



National Technical University of Athens
School of Mechanical Engineering
Mechanical Design & Automatic Control

Diploma Thesis of Ioannis M. Papakis

Design and Development
of a Portable Robotic Telescopic Arm,
extending the reach-space of the elderly

Advisor: Konstantinos J. Kyriakopoulos
Professor N.T.U.A.

CONTROL SYSTEMS LAB
Athens, July 2017



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου
Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου

Σχεδίαση και Κατασκευή
Φορητού Ρομποτικού Τηλεσκοπικού Βραχίονα,
με στόχο τη διεύρυνση του πεδίου
πρόσβασης ηλικιωμένων

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του Ιωάννη Μ. Παπάκη

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Κυριακόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την ... Ιουλίου 2017.

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

.....

Κωνσταντίνος Κυριακόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Ευάγγελος Παπαδόπουλος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Γεώργιος Βοσνιάκος
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2017

(Υπογραφή)

.....

ΙΩΑΝΝΗΣ Μ. ΠΑΠΑΚΗΣ

Διπλωματούχος Μηχανολόγος Μηχανικός Ε.Μ.Π.

Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International License.



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου
Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου



Η παρούσα διπλωματική εργασία βασίζεται στο **πρότυπο** L^AT_EX του Εργαστηρίου Συστημάτων Βάσεων Γνώσεων και Δεδομένων της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π. και το περιεχόμενο της διανέμεται με **Creative Commons Attribution–ShareAlike 4.0 International License**.

*Αφιερώνεται στους Μαρία, Μιχάλη και Βασίλη Παπάκη,
στη γιαγιά Ελένη και στον παππού Γιάννη
και στην Ελεάννα*

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Κώστα Κυριακόπουλο για τη βοήθεια και στήριξη του καθ' όλη τη διάρκεια του τελευταίου μου ακαδημαϊκού έτους. Η συνεργασία μας ήταν αποτελεσματική και αντιμετωπίσαμε το αντικείμενο της διπλωματικής σκεπτόμενοι όλη τη διαδικασία υλοποίησης μαζί, θέτοντας χρονικά πλαίσια και στόχους. Η στήριξη του ήταν εκτός από γνωστική και ψυχολογική και τον ευχαριστώ για αυτό. Επίσης, πρέπει να ευχαριστήσω το διδακτορικό σπουδαστή Γιώργο Ζωγόπουλο για τη συμβουλευτική του στο κατασκευαστικό αντικείμενο και τον καθηγητή Βασίλειο Σπιτά για την καθοδήγηση του. Κλείνοντας, ευχαριστίες πρέπει να δώσω και στο Δήμο Δημακόπουλο, στο Μπάμπη Παπακωνσταντίνου, στο Γιάννη Νταβλιάχο, στον Πάνο Μαράντο, στο Σταμάτη Πολύδωρα και Γιώργο Κοντούδη για τις οδηγίες που μου πρόσφεραν.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής, είναι η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός φορητού μηχανισμού χαμηλού βάρους. Ο μηχανισμός αυτός θα ελέγχεται και θα χρησιμοποιείται από άτομα με σκοπό την αρπαγή ενός αντικειμένου που βρίσκεται σε ορισμένη απόσταση, τέτοια που καθιστά είτε αδύνατη είτε δύσκολη τη μετακίνηση του χρήστη.

Η συσκευή προορίζεται για άτομα τρίτης ηλικίας που λόγω του φυσικού γήρας ή άλλων προβλημάτων υγείας, βρίσκονται στην προαναφερθείσα κατάσταση. Η σχεδίαση της γίνεται με γνώμονα την ιδιαιτερότητα των ατόμων τρίτης ηλικίας, που είναι η μειωμένη μυϊκή δύναμη, συνεπώς το βάρος της συσκευής αποτελεί μείζονα παράγοντα σχεδιαστικών επιλογών. Επίσης, ο κατάλληλος τρόπος χρήσης της προβλέπεται και επισημαίνεται.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η παρούσα εργασία γίνεται έχοντας σαν προϋπόθεση ότι ο τηλεσκοπικός μηχανισμός που θα δημιουργηθεί, θα φέρει, στο άκρο του, το ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι, που έχει ήδη κατασκευαστεί και είναι λειτουργικό, από το Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου του τομέα Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτομάτου Ελέγχου του Ε.Μ.Π..

Αρχικά, γίνεται μία εποπτική αξιολόγηση των απαιτήσεων και των προσδοκιών μας στο βαθμό που αυτό είναι εφικτό προγενέστερα των αναλύσεων διαφόρων υλικών και κινηματικών μηχανισμών. Κυριότερος στόχος πέραν του χαμηλού βάρους κατασκευής, είναι η επίτευξη του μέγιστου δυνατού μήκους προέκτασης του μηχανισμού.

Ακολουθεί η διαδικασία της σύγκρισης μηχανισμών που θα μπορούσαν πιθανώς να αποτελέσουν επιλογή για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Από αυτές διακρίνεται ο μηχανισμός των ψαλιδοειδών στοιχείων ως ο καταλληλότερος με βάση τα κριτήρια στόχων και δυνατοτήτων.

Στη συνέχεια, αναλύεται το σύνολο των στοιχείων που θα συγκροτήσουν τη συσκευή. Γίνεται επιλογή των τεμαχίων αφού προσδιοριστούν τα κριτήρια επιλογής και οι εναλλακτικές δυνατές επιλογές. Ακολουθεί η πρόβλεψη της συμπεριφοράς αυτών κατά τη χρήση του μηχανισμού, από άποψη κινηματική, στατική και δυναμική.

Έπειτα, παρουσιάζεται η πραγματική συμπεριφορά του μηχανισμού με τη δυνατότητα που έχει για επιμήκυνση και επαναφορά φορτίου. Το τμήμα αυτό οδηγεί τόσο στην ασφαλή εξαγωγή συμπερασμάτων για την αποτελεσματικότητα της ίδιας συσκευής όσο και στην πρόβλεψη μελλοντικών βημάτων για τη βελτίωση της.

Η ορθότητα της όλης διαδικασίας σχεδιασμού και πρόβλεψης επαληθεύεται σε σημαντικό βαθμό με την ικανότητα του μηχανισμού για μεταβολή του μήκους και δυνατότητα κίνησης ακόμα και με φορτίο στο άκρο. Η συσκευή είναι φορητή, προσιτή και απλή στη χρήση της

και μελλοντικές προσπάθειες θα εστιάσουν στην περαιτέρω μείωση του βάρους της.

Λέξεις Κλειδιά

Τηλεσκοπικός μηχανισμός, Ψαλιδοειδή στοιχεία, Ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι, Αρπαγή αντικειμένων, Ρομποτικός βραχίονας, Μεταβολή μήκους, Ηλικιωμένοι, Τρίτη ηλικία.

Abstract

The objective of the current thesis is to design and develop a portable telescopic mechanism which is also lightweight. The mechanism will be controlled and used by humans in order to fetch items located at a certain distance, an action which would otherwise cause discomfort or be impossible for the user.

The device is destined for people of the third age who, due to their natural senescence or other health conditions, are situated in the aforementioned state. Its design is carried out, taking into consideration the speciality of this social group, which is reduced muscular force and thus the weight of the device plays a major role in its usability while its way of use is carefully predicted and described.

It must be noted that the task of the telescopic device is to work in compliance with the anthropomorphic robotic hand, manufactured in the Control Systems Laboratory at the Machine Design and Automatic Control Section of N.T.U.A..

At first, a supervisory evaluation is done concerning our demands and expectations for the device, at the point to which this is feasible before any considerations of materials and kinematic mechanisms. The main goal, apart from the low weight of the structure, is the achievement of the greatest possible length of extraction.

Following, is the process of comparing mechanisms that could possibly be appropriate for this specific application, concerning our goals and restrictions. The mechanism of the scissor like elements is distinguished among them as the most suitable.

Next, the parts, that will constitute the device, are analyzed. The final parts are chosen after defining the choice criteria and the alternative possible choices. A predictive analysis of their behaviour under real conditions is also presented, including kinematic, static and dynamic analysis of its components.

After that, experimental testing is carried out in order to validate its performance and abilities in varying its length and carrying objects. This procedure drives us to make safe conclusions about both the efficacy of the device and steps for the device's future improvement.

The whole process of design and analysis of the device's behaviour, is verified as successful by its final ability to vary in length while bearing external weight. The device is portable and easy to use and future improvements will focus on reducing its weight even more.

Keywords

Telescopic mechanism, Scissor like elements, Anthropomorphic robotic hand, Grasping of objects, Robotic arm, Length variation, Elderly, Third age.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	3
Περίληψη	5
Abstract	7
1 Εισαγωγή	15
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής	15
1.2 Δομή της διπλωματικής	16
1.3 Φυσιολογία ατόμων τρίτης ηλικίας	17
2 Συγκριτική αξιολόγηση τηλεσκοπικών μηχανισμών	21
2.1 Εποπτική αξιολόγηση	21
2.1.1 Μηχανισμός ψαλιδοειδών στοιχείων	22
2.1.2 Μηχανισμός ορθογωνικής-κυκλικής διατομής	24
2.1.3 Μηχανισμός συρόμενων-συρταρωτών τμημάτων	29
2.2 Λεπτομερής αξιολόγηση	32
2.2.1 Μηχανισμός ψαλιδοειδών στοιχείων	32
2.2.2 Μηχανισμός ορθογωνικής διατομής	35
3 Σχεδίαση	41
3.1 Κινούμενος μηχανισμός	41
3.1.1 Επιλογή	41
3.1.2 Στατική	48
3.1.3 Μοντελοποίηση	50
3.2 Κινητήριος μηχανισμός	54
3.2.1 Επιλογή	54
3.2.2 Στατική	64
3.2.3 Μοντελοποίηση	69
3.3 Δομή στήριξης	73
3.4 Επιπλέον στοιχεία λειτουργικότητας	78
3.5 Συναρμολογημένη κατασκευή	82
4 Πειράματα	85

4.1	Μετρήσεις	85
4.2	Δοκιμές αρπαγής αντικειμένων	88
5	Επισκόπηση	93
5.1	Συμπεράσματα	93
5.2	Μελλοντική ανάπτυξη	95
5.3	Σύνοψη	96
A'	Οδηγός συναρμολόγησης	97
A'.1	Τεμάχια	97
A'.1.1	Τεμάχια κινούμενης διάταξης	98
A'.1.2	Τεμάχια κινητήριας διάταξης	100
A'.1.3	Τεμάχιο βάσης	101
A'.1.4	Τεμάχια περιφερειακού εξοπλισμού	102
A'.2	Εξοπλισμός	104
A'.3	Συναρμολόγηση	105
A'.3.1	Συναρμογή παράλληλης διάταξης	105
A'.3.2	Συναρμογή μπροστινής παράλληλης διάταξης	107
A'.3.3	Συναρμογή παράλληλων διατάξεων στη σειρά	109
A'.3.4	Συναρμογή ψαλιδιών με σύστημα κίνησης	110
A'.3.5	Κατασκευή βάσης και τοποθέτηση περιφερειακού εξοπλισμού σε αυτή	111
A'.3.6	Συναρμογή ψαλιδιών με βάση	113
A'.3.7	Κατασκευή ηλεκτρονικών	114
A'.4	Συναρμολογημένη κατασκευή	116
	Γλωσσάριο	117
	Bibliography	118

Κατάλογος Σχημάτων

1.1	Μοντέλο χρήσης μυών δικεφάλου. Πηγή: [7]	18
2.1	Τηλεσκοπικοί μηχανισμοί με ψαλιδοειδή στοιχεία. α'. Μηχανισμός ανύψωσης, β'. Αναδιπλούμενη σκάλα, γ'. Λαμπτήρας μεταβλητού μήκους, δ'. Κρεμάστρα ρούχων	22
2.2	Τηλεσκοπικοί μηχανισμοί με ορθογωνική διατομή. α'. Γερανός, β'. Γραφείο, γ',δ'. Kapuda, τηλεσκοπικός μηχανισμός για την υποβοήθηση αναπήρων, Πηγή [9], ε',στ'. Σύλληψη ορθογωνικού μηχανισμού	25
2.3	Τηλεσκοπικοί μηχανισμοί με κυκλική διατομή. α'. Μηχανισμός ανύψωσης, β'. Μηχανισμός ανύψωσης σε εφαρμογή, γ'. Τηλεσκοπική σκάλα, δ'. Τηλεσκοπικό καλάμι ψαρέματος, ε', στ'. Σύλληψη κυλινδρικού μηχανισμού	26
2.4	Τηλεσκοπικοί μηχανισμοί συρταρωτοί. α'. Συρταρωτός μηχανισμός σε βιομηχανία, β'. Τηλεσκοπικός οδηγός	29
2.5	Μηχανισμός ψαλιδοειδών στοιχείων. α'. Μονή σειρά, β'. Παράλληλη διάταξη δύο αξόνων, γ'. Παράλληλη διάταξη ενός άξονα	32
2.6	Σύστημα κινητήρα-περιχοχλίου-ψαλιδιών	33
2.7	Διαδοχικές θέσεις μετατόπισης μηχανισμού	33
2.8	Σύστημα τρόπου οδήγησης	34
2.9	Δομή. α',β'. Ορθογωνική, γ', δ'. Τετραγωνική	35
2.10	Κίνηση με τροχαλίες	37
2.11	Κίνηση με οδόντες	37
2.12	Οδήγηση με ροδάκια	38
2.13	Οδήγηση με ολισθητήρες	38
3.1	Ψαλιδοειδή στοιχεία. α'. Αλουμίνιο, β'. Πλαστικό, γ'. Μοντέλο, δ'. Τεμάχια παραλαβής	42
3.2	Σύνδεση στοιχείων διάταξης. α'. Μοντέλο σύνδεσης στη σειρά, β'. Μοντέλο παράλληλης σύνδεσης, γ'. Μοντέλο τριών στη σειρά, δ'. Σύνδεση στη σειρά, ε'. Παράλληλη σύνδεση, στ'. Τρία στη σειρά	44
3.3	Ψαλιδοειδής διάταξη με διαφορετικό αριθμό παράλληλων διατάξεων. α'. Επτά στη σειρά, β'. Οκτώ στη σειρά, γ'. Εννέα στη σειρά	45
3.4	Μεγέθη αναφοράς. α'. Μήκος προέκτασης, β'. Γωνία αναφοράς φ	45
3.5	Όψεις βάσης πρόσδεσης ρομποτικού χεριού	47
3.6	Δοκιμές στατικής ανάλυσης. α'. 0° , β'. 45° , γ'. 90° ,	49

3.7	Ψαλιδοειδής διάταξη συνολική	50
3.8	Μοντελοποίηση ψαλιδοειδούς διάταξης	50
3.9	Οριζόντια μετατόπιση του B9	53
3.10	Κατακόρυφη μετατόπιση του B9	53
3.11	Οριζόντια μετατόπιση του τελικού άκρου	53
3.12	Σύστημα κίνησης	55
3.13	Συμβατά δομικά στοιχεία μηχανισμού κίνησης. α', β'. Αποστάτης, γ', δ'. Βάση περικόχλιου	56
3.14	Σύστημα κοχλία - περικόχλιου	57
3.15	Υποδειγματική απεικόνιση των δυνάμεων δράσης και αντίδρασης	58
3.16	Βηματικός κινητήρας	63
3.17	Συμπλέκτης	64
3.18	Διευθύνσεις φόρτισης στοιχείων μηχανισμού α', β'. Κατά y, γ'. Κατά z, δ'. Κατά x	65
3.19	Γωνίες αναφοράς κλίσης βάσης	66
3.20	Υποδειγματική απεικόνιση μοντελοποίησης συστήματος	70
3.21	Όψεις και διαστάσεις βάσης. α. Μπροστινή όψη, β. Αριστερή όψη	74
3.22	Πλάγιες όψεις βάσης	74
3.23	Όψεις και διαστάσεις βάσης. α' Κάτω όψη, β'. Άνω όψη	75
3.24	Στατική ανάλυση βάσης. α'. Φόρτιση στον προσανατολισμό 0 °, β'. Φόρτιση στον προσανατολισμό 90 °	76
3.25	Κατασκευασμένη βάση	77
3.26	Χερούλι και βέλκρο βάσης	78
3.27	Στοιχεία λειτουργίας. α'. Διακόπτης ON-OFF, β'. Διακόπτης ON-OFF- ON, γ'. Ποτενσιόμετρο, δ'. Υποδοχή καλωδίου μπαταρίας, ε'. Arduino Mini. Πηγή [24], στ'. Driver. Πηγή [25].	79
3.28	Στοιχεία λειτουργίας. α', β'. Διακόπτες ON-OFF-ON, γ', δ'. Κύκλωμα ηλε- κτρονικών	80
3.29	Μπαταρίες και μπαταριοθήκες. α'. Μπαταριοθήκη 6 V, β'. Μπαταριοθήκη μπαταρίας 12 V και 6 V, γ'. Μπαταρία 9V, δ'. Μπαταρία 12V	81
3.30	Συναρμολογημένα επιπλέον στοιχεία λειτουργικότητας	81
3.31	Μοντέλο συναρμολογημένης κατασκευής	82
3.32	Συναρμολογημένη κατασκευή	83
3.33	Συσκευή ρομποτικού βραχίονα με την ενσωμάτωση του ρομποτικού χεριού	83
4.1	Απόκριση βραχίονα για δύο διαφορετικές ταχύτητες. α'. Χωρίς χέρι στο άκρο, β'. Με χέρι στο άκρο, γ'. Χωρίς χέρι στο άκρο, δ'. Με χέρι στο άκρο,	86
4.2	Παράδειγμα χρήσης του μηχανισμού, Αντικείμενο βάρους 152 gr	90
4.3	Παράδειγμα χρήσης του μηχανισμού, Αντικείμενο βάρους 229 gr	91
A'.1	Αναπαραστάσεις τεμαχίων κινούμενης διάταξης	99
A'.2	Αναπαραστάσεις τεμαχίων κινητήριας διάταξης	100

A'.3 Αναπαράσταση βάσης	101
A'.4 Αναπαραστάσεις τεμαχίων περιφερειακού εξοπλισμού	103
A'.5 Εξοπλισμός	104
A'.6 Παράλληλη διάταξη	106
A'.7 Μπροστινή παράλληλη διάταξη	108
A'.8 Παράλληλες διατάξεις στη σειρά	109
A'.9 Ψαλιδοειδής διάταξη με σύστημα κίνησης	110
A'.10Συναρμολόγημα βάσης και περιφερειακών	112
A'.11Συναρμογή ψαλιδιών στη βάση	113
A'.12Ηλεκτρονική διάταξη	115
A'.13Προσάρτηση ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού στον βραχίονα	116
A'.14Συναρμολογημένη κατασκευή	116

Κατάλογος Πινάκων

3.1	Υλικά ψαλιδοειδών στοιχείων	43
3.2	Διαθέσιμα μήκη ψαλιδοειδών στοιχείων	43
3.3	Όρια διαρροής υλικών ψαλιδοειδών στοιχείων	48
3.4	Μέγιστες τάσεις ψαλιδοειδών στοιχείων	48
3.5	Μέγιστες απαιτήσεις κινητήρα κατά την κίνηση	59
3.6	Παράμετροι συστήματος κατά την εκκίνηση	62
3.7	Αποτελέσματα ροπών εκκίνησης σε Nm	62
3.8	Χαρακτηριστικά βηματικού κινητήρα. Πηγή [22]	63
3.9	Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης βάσης	76
4.1	Μέγιστο βάρος μεταφοράς στη μέγιστη προέκταση	87
4.2	Κατακόρυφη μετατόπιση άκρου σε διάφορα σημεία προέκτασης	87
4.3	Ενδοτικότητα βραχίονα	88
4.4	Αντικείμενα αρπαγής, α'. Επιτυχής χωρίς γράσο, β'. Επιτυχής με γράσο	89
A'.1	Κατάλογος τεμαχίων κινούμενης διάταξης	98
A'.2	Κατάλογος τεμαχίων κινητήριας διάταξης.	100
A'.3	Κατάλογος βάσης	101
A'.4	Κατάλογος περιφερειακού εξοπλισμού	102
A'.5	Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος A'.6.	105
A'.6	Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος A'.7	107
A'.7	Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος A'.8.	109
A'.8	Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος A'.9.	110
A'.9	Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος A'.10.	111
A'.10	Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος A'.11.	113
A'.11	Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος A'.12	114

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής

Ο αριθμός των ηλικιωμένων αναμένεται να τριπλασιαστεί από το 2010 στο 2050 και η χρήση βοηθητικών αυτοματισμών ή τεχνολογιών (Assistive Technologies) θα έχει μεγάλη ανάπτυξη, λόγω των δυσκολιών που επιβάλλει το γήρας στον άνθρωπο και ιδίως στη μετακίνησή του.

Αντικείμενο μελέτης της διπλωματικής, είναι ο σχεδιασμός και ανάπτυξη ενός μηχανισμού, ο οποίος έχοντας τηλεσκοπική δυνατότητα, θα προσφέρει την ευκολία στον ηλικιωμένο χρήστη του, να φέρνει ένα αντικείμενο κοντά του, χωρίς αυτός να αναγκάζεται να μετακινήθει. Αυτή η δυνατότητα μπορεί να παρασχεθεί από μία συσκευή χαμηλού βάρους και μικρού όγκου προκειμένου να είναι φορητή. Η απλότητα στη δομή αλλά και στον τρόπο λειτουργίας της, την κάνει επίσης χρηστική.

Παρόλο που υπάρχει πληθώρα τηλεσκοπικών μηχανισμών για παρόμοιες χρήσεις, χωρίς όμως να εστιάζουν στον ίδιο σκοπό χρήσης από αυτή την κοινωνική ομάδα, στους περισσότερους γίνεται χειροκίνητα η μεταβολή του μήκους τους και δεν φέρουν επιδέξιο άκρο. Άλλοι έχουν μικρή έως καθόλου τηλεσκοπική δυνατότητα και άλλοι δεν είναι φορητοί.

Η διπλωματική αυτή αντιμετωπίζει το πρόβλημα της φορητότητας, της επαρκούς τηλεσκοπικής δυνατότητας και της απλότητας στη χρήση του μηχανισμού αυτού. Προκειμένου να επιλυθούν αυτά τα ζητήματα, αξιολογούνται τα εναλλακτικά σχέδια υλοποίησης με βάση άλλους τηλεσκοπικούς μηχανισμούς και γίνεται προσαρμογή στοιχείων και εφαρμογή ιδεών στις συγκεκριμένες απαιτήσεις, προσαρμόζοντας για επιδέξιο άκρο το ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι [1], [2].

Αποτέλεσμα της ανάλυσης που γίνεται είναι η δημιουργία ενός πρωτοτύπου προς αυτή την κατεύθυνση, που συνδυάζει εφαρμόσιμες και απλές σχεδιαστικές λύσεις, προσφέροντας στο χρήστη τη δυνατότητα να επεκτείνει το πεδίο πρόσβασης του σε περιοχή άνω του ενός μέτρου και να μεταφέρει αντικείμενο στο άκρο του που ζυγίζει μέχρι και σχεδόν ένα κιλό. Η ίδια η συσκευή έχει βάρος δυόμισι κιλά και ο τρόπος χρήσης της είναι απλός.

1.2 Δομή της διπλωματικής

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύεται η σχεδίαση και κατασκευή ενός τηλεσκοπικού και φορητού ρομποτικού βραχίονα που κύριο στόχο έχει την αρπαγή αντικειμένων και μεταφορά τους πλησίον του χρήστη, που είναι ηλικιωμένος. Σε πρώτη φάση, στην ενότητα **1.3**, γίνεται μία βιβλιογραφική μελέτη της μείωσης στη μυϊκή ικανότητα των ατόμων τρίτης ηλικίας έναντι των υπολοίπων ενηλίκων. Έπειτα γίνεται μία μελέτη επί των φυσιολογικών χαρακτηριστικών των ανθρώπινων μυών κατά τη χρήση μίας συσκευής που προσαρμόζεται στον ανθρώπινο πήχη. Αυτό βοηθάει στην εξαγωγή συμπερασμάτων για τον τρόπο ασφαλούς χρήσης της συσκευής.

Το κεφάλαιο **2** έχει ως αντικείμενο, διαφορετικές εναλλακτικές προτάσεις που θα μπορούσαν να υλοποιηθούν στα πλαίσια της εφαρμογής αυτής. Αξιολογούνται περιγραφικά και με απεικονιστικές απλώς μορφές τέσσερις από αυτές στην ενότητα **2.1**. Στην επόμενη **2.2**, γίνεται μία πιο λεπτομερής αξιολόγηση των συνιστωσών της δομής, του τρόπου κίνησης και οδήγησης των δύο επικρατέστερων δομών, των ψαλιδοειδών στοιχείων και του ορθογωνικού πλαισίου.

Το κεφάλαιο **3** πραγματεύεται τη σχεδίαση και υλοποίηση του ψαλιδοειδούς μηχανισμού. Διαφοροποιώντας τα στοιχεία που τον αποτελούν, με βάση τη λειτουργικότητα τους, διακρίνεται το κινούμενο μέρος **3.1**, το κινητήριο **3.2**, η βάση **3.3** και όλα τα περιφερειακά **3.4**. Όπου κρίνεται απαραίτητο αναλύεται κινηματικά, στατικά και δυναμικά κάθε τμήμα του μηχανισμού. Στο τέλος του κεφαλαίου, ενότητα **3.5**, παρουσιάζεται η συναρμολογημένη κατασκευή του πρωτοτύπου.

Στο κεφάλαιο **4**, γίνεται η πειραματική διαδικασία για να εξακριβωθεί στην πράξη ο βαθμός επίτευξης των στόχων που ετέθησαν. Στην ενότητα **4.1** χρονομετράται η απόκριση του συστήματος σε διαφορετικές συνθήκες και σε σχέση με τις ιδανικές και οριοθετούνται οι δυνατότητες του στα πλαίσια της αλλαγής προσανατολισμού και μεταφοράς φορτίου. Αμέσως μετά, στην **4.2**, παρουσιάζεται η επίδειξη αρπαγής και μεταφοράς καθημερινών αντικειμένων, η επίτευξη της οποίας, επικυρώνει τη λειτουργικότητα της συσκευής.

Στο κεφάλαιο **5** της επισκόπησης, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα από τη διαδικασία της υλοποίησης και των πειραμάτων που στη συνέχεια χρησιμεύουν για την πρόβλεψη μελλοντικών βημάτων βελτίωσης της συσκευής. Τέλος στο παράρτημα **A'**, βρίσκεται ο οδηγός κατασκευής και συναρμολόγησης του ρομποτικού τηλεσκοπικού βραχίονα.

1.3 Φυσιολογία ατόμων τρίτης ηλικίας

Ο τρόπος χρήσης της συσκευής από άτομα της τρίτης ηλικίας πρέπει να προβλεφθεί πρώτου γίνει η σχεδίαση και υλοποίηση αυτού. Τα άτομα αυτά έχουν την ιδιαιτερότητα της μειωμένης μυϊκής δύναμης. Το γεγονός αυτό έρχεται να γίνει εντονότερο για εκείνους που λόγω της καθιστικής ζωής και έλλειψης άσκησης, πάσχουν από κόπωση [3]. Το ποσοστό αυτών στο σύνολο των ηλικιωμένων μπορεί να ανέλθει στο 40 %.

Έπειτα κάνοντας αναφορά σε επιπλέον παράγοντες που επιτείνουν το πρόβλημα της μετακίνησης ανεξάρτητα από τη φυσική μείωση της μυϊκής δύναμης, ένα σημαντικό ποσοστό των ηλικιωμένων έχει κάποιον περιορισμό. Ο φυσικός αυτός περιορισμός αγγίζει το 23 % για ηλικίες 60-69, το 31 % για ηλικίες 70-79 και το 43 % για μεγαλύτερους και είναι τουλάχιστον ένας [4].

Αυτά όμως συνεισφέρουν απλώς στο ήδη υπάρχον φαινόμενο της ελάττωσης της μυϊκής δύναμης εξαιτίας της γήρανσης. Στην περίπτωση της χρήσης του ρομποτικού βραχίονα που προσαρμόζεται στον πήχη, για τη συγκράτηση του βάρους του, χρησιμοποιούνται οι καμπτήρες του αγκώνα με κύριο μυ το δικέφαλο. Η μέγιστη δύναμη που δύναται να επιβάλλει ένας ενήλικας σε σχέση με έναν ηλικιωμένο εμφανίζεται μεγαλύτερη. Συγκεκριμένα, ο ηλικιωμένος ασκεί το ποσοστό του 80 % της μέγιστης δύναμης ενός νέου ανθρώπου για τους άντρες και το 85% για τις γυναίκες [5].

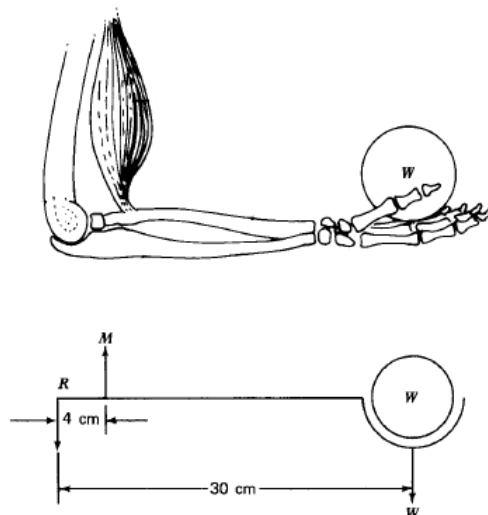
Ταυτόχρονα, κάτι ακόμα που σχετίζεται άμεσα με τη χρήση της συσκευής είναι η δύναμη χειρολαβής. Ιδιαίτερα από τη στιγμή που ο μηχανισμός προσαρμόζεται στο χέρι, αυτή αποτελεί βασικό τρόπο χειρισμού. Η δύναμη χειρολαβής μειώνεται γραμμικά στις ηλικίες από 46 μέχρι 80 ετών και πολύ πιο γρήγορα στις ηλικίες από 80 με 89, όπου φτάνει στο 37 % αυτής ενός νέου [6].

Συμπέρασμα των παραπάνω είναι πως αναμένει κανείς το βάρος του μηχανισμού να είναι αρκετά μικρό ώστε να μη δημιουργεί δυσφορία στον ηλικιωμένο χρήστη κατά τη μετακίνηση του και μάλιστα κατά τη χρήση του. Ο τρόπος να διαπιστώσουμε τη φόρτιση των μυών του ανθρώπου όταν το βάρος είναι σε ορισμένη απόσταση από τον κορμό του, είναι με ισορροπία ροπών ως προς τον αγκώνα του χεριού, ανάλογα του σχήματος 1.1. Αυτή η μεθοδολογία [7] μπορεί να εφαρμοστεί για να γίνει σύγκριση της δύναμης δικεφάλου που απαιτείται, για το κράτημα μίας μάζας στο μήκος του πήχη και σύγκριση αυτής με την αντίστοιχη σε μεγαλύτερο μήκος, μιας και πρόκειται για τηλεσκοπικό βραχίονα.

Επί παραδείγματι, ένας μηχανισμός βάρους 2 με 3 kg , προκαλεί αντίδραση δικεφάλου, με βάση το σχήμα 1.1, 147 και 220 N αντίστοιχα. Απεναντίας, η τοποθέτηση στο άκρο του βραχίονα, του ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού που ζυγίζει 300 gr, δύναται για μήκος προέκτασης ενός μέτρου, που είναι το ελάχιστο που επιδιώκουμε, να επιφέρει μόνο του, αντίδραση 73 N. Συνεπώς, η προσθήκη οποιουδήποτε αντικειμένου προς αφαγή που ζυγίζει το ίδιο διπλασιάζει την αντίδραση. Φυσικά η ύπαρξη του βραχίονα πλησιάζει και το προαναφερθέν άνω όριο των 220 N, ακόμα και με ένα βραχίονα ενός κιλού που σε αυτή την προέκταση θα προσέθετε άλλα 60 N.

Με βάση αυτά είναι εργονομικά ασύμφορο και φυσιολογικά αδύνατο ειδικά για έναν ηλι-

κιωμένο να διαχειριστεί οποιοδήποτε αντικείμενο σε τέτοια απόσταση. Με αυτό το σκεπτικό, η συσκευή προορίζεται για χρήση ενώ βρίσκεται απαραίτητα στηριγμένη σε επιφάνεια. Περαιτέρω οδηγίες και κατευθύνσεις κατά τη χρήση οποιοδήποτε βάρους δίνονται και στη συνέχεια στην ενότητα 5.1.



Σχήμα 1.1: Μοντέλο χρήσης μυών δικεφάλου. Πηγή: [7]

Μένει να προστεθεί το γεγονός ότι η συσκευή οφείλει να είναι συμβατή με τις προσδοκίες των ατόμων τρίτης ηλικίας, αναγνωρίζοντας όχι μόνο τις μυϊκές τους δυνατότητες αλλά και τις προτιμήσεις τους. Η σχεδίαση και οι επιλογές που θα ακολουθήσουν γίνονται έχοντας υπόψιν όλα τα παρακάτω που συνιστούν παράγοντες υιοθέτησης μίας βοηθητικής τεχνολογίας από ηλικιωμένους [8]. Αυτά είναι τα εξής :

- Αξιοπιστία – Λειτουργικότητα
- Κόστος
- Ευκολία χρήσης
- Αντίληψη μη ανάγκης
- Στιγματισμός
- Φόβος εξάρτησης
- Έλλειψη εκπαίδευσης

Τα παραπάνω οδηγούν στο να ληφθεί υπόψιν κατά το σχεδιασμό εκτός από την επίτευξη μέγιστου μήκους και ελάχιστου βάρους του βραχίονα, το ζήτημα της δημιουργίας ενός αξιόπιστου μηχανισμού που μπορεί να γίνει αποδεκτός. Το πρώτο αυτό βήμα πρωτυποποίησης θα οδηγήσει σε μία σειρά επιπρόσθετων και μελλοντικών προσπαθειών, τελικός στόχος των

οποίων είναι να δημιουργηθεί η συσκευή που ικανοποιεί τα παραπάνω και είναι ανταγωνιστικότερη από την άποψη του κόστους έναντι αντίστοιχων, λαμβάνοντας υπόψιν ότι τα 2/3 των ηλικιωμένων είναι σε αναπτυσσόμενες χώρες [3], χωρίς πρόσβαση ίσως σε επαρκείς ιατρικές θεραπείες και ανέσεις.

Κεφάλαιο 2

Συγκριτική αξιολόγηση τηλεσκοπικών μηχανισμών

2.1 Εποπτική αξιολόγηση

Η επίτευξη των στόχων και απαιτήσεων στο μέγιστο δυνατό βαθμό καθιστά αναγκαία την θέσπιση κριτηρίων για την αποτελεσματική εκλογή μηχανισμού που υπερτερεί έναντι των υπολοίπων εναλλακτικών του. Ταυτόχρονα όμως η ύπαρξη παραγόντων που οριοθετούν την περιοχή σχεδίασης, κατασκευής αλλά και λειτουργικότητας έρχονται να διαμορφώσουν το τελικό πλαίσιο παραγόντων σύγκρισης για την εκλογή.

Με σκοπό να γίνει πλήρης καταγραφή των χαρακτηριστικών εκείνων που προβλέπεται πως θα ήταν κύρια και ουσιώδη αν προχώραγε η ανάπτυξη τους σε πλήρες ή πρωτοτύπου κατασκευαστικό επίπεδο, γίνεται αναφορά στα κριτήρια τα οποία χαρακτηρίζουν κάθε δομή. Με βάση τα παρακάτω διακρίνεται πως οι πέντε πρώτοι παράγοντες σχετίζονται με τη λειτουργικότητα του μηχανισμού ενώ οι δύο τελευταίοι έρχονται να θέσουν τα όρια και τους περιορισμούς στην αντιμετώπιση του προβλήματος.

Αυτά περιλαμβάνουν τα εξής :

- Όγκος και βάρος κατασκευής
- Μήκος σε προέκταση και επέκταση
- Συμπεριφορά στατική και δυναμική κατά τη χρήση
- Τρόπος χειρισμού και ευκολία
- Αξιοπιστία μηχανισμού
- Δυνατότητα κατασκευής
- Εκτιμώμενο κόστος

2.1.1 Μηχανισμός ψαλιδοειδών στοιχείων

Οι μηχανισμοί αυτοί, σχήμα 2.1, έχουν τη δομή πτυσσόμενων διατάξεων όπου το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η ικανότητα αναδίπλωσης χάρη στη γεωμετρία της διάταξης. Το γεγονός αυτό καθιστά πλεονεκτική τη θέση τους έναντι άλλων που απαιτούν επενεργητές σε διάφορες θέσεις κατά το μήκος τους και στοιχεία οδήγησης και συνεργασίας περίπλοκα που αυξάνουν το βάρος, το κόστος και την περιπλοκότητα κατασκευής. Ταυτόχρονα η χρήση τους ποικίλει σε μεγάλο βαθμό και βρίσκουν εφαρμογή σε ανυψωτικές μηχανές, αναδιπλούμενες σκάλες, οικιακούς μηχανισμούς και άλλα.



(α')



(β')



(γ')



(δ')

Σχήμα 2.1: Τηλεσκοπικοί μηχανισμοί με ψαλιδοειδή στοιχεία. α'. Μηχανισμός ανύψωσης, β'. Αναδιπλούμενη σκάλα, γ'. Λαμπτήρας μεταβλητού μήκους, δ'. Κρεμάστρα ρούχων

Με βάση την αξιολόγηση κατά τα προδιαγεγραμμένα κριτήρια σχολιάζονται τα εξής :

- Όγκος και βάρος κατασκευής

Οι κατασκευές αυτές δεν είναι ογκώδεις καθώς το πάχος των ψαλιδοειδών στοιχείων στις περισσότερες εφαρμογές δεν ξεπερνά τα μερικά χιλιοστά. Επίσης, η αναδιπλούμενη διάταξη προκαλεί την αύξηση του όγκου με συμμετοχή μόνο του ύψους, δηλαδή της μίας διάστασης του μηχανισμού καθώς ο μηχανισμός κλείνει. Προστίθεται σε αυτά το γεγονός ότι ο μηχανισμός κίνησης, λόγω της γεωμετρίας του, μειώνει το επιπρόσθετο βάρος που θα έφερναν στοιχεία κύλισης, έδρανα, τροχαλίες και ιμάντες, γρανάζια και περισσότεροι του ενός επενεργητές που ίσως χρειαζόντουσαν για μία άλλη διάταξη με δύο φορές κίνησης.

- Μήκος σε προέκταση και επαναφορά

Το μήκος της αναδίπλωσης είναι γεωμετρικά εξαρτώμενο από το ύψος των στοιχείων. Για την επίτευξη μεγάλου μήκους επέκτασης θα προκύψει μεγάλο ύψος κατά την επαναφορά. Το τελικό μέγιστο δυνατό μήκος επέκτασης καθορίζεται επίσης και από τη δυνατότητα του επενεργητή να διαχειριστεί τις απαιτήσεις σε ροπή για την κίνηση.

- Συμπεριφορά στατική και δυναμική κατά τη χρήση

Είναι σύνηθες οι μηχανισμοί αυτοί να κινούνται στο επίπεδο που είναι κάθετο στο επίπεδο που συνδέει δύο διαδοχικά μεσαία σημεία σύνδεσης, χωρίς αυτό να σημαίνει πως κινούνται πάντα με τον ίδιο προσανατολισμό ως προς το έδαφος. Αυτό εξαρτάται από την τοποθέτησή τους. Η χρήση τους σε ανυψωτικές μηχανές είναι ενδεικτική της ικανότητάς τους να αντέχουν στατικά υπό φορτίο αλλά και να κινούνται ομαλά.

- Τρόπος χειρισμού και ευκολία

Καθώς ο όγκος μίας τέτοιας κατασκευής δεν αναμένεται να είναι μεγάλος, η τοποθέτησή του σε βάση στήριξης όπου θα βρίσκεται και ο επενεργητής δεν είναι περίπλοκη κάνοντας τον χειρισμό του από τον χρήστη προσιτό για μία ορθογωνικού σχήματος βάση.

- Αξιοπιστία μηχανισμού

Τα συνδεδεμένα μέρη οφείλουν να είναι επαρκώς συνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο που δε δημιουργεί μεγάλες τριβές και όμως μικρές ανοχές. Στις πιο πολλές εφαρμογές, η συναρμογή γίνεται με πριτσίνια αλλά χρησιμοποιούνται ροδέλες-περικόχλια και τσιμπίδες.

- Δυνατότητα κατασκευής

Το μεγάλο πλεονέκτημα του μηχανισμού είναι η ευκολία κατασκευής καταρχάς λόγω της απλής σύνδεσης των μερών του και συμπληρωματικά λόγω της επαναληψιμότητας που έχει καθ'όλο το μήκος του. Η συναρμολόγηση είναι απλή ενώ οι δυνατότητες σύνδεσης των κομματιών ποικίλουν.

- Εκτιμώμενο κόστος

Άμεσο παρεπόμενο των ανωτέρω είναι η διατήρηση του κόστους σε χαμηλά επίπεδα για έναν τέτοιο μηχανισμό. Ωστόσο η διατήρηση χαμηλού βάρους αλλά και ταυτόχρονα αντοχής στατικής ανάλογα με το φορτίο παίζουν καθοριστικό ρόλο σε αυτό λόγω της επιλογής των υλικών και των μηχανισμών ασφαλείας του.

2.1.2 Μηχανισμός ορθογωνικής-κυκλικής διατομής

Ένας μηχανισμός ορθογωνικής ή κυκλικής διατομής για να λειτουργήσει ως τηλεσκοπικός, οφείλουν τα συνδεδεμένα μέρη του να είναι μειούμενων διαστάσεων και να εισέρχονται το ένα στο άλλο κατά την επαναφορά ενώ να εξέρχονται κατά την επέκταση. Οι χρήσεις τέτοιων ορθογωνικών μηχανισμών, σχήμα 2.2, ποικίλουν από βαριές κατασκευές όπως γερανοί μέχρι μικρές και ελαφριές όπως ρυθμιζόμενα πόδια στήριξης τραπεζιών. Επίσης, η χρήση κυλινδρικών μηχανισμών, σχήμα 2.3, είναι από υδραυλικούς μηχανισμούς για ανύψωση φορτίου μέχρι οικιακής χρήσης αντικείμενα όπως για πρόσβαση σε ψηλά σημεία. Εδώ η περιπλοκότητα των συνδεδεμένων μερών διαφέρει ανάλογα με τη χρήση του μηχανισμού σε μεγάλο βαθμό ενώ κάνοντας προσαρμογή στο ζήτημα της προβλεπόμενης χρήσης, παρουσιάζεται και η υποδειγματική σύλληψη τέτοιων κατασκευών.



(α')



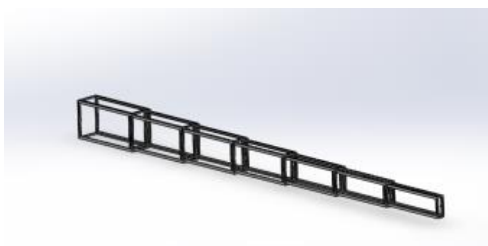
(β')



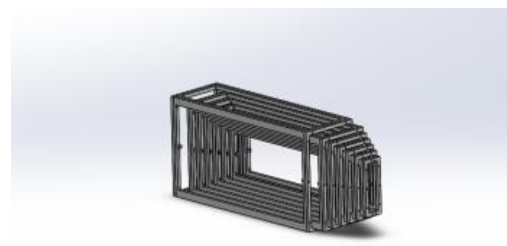
(γ')



(δ')



(ε')



(στ')

Σχήμα 2.2: Τηλεσκοπικοί μηχανισμοί με ορθογωνική διατομή. α'. Γερανός, β'. Γραφείο, γ', δ'. Rapida, τηλεσκοπικός μηχανισμός για την υποβοήθηση αναπήρων, Πηγή [9], ε', στ'. Σύλληψη ορθογωνικού μηχανισμού



Σχήμα 2.3: Τηλεσκοπικοί μηχανισμοί με κυκλική διατομή. α'. Μηχανισμός ανύψωσης, β'. Μηχανισμός ανύψωσης σε εφαρμογή, γ'. Τηλεσκοπική σκάλα, δ'. Τηλεσκοπικό καλάμι ψαρέματος, ε', στ'. Σύλληψη κυλινδρικού μηχανισμού

Με βάση την αξιολόγηση κατά τα προδιαγεγραμμένα κριτήρια σχολιάζονται τα εξής :

- Όγκος και βάρος κατασκευής

Σε αυτή την περίπτωση ο όγκος της κατασκευής αυξάνεται με κάθε επιπλέον δομικό τμήμα που προστίθεται. Και οι τρεις διαστάσεις, μήκος και πλάτος ή διάμετρος λαμβάνουν αύξηση. Η ανάγκη για την ταυτόχρονη συνεργασία των μερών που το αποτελούν, οδηγεί στην ύπαρξη στοιχείων σύνδεσης και κίνησης γεγονός που στο σύνολο της κατασκευής προσθέτει βάρος που δεν εμφανίζεται στην προηγούμενη κατασκευή.

- Μήκος σε προέκταση και επαναφορά

Ο αριθμός των συνδεόμενων μερών αλλά και το μήκος του καθενός θα είναι εκείνα που θα καθορίζουν το τελικό, έχοντας υπόψιν το εύρος εκείνο κατά το οποίο η λειτουργία του συνόλου γίνεται ομαλά. Το ζήτημα του δυνατού εύρους κίνησης είναι λοιπόν αναμενόμενο πως εξαρτάται όχι τόσο από τον επενεργητή αλλά από τον τρόπο συνεργασίας των τμημάτων.

- Συμπεριφορά στατική και δυναμική κατά τη χρήση

Χωρίς να αναμένεται η κάμψη των ίδιων των τμημάτων να είναι το κύριο πρόβλημα με σωστή πρόβλεψη, τα περιθώρια μεταξύ τους οφείλουν να είναι τέτοιου μεγέθους που να μην προκαλείται κλείδωμα του ενός στο άλλο κατά την κίνηση και η επαφή του ενός με το άλλο να γίνεται με επιπρόσθετη δομή οδήγησης. Με σωστή σχεδίαση των επιμέρους τρόπων συνεργασίας των τμημάτων είναι δυνατόν να εξασφαλιστεί η ομαλή συμπεριφορά.

- Τρόπος χειρισμού και ευκολία

Το μεγαλύτερο και σταθερό πλαίσιο οφείλει να περιλαμβάνει διάταξη προσαρμογής στο ανθρώπινο χέρι με την εξασφάλιση ότι δεν προστίθεται μεγάλος όγκος στην ήδη υπάρχουσα κατασκευή. Αυτή πρέπει επίσης να είναι ελάχιστη κατά το δυνατόν τόσο στο πλάτος όσο και στο ύψος. Ειδικά στο πλάτος η μεγάλη διάσταση, θα επιφέρει δυσκολία χειρισμού λόγω της εκκεντρότητας του κέντρου βάρους του ως προς τον άνθρωπο. Σαφώς, στην περίπτωση του κυλίνδρου υπάρχει το σαφές μειονέκτημα ότι δεν μπορούμε να αποφύγουμε την ίση αύξηση και στις δύο διαστάσεις.

- Αξιοπιστία μηχανισμού

Ένας αυστηρά αξιόπιστος μηχανισμός θα ήταν αυτός με ασφαλή οδήγηση των μερών και γρήγορη και εύκολη μετατόπιση ενώ ένας μη αξιόπιστος αυτός που δεν έχει προβλεφθεί η διάρκεια διατήρησης των αποστάσεων στη συνεργασία των πλαισίων όταν αυτά υπόκεινται σε χρήση υπό φορτίο, μεταξύ άλλων.

- Δυνατότητα κατασκευής

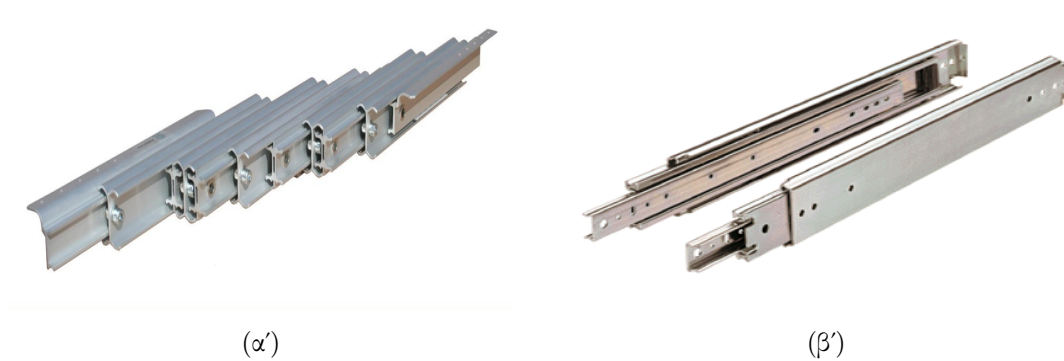
Η δυνατότητα κατασκευής αυτού του μηχανισμού εναπόκειται στην ακριβή διαστασιολόγηση των μερών του ώστε να μη δημιουργούνται υπερβολικές ανοχές ή αντίθετα επαφές. Το πιο δύσκολο ακόμα ζήτημα είναι η δυνατότητα κατασκευής υποδομών για την τοποθέτηση μηχανισμών οδήγησης και μεταφοράς της κίνησης. Ωστόσο μία ορθογωνική διατομή θα είναι πιο εύκολο να κατασκευαστεί από την κυκλική που έχει συλληφθεί καθώς πρέπει να υπάρχει τρόπος ακριβούς κατεργασίας των χαμπύλων τμημάτων.

- Εκτιμώμενο κόστος

Ο παράγοντας αυτός, άμεσα συνυφασμένος με τη διαδικασία παραγωγής των κομματιών, έρχεται να προστεθεί στο κόστος των υπολοίπων εξαρτημάτων που η δυνατότητα ή μη εύρεσής τους, δημιουργεί ένα μεταβλητό κόστος. Σε κάθε περίπτωση το κόστος αναμένεται μεγαλύτερο από αυτό της προηγούμενης διάταξης καθώς η ολική περιπλοκότητα αυξάνεται.

2.1.3 Μηχανισμός συρόμενων-συρταρωτών τμημάτων

Με παρόμοιο τρόπο και εδώ τα συνδεόμενα μέρη εισέρχονται το ένα στο άλλο κατά την επαναφορά ενώ εξέρχονται κατά την επέκταση, σχήμα 2.4. Η χρήση τους είναι σε συρταριές, γραμμικούς οδηγούς και γενικά βιομηχανικές χρήσεις.



Σχήμα 2.4: Τηλεσκοπικοί μηχανισμοί συρταρωτοί. α'. Συρταρωτός μηχανισμός σε βιομηχανία, β'. Τηλεσκοπικός οδηγός

Με βάση την αξιολόγηση κατά τα προδιαγεγραμμένα κριτήρια σχολιάζονται τα εξής :

- Όγκος και βάρος κατασκευής

Ο όγκος της κατασκευής δεν αναμένεται να είναι μεγάλος όπως στις προηγούμενες περιπτώσεις. Σίγουρα, η προσθήκη του κινηματικού μηχανισμού που θα βρίσκεται εξωτερικά προσθέτει όγκο. Το βάρος αναμένεται να εντοπίζεται στο μέσο της απόστασης των δύο άκρων καθώς η βάση που θα πατάει ο μηχανισμός και θα προσαρμόζεται στο χρήστη δε θα είναι ογκώδης.

- Μήκος σε προέκταση και επαναφορά

Το κάθε τμήμα έχοντας το ίδιο μήκος με τα υπόλοιπα του θα προσθέτει το μέρος του στο συνολικό και εφόσον το επιτρέπει η επαφή των κομματιών που πρέπει να προβλεφθεί ώστε να μην έχει σημαντικές τριβές, μπορεί να προκύψει αποτελεσματικό μήκος προέκτασης.

- Συμπεριφορά στατική και δυναμική κατά τη χρήση

Το κυριότερο μειονέκτημα του μηχανισμού αφορά στην αντοχή του στην φόρτιση που δέχεται στο άκρο. Αν και σχεδιάζεται με τα συρόμενα τμήματα να βρίσκονται το ένα πάνω στο άλλο, καθώς μία εναλλάξ εσωτερική – εξωτερική διάταξη θα ήταν ακόμα πιο δύσκολα υλοποιήσιμη, λόγω του μικρού μεγέθους των τμημάτων είναι δυνατόν η φόρτιση να αποδειχθεί μεγάλη για το υλικό. Μάλιστα, η εκκεντρότητα της διάταξης αναμένεται να κάνει ακόμα εντονότερη την αστάθεια και την εμφάνιση παραμόρφωσης.

- Τρόπος χειρισμού και ευκολία

Καθώς εδώ το πλάτος του μηχανισμού είναι μικρό, η προσαρμογή στο ανθρώπινο χέρι για το χειρισμό της κατασκευής θα είναι εύκολη. Δύσκολη όμως θα είναι η χρήση καθώς όπως προαναφέρθηκε η εκκεντρότητα θα δημιουργεί ακόμα μεγαλύτερη δυσκολία στο χειρισμό για αρπαγή του αντικειμένου.

- Αξιοπιστία μηχανισμού

Η αξιοπιστία του σαφώς επηρεασμένη από τα παραπάνω δε μπορεί να παραλειφθεί. Ένα τμήμα αυτής είναι η υπονόμηση της με τη διαρκή χρήση του μηχανισμού που ενδεχομένως να καταπονεί τα σημεία σύνδεσης και συνεργασίας και ένα άλλο τμήμα είναι η μη καταλληλότητα του μηχανισμού για την αρπαγή μακρινών αντικειμένων.

- Δυνατότητα κατασκευής

Αναμένεται η κατασκευή να είναι ιδιαίτερα δύσκολη καθώς τα κομμάτια θα πρέπει να κατασκευαστούν κατά παραγγελία, ενώ η περιπλοκότητα των ενδιάμεσων συνδέσεων του με ροδάκια, άλλα στοιχεία κύλισης ή ολίσθησης επί παραδείγματι, πρέπει να είναι καθαρά προσαρμοσμένη στο πρόβλημα από την άποψη του βάρους και να υπάρχει η δυνατότητα έπειτα να γίνει αυτό πραγματικό τεμάχιο.

- Εκτιμώμενο κόστος

Λαμβάνοντας υπόψιν όσα προαναφέρθηκαν, το κόστος εδώ θα είναι και πάλι μεγάλο έχοντας υπόψιν ότι πρέπει σε μεγάλο βαθμό να γίνει κατασκευή πολλών κομματιών με ακρίβεια. Ταυτόχρονα, η περιπλοκότητα ενός μηχανισμού κίνησης για τον χώρο που αφήνει διαθέσιμο η μικρή αυτή όγκου κατασκευή αυξάνουν ακόμα περισσότερο ένα υψηλό κόστος.

Με βάση τα παραπάνω συμπεραίνεται πως οι καταλληλότερες διατάξεις για το πρόβλημα που ζητείται να αντιμετωπιστεί σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες δυνατότητες προμήθειας και κατασκευής τεμαχίων αλλά και συναρμολόγησης τους, είναι ο μηχανισμός των ψαλιδοειδών στοιχείων και μία προσαρμοσμένη στο πρόβλημα ορθογωνική δομή.

Απορρίπτεται η κυλινδρική δομή λόγω των καμπύλων τμημάτων που περιλαμβάνει και προσθέτουν περιπλοκότητα στην κατασκευή καθώς και δυσκολία στην τοποθέτηση κινηματικών μηχανισμών. Επίσης οι συρόμενες επιφάνειες λόγω της εξαιρετικά λεπτομερούς και ακριβούς κατεργασίας που απαιτείται για τη σωστή τοποθέτηση τους, ταυτόχρονα με την υψηλού επιπέδου κατασκευή και προσαρμογή κινηματικών μηχανισμών που ξεφεύγουν από τα πλαίσια των υπάρχοντων δυνατοτήτων του εργαστηρίου. Ταυτόχρονα, οι δύο τελευταίες δομές δεν προσδίδουν κάποιο συγκριτικό πλεονέκτημα έναντι των δύο πρώτων, ενώ συμπερασματικά το κόστος τους θα είναι μεγαλύτερο και άρα μειονεκτούν και στον παράγοντα της προσιτότητας της συσκευής.

2.2 Λεπτομερής αξιολόγηση

Παρακάτω θα υλοποιηθεί στα πλαίσια μιας πιο λεπτομερής και απεικονιστικής σχεδίασης, η αξιολόγηση εναλλακτικών τρόπων εφαρμογής των περιπτώσεων που προτάθηκαν και καταρχήν έγιναν δεκτές για περαιτέρω διερεύνηση. Οι τρεις κύριοι άξονες που κατευθύνουν τη σχεδιαστική πορεία είναι οι δομές, οι τρόποι κίνησης καθώς και οι τρόποι οδήγησης.

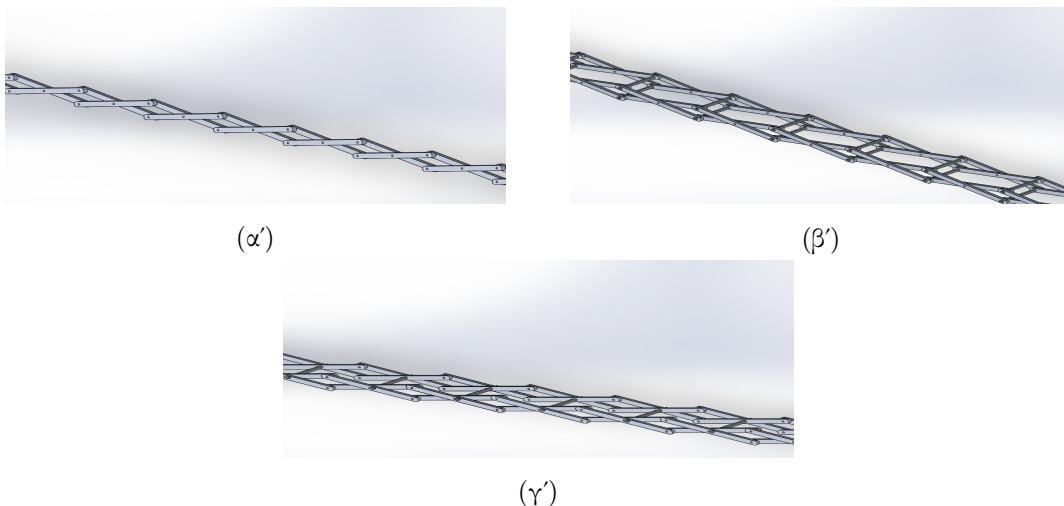
2.2.1 Μηχανισμός φαλιδοειδών στοιχείων

- Δομή

Στην διάταξη των φαλιδιών υπάρχει ένα εύρος στην επιλογή της μεταξύ τους σύνδεσης [10]. Ένας τρόπος να υλοποιηθεί αυτή είναι με διάτρητες οπές στο κέντρο και στις άκρες και την τοποθέτηση εκεί αξόνων που τα κρατάνε συνδεδεμένα. Το ρόλο αυτό μπορούν να έχουν βίδες με αποστάτες ή απλώς αξονάκια με τσιμπίδες ή πριτσινωτά.

Με βάση τις δυνατές υλοποιήσεις που φαίνονται παρακάτω, εύκολα μπορεί κανείς να συμπεράνει πως η πρώτη διάταξη, σχήμα 2.5α', είναι ευάλωτη στη μετάβαση σε αστάθεια και ειδικά σε αλλαγή της κλίσης υπό φόρτιση. Παρόλο που δίνει το μικρότερο βάρος, είναι αμφίβολη η δυνατότητα κίνησης λόγω της μεγάλης τριβής που προκαλείται σε κάθε σύνδεσμο που έχει να διαχειριστεί το αποτέλεσμα της φόρτισης από εξωτερικό βάρος.

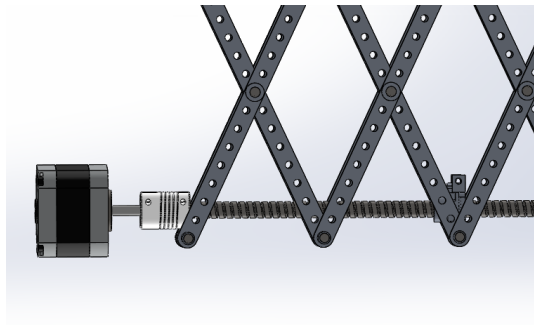
Στη δεύτερη περίπτωση, σχήμα 2.5β', προστίθεται άξονας για σύνδεση σε κάθε ακριανή οπή των κομματιών δημιουργώντας μία στιβαρή δομή αλλά παράλληλα αυξάνοντας το βάρος της κατασκευής. Στην τελευταία περίπτωση, σχήμα 2.5γ', η δομή εμφανίζεται και πάλι στιβαρή μιας και εξασφαλίζεται η παράλληλη δομή, χωρίς ωστόσο να αυξάνεται το βάρος από υπερβολική χρήση υποστηρικτικών δομών όπως προηγουμένως.



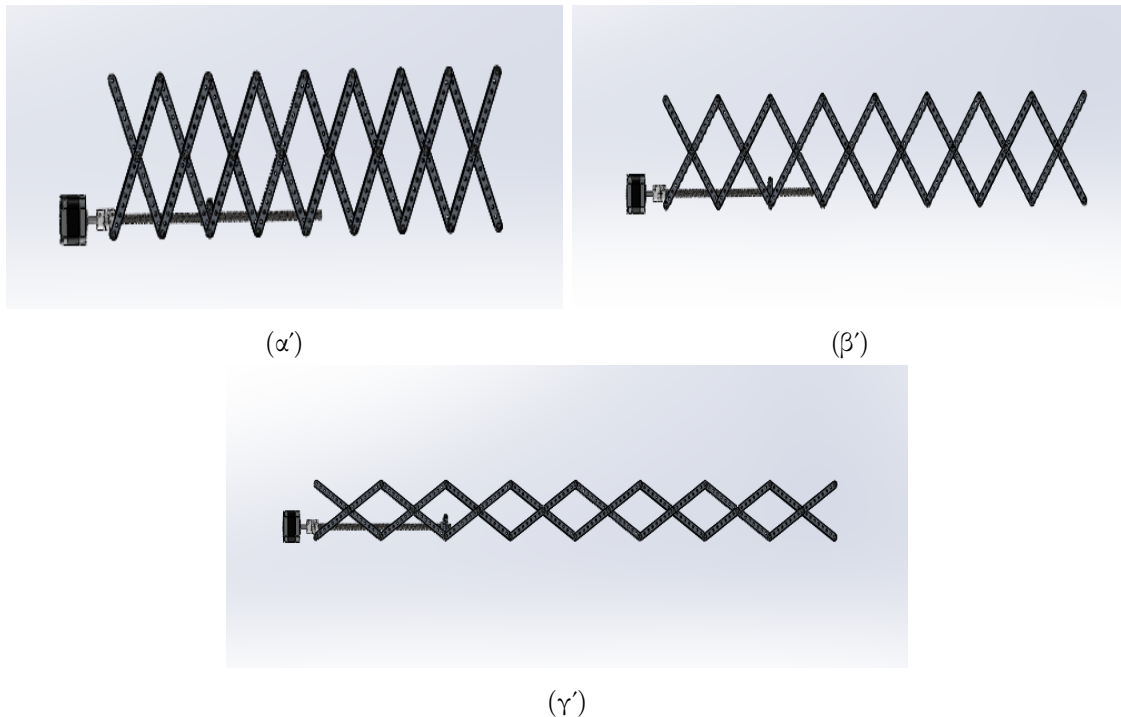
Σχήμα 2.5: Μηχανισμός φαλιδοειδών στοιχείων. α'. Μονή σειρά, β'. Παράλληλη διάταξη δύο αξόνων, γ'. Παράλληλη διάταξη ενός άξονα

- Τρόπος Κίνησης

Τα περιθώρια επιλογών για υλοποίηση ενός τρόπου κίνησης είναι πολλά με γνώμονα την επίτευξη της κίνησης για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Η ίδια η ευκολία της κατασκευής που αποτελεί μείζονα παράγοντα επιλογών και οδηγεί και σε χαμηλότερο κόστος, πρέπει να ταιριάζει με έναν αξιόπιστο τρόπο κίνησης που προσφέρει και ακριβή πρόβλεψη της μετατόπισης κατά τη λειτουργία. Εδώ αποφεύγεται η τοποθέτηση συστημάτων τροχαλιών, γραναζιών ή και στροφάλων που θα μπορούσαν να τοποθετηθούν και αντ' αυτών τοποθετείται το απλό και αποτελεσματικό σύστημα κοχλία κίνησης και περικόχλιου, που φαίνεται στο 2.6 με τον τρόπο κίνησης του σχήματος 2.7.



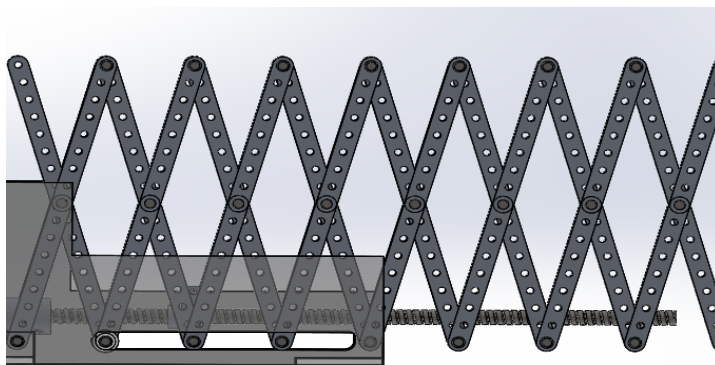
Σχήμα 2.6: Σύστημα κινητήρα-περικοχλίου-φαλιδιών



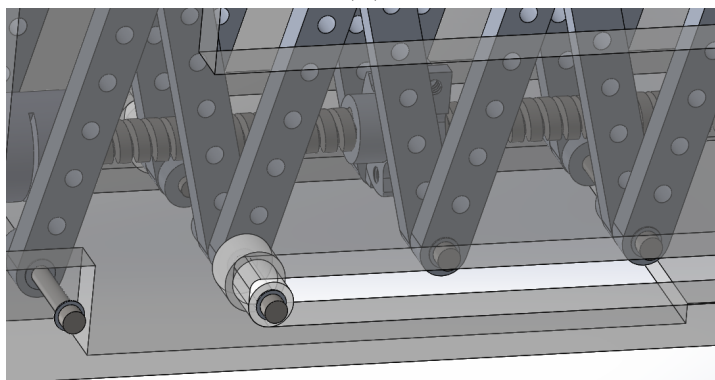
Σχήμα 2.7: Διαδοχικές θέσεις μετατόπισης μηχανισμού

- Τρόπος οδήγησης

Το σύστημα των ψαλιδοειδών στοιχείων ακολουθώντας τη διαδρομή που του επιβάλλει το παραπάνω σύστημα κίνησης, οφείλει να μην εξαναγκάζει σημεία του σε επιπλέον διαδρομές αλλά και να του επιτρέπει την κίνηση με τις λιγότερες δυνατές τριβές. Διατηρώντας παράλληλα μεταξύ άλλων την απλότητα στην κατασκευή και προνοώντας για την αλλαγή κλίσης κατά τη χρήση προκειμένου ο μηχανισμός να παραμένει στέρεος στη βάση του προτείνεται το παρακάτω σύστημα κίνησης με ροδάκια μπροστά και σταθερό σημείο περιστροφής πίσω, όπως στο σχήμα 2.8.



(α')



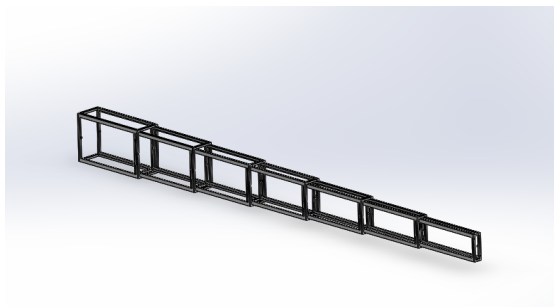
(β')

Σχήμα 2.8: Σύστημα τρόπου οδήγησης

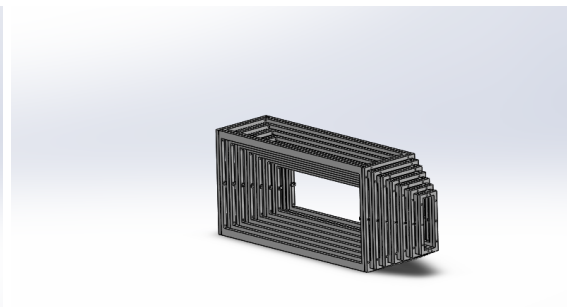
2.2.2 Μηχανισμός ορθογωνικής διατομής

- Δομή

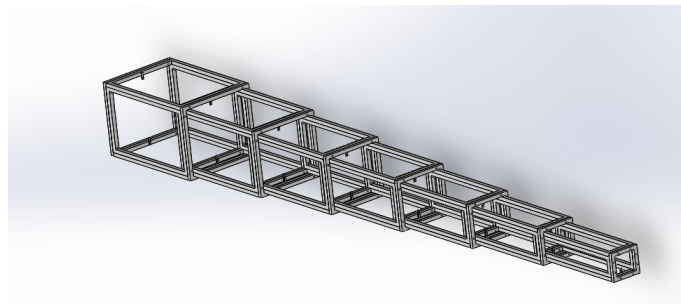
Για την ορθογωνική δομή, υπάρχουν διάφοροι τρόποι υλοποίησης που σχετίζονται τόσο με τις διαστάσεις της διατομής όσο και με την ύπαρξη υποστηριγμάτων ανάμεσα στις πλευρές των πλαισίων. Ο λόγος που προτείνεται αυτή η διάταξη, σχήμα 2.9, είναι για ελαχιστοποίηση του βάρους και εξοικονόμηση υλικού. Ταυτόχρονα, υπάρχει η επιλογή μεταξύ ορθογωνικής ή καθαρά τετραγωνικής δομής, με την δεύτερη όμως να προσδίδει μέγεθος στη διάσταση του πλάτους και συνεπώς, με το χέρι του ανθρώπου να βρίσκεται στη δεξιά ή αριστερή πλευρά, αυξάνεται η έκκεντρη φόρτιση που δέχεται ο ίδιος.



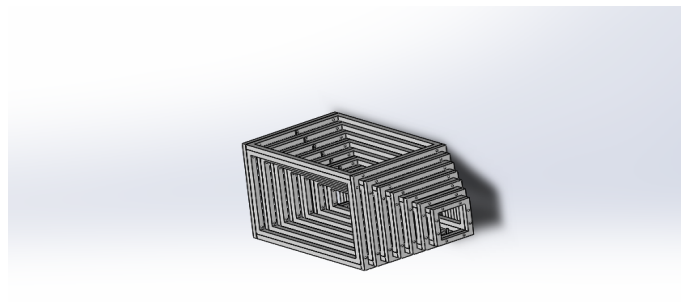
(α')



(β')



(γ')



(δ')

Σχήμα 2.9: Δομή. α'.β'. Ορθογωνική, γ'.δ'. Τετραγωνική

- Τρόπος Κίνησης

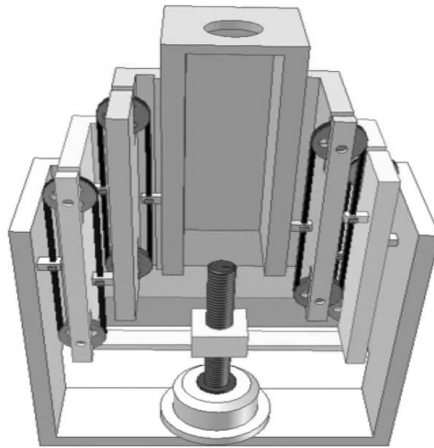
Το πολύ σημαντικό κομμάτι των επενεργητών και των στοιχείων μετάδοσης της κίνησης κρίνεται στην αποτελεσματικότητα του από την αξιοπιστία της πρόσδωσης κίνησης αλλά και στο συνολικό βάρος που προσθέτει στο σύστημα.

Μία μέθοδος θα ήταν η τοποθέτηση του επενεργητή στην αρχή του μηχανισμού ώστε το βάρος αυτό να μην βρίσκεται σε απόσταση από το χρήστη. Ταυτόχρονα πρέπει να αποφευχθεί η τοποθέτηση επιπλέον επενεργητών κατά το μήκος του μηχανισμού. Είναι αναγκαίο λοιπόν το σύστημα κίνησης να λειτουργεί μεταφέροντας δύναμη προς την επιθυμητή κατεύθυνση μέχρι και το τελευταίο πλαίσιο με την ταυτόχρονη μεταφορά των υπολοίπων πλην του πρώτου που αποτελεί και την βάση.

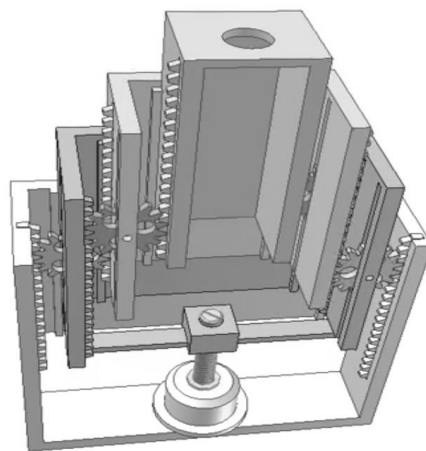
Η πρώτη ιδέα, σχήμα 2.10 που θα μπορούσε να εφαρμοστεί είναι ο παρακάτω μηχανισμός τροχαλιών που βρίσκονται σε κάθε πλευρά κάθε πλαισίου προκειμένου να γίνει εξοικονόμηση του απαιτούμενου χώρου. Η βασική αρχή κίνησης, όπου το πρώτο μεγαλύτερο μέρος είναι σταθερό, το δεύτερο κινείται μέσω του επενεργητή και κάθε πλαίσιο εκμεταλλεύεται τη σχετική μετακίνηση του σε σχέση με το μεγαλύτερο του ώστε να κινείται ο ιμάντας μεταφέροντας την κίνηση στο μικρότερο πλαίσιο, βασίζεται στα ενδιάμεσα συνδετικά σημεία μεταξύ πλαισίων και ιμάντων. Δεν απαιτείται έτσι λοιπόν άνω του ενός επενεργητή ενώ υπάρχει χώρος για τις τροχαλίες σε κάθε θέση στήριξης αφού τα πλαίσια δεν εξαντλούν όλο το μήκος του αμέσως μεγαλύτερου τους κατά την προέκταση.

Η δομή αυτή απαιτεί σαφώς κατασκευή εξ'ολοκλήρου των τροχαλιών προκειμένου να ταιριάζουν στις διαθέσιμες διαστάσεις των πλαισίων και έχοντας γνώμονα να μην αυξηθεί το μέγεθος συνολικά. Ταυτόχρονα, στα πλαίσια πρέπει να τοποθετηθεί δομή στήριξης τους αλλά και πιαστράκια που θα συνδέονται με τους ιμάντες.

Στη συνέχεια, μία διαφορετική προσέγγιση, σχήμα 2.11, με σαφώς περισσότερα μειονεκτήματα είναι η παρακάτω όπου στην ίδια λογική που παρουσιάστηκε αρχικά, το ρόλο αυτό τον έχει κάθε γρανάζι που καθώς κινείται πάνω σε έναν κανόνα μεταφέρει την κίνηση του σε κανόνα του μεθεπόμενου πλαισίου σε σχέση με αυτό στο οποίο πατάει από τη μία πλευρά. Δε χρειάζεται επενεργητής σε μεγάλη απόσταση, ωστόσο το μήκος που φτάνει συνολικά ο μηχανισμός είναι το μισό σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση.



Σχήμα 2.10: Κίνηση με τροχαλίες



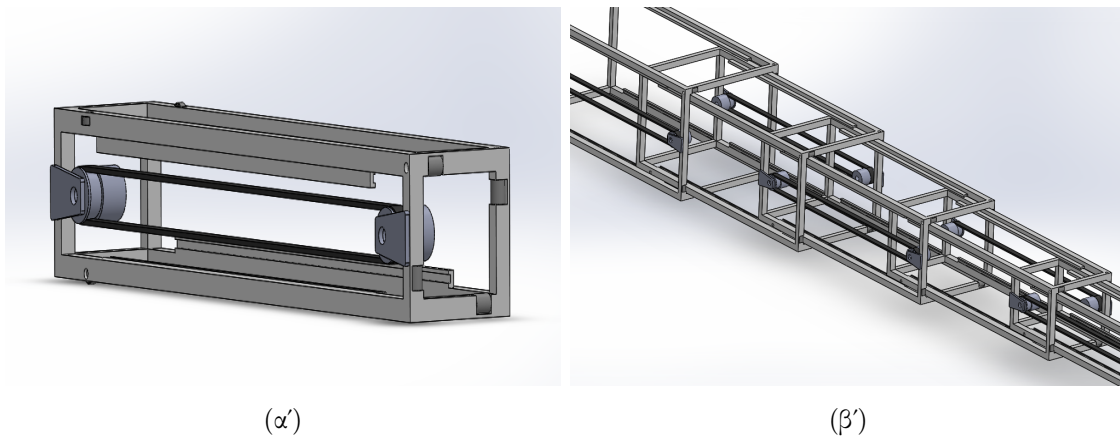
Σχήμα 2.11: Κίνηση με οδόντες

- Τρόπος οδήγησης

Για να εξασφαλιστεί η ομαλή συνεργασία των μερών καθ' όλη τη διάρκεια της κίνησης, πρέπει να σχεδιαστεί το σύνολο εκείνο των χαρακτηριστικών που θα εξασφαλίσουν αυτό. Για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι σημαντικό τα πλαίσια να έχουν ένα περιθώριο στην μεταξύ τους απόσταση τέτοιο που όταν ο μηχανισμός δέχεται φόρτιση από το βάρος που μεταφέρει να μην προκαλείται επαφή των στοιχείων σε άλλα σημεία πέρα αυτών που είναι προορισμένα για αυτό το σκοπό. Προτείνονται λοιπόν δύο τρόποι που θα μπορούσε να υλοποιηθεί μία τέτοια κατασκευή.

Μία υλοποίηση μπορεί να περιλαμβάνει την προσάρτηση από ροδάκια σε συγκεκριμένα σημεία στη μπροστινή διατομή κάθε τμήματος αλλά και στο πίσω μέρος σε συγκεκριμένες θέσεις. Εφαρμόζοντας τον ελάχιστο αριθμό από αυτά, κάνοντας προσπάθεια να μην υποβαθμίζεται η ικανότητα της κίνησης λόγω άλλων επαφών παρίσταται γραφικά μία τέτοια προσέγγιση, στο σχήμα 2.12.

Έπειτα μία άλλη λύση που θα μπορούσε να εφαρμοστεί, σχήμα 2.13, είναι αυτή των

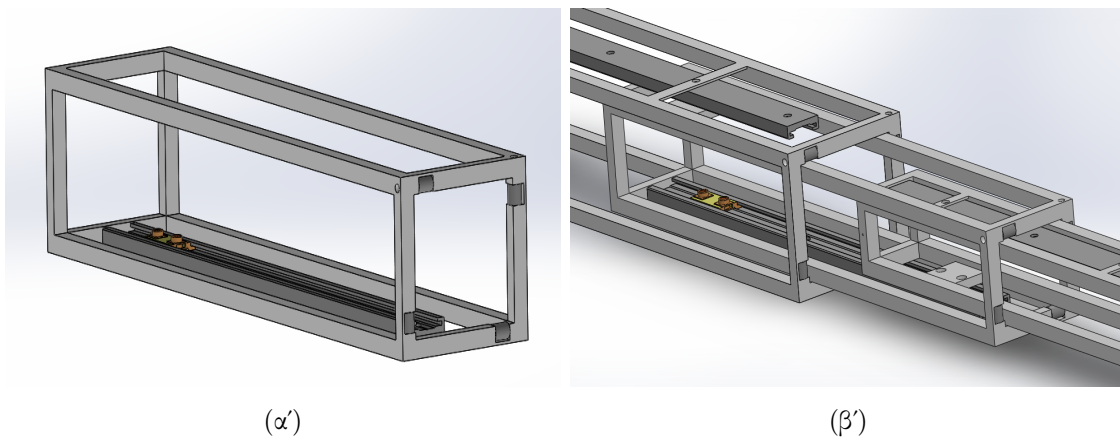


(α')

(β')

Σχήμα 2.12: Οδήγηση με ροδάκια

γραμμικών ολισθητήρων όπου με κατάλληλη προσάρτηση του κάθε πλαισίου σε κάθε ένα από αυτά, θα γίνεται η οδήγηση. Απαιτείται η βάση του ολισθητήρα να είναι στέρεα συνδεδεμένη στο μεγαλύτερο πλαίσιο και ο ολισθητήρας να οδηγεί το μικρότερο πλαίσιο. Η λύση αυτή απαιτεί ειδική κατεργασία για την κάθε επιμέρους πρόσδεση των κομματιών και δεν εξασφαλίζει στο έπακρο την διατήρηση της απόστασης των πλαισίων που δέχονται επιπλέον βάρος. Το βάρος παράλληλα αυξάνεται συνολικά αρκετά πέραν των πλαισίων αφού σε κάθε ένα χρειάζεται και από ένας οδηγός.



(α')

(β')

Σχήμα 2.13: Οδήγηση με ολισθητήρες

Και οι δύο αυτές προσεγγίσεις, συνιστούν μία δύσκολα υλοποιήσιμη κατασκευή που οδηγεί σε μεγάλο βάρος για τα δεδομένα του προβλήματος, απαιτώντας παράλληλα την τμηματική κατασκευή κομματιών όπου οι ανοχές τους δεν επιτρέπεται να είναι μεγάλες. Είναι απαραίτητη η απόλυτη ευθυγράμμιση των πλαισίων ώστε να συνεργάζεται ομαλά το ένα με το άλλο και το γεγονός ότι η καλύτερη πρόταση είναι να τοποθετηθούν τροχαλίες αυξάνει σημαντικά τον όγκο της κατασκευής.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω από τις δύο προτάσεις, στην πρώτη περίπτωση η κατασκευή είναι μία απλή κατασκευή, μικρού κόστους και ελαφριά χάρη στην απλότητα της δομής της. Συνδυάζει επίσης τους παράγοντες της αξιοπιστίας, της ευκολίας στη χρήση και της προσιτότητας στον άνθρωπο χάρη στην απλή λειτουργία της. Αντίθετα, η δεύτερη περίπτωση μειονεκτεί και στους τρεις άξονες σχεδίασης, με τη δομή της να απαιτεί σύνθετη κατεργασία και συναρμολόγηση, και τον τρόπο κίνησης και οδήγησης να αυξάνουν την περιπλοκότητα και το ήδη σημαντικό βάρος, μιλώντας για παρόμοιο υλικό κατασκευής και για τα δύο. Για όλα τα παραπάνω, η κατασκευή των ψαλιδοειδών στοιχείων παρουσιάζεται στη συνέχεια ως η επικρατέστερη για το δεδομένο πρόβλημα.

Κεφάλαιο 3

Σχεδίαση

3.1 Κινούμενος μηχανισμός

3.1.1 Επιλογή

Η διαδικασία του σχεδιασμού και της υλοποίησης ξεκινά με τα μέρη εκείνα που θα αποτελέσουν τον κινούμενο μηχανισμό και φέρουν το εξωτερικό φορτίο, που είναι το αντικείμενο προς αρπαγή. Οι επιλογές που ακολουθούνται σε κάθε περίπτωση συνδέονται με τους παράγοντες που συνιστούν τα κριτήρια επιλογής καθώς και τα στοιχεία από τα οποία αυτοί εξαρτώνται.

Οι κύριοι λοιπόν παράγοντες για την επιλογή των ψαλιδοειδών στοιχείων είναι τα πλεονεκτήματα του σχεδιασμού τους έναντι άλλων, το κόστος κατασκευής ή προμήθειας και η ευκολία στην κατασκευή ή προμήθεια. Έτσι, αυτά με τη σειρά τους, εξαρτώνται από το υλικό που χρησιμοποιείται, την ακρίβεια της κατεργασίας, αν γίνεται μαζική παραγωγή τους ή όχι και από τις κατασκευαστικές δυνατότητες στα πλαίσια του εργαστηρίου.

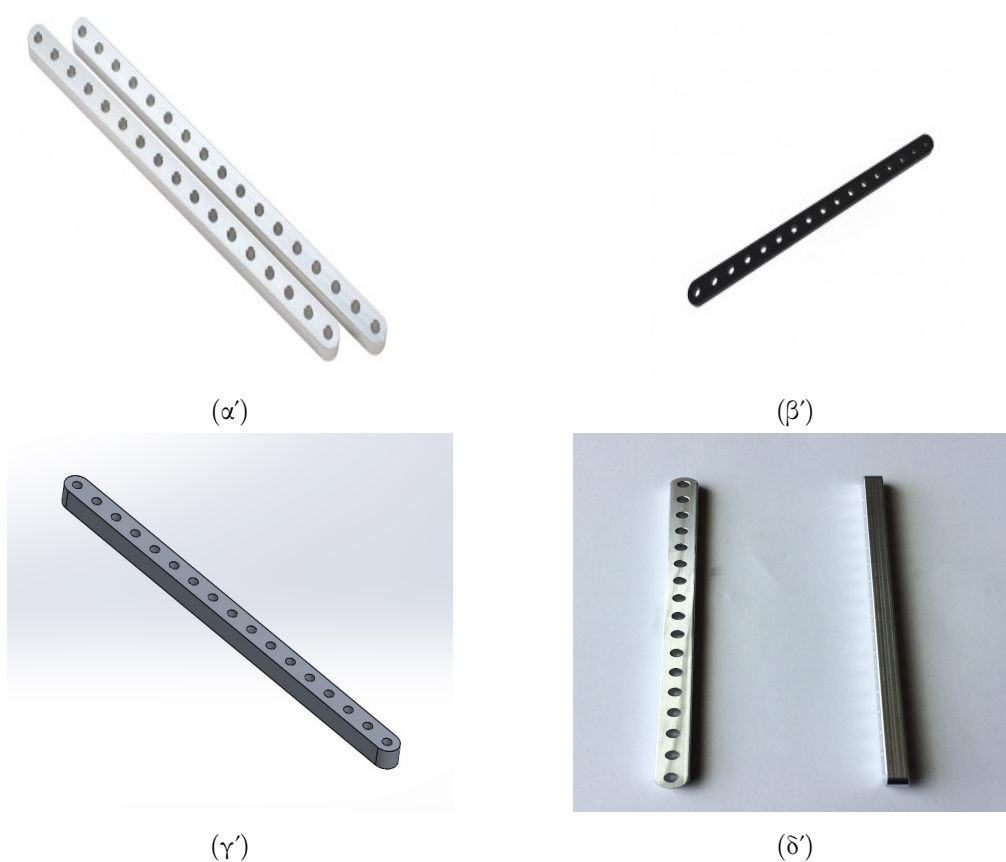
Η τελική επιλογή των ψαλιδοειδών τεμαχίων που θα χρησιμοποιηθούν, κρίνεται ως προς την καταλληλότητα της από το βαθμό στον οποίο ικανοποιεί τα παρακάτω :

- Χαμηλό βάρος και συνολικός όγκος
- Ικανοποιητικό μήκος προέκτασης
- Στατική αντοχή
- Αξιοπιστία στην ακρίβεια της κατεργασίας τους

Κατά αυτόν τον τρόπο αξιολόγησης διερευνούνται δύο επιλογές, με τη μία να είναι η προμήθεια της σειράς Aluminum Beams της εταιρείας Actobotics [11] και την άλλη η κατασκευή με υλικό προτίμησης εξωτερικά ή στο εργαστήριο.

Καθώς οι απαιτήσεις για τοποθέτηση σε παράλληλη διάταξη, θέτουν υψηλές προδιαγραφές τόσο για στατική αντοχή όσο και ακρίβεια στις διαστάσεις προκειμένου να μην υπάρχει δυσκολία ή ακόμα και να γίνει αδύνατη η συναρμολόγηση, το υλικό όσο και ο τρόπος επεξεργασίας του είναι περιορισμένα.

Τα προϊόντα της εταιρείας Actobotics διαθέτουν τη σειρά Beams σε αλουμίνιο και πλαστικό. Το πλαστικό, διαπιστώνεται και στην πράξη ότι ενώ έχει μικρότερο βάρος δεν πληρεί σε καμία περίπτωση το κριτήριο αντοχής σε κάμψη αφού είναι πολύ εύκαμπτο. Απεναντίας, η σειρά αλουμινίου, παρόλο που οδηγεί σε μεγαλύτερες διαστάσεις συνολικής κατασκευής εξασφαλίζει πλήρως την αντοχή σε στατική καταπόνηση, τα προϊόντα της έχουν μία επαρκή ποικιλία μηκών αν και τυποποιημένων, το βάρος τους παραμένει σε ανεκτά επίπεδα για το σύνολο του βάρους που αναμένεται για μία φορητή συσκευή και έχουν μεγάλη ακρίβεια στις διαστάσεις τους. Ταυτόχρονα, το κόστος τους είναι μικρό λόγω της μαζικής παραγωγής τους. Επίσης έχουν οπές σε όλο το μήκος γεγονός που τα κάνει ιδανικά για την μεταξύ τους σύνδεση και για μείωση του βάρους.



Σχήμα 3.1: Ψαλιδοειδή στοιχεία. α'. Αλουμίνιο, β'. Πλαστικό, γ'. Μοντέλο, δ'. Τεμάχια παραλαβής

Από τις παρακάτω τυποποιήσεις μηκών, η πιο κατάλληλη κρίνεται η σειρά των 156 mm καθώς δεν οδηγεί σε μη αποδεκτό ύψος κατά την πλήρη επαναφορά του μηχανισμού και δίνει ικανοποιητικό μήκος σε προέκταση χωρίς τη χρησιμοποίηση υπερβολικού αριθμού τεμαχίων. Ενδεικτικά, η επόμενη σειρά είναι σε μήκος 195 mm αντί του 156 mm, δίνοντας έτσι και μεγάλο ύψος. Ταυτόχρονα, η μικρότερη σειρά απαιτεί στην πράξη 10 τουλάχιστον σειρές για άνοιγμα άνω του ενός μέτρου.

Υλικό	Βάρος (gr)	Όριο (N/mm^2)
Aluminum 6061	24	275 (Διαφροής)
Acetyl Plastic	8	71 (Θραύσης)

Πίνακας 3.1: Υλικά ψαλιδοειδών στοιχείων

Μήκος (mm)
98
117
156
195

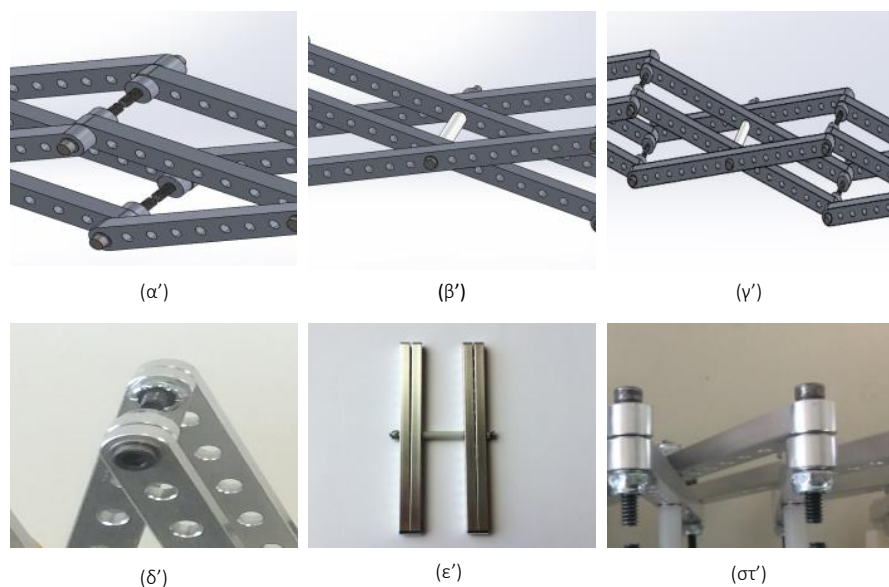
Πίνακας 3.2: Διαθέσιμα μήκη ψαλιδοειδών στοιχείων

Από την άλλη η κατασκευή εξ' ολοκλήρου στο επίπεδο της ακρίβειας και του κόστους των προηγούμενων τεμαχίων είναι αδύνατη στο πλαίσιο του εργαστηρίου, εννοώντας για το ίδιο υλικό. Ακόμα και παρόμοιας γεωμετρίας με τα παραπάνω, αλλά με μικρότερο πάχος για μείωση του βάρους μπορεί να γίνει κατεργασία σε μηχανουργείο του υλικού αλουμινίου, με σκοπό έτσι να μειωθεί το βάρος, όμως και πάλι το κόστος είναι πολύ μεγαλύτερο από το επιθυμητό για την κατασκευή αυτή. Άλλες πιθανές λύσεις που εξετάστηκαν, είναι πλαστικό ABS που όμως στο εργαστήριο με εκτύπωση οδηγεί σε μεγάλες διαφοροποιήσεις στις διαστάσεις και σε πρόβλημα στη συναρμογή. Έπειτα η κατεργασία κάποιου πλαστικού σε εξωτερικό μηχανουργείο ανεβάζει υπερβολικά το κόστος. Ταυτόχρονα, αν και πιο ελαφρύ, το πλαστικό απαιτεί μεγαλύτερο πάχος τεμαχίου για να εξασφαλιστεί ικανοποιητική στατική αντοχή. Έπειτα, πλεξιγκλάς που θα μπορούσε να κοπεί στο εργαστήριο δεν ικανοποιεί και αυτό τη στιβαρότητα που χρειάζεται.

Ο τρόπος με τον οποίο δημιουργείται η παράλληλη δομή, στηρίζεται στη λογική τοποθέτησης δύο σειρών ψαλιδοειδών στοιχείων με ενδιάμεση στήριξη έναν κοχλία και αποστάτη εξωτερικά του σε κάθε μεσαίο σημείο. Χρησιμοποιείται πλαστικός αποστάτης από Nylon, καθώς είναι αυτολιπαινόμενο υλικό και δεν προσθέτει σημαντικό βάρος. Επίσης κάθε σειρά δομείται με κοχλίες μικρότερου μήκους με σκοπό να τοποθετηθούν περικόχλια ασφαλείας με πλαστικό εσωτερικά. Επιλέγεται αυτός ο τρόπος διατήρησης της σύνδεσης καθώς εξασφαλίζει διαρκή διατήρηση της δομής και όχι το αντίθετο λόγω αποσύσφιξης περικοχλίων. Την ίδια στιγμή, με ρύθμιση της σύσφιξης δεν δημιουργείται επιβολή μεγάλης δύναμης μεταξύ των επιφανειών ώστε αυτές να μπορούν να περιστρέφονται η μία ως προς την άλλη. Για καλύτερη αποτελεσματικότητα αυτού τοποθετούνται ροδέλες μεταξύ κάθε επιφάνειας.

Στους περιορισμούς της επιλογής των προϊόντων αυτών συγκαταλέγονται η τυποποίηση

των διαστάσεων της διαμέτρου των οπών των ψαλιδιών σε 3.56 mm που εξαναγκάζει στην επιλογή της ίδιας διαμέτρου κοχλίας αλλά και αποστάτη, που όμως διατηρεί το μηχανισμό σε επιθυμητά γεωμετρικά όρια. Η διάσταση του ύψους των αποστατών επιλέγεται στα 25.4 mm προκειμένου να είναι δυνατή η τοποθέτηση όλου του συστήματος στον κινηματικό μηχανισμό που θα περιγραφεί στη συνέχεια.

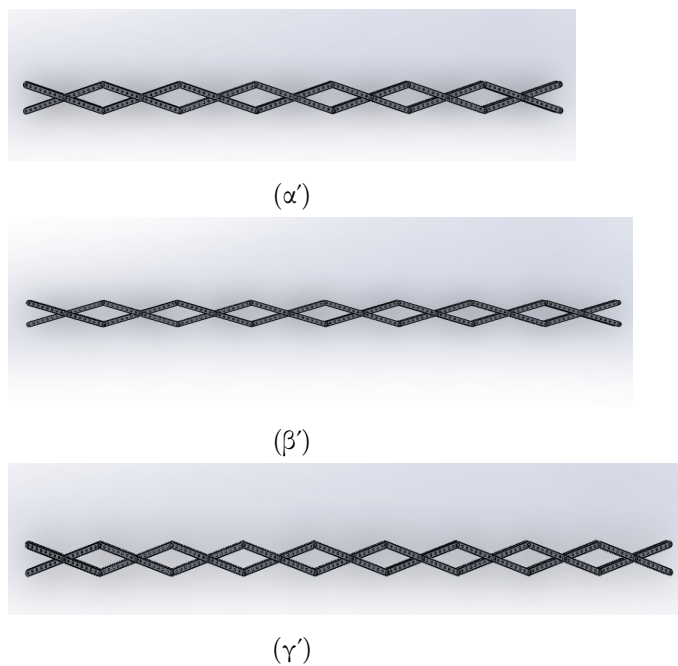


Σχήμα 3.2: Σύνδεση στοιχείων διάταξης. α'. Μοντέλο σύνδεσης στη σειρά, β'. Μοντέλο παράλληλης σύνδεσης, γ'. Μοντέλο τριών στη σειρά, δ'. Σύνδεση στη σειρά, ε'. Παράλληλη σύνδεση, ζ'. Τρία στη σειρά

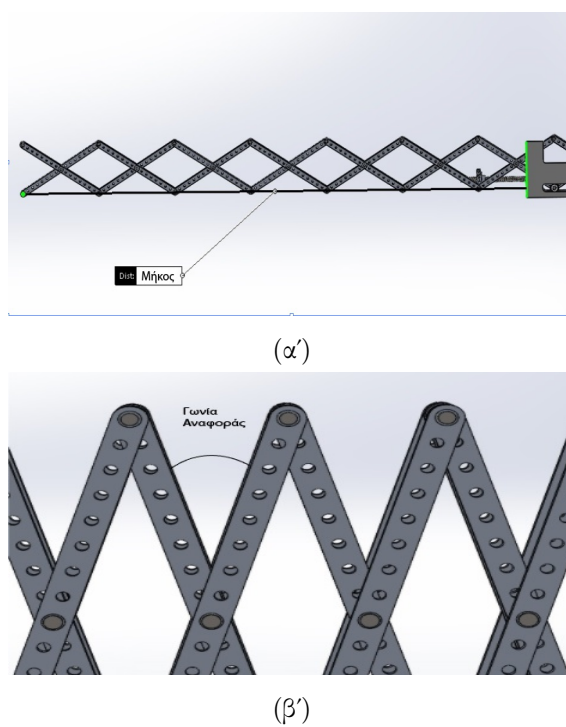
Το πιο σημαντικό στοιχείο είναι αυτό του μήκους που θα επιλεγεί, προκύπτοντας από τον αριθμό των παράλληλα συνδεόμενων ψαλιδιών που τοποθετούνται στη σειρά. Κάτι τέτοιο εξαρτάται από το συνολικό βάρος του κινούμενου μηχανισμού και το πραγματικό μήκος προέκτασης με βάρος.

Στο πραγματικό ή δυνατό μήκος προέκτασης προστίθεται το τελικό μήκος του ακροδέκτη όπου μαζί με το ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι δίνει άλλα 150 mm. Η διάταξη δεν ανοίγει πλήρως όμως ο κοχλίας κίνησης μεταδίδει επαρκώς ροπή μέχρι ένα συγκεκριμένο περίπου σημείο, κατά το μήκος του, στο περικόχλιο καθώς αυτό πλησιάζει στο άκρο του. Η δοκιμή έγινε με βάρος πέραν των ψαλιδιοειδών στοιχείων, αυτό του ρομποτικού χεριού.

Δοκιμάστηκαν τρεις κύριες διατάξεις με επτά, οκτώ και εννέα παράλληλα ψαλίδια στη σειρά, σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.3: Ψαλιδοειδής διάταξη με διαφορετικό αριθμό παράλληλων διατάξεων. α'. Επτά στη σειρά, β'. Οκτώ στη σειρά, γ'. Εννέα στη σειρά



Σχήμα 3.4: Μεγέθη αναφοράς. α'. Μήκος προέκτασης, β'. Γωνία αναφοράς φ

Η αναφορά στο μήκος που ακολουθεί γίνεται με βάση το σχήμα 3.4α'. Διαπιστώθηκε πως :

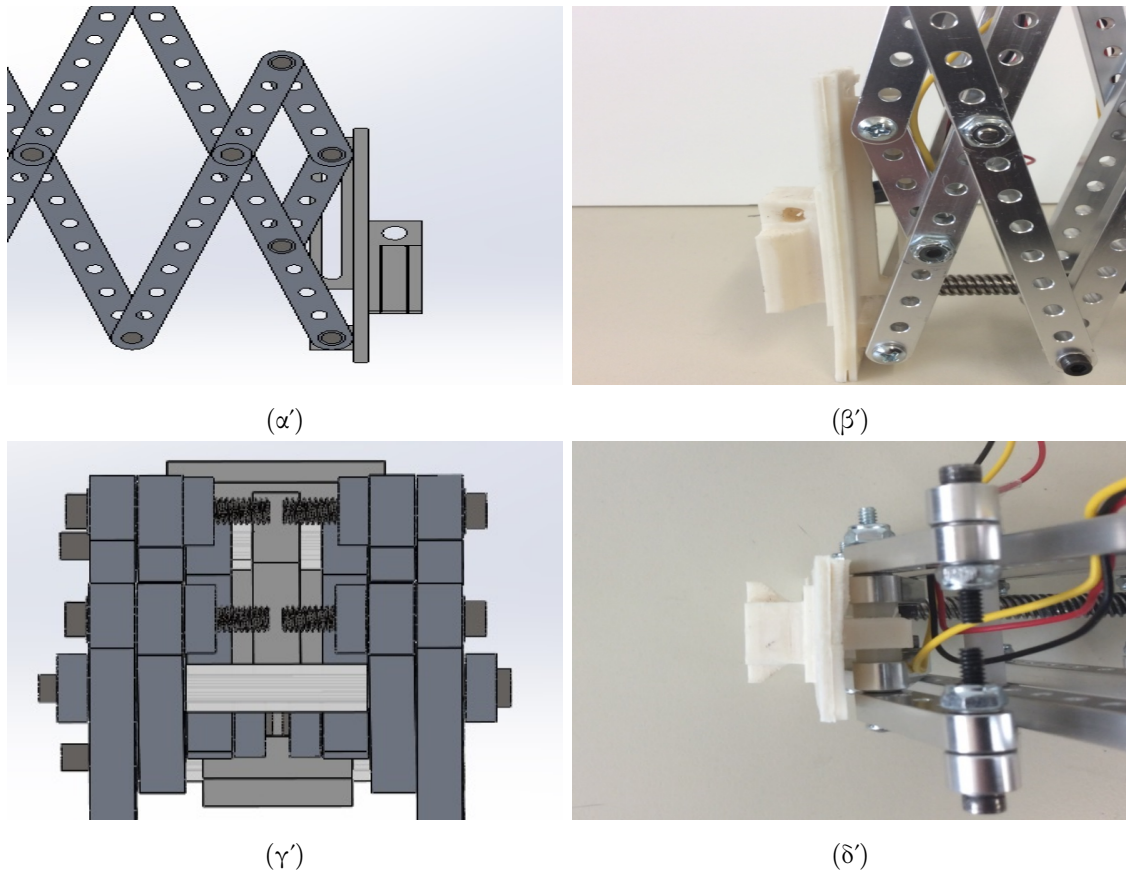
- Η διάταξη των επτά οδηγεί σε πολύ μικρό μήκος προέκτασης 0.77 m, δίνοντας βάρος κινούμενου μηχανισμού 0.82 kg
- Η διάταξη των οκτώ οδηγεί σε ικανοποιητικό μήκος 0.9 m, δίνοντας βάρος κινούμενου μηχανισμού 0.94 kg
- Η διάταξη των εννιά οδηγεί σε μήκος προέκτασης 1.03 m , δίνοντας βάρος κινούμενου μηχανισμού 1.06 kg

Έτσι με βάση τα παραπάνω και το τελικό βάρος που διαμορφώνεται για το σύνολο της κατασκευής προκύπτει :

- Η διάταξη των επτά οδηγεί σε μη αποδεκτό τελικό μήκος ακροδέκτη 0.92 m
- Η διάταξη των οκτώ οδηγεί σε αποδεκτό τελικό μήκος ακροδέκτη 1.05 m
- Η διάταξη των εννιά οδηγεί σε αποδεκτό τελικό μήκος ακροδέκτη 1.18 m αλλά αυξάνει ακόμα πιο πολύ το βάρος κατά 100 περίπου γραμμάρια προσφέροντας σε περαιτέρω μήκος μόνο 0.13 m

Έτσι για τις ανάγκες των επόμενων πειραμάτων και την πρωτυποποίηση της κατασκευής, η διάταξη των εννέα δε συνεισφέρει σημαντικά στη βελτίωση του δυνατού μήκους προέκτασης, κάνοντας ταυτόχρονα το μηχανισμό λιγότερο αποτελεσματικό κατά την κίνηση υπό φορτίο, αυξάνοντας το βάρος του. Διαπιστώνεται επίσης στην πράξη, μετά από τη διαδικασία των πειραμάτων, πως η βελτίωση του μήκους προέκτασης μπορεί να γίνει με άλλους τρόπους επέμβασης στον κινητήριο μηχανισμό αρχικά και στη συνέχεια στον αριθμό των ψαλιδοειδών στοιχείων, λαμβάνοντας υπόψη πάντα το συνολικό βάρος που δεν πρέπει να ζημιώνει τη φορητότητα. Επιλέγεται συνεπώς η διάταξη των οκτώ όπου για τη δεδομένη σειρά τεμαχίων που επιλέχθηκαν δίνει την καλύτερη σχέση δυνατού μήκους προέκτασης και τελικού βάρους.

Τέλος, για λόγους συμβατότητας με τη βάση πρόσδεσης του ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού [1] [2], σχεδιάζεται η διάταξη εκείνη που εκπληρεί καλύτερα τις απαιτήσεις για ελάχιστο όγκο και βάρος.



Σχήμα 3.5: Όψεις βάσης πρόσδεσης ρομπωτικού χεριού

3.1.2 Στατική

Τη στατική αντοχή¹ της διάταξης αυτής επαληθεύει το λογισμικό Solidworks [15], για συνθήκες δοκιμής με εξωτερικό βάρος² 1 kg στο άκρο και καταπόνηση λόγω ιδίου βάρους του μηχανισμού. Εξετάζεται το πιο ισχυρά καταπονούμενο τμήμα που είναι οι δύο πρώτες παράλληλες διατάξεις. Γίνεται δοκιμή σε τρεις προσανατολισμούς και χωρίς κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο καθώς έτσι η συνιστώσα του βάρους οδηγεί εξ' ολοκλήρου σε κάμψη το μηχανισμό, τον οποίο καταπονεί μέγιστα.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης φαίνονται στον πίνακα 3.3, με τη μέγιστη τιμή που παρατηρείται σε κάθε υλικό αλλά και τα όρια διαρροής τους, πίνακας 3.4.

Υλικό	Όριο διαρροής(N/mm^2)
Αλουμίνιο 6061	275
Χάλυβας 18-8	205
Πλαστικό Nylon	60

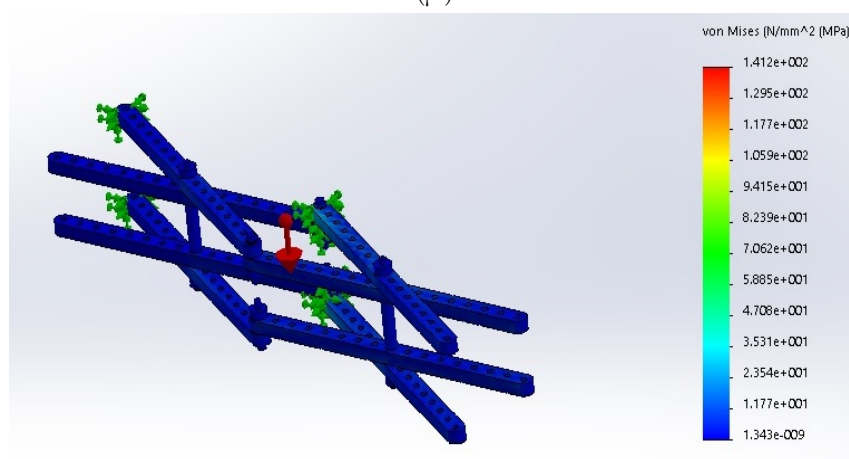
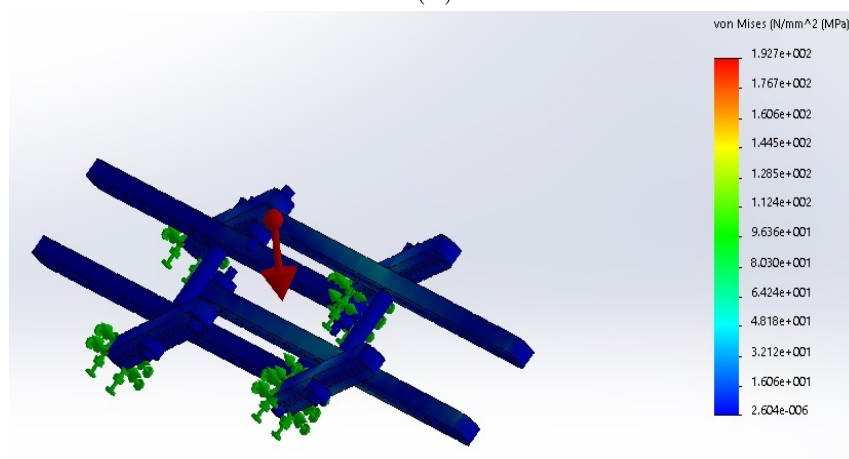
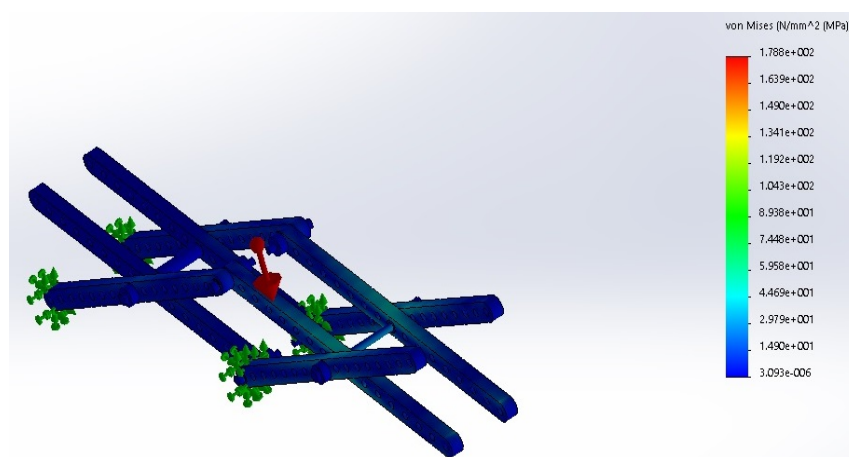
Πίνακας 3.3: Όρια διαρροής υλικών ψαλιδοειδών στοιχείων

Προσανατολισμός (°)	Μέγιστη Τάση σε Χάλυβα (N/mm^2)	Μέγιστη Τάση σε Αλουμίνιο (N/mm^2)	Μέγιστη Τάση σε Nylon (N/mm^2)	Μέγιστη Μετατόπιση Σημείου (mm)
0	69.7	50.2	0.95	0.7
45	99.8	43.9	4.5	0.61
90	98.5	80	4.9	0.28

Πίνακας 3.4: Μέγιστες τάσεις ψαλιδοειδών στοιχείων

¹Τα αποτελέσματα προσομοίωσης γίνονται στο λογισμικό Solidworks, σε περιβάλλον στατικής προσομοίωσης. Χρησιμοποιείται Bonded Contact για την προσομοίωση των συνδέσεων και διαφορετικό υλικό ανάλογα με το τεμάχιο. Η ανάλυση γίνεται με βάση τη βιβλιογραφία περί στατικής ανάλυσης και συνδέσεων του λογισμικού αυτού [12], [13], [14].

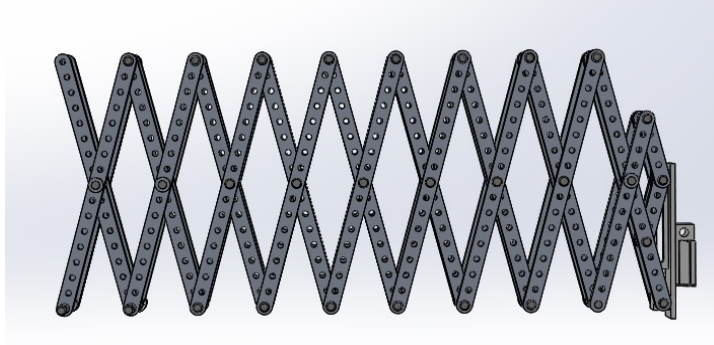
²Το ρομποτικό χέρι ζυγίζει 300 γραμμάρια και το εξωτερικό βάρος θεωρείται 700 γραμμάρια, που υπερβαίνει τις δυνατότητες προς αρπαγή του διαθέσιμου χεριού. Προβλέπεται συνεπώς και για τη συγκεκριμένη χρήση και για άλλες.



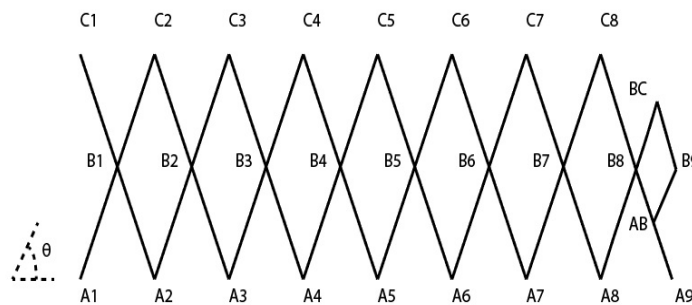
Σχήμα 3.6: Δοκιμές στατικής ανάλυσης. α'. 0 °, β'. 45 °, γ'. 90 °,

3.1.3 Μοντελοποίηση

Στα πλαίσια του τρόπου οδήγησης που περιγράφηκε προηγουμένως, παρουσιάζεται το σύνολο των σχέσεων που περιγράφουν τη μετατόπιση κάθε σημείου, θεωρώντας το δισδιάστατο επίπεδο που φαίνεται παρακάτω, μοντελοποιώντας ανάλογα με το [16].



Σχήμα 3.7: Ψαλιδοειδής διάταξη συνολική



Σχήμα 3.8: Μοντελοποίηση ψαλιδοειδούς διάταξης

Ο κινητήρας οδηγεί μέσω της βίδας και περικόχλιου το σημείο A3, το A2 κάνει κύλιση με ροδάκια στη διαδρομή της βάσης και το A1 περιστρέφεται ως προς τον άξονα συμμετρίας του. Συνεπώς όλα τα σημεία A_i εκτός του A1, εκτελούν κίνηση οριζόντια. Ταυτόχρονα τα σημεία B εκτελούν κυκλική κίνηση ως προς το εκάστοτε σημείο A με τον ίδιο δείκτη i και οριζόντια μεταφορική όμως λόγω της μετακίνησης του A_i, αν αυτή γίνεται. Τα σημεία C_i εκτελούν κυκλική ως προς το A_i και οριζόντια αυτή του A_i και άρα εκτός του C1 που εκτελεί μόνο κατακόρυφη.

Αυτά ισχύουν για τα σημεία από 1-8. Στη συνέχεια λόγω της ειδικής διαδρομής στη βάση πρόσδεσης του ρομποτικού χεριού, τα σημεία A9 και B9 βρίσκονται κάθετα το ένα στο άλλο, με το A9 να κάνει οριζόντια κίνηση και το B9 να εκτελεί την οριζόντια μεταφορική κίνηση του A9 και κατακόρυφη ταυτόχρονα. Τα ενδιαμέσα σημεία AB και BC περιγράφονται από παρόμοιες μεταξύ τους σχέσεις. Ορίζεται l το μήκος A1B1.

Με βάση λοιπόν τη διάταξη και τους κανόνες μετατόπισης στους οποίους υπόκειται κάθε

σημείο προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις, με θ τη γωνία του σχήματος 3.8.

Θέσεις σημείων A

$$x_{A1} = 0$$

$$y_{Ai} = 0, i=1, \dots, 9$$

$$x_{A2} = l * \cos(\theta) * 2$$

$$x_{A3} = l * \cos(\theta) * 4$$

$$x_{A4} = l * \cos(\theta) * 6$$

$$x_{A5} = l * \cos(\theta) * 8$$

$$x_{A6} = l * \cos(\theta) * 10$$

$$x_{A7} = l * \cos(\theta) * 12$$

$$x_{A8} = l * \cos(\theta) * 14$$

$$x_{A9} = l * \cos(\theta) * 16$$

Θέσεις σημείων B

$$x_{B1} = x_{A1} + l * \cos(\theta)$$

$$y_{Bi} = l * \sin(\theta), i=1, \dots, 9$$

$$x_{B2} = x_{A2} + l * \cos(\theta)$$

$$x_{B3} = x_{A3} + l * \cos(\theta)$$

$$x_{B4} = x_{A4} + l * \cos(\theta)$$

$$x_{B5} = x_{A5} + l * \cos(\theta)$$

$$x_{B6} = x_{A6} + l * \cos(\theta)$$

$$x_{B7} = x_{A7} + l * \cos(\theta)$$

$$x_{B8} = x_{A8} + l * \cos(\theta)$$

$$x_{B9} = x_{A9}$$

Θέσεις σημείων C

$$x_{C1} = 0$$

$$y_{Ci} = 2 * y_{Bi}, i=1, \dots, 8$$

$$x_{C2} = x_{A2}$$

$$x_{C3} = x_{A3}$$

$$x_{C4} = x_{A4}$$

$$x_{C5} = x_{A5}$$

$$x_{C6} = x_{A6}$$

$$x_{C7} = x_{A7}$$

$$x_{C8} = x_{A8}$$

Θέση σημείου AB

$$x_{AB} = x_{B8} + \frac{l}{2} * \cos(\theta)$$

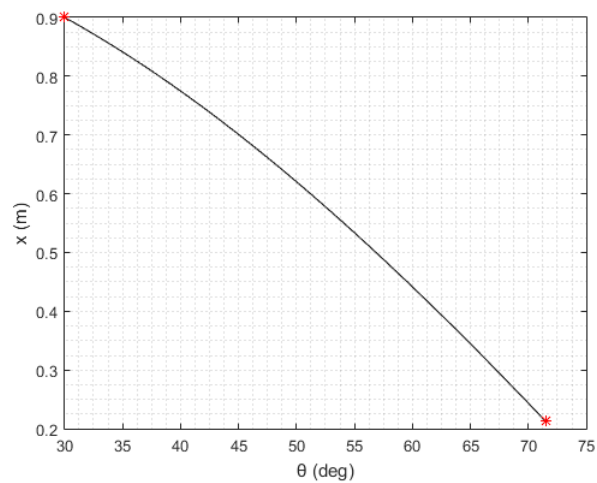
$$y_{AB} = y_{B8} - \frac{l}{2} * \sin(\theta)$$

Θέση σημείου BC

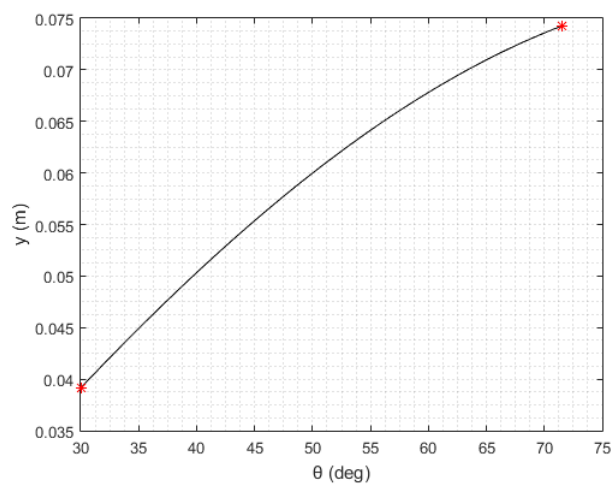
$$x_{BC} = x_{AB}$$

$$y_{BC} = y_{B8} + \frac{l}{2} * \sin(\theta)$$

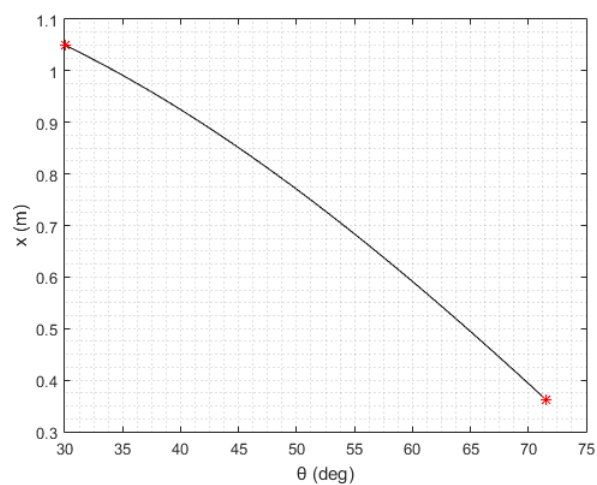
Από τα παραπάνω χρήσιμη είναι η απεικόνιση της σχέσης της οριζόντιας και κατακόρυφης μετατόπισης του B9, όσο και της οριζόντιας του άκρου λαμβάνοντας υπόψιν το ρομποτικό χέρι, σε σχέση με τη γωνία θ . Για να ληφθεί υπόψιν το χέρι προστίθεται η διάσταση 150 mm και 23 mm κατά το x και y αντίστοιχα στις μετατοπίσεις του A9.



Σχήμα 3.9: Οριζόντια μετατόπιση του B9



Σχήμα 3.10: Κατακόρυφη μετατόπιση του B9



Σχήμα 3.11: Οριζόντια μετατόπιση του τελικού άκρου

3.2 Κινητήριος μηχανισμός

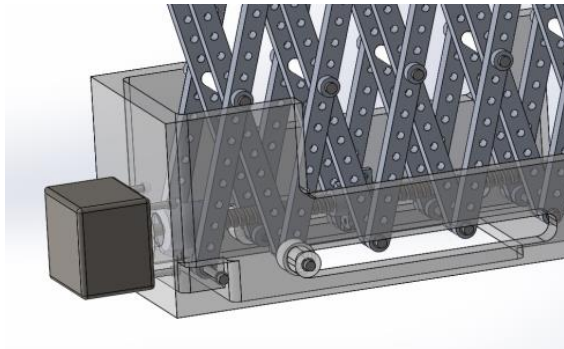
3.2.1 Επιλογή

Κύριο μέλημα κατά το σχεδιασμό της συσκευής είναι η ικανότητα κίνησης σε αποδεκτά γρήγορη ταχύτητα χωρίς κραδασμούς και διακοπές. Στην απαίτηση αυτή συνιστούν αρνητικά η φόρτιση εξαιτίας του ιδίου βάρους του κινούμενου μηχανισμού, που είναι τα ψαλιδοειδή στοιχεία, και το εξωτερικό βάρος του μηχανισμού, που είναι το ρομποτικό χέρι και το αντικείμενο αρπαγής. Με άλλα λόγια, η κάθετη συνιστώσα του κέντρου βάρους των παραπάνω αλλά και η οριζόντια που εμφανίζονται, επιβάλλουν δυσκολία στη μετακίνηση του μηχανισμού ιδιαίτερα καθώς αυτός βρίσκεται σε μεγάλο μήκος προέκτασης.

Πρέπει λοιπόν ο κινητήριος μηχανισμός να μπορεί καταρχάς να παραλάβει τα φορτία έχοντας στατική αντοχή επαρκή, έπειτα να είναι ικανός να δημιουργήσει αλλά και να μεταφέρει τη ροπή που παράγει και σαφώς να εξασφαλίζει σε περίπτωση απώλειας ισχύος την ασφάλεια του χρήστη. Στα προηγούμενα, έρχεται να προστεθεί η ανάγκη συμβατότητας του με την ήδη επιλεγθείσα δομή ψαλιδιών.

Ο τρόπος κίνησης του μηχανισμού στηρίζεται στη συνεργασία κοχλία κίνησης και περικόχλιου. Το περικόχλιο με τη σειρά του προσαρμοσμένο σε μία βάση οδηγεί τα ψαλιδοειδή στοιχεία σε οριζόντια κίνηση. Ταυτόχρονα για την παραλαβή του κάθετου φορτίου αλλά και την ευθυγράμμιση της κίνησης του μηχανισμού, χρησιμοποιούνται ροδάκια που κυλίνουν, διευκολύνοντας την οδήγηση του.

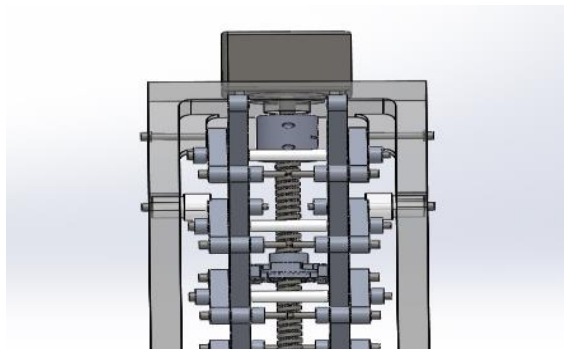
Μετά από παρατήρηση στο πραγματικό μοντέλο, ο μηχανισμός κινείται με πολύ μεγαλύτερη ευκολία και ιδιαίτερα υπό φόρτιση έχοντας το περικόχλιο στη θέση που φαίνεται στο σχήμα 3.12 και τα ροδάκια αμέσως πριν παρά τα ροδάκια και το περικόχλιο στην ίδια θέση. Στη δεύτερη περίπτωση είναι πιο δύσκολη η κίνηση όσο το μήκος προέκτασης αυξάνεται. Ο μηχανισμός παθαίνει εμπλοκή λόγω του ότι η μετατροπή της περιστροφικής σε γραμμική κίνηση γίνεται σε μεγάλη απόσταση σε σχέση με το κέντρο βάρους του μηχανισμού. Το μειονέκτημα της πρώτης επιλογής είναι το μεγαλύτερο μήκος κοχλία που απαιτείται.



(α')



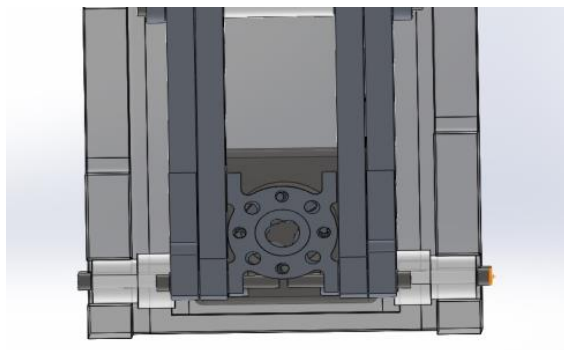
(β')



(γ')



(δ')



(ε')

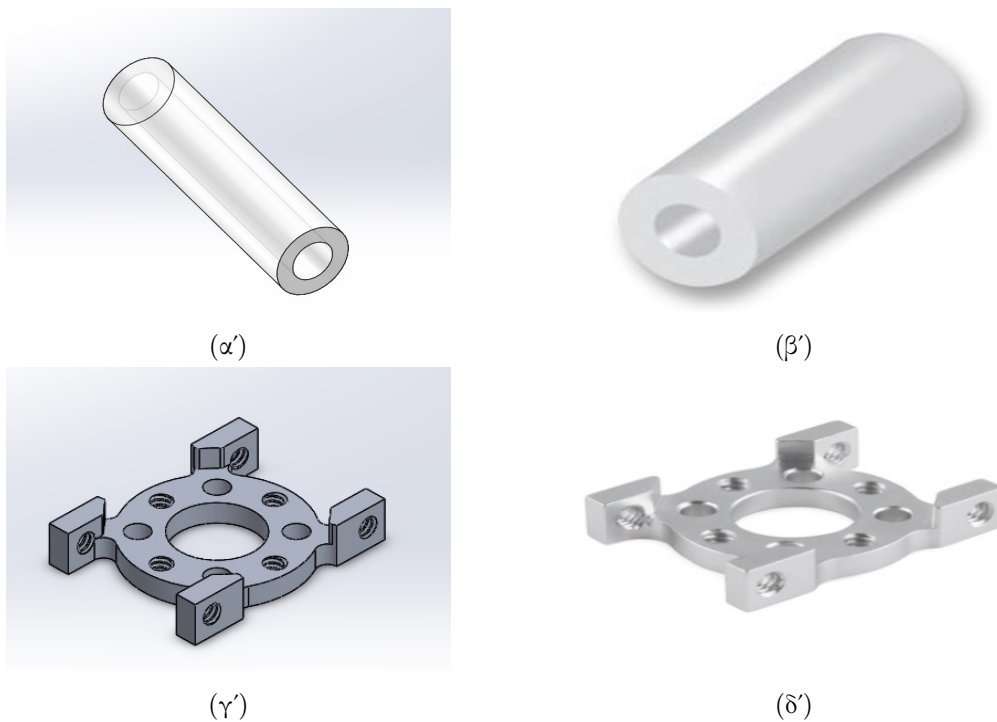


(στ')

Σχήμα 3.12: Σύστημα κίνησης

Η επιλογή των κομματιών που συνιστούν την παραπάνω διάταξη γίνεται ως εξής. Χρησιμοποιείται όπως αναφέρθηκε και πριν η σειρά Nylon αποστατών της Actobotics έχοντας μήκος 25.4 mm. Το μήκος που επιλέγεται, είναι συμβατό με τις διαστάσεις του προϊόντος Hub mount της ίδιας εταιρείας. Η ταυτόχρονη χρησιμοποίηση και των δύο λύνει το πρόβλημα της ανάγκης για ακρίβεια στη συναρμολόγηση, με κομμάτια χαμηλού βάρους και χωρίς να είναι απαραίτητο να γίνει ιδιοκατασκευή που αυξάνει το κόστος. Επίσης η παράλληλη απόσταση των δύο σειρών ψαλιδιών είναι σε αποδεκτά επίπεδα, εννοώντας ότι δε δημιουργεί μεγάλο όγκο κατασκευής ενώ υπάρχει επαρκής απόσταση για διατήρηση της στιβαρότητας.

Η τιμή της ενδιάμεσης απόστασης αυτής έρχεται να επαληθευτεί ως προς την καταλληλότητα της και σε μετέπειτα στάδιο της δημιουργίας της βάσης και της τοποθέτησης σε αυτήν, των υπολοίπων εξαρτημάτων. Σαφώς έχοντας περισσότερες δυνατότητες για ιδιοκατασκευή μπορεί να αναθεωρηθεί, και πάλι όμως παραμένει σε αυτά τα πλαίσια μεγέθους.



Σχήμα 3.13: Συμβατά δομικά στοιχεία μηχανισμού κίνησης. α', β'. Αποστάτης, γ', δ'. Βάση περικόχλιου

Με βάση την ίδια λογική συμβατότητας προτιμάται τόσο το περικόχλιο όσο και ο κοχλίας κίνησης να είναι εκ των υστέρων συμβατά μεταξύ τους αλλά και οπωσδήποτε να εκπληρούν τις προϋποθέσεις επιθυμητής λειτουργίας.

Σχετικά με τις εναλλακτικές κοχλιών γίνεται σύγκριση μεταξύ των παρακάτω :

- Τραπεζοειδής

Με γωνία σπειρώματος 29 μοίρες είναι εύκολα κατεργάσιμος, ειδικά σε σχέση με τον τετραγωνικό, και έχει μεγαλύτερη δυνατότητα φοράς φορτίου. Έχει μεγαλύτερη τριβή όμως και άρα μικρότερη απόδοση. Ταυτόχρονα, η στήριξη του περικόχλιου σε οδηγό και του ίδιου σε ρουλεμάν μειώνει τις τριβές.

- Στρογγυλός

Έχει στρογγυλό σπείρωμα και η κύρια χρήση του είναι για να μειώνει τη φθορά σε πλαστικό περικόχλιο λόγω μειωμένης τριβής.

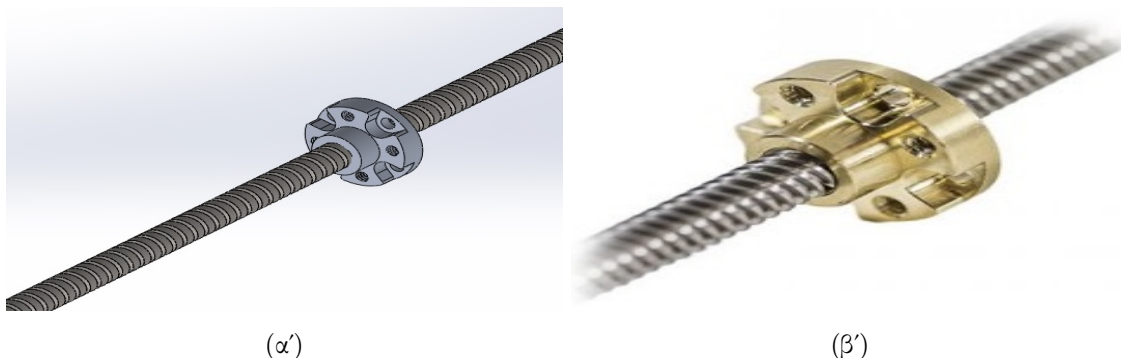
- Πριονωτός

Παίρνει πολύ υψηλά αξονικά φορτία και ασκεί μεγάλη δύναμη μόνο κατά τη μία κατεύθυνση.

- Τετραγωνικός

Είναι πολύ αποδοτικός, δύσκολος να κατεργαστεί, και έχει τη μικρότερη τριβή από όλους. Είναι για υψηλής ισχύος εφαρμογές και είναι ακριβός.

Με βάση αυτά, ο κοχλίας κίνησης που επιλέγεται, είναι ο τραπεζοειδής, σχήμα 3.14, όντας ο μόνος που προσφέρει ασφάλεια με λειτουργία εμπλοκής ή αργής μετακίνησης μηχανισμού χωρίς την επενέργεια του κινητήρα. Ταυτόχρονα, η μεγαλύτερη τριβή του έναντι άλλων λύσεων βρέθηκε πως είναι ασήμαντη στην πράξη και με το παρακάτω περικόχλιο προσαρμόζεται εύκολα στη βάση.



Σχήμα 3.14: Σύστημα κοχλία - περικόχλιου

Οι σχέσεις 3.1 και 3.2, περιγράφοντας τον κοχλία κίνησης, δίνουν πληροφορία τόσο για την ικανότητα του σε κλείδωμα κίνησης όσο και για την απαιτούμενη ροπή για την υπερνίκηση δύναμης αντίστασης στο περικόχλιο. Αναφέρονται στις δύο φορές κίνησης στον κοχλία.

Σχέσεις ροπής [17]:

$$T_1 = \frac{F * d_m * (1 + \pi * \mu * d * \sec(a))}{(2 * (\pi * d - \mu * l * \sec(a)))} \quad (3.1)$$

$$T_2 = \frac{F * d_m * (\pi * \mu * d * \sec(a) - l)}{(2 * (\pi * d + \mu * l * \sec(a)))} \quad (3.2)$$

όπου: m = συντελεστής τριβής κοχλία-περικόχλιου

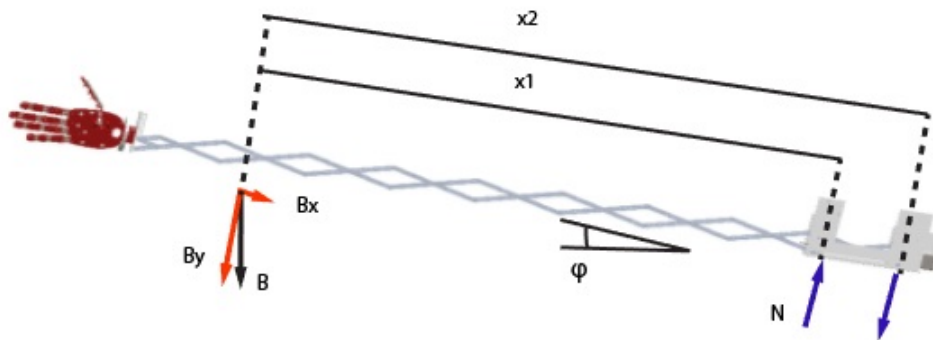
d = διάμετρος κοχλία

a = το μισό της γωνίας σπειρώματος

l = το βήμα του κοχλία

Καθώς στις σχέσεις υπεισέρχεται ο συντελεστής τριβής, λαμβάνεται ενδεικτική τιμή 0.35 ως συνήθης [18] για τα υλικά κοχλία και περικόχλιου.

Όσον αφορά όμως στις απαιτήσεις της δύναμης F που οφείλει να καλύψει ο κινητήρας, η ανάλυση σχετίζεται με τον προσανατολισμό του βραχίονα ως προς το έδαφος. Καθώς η γωνία του ως προς την οριζόντιο αυξάνεται, η δύναμη που έχει να υπερβεί το περικόχλιο αυξάνεται και αυτή. Για γωνίες από 0 έως 90° υπάρχει μία μέγιστη τιμή. Στο σχήμα 3.15 φαίνεται η σχηματική αναπαράσταση αυτού, όπου το βάρος B λαμβάνεται στη θέση του κέντρου βάρους βραχίονα και εξωτερικού.



Σχήμα 3.15: Υποδειγματική απεικόνιση των δυνάμεων δράσης και αντίδρασης

Οι δύο συνιστώσες που δύναται να υπερνικήσει ο κοχλίας μέσω της επενέργησης είναι η οριζόντια συνιστώσα του βάρους και η κάθετη που μεταφέρεται στα ροδάκια ως τριβή. Για αυτόν το συντελεστή τριβής μπορεί να υποτεθεί το 0.25 [19].

Έτσι προκύπτει :

$$B_y = \cos(\phi) * B \quad (3.3)$$

$$B_x = \sin(\phi) * B \quad (3.4)$$

$$N = \frac{B_y * x_2}{x_2 - x_1} \quad (3.5)$$

$$T = \mu * N \quad (3.6)$$

$$F = B_x + T \quad (3.7)$$

Με βάση το βάρος του βραχίονα στα 0.9 kg και το βάρος του χεριού και εξωτερικού συνολικά στα 1 kg προκύπτει συνολικό 1.9 kg. Για όλες τις γωνίες με μικρό βήμα από 0 έως 90° διερευνάται η δυσμενέστερη περίπτωση που με βάση τα δεδομένα είναι στις 31°. Εκεί αντιστοιχούν τα παρακάτω αποτελέσματα λαμβάνοντας τη μέγιστη ³ F, της σχέσης 3.7. Το θετικό πρόσημο δείχνει το γεγονός ότι το σπείρωμα κλειδώνει την κίνηση του περικόχλιου υπό την απουσία επενέργειας λόγω της κλίσης και τριβής του.

	Μέγιστη Ροπή (N * m)
Σχέση 3.1	0.111
Σχέση 3.2	0.006

Πίνακας 3.5: Μέγιστες απαιτήσεις κινητήρα κατά την κίνηση

³Το μοντέλο αυτό δε λαμβάνει υπόψη τις τριβές μεταξύ των ψαλιδοειδών στοιχείων και τις επιπλέον δυσκολίες που μπορεί να συναντήσει ο μηχανισμός κατά την κίνηση λόγω ασυμμετρίας άξονα κινητήρα και κοχλία, κραδασμών και άλλων.

Όσον αφορά στην επιλογή του κινητήρα, η σύγκριση μεταξύ εναλλακτικών λύσεων αφορά στα παρακάτω με τα χαρακτηριστικά [20] του καθενός να καθορίζουν την τελική επιλογή.

Επιθυμητά χαρακτηριστικά :

- Υψηλή ροπή στις χαμηλές στροφές.
- Ροπή συγκράτησης με σκοπό την απόλυτα ελεγχόμενη μετακίνηση του μηχανισμού.
- Απλότητα στη διάταξη χωρίς την ανάγκη για σύστημα ελέγχου, αφού ο χρήστης επικοινωνεί και χειρίζεται τη συσκευή χωρίς την αναγκαιότητα για μεγάλη ακρίβεια.

Κινητήρες :

- Μικρής ισχύος βηματικοί

Οι μόνιμοι μαγνήτη είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι σε παρόμοιες εφαρμογές. Έχουν γωνιακό βήμα 0.75 μέχρι 180 μοίρες ανά παλμό. Αυτό δίνει πολύ καλά ελεγχόμενη κίνηση ενώ ταυτόχρονα η ροπή συγκράτησης λόγω διέγερσης των τυλιγμάτων κρατάει το φορτίο στην ίδια θέση. Η κατανάλωση ισχύος δεν εξαρτάται από το φορτίο είτε κινείται είτε όχι. Δεν έχουν κύκλωμα ανατροφοδότησης.

- Μικρής ισχύος συνεχούς ρεύματος χωρίς ψύκτρες

Απορροφούν υψηλό ρεύμα εκκίνησης, έχουν υψηλές στροφές και απαιτούνται αισθητήρες ανάδρασης και ελέγχου. Είναι πολύπλοκοι στην οδήγηση και έχουν χαμηλή απόδοση σε χαμηλές τάσεις λειτουργίας.

Ταυτόχρονα οι απαιτήσεις που τίθενται για το σύστημα του μηχανισμού κίνησης αφορούν στην υπερνίκηση της ροπής εκκίνησης σε πρώτη φάση. Πρέπει η ροπή του κινητήρα να είναι μεγαλύτερη από τα παρακάτω [21] :

$$M = M_a + M_f \quad (3.8)$$

όπου: M_f = ροπή λόγω τριβής

M_a = ροπή λόγω αδράνειας

Όπως περιγράφηκε και προηγουμένως η ροπή τριβής εκφράζεται ως η ροπή που απαιτείται για την υπερνίκηση των τριβών. Η τριβή αυτή ασκείται στα ροδάκια και στην επιφάνεια που πατάνε καθώς και μεταξύ κοχλίας και περικοχλίου. Αυτό που συμβαίνει είναι καθώς αλλάζει η κλίση του μηχανισμού το συνολικό βάρος που βλέπουν τα ροδάκια στην κάθετη συνιστώσα αλλάζει. Με τον ίδιο τρόπο αλλάζει και η συνιστώσα του βάρους που βλέπει το περικόχλιο στην διεύθυνση του κοχλίου.

Η δυσμενέστερη από άποψη ενεργειακών απαιτήσεων περίπτωση είναι αυτή που ο μηχανισμός καλείται να ανυψώσει το φορτίο στις 30 περίπου μοίρες. Η απαιτούμενη ροπή είναι λοιπόν αυτή που υπολογίστηκε και πριν, με :

$$M_f = T_1 = 0.111 \text{ Nm} \quad (3.9)$$

Η ροπή αδράνειας κατά την εκκίνηση οφείλεται στην αδράνεια του κινητήρα, του κοχλίου και της μάζας προς μετατόπιση.

$$M_a = M_o + M_m + M_k \quad (3.10)$$

όπου :

$$M_o = \frac{A * F_o}{\eta}$$

$$M_m = J_m * \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

$$M_k = \frac{J_k}{g} * \frac{\Delta\omega}{\Delta t}$$

Στα παραπάνω οι όροι που χρησιμοποιούνται αποτελούνται από τα εξής :

$$A = \frac{h}{2 * \pi} \quad \text{όπου } h \text{ το βήμα οδήγησης του κοχλίου}$$

η = βαθμός απόδοσης σπειρώματος

$$F_o = \text{δύναμη αδράνειας μάζας} = \frac{W}{g} * \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

W = βάρος που μετακινείται

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} = \text{γραμμική επιτάχυνση περικοχλίου}$$

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta t} = \text{γωνιακή επιτάχυνση κοχλίου} = \frac{1}{A} * \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

g = επιτάχυνση βαρύτητας

J_m = αδράνεια κινητήρα

$$J_k = \text{αδράνεια κοχλίου} = \frac{\pi * \gamma * L * r^4}{2}$$

όπου L , r και γ το μήκος, ακτίνα και ειδικό βάρος του κοχλίου αντίστοιχα

Οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό φαίνονται στον πίνακα 3.6.

$h(m)$	0.008
$A(m/rad)$	0.0013
η	0.77
$W(N)$	18.639
$\Delta t(sec)$	0.004
$\frac{\Delta v}{\Delta t}(m/s^2)$	2.55
$\frac{\Delta \omega}{\Delta t}(rad/s^2)$	2003
$g(m/s^2)$	9.81
$J_m(kg * m^2)$	3.5^{-6}
$\gamma(kg/m^3)$	$6.45 * 10^4$
$L(m)$	0.3
$r(m)$	0.004
$J_k(kg * m^2)$	1.55^{-5}

Πίνακας 3.6: Παράμετροι συστήματος κατά την εκκίνηση

Τοποθετώντας τις παραμέτρους του συστήματος στις σχέσεις προκύπτουν τα αποτελέσματα του πίνακα 3.7.

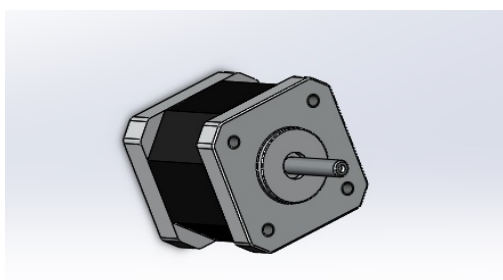
M_o	0.0079
M_m	$7.15 * 10^{-4}$
M_k	0.0016
M_a	0.010
M_f	0.111
$\sum M$	0.121

Πίνακας 3.7: Αποτελέσματα ροπών εκκίνησης σε Nm

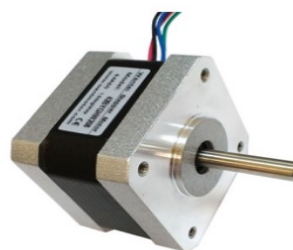
Γωνία βήματος (°)	Μήκος (mm)	Ονομαστική τάση (V)
1.8	34	12
Ονομαστικό ρεύμα (A)	Ωμική αντίσταση φάσης (Ω)	Επαγωγή φάσης (mH)
0.4	30	35
Ροπή Συγκράτησης ($N * m$)	Αδράνεια ρότορα ($g * cm^2$)	Βάρος (kg)
0.31	35	0.2

Πίνακας 3.8: Χαρακτηριστικά βηματικού κινητήρα. Πηγή [22]

Με βάση τα προηγούμενα ο κινητήρας που επιλέγεται είναι ο 42BYGHW208 της Wamtai Motors, με τα χαρακτηριστικά του πίνακα 3.8. Ο κινητήρας αυτός αν και φαίνεται να υπερβαίνει κατά πολύ τις ελάχιστες ανάγκες σε ροπή, στην πράξη διαπιστώνεται ότι για την υπερνίκηση των τριβών του συστήματος κίνησης και οδήγησης, που εμφανίζονται λόγω κατασκευαστικών παραμέτρων, είναι κατάλληλος με το βάρος του να είναι σε ανεκτά επίπεδα. Η χρησιμοποίηση μικρότερου κινητήρα με διαθέσιμη ροπή κοντά στα θεωρητικά όρια απαιτούμενης ροπής, είναι προφανής από τη διαδικασία των πειραμάτων, ενότητα 4.1, ότι θα οδηγούσε σε σαφή μείωση των εφικτών ορίων μάζας προς αρπαγή και μετακίνηση.



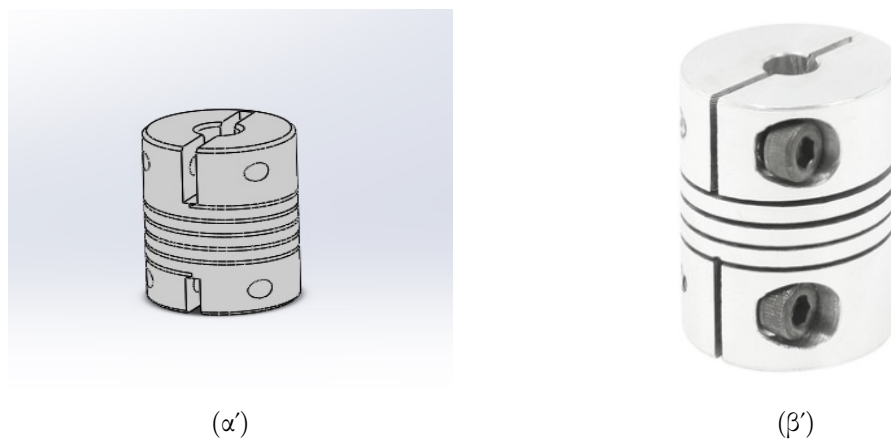
(α')



(β')

Σχήμα 3.16: Βηματικός κινητήρας

Ο συμπλέκτης μεταξύ κινητήρα και κοχλία κίνησης είναι ημισκληρός και χρησιμοποιείται για την παραλαβή τάσεων που δημιουργούνται από την απόκλιση της πλήρους ευθυγράμμισης των αξόνων κινητήρα-κοχλία. Παράλληλα, λειτουργεί προστατευτικά σε περίπτωση υπερφόρτισης της κατασκευής, όπου μπορεί να σπάσει με τέτοιο τρόπο ώστε να μην μεταδοθεί υπέρμετρη στρεπτική ροπή στον υπόλοιπο μηχανισμό.



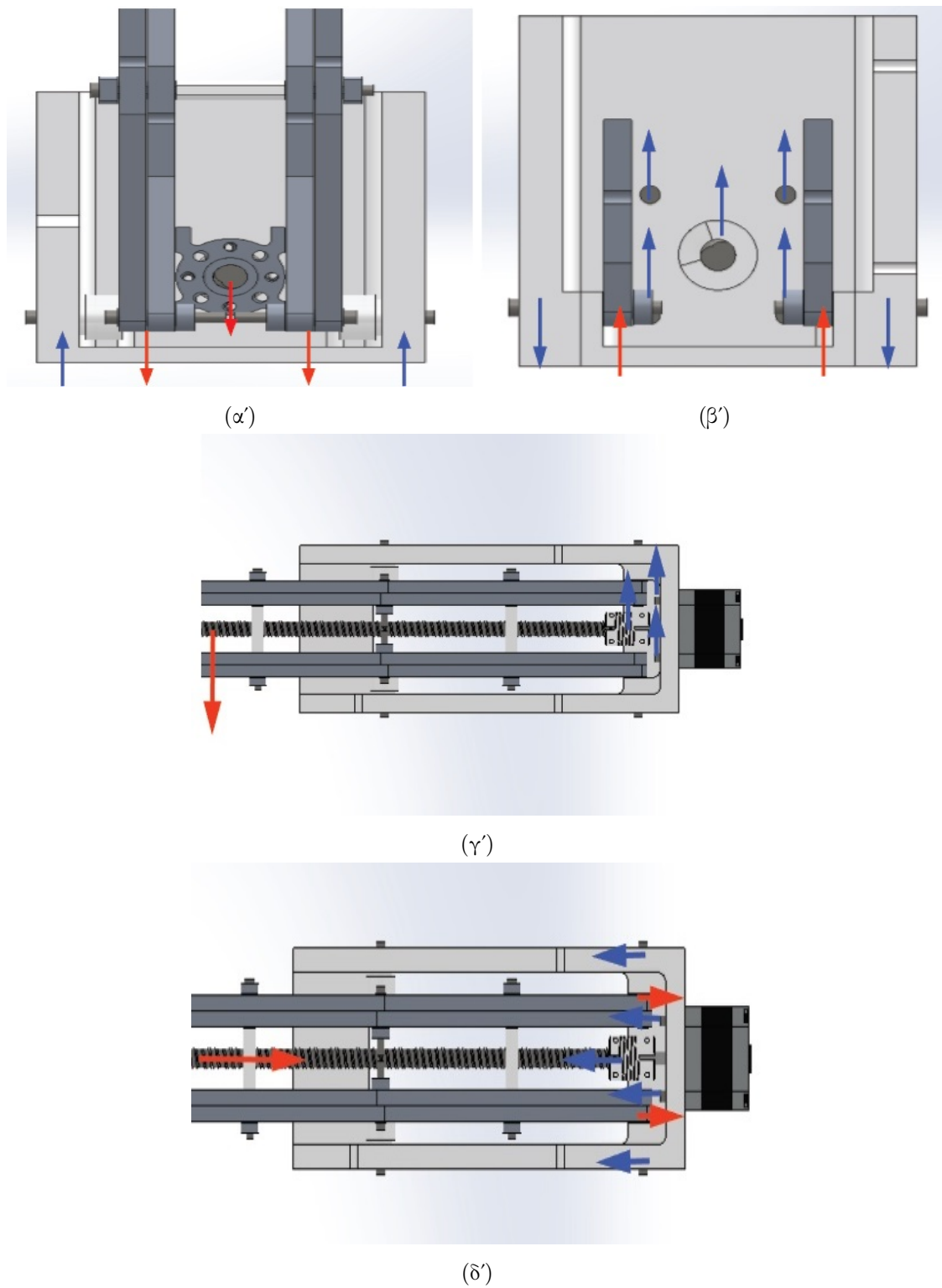
Σχήμα 3.17: Συμπλέκτης

3.2.2 Στατική

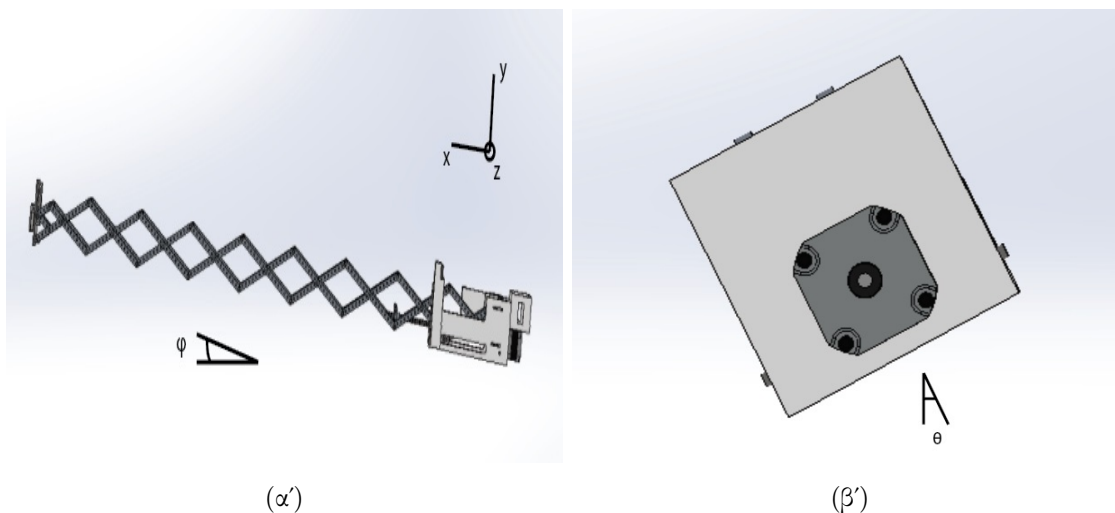
Το σύνολο των εξαρτημάτων που περιγράφηκαν, υπόκεινται με τη σειρά τους σε στατική φόρτιση καθώς φέρουν το βάρος του κινούμενου μηχανισμού. Η διάταξη συμπεριλαμβάνει ως εξαρτήματα στήριξης τον κοχλία οδήγησης, τους κοχλίες που βρίσκονται εσωτερικά στα ροδάκια και πίσω καθώς και τον άξονα του κινητήρα και τις βίδες στήριξης του. Με βάση αυτά και λαμβάνοντας υπόψιν τις δύο κλίσεις που μπορεί να πάρει ο μηχανισμός, μελετάται η στατική αντοχή των στοιχείων αυτών στη δυσμενέστερη δυνατή καταπόνηση τους. Παραβλέπεται η ίδια μελέτη στα ροδάκια καθώς δεν τίθεται πιθανότητα παραμόρφωσης λόγω γεωμετρίας τους και χαμηλών φορτίων.

Η φόρτιση γίνεται κατά τις τρεις συνιστώσες x , y , z του σχήματος 3.18, όπου με κόκκινο αναπαρίσταται το φορτίο και μπλε οι αντιδράσεις ⁴. Στα σχήματα 3.18α' και 3.18β' έχουμε φόρτιση κατά y , στο σχήμα 3.18γ' κατά z και στο σχήμα 3.18δ' κατά x . Οι τρεις αυτές διευθύνσεις ορίζονται και στο σχήμα 3.19α'.

⁴Στο σχήμα 3.18α', η δύναμη που φαίνεται να αντιστοιχεί στον κοχλία κίνησης ως αντίδρασης είναι οριακά μηδέν καθώς έχει υπολογιστεί να είναι ακριβώς σε ύψος τέτοιο ώστε να πατάνε τα ροδάκια. Στην πράξη ασκείται μικρή δύναμη η οποία όμως κατανέμεται απευθείας στα ροδάκια χωρίς να παραλάβει φορτίο ο κοχλίας και για αυτό αμελείται αυτή η καταπόνηση



Σχήμα 3.18: Διευθύνσεις φόρτισης στοιχείων μηχανισμού α', β'. Κατά y, γ'. Κατά z, δ'. Κατά x



(α')

(β')

Σχήμα 3.19: Γωνίες αναφοράς κλίσης βάσης

Η δύναμη του βάρους του κινούμενου μηχανισμού αναλύεται με βάση τις γωνίες ϕ και θ , του σχήματος 3.19 και χωρίζεται στις :

$$B_x = B * \sin(\phi) \quad (3.11)$$

$$B_y = B * \cos(\phi) * \cos(\theta) \quad (3.12)$$

$$B_z = B * \sin(\theta) \quad (3.13)$$

Για κάθε ένα λοιπόν από τα στοιχεία μοντελοποιείται το φορτίο που δέχεται και κωδικοποιείται όπως παρακάτω, όπου τα x_1 , x_2 είναι αυτά που παρουσιάστηκαν στην ενότητα 3.2.1.

- Κοχλίες βάσης κινούμενοι

$$yF_{fs} = B_y * \frac{x_2}{2 * (x_2 - x_1)} \quad (3.14)$$

- Κοχλίες βάσης σταθεροί

$$yF_{bs} = \frac{(2 * yF_{fs} - B_y)}{2} \quad (3.15)$$

$$xF_{bs} = \frac{B_x}{4} \quad (3.16)$$

$$tF_{bs} = \sqrt{(xF_{bs}^2 + yF_{bs}^2)} \quad (3.17)$$

- Κοχλίας οδήγησης

$$yF_{ls} = 0 \quad (3.18)$$

$$zF_{ls} = \frac{B_z * x_2}{x_2 - x_1} \quad (3.19)$$

$$xF_{ls} = \frac{B_x}{2} \quad (3.20)$$

$$tbF_{ls} = \sqrt{yF_{ls}^2 + zF_{ls}^2} \quad (3.21)$$

$$tcF_{ls} = xF_{ls} \quad (3.22)$$

- Άξονας κινητήρα

$$yF_m = yF_{ls} \quad (3.23)$$

$$zF_m = zF_{ls} \quad (3.24)$$

$$xF_m = xF_{ls} \quad (3.25)$$

$$tbF_m = \sqrt{(zF_m^2 + yF_m^2)} \quad (3.26)$$

$$tcF_m = xF_m \quad (3.27)$$

- Κοχλίες στήριξης κινητήρα

$$yF_{ms} = \frac{yF_{ls}}{4} \quad (3.28)$$

$$zF_{ms} = \frac{zF_{ls}}{4} \quad (3.29)$$

$$tF_{ms} = \sqrt{zF_{ms}^2 + yF_{ms}^2} \quad (3.30)$$

Για τη δυσμενέστερη καταπόνηση στο σύστημα που αναμένεται να είναι η μεταφορά 1 kg εξωτερικού βάρους, περιλαμβάνοντας το ρομποτικό χέρι και αντικείμενο, τα αποτελέσματα είναι στον πίνακα που ακολουθεί. Βρέθηκαν οι μέγιστες τιμές για όλους τους συνδυασμούς γωνιών θ και φ , με χρήση του λογισμικού Matlab [23].

	Κοχλίες βάσης κινούμενοι	Κοχλίες βάσης σταθεροί	Κοχλίας οδήγησης	Άξονας κινητήρα	Κοχλίες στήριξης κινητήρα
Καμπτική Δύναμη (N)	65	55	129	129	32
Θλιπτική Δύναμη (N)	-	-	9	9	-

Με βάση αυτά η μέγιστη τάση που αναπτύσσεται σε σχέση με το όριο διαρροής του υλικού του κάθε στοιχείου διαπιστώνεται πως η αντοχή τους είναι επαρκής. Ισχύει η σχέση $\sigma_x = \frac{M_x * d}{I * 2}$, όπου $M_x = F * x$, με x το μοχλοβραχίονα, και I τη ροπή αδράνειας του κοχλία ή άξονα. Για το όριο διαρροής του χάλυβα 304, που είναι το υλικό που χρησιμοποιείται εδώ, η τιμή αυτή είναι 206 MPa. Εφαρμόζοντας αυτήν τιμή σε κάθε διάμετρο άξονα που μελετάται σε κάμψη πλέον μιας και το θλιπτικό φορτίο είναι ασήμαντο προκύπτουν τα εξής που επαληθεύονται και στο λογισμικό Solidworks.

	Κοχλίες βάσης κινούμενοι	Κοχλίες βάσης σταθεροί	Κοχλίας οδήγησης	Άξονας κινητήρα	Κοχλίες στήριξης κινητήρα
Μέγιστη Καμπτική Τάση (MPa)	88	74	616	168	60

Τα αποτελέσματα είναι χαμηλότερα του ορίου διαρροής ενός χάλυβα, με εξαίρεση την πρώτη τιμή αναφορικά με τον κοχλία οδήγησης. Αυτή έχει προκύψει για την περίπτωση όπου η γωνία θ είναι 90° , που σημαίνει βέλος κάμψης 2.3 cm. Αυτό όμως δεν γίνεται στην πράξη καθώς μία μετατόπιση έστω και 0.5 mm, σημαίνει ότι ο μηχανισμός στηρίζει το βάρος του πλέον στο ένα ροδάκι και ο κοχλίας κίνησης δεν μπορεί να μετατοπιστεί αφού συναντά εμπόδιο. Για ένα τέτοιο βέλος κάμψης η μέγιστη τάση που δέχεται είναι 161 MPa, δηλαδή εντός ορίου. Συνεπώς δεν τίθεται ζήτημα πλαστικής παραμόρφωση για κανένα από τα σημεία στήριξης της κατασκευής.

3.2.3 Μοντελοποίηση

Με σκοπό να προσδιοριστεί η ευστάθεια του συστήματος και να γίνει η μοντελοποιημένη αναπαράσταση του, παρουσιάζονται στη συνέχεια με βάση το διάγραμμα δεσμών τα στοιχεία που συνιστούν τη μοντελοποιημένη κατασκευή. Παρακάτω γίνονται κάποιες παραδοχές και θεωρήσεις.

Εφόσον στην περίπτωση της διάταξης αυτής δεν υπάρχει ανατροφοδότηση και σύστημα ελέγχου θέσης αφού το ρόλο του ελέγχου θέσης τον έχει ο άνθρωπος ως χρήστης, η μοντελοποιημένη αναπαράσταση του συστήματος θα περιοριστεί στην αναγνώριση της ευστάθειας.

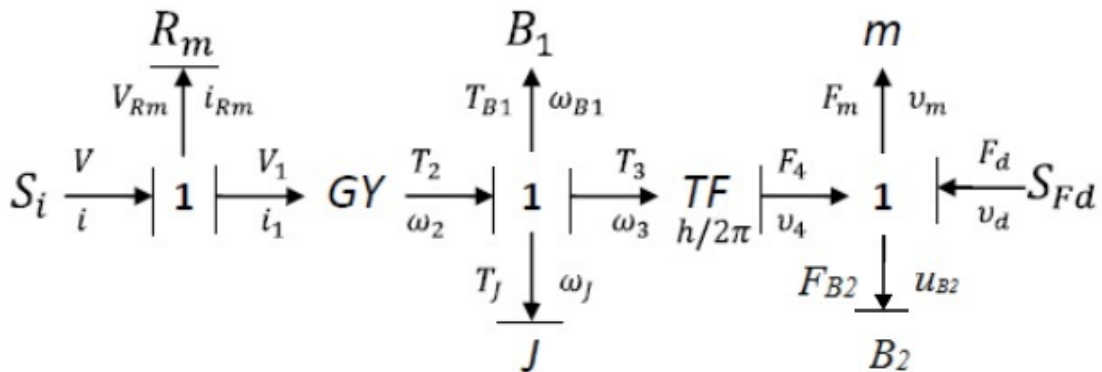
Στο σύστημα που μελετάται μπορεί να παραληφθεί η αυτεπαγωγή L του συστήματος, αφού είναι αρκετά μικρή. Έτσι ο ηλεκτρικός πόλος του συστήματος όντας αρκετά απομακρυσμένος προς τα αριστερά στο μιγαδικό επίπεδο, σε σχέση με τον μηχανικό πόλο παραλείπεται. Η αντίσταση του κυκλώματος συμπεριλαμβάνεται. Επίσης ως πηγή θεωρείται μία πηγή ρεύματος καθώς το κύκλωμα βασίζεται σε οδήγηση με μικροελεγκτή [24] (chopper drive [25]) που διατηρεί σταθερό ρεύμα ονομαστικό, μεταβάλλοντας την τάση.

Έπειτα η κίνηση μεταδίδεται από τον κινητήρα στο σύστημα του κοχλία μέσω ροπής T_2 και γωνιακής ταχύτητας ω_2 . Ο κινητήρας λειτουργεί δηλαδή ως αναστροφέας με σταθερά K_T . Μεταξύ τώρα κοχλία και περικόχλιου υπάρχουν και οι απώλειες τριβών B_1 . Συμπεριλαμβάνεται και η αδράνεια του κοχλία καθώς και του συμπλέκτη ως μία, συμβολιζόμενη με J .

Το περικόχλιο λειτουργεί ως μετασχηματιστής με λόγο K_k . Η ροπή T_3 και η γωνιακή ταχύτητα ω_3 μετατρέπονται σε δύναμη F_4 και γραμμική ταχύτητα u_4 . Με B_2 εμφανίζονται οι τριβές στη διαδρομή όπου πατάνε τα ροδάκια στη βάση. Το φορτίο που μετακινείται συμβολίζεται με m και S_{fd} είναι η πηγή δύναμης που δέχεται ο κοχλίας από τις δυνάμεις που ασκούνται στο περικόχλιο.

Έπειτα σχεδιάζεται η ροή ισχύος όπου σαν ανεξάρτητο στοιχείο αδράνειας παρουσιάζεται τελικά η αδράνεια του κοχλία. Έτσι η μεταβλητή κατάστασης είναι η γωνιακή ταχύτητα του κοχλία.

Το μοντέλο αναπαράστασης είναι το παρακάτω :



Σχήμα 3.20: Υποδειγματική απεικόνιση μοντελοποίησης συστήματος

Έτσι λοιπόν οι εξισώσεις που περιγράφουν τα στοιχεία είναι:

Μεταβλητή κατάστασης:	ω_J
Πρωτογενείς Μεταβλητές:	$V_{Rm}, V_1, T_2, T_{B1}, \omega_J, T_3, u_4, F_m, F_{B2}$
Δευτερογενείς Μεταβλητές:	$i_{Rm}, i_1, \omega_2, \omega_{B1}, T_J, \omega_3, F_4, u_m, u_{B2}$

Εξισώσεις Στοιχείων:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega_J}{dt} &= \frac{1}{J} * T_J \\ V_{Rm} &= i_{Rm} * R_m \\ V_1 &= K_T * \omega_2 \\ i_1 &= \frac{1}{K_T} * T_2 \\ T_{B1} &= \omega_{B1} * B_1 \\ T_3 &= K_k * F_4 \\ \omega_3 &= \frac{1}{K_k} * u_4 \\ F_m &= m * \frac{du_m}{dt} \\ F_{B2} &= B_2 * u_{B2} \end{aligned}$$

Εξισώσεις Κόμβων:

$$i = i_{Rm} = i_1$$

$$V = V_{Rm} + V_1$$

$$\omega_2 = \omega_{B1} = \omega_J = \omega_3$$

$$T_2 = T_{B1} + T_J + T_3$$

$$u_4 = u_m = u_d = u_{B2}$$

$$F_4 = F_m - F_d + F_{B2}$$

Επιλύοντας ως προς την παράγωγο της μεταβλητής κατάστασης προκύπτει :

$$\frac{d\omega_J}{dt} = \frac{1}{J} * T_J =$$

$$= \frac{1}{J} * (T_2 - T_{B1} - T_3) =$$

$$= \frac{1}{J} * (K_T * i - B_1 * \omega_J - K_k * F_u) =$$

$$= \frac{1}{J} * (K_T * i - B_1 * \omega_J - K_k * (F_m - F_d + F_{B2})) =$$

$$= \frac{1}{J} * (K_T * i - B_1 * \omega_J - K_k * (m * \frac{du_m}{dt} - F_d + B_2 * u_{B2})) =$$

$$= \frac{1}{J} * (K_T * i - B_1 * \omega_J - K_k^2 * m * \frac{d\omega_J}{dt} + K_k * F_d - B_2 * \omega_J * K_k^2) \implies$$

$$\frac{d\omega_J}{dt} + \frac{m * K_k^2}{J} * \frac{d\omega_J}{dt} = \frac{1}{J} * ((-B_1 - B_2 * K_k^2) * \omega_J + K_T * i + K_k * F_d) \implies$$

$$\frac{d\omega_J}{dt} = -\frac{B_1 + B_2 * K_k^2}{J + m * K_k^2} * \omega_J + \frac{K_T * i + K_k * F_d}{J + m * K_k^2}$$

Με $B_{ol} = B_1 + B_2 * K_k^2$ και $J_{ol} = J + m * K_k^2$ προκύπτει η μορφή :

$$\frac{d\omega_J}{dt} = -\frac{B_{ol}}{J_{ol}} * \omega_J + \frac{K_T}{J_{ol}} * i + \frac{K_k}{J_{ol}} * F_d \implies \quad (3.31)$$

$$\left(\dot{\omega}_J \right) = - \left(\frac{B_{ol}}{J_{ol}} \right) * \omega_J + \begin{pmatrix} \frac{K_T}{J_{ol}} & \frac{K_k}{J_{ol}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i \\ F_d \end{pmatrix} \quad (3.32)$$

Τίθεται $A = - \left(\frac{B_{ol}}{J_{ol}} \right)$ και $B = \begin{pmatrix} \frac{K_T}{J_{ol}} & \frac{K_k}{J_{ol}} \end{pmatrix}$

όπου $K_k = \frac{h}{2*\pi}$ και h το βήμα οδήγησης του κοχλίου

Με ζητούμενη τη γωνία θ ο πίνακας C θα είναι $C = \frac{1}{s}$ ώστε $y = \frac{1}{s} * \omega_J = \theta$

Έτσι

$$\begin{aligned} \frac{y}{u} = G_p &= C * (s * I - A)^{-1} * B \implies \\ G_p &= \left(\frac{1}{s} * \left(s + \frac{B_{ol}}{J_{ol}} \right)^{-1} \right) * \begin{pmatrix} \frac{K_T}{J_{ol}} & \frac{K_k}{J_{ol}} \end{pmatrix} \implies \\ G_p &= \begin{pmatrix} \frac{K_T/J_{ol}}{s*(s+\frac{B_{ol}}{J_{ol}})} & \frac{K_k/J_{ol}}{s*(s+\frac{B_{ol}}{J_{ol}})} \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (3.33)$$

Για τη συνάρτηση μεταφοράς προκύπτει λοιπόν :

$$\begin{aligned} y = G_P * u \implies \theta &= \begin{pmatrix} \frac{K_T/J_{ol}}{s*(s+\frac{B_{ol}}{J_{ol}})} & \frac{K_k/J_{ol}}{s*(s+\frac{B_{ol}}{J_{ol}})} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i \\ F_d \end{pmatrix} \implies \\ \theta &= \frac{K_T/J_{ol}}{s * \left(s + \frac{B_{ol}}{J_{ol}} \right)} * i + \frac{K_k/J_{ol}}{s * \left(s + \frac{B_{ol}}{J_{ol}} \right)} * F_d \end{aligned} \quad (3.34)$$

με i την είσοδο ρεύματος και F_d την είσοδο διαταραχών στο σύστημα.

Αμελώντας τις διαταραχές το σύστημα έχει την εξής χαρακτηριστική εξίσωση:

$$s * \left(s + \frac{B_{ol}}{J_{ol}} \right) = 0$$

Οι λύσεις είναι οι δύο πόλοι του συστήματος, που δείχνουν την ευστάθεια αυτής της μορφής συστήματος δηλαδή:

$$s_1 = 0 \text{ και } s_2 = -\frac{B_{ol}}{J_{ol}}$$

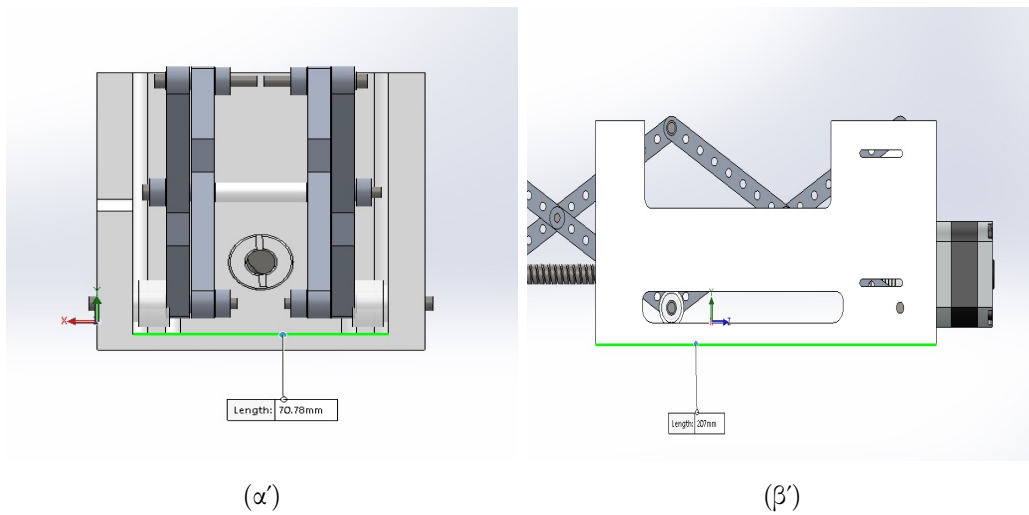
3.3 Δομή στήριξης

Η σχεδίαση της υποστηρικτικής δομής του μηχανισμού γίνεται με βάση τα κριτήρια εκείνα που οριοθετούν τις επιλογές και την κάνουν να συμβαδίζει με την υπάρχουσα δομή. Τα κριτήρια για την επιλογή της δομής της βάσης συγκαταλέγονται λοιπόν στα εξής :

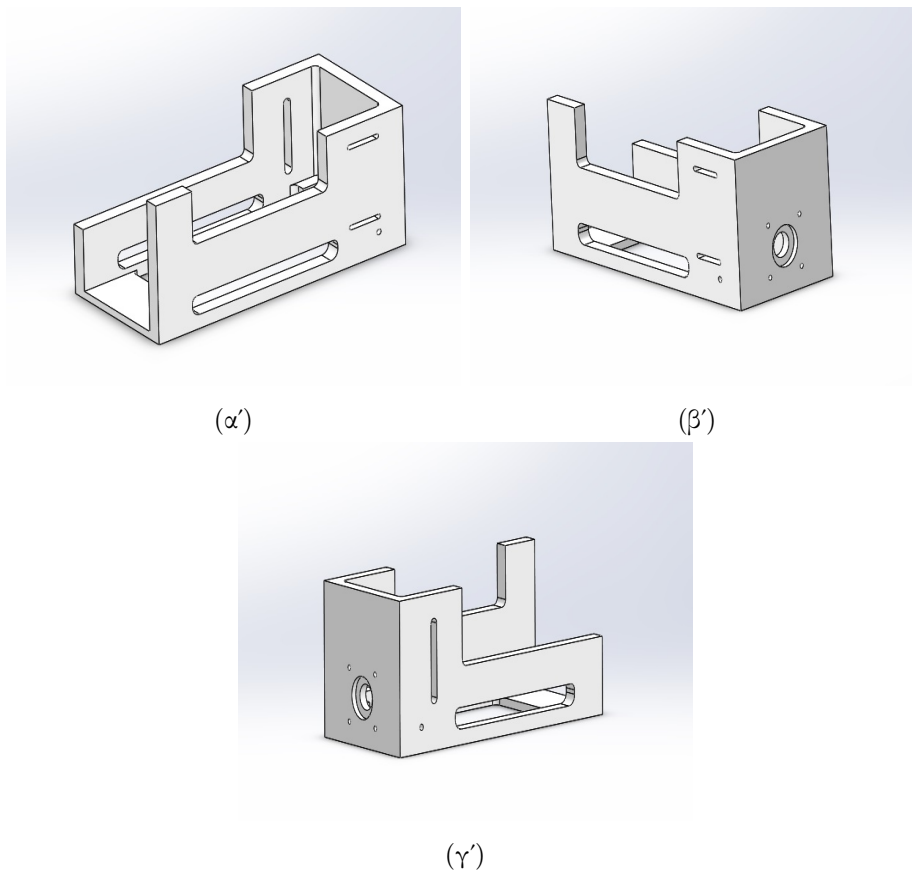
- Δυνατότητα προσαρμογής του υπόλοιπου μηχανισμού σε αυτή.
- Σχήμα και μέγεθος τέτοιο που να κάνει εύκολο το χειρισμό της από τον άνθρωπο.
- Ικανότητα προσαρμογής επιπλέον στοιχείων λειτουργικότητας, όπως καλώδια, μπαταρίες, ηλεκτρονικά.
- Στατική αντοχή στα φορτία που δέχεται.
- Χαμηλό βάρος.
- Εντός του πλαισίου κατασκευαστικών δυνατοτήτων.
- Χαμηλό κόστος.

Έχοντας ήδη καθορίσει ως κατάλληλο ένα ορθογωνικό σχήμα και αρχικά λαμβάνοντας υπόψιν τη δυνατότητα προσαρμογής του υπόλοιπου μηχανισμού προσδιορίζονται οι διαστάσεις του. Το μεν πλάτος οφείλει να φιλοξενεί την παράλληλη δομή των ψαλιδοειδών στοιχείων αφήνοντας κατ' επιλογή ένα περιθώριο 0.5 mm μέχρι τα ροδάκια σε κάθε πλευρά. Τα ροδάκια έχουν αυτή τη δομή προκειμένου να αφήνουν ένα περιθώριο μεταξύ της διάταξης των ψαλιδιών και της βάσης. Το μήκος είναι τέτοιο ώστε ακόμα και αν ο μηχανισμός προεκταθεί πλήρως, τα ροδάκια να βρίσκονται εντός της κατασκευασμένης διαδρομής. Όλα αυτά φαίνονται στο σχήμα **3.21**

Στη συνέχεια η επιλογής του ύψους των πλευρών σχετίζεται άμεσα και με τον χειρισμό της βάσης από τον άνθρωπο όσο και με τα επιπλέον στοιχεία που θα προσαρμοστούν. Έτσι από τη μία πλευρά προβλέπεται το ύψος να είναι τέτοιο ώστε να προστεθεί ένα χερούλι μπροστά και πίσω ταινία βέλκρο ώστε να προσδένει καλύτερα ο μηχανισμός στο χέρι του χρήστη και ανάλογα με το μέγεθος του χεριού του. Από την άλλη πλευρά δίνεται έμφαση στη μείωση του βάρους και για αυτό στο σχεδιασμό της δεν έχει την ίδια δομή με την αριστερή πλευρά. Ωστόσο πρέπει να είναι επαρκής η δομή της δεξιά πλευράς, ώστε να τοποθετηθούν τα ηλεκτρονικά και η βάση τους αλλά και να υπάρχει άνοιγμα προκειμένου να περάσουν τα καλώδια. Στην πίσω πλευρά λαμβάνεται απλώς υπόψιν να υπάρχει επαρκής χώρος ώστε να τοποθετηθεί η βάση για τις μπαταρίες και δημιουργείται η πατούρα για να προσαρμοστεί ο κινητήρας και να υπάρχει επαρκής τριβή στην επαφή του με τη βάση.

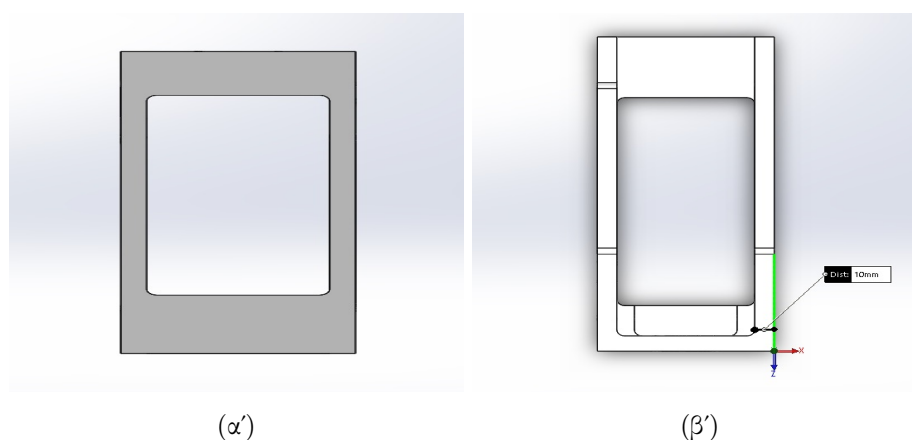


Σχήμα 3.21: Όψεις και διαστάσεις βάσης. α. Μπροστινή όψη, β. Αριστερή όψη



Σχήμα 3.22: Πλάγιες όψεις βάσης

Έπειτα, προκειμένου να συμβαδίζει ο σχεδιασμός και το τελικό προϊόν με τα υπόλοιπα κριτήρια της στατικής αντοχής, του χαμηλού βάρους και κόστους αλλά και να είναι εντός του πλαισίου των κατασκευαστικών δυνατοτήτων ακολουθείται η εξής διαδικασία. Αρχικά, λόγω του ότι είναι μεγάλη η ακρίβεια που απαιτείται για τη διατήρηση των διαστάσεων για την ευθυγράμμιση των στοιχείων κινητήρα και ψαλιδοειδών στοιχείων αλλά και για την ομαλή πορεία που θα έχουν τα ροδάκια στη διαδρομή, επιλέγεται η κατασκευή να μην γίνει σε εκτύπωση με 3D printer. Απεναντίας, απαιτείται μηχανουργική κατεργασία με αφαίρεση υλικού σε φρέζα. Το υλικό το οποίο επιλέγεται είναι Acetal Resin και αποτελεί πλαστικό αντοχής επαρκούς για την εφαρμογή αυτή, είναι εύκολα κατεργάσιμο και μικρού κόστους. Μολονότι θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και πιο ελαφρύ υλικό, το ίδιο ή περισσότερο στιβαρό, όπως ίνες άνθρακα, το κόστος αναμένεται να είναι μεγαλύτερο. Προκειμένου να εξασφαλιστεί επαρκής αντοχή στατική στο φορτίο επιλέγεται η παρακάτω δομή στο κάτω μέρος.

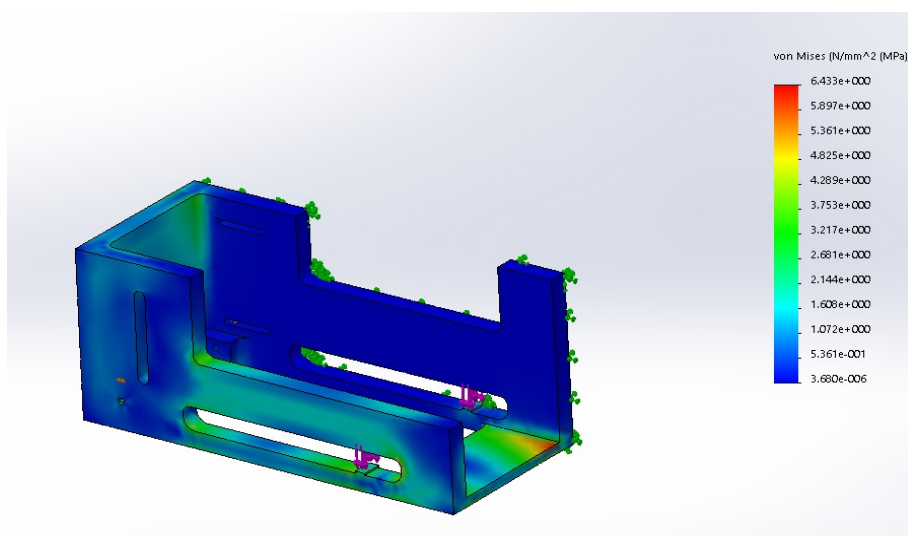


Σχήμα 3.23: Όψεις και διαστάσεις βάσης. α' Κάτω όψη, β'. Άνω όψη

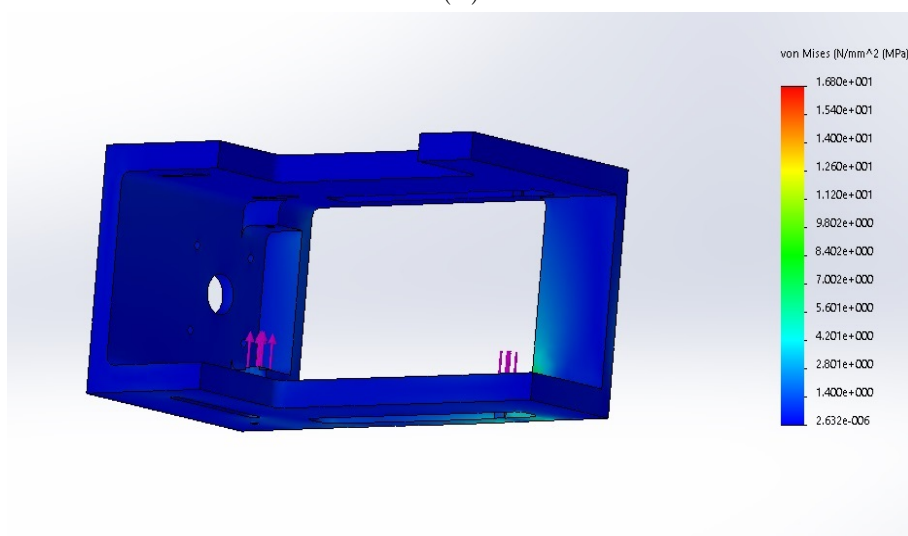
Σημειώνοντας τις τελευταίες ενέργειες κατά την κατασκευή, για λόγους που σχετίζονται με αντοχή της κατασκευής κατά την κατεργασία, επιλέγεται το πάχος των τοιχωμάτων της βάσης να μην είναι λιγότερο από 10 mm. Επιλέγεται έτσι να είναι στα 10 mm. Επίσης, λόγω του ότι το κομμάτι από πλαστικό εμφάνισε δονήσεις κατά την πορεία της κατεργασίας, επιλέχθηκε να μην αφαιρεθεί, στη φάση αυτή της κατασκευής του πρωτοτύπου, το τμήμα της δεξιάς πλευράς που σχεδιάστηκε με σκοπό τη μείωση του βάρους. Η τελική δομή φαίνεται παρακάτω, έχοντας γίνει πρόβλεψη σε μελλοντικό στάδιο να αφαιρεθεί το τμήμα εκείνο της δεξιά πλευράς. Για το λόγο αυτό εξετάζεται από στατική άποψη, όπως φαίνεται παρακάτω όπου δοκιμάζεται για κλίση μηχανισμού οριζόντια και ανεστραμμένη 90 °. Οι δυνάμεις που επιβάλλονται είναι σύμφωνα με τα μέγιστα φορτία που έχουν βρεθεί για αυτές τις δύο κλίσεις και βρίσκονται με απλή ισορροπία ροπών και δυνάμεων για συνολικό φορτίο 1.9 kg στη μέγιστη προέκταση. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον πίνακα 3.9 και στο σχήμα 3.24.

Όριο θραύσης (MPa)	71.5
Σχήμα 3.24α', Μέγιστη τάση(MPa)	16.8
Σχήμα 3.24β', Μέγιστη τάση (MPa)	6.13

Πίνακας 3.9: Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης βάσης



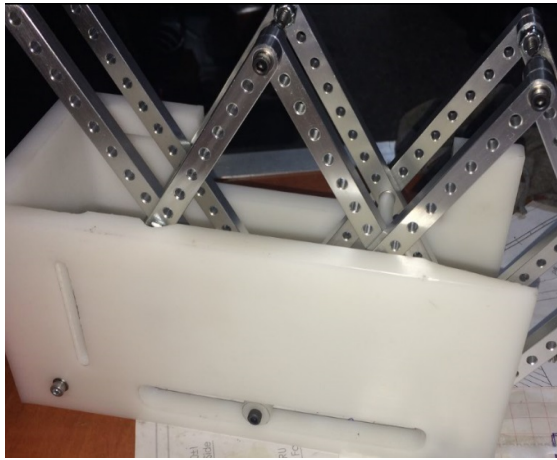
(α')



(β')

Σχήμα 3.24: Στατική ανάλυση βάσης. α'. Φόρτιση στον προσανατολισμό 0 °, β'. Φόρτιση στον προσανατολισμό 90 °

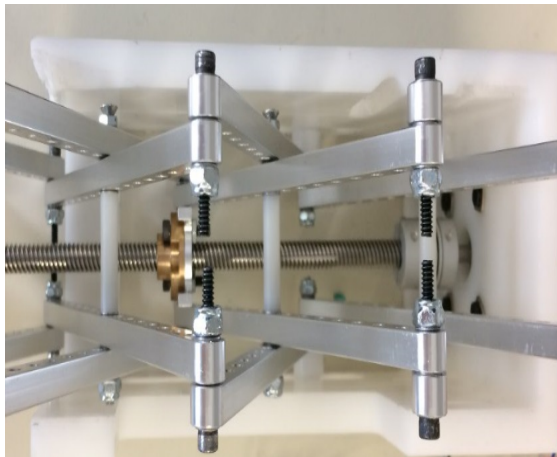
Το πραγματικό μοντέλο που κατασκευάστηκε σύμφωνα με τα προηγούμενα φαίνεται στο σχήμα 3.25.



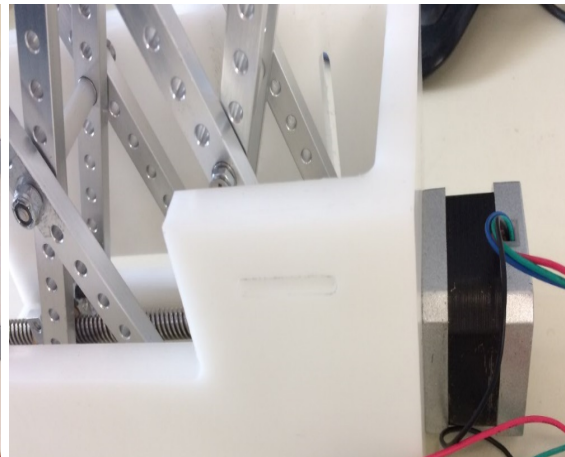
(α')



(β')



(γ')



(δ')

Σχήμα 3.25: Κατασκευασμένη βάση

3.4 Επιπλέον στοιχεία λειτουργικότητας

Η ολοκλήρωση της συσκευής απαιτεί επιπλέον τμήματα, για την τοποθέτηση και συναρμολόγηση των οποίων ήδη έχει γίνει πρόβλεψη. Τα στοιχεία αυτά συνιστούν μία ολοκληρωμένη κατασκευή που είναι προσιτή στο χρήστη και λειτουργική. Έτσι από τη μία εξασφαλίζεται η πρόσδεση του μηχανισμού με ασφαλή τρόπο στον χρήστη και από την άλλη η επικοινωνία του με τον επενεργητή ώστε με απλή διαδικασία και πάλι να γίνεται η κίνηση του βραχίονα.

Προκειμένου να προσδένει ο μηχανισμός σταθερά στον ανθρώπινο βραχίονα απαιτούνται δύο σημεία συγκράτησης. Το ένα είναι το χερούλι που τοποθετείται στο μπροστινό μέρος της βάσης ώστε να είναι εύκολη η αλλαγή προσανατολισμού της συσκευής. Επίσης προβλέπεται να τοποθετηθούν δύο διακόπτες για τον χειρισμό του βραχίονα και του ρομποτικού χεριού. Η θέση αυτή κάνει πολύ προσιτό και απλό τον τρόπο χρήσης της συσκευής. Στη συνέχεια για την καλύτερη συγκράτηση και ισορροπία της, τοποθετείται βέλκρο στο ειδικά διαμορφωμένο άνοιγμα που γίνεται στη βάση, σχήμα 3.26.

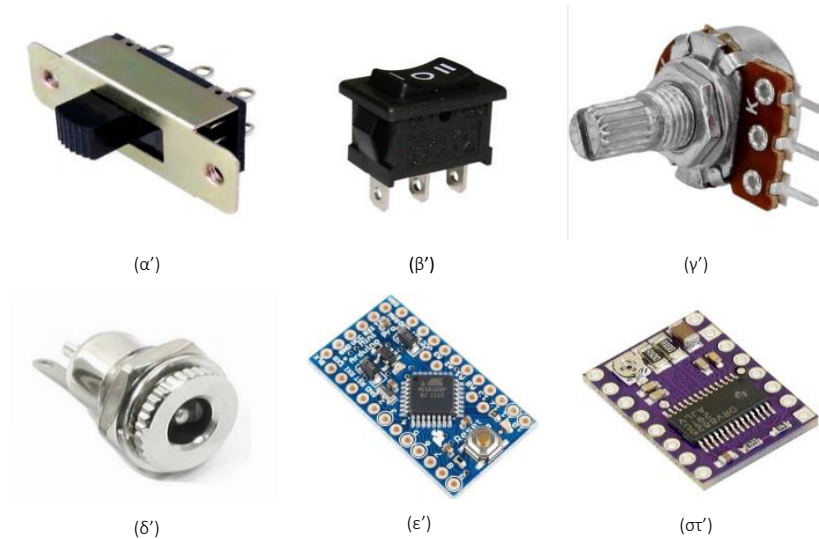


Σχήμα 3.26: Χερούλι και βέλκρο βάσης

Έπειτα τοποθετούνται τα ηλεκτρονικά της συσκευής. Μιας και οι διαθέσιμοι πλέον χώροι είναι στη θέση πάνω από τον κινητήρα και στο πλάι, αξιολογούνται αυτές οι δύο επιλογές. Η τοποθέτηση των ηλεκτρονικών πάνω από τον κινητήρα, σημαίνει πως οι μπαταρίες θα πρέπει να τοποθετηθούν στη δεξιά πλευρά του μηχανισμού, αυξάνοντας τον όγκο στα πλάγια πολύ περισσότερο από ότι θα γινόταν με τα ηλεκτρονικά. Αν από την άλλη γινόταν τοποθέτηση και των δύο στο πίσω μέρος, ο όγκος θα ήταν μεγάλος σε εκείνη τη θέση. Με αυτό το σκεπτικό τοποθετούνται στα πλάγια τα ηλεκτρονικά των οποίων η περιγραφή γίνεται στη συνέχεια.

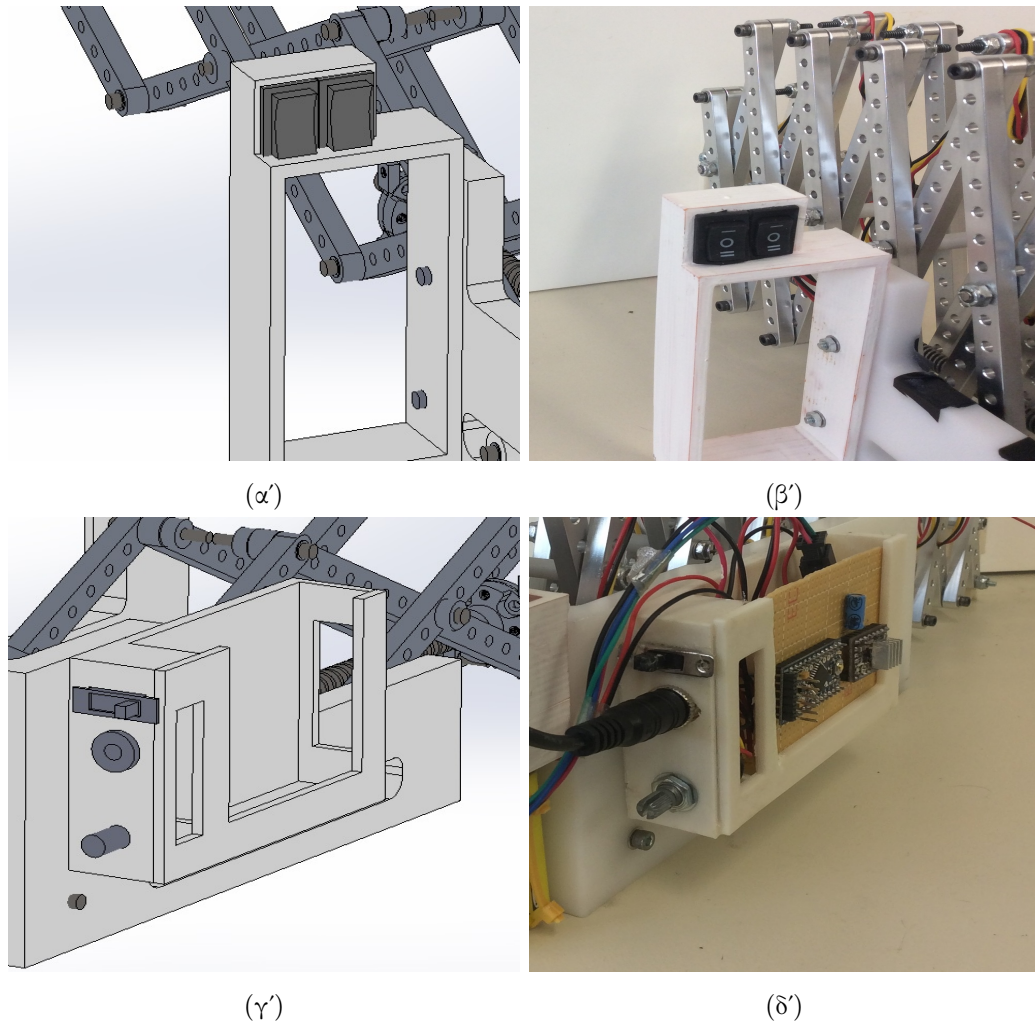
Αρχικά, απαιτείται ένας διακόπτης Master που ελέγχει όλο το κύκλωμα και απενεργοποιεί τη διάταξη ώστε να μην καταναλώνεται ενέργεια. Επίσης απαιτούνται δύο διακόπτες για τη λειτουργία του ρομποτικού χεριού και του βραχίονα. Στην πρώτη περίπτωση καθορίζουν το άνοιγμα - κλείσιμο ή σταθερή θέση και στη δεύτερη την κίνηση μπροστά - πίσω ή σταθερή θέση. Απαιτούνται συνεπώς διακόπτες ON-OFF-ON, τριών θέσεων δηλαδή. Επίσης, λόγω του ότι είναι αναμενόμενο ο χρήστης να επιθυμεί να αλλάζει την ταχύτητα κίνησης του βραχίονα κατά τη χρήση του, τοποθετείται ένας ροοστάτης για την παραμετροποίηση

αυτή. Τέλος, στη βάση για τα ηλεκτρονικά που συμπεριλαμβάνει όλα τα προηγούμενα εκτός από τους διακόπτες τριών θέσεων τοποθετείται τόσο η υποδοχή για το καλώδιο της μπαταρίας του κινητήρα όσο και η πλακέτα που στηρίζεται στην επικοινωνία υπολοίπων μερών με τον μικροελεγκτή Arduino Mini. Σε αυτή καταλήγουν τα καλώδια που απαιτούνται για τις συνδέσεις καθώς και ο driver και πυκνωτής για τον κινητήρα του βραχίονα.

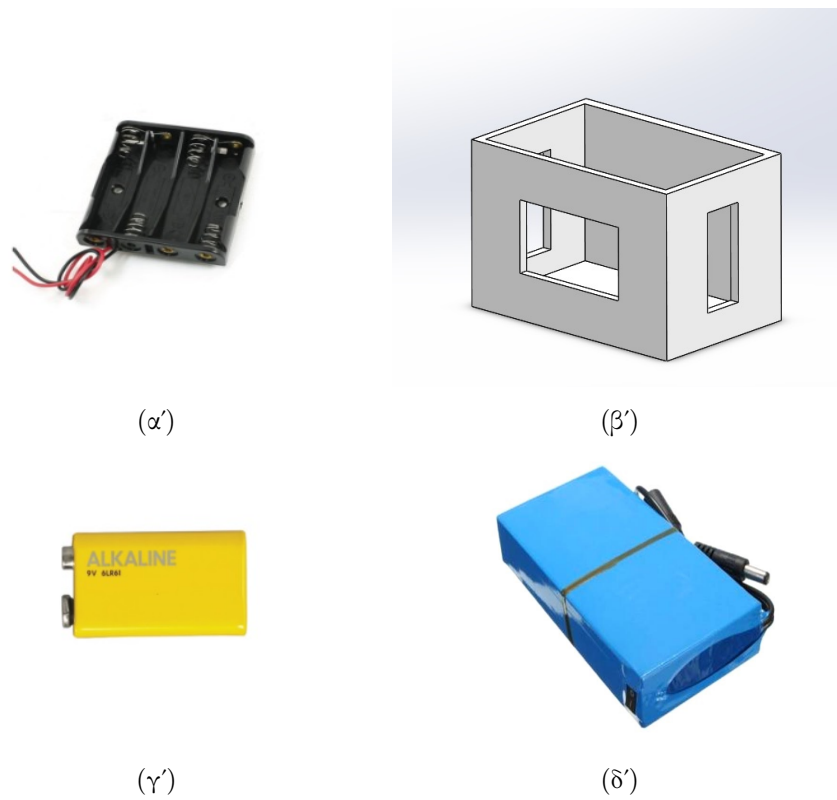


Σχήμα 3.27: Στοιχεία λειτουργίας. α'. Διακόπτης ON-OFF, β'. Διακόπτης ON-OFF-ON, γ'. Ποτενσιόμετρο, δ'. Υποδοχή καλωδίου μπαταρίας, ε'. Arduino Mini. Πηγή [24], στ'. Driver. Πηγή [25]

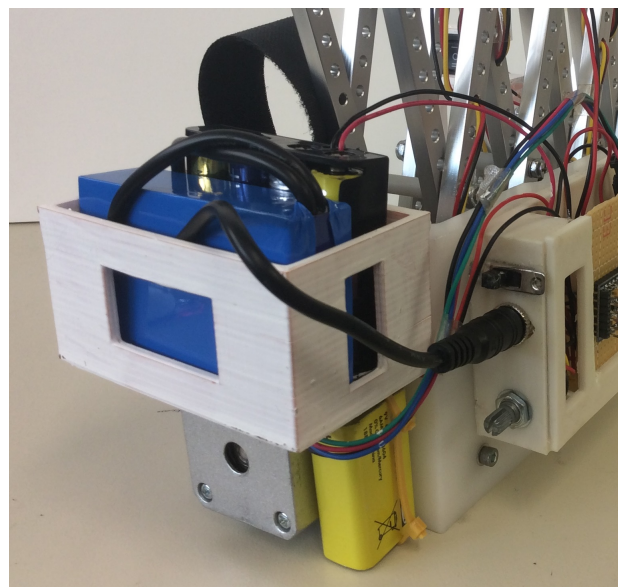
Αναφορικά με τις ενεργειακές απαιτήσεις, το σύστημα της τροφοδοσίας τοποθετείται πλησίον του κινητήρα. Απαιτείται τάση 12 V για το βηματικό κινητήρα που επενεργεί για τη κίνηση του βραχίονα. Επίσης απαιτείται τάση 6 V για το σερβοκινητήρα που έχει πάνω του το ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι. Τέλος το κύκλωμα του Arduino δέχεται μέχρι 12 V και αυτό, ωστόσο προτιμάται στην φάση αυτή της πρωτυποποίησης να συνδεθεί με ανεξάρτητη πηγή 9 V με σκοπό να αποφευχθεί κάποια βλάβη λόγω της μικρής ακρίβειας και ευμεταβλητότητας που έχει το τροφοδοτικό που χρησιμοποιείται αντί της μπαταρίας 12 V κατά τη διάρκεια των πειραμάτων.



Σχήμα 3.28: Στοιχεία λειτουργίας. α., β. Διακόπτες ON-OFF-ON, γ., δ. Κύκλωμα ηλεκτρονικών



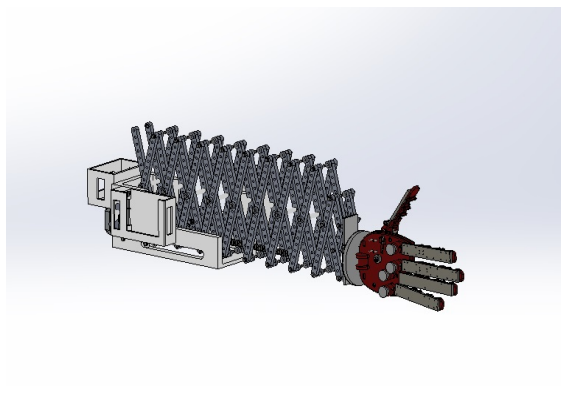
Σχήμα 3.29: Μπαταρίες και μπαταριοθήκες. α'. Μπαταριοθήκη 6 V, β'. Μπαταριοθήκη μπαταρίας 12 V και 6 V, γ'. Μπαταρία 9V, δ'. Μπαταρία 12V



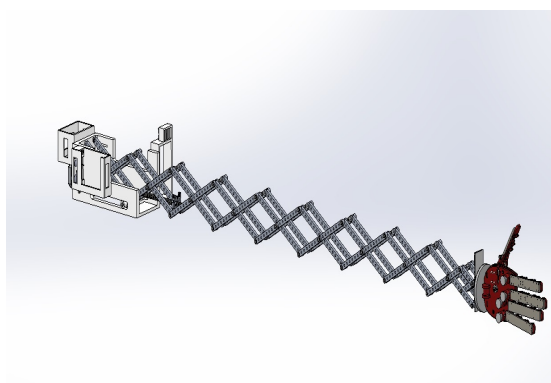
Σχήμα 3.30: Συναρμολογημένα επιπλέον στοιχεία λειτουργικότητας

3.5 Συναρμολογημένη κατασκευή

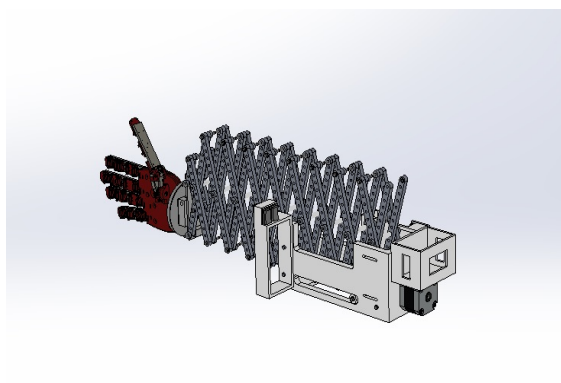
Παρακάτω παρουσιάζεται η πλήρης συναρμολογημένη κατασκευή. Το τρισδιάστατο μοντέλο αναπαράστασης, σχήμα 3.31, συνοδεύει την πραγματική κατασκευή, σχήμα 3.32. Προστίθεται επίσης το ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι, σχήμα 3.33, καθώς αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της λειτουργικότητας του τηλεσκοπικού ρομποτικού βραχίονα.



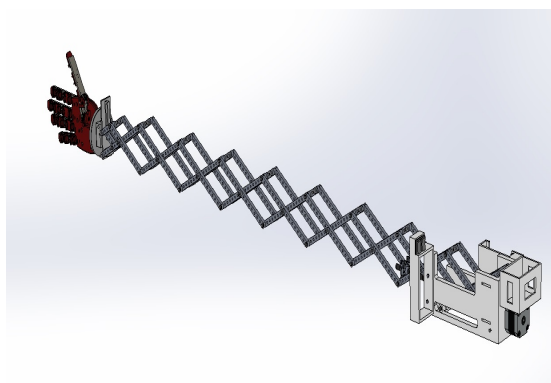
(α')



(β')

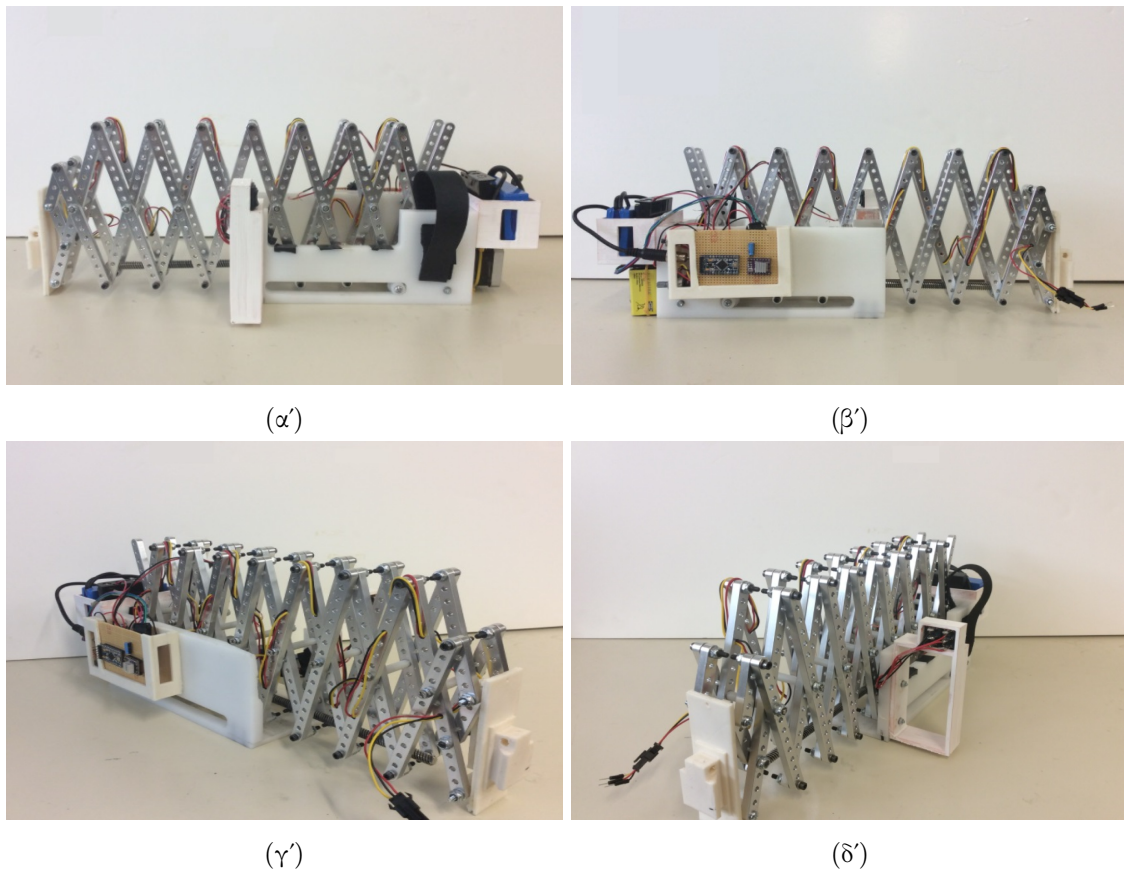


(γ')

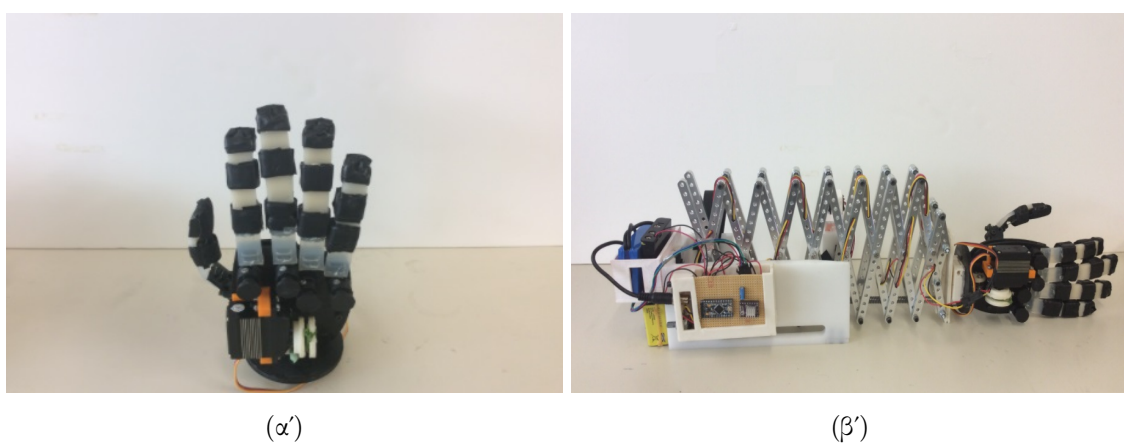


(δ')

Σχήμα 3.31: Μοντέλο συναρμολογημένης κατασκευής



Σχήμα 3.32: Συναρμολογημένη κατασκευή



Σχήμα 3.33: Συσσκευή ρομποτικού βραχίονα με την ενσωμάτωση του ρομποτικού χεριού

Κεφάλαιο 4

Πειράματα

Ακολουθεί η πειραματική διαδικασία που στόχο έχει εκτός από την μέτρηση της συμπεριφοράς και απόκρισης, στον χρόνο, του ρομποτικού βραχίονα για διάφορες συνθήκες φόρτισης, την επαλήθευση της λειτουργικότητας και χρησιμότητας του κατά την αραπή καθημερινών αντικειμένων. Για το σκοπό αυτό γίνεται ακριβής μέτρηση των στοιχείων που είναι χαρακτηριστικά της συνολικής επίδοσης της συσκευής ως προς τον σκοπό για τον οποίο προορίζεται.

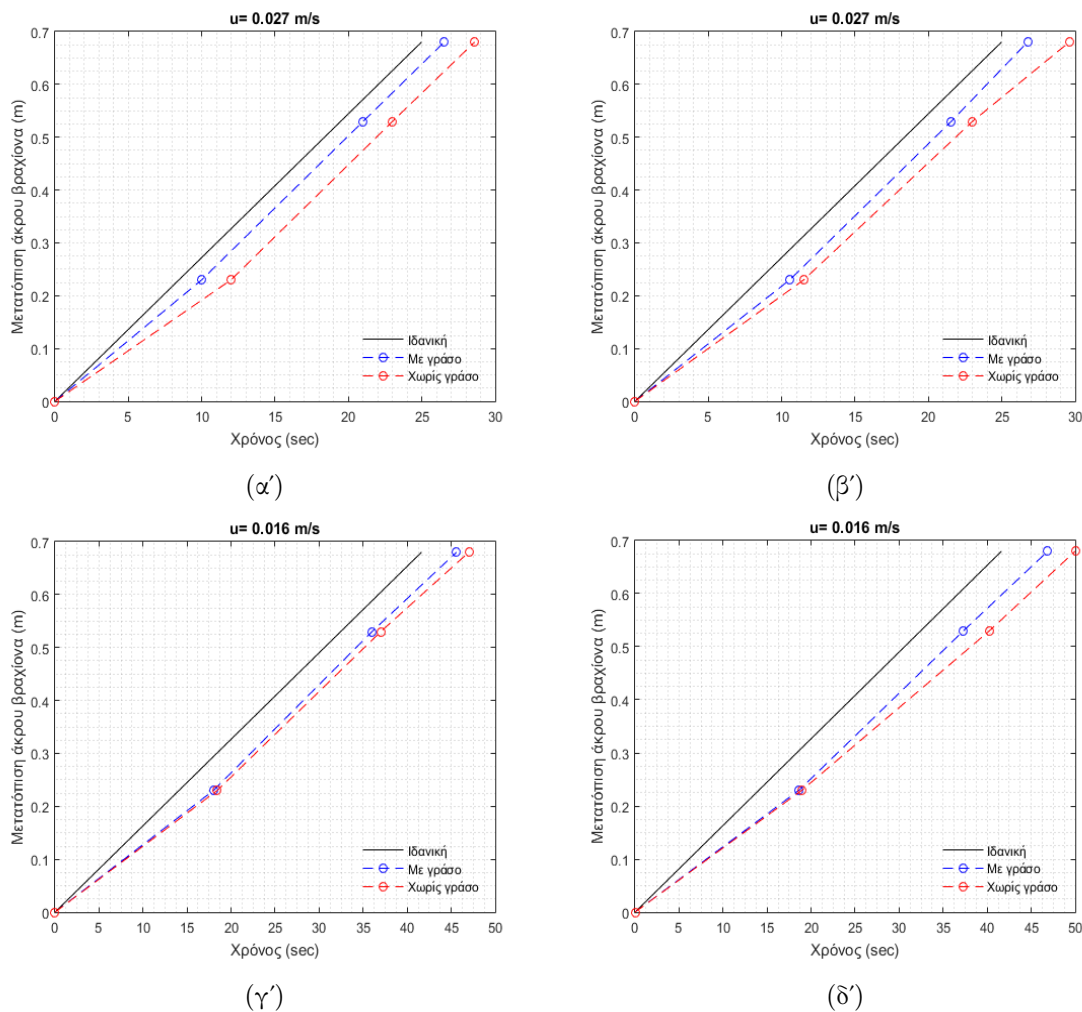
4.1 Μετρήσεις

Με γνώμονα την ικανότητα του μηχανισμού να προεκτείνεται και να επιστρέφει στην αρχική θέση επαναφοράς, εξετάζεται ο χρόνος στον οποίο γίνεται αυτή η κίνηση με και χωρίς εξωτερικό φορτίο στο άκρο. Έτσι για βάρος 300 γραμμάρια που είναι και το βάρος του ρομποτικού χεριού μετράται η απόκριση αυτή, όπως επίσης και χωρίς αυτό το βάρος. Στις μετρήσεις προστίθεται και η απόκριση μετά τη χρήση λιπαντικού γράσου στον κοχλία κίνησης, προκειμένου να διαπιστωθεί αν η εφαρμογή αυτή διαφοροποιεί σε σημαντικό βαθμό τις παρατηρήσεις.

Οι μετρήσεις γίνονται για δύο διαφορετικές ταχύτητες κίνησης του περικοχλίου και η μετατόπιση που αναφέρεται παρακάτω αφορά στο άκρο του βραχίονα, σημείο A9 ενότητας 3.1.2, σε σχέση με την αρχική του θέση. Το ίδιο και η ταχύτητα. Η απόκριση η πραγματική παρουσιάζεται σε σύγκριση με την ιδανική που θα είχε το σύστημα αν αποτελείτο από κοχλία και περικόχλιο μόνο, καθώς αυτή η απόκριση προκύπτει από τις στροφές και το βήμα του κοχλία. Στην πραγματικότητα μετακινείται μάζα που βρίσκεται σε απόσταση με ενδιάμεσα σημεία σύνδεσης στη δομή και το όλο σύστημα που συνιστά σε αυτή τη διαφοροποίηση. Όλα αυτά φαίνονται στο σχήμα 4.1

Το συμπέρασμα από τα παρακάτω είναι η σημαντική εξάρτηση της απόκρισης από τη χρησιμοποίηση ή μη λιπαντικού γράσου. Για τις δοκιμές που γίνανε και συγκεκριμένα για εκείνες που υπήρχε εξωτερικό φορτίο 300 γραμμάρια, η διαφοροποίηση των αποκρίσεων με γράσο και χωρίς, είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την περίπτωση που δεν υπάρχει εξωτερικό φορτίο. Επίσης είναι λογικό πως για μικρότερη ταχύτητα κίνησης, οι αποκρίσεις με και χωρίς γράσο είναι πιο κοντά μεταξύ τους. Ταυτόχρονα, όσο μεγαλύτερη είναι η διάρκεια κίνησης

τόσο διαφέρουν οι αποκρίσεις οι πραγματικές από την εκάστοτε ιδανική.



Σχήμα 4.1: Απόκριση βραχίονα για δύο διαφορετικές ταχύτητες. α'. Χωρίς χέρι στο άκρο, β'. Με χέρι στο άκρο, γ'. Χωρίς χέρι στο άκρο, δ'. Με χέρι στο άκρο,

Στη συνέχεια, αξιολογείται η ικανότητα μεταφοράς βάρους. Μετράται το βάρος που όταν τοποθετείται στο άκρο του βραχίονα, είναι δυνατή οριακά η επαναφορά ή και προέκταση του, με ακρίβεια 50 γραμμάρια. Για μεγαλύτερο βάρος κατά 50 γραμμάρια σε κάθε περίπτωση, ο μηχανισμός κίνησης αδυνατεί να μεταφέρει το βάρος στο άκρο. Η δυσκολία αυτή στην πράξη φαίνεται με τη σταθεροποίηση του περικόχλιου και παραγωγή θορύβου. Με τον τρόπο αυτό εκφράζεται και το μέγιστο μήκος στο οποίο φτάνει με την προέκταση του, ο μηχανισμός αναφορικά πάλι με το σημείο A9 της διάταξης. Η τελική μετατόπιση φυσικά, είναι αυτή που προκύπτει, κάνοντας τη προσθήκη του ρομποτικού χεριού, σε απόσταση 1.1 m τελικού άκρου από το χερούλι του μηχανισμού. Αξίζει να σημειωθεί πως η απόσταση αυτή μπορεί να επιτευχθεί έχοντας στο άκρο τα βάρη του πίνακα 4.1, και αυτό έχει γίνει επιτυχώς με ταχύτητα άκρου 4.1 cm/s, που δίνει έναν ικανοποιητικό χρόνο προέκτασης 16 με 20 δευτερόλεπτα ανάλογα με το αν έχει εφαρμοστεί ή όχι γράσο αλλά και το εξωτερικό βάρος.

Το συμπέρασμα από τη διαδικασία αυτή είναι πως για τη μέγιστη προέκταση που ενδιαφέρει πιο πολύ, η απουσία γράσου δεν εξασφαλίζει την ικανότητα μεταφοράς επαρκούς βάρους ώστε ο μηχανισμός να είναι πραγματικά λειτουργικός. Επίσης, οι παρακάτω τιμές βάρους είναι οι μέγιστες σε κάθε περίπτωση, μη συμπεριλαμβάνοντας το χέρι και ειδικά στην περίπτωση των 900 γραμμαρίων, θα πρέπει να μην γίνεται τέτοια χρήση του μηχανισμού καθώς είναι πολύ δύσκολο να διαχειριστεί ο χρήστης τέτοιο βάρος. Το συνολικό εξωτερικό βάρος μαζί την τοποθέτηση του χεριού, πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή των 500 γραμμαρίων το πολύ και αυτό εφόσον ο μηχανισμός ακουμπάει σε οριζόντια επιφάνεια και έχει προσδεθεί στο χέρι του χρήστη. Για κάθε επιπλέον βάρος απαιτείται εφαρμογή δύναμης σημαντικής από τον χρήστη.

Απόσταση άκρου βραχίονα από χερούλι (m)	Χωρίς Γράσο (gr)	Με Γράσο (gr)
0.9	450	900

Πίνακας 4.1: Μέγιστο βάρος μεταφοράς στη μέγιστη προέκταση

Έπειτα μετράται σε διάφορες θέσεις η κατακόρυφη μετατόπιση του ίδιου άκρου του βραχίονα, ως προς το επίπεδο της βάσης, πίνακας 4.2. Η κάμψη αυτή παρουσιάζεται για βάρος 300 γραμμάρια στο άκρο και οφείλεται στο άθροισμα των ανοχών που έχει η διάταξη των ψαλιδοειδών στοιχείων.

Απόσταση άκρου βραχίονα από χερούλι (m)	Κάμψη (cm)
0.5	2.5
0.75	4
0.9	5.5

Πίνακας 4.2: Κατακόρυφη μετατόπιση άκρου σε διάφορα σημεία προέκτασης

Όλες οι παραπάνω δοκιμές γίνονται με τη βάση του μηχανισμού να βρίσκεται σε οριζόντια θέση χωρίς κάποια κλίση με γωνία θ ή φ , σχήμα 3.19. Αν μεταβληθεί η γωνία φ κατά 10 περίπου μοίρες, ο βραχίονας μαζί με την προσθήκη του ρομποτικού χεριού μπορεί να κινηθεί μέχρι τα 0.5 m. Επίσης, για τα ίδια δεδομένα η μεταβολή κατά 10 μοίρες στη γωνία θ είναι δυνατή μέχρι τα 0.3 m.

Έπειτα προκειμένου να διαπιστωθεί ο βαθμός στον οποίο το σύνολο των ανοχών προκαλεί ενδοτικότητα στο σύστημα εφαρμόζεται δύναμη στο άκρο του βραχίονα προς την κατεύθυνση του κοχλία κίνησης. Υπό ιδανικές συνθήκες ο ψαλιδοειδής μηχανισμός δε θα έπρεπε να

είναι σε θέση να μπορεί να μετατοπιστεί αφού είναι συζευγμένος με τον κοχλία. Ωστόσο το άθροισμα των ανοχών αφήνει περιθώρια ενδοτικότητας. Έτσι, αυτή η ενδοτικότητα είναι για τις διάφορες θέσεις προέκτασης αυτή που φαίνεται στον πίνακα 4.3.

Απόσταση άκρου βραχίονα από χερούλι (m)	Ενδοτικότητα (cm)
0.5	2.5
0.75	1.5
0.9	0.3

Πίνακας 4.3: Ενδοτικότητα βραχίονα

4.2 Δοκιμές αρπαγής αντικειμένων

Προκειμένου να διαπιστωθεί η λειτουργικότητα και η χρηστική αξία του μηχανισμού, τοποθετούνται ένα σύνολο από αντικείμενα στην απόσταση του 1 m από τη βάση του. Δοκιμάζονται διάφορα βάρη έτσι τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν απαιτήσεις σε πραγματικό περιβάλλον. Ο μηχανισμός βρίσκεται σε οριζόντια θέση αλλά δοκιμάζεται και η περίπτωση όπου αλλάζει ο προσανατολισμός του προκειμένου να γίνει αρπαγή αντικειμένου. Η προέκταση και επαναφορά όμως έχει γίνει σε οριζόντιο προσανατολισμό. Στα παρακάτω παρουσιάζεται για άλλη μια φορά η εξάρτηση των ικανοτήτων κίνησης και λειτουργίας με και χωρίς γράσο στον κοχλία κίνησης και περικόχλιο. Το ρομποτικό χέρι αποτελεί απαραίτητο κομμάτι λειτουργικότητας και είναι σε όλες τις περιπτώσεις προσαρμοσμένο. Συνεπώς, στα παρακάτω αντικείμενα προστίθεται το βάρος των 300 γραμμαρίων που ήδη μεταφέρει ο βραχίονας.

Δοκιμάστηκαν επιτυχώς στην περίπτωση δοκιμής χωρίς γράσο αρκετά ελαφριά αντικείμενα όπως του πίνακα 4.4α'. Επίσης στην περίπτωση της εφαρμογής γράσου δοκιμάστηκε επιτυχώς πληθώρα αντικειμένων όπως του πίνακα 4.4β'. Τα στοιχεία των πειραμάτων που έγιναν επιτυχώς με πλήρη προέκταση και επαναφορά όπως περιγράφηκε φαίνονται παρακάτω.

Αντικείμενο	Βάρος gr
Μπάλα	56
Αλάτι	152
Κονσέρβα	167

(α')

Αντικείμενο	Βάρος gr
Γυαλιά	108
Μολυβοθήκη	204
Γυάλινη θήκη καφέ	229
Τζελ	265
Καφές	284
Μικρό μπου- κάλι Νερό	298
Συσκευασία σκόνη σοκολάτα	320
Καθαριστικό	376

(β')

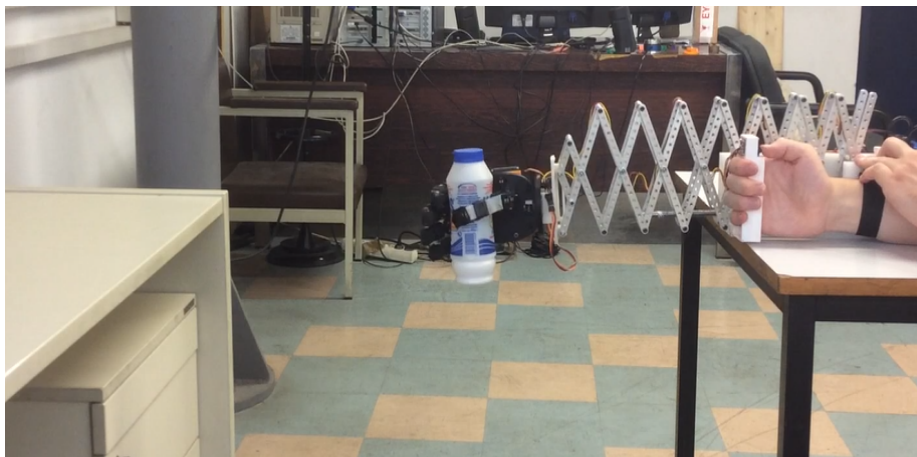
Πίνακας 4.4: Αντικείμενα αρπαγής, α'. Επιτυχής χωρίς γράσο, β'. Επιτυχής με γράσο



(α')



(β')



(γ')

Σχήμα 4.2: Παράδειγμα χρήσης του μηχανισμού, Αντικείμενο βάρους 152 gr



(α')



(β')



(γ')

Σχήμα 4.3: Παράδειγμα χρήσης του μηχανισμού, Αντικείμενο βάρους 229 gr

Κεφάλαιο 5

Επισκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται επισκόπηση της εργασίας στο σύνολο της με την προσθήκη συμπερασμάτων τόσο από τη διαδικασία των πειραμάτων όσο και από ολόκληρη τη διαδικασία σχεδιασμού και υλοποίησης. Επίσης, ακολουθούν βήματα μελλοντικής ανάπτυξης με κατεύθυνση τη βελτίωση του μηχανισμού.

5.1 Συμπεράσματα

Με βάση τις παρατηρήσεις της ενότητας 4.1 των πειραματικών μετρήσεων αλλά και των δοκιμών που έγιναν με πραγματικά καθημερινά αντικείμενα, ενότητα 4.2, προκύπτουν σαφή συμπεράσματα για τον τρόπο συμπεριφοράς της συσκευής. Αυτά με τη σειρά τους πρέπει να κατηγοριοποιηθούν σε εκείνα που αφορούν στην κίνηση υπό φορτίο του μηχανισμού και στην άνεση και χρησιμότητα που νιώθει ο χρήστης. Η κίνηση του μηχανισμού χαρακτηρίζεται από την ομαλότητα της, την ευστάθεια και τα όρια της.

Η ομαλότητα επηρεάζεται από την ύπαρξη γράσου στον κοχλία οδήγησης, το βάρος που μεταφέρει ο μηχανισμός και το μήκος προέκτασης. Διαπιστώθηκε πως η ύπαρξη γράσου προκαλεί πολύ σημαντική μεταβολή ομαλούς λειτουργίας. Ο μηχανισμός δεν σταματάει σε ενδιάμεσα σημεία προκειμένου να υπερβεί τις υπερβολικές τριβές που εμφανίζονται, με αποτέλεσμα το σύστημα και να μην έχει κραδασμούς και ο χρόνος μετάβασης σε πλήρη προέκταση να μη διαρκεί πολύ παραπάνω. Επίσης το βάρος παίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτό το κομμάτι όπως και στα υπόλοιπα. Οπωσδήποτε δεν πρέπει να ξεπερνάει τα μέγιστα αυτά όρια που τέθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο, ώστε να μπορεί να επανέλθει ο μηχανισμός.

Ο μηχανισμός είναι πολύ ευσταθής και μάλιστα και σε μεγάλη προέκταση. Το γεγονός ότι ο μηχανισμός ψαλιδοειδών στοιχείων είναι συνδεδεμένος με τον κοχλία κίνησης και όλο μαζί υπόκειται στη ροπή συγκράτησης του κινητήρα, δεν αφήνει περιθώρια ανεπιθύμητων μετατοπίσεων. Οι ανοχές που υπάρχουν φυσικά εξαιτίας της ύπαρξης των περικοχλίων ασφαλείας, που δεν επιτρέπεται να είναι πολύ σφιχτά αλλά ούτε χαλαρά, δημιουργούν την ενδοτικότητα του συστήματος. Επίσης, μία στροφή της βάσης κάποιες μοίρες, όταν είναι απότομη προκαλεί μεγαλύτερη στροφή στο άκρο και σε αυτό συνεισφέρουν οι ανοχές. Τα δύο αυτά φαινόμενα όμως δεν υπονομεύουν καθόλου τη δυνατότητα αρπαγής και μετακίνησης. Μάλιστα, ο μηχαν-

νισμός οφείλει σε μεγάλο βαθμό την ευστάθεια του στην παράλληλη δομή, μειώνοντας έτσι τις απαιτήσεις για ένα πιο περίπλοκο και ασφαλές σύστημα οδήγησης.

Η δυνατότητα αλλαγής κλίσης είναι εφικτή και ο μηχανισμός αντέχει στατικά την όποια αλλαγή προσανατολισμού. Σαφώς το γεγονός ότι η συσκευή δεν είναι σχεδιασμένη για να κινείται σε εύρος κλίσεων αλλά κυρίως όντας παράλληλα στο έδαφος, δεν επιτρέπει σημαντικές μεταβολές του τρόπου χρήσης κατά την κίνηση. Έτσι, δε θα πρέπει να μεταβάλλεται η κλίση κατά την κίνηση αλλά είναι προτιμότερο να γίνεται αρπαγή του αντικειμένου με όποια κλίση επιθυμεί ο χρήστης και μετά με οριζοντίωση του μηχανισμού να γίνεται η επαναφορά.

Και στα τρία παραπάνω χαρακτηριστικά, παίζει φυσικά ρόλο η ίδια η δομή και το σχέδιο που επιλέχθηκε να εφαρμοστεί με το συγκεκριμένο σύστημα κίνησης και οδήγησης. Ο τρόπος σύνδεσης των ψαλιδοειδών στοιχείων που αναπόφευκτα δημιουργεί μικρές ανοχές και ιδιαίτερα το γεγονός ότι ο κοχλίας κίνησης δεν έχει το άλλο άκρο του στηριγμένο σε σημείο πέραν του περικοχλίου που πιέζει προς τα κάτω, δυσκολεύουν την κίνηση του συστήματος. Συνεπώς, παρότι η ροπή του κινητήρα είναι σαφώς επαρκής για να μετακινήσει ακόμα και κάθετα το βάρος σε ένα ιδανικό σύστημα, τα επιπλέον αυτά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά υπονομεύουν αυτή τη δυνατότητα. Ο άξονας του κοχλίας κίνησης δεν ευθυγραμμίζεται απόλυτα με αυτόν του κινητήρα και τα ροδάκια εμφανίζουν πολύ μικρή κλίση ως προς την επιφάνεια εφόσον δεν υπάρχει περιορισμός για κάτι τέτοιο. Παρόλα αυτά ακόμα και χωρίς την ύπαρξη γράσου είναι δυνατή η αρπαγή αντικειμένων, όμως η συσκευή δεν είναι σε καμία περίπτωση χρηστική. Αντίθετα με την εφαρμογή γράσου, οι παραπάνω δυσκολίες όπως περιγράφηκαν μειώνονται και ο κινητήρας είναι και πάλι ισχυρός αρκετά ώστε να γίνεται πολύ ομαλή κίνηση με το άνω φορτίο που έχει προσδιορισθεί. Όσο μεγαλύτερο είναι το βάρος, τόσο εντείνονται όλα τα παραπάνω φαινόμενα και εκεί ο μηχανισμός είναι αδύνατον να κινηθεί. Έπειτα, η ευστάθεια επηρεάζεται θετικά μιας και η απουσία κραδασμών βοηθάει το χρήστη να χειριστεί εύκολα τη συσκευή. Επίσης, και τα όρια χρήσης υπό κλίση είναι πιο ασφαλή όταν γίνεται ομαλή λειτουργία σε γρήγορο χρόνο.

Ο μηχανισμός είναι άνετος στη χρήση του υπό την προϋπόθεση ότι είναι στηριγμένος σε οριζόντια επιφάνεια και το βάρος του αντικειμένου, μαζί με το ρομποτικό χέρι, είναι εντός του προηγούμενου πλαισίου των 500 γραμμαρίων. Το χερούλι και το βέλκρο εξασφαλίζουν την πρόσδεση και ο χειρισμός με τους διακόπτες είναι εύκολος και άμεσος.

Τα όρια που αφορούν στην αλλαγή προσανατολισμού αλλά και στη διαχείριση βάρους με τον βραχίονα, πρέπει να τηρούνται σε κάθε περίπτωση προκειμένου να μην προκληθεί τραυματισμός. Τα αντικείμενα που είναι συνετό να αρπάζει κάποιος με τον βραχίονα οφείλουν να είναι ελαφριά και να βρίσκονται στην κλίμακα που είναι το ρομποτικό χέρι, περίπου 200 γραμμάρια, το μέγιστο. Απαιτείται πέραν από την ισχύ του κινητήρα, δύναμη από τον άνθρωπο για να παραμένει η βάση του βραχίονα σταθερή. Προκειμένου να μην καταπονείται ο ίδιος ο ηλικιωμένος, το προβλεπόμενο όριο χρήσης βάρους πρέπει να είναι σε αυτά τα πλαίσια και να ακολουθηθεί μία σειρά μελλοντικών βημάτων τροποποίησης που θα επιτρέψουν στη συσκευή να ικανοποιήσει το σύνολο των προδιαγραφών που τέθηκαν στην ενότητα 1.3 ως κριτήρια αποδοχής βοηθητικών τεχνολογιών.

5.2 Μελλοντική ανάπτυξη

Τα βήματα μελλοντικής ανάπτυξης και βελτίωσης του τηλεσκοπικού μηχανισμού προκύπτουν άμεσα από τα συμπεράσματα αλλά και από την πιθανή μελλοντική ύπαρξη δυνατοτήτων, κατασκευαστικών και οικονομικών, που θα άρουν περιορισμούς που υιοθετήθηκαν σε αυτή την προσέγγιση. Έτσι λοιπόν καταλογοποιώντας τα βήματα αυτά και με γνώμονα την προσπάθεια για επίτευξη του μέγιστου μήκους προέκτασης με το ελάχιστο βάρος μηχανισμού και ταυτόχρονα τη δημιουργία μίας φιλικής συσκευής, προσδιορίζονται τα παρακάτω :

- Χρησιμοποίηση δύο μπαταριών λιθίου για μικρό όγκο και μεγάλη χωρητικότητα, με αφαίρεση ξεχωριστής μπαταρίας για το ηλεκτρονικό κύκλωμα.
- Περαιτέρω μείωση του όγκου της βάσης των ηλεκτρονικών με μείωση των διαστάσεων της πλακέτας.
- Δυνατότητα για κλείσιμο της βάσης των μπαταριών και ηλεκτρονικών με τοποθέτηση των δευτέρων εσωτερικά της βάσης, έπειτα από τροποποίηση μήκους των μη συνδεόμενων πρώτων δύο ψαλιδιών.
- Μείωση του πάχους των ψαλιδιών.
- Ελαφρύτερο υλικό βάσης από ανθρακόνημα αν πρόκειται για πλήρη βελτιστοποίηση βάρους, αλλιώς μείωση του πάχους της πλαστικής βάσης στο προβλεφθέν σχήμα, προκειμένου να μην ανέβει το κόστος.
- Αλλαγή του βέλκρο με ιμάντα και αγκράφα για καλύτερη πρόσδεση και σφήξιμο στον ανθρώπινο πήχη.
- Προσθήκη μαλακού υλικού στην επιφάνεια επαφής με το χερούλι.
- Χρησιμοποίηση πιο απλού ακροδέκτη αντί για ανθρωπόμορφου χεριού, το βάρος του οποίου να μην ξεπερνάει τα 150 γραμμάρια και να πιάνει αρκετά μεγάλη ποικιλία αντικειμένων.
- Σύστημα αλλαγής προσανατολισμού του ακροδέκτη, που πολλαπλασιάζει την στροφή που κάνει ο χρήστης στη βάση του βραχίονα.
- Πριτσινωτοί σύνδεσμοι στα ψαλιδοειδή στοιχεία αντί για περικόχλια ασφαλείας για να μη δημιουργούνται μικρές ανοχές.
- Αλλαγή συστήματος οδήγησης με ροδάκια με μια πιο περίπλοκη δομή κύλισης όπως με ένσφαιρες επιφάνειες ώστε να γίνεται κύλιση σε κάθε προσανατολισμό, αν αυτό απαιτείται.
- Μείωση διαστάσεων κοχλία κίνησης, με εφαρμογή μικρότερης διαμέτρου και στήριξη του και στα δύο άκρα.

- Τοποθέτηση ποτενσιόμετρου πλησίον των διακοπών για πιο εύκολη πρόσβαση σε μεταβολή της ταχύτητας και δημιουργία θέσης στο χερούλι για να γίνει αυτό.

5.3 Σύνοψη

Ακολουθεί η σύνοψη του συνόλου της διπλωματικής. Η εργασία αυτή αφορά στη σχεδίαση και κατασκευή ενός ρομποτικού τηλεσκοπικού και φορητού βραχίονα, που κύριο στόχο έχει την υποβοήθηση ηλικιωμένων στην αρπαγή αντικειμένων που βρίσκονται σε θέση πλησίον τους αλλά ταυτόχρονα απαιτεί τη μετακίνησή τους. Στο εισαγωγικό κεφάλαιο **1** γίνεται βιβλιογραφική μελέτη κάποιων χαρακτηριστικών των ατόμων τρίτης ηλικίας που σχετίζονται με τη χρήση του μηχανισμού, όπως η δύναμη χειρολαβής και δικεφάλου συσχετιζόμενη με αυτές των νέων. Καθορίζεται επίσης ο τρόπος χρήσης της συσκευής, για να προχωρήσει ο σχεδιασμός με βάση αυτό το δεδομένο και έχοντας σαν κατεύθυνση όχι μόνο την ελαχιστοποίηση του βάρους αλλά και τον απλό σχεδιασμό κατασκευής και λειτουργίας.

Στο επόμενο κεφάλαιο, **2**, περιγράφεται ένα σύνολο εναλλακτικών λύσεων που διερευνήθηκαν και εξετάστηκαν, με την υπέρσχυση του ψαλιδοειδούς μηχανισμού, που συνδυάζει απλότητα κατασκευής και λειτουργίας. Προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα επίσης όπως χαμηλό βάρος και κόστος αλλά και μη απαίτηση για επιπλέον στοιχεία μεταφοράς της κίνησης πέρα από την ίδια τη δομή του, εξασφαλίζοντας την ασφαλή διεξαγωγή της.

Έπειτα στο κεφάλαιο **3**, γίνεται η σχεδίαση του ψαλιδοειδούς μηχανισμού με τα στοιχεία που το αποτελούν. Καθορίζονται οι διαστάσεις και επιλέγονται τα προϊόντα που είναι κατάλληλα για την εφαρμογή. Έπειτα προστίθεται ο κινητήριος μηχανισμός με το βηματικό κινητήρα, τα ροδάκια και τον κοχλία οδήγησης. Σχεδιάζεται στη συνέχεια η βάση και κατασκευάζεται, με πρόβλεψη για την προσθήκη των περιφερειακών εξαρτημάτων όπως χερούλι, βέλκρο και ηλεκτρονικά και μπαταρίες.

Ακολουθεί, στο κεφάλαιο **4**, η πειραματική δοκιμή της διάταξης για να αναγνωριστούν οι παράγοντες που επηρεάζουν θετικά και αρνητικά την επίδοση της και όλα αυτά να αποτελέσουν γραμμή μελλοντικής βελτίωσης. Επιβεβαιώνεται επίσης η επίτευξη του στόχου για τον οποίο προορίζεται με την επιτυχή αρπαγή και επαναφορά ποικιλίας αντικειμένων.

Τέλος, τα συμπεράσματα αλλά και η μελλοντική ανάπτυξη, κεφάλαιο **5**, έρχονται να επιστεγάσουν το σύνολο της μελέτης ώστε να γίνει η αποτίμηση του αποτελέσματος και να δημιουργηθούν οι βάσεις για τα επόμενα βήματα.

Συμπληρωματικά, στο παράρτημα **A'**, παρατίθεται και ο οδηγός κατασκευής και συναρμο-λόγησης των τεμαχίων και του συνόλου της κατασκευής.

Παράρτημα Α΄

Οδηγός συναρμολόγησης

Στο παράρτημα παρουσιάζεται το σύνολο των τεμαχίων που αποτελούν τη συσκευή καθώς και ο τρόπος κατασκευής και συναρμολόγησης τους. Η δομή που ακολουθεί, περιλαμβάνει τα αναγκαία υλικά και εργαλεία, τα τεμάχια, τα βήματα συναρμολόγησης τους και το σύνολο της κατασκευής στο τέλος. Σε κάθε βήμα συναρμολόγησης γίνεται αναφορά στα τεμάχια και στον τρόπο συναρμολόγησης τόσο περιγραφικά όσο και απεικονιστικά.

Α΄.1 Τεμάχια

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν τα τεμάχια που συγκροτούν στο σύνολο τους την κατασκευή. Χωρίζονται στις εξής ενότητες, προκειμένου να είναι συνδεδεμένη η επιλογή τους με τη λειτουργία τους :

1. Τεμάχια Κινούμενης Διάταξης
2. Τεμάχια Κινητήριας Διάταξης
3. Τεμάχιο Βάσης
4. Τεμάχια Περιφερειακού Εξοπλισμού

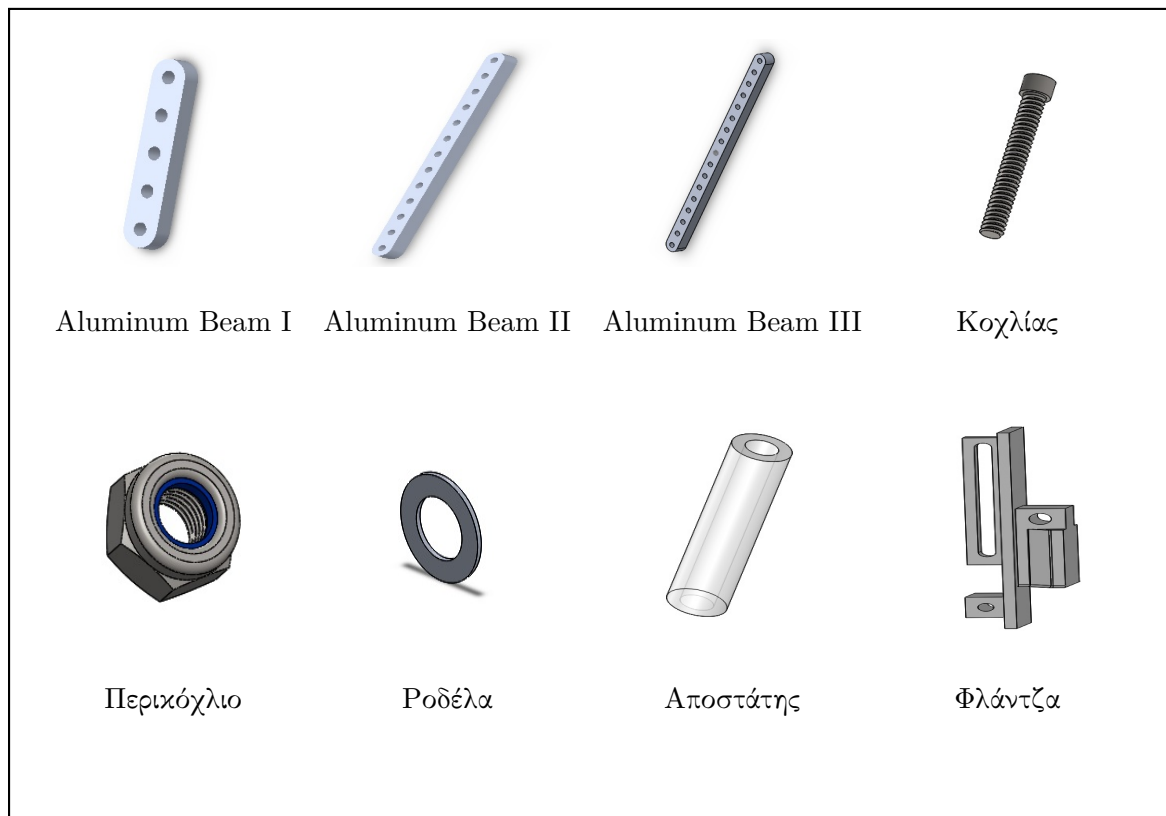
Αξίζει να σημειωθεί πως για την εκτύπωση των τρισδιάστατων κομματιών χρησιμοποιήθηκε η μηχανή εναπόθεσης τήγματος Lulzbot TAZ 4 της Aleph Objects [26] με υλικό θερμοπλαστικό ABS και η δημιουργία του GCode έγινε στο πρόγραμμα Slic3r [27].

A'.1.1 Τεμάχια κινούμενης διάταξης

Στον πίνακα A'.1 αναφέρονται τα τεμάχια της κινούμενης διάταξης και στο σχήμα A'.1 παρίστανται αυτά σε τρισδιάστατη απεικόνιση.

Όνομα Τεμαχίου	Ποσ.	Περιγραφή
Aluminum Beam I	4	Πλάτος 9.53 mm, Μήκος 48.58 mm, Πάχος 6.35 mm
Aluminum Beam II	2	Πλάτος 9.53 mm, Μήκος 126.87 mm, Πάχος 6.35 mm
Aluminum Beam III	30	Πλάτος 9.53 mm, Μήκος 166 mm, Πάχος 6.35 mm
Κοχλίας	34	Διάμετρος 3.56 mm, Μήκος 25 mm
Κοχλίας	4	Διάμετρος 3.56 mm, Μήκος 39 mm
Κοχλίας	2	Διάμετρος 3.56 mm, Μήκος 50 mm
Κοχλίας	8	Διάμετρος 3.56 mm, Μήκος 62 mm
Περίχολιο Ασφαλείας	46	Διάμετρος εσ./εξ. 3.56/9 mm, Μήκος 4.5 mm
Ροδέλα	200(μέγιστο)	Διάμετρος εσ. 3.56 mm
Αποστάτης	4	Διάμετρος εσ./εξ. 3.56/6.35 mm, Μήκος 3.2 mm
Αποστάτης	8	Διάμετρος εσ./εξ. 3.56/6.35 mm, Μήκος 25.4 mm
Φλάντζα Χεριού	1	Πλάτος 30.45 mm, Ύψος 95.6 mm

Πίνακας A'.1: Κατάλογος τεμαχίων κινούμενης διάταξης



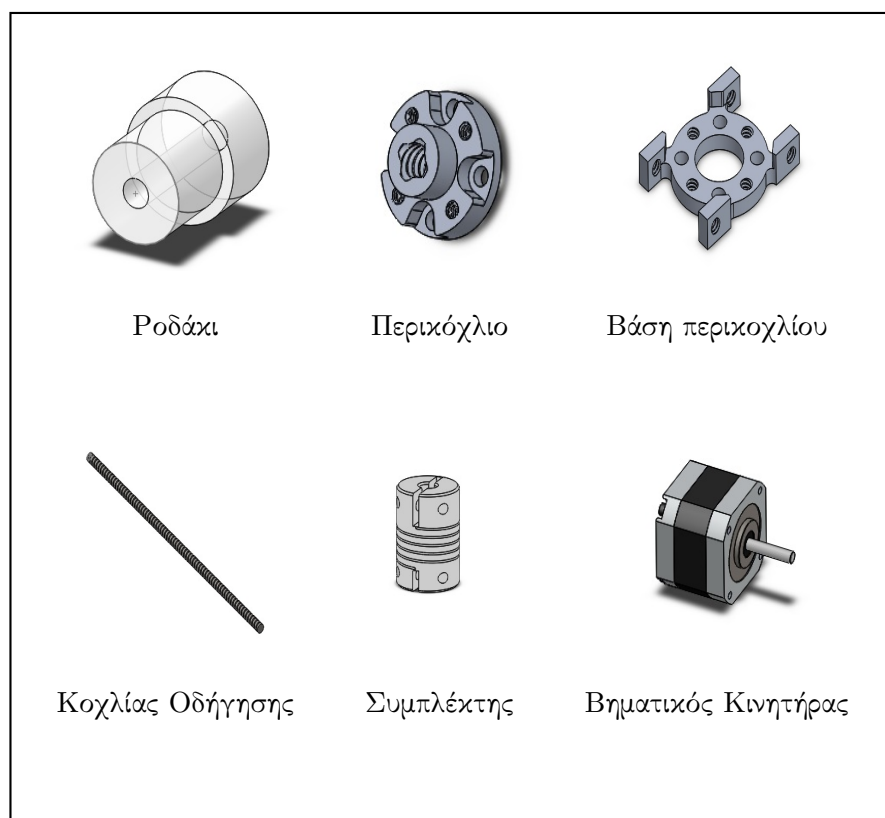
Σχήμα Α.1: Αναπαραστάσεις τεμαχίων κινούμενης διάταξης

A'.1.2 Τεμάχια κινητήριας διάταξης

Στον πίνακα A'.2 αναφέρονται τα τεμάχια της κινητήριας διάταξης και στο σχήμα A'.2 παρίστανται αυτά σε τρισδιάστατη απεικόνιση.

Όνομα Τεμαχίου	Ποσ.	Περιγραφή
Ροδάκια	2	Διάμετρος εσ./εξ.(I)/εξ.(II) 3.56, 12, 15mm, Μήκος 20 mm, Πάχος 6.35 mm
Περιοχλίο Κίνησης	1	Διάμετρος εσ./εξ. 8/25.4 mm
Βάση Περιοχλίου Κίνησης	1	Πλάτος 25.4 mm, Ύψος 33.02 mm
Κοχλίας Κίνησης	1	Διάμετρος 8 mm
Συμπλέκτης	1	Διάμετρος εξ. 9 mm
Κινητήρας Βηματικός Διπολικός	1	Μοντέλο 42BYGHW208 της Wantai motors

Πίνακας A'.2: Κατάλογος τεμαχίων κινητήριας διάταξης.



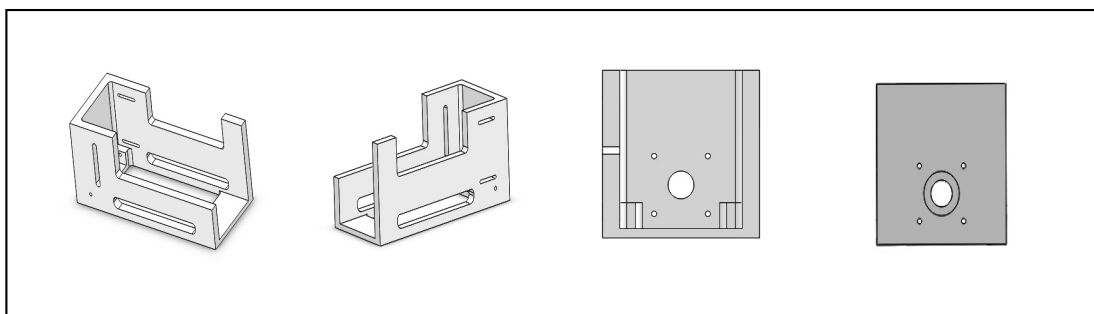
Σχήμα A'.2: Αναπαραστάσεις τεμαχίων κινητήριας διάταξης

A'.1.3 Τεμάχιο βάσης

Στον πίνακα A'.3 αναφέρεται το τεμάχιο της κινούμενης διάταξης και στο σχήμα A'.3 παρίσταται αυτό σε τρισδιάστατη απεικόνιση.

Όνομα Τεμαχίου	Ποσ.	Περιγραφή
Βάση Μηχανισμού	1	Ύψος 90 mm, Μήκος 207 mm, Πλάτος 91 mm, Κατασκευή Μηχανουργείου από Υλικό Acetal Resin

Πίνακας A'.3: Κατάλογος βάσης



Σχήμα A'.3: Αναπαράσταση βάσης

A'.1.4 Τεμάχια περιφερειακού εξοπλισμού

Στον πίνακα A'.4 αναφέρονται τα τεμάχια της κινούμενης διάταξης και στο σχήμα A'.4 παρίστανται αυτά σε τρισδιάστατη απεικόνιση.

Όνομα Τεμαχίου	Ποσ.	Περιγραφή
Χερούλι	1	Μήκος 53 mm, Πλάτος 25 mm, Ύψος 118 mm
Βέλτρο	1	0.5 m
Θήκη για μπαταρίες	1	Μήκος 79 mm, Πλάτος 52 mm, Ύψος 50 mm
Μπαταρία	1	12 V
Μπαταρία	1	9 V
Μπαταρία	4	1.5 V
Θήκη για ηλεκτρονικά	1	Μήκος 104.3 mm, Πλάτος 25 mm, Ύψος 65 mm
Καλώδιο	1	5 m
Διακόπτης	1	On-Off
Διακόπτης	2	On-Off-On
Υποδοχή καλωδίου (Power Jack)	1	Υποδοχή για μπαταρία 12 V
Ποτενσιόμετρο	1	Τρεις ακροδέκτες
Πλακέτα Διάτρητη	1	Breadboard Style
Driver	1	DRV8825
Arduino	1	Mini 328
Πυκνωτής	1	100 μ F

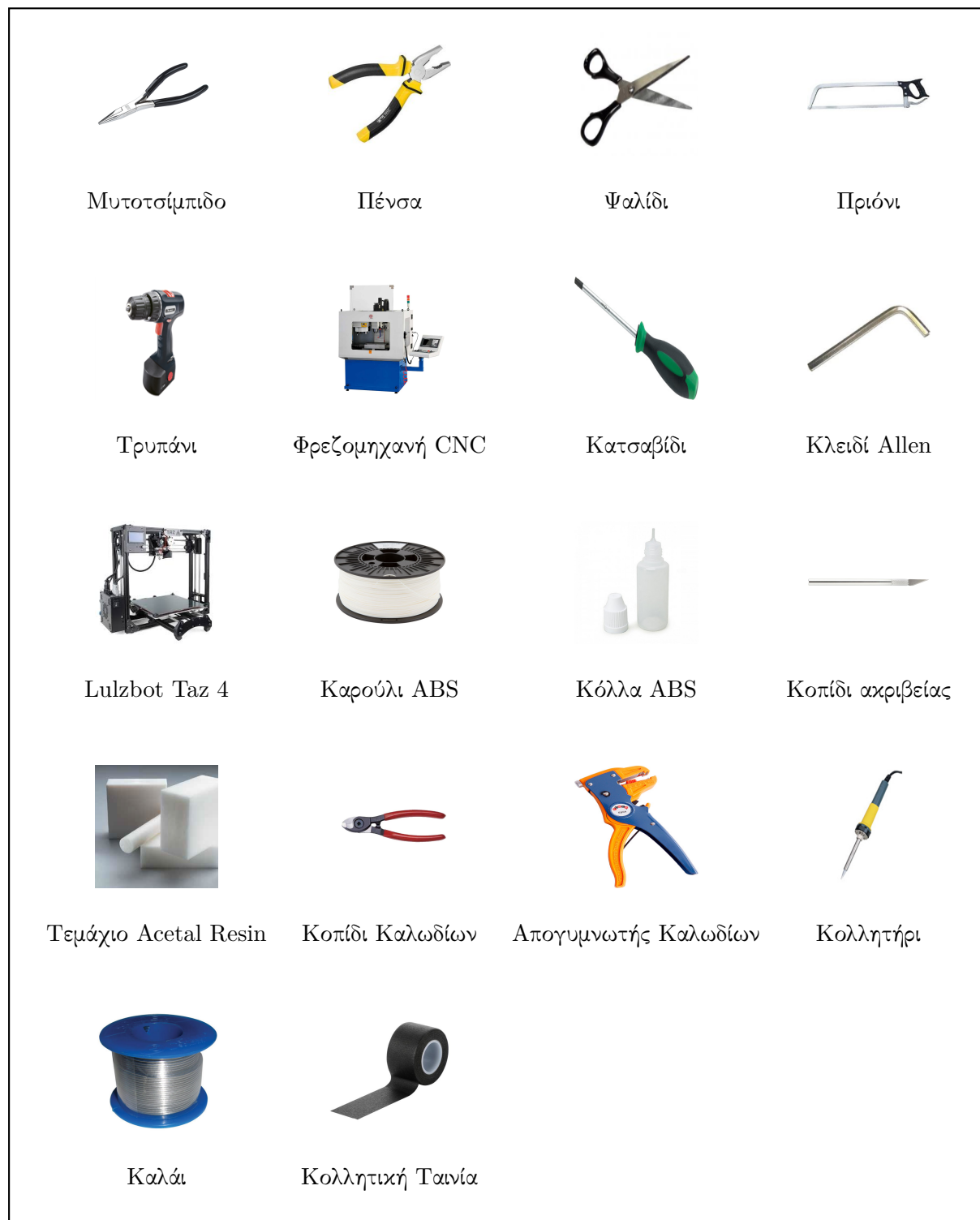
Πίνακας A'.4: Κατάλογος περιφερειακού εξοπλισμού



Σχήμα Α'.4: Αναπαραστάσεις τεμαχίων περιφερειακού εξοπλισμού

Α'.2 Εξοπλισμός

Τα εργαλεία, υλικά και μηχανήματα που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται στη συνέχεια στο σχήμα Α'.5.



Σχήμα Α'.5: Εξοπλισμός

Α.3 Συναρμολόγηση

Ακολουθεί η περιγραφή των βημάτων συναρμολόγησης της κατασκευής. Η σειρά παρουσίασης βασίζεται στην σειρά περιγραφής των τεμαχίων που προηγήθηκε, αποσκοπώντας όμως στην τοποθέτηση όλων των τεμαχίων στη βάση με σκοπό η τοποθέτηση καθενός να μην παρεμποδίζει την εύκολη τοποθέτηση κάποιου άλλου. Η κωδικοποίηση που γίνεται, αναφέρεται σε 'Π', παραλαβή και 'Κ', κατασκευή. Τα τεμάχια Π παραλαμβάνονται έτοιμα και συναρμολογούνται απλώς ενώ για τα τεμάχια Κ απαιτείται κατασκευή ή επεξεργασία.

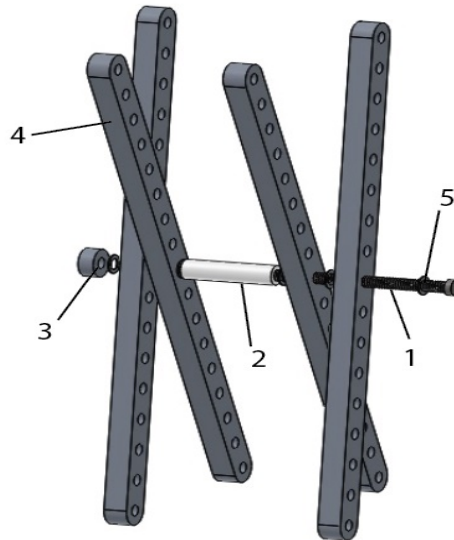
Α.3.1 Συναρμογή παράλληλης διάταξης

A/A	Όνομα Τεμαχίου	Ποσ.	Κωδικός
1	Κοχλίας Διαμέτρου 3.56mm, Μήκους 62 mm	1	Κ
2	Αποστάτης Nylon Μήκους 25.4 mm	1	Π
3	Περικόχλιο ασφαλείας Διαμέτρου 3.56mm	1	Π
4	Aluminum Beams Μήκους 166 mm	4	Π
5	Ροδέλα	6	Π
Εξοπλισμός			
Πένσα × 2			
Πριόνι			

Πίνακας Α.5: Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος Α.6.

Οδηγίες κατασκευής σχήματος Α'.6

1. Πέρασμα κατά σειρά των τεμαχίων στον κοχλία με τελευταία την τοποθέτηση του περικοχλίου ασφαλείας.
2. Μεταξύ κάθε επιφάνειας τοποθετείται πάντα ροδέλα.
3. Σύσφιξη του περικοχλίου ασφαλείας με πένσα κρατώντας το κεφάλι το κοχλία με άλλη πένσα.
4. Επειδή ο κοχλίας δεν είναι σε μήκος πάντα ακριβώς σε αυτό που πρέπει, απαιτείται κόψιμο με πριόνι του κοχλία, ώστε να μην προεξέχει από το περικόχλιο.
5. Προσοχή στο να μην υπάρχουν ανοχές αλλά η συναρμογή όλη να είναι σφιχτή, ταυτόχρονα όμως να περιστρέφονται τα ψαλιδοειδή στοιχεία εύκολα με το χέρι.



Σχήμα Α'.6: Παράλληλη διάταξη

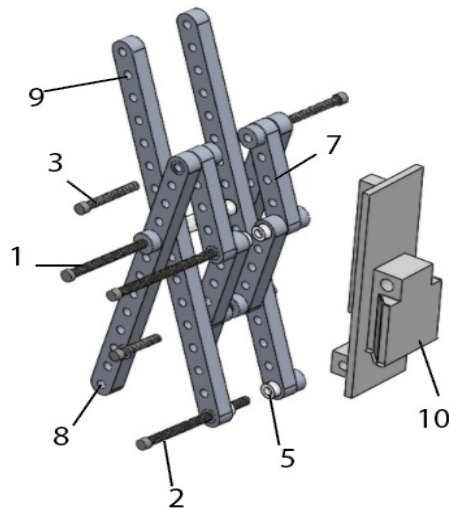
Α.3.2 Συναρμογή μπροστινής παράλληλης διάταξης

A/A	Όνομα Τεμαχίου	Ποσ.	Κωδικός
1	Κοχλίας Διαμέτρου 3.56mm, Μήκους 62 mm	1	Κ
2	Κοχλίας Διαμέτρου 3.56mm, Μήκους 50 mm	2	Κ
3	Κοχλίας Διαμέτρου 3.56mm, Μήκους 34 mm	4	Π
4	Αποστάτης Nylon Μήκους 25.4 mm	1	Π
5	Αποστάτης Nylon Μήκους 3.2 mm	4	Π
6	Περίχολιο ασφαλείας Διαμέτρου 3.56mm	7	Π
7	Aluminum Beams Μήκους 48 mm	4	Π
8	Aluminum Beams Μήκους 126 mm	2	Π
9	Aluminum Beams Μήκους 166 mm	2	Π
10	Φλάντζα Χεριού	2	Κ
11	Ροδέλα	25	Π
Εξοπλισμός			
Πένσα × 2			
Πριόνι			
Lulzbot Taz 4			
Καρούλι ABS			
Κόλλα ABS			

Πίνακας Α.6: Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος Α.7

Οδηγίες κατασκευής σχήματος Α'.7

1. Δημιουργία της παράλληλης διάταξης ψαλιδιών με πέρασμα των αλουμινίων και αποστάτη στο μακρύτερο κοχλία. Ενδιάμεσα παντού ροδέλες. Σύσφιξη του περικοχλίου ασφαλείας.
2. Εκτύπωση φλάντζας χεριού με επιλογή πυκνότητας γεμίσματος (Infill Density) 40%
3. Πέρασμα του μεσαίου μήκους κοχλία στο κάτω μέρος της εκτυπωμένης διάταξης. Σύσφιξη στη συνέχεια με περικόχλιο.
4. Πέρασμα καθενός από τα μικρότερα τεμάχια αλουμινίων με τις μικρότερου μήκους βίδες και εφαρμογή περικοχλίου σε κάθε ένα.
5. Εφαρμογή του μεσαίου μήκους κοχλία στο σημείο σύνδεσης των μικρότερων αλουμινίων και ταυτόχρονα πέρασμα από τη διαδρομή της φλάντζας. Σύσφιξη και εκεί.



Σχήμα Α'.7: Μπροστινή παράλληλη διάταξη

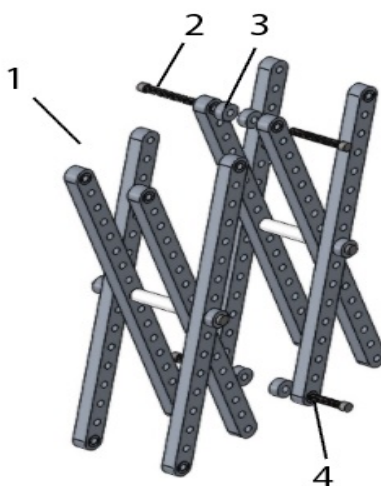
Α'.3.3 Συναρμογή παράλληλων διατάξεων στη σειρά

A/A	Όνομα Τεμαχίου	Ποσ.	Κωδικός
1	Διάταξη σχήματος Α'.6	2	Κ
2	Κοχλίας Διαμέτρου 3.56mm, Μήκους 34 mm	4	Π
3	Περικόχλιο Διαμέτρου 3.56mm	4	Π
4	Ροδέλα	12	Π
Εξοπλισμός			
Πένσα × 2			

Πίνακας Α'.7: Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος Α'.8.

Οδηγίες κατασκευής σχήματος Α'.8

1. Συναρμογή των δύο διατάξεων με τους κοχλίες, τα περικόχλια και ενδιάμεσα σε κάθε επιφάνεια ροδέλα.
2. Με τον ίδιο τρόπο συναρμογή της διάταξης σχήματος Α'.7 στο σύνολο των υπολοίπων όμοιων μεταξύ τους.
3. Δημιουργία συνολικά οκτώ παράλληλων διατάξεων στη σειρά.



Σχήμα Α'.8: Παράλληλες διατάξεις στη σειρά

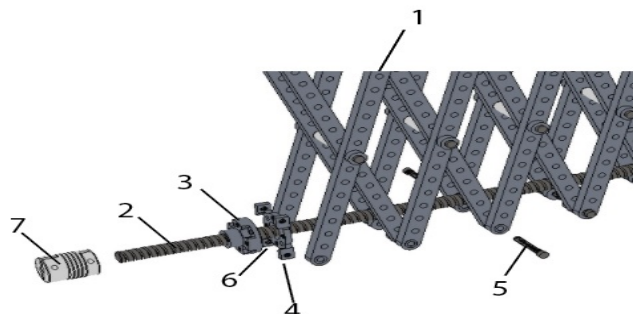
A'.3.4 Συναρμογή φαλιδιών με σύστημα κίνησης

A/A	Όνομα Τεμαχίου	Ποσ.	Κωδικός
1	Συνολική διάταξη φαλιδοειδών στοιχείων	1	K
2	Κοχλίας κίνησης	1	Π
3	Περιοχλίο κίνησης	1	Π
4	Βάση περιοχλίου κίνησης	1	Π
5	Κοχλίας Διαμέτρου 3.56mm, Μήκους 39 mm	2	Π
6	Κοχλίας M3	2	Π
7	Συμπλέκτης	1	Π
Εξοπλισμός			
Πένσα × 2			
Κλειδί Allen			
Κατσαβίδι			

Πίνακας A'.8: Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος A'.9.

Οδηγίες κατασκευής σχήματος A'.9

1. Βίδωμα του περιοχλίου κίνησης με τη βάση του με βίδες M3.
2. Τοποθέτηση τους στο σημείο που βρίσκονται οι κοχλίες υπ' αριθμό 5.
3. Πέρασμα της βίδας από το περιοχλίο.
4. Σύσφιξη του συμπλέκτη στη βίδα με κλειδί Allen.



Σχήμα A'.9: Ψαλιδοειδής διάταξη με σύστημα κίνησης

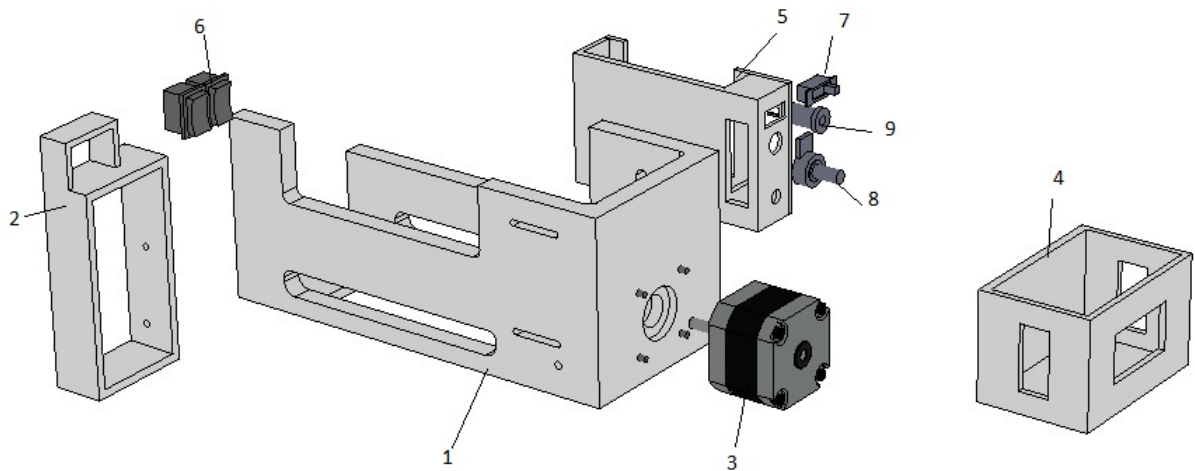
A'.3.5 Κατασκευή βάσης και τοποθέτηση περιφερειακού εξοπλισμού σε αυτή

A/A	Όνομα Τεμαχίου	Ποσ.	Κωδικός
1	Βάση μηχανισμού	1	K
2	Χερούλι	1	K
3	Βηματικός Κινητήρας	1	Π
4	Θήκη μπαταριών	1	K
5	Θήκη ηλεκτρονικών	1	K
6	Διακόπτες ON-OFF-ON	2	Π
7	Διακόπτης ON-OFF	1	Π
8	Ποτενσιόμετρο	1	Π
9	Υποδοχή για μπαταρία	1	Π
10	Βίδες M3	10	Π
Εξοπλισμός			
Πένσα × 2			
Lulzbot Taz 4			
Καρούλι ABS			
Κόλλα ABS			
Τρυπάνι			
Acetal Resin			
Φρεζομηχανή CNC			

Πίνακας A'.9: Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος **A'.10**.

Οδηγίες κατασκευής σχήματος A'.10

1. Η βάση πρέπει να κατασκευαστεί με μηχανήμα κοπής και αφαίρεσης υλικού CNC.
2. Άνοιγμα οπών στη βάση και βίδωμα του χερουλιού.
3. Εκτύπωση του χερουλιού, της βάσης των ηλεκτρονικών και των μπαταριών, με Infill Density 60, 20, 20 % αντίστοιχα.
4. Άνοιγμα οπών στη βάση και βίδωμα του χερουλιού.
5. Άνοιγμα οπών στη βάση και βίδωμα της βάσης των μπαταριών.
6. Άνοιγμα οπών στη βάση και βίδωμα της βάσης των ηλεκτρονικών ώστε όμως οι κατακόρυφη σχισμή των δύο να συμπίπτει.
7. Τοποθέτηση και βίδωμα του κινητήρα.
8. Τοποθέτηση των διακοπών και υπόλοιπων ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων στις θέσεις που φαίνονται στην εικόνα. Γίνεται εύκολα κόλληση με κόλλα ABS



Σχήμα A'.10: Συναρμολόγησημα βάσης και περιφερειακών

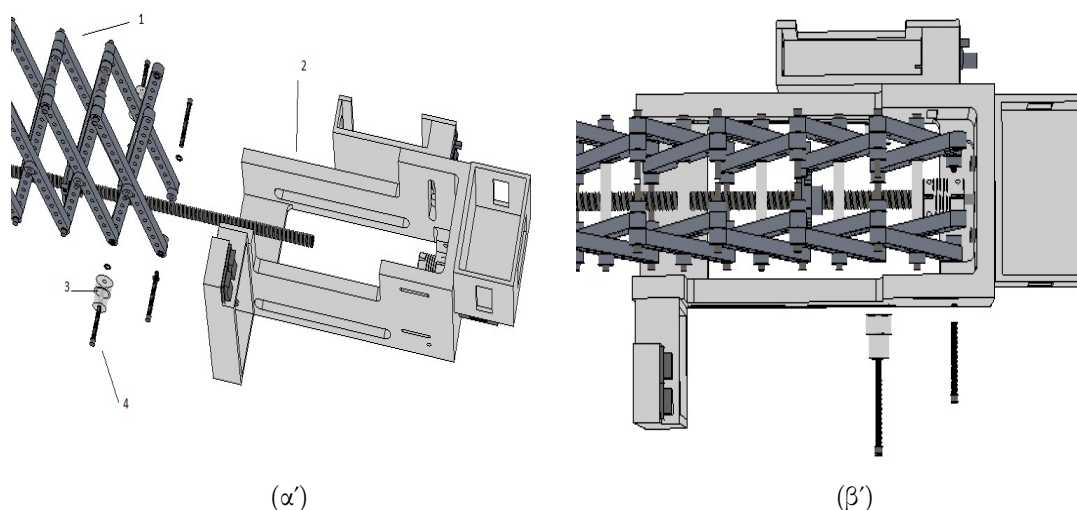
A'.3.6 Συναρμογή ψαλιδιών με βάση

A/A	Όνομα Τεμαχίου	Ποσ.	Κωδικός
1	Συναρμολόγημα σχήματος A'.9	1	Κ
2	Συναρμολόγημα σχήματος A'.10	1	Κ
3	Ροδάκια	2	Κ
4	Κοχλίας Διαμέτρου 3.56mm, Μήκους 39 mm	4	Π
5	Ροδέλες	20	Π
Εξοπλισμός			
Πένσα × 2			

Πίνακας A'.10: Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος A'.11.

Οδηγίες κατασκευής σχήματος A'.11

1. Τοποθέτηση κοχλίας κίνησης στο συμπλέκτη και σφήξιμο με Allen Κλειδί.
2. Πέρασμα κοχλιών, ροδελών και περικόχλιων από τα κάτω σημεία των αλουμινίων στις θέσεις όπως φαίνεται στο σχήμα .
3. Είναι προτιμότερο να γίνεται ταυτόχρονα για αντικριστά σημεία.
4. Τα ροδάκια τοποθετούνται περνώντας τα από το εσωτερικό της βάσης προς τα έξω.



Σχήμα A'.11: Συναρμογή ψαλιδιών στη βάση

A'.3.7 Κατασκευή ηλεκτρονικών

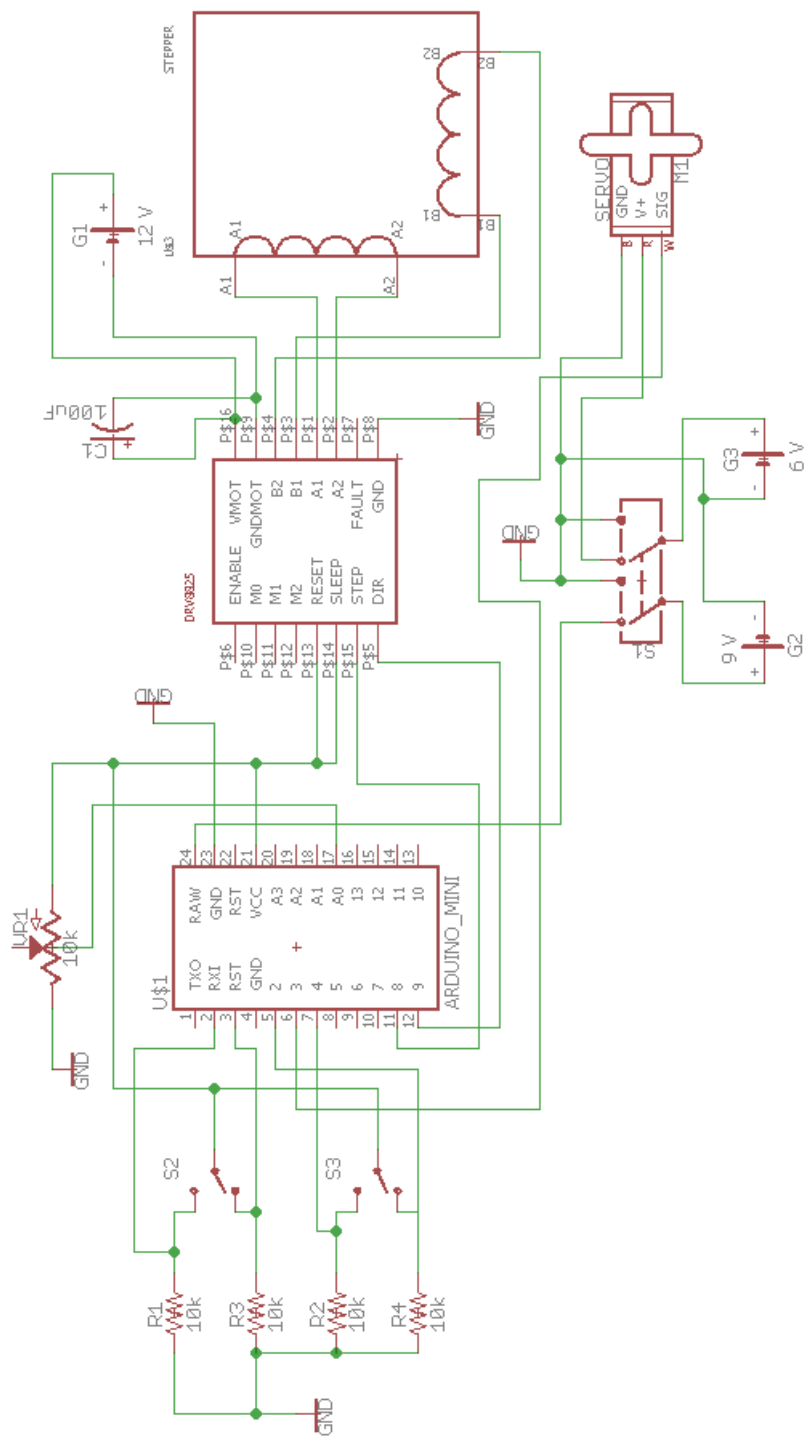
Η σχεδίαση των ηλεκτρονικών συνδέσεων γίνεται στο λογισμικό Eagle [28].

A/A	Όνομα Τεμαχίου	Ποσ.	Κωδικός
1	Arduino pro mini 328	1	Π
2	Driver 8825	1	Π
3	Πυκνωτής	1	Π
4	Καλώδια	1	Π
5	Μπαταρία 12 V	1	Π
6	Μπαταρία 9V	1	Π
7	Μπαταρία 1.5 V	4	Π
8	Διάτρητη πλακέτα	4	Π
Εξοπλισμός			
Ψαλίδι			
Μυτοσίμπιδο			
Κολλητική ταινία			
Κοπίδι καλωδίων			
Απογυμνωτής καλωδίων			
Κολλητήρι			
Καλάι			

Πίνακας A'.11: Τεμάχια και εξοπλισμός για την κατασκευή του σχήματος A'.12

Οδηγίες κατασκευής σχήματος A'.12

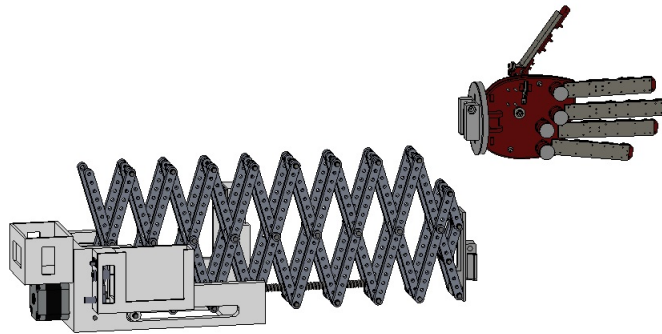
1. Πρόβλεψη για επαρκές μήκος καλωδίων.
2. Κόλληση έχοντας την πλακέτα σε κοντινή απόσταση από τη βάση προκειμένου να μην δημιουργηθεί μεγάλος όγκος καλωδίων.



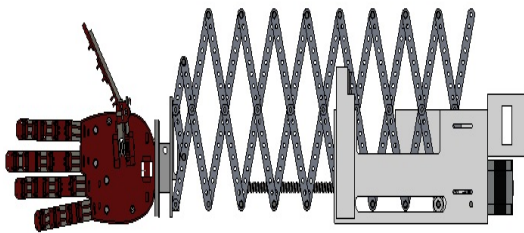
Σχήμα Α.12: Ηλεκτρονική διάταξη

A'.4 Συναρμολογημένη κατασκευή

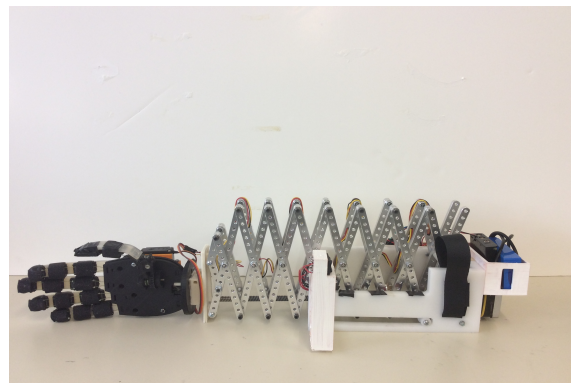
Μετά την τοποθέτηση και της ηλεκτρονικής πλακέτας που είναι το τελευταίο βήμα, η διάταξη έχει ολοκληρωθεί και παρακάτω φαίνεται για άλλη μία φορά στο σύνολο της, αφού προστεθεί το ρομποτικό χέρι, σχήμα A'.13. Προσαρμόζεται στη φλάντζα με σφιχτή συναρμολόγηση και αν απαιτείται κοχλία διαμέτρου 5 mm, δημιουργώντας την τελική διάταξη στο σχήμα A'.14.



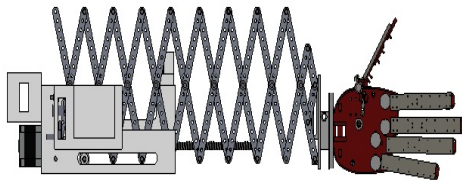
Σχήμα A'.13: Προσάρτηση ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού στον βραχίονα



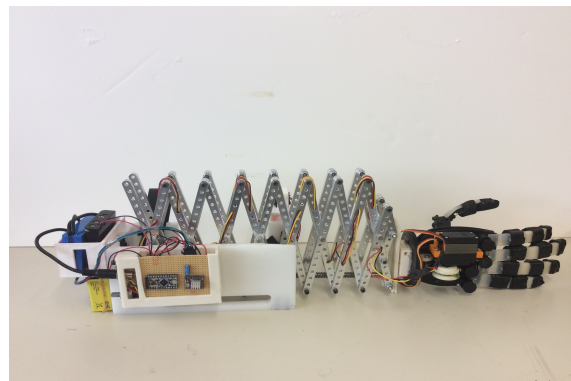
(α)



(β')



(γ')



(δ')

Σχήμα A'.14: Συναρμολογημένη κατασκευή

Γλωσσάριο

Ελληνικός όρος

Βοηθητικές τεχνολογίες
Τηλεσκοπικός βραχίονας
Ψαλιδοειδή στοιχεία
Χειρολαβή
Ορθογωνική
Κυλινδρική
Συρόμενα
Κινούμενος μηχανισμός
Κινητήριος μηχανισμός
Βάση
Ανθρωπόμορφο ρομποτικό χέρι
Αποστάτης
Βηματικός κινητήρας
Βήμα οδήγησης
Τραπεζοειδής
Γωνία σπειρώματος
Γράσο

Αγγλικός όρος

Assistive technologies
Telescopic arm
Scissor like elements
Handgrip
Orthogonal
Cylindrical
Sliding
Moving mechanism
Driving mechanism
Mount
Anthropomorphic robotic hand
Spacer
Stepper motor
Lead step
Trapezoidal
Thread angle
Grease

Bibliography

- [1] G. P. Kontoudis, “Design and development of an underactuated, anthropomorphic robot hand,” National Technical University of Athens, Tech. Rep., 2016.
- [2] G. P. Kontoudis, M. V. Liarokapis, A. G. Zisimatos, C. I. Mavrogiannis, and K. J. Kyriakopoulos, “Open-source, anthropomorphic, underactuated robot hands with a selectively lockable differential mechanism: Towards affordable prostheses,” in *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2015 IEEE/RSJ International Conference on*. IEEE, 2015, pp. 5857–5862.
- [3] F. Soyuer and V. Şenol, “Fatigue and physical activity levels of 65 and over older people living in rest home,” *International Journal of Gerontology*, vol. 5, no. 1, pp. 13–16, 2011.
- [4] A. O. Brady and C. R. Straight, “Muscle capacity and physical function in older women: What are the impacts of resistance training?” *Journal of Sport and Health Science*, vol. 3, no. 3, pp. 179–188, 2014.
- [5] I. S. Raj, S. R. Bird, and A. J. Shield, “Aging and the force–velocity relationship of muscles,” *Experimental gerontology*, vol. 45, no. 2, pp. 81–90, 2010.
- [6] X.-P. Chen, Y.-M. Lu, and J. Zhang, “Intervention study of finger-movement exercises and finger weight-lift training for improvement of handgrip strength among the very elderly,” *International Journal of Nursing Sciences*, vol. 1, no. 2, pp. 165–170, 2014.
- [7] J. C. et al., *Physics of the Body, 2nd Edition*. Medical Physics Publishing, 1999.
- [8] S. Yusif, J. Soar, and A. Hafeez-Baig, “Older people, assistive technologies, and the barriers to adoption: A systematic review,” *International journal of medical informatics*, vol. 94, no. 1, pp. 112–116, 2016.
- [9] I. S. R. Institute, “Rapuda,” [Online]. Available: https://unit.aist.go.jp/is/cie/index_e.html, 2010.
- [10] S. Pellegrino, *Deployable Structures*. Springer-Verlag Wien GmbH, 2001.
- [11] Actobotics-Servocity, [Online]. Available: <https://www.servocity.com/actobotics>, 2017.

-
- [12] R. V. Petrova, *Introduction to Static Analysis Using SolidWorks Simulation*. CRC Press, 2015.
- [13] J. E. Akin, *Finite Element Analysis Concepts via SolidWorks*. Rice University, 2009.
- [14] Solidworks, “Understanding connectors,” Tech. Rep., 2016.
- [15] Solidworks, Dassault Systems, “3d cad design software,” [Online]. Available: <http://www.solidworks.com/>, 2017.
- [16] J.-S. Zhao, J.-Y. Wang, F. Chu, Z.-J. Feng, and J. S. Dai, “Structure synthesis and statics analysis of a foldable stair,” *Mechanism and Machine Theory*, vol. 46, no. 7, pp. 998–1015, 2011.
- [17] J. K. N. Richard G. Bydynas, *Shigley’s Mechanical Engineering Design*. Springer-Verlag Wien GmbH, 2015.
- [18] Engineering Toolbox, “Friction coefficients,” [Online]. Available: http://www.engineeringtoolbox.com/friction-coefficients-d_778.html.
- [19] Curbell Plastics, “Friction coefficients of acetal resin,” [Online]. Available: <https://www.curbellplastics.com/Research-Solutions/Materials/Acetal>.
- [20] P. N. Evangelos Papadopoulos, *Electromechanical Systems of Energy Transformation*. Fountas, 2010.
- [21] P. N. Andrew E. Kanarachos, *Mechanisms and robotic systems*. Pappasotiriou, 2001.
- [22] Wantai Motors, “Motors,” [Online]. Available: <https://www.wantmotor.com>.
- [23] Mathworks, “Matlab,” [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>, 2017.
- [24] Arduino, “Arduino pro mini 328,” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini>.
- [25] Pololu, “Driver 8825 for stepper motor,” [Online]. Available: <https://www.pololu.com/product/2133>.
- [26] Aleph Objects, “Development of open-source hardware for 3d printing with full support for free and open-source software,” [Online]. Available: <https://www.alephobjects.com/>, 2017.
- [27] Slic3r, “G-code generator for 3d printers,” [Online]. Available: <http://slic3r.org/>, 2017.
- [28] Autodesk, “Eagle,” [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/education/free-software/eagle>, 2017.