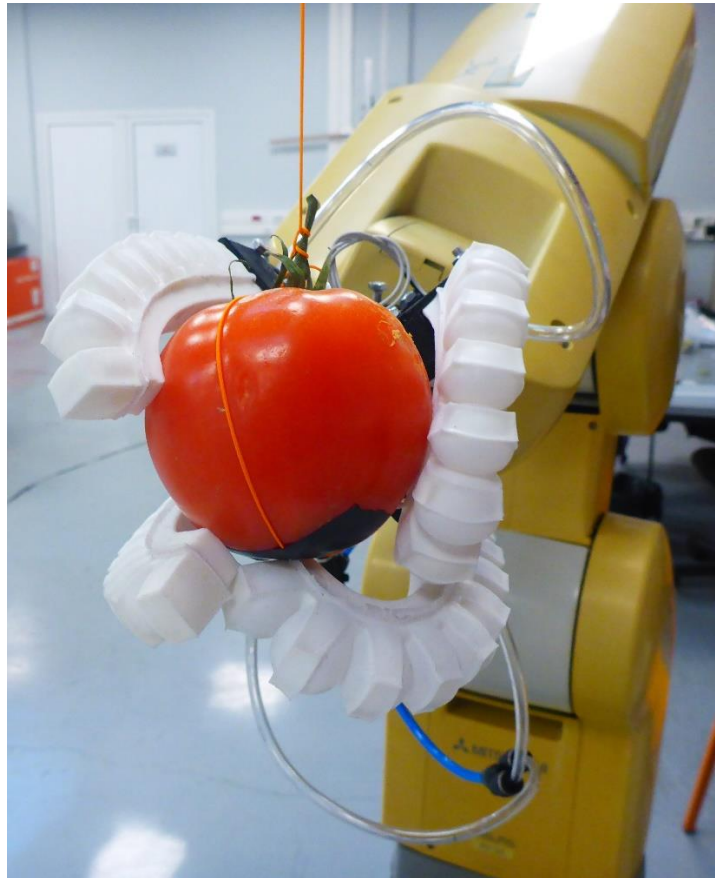




Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης
Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολογίας

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΑΡΠΑΓΗΣ ΜΕ ΕΛΑΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΥΚΑΜΠΤΑ ΑΚΡΑ



Νικόλαος Παπαϊωάννου ΑΜ:4372

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Δρ. Φασουλάς Ι. Ιωάννης
*Επίκουρος Καθηγητής Σχολής Σ.Τ.ΕΦ Τμήμα
Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. Κρήτης*

Ηράκλειο 2018

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία έγινε μελέτη, σχεδιασμός και κατασκευή μιας ρομποτικής αρπάγης με ελαστικά και εύκαμπτα άκρα. Ζητούμενο είναι η στιβαρή και σταθερή συγκράτηση αντικειμένων με διαφορετική γεωμετρία και βάρος, χωρίς τον τραυματισμό ευαίσθητων εξ αυτών.

Για τον σχεδιασμό και την κατασκευή των άκρων της, χρησιμοποιήθηκε η τεχνολογία των επενεργητών τύπου Fast Pneu-Nets στα πρότυπα εργαστηρίου του πανεπιστημίου του Harvard. Η τεχνολογία αυτή βασίζεται στην ελεγχόμενη παραμόρφωση των εύκαμπτων επενεργητών, με την χρήση πνευματικού συστήματος. Στην εργασία παρουσιάζεται αναλυτικά η κατασκευή επενεργητών της συγκεκριμένης τεχνολογίας, ενώ μελετάται πειραματικά η λειτουργία τους.

Επιπλέον, σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε βάση πάνω στην οποία τοποθετήθηκαν οι συγκεκριμένοι επενεργητές. Η αρπάγη που προέκυψε έχει την δυνατότητα ρύθμισης του αρχικού άνοιγμα των επενεργητών, για μεγαλύτερα αντικείμενα.

Τέλος παρουσιάζονται πειραματικά αποτελέσματα σχετικά με την λαβή αντικειμένων διαφορετικής γεωμετρίας και βάρους.

Abstract

For this paper there has been made study, design and construction of a robotic gripper, with elasticated and flexible edges. The desired result has been the firm and stable holding of the objects with different geometry and size, without damaging the fragile ones.

After research, the Fast Pneu-net actuators' technology has been chosen for the design and construction of the gripper's edges in the standards of Harvard's laboratory. We thoroughly present the structure of this specific technology of the actuators with silicone casting. After having studied their function with pneumatic system, we defined the maximum value of air pressure that they can stand, before they rupture.

Additionally, the gripper's base has been designed and built, on which these specific actuators have been placed. It has been designed in a way that the initial opening of the actuators can be arranged, in order to be adjusted in bigger objects. It has also a larger range of reaching objects which are further from its center.

Experiments have been conducted with objects of different geometry and weight. Furthermore, the maximum range of distance for efficiently holding between the center of the base and a spherical object has been defined. Finally, the limit value of the weight that the gripper is capable of holding, depending on the number of the actuators, has been found.

Περιεχόμενα

Εισαγωγή.....	6
1 ^ο Κεφάλαιο	8
1.1 Εισαγωγή.....	8
1.2 Εξέλιξη των ρομποτικών συστημάτων.....	8
1.3 Ρομποτική Αρπάγη.....	9
1.4 Ρομποτικά συστήματα από εύκαμπτα ελαστικά υλικά.....	12
1.5 Δομή ενός ρομποτικού συστήματος με εύκαμπτα ελαστικά υλικά.....	13
1.6 Εφαρμογές ρομποτικών συστημάτων από εύκαμπτα ελαστικά υλικά.....	14
1.7 Ρομποτικές αρπάγες με μαλακά εύκαμπτα άκρα	16
2 ^ο Κεφάλαιο	21
2.1 Εισαγωγή.....	21
2.2 Μαλακοί εύκαμπτοι επενεργητές	21
2.3 Βασικοί περιορισμοί στην χρήση Fast Pneu-net	23
2.4 Κατασκευή επενεργητή (δάχτυλο)	24
2.5 Σχεδιασμός καλουπιού	24
2.6 Προσομοίωση επενεργητή	27
2.7 3D εκτύπωση των καλουπιών.....	28
2.8 Υλικά επενεργητή.....	29
2.9 Διαδικασία κατασκευής επενεργητή.....	31
2.10 Πνευματική διάταξη χειρισμού επενεργητών- δαχτύλων.....	35
2.11 Εξαρτήματα πνευματικής διάταξης χειρισμού επενεργητών	35
2.12 Λειτουργία επενεργητών- δαχτύλων.....	37
3 ^ο Κεφάλαιο.....	39
3.1 Εισαγωγή.....	39
3.2 Σχεδιασμός νέας βάσης αρπάγης.....	39
4 ^ο Κεφάλαιο.....	44
4.1 Εισαγωγή.....	44
4.2 Πειραματικά αποτελέσματα	44
4.3 Συγκράτηση διαφορετικών αντικειμένων	45
4.4 Υπολογισμός εύρους πιασίματος της αρπάγης.....	48
4.5 Συγκράτηση ανάλογη του βάρους.....	55
5 ^ο Κεφάλαιο	57
5.1 Συμπεράσματα.....	57
Βιβλιογραφία	59

Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1 Σιλικονούχο μαλακό πλέγμα υποβοήθησης καρδιάς ²⁵	14
Εικόνα 2 Σιλικονούχο μαλακό πλέγμα υποβοήθησης καρδιάς/ ανάλυση ²⁵	15
Εικόνα 3 Γάντι υποβοήθησης ανθρώπων με κινητικά προβλήματα σε διάφορα αντικείμενα ²⁶	15
Εικόνα 4 Versaball της Empire Robotics	17
Εικόνα 5 Versaball- Διαδικασία συγκράτησης.....	18
Εικόνα 6 Festo bionic gripper	18
Εικόνα 7 Festo bionic gripper	18
Εικόνα 8 Octopus-inspired robot ‘hands’	19
Εικόνα 9 Octopus-inspired Robot ‘hands’.....	19
Εικόνα 10 Ρομποτική αρπάγη με 4 πνευματικούς επενεργητές	19
Εικόνα 11 Η ρομποτική αρπάγη τοποθετημένη στον βραχίονα του εργαστηρίου.....	20
Εικόνα 12 Δομή του Slow Pneu-net (sPN) και του Fast Pneu-net (fPN)	22
Εικόνα 13 Προσομοίωση της παραμόρφωσης των δύο επενεργητών	23
Εικόνα 14 Διαστάσεις επενεργητή	24
Εικόνα 15 Το κάτω μέρος του καλουπιού που δημιουργεί τους θαλάμους.....	25
Εικόνα 16 Το πάνω μέρος του καλουπιού του επενεργητή.....	25
Εικόνα 17 Ενωμένα τα δύο τμήματα του καλουπιού.....	25
Εικόνα 18 Κομμάτι καλουπιού που διαμορφώνει τον πάτο του επενεργητή	26
Εικόνα 19 Η τελική μορφή του επενεργητή μετά τη χύτευση	26
Εικόνα 20 Μια πρώτη πειραματική σχεδίαση βάσης και τοποθέτησης των επενεργητών.....	26
Εικόνα 21 Σημεία στήριξης στα άκρα του επενεργητή ³¹	27
Εικόνα 22 Προσομοίωση της παραμόρφωσης του επενεργητή	27
Εικόνα 23 3D εκτυπωτής Da Vinci 1.0 Pro	28
Εικόνα 24 Τα εκτυπωμένα τμήματα του καλουπιού του επενεργητή	28
Εικόνα 25 Σιλικόνη ZA 30-60 της εταιρείας Zhermack	29
Εικόνα 26 Χαρακτηριστικά σιλικόνης ZA 30-60 της εταιρείας Zhermack	30
Εικόνα 27 Σημεία 2x2mm τα οποία συγκρατούν το πάνω μέρος του επενεργητή με τον πάτο του ..	30
Εικόνα 28 Διαδικασία μόνωσης των δύο τμημάτων του καλουπιού.....	31
Εικόνα 29 Διαδικασία ζυγίσματος της σιλικόνης	31
Εικόνα 30 Θάλαμος υποπίεσης MK Technology Mini	32
Εικόνα 31 Τα αποτελέσματα μετά την χύτευση της σιλικόνης στο καλούπι	32
Εικόνα 32 Ξεκαλούπωμα του επενεργητή / Εικόνα 33 Τοποθέτηση του στομίου στον επενεργητή..	33
Εικόνα 34 Ένωση του πάνω μέρους του επενεργητή με τον πάτο του.....	33
Εικόνα 35 Διαδικασία ενίσχυσης του πάτου του επενεργητή και τοποθέτηση αισθητήρων	34
Εικόνα 36 Τελική μορφή επενεργητή	34
Εικόνα 37 Ρυθμιστής πίεσης.....	35
Εικόνα 38 ηλεκτροβαλβίδα 521 ME / Εικόνα 39 στραγγαλιστής ροής RFU 1/8.3.....	35
Εικόνα 40 Πνευματική διάταξη χειρισμού επενεργητών	36
Εικόνα 41 Σταθερή βάση αρπάγης / Εικόνα 42 Τοποθέτηση επενεργητών στην βάση	37
Εικόνα 43 Βραχίονας Mitsubishi RV-2A.....	38
Εικόνα 44 Σχέδιο του κορμού της βάσης.....	39
Εικόνα 45 Σχέδιο του άξονα της βάσης	40
Εικόνα 46 Σχέδιο του ρυθμιστή κλήσης επενεργητών	40

Εικόνα 47 Σχέδιο στηρίγματος.....	41
Εικόνα 48 Σχέδιο βάσης επενεργητή.....	41
Εικόνα 49 Σχέδιο συνδέσμου.....	41
Εικόνα 50 Βάση με τρεις επενεργητές- δάχτυλα.....	42
Εικόνα 51 Βάση με τέσσερις επενεργητές- δάχτυλα.....	42
Εικόνα 52 Βάση με αρχική γωνία επενεργητών- δαχτύλων 90°, 100°, 110°.....	42
Εικόνα 53 Συναρμολογημένη η αρπάγη.....	42
Εικόνα 54 Προσδιορισμός μοιρών στις οπές του άξονα.....	43
Εικόνα 55 οριζόντια συγκράτηση.....	46
Εικόνα 56 Κατακόρυφη συγκράτηση.....	47
Εικόνα 57 Η ρομποτική αρπάγη τοποθετημένη στον βραχίονα με άξονες x,y,z.....	48

Περιεχόμενα πινάκων

Πίνακας 1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μηχανισμών ρομποτικών αρπαγών ⁹	10
Πίνακας 2 Πίνακας αντικειμένων.....	47
Πίνακας 3 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 90° στον γ άξονα.....	49
Πίνακας 4 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 90° στον z άξονα.....	49
Πίνακας 5 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 90° στον x άξονα.....	50
Πίνακας 6 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 90° στους άξονες γ-z.....	50
Πίνακας 7 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 100° στον γ άξονα.....	51
Πίνακας 8 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 100° στον z άξονα.....	51
Πίνακας 9 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 100° στον x άξονα.....	52
Πίνακας 10 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 100° στους γ-z άξονες.....	52
Πίνακας 11 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 110° στον γ άξονα.....	53
Πίνακας 12 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 110° στον z άξονα.....	53
Πίνακας 13 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 110° στον x άξονα.....	54
Πίνακας 14 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 110° στους γ-z άξονες.....	54
Πίνακας 15 Μέγιστες οριακές τιμές απόστασης συγκράτησης στους άξονες x,y,z.....	55
Πίνακας 16 Πίνακας εναλλαγής φορτίων.....	55

Εισαγωγή

Περιγραφή του προβλήματος

Με την ανάπτυξη της βιομηχανίας και την ανάγκη αυτοματοποίησης συστημάτων στη γραμμή παραγωγής, δημιουργήθηκαν πολλοί κλάδοι της ρομποτικής για να καλύψουν τις ανάγκες αυτές. Μια βασική διαδικασία είναι αυτή της αυτόματης μεταφοράς προϊόντων από ένα σημείο σε ένα άλλο. Οι ρομποτικές αρπάγες έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στο θέμα αυτό. Όσο αυξάνονται οι απαιτήσεις από την βιομηχανία, τόσο υπάρχει μεγαλύτερη ανάγκη για εξεύρεση νέων τεχνολογιών και καινοτόμων λύσεων.

Η βιομηχανία τροφίμων, ένας παγκόσμιος και δυνατός οικονομικά κλάδος, έχει ανάγκη συνεχώς να εισάγει νέες τεχνολογίες στην παραγωγή του, πιο ασφαλές για τα προϊόντα του. Λόγω των αυστηρών προδιαγραφών υγιεινής που υπάρχουν και την ευαισθησία των ίδιων των προϊόντων, οι αρπάγες που κατασκευάζονται για αυτές τις εργασίες πρέπει να έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Οι αρπάγες με ελαστικά άκρα έχουν αρχίσει τα τελευταία χρόνια να παίζουν κυρίαρχο ρόλο στο ζήτημα αυτό. Υπάρχει συνεχώς ανάγκη να κατασκευάζονται αρπάγες με περισσότερες δυνατότητες και με αυστηρότερες προδιαγραφές, για να πραγματοποιούν τις εργασίες γρήγορα, με ακρίβεια και πάνω από όλα με ασφάλεια για το προϊόν και την αρπάγη.

Σκοπός της εργασίας

Ζητούμενο της εργασίας αυτής ήταν η κατασκευή ρομποτικής αρπάγης, η οποία θα συγκρατεί σταθερά χωρίς όμως να τραυματίζει τα ευαίσθητα αντικείμενα. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί αρπάγη με εύκαμπτα και ελαστικά άκρα. Θέλαμε ανεξάρτητα την γεωμετρία, το μέγεθος και την ευαισθησία του αντικειμένου να μπορεί η αρπάγη να το συγκρατεί σταθερά και στιβαρά σε ένα σύνολο δοκιμών.

Παρόλο που την τελευταία δεκαετία έχουν κατασκευαστεί πολλές αρπάγες από τέτοια υλικά, συνεχώς εξελίσσονται και βρίσκονται νέοι τρόποι βελτίωσης της δομής τους για καλύτερα αποτελέσματα. Η έρευνα και η προσπάθεια εξεύρεσης λύσεων σε ζητήματα τα οποία βρίσκονται ακόμα υπό διαμόρφωση, ήταν το κίνητρο της πτυχιακή αυτής.

Σχέδιο ανάπτυξης της εργασίας

Στην εργασία αυτή αρχικά γίνεται αναφορά στην εξέλιξη των μηχανών και την ανάγκη κατασκευής αυτόματων ρομποτικών συστημάτων. Ο άνθρωπος θέλοντας να απλοποιήσει διεργασίες στην παραγωγή και να κάνει τους χώρους εργασίας πιο ασφαλείς γι' αυτόν, συνεχώς εξελίσσει την τεχνολογία προς αυτήν την κατεύθυνση. Επιπλέον στο 1^ο κεφάλαιο αναφέρονται τα χαρακτηριστικά τα οποία διαχωρίζει ένα ρομπότ από μία μηχανή, καθώς και τα βασικά εξαρτήματα που το απαρτίζουν.

Επίσης πραγματεύεται την τεχνολογία των μαλακών εύκαμπτων ρομπότ, τις απαιτήσεις που καλύπτουν στις ανάγκες της βιομηχανίας καθώς και τα προτερήματα που έχουν έναντι των κλασικών

ρομποτικών συστημάτων. Αναφέρονται οι τρόποι επενέργησης τους και παρουσιάζονται κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα. Στο τέλος του κεφαλαίου γίνεται μία πρώτη αναφορά της αρπάγης που κατασκευάσαμε στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία.

Στο κεφάλαιο 2 αναλύεται η δομή των εύκαμπτων επενεργητών και δίνονται κάποια στοιχεία για τις έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί στο πανεπιστήμιο του Harvard. Προβάλλονται κάποια βασικά στοιχεία της έρευνας τους, τα οποία ήταν σημαντικά για την εξέλιξη της εργασίας. Περιγράφονται εκτενώς τα στάδια κατασκευής των επενεργητών- δαχτύλων καθώς και η χρήση της πνευματικής διάταξης, με την οποία τα χειριζόμαστε.

Στο κεφάλαιο 3 αναλύεται η σχεδίαση και η κατασκευή της βάσης της αρπάγης, στην οποία τοποθετήθηκαν οι Fast Pneu-Nets επενεργητές. Παρουσιάζονται τα σχέδια των εξαρτημάτων και της συναρμολογημένης αρπάγης με τρεις και τέσσερις επενεργητές. Επιπλέον δίνονται σχέδια στα οποία η αρπάγη έχει τρία διαφορετικά ανοίγματα στους επενεργητές- δάχτυλα (90° , 100° , 110°).

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τρία διαφορετικά πειράματα τα οποία πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, για να μπορέσουμε να δώσουμε κάποια πρώτα βασικά χαρακτηριστικά της αρπάγης. Αρχικά έγιναν δοκιμές σε δέκα διαφορετικά αντικείμενα με διαφορετική γεωμετρία και βάρος και παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα αποτελέσματα σε οριζόντια και κάθετη λαβή. Στο δεύτερο πείραμα, η αρπάγη τοποθετήθηκε στο άκρος ενός βραχίονα και πραγματοποιήθηκαν δοκιμές συγκράτησης μίας τομάτας, θέτοντας κάθε φορά διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους. Το πείραμα αυτό εκτελέστηκε με διαφορετικά κάθε φορά ανοίγματα της αρπάγης (90° , 100° , 110°). Τέλος η αρπάγη υποβλήθηκε σε έλεγχο συγκράτησης φορτίου για να προσδιοριστεί, η μέγιστη τιμή βάρους ανάλογα τον αριθμό των επενεργητών.

1ο Κεφάλαιο

1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται κάποια στοιχεία ιστορικής εξέλιξης των ρομποτικών συστημάτων από απλές μηχανές σε αυτοματοποιημένες. Παρουσιάζονται οι λόγοι που οδήγησαν την ραγδαία εξέλιξη τους καθώς και οι εφαρμογές τους. Γίνεται αναφορά στις αρπάγες, ένα βασικό σύστημα αυτοματοποίησης γραμμών παραγωγής της βιομηχανίας. Επιπλέον περιγράφεται η τεχνολογία των εύκαμπτων ελαστικών ρομπότ με κάποια βασικά χαρακτηριστικά τους και αναφέρονται παραδείγματα καινοτόμα που έχουν κατασκευαστεί την τελευταία δεκαετία. Γίνεται μια πρώτη αναφορά της αρπάγης που σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε στην εργασία αυτή και προβάλλονται κάποια από τα βασικά χαρακτηριστικά της.

1.2 Εξέλιξη των ρομποτικών συστημάτων

Από τα μέσα του 20ού αιώνα η ανάπτυξη της τεχνολογίας, κατάφερε να δημιουργήσει έναν νέο επιστημονικό κλάδο, τη ρομποτική¹. Η ανάγκη του ανθρώπου να εξερευνήσει δυσπρόσιτα μέρη, να συστηματοποιήσει την μαζική παραγωγή στη βιομηχανία, καθώς και να βοηθήσει στην ιατρική επιστήμη με νέες καινοτόμες τεχνολογίες, ώθησε την επιστήμη στην δημιουργία των ρομποτικών συστημάτων. Κατασκευάστηκαν ρομπότ για διαστημικές αποστολές², για την γραμμή παραγωγής στη βιομηχανία³, για εργασίες σε περιοχές με ακτινοβολία⁴ καθώς και για την πραγματοποίηση δύσκολων ιατρικών λαπαροσκοπικών επεμβάσεων⁵.

Η βιομηχανία της ρομποτικής αναπτύχθηκε για να συμπληρώσει ή να αντικαταστήσει τον άνθρωπο σε δύσκολες και επικίνδυνες εργασίες και σε αυτές που χρειάζονται μεγάλη ακρίβεια⁶. Τα σύγχρονα βιομηχανικά ρομποτικά συστήματα υπερτερούν από τον άνθρωπο σε πολλά πράγματα. Είναι ικανά να ανυψώσουν πολύ μεγάλα βάρη, έχουν ακρίβεια και είναι ταχύτερα^{3,7,8}. Επιπλέον, το κόστος των ρομποτικών συστημάτων μειώνεται ενώ το κόστος χειρωνακτικής εργασίας αυξάνεται⁸. Αυτό έχει ενθαρρύνει τη βιομηχανία και τον ακαδημαϊκό κόσμο να αναπτύξουν πιο εξελιγμένα συστήματα. Πλέον μπορούν να πραγματοποιήσουν εργασίες όπως ένα ανθρώπινο χέρι.

Τι διαφοροποιεί όμως τα ρομπότ από μια μηχανή; Ένα ρομπότ είναι μία μηχανή που δέχεται ερεθίσματα και δρα ανάλογα με αυτά. Η λήψη των ερεθισμάτων γίνεται μέσω αισθητήρων. Το ίδιο το ρομπότ επεξεργάζεται και μεταφράζει μέσω ειδικού προγράμματος τα ερεθίσματα αυτά και δρα αντίστοιχα. Ανάλογα την εργασία που έχει να εκτελέσει ένα ρομποτικό σύστημα, τοποθετούνται αντίστοιχα μοτέρ και αισθητήρες. Γι' αυτό πλέον υπάρχει μεγάλη γκάμα στη αγορά από εξαρτήματα, που ειδικεύονται σε συγκεκριμένες εφαρμογές.

1.3 Ρομποτική Αρπάγη

Ρομποτική αρπάγη είναι μια συσκευή που μπορεί να "πιάσει" και να επεξεργαστεί ένα αντικείμενο. Συνήθως είναι συνδεδεμένη στο άκρο ενός ρομποτικού βραχίονα, και προσομοιώνει την κίνηση του ανθρώπινου χεριού. Η μορφή και τα χαρακτηριστικά αυτής της συσκευής εξαρτώνται από τις ανάγκες της εφαρμογής που θα χρησιμοποιηθεί⁹.


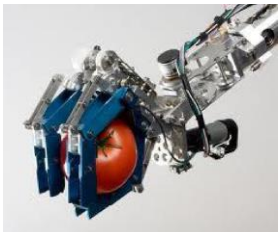
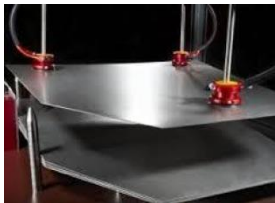

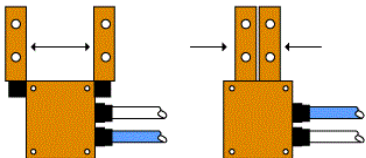
Η πρώτη έρευνα που έγινε πάνω στην τεχνολογία αυτή, πραγματοποιήθηκε το 1969 από το Πανεπιστήμιο του Στάνφορντ^{10,11}. Στα εργαστήρια του πανεπιστημίου, με την βοήθεια υπολογιστή, ο φοιτητής Victor Scheinman ανέπτυξε το χέρι του Stanford. Ήταν μια πρώιμη ρομποτική μηχανή, η οποία θα γινόταν γνωστή ως "η πρώτη εύκολα ελεγχόμενη αρπάγη". Πειράματα πάνω στην συγκεκριμένη τεχνολογία είχαν υπάρξει και από άλλα πανεπιστήμια, χωρίς όμως ουσιαστικά αποτελέσματα. Η αρπάγη του Victor Scheinman, είχε την δυνατότητα να κατευθύνεται μέσω υπολογιστή, σε έξι πλήρης βαθμούς ελευθερίας. Σε σχέση με παλιότερα πειράματα, η συγκεκριμένη αρπάγη ήταν πιο εύκολη στον χειρισμό της και πιο ασφαλής. Η πρώτη αυτή απόπειρα, βοήθησε ουσιαστικά στην ανάπτυξη της γνωστικής βάσης που έχει εφαρμοστεί σε όλα τα βιομηχανικά ρομπότ του σήμερα¹¹.

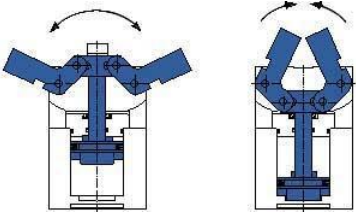


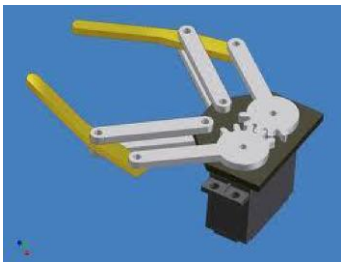
Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει πολλές έρευνες και πειραματισμοί πάνω στην κατασκευή και εξέλιξη της ρομποτικής αρπάγης. Οι αναρίθμητες βιομηχανικές διεργασίες και οι διαφορετικές απαιτήσεις της εκάστοτε εργασίας επιβάλλουν την δημιουργία διαφορετικών αρπαγών. Ανάλογα τη μορφή της εργασίας και το περιβάλλον στο οποίο υλοποιείται, χρειάζονται αντίστοιχα τα κατάλληλα μηχανολογικά χαρακτηριστικά της αρπάγης⁹.

Ένας μηχανικός λοιπόν, οφείλει να μελετήσει πολλές παραμέτρους προκειμένου να επιλέξει την σωστή αρπάγη με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά ή να κατασκευάσει εκ νέου μία. Ορισμένες εργασίες πρέπει να γίνονται με συγκεκριμένες ταχύτητες, ή να περιορίζονται σε συγκεκριμένο χώρο. Επιπλέον σε κάποιες περιπτώσεις απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια και κάποια προϊόντα είναι πιο ευαίσθητα σε σχέση με κάποια άλλα. Σίγουρα το ζητούμενο του μηχανικού σε κάθε περίπτωση, είναι οι διεργασίες να γίνουν σωστά, στον ελάχιστο δυνατό χρόνο (κύκλος χρόνου), με ασφάλεια και χωρίς να φθείρεται το τελικό προϊόν.

Στον Πίνακα 1 παρατίθενται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μηχανισμών που χρησιμοποιούνται στις αρπάγες σύμφωνα με τον Kerry Walters⁹.

Πίνακας 1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μηχανισμών ρομποτικών αρπαγών⁹

Μηχανισμοί	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
<p>Αναρρόφησης/ κενού</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Κατάλληλη για επίπεδη, καθαρή και λεία επιφάνεια • Μπορεί να αντέξει μεγάλα φορτία • Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για λεπτά αντικείμενα 	<ul style="list-style-type: none"> • Ακατάλληλη για πορώδη υλικά • Μεγάλη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος • Τροφοδοσία συνεχούς πίεσης αέρα
<p>Fingers/ Hand</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Παράγει μεγάλη δύναμη (μεταβλητή, ανάλογα με τις ανάγκες) • Υψηλή ευελιξία και προσαρμοστικότητα • Μικρό κόστος 	<ul style="list-style-type: none"> • Αφήνει μεγάλο αποτύπωμα/σημάδι • Απαιτητικός χειρισμός σε πολλές περιπτώσεις
<p>Μαγνητικός Μηχανισμός (Ηλεκτρομαγνήτες / μόνιμοι μαγνήτες)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Κατάλληλη για μαγνητικά υλικά • Μεταφέρει μεγάλες ενιαίες επιφάνειες • Γρήγορη κίνηση 	<ul style="list-style-type: none"> • Πολύ εξειδικευμένη • Σε περίπτωση μη καθαρής επιφάνειας πιθανότητα ολίσθησης κατά τη διάρκεια της κίνησης
<p>Μηχανισμός Roller</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Κίνηση ακριβείας κατά την μεταφορά αντικειμένων 	<ul style="list-style-type: none"> • Είναι πολύ αργή στις κινήσεις της
<p>Παράλληλη / Γραμμική / Translational Μηχανισμός</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Απαιτεί λιγότερη καθαριότητα σε σχέση με άλλα συστήματα 	<ul style="list-style-type: none"> • Πιθανή απώλεια της σταθερότητας κατά τη διάρκεια της εφαπτόμενης εφαρμογής της δύναμης

<p>Μηχανισμός υπό γωνία</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Εξειδικευμένη αρπάγη • Πολύ χρήσιμη για ακανόνιστα αντικείμενα 	<ul style="list-style-type: none"> • Δύσκολη η εφαρμογή της, δαπανηρή και περίπλοκη
<p>Πνευματικές κινούμενες αρπάγες</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Μικρότερες μονάδες • Ταχύτερη συναρμολόγηση • Εύκολη συντήρηση 	<ul style="list-style-type: none"> • Είναι δύσκολη η διατήρηση της σταθερής πίεσης του αέρα ώστε να παρέχει σταθερή δύναμη
<p>Υδραυλικές αρπάγες</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλή αντοχή και ταχύτητα • Μηχανική απλότητα • Αντέχει βαριά ωφέλιμα φορτία 	<ul style="list-style-type: none"> • Μεγάλες κατασκευές που καταλαμβάνουν χώρο
<p>Σερβοηλεκτρικές αρπάγες</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • Υψηλή ακρίβεια • Επαναλαμβανόμενη δύναμη • Χαμηλό κόστος • Εύκολη συντήρηση 	<ul style="list-style-type: none"> • Απαιτεί ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου • Είναι πολύπλοκη

Οι παράμετροι που οδηγούν στην επιλογή της κατάλληλης αρπάγης είναι οι εξής ¹²:

Το ίδιο το έργο: Το είδος της εργασίας καθορίζει και το είδος της αρπάγης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Για παράδειγμα σε μια γρήγορη φόρτωση-εκφόρτωση θα ευνοούσε περισσότερο η χρήση βεντουζών κενού αέρος. Αντίθετα σε μια πιο αργή διαδικασία η χρήση πένσας .

Χρόνος κύκλου: Η ταχύτητα που απαιτείται για τη λειτουργία της αρπάγης (πχ. άνοιγμα-κλείσιμο, σύσφιξη της αρπάγης), καθορίζει τον χρόνο κύκλου.

Ακρίβεια: Ορισμένες εργασίες συναρμολόγησης απαιτούν μεγαλύτερη ακρίβεια. Στην περίπτωση αυτή μια μηχανική αρπάγη με σέρβο-ηλεκτρικό μοτέρ, θα ήταν ιδανική.

Περιβαλλοντικές απαιτήσεις: Δεν είναι όλα τα είδη αρπαγών κατάλληλα να χρησιμοποιηθούν σε κάθε διαδικασία. Στις βιομηχανίες τροφίμων και φαρμάκων για παράδειγμα, οι υδραυλικές αρπάγες απαγορεύονται, δεδομένου ότι υπάρχει ο κίνδυνος έκχυσης του λαδιού και μόλυνσης των προϊόντων. Σε αυτές τις περιπτώσεις μια καλή επιλογή είναι οι πνευματικές, από μαλακά υλικά, αρπάγες. Σε βιομηχανίες που χρησιμοποιούν clean room δεν συνιστανται αρπάγες κενού και πεπιεσμένου αέρα, δεδομένου ότι μπορεί να δημιουργήσει ροή ανεπιθύμητων σωματιδίων στον αέρα. Διαβρωτικά ή τοξικά περιβάλλοντα πυρηνικών και χημικών βιομηχανιών απαιτούν αντίστοιχα ειδικές εκτιμήσεις για την ακρίβεια της αρπάγης, ώστε να διασφαλιστεί η σταθερότητα και η ασφάλεια κατά την χρήση της.

1.4 Ρομποτικά συστήματα από εύκαμπτα ελαστικά υλικά

Τα περισσότερα παραδοσιακά ρομπότ είναι κατασκευασμένα από δύσκαμπτα υλικά όπως ατσάλι, αλουμίνιο ή πλαστικό ABS. Συνήθως τροφοδοτούνται άμεσα από ηλεκτρικούς κινητήρες ή αντλίες. Στην τελευταία περίπτωση, η κίνηση δίνεται μέσω υδραυλικών υγρών, που κινούνται σε άκαμπτους σωλήνες. Τέτοιες μηχανές έχουν μεγάλες δυνάμεις, υψηλές ταχύτητες και μεγάλη ακρίβεια, που τις καθιστά πολύ παραγωγικές σε γραμμές συναρμολόγησης.

Ωστόσο, πολύ λίγα από αυτά τα μηχανήματα μπορούν να λειτουργούν σε φυσικό περιβάλλον ή σε άμεση επαφή με τον άνθρωπο. Εκτός από τα θέματα ασφαλείας, τα ρομπότ δεν είναι ευπροσάρμοστα σε εναλλαγές της εργασίας ή του περιβάλλοντος που κινούνται. Μία σοβαρή πρόκληση την οποία πρέπει να αντιμετωπίσει ένα κλασικό ρομπότ, είναι η αλληλεπίδραση του με ένα άγνωστο περιβάλλον και με αντικείμενα τα οποία έχουν διαφορετική γεωμετρία μεταξύ τους.

Στα κλασικά άκαμπτα ρομποτικά συστήματα, γίνονται συνεχώς έλεγχοι με αισθητήρες οι οποίοι παρακολουθούν τη κατάσταση του συστήματος, τις δυνάμεις, τις ροπές και σχεδιάζουν τις κινήσεις τους με πολύ αυστηρούς περιορισμούς. Αυτό είναι απαραίτητο διότι ένα άκαμπτο ρομπότ, μπορεί εύκολα να καταστρέψει κάποια από τα μέρη του ή να προκαλέσει ατύχημα, αν γίνει ασταθές. Η ακρίβεια στην κίνηση γίνεται εξαιρετικά δύσκολη εάν το ρομπότ έχει μεγάλο αριθμό αρθρώσεων (υψηλός βαθμός ελευθερίας). Το πρόβλημα γίνεται πιο έντονο όταν οι συνθήκες το απαιτούν στο να κινείται σε περιβάλλον με συνεχώς μεταβαλλόμενες συνθήκες. Το ρομπότ δεν μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια παραμέτρους όπως επιφάνεια τριβής, ανώμαλο έδαφος, σκληρά και μαλακά εμπόδια, ανέμους με ριπές ή κινούμενα αντικείμενα ¹³.

Στην προσπάθεια να ξεπεραστούν ορισμένα από τα εμπόδια αυτά, δημιουργήθηκε ένα αυξανόμενο ενδιαφέρον για την κατασκευή ρομπότ από μαλακά υλικά¹⁴. Μαλακά υλικά θεωρούνται πολυμερή ή σιλικόνες με ελαστικές και εύκαμπτες ιδιότητες. Τα τελευταία χρόνια, έχουν γίνει προσπάθειες από μηχανικούς να μιμηθούν τον τρόπο με τον οποίο τα ζώα αλληλοεπιδρούν επιτυχώς με το περιβάλλον για την επιβίωσή τους στην φύση^{15,16}. Τα ρομποτικά συστήματα με εξαρτήματα από μαλακά υλικά, είναι αποτέλεσμα τέτοιων μελετών, τα οποία έχουν δώσει εντυπωσιακά αποτελέσματα σε σχέση με τα κλασικά ρομποτικά συστήματα. Μπορούν δηλαδή να προσομοιώσουν

λειτουργίες παρόμοιες με αυτές που κάνει για παράδειγμα ένας ανθρώπινος μυς ή τένοντας, χωρίς εξειδικευμένα μηχανικά μέρη¹⁴.

Τα μαλακά υλικά είναι κατάλληλα στο να αποσβένουν τις ταλαντώσεις και γενικά να εξομαλύνουν τις δυνάμεις. Τα ρομπότ που έχουν σχεδιαστεί με αυτά τα υλικά, αναμένεται να είναι πολύ πιο φυσικά στις κινήσεις τους, πιο ευπροσάρμοστα και ανθεκτικά. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται έχουν ελαστικότητα ανάλογα με τις απαιτήσεις τις εργασίας. Κατά κύριο λόγο χρησιμοποιούνται σιλικόνες διαφόρων ειδών όπως, η Ecoflex silicone και η Elastosil M4601 silicone¹⁷. Τα τμήματα που αποτελούνται από μαλακά υλικά συνήθως ενεργοποιούνται με έναν από τους δύο παρακάτω τρόπους¹³.

- Τένοντες μεταβλητού μήκους (με τη μορφή ελαστικών καλωδίων, πχ ρομποτικό πλοκάμι χταποδιού)¹⁶
- Ενεργοποίηση με πεπιεσμένο αέρα με την χρήση πνευματικού, το οποίο χρησιμοποιείται για να φουσκώνει κανάλια σε ένα σύστημα, έχοντας μια επιθυμητή παραμόρφωση. Ένα παράδειγμα είναι οι πνευματικοί τεχνητοί μύες (PAM) γνωστοί και ως McKibben επενεργητές, οι οποίοι αποτελούνται από ελαστομερές σωλήνες και μπορούν να παραμορφώνονται¹⁸.

1.5 Δομή ενός ρομποτικού συστήματος με εύκαμπτα ελαστικά υλικά

Ένα αυτόνομο ρομπότ πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Αισθητήρες, κεντρικό σύστημα ελέγχου (μικροεπεξεργαστή), τροφοδοτικό (κινητήρες), επενεργητές, βάση και ένα συνολικό πρόγραμμα για τη συμπεριφορά του. Είναι σχετικά απλό να δημιουργηθεί μια βάση από μαλακά υλικά, με την κατασκευή καλουπιού σε 3D printer και στην συνέχεια την έκχυση μέσα σε αυτό της κατάλληλης σιλικόνης. Αισθητήρες και μικροεπεξεργαστές κατασκευάζονται πλέον σε τέτοια κλίμακα και ιδιότητες (αρκετά μικρά μεγέθη, έχοντας όλα τα χαρακτηριστικά που χρειάζεται), ώστε να μην επηρεάζονται οι συνολικές ιδιότητες του ίδιου του ρομπότ. Παράλληλα, με τις νέες τεχνολογίες, υπάρχουν διαθέσιμα εύκαμπτα ηλεκτρονικά εξαρτήματα¹³.

Η μεγαλύτερη πρόκληση είναι η εξεύρεση κατάλληλων επενεργητών, πηγών ενέργειας και συστημάτων ελέγχου. Διάφορες νέες τεχνολογίες επενέργησης εμφανίζονται, οι οποίες μπορούν να αποκτήσουν συμπεριφορά παρόμοια με τα ζώα. «Έξυπνα» υλικά, όπως μίγματα υλικών με μνήμη σχήματος (SMAs), ηλεκτροστατικά πολυμερή (EAPs), νάιλον επενεργητές, υδραυλικά και πνευματικά συστήματα, αποτελούν τα κύρια παραδείγματα τέτοιων τεχνολογιών.

Στην κατηγορία των «έξυπνων» υλικών, η ταχεία πρόοδος οδήγησε στην ενσωματωμένη νοημοσύνη σε μοριακό επίπεδο. Αυτά τα ευφυή υλικά ανταποκρίνονται σε ηλεκτρικά ή θερμικά ερεθίσματα και αλλάζουν ανάλογα το σχήμα τους. Αρκετά έξυπνα υλικά όπως SMAs και EAPs, βρίσκουν ολοένα και περισσότερες εφαρμογές σε αυτήν την κατηγορία ρομποτικών συστημάτων¹⁹. Τα SMAs υλικά έχουν τη μοναδική ιδιότητα να ανακτούν πλήρως μια πλαστική τάση, όταν θερμαίνονται πάνω από μια ορισμένη θερμοκρασία. Οι επενεργητές αυτοί θερμαίνονται από την επίδραση ενός ρεύματος που διέρχεται από μέσα τους. Οι EAPs επενεργητές αλλάζουν το σχήμα ή το μέγεθος τους ανάλογα με τα ηλεκτρικά ερεθίσματα. Η ιδιότητα τους να παραμορφώνονται πολύ και η ομοιότητά τους με τους βιολογικούς μυς, οδήγησαν στην χρήση τους ως τεχνητοί μύες. Συνήθως περιβάλλονται από μια μαλακή μονωτική μεμβράνη με δύο ηλεκτρόδια. Όταν εφαρμόζεται τάση στα ηλεκτρόδια, η διηλεκτρική μεμβράνη συρρικνώνεται κατά μήκος του ηλεκτρικού πεδίου και διευρύνεται ανάλογα με το ρεύμα.

Στην περίπτωση επενέργησης με πνευματικό σύστημα, χρησιμοποιείται ένα συμπιεσμένο ρευστό, συνήθως αέρας, για την παραμόρφωση της μαλακής ρομποτικής δομής. Με την αντίστοιχη γεωμετρία οι επενεργητές μπορούν να κάνουν κινήσεις όπως επιμήκυνση, συστολή, συστρόφη, κάμψη ή οποιοδήποτε περίπλοκο συνδυασμό όλων αυτών⁷. Οι επιθυμητές κινήσεις επιτυγχάνονται με τον έλεγχο της πίεσης του ρευστού μέσα στους κενούς εσωτερικούς θαλάμους. Η γεωμετρία του εκάστοτε επενεργητή σε συνδυασμό με την αλλαγή της πίεσης του ρευστού, οδηγεί στον πλήρη έλεγχο της κίνησης του.

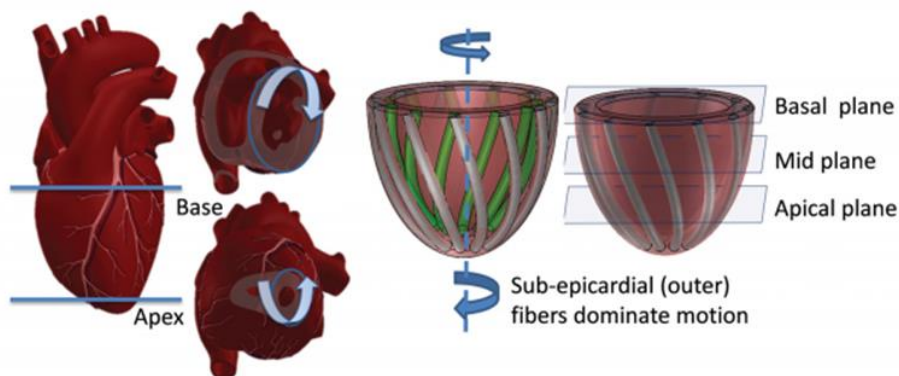
Η παροχή ενέργειας για τους επενεργητές ορισμένων ρομποτικών συστημάτων από εύκαμπτα ελαστικά υλικά, είναι επίσης μια σημαντική πρόκληση. Ό, τι είναι ηλεκτροκίνητο πρέπει να αποθηκεύει ενέργεια σε μπαταρίες ή πυκνωτές. Αν και αυτά μπορούν να γίνουν σχετικά εύκαμπτα, δεν είναι ακόμα διαθέσιμα στο εμπόριο και έχουν σχετικά χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα. Αυτό περιορίζει το εύρος λειτουργίας των συσκευών με μπαταρίες. Μια καλύτερη προσέγγιση είναι η αποθήκευση χημικής ενέργειας, με τη μορφή των υδρογονανθράκων.

Κύρια πρόκληση για την παραγωγή ρομποτικών συστημάτων από εύκαμπτα ελαστικά υλικά, είναι η ανάπτυξη συστημάτων κατάλληλων για δομές μεγάλης ελαστικότητας. Στις περισσότερες από τις υπάρχουσες μεθόδους, δεν μπορούμε να έχουμε πλήρη έλεγχο της συμπεριφοράς των ελαστικών δομών και ιδιαίτερα σε απρόβλεπτο περιβάλλον. Αυτός είναι ένας τομέας της έρευνας που απαιτεί νέες προσεγγίσεις. Είναι πιθανό να επωφεληθούμε από τη τεχνητή νοημοσύνη και να εφαρμόσουμε μηχανισμούς τους οποίους χρησιμοποιούν τα ζώα εδώ και εκατομμύρια χρόνια, έχοντας δώσει λύση σε τέτοιου είδους ερωτήματα^{13,15,20-24}.

1.6 Εφαρμογές ρομποτικών συστημάτων από εύκαμπτα ελαστικά υλικά

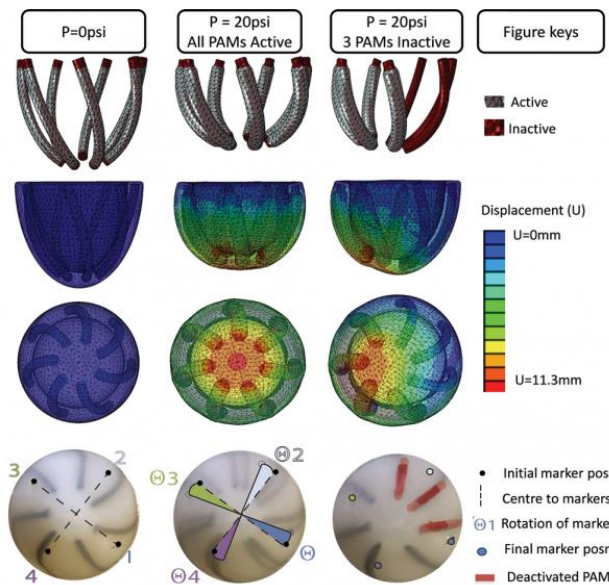
Τα ρομποτικά συστήματα από εύκαμπτα ελαστικά υλικά, είναι σε θέση να εκτελούν λειτουργίες τις οποίες δεν έχουν τα απλά ρομποτικά συστήματα. Σημαντικές προσπάθειες έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια και στον τομέα της ιατρικής, εκμεταλλευόμενοι οι επιστήμονες τις δυνατότητες αυτές. Η Soft Robotics Toolkit, μία ομάδα ερευνητών από το πανεπιστήμιο του Harvard, πειραματίζεται πάνω σε μία συσκευή υποβοήθησης της καρδιάς που έχει υποστεί έμφραγμα του μυοκαρδίου ή άλλες καρδιακές ασθένειες²⁵.

Η συσκευή αποτελείται από επενεργητές οι οποίοι έχουν ένα σωλήνα με συγκεκριμένη δομή και ένα ελαστομερές πλέγμα γύρω του, τα οποία σαν σύνολο έχουν ιδιότητες παρόμοιες με το φυσιολογικό ιστό της καρδιάς²⁵.



Εικόνα 1 Σιλικονούχο μαλακό πλέγμα υποβοήθησης καρδιάς²⁵

Η συσκευή αυτή αποτελείται από πολλούς επενεργητές, οι οποίοι τοποθετούνται κατάλληλα σε ελικοειδή διάταξη ώστε να προσομοιώνουν την λειτουργία της καρδιάς. Δηλαδή υποβοηθούν τα σημεία εκείνα που έχουν υποστεί ζημιά, στην κίνηση τους. Έχουν γίνει ήδη πειράματα σε ζώα και έχουν δώσει πολύ καλά αποτελέσματα, σε βαθμό που θα εφαρμοστεί σιγά σιγά και σε ανθρώπους.



Εικόνα 2 Σιλικονούχο μαλακό πλέγμα υποβοήθησης καρδιάς/ ανάλυση²⁵

Μία ακόμα πολύ σημαντική έρευνα που έχει γίνει επίσης από το πανεπιστήμιο του Harvard, είναι η προσομοίωση της κίνησης μυών και τενόντων, για ανθρώπους με κινητικά προβλήματα²⁶. Συγκεκριμένα πρόκειται για ένα γάντι το οποίο έχει προσαρμοσμένα στο πίσω μέρος των δαχτύλων, επενεργητές από ελαστομερές υλικό. Το σχήμα τους είναι τέτοιο ώστε όταν εισέρχεται αέρας μέσα τους από ένα πνευματικό σύστημα, λυγίζουν ακολουθώντας την κίνηση των δαχτύλων όπως φαίνεται στην Εικόνα 3. Ουσιαστικά βοηθούν τα δάχτυλα στην φυσική τους κίνηση, προσφέροντας τους δύναμη και σταθερότητα, για την υλοποίηση μιας εργασίας.



Εικόνα 3 Γάντι υποβοήθησης ανθρώπων με κινητικά προβλήματα σε διάφορα αντικείμενα ²⁶

Με την ικανότητα τους να αλλάζουν το μέγεθος και το σχήμα τους, τα ρομποτικά συστήματα από εύκαμπτα ελαστικά υλικά, έχουν επιπλέον την δυνατότητα να εισχωρούν σε περιορισμένους και πολύπλοκους χώρους, καθώς και να αναρριχώνται σε τρισδιάστατες δομές. Μελλοντικά, θα είναι δυνατή η αποστολή ρομποτικών συστημάτων με εύκαμπτα μαλακά τμήματα, σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης για την ανεύρεση χαμένων επιζώντων, για τον εντοπισμό και την επιδιόρθωση κατεστραμμένων καλωδίων και αγωγών σε επικίνδυνες και δυσπρόσιτες περιοχές. Αυτές οι συσκευές μπορούν επίσης να γίνουν από βιοσυμβατά υλικά, καθιστώντας τα ιδανικά κατάλληλα για διάγνωση και θεραπεία μέσα στο ανθρώπινο σώμα. Επίσης το κόστος των ρομποτικών συστημάτων από εύκαμπτα ελαστικά υλικά, λόγω της ραγδαίας εξέλιξη της τεχνολογίας, θα είναι εξαιρετικά χαμηλό, σε βαθμό που θα μπορούν να χρησιμοποιούνται μαζικά.

Σε θεωρητικό επίπεδο, θα μπορούν να υπάρχουν, τέτοια ρομπότ τα οποία θα εντοπίζουν και θα καταστρέφουν νάρκες σε δύσβατες περιοχές. Επιπλέον λόγω του ότι μπορούν να είναι εύκαμπτα και εύπλαστα, καταλαμβάνουν μικρό χώρο με αποτέλεσμα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαστημικές αποστολές¹³.

1.7 Ρομποτικές αρπάγες με μαλακά εύκαμπτα άκρα

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει προσπάθειες από μεγάλες βιομηχανίες, να αυτοματοποιήσουν τμήματα της παραγωγής τους. Ο κλάδος των τροφίμων και της αυτοκινητοβιομηχανίας, είναι από τους πρώτους που εισήγαγαν ρομποτικά συστήματα.

Βασική τεχνολογία στην γραμμή παραγωγής τους, που όλο ένα εξελίσσεται, είναι αυτή της ρομποτικής αρπάγης. Τις τελευταίες δεκαετίες έχουν κάνει την εμφάνιση τους ρομποτικές αρπάγες με μαλακά εύκαμπτα άκρα, κυρίως στον κλάδο των τροφίμων, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους.

Ανά τα χρόνια η εξέλιξη τους ήταν ραγδαία και γινόντουσαν περισσότερο αποτελεσματικές. Οι πρώτες έρευνες προς αυτήν τη κατεύθυνση, έγιναν την δεκαετία του 80, με την προσπάθεια των μηχανικών να κατασκευάσουν δάχτυλα τα οποία θα κινούνται με πεπιεσμένο αέρα²⁷. Το 1990 παρουσιάζεται άλλη μια έρευνα από τον Suzumori Koichi, στην οποία εμφανίζονται οι πρώτοι επενεργητές που λειτουργούν ανεξάρτητα ο καθένας, με την χρήση πνευματικού συστήματος. Κατασκευασμένοι από ίνες καουτσούκ, και έχοντας τρεις θαλάμους πλήρωσης αέρα, προσέγγιζαν καλύτερα την φυσική κίνηση του ανθρώπινου δαχτύλου²⁸. Το 1998 κατασκευάζεται η πρώτη αρπάγη με μαλακά άκρα για υποβρύχιες έρευνες, η οποία σχεδιάστηκε με βάση την γεωμετρία της προβοσκίδας του ελέφαντα^{20,21}. Για μια δεκαετία δεν υπάρχει κάποια καινοτόμα εξέλιξη στην τεχνολογία αυτού του είδους της αρπάγης, μέχρι το 2009 με τη εμφάνιση της BionicTripod. Η εταιρεία Festos κατασκεύασε μια πρωτότυπη αρπάγη, το σχήμα της οποίας μοιάζει με πτερύγια ψαριού²². Το 2010 κάνει την εμφάνιση της μια μαλακή εύκαμπτη ρομποτική αρπάγη με μία εντελώς διαφορετική προσέγγιση στην συγκράτηση των αντικειμένων. Η granular jamming, χρησιμοποιεί όπως αναφέρεται και στο όνομα της, κόκκους άμμου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε μια μπάλα με ελαστικό περίβλημα. Όταν έρχεται σε επαφή με ένα αντικείμενο και απορροφά τον αέρα που έχει η μπάλα μέσα, παίρνει το σχήμα της επιφάνειας του αντικειμένου, συγκρατώντας το²⁹. Τα επόμενα χρόνια το ενδιαφέρον για τις μαλακές αρπάγες αυξάνεται και συνεχώς οι έρευνες κινούνται σε νέα υλικά, γεωμετρίες και μέσα επενέργησης. Το 2011 παρουσιάζεται η starfish, η οποία έχει το σχήμα αστερία και κινείται με πνευματικό σύστημα²⁴.

Ένα χρόνο μετά κατασκευάζεται από το ινστιτούτο BioRobotics ένα καινούριο σύστημα το οποίο προσομοιώνει την κίνηση του πλοκαμιού ενός χταποδιού, με δυνατότητα περισσότερων βαθμών ελευθερίας²³.

Μέσα στα επόμενα χρόνια οι τεχνολογίες αυτές εξελίσσονται συνεχώς και δίνουν καλύτερα αποτελέσματα. Φτάνοντας στο σήμερα, οι μηχανικοί έχουν καταφέρει να εκτυπώνουν απευθείας της αρπάγες μέσω των συστημάτων CAD. Αυτό πραγματοποιήθηκε με την νέα τεχνολογία 3D printer οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιούν ελαστικά υλικά στην εκτύπωση τους²³.

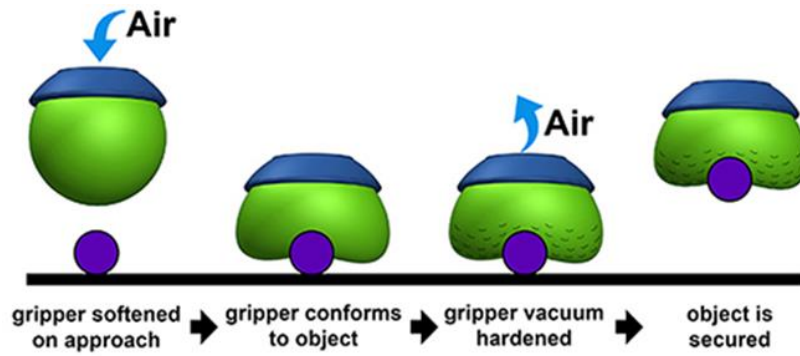
Τα χαρακτηριστικά τα οποία έκαναν τόσο περιζήτητες τις μαλακές εύκαμπτες αρπάγες, είναι ότι μπορούν να προσαρμόζονται στο σχήμα ενός αντικείμενου και να κατανέμουν τη δύναμη σε ολόκληρη την επιφάνεια επαφής. Επιπλέον, οι ρομποτικές αρπάγες με μαλακά εύκαμπτα άκρα απορροφούν και εξομαλύνουν την δύναμη πρόσκρουσης, η οποία μπορεί να προστατέψει τόσο το ρομπότ όσο και το αντικείμενο από κρούση. Αυτό είναι που περιορίζει τη ζημιά στο αντικείμενο. Μπορούν πιο εύκολα να πληρούν τις κατάλληλες προδιαγραφές πιστοποιήσεων και επιπλέον το κόστος κατασκευής τους είναι χαμηλότερο από τα κλασικά συστήματα. Ας δούμε κάποια χαρακτηριστικά παραδείγματα που προαναφέραμε στα οποία έχει γίνει διαφορετική προσέγγιση στο καθένα.

Η Empire Robotics, το 2012 κατασκεύασε την Versaball, μια πρωτότυπη αρπάγη με πρωτόγνωρη μορφή και λειτουργία. Πρόκειται για μία ελαστική μπάλα η οποία περιέχει μέσα ψιλή άμμο.



Εικόνα 4 Versaball της Empire Robotics

Στην αρχή της διαδικασίας η αρπάγη σταματάει ακριβώς πάνω από το αντικείμενο και έρχεται σε επαφή με τη επιφάνεια του. Η μπάλα φουσκώνει μέσω ενός πνευματικού συστήματος και παίρνει το σχήμα της επιφάνειας του αντικείμενου. Η αεραντλία τραβάει τον αέρα που έχει δώσει αρχικά στην μπάλα και αυτόματα η μπάλα η οποία είναι γεμισμένη με ψιλή άμμο παίρνει το σχήμα του αντικείμενου στα σημεία που έχει έρθει σε επαφή με αυτό. Με την διαδικασία αυτή η μπάλα-αρπάγη πιάνει το αντικείμενο και στη συνέχεια μπορεί να το μεταφέρει στο επιθυμητό σημείο. Για να το αφήσει, η αεραντλία δίνει πάλι αέρα στη μπάλα και αμέσως χαλαρώνουν τα σημεία επαφής της αρπάγης με το αντικείμενο³⁰.



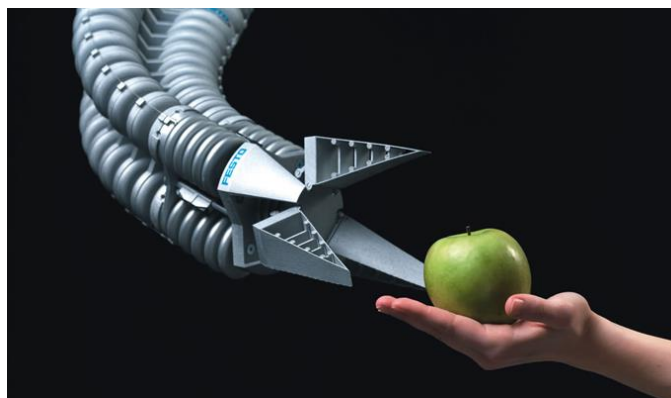
Εικόνα 5 Versaball- Διαδικασία συγκράτησης

Η Festo AG & Co, μια εταιρία με ειδικευση στην αυτοματοποίηση συστημάτων, κατασκεύασε το Festo bionic gripper. Πρόκειται για μια αρπάγη με ιδιαίτερη γεωμετρία, η οποία είναι αποτέλεσμα σχεδιαστικών ερευνών σε συστήματα CAD και εκτύπωσης σε 3D printer.



Εικόνα 6 Festo bionic gripper

Αποτελείται από τρία δάχτυλα, κατασκευασμένα από TPE-U (Thermoplastic Polyurethane), τα οποία έχουν την ιδιότητα όταν πιάνουν ένα αντικείμενο να το κρατάνε σταθερά αλλά ταυτόχρονα να μην το τραυματίζουν. Αυτός είναι και ο λόγος που κάνει την αρπάγη αυτή κατάλληλη για τοποθέτηση σε παραγωγή που σχετίζεται με φρούτα και λαχανικά. Η εταιρία παρέχει το προϊόν αυτό σε 3 μεγέθη ώστε να μπορεί να προσαρμοστεί στις εκάστοτε ανάγκες²².



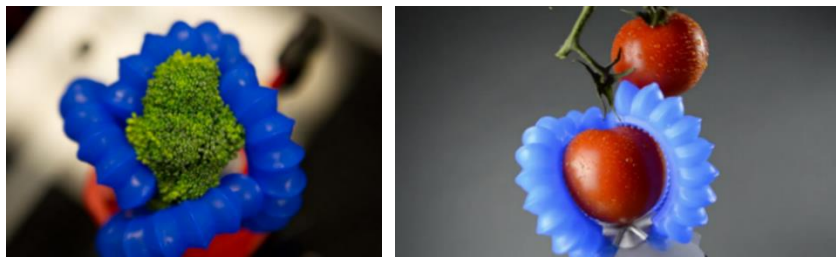
Εικόνα 7 Festo bionic gripper

Η Soft Robotics είναι μια εταιρεία η οποία ξεκίνησε από τα εργαστήρια του πανεπιστημίου του Cambridge. Εκεί, σε ερευνητικό επίπεδο ακόμα, θέλησαν να σχεδιάσουν μία αρπάγη με γεωμετρία και υλικά τα οποία ανεξάρτητα από το μέγεθος, το σχήμα και το υλικό να μπορεί να πιάνει αντικείμενα και να τα μεταφέρει. Το ζητούμενο της έρευνας αυτής ήταν να κρατάει σταθερά η αρπάγη το αντικείμενο, αλλά ταυτόχρονα να μην το τραυματίζει στην περίπτωση που πρόκειται για ευαίσθητα υλικά. Έτσι κατασκευάστηκε η αρπάγη Octopus-inspired robot 'hands'.



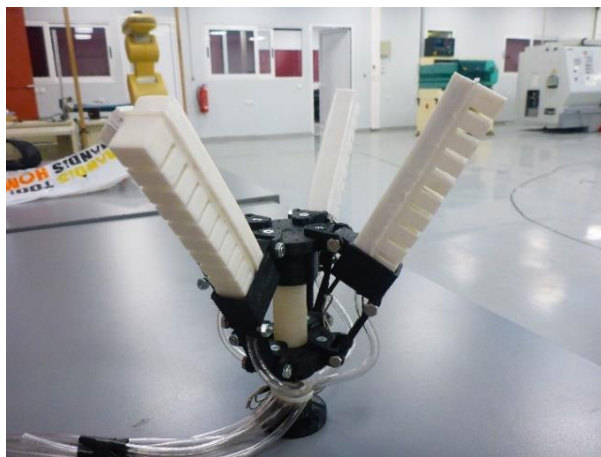
Εικόνα 8 Octopus-inspired robot 'hands'.

Η Soft Robotics περνώντας από το ερευνητικό στάδιο στο παραγωγικό, συνεργάστηκε με την Heinzen Manufacturing International με την οποία προωθούν πλέον την αρπάγη σε εταιρίες τροφίμων. Επιπλέον συμμετέχει και σε διάφορους διαγωνισμούς καινοτομίας με την συγκεκριμένη αρπάγη²³.

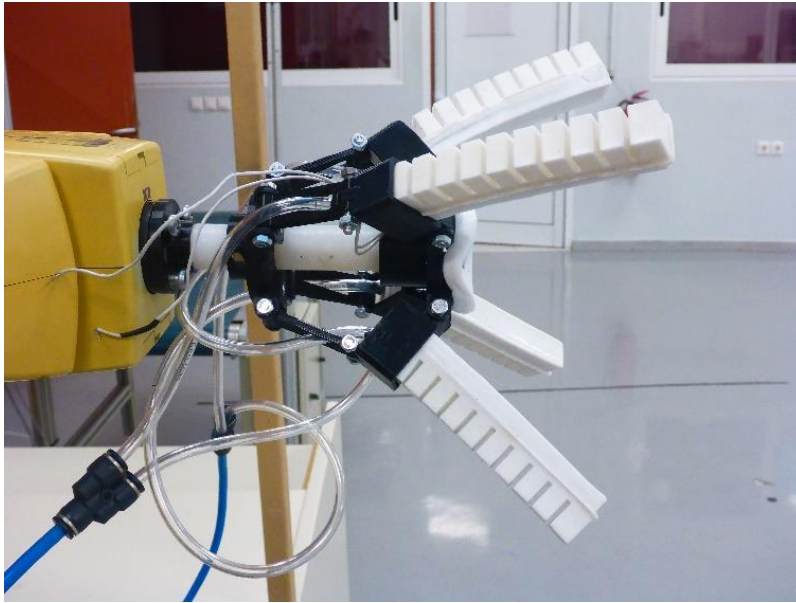


Εικόνα 9 Octopus-inspired Robot 'hands'

Στην εργασία αυτή παρουσιάζεται αντίστοιχα μια ρομποτική αρπάγη με εύκαμπτα ελαστικά άκρα. Σκοπός ήταν να φτιαχτεί μία αρπάγη όπως τα παραπάνω παραδείγματα στην οποία όμως να μπορούμε να δώσουμε επιπλέον επιλογές στην διαδικασία συγκράτησης αντικειμένων. Ως εύκαμπτα ελαστικά άκρα χρησιμοποιούνται επενεργητές οι οποίοι κινούνται με την βοήθεια πνευματικού συστήματος.



Εικόνα 10 Ρομποτική αρπάγη με 4 πνευματικούς επενεργητές



Εικόνα 11 Η ρομποτική αρπάγη τοποθετημένη στον βραχίονα του εργαστηρίου

Στην συγκεκριμένη αρπάγη υπάρχει η δυνατότητα να ρυθμίζεται η αρχική γωνία ανοίγματος των επενεργητών. Επιπλέον υπάρχουν οχτώ θέσεις τοποθέτησης τους στην βάση, δίνοντας την δυνατότητα να προσαρμόζονται σε αριθμό και θέση, ανάλογα με τις απαιτήσεις του αντικειμένου συγκράτησης. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή της αρπάγης θα παρουσιαστούν στην συνέχεια της εργασίας στο κεφάλαιο 2 και 3, ενώ έγιναν κάποια πειράματα πάνω στα νέα χαρακτηριστικά της βάσης, τα οποία παρατίθενται στο κεφάλαιο 4.

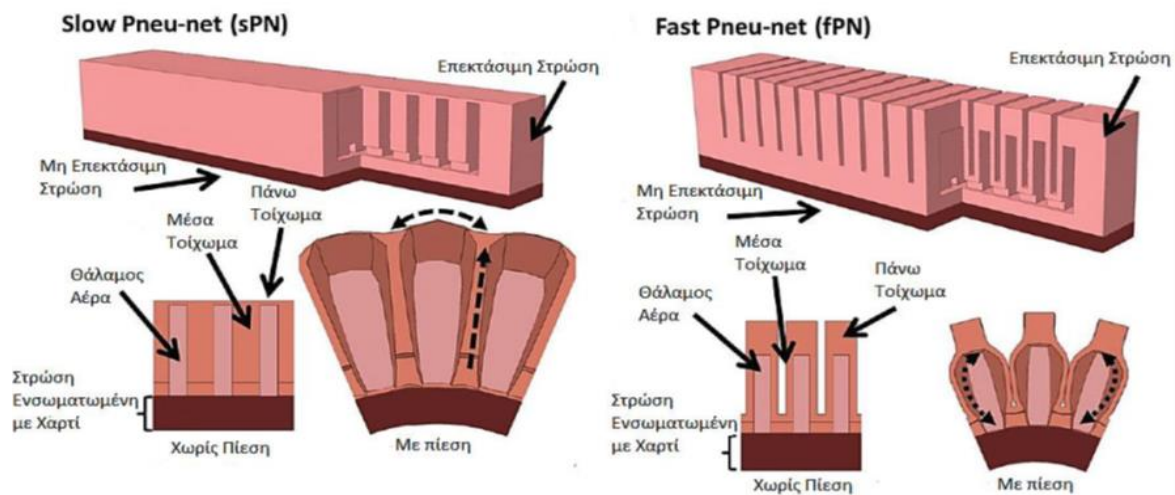
2ο Κεφάλαιο

2.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται κάποια από τα βασικά στοιχεία της έρευνας του Harvard που στηρίχθηκε η συγκεκριμένη εργασία. Αναλύεται η μορφολογία των μαλακών εύκαμπτων επενεργητών καθώς και η διαδικασία σχεδίασης και κατασκευής τους, για την χρήση τους ως εύκαμπτα ελαστικά άκρα της αρπάγης. Επίσης παρουσιάζεται μια προσομοίωση της κίνησης τους με βάση την γεωμετρία τους και την πλήρωση τους με διαφορετική ποσότητα αέρα κάθε φορά. Σημαντική είναι η περιγραφή της διαδικασίας κατασκευής των επενεργητών- δαχτύλων. Τέλος αναφέρεται το πνευματικό σύστημα το οποίο στήθηκε για την λειτουργία τους και περιγράφονται οι πρώτες προσπάθειες λειτουργίας τους.

2.2 Μαλακοί εύκαμπτοι επενεργητές

Από τα πιο σημαντικά τμήματα μιας αρπάγης είναι τα άκρα της. Στις αρπάγες με μαλακά εύκαμπτα άκρα, που η κίνησή τους προέρχεται από πνευματικά συστήματα, ονομάζονται επενεργητές. Στην συγκεκριμένη εργασία έγινε επιλογή του fPN (Fast Pneu-net) επενεργητή, αποτέλεσμα μελετών και πειραμάτων του εργαστηρίου ρομποτικής του πανεπιστημίου του Harvard. Πρόκειται για έναν επενεργητή κατασκευασμένο από σιλικόνη, ο οποίος έχει τέτοια γεωμετρία, ώστε όταν εισέρχεται αέρας στο εσωτερικό του να κάμπτεται. Η πάνω επιφάνεια αποτελείται από κενούς θαλάμους και κανάλια μέσα στα οποία εισέρχεται ο αέρας, ενώ το κάτω μέρος από ένα συμπαγές στρώμα σιλικόνης και ένα κομμάτι χαρτί¹⁷.



Εικόνα 12 Δομή του Slow Pneu-net (SPN) και του Fast Pneu-net (FPN)

Οι παράμετροι οι οποίοι πρέπει να λάβουμε υπόψιν για την επιθυμητή επίδοση των επενεργητών είναι¹⁷:

- α) η πίεση του ρευστού για την πλήρη κίνηση
- β) ο όγκος του ρευστού
- γ) η ενέργεια εισόδου που απαιτείται για την πλήρη κάμψη του επενεργητή
- δ) η ενέργεια που μπορεί να ανακτηθεί κατά τη διάρκεια της συμπίεσης
- ε) η ενέργεια που διαχέεται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου ενεργοποίησης

Σύμφωνα με το εργαστήριο που πειραματίστηκε πάνω στην τεχνολογία αυτήν, οι σιλικόνες οι οποίες έδωσαν τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την σωστή κάμψη σε σχέση με τον χρόνο και την στιβαρότητα, ήταν η Elastosil M4601 και η Ecoflex 30. Η πρώτη σιλικόνη, σύμφωνα με τον κατασκευαστή, έχει συντελεστή Young = 7 MPa και σκληρότητα 28 Shore της κλίμακας A, ενώ η δεύτερη συντελεστή Young = 0,1 MPa και σκληρότητα 00-30 Shore της κλίμακας A. Παρόλο που ο επενεργητής που κατασκευάστηκε με το σκληρότερο ελαστομερές απαιτούσε σχεδόν 8 φορές περισσότερη πίεση, ήθελε 1,5 φορές λιγότερη μεταβολή όγκου για να λυγίσει πλήρως. Τα αποτελέσματα αυτά μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι, οι επενεργητές κατασκευασμένοι από μαλακότερη σιλικόνη, ασκούν μικρότερη δύναμη και κάμπτονται πιο αργά για δεδομένη ταχύτητα πλήρωσης από αντίστοιχο επενεργητή που κατασκευάζεται από ένα σκληρότερο ελαστομερές^{17,26}. Αυτό συνέβει διότι πρέπει να μεταφερθεί επιπλέον όγκος για να επιτευχθεί ο ίδιος βαθμός κάμψης. Με πίεση 193 Kpa (1.93 Bar) και ρυθμό ροής 11L/min ο SPN χρειάστηκε περίπου 3.3 seconds για να λυγίσει πλήρως. Στον ίδιο ρυθμό ροής ο αντίστοιχος fPN, έκανε την κίνηση σε λιγότερο χρόνο¹⁷.

Η απόδοση ενός Pneu-net εξαρτάται από τουλάχιστον 5 παραμέτρους¹⁷.

- i) την ταχύτητα που επιτυγχάνεται για ένα δεδομένο ρυθμό πλήρωσης αέρα,
- ii) την δύναμη που ασκείται για μια δεδομένη πίεση,

- iii) την μεταβολή του όγκου που απαιτείται για ένα δεδομένο βαθμό κάμψης,
- iv) τον αριθμό κύκλων ενεργοποίησης,
- v) την σχέση μεταξύ της πίεσης στο Pneu-net και τον βαθμό κάμψης χωρίς φορτίο.

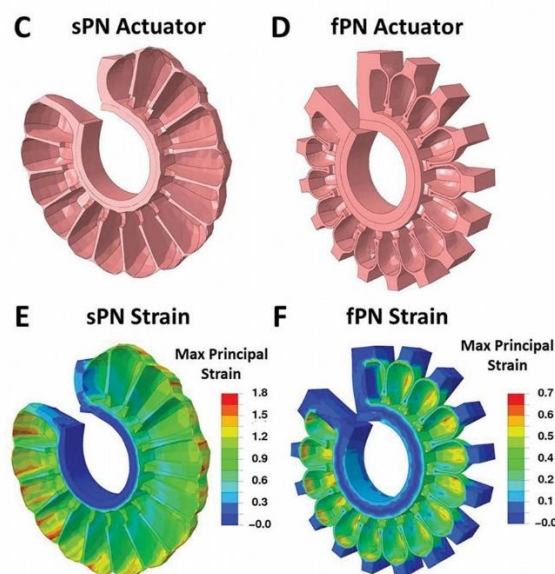
Στον FPN έχουμε ταχύτητα (25x) και δύναμη (1,4x) σε σχέση με τον SPN. Αυτό δίνει την δυνατότητα στη δημιουργία ρομποτικών συστημάτων με μαλακά άκρα που κινούνται πιο γρήγορα, και μπορούν να ασκήσουν υψηλότερες δυνάμεις, από όσο μπορεί ένας SPN. Η μειωμένη αλλαγή στον όγκο (8 x μικρότερο από το SPN) ελαχιστοποιεί την κόπωση της σιλικόνης, και ως εκ τούτου βελτιώνει την ανθεκτικότητα του FPN. Επιπλέον η δυνατότητα του να ενεργεί σε μικρότερο χώρο σε σχέση με το SPN του δίνει το πλεονέκτημα χρήσης σε λειτουργίες με περιορισμένο χώρο. πχ χειρουργική επέμβαση^{17,26}.

2.3 Βασικοί περιορισμοί στην χρήση Fast Pneu-net

Υπάρχουν δύο περιορισμοί όσων αφορά την χρήση FPN:

α) Στην περίπτωση που ο επενεργητής βρίσκεται παράλληλα με το έδαφος επιδρά πάνω του η βαρυτική δύναμη με αποτέλεσμα να κάμπτεται παραπάνω χωρίς να είναι σε λειτουργία. Αυτό μπορεί να αποτραπεί χρησιμοποιώντας περισσότερο υλικό στο κάτω μέρος.

β) Οι θάλαμοι του FPN δεν επεκτείνονται ομοιόμορφα όταν συμπιέζονται. Αυτή η μη γραμμική συμπεριφορά μπορεί να έχει δυναμικό πλεονεκτήματα, αλλά εμποδίζει την FPN από το να ασκεί δυνάμεις κατά το μήκος του ομοιόμορφα. Για να αποτραπεί αυτή η συμπεριφορά, η επέκταση των εσωτερικών τοιχωμάτων των θαλάμων πρέπει να συγκρατούνται από ένα μη εκτατό υλικό¹⁷.



Εικόνα 13 Προσομοίωση της παραμόρφωσης των δύο επενεργητών

2.4 Κατασκευή επενεργητή (δάχτυλο)

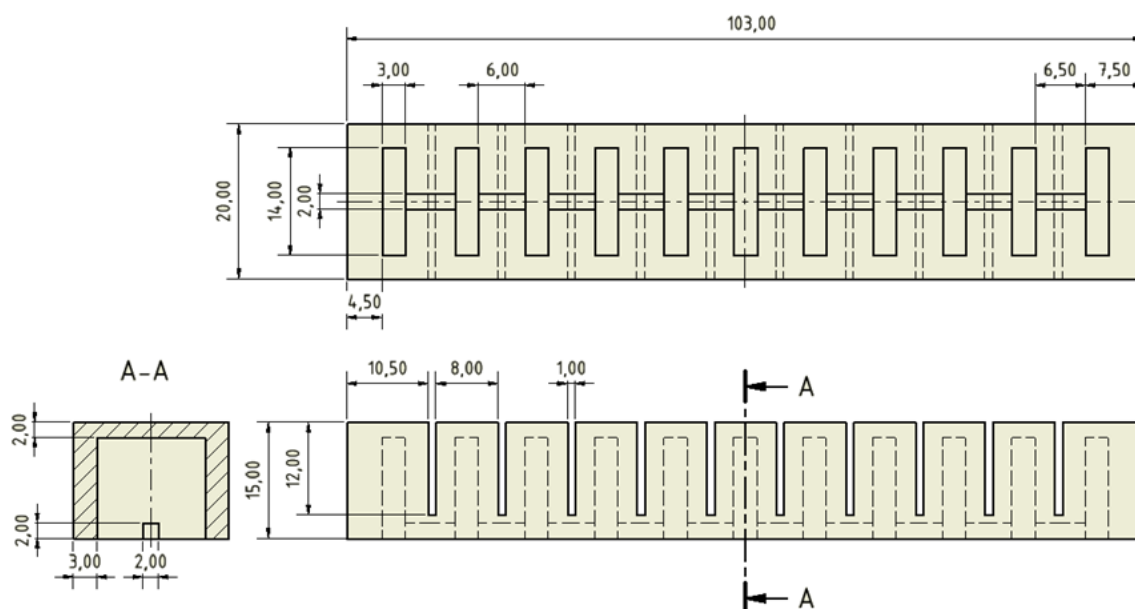
Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει εκτενής ανάλυση της διαδικασίας κατασκευής του επενεργητή, καθώς και των δυσκολιών που προέκυψαν. Η κατασκευή έγινε εξ ολοκλήρου στο εργαστήριο Συστημάτων Ελέγχου και Ρομποτικής με την χρήση των κατάλληλων μηχανημάτων, υπό την επίβλεψη του υπεύθυνου καθηγητή και την βοήθεια των εργαστηριακών συνεργατών.

Παρουσιάζεται εκτενώς η διαδικασία κατασκευής των επενεργητών, από τον σχεδιασμό μέχρι τη σωστή λειτουργία τους. Ως επενεργητής ορίζεται μία συσκευή η οποία μετατρέπει μία μορφή ενέργειας σε κινητική. Στην συγκεκριμένη εργασία οι επενεργητές είναι τα δάχτυλα από σιλικόνη, τα οποία μετατρέπουν την πίεση του αέρα σε κινητική ενέργεια. Με αυτήν την λειτουργία καμπυλώνουν και συγκρατούν τα αντικείμενα.

Σκοπός είναι η κατασκευή των επενεργητών-δαχτύλων και η τοποθέτησή τους σε βάση, η οποία σαν σύνολο μας δίνει ένα ολοκληρωμένο σύστημα αρπάγης. Η αρπάγη αυτή τοποθετημένη σε ειδικό βραχίονα και με την βοήθεια πνευματικού συστήματος, εκτελεί εργασίες συγκράτησης και μεταφοράς αντικειμένων.

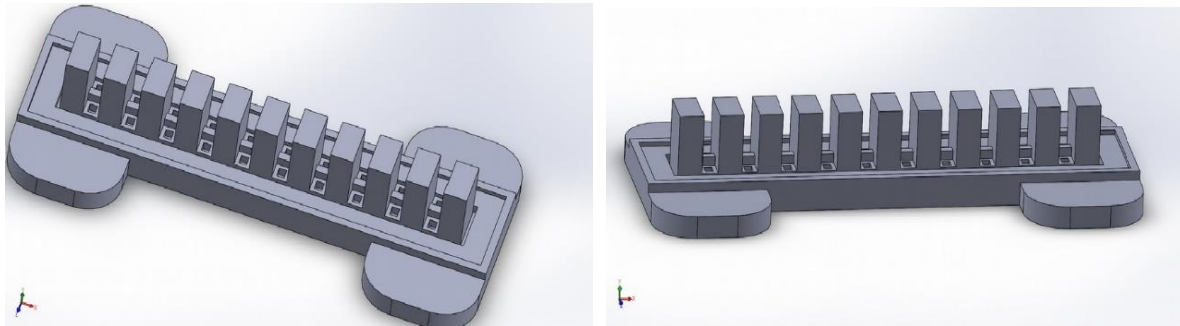
2.5 Σχεδιασμός καλουπιού

Ύστερα από έρευνα που πραγματοποιήθηκε πάνω στον FPN επενεργητή για τις διαστάσεις που απαιτούνται και την κατάλληλη γεωμετρία, έγινε ο σχεδιασμός του καλουπιού στο solidworks 2016 και η προσομοίωση της συμπεριφοράς του στο πρόγραμμα Abaqus.



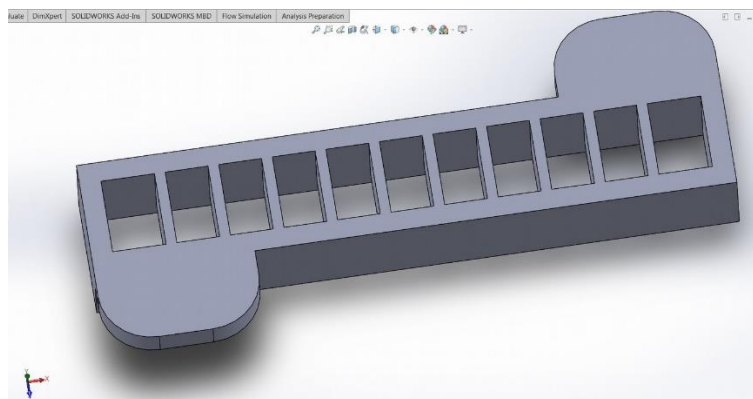
Εικόνα 14 Διαστάσεις επενεργητή

Αρχικά σχεδιάστηκε το κάτω μέρος του καλουπιού το οποίο δημιουργεί τους κενούς θαλάμους κατά την χύτευση. Οι διαστάσεις του επηρεάζουν την συμπεριφορά του επενεργητή. Οι θάλαμοι αυτοί όταν γεμίζουν αέρα από το πνευματικό σύστημα, λόγω της συγκεκριμένης γεωμετρίας του επενεργητή, τον αναγκάζουν να καμπυλώνει.



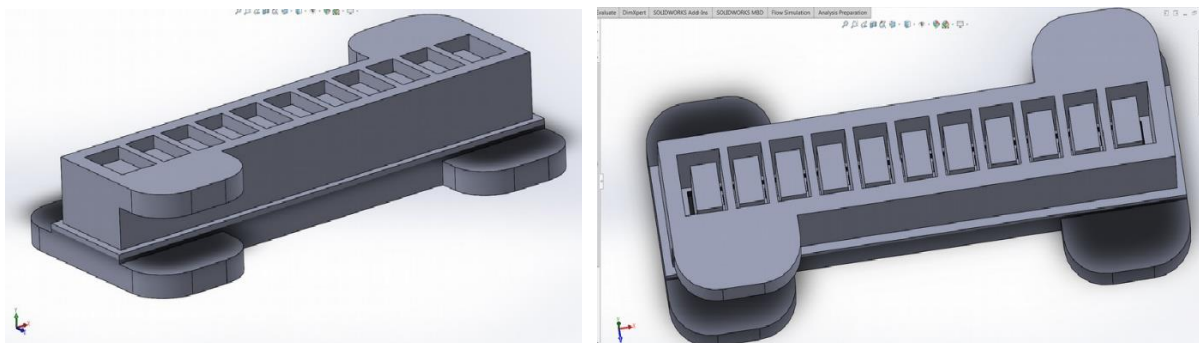
Εικόνα 15 Το κάτω μέρος του καλουπιού που δημιουργεί τους θαλάμους

Στην συνέχεια σχεδιάστηκε το πάνω μέρος του καλουπιού το οποίο κουμπώνει με το προηγούμενο και δημιουργεί τα τοιχώματα του επενεργητή.



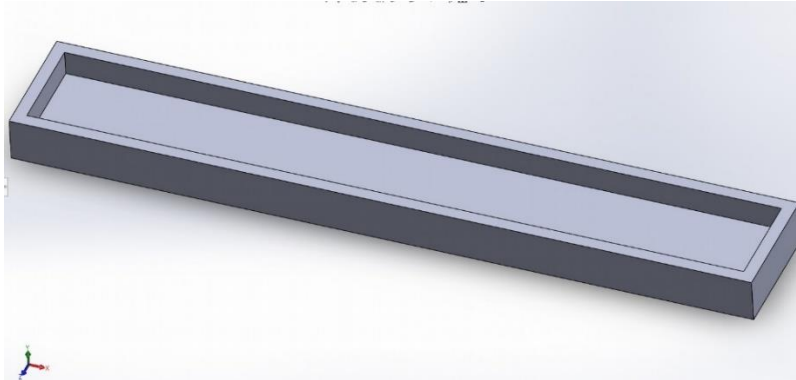
Εικόνα 16 Το πάνω μέρος του καλουπιού του επενεργητή

Οι διαστάσεις των δύο αυτών τμημάτων είναι που διαμορφώνουν το πάχος των τοιχωμάτων των θαλάμων πλήρωσης αέρα. Ανάλογα με τις προδιαγραφές που θέλουμε να έχουν οι επενεργητές, διαμορφώνουμε τις διαστάσεις αυτές αντίστοιχα. Στις παρακάτω φωτογραφίες παρατηρούμε την σωστή τοποθέτηση του πάνω τμήματος του καλουπιού στο κάτω.



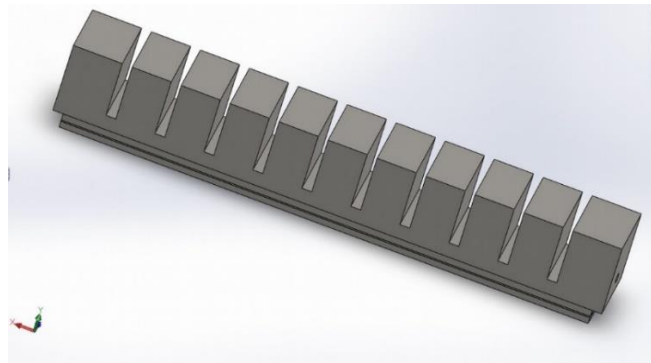
Εικόνα 17 Ενωμένα τα δύο τμήματα του καλουπιού, που δημιουργούν το πάνω μέρος του επενεργητή

Στην συνέχεια σχεδιάστηκε το κομμάτι του καλουπιού το οποίο αφού στεγνώσει και ενωθεί με το πάνω μέρος, δημιουργεί τον πάτο του επενεργητή. Είναι πολύ σημαντικό το πάχος του τμήματος αυτού, για να μπορέσει να γίνει σωστή ένωση με το πάνω τμήμα, χωρίς ωστόσο να καλυφθούν οι δίοδοι του αέρα.

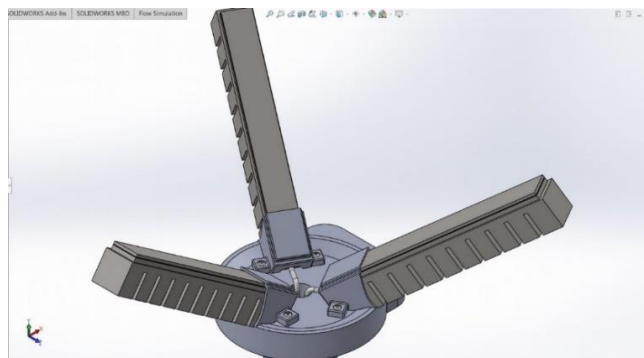


Εικόνα 18 Κομμάτι καλουπιού που διαμορφώνει τον πάτο του επενεργητή

Στις παρακάτω φωτογραφίες βλέπουμε την τελική μορφή του επενεργητή μετά την χύτευση του. Παρατηρούμε τους θαλάμους αέρα που έχουν σχηματιστεί, και τα κενά που υπάρχουν μεταξύ τους, τα οποία επιτρέπουν την καμπύλωση του επενεργητή κατά την πλήρωση του με αέρα. Επιπλέον έγινε και μία πρώτη μελέτη για τη τοποθέτηση του σε βάση και την τελική μορφή που θα μπορούσε να έχει. Παρατηρούμε στο σημείο αυτό τον ρόλο της αρχικής γωνίας που πρέπει να έχει ο επενεργητής σε σχέση με την βάση που θα είναι τοποθετημένος.



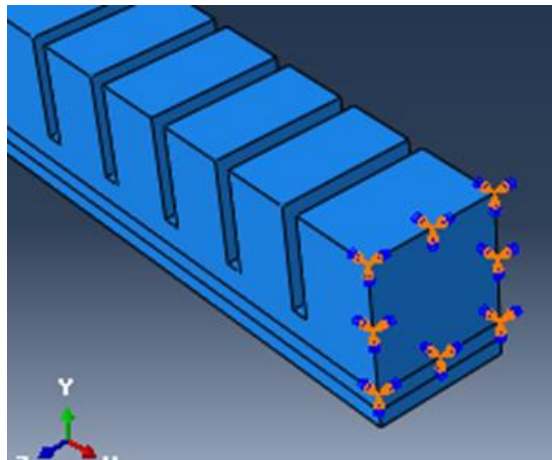
Εικόνα 19 Η τελική μορφή του επενεργητή μετά τη χύτευση



Εικόνα 20 Μια πρώτη πειραματική σχεδίαση βάσης και τοποθέτησης των επενεργητών

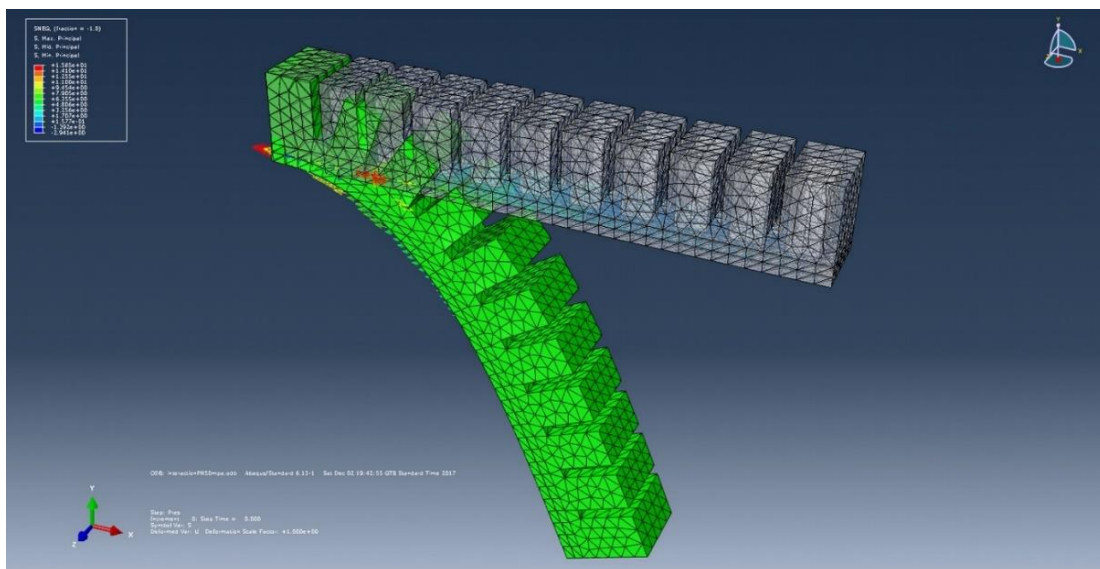
2.6 Προσομοίωση επενεργητή

Η προσομοίωση της κίνησης του επενεργητή έγινε με την χρήση του προγράμματος Abaqus. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει την δυνατότητα με την εισροή και ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, να παρουσιάζει την παραμόρφωση και την κάμψη που θα προκύψει. Στην συγκεκριμένη περίπτωση περάσαμε το σχέδιο του επενεργητή, για να μπορέσει το πρόγραμμα να επεξεργαστεί τα δεδομένα της γεωμετρίας του. Στην συνέχεια επιλέξαμε τα χαρακτηριστικά του υλικού κατασκευής των επενεργητών μέσα στο πρόγραμμα και δώσαμε αντίστοιχες τιμές στην πυκνότητα και την σκληρότητα του. Επιπλέον επιλέχθηκαν οι δυνάμεις (βαρυτική) που ασκούνται πάνω στον επενεργητή, καθώς και τα σημεία στήριξης στην μία άκρη του.



Εικόνα 21 Σημεία στήριξης στα άκρα του επενεργητή³¹

Τέλος δηλώνοντας διαφορετικές τιμές πίεσης αέρα μπορούμε να δούμε ποια θα είναι η τελική μορφή παραμόρφωσης του επενεργητή. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα (Εικόνα 22) περάσαμε στο πρόγραμμα δεδομένα για πίεση αέρα 60Kpa. Έτσι βλέπουμε την αρχική θέση του επενεργητή και την τελική μετά την παραμόρφωση από την πίεση αέρα καθώς και από την βαρυτική δύναμη.



Εικόνα 22 Προσομοίωση της παραμόρφωσης του επενεργητή

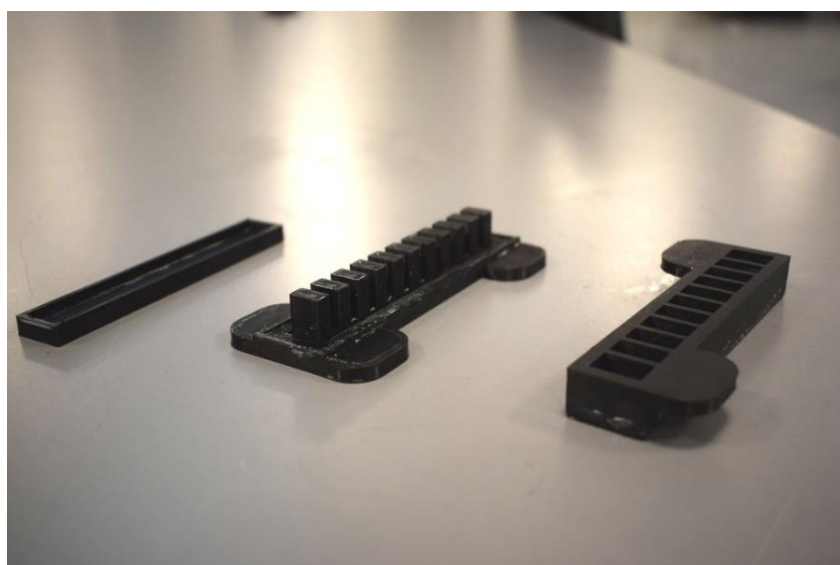
2.7 3D εκτύπωση των καλουπιών

Η διαδικασία 3D εκτύπωσης πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Συστημάτων Ελέγχου και Ρομποτικής, χρησιμοποιώντας τον εκτυπωτή Da Vinci 1.0 Pro. Η εκτύπωση των καλουπιών διήρκεσε περίπου 12 ώρες. Στις ρυθμίσεις της εκτύπωσης επιλέχθηκε 100% πλήρωσή του υλικό, διότι ασκείται μεγάλη δύναμη στα δύο κομμάτια του καλουπιού, μέχρι να αφαιρέσουμε το πάνω μέρος του επενεργητή. Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την εκτύπωση είναι PLA, ένα αρκετά σκληρό υλικό, κατάλληλο για την συγκεκριμένη δουλεία.



Εικόνα 23 3D εκτυπωτής Da Vinci 1.0 Pro

Μετά την διαδικασία της εκτύπωσης, όλα τα κομμάτια των καλουπιών επεξεργάστηκαν ελαφρά κυρίως στις ακμές τους. Αυτό επιβάλλεται για να εξομαλυνθούν τυχόν αιχμηρές επιφάνειες, οι οποίες δημιουργούν τον κίνδυνο τραυματισμού του επενεργητή. Επιπλέον έχουμε καλύτερο συνολικό αποτέλεσμα στις επιφάνειες του επενεργητή.



Εικόνα 24 Τα εκτυπωμένα τμήματα του καλουπιού του επενεργητή

2.8 Υλικά επενεργητή

Έχοντας υπόψιν τις ελαστικές ιδιότητες που απαιτούνται να έχουν οι επενεργητές και τα χαρακτηριστικά που παρουσίαζαν οι έρευνες από το πανεπιστήμιο του Harvard²⁶, χρησιμοποιήθηκε αρχικά η σιλικόνη που προϋπήρχε στο εργαστήριο. Μια σιλικόνη της εταιρείας Zhermack με ονομασία ZA 22 MOULD, ειδική για την κατασκευή καλουπιών. Οι τιμές των χαρακτηριστικών της ήταν αρκετά κοντά με την Elastosil M4601 και την Ecoflex 30 που είχαν προταθεί από το Harvard. Ωστόσο η σκληρότητα της στα 22 Shore της κλίμακας A, την έκανε αρκετά ελαστική με αποτέλεσμα να κάμπτεται ο επενεργητής παραπάνω από το επιθυμητό. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μην έχει δύναμη στην συγκράτηση κατά την φόρτιση του με αέρα και να είναι αρκετά ευαίσθητος ο επενεργητής σε φθορές.

Στην συνέχεια επιλέχθηκε από την ίδια εταιρεία η σιλικόνη με ονομασία ZA 30-60, η οποία είχε σκληρότητα 30 Shore της κλίμακας A και έφερε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Αντίστοιχα και αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή καλουπιών σε βιομηχανικά εξαρτήματα από χυτό πλαστικό, σε τεχνοτροπίες διακόσμησης χώρων, καθώς και σε διάφορες καλλιτεχνικές δραστηριότητες. Είναι σιλικόνη δύο συστατικών και η κατάλληλη δοσολογία είναι 50-50 για να δέσει σωστά σύμφωνα με τον κατασκευαστή.



Εικόνα 25 Σιλικόνη ZA 30-60 της εταιρείας Zhermack

Από τα χαρακτηριστικά που δίνει η εταιρεία για την συγκεκριμένη σιλικόνη (Εικόνα 26), παρατηρούμε ότι μπορούμε να την επεξεργαστούμε 70-90 λεπτά μετά την ένωση των συστατικών, ενώ για να στεγνώσει και να πάρει την τελική της μορφή χρειάζεται περίπου 6-8 ώρες σε θερμοκρασία περίπου 23 °C. Ωστόσο για να είμαστε σίγουροι και για να μην έχουμε κάποια αστοχία σε σημεία που δεν έχουν σταθεροποιηθεί πλήρως, καλό είναι να την αφήσουμε να στεγνώσει καλά για ένα 24ωρο.

Chemical and Physical Properties

Vulcanized product

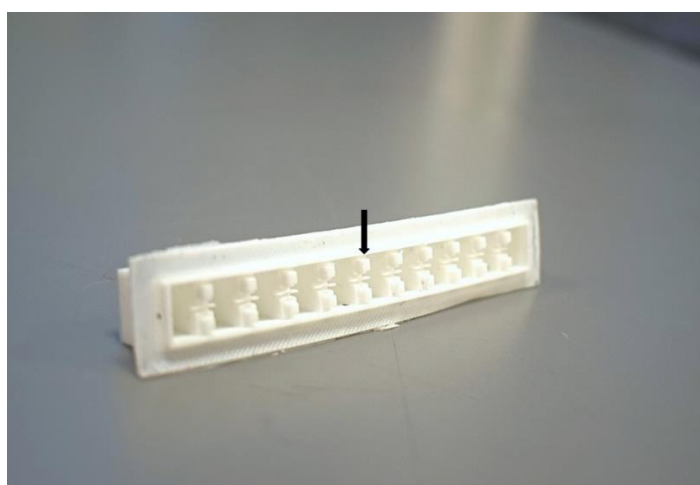
Mixing ratio	1 : 1
Viscosity of pre-catalyzation mixture	5000 - 7000 cP
Density of the Base component (g/cc)	1,13
Density of the Catalyst component (g/cc)	1,14
Working time at 23 °C (73 °F)	WT= 70-90'
Setting time at 23 °C (73 °F)	ST= 6/8 hours
Shore A hardness after 24 hours	30 ± 2 shA
Breaking load	5.5 ± 0.2 N/mm ²
Elongation at break	500 ± 30 %
Tear strength	>18 ± 1 N/mm
Reproduction of details	2 micron
Dimensional variation after 24 hours	-0.05 %

6. Available Packages

Zhermack code	Packages
DT24071	5 kg + 5 kg
DT24072	25 kg + 25 kg

Εικόνα 26 Χαρακτηριστικά σιλικόνης ZA 30-60 της εταιρείας Zhermack

Βασικό χαρακτηριστικό της σιλικόνης είναι η απόδοση της αντιγραφής, στην οποία μας δίνει ο κατασκευαστής 2 micron, κάτι το οποίο βοηθάει στην απαιτητική γεωμετρία του καλουπιού σε κάποια σημεία. Για παράδειγμα όπως φαίνεται στην Εικόνα 27 τα σημεία τα οποία συγκρατούν το πάνω μέρος του επενεργητή με τον πάτο του, έχουν διάσταση 2x2 mm, και είναι σημαντικό να έχουμε καλή απόδοση στην αντιγραφή τους, για να λειτουργεί σωστά ο επενεργητής.



Εικόνα 27 Σημεία 2x2mm τα οποία συγκρατούν το πάνω μέρος του επενεργητή με τον πάτο του

2.9 Διαδικασία κατασκευής επενεργητή

Για να μπορέσουμε να έχουμε καλά αποτελέσματα στην κατασκευή του επενεργητή, βασικό είναι να υπάρχει καλή προετοιμασία.

Αρχικά με την χρήση μονωτικής ταινίας κλείνουμε τα κενά που υπάρχουν μεταξύ του πάνω και του κάτω τμήματος του καλουπιού. Είναι σημαντικό να γίνει προσεκτικά αυτή η διαδικασία για να μην έχουμε απώλειες υλικού κατά την διάρκεια σταθεροποίησης του. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την πτώση της στάθμης της σιλικόνης μέσα στο καλούπι και κατά συνέπεια την δημιουργία επενεργητή με λεπτότερα τοιχώματα.



Εικόνα 28 Διαδικασία μόνωσης των δύο τμημάτων του καλουπιού

Στην συνέχεια με την χρήση της ζυγαριάς ακριβείας του εργαστηρίου και έναν δοσομετρητή, τοποθετούμε 15 gr βάσης και 15 gr καταλύτη για να έχουμε συνολικά 30 gr σιλικόνης. Αναδεύουμε προσεκτικά για μερικά λεπτά το μίγμα μέχρι να γίνει το υλικό ομοιογενές, αλλιώς υπάρχει περίπτωση να μην σταθεροποιηθεί σωστά.



Εικόνα 29 Διαδικασία ζυγίσματος της σιλικόνης

Τοποθετούμε τον δοσομετρητή στον θάλαμο υποπίεσης για 5 λεπτά ώστε να αποδεσμευτεί ο αέρας που έχει παγιδευτεί κατά τη ανάδευση. Στην περίπτωση που συνεχίζουν να βγαίνουν φουσαλίδες προς την επιφάνεια, αφήνουμε την σιλικόνη λίγο παραπάνω στον θάλαμο υποπίεσης για να αποφευχθεί ο κίνδυνος πιθανής αστοχίας του υλικού.



Εικόνα 30 Θάλαμος υποπίεσης MK Technology Mini

Βγάζουμε τον δοσομετρητή από το θάλαμο υποπίεσης και ρίχνουμε σιγά σιγά τη σιλικόνη μέσα στο καλούπι του επενεργητή καθώς και στο καλούπι που σχηματίζει τον πάτο του. Προσέχουμε στο πάνω μέρος του καλουπιού να είναι καθαρά τα χωρίσματα ώστε να είναι ευκολότερη η διαδικασία του ξεκαλουπώματος.

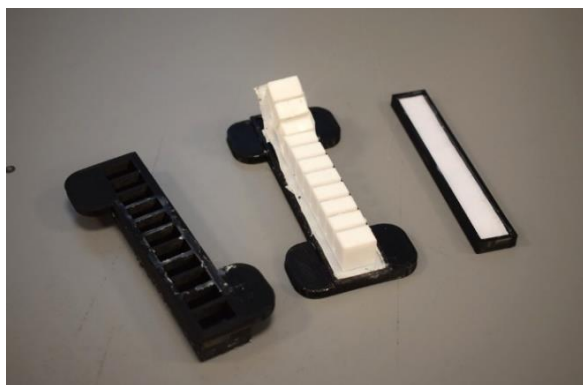
Στο καλούπι του πάτου τοποθετούμε σιλικόνη μέχρι την μέση. Αυτό διότι όταν ενώσουμε το πάνω μέρος του επενεργητή με το κάτω, θα συμπληρώσουμε σιλικόνη για να ενωθούν τα δύο τμήματα. Επίσης στο στάδιο αυτό βάζουμε και ένα κομμάτι χαρτί πάνω στην σιλικόνη του πάτου, για να κάνει τον επενεργητή μη εκτατό στον οριζόντιο άξονα. Στην συνέχεια τοποθετούμε τα καλούπια ξανά στον θάλαμο υποπίεσης για να διαφύγει ο αέρας που έχει παγιδευτεί μέσα τους κατά την διάρκεια χύτευσης. Μετά από αυτήν την διαδικασία τα αφήνουμε σε ένα εντελώς επίπεδο σημείο και προσέχουμε τις επόμενες 2 ώρες στην περίπτωση που χρειάζεται να συμπληρώσουμε σιλικόνη.



Εικόνα 31 Τα αποτελέσματα μετά την χύτευση της σιλικόνης στο καλούπι

Αφού αφήσουμε την σιλικόνη να στεγνώσει καλά ένα 24ωρο ξεκαλουπώνουμε προσεχτικά το πάνω μέρος του επενεργητή (Εικόνα 32). Χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στο εργαλείο που θα χρησιμοποιήσουμε για να ανοίξουμε το καλούπι ώστε να μην τραυματίσουμε τα τοιχώματα του.

Στην συνέχεια με την χρήση του εργαλείου τρυπήματος κάνουμε μια τρύπα στην μία άκρη του επενεργητή. Εκεί θα τοποθετηθεί εξάρτημα σύνδεσης λάστιχων, ώστε να δημιουργηθεί στόμιο στον επενεργητή και να έχουμε την δυνατότητα αργότερα να συνδέσουμε το λάστιχο αέρα. Αφού περάσουμε το στόμιο από την μέσα μεριά, ρίχνουμε κόλλα στιγμής στα όρια της τρύπας και του στομίου από μέσα και έξω, ώστε να κολλήσουν καλά και να μην έχουμε απώλεια αέρα.

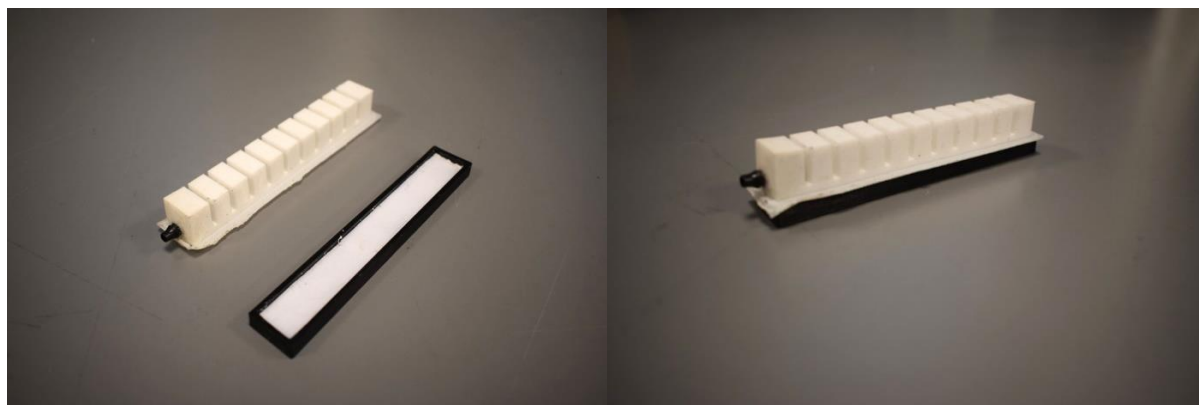


Εικόνα 32 Ξεκαλούπωμα του επενεργητή



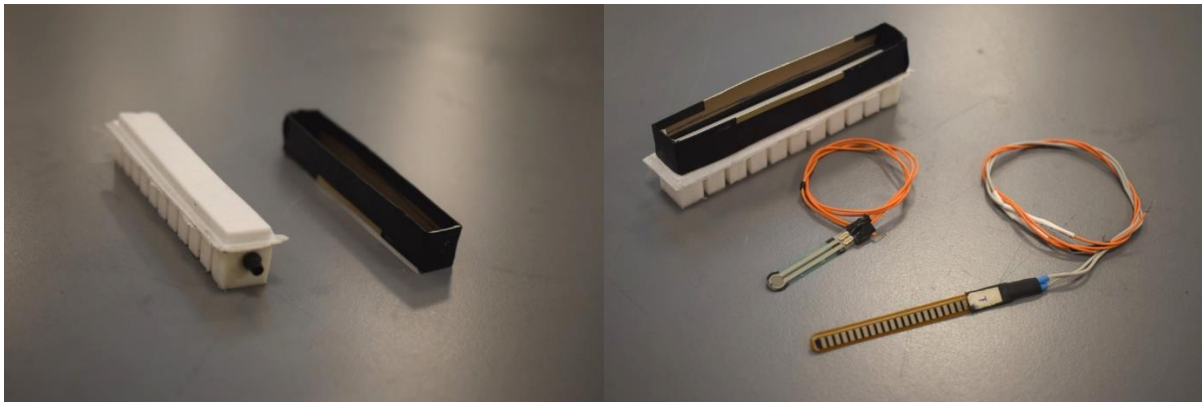
Εικόνα 33 Τοποθέτηση του στομίου στον επενεργητή

Αφήνουμε την κόλλα να στεγνώσει καλά, ενώ παράλληλα φτιάχνουμε 10 gr σιλικόνης για να ενώσουμε το πάνω μέρος του επενεργητή με τον πάτο του. Τοποθετούμε τον δοσομετρητή μέσα στον θάλαμο υποπίεσης για 5 λεπτά. Στην συνέχεια αφού ρίξουμε την σιλικόνη στο καλούπι του πάτου που βρίσκεται το φύλλο στεγνής σιλικόνης με το χαρτί, ακουμπάμε προσεχτικά το πάνω μέρος του επενεργητή. Είναι σημαντικό στο στάδιο αυτό να προσέξουμε την ποσότητα σιλικόνης καθώς και την πίεση που θα ασκήσουμε ώστε να μην καλυφθούν οι δίοδοι του αέρα στο εσωτερικό του επενεργητή. Αφήνουμε άλλο ένα 24ωρο να στεγνώσει καλά η σιλικόνη της ένωσης, ώστε να μην έχουμε απώλειες αέρα. Το ζητούμενο στο στάδιο αυτό είναι τα δύο τμήματα να γίνουν ένα σώμα.



Εικόνα 34 Ένωση του πάνω μέρους του επενεργητή με τον πάτο του

Τοποθετούμε το καλούπι που έχουμε φτιάξει από χαρτόνι στον πάτο του επενεργητή και το κολλάμε με θερμόκολλα για να μην έχουμε διαρροές της σιλικόνης κατά την χύτευση. Στο στάδιο αυτό, άμα έχουμε επιλέξει να τοποθετήσουμε κάποιους αισθητήρες, τους ντύνουμε με μονωτική ταινία για προστασία και τους τοποθετούμε μέσα στο χάρτινο καλούπι, σε επαφή με το πάτο του επενεργητή. Σημαντικό στην παραπάνω περίπτωση είναι, κατά την χύτευση να σπρώξουμε προσεκτικά τον αισθητήρα προς τα κάτω και να το στερεώσουμε με τρία συρματάκια κατά μήκος όλης της έκτασής του, διότι θα έχει την τάση να ανεβαίνει προς την επιφάνεια. Στην διαδικασία αυτή θα χρειαστούμε περίπου 10gr σιλικόνης. Μετά την χύτευση αφήνουμε άλλο ένα 24ωρο να σταθεροποιηθεί το υλικό.



Εικόνα 35 Διαδικασία ενίσχυσης του πάτου του επενεργητή και τοποθέτηση αισθητήρων

Στο τελικό στάδιο αφαιρούμε το χάρτινο καλούπι και τοποθετούμε το σωληνάκι διαμέτρου Φ6 για να ξεκινήσουμε τις δοκιμές. Πριν την διεξαγωγή πειραμάτων είναι υποχρεωτικό να ελέγξουμε τον επενεργητή για τυχόν αστοχίες στα τοιχώματά του. Η πιο αποτελεσματική διαδικασία είναι να φουσκώσουμε τον επενεργητή με αέρα, να τον τοποθετήσουμε σε ποτήρι με νερό και να παρατηρήσουμε εάν δημιουργούνται φυσαλίδες.



Εικόνα 36 Τελική μορφή επενεργητή

2.10 Πνευματική διάταξη χειρισμού επενεργητών- δαχτύλων

Για να μπορέσουμε να δώσουμε κίνηση στους επενεργητές-δάχτυλα και να έχουμε μία ελεγχόμενη κατάσταση ανάλογα με την εκάστοτε εργασία, είναι απαραίτητο να στηθεί μία πνευματική διάταξη. Για να φτιαχτεί η διάταξη αυτή χρησιμοποιήθηκαν απλά εξαρτήματα του εργαστηρίου τα οποία δεν έχουν ιδιαίτερα μεγάλο κόστος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το δίκτυο του εργαστηρίου για την παροχή αέρα, αλλά σε κάθε περίπτωση είναι εφικτό για τις πιέσεις που χρειαζόμαστε η τοποθέτηση και μιας απλής αεραντλίας.

Τα εξαρτήματα που θα χρειαστούμε είναι ένας ρυθμιστής πίεσης, μία ηλεκτροβαλβίδα 5/2 και ένας στραγγαλιστής ροής. Αυτή είναι και η πιο απλή μορφή πνευματικής διάταξης που χρειαζόμαστε για να ελέγχουμε την αρπάγη. Στην περίπτωση που θέλουμε να έχουμε ανεξάρτητο έλεγχο του κάθε επενεργητή, μπορούμε να τοποθετήσουμε στον καθένα από έναν στραγγαλιστή ροής και μια ηλεκτροβαλβίδα.

2.11 Εξαρτήματα πνευματικής διάταξης χειρισμού επενεργητών



Εικόνα 37 Ρυθμιστής πίεσης



Εικόνα 38 ηλεκτροβαλβίδα 521 ME



Εικόνα 39 στραγγαλιστής ροής RFU 1/8.3

Ρυθμιστής πίεσης

Αρχικά θα χρησιμοποιήσουμε τον ρυθμιστή πίεσης για να μειώσουμε την πίεση του αέρα στα 1.5 bar περίπου, από τα 10 bar του δίκτυο του εργαστηρίου. Σε διάφορες περιπτώσεις είναι πιθανόν να χρειαστεί αυξομείωση της πίεσης 0.2 bar, ανάλογα με τη φύση τη εργασίας και την δύναμη που θέλουμε να έχουμε στους επενεργητές. Επιπλέον ανάλογα με τον αριθμό επενεργητών που τοποθετούμε κάθε φορά στην αρπάγη χρειαζόμαστε επιπλέον πίεση αέρα παραπάνω. Για να ρυθμίσουμε την πίεση του αέρα χρησιμοποιήσαμε τον ρυθμιστή MC EAR2000-F02.

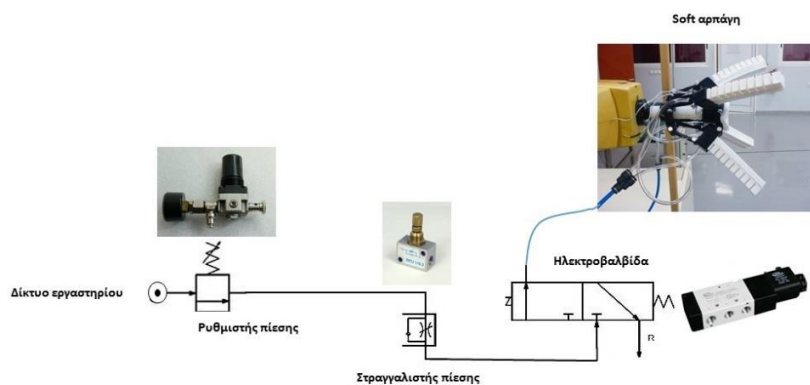
Ηλεκτροβαλβίδα 5/2

Μετά τον ρυθμιστή πίεσης συνδέουμε στην πνευματική διάταξη την ηλεκτροβαλβίδα με την οποία μπορούμε να ελέγχουμε πότε θα ανοίγει και πότε θα κλείνει το κύκλωμα. Για την συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήσαμε την ηλεκτροβαλβίδα 521 ME, η οποία έχει 5 εισόδους- εξόδους και μπορεί να βρίσκεται σε δύο καταστάσεις, είτε κλειστή, είτε ανοιχτή. Έχει στο εσωτερικό της ένα ελατήριο το οποίο όταν δεν περνάει ρεύμα κλείνει την μία έξοδο και έχει ανοιχτή την άλλη. Στην συγκεκριμένη περίπτωση μένει ανοιχτή αυτή που απελευθερώνει αέρα στην ατμόσφαιρα, ενώ όταν περνάει γίνεται το ανάποδο.

Στραγγαλιστής ροής

Στη συνέχεια της διάταξης συνδέσαμε έναν στραγγαλιστή ροής με τον οποίο μπορούμε να ρυθμίσουμε τη παροχή του αέρα. Ελέγχοντας την παροχή του αέρα μπορούμε να έχουμε τον έλεγχο της ταχύτητας των επενεργητών στο άνοιγμα και το κλείσιμο. Ο στραγγαλιστής ροής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο RFU 1/8.3. Είναι πολύ σημαντικό να έχουμε τον έλεγχο της ταχύτητας των επενεργητών διότι μπορούμε έτσι να προσαρμόζουμε την ταχύτητα τους ανάλογα με την εργασία που πραγματοποιούν.

Τα παραπάνω εξαρτήματα στήθηκαν στο εργαστήριο όπως φαίνεται στην Εικόνα 40.



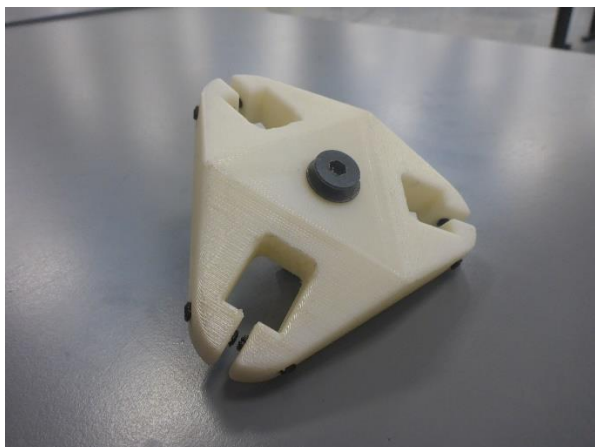
Εικόνα 40 Πνευματική διάταξη χειρισμού επενεργητών

2.12 Λειτουργία επενεργητών- δαχτύλων

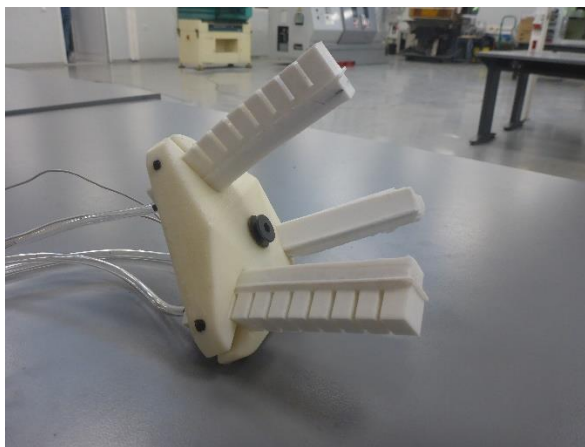
Μετά την ολοκλήρωση του επενεργητή και την σύνδεση του στην πνευματική διάταξη, έγιναν κάποιες αρχικές δοκιμές στην λειτουργία του. Χρειάστηκε ένα μικρό πείραμα για να βρεθεί το κρίσιμο σημείο αντοχής του σε πίεση. Αρχικά παρατηρήθηκε, όπως ήταν λογικό, ότι όσο αυξανόταν η πίεση του αέρα στο εσωτερικό του επενεργητή, τόσο ασκούσε μεγαλύτερη δύναμη στο άκρο του. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι άμα βρούμε το οριακό σημείο αντοχής των τοιχωμάτων του επενεργητή, μπορούμε να βρούμε το ιδανικό σημείο λειτουργίας του, στο οποίο ο επενεργητής δίνει την μέγιστη δύναμη που μπορεί χωρίς τον κίνδυνο καταστροφής του.

Επομένως η πρώτη διεργασία που πραγματοποιήθηκε, ήταν να δώσουμε ορισμένες τιμές στον ρυθμιστή πίεσης και να δούμε την συμπεριφορά του επενεργητή μέχρι το σημείο αντοχής των τοιχωμάτων. Αρχικά αυξήσαμε την πίεση στο 1 bar και ο επενεργητής καμπύλωσε ελαφρά στο κάτω μέρος του. Στην συνέχεια αυξάνοντας σταδιακά την πίεση η καμπυλότητα του αυξανόταν ανάλογα, μέχρι την πίεση των 1.5 bar, που το άκρο του επενεργητή είχε φτάσει στην βάση του. Τελικά η δύναμη του επενεργητή αυξανόταν συνεχώς με τη αύξηση της πίεσης του αέρα, μέχρι το σημείο που δημιουργήθηκε ρήξη στο τοίχωμα του. Η τιμή της πίεσης στο σημείο ρήξης των τοιχωμάτων του επενεργητή, ήταν στα 1.9 bar.

Στην πρώτη δοκιμή της αρπάγης, τοποθετήσαμε τους επενεργητές σε μία βάση με τρεις υποδοχές Εικόνα 41. Η αρχική γωνία των επενεργητών σε σχέση με την βάση ήταν στις 115°. Αφού συνδέσαμε την αρπάγη με το πνευματικό σύστημα έγιναν κάποιες πρώτες δοκιμές συγκράτησης. Τα αποτελέσματα ήταν αρκετά ενθαρρυντικά στην συγκράτηση αντικειμένων, ειδικά στην περίπτωση που τα αντικείμενα τοποθετούνταν στο μέσο της βάσης και σε επαφή με αυτήν (ιδανική θέση συγκράτησης).



Εικόνα 41 Σταθερή βάση αρπάγης



Εικόνα 42 Τοποθέτηση επενεργητών στην βάση

Για να μπορέσουμε να έχουμε πιο ολοκληρωμένη εικόνα για την λειτουργία της, τοποθετήσαμε την αρπάγη στο βραχίονα του εργαστηρίου.



Εικόνα 43 Βραχίονας Mitsubishi RV-2A

Έγιναν δοκιμές της αρπάγης σε αντικείμενα με διαφορετικό μέγεθος, βάρος και σχήμα και μελετήσαμε την απόκλιση σφάλματος στο εύρος της απόστασης συγκράτησης.

Αυτό που παρατηρήθηκε ήταν ότι η αρχική γωνία των επενεργητών-δαχτύλων σε σχέση με την βάση της αρπάγης (115°) πριν την πλήρωση τους με αέρα, περιόριζε πολύ το μέγεθος των αντικειμένων που μπορούσε να αγκαλιάσει η αρπάγη. Αντικείμενα μεγαλύτερα από ένα μπαλάκι του τένις, δεν μπορούσαν να φτάσουν στην βάση της αρπάγης, διότι ήταν πολύ κοντά οι επενεργητές μεταξύ τους, μειώνοντας έτσι τον χώρο συγκράτησης αντικειμένων.

Στην διαδικασία απόκλισης σφάλματος στο εύρος της απόστασης συγκράτησης, η αρπάγη υστερούσε πολύ στις κινήσεις του βραχίονα δεξιά- αριστερά του αντικειμένου (y άξονας). Δεν μπορούσε δηλαδή να κάνει αποτελεσματική συγκράτηση σε απόσταση μεγαλύτερη των 20 mm. Τέλος όσον αφορά την ευθεία απόσταση από το αντικείμενο (x άξονας), η οριακή τιμή της ήταν στα 30 mm.

Έχοντας υπόψιν τα παραπάνω αποτελέσματα, αποφασίσαμε να σχεδιάσουμε μία καινούρια βάση για την αρπάγη, στην οποία θα έχουμε δυνατότητα να ρυθμίζουμε τις παραμέτρους αυτές. Μια βάση στην οποία θα μπορούμε να τοποθετούμε παραπάνω επενεργητές και σε περισσότερες θέσεις, καθώς και να αλλάζουμε την αρχική τους γωνία ανάλογα με τις απαιτήσεις της εργασίας.

3ο Κεφάλαιο

3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται εκτενής περιγραφή της σχεδίασης και της κατασκευής της βάσης της αρπάγης, πάνω στην οποία τοποθετήθηκαν οι Fast Pneu-Nets επενεργητές. Παρουσιάζονται τα σχέδια των εξαρτημάτων και γίνεται μια πρώτη συναρμολόγηση της αρπάγης με τρεις και τέσσερις επενεργητές. Επιπλέον δίνονται οι εικόνες των σχεδίων με τις τρεις νέες αρχικές γωνίες ανοίγματος των επενεργητών-δαχτύλων (90° , 100° , 110°).

3.2 Σχεδιασμός νέας βάσης αρπάγης

Οι περιορισμοί της σταθερής βάσης με συγκεκριμένη αρχική γωνία και αριθμό επενεργητών, μας οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι με την δυνατότητα εναλλαγής τους, έχουμε περισσότερες πιθανότητες ενός σωστού κρατήματος. Σωστό κράτημα θεωρείται ένα στιβαρό κράτημα στο οποίο δεν υπάρχει κίνδυνος πτώσης του αντικειμένου, ούτε κίνδυνος καταστροφής της επιφάνειας του (στην περίπτωση ευαίσθητου αντικειμένου) ή της ίδιας της αρπάγης. Για το λόγω αυτό σχεδιάσαμε από την αρχή μια καινούρια βάση, με δυνατότητα εναλλαγής της αρχικής γωνίας ανοίγματος των επενεργητών, χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα solidworks 2016.

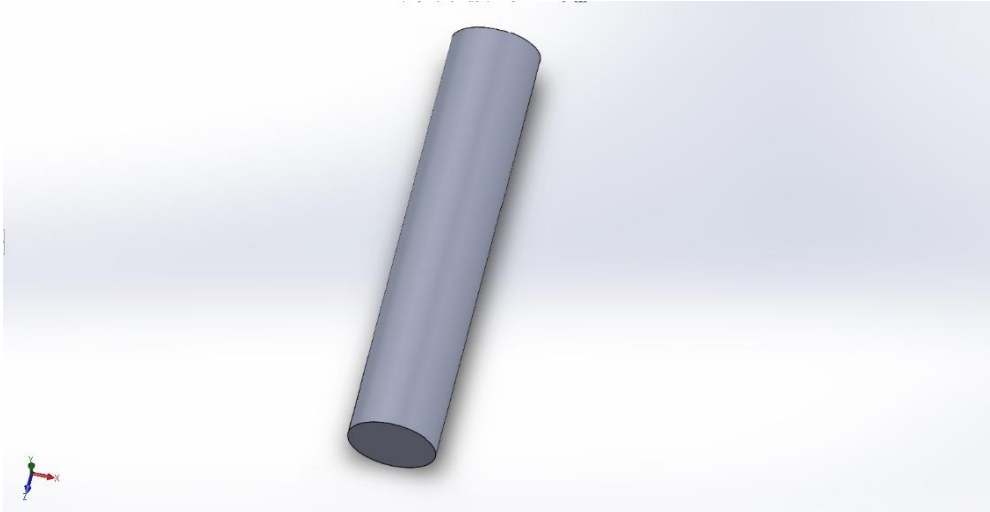
Κορμός βάσης



Εικόνα 44 Σχέδιο του κορμού της βάσης

Το εξάρτημα αυτό αποτελείται από έναν δίσκο πάνω στον οποίο βρίσκονται οι οπές στις οποίες θα τοποθετηθούν οι επενεργητές. Στο κάτω μέρος του υπάρχει μια τρύπα $\Phi 20$ μέσα στην οποία θα σφηνώσει ο άξονας της βάσης.

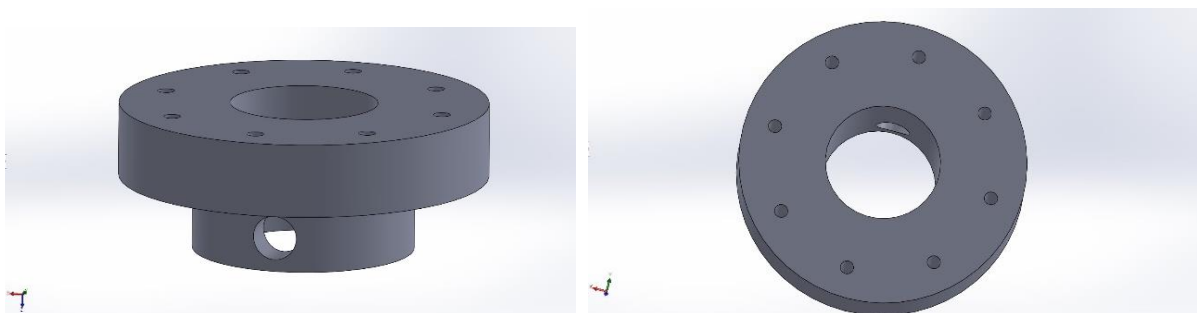
Άξονας



Εικόνα 45 Σχέδιο του άξονα της βάσης

Ο άξονας με διάμετρο $\Phi 19.8$ σφηνώνει στο κάτω μέρος του κορμού της βάσης ώστε να είναι ένα σώμα. Κατά μήκος του, το οποίο είναι 15cm, ολισθαίνει ο ρυθμιστής κλήσης των επενεργητών. Πάνω στον άξονα υπάρχουν επιπλέον 4 οπές στις οποίες ανάλογα με την επιθυμητή αρχική γωνία των επενεργητών, τοποθετούμε έναν πίρο ο οποίος κρατάει σταθερά τον ρυθμιστή κλήσης.

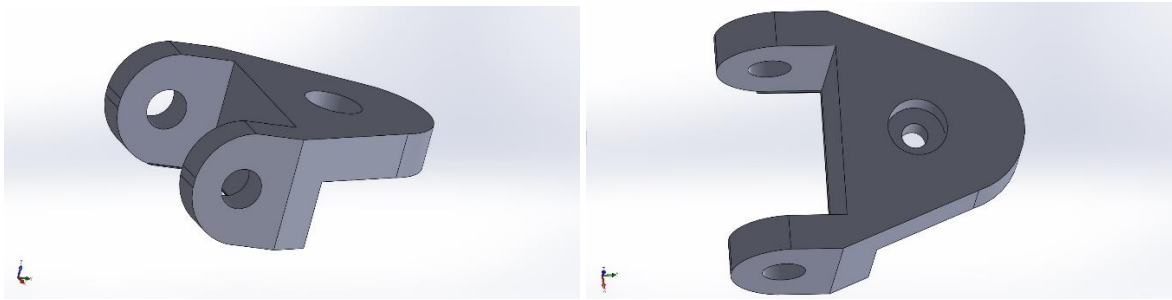
Ρυθμιστής κλήσης επενεργητών



Εικόνα 46 Σχέδιο του ρυθμιστή κλήσης επενεργητών

Ο ρυθμιστής κλήσης των επενεργητών είναι ένας δίσκος με οπές ίδιες με εκείνες του κορμού, για να στερεώνεται το κάτω μέρος του εξαρτήματος που κρατάει τους επενεργητές. Στο κέντρο έχει μια οπή $\Phi 19.5$ ώστε να ολισθαίνει στον άξονα με ευκολία. Επιπλέον υπάρχει άλλη μια τρύπα στο κάτω μέρος για να κλειδώνει με τον πίρο στο επιθυμητό σημείο πάνω στον άξονα.

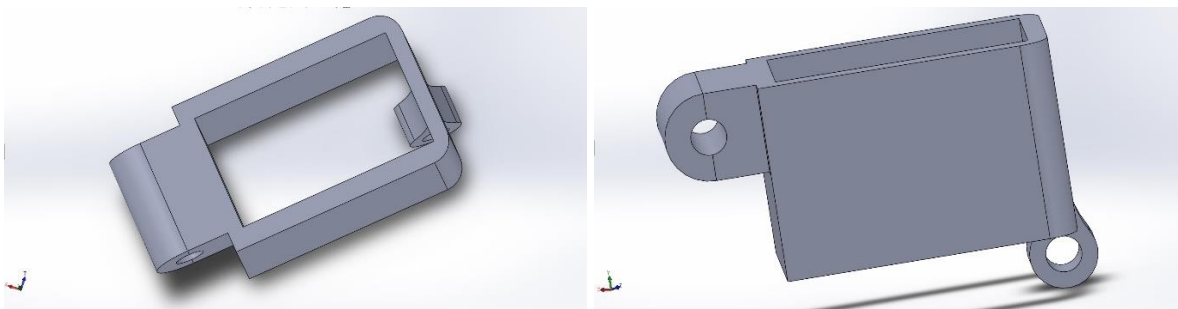
Στηρίγματα



Εικόνα 47 Σχέδιο στηρίγματος

Τα στηρίγματα είναι αυτά τα οποία κρατάνε την βάση των επενεργητών στους δύο δίσκους, του κορμού και του ρυθμιστή κλήσης. Η κεντρική οπή είναι αυτή η οποία τα σταθεροποιεί στους δίσκους με μία βίδα και οι άλλες δύο συγκρατούν τον σύνδεσμο και την βάση του επενεργητή με έναν πύρο.

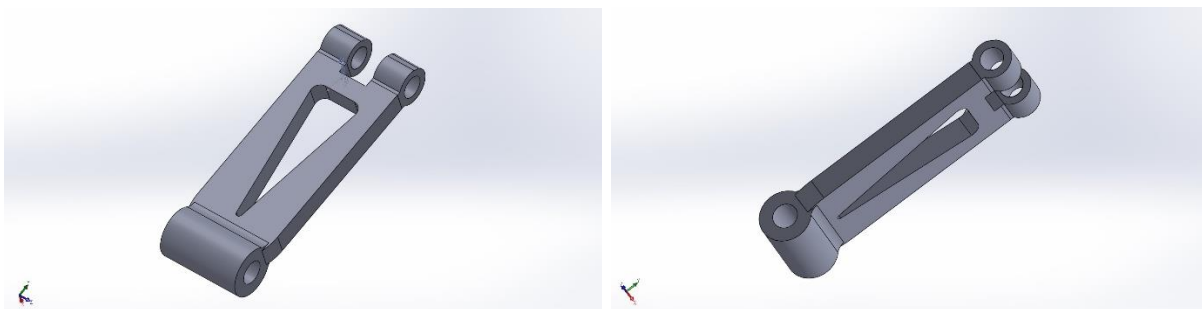
Βάση επενεργητή



Εικόνα 48 Σχέδιο βάσης επενεργητή

Η βάση του επενεργητή έχει μία ορθογώνια τρύπα για να συγκρατεί το ένα άκρο του. Στην μία πλευρά έχει οπές τις οποίες διαπερνά ο πύρος και ενώνεται με το πάνω στηρίγμα. Στο κάτω μέρος επίσης έχει οπές τις οποίες διαπερνά ο πύρος που την συνδέει με τον σύνδεσμο.

Σύνδεσμος

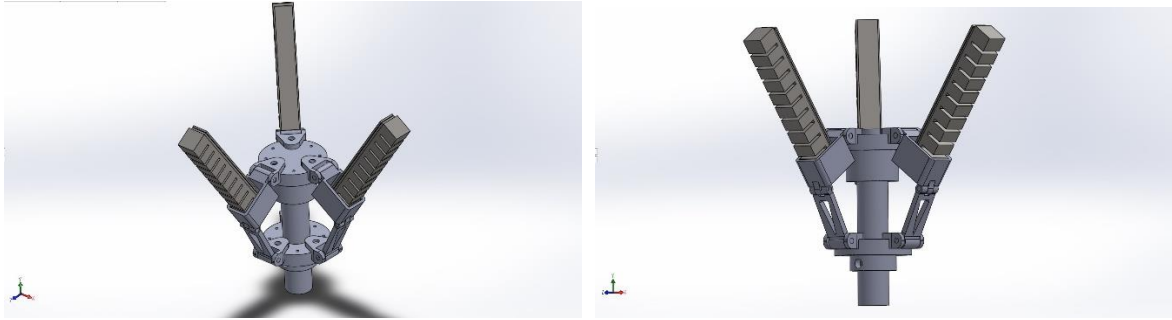


Εικόνα 49 Σχέδιο συνδέσμου

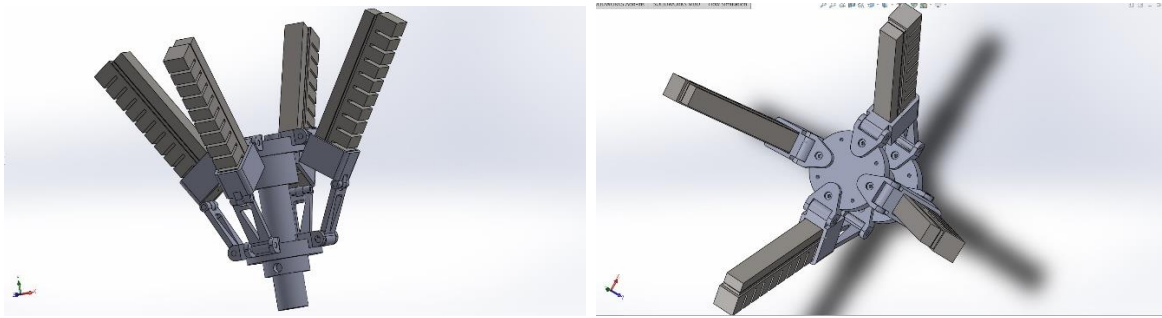
Ο σύνδεσμος είναι το νεύρο που ενώνει την βάση του επενεργητή με τον ρυθμιστή κλήσης. Οι οπές στα άκρα του συνδέονται στο πάνω μέρος με την βάση του επενεργητή με πύρο και στο κάτω

μέρος με τον ρυθμιστή κλήσης με τον ίδιο τρόπο. Το κενό που έχει στην μέση σε τριγωνικό σχήμα, είναι για να μπορεί να περνάει το σωληνάκι του αέρα που δίνει κίνηση στους επενεργητές, αλλά παράλληλα του δίνει τέτοια γεωμετρία ώστε να είναι ανθεκτικό.

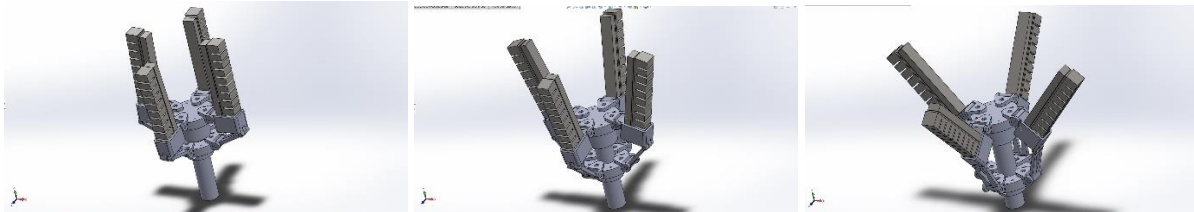
Συναρμολογημένη η βάση



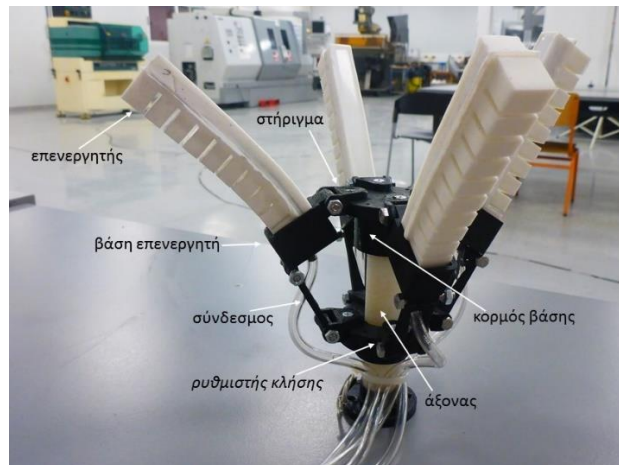
Εικόνα 50 Βάση με τρεις επενεργητές- δάχτυλα



Εικόνα 51 Βάση με τέσσερις επενεργητές- δάχτυλα



Εικόνα 52 Βάση με αρχική γωνία επενεργητών- δαχτύλων 90°, 100°, 110°



Εικόνα 53 Συναρμολογημένη η αρπάγη



Εικόνα 54 Προσδιορισμός μοιρών στις σπές του άξονα

Στην Εικόνα 54 παρατηρούμε με κόκκινα σημεία τις σπές που βρίσκονται πάνω στον άξονα. Μέσα σε αυτές τοποθετείτε ο πίσος, ο οποίος στερεώνει τον ρυθμιστή κλήσης στην εκάστοτε κάθε φορά γωνία ανοίγματος των επενεργητών-δαχτύλων.

4ο Κεφάλαιο

4.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο 4 παρουσιάζονται τρία διαφορετικά πειράματα τα οποία πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο, για να μπορέσουμε να δώσουμε κάποια πρώτα βασικά χαρακτηριστικά της αρπάγης. Αρχικά έγιναν δοκιμές σε δέκα διαφορετικά αντικείμενα με διαφορετική γεωμετρία και βάρος και παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα σε οριζόντια και κάθετη λαβή. Στο δεύτερο πείραμα, η αρπάγη τοποθετήθηκε στο άκρος ενός βραχίονα και πραγματοποιήθηκαν δοκιμές συγκράτησης μίας τομάτας, θέτοντας κάθε φορά διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους. Το πείραμα αυτό εκτελέστηκε με διαφορετικά κάθε φορά ανοίγματα της αρπάγης (90° , 100° , 110°). Τέλος η αρπάγη υποβλήθηκε σε έλεγχο συγκράτησης φορτίου για να προσδιοριστεί, η μέγιστη τιμή βάρους ανάλογα τον αριθμό των επενεργητών.

4.2 Πειραματικά αποτελέσματα

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της βάσης που σχεδιάστηκε, επιβαλλόταν να γίνουν κάποια πειράματα για να μελετηθούν οι δυνατότητες της σε διαφορετικές συνθήκες και αντικείμενα.

Στο πρώτο πείραμα μελετήθηκε η αρπάγη με τέσσερις επενεργητές, στην συγκράτηση διαφόρων καθημερινών αντικειμένων. Έγινε δοκιμή σε οριζόντια θέση της αρπάγης σε σχέση με το αντικείμενο, καθώς και σε κάθετη. Έτσι έχουμε και μία εικόνα στο κατά πόσο είναι αποτελεσματική η αρπάγη στην συγκράτηση αντικειμένων σε συνθήκες παραγωγής, όπως είναι πχ. στην διαδικασία του κυλιόμενου διαδρόμου.

Στην δεύτερη πειραματική διαδικασία, μελετήσαμε την απόκλιση σφάλματος στο εύρος της απόστασης συγκράτησης, σε τρεις διαφορετικές τιμές των αρχικών γωνιών των επενεργητών (90° , 100° , 110°). Αλλάζοντας τις μοίρες στην γωνία των επενεργητών, αλλάζουμε το άνοιγμα πιασίματος της αρπάγης συνολικά. Αυτό της δίνει την δυνατότητα, όσο μεγαλώνει η αρχική γωνία, να μπορεί να συγκρατεί αντικείμενα τα οποία βρίσκονται σε μεγαλύτερη απόσταση από το σημείο μηδέν του

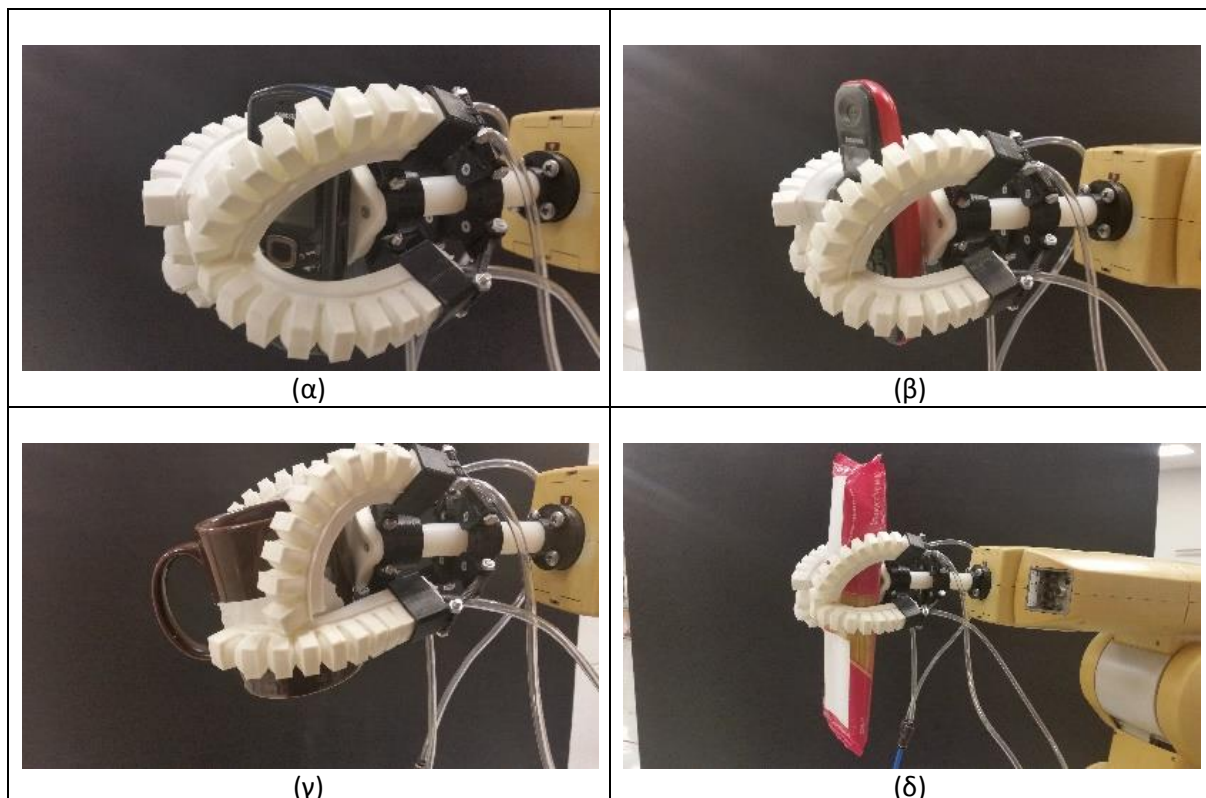
ιδανικού πιασίματος. Επιπλέον μπορεί να πιάνει καλύτερα αντικείμενα με μεγαλύτερο μέγεθος, αγκαλιάζοντας τα σε όλη τη έκταση της επιφάνειάς τους.

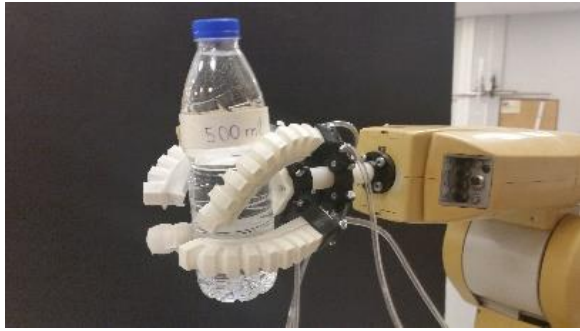
Στην τρίτη πειραματική διαδικασία γίνεται δοκιμή συγκράτησης βάρους για να εντοπίσουμε την δύναμη που έχουν οι επενεργητές ανάλογα με τον αριθμό τους. Γεμίζοντας ένα μπουκάλι με νερό βρίσκουμε τις εκάστοτε οριακές τιμές συγκράτησης της αρπάγης.

4.3 Συγκράτηση διαφορετικών αντικειμένων

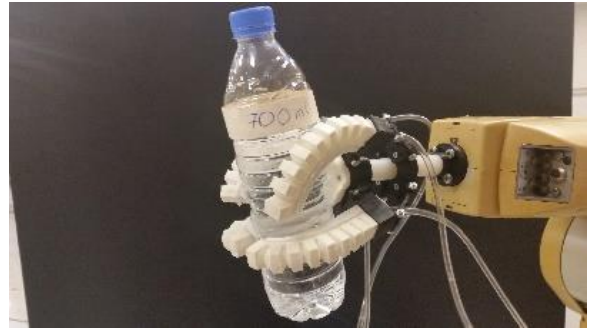
Η πρώτη πειραματική διαδικασία η οποία πραγματοποιήθηκε πάνω στην κατασκευή της αρπάγης, είναι η αποτελεσματική συγκράτηση 10 αντικειμένων με διαφορετική γεωμετρία, επιφάνεια και βάρος. Στο σημείο αυτό να τονίσουμε ότι προστέθηκε κομμάτι σιλικόνης πάχους 5mm στη βάση της αρπάγης. Με τον τρόπο αυτόν αποτρέπεται ο τραυματισμός των αντικειμένων στη κατεύθυνση x της αρπάγης (Εικόνα 57). Παράλληλα αποτρέπει την ολίσθηση των αντικειμένων στο σημείο επαφής με τη βάση η οποία είναι κατασκευασμένη από PLA υλικό.

Το πείραμα αυτό πραγματοποιήθηκε με τέσσερις επενεργητές στην βάση της αρπάγης και με την αρχική γωνία επενεργητών να προσαρμόζεται ανάλογα το αντικείμενο. Οι γωνίες κυμαίνονταν μεταξύ 90° και 110°, ανάλογα με την αποτελεσματικότερη συγκράτηση κάθε φορά. Όπως παρατηρούμε και στην Εικόνα 55, η αρπάγη έχει καλύτερα αποτελέσματα στην οριζόντια συγκράτηση σε σχέση με την κάθετη (Εικόνα 56). Αυτό συμβαίνει γιατί στην κάθετη κατεύθυνση, η αρπάγη, πιάνει τα αντικείμενα με τα άκρα των επενεργητών, που όπως αναφέραμε προηγουμένως έχουν αδύναμη και ασταθή συγκράτηση. Ωστόσο, αντικείμενα με σφαιρική γεωμετρία κατάφερε να τα συγκρατήσει. Αντίθετα στην οριζόντια κατεύθυνση η αρπάγη μπορεί να πιάσει καλύτερα τα αντικείμενα, αφού οι επενεργητές τα αγκαλιάζουν σε όλη την επιφάνειά τους.

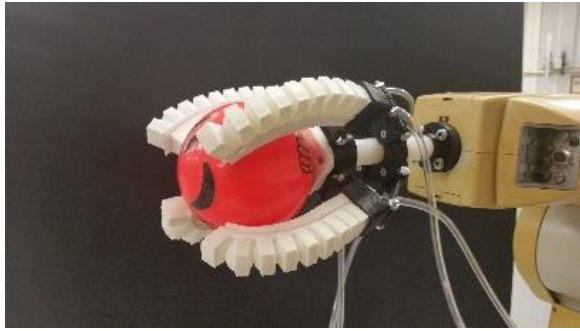




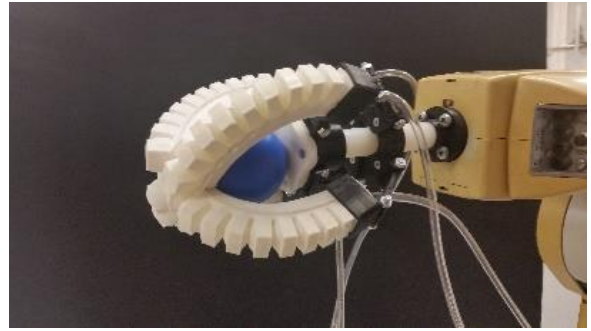
(ε)



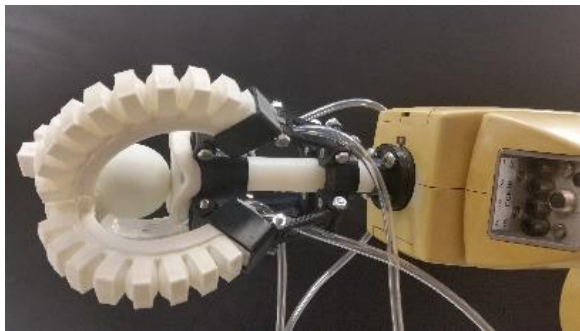
(στ')



(ζ)



(η)

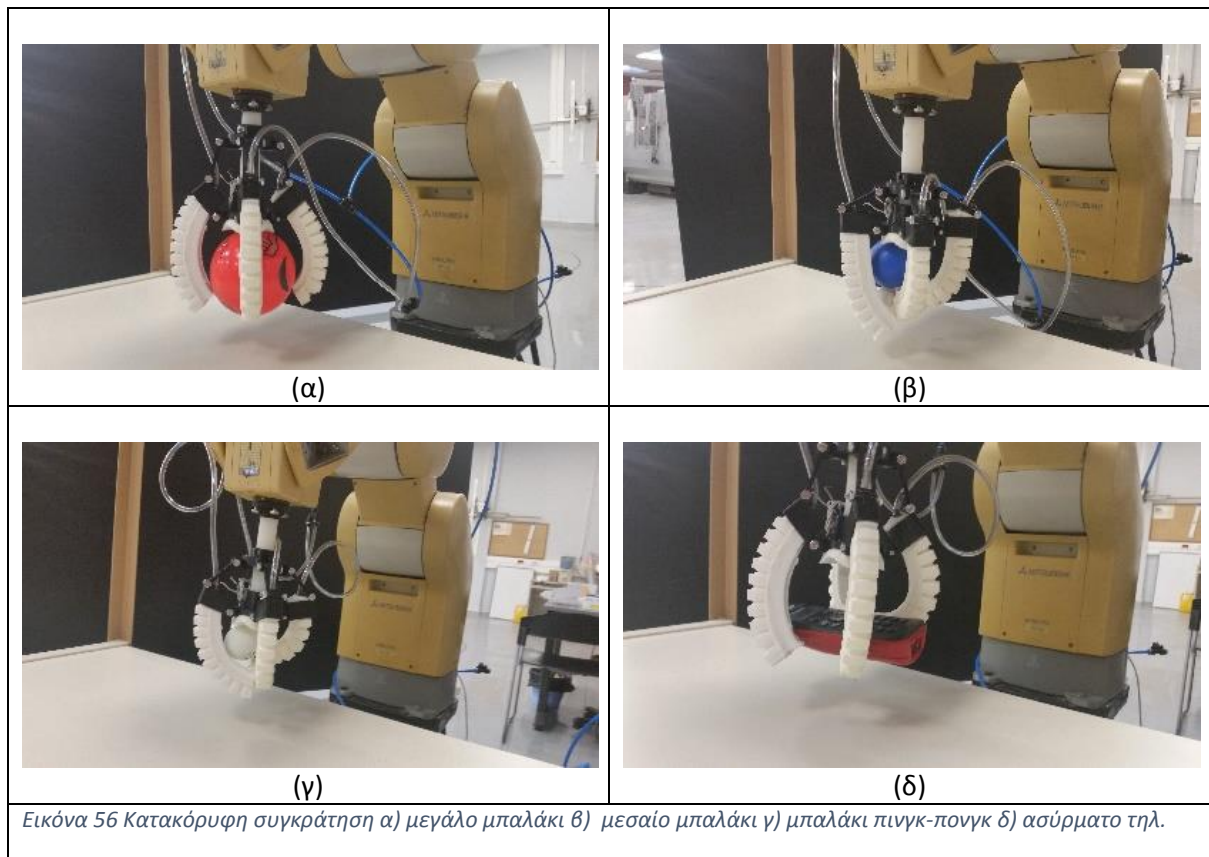


(θ)



(ι)

Εικόνα 55 οριζόντια συγκράτηση α) κινητό τηλ. β) ασύρματο τηλ. γ) κούπα δ) μακαρόνια ε) μπουκάλι νερό 500ml στ') μπουκάλι νερό 700 ml ζ) μπαλάκι μεγάλο η) μπαλάκι μεσαίο θ) μπαλάκι πινγκ-πονγκ ι) σωλήνας από χαρτόνι



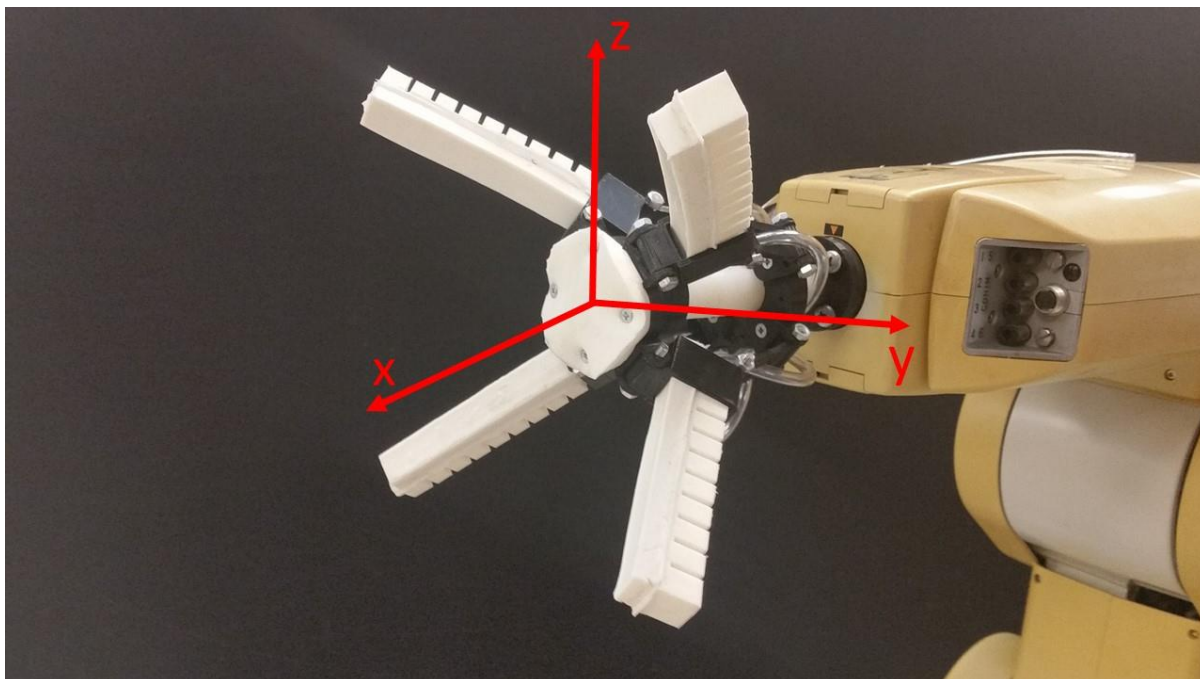
Πίνακας 2 Πίνακας αντικειμένων

Αντικείμενα	Κατεύθυνση αρπάγης	
	Οριζόντια λαβή	Κάθετη λαβή
Κινητό τηλέφωνο	Ναι	Όχι
Ασύρματο τηλέφωνο	Ναι	Ναι
κούπα	Ναι	Όχι
Μακαρόνια 500gr	Ναι	Όχι
Μπουκάλι νερό 500 gr	Ναι	Όχι
Μπουκάλι νερό 700 gr	Ναι	Όχι
Μεγάλο μπαλάκι	Ναι	Ναι
Μεσαίο μπαλάκι	Ναι	Ναι
Μπαλάκι πινγκ-πονγκ	Ναι	Ναι
σωλήνας από χαρτόνι	Ναι	Όχι

Στο σημείο αυτό να τονίσουμε ότι μας βοήθησε πολύ η δυνατότητα της βάσης να τοποθετούμε τους επενεργητές στις θέσεις που εξυπηρετεί το κάθε αντικείμενο. Κατά κύριο λόγο στα περισσότερα αντικείμενα πειραματιστήκαμε με την διάταξη της εικόνας 53.

4.4 Υπολογισμός εύρους πιασίματος της αρπάγης

Για να μπορέσουμε να βρούμε το εύρος των επιτυχημένων συγκρατήσεων των αντικειμένων από την αρπάγη, χρησιμοποιήθηκε μία τομάτα με βάρος 220gr και διάμετρος 81mm . Για να έχουμε ακριβείς τιμές στις αποστάσεις των δοκιμών, η αρπάγη τοποθετήθηκε στην άκρη ενός ρομποτικού βραχίονα Mitsubishi RV-2A. Πρόκειται για έναν βραχίονα 6 βαθμών ελευθερίας και δυνατότητα επεξεργασίας αντικειμένων μέχρι 2 kg.



Εικόνα 57 Η ρομποτική αρπάγη τοποθετημένη στον βραχίονα με άξονες x,y,z

Οι πειραματικές μετρήσεις που έγιναν αφορούσαν το επιτυχές ή όχι πιάσιμο τις τομάτας σε διαφορετικές συντεταγμένες στο χώρο για διαφορετικό αρχικό άνοιγμα δαχτύλων. Ως αρχικό άνοιγμα δαχτύλων ορίζουμε την γωνία που σχηματίζεται μεταξύ των επενεργητών και της βάσης της αρπάγης όπως φαίνεται στην Εικόνα 52. Μετακινώντας τον ρυθμιστή κλήσης ολισθαίνοντας τον πάνω στον άξονα, αλλάζουμε αντίστοιχα και το αρχικό άνοιγμα. Για να βρούμε την οριακή θέση συγκράτησης αντικειμένου-αρπάγης κάναμε μετρήσεις σε διαφορετικές συντεταγμένες. Κινούσαμε τον βραχίονα στους τρεις άξονες, x, y, z όπως προσδιορίζονται στην Εικόνα 57. Βάζοντας διαφορετικές τιμές κάθε φορά στους άξονες της αρπάγης, εντοπίζουμε την οριακή θέση που μπορεί να πιάσει την τομάτα.

Γωνία ανοίγματος δαχτύλων: 90°

Αρχικά έγιναν δοκιμές απομακρύνοντας την αρπάγη από το αντικείμενο στον άξονα y (Εικόνα 57). Παρατηρώντας τον πίνακα 3, βλέπουμε ότι οριακή τιμή πιασίματος ήταν στα -23mm για τις 90°. Υπήρξαν κάποιες επιτυχείς και στα -25mm, αλλά δεν ήταν τόσο σταθερό το κράτημα, οπότε δεν μπορούσαν να θεωρηθούν αποτελεσματικές.

Πίνακας 3 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 90° στον γ άξονα

Πίεση αέρα	1.6 bar	
Διάμετρος τομάτας	81mm	
Βάρος τομάτας	220gr	
Αρχική γωνία επενεργητών	90°	
γ(mm)	z(mm)	Συγκράτηση
-10	0	Yes
-20	0	Yes
-23	0	Yes
-25	0	No
-30	0	No

Στην επόμενη διαδικασία κρατήσαμε σταθερές τις τιμές του άξονα γ και μετακινήσαμε την αρπάγη στον άξονα z. Όπως παρατηρούμε στον πίνακα 4 οι οριακές τιμές που πήραμε και σε αυτήν την περίπτωση είναι στα -23mm. Αυτό πιθανόν συμβαίνει λόγω της συμμετρίας στην γεωμετρία της αρπάγης.

Πίνακας 4 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 90° στον z άξονα

Πίεση αέρα	1.6 bar	
Διάμετρος τομάτας	81mm	
Βάρος τομάτας	220gr	
Αρχική γωνία επενεργητών	90°	
γ(mm)	z(mm)	Συγκράτηση
0	-10	Yes
0	-20	Yes
0	-23	Yes
0	-25	No
0	-30	No

Στην συνέχεια του πειράματος κρατήσαμε σταθερά τους άξονες γ, z και μετακινήσαμε την αρπάγη μέσω του βραχίονα μόνο στον x άξονα. Τα αποτελέσματα όπως φαίνονται και στον πίνακα 5 είναι αρκετά ικανοποιητικά δίνοντας μας οριακή τιμή -37mm. Η τιμή αυτή λογικά, όσο μεγαλώνει η αρχική γωνία των επενεργητών από ένα σημείο και μετά μικραίνει, διότι μειώνεται η έκταση τους στον άξονα αυτόν.

Πίνακας 5 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 90° στον x άξονα

Πίεση αέρα	1.6 bar
Διάμετρος τομάτας	81mm
Βάρος τομάτας	220gr
Αρχική γωνία επενεργητών	90°
x(mm)	Συγκράτηση
-10	Yes
-20	Yes
-30	Yes
-35	Yes
-37	Yes
-40	No

Στην τελευταία δοκιμή που πραγματοποιήθηκε για την αρχική γωνία επενεργητών στις 90°, βάλουμε τιμές κοντά στις οριακές στον γ και z άξονα. Τελικά όπως παρατηρούμε και στον πίνακα 6 η οριακή τιμή σταθερής συγκράτησης της τομάτας ήταν στην απόσταση $y=-21\text{mm}$ και $z=-21\text{mm}$.

Πίνακας 6 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 90° στους άξονες γ-z

Πίεση αέρα	1.6 bar	
Διάμετρος τομάτας	81mm	
Βάρος τομάτας	220gr	
Αρχική γωνία επενεργητών	90°	
γ(mm)	z(mm)	Συγκράτηση
-23	-23	No
-20	-20	Yes
-15	-15	Yes
-17	-17	Yes
-18	-18	Yes
-19	-19	Yes
-21	-21	Yes

Γωνία ανοίγματος δαχτύλων: 100°

Στην συνέχεια των πειραμάτων τοποθετήσαμε τον πύρο της αρπάγης στην τρίτη τρύπα, στις 100° αρχικής γωνίας των επενεργητών. Όπως ήταν λογικό το εύρος των αποστάσεων μεγάλωσε γεγονός το οποίο μπορεί να κάνει τη συγκράτηση της αρπάγης πιο αποτελεσματική. Ενώ στις 90° η οριακή τιμή του γ άξονα ήταν στα -23mm (πίνακας 3) στις 100° όπως παρατηρούμε στον πίνακα 7 έφτασε τα -35mm. Έχουμε δηλαδή μια σημαντική αύξηση της απόστασης αποτελεσματικής συγκράτησης στον γ άξονα της τάξεως των 12mm.

Πίνακας 7 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 100° στον γ άξονα

Πίεση αέρα	1.6 bar	
Διάμετρος τομάτας	81mm	
Βάρος τομάτας	220gr	
Αρχική γωνία επενεργητών	100°	
γ(mm)	z(mm)	Συγκράτηση
-10	0	Yes
-20	0	Yes
-30	0	Yes
-35	0	Yes
-37	0	No
-40	0	No

Στις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν στον z άξονα είχαμε μεγαλύτερη διαφορά των οριακών τιμών ακόμα και από τον γ άξονα. Όπως παρατηρούμε στον πίνακα 8 η οριακή τιμή συγκράτησης στον z άξονα είναι στα -50mm, τιμή πολύ μεγαλύτερη από αυτήν που πήραμε στις 90° στα -23mm. Πρόκειται για μία τιμή παραπάνω από διπλάσια, κάτι το οποίο είναι αρκετά ενθαρρυντικό για την παρούσα έρευνα.

Πίνακας 8 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 100° στον z άξονα

Πίεση αέρα	1.6 bar	
Διάμετρος τομάτας	81mm	
Βάρος τομάτας	220gr	
Αρχική γωνία επενεργητών	100°	
γ(mm)	z(mm)	Συγκράτηση
0	-10	Yes
0	-20	Yes
0	-30	Yes
0	-40	Yes
0	-50	Yes
0	-55	No

Στις τιμές που πήραμε για την συγκράτηση της αρπάγης στον x άξονα, όπως παρατηρούμε στον πίνακα 9 , η οριακή τιμή μειώθηκε σε σχέση με τις αντίστοιχες των άλλων δύο αξόνων. Στην συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε οριακή συγκράτηση στα -25mm έναντι των -37mm στις 90°. Αυτό λογικά έχει να κάνει και με την γεωμετρία των επενεργητών οι οποίοι όσο δέχονται αέρα καμπυλώνουν. Συμπεραίνουμε έτσι ότι όσο μεγαλώνει η αρχική τους γωνία σε σχέση με την βάση, μειώνεται το εύρος συγκράτησης τους στον x άξονα.

Πίνακας 9 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 100° στον x άξονα

Πίεση αέρα	1.6 bar
Διάμετρος τομάτας	81mm
Βάρος τομάτας	220gr
Αρχική γωνία επενεργητών	100°
x(mm)	Συγκράτηση
-5	Yes
-10	Yes
-20	Yes
-25	Yes
-30	No
-37	No
-40	No

Στις τελευταίες μετρήσεις που πήραμε στη γωνία των 100°, θέσαμε τιμές κοντά στις οριακές τιμές των αξόνων γ και z . Τελική οριακή συγκράτηση έχουμε στον $\gamma = -20\text{mm}$, τιμή πολύ κοντά σε αυτήν των 90°, ενώ στον z άξονα έχουμε συγκράτηση στα $z = -35\text{mm}$ (Πίνακας 10).

Πίνακας 10 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 100° στους γ - z άξονες

Πίεση αέρα	1.6 bar	
Διάμετρος τομάτας	81mm	
Βάρος τομάτας	220gr	
Αρχική γωνία επενεργητών	100°	
γ (mm)	z (mm)	Συγκράτηση
-35	-50	No
-25	-45	No
-25	-40	No
-20	-35	Yes
-20	-15	Yes
-15	-30	Yes
-15	-25	Yes

Γωνία ανοίγματος δαχτύλων: 110°

Στην τελευταία πειραματική διαδικασία για τις αρχικές γωνίες επενεργητών, τοποθετήσαμε τον πύρο στην θέση των 110° για να πάρουμε τις τελευταίες μετρήσεις. Στη περίπτωση αυτή, όπως παρατηρούμε και στον πίνακα 11, η οριακή τιμή στον άξονα γ έχει αυξηθεί κι άλλο σε σχέση με την θέση των 100°. Έτσι έχουμε σαν οριακή τιμή το -50mm . Αν και είχαμε συγκράτηση και στα -55mm , δεν ήταν επιτυχείς σε επαναλήψεις που κάναμε και δεν είχε στιβαρό κράτημα.

Πίνακας 11 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 110° στον γ άξονα

Πίεση αέρα	1.6 bar	
Διάμετρος τομάτας	81mm	
Βάρος τομάτας	220gr	
Αρχική γωνία επενεργητών	110°	
γ(mm)	z(mm)	Συγκράτηση
-10	0	Yes
-20	0	Yes
-30	0	Yes
-40	0	Yes
-50	0	Yes
-55	0	No

Στη συνέχεια του πειράματος βάλουμε πάλι τον βραχίονα στην θέση μηδέν για τον άξονα γ και θέσαμε διάφορες τιμές για να βρούμε την οριακή τιμή του άξονα z. Η οριακή τιμή που μας έδωσε όπως φαίνεται στον πίνακα 12, είναι στα -50mm, τιμή ίδια με αυτήν στις 100°. Αυτό μας δείχνει ότι στον άξονα z δεν έχουμε πολύ περιθώριο αύξησης των οριακών τιμών για τους συγκεκριμένους επενεργητές.

Πίνακας 12 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 110° στον z άξονα

Πίεση αέρα	1.6 bar	
Διάμετρος τομάτας	81mm	
Βάρος τομάτας	220gr	
Αρχική γωνία επενεργητών	110°	
γ(mm)	z(mm)	Συγκράτηση
0	-10	Yes
0	-20	Yes
0	-30	Yes
0	-40	Yes
0	-50	Yes
0	50	No
0	40	No
0	30	No

Στην περίπτωση του άξονα x για τις 110° έχουμε μία μικρή αύξηση σε σχέση με πριν. Βλέποντας τον πίνακα 13, παρατηρούμε ότι έχει αυξηθεί κατά 2mm, δηλαδή στα -27mm. Ωστόσο παραμένουν χαμηλές οι οριακές τιμές στον άξονα x.

Πίνακας 13 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 110° στον x άξονα

Πίεση αέρα	1.6 bar
Διάμετρος τομάτας	81mm
Βάρος τομάτας	220gr
Αρχική γωνία επενεργητών	110°
x(mm)	Συγκράτηση
-5	Yes
-10	Yes
-20	Yes
-25	Yes
-27	Yes
-29	No
-31	No

Στις τελευταίες μετρήσεις που πήραμε για την γωνία των 110° πειραματιστήκαμε με μία αλλαγή για να δούμε αν θα επηρεαστούν οι τιμές στον άξονα z. Θέσαμε τιμές θετικές, δηλαδή μετακινήσαμε τον βραχίονα προς τα πάνω σε αντίθεση με τις υπόλοιπες μετρήσεις. Όντως υπήρχε διαφορά σε σχέση με τις υπόλοιπες γωνίες κάτι το οποίο μας δείχνει πόσο επηρεάζει το βάρος της τομάτας στην περίπτωση αυτή. Οι τελικές οριακές τιμές όπως παρατηρούμε στον πίνακα 14, είναι στα -45mm για τον άξονα γ, πολύ κοντά με τις προηγούμενες μετρήσεις, ενώ στα 17mm για τον άξονα z. Υπάρχει μεγάλη διαφορά σε σχέση με τις τιμές του πίνακα 12, στον οποίο το z μας έδωσε οριακή τιμή -50mm.

Πίνακας 14 Πίνακας τιμών για άνοιγμα 110° στους γ-z άξονες

Πίεση αέρα	1,5bar	
Διάμετρος τομάτας	81mm	
Βάρος τομάτας	220gr	
Αρχική γωνία επενεργητών	110°	
γ(mm)	z(mm)	Συγκράτηση
-50	20	No
-45	20	No
-45	18	No
-45	17	Yes
-40	15	Yes
-40	13	Yes
-35	17	Yes

Τελικά παρατηρήσαμε ότι αυξάνοντας την αρχική γωνία των επενεργητών από 90° σε 100°, έχουμε πολύ μεγαλύτερο εύρος συγκράτησης. Στον άξονα γ έχει ± 12 mm μεγαλύτερο εύρος ενώ στον άξονα z έχει ±27mm. Όσον αφορά τη διαφορά μεταξύ 100° και 110° αρχικής γωνίας, δεν παρατηρούνται ιδιαίτερα μεγάλες διαφορές στον άξονα z. Ενώ στον άξονα γ η απόκλιση είναι ±15mm, στον άξονα z δεν έχει καμία διαφορά. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι κοντά στις 100° και 110° είναι οι ιδανικές μοίρες για την αρχική γωνία επενεργητών. Αυτό γιατί έχουμε ένα ικανοποιητικό άνοιγμα της αρπάγης και επιπλέον οι οριακές τιμές συγκράτησης πλησιάζουν στο μέγιστο δυνατό.

Στο συμπέρασμα αυτό οδηγηθήκαμε βλέποντας τον πίνακα 15. Παρατηρώντας τις τιμές στον άξονα z, βλέπουμε ότι το εύρος πιασίματος έχει μείνει σταθερό. Πιθανόν να είναι και η μέγιστη συνολική τιμή του συγκεκριμένου άξονα για το εύρος πιασίματος αντικειμένων. Από ένα σημείο και μετά λόγω της γεωμετρίας των επενεργητών και της καμπυλότητας τους, το άνοιγμα θα είναι τόσο στην αρπάγη ώστε να μην υπάρχει σωστή επαφή συγκράτησης με το αντικείμενο.

Πίνακας 15 Μέγιστες οριακές τιμές απόστασης συγκράτησης στους άξονες x,y,z

Άξονες συμμετρίας	Οριακές τιμές απόστασης		
	90°	100°	110°
y	-23	-35	-50
z	-23	-50	-50
x	-37	-25	-27

4.5 Συγκράτηση ανάλογη του βάρους

Στην δεύτερη πειραματική διαδικασία, θέλαμε να προσδιορίσουμε το οριακό βάρος συγκράτησης της αρπάγης. Ανάλογα με τον αριθμό των επενεργητών οι οποίοι είναι τοποθετημένοι κάθε φορά πάνω στην βάση, έχουμε διαφορετικά αποτελέσματα. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με την χρήση ενός μπουκαλιού 1.5 lt, στο οποίο προσθέταμε νερό και το ζυγίζαμε με ζυγαριά ακριβείας. Με αυτόν τον τρόπο βρήκαμε τις οριακές τιμές των επενεργητών σε σχέση με το βάρος που είναι ικανές να συγκρατήσουν.

Πίνακας 16 Πίνακας εναλλαγής φορτίων

Βάρος (gr)	Αριθμός επενεργητών		
	2	3	4
100	Ναι	Ναι	Ναι
200	Ναι	Ναι	Ναι
300	Ναι	Ναι	Ναι
400	Όχι	Ναι	Ναι
500	Όχι	Ναι	Ναι
600	Όχι	Όχι	Ναι
700	Όχι	Όχι	Όχι
800	Όχι	Όχι	Όχι
900	Όχι	Όχι	Όχι

Παρατηρώντας τον πίνακα 16, βλέπουμε τις οριακές τιμές βάρους οι οποίες προέκυψαν κατά το πείραμα αυτό σε σχέση με τον αριθμό επενεργητών. Όπως βλέπουμε τις τιμές, παρατηρούμε μια σχετικά αναλογική αύξηση της συγκράτησης του βάρους. Στους δύο επενεργητές η αρπάγη έχει την ικανότητα να συγκρατήσει αντικείμενα μέχρι 300gr, στους τρεις επενεργητές μέχρι 500gr, και στους τέσσερις μέχρι 700gr. Οι μετρήσεις έγιναν μέχρι τέσσερις επενεργητές, για το λόγο ότι μέχρι αυτόν τον αριθμό μπορούσε να πιάσει η αρπάγη σωστά το μπουκάλι χωρίς να λειτουργεί ο ένας επενεργητής εις βάρος του άλλου. Ωστόσο εύκολα μπορούμε να οδηγηθούμε στο συμπέρασμα ότι

σε αντικείμενα με διαφορετική γεωμετρία (πχ σφαιρική) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και παραπάνω επενεργητές χωρίς πρόβλημα.

Επιπλέον σαν τελική παρατήρηση μπορούμε να πούμε για το συγκεκριμένο πείραμα, ότι χονδρικά ο κάθε επενεργητής έχει την δυνατότητα να συγκρατεί αντικείμενα μέχρι 100-150 gr βάρος, ανάλογα πάντα και την γεωμετρία του αντικειμένου. Είναι αρκετά θετικό ότι τα χαρακτηριστικά της αρπάγης όσον αφορά την δύναμη συγκράτησης, είναι πολύ κοντά με αντίστοιχες του εμπορίου³².

5ο Κεφάλαιο

5.1 Συμπεράσματα

Στόχος της εργασίας ήταν η κατασκευή μιας ρομποτικής αρπάγης με επενεργητές από μαλακά, εύκαμπτα υλικά, ευπροσάρμοστη στην συγκράτηση διαφορετικών αντικειμένων, απλή στη χρήση της, οικονομική, και παράλληλα να μην τραυματίζει τα αντικείμενα προς μελέτη.

Η διαδικασία κατασκευής του επενεργητή ήταν αρκετά χρονοβόρα, γεγονός που την έκανε να χρειάζεται μεγάλη προσοχή στην αποφυγή αστοχίας. Οποιοδήποτε σφάλμα προέκυπτε, θα μπορούσαμε να το αντιληφθούμε μετά από τρεις μέρες όπου θα ολοκληρωνόταν η διαδικασία κατασκευής του. Συμπεραίνουμε, ότι θα ήταν αποτελεσματικότερο, να είχαν χρησιμοποιηθεί σλικόνες οι οποίες στεγνώνουν μέσα σε λίγη ώρα με την χρήση φούρνου. Παρά το γεγονός της 3ήμερης αναμονής, τα αποτελέσματα ήταν ικανοποιητικά και η ποιότητα του επενεργητή η επιθυμητή. Επιπλέον βασικό στοιχείο στην εκτύπωση των καλουπιών, ήταν η επιλογή 100% πλήρωσης υλικού, διότι στην διαδικασία ξεκαλουπώματος υπάρχει ο κίνδυνος καταστροφής τους, λόγω της δύναμης που χρειάζεται για να χωριστούν τα δύο τμήματα.

Στο πειραματικό κομμάτι, υπήρχαν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Παρόλο την καταπόνηση των επενεργητών από το πλήθος των πειραμάτων, δεν υπήρξε αλλοίωση της γεωμετρίας τους και ήταν ελάχιστες φορές που είχαμε ρήξη στα τοιχώματά τους. Θετικά ήταν τα αποτελέσματα στην απόκλιση σφάλματος στο εύρος της απόστασης συγκράτησης. Ενώ με την πρώτη δοκιμαστική βάση είχαμε πολύ περιορισμένα αποτελέσματα, με την κατασκευή της δεύτερης διευρύνθηκαν πολύ αυτές οι τιμές. Η αρπάγη προσαρμοζόταν εύκολα στην οριζόντια συγκράτηση αντικειμένων και μας έδωσε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αρνητικά προέκυψαν στην κάθετη συγκράτηση αντικειμένων όπου οι επενεργητές είχαν μια αδυναμία σύσφιξης στα άκρα τους. Με θεωρητική μελέτη³² που προέκυψε εκ των υστέρων αυτό μπορεί να βελτιωθεί με την μείωση του μήκους των επενεργητών, κάτι το οποίο χρειάζεται περαιτέρω διερεύνηση.

Στην πειραματική διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για τον προσδιορισμό συγκράτησης φορτίων, οδηγηθήκαμε στο συμπέρασμα ότι ο κάθε επενεργητής μπορεί να συγκρατήσει 100 με

150gr. Βασικό όμως είναι ότι, τα στοιχεία αυτά ισχύουν στην περίπτωση που έρθει ο επενεργητής σε επαφή με το αντικείμενο σε όλη του την επιφάνεια. Αντίθετα, όταν το άκρο του επενεργητή έφτανε στα όρια του αντικειμένου, ο επενεργητής υπερ-καμπύλωνε με αποτέλεσμα η συγκράτηση να γίνεται ασταθής και να χάνει σε έναν βαθμό την δύναμη της.

Μελλοντικά θα μπορούσαν να γίνουν αρκετές βελτιώσεις και τροποποιήσεις τόσο στους επενεργητές όσο και στη βάση. Θα μπορούσε να γίνει εκτενέστερη μελέτη όσον αφορά το πάχος των τοιχωμάτων των επενεργητών. Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι, ότι επενεργητές με μεγαλύτερο πάχος τοιχωμάτων, θα ήταν περισσότερο ανθεκτικοί και θα έδιναν μεγαλύτερη δύναμη σύσφιξης. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα πιο σταθερή συγκράτηση. Επιπλέον θα ήταν χρήσιμη η τοποθέτηση αισθητήρων κάμψης και δύναμης για την διεξαγωγή περισσότερων συμπερασμάτων λειτουργίας. Ως προς αυτό το θέμα έγιναν κάποιες προσπάθειες, χωρίς όμως να έχουμε κάποια ξεκάθαρα αποτελέσματα για να μπορούν να αναφερθούν στην παρούσα εργασία. Όσον αφορά την βάση την οποία κατασκευάσαμε, θα έδινε μεγαλύτερες δυνατότητες χρήσης, η τοποθέτηση μοτέρ στο άκρο της, το οποίο θα μπορούσε να μετακινεί αυτόματα τον ρυθμιστή γωνίας με την βοήθεια αισθητήρα. Έτσι με τα δεδομένα που θα έστελνε ο αισθητήρας για το μέγεθος του αντικείμενου ή την απόσταση στην οποία βρίσκεται, με την χρήση του κατάλληλου αλγορίθμου, θα μπορούσε να προσαρμόζει ιδανικά την αρχική γωνία των επενεργητών.

Βιβλιογραφία

1. Robotics @ en.wikipedia.org. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Robotics>.
2. Mars_rover @ en.wikipedia.org.
3. index @ www.softroboticsinc.com.
4. www.army-technology.com. Available at: <https://www.army-technology.com/projects/irobot-510-packbot-multi-mission-robot/>.
5. www.davincisurgery.com. Available at: <http://www.davincisurgery.com/da-vinci-surgery/da-vinci-surgical-system/>.
6. Robot @ en.wikipedia.org. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Robot>.
7. Tai, K., El-Sayed, A.-R., Shahriari, M., Biglarbegian, M. & Mahmud, S. State of the Art Robotic Grippers and Applications. *Robotics* **5**, 11 (2016).
8. Blanes, C., Mellado, M., Ortiz, C. & Valera, A. Review. Technologies for robot grippers in pick and place operations for fresh fruits and vegetables. *Spanish J. Agric. Res.* **9**, 1130 (2011).
9. slideplayer.com. Available at: <http://slideplayer.com/slide/4234721/>.
10. insights.globalspec.com. Available at: <https://insights.globalspec.com/article/1693/robotic-grippers-take-on-complex-industrial-tasks>.
11. Robot @ infolab.stanford.edu. Available at: <http://infolab.stanford.edu/pub/voy/museum/pictures/display/1-Robot.htm>.
12. blog.robotiq.com. Available at: <https://blog.robotiq.com/bid/33127/How-To-Choose-The-Right-Robotic-Gripper-For-Your-Application>.
13. Trimmer, B. Soft robots. *Curr. Biol.* **23**, R639–R641 (2013).
14. www.cell.com. Available at: [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822\(13\)00511-3](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822(13)00511-3).
15. Marchese, A. D., Onal, C. D. & Rus, D. Autonomous Soft Robotic Fish Capable of Escape Maneuvers Using Fluidic Elastomer Actuators. *Soft Robot.* **1**, 75–87 (2014).
16. Rateni, G., Cianchetti, M., Ciuti, G., Menciassi, A. & Laschi, C. Design and development of a soft robotic gripper for manipulation in minimally invasive surgery: a proof of concept. *Meccanica* **50**, 2855–2863 (2015).
17. Mosadegh, B. *et al.* Pneumatic networks for soft robotics that actuate rapidly. *Adv. Funct. Mater.* **24**, 2163–2170 (2014).
18. pneumatic-artificial-muscles @ softroboticstoolkit.com. Available at: <https://softroboticstoolkit.com/book/pneumatic-artificial-muscles>.
19. Kim, K. J. & Tadokoro, S. *Electroactive Polymers for Robotic Applications*. (2007). doi:10.1007/978-1-84628-372-7
20. Robinson, G., Davies, J. B. C. & Seaton, F. Mechanical design, operation and direction prediction of the AMADEUS gripper system. *Int. J. Syst. Sci.* **29**, 455–470 (1998).

21. Taylor, P. & Lane, D. M. Introduction to the Special Issue of the International Journal of Systems Science on the AMADEUS dextrous underwater grasping system. 37–41 (2007).
22. FESTO. MultiChoiceGripper Variable gripping based on the human hand. 6 (2016). Available at: https://www.festo.com/net/SupportPortal/Files/333986/Festo_MultiChoiceGripper_en.pdf.
23. Laschi, C. *et al.* Soft robot arm inspired by the octopus. *Adv. Robot.* **26**, 709–727 (2012).
24. Duncan Graham-Rowe. www.newscientist.com. (2011). Available at: <https://www.newscientist.com/article/dn20053-getting-to-grips-with-rubbery-robots/>.
25. case-study-cardiac-simulator @ softroboticstoolkit.com. Available at: <https://softroboticstoolkit.com/book/case-study-cardiac-simulator>.
26. Polygerinos, P. *et al.* Towards a soft pneumatic glove for hand rehabilitation. *IEEE Int. Conf. Intell. Robot. Syst.* 1512–1517 (2013). doi:10.1109/IROS.2013.6696549
27. Taylor, P., Warnecke, H. J. & Schmidt, I. Flexible grippers for handling systems Design possibilities and experiences. 37–41 (2007). doi:10.1080/00207548008919688
28. Koichi Suzumori, Shoichi Likura, H. T. Applying a flexible microactuator to robotic mechanisms.pdf. (1992).
29. Brown, E. *et al.* From the Cover: Universal robotic gripper based on the jamming of granular material. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **107**, 18809–18814 (2010).
30. David Szondy. @ newatlas.com. (2015). Available at: <https://newatlas.com/versaball-robot-pong/35418/>.
31. softroboticstoolkit.com. Available at: <https://softroboticstoolkit.com/book/pneunets-run-job-and-view-results>.
32. www.softroboticsinc.com. Available at: <https://www.softroboticsinc.com/our-products/>.