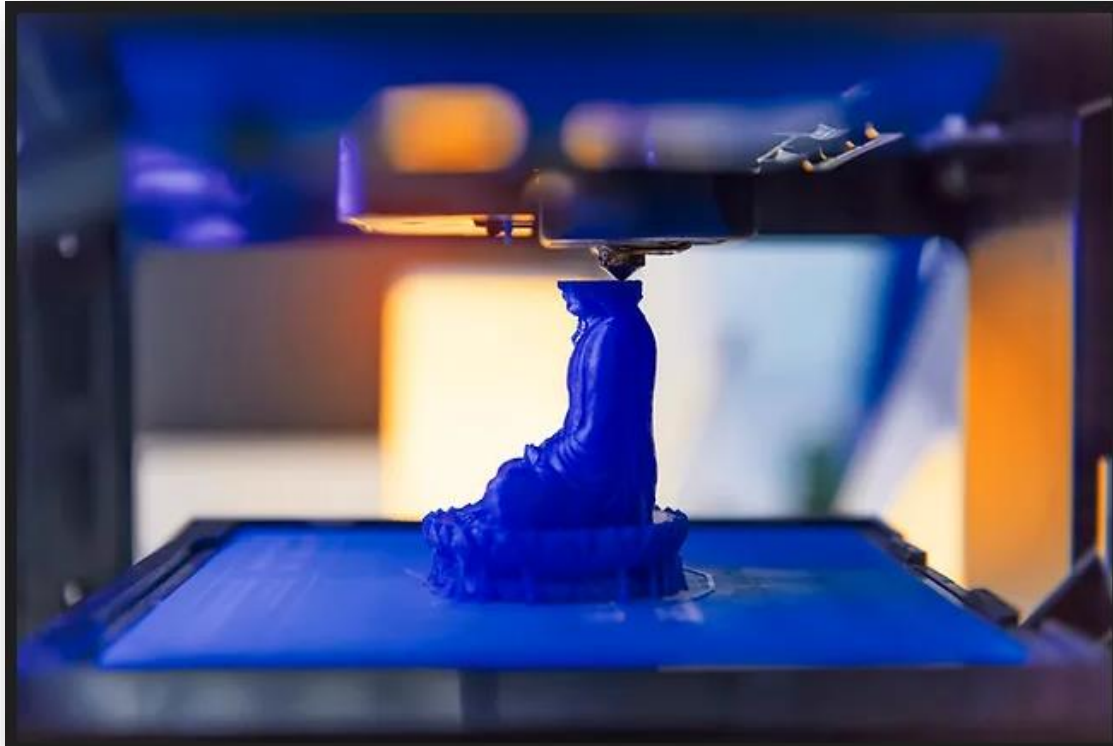
### Πλεονεκτήματα της 3D εκτύπωσης.

1. **Κόστος:** Με την τρισδιάστατη εκτύπωση εξαλείφεται η ανάγκη για ακριβά καλούπια και εργαλεία που απαιτούνταν παλιά μειώνοντάς έτσι το κόστος. Παράλληλα είναι ιδανική για την παραγωγή προϊόντων σε μικρές ποσότητες και δεν απαιτεί μεγάλα κεφάλαια παραγωγής.
2. **Ταχύτητα:** Μειώνεται σημαντικά ο χρόνος που απαιτείται για την ανάπτυξη προϊόντων επιτρέποντας ταχύτερη δοκιμή και αξιολόγηση της παραγωγής. Ακόμα επιτρέπονται γρήγορες αλλαγές και βελτιώσεις στον σχεδιασμό χωρίς ιδιαίτερες και μεγάλες καθυστερήσεις.
3. **Ευκαμψία:** Παρέχεται η δυνατότητα δημιουργίας πολύπλοκων γεωμετριών και δομών που δεν είναι δυνατόν να παραχθούν με παραδοσιακές μεθόδους. Επιπροσθέτως ενσωματώνονται λειτουργίες σε ένα μόνο κομμάτι μειώνοντας την ανάγκη για εξτρά συναρμολόγηση.
4. **Δοκιμές:** Μας δίνεται η δυνατότητα για κατασκευή λειτουργικών πρωτοτύπων που μπορούν να δοκιμαστούν σε πραγματικές συνθήκες καθώς και η δυνατότητα δοκιμής και βελτίωσης προτού ξεκινήσει η μαζική παραγωγή. Με αυτές τις διαδικασίες πετυχαίνετε μείωση του ρίσκου.
5. **Προσβασιμότητα:** Η 3D εκτύπωση με την ποικιλία εφαρμογών και εξαρτημάτων που διαθέτει είναι ιδιαίτερα προσιτή από βιομηχανίες, σχολεία ή ακόμα και σαν χόμπι.
6. **Μείωση απορριμμάτων:** Η τρισδιάστατη εκτύπωση εφαρμόζει το υλικό της μόνο όπου χρειάζεται μηδενίζοντας έτσι τα περιττά απορρίμματα σε σχέση με τις παλαιές μεθόδους και τις αφαιρετικές διαδικασίες παραγωγής τους.



Ακόμα χρησιμοποιεί βιώσιμα και ανακυκλώσιμα υλικά μειώνοντάς την περιβαλλοντική μόλυνση.

7. **Εξατομίκευση:** Διατίθεται μεγάλη ποικιλία τόσο από τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για την κατασκευή κάποιου προϊόντος, όσο και από τα διάφορα κομμάτια που απαιτούνται για την ορθή λειτουργία του 3D εκτυπωτή.[73]



**Εικόνα 31.** Ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής κατά την διάρκεια δημιουργίας ενός προϊόντος.

#### **Εφαρμογές της τρισδιάστατης εκτύπωσης.**

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει εφαρμογές σε πολλούς και διάφορους κλάδους κυρίως επιστημονικούς.

- **Ιατρική:** Λαμβάνει χώρα σε ποικίλους κλάδους όπως στην οδοντιατρική για δημιουργία εξατομικευμένων εμφυτευμάτων ή την προσθετική ιατρική για κατασκευή προσθετικών μελών για άτομα με ακρωτηριασμούς.

- **Αεροδιαστημική:** Δημιουργούνται εξαρτήματα όπως φτερά, προπέλες αλλά και πιο ελαφριά ανθεκτικά κομμάτια για αεροσκάφη και διαστημόπλοια. Παράλληλα χρησιμοποιούνται και στον τομέα των μη επανδρωμένων αεροσκαφών (UAV).
- **Αυτοκινητοβιομηχανία:** Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή πρωτοτύπων και τελικών εξαρτημάτων για οχήματα ενώ ταυτόχρονα πετυχαίνετε η μείωση του βάρους τους λόγω των ελαφρυτέρων υλικών. Άμεσο αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η λιγότερη κατανάλωση καυσίμου και η αύξηση της απόδοσης.
- **Μόδα:** Μπορούν να δημιουργηθούν κοσμήματά, διάφορα αξεσουάρ αλλά και ρούχα.
- **Εκπαίδευση και έρευνες:** Είναι εφικτό να κατασκευαστούν μοντέλα και εργαλεία για εκπαιδευτικούς σκοπούς σε τομείς όπως η βιολογία η φυσική και η μηχανική.
- **Τέχνη και ψυχαγωγία:** Μέσα στα πολλά προϊόντα που αναπτύσσονται φτιάχτηκαν γλυπτά καθώς και καλλιτεχνικά σκηνικά που χρησιμοποιήθηκαν στο θέατρο και τον κινηματογράφο. Ακόμα διάφορες μινιατούρες και παιχνίδια μπορούν να δημιουργηθούν για την ψυχαγωγία τόσο των παιδιών όσο και ενήλικων.

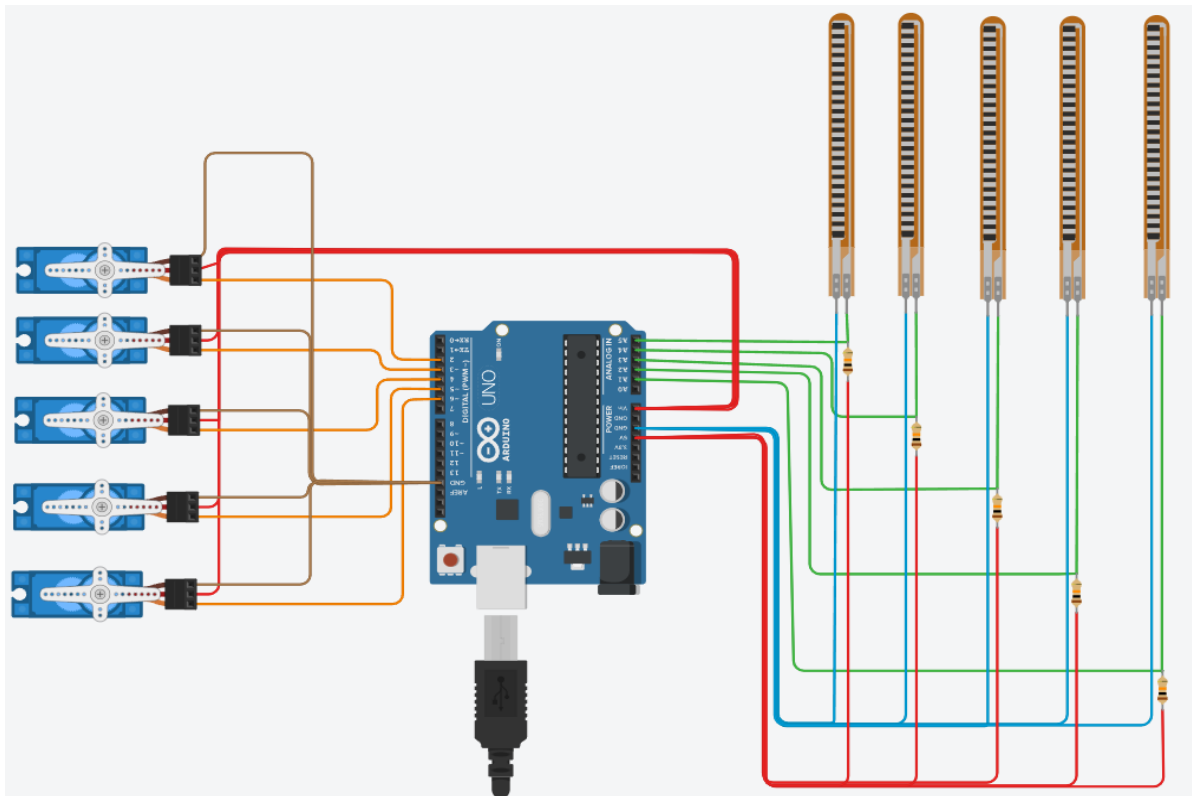
Αξίζει να αναφερθεί πως η τρισδιάστατη εκτύπωση αποτελεί βασικό συστατικό της 4<sup>ης</sup> βιομηχανικής επανάστασης ,ενσωματώνοντας την ψηφιακή κατασκευή και τον αυτοματισμό στην παραγωγή.[69,70]

### 3. ΟΔΗΓΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΕΧΝΗΤΟΥ ΜΕΛΟΥΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί λεπτομερώς η συνολική διαδικασία κατασκευής του τεχνητού μέλους. Θα παρουσιαστούν η συνδεσμολογία, τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, οι παρεμβάσεις και οι ρυθμίσεις για την τρισδιάστατη εκτύπωση καθώς και η συναρμολόγηση του μηχανικού χεριού βήμα-βήμα.

#### 3.1 Συνδεσμολογία ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Για την συνδεσμολογία του κυκλώματος τα κόκκινα καλώδια των σερβοκινητήρων συνδέθηκαν στην κόκκινη γραμμή του breadboard. Τα καφέ καλώδια των σερβοκινητήρων συνδέθηκαν στην μπλε γραμμή του breadboard. Αργότερα τα κίτρινα καλώδια των σερβοκινητήρων συνδέθηκαν στα ψηφιακά pin του Arduino από τις ενδείξεις ~6 μέχρι ~2. Οι flex sensors συνδέθηκαν ο καθένας ξεχωριστά στην προσωπική του αντίσταση των 10KΩ και από εκεί συνδέθηκαν στην ένδειξη GND του Arduino με ένα καλώδιο χρώματος καφέ. Το κόκκινο καλώδιο των flex sensors ενώθηκε με την ένδειξη 3.3V του Arduino. Κάθε αισθητήρας κάμψης ξεχωριστά συνδέθηκε στις θύρες του Arduino A1 έως A5.



Εικόνα 32. Η συνδεσμολογία των servo motors με τους flex sensors.

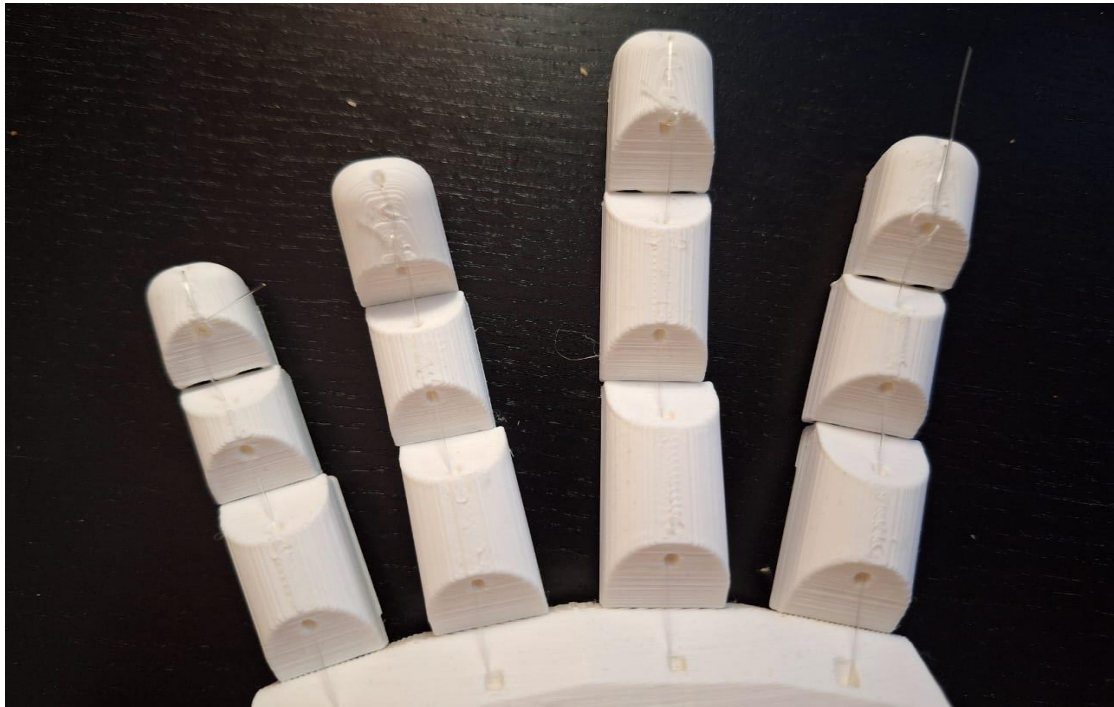
### 3.2 Συναρμολόγηση τεχνητού μέλους.

Για την συναρμολόγηση του μηχανικού βραχίονα και των 3D κομματιών χρησιμοποιήθηκαν τα εξής.

- 5 Σερβοκινητήρες WS-MG90S.
  - Πετονιά 0.32mm.
  - Λάστιχα 2mm.
  - Αυτοκόλλητα διπλής όψεως.
  - Arduino Uno R4 Wi-Fi.
  - Καλώδια τύπου breadboard jumper male to male.
  - Πλακέτα δοκίμων breadboard χρώματος διάφανες.
  - Prototype double-sided Breadboard.
  - Breadboard power supply module.
  - Τροφοδοτικό.
  - 5 Αντιστάσεις 10ΚΩ.
  - 5 Αισθητήρες κάμψης (flex sensors).
  - 5 βιδωτές κλέμες 2.4mm.
  - 5 κλέμες τύπου Clincher Connector.
  - 1 χειρόκτιο (γάντι).
- **Βήμα 1<sup>ο</sup>:** Τα κομμάτια της 3D εκτύπωσης τριφτήκαν με γυαλόχαρτο σε όλες τις τρύπες και τις γωνίες τους ώστε να γίνει καλύτερη επαφή και να δεθούν μεταξύ τους δίχως να χαραχτεί κάποιο από αυτά.
- **Βήμα 2<sup>ο</sup>:** Όλες οι αρθρώσεις των δάκτυλων ενωθήκαν με πετονιά 0.32mm που πέρασε ενδιάμεσα από τις τρύπες των δακτύλων. Για κάθε δάκτυλο ξεχωριστά η πετονιά δέθηκε με κόμπο ώστε να μην υποχωρήσει κάποιο κομμάτι. Αργότερα κόπηκε με ψαλίδι οποιαδήποτε άκρη περιττής πετονιάς υπήρχε.

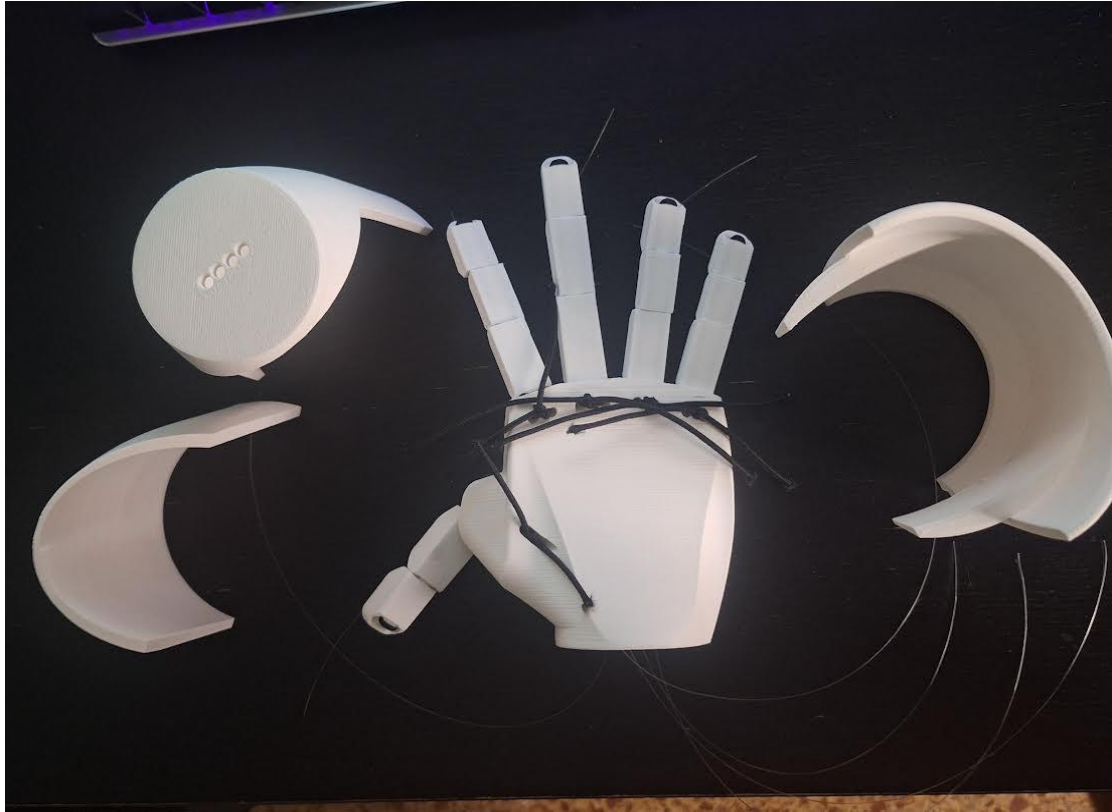


Εικόνα 32. Τα άκρα του τεχνητού μέλους έχοντας περαστεί πετονιά.



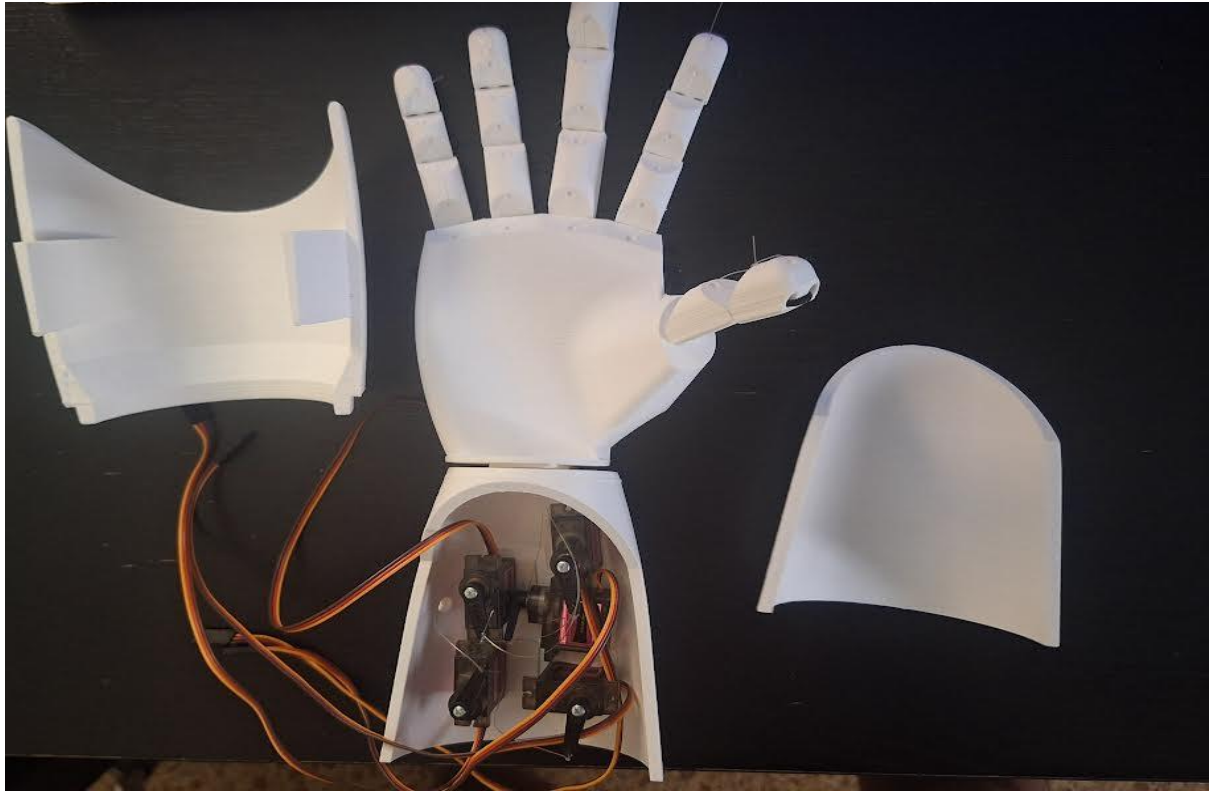
Εικόνα 33. Εναλλακτική γωνιά λήψης του τεχνητού μέλους.

- **Βήμα 3<sup>ο</sup>:** Περάστηκαν λάστιχα μαύρου χρώματος 2mm πίσω από το τεχνητό μέλος έτσι ώστε να πέτυχουμε την πλήρη επαναφορά των ακρών μετά από κάθε κλείσιμο των δακτύλων. Ύστερα αφαιρέθηκε οποιοδήποτε κομμάτι λάστιχου περίσσευε στις άκρες.



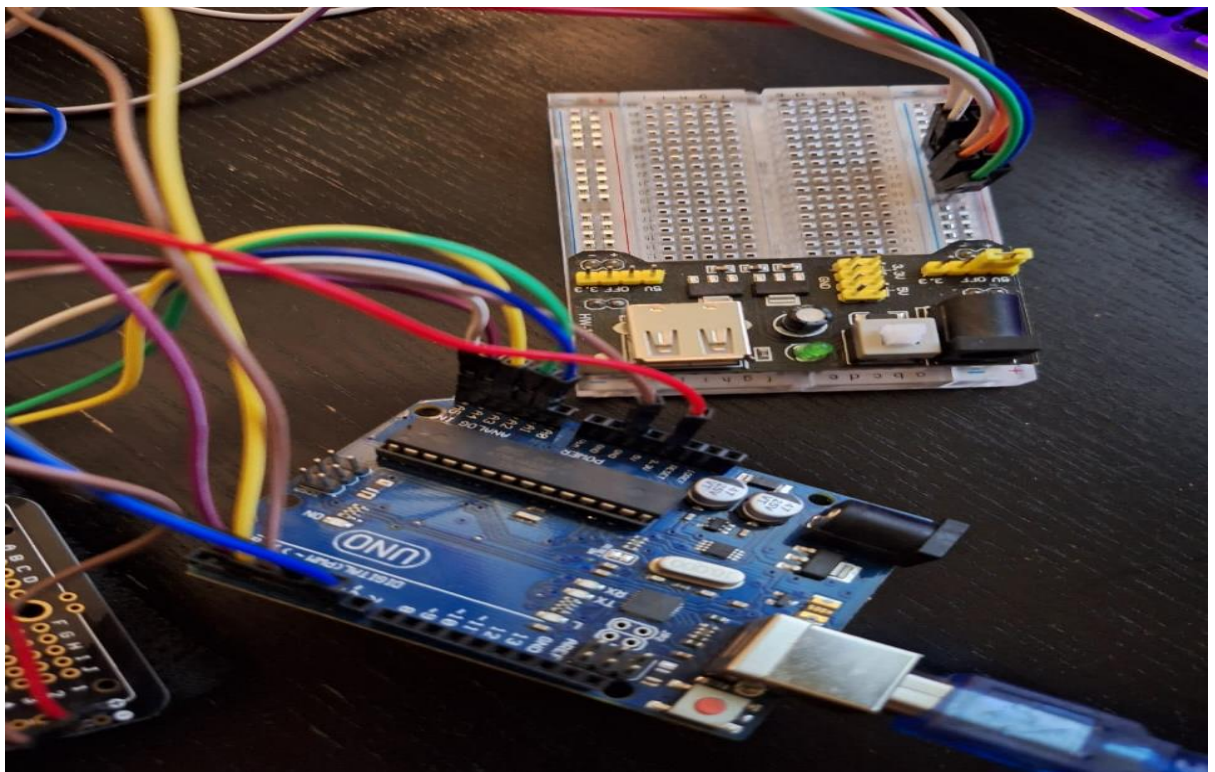
Εικόνα 34. Τα εκτυπωμένα μέρη με τοποθετημένα τα λάστιχα 2mm.

- **Βήμα 4<sup>ο</sup>:** Στην συνέχεια κολλήσαν μεταξύ τους τα κομμάτια με αυτοκόλλητα διπλής όψευς και τοποθετήθηκαν εντός του βραχίονα οι 5 σερβοκινητήρες που κολλήθηκαν με την ίδια διαδικασία.



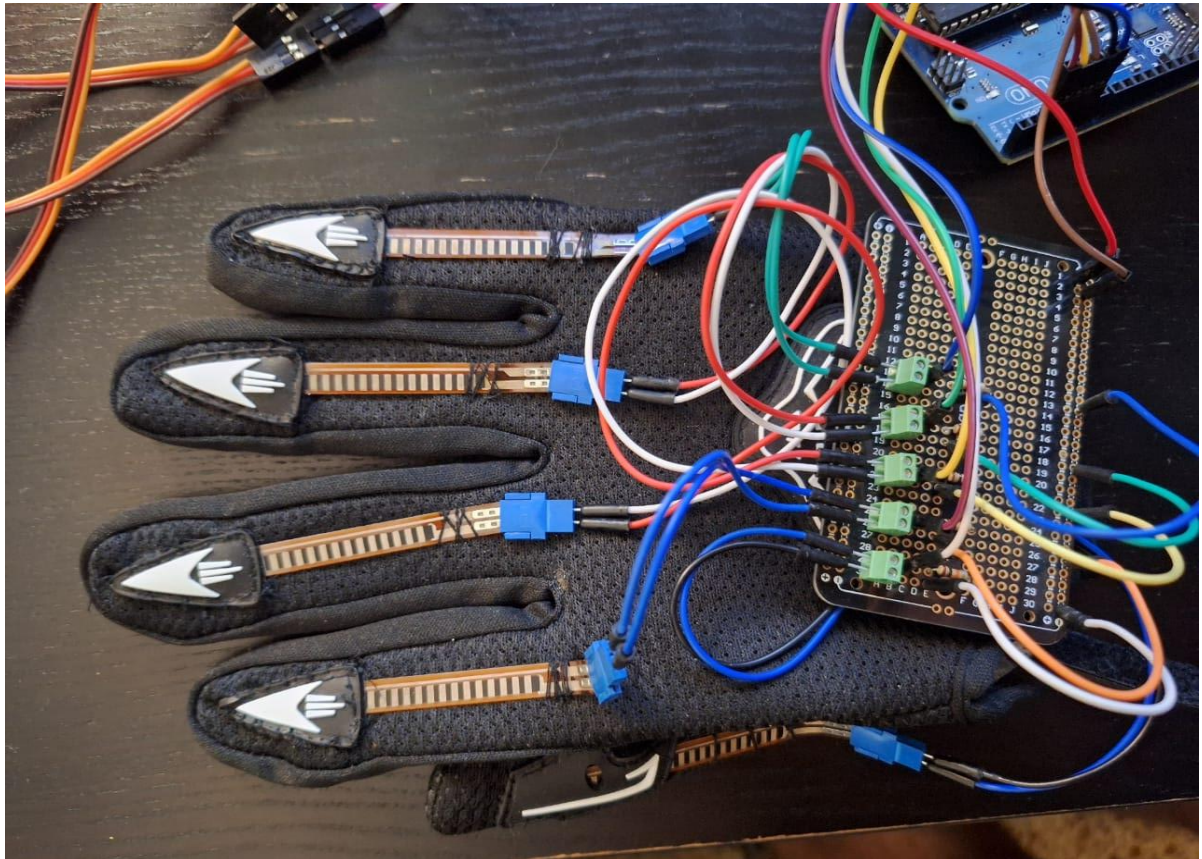
**Εικόνα 35. Λήψη του βραχίονα με τοποθετημένους τους σερβοκινητήρες εντός του.**

- **Βήμα 5<sup>ο</sup>:** Κάθε σερβοκινητήρας ακολουθώντας την σωστή καλωδίωση συνδέθηκε στο breadboard και στο power supply module.



**Εικόνα 36. Η συνδεσμολογία των Arduino και breadboard power supply module.**

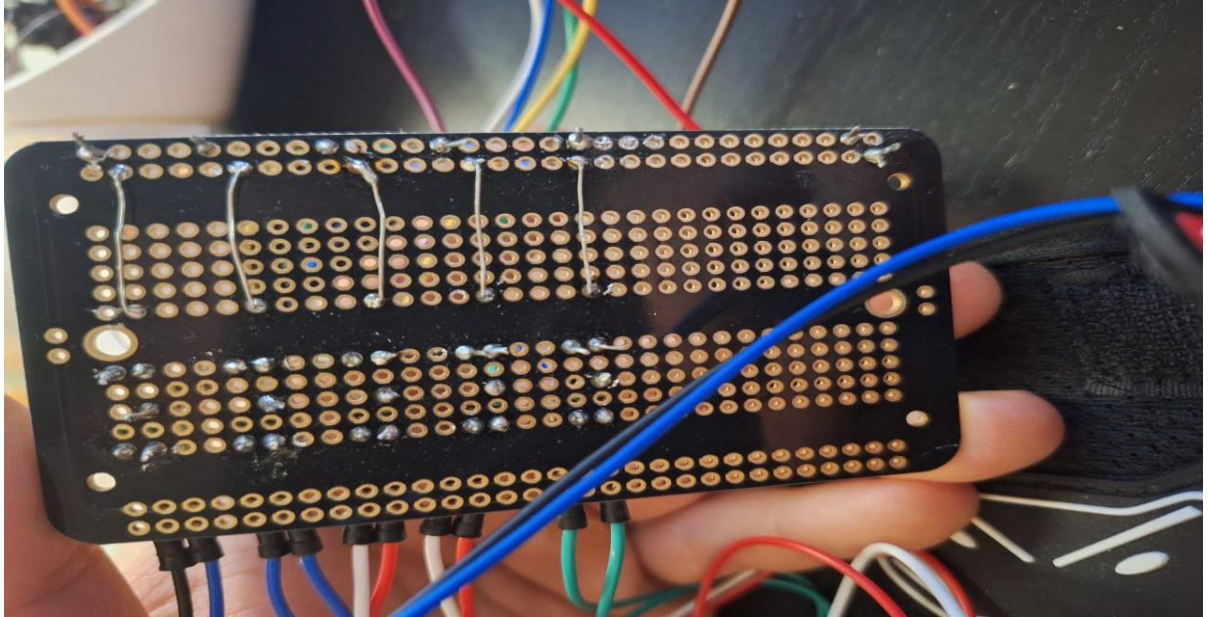
- **Βήμα 6°:** Ύστερα η καλωδίωση προχώρησε μέχρι το Arduino, με τα καλώδια να μπαίνουν σε κάθε είσοδο.
- **Βήμα 7°:** Τοποθετήθηκαν οι αισθητήρες κάμψης (flex sensors) πάνω στο γάντι και ράφτηκαν με κλωστή ώστε να μην μετακινηθούν.
- **Βήμα 8°:** Οι ακροδέκτες των flex sensors “εγκλωβίστηκαν” μέσα σε κλέμες τύπου Clincher Connector και καλώδια τους συνδέθηκαν σε βιδωτές κλέμες 2.4mm.



**Εικόνα 37.** Το γάντι έχοντας τοποθετηθεί πάνω του οι flex sensors με μαύρη κλωστή. Οι κλέμες τύπου Clincher και οι βιδωτές κλέμες των 2.4mm.

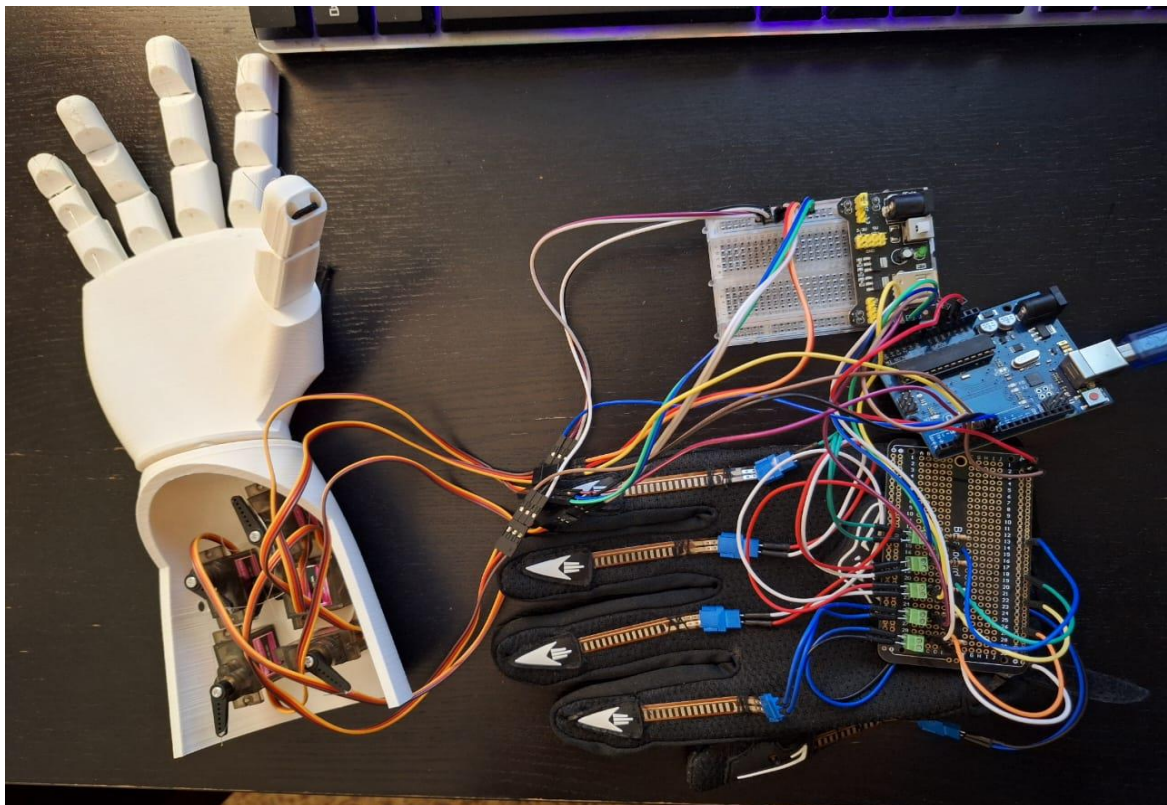
- **Βήμα 9° :** Έγιναν όλες οι απαραίτητες κολλήσεις επάνω στην πλακέτα Prototype double-sided Breadboard για τις βιδωτές κλέμες ,τις 5 αντιστάσεις των 10KΩ και τα υπόλοιπα καλώδια. Χρησιμοποιήθηκε κολλητήρι και σύρμα κόλλησης 0.5mm.





**Εικόνα 38.** Οι κολλήσεις από την κάτω μεριά της πλακέτας.

- **Βήμα 10<sup>ο</sup>:** Προστέθηκε το τελευταίο εκτυπωμένο κομμάτι ώστε να κλείσει το χέρι.



**Εικόνα 38:** Το τεχνητό μέλος με τα πλήρη εξαρτήματα συνδεδεμένα.



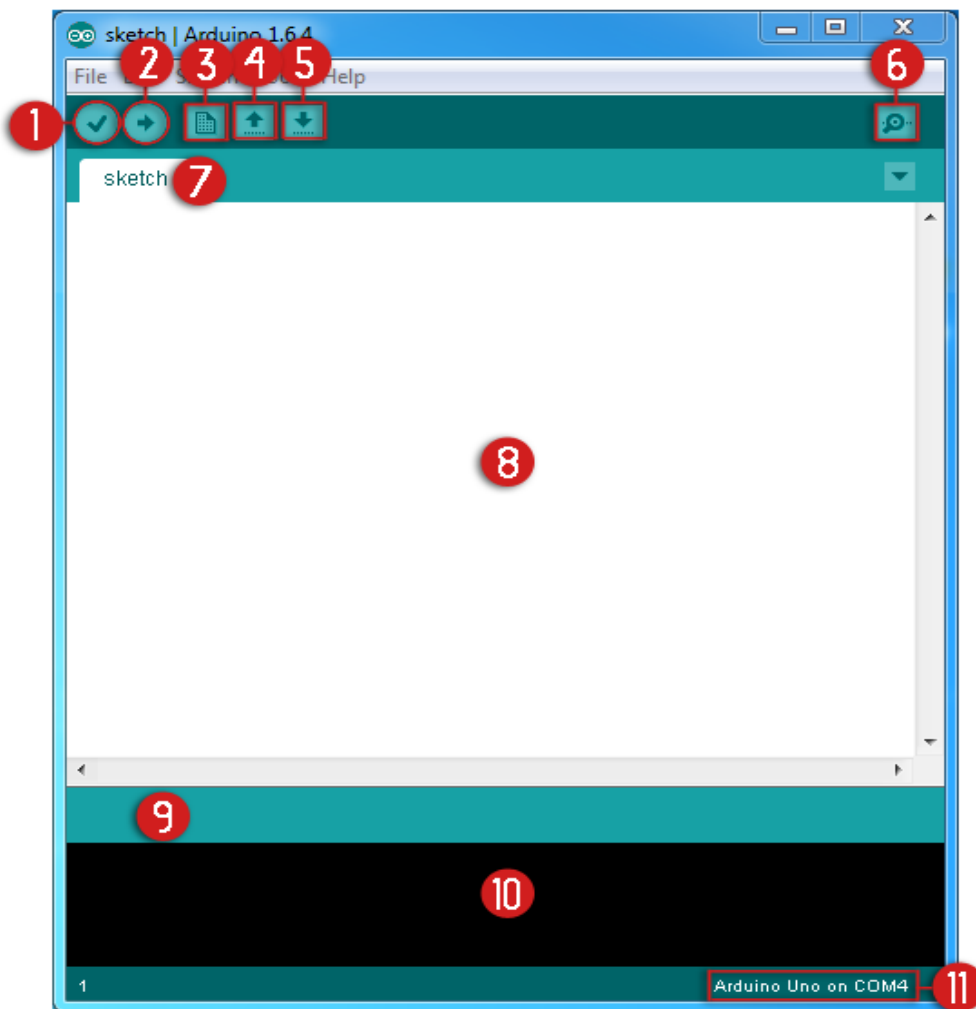
Εικόνα 39. Τελικό στάδιο.

## 4. Προγραμματισμός ρομποτικού χεριού.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί το software της διπλωματικής εργασίας. Θα αναλυθεί όλος ο κώδικας εντολή-εντολή για την κίνηση του προσθετικού βραχίονα.

### 4.1 Το Περιβάλλον IDE του Arduino.

Όπως προαναφέραμε και στο κεφάλαιο 2.1 το Arduino προγραμματίζεται στην γλωσσά Wiring μια παραλλαγή της C++. Το πρόγραμμα γράφετε σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και περνά στο Arduino μέσω θύρας USB ή type C.



Εικόνα 40. Το περιβάλλον IDE προγραμματισμού μιας πλακέτας Arduino.[74]

Αποτελείται από:

- 1) Verify (επαλήθευση): Μεταγλωττίζει και ελέγχει τον κώδικα για συντακτικά λάθη.
- 2) Upload (μεταφόρτωση): Στέλνει τον κώδικα στην πλακέτα του Arduino.
- 3) New (νέο): Αυτό το πλήκτρο ενεργοποιεί νέα καρτέλα για καινούργιο προγραμματισμό.
- 4) Open (άνοιγμα): Επιτρέπει να ανοίξουμε ένα ήδη υπάρχον sketch.
- 5) Save (αποθήκευση): Αποθηκεύει τον υπάρχοντα κώδικα.
- 6) Serial monitor (σειριακή παρακολούθηση): Εμφανίζει ένα παράθυρο που εντοπίζει γραμμή-γραμμή πιθανά σφάλματα στην πλακέτα Arduino.
- 7) Sketch name (όνομα σκίτσου): Εκεί αναγράφεται το όνομα του σκίτσου που επεξεργάζεται ο χρήστης.
- 8) Code area (περιοχή επεξεργασίας κώδικα): Σε αυτό το σημείο βρίσκετε η τοποθεσία πληκτρολόγησης του κώδικα ενός sketch.
- 9) Message area (Περιοχή μηνμάτων): Εκεί εμφανίζονται οι ενημερώσεις για τυχόν σφάλματα του κώδικα.
- 10) Text console (Κονσόλα κειμένου): Σε αυτήν την περιοχή εμφανίζονται τα πλήρη μηνύματα σφάλματος.
- 11) Board and serial port (πλακέτα και σειριακή θύρα): Δείχνει ποια πλακέτα και ποια συγκεκριμένη θύρα έχει επιλεγεί.

## 4.2 Οι εντολές του προγράμματος.

```

1
2 //Flex Sensor controlled Robo Hand
3
4 //Idle 790--835--793--859--827--
5 //Close 880--844--802--866--831--
6
7 #include <Servo.h>
8
9 Servo servo1;
10 Servo servo2;
11 Servo servo3;
12 Servo servo4;
13 Servo servo5;
14
15 int flex1 = A1;
16 int flex2 = A2;
17 int flex3 = A3;
18 int flex4 = A4;
19 int flex5 = A5;
20 ;
21 void setup() {
22   // Serial.begin(9600);
23   servo1.attach(2);
24   servo2.attach(3);
25   servo3.attach(4);
26   servo4.attach(5);
27   servo5.attach(6);
28
29 }
30
31 void loop() {
32   int flex1_pos;
33   int servo1_pos;
34   flex1_pos = analogRead(flex1);
35   servo1_pos = map(flex1_pos, 840, 900, 180, 0);
36   servo1_pos = constrain(servo1_pos, 180, 0);
37   servo1.write(servo1_pos);
38
39   int flex2_pos;
40   int servo2_pos;
41   flex2_pos = analogRead(flex2);
42   servo2_pos = map(flex2_pos, 879, 882, 0, 180);
43   servo2_pos = constrain(servo2_pos, 0, 180);
44   servo2.write(servo2_pos);
45
46
47   int flex3_pos;
48   int servo3_pos;

```

Εικόνα 41. Το πρόγραμμα του τεχνητού μέλους από την εντολή 1 μέχρι 47.

```

46
47   int flex3_pos;
48   int servo3_pos;
49   flex3_pos = analogRead(flex3);
50   servo3_pos = map(flex3_pos, 828, 824, 180, 0);
51   servo3_pos = constrain(servo3_pos, 180, 0);
52   servo3.write(servo3_pos);
53
54   int flex4_pos;
55   int servo4_pos;
56   flex4_pos = analogRead(flex4);
57   servo4_pos = map(flex4_pos, 874, 878, 0, 180);
58   servo4_pos = constrain(servo4_pos, 0, 180);
59   servo4.write(servo4_pos);
60
61   int flex5_pos;
62   int servo5_pos;
63   flex5_pos = analogRead(flex5);
64   servo5_pos = map(flex5_pos, 855, 851, 180, 0);
65   servo5_pos = constrain(servo5_pos, 180, 0);
66   servo5.write(servo5_pos);
67
68
69   /*
70   Serial.print(servo1_pos);
71   Serial.print("--");
72   Serial.print(servo2_pos);
73   Serial.print("--");
74   Serial.print(servo3_pos);
75   Serial.print("--");
76   Serial.print(servo4_pos);
77   Serial.print("--");
78   Serial.print(servo5_pos);
79   Serial.println("--");
80   */
81
82   Serial.print(flex1_pos);
83   Serial.print("--");
84   Serial.print(flex2_pos);
85   Serial.print("--");
86   Serial.print(flex3_pos);
87   Serial.print("--");
88   Serial.print(flex4_pos);
89   Serial.print("--");
90   Serial.print(flex5_pos);
91   Serial.println("--");
92

```

Εικόνα 42. Το πρόγραμμα του τεχνητού μέλους από την γραμμή 47 μέχρι 91.

```

49 flex3_pos = analogRead(flex3);
50 servo3_pos = map(flex3_pos, 828, 824, 180, 0);
51 servo3_pos = constrain(servo3_pos, 180, 0);
52 servo3.write(servo3_pos);
53
54 int flex4_pos;
55 int servo4_pos;
56 flex4_pos = analogRead(flex4);
57 servo4_pos = map(flex4_pos, 874, 878, 0, 180);
58 servo4_pos = constrain(servo4_pos, 0, 180);
59 servo4.write(servo4_pos);
60
61 int flex5_pos;
62 int servo5_pos;
63 flex5_pos = analogRead(flex5);
64 servo5_pos = map(flex5_pos, 855, 851, 180, 0);
65 servo5_pos = constrain(servo5_pos, 180, 0);
66 servo5.write(servo5_pos);
67
68
69 /*
70 Serial.print(servo1_pos);
71 Serial.print("--");
72 Serial.print(servo2_pos);
73 Serial.print("--");
74 Serial.print(servo3_pos);
75 Serial.print("--");
76 Serial.print(servo4_pos);
77 Serial.print("--");
78 Serial.print(servo5_pos);
79 Serial.println("--");
80 */
81
82 Serial.print(flex1_pos);
83 Serial.print("--");
84 Serial.print(flex2_pos);
85 Serial.print("--");
86 Serial.print(flex3_pos);
87 Serial.print("--");
88 Serial.print(flex4_pos);
89 Serial.print("--");
90 Serial.print(flex5_pos);
91 Serial.println("--");
92
93 delay(300);
94
95 }

```

Εικόνα 43. Οι τελικές εντολές του προγραμματισμού του ρομποτικού χεριού.

Ας αναλύσουμε τον κώδικα γραμμή-γραμμή και ας εξηγήσουμε τι προκαλεί η κάθε εντολή. Δίπλα από κάθε εντολή θα υπάρχει ένας αριθμός που θα υποδεικνύει την γραμμή που βρίσκεται η κάθε εντολή.

## 2. //Flex Sensor controlled Robot Hand

4. //Idle 790--835--793--859--827--

5. //Close 880--844--802--866--831--

Τα σχόλια συμβολίζονται με "//" αναγράφεται το όνομα του προγράμματος και οι τιμές των αισθητήρων σε διάφορες καταστάσεις.

## 7. #include <Servo.h>

Αυτή η γραμμή περιλαμβάνει την βιβλιοθήκη <Servo.h> η οποία παρέχει τις συναρτήσεις για τον έλεγχο των σερβοκινητήρων.

9. Servo servo1;

10. Servo servo2;

11. Servo servo3;

12. Servo servo4;

13. Servo servo5;

Αυτές οι γραμμές δηλώνουν 5 αντικείμενα "Servo", το καθένα από τα οποία ελέγχει ένα σερβοκινητήρα και έχουν ονομαστεί servo1 μέχρι servo5.

15. int flex1 = A1;

16. int flex2 = A2;

17. int flex3 = A3;

18. int flex4 = A4;

19. int flex5 = A5;

Αυτές οι γραμμές ορίζουν τις αναλογικές εισόδους (A1 έως A5) στις οποίες είναι συνδεδεμένοι οι αισθητήρες κάμψης.

21. void setup() {

22. // Serial.begin(9600);

23. servo1.attach(2);

24. servo2.attach(3);

25. servo3.attach(4);



**26. servo4.attach(5);**

**27. servo5.attach(6);**

Η συνάρτηση **'setup()'** εκτελείται μια φορά όταν ξεκινάει το Arduino.

Η **// Serial.begin(9600);** είναι σχολιασμός και δεν εκτελείται. Χρησιμοποιείται για την έναρξη της σειριακής επικοινωνίας με ταχύτητα 9600 baut, όπου baut ο ρυθμός μετάδοσης συμβόλων.

Οι **'servo1.attach(2);'** έως **'servo5.attach(6);'** είναι γραμμές που συνδέουν τα αντικείμενα servo στις ψηφιακές εξόδους 2 έως 6 αντίστοιχα.

**31. void loop ()**

Η συνάρτηση **'loop'** εκτελείται συνεχώς.

**32. int flex1\_pos;**

**33. int servo1\_pos;**

Δημιουργούνται μεταβλητές για να αποθηκεύσουμε τις τιμές των αισθητήρων και των σέρβο.

**34. flex1\_pos = analogRead(flex1);**

Διαβάζει την αναλογική τιμή του αισθητήρα κάμψης **'flex1'**.

**35. servo1\_pos = map(flex1\_pos, 840, 900, 180, 0);**

Χαρτογραφούμε την τιμή του αισθητήρα κάμψης σε μια γωνιά για τον σέρβο. Η συνάρτηση **'map'** παίρνει την τιμή **'flex1\_pos'** που κυμαίνεται από 840 έως 900 και τη μετατρέπει σε τιμή από 180 έως 0.

**36. servo1\_pos = constrain(servo1\_pos, 180, 0);**

Περιορίζει την τιμή της γωνίας του σέρβο στα όρια από 180 έως 0.

**37. servo1.write(servo1\_pos);**

Στέλνει την τιμή της γωνίας στο σέρβο, έτσι ώστε να κινηθεί στη συγκεκριμένη θέση.

Από την γραμμή 38 έως την γραμμή 66 επαναλαμβάνεται η παραπάνω διαδικασία για κάθε σέρβο και αισθητήρα κάμψης ξεχωριστά.

Οι γραμμές 69 μέχρι 81 είναι σχόλια που βλέπουμε τις τιμές των γωνιών που βρίσκονται οι σέρβο.

**82. Serial.print(flex1\_pos);**

**83. Serial.print("--");**

**84. Serial.print(flex2\_pos);**

**85. Serial.print("--");**

**86. Serial.print(flex3\_pos);**

**87. Serial.print("--");**

**88. Serial.print(flex4\_pos);**

**89. Serial.print("--");**

**90. Serial.print(flex5\_pos);**

**91. Serial.println("--");**

Τυπώνουμε τις τιμές των αισθητήρων κάμψης στην σειριακή κονσόλα και τις χωρίζουμε με "--".

**93. delay(300);**

Καθυστερεί την επανάληψη της λούπας για 300 χιλιοστά του δευτερολέπτου (0.3 δευτερόλεπτα).

**Το ολοκληρωμένο πρόγραμμα που χρησιμοποιήθηκε για την κίνηση του τεχνητού μέλους.**

```
//Flex Sensor controlled Robo Hand

//Idle 790--835--793--859--827--
//Close 880--844--802--866--831--

#include <Servo.h>

Servo servo1;
Servo servo2;
Servo servo3;
Servo servo4;
```

```
Servo servo5;

int flex1 = A1;
int flex2 = A2;
int flex3 = A3;
int flex4 = A4;
int flex5 = A5;

;

void setup() {
  // Serial.begin(9600);
  servo1.attach(2);
  servo2.attach(3);
  servo3.attach(4);
  servo4.attach(5);
  servo5.attach(6);

}

void loop() {
  int flex1_pos;
  int servo1_pos;
  flex1_pos = analogRead(flex1);
  servo1_pos = map(flex1_pos, 840, 900, 180, 0);
  servo1_pos = constrain(servo1_pos, 180, 0);
  servo1.write(servo1_pos);

  int flex2_pos;
  int servo2_pos;
  flex2_pos = analogRead(flex2);
```

```
servo2_pos = map(flex2_pos, 879, 882, 0, 180);  
servo2_pos = constrain(servo2_pos, 0, 180);  
servo2.write(servo2_pos);  
  
int flex3_pos;  
int servo3_pos;  
flex3_pos = analogRead(flex3);  
servo3_pos = map(flex3_pos, 828, 824, 180, 0);  
servo3_pos = constrain(servo3_pos, 180, 0);  
servo3.write(servo3_pos);  
  
int flex4_pos;  
int servo4_pos;  
flex4_pos = analogRead(flex4);  
servo4_pos = map(flex4_pos, 874, 878, 0, 180);  
servo4_pos = constrain(servo4_pos, 0, 180);  
servo4.write(servo4_pos);  
  
int flex5_pos;  
int servo5_pos;  
flex5_pos = analogRead(flex5);  
servo5_pos = map(flex5_pos, 855, 851, 180, 0);  
servo5_pos = constrain(servo5_pos, 180, 0);  
servo5.write(servo5_pos);  
  
/*  
Serial.print(servo1_pos);
```

```
Serial.print("--");  
Serial.print(servo2_pos);  
Serial.print("--");  
Serial.print(servo3_pos);  
Serial.print("--");  
Serial.print(servo4_pos);  
Serial.print("--");  
Serial.print(servo5_pos);  
Serial.println("--");  
*/  
  
Serial.print(flex1_pos);  
Serial.print("--");  
Serial.print(flex2_pos);  
Serial.print("--");  
Serial.print(flex3_pos);  
Serial.print("--");  
Serial.print(flex4_pos);  
Serial.print("--");  
Serial.print(flex5_pos);  
Serial.println("--");  
  
delay(300);  
  
}
```

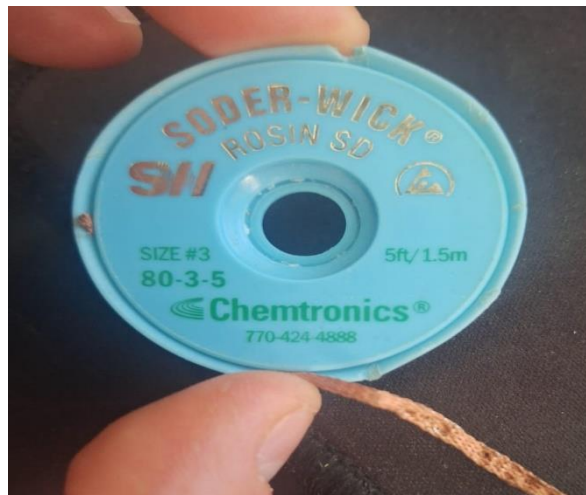
## 5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας ήταν η δημιουργία τεχνητού μέλους κινούμενο από μικροεπεξεργαστή. Το ρομποτικό αυτό χέρι θα πρέπει να υπακούει τις κινήσεις που στέλνει ο χρήστης κουνώντας τα δάκτυλα του μέσω του γαντιού που έχει πάνω ενσωματωμένους τους αισθητήρες κάμψης. Πιο συγκεκριμένα όταν ο χρήστης κάμπτει τα δάκτυλα του το σήμα μέσω των flex sensors στέλνεται στο Arduino και προκαλεί περιστροφή των σερβοκινητήρων ώστε να κουνηθούν τα δάκτυλα. Όταν ο χρήστης “χαλαρώσει” το χέρι του το τεχνητό μέλος επαναφέρεται στην αρχική του κατάσταση.

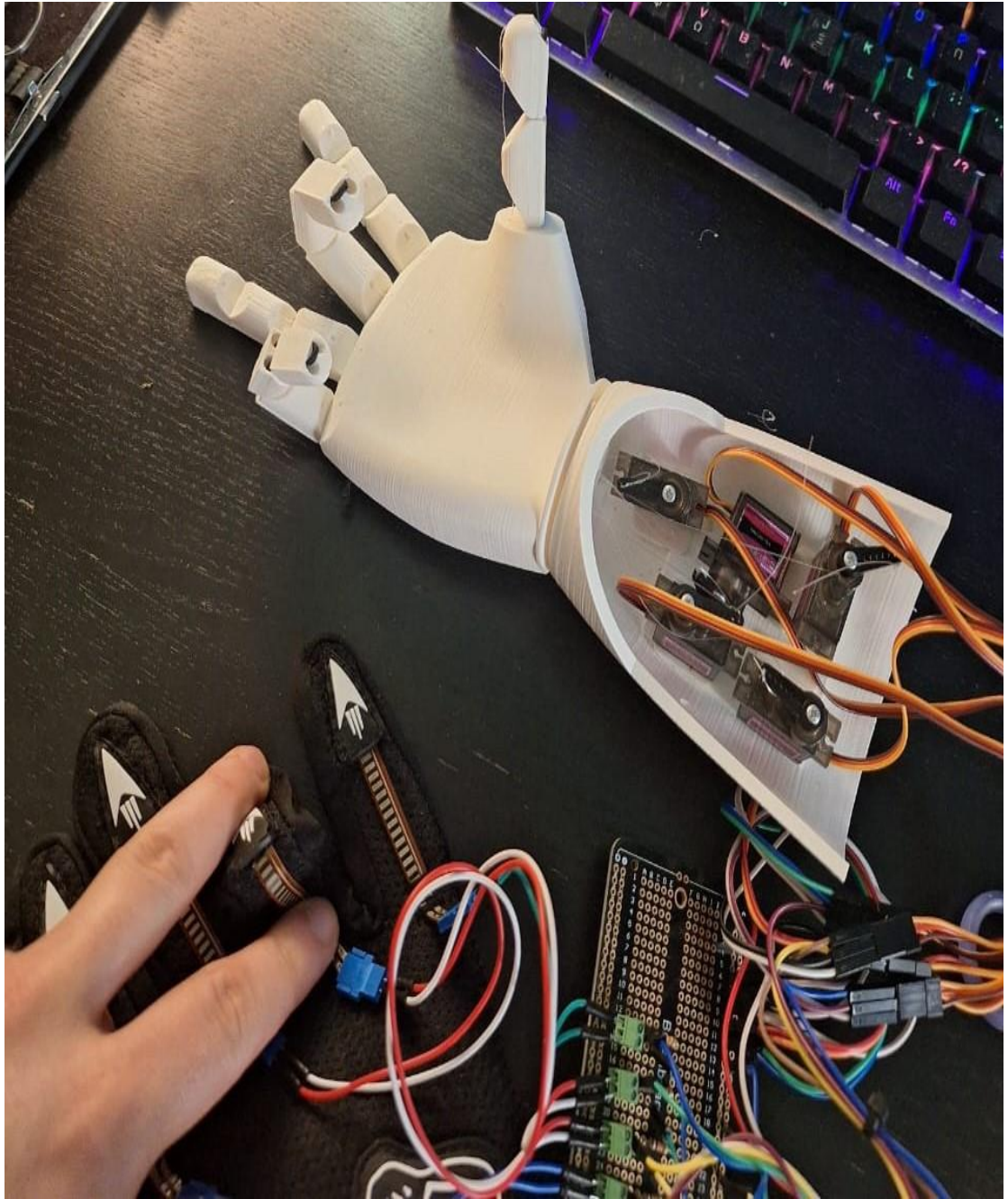
Μετά την ολοκλήρωση της 3D εκτύπωσης, την συναρμολόγηση του τεχνητού μέλους, την σύνδεση των εξαρτημάτων και τον προγραμματισμό του Arduino, εξετάστηκε και να ελέγχθηκε αν το χέρι λειτουργεί όπως επιθυμούμε και αν παρουσιάζει σφάλματα.

Ξεπεραστήκαν προβλήματα που παρουσιάστηκαν στην πορεία όπως βραχυκυκλώματα από κολλήσεις και συντακτικά λάθη στον κώδικα. Στην πρώτη περίπτωση έγινε “καθαρισμός” της περιττής κόλλησης με solder-wick, ενώ στην δεύτερη μια πιο λεπτομερή εξέταση στον κώδικα έδειξε την τοποθεσία των σφαλμάτων.

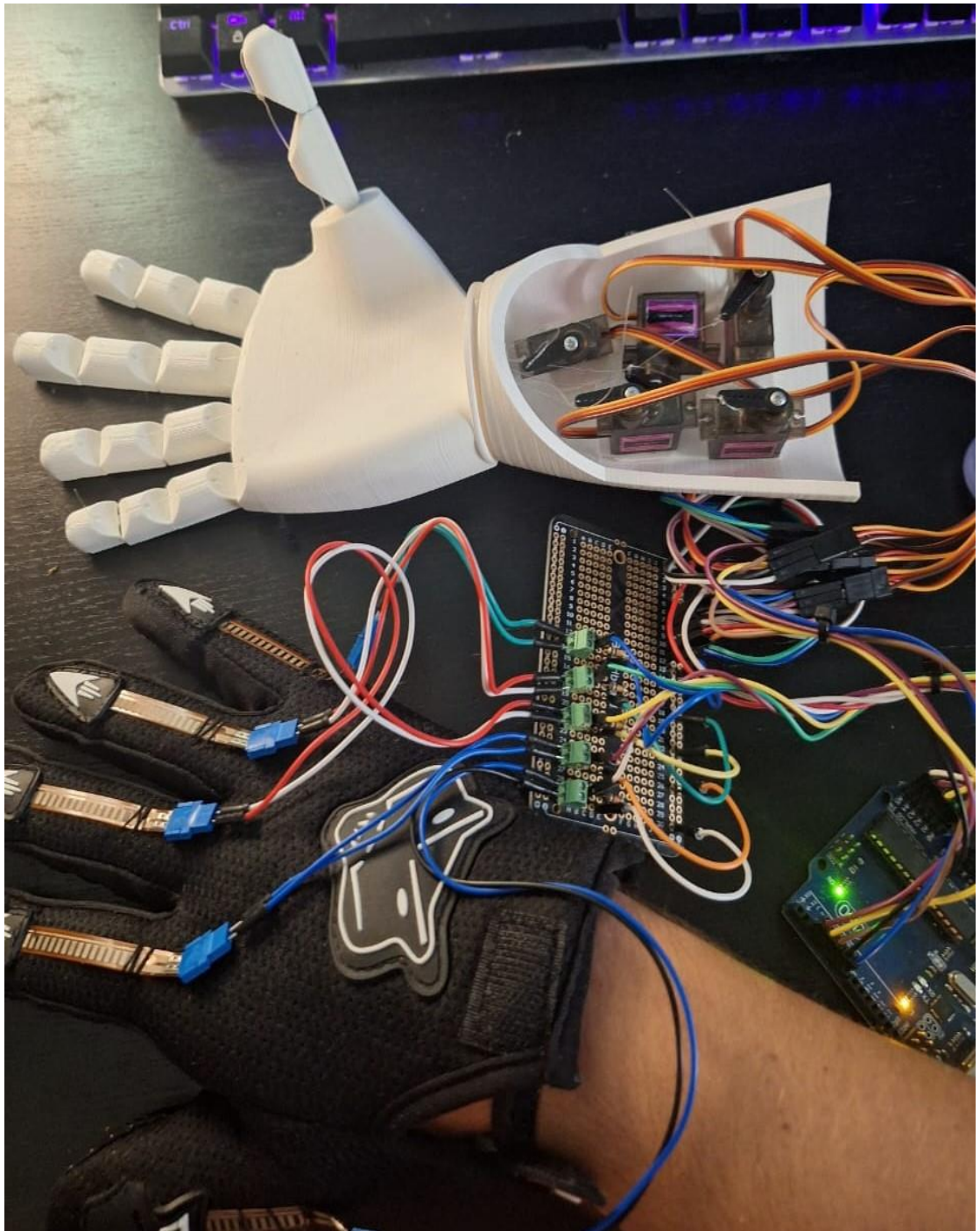
Οι επόμενες φωτογραφίες απεικονίζουν την αποτελεσματική λειτουργία του τεχνητού μέλους.



Εικόνα 44. Το sober-wick.



Εικόνα 45. Κάμψη δάκτυλων κατά το σφίξιμο των δάκτυλων του χειριστή.



Εικόνα 46. Επαναφορά δάκτυλων κατά την χαλάρωση των δάκτυλων του χρήστη.



## 6. Μελλοντικές βελτιώσεις.

Μετα το πέρας της δημιουργίας του τεχνητού μέλους θα μπορούσαμε να αναφέρουμε μελλοντικές αναβαθμίσεις ώστε να το κάνουμε πιο ολοκληρωμένο και εύχρηστο.

Μια ξεχωριστή προσθήκη θα ήταν η ενσωμάτωση αισθητήρων αφής ώστε να επιτραπεί η ανίχνευση πίεσης και δύναμης που ασκείται κατά την επαφή με τα αντικείμενα. Παράλληλα θα μπορούσαμε να αντικαταστήσουμε τους απλούς σερβοκινητήρες με brushless dc motors ή stepper motors για να βελτιώσουμε την απόδοση και την αποδοτικότητα του ρομποτικού χεριού.

Επιπροσθέτως η τοποθέτηση αισθητήρων για την μη αντίδραση του χεριού όταν θα συναντά ακραία μεγάλες ή μικρές θερμοκρασίες θα το καθιστούσε πολύ ασφαλές εκτός από “έξυπνο”. Ακόμα θα μπορούσαμε να το αναβαθμίσουμε με ασύρματη επικοινωνία τοποθετώντας Bluetooth ή WIFI καθώς και ενσωμάτωση IOT συστημάτων. Τέλος η βελτίωση της πολυαρθρικής κίνησης με περισσότερες αρθρώσεις και βαθμούς ελευθερίας θα μπορούσε να κάνει το τεχνητό μας μέλος πιο ευέλικτο και ικανό να εκτελεί πληθώρα κινήσεων προσομοιώνοντας έτσι ένα αληθινό ανθρώπινο χέρι.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Hilamidis. <https://i-hlamidis.gr/ola-osa-chreiazetai-na-xerete-gia-ta-technita-meli/>
- [2] Mummies' false toes helped ancient Egyptians walk  
<https://www.eurekalert.org/news-releases/781138>
- [3] News beast. Ancient mummies found with prosthetics.  
<https://www.newsbeast.gr/oldcategories/culture/arthro/125167/vrethikan-aiguptiakemoumies-me-prosthetika-meli>
- [4] The geniuses who invented prosthetics. <https://rehabline-chronopoulos-gougis.gr/2018/01/15/oi-megalofyies-pou-exelixan-ta-prosthetika-melh/>
- [5] Marcus Sergius Silus.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Marcus\\_Sergius\\_Silus](https://en.wikipedia.org/wiki/Marcus_Sergius_Silus)
- [6] Prosthesis <https://en.wikipedia.org/wiki/Prosthesis>
- [7] 3000 years old prosthetic foot. <https://www.mixanitouxronou.gr/prosthetiko-melos-3-000-xronon-me-mixanismo-prosarmogis-sto-podi-vrethike-se-nekropoli-ti-edekse-i-erevna-gia-ti-gynaika-pou-to-forouse/>
- [8] Götz von Berlichingen  
[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%BA%CE%B5%CF%84%CF%82\\_%CF%86%CE%BF%CE%BD\\_%CE%9C%CF%80%CE%AD%CF%81%CE%BB%CE%B9%CF%87%CE%B9%CE%BD%CE%B3%CE%BA%CE%B5%CE%BD](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%93%CE%BA%CE%B5%CF%84%CF%82_%CF%86%CE%BF%CE%BD_%CE%9C%CF%80%CE%AD%CF%81%CE%BB%CE%B9%CF%87%CE%B9%CE%BD%CE%B3%CE%BA%CE%B5%CE%BD)
- [9] Wolf Schweitzer: swisswuff.ch - Prosthetic split-hooks are by far the MORE MODERN concept than prosthetic hands.  
[https://www.swisswuff.ch/tech/?p=9423#Around\\_1450\\_first\\_prosthetic\\_iron\\_hand\\_with\\_moveable\\_parts](https://www.swisswuff.ch/tech/?p=9423#Around_1450_first_prosthetic_iron_hand_with_moveable_parts)
- [10] Erste Hand aus Florenz [https://de.wikipedia.org/wiki/Erste\\_Hand\\_aus\\_Florenz](https://de.wikipedia.org/wiki/Erste_Hand_aus_Florenz)
- [11] Leonardo's robot [https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo%27s\\_robot](https://en.wikipedia.org/wiki/Leonardo%27s_robot)
- [12] 1550: Le Petit Lorrain <https://corvusfugit.com/2017/12/07/1550-le-petit-lorrain/>
- [13] On Paré and Prosthetics by nyamhistorymed  
By Johanna Goldberg, Information Services Librarian  
<https://nyamcenterforhistory.org/2014/12/19/on-pare-and-prosthetics/>
- [14] Artificial leg, 'Anglesey' type, 1890-1920  
<https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co476453/artificial-leg-anglesey-type-1890-1920-medicine-artificial-limbs-artificial-legs-prostheses-disability>
- [15] The Anglesey Leg James Potts  
<https://www.nationaltrustcollections.org.uk/object/1175888>
- [16] Evolution of Functional Hand Prostheses on the Postal Stamps  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5741410/>
- [17] James Edward Hanger [https://en.wikipedia.org/wiki/James\\_Edward\\_Hanger](https://en.wikipedia.org/wiki/James_Edward_Hanger)
- [18] The geniuses who invented prosthetic limbs  
<https://www.bbc.com/future/article/20151030-the-geniuses-who-invented-prosthetic-limbs>
- [19] Dr. Bly's Artificial Leg Jan 13th, 2014 by Bachmann  
<https://archive.blogs.harvard.edu/preserving/2014/01/13/dr-blys-artificial-leg/>
- [20] The news. From wooden feet to robotics.  
<https://www.tanea.gr/2006/07/04/world/apo-ta-ksylina-podia-sta-rompot-teleytaias-technologias/>
- [21] The Parmelee Prosthetic <http://www.patentlyinteresting.com/february-10.html>
- [22] The History and Evolution of Prosthetics By ejkefwhf  
<https://www.timetoast.com/timelines/the-evolution-of-prosthetics>
- [23] Artificial limbs: and the amputations which afford the most appropriate stumps in civil and military surgery / by Heather Bigg.  
<https://wellcomecollection.org/works/fxnm26ff/items?canvas=85>

- [24] Historical Development of Upper Extremity Prosthetics Thelma L. Wellerson, O.T.R.  
[https://www.oandplibrary.org/op/1957\\_03\\_073.asp](https://www.oandplibrary.org/op/1957_03_073.asp)
- [25] Carnes arm – history and current status <https://www.swisswuff.ch/tech/?p=243>
- [26] Giuliano Vanghetti and the innovation of “cineplastic operations”  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5634664/>
- [27] Desoutter’s Lesson <https://fly.historicwings.com/2013/01/desoutters-lesson/>
- [28] Artificial right leg, Paris, France, 1946  
<https://collection.sciencemuseumgroup.org.uk/objects/co476543/artificial-right-leg-paris-france-1946-artificial-leg>
- [29] History Of Prosthetic By fallenangel12  
<https://www.timetoast.com/timelines/history-of-prosthetic>
- [30] Reinhold Reiter (Circa 1943) [https://www.researchgate.net/figure/Photograph-of-the-first-electric-powered-myoelectric-prosthetic-hand-used-by-the-inventor\\_fig1\\_348877729](https://www.researchgate.net/figure/Photograph-of-the-first-electric-powered-myoelectric-prosthetic-hand-used-by-the-inventor_fig1_348877729)
- [31] Flex-Foot Cheetah [https://en.wikipedia.org/wiki/Flex-Foot\\_Cheetah](https://en.wikipedia.org/wiki/Flex-Foot_Cheetah)
- [32] EMAS: The first bionic arm Science and Technology  
<https://www.nms.ac.uk/explore-our-collections/stories/science-and-technology/made-in-scotland-changing-the-world/scottish-science-innovations/emas-bionic-arm/>
- [33] Luke Arm Upper Limb Prosthetics – Bionics  
<https://www.thelondonprosthetics.com/prosthetic-solutions/upper-limb/bionics/luke-arm/>
- [34] Hugh Herr Biomechatronic leg joints <https://www.epo.org/en/news-events/european-inventor-award/meet-the-finalists/hugh-herr>
- [35] Impact of Medical Advancement: Prostheses Samreen Hussain, Sarmad Shams and Saad JawaidKhan  
[https://www.researchgate.net/publication/337261018\\_Impact\\_of\\_Medical\\_Advancement\\_Prostheses](https://www.researchgate.net/publication/337261018_Impact_of_Medical_Advancement_Prostheses)
- [36] Amputations <https://www.physio-pedia.com/Amputations>
- [37] Prosthesis <https://www.slideshare.net/slideshow/prosthesis-153536525/153536525>
- [38] Upper Limb Amputation <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK540962/>
- [39] ΕΡΕΙΣΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ biology  
[http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2666/Biologia\\_A-Lykeiou\\_html-empl/index7.html](http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/html/8547/2666/Biologia_A-Lykeiou_html-empl/index7.html)
- [40] Targeted Muscle Reinnervation in Partial Hand Amputations  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8647892/>
- [41] Prosthetic reconstruction to restore function in transcarpal amputees  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26631288/>
- [42] Κατάγματα μετακαρπίων <https://www.ostoun.gr/katagmata-metakarpiwn/>
- [43] Metacarpal bones [https://en.wikipedia.org/wiki/Metacarpal\\_bones](https://en.wikipedia.org/wiki/Metacarpal_bones)
- [44] Fibula <https://en.wikipedia.org/wiki/Fibula>
- [45] Knee disarticulation versus above-knee amputation  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/471700/>
- [46] Hip Disarticulation Paul Sugarbaker and Martin Malawer  
<https://tumorsurgery.org/Portals/0/PDF/Textbooks/ch21.pdf>
- [47] Hip disarticulation – case series analysis and literature review  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5380801/>
- [48] What is Hemipelvectomy: Overview, Benefits, and Expected Results  
<https://www.docdoc.com/medical-information/procedures/hemipelvectomy>
- [49] Hemipelvectomy: a changing perspective for a rare procedure  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3211909/>

- [50] Prosthetic Components By Jan J. Stokosa, CP, American Prosthetics Institute, Ltd Reviewed/Revised Mar 2024 <https://www.msmanuals.com/professional/special-subjects/limb-prosthetics/prosthetic-components>
- [51] Prosthetics through the ages A look at how prosthetics have changed over time and how NIH supports innovation <https://magazine.medlineplus.gov/article/prosthetics-through-the-ages>
- [52] Materials for lower limb prosthetic and orthotic interfaces and sockets: Evolution and associated skin problem <https://www.redalyc.org/journal/5763/576364220018/html/>
- [53] Το αναπτυξιακό Arduino [https://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki\\_G\\_2018\\_final/\\_arduino.html](https://users.sch.gr/jabatzo/files/yliko/live%20ebooks/robotiki_G_2018_final/_arduino.html)
- [54] Role Of Arduino In Real World Applications Kuldeep Singh Kaswan, Santar Pal Singh, Shreddha Sagar <https://www.ijstr.org/final-print/jan2020/Role-Of-Arduino-In-Real-World-Applications-.pdf>
- [55] Arduino <https://el.wikipedia.org/wiki/Arduino>
- [56] The Untold History of Arduino by Hernando Barragán <https://arduinohistory.github.io/>
- [57] Ανάλυση του Arduino Uno <https://projectmaniacs.wordpress.com/2014/11/29/%CE%B1%CE%BD%CE%AC%CE%BB%CF%85%CF%83%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CF%85-arduino-uno/>
- [58] ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΩΝ [file:///C:/Users/Pafsanias/Downloads/\[%201%20\]%20%CE%A3%CE%97%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%A9%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3%20%CE%98%CE%95%CE%A9%CE%A1%CE%99%CE%91%CE%A3%20%CE%9C%CE%99%CE%9A%CE%A1%CE%9F%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%93%CE%9A%CE%A4%CE%A9%CE%9D\\_VER\\_1\\_22.pdf](file:///C:/Users/Pafsanias/Downloads/[%201%20]%20%CE%A3%CE%97%CE%9C%CE%95%CE%99%CE%A9%CE%A3%CE%95%CE%99%CE%A3%20%CE%98%CE%95%CE%A9%CE%A1%CE%99%CE%91%CE%A3%20%CE%9C%CE%99%CE%9A%CE%A1%CE%9F%CE%95%CE%9B%CE%95%CE%93%CE%9A%CE%A4%CE%A9%CE%9D_VER_1_22.pdf)
- [59] Arduino - Board Description [https://www.tutorialspoint.com/arduino/arduino\\_board\\_description.htm](https://www.tutorialspoint.com/arduino/arduino_board_description.htm)
- [60] How Servo Motors Work <https://www.jameco.com/Jameco/workshop/Howitworks/how-servo-motors-work.html>
- [61] Servo Motor: Definition, Working Principle, and Applications <https://www.electrical4u.com/what-is-servo-motor/>
- [62] Introduction To Servo Motors <https://synthiam.com/Support/Advanced-Fundamentals/servo-motor>
- [63] MG90S Metal Gear Servo for Arduino Micro Tower Pro 360 Degrees <https://www.helladigital.gr/go-create/robotics/accessories/mg90s-metal-gear-servo-for-arduino-micro-tower-pro-360-degrees/>
- [64] Flex Sensor Working and Its Applications <https://www.elprocus.com/flex-sensor-working-and-its-applications/>
- [65] 2024 3D Printing Predictions from the Experts: Software & Beyond <https://3dprint.com/305688/2024-3d-printing-predictions-from-the-experts-software-beyond/>
- [66] 3D Printing News Briefs, April 20, 2024: Manufacturing 4.0 Consortium, Blow Molding, & More <https://3dprint.com/308842/3d-printing-news-briefs-4-20-2024/>
- [67] 3D Printing News Briefs, April 27, 2024: Research, Digital Dentistry, Cycling, & More <https://3dprint.com/309086/3d-printing-news-briefs-4-27-2024/>
- [68] <https://reprap.org/wiki/RepRap>
- [69] Timeline of 3D printing (additive manufacturing) <https://supplychaindigital.com/technology/a-timeline-of-additive-manufacturing-3d-printing>
- [70] 3D Printing Workflow – The 5 Steps Explained <https://www.additive-x.com/blog/3d-printing-workflow-the-5-steps-explained/>

[71] What is FDM (fused deposition modeling) 3D printing?

<https://www.hubs.com/knowledge-base/what-is-fdm-3d-printing/>

[72] What is Binder Jetting? <https://www.exone.com/en-US/Resources/case-studies/what-is-binder-jetting>

[73] 10 Advantages of 3D Printing <https://www.makerbot.com/stories/advantages-of-3d-printing/>

[74] ARDUINO IDE (INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT)

<https://kkfscs.weebly.com/arduino-ide.html>



**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ &  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**