



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΝΘΡΩΠΟΜΟΡΦΟΥ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ
ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΧΕΡΙΟΥ**



**ΒΑΣΙΛΗΣ ΒΑΜΒΟΥΚΑΣ
Α.Μ 5240**

**Επιβλέπων καθηγητές: Δρ. Φασουλάς Ιωάννης
Δρ. Πετούσης Μάρκος**

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2017

«Δεν μπορούμε να μελετήσουμε άστρα, βράχους ή το άτομο, χωρίς να είμαστε σε κάποιον βαθμό επηρεασμένοι, ως προς τις μεθόδους συστηματοποίησης που χρησιμοποιούμε, ως προς τη σπουδαιότητα που δίνουμε σε κάποιο από τα μέρη του υποκειμένου μας ή ως προς τη μορφή των ερωτήσεων που διατυπώνουμε και που επιχειρούμε να απαντήσουμε, από άμεσα και ανθρώπινα συμφέροντα.»

Robert M. MacIver, Community, 1917

ABSTRACT

This thesis concerns the design and the development of an anthropomorphic robotic hand that was manufactured at the Control Systems & Robotics Laboratory of the Technological Educational Institute of Crete. The robotic hand is intended to function as a general-purpose research tool for the study of machine dexterity, grasping and object manipulation. The robotic hand, which is named TALOS II, has a thumb and four fingers, with a total of 16 degrees of freedom (d.o.f). The joints are driven by RC-servo motors that are housed in the phalanges and the palm of the hand. This simplifies the mechanical configuration of the joints and has the advantage that a common RC-servo controller can independently control the servo actuators of the joints. The manufacturing process, the mechanical configuration of the joints and assembly of the robotic hand are also presented in detail. Finally experimental results are given to evaluate the practicability and effectiveness of the robotic hand in grasping objects and mimicking human gestures.

Keywords: Robotic Hand, Robotic Manufacturing, Development, Designing, Electronic Sub-systems, Anthropomorphic Robotic Hand

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	6
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΜΟΡΦΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΧΕΡΙ	8
Εισαγωγή	8
1.1 Μνεία στο ανθρώπινο χέρι.....	8
1.2 Ανατομία του χεριού	9
1.3 Κινησιολογία χεριού	10
1.4 Από το ανθρώπινο χέρι στο ρομποτικό.....	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΟΜΟΡΦΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΧΕΡΙ ΤΑΛΟΣ ΙΙ	17
Εισαγωγή	17
2.1 Περιγραφή του ρομποτικού χεριού TALOS ΙΙ	17
2.2 Επενεργητές των αρθρώσεων	21
2.3 Πειραματικά αποτελέσματα χρήσης του ρομποτικού χεριού	24
2.3.1 Διεξαγωγή σηνηθησμένων χειρονομιών.....	24
Έκταση παράμεσου.....	26
2.3.2 Λαβές ρομποτικού χεριού.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΧΕΡΙΟΥ .	32
Εισαγωγή	32
3.1 Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού για το σχεδιασμό και τη κατασκευή του ρομποτικού χεριού	32
3.2 Μελετη και σχεδιασμός	32
ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ	33
3.3 Μηχανολογικός Σχεδιασμός Κοπής «CAM»	34

3.3.1 Επιλογή σχήματος ακατέργαστου.....	42
3.3.2 Επιλογή κοπτικών εργαλείων	43
ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ	43
ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΟΠΗΣ ΓΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	44
3.4 Προετοιμασία εργαλειομηχανής CNC.....	45
3.4.1 Ο 4ος Άξονας.....	45
3.4.2 Τοποθέτηση- παραλληλισμός & μηδενισμός 4 ^{ου} άξονα	46
3.5 Μηδενισμός Ακατέργαστων δακτύλων-παλάμης & ραχιαίας επιφάνειας.....	51
3.5.1 Μηδενισμός ακατέργαστου δακτύλων	52
3.5.2 Μηδενισμός ακατέργαστου παλάμης & ραχιαίας επιφάνειας	52
3.6 Διαδικασία κοπής.....	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΙΣΗ	57
Εισαγωγή	57
4.1 Διαδικασία Συναρμολόγησης	57
4.1.1 Προετοιμασία σερβοκινητήρων.....	58
4.1.2 Προετοιμασία κομματιών δακτύλων.	60
4.1.3 Συναρμολόγηση Δακτύλου.....	61
4.2 Πίνακες κοστολόγησης μεταλικού ρομποτικού χεριού	64
ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ.....	64
ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ.....	64
4.3 Βελτιώσεις ρομποτικού χεριού	65
ΕΠΙΛΟΓΟΣ.....	66
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	67
Ελληνική	67
Ξενόγλωσση.....	70
Site	72

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ο Max Planck είχε πει ότι «η επιστήμη δεν μπορεί να λύσει το ύψιστο μυστήριο της φύσης. Και αυτό επειδή, σε τελευταία ανάλυση, εμείς οι ίδιοι είμαστε μέρος του μυστηρίου που προσπαθούμε να λύσουμε». Ενός μυστηρίου που εάν το ακολουθήσεις με ακρίβεια κάθε βήμα είναι και ένα ταξίδι στην ιστορία. Και ίσως, το δικό μου ταξίδι να μην είχε εκπληρωθεί ποτέ, δίχως τη συμβολή ορισμένων ανθρώπων.

Κατά κύριο λόγο, λοιπόν, οφείλω να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Δρ. Φασουλά Ιωάννη επίκουρο καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Κρήτης, όπου μέσα από την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, μου προσέφερε την δυνατότητα να εκπονήσω την πτυχιακή μου εργασία στον συγκεκριμένο επιστημονικό τομέα. Τον ευχαριστώ, όμως, και για τις γνώσεις και συμβουλές, που μου έδωσε καθ' όλη την διάρκεια της μελέτης, καθώς και για την απρόσκοπτη υποστήριξη και καθοδήγηση κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης, ιδιαίτερες ευχαριστίες θα ήθελα να απευθύνω στον Δρ Πετούση Μάρκο επίκουρο καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Κρήτης για τις πολύτιμες γνώσεις που μου παρείχε όσο αφορά το μηχανολογικό σχέδιο εξαρτημάτων αλλά και για την βοήθεια του προγραμματισμό των εργαλειομηχανών CNC. Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., όπου μέσα από την αμέριστη συμπαράσταση και το αμείωτο ενδιαφέρον τους συνέβαλλαν καταλυτικά ως προς τη συγγραφή της εκάστοτε μελέτης, καθώς οι υποδείξεις τους υπήρξαν καθοριστικές. Αλλά και σε όλους εκείνους τους συγγραφείς που μέσα από τη δική τους σκέψη ενέπνευσαν τη δική μου.

Τέλος, ευχαριστώ από καρδιάς την Έλενα Καμενάκη για τη βοήθεια που μου παρείχε σε θέματα ηθικού, συγγραφικού και δομικού προσανατολισμού της εργασίας, καθώς ακόμα την οικογένεια μου για την βοήθεια που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια, ιδίως τη σύζυγο και τη κόρη μου, αλλά και τους εγκάρδιους φίλους μου για τις ατελείωτες συζητήσεις μας. Ωστόσο, κλείνοντας θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω τη γραμματεία του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. για την κατανόηση που έδειξε και για τον χρόνο που μου παραχώρησε, προκειμένου να διευθετηθεί η παρούσα πτυχιακή εργασία.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την κατασκευή ενός ανθρωπόμορφου μεταλλικού χεριού, με ικανότητες που αντικαθιστούν εκείνες ενός φυσικού ανθρώπινου χεριού. Σαφέστερα, γίνεται λόγος για την αναγκαία κατασκευή ρομποτικών χεριών που, σήμερα, χρησιμοποιούνται είτε ως προσθετικά μέλη (σε άτομα με αναπηρία) είτε ως λειτουργικά μέλη (σε δύσκολες συνθήκες εργασιακών εφαρμογών-χώρων).

Ωστόσο, η σημαντική πρόοδος που σημειώνεται, τα τελευταία χρόνια, στο χώρο της τεχνολογικής επιστήμης υπέδειξε τον δρόμο για ένα ιδιαίζον μηχανολογικό αντίγραφο του ανθρώπινου χεριού, στηριζόμενο σε προγραμματιζόμενες κινήσεις και σε αναπαραγόμενες λειτουργικές χειρονομίες, ακόμα και αν αυτό σημαίνει τη μίμηση βασικών παραγοντικών κινήσεων.

Έτσι, λοιπόν, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται λόγος στο ανθρώπινο και ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι, εστιάζοντας περισσότερο στην ανατομία και στην κινησιολογία του ανθρώπινου χεριού και κατ' επέκταση του ρομποτικού χεριού, έπειτα από μια σύντομη ιστορική αναδρομή της ρομποτικής.

Εν συνεχεία, Στο κεφάλαιο 2 γίνεται περιγραφή του ρομποτικού χεριού. Σαφέστερα, τονίζεται η σημαντικότητα των Επενεργητών των αρθρώσεων και κατ' επέκταση η συμβολή τους στην αναπαραγωγή κινήσεων του ρομποτικού χεριού. Τέλος, αναφέρονται πειραματικά αποτελέσματα χρήσης του ρομποτικού χεριού, αλλά και οι λαβές που μπορούν να πραγματοποιηθούν από αυτό.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη σχεδίαση και κατασκευή του ρομποτικού χεριού, ξεκινώντας, από την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού για τη κατασκευή των τεμαχίων, που αποτελείται το ρομποτικό χέρι. Στη συνέχεια, αναφέρεται ο Μηχανολογικός Σχεδιασμός Κοπής (CAM) και η προετοιμασία της εργαλειομηχανής CNC. Έπιτα μετά από ανάληψη του μηδενισμού του ακατέργαστου των δακτύλων, της παλάμης και της ραχιαίας επιφάνειας ακολούθησε η διαδικασία κοπής.

Στο τέταρτο κεφάλαιο απεικονίζεται η διαδικασία της συναρμολόγησης του ρομποτικού χεριού, η προετοιμασία των σερβοκινητήρων και των κομματιών των δακτύλων και μια ενδεικτική αναφορά του κόστους κατασκευής του ρομποτικού χεριού. Τέλος αναφέρονται μερικές προτάσεις βελτίωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΚΑΙ ΑΝΘΡΩΠΟΜΟΡΦΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΧΕΡΙ

Εισαγωγή

Στο παρόν κεφαλαίο, γίνεται μνεία στο ανθρώπινο χέρι και στη φύση του, καθώς ακόμα και στην ανατομία με την κινησιολογία του χεριού. Ενώ τέλος, προσδιορίζονται, εν συντομία, τα κυριότερα σημεία από τη δημιουργία του πρώτου ρομποτικού χεριού έως και σήμερα.

1.1 Μνεία στο ανθρώπινο χέρι

Η φύση του ανθρώπου ανέκαθεν υπήρξε σύνθετη, τόσο ως προς τη μοναδικότητα που διαθέτει όσο και ως προς τη λειτουργικότητα της, καθώς μιλάμε για μια φύση, όπου ο άνθρωπος έρχεται σε αλληλεπίδραση με τον υλικό κόσμο και ότι ακολουθεί επί αυτού. Προχωρώντας, όμως, σε μια διεξοδικότερη ανάλυση, το ανθρώπινο σώμα χαρακτηρίζεται από την έννοια της κινήσεως, κυρίως σε ότι αφορά τα άκρα (άνω και κάτω άκρα), γι' αυτό και η λειτουργικότητας τους προκύπτει από ένα φάσμα ευέλικτων κινήσεων. Στην προκειμένη, όμως, εκείνο το οποίο μας ενδιαφέρει είναι το ανθρώπινο χέρι, καθώς γίνεται μνεία για ένα όργανο του σώματος, το οποίο περιλαμβάνεται από τον ώμο, το βραχίονα, το αντιβράχιο, την παλάμη και τα δάκτυλα.

Ως προς το τελευταίο, θα ήταν αξιόλογο να επισημανθεί πως τα δάκτυλα αποτελούν τις πιο πυκνές περιοχές των νευρικών απολήξεων του σώματος, ενώ ταυτόχρονα θεωρούνται ως η πλουσιότερη πηγή αισθητικής ανατροφοδότησης, με την αίσθηση της αφής να είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με το ανθρώπινο χέρι. Βέβαια, να υπογραμμιστεί ρητά πως ο έλεγχος κάθε χεριού είναι καθορισμένος από το αντίπλευρο εγκεφαλικό ημισφαίριο.

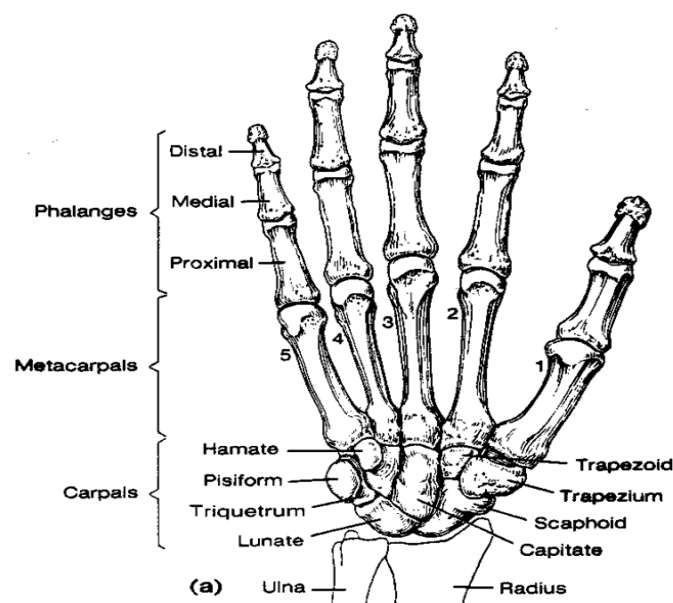
Τέλος, το ανθρώπινο χέρι διαθέτει 27 οστά, χωρίς να λαμβάνονται τα σησαμοειδή οστά, τα οποία διαφέρουν από άνθρωπο σε άνθρωπο. Από αυτά τα 27 οστά, τα 14 αφορούν τους φάλαγγες των δακτύλων, τα 5 αφορούν τα μετακάρπια οστά και τα 8 από τα 27 αφορούν τα καρπιαία οστά.

1.2 Ανατομία του χεριού

Η ανατομία ενός ανθρώπινου χεριού στηρίζεται, κυρίως, στη μελέτη των οστών: οστάρια του καρπού, μετακάρπια και φάλαγγες των δακτύλων, καθώς ακόμα στα δύο οστά του αντιβραχίου: κερκίδα και ωλένη, τα οποία καταλήγουν στο χέρι και δημιουργούν τον καρπό.

Στη συνέχεια, μέσα στη συνθετότητα του συστήματος των οστών εντάσσονται οι τένοντες, οι οποίοι διακρίνονται σε καμπτήρες (λειτουργία κλεισίματος δακτύλων) και σε εκτεινόντες (λειτουργία ανοίγματος δακτύλων). Οι βασικοί λειτουργία των τενόντων προέρχεται από τους μυς της περιοχής του αντιβραχίου και υποστηρίζονται από ένα σύνολο συνδέσμων που τείνουν στην ομαλή «λειτουργία» του χεριού.

Σε μία, όμως, απλούστερη ανάλυση το χέρι αποτελείται από τέσσερα (4) δάκτυλα και τον αντίχειρα. Σαφέστερα, οι ονομασίες των δακτύλων είναι οι εξής: αντίχειρας, δείκτης, μέσος, παράμεσος, μικρός. Έπειτα, στην εσωτερική επιφάνεια του χεριού (κέντρο) είναι η παλάμη και στην εξωτερική (πίσω) είναι η ραχιαία επιφάνεια. Ενώ τέλος, το μετωπιαίο (frontal) επίπεδο βρίσκεται προς την παλάμη του χεριού όταν τα δάκτυλα είναι σε έκταση, σε αντίθεση με το οβελιαίο (sagittal) ή μεσαίο επίπεδο, το οποίο βρίσκεται κάθετα προς την παλάμη του χεριού.



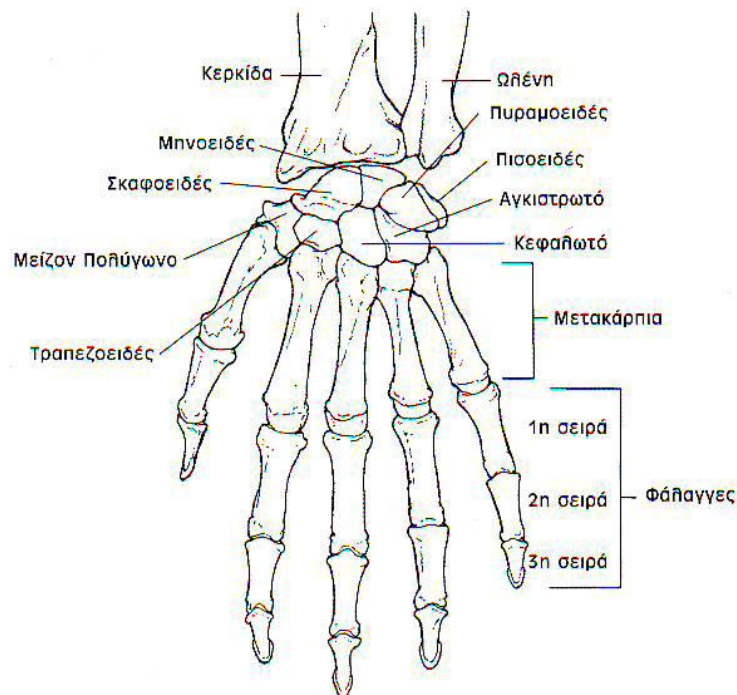
Εικόνα 1.2.1 Ανατομία χεριού

1.3 Κινησιολογία χεριού

Όταν γίνεται λόγος για την κινησιολογία του χεριού, ουσιαστικά τείνουμε στη μελέτη των κινήσεων που αφορούν την άνω και κάτω καρπική άρθρωση, τους καμπτήρες του χεριού, τις δακτυλικές αρθρώσεις και μύες των δακτύλων, αλλά και τις αρθρώσεις του αντίχειρα.

Σε μια, όμως, πιο αναλυτική προσέγγιση, η άνω καρπική άρθρωση ή πηγεοκαρπική σκιαγραφείται από την κερκίδα, τον τρίγωνο χόνδρο της ωλένης και τον άνω στοίχο των οστών του καρπού, όπου σχηματικά δημιουργείται μια διαξονική κονδυλοειδή άρθρωση. Δηλαδή, αυτό που ονομάζουμε κάμψη (έκταση της παλάμης προς τα πάνω και κάτω) και απαγωγή προς την κερκίδα και προς την ωλένη.

ΑΝΩ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΚΑΡΠΙΚΗ ΑΡΘΡΩΣΗ



Εικόνα 1.3.1 Από τη μελέτη του καθηγητή Αθανάσιου Τσιόκανου «Κινησιολογία»

Στη συνέχεια, η κάτω καρπική άρθρωση, μεσοκάρπια ή μεσοστοίχια σχηματίζεται στη διάρθρωση του άνω και κάτω στοίχου των οστών του καρπού υπό τη μορφή μίας αρθρικής επιφάνειας σχήματος S. Βέβαια, να επισημανθεί πως και στις δύο περιπτώσεις οι δύο αρθρώσεις ενεργούν πάντοτε από κοινού. Ενώ, σε ό,τι αφορά την κάμψη και την έκταση, η πρώτη πραγματοποιείται στην άνω καρπική και η δεύτερη στη κάτω καρπική άρθρωση. Τέλος, στις κινήσεις απαγωγείς γίνεται εμφανές πως

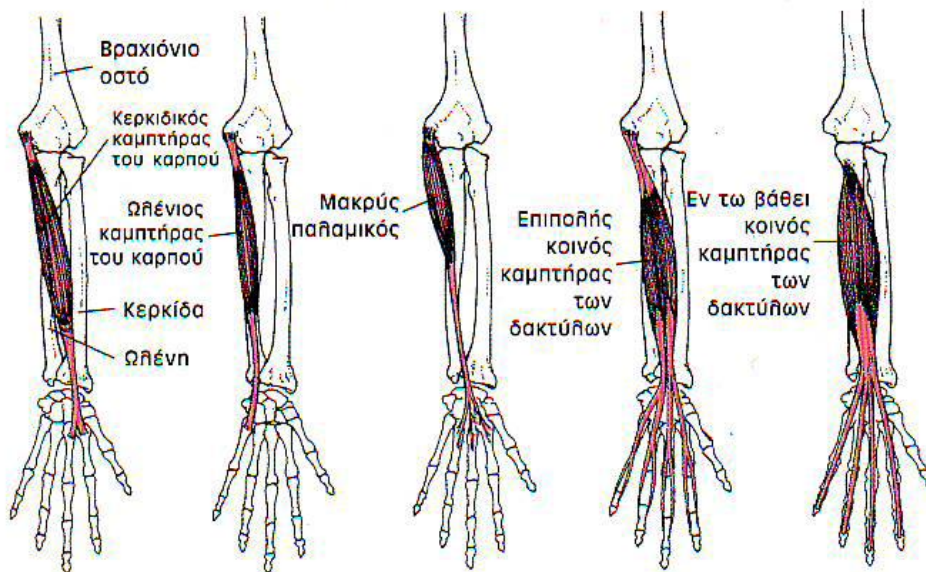
δημιουργούνται κινήσεις μεταξύ των οστών, οι οποίες σε ένα βαθμό επιτρέπουν κινήσεις έως 40° προς την ωλένη και έως 15° προς την κερκίδα.



Εικόνα 1.3.2 Από τη μελέτη του καθηγητή Αθανάσιου Τσιόκανου «Κινησιολογία»

Ωστόσο, σημαντικό ρόλο στη κινησιολογία του χεριού έχουν και οι καμπτήρες μύες της καρπικής άρθρωσης, όπου μαζί με τους επιπολής και τους καμπτήρες των δακτύλων συμβάλουν σημαντικά στη λειτουργία του χεριού και των κινήσεων του, ιδίως, όταν απαιτείται δυναμική ώθηση στην άρθρωση του καρπού και των δακτύλων. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται οι καμπτήρες του καρπού- χεριού, δείχνοντας τη συμβολή τους στις κινήσεις.

ΚΑΜΠΤΗΡΕΣ ΤΟΥ ΚΑΡΠΟΥ

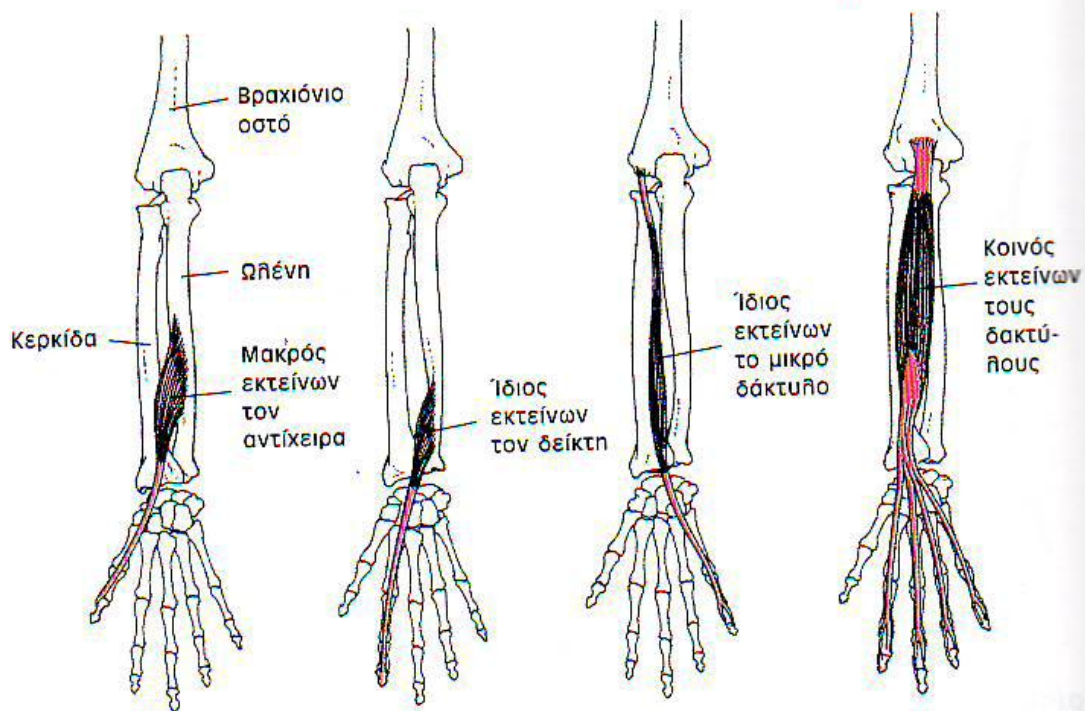


Εικόνα 1.3.3 Από τη μελέτη του καθηγητή Αθανάσιου Τσιόκανου «Κινησιολογία»

Ένας ακόμα σημαντικός παράγοντας στις κινήσεις είναι οι δακτυλικές αρθρώσεις και οι μύες των δακτύλων. Για να γίνω πιο σαφής, οι δακτυλικές αρθρώσεις κατηγοριοποιούνται σε μετακαρπιοφαλαγγικές, σε εγγύς φαλαγγικές και σε άπω φαλαγγικές. Ο ρόλος των συγκεκριμένων αρθρώσεων είναι να εκτελούνται κινήσεις κάμψης, έκτασης και απαγωγής, αλλά και προσαγωγής, με τις μετακαρπιοφαλαγγικές αρθρώσεις να είναι δημιουργημένες, έτσι ώστε να υπάρχει σταθερότητα κατά την κάμψη και χαλάρωση κατά την έκταση.

Από την άλλη, οι μύες των δακτύλων έχουν ένα συγκεκριμένο ρόλο, ο οποίος καθορίζεται σε περίπτωση κάμψης από τον καμπτήρα μυ και σε περίπτωση έκτασης από μια κοινή ραχιαία απονεύρωση, η οποία προκύπτει από το σχηματισμό των εκτείνονταν μυών. Εντούτοις, θα ήταν σημαντικό να προσδιοριστεί το γεγονός πως, ο καμπτήρας των δακτύλων κάμπτει τις άπω μεσοφαλαγγικές αρθρώσεις, ο επιπολής καμπτήρας τις εγγύς αρθρώσεις και ο κοινός εκτείνοντας επεκτείνει τα δάκτυλα.

ΜΥΕΣ ΤΩΝ ΔΑΚΤΥΛΩΝ



Εικόνα 1.3.4 Από τη μελέτη του καθηγητή Αθανάσιου Τσιόκανου «Κινησιολογία»

Εν κατακλείδι, σπουδαίο ρόλο έχουν ακόμα οι αρθρώσεις του αντίχειρα. Θα μπορούσε κανείς να αναρωτηθεί, γιατί ο αντίχειρας θεωρείται τόσο σημαντικός ως προς τις κινήσεις; Η απάντηση που μπορεί να δοθεί στο ερώτημα αυτό είναι πως ο αντίχειρας έχει την ικανότητα να έλθει σε επαφή με όλα τα δάκτυλα του χεριού και με ένα τμήμα της παλάμης, ενώ η πολυπλευρικότητα των κινήσεων του είναι εφικτή χάρη στην επιπυοειδή άρθρωση, η οποία τείνει προς δύο βαθμούς ελευθερίας:

«κάμψη και έκταση»-«απαγωγή και προσαγωγή». (Το παρόν υπό-κεφάλαιο στηρίχτηκε στη μελέτη του επίκουρου καθηγητή Βιοκινητικής Αθανάσιου Τσιόκανου με τίτλο «Κινησιολογία», από το site www.pe.uth.gr).

1.4 Από το ανθρώπινο χέρι στο ρομποτικό

Σήμερα, συχνά γίνεται λόγος για το ρομποτικό χέρι, τη γένεση της ιδέας και στο κατά πόσο τελικά η επιστήμη έχει κατορθώσει να υλοποιήσει αυτόν το στόχο. Τη δημιουργία, δηλαδή, ενός ρομποτικού χεριού, βασιζόμενο στην ανθρώπινη ανατομία χεριού και των υφιστάμενων κινήσεων του. Ωστόσο, το ερώτημα που ανακύπτει είναι πως δημιουργήθηκε ο όρος ρομπότ και πως ως έννοια μετέβηκε από την ανθρώπινη σκέψη στην πραγματοποίηση ενός πραγματικού ρομποτικού αντικειμένου;

Σαφέστερα, το 1921 χρησιμοποιείται για πρώτη φορά ο όρος «ρομπότ» από τον Τσέχο δραματογράφο Karel Capek στο έργο του με τίτλο R.U.R (Rossum's Universal Robots). Ένας όρος, ο οποίος επινοήθηκε από την τσέχικη λέξη «robot» με βάση την οποία προβάλλεται η έννοια της καταναγκαστικής εργασίας. Για τον ίδιο τον Karel Capek η λέξη «robot» συνδέεται με την κατασκευή έξυπνων συσκευών, που χρησιμοποιούνται ως υπηρέτες του ανθρώπου.

Αργότερα, το 1940 ο Ρώσος συγγραφέας επιστημονικής φαντασίας, Isaac Asimov, παρουσίασε το ρομπότ ως μια μηχανή ταυτισμένη με τον άνθρωπο, η οποία, όμως, απέχει από κάθε ανθρώπινο συναίσθημα. Ο ίδιος, βέβαια, ήταν εκείνος που για πρώτη φορά παρουσίασε στο γραπτό του λόγο τη λέξη «ρομποτική», ώστε να περιγράψει τον τομέα της επιστήμης που ασχολείται με τα ρομπότ.

Έπειτα, το 1954 καθιερώνεται από τον G.C. Devol (ΗΠΑ) ο όρος «βιομηχανικό ρομπότ», επισημαίνοντας πως μπορεί ο ίδιος να προβεί στην κατασκευή ενός ελεγχόμενου μηχανικού χεριού, το οποίο θα μπορεί να εκτελεί διάφορες εργασίες μέσω κινήσεων, που θα μιμούνται τις κινήσεις ενός ανθρώπινου χεριού. Εντούτοις, το 1961 τίθεται σε λειτουργία το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ από την εταιρία «Unimation», ενώ για τα επόμενα χρόνια οι βιομηχανίες στην Αμερική, την Ιαπωνία και την Ευρώπη προχωρούν στην δημιουργία χιλιάδων ρομπότ.

Έτσι, με τον ακόλουθο τρόπο δημιουργούνται και τα πρώτα ρομποτικά χέρια, όπου αφορούν ένα σύνθετο μηχανολογικό αντίγραφο του ανθρώπινου χεριού, με βασικές προγραμματιζόμενες κινήσεις που μιμούνται τις κινήσεις ενός πραγματικού χεριού. Η πραγμάτωση, ωστόσο, ενός ρομποτικού χεριού στηρίζεται, κυρίως, στο μηχανολογικό υποσύστημα (κίνηση δακτύλων και καρπού), στο υποσύστημα της αίσθησης (αλληλεπίδραση ρομποτικού χεριού με τον υλικό κόσμο) και στο υποσύστημα ελέγχου (επιθυμητή λειτουργία του ρομποτικού χεριού). Ενώ η λειτουργικότητα του εντάσσεται σε τρία βασικά επίπεδα: στις προσθετικές συσκευές για την

αποκατάσταση των ακρωτηριασμένων άνω άκρων (ως προσθετικά μέλη), στις εξωτερικές εργασίες επικίνδυνου περιβάλλοντος (πυρκαγιές ή σε πυρηνικές εκρήξεις) και στις διαδικασίες ψυχαγωγίας (βιτρίνες πολυκαταστημάτων).

Παρόλα αυτά, θα πρέπει να αναφερθεί πως σήμερα υπάρχουν ανθρωπόμορφα ρομποτικά χέρια, τα οποία είναι ευρέως γνωστά ανά τον κόσμο και λαμβάνουν τις εξής ονομασίες: i) **Shadow Robot** (Shadow Robot Company Ltd)-συστήματα ελέγχου με μυς που λειτουργούν με αέρα, ii) **Elu-2 Hand** (Elumotion Ltd)-λειτουργία με σερβοκινητήρες που ενεργοποιούνται με την ένταση του χεριού-9 βαθμοί ελευθερίας, iii) **EH1 Milano Hand** (Prensilia Srl)- αίσθηση με αισθητήρες και επενεργητές στις αρθρώσεις για τη δημιουργία κινήσεων, iv) **Actuated Sheffield Hand** (Elumotion Ltd)-σχεδιασμός σε μονάδες που προκαλούν κάμψη και έκταση των δακτύλων με τηλεσκοπικές βέργες, v) **Elu-2 Arm** (Elumotion Ltd)- με αισθητήρες και σερβοκινητήρες- σύνδεση με καλώδιο σε ένα μόνο δίαυλο CAN, vi) **Robonaut Hand** (NASA)- αποτελείται από πήχη που στηρίζει τους κινητήρες και τα ηλεκτρονικά, vii) TALOS I [18], το οποίο κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Συστημάτων Ελέγχου και ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης από ABS πλαστικό με την χρήση 3D printer και viii) TALOS 2 όπου επίσης κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Συστημάτων Ελέγχου και ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης από αλουμίνιο με την χρήση CNC κέντρου κατεργασίας τύπου φρέζας 4^{ov} αξόνων.



Εικόνα 1.4.1
Shadow Robot



Εικόνα 1.4.2
Elu-2 Hand



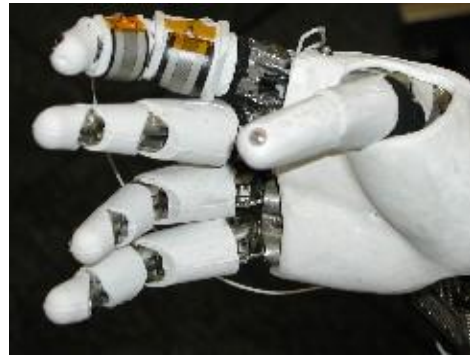
Εικόνα 1.4.3
EH1 Milano
Hand



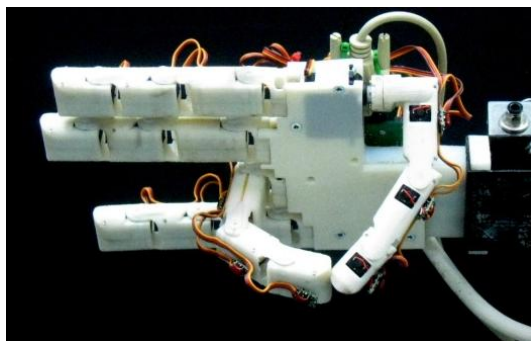
Εικόνα 1.4.4
*Actuated
Sheffield Hand*



Εικόνα 1.4.5
Elu-2 Arm



Εικόνα 1.4.6
Robonaut Hand



Εικόνα 1.4.7 Το ρομποτικό χέρι TALOS I το οποίο κατασκευάστηκε στο ΤΕΙ Κρήτης[18]



Εικόνα 1.4.8 Το ρομποτικό χέρι TALOS II που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΟ ΑΝΘΡΩΠΟΜΟΡΦΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΧΕΡΙ ΤΑΛΟΣ II

Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται περιγραφή του ρομποτικού χεριού ΤΑΛΟΣ II (**Εικόνα 2.1**) που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας στο εργαστήριο Συστημάτων Ελέγχου και Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης. Στη συνέχεια τονίζεται η σημαντικότητα των Επενεργητών των αρθρώσεων και κατ' επέκταση η συμβολή τους στην αναπαραγωγή κινήσεων του ρομποτικού χεριού. Τέλος, αναφέρονται πειραματικά αποτελέσματα χρήσης του ρομποτικού χεριού, αλλά και οι λαβές που μπορούν να πραγματοποιηθούν από αυτό.



Εικόνα 2.1 το μεταλλικό ρομποτικό χέρι TALOS II

2.1 Περιγραφή του ρομποτικού χεριού TALOS II

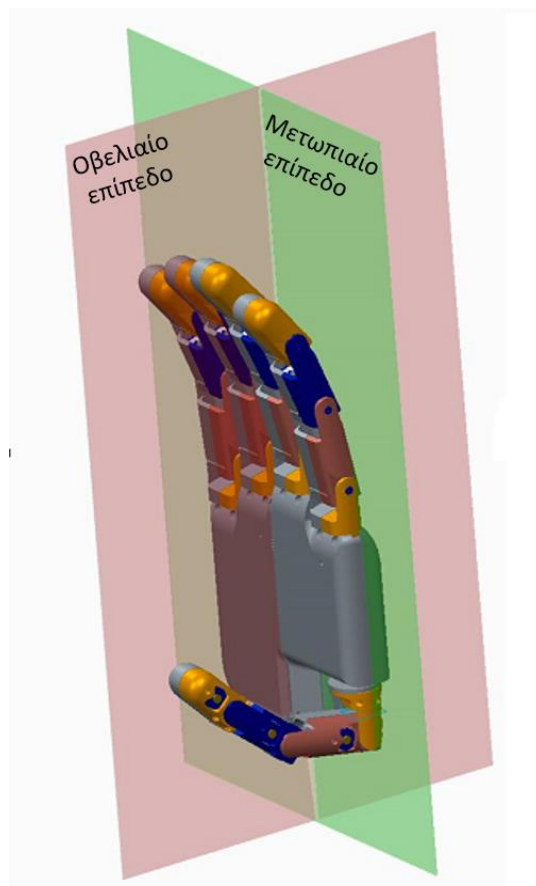
Το μηχανολογικό υποσύστημα του μεταλλικού ρομποτικού χεριού, αποτελείται από αρθρώσεις, συνδέσμους και φάλαγγες, έτσι ώστε να δημιουργείται μια αλυσίδα ανοικτών κινήσεων. Κατά κανόνα, στη περιστροφή των αρθρώσεων, χρησιμοποιούνται μικρές ατσάλινες μπίλιες κύλισης.

Από την άλλη, οι φάλαγγες κατασκευάζονται από αλουμίνιο ούτως ώστε να επιτυγχάνεται η στιβαρότητα και η ακαμψία στις εξωτερικές πιέσεις. Ενώ τέλος, ο Επενεργητής βρίσκεται κοντά στις αρθρώσεις, ώστε να υπάρχει άμεση ευκαμψία των κινήσεων.

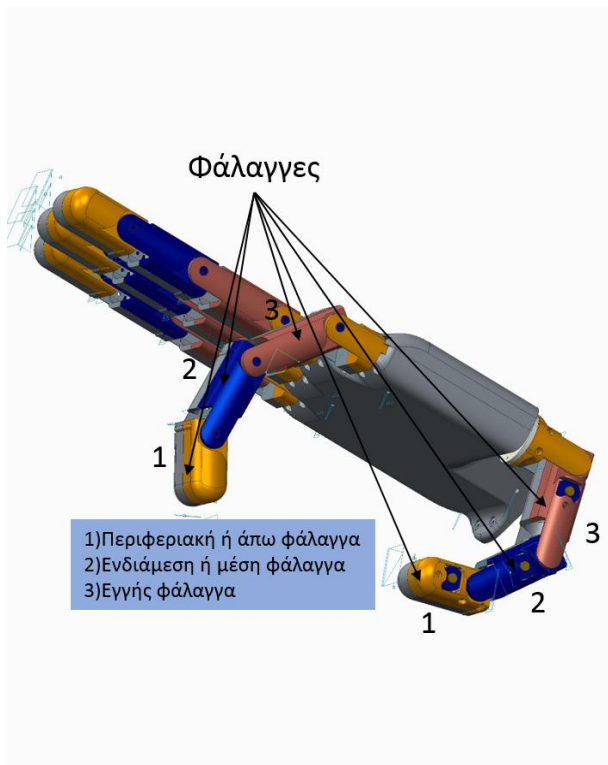
Η κίνηση του μεταλλικού ρομποτικού χεριού πραγματοποιείται σε 16 βαθμούς ελευθερίας με το κάθε δάκτυλο να διαθέτει τρεις βαθμούς και ο αντίχειρας τέσσερις. Ως προς τον αντίχειρα, να σημειωθεί πως ο τέταρτος βαθμός ελευθερίας, προκύπτει από τη μετακαρπιοφαλαγγική άρθρωση, η οποία αποτελείται, εν της ουσίας, από δύο αρθρώσεις που συμπεριφέρονται με σφαιρική κίνηση.

Βέβαια, τα δάκτυλα έχουν την ικανότητα να δημιουργούν «κάμψη και έκταση» μόνο ως προς το μετωπιαίο επίπεδο, ενώ ο αντίχειρας μπορεί να πραγματοποιήσει «κάμψη και έκταση» και ως προς το μετωπιαίο, αλλά και ως προς το οβελιαίο επίπεδο (**Εικόνα 2.1.1**). Να αναφερθεί σε αυτό το σημείο πως τα δάκτυλα και ο αντίχειρας του μεταλλικού ρομποτικού χεριού αποτελούνται από τρεις φάλλαγες και τρεις αρθρώσεις (**Εικόνα 2.1.2 & Εικόνα 2.1.3**).

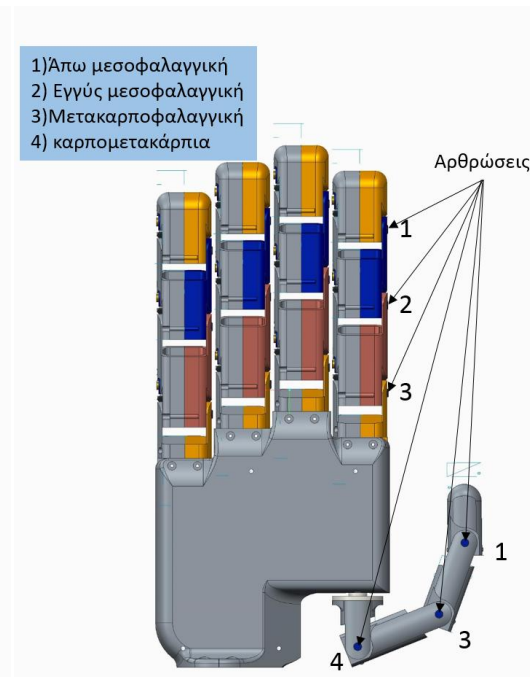
Στη παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα επίπεδα κίνησης των δακτύλων.



Εικόνα 2.1.1 απεικόνιση των δύο επιπέδων κίνησης των δακτύλων



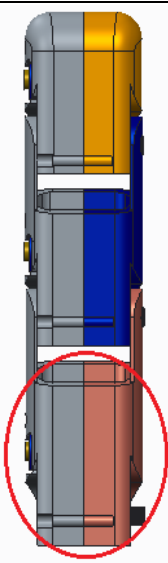
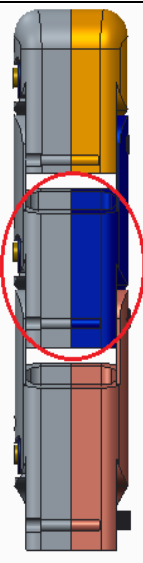
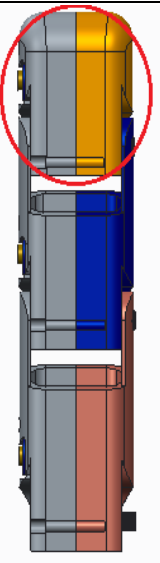
Εικόνα 2.1.2 φάλαγγες των δακτύλων και του αντίχειρα



Εικόνα 2.1.3 αρθρώσεις των δακτύλων και του αντίχειρα

Εν συνεχεία, η προσαρμογή του παρόντος ρομποτικού χεριού έγινε με βάση την αναλογία του χεριού ενός ενήλικα άνδρα, μετρώντας τις διαστάσεις των φαλαγγών και των αρθρώσεων αντίστοιχα. Αποδίδοντας, έτσι, μια ορθολογική απεικόνιση του μεταλλικού ρομποτικού χεριού (Πίνακας 2.1.1).

	Διαστάσεις φαλαγγών σε χιλιοστά (mm)		
	Εγγύς	ενδιάμεση ή	Περιφεριακή

		μέση	
			
Δείκτης, Μέσος, Παράμεσος, Μικρός	41,1	35,6	27,5
Αντίχειρας	41,1	35,6	27,5

πίνακας 2.1.1 μήκη φαλαγγών & διαστάσεις ρομποτικού χεριού

Το εύρος κίνησης των αρθρώσεων για τα δάχτυλα δείκτη, μέσου, παράμεσου και μικρού της μετακαρποφαλαγγικής άρθρωσης μπορεί να πραγματοποιήσει κάμψη 110° μοιρών ως προς το μετωπιαίο επίπεδο (το εσωτερικό της παλάμης) και κίνηση ως προς το εξωτερικό της παλάμης 60° μοιρών (Πινάκας 2.1.2), η μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση έχει τη δυνατότητα κάμψης 110° μοιρών ως προς την εγγύς φάλαγγα και έκταση 60° μοιρών ενώ η μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση πραγματοποιεί ως προς τη μέση φάλαγγα κάμψη 110° και έκταση 60° μοιρών αντίστοιχα. Η καρπό-μετακάρπια άρθρωση του αντίχειρα μπορεί να πραγματοποιήσει κάμψη 110° μοιρών και έκταση 60° μοιρών στο μετωπιαίο επίπεδο και κάμψη 60° μοιρών με έκταση 110° στο οβελιαίο επίπεδο, θεωρώντας ως σημείο αναφοράς το σημείο στο οποίο η εγγύς φάλαγγα είναι κάθετη στο μετωπιαίο επίπεδο. Η εγγύς μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση μπορεί να πραγματοποιήσει κάμψη ως προς την εγγύς φάλαγγα 110° μοιρών και έκταση 60° μοιρών και τέλος η άπω-μεσοκαρποφαλαγγική ως προς μέση φάλαγγα κάμψη 110° μοιρών και έκταση 60° μοιρών.

Δείκτης, Μέσος, Παράμεσος, Μικρός	<u>Μετακαρποφαλαγγική άρθρωση</u>				<u>Εγγύς Μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση</u>		<u>Άπω μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση</u>	
	Κάμψη (μοίρες)		Έκταση (μοίρες)		Κάμψη (μοίρες)	Έκταση (μοίρες)	Κάμψη (μοίρες)	Έκταση (μοίρες)
	110°		60°		110°	60°	110°	60°
Αντίχειρας	<u>καρπομετακάρπια άρθρωση</u>				<u>Μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση</u>		<u>Άπω μεσοκαρποφαλαγγική άρθρωση</u>	
	Κάμψη	Έκταση	Κάμψη	Έκταση	Κάμψη	Έκταση	Κάμψη	Έκταση
	Ως προς το μετωπιαίο επίπεδο		Ως προς το οβελιαίο επίπεδο					
	60°	110°	110°	60°	110°	60°	110°	60°

Πινάκας 2.1.2 απεικόνιση μοιρών περιστροφής των αρθρώσεων

2.2 Επενεργητές των αρθρώσεων

Η χρήση των Επενεργητών στο μηχανολογικό υποσύστημα ενός ρομποτικού χεριού θεωρείται ιδιαίτερα σημαντική, καθώς τείνει ως προς την πραγματοποίηση συνδυασμένων κινήσεων επί των αρθρώσεων του χεριού. Σαφέστερα, ανάλογα με τον αριθμό των Επενεργητών που εντάσσονται εντός του συστήματος καθορίζεται και ο βαθμός ευελιξίας του χεριού, τόσο ως προς τις κινήσεις των αρθρώσεων όσο και ως προς τις κινήσεις των δακτύλων. Βέβαια, να τονιστεί πως, σήμερα, για να χρησιμοποιηθεί ένας Επενεργητής σε ρομποτικό χέρι, θα πρέπει να υποστηρίζεται από κάποιες βασικές προϋποθέσεις, οι οποίες αφορούν i) την ελάχιστη ροπή αδράνειας, ii) τη μείζονα σχέση ισχύος-βάρους, iii) την ιδιότητα ανάπτυξης υψηλών επιταχύνσεων, iv) την ελάχιστη κατανάλωση ενέργειας & v) την ικανότητα λειτουργίας σε ένα σημαντικό φάσμα ταχυτήτων.

Ο Σερβοκινητήρας, τόσο ως έννοια όσο και ως πρακτική εφαρμογή, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1868 από τον J.L. Farcot, ο οποίος προέβη στη περιγραφή και ταυτόχρονα στη χρήση υδραυλικών κινητήρων και ατμοκίνητων μηχανών στο πηδάλιο ενός πλοίου. Έπειτα, 20 χρόνια μετά και συγκεκριμένα το 1898 κατασκευάστηκε ο πρώτος ηλεκτροκίνητος σερβομηχανισμός από τον Άγγλο H. Calendar. (Η λέξη Σερβοκινητήρας προέρχεται από τη γαλλική λέξη «Le Servomoteur», που σημαίνει «δούλος κινητήρας» και από το λατινικό «Servus», που σημαίνει «υπηρέτης»).

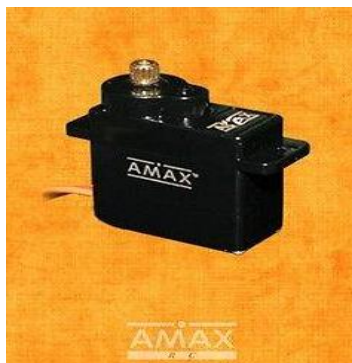
Ωστόσο, μέσα από το πέρασμα των ετών, οι σερβοκινητήρες άρχισαν να χρησιμοποιούνται συστηματικά και ιδίως στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου, αλλά και στον έλεγχο ταχύτητας, θέσης και ροπής του άξονα σε ένα κινητήρα. (Χαρακτηριστικό παράδειγμα, ως προς τη χρήση του σερβοκινητήρα,

είναι οι ρομποτικοί βραχίονες και τα αυτόματα συστήματα πλοήγησης πλοίων και αεροπλάνων). Ενώ, μέσα από την εξέλιξη τους, η τεχνολογία πέρασε από τον κλασσικό έλεγχο ταχύτητας (speed control) στο συνολικό έλεγχο κίνησης (motion control). Μια διαδικασία που υπήρξε καταπέλτης για την εξέλιξη της ρομποτικής και ότι ακολουθεί επί αυτού.

Ουσιαστικά, ο Σερβοκινητήρας έχει την ικανότητα να ρυθμίζει τις στροφές και την ταχύτητα στους κινητήρες, αλλά και να ελέγχει τη θέση του άξονα του κινητήρα. Τα βασικά χαρακτηριστικά του κάθε σερβοκινητήρα είναι: i) η κατεύθυνση της ροπής του κινητήρα που ορίζεται από την πολικότητα της τάσης ελέγχου & ii) η ροπή του κινητήρα που βρίσκεται σε αναλογία με την εφαρμοζόμενη τάση ελέγχου. Σήμερα, οι Σερβοκινητήρες κατηγοριοποιούνται σε πνευματικούς, υδραυλικούς και σε ηλεκτρικούς.

Τέλος στη παρούσα κατασκευή ρομποτικού χεριού οι σερβοκινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για τις φάλλαγγες των δακτύλων είναι τύπου R/C servo amax metal gear G12DM (ηλεκτρικός) με περιστροφική κίνηση και για τον αντίχειρα ο Hitec HS-645MG.

Εν κατακλείδι, η κίνηση των αρθρώσεων του ρομποτικού χεριού επιτυγχάνετε με την χρήση 16 σερβοκινητήρων, εκ των οποίων οι 15 (**Εικόνα 2.2.1α**) χρησιμοποιήθηκαν για την κίνηση των δακτύλων και ο 16^{ος} (**Εικόνα 2.2.1β**) για την κίνηση του αντίχειρα στα δύο επίπεδα. Για τον έλεγχο και τη καθοδήγηση των αρθρώσεων του ρομποτικού χεριού έχει τοποθετηθεί στο εσωτερικό της παλάμης του ρομποτικού χεριού ο σέρβο ελεγκτής **SSC-32** (**Εικόνα 2.2.4**) στον οποίο συνδέονται οι σερβοκινητήρες. Ο σερβοελεγκτής επικοινωνεί μέσω σειριακής θήρας με έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή και με βάση το κινηματικό μοντέλο και την επιθυμητή λαβή ή χειρονομία του ρομποτικού χεριού, υπολογίζονται οι επιθυμητές τιμές για τις αρθρώσεις των δακτύλων οι οποίες στην συνέχεια μεταβιβάζονται από τον υπολογιστή στον σερβοελεγκτή μέσω του λογισμικού Matlab.



Εικόνα 2.2.1α Σερβοκινητήρας amax metal gear G12DM






Εικόνα 2.2.1β Σερβοκινητήρας Hitec HS-645MG



Εικόνα 2.2.4 Σερβοελεγκτής SSC-32

Στο παρακάτω πίνακα αναγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κινητήρων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς επίσης και του σερβοελεγκτή που χρησιμοποιήθηκε.

	Βαρος (gr)	Διαστάσεις (mm)	Τάση (V)	Ροπή (Kg/cm)	Ταχύτητα (sec/60°)	Υλικό γκραναζιών
	12	11.5*23*24	4.8 - 6	1.6 - 2	0.12 - 0.10	μεταλλικά
Σερβοκινητήρας AMAX G12DM						
	55.2	20*38*41	4.8 - 6	7.7 - 9.6	0.24 - 0.20	μεταλλικά
Σερβοκινητήρας HITEC HS-645MG						
	-	76*58,4	6 - 9	-	-	-
Σερβοελεγκτής SSC-32						

Πίνακας 2.2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά σερβοκινητήρων και σερβοελεγκτή

2.3 Πειραματικά αποτελέσματα χρήσης του ρομποτικού χεριού

Όπως το ανθρώπινο χέρι, έτσι, και το ρομποτικό μπορεί να αναπαράγει χειρονομίες, κινήσεις και λαβές αντικειμένων. Σαφέστερα, οι κινήσεις που κάνουμε μέσω των χεριών μας μπορεί να εκφράζουν πολλές φορές θυμό, θλίψη, χαρά ή μπορεί να δείχνουν κάποια κατεύθυνση προς κάτι το οποίο είτε μας ελκύει είτε επιθυμούμε να υποδείξουμε με το δάκτυλό μας. Στις εικόνες, που παρατίθενται παρακάτω, παρουσιάζονται ορισμένες κινήσεις των δακτύλων του μεταλλικού ρομποτικού χεριού γενικότερα.

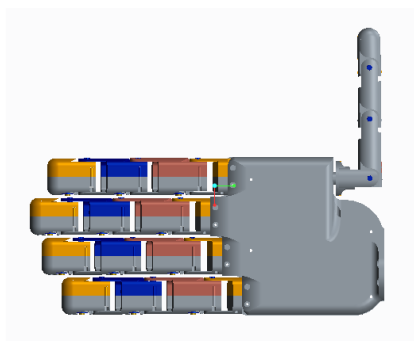
2.3.1 Διεξαγωγή σηνηθησμένων χειρονομιών

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται χειρονομίες οι οποίες είναι χρήσιμες στην ανθρώπινη καθημερινότητα, όπως όταν θέλουμε να χαιρετίσουμε (**Ανοικτή παλάμη**), να δείξουμε κάποιο σημείο (**Εκταση δείκτη**), να εκφράσουμε ότι κάτι είναι εντάξει (**OK**) ή ακόμα και όταν μας αρέσει κάτι (**Like**).

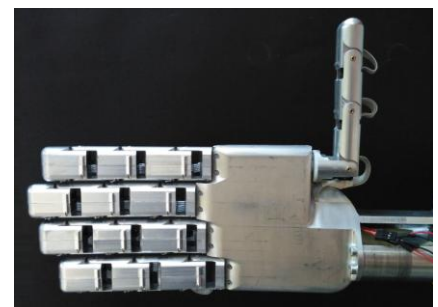
Ανοικτή παλάμη



Εικόνα 2.3.1.1α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 2.3.1.1β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

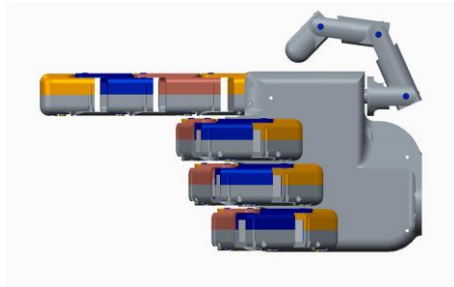


Εικόνα 2.3.1.1γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

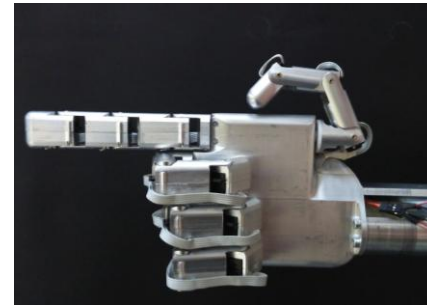
Έκταση δείκτη



Εικόνα 2.3.1.2α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 2.3.1.2β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

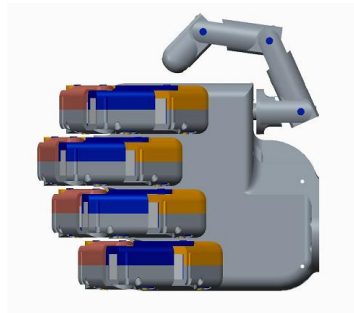


Εικόνα 2.3.1.2γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

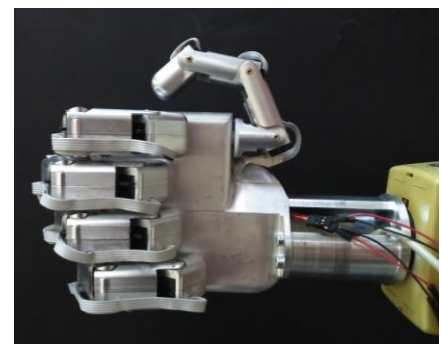
Γροθιά



Εικόνα 2.3.1.3α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 2.3.1.3β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

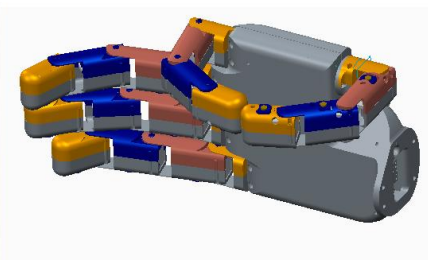


Εικόνα 2.3.1.3γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

OK



Εικόνα 2.3.1.4α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 2.3.1.4β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

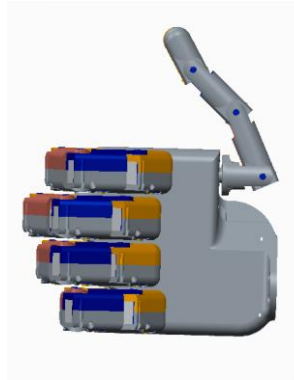


Εικόνα 2.3.1.4γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

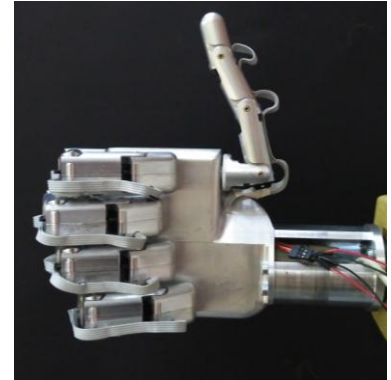
Like



Εικόνα 2.3.1.3α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 2.3.1.3β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

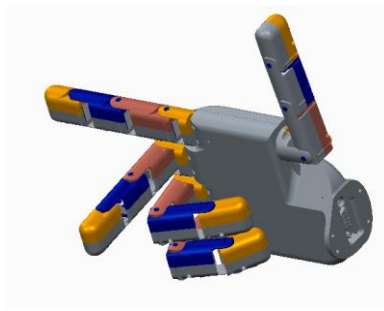


Εικόνα 2.3.1.3γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

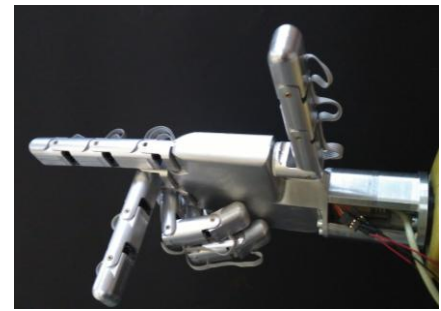
Άξονες X,Y,Z



Εικόνα 2.3.1.6α Φυσική Χειρονομία

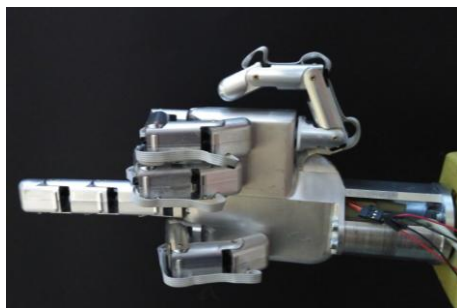


Εικόνα 2.3.1.6β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

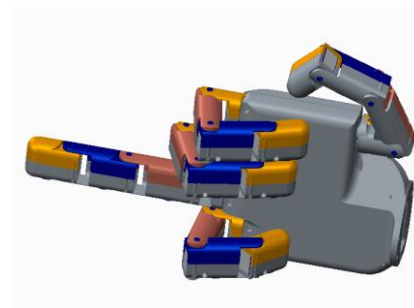


Εικόνα 2.3.1.6γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

Έκταση παράμεσου: Αυτή τη χειρονομία είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί από ανθρώπινο χέρι.



Εικόνα 2.3.1.7α Φυσική χειρονομία

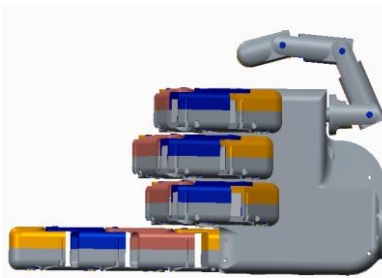


Εικόνα 2.3.1.7β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

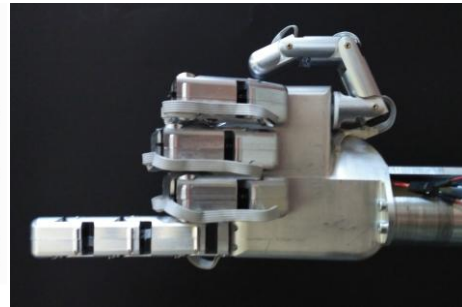
Έκταση μικρού



Εικόνα 2.3.1.8α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 2.3.1.8β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

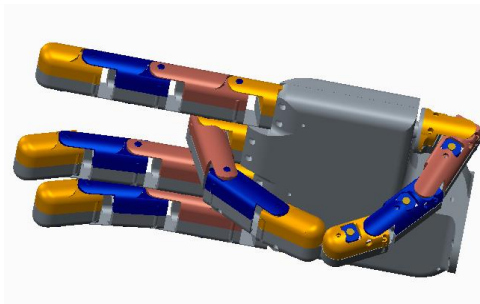


Εικόνα 2.3.1.8γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

Επαφή αντίχειρα μέσου



Εικόνα 2.3.1.9α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 2.3.1.9β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

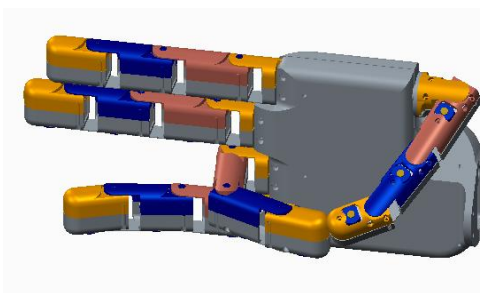


Εικόνα 2.3.1.9γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

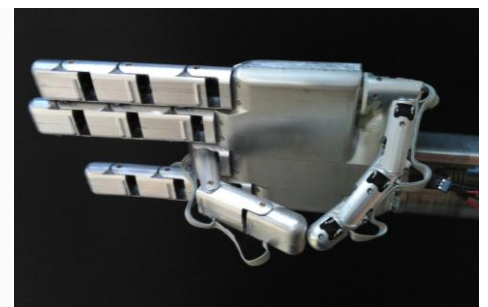
Επαφή αντίχειρα παράμεσου



Εικόνα 2.3.1.10α Φυσική χειρονομία



Εικόνα 2.3.1.10β Εικονική χειρονομία (μοντέλο CAD)

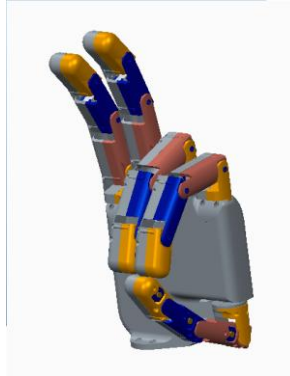


Εικόνα 2.3.1.10γ Χειρονομία ρομποτικού χεριού

Επαφή αντίχειρα, δείκτη, μέσου



Εικόνα 2.3.1.11α
Φυσική χειρονομία



Εικόνα 2.3.1.11β Εικονική
χειρονομία
(μοντέλο CAD)



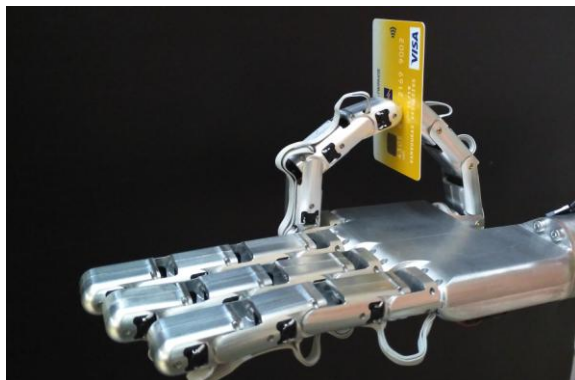
Εικόνα 2.3.1.11γ
Χειρονομία ρομποτικού
χεριού

2.3.2 Λαβές ρομποτικού χεριού

Παρακάτω παρουσιάζονται λαβές διαφόρων αντικειμένων όπως συγκράτηση κάρτας, πινέλου, μπουκαλιού, ελαστικής μπάλας ακόμα και δοχείου το οποίο περιέχει νερό βάρους κατά προσέγγιση 0.25 Λίτρα.

Λαβή 1 : α) Συγκράτηση κάρτας με δύο δάκτυλαν (δίκητη & αντίχειρα)

β) Συγκράτηση κάρτας με τρία δάκτυλα (δίκητη, μέσο & αντίχειρα)



Εικόνα 2.3.2.1α λαβή κάρτας 1



Εικόνα 2.3.2.1β λαβή κάρτας 2

- Λαβή 2 :** α) συγκράτηση μπουκαλιού με τον δίκτη, μέσο, παράμεσο, αντίχειρα να αγκαλιάζουν το μπουκάλι και ο μικρός να το στηρίζει από την κάτω του πλευρά
 β) Συγκράτηση πινέλου με τον δίκτη, μέσο και παράμεσο να αγκαλίζουν το πινέλο

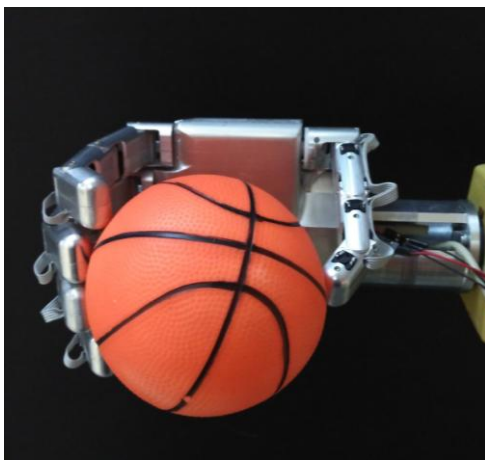


Εικόνα 2.3.2.2α λαβή συγκράτησης μπουκαλιού

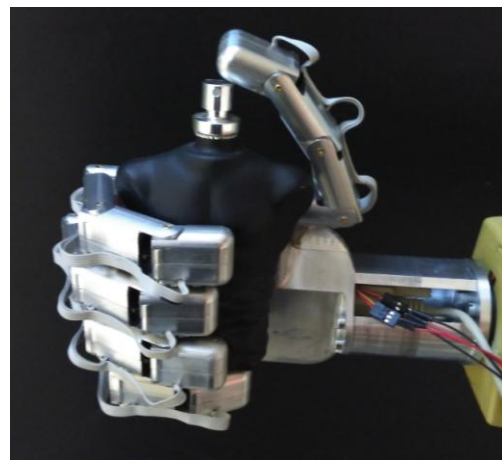


Εικόνα 2.3.2.2β λαβή συγκράτησης πινέλου

- Λαβή 3 :** α) Συγκράτηση ελαστικής μπάλας με όλα τα δάκτυλα να εφάπτονται πάνω στην επιφάνεια της
 β) Συγκράτηση δοχείου αρώματος με τον δίκτη, μέσο, παράμεσο να αγκαλιάζουν το δοχείο, ο μικρός να το στηρίζει από την κάτω πλευρά και ο αντίχειρας να πιέζει το ακροφύσιο του δοχείου.

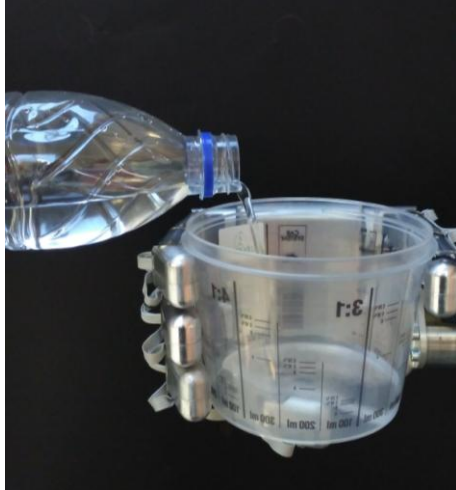


Εικόνα 2.3.2.3α λαβή συγκράτησης ελαστικής μπάλας

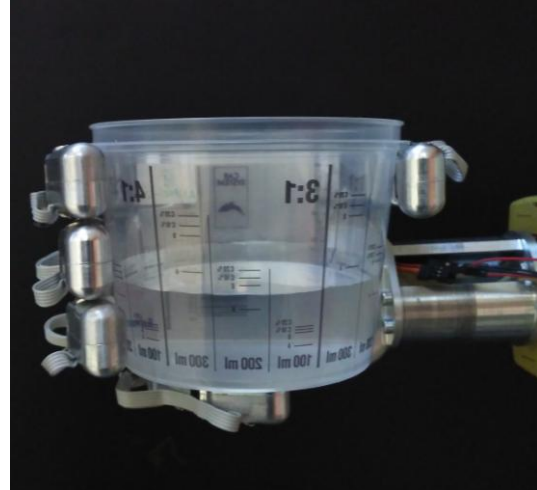


Εικόνα 2.3.2.3α λαβή συγκράτησης δοχείου αρώματος

- Λαβή 4 :** α) Συγκράτιση δοχείου κατα την πλήρωση του με νερό
β) Συγκράτιση δοχείου μετά την πλήρωση του με νερό



Εικόνα 2.3.2.4α λαβή πλήρωσης δοχείου με νερό



Εικόνα 2.3.2.4β λαβή συγκράτισης δοχείου με νερό

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΟΥ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΥ ΧΕΡΙΟΥ

Εισαγωγή

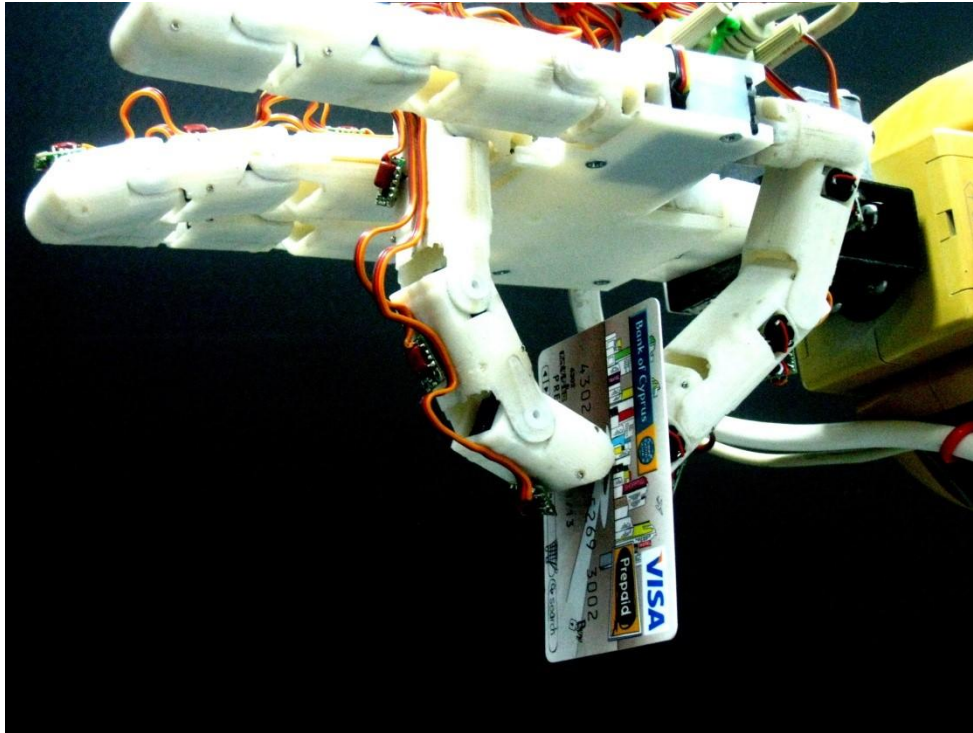
Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη σχεδίαση και κατασκευή του ρομποτικού χεριού, ξεκινώντας, από την επιλογή του κατάλληλου εξοπλισμού για τη κατασκευή των τεμαχίων, που αποτελείται το ρομποτικό χέρι. Στη συνέχεια, αναφέρεται ο Μηχανολογικός Σχεδιασμός Κοπής, καθώς και η προετοιμασία της εργαλειομηχανής CNC.

3.1 Επιλογή κατάλληλου εξοπλισμού για το σχεδιασμό και τη κατασκευή του ρομποτικού χεριού

Το ρομποτικό χέρι TALOS II υποστηρίχθηκε στην κατασκευή του μέσω του λογισμικού σχεδίασης CAD/ CAM. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκε το λογισμικό Creo 2 parametric της εταιρίας PTC, το οποίο είχε τη δυνατότητα να υλοποιήσει μηχανολογικό σχεδιασμό κοπής και να αναπαράγει τον κώδικα κοπής της εργαλειομηχανής CNC (Gcode). Ενώ, η εργαλειομηχανή που χρησιμοποιήθηκε ήταν κέντρο κατεργασίας 4^{ov} αξόνων (CNC) της εταιρίας Haas μοντέλο VF-2

3.2 Μελέτη και σχεδιασμός

Σε πρώτο στάδιο, πραγματοποιήθηκε πρόχειρος σχεδιασμός σε πρόγραμμα τρισδιάστατης σχεδίασης ηλεκτρονικού υπολογιστεί (CAD/CAM) με βάση την αρχή λειτουργίας του ήδη υπάρχοντος ρομποτικού χεριού [1] που κατασκευάστηκε Στο εργαστήριο Συστημάτων ελέγχου και ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης το 2012 (**Εικόνα 3.1.1**) από πλαστικό ABS. Έπειτα, διεξήχθη έρευνα αγοράς για την εύρεση των νέων υλικών και εξαρτημάτων (**Πίνακας 3.1.1**), από τα οποία θα καθοριζόταν το μέγεθος, το σχήμα και ο όγκος του νέου ρομποτικού χεριού, το οποίο κατασκευάστηκε από αλουμίνιο. Στη συνέχεια, ως προς τον τελικό σχεδιασμό λήφθηκαν υπόψη οι διαστάσεις: των νέων σερβοκινητήρων, της μονάδας ελέγχου, των κοχλιών σύσφιξης των επί μέρους κομματιών, των σφαιρών και των καλωδιώσεων (**Πίνακας 3.1.1**).



Εικόνα 3.1.1 Το Ρομποτικό χερι TALOS I [1]

ΠΙΝΑΚΑΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΥΛΙΚΑ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ	ΕΙΔΟΣ	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ (mm)
Σερβοκινητήρας AMAX	15	G12 DM	23*11,5*24
Σερβοκινητήρας RC HITEC	1	HS-645MG	35,7*20*40,6
Μονάδα Ελέγχου	1	SSC-32	59*76,5
Καλωδιοταινία	1	-	-
Κοχλίας M 1.4	55	M 1.4 x 0.3 DIN 912	Φ1,4
Κοχλίας M2	12	M2 x 0.4	Φ2
Σφαίρα	15	steel	3.5

Πίνακας 3.1.1 Υλικά και εξαρτήματα

3.3 Μηχανολογικός Σχεδιασμός Κοπής «CAM»

Μετά το τέλος του σχεδιασμού μελετήθηκε: η διαδικασία κοπής για την κατασκευή των επιμέρους κομματιών, τα εργαλεία κοπής, το σχήμα του ακατέργαστου υλικού (κυλινδρική ράβδος ή παραλληλόγραμμο) και ο τρόπος στερέωσης του ακατέργαστου στον εργασιακό χώρο της CNC μηχανής (Φρέζα).

Ωστόσο, σε ότι αφορά το ακατέργαστο υλικό, η επιλογή του έγινε με βάση τον συνολικό χρόνο κατασκευής (T). Σαφέστερα, ο συνολικός χρόνος κατασκευής (T) ισούται με το άθροισμα του χρόνου στερέωσης του ακατέργαστου (T_f), του χρόνου μηδενισμού του ακατέργαστου (T_0) και του χρόνου κοπής για το κάθε εξάρτημα (T_c).

Βέβαια, ως προς το τελευταίο θα ήταν σημαντικό να επισημανθεί πως ο χρόνος κοπής του κάθε εξαρτήματος (T_c) ισούται με το άθροισμα του χρόνου κοπής για το πρώτο δέσιμο (T_{c1}), του χρόνου κοπής για το δεύτερο δέσιμο (T_{c2}) και του νεκρού χρόνου εναλλαγής από το πρώτο στο δεύτερο δέσιμο (T_d). Εντούτοις, το T_{c1} και το T_{c2} υπολογίζονται από το πρόγραμμα Μηχανολογικού Σχεδιασμού Κοπής (CAM).

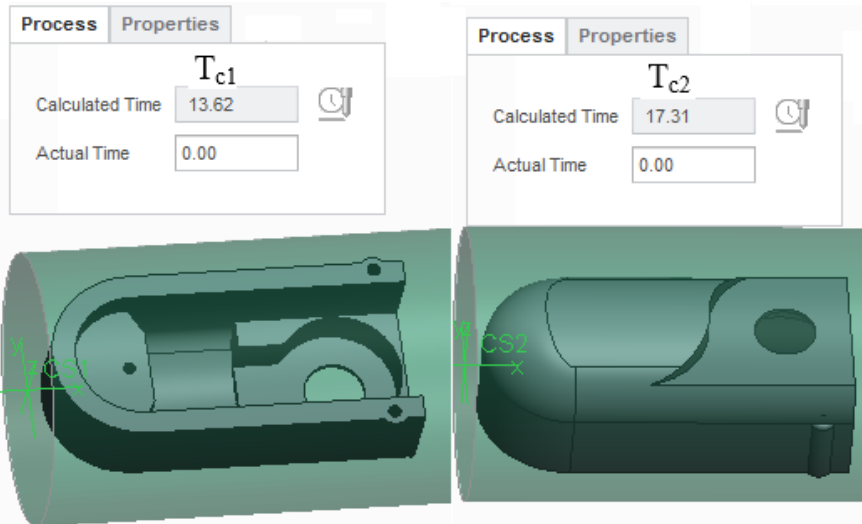
Από τα παραπάνω, λοιπόν, προκύπτει η σχέση :

$$T = T_f + T_0 + T_c \Rightarrow$$

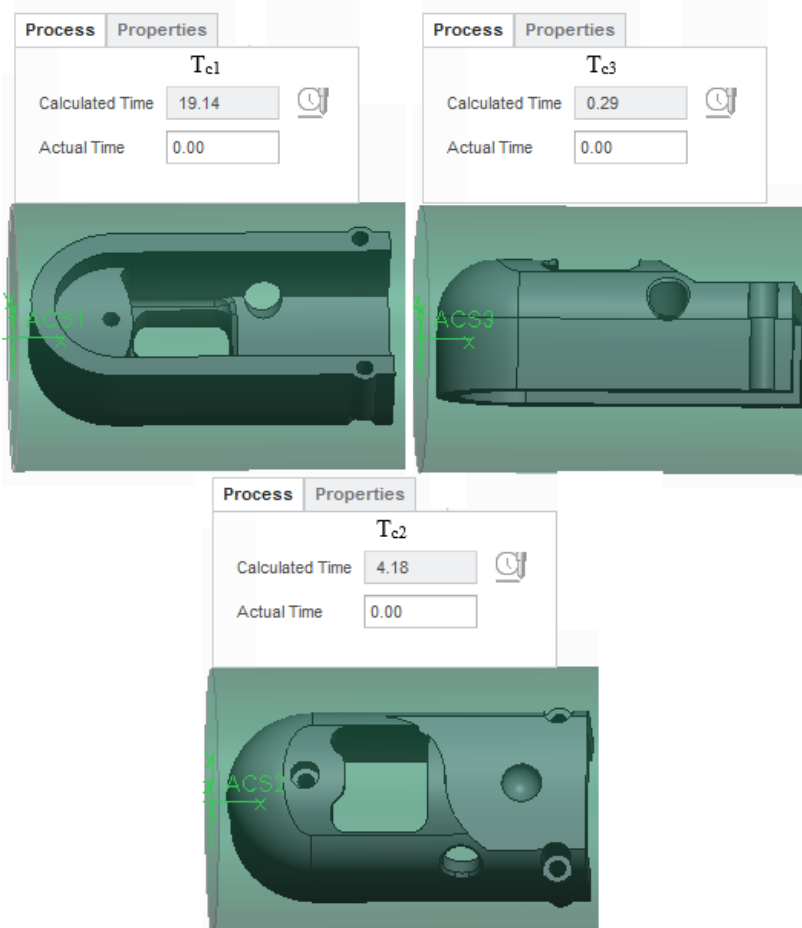
$$T = T_f + T_0 + T_{c1} + T_{c2} + T_d$$

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζεται, με βάση το πρόγραμμα μηχανολογικού σχεδιασμού κοπής, ο χρόνος αφαίρεσης υλικού της μέσα και της έξω πλευράς του πρώτου και δεύτερου τμήματος της : άπω φάλαγγας (**Εικόνα 3.3.1**) & (**Εικόνα 3.3.2**), μέσης φάλαγγας (**Εικόνα 3.3.3**) & (**Εικόνα 3.3.4**), εγγύς φάλαγγας (**Εικόνα 3.3.5**) & (**Εικόνα 3.3.6**), βάσης δακτύλου (**Εικόνα 3.3.7**) & (**Εικόνα 3.3.8**), βάσης αντίχειρα (**Εικόνα 3.3.9**) & (**Εικόνα 3.3.10**), παλάμης (**Εικόνα 3.3.11**), ραχιαίας επιφάνειας (**Εικόνα 3.3.12**) και της βάσης του ρομποτικού χεριού (**Εικόνα 3.3.13**).

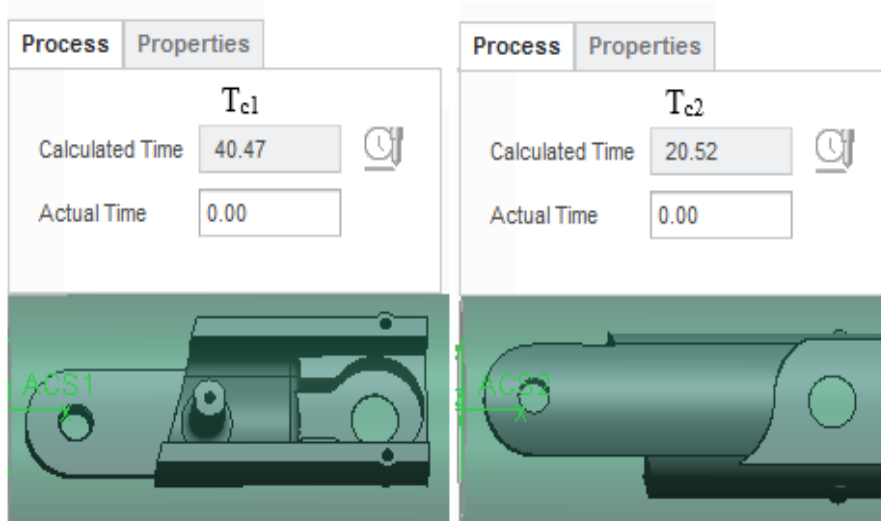
Στο δεύτερο τμήμα



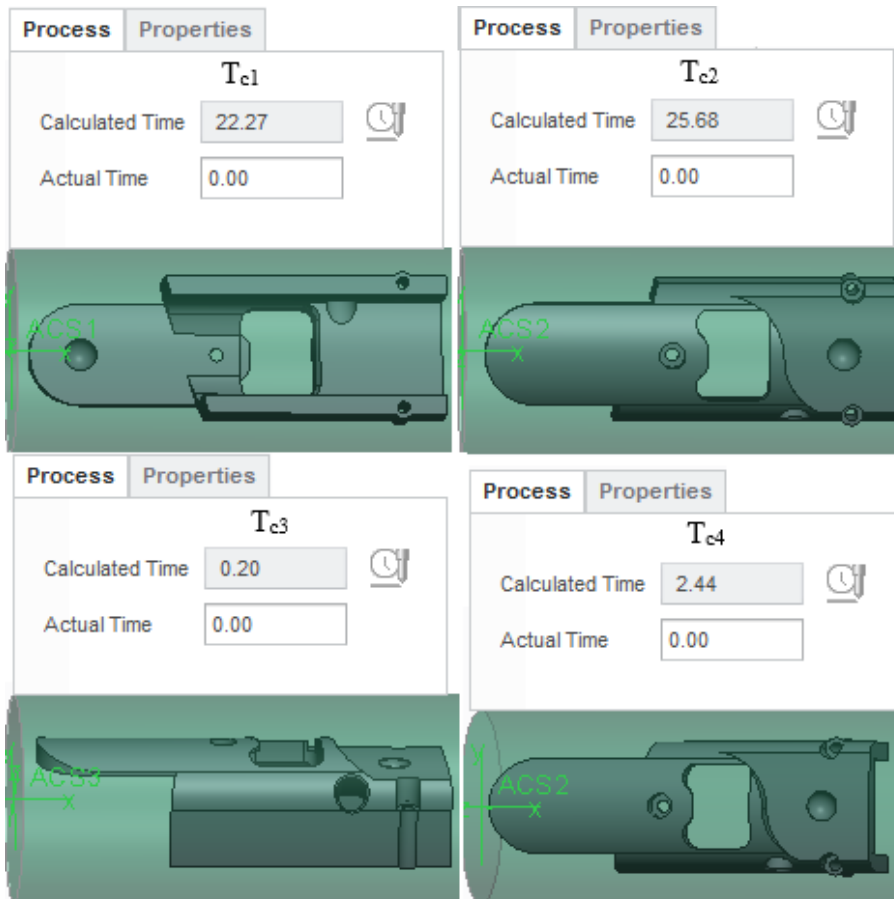
Εικόνα 3.3.1 Απεικόνιση χρόνων κοπής (calculated time) «πρώτης & δεύτερης πλευράς» του ενός κομματιού της άπω φάλαγγας.



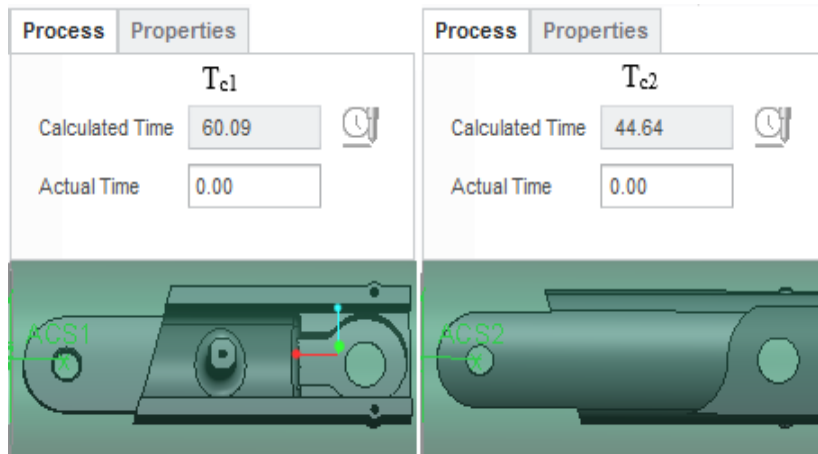
Εικόνα 3.3.2 Απεικόνιση χρόνων κοπής (calculated time) «πρώτης, δεύτερης & τρίτης πλευράς» του δεύτερου κομματιού της άπω φάλαγγας.



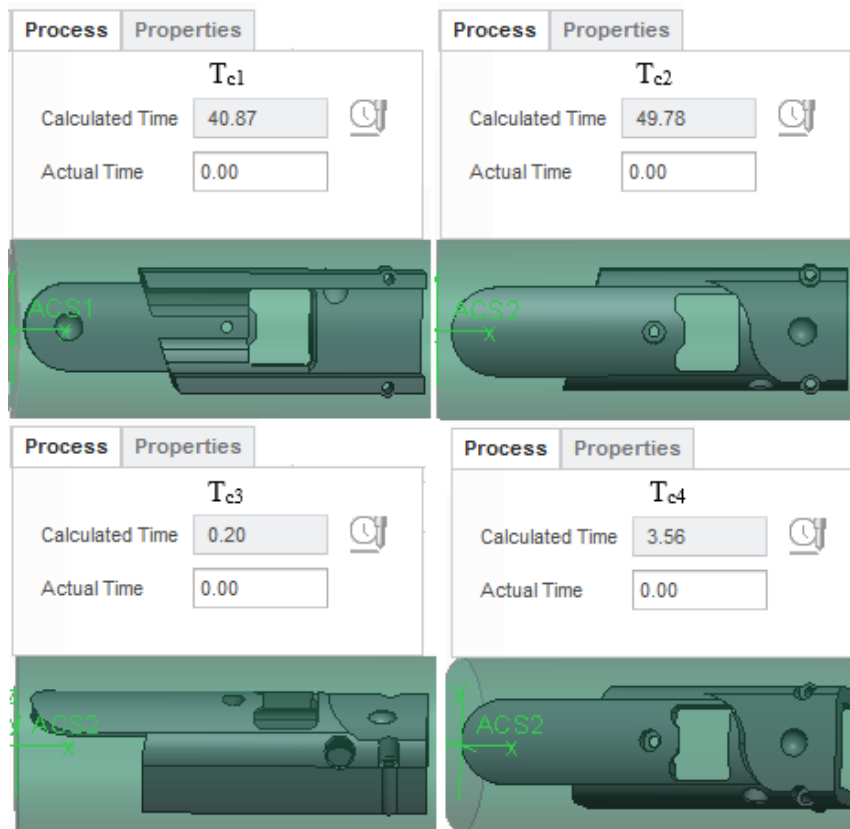
Εικόνα 3.3.3 Απεικόνιση χρόνων κοπής «πρώτης & δεύτερης πλευράς» του ενός κομματιού της μέσης φάλαγγας.



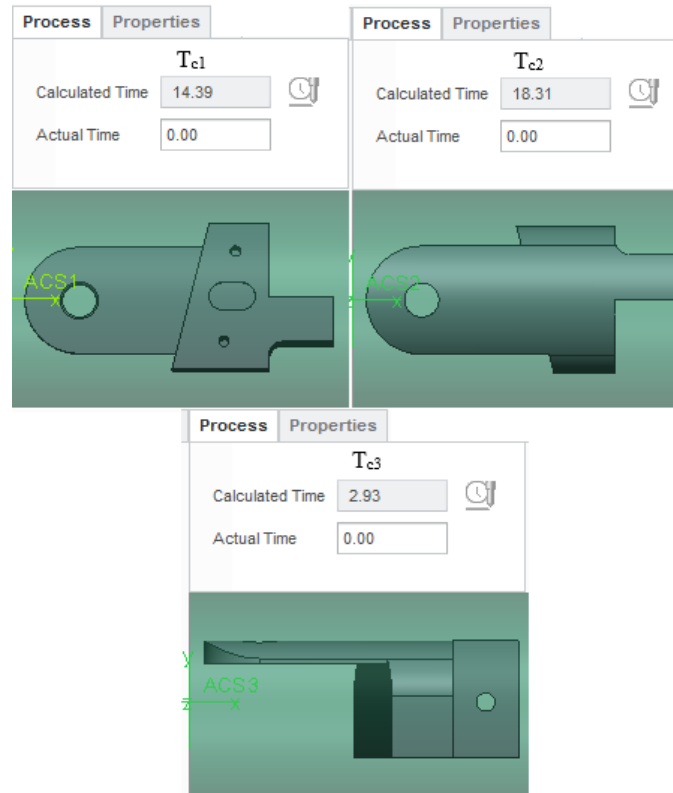
Εικόνα 3.3.4 Απεικόνιση χρόνων κοπής «πρώτης, δεύτερης, τρίτης & τέταρτης πλευράς» του δεύτερου κομματιού της μέσης φάλαγγας.



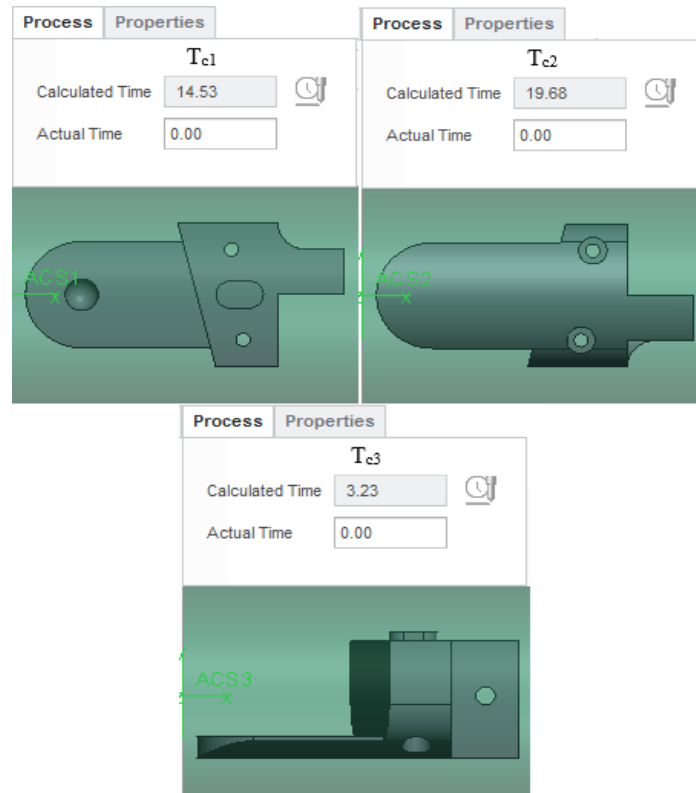
Εικόνα 3.3.5 Απεικόνιση χρόνων κοπής «πρώτης & δεύτερης πλευράς» του ενός κομματιού της εγγύς φάλαγγας



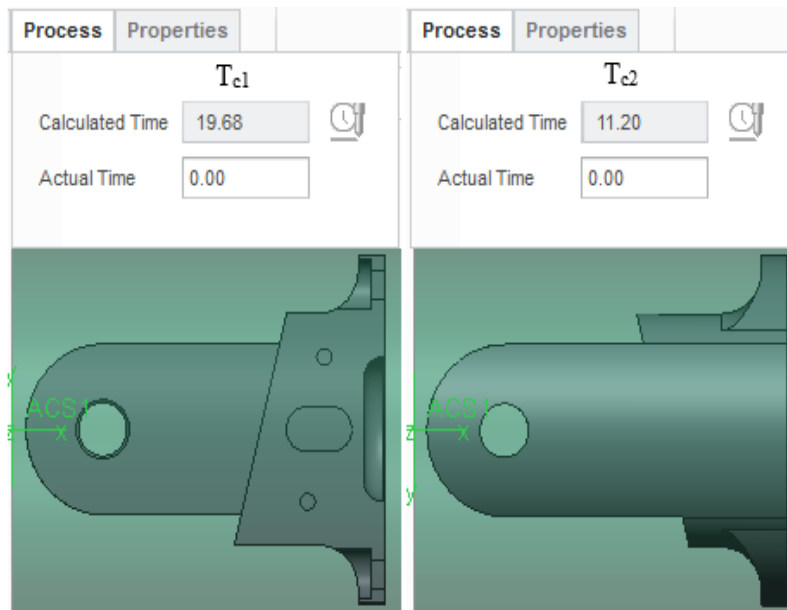
Εικόνα 3.3.6 Απεικόνιση χρόνων κοπής «πρώτης, δεύτερης, τρίτης & τέταρτης πλευράς» του δεύτερου κομματιού της εγγύς φάλαγγας.



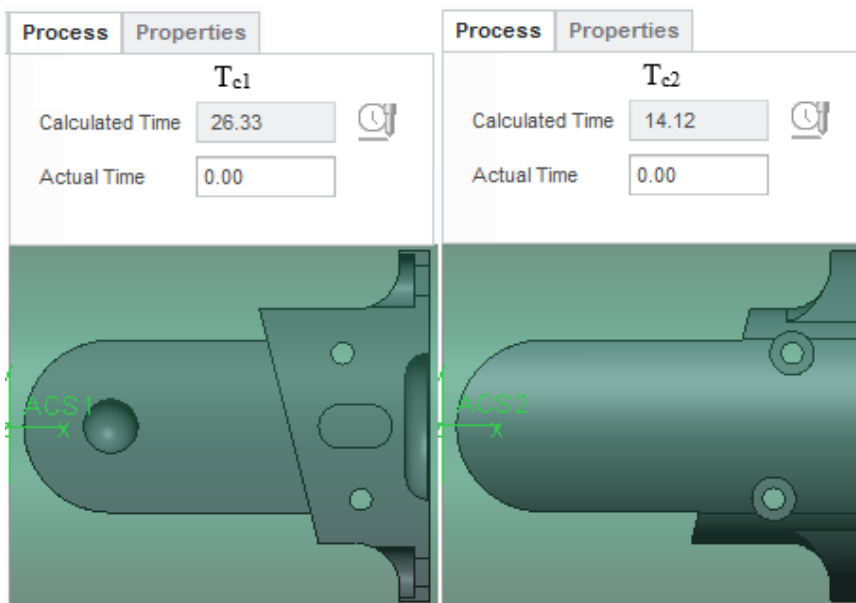
Εικόνα 3.3.7 Απεικόνιση χρόνων κοπής «πρώτης, δεύτερης & τρίτης πλευράς» του ενός κομματιού της βάσης δακτύλου.



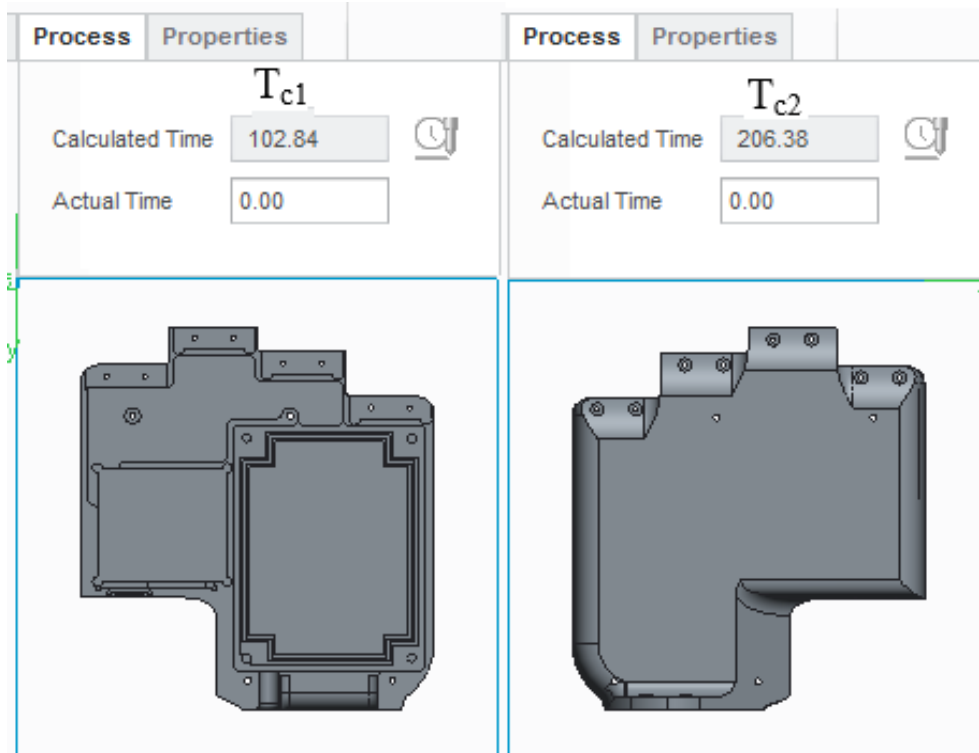
Εικόνα 3.3.8 Απεικόνιση χρόνων κοπής «πρώτης, δεύτερης & τρίτης πλευράς» του δεύτερου κομματιού της βάσης δακτύλου.



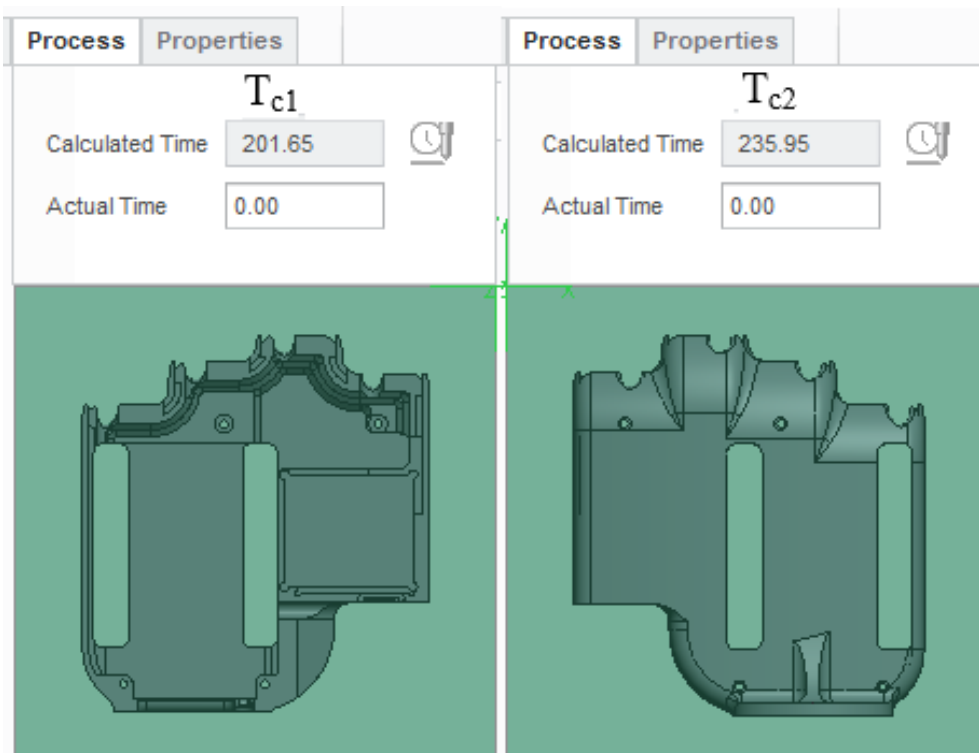
Εικόνα 3.3.9 Απεικόνιση χρόνων κοπής «πρώτης & δεύτερης πλευράς» του ενός κομματιού της βάσης του αντίχειρα.



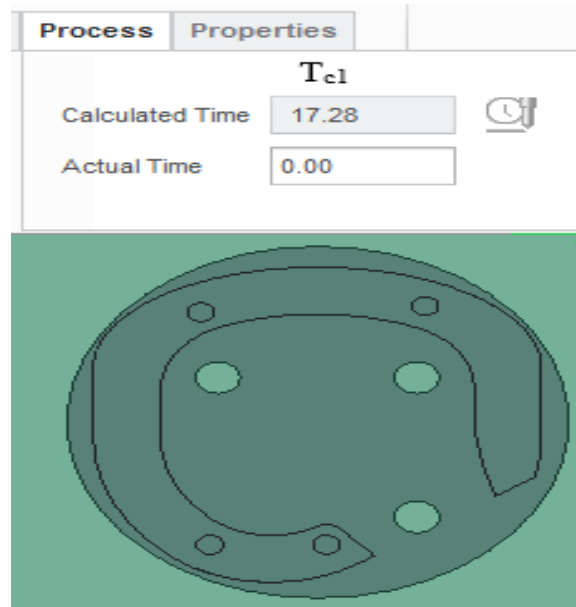
Εικόνα 3.3.10 Απεικόνιση χρόνων κοπής «πρώτης & δεύτερης πλευράς» του δεύτερου κομματιού της βάσης του αντίχειρα.



Εικόνα 3.3.11 Απεικόνιση χρόνων κοπής «πρώτης & δεύτερης πλευράς» της παλάμης.



Εικόνα 3.3.12 Απεικόνιση χρόνων κοπής «πρώτης & δεύτερης πλευράς» της ραχιαίας επιφάνειας.



Εικόνα 3.3.13 Απεικόνιση χρόνων κοπής της βάσης του χεριού.

Αριθμός εξαρτημάτων	Εξαρτήματα	Χρόνος κοπής (min)
2	Άπο φάλαγγα	54,54
2	Μέση φάλαγγα	111,58
2	Εγύς φάλαγγα	199,14
2	Βάση δακτύλου	73,07
ΣΥΝΟΛΟ	-	438,33

Πίνακας 3.3.1 απεικόνιση χρόνου κοπής εξαρτημάτων ενός δακτύλου

Αριθμός εξαρτημάτων	Εξαρτήματα	Χρόνος κοπής (min)
2	Άπο φάλαγγα	54,54
2	Μέση φάλαγγα	111,58
2	Εγύς φάλαγγα	199,14
2	Βάση αντίχειρα	71,33
ΣΥΝΟΛΟ	-	436,59

Πίνακας 3.3.2 απεικόνιση χρόνου κοπής εξαρτημάτων δακτύλου αντίχειρα

Αριθμός εξαρτημάτων	Εξαρτήματα	Χρόνος κοπής (min)
1	Παλάμη	309,22
1	Ραχιαία επιφάνεια	437,6
1	Βάση χεριού	17,28
ΣΥΝΟΛΟ	-	764,1

Πίνακας 3.3.3 απεικόνιση χρόνου κοπής παλάμης, ραχιαίας επιφάνειας και βάσης του ρομποτικού χεριού

Από τους παραπάνω πίνακες (Πίνακας 3.3.1 & Πίνακας 3.3.2 & Πίνακας 3.3.2) διαπιστώνεται ότι ο χρόνος που χρειάζεται για να κατασκευαστούν όλα τα εξαρτήματα του ενός δακτύλου είναι **7,31** ώρες, του αντίχειρα **7.23** ωρες και ο χρόνος κοπής της παλάμης, της ραχιαίας επιφάνειας και της βάσης του μεταλικού ρομποτικού χεριού είναι **12,74** ώρες με τα συγκεκριμένα κοπτικά εργαλεία (Πίνακας 3.3.2.1).

Άρα ο συνολικός χρόνος κοπής θα είναι το άθροισμα του χρόνος κοπής ενός δακτύλου επί 4 συν τον χρόνο κοπής του αντίχειρα, συν το χρόνο κοπής της παλάμης, της ραχιαίας επιφάνειας και της βάσης. Επομένως από τα παραπάνω έχουμε:

$$438,33 * 4 + 436,59 + 764,1 = 2954,01 \text{ min}$$

3.3.1 Επιλογή σχήματος ακατέργαστου

Κατά τη διαδικασία στερέωσης ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου στη τράπεζα (τραπέζι CNC Φρέζας) της CNC μηχανής παρατηρήθηκε ότι στο ακατέργαστο έπρεπε να σχηματίζεται μία τουλάχιστον ορθή γωνία στις δύο κάθετες πλευρές του. Γι' αυτό και κάθε ακατέργαστο θα έπρεπε να επεξεργάζεται και στη συνέχεια να πραγματοποιείται ο μηδενισμός του στους άξονες x, y, z. Ωστόσο, η παραπάνω διαδικασία απαιτούσε την προσαρμογή περισσότερου χρόνου, γεγονός που ενδείκνυται ως σημαντικό για την επιλογή της κυλινδρικής ράβδου ως ακατέργαστο.

Βέβαια, με βάση την παρούσα διαδικασία παρατηρήθηκε ότι ο μηδενισμός του ακατέργαστου συνέβαινε μόνο την πρώτη φορά στον άξονα x, y, z και στη συνέχεια για την κατασκευή του επόμενου εξαρτήματος μηδενιζόταν μόνο στον άξονα x. Αφού, όμως, τα κομμάτια ήταν παρόμοια, με τη χρήση ενός παχυμέτρου επανατοποθετούνταν στο ίδιο σημείο στον άξονα των x για κάθε κομμάτι (Εικόνα 3.3.1.1).



Εικόνα 3.3.1.1 Απεικόνιση σημείου μηδέν στον (x) του ακατέργαστου από το τσοκ του 4^{ου} άξονα με τη χρήση παχυμέτρου

3.3.2 Επιλογή κοπτικών εργαλείων

Παρόλα αυτά, αφού έγινε η σχέδιο-μελέτη της κοπής, επιλέχθηκαν τα εξής εργαλεία που παρουσιάζονται παρακάτω (Πίνακας 3.3.2.1), ενώ ενδείκνυται, σε πίνακα ο αριθμός του κοπτικού που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε φάλαγγα αλλά και στην παλάμη και στην ραχιαία επιφάνεια (Πίνακας 3.3.2.2) και οι συνθήκες κοπής του αλουμινίου για το κάθε κοπτικό εργαλείο(Πίνακας 3.3.2.3).

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

Αριθμός κοπτικού	Είδος κοπτικού	διάμετρος
1	End Mill	12mm
2	End Mill	10mm
3	End Mill	6mm
4	End Mill	3mm
5	End Mill	2mm
6	Ball Mill	10mm
7	Ball Mill	5mm
8	Ball Mill	2mm
9	Drill	3mm
10	Drill	2mm
11	Drill	1.5mm
12	Drill	1.15mm

Πίνακας 3.3.2.1 κοπτικά εργαλεία

	Άπω φάλαγγα	Μέση φάλαγγα	Εγγύς φάλαγγα	Βάση δακτύλου	Βάση αντίχειρα	Παλάμη	Ραχιαία επιφάνεια	
Αριθμός κοπτικού	2	2	2	2	2	1	1	
	3	3	3	3	3	2	2	
	4	4	4	4	4	4	4	
	5	5	5	5	5	6	6	
	6	6	6	6	6	7	7	
	8	8	8	8	10	10	9	9
	11	11	11	11	11	11	11	10
	12	12	12	12	12	12	-	-

Πίνακας 3.3.2.2 Αριθμός κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε φάλαγγα, την παλάμη και τη ραχιαία επιφάνεια

Από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 3.3.2.1) τα κοπτικά 1, 2, 3 χρησιμοποιήθηκαν για το ξεχόνδρισμα των ακατέργαστων υλικών, τα κοπτικά 4, 5 χρησιμοποιήθηκαν για τα προφίλ στις αντίστοιχες οπές, τα κοπτικά 6, 7, 8 χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία καμπύλων επιφανειών και τα κοπτικά 9, 10, 11, 12 χρησιμοποιήθηκαν για την διάτρηση των αντίστοιχων οπών.

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΟΠΗΣ ΓΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

TOOLS	DIMETER (mm)	DORMER CODE	SPEED (rpm)	FEED (mm/min)	STEP DEPTH (mm)	STEP OVER (mm)
End Mill	12	C110	6600	1140	1	12
End Mill	10	C110	7000	1000	1	10
End Mill	6	S814HA	7.000	2.000	1	6
End Mill	3	C273	7.000	340	1	3
End Mill	2	C247	7.000	661	0.5	2
Ball Mill	10	C500	7.000	2.700	0.1	0.1
Ball Mill	5	C500	7.000	1800	0.1	0.1
Ball Mill	2	C501	7.000	500	0.1	0.1
Drill	3	R100	7000	150	-	-
Drill	2	R100	7000	150	-	-
Drill	1.15	R100	7.000	150	-	-
Drill	1.5	R100	7.000	150	-	-

Πίνακας 3.3.2.3 Συνθήκες κοπής αλουμινίου

3.4 Προετοιμασία εργαλειομηχανής CNC

Κατά την προετοιμασία της εργαλειομηχανής έγινε καθαρισμός των εξαρτημάτων, των κόνων των κοπτικών εργαλείων και της ίδιας της μηχανής. Εν συνεχεία, τοποθετήθηκαν οι κώνοι στις αντίστοιχες θέσεις πάνω στην εργαλειοφόρο (ομπρέλα), οι οποίες ήταν γνώριμες του κάθε εργαλείου από το πρόγραμμα CAM. Έπειτα, έγινε αντιστάθμιση του μήκους των κοπτικών εργαλείων με τη χρήση ενός εξαρτήματος αντιστάθμισης με φωτεινή λυχνία, η οποία φώτιζε όταν ερχόταν σε επαφή με την κορυφή του κάθε εργαλείου.



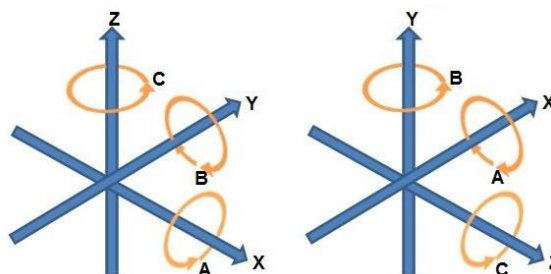
Εικόνα 3.4.1 Εξάρτημα αντιστάθμισης κοπτικών εργαλείων.



Εικόνα 3.4.2 Απεικόνιση επαφής της κορυφής του κοπτικού στο εξάρτημα αντιστάθμισης.

3.4.1 Ο 4ος Άξονας

Η εργαλειομηχανή CNC τύπου φρέζα κινεί την τράπεζα της σε δύο άξονες x & y , ενώ η κύρια άτρακτος κοπής της κινείται στον z . Από την άλλη, ο τέταρτος άξονας είναι πρόσθετο εξάρτημα, ο οποίος περιστρέφεται γύρω από τον άξονα x ή γύρω από τον άξονα y , ανάλογα με την τοποθέτησή του.



Εικόνα 3.4.1.1 Σύστημα αξόνων κάθετων & οριζόντιων εργαλειομηχανών CNC



Εικόνα 3.4.1.2 4ος άξονας εργαλειομηχανής CNC

3.4.2 Τοποθέτηση- παραλληλισμός & μηδενισμός 4^{ου} άξονα

Με τη χρήση ενός χειροκίνητου γερανού (παλάγκο) και ενός μίαντα τοποθετήθηκε ο τέταρτος άξονας από το δεξιό παράθυρο της εργαλειομηχανής πάνω στην τράπεζα της, στερεώνοντας τον πρόχειρα με δύο κοχλίες. Στη συνέχεια, τοποθετήθηκαν οι καλωδιώσεις του στις αντίστοιχες υποδοχές (θύρες) της CNC (εργαλειομηχανή). Μια διαδικασία, η οποία στηρίχθηκε στην ενεργοποίηση του 4^{ου} άξονα, καθώς χωρίς την κίνηση, αυτή, δεν τίθεται σε λειτουργία (για ενεργοποίηση του 4^{ου} άξονα βλ. 107-108 σελ του βιβλίου της εργαλειομηχανής, 2008).



Εικόνα 3.4.2.1 Απεικόνιση εισόδου του 4ου άξονα στο εσωτερικό της CNC



Εικόνα 3.4.2.2 Απεικόνιση υποδοχών (θυρών) για τη σύνδεση του 4ου άξονα στο πίσω μέρος της CNC



Εικόνα 3.4.2.3 Σύνδεση παροχής αέρα του 4ου άξονα στο πίσω μέρος της CNC

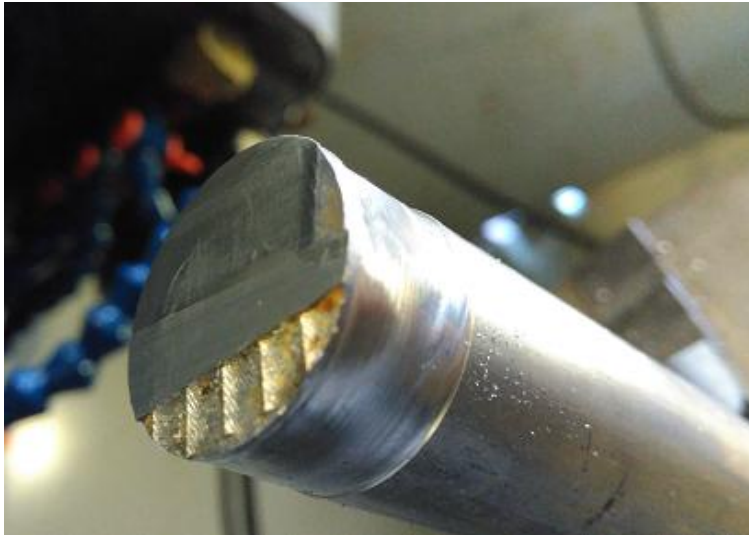
Έπειτα, υπήρξε παραλληλισμός του τέταρτου άξονα, τείνοντας στη χρήση κυλινδρικής ράβδου τοποθετημένη στη κεφαλή υποδοχής (τσόκ) του άξονα, ορίζοντας παράλληλα το εργαλείο παραλληλισμού - μηδενισμού (3Dtaster) στην οπή της κύριας ατράκτου κοπής. Ακολούθως, με τη χρήση της χειροκίνητης λειτουργίας (hand jog) έγινε επαφή της μύτης του 3Dtaster στη πλαϊνή μεριά της ράβδου, έχοντας ως απόρροια τη δημιουργία κίνησης του 3Dtaster εντός της ράβδου, έτσι ώστε ο Δίκτης να περιστραφεί μια φορά. Μετά, επιλέχθηκε ο άξονας x για την κίνηση της τράπεζας αριστερά (-x) και δεξιά (+x), ώστε να προκληθεί κίνηση της μύτης του 3Dtaster πάνω στη ράβδο, παρατηρώντας τον Δίκτη του (3Dtaster) αν κινείται και σε ποια κατεύθυνση, από την οποία γίνεται εμφανής ο παραλληλισμός της κυλινδρικής ράβδου με τον άξονα x.



Εικόνα 3.4.2.4 Απεικόνιση εργαλείου παραλληλισμού-μηδενίσματος (3D taster)

Πράττοντας εξ' ιδίων, σε ότι αφορά το μηδενισμό του 4^{ου} άξονα, έγινε τοποθέτηση μιας κυλινδρικής ράβδου (ακατέργαστο) πάνω στη κεφαλή υποδοχής (τσοκ) του (τέταρτου) άξονα, ούτως ώστε να περισσεύει από τα μάγουλα σύσφιξης περίπου 100 έως 120 mm, (**Εικόνα 3.3.1.1**). Παράλληλα, τοποθετήθηκε ένας κώνος με κοπτικό εργαλείο (End Mill) 10mm άνω της ατράκτου κοπής της εργαλειομηχανής και με τη χρήση χειροκίνητης λειτουργίας (hand jog) εντάχθηκε το κέντρο του κοπτικού εργαλείου πάνω από το ακατέργαστο κομμάτι. Ακόμα, πληκτρολογώντας το πλήκτρο «MDI/DNC» στην μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής πραγματοποιήθηκε μετάβαση στο παράθυρο εντολών, εισάγοντας την εντολή «S1000 (SPACE) M03 (EOB)» και με το πλήκτρο «INSERT» από την γραμμή εντολών, η εντολή μεταφέρθηκε στο παράθυρο εντολών. Τέλος, πατήσαμε το πλήκτρο (push button) με την ονομασία «SYCLE START» για να περιστραφεί η άτρακτος κοπής δεξιόστροφα (M03) στις 1000 στροφές το λεπτό (S1000) και με τη χειροκίνητη λειτουργία (hand jog) πλησιάσαμε το κοπτικό πάνω από το ακατέργαστο, το οποίο βυθίσαμε 0,5 mm.

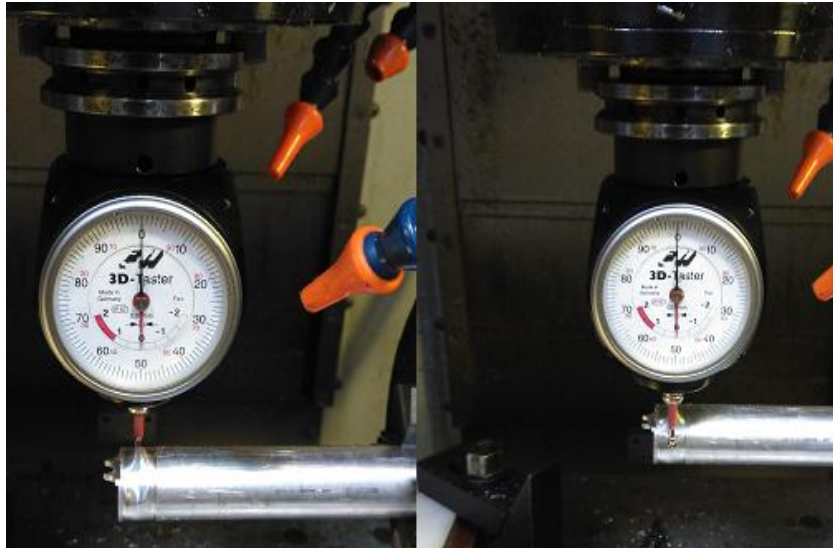
Εντούτοις, επιλέχθηκε η περιστροφή του τέταρτου άξονα μέσω των πλήκτρων «+B για δεξιά περιστροφή» ή «-B για αριστερή περιστροφή», ώστε να αφαιρεθεί υλικό από τη συνολική περίμετρο του ακατέργαστου, δημιουργώντας μια νέα διάμετρο (**Εικόνα 3.4.2.5**), η οποία το κέντρο περιστροφής της βρίσκεται στο κέντρο περιστροφής της κεφαλής υποδοχής (τσοκ).



Εικόνα 3.4.2.5 Απεικόνιση νέας διαμέτρου

Αφότου, λοιπόν, υλοποιήθηκαν τα παραπάνω, τοποθετήθηκε στην άτρακτο κοπής το εργαλείο παραλληλισμού-μηδενισμού (3Dtaster), όπου μέσω της χειροκίνητης λειτουργίας (hand jog), η μύτη του 3Dtaster ορίστηκε, με τέτοιο τρόπο ώστε, να βρίσκετε: i) σε σημείο από τη μέσα πλευρά του ακατέργαστου, ii) στον άξονα z πάνω από το κέντρο της διαμέτρου, που δημιουργήθηκε από την προηγούμενη κατεργασία και iii) στο x στο μέσο του πλάτους, της ήδη δημιουργημένης διαμέτρου (**Εικόνα 3.4.2.6**).

Ωστόσο, δημιουργώντας επαφή της μύτης του εργαλείου ευθυγράμμισης-μηδενίσματος (3Dtaster) έγινε περιστροφή του Δίκτη (taster) δύο φορές και η αναγραφόμενη τιμή του σημείου (της μύτης) απεικονίστηκε στην οθόνη της μονάδας ελέγχου της εργαλειομηχανής. Στη συγκεκριμένη, όμως, περίπτωση παρουσιάστηκαν δυο αναγραφόμενες τιμές «work & distance to go», με την πρώτη να θεωρείται πιο σημαντική από τη δεύτερη. Σημειώνοντας, στη πορεία, τη τιμή, αυτή, και θέτοντας ξανά την ίδια διαδικασία (που σημειώθηκε παραπάνω), η μύτη του 3Dtaster μετέβηκε ακριβώς από την απέναντι πλευρά του ακατέργαστου, ακουμπώντας στον y δημιουργώντας περιστροφή του Δίκτη 2 φορές και σημειώνοντας ξανά την νέα αναγραφόμενη τιμή, η οποία αφαιρέθηκε από την προηγούμενη, δίνοντας εκ νέου αποτέλεσμα, το οποίο ισούται με την απόσταση που προέκυψε από τη μετάβαση της μύτης από τη μία πλευρά στην άλλη. Ενώ, διαιρώντας το αποτέλεσμα, αυτό, προκύπτει το μέσο της απόστασης, του οποίου η τιμή προστίθεται στη δεύτερη τιμή του work y και το αποτέλεσμα, το οποίο δόθηκε, είναι το σημείο κέντρου του ακατέργαστου στον άξονα του y. Ακόμα, μεταβαίνοντας στο παράθυρο μηδενίσματος ακατέργαστου πληκτρολογήθηκε η τιμή του y και αποθηκεύτηκε στο y του G54 της μηχανής (σημείο 0 ακατέργαστου στον y).



Εικόνα 3.4.2.6 Διαδικασία μηδενισμού κέντρου του ακατέργαστου στον άξονα y

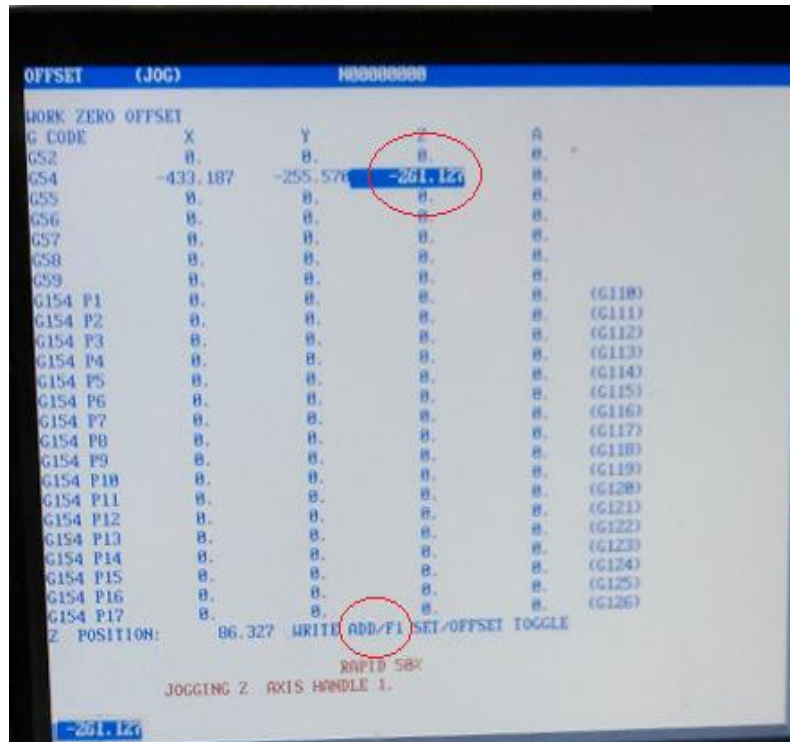
Παρόλα αυτά, με τη χειροκίνητη λειτουργία (hand jog) κατευθύνθηκε η μύτη του taster πάνω από το ακατέργαστο στο σημείο 0 του y (μέσο ακατέργαστου στο y), βυθίζοντας το, ώστε ο Δίκτης να περιστραφεί δύο φορές στον άξονα z (**Εικόνα 3.4.2.7**). Σημειώνοντας τη τιμή που αναγράφεται στο work του z, στην οθόνη της μονάδας ελέγχου της εργαλειομηχανής και μετρώντας με ένα μικρόμετρο (**Εικόνα 3.4.2.8**) την δημιουργημένη διάμετρο του ακατέργαστου, αλλά και διαιρώντας την δια δύο το αποτέλεσμα προστίθεται στην τιμή work του z, η οποία πληκτρολογήθηκε και αποθηκεύτηκε στο παράθυρο μηδενίσματος του ακατέργαστου στον z του G54 (**Εικόνα 3.4.2.9**).



Εικόνα 3.4.2.7 Μηδενισμός κέντρου του ακατέργαστου στον άξονα z



Εικόνα 3.4.2.8 Απεικόνιση ψηφιακού μικρομέτρου



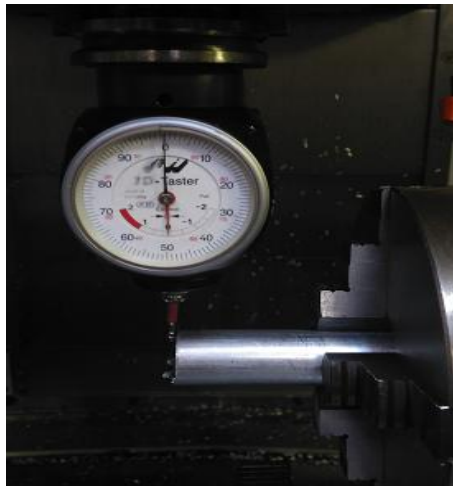
Εικόνα 3.4.2.9 Απεικόνιση παραθύρου του σημείου 0 (G54) του ακατέργαστου

3.5 Μηδενισμός Ακατέργαστων δακτύλων-παλάμης & ραχιαίας επιφάνειας

Ο μηδενισμός ακατέργαστου υλικού πραγματοποιείται για να μπορεί να γνωρίζει η εργαλειομηχανή σε πια θέση, στο χώρο εργασίας της, εντάσσεται το ακατέργαστο υλικό, ώστε να πραγματοποιούνται οι προγραμματιζόμενες κατεργασίες πάνω σε αυτό. Τέλος, η διαδικασία, αυτή, μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια του εργαλείου παραλληλισμού-μηδενίσματος (3Dtaster).

3.5.1 Μηδενισμός ακατέργαστου δακτύλων

Αφού έγινε μηδενισμός του 4^{ου} άξονα στο κέντρο περιστροφής του, ταυτόχρονα υλοποιήθηκε μηδενισμός και στο κέντρο περιστροφής του ακατέργαστου. Επομένως, οποιασδήποτε διαμέτρου ακατέργαστο τοποθετεί στον 4^ο άξονα είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί πως, ο μηδενισμός πρέπει μόνο να πραγματοποιείται στον άξονα x, ακουμπώντας με τη χρήση της χειροκίνητης λειτουργίας (hand jog) τη μύτη του taster και εισάγοντας την πάνω στο εμπρόσθιο τμήμα της επιφάνειας του ακατέργαστου, η οποία είναι κάθετη στον άξονα του x, ως που ο Δίκτης του taster να περιστραφεί δύο φορές (Εικόνα 3.5.1.1). Η αναγραφόμενη τιμή του x που εμφανίζεται στο work της μονάδας ελέγχου της εργαλειομηχανής αποθηκεύεται στο x του G54 (σημείο 0 ακατέργαστου στον x), πιέζοντας το πλήκτρο « Part Zero Set».



Εικόνα 3.5.1.1 Απεικόνιση μηδενισμού του άξονα x

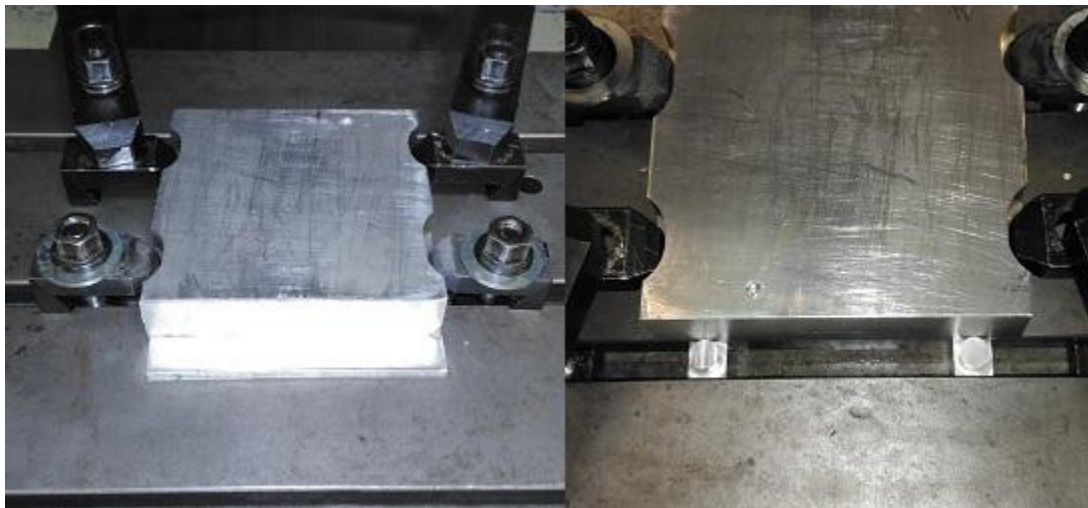
3.5.2 Μηδενισμός ακατέργαστου παλάμης & ραχιαίας επιφάνειας

Προτού πραγματοποιηθεί ο μηδενισμός του ακατέργαστου, διευθετήθηκαν οι εξής διεργασίες: i) τοποθέτηση ακατέργαστου υλικού στην τράπεζα της εργαλειομηχανής και στήριξη υλικού από τις δύο απέναντι πλευρές, ii) τοποθέτηση κοπτικού εργαλείου End Mill διαμέτρου 10 mm \geq για τη δημιουργία μίας ορθής γωνίας, η οποία σχηματίστηκε μέσω της διεργασίας κοπής, ώστε να πραγματοποιηθεί στη συγκεκριμένη γωνία ο μηδενισμός του ακατέργαστου, iii) τοποθέτηση κοπτικού εργαλείου τύπου Φρέζα Φ40 mm για τη δημιουργία τεσσάρων εγκοπών στις δύο απέναντι πλευρές (όπως φαίνονται στην εικόνα), ώστε να είναι εφικτή η διατήρηση του ακατέργαστου από τα εξαρτήματα συγκράτησης (clamping kits), πάνω στην τράπεζα της εργαλειομηχανής.



Εικόνα 3.5.2.1 Απεικόνιση δημιουργίας 4ον εγκοπών στήριξης ακατέργαστου

Εν συνεχεία, για το μηδενισμό του ακατέργαστου εισάχθηκαν στις εσοχές-εγκοπές της τράπεζας της εργαλειομηχανής δύο μικροί κύλινδροι, όπου πάνω σε αυτούς εισήλθε η επεξεργασμένη πλευρά του ακατέργαστου, η οποία με τη βοήθεια των δύο κυλίνδρων παραλληλίστηκε με τον άξονα του x . Έπειτα, σειρά είχαν τα εξαρτήματα σύσφιξης για τη στερέωση του ακατέργαστου πάνω στην τράπεζα για να προκληθεί μηδενισμός στην δημιουργημένη, από την προηγούμενη κατεργασία, ορθή γωνία στους άξονες x & y . Τέλος, ο άξονας z μηδενίστηκε στην άνω επιφάνεια του ακατέργαστου.



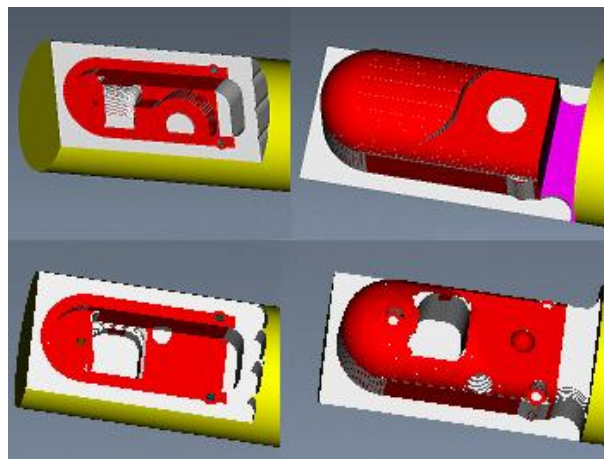
Εικόνα 3.5.2.2 Απεικόνιση των κυλίνδρων παραλληλισμού του ακατέργαστου

3.6 Διαδικασία κοπής

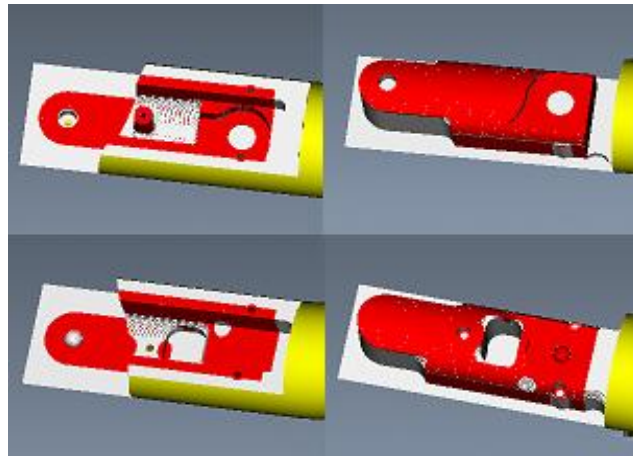
Η διαδικασία κοπής έγινε μέσω της εργαλειομηχανής CNC, έπειτα από την υλοποίηση των αναφερθέντων παραπάνω διαδικασιών του παρόντος κεφαλαίου, εισάγοντας το πρόγραμμα κοπής μέσω ενός USB (Εικόνα 3.6.1) από τον υπολογιστή στη μονάδα ελέγχου MCU της εργαλειομηχανής. Όμως, για μια πιο ευδιάκριτη ανάλυση, η διαδικασία, αυτή, παρουσιάζεται παρακάτω μέσω φωτογραφικού υλικού.



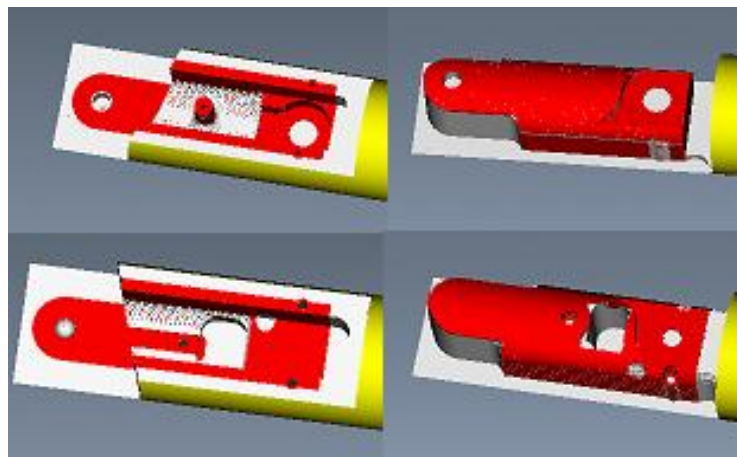
Εικόνα 3.6.1 Εισαγωγή USB στην αντίστοιχη θύρα



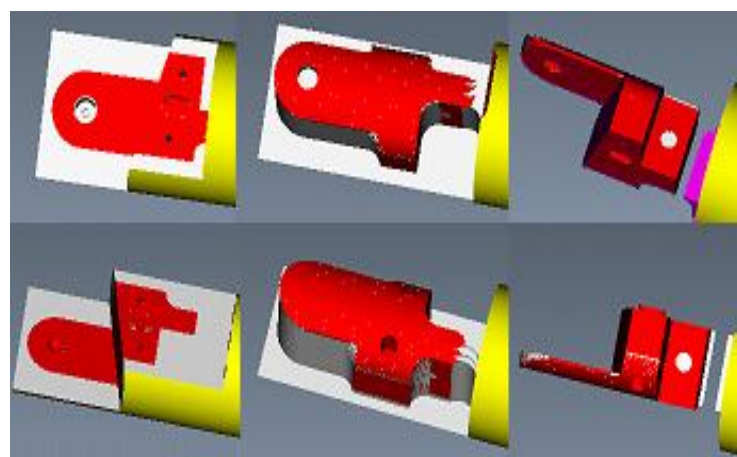
Εικόνα 3.6.2 Απεικόνιση προσομοίωσης κοπής της άπω φάλαγγας



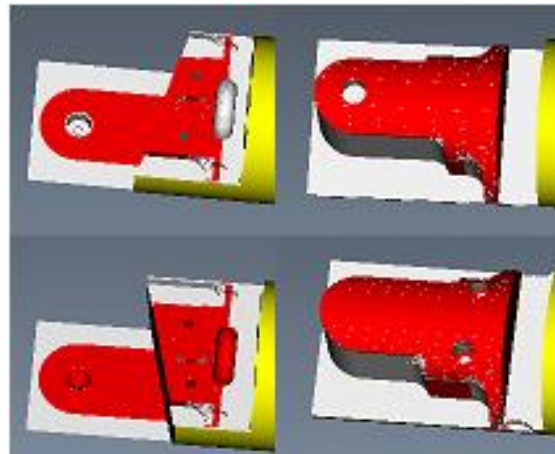
Εικόνα 3.6.3 Απεικόνιση προσομοίωσης κοπής της μέσης φάλαγγας



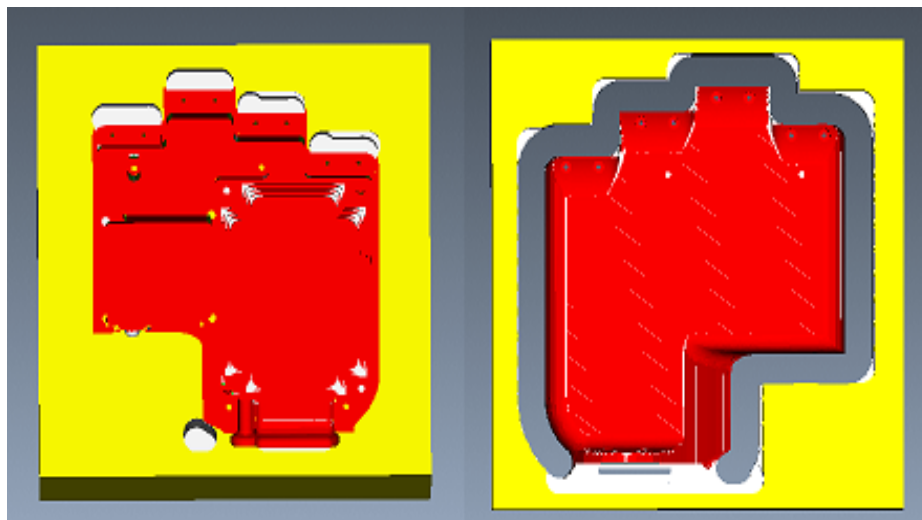
Εικόνα 3.6.4 Απεικόνιση προσομοίωσης κοπής της εγγύς φάλαγγας



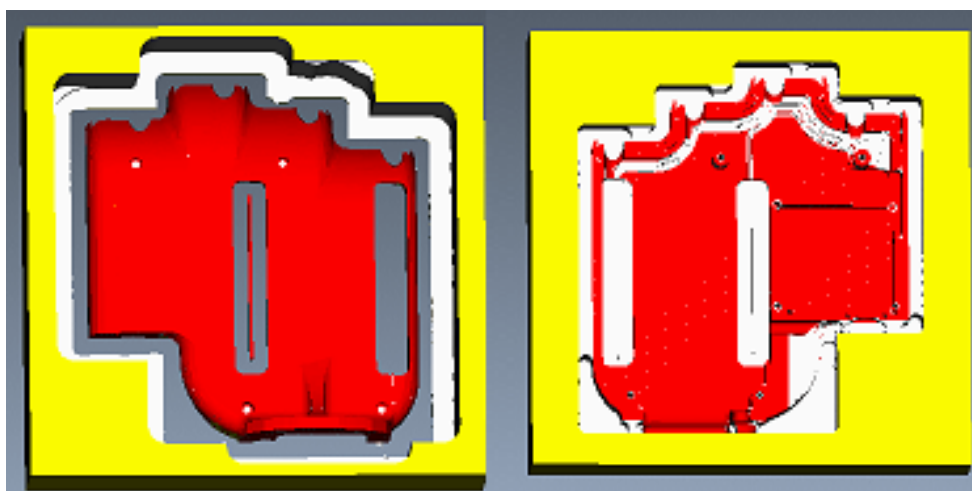
Εικόνα 3.6.5 Απεικόνιση προσομοίωσης κοπής Βάσης δακτύλου



Εικόνα 3.6.6 Απεικόνιση προσομοίωσης κοπής βάσης αντίχειρα



Εικόνα 3.6.7 Απεικόνιση προσομοίωσης κοπής παλάμης



Εικόνα 3.6.8 Απεικόνιση προσομοίωσης κοπής ραχιαίας επιφάνειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΙΣΗ

Εισαγωγή

Στο τέταρτο κεφάλαιο απεικονίζεται η διαδικασία της Συναρμολόγησης του ρομποτικού χεριού, καθώς και η προετοιμασία των σερβοκινητήρων και των κομματιών των δακτύλων.

4.1 Διαδικασία Συναρμολόγησης

Προτού ξεκινήσει η συναρμολόγηση του μεταλλικού ρομποτικού χεριού έγινε προετοιμασία του μηχανολογικού υποσυστήματος (σερβοκινητήρες) και του κάθε κομματιού των δακτύλων (λείανση, επεξεργασία εγχοπών, δημιουργία πολύσφηνου & σπειρωμάτων).



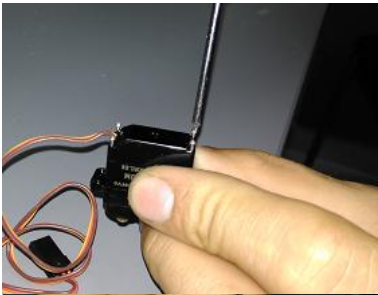
Εικόνα 4.1.1 Απεικόνιση κομματιών των δακτύλων μετά από επεξεργασία (λείανση & επεξεργασία εγχοπών)

4.1.1 Προετοιμασία σερβοκινητήρων.

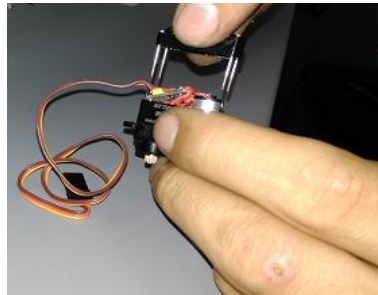
Η προετοιμασία των σερβοκινητήρων γίνεται με τα παρακάτω στάδια:

Στάδιο 1:

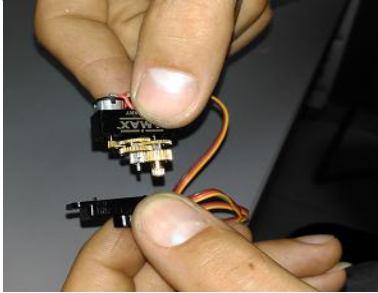
Ξεβίδωμα κοχλιών σερβοκινητήρα, αφαίρεση οπίσθιου καλύμματος σερβοκινητήρα και αφαίρεση εμπρόσθιου καλύμματος γραναζιών σερβοκινητήρα
(Εικόνες 4.1.1.1α, 4.1.1.1β, 4.1.1.1γ)



Εικόνα 4.1.1.1α



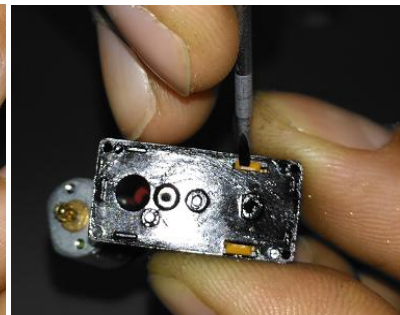
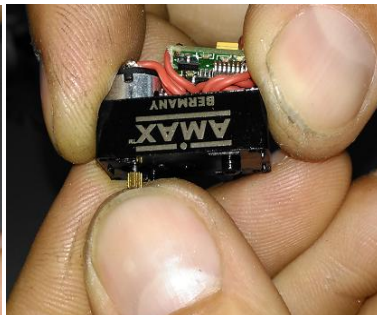
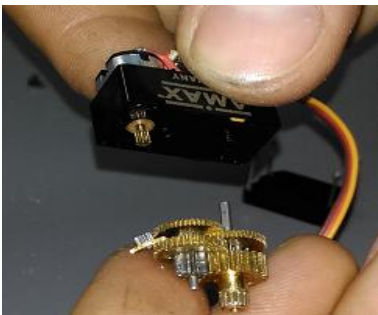
Εικόνα 4.1.1.1β



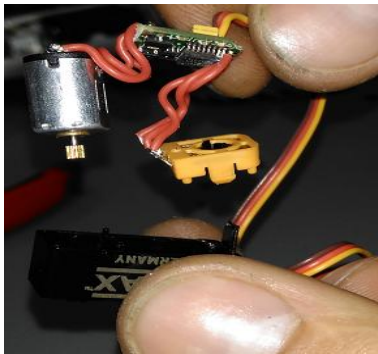
Εικόνα 4.1.1.1γ

Στάδιο 2:

Αφαίρεση γραναζιών σερβοκινητήρα, αφαίρεση του DC μοτέρ, αφαίρεση ποτενσιόμετρου σερβοκινητήρα, αφαίρεση του εσωτερικού υποσυστήματος σερβοκινητήρα και απεικόνιση του DC μοτέρ και του ποτενσιόμετρου πριν και μετά την νέα καλωδίωση
(Εικόνες 4.1.1.2α, 4.1.1.2β, 4.1.1.2γ, 4.1.1.2δ, 4.1.1.2ε)

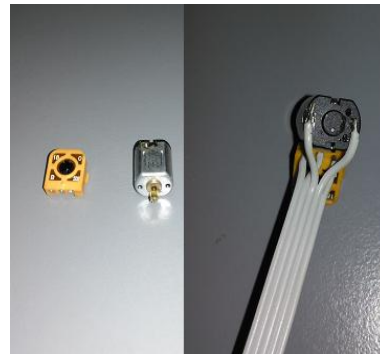


Εικόνα 4.1.1.2α



Εικόνα 4.1.1.2δ

Εικόνα 4.1.1.2β



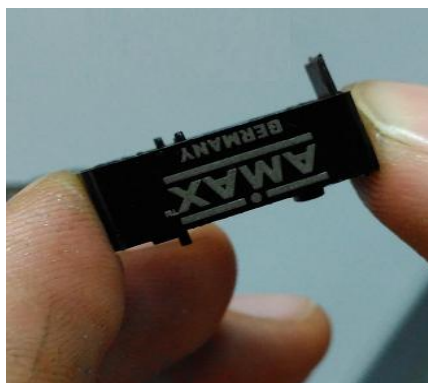
Εικόνα 4.1.1.2ε

Εικόνα 4.1.1.2γ

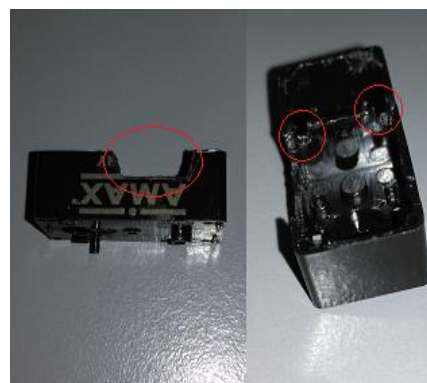
Στάδιο 3:

Με τη χρήση ενός κολητικού σταθμού γίνεται αφαίρεση υλικού στο σκελετό του σερβοκινητήρα στα σημεία που απεικονίζονται στην εικόνα 4.1.1.3β.

Απεικόνιση σκελετού σερβοκινητήρα πριν τη μετατροπή και απεικόνιση σκελετού σερβοκινητήρα μετά την μετατροπή (Εικόνες 4.1.1.3α, 4.1.1.3β)



Εικόνα 4.1.1.3α



Εικόνα 4.1.1.3β

Στάδιο 4:

Τοποθέτηση του DC κινητήρα & του ποτενσιόμετρου. Απεικόνιση μετά το τέλος της συναρμογής των επιμέρους εξαρτημάτων του σερβοκινητήρα (Εικόνες 4.1.1.4α, 4.1.1.4β)



Εικόνες 4.1.1.4α

Εικόνες 4.1.1.4β

4.1.2 Προετοιμασία κομματιών δακτύλων.

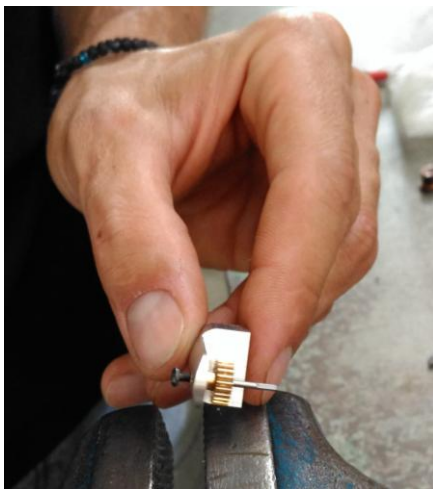
Στην προετοιμασία των κομματιών έπρεπε, να δημιουργηθεί πολύσφηνο (καρέ θηλυκό) στην πλήμνη (τρύπα) του κομματιού, σε εκείνου που συναρμολογείτε στο πολύσφηνο του γραναζιού του σερβοκινητήρα. Στη διαδικασία, αυτή, έγινε χρήση του γραναζιού κάθε σερβοκινητήρα, τριών κυλίνδρων (δυο για την συμπίεση (πρεσάρισμα) και ένα για την αποσυμπίεση (ξεπρεσάρισμα), ενός κοχλία και ενός σφυριού. Η παρούσα διαδικασία αναπαρίσταται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 4.1.2.1α Απεικόνιση τρόπου τοποθέτησης του γραναζιού και των κυλίνδρων πάνω στην μέγγενη



Εικόνα 4.1.2.1β Απεικόνιση μετά από συμπίεση (πρεσάρισμα)



Εικόνα 4.1.2.2α Τοποθέτηση κοχλία πάνω στο γρανάκι για αποσυμπίεση (ξεπρεσάρισμα)



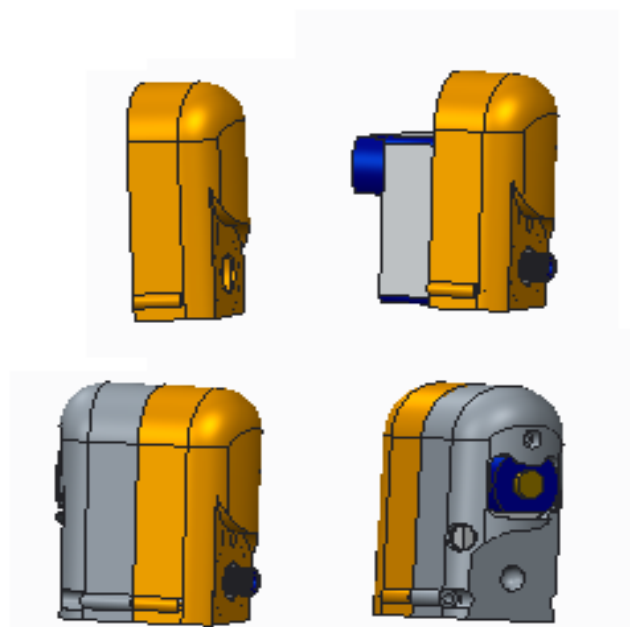
Εικόνα 4.1.2.2β Χτύπημα με την χρήση ενός σφυριού για αποσυμπίεση του γραναζιού

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται 3-4 φορές (πρεσάρισμα-ξεπρεσάρισμα) για το κάθε κομμάτι, με το αντίστοιχο γρανάζι συναρμογής του.

4.1.3 Συναρμολόγηση Δακτύλου.

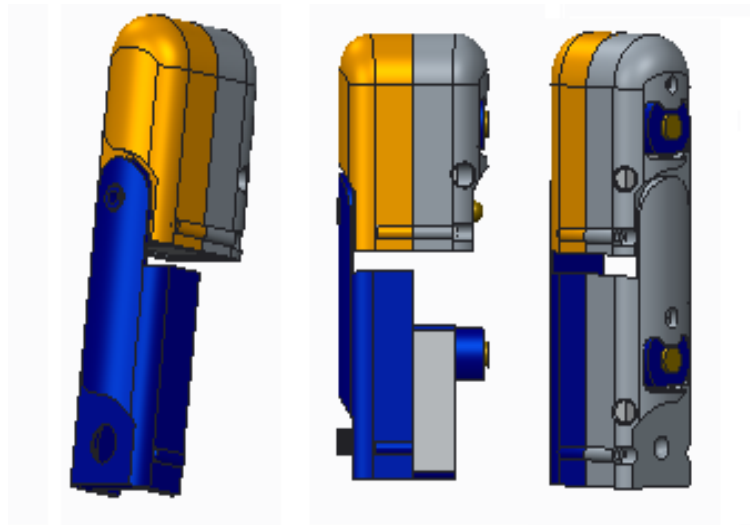
Από τη στιγμή που όλα τα δάκτυλα είναι όμοια, η διαδικασία συναρμολόγησης του ενός, θα είναι ίδια και με τα υπόλοιπα. Επομένως, αφού έχει πραγματοποιηθεί η προηγούμενη διαδικασία μετατροπής των σερβοκινητήρων και η δημιουργία των πολύσφηνων (θηλυκό καρέ) τα στάδια της συναρμολόγησης είναι τα εξής:

1^ο Στάδιο : Συναρμολόγηση άπω φάλαγγας (Εικόνα 4.1.3.1)



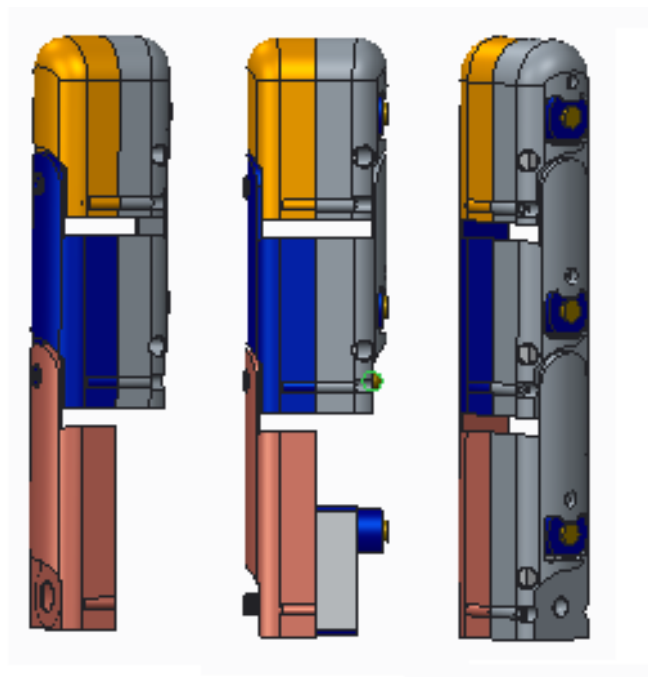
Εικόνα 4.1.3.1 Απεικόνιση πρώτου σταδίου, συναρμολόγηση άπω φάλαγγας

2^ο Στάδιο : Συναρμολόγηση μέσης φάλαγγας (Εικόνα 4.1.3.2)



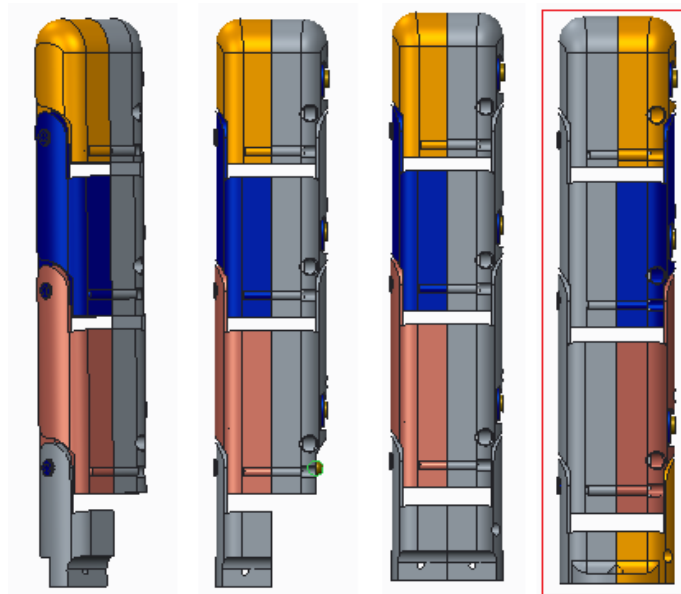
Εικόνα 4.1.3.2 Απεικόνιση δεύτερου σταδίου συναρμολόγησης μέσης φάλαγγας

3^ο Στάδιο : Συναρμολόγηση εγγύς φάλαγγας (Εικόνα 4.1.3.3)



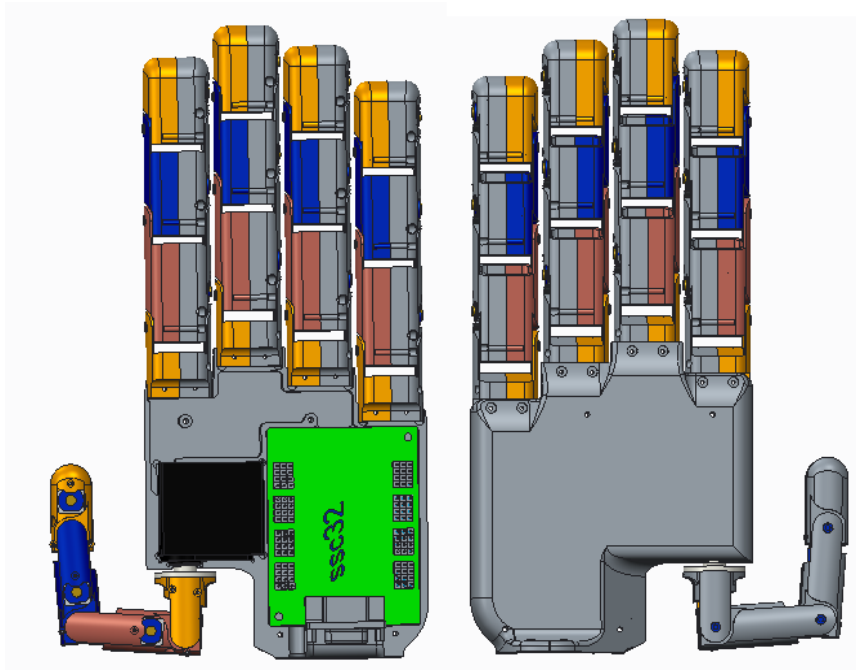
Εικόνα 4.1.3.3 Απεικόνιση τρίτου σταδίου, συναρμολόγηση εγγύς φάλαγγας

4^ο Στάδιο : Συναρμολόγηση βάσης δακτύλου (Εικόνα 4.1.3.4)



Εικόνα 4.1.3.4 Απεικόνιση τέταρτου σταδίου, συναρμολόγηση βάσης δακτύλου & βάσης αντίχειρα (κόκκινο πλαίσιο)

5^ο Στάδιο : Συναρμολόγηση δακτύλων, σερβοκινητήρα αντίχειρα και σερβοελεγκτή πάνω στην παλάμη (Εικόνα 4.1.3.5)



Εικόνα 4.1.3.5 Απεικόνιση συναρμολόγησης δακτύλων, σερβοκινητήρα αντίχειρα & μονάδας ελέγχου στην παλάμη

4.2 Πίνακες κοστολόγησης μεταλικού ρομποτικού χεριού

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΥΛΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Είδος/Υλικό	Τεμάχια	Κόστος / τεμάχιο (€)	Συνολικό κόστος (€)
Servo <i>G12DM</i>	15	7,5	112,5
Servo <i>Hitec HS-645MG</i>	1	25	25
Servo control <i>SSC-32</i>	1	40	40
Μπάρα αλουμινίου Φ25 1m	3	13,63	40,89
Παραλληλεπίπεδο αλουμίνιο 7075 150x150x30 mm	2	12,5	25
Παραλληλεπίπεδο αλουμίνιο 7075 60x60x75 mm	1	10	10
Βίδες M1.4x12mm	55	0,8547	47
Βίδες M2x8mm	12	0,05	0,6
ΣΥΝΟΛΟ	-	-	300,99

Πίνακας 4.2.1 κόστος υλικών & εξαρτημάτων

Στον παραπάνω πίνακα (**Πίνακας 4.2.1**), η μπάρα αλουμινίου αλλά και τα παραλληλεπίπεδα αλουμινίου είναι ακατέργαστα υλικά.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ

Χρόνος κοπής (min)	Κόστος / λεπτό (€/min)	Συνολικό κόστος (€)
2954,01	1	2954,01
ΣΥΝΟΛΟ	-	2954,01

Πίνακας 4.2.2 κόστος κατασκευής εξαρτημάτων

Από του παραπάνω πίνακες το κόστος κατασκευής του μεταλικού ρομποτικού χεριού υπολογίζεται στα **3255 €**

Στο παραπάνω κόστος δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος εργασίας μετατροπής των σερβοκινητήρων, η προετοιμασία των κομματιών που χρειαζόταν να δημιουργηθεί πολύσφηνο, ο χρόνος σχεδίασης αλλά και ο χρόνος προετοιμασίας της εργαλειομηχανής.

4.3 Βελτιώσεις ρομποτικού χεριού

Για όσο αφορά το μέγεθος του ρομποτικού χεριού μια από τις πιο σημαντικές βελτιώσεις που θα μπορούσε να γίνη, είναι η αφαίρεση του σερβοελεγκτή από το εσωτερικό της παλάμης και να τοποθετούταν σε κάποια εξωτερική βάση.

Δεύτερη βελτίωση θα ήταν αν κατασκευαζόταν ένας μικρότερος σε μέγεθος σερβοελεγκτής έτσι ώστε το μέγεθος της παλάμης να γινόταν μικρότερο.

Οι παραπάνω προαναφερθέντες βελτιώσεις θα καθόριζαν ένα ρομποτικό χέρι ακόμα πιο κοντά στις διαστάσεις ενός ανθρώπινου χεριού.

Για όσο αφορά την αίσθηση και τον προσανατολισμό του ρομποτικού χεριού, θα μπορούσε να τοποθετηθούν αισθητήρια δύναμης ή πίεσης, για την αντίληψη επαφής σε κάποια επιφάνεια ακόμα και για το πόσο δήναμη ασκείτε στην επιφάνεια αυτή. Αυτό θα μπορούσε να γίνει εφικτό με την βοήθεια ενός μικροελεγκτή.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Κάθε επιστήμη αρχίζει σαν φιλοσοφία και τελειώνει σαν τέχνη (Will Durant, 1885-1981). Μια τέχνη δημιουργική, απόλυτη και ταυτόχρονα μυστηριώδης, όπως ακριβώς, η τέχνη της τεχνολογίας και της ρομποτικής. Θα μπορούσε κανείς, να αποσιωπήσει τον επίλογο, όμως, η επιλογή του θέματος και η δυναμικότητα του δεν το επιτρέπουν σε σημαντικό βαθμό. Γι' αυτό και έγινε μια επαρκής μελέτη σε ότι αφορά τη ρομποτική, την επιστήμη και το σχεδιασμό των σύγχρονων τεχνολογιών.

Ωστόσο, θα ήταν αξιόλογο να επισημανθεί πως μια πρώτη δυσκολία επί του θέματος υπήρξε ως προς τη περιορισμένη βιβλιογραφία, καθώς ένα μέρος της αποτελούνταν κυρίως από ιστορικές προσεγγίσεις, έχοντας ως απόρροια αφενός την αργή συγγραφή της εργασίας και αφετέρου την κατασκευή του μεταλλικού ρομποτικού χεριού. Επίσης, ιδιαίτερα σημαντικό, θεωρείται η συγκέντρωση αρκετών στοιχείων πάνω στην χρησιμότητα τους, που εμμέσων πλην σαφώς αποτέλεσε ένα δεύτερο αρνητικό παράγοντα, όχι για το συνονθύλευμα των στοιχείων, αλλά για τη συγχώνευση και την επιλογή αυτών και τη χρησιμότητα τους μέσα στο κείμενο. Ενώ τέλος, δυσκολίες υπήρξαν και ως προς τη συναρμολόγηση των κομματιών του χεριού (δακτύλων και αντίχειρα) λόγω των ανοχών, αλλά και ως προς την εύρεση απαιτούμενων κοχλιών κατάλληλου μήκους.

Παρόλα αυτά, η κατασκευή ενός μεταλλικού ρομποτικού χεριού ήταν πρόκληση, καθώς χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές και μέθοδοι, βασιζόμενοι σε σύγχρονα εφαρμοστικά μοντέλα. Ακόμα και ο σχεδιασμός, αλλά και η μελέτη των απαραίτητων ηλεκτρονικών υποσυστημάτων για τον έλεγχο και την ενεργοποίηση του μεταλλικού ρομποτικού χεριού στηρίχθηκε στα πλαίσια σύγχρονων ηλεκτρονικών μονάδων (σερβοκινητήρες-επενεργητές). Ουσιαστικά, εκείνο το οποίο επιχειρήθηκε ήταν η δημιουργία ενός ρομποτικού χεριού, το οποίο να παρέχει μια ποιοτικότερη ζωή στα άτομα με κινητικές δυσλειτουργίες των άνω άκρων, αλλά και να είναι λειτουργήσιμο σε ακραίες περιβαλλοντικές αλλαγές (πυρηνικές εκρήξεις). Εν τέλει, το σίγουρο είναι ότι η τεχνολογία της ρομποτικής αποτελεί ένα στοίχημα για τα σύγχρονα ζητήματα της επιστήμης, καθώς η έκβαση της θεωρείται εξελίξιμη και μελλοντικά προκλητική.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- [1]. Βάσιος Κωνσταντίνος (2013), Έλεγχος Δυναμικής Εμπέδησης Επιδέξιας Ρομποτικής Λαβής στο πλαίσιο του χειριζόμενου αντικειμένου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, Αθήνα.
- [2]. Δρούκας Λεωνίδα (2016), Έλεγχος Εξασφάλισης Κύλισης σε Σφαιρικά Ρομποτικά Ακροδάχτυλα, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης-Πολυτεχνική Σχολή-Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών, Θεσσαλονίκη.
- [3]. Ιωαννίδου Μαρία-Παρασκευή (2008), Συστήματα Ειδικών Ηλεκτρικών Κινητήρων, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πανεπιστημίου, Αθήνα.
- [4]. Κοντούδης Γεώργιος (2016), Σχεδίαση και Κατασκευή Υποεπενεργούμενου, Ανθρωπομορφικού Ρομποτικού χεριού, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών-Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτόματου Ελέγχου-Εργαστήριο Αυτόματου Ελέγχου, Αθήνα.
- [5]. Κριτσωτάκης Νικόλαος (2012), Κινηματική Ανάλυση και Έλεγχος Κίνησης-Λαβής Ανθρωπόμορφου Ρομποτικού χεριού, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης-Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών-Τμήμα Μηχανολογίας, Ηράκλειο.
- [6]. Κωνσταντουδάκης Ιωάννης (2012), Σχεδίαση και Κατασκευή Ανθρωπόμορφου Ρομποτικού χεριού, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης-Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών-Τμήμα Μηχανολογίας, Ηράκλειο.

- [7].Μαδεμλής Χρήστος (2010), Σερβοκινητήρια Συστήματα-Επαγωγικοί Κινητήρες και Σύγχρονοι Κινητήρες Μόνιμου Μαγνήτη, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα.
- [8].Μαυρογιάννης Χριστόφορος (2013), Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης Λαβής Αντικειμένων για επιδέξια Ρομποτικά χέρια, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών-Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτόματου Ελέγχου-Εργαστήριο Αυτόματου Ελέγχου, Αθήνα.
- [9].Περισκόπιο της Επιστήμης Τεύχος 297.
- [10]. Πετούσης Μάρκος (2003), Ανάπτυξη Μηχανολογικών Εφαρμογών με τη βοήθεια Η/Υ, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης-Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών-Τμήμα Μηχανολογίας, Ηράκλειο.
- [11]. Σέφη Τατιανή & Μπανάβου Νίκη (2013), Υλοποίηση Ρομποτικού Βραχίονα με χρήση της πλατφόρμα Arduino, Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Σερρών-Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών-Τμήμα Πληροφορικής και Επικοινωνίας, Σέρρες.
- [12]. Τραχανά Ζωή (2016), Σχεδιασμός Χειρισμού για ένα υποεπενεργούμενο Ρομποτικό χέρι που εκτελεί ανθρωπομορφικές κινήσεις, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών-Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτόματου Ελέγχου-Εργαστήριο Αυτόματου Ελέγχου, Αθήνα.
- [13]. Τζαφέστας Σπύρος (1998), Εισαγωγή στον κλασσικό αυτόματο έλεγχο, Αθήνα.
- [14]. Τζιαμάλας Άκης (2012), Σερβοκινητήρες και Σερβοκινητήρια Συστήματα, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο-Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών-Τομέας Ηλεκτρικών Βιομηχανικών Διατάξεων και Συστημάτων Αποφάσεων, Αθήνα.

- [15]. Τζές Αντόνιος & Ανδρεανέσης Κωνσταντίνος (2010), Κατασκευή καινοτόμου προσθετικού χεριού με χρήση βιομιμητικών ενεργοποιητών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών-Τομέας Συστημάτων και Αυτόματου Ελέγχου, Πάτρα.
- [16]. Τσοτουλίδης Σάββας & Σαφάκας Αθανάσιος (2010), Εξελίξεις στην Τεχνολογία των Ηλεκτρικών Κινητήρων στη Ρομποτική, Εργαστήριο Ηλεκτρονικής Μετατροπής Ενέργειας-Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών-Πανεπιστήμιο Πατρών, Ρίον-Πάτρα.
- [17]. Φασουλάς Ιωάννης (2004), Ευσταθής Λαβή και Χειρισμός Αντικειμένου από Ρομποτικά Δάκτυλα με Παραμορφώσιμα Άκρα και Δυνατότητα Κύλισης στο Δυσδιάστατο χώρο, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών-Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών-Εργαστήριο Αυτοματοποίησης και Ρομποτικής, Θεσσαλονίκη

Ξενόγλωσση

- [18]. John Fasoulasa , Michael Sfakiotakisb , Ioannis Konstantoudakisa and Nikolaos Kritsotakisa (2016) Design, Development and Control of the Anthropomorphic Robotic Hand TALOS
- [19]. Kenjo Takashi (1991), Electric Motors and their Controls, Oxford University Press- Oxford.
- [20]. Robertson G., Caldwell G., Hamill J., Kamen G. & Whittlesey S. (2004), Research Methods in Biomechanics, Human Kinetics, Champaign, IL.
- [21]. Ventimiglia Paul (LA&E) (2012), Design of a human hand prosthetic, Worcester Polytechnic Institute, April.
- [22]. Perez-Gracia Alba & Crawford L. Anthony (2010), Design of a Robotic Hand with a Biologically-Inspired Parallel Actuation System for Prosthetic Applications, Volume 2: 34th Annual Mechanisms and Robotics Conference, Parts A and B Montreal, Quebec, Canada, August 15–18.
- [23]. Ravi Balasubramanian & Veronica J. Santos (2014), The Human Hand as an Inspiration for Robot Hand Development, Springer International Publishing Switzerland.
- [24]. Santos V., Valero Cuevas F., Allen P. & Miller A. (2005), From Robotic Hands to Human hands: a visualization and simulation engine for grasping research, Emerald Group Publishing Limited.
- [25]. Thierry Laliberte, Lionel Birglen & Clement Gosselin (2008), Underactuated Robotic Hands, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- [26]. Matteo Bianchi & Alessandro Moscatelli (2016), Human and Robotic Hands, Springer International Publishing Switzerland.
- [27]. Salisbury J. Kenneth and Matthew T. Mason (1985), Robot Hands and the Mechanics of Manipulation, the MIT Press, May.
- [28]. Jonh J. Craig (2005), Introduction to Robotics: Mechanics and Control, Person India-Third Edition
- [29]. Paul H. Chappell (2016), Mechatronic Hands: Prosthetic and Robotic Design, the Institution of Engineering and Technology- First Edition, July.

Site

www.spectrum.ieee.org

www.dailymail.co.uk

www.mindtrans.narod.ru

www.en.wikipedia.org

www.instructables.com

www.homes.cs.washington.edu

www.openbionics.org

www.qz.com

www.robotnik.eu

www.shadowrobot.com

www.theguardian.com

www.digitaltrends.com

www.pts.uk

www.ebay.com

<http://selector.dormertools.com/web/eng/en-gb/mm>