



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

ΡΟΜΠΟΤΙΚΟΣ ΝΑΡΘΗΚΑΣ ΜΕ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΥΣ ΕΠΕΝΕΡΓΗΤΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ Ή ΕΝΔΥΝΑΜΩΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΤΩΝ ΔΑΧΤΥΛΩΝ.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Στοιγιάνοβ Αλέξανδρος 5851



ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δρ. Φασουλάς Ιωάννης,
Επίκουρος καθηγητής Τ.Ε.Ι. Κρήτης

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2015



Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει να κάνει με τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός ρομποτικού νάρθηκα που χρησιμοποιεί πνευματικούς επενεργητές για την κίνησή του καθώς και την ανάπτυξη μιας εφαρμογής για τον έλεγχό του από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Ως σκοπό έχει να βοηθήσει στην αποκατάσταση της κινηματικής των δαχτύλων, ασθενών που έχουν περάσει κάποιο τραυματισμό στο χέρι ή πάσχουν από κάποια ασθένεια που τους περιορίζει την κίνηση.

Αρχικά γίνεται μια περιγραφή του τομέα της ρομποτικής στον οποίο έχουμε δουλέψει, ο οποίος λέγεται Soft Robotics, και ο λόγος που έχει επιλεγεί αυτός. Μέσα στην περιγραφή αυτή αναφέρονται κάποια ήδη υπάρχοντα προϊόντα, η λειτουργία τους και κάποιες εφαρμογές που μπορούν να έχουν αυτά.

Στην συνέχεια περιγράφεται εκτενώς η κατασκευή και σύνδεση ολόκληρης της διάταξης που χρειάζεται για την λειτουργία του νάρθηκα. Το ολοκληρωμένο σύστημα από το οποίο αποτελείται ο νάρθηκας είναι:

- A) Εφαρμογή σε ηλεκτρονικό υπολογιστή (PneumaticGlove)
- B) Μικροελεγκτής (Arduino Uno)
- Γ) Πνευματική διάταξη
- Δ) Ηλεκτρολογική διάταξη
- Ε) Πνευματικός νάρθηκας

Τέλος φαίνονται τα αποτελέσματα της κατασκευής και αναφέρεται η μελλοντική έρευνα που θα μπορούσε να γίνει πάνω στο συγκεκριμένο κομμάτι.



Abstract

This thesis is about the design and construction of a robotic prosthesis (splint) using pneumatic actuators for its movement, and the development of an application for its control on a desktop computer. It is designed to help restore kinematics of fingers on patients who have passed a hand injury or are suffering from an illness which limits their movement.

At first there is a description of the robotics field on which we worked, which is called Soft Robotics, and the reason we choose to use it. In the description we mention some existing products, how they function and some possible applications they may have.

Next we describe in detail the construction and the connection of the whole system required for operating the splint. The integrated system from which the splint is composed:

- A) Pc Application (PneumaticGlove)
- B) Microcontroller (Arduino Uno)
- C) Pneumatic device
- D) Electrical device
- E) The pneumatic splint

Finally we show the results of the construction and we indicate the future research that could be done on that particular track.



Περιεχόμενα

| | |
|---|-----|
| Περίληψη | i |
| Abstract..... | ii |
| Περιεχόμενα | iii |
| Περιεχόμενα εικόνων | v |
| 1. Εισαγωγή | 1 |
| 1.1 Εισαγωγή | 1 |
| 1.2 Κίνητρα και στόχοι της πτυχιακής | 1 |
| 1.3 Δομή της πτυχιακής..... | 2 |
| 2. Ανάλυση ρομποτικών συστημάτων μικρής ισχύος τύπου Soft Robotics | 4 |
| 2.1 Εισαγωγή | 4 |
| 2.2 Περιγραφή των Soft Robotics..... | 5 |
| 2.3 Υπάρχοντα προϊόντα και τεχνολογίες πάνω στον τομέα των Soft Robotics καθώς και αναφορά για τις εφαρμογές που μπορεί να έχουν αυτά | 5 |
| 2.3.1 Πρωτοποριακά σχεδιασμένο χέρι συμβατό με πνευματικούς επενεργητές για επιδέξιο πιάσιμο | 6 |
| 2.3.2 Ρομποτικό χέρι συμβατό με πνευματικούς επενεργητές | 6 |
| 2.3.3 Είδη επενεργητών και επιλογή του κατάλληλου για την παρούσα πτυχιακή εργασία | 7 |
| 2.3.4 Βιολογικά εμπνευσμένος πνευματικός επενεργητής για αποκατάσταση του αντίχειρα | 9 |
| 2.3.5 Φορητή ρομποτική συσκευή που χρησιμοποιείται για την κίνηση του γόνατου χρησιμοποιώντας πνευματικούς, τεχνητούς μύες..... | 10 |
| 2.3.6 Γάντι αποκατάστασης με πνευματικούς επενεργητές | 10 |
| 2.3.7 Γάντι αποκατάστασης της κινηματικής των δαχτύλων PneumaticGlove | 11 |
| 3. Ανάλυση της κατασκευής του εξωσκελετικού νάρθηκα για την αποκατάσταση της κινηματική των δαχτύλων του χεριού | 13 |
| 3.1 Εισαγωγή..... | 13 |
| 3.2 Κατασκευή πνευματικού επενεργητή | 14 |
| 3.2.1 Τι είναι ο πνευματικός επενεργητής..... | 14 |
| 3.2.2 Υλικά που χρειάζονται..... | 16 |
| 3.2.3 Διαδικασία κατασκευής Pneuflex Actuator..... | 19 |
| 3.3 Προσαρμογή πνευματικών επενεργητών για χρήση στον ρομποτικό νάρθηκα και τοποθέτηση τους πάνω σε αυτόν | 26 |
| 4. Περιγραφή και ανάλυση της μονάδας οδήγησης του εξωσκελετικού νάρθηκα | 29 |



| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | Εισαγωγή..... | 29 |
| 4.2 | Η πνευματική διάταξη που είναι υπεύθυνη για την οδήγηση του αέρα στους επενεργητές του εξωσκελετικού νάρθηκα..... | 31 |
| 4.3 | Η ηλεκτρολογική διάταξη που είναι υπεύθυνη για την τροφοδοσία των ηλεκτροβαλβίδων..... | 33 |
| 4.4 | Σύνδεση ηλεκτρολογικής διάταξης με τον μικροελεγκτή Arduino Uno..... | 40 |
| 5. | Ανάπτυξη και λειτουργία εφαρμογής για τον έλεγχο του εξωσκελετικού νάρθηκα..... | 41 |
| 5.1 | Εισαγωγή..... | 41 |
| 5.2 | Διάγραμμα ελέγχου του συστήματος | 42 |
| 5.3 | Ορισμός αρχικών παραμέτρων και αρχή σειριακής επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή Arduino Uno | 42 |
| 5.4 | Χειροκίνητη λειτουργία (Manual mode) | 44 |
| 5.5 | Automatic mode..... | 45 |
| 5.5.1 | Επίδειξη ανοίγματος και κλεισίματος του χεριού σε μορφή κύματος (Demo wave)..... | 46 |
| 5.5.2 | Επίδειξη ανοίγματος και κλεισίματος του χεριού (Open/Close Hand) | 47 |
| 5.5.3 | Λειτουργία επανάληψης ορισμένη από τον χρήστη (Iteration process)..... | 48 |
| 5.6 | Λογικό διάγραμμα της εφαρμογής PneumaticGlove για να φανούν οι λειτουργίες του νάρθηκα | 49 |
| 5.7 | Επικοινωνία της εφαρμογής PneumaticGlove με τον μικροελεγκτή Arduino Uno... .. | 50 |
| 5.7.1 | Ο κώδικας που αναπτύχθηκε για την σειριακή επικοινωνία του μικροελεγκτή Arduino Uno με την εφαρμογή PneumaticGlove | 51 |
| 6. | Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα | 53 |
| 6.1 | Ανασκόπηση και συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας..... | 53 |
| 6.2 | Μελλοντική έρευνα..... | 54 |
| | Βιβλιογραφία | 56 |



Περιεχόμενα εικόνων

| | | |
|---------------------|--|----|
| Εικόνα 2.1: | Στην εικόνα το ρομποτικό χέρι που αναπτύχθηκε για επιδέξιο πιάσιμο στο τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα του Βερολίνου..... | 6 |
| Εικόνα 2.2: | Το ρομποτικό χέρι με τους πνευματικούς επενεργητές προσαρμοσμένο σε ρομποτικό βραχίονα..... | 7 |
| Εικόνα 2.3: | Στην εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε την δομή των δύο αυτών επενεργητών..... | 8 |
| Εικόνα 2.4: | Οι δύο επενεργητές σε κίνηση, σχεδιασμένοι σε τομή..... | 8 |
| Εικόνα 2.5: | Ο επενεργητής τύπου PneuFlex. Στην κάτω εικόνα φαίνεται πως είναι σε τομή 9 | |
| Εικόνα 2.6: | Στην εικόνα φαίνεται ο επενεργητής προσαρμοσμένος σε ανθρώπινο χέρι και η συσκευή ελέγχου..... | 9 |
| Εικόνα 2.7: | Στην εικόνα φαίνεται ένα πρωτότυπο του ρομποτικού νάρθηκα. Στην δεξιά μεριά φαίνεται αυτός σε κίνηση..... | 10 |
| Εικόνα 2.8: | Γάντι αποκατάστασης χεριού προσαρμοσμένο σε ανθρώπινο χέρι..... | 11 |
| Εικόνα 2.9: | Γάντι αποκατάστασης της κινηματικής των δαχτύλων του χεριού PneumaticGlove προσαρμοσμένο σε ανθρώπινο χέρι..... | 12 |
| Εικόνα 2.10: | Τα επιμέρους κομμάτια της μονάδας οδήγησης και ελέγχου του νάρθηκα. Η λειτουργία και σύνδεση αυτών αναλύεται σε παρακάτω κεφάλαιο..... | 12 |
| Εικόνα 3.1: | Ο νάρθηκας αποκατάστασης (PneumaticGlove), με τους επενεργητές τύπου PneuFlex (τροποποιημένους) προσκολλημένους πάνω του..... | 14 |
| Εικόνα 3.2: | Ο πνευματικός επενεργητής τύπου PneuFlex που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Αυτοματικής και Ρομποτικής..... | 15 |
| Εικόνα 3.3: | Ο πνευματικός επενεργητής τύπου PneuFlex που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Αυτοματικής και Ρομποτικής σε τομή για να φανεί η εσωτερική του δομή..... | 15 |
| Εικόνα 3.4: | Ο επενεργητής PneuFlex σε λειτουργία..... | 15 |
| Εικόνα 3.5: | Σιλικόνη Elastosil M 4512 της Wecker μαζί με τον καταλύτη T-51..... | 16 |
| Εικόνα 3.6: | Τεχνικά χαρακτηριστικά σιλικόνης τύπου Elastosil M 4512 της Wecker..... | 17 |
| Εικόνα 3.7: | Νήμα από πολυεστέρα σε διάφορα χρώματα..... | 17 |
| Εικόνα 3.8: | Το μαλακό σωληνάκι ορού που χρησιμοποιήθηκε για την παροχή αέρα στους πνευματικούς επενεργητές..... | 18 |
| Εικόνα 3.9: | Το καλούπι που χρησιμοποιήθηκε για την χύτευση της σιλικόνης αμέσως μετά την εκτύπωση του στον 3D Printer, elite της Dimension..... | 19 |
| Εικόνα 3.10: | Τα σχέδια CAD που κατεβάστηκαν από την ιστοσελίδα του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος του Βερολίνου..... | 19 |
| Εικόνα 3.11: | Το καλούπι χύτευσης, πριν και μετά την πλήρωσή του με σιλικόνη..... | 20 |
| Εικόνα 3.12: | Ογκομετρικό δοχείο το οποίο χρησιμοποιείται για την σωστή μέτρηση της ποσότητας της σιλικόνης και το ανακάτεμά της με τον καταλύτη..... | 20 |



| | | |
|---------------------|--|----|
| Εικόνα 3.13: | Η ζυγαριά ακριβείας που χρησιμοποιήθηκε για την σωστή μέτρηση στην δοσολογία της σιλικόνης με τον καταλύτη | 21 |
| Εικόνα 3.14: | Ο θάλαμος κενού της Mk Technology μοντέλου Mk-mini, του εργαστήριου Αυτοματικής και Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης..... | 22 |
| Εικόνα 3.15: | Το σχήμα που παίρνει η σιλικόνη από το καλούπι και από τις δύο πλευρές για να φανεί ο θάλαμος για τον αέρα..... | 23 |
| Εικόνα 3.16: | Το δοκίμιο αφού έχει τυλιχτεί το νήμα. Παρατηρούμε τον τρόπο που έχει τυλιχτεί αυτό. Είναι σημαντικό από την πάνω και τη κάτω μεριά να τυλίγεται παράλληλα και στα πλάγια σταυρωτά | 23 |
| Εικόνα 3.17: | Το τούλι που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή του PneuFlex Actuator | 24 |
| Εικόνα 3.18: | Η βάση βάθους 2 χιλιοστών που σχεδιάστηκε στο Creo Parametric 3.0 | 24 |
| Εικόνα 3.19: | Το δοκίμιο τοποθετημένο στην ειδική εκτυπωμένη βάση (σε 3D Printer) η οποία αντιστοιχεί στην κάτω πλευρά του επενεργητή..... | 25 |
| Εικόνα 3.20: | Ο επενεργητής μαζί με την κάτω επιφάνεια από την πάνω και από την κάτω πλευρά | 25 |
| Εικόνα 3.21: | Φαίνεται το εξάρτημα που κατασκευάσαμε και η χρήση του σε τρία απλά βήματα | 26 |
| Εικόνα 3.22: | Αρχικά σημειώνονται τα σημεία πάνω στον επενεργητή τα οποία αντιστοιχούν στις αρθρώσεις του εκάστοτε δαχτύλου και στην συνέχεια τοποθετείται σε αυτά μια ελαστική μεμβράνη | 26 |
| Εικόνα 3.23: | Παρατηρούμε εδώ το εξωσκελετικό δάχτυλο και την κίνηση του μετά από την τροποποίηση που έχει γίνει | 27 |
| Εικόνα 3.24: | Το λαστιχένιο γάντι που χρησιμοποιήθηκε για την τοποθέτηση των εξωσκελετικών δαχτύλων | 28 |
| Εικόνα 3.25: | Τελική μορφή εξωσκελετικού νάρθηκα | 28 |
| Εικόνα 4.1: | Ολοκληρωμένη διάταξη για τον χειρισμό του εξωσκελετικού νάρθηκα..... | 30 |
| Εικόνα 4.2: | Το πνευματικό διάγραμμα της διάταξης η οποία αποτελείται από ένα μανόμετρο, τέσσερις στραγγαλιστές ροής και τέσσερις ηλεκτροβαλβίδες .. | 31 |
| Εικόνα 4.3: | Η πνευματική διάταξη χωρίς τα ελαστικά σωληνάκια που ενώνουν τα εξαρτήματά της για να φανούν καλύτερα τα επιμέρους στοιχεία της | 32 |
| Εικόνα 4.4: | A) Στραγγαλιστής ροής RFU 1/8.3, B) Ηλεκτροβαλβίδα 521 ME, Γ) Μανόμετρο S MC EAR2000-F02 | 33 |
| Εικόνα 4.5: | Τελική πνευματική διάταξη συνδεδεμένη στον ρομποτικό νάρθηκα..... | 33 |
| Εικόνα 4.6: | Η πλακέτα που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Κρήτης | 34 |
| Εικόνα 4.7: | Κύκλωμα ενεργοποίησης ρελλέ ηλεκτροβαλβίδων μέσω τρανζίστορ | 35 |
| Εικόνα 4.8: | Πρότυπο σχέδιο πλακέτας Pcb για χαλκογραφία..... | 36 |
| Εικόνα 4.9: | Τελικό σχέδιο πλακέτας Pcb όπως θα εκτυπωθεί στο ρυζόχαρτο | 36 |
| Εικόνα 4.10: | Ειδική λάμπα για τον έλεγχο του εκτυπωμένου σχεδίου της πλακέτας Pcb..... | 37 |



| | | |
|---------------------|--|----|
| Εικόνα 4.11: | Το εκτυπωμένο σχέδιο πάνω στο ειδικό μηχάνημα έκθεσης υπεριώδους ακτινοβολίας UV | 37 |
| Εικόνα 4.12: | Η πλακέτα στο μείγμα καυστικής σόδας..... | 38 |
| Εικόνα 4.13: | Το μηχάνημα με το μείγμα χλωριούχου σιδήρου για την αφαίρεση του ανεπιθύμητου χαλκού από την πλακέτα..... | 38 |
| Εικόνα 4.14: | Η πλακέτα Pcb αφού έχει αφαιρεθεί ο ανεπιθύμητος χαλκός και έχουν ανοιχτεί οι τρύπες για την υποδοχή των στοιχείων | 39 |
| Εικόνα 4.15: | Η τελική μορφή της πλακέτας Pcb που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Κρήτης για την ενεργοποίηση ηλεκτροβαλβίδων λαμβάνοντας κατάλληλο σήμα από τον μικροελεγκτή | 39 |
| Εικόνα 4.16: | Η σύνδεση του μικροελεγκτή Arduino Uno με την εκτυπωμένη πλακέτα | 40 |
| Εικόνα 5.1: | Διάγραμμα ελέγχου του συστήματος (Ηλεκτρονικός Υπολογιστής - Μικροελεγκτής - Ηλεκτρολογική Διάταξη - Πνευματική Διάταξη – Χρήστης | 42 |
| Εικόνα 5.2: | Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής PneumaticGlove την στιγμή που ανοίγει | 43 |
| Εικόνα 5.3: | Το παράθυρο που εμφανίζεται την στιγμή που η εφαρμογή έχει κάνει την σάρωση για τις διαθέσιμες θύρες και τις έχει εμφανίσει..... | 43 |
| Εικόνα 5.4: | Όταν η σειριακή επικοινωνία έχει γίνει με επιτυχία εμφανίζεται το εξής μήνυμα δίπλα στο USB Connection..... | 44 |
| Εικόνα 5.5: | Φαίνεται ο τρόπος που δουλεύει η χειροκίνητη λειτουργία (Manual mode)... | 45 |
| Εικόνα 5.6: | Ο εξωσκελετικός νάρθηκας σε κίνηση έχοντας επιλέξει ο χρήστης κάθε φορά ποιο δάχτυλο θα κλείνει μέσω της χειροκίνητης λειτουργίας (Manual mode). 45 | |
| Εικόνα 5.7: | Το παράθυρο που εμφανίζεται όταν πατάει ο χρήστης την αυτόματη λειτουργία (Automatic mode) και μετά το Select Process | 46 |
| Εικόνα 5.8: | Πατώντας το Demo wave ο χρήστης δεν χρειάζεται να ορίσει κάποια παράμετρο, αρκεί να ξεκινήσει την εφαρμογή | 47 |
| Εικόνα 5.9: | Όταν ο χρήστης πατάει την εντολή Open/Close Hand εμφανίζεται η εντολή Delay time in ms και ζητάει να του οριστεί μια τιμή που αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα που θα παραμείνει ανοιχτό ή κλειστό το χέρι | 47 |
| Εικόνα 5.10: | Ο τρόπος που εμφανίζεται το παράθυρο όταν ο χρήστης πατήσει την επιλογή Iteration process | 48 |
| Εικόνα 5.11: | Πατώντας στο About εμφανίζεται ένα παράθυρο με πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή..... | 49 |
| Εικόνα 5.12: | Αναλυτικό λογικό διάγραμμα για τον χειρισμό και την λειτουργία της εφαρμογής PneumaticGlove | 50 |
| Εικόνα 5.13: | Ο μικροελεγκτής Arduino Uno που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του νάρθηκα | 51 |
| Εικόνα 5.14: | Ο κώδικας που αναπτύχθηκε για την σύνδεση της εφαρμογής PneumaticGlove με τον μικροελεγκτή Arduino Uno | 52 |



Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
ΤΕΙ Κρήτης

Πληροφορίες εγγράφου

Αυτό το κείμενο αποτελείται από **57** σελίδες και περιέχει **11050** λέξεις.



1. Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται τα κίνητρα που οδήγησαν στην υλοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Παρουσιάζονται επίσης οι στόχοι και η δομή της πτυχιακής.

1.2 Κίνητρα και στόχοι της πτυχιακής

Ο κλάδος της ρομποτικής περιλαμβάνει πολλούς τομείς οι οποίοι εξελίσσονται συνεχώς. Πριν από κάποια χρόνια ξεκίνησε να αναπτύσσεται ένας τομέας που ονομάστηκε Soft Robotics. Αυτό σημαίνει πως για την κατασκευή των ρομπότ αυτών χρησιμοποιούνται μαλακά υλικά όπως η σιλικόνη για παράδειγμα και ενεργοποιούνται με πνευματικούς επενεργητές. Σκοπός είναι να υπάρχουν όσο το δυνατόν λιγότερα μηχανικά εξαρτήματα πάνω στην κατασκευή



κάνοντας την οικονομική και ικανή να μιμηθεί κινήσεις αρθρώσεων αλλά και άλλων μηχανικών διατάξεων με διαφορετικό τρόπο που είναι πιο φιλικός προς τον χρήστη.

Κίνητρο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η κατασκευή ενός εξωσκελετικού νάρθηκα για φυσιοθεραπεία και αποκατάσταση της κινηματικής των δαχτύλων ο οποίος θα έχει μια δικιά του μονάδα οδήγησης και τρόπο ελέγχου, μέσω μιας εφαρμογής σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, που θα επιτρέπει στον χρήστη να προσαρμόζει τις λειτουργίες του νάρθηκα στις δικές του ανάγκες.

Ο στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι όλα τα παραπάνω να πραγματοποιηθούν με οικονομικό τρόπο, με υλικά και εξοπλισμό στα οποία μπορεί κάποιος να έχει εύκολη πρόσβαση. Το τελικό αποτέλεσμα πρέπει να είναι ένα προϊόν με το οποίο πρώτον θα μπορεί ο ασθενής να εκτελεί τις καθημερινές του ασκήσεις στο σπίτι, με ασφάλεια, δεύτερον να είναι φιλικό απέναντί του και από άποψη άνεσης όταν θα το φοράει, αλλά και οπτικά να μην είναι αποκρουστικό και τέλος να του εξοικονομεί χρήματα αφού θα δίνει την δυνατότητα εκτέλεσης των φυσιοθεραπευτικών ασκήσεων χωρίς την παρουσία ειδικού.

1.3 Δομή της πτυχιακής

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι χωρισμένη σε 6 κεφάλαια συμπεριλαμβανομένου και του παρόντος κεφαλαίου, που αποτελεί την εισαγωγή της πτυχιακής.

Στο **κεφάλαιο 2** γίνεται περιγραφή του τομέα των Soft Robotics και αναφορά στα ήδη κατασκευασμένα και αναπτυγμένα συστήματα που υπάρχουν πάνω στον τομέα αυτόν και οι εφαρμογές τους. Αναφέρονται τα βασικότερα πλεονεκτήματα που μπορεί να έχει μια τέτοιου είδους κατασκευή απέναντι σε μια αντίστοιχη μηχανική διάταξη. Επίσης γίνεται μια αναφορά στον νάρθηκα που κατασκευάστηκε στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας καθώς και στους επενεργητές που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο **κεφάλαιο 3** γίνεται μια περιγραφή της κατασκευής του εξωσκελετικού νάρθηκα κάνοντας εκτενή αναφορά στα υλικά και τον εξοπλισμό που χρειάζεται. Αρχικά περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία κατασκευής των πνευματικών επενεργητών που χρησιμοποιήθηκαν και στην συνέχεια ο τρόπος με τον οποίο προσαρμόστηκαν αυτοί για την χρήση τους πάνω στον νάρθηκα και τέλος φαίνεται ο νάρθηκας με τους επενεργητές (που πλέον μπορούν να χαρακτηριστούν εξωσκελετικά δάχτυλα λόγω της προσαρμογής τους πάνω στον νάρθηκα) τοποθετημένους πάνω του.

Στο **κεφάλαιο 4** περιγράφονται οι διατάξεις που αφορούν την κίνηση του νάρθηκα, δηλαδή την μονάδα κίνησης του νάρθηκα, όχι όμως ο έλεγχος ο οποίος περιγράφεται στο κεφάλαιο 5. Αναφέρεται, επίσης, ο τρόπος σύνδεσης και επικοινωνίας των επιμέρους διατάξεων του νάρθηκα (πνευματική διάταξη – ηλεκτρολογική διάταξη – μικροελεγκτής). Πέρα από την κατασκευή και την σύνδεση των παραπάνω, περιγράφεται και η λειτουργία τους.

Στο **κεφάλαιο 5** αναλύεται η λειτουργία του ελέγχου του εξωσκελετικού νάρθηκα για την οποία έχει αναπτυχτεί μια εφαρμογή για ηλεκτρονικό υπολογιστή από την οποία ο χρήστης μπορεί



να οδηγήσει τον νάρθηκα με τις ενσωματωμένες ασκήσεις φυσιοθεραπείας που υπάρχουν. Πέρα από την περιγραφή της λειτουργίας της εφαρμογής δίνονται και λεπτομερείς οδηγίες χρήσης της εφαρμογής για τον χρήστη. Στο τέλος του κεφαλαίου δίνεται η περιγραφή της σύνδεσης της εφαρμογής με τον μικροελεγκτή.

Τέλος, το **κεφάλαιο 6** αναφέρεται στα συμπεράσματα και τις δυνατότητες επέκτασης της παρούσας πτυχιακής εργασίας καθώς και η πιθανή μελλοντική μελέτη που μπορεί να γίνει.



2. Ανάλυση ρομποτικών συστημάτων μικρής ισχύος τύπου Soft Robotics

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται ο κλάδος της ρομποτικής που ονομάζεται Soft Robotics, τα πλεονεκτήματά που έχει απέναντι σε κάποιες μηχανικές διατάξεις, δηλαδή ρομποτικές κατασκευές που έχουν μηχανικά εξαρτήματα, καθώς και γίνεται αναφορά σε είδη υπάρχουσες τεχνολογίες, μερικά παραδείγματα πνευματικών επενεργητών και μερική περιγραφή του ρομποτικού νάρθηκα PneumaticGlove.



2.2 Περιγραφή των Soft Robotics

Ο τομέας αυτός περιλαμβάνει την κατασκευή πνευματικών, συνήθως, επενεργητών σε διάφορα σχήματα από μαλακά υλικά όπως σιλικόνη και άλλα. Σκοπός είναι η μίμηση κινήσεων που συναντάμε κάθε μέρα στην φύση, σε ζώα, φυτά αλλά ακόμα πιο σημαντικό, ανθρώπους. Χρησιμοποιώντας τέτοιου είδους υλικά μια κατασκευή αυτόματα γίνεται πιο ασφαλείς και λιγότερο 'τρομακτική' κυρίως για άτομα μεγαλύτερης ηλικίας που τρομάζουν στην εικόνα μηχανικών κατασκευών πάνω τους. Άλλα πλεονεκτήματα του τομέα των Soft Robotics είναι η ανθεκτικότητά τους, η επαναληψιμότητά τους (δηλαδή πως η συνεχόμενη χρήση των κατασκευών δεν αλλάζει την λειτουργία τους και η κίνηση που κάνουν είναι κάθε φορά όμοια), ο εύκολος σχεδιασμός, η εύκολη κατασκευή και το χαμηλό κόστος. Σημαντικό μειονέκτημα είναι η μη γραμμική συμπεριφορά των πνευματικών συστημάτων τα οποία είναι αυτά που δίνουν κίνηση στους επενεργητές.

2.3 Υπάρχοντα προϊόντα και τεχνολογίες πάνω στον τομέα των Soft Robotics καθώς και αναφορά για τις εφαρμογές που μπορεί να έχουν αυτά

Μέσα από μελέτες και εκτενή έρευνα που έχει γίνει σε πολλά πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα στον κόσμο φαίνεται πως οι πνευματικοί επενεργητές του τομέα αυτού έχουν μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών. Τέτοιες εφαρμογές μπορεί να είναι:

Μια ειδικού τύπου αρπάγη που μπορεί να τοποθετηθεί σε ρομποτικό βραχίονα χωρίς να απαιτείται ιδιαίτερος τρόπος ελέγχου αλλά θα είναι ικανή να εκτελέσει όμοιες λειτουργίες με αντίστοιχες ρομποτικές αρπάγες κατασκευασμένες από μηχανικά εξαρτήματα.

Ένας ρομποτικός νάρθηκας ικανός να κινήσει διάφορα σημεία ενός ανθρώπινου σώματος. Αυτό μπορεί να εφαρμοστεί είτε σε άτομα που έχουν μερική αναπηρία σε κάποιο άκρο τους και χρειάζονται υποβοήθηση για να εκτελέσουν τις καθημερινές τους δραστηριότητες ή και για φυσιοθεραπεία και αποκατάσταση μετά από κάποιον τραυματισμό που μπορεί να είναι από ένα απλό σπασίμο κάποιου κοκάλου μέχρι και την προσωρινή παράλυση νεύρων μετά από εγκεφαλικές βλάβες όπως ένα εγκεφαλικό επεισόδιο, το οποίο είναι και πολύ κοινό στις μέρες μας. Υπάρχουν ακόμα περιπτώσεις όπου η φυσιοθεραπεία ενός ατόμου μπορεί να είναι χρόνια και το να υπάρχει μια συσκευή που να εκτελεί τις ασκήσεις που χρειάζεται ο ασθενής από το σπίτι του, μπορεί να διευκολύνει δραματικά την καθημερινότητά του.

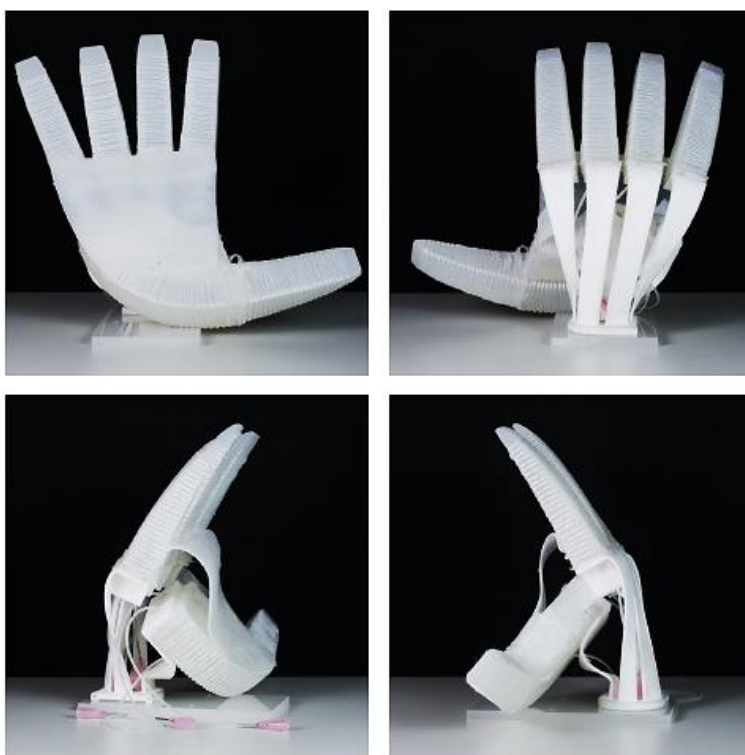
Ακόμα πιο σύνθετη εφαρμογή της επιστήμης αυτής είναι η κατασκευή λειτουργικών ανθρώπινων οργάνων, κάτι που βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο, όμως έχει ελπιδοφόρες προοπτικές για το μέλλον και αν βρει πραγματική εφαρμογή θα έχει σημαντικό αντίκτυπο στον τομέα της ιατρικής.

Παρακάτω θα γίνει αναφορά και μερική περιγραφή κάποιων προϊόντων που υπάρχουν και έχουν εμπνεύσει την παρούσα πτυχιακή εργασία, καθώς και ο ίδιος ο νάρθηκας που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Αυτοματικής και Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης.



2.3.1 Πρωτοποριακά σχεδιασμένο χέρι συμβατό με πνευματικούς επενεργητές για επιδέξιο πιάσιμο

Το ρομποτικό χέρι που έχει αναπτυχθεί στο τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα του Βερολίνου [13], είναι ένα ανθεκτικό ανθρωπόμορφο χέρι που λειτουργεί με πνευματικούς επενεργητές και σκοπό έχει το επιδέξιο πιάσιμο διαφόρων γεωμετριών (**Εικόνα 2.1**). Είναι ανθεκτικό σε συγκρούσεις, έχει απλή κατασκευή και σχεδιασμό και το πιάσιμό του μπορεί να προσαρμοστεί σε ποικίλες γεωμετρίες πράγμα που του επιτρέπει το πιάσιμο εύθραυστων υλικών. Επίσης δεν έχει μεγάλες απαιτήσεις για τον έλεγχό του.



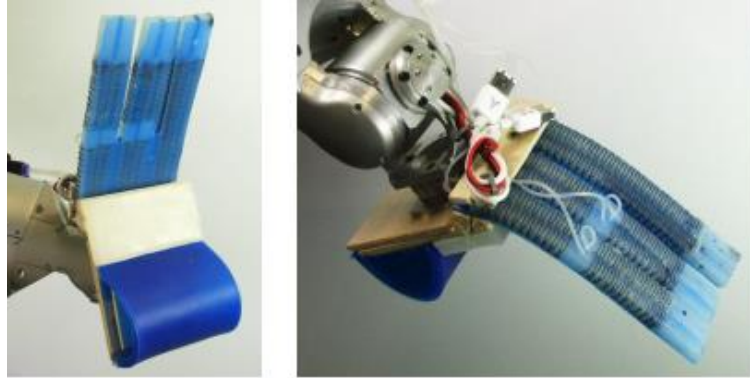
Εικόνα 2.1: Στην εικόνα το ρομποτικό χέρι που αναπτύχθηκε για επιδέξιο πιάσιμο στο τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα του Βερολίνου

2.3.2 Ρομποτικό χέρι συμβατό με πνευματικούς επενεργητές

Το ρομποτικό αυτό χέρι αποτελείται από τρία δάχτυλα τα οποία είναι οι πνευματικοί επενεργητές, και μια παλάμη από σιλικόνη (**Εικόνα 2.2**). Αυτά είναι προσαρμοσμένα σε μια ξύλινη πλακέτα και έτσι δίνεται το τελικό του σχήμα που μοιάζει με χέρι. [1] Το χέρι έχει μεγάλη ανθεκτικότητα σε πιασίματα και συγκρούσεις, καλή επαναληψιμότητα στην κίνηση του, είναι εύκολο να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί, έχει χαμηλό κόστος και ο έλεγχος του είναι σχετικά απλός. Το ρομποτικό αυτό χέρι χρησιμοποιεί επενεργητές τύπου PneuFlex, όμοιους με αυτούς που έχουν χρησιμοποιηθεί στον ρομποτικό νάρθηκα PneumaticGlove που



κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Αυτοματικής και Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας.



Εικόνα 2.2: Το ρομποτικό χέρι με τους πνευματικούς επενεργητές προσαρμοσμένο σε ρομποτικό βραχίονα

2.3.3 Είδη επενεργητών και επιλογή του κατάλληλου για την παρούσα πτυχιακή εργασία

Όλοι οι επενεργητές των Soft Robotics έχουν όμοια λειτουργία όμως αλλάζει ο σχεδιασμός τους και τα υλικά που είναι κατασκευασμένοι καθώς έχουν αναπτυχτεί από διαφορετικές ομάδες ερευνητών. Παρακάτω αναφέρονται μερικοί από αυτούς με μια μικρή περιγραφή για τον καθένα. Ακόμα αναφέρεται ο πνευματικός επενεργητής τύπου PneuFlex, ο οποίος είναι αυτός που χρησιμοποιήθηκε στον ρομποτικό νάρθηκα που κατασκευάσαμε.

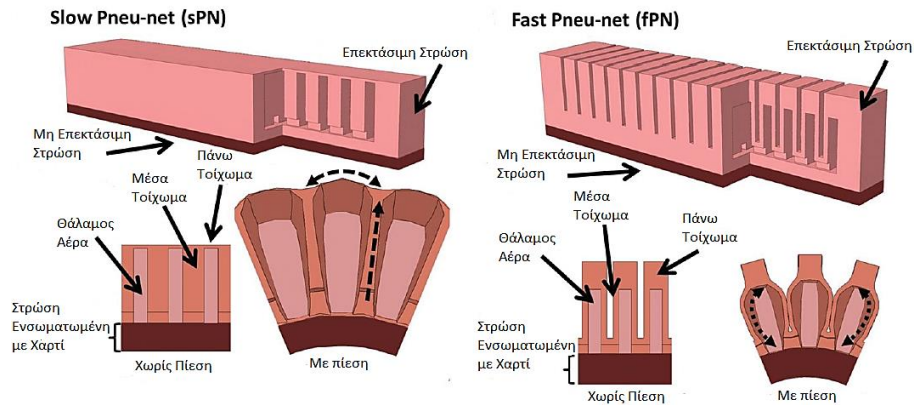
A) Πνευματικά δικτύωματα για μαλακά ρομπότ που ενεργοποιούνται σε σύντομο χρονικό διάστημα (Pneumatic Networks for Soft Robotics that Actuate Rapidly)

Αυτοί οι επενεργητές στην ουσία είναι μαλακά ρομπότ που ενεργοποιούνται μέσω ενός πνευματικού δικτύου και είναι φτιαγμένα από ελαστομερή υλικά. Είναι απλά για τον σχεδιασμό και την κατασκευή σύνθετων γεωμετριών που θα έχουν πολύπλοκες κινήσεις με απλό έλεγχο. Στην συγκεκριμένη εργασία παρουσιάζονται δυο ειδών επενεργητές, ένας που ενεργοποιείται αργά (sPN=Slow Pneu-net) και ένα που ενεργοποιείται γρήγορα (fPN=Fast Pneu-net). [9] (Εικόνα 2.3) Ο πρώτος χρειάζεται μεγάλη πίεση για να καμφθεί και για αυτό αργεί παραπάνω, ενώ ο δεύτερος χρειάζεται πολύ μικρότερη πίεση αέρα και ενεργοποιείται γρήγορα.

Εξετάζοντας τον επενεργητή τύπου sPN βλέπουμε πως η πάνω επιφάνεια, καθώς και οι πλαινές, είναι ένα ενιαίο κομμάτι. Αυτό εμποδίζει την κίνηση του επενεργητή και θέλει μεγάλη πίεση και περισσότερο χρόνο για να δουλέψει.

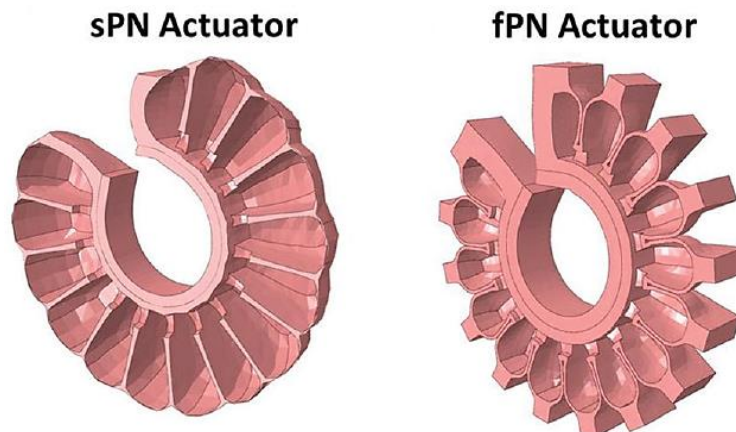


Από την άλλη, στον επενεργητή τύπου fPN βλέπουμε πως τα φυλάκια αέρα από την πάνω και πλαϊνή μεριά είναι χωρισμένα και η κίνηση του ενός δεν εμποδίζει την κίνηση του άλλου και έτσι λειτουργεί με λιγότερη πίεση και χρειάζεται λιγότερο χρόνο.



Εικόνα 2.3: Στην εικόνα μπορούμε να παρατηρήσουμε την δομή των δύο αυτών επενεργητών

Μπορούμε επίσης να δούμε τους πνευματικούς επενεργητές σε κίνηση για να παρατηρήσουμε καλύτερα τις διαφορές στην δομή τους (Εικόνα 2.4). Βλέποντας τους επενεργητές σε τομή ενώ βρίσκονται σε λειτουργία παρατηρούμε πιο εύκολα γιατί έχουν αυτήν την διαφορά στην συμπεριφορά της κίνησης τους.



Εικόνα 2.4: Οι δύο επενεργητές σε κίνηση, σχεδιασμένοι σε τομή

Β) Επενεργητής τύπου Pneuflex

Ο επενεργητής αυτός έχει όμοια λειτουργία με τους επενεργητές τύπου sPN και fPN αλλά αλλάζει ο σχεδιασμός του και ο τρόπος με τον οποίο κινείται αυτός (Εικόνα 2.5). Επίσης υπάρχουν αναλυτικές οδηγίες για την κατασκευή του στο διαδίκτυο στην ιστοσελίδα του τεχνολογικού εκπαιδευτικού ιδρύματος του Βερολίνου όπου αναπτύχθηκε [2]. Οι ιδιότητές του



είναι ικανοποιητικές και η κατασκευή του εύκολη, για αυτό αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν και να προσαρμοστούν οι συγκεκριμένοι επενεργητές στον ρομποτικό νάρθηκα που κατασκευάστηκε.

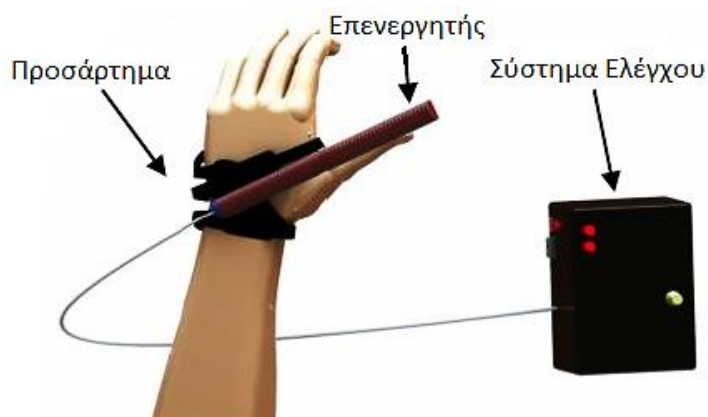


Εικόνα 2.5: Ο επενεργητής τύπου PneuFlex. Στην κάτω εικόνα φαίνεται πως είναι σε τομή

2.3.4 Βιολογικά εμπνευσμένος πνευματικός επενεργητής για αποκατάσταση του αντίχειρα

Η κίνηση του αντίχειρα διαφοροποιείται από την κίνηση των υπόλοιπων δαχτύλων και αυτός είναι ο λόγος που έχει αναπτυχθεί η παρακάτω συσκευή. Αυτή αποτελείται από έναν πνευματικό επενεργητή προσαρμοσμένο με κατάλληλο τρόπο σε ανθρώπινο χέρι ώστε να δίνει κίνηση στον αντίχειρα, και την μονάδα ελέγχου για τον χειρισμό του επενεργητή (Εικόνα 2.6). Είναι μια θεραπευτική συσκευή για άτομα που έχουν υποστεί νευρολογικό τραυματισμό και έχουν αποκτήσει δυσκολία στην κίνηση τους. [12]

Η παραπάνω συσκευή έχει κατασκευαστεί για να μελετηθεί ο τρόπος με τον οποίο μπορεί να χειριστεί κανείς τον αντίχειρα, χρησιμοποιώντας πνευματικούς επενεργητές και το πώς θα πρέπει να τοποθετηθεί αυτός πάνω στο χέρι για να προσφέρει την επιθυμητή κίνηση.



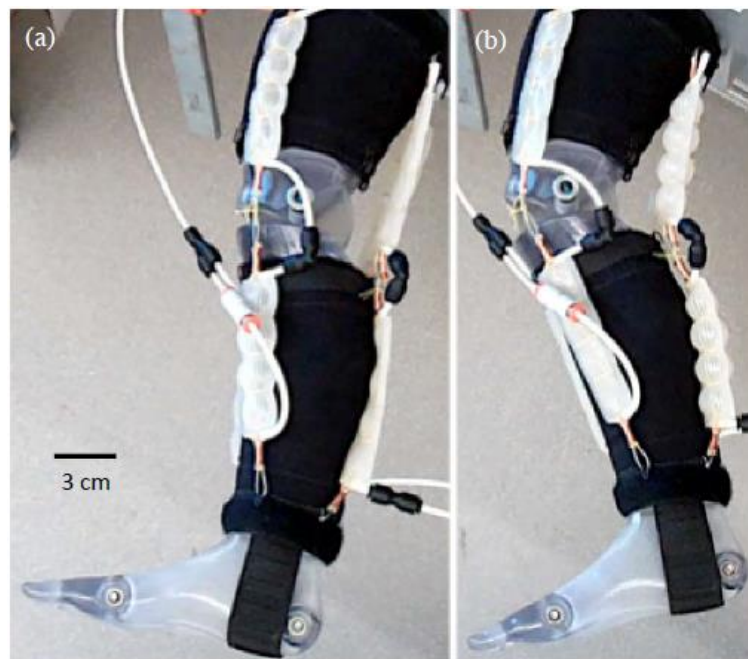
Εικόνα 2.6: Στην εικόνα φαίνεται ο επενεργητής προσαρμοσμένος σε ανθρώπινο χέρι και η συσκευή ελέγχου



2.3.5 Φορητή ρομποτική συσκευή που χρησιμοποιείται για την κίνηση του γόνατου χρησιμοποιώντας πνευματικούς, τεχνητούς μύες

Είναι μια φορητή συσκευή που έχει σχεδιαστεί για να κινήσει ένα ανθρώπινο γόνατο. Αποτελείται από πνευματικούς επενεργητές (τεχνητούς μύες) και μαλακές υφασμάτινες μεμβράνες στις οποίες έχουν προσαρμοστεί οι επενεργητές (**Εικόνα 2.7**). Ο σκοπός της ανάπτυξης του προϊόντος ήταν η κατασκευή ενός φτηνού νάρθηκα, που να μπορεί να φορεθεί εύκολα, να είναι ελαφρύς και λειτουργικός. Τέλος, ο έλεγχος του νάρθηκα είναι σχετικά απλός. [14]

Παρατηρείται στην εικόνα πως η λειτουργία του είναι απλή. Υπάρχουν, δηλαδή, κάποια φυλάκια αέρα τα οποία όταν είναι άδεια έχουν ένα μήκος που επιτρέπει στο πόδι να είναι τεντωμένο, όταν όμως είναι φουσκωμένα, μαζεύουν και τραβάνε το πόδι προς κάποια κατεύθυνση. Όταν φουσκώνουν τα πίσω φυλάκια, ο νάρθηκας μαζεύει από την πίσω μεριά παρασύροντας το κάτω μέρος του ποδιού κάνοντας το γόνατο να λυγίσει, ενώ για να επανέλθει στην κανονική του θέση, αυτά ξεφουσκώνουν και φουσκώνουν τα μπροστινά.



Εικόνα 2.7: Στην εικόνα φαίνεται ένα πρωτότυπο του ρομποτικού νάρθηκα. Στην δεξιά μεριά φαίνεται αυτός σε κίνηση

2.3.6 Γάντι αποκατάστασης με πνευματικούς επενεργητές

Το συγκεκριμένο γάντι είναι σχεδιασμένο και έχει αναπτυχτεί για την αποκατάσταση του χεριού χρησιμοποιώντας πνευματικούς επενεργητές και τεχνολογίες των Soft Robotics (**Εικόνα 2.8**). Υπάρχουν πνευματικοί επενεργητές που έχουν τοποθετηθεί σε ένα ανθρώπινο χέρι και έχει σκοπό να κινήσει τα δάχτυλα του χεριού. [15]



Οι επενεργητές είναι με τέτοιο τρόπο τοποθετημένοι πάνω στο χέρι που όταν τεθεί σε λειτουργία κάποιος από αυτούς δίνει κίνηση στο αντίστοιχο δάχτυλο. Όταν αυτό συμβαίνει με κάποια αλληλουχία επιλεγμένη από τον χρήστη ή τον κατασκευαστή, μπορεί να χαρακτηριστεί φυσιοθεραπευτική άσκηση.



Εικόνα 2.8: Γάντι αποκατάστασης χεριού προσαρμοσμένο σε ανθρώπινο χέρι

2.3.7 Γάντι αποκατάστασης της κινηματικής των δαχτύλων PneumaticGlove

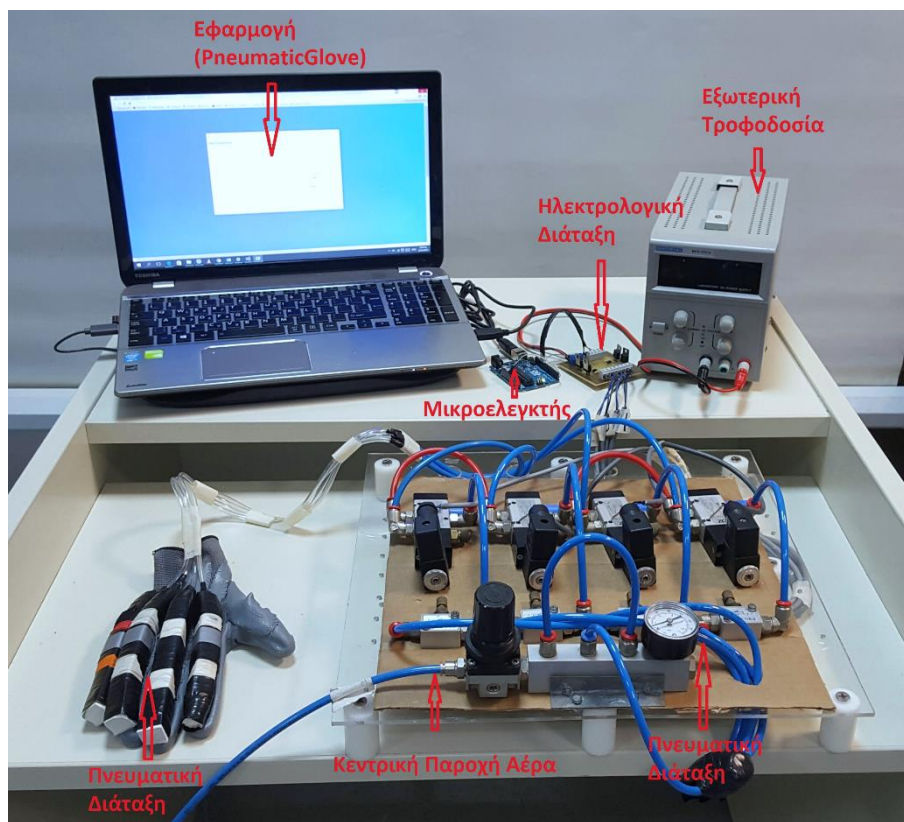
Ο εξωσκελετικός νάρθηκας κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Αυτοματικής και Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης και είναι εμπνευσμένος από την εργασία "A soft pneumatic glove for hand rehabilitation" [15] η οποία ως κυρίως θέμα έχει την αποκατάσταση της κίνησης των δαχτύλων του χεριού.

Στα πλαίσια της παρούσας πτυχιακής εργασίας αναπτύχθηκε ο εξωσκελετικός νάρθηκας PneumaticGlove που φαίνεται παρακάτω (**Εικόνα 2.9**) καθώς και ολοκληρωμένη η μονάδα οδήγησης και ελέγχου συνδεδεμένη πάνω στον νάρθηκα (**Εικόνα 2.10**).

Η χρήση και λειτουργία του νάρθηκα είναι η φυσιοθεραπεία και αποκατάσταση της κινηματικής των δαχτύλων του χεριού με οικονομικό και εύκολο τρόπο ο οποίος μπορεί να προσαρμοστεί στις ανάγκες του ασθενή μέσω μιας εφαρμογής σε ηλεκτρονικό υπολογιστή.



Εικόνα 2.9: Γάντι αποκατάστασης της κινηματικής των δαχτύλων του χεριού PneumaticGlove προσαρμοσμένο σε ανθρώπινο χέρι



Εικόνα 2.10: Τα επιμέρους κομμάτια της μονάδας οδήγησης και ελέγχου του νάρθηκα. Η λειτουργία και σύνδεση αυτών αναλύεται σε παρακάτω κεφάλαιο



3. Ανάλυση της κατασκευής του εξωσκελετικού νάρθηκα για την αποκατάσταση της κινηματικής των δαχτύλων του χεριού

3.1 Εισαγωγή

Ο εξωσκελετικός νάρθηκας που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης είναι στην ουσία ένα γάντι που έχει στην πάνω μεριά του τέσσερις πνευματικούς επενεργητές, ένα για κάθε δάχτυλο, δείκτη, μεσαίο, παράμεσο και μικρό (**Εικόνα 3.1**). Ο νάρθηκας με τα εξωσκελετικά δάχτυλα έχει την δυνατότητα να δώσει κίνηση στα δάχτυλα του χρήστη και να εκτελέσει κάποιες ασκήσεις φυσιοθεραπείας. Για να είναι δυνατή η κίνηση του γαντιού αυτό είναι συνδεδεμένο σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου και οδήγησης που αποτελείται από μια πνευματική διάταξη, μια ηλεκτρολογική διάταξη, έναν μικροελεγκτή και μια εφαρμογή σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως στην κατασκευή δεν έχουμε



ασχοληθεί με τον αντίχειρα επειδή αυτό θέλει δεύτερο βαθμό ελευθερίας και αυτό απαιτεί διαφοροποίηση στον επενεργητή.



Εικόνα 3.1: Ο νάρθηκας αποκατάστασης (PneumaticGlove), με τους επενεργητές τύπου PneuFlex (τροποποιημένους) προσκολλημένους πάνω του

3.2 Κατασκευή πνευματικού επενεργητή

Εδώ εξηγείται πλήρως η διαδικασία που ακολουθείται για την κατασκευή του πνευματικού επενεργητή τύπου PneuFlex. Εκτενέστερα φαίνονται και τα υλικά που χρησιμοποιούνται και ο εξοπλισμός που χρειάζεται.

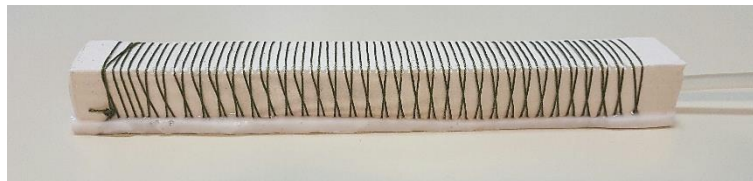
3.2.1 Τι είναι ο πνευματικός επενεργητής

Ένας πνευματικός επενεργητής είναι μια κατασκευή από μαλακά υλικά η οποία έχει σαν στόχο να μιμηθεί κάποιες κινήσεις που βλέπουμε στην καθημερινότητά μας. Ο σχεδιασμός του είναι εμπνευσμένος από την φύση όπως αναφέρθηκε στο υποκεφάλαιο (2.2 Περιγραφή των Soft Robotics). Η χρήση και συνδυασμός των υλικών όπως λάστιχο σιλικόνη και αέρας δίνει στην κατασκευή ξεχωριστές ιδιότητες από ότι οι παραδοσιακοί επενεργητές που είναι φτιαγμένοι με κινητήρες, γρανάζια, συνδέσμους και αρθρώσεις. Οι παραπάνω μηχανισμοί είναι κάποιες φορές δύσκολο να φορεθούν και αποτελούνται από πολλά κομμάτια πράγμα που δυσκολεύει και την συναρμολόγησή τους. Αυτό αυξάνει πολύ την τιμή σε τέτοιου είδους ρομπότ ή ρομποτικών διατάξεων και τα κάνει μη προσιτά σε άτομα που τα έχουν ανάγκη. Από την άλλη οι πνευματικοί επενεργητές φτιάχνονται με χύτευση και εκμεταλλεύονται την συνεχόμενη

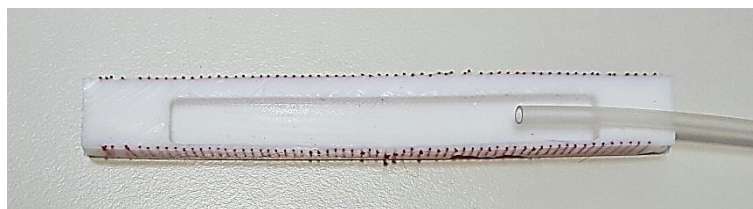


δομή του υλικού που έχει χρησιμοποιηθεί κάνοντας το τελικό προϊόν φτηνό και προσιτό. Με πρόσβαση σε εξειδικευμένο εξοπλισμό μπορεί κάποιος να κατασκευάσει ή να αλλάξει ένα δικό του κομμάτι.

Ο επενεργητής που χρησιμοποιήθηκε έχει μελετηθεί και σχεδιαστεί στο τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα του Βερολίνου και ονομάζεται “PneuFlex actuator” [2] (**Εικόνα 3.2** και **Εικόνα 3.3**). Οδηγίες για τον σχεδιασμό και την κατασκευή του διατίθενται δωρεάν στο διαδίκτυο.

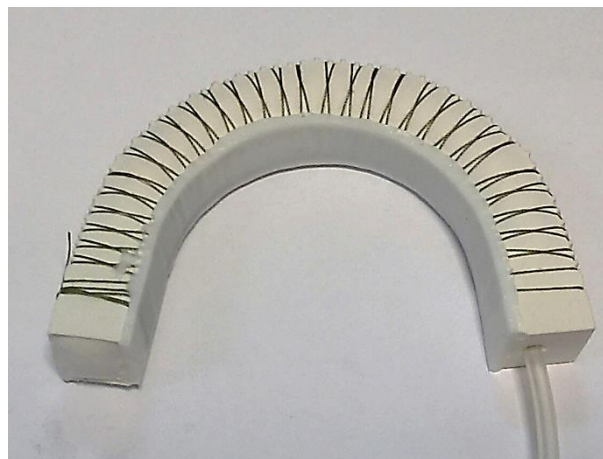


Εικόνα 3.2: Ο πνευματικός επενεργητής τύπου PneuFlex που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Αυτοματικής και Ρομποτικής



Εικόνα 3.3: Ο πνευματικός επενεργητής τύπου PneuFlex που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο Αυτοματικής και Ρομποτικής σε τομή για να φανεί η εσωτερική του δομή

Ο επενεργητής όταν τεθεί σε λειτουργία, ο θάλαμος που έχει μέσα γεμίζει αέρα, αυξάνεται η πίεση και αρχίζει να φουσκώνει. Λόγω της δομής του, η οποία εξηγείται παρακάτω, επιμηκύνεται από την πάνω μεριά, καθώς από την κάτω περιορίζεται η κίνηση του, και κάμπτεται παίρνοντας μια κυκλική μορφή (**Εικόνα 3.4**).



Εικόνα 3.4: Ο επενεργητής PneuFlex σε λειτουργία



3.2.2 Υλικά που χρειάζονται

Ένα μεγάλο θετικό στοιχείο του τομέα αυτού είναι η εύκολη πρόσβαση στον εξοπλισμό που χρειάζεται για να κατασκευαστεί κάποιος πνευματικός επενεργητής. Το κόστος επίσης είναι πολύ χαμηλό σε σύγκριση με κατασκευές για παρόμοια χρήση που έχουν μηχανικά μέρη, και τέλος ο σχεδιασμός αλλάζει πολύ εύκολα οπότε ακόμα και να εντοπιστούν λάθη, διορθώνονται εύκολα.

Επιγραμματικά τα υλικά και ο εξοπλισμός που χρειάζονται είναι: σιλικόνη, νήμα, ογκομετρικό δοχείο, ζυγαριά ακριβείας, λαστιχένια γάντια, καλούπια, θάλαμος κενού, φούρνος, τούλι, ελαστικά σωληνάκια και ένα εξάρτημα παρακέντησης. Παρακάτω αναλύονται τα βασικότερα υλικά που χρειάζονται.

A) Σιλικόνη

Σε έναν πνευματικό επενεργητή το πιο σημαντικό κομμάτι, μετά τον σχεδιασμό του, είναι η σιλικόνη που θα χρησιμοποιηθεί. Η σιλικόνη που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή του δικού μας πνευματικού επενεργητή μετά από κάποια πειράματα, είναι η Elastosil M 4512 της Wecker (Εικόνα 3.5), η οποία είναι σιλικόνη δυο υλικών με καταλύτη T-51 που χρησιμοποιείται σε αναλογία 5% του συνολικού βάρους. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της φαίνονται παρακάτω (Εικόνα 3.6).



Εικόνα 3.5: Σιλικόνη Elastosil M 4512 της Wecker μαζί με τον καταλύτη T-51



| Typical general characteristics | | |
|---------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Property | Inspection Method | Value |
| Density at 23 °C 1013 hPa | | approx. 1.2 g/cm ³ |
| Elongation at break | ISO 37 | 500 % |
| Hardness Shore A | ISO 868 | 20 |
| Tensile strength | ISO 37 | 3.5 N/mm ² |
| Viscosity at 23 °C | ISO 3219 | 25000 |
| Viscosity, dynamic at 23 °C | DIN EN ISO 3219 | 30000 mPa.s |
| Density at 23 °C in water | ISO 2781 | 1.19 g/cm ³ |
| tear-strength | ASTM D 624 B | > 24 N/mm |

The figures are intended as a guide and should not be used in preparing specifications.

Εικόνα 3.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά σιλικόνης τύπου *Elastosil M 4512* της *Wecker*

B) Ενίσχυση με νήμα

Παρατηρείται πως σε δοκίμια από σιλικόνη παίζει πολύ μεγάλος ρόλος στην κίνηση τους η δομή του υλικού, αλλά και οι εξωτερικοί περιορισμοί που μπορεί να βάλει κανείς στην κατασκευή του. Ο τρόπος που θα τοποθετηθεί το νήμα παίζει σημαντικό ρόλο στην κίνηση και την αντοχή του πνευματικού επενεργοποιητή. Παρακάτω φαίνεται και εξηγείται ο τρόπος που έχει τυλιχτεί αυτό γύρω από το δοκίμιο ώστε να του προσφέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα. Στην παρούσα κατασκευή χρησιμοποιήθηκε κοινό νήμα ραπτικής από πολυεστέρα (**Εικόνα 3.7**).



Εικόνα 3.7: Νήμα από πολυεστέρα σε διάφορα χρώματα



Γ) Ελαστικά σωληνάκια για την παροχή αέρα στον επενεργητή

Ο αέρας οδηγείται στους επενεργητές μέσα από κάποια σωληνάκια. Στην πνευματική διάταξη η οποία θα αναλυθεί σε άλλο κεφάλαιο χρησιμοποιούνται κάποια σωληνάκια τα οποία είναι σχετικά χοντρά, έχουν μεγάλη αντοχή αλλά και είναι σκληρά. Για την ενεργοποίηση, όμως, του πνευματικού επενεργητή θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν κάποια σωληνάκια τα οποία να αντέχουν την ζητούμενη πίεση και να είναι εύκαμπτα. Μετά από μια μικρή έρευνα φάνηκε πως τέτοια μπορούν να είναι τα σωληνάκια ορού που χρησιμοποιούνται σε νοσοκομεία (Εικόνα 3.8).



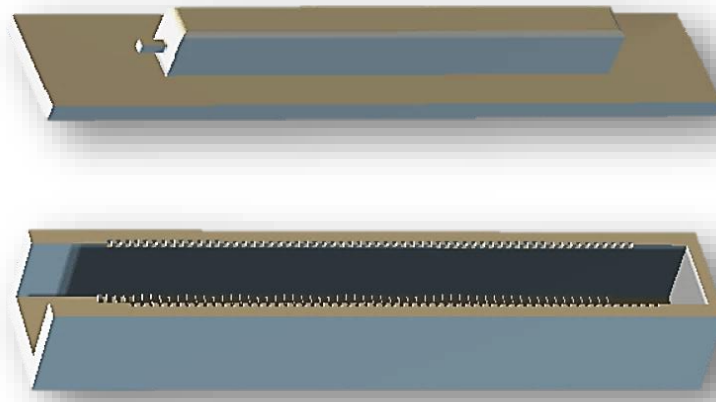
Εικόνα 3.8: Το μαλακό σωληνάκι ορού που χρησιμοποιήθηκε για την παροχή αέρα στους πνευματικούς επενεργητές

Δ) Καλούπι για την χύτευση της σιλικόνης

Ο σχεδιασμός του επενεργητή τύπου PneuFlex, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι κατασκευασμένος στο τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα του Βερολίνου. Τα σχέδια και η διαδικασία κατασκευής τους διατίθενται δωρεάν στο διαδίκτυο. Αφού λοιπόν κατεβάσαμε τα αρχεία για τα σχέδια των καλουπιών που θα χυτευτεί η σιλικόνη, αυτά εκτυπώθηκαν στον 3D Printer, elite της Dimension, που υπάρχει στο εργαστήριο Αυτοματικής και Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης (Εικόνα 3.9). Παρακάτω φαίνονται το πάνω και το κάτω κομμάτι του καλουπιού που χρησιμοποιήθηκε καθώς και τα σχέδια τους σε πρόγραμμα CAD (Εικόνα 3.10).



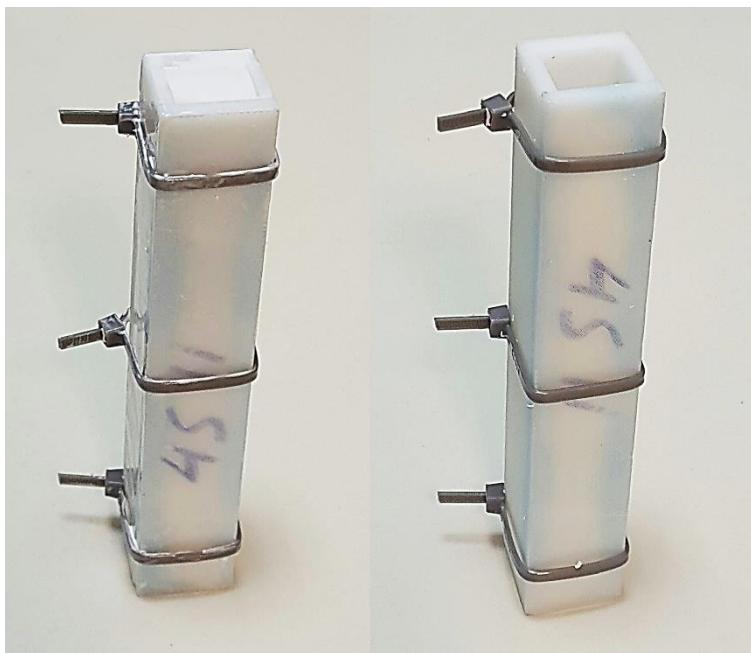
Εικόνα 3.9: Το καλούπι που χρησιμοποιήθηκε για την χύτευση της σιλικόνης αμέσως μετά την εκτύπωση του στον 3D Printer, elite της Dimension



Εικόνα 3.10: Τα σχέδια CAD που κατεβάστηκαν από την ιστοσελίδα του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος του Βερολίνου

3.2.3 Διαδικασία κατασκευής Pneuflex Actuator

Για την κατασκευή του επενεργητή χρησιμοποιήθηκαν διάφορα αναλώσιμα προϊόντα, πέρα από τον πιο εξειδικευμένο εξοπλισμό. Τα υλικά που χρειάζονται είναι τα εξής: Λαστιχένια γάντια, ογκομετρικό δοχείο, ζυγαριά ακριβείας, τούλι, κόλα στιγμής, μονωτική ταινία και ένα εξάρτημα παρακέντησης το οποίο κατασκευάστηκε στο Μηχανολογικό εργαστήριο σε συμβατικό τόρνο και η λειτουργία του εξηγείται παρακάτω. Αφού βεβαιωθούμε πως έχουμε όλα τα υλικά που θα χρειαστούμε μπορούμε να ξεκινήσουμε. Αρχικά ετοιμάζουμε το καλούπι στην θέση που θα χυτέψουμε την σιλικόνη και το τοποθετούμε όρθιο (**Εικόνα 3.11**).



Εικόνα 3.11: Το καλούπι χύτευσης, πριν και μετά την πλήρωσή του με σιλικόνη

Στην συνέχεια τοποθετούμε ένα ογκομετρικό δοχείο (Εικόνα 3.12), πάνω στην ζυγαριά ακριβείας(Εικόνα 3.13), στην οποία μετράμε (κατά βάρος) την σιλικόνη και τον καταλύτη που χρησιμοποιούμε. Το ποσοστό του καταλύτη T-51 για την σιλικόνη Elastosil M 4512 είναι 5% του συνολικού βάρους του μίγματος. Ανακατεύουμε καλά τα δυο αυτά υλικά και προχωράμε στο επόμενο βήμα.



Εικόνα 3.12: Ογκομετρικό δοχείο το οποίο χρησιμοποιείται για την σωστή μέτρηση της ποσότητας της σιλικόνης και το ανακάτεμά της με τον καταλύτη



Εικόνα 3.13: Η ζυγαριά ακριβείας που χρησιμοποιήθηκε για την σωστή μέτρηση στην δοσολογία της σιλικόνης με τον καταλύτη

Αφού το μίγμα έχει γίνει ομοιογενές το τοποθετούμε μέσα στον θάλαμο κενού και το αφήνουμε μέχρι να γίνει πλήρης απαλοιφή των φυσαλίδων. Ύστερα ρίχνουμε το μίγμα στο καλούπι και το τοποθετούμε όπως είναι, μαζί με το καλούπι, στον θάλαμο κενού για λίγα λεπτά για να φύγουν και οι τελευταίες φυσαλίδες που δημιουργήθηκαν κατά την χύτευση.

Όταν φτιάχνεται η σιλικόνη, από το ανακάτεμα των δυο υλικών δημιουργούνται μέσα στο υλικό μικρές φυσαλίδες, και αν το μίγμα στεγνώσει έτσι, χαλάνε οι ιδιότητες του προϊόντος καθώς χάνεται η ομοιογένεια στην δομή της σιλικόνης και δημιουργούνται αδύναμα σημεία στο τελικό προϊόν. Ο αριθμός των φυσαλίδων μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την χρήση ενός θαλάμου κενού. Παρακάτω (**Εικόνα 3.14**) φαίνεται ο θάλαμος κενού Mk-mini της Mk Technology που χρησιμοποιήθηκε, ο οποίος μπορεί να δημιουργήσει υποπίεση κοντά στο -1bar, πράγμα που τον χρήσει κατάλληλο για την απαλοιφή των φυσαλίδων στο μίγμα. Θετικό στοιχείο του θαλάμου είναι πως δεν χρειάζονται κάποιες ρυθμίσεις για την λειτουργία του (στην συγκεκριμένη περίπτωση), απλά τίθεται σε λειτουργία και παρακολουθείται η διαδικασία απαλοιφής φυσαλίδων.



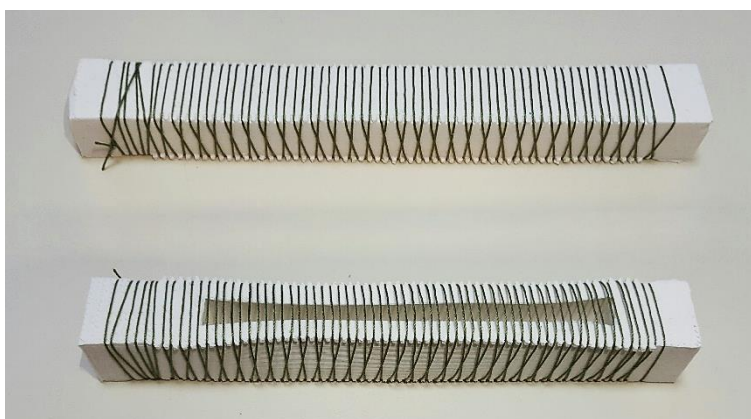
Εικόνα 3.14: Ο θάλαμος κενού της Mk Technology μοντέλου Mk-mini, του εργαστήριου Αυτοματικής και Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης

Αφού τελειώσει αυτή η διαδικασία το καλούπι με το μίγμα θα πρέπει να μείνει σε ηρεμία μέχρι να στεγνώσει καλά. Η διαδικασία αυτή μπορεί να επιταχυνθεί τοποθετώντας το καλούπι με το μίγμα σε έναν φούρνο για λίγες ώρες. Για το είδος της σιλικόνης που χρησιμοποιήθηκε δεν συνιστάται φούρνος για να επιταχυνθεί η διαδικασία, όμως αυτό δεν είναι απαγορευτικό και μετά από κάποιες δοκιμές δεν παρατηρήθηκαν τεχνικές διαφορές μεταξύ δοκιμών που έχουν στεγνώσει σε θερμοκρασία δωματίου και άλλων που έχουν στεγνώσει σε φούρνο με χαμηλή θερμοκρασία (60 C°) για μερικές ώρες. Για εξοικονόμηση χρόνου χρησιμοποιήθηκε τέτοιος φούρνος για την κατασκευή των επενεργητών. Μετά από αυτήν την διαδικασία αφαιρούμε το καλούπι και μένει το παρακάτω κομμάτι (**Εικόνα 3.15**).



Εικόνα 3.15: Το σχήμα που παίρνει η σιλικόνη από το καλούπι και από τις δύο πλευρές για να φανεί ο θάλαμος για τον αέρα

Παρατηρούμε πως σε όλες τις πλευρές υπάρχουν κάποια δοντάκια, αυτά τα δοντάκια είναι οι οδηγοί, με τους οποίους θα τυλίξουμε το νήμα πιο εύκολα και σωστά. Επίσης με αυτόν τον τρόπο μένει πιο σταθερό (**Εικόνα 3.16**). Αφού περάσουμε και το νήμα η εικόνα που θα πάρουμε φαίνεται παρακάτω. Προσέχουμε να μην σφίξουμε πολύ το νήμα γιατί δεν πρέπει να αλλάξει το ορθογώνιο σχήμα του δοκιμίου.



Εικόνα 3.16: Το δοκίμιο αφού έχει τυλιχτεί το νήμα. Παρατηρούμε τον τρόπο που έχει τυλιχτεί αυτό. Είναι σημαντικό από την πάνω και τη κάτω μεριά να τυλίγεται παράλληλα και στα πλάγια σταυρωτά

Από την κάτω μεριά υπάρχει ένα κενό το οποίο είναι ο θάλαμος που θα μπαίνει ο αέρας. Η μεριά αυτή θα πρέπει να κλείσει για τρεις λόγους. Πρώτον για να κλείσει ο θάλαμος αέρα, δεύτερον για να κολλήσει το νήμα σε σταθερή θέση και τρίτον για να περιοριστεί η ελευθερία κίνησης της κάτω μεριάς του επενεργητή. Για να γίνει το τρίτο κομμάτι, θα πρέπει η κάτω στρώση να αποτελείται από σιλικόνη και ένα διαπερατό και μη ελαστικό υλικό όπως είναι το τούλι (**Εικόνα 3.17**).



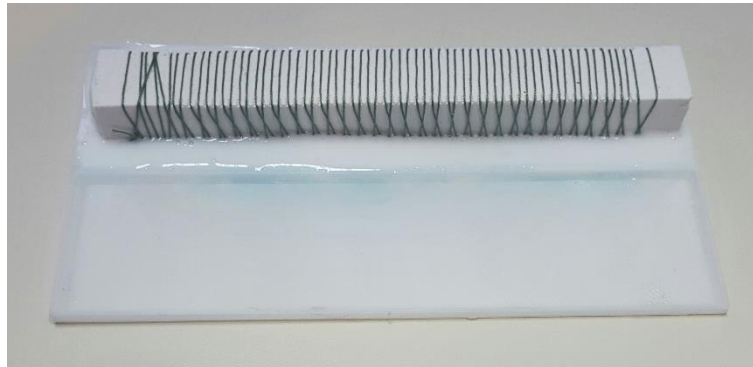
Εικόνα 3.17: Το τούλι που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή του PneuFlex Actuator

Η κάτω στρώση θα πρέπει να είναι περίπου 2 χιλιοστά σε πάχος, για να επιτευχθεί αυτό σχεδιάστηκε ένα καλούπι βάθους 2 χιλιοστών και εκτυπώθηκε στον 3D Printer. Σε αυτό μπορεί να χυτευτεί η σιλικόνη που θα έχει ενσωματωμένο ένα κομμάτι τούλι και στην συνέχεια να τοποθετηθεί από πάνω του το δοκίμιο (**Εικόνα 3.19**). Τα σχέδια CAD του καλουπιού που σχεδιάστηκε φαίνονται παρακάτω (**Εικόνα 3.18**).



Εικόνα 3.18: Η βάση βάθους 2 χιλιοστών που σχεδιάστηκε στο Creo Parametric 3.0

Η ιδιότητα που δίνει ο συνδυασμός της σιλικόνης με το τούλι στην κάτω επιφάνεια είναι να περιορίζει την κίνηση της κάτω μεριάς εντελώς, επιτρέποντας μόνο στην πάνω μεριά να επιμηκυνθεί όταν ο επενεργητής τεθεί σε λειτουργία, δίνοντας του την επιθυμητή κλίση.



Εικόνα 3.19: Το δοκίμιο τοποθετημένο στην ειδική εκτυπωμένη βάση (σε 3D Printer) η οποία αντιστοιχεί στην κάτω πλευρά του επενεργητή

Αφού αφήσουμε και την κάτω επιφάνεια να στεγνώσει ο επενεργητής είναι σχεδόν έτοιμος για χρήση (**Εικόνα 3.20**). Το τελικό στάδιο αποτελείται από την παρακέντηση που απαιτείται ώστε να τοποθετηθεί το ελαστικό σωληνάκι μέσα στο κυρίως σώμα του επενεργητή και μέσα στον κενό θάλαμο που υπάρχει.

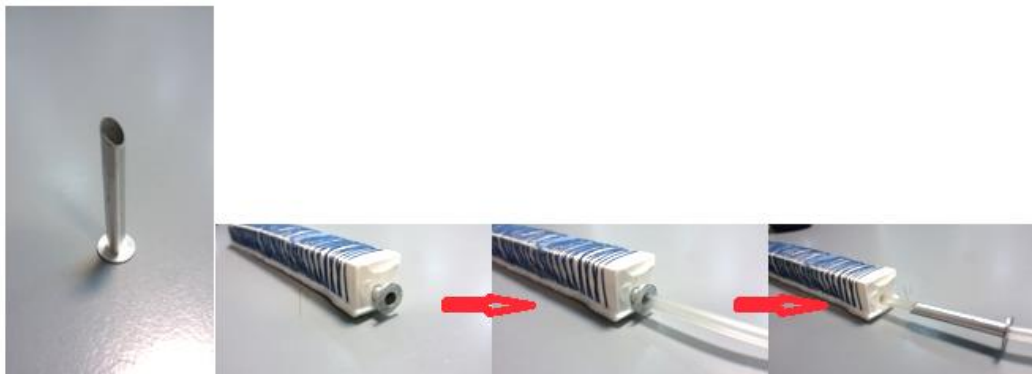


Εικόνα 3.20: Ο επενεργητής μαζί με την κάτω επιφάνεια από την πάνω και από την κάτω πλευρά

Για να γίνει η παρακέντηση κατασκευάστηκε ένα εξάρτημα, από αλουμίνιο, σε συμβατικό τόρνο στο Μηχανολογικό εργαστήριο του ΤΕΙ Κρήτης, που έχει όμοια λειτουργία με καθετήρα νοσοκομείου αλλά είναι πιο χοντρό (**Εικόνα 3.21**).

Το εξάρτημα λειτουργεί ως εξής:

Τρυπάμε την σιλικόνη στο σημείο που θέλουμε, αφού έχουμε βεβαιωθεί πως έχουμε φτάσει στον θάλαμο που υπάρχει μέσα περνάμε το σωληνάκι μέσα από το εξάρτημα και τέλος αφαιρούμε το εξάρτημα. Με αυτόν τον τρόπο το σωληνάκι μένει μέσα και έτσι μπορούμε να οδηγήσουμε τον αέρα στον επενεργητή και να του δώσουμε κίνηση.

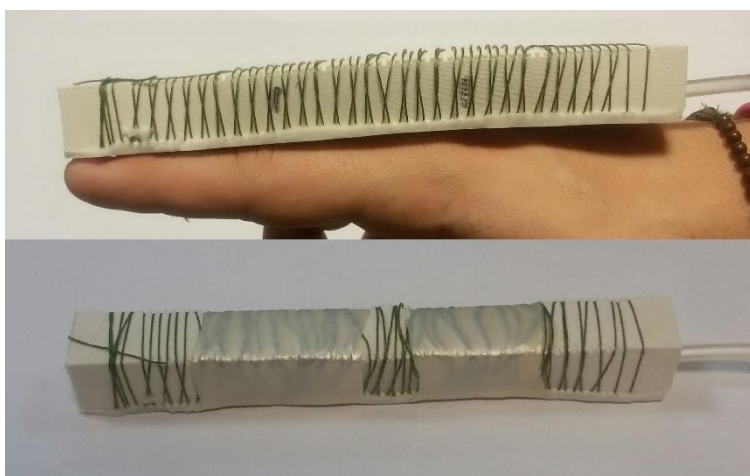


Εικόνα 3.21: Φαίνεται το εξάρτημα που κατασκευάσαμε και η χρήση του σε τρία απλά βήματα

3.3 Προσαρμογή πνευματικών επενεργητών για χρήση στον ρομποτικό νάρθηκα και τοποθέτηση τους πάνω σε αυτόν

Στην δικιά μας περίπτωση, όπου θέλουμε να κινήσουμε ανθρώπινα δάχτυλα, είναι χρήσιμο να δώσουμε κάποια συγκεκριμένη ελευθερία στην κίνηση του επενεργητή. Για να γίνει αυτό θα πρέπει να βρούμε σε κάθε δάχτυλο τα σημεία που βρίσκονται οι αρθρώσεις που θέλουμε να κινήσουμε και να περιορίσουμε την κίνηση στα υπόλοιπα σημεία (Εικόνα 3.22). Για να το πετύχουμε αυτό μπορούμε να βάλουμε εξωτερική επένδυση στα σημεία που δεν θέλουμε να κινούνται και να αφήσουμε ελεύθερα αυτά που θέλουμε.

Στα σημεία που μένουν ακάλυπτα, το νήμα δεν είναι στερεωμένο και έτσι μπορεί να μετακινηθεί, αυτό το αντιμετωπίζουμε τοποθετώντας μια ελαστική μεμβράνη γύρο από αυτά και έτσι περιορίζουμε την κίνηση του νήματος χωρίς να αλλάζουμε την κίνηση του επενεργητή. Σε κάθε δάχτυλο η θέση των αρθρώσεων αυτών είναι διαφορετική οπότε πρέπει να δοθεί προσοχή σε αυτό. Πρέπει δηλαδή να βρίσκουμε κάθε φορά την θέση των αρθρώσεων για να τοποθετήσουμε την ελαστική μεμβράνη.



Εικόνα 3.22: Αρχικά σημειώνονται τα σημεία πάνω στον επενεργητή τα οποία αντιστοιχούν στις αρθρώσεις του εκάστοτε δαχτύλου και στην συνέχεια τοποθετείται σε αυτά μια ελαστική μεμβράνη



Για τον περιορισμό της κίνησης του υπόλοιπου κομματιού χρησιμοποιήθηκε μονωτική ταινία λόγω του ότι είναι εύκολη η χρήση της και μας δίνει το επιθυμητό αποτέλεσμα. Η μονωτική ταινία θα αφήσει ακάλυπτα μόνο τα σημεία που θέλουμε να κινήσουμε. Στην ουσία αυτό που έχουμε καταφέρει είναι να μετατρέψουμε τον πνευματικό επενεργητή σε εξωσκελετικό δάχτυλο κατάλληλο να κινήσει ένα πραγματικό ανθρώπινο δάχτυλο (**Εικόνα 3.23**). Παρακάτω φαίνεται αυτό τοποθετημένο πάνω σε ανθρώπινο χέρι, σε ηρεμία και σε κίνηση.



Εικόνα 3.23: Παρατηρούμε εδώ το εξωσκελετικό δάχτυλο και την κίνηση του μετά από την τροποποίηση που έχει γίνει

Όμοια διαδικασία ακολουθήσαμε για την κατασκευή όλων των δαχτύλων.

Αφού ολοκληρωθούν όλα τα δάχτυλα θα πρέπει να τοποθετηθούν σε κατάλληλο γάντι ώστε το τελικό αποτέλεσμα να είναι ο ρομποτικός νάρθηκας. Επιλέχτηκε ένα απλό ελαστικό γάντι (**Εικόνα 3.24**), λόγω του χαμηλού κόστους και επειδή είναι εύκολο να φορεθεί. Τα εξωσκελετικά δάχτυλα έχουν τοποθετηθεί πάνω στο γάντι με κόλλα στιγμής και αφού η διαδικασία ολοκληρωθεί έχουμε το τελικό αποτέλεσμα (**Εικόνα 3.25**).



Εικόνα 3.24: Το λαστιχένιο γάντι που χρησιμοποιήθηκε για την τοποθέτηση των εξωσκελετικών δαχτύλων



Εικόνα 3.25: Τελική μορφή εξωσκελετικού νάρθηκα

Αφού έχει κατασκευαστεί ο νάρθηκας πρέπει να συνδεθεί στην μονάδα οδήγησης και ελέγχου που θα τον κινεί. Τα ελαστικά σωληνάκια συνδέονται στην πνευματική διάταξη, η οποία κατευθύνει τον αέρα ανάλογα με τις εντολές που παίρνει από τον χρήστη. Η σύνδεση του νάρθηκα με την πνευματική διάταξη, την ηλεκτρολογική διάταξη και τον μικροελεγκτή περιγράφεται στο επόμενο κεφάλαιο ενώ η εφαρμογή για τον έλεγχο του αναλύεται στο κεφάλαιο 5.



4. Περιγραφή και ανάλυση της μονάδας οδήγησης του εξωσκελετικού νάρθηκα

4.1 Εισαγωγή

Ο εξωσκελετικός νάρθηκας από την στιγμή που έχει κατασκευαστεί χρειάζεται έναν τρόπο οδήγησης και ελέγχου. Αυτό για να επιτευχθεί θα κατασκευαστεί ένα σύστημα το οποίο θα βάζει σε επικοινωνία τον χρήστη με τον νάρθηκα. Το σύστημα αυτό αποτελείται από τα εξής κομμάτια (**Εικόνα 4.1**):

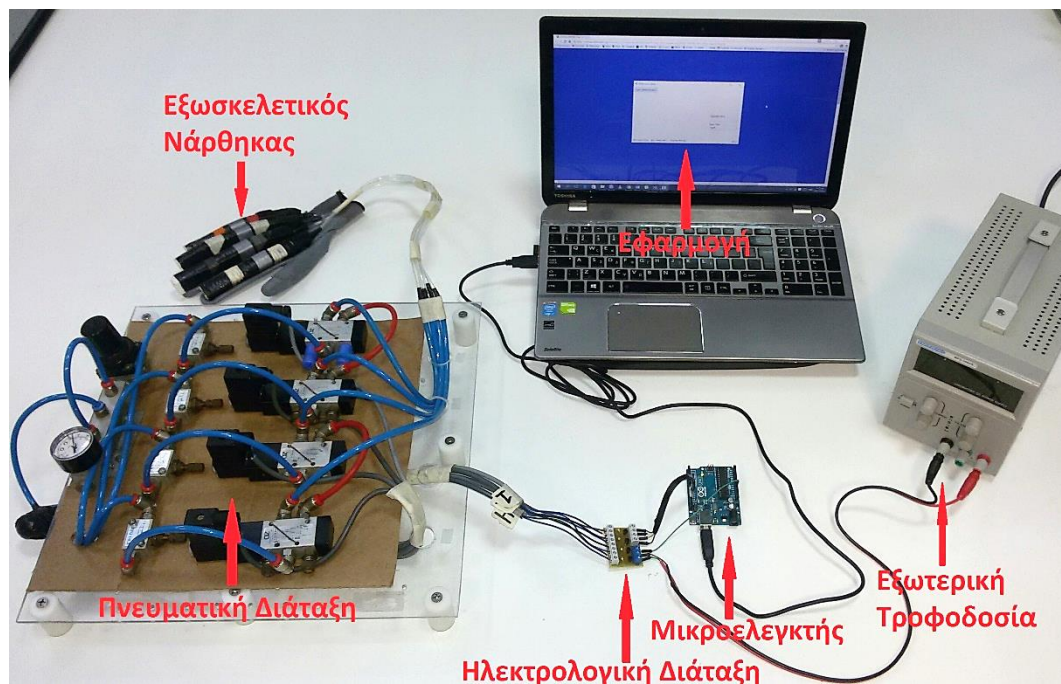
- A) εφαρμογή σε ηλεκτρονικό υπολογιστή
- B) μικροελεγκτής
- Γ) ηλεκτρολογική διάταξη



Δ) πνευματική διάταξη

Ε) εξωσκελετικός νάρθηκας

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει ανάλυση και περιγραφή της κατασκευής, σύνδεσης και λειτουργίας του μικροελεγκτή με την ηλεκτρολογική διάταξη και την πνευματική διάταξη. Η εφαρμογή με την οποία θα χειρίζεται ο χρήστης τον νάρθηκα θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 4.1: Ολοκληρωμένη διάταξη για τον χειρισμό του εξωσκελετικού νάρθηκα

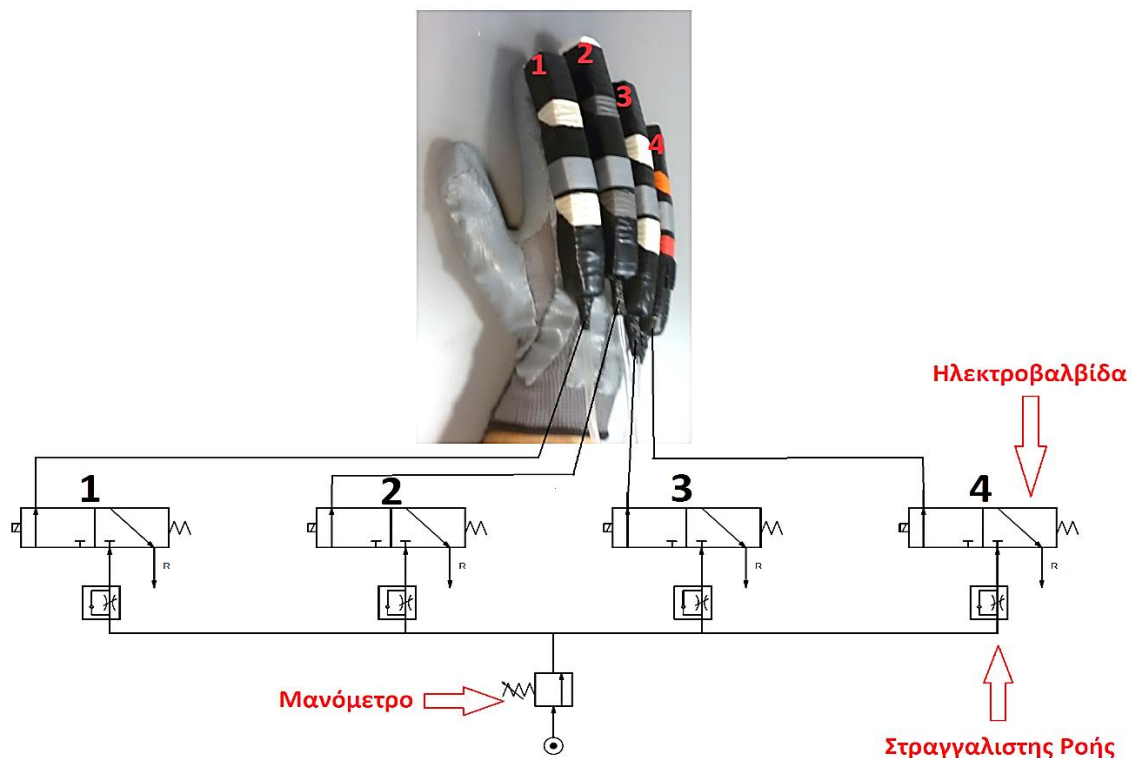
Μερική περιγραφή της λειτουργίας του συστήματος είναι η εξής: μέσω μιας εφαρμογής σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ορίζεται από τον χρήστη το είδος άσκησης που θέλει να εκτελέσει ο νάρθηκας. Ο κώδικας που υπάρχει πίσω από την κάθε λειτουργία του νάρθηκα στέλνεται σε έναν μικροελεγκτή μέσω μια απλής σειριακής θύρας, ο ελεγκτής με την με την σειρά του στέλνει σήμα στην ηλεκτρολογική διάταξη ανοιγοκλείνοντας κάποιους διακόπτες οι οποίοι είναι υπεύθυνοι για την τροφοδοσία στα ρελλέ των ηλεκτροβαλβίδων. Αν δοθεί σήμα HIGH σε έναν διακόπτη της ηλεκτρολογικής διάταξης, τότε τροφοδοτείται το ρελλέ της ηλεκτροβαλβίδας οπότε ανοίγει η παροχή αέρα προς τον νάρθηκα και κλείνει το εκάστοτε δάχτυλο μέχρι να αλλάξει το σήμα. Αν το σήμα είναι LOW δεν ανοίγει η παροχή αέρα προς τον νάρθηκα και το δάχτυλο μένει ανοιχτό. Τα είδη των λειτουργιών που υπάρχουν στην εφαρμογή ορίζουν την σειρά, τον τρόπο και το χρονικό διάστημα για το οποίο θα δίνονται τα σήματα. Το σύστημα που αναλύεται σε αυτό το κεφάλαιο είναι υπεύθυνο για την εκτέλεση των εντολών που δίνονται από την εφαρμογή, ενώ η ίδια η εφαρμογή περιγράφεται στο κεφάλαιο 5.



4.2 Η πνευματική διάταξη που είναι υπεύθυνη για την οδήγηση του αέρα στους επενεργητές του εξωσκελετικού νάρθηκα

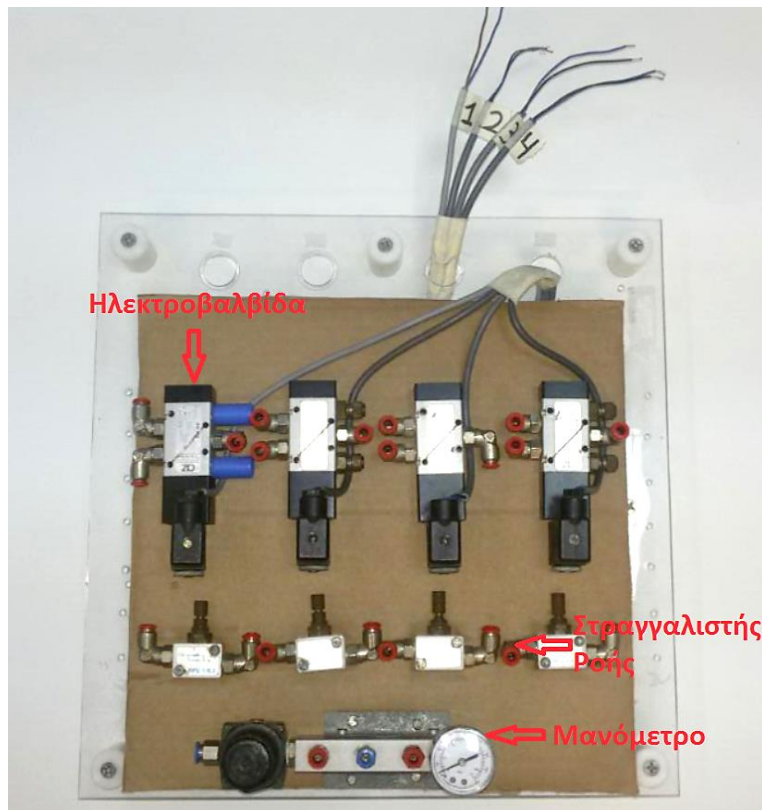
Για να λειτουργήσει ο νάρθηκας θα πρέπει να υπάρχει μια πνευματική διάταξη η οποία να είναι υπεύθυνη για να οδηγήσει τον αέρα από την κεντρική παροχή στον νάρθηκα με κάποια συγκεκριμένη πίεση που θα του έχουμε ορίσει, και ελεγχόμενη ροή. Η διάταξη αυτή θα αποτελείται από έναν πνευματικό ρυθμιστή (μανόμετρο), τέσσερις στραγγαλιστές ροής, τέσσερις ηλεκτροβαλβίδες και ελαστικά σωληνάκια για να συνδεθούν αυτά μεταξύ τους. Συνδυάζοντας τα παραπάνω έχουμε μια ολοκληρωμένη πνευματική διάταξη (Εικόνα 4.2).

Το πνευματικό διάγραμμα της διάταξης έχει ως εξής:



Εικόνα 4.2: Το πνευματικό διάγραμμα της διάταξης η οποία αποτελείται από ένα μανόμετρο, τέσσερις στραγγαλιστές ροής και τέσσερις ηλεκτροβαλβίδες

Παρακάτω φαίνεται η πραγματική πνευματική διάταξη που κατασκευάστηκε χωρίς να έχει γίνει η σύνδεση των επιμέρους στοιχείων(Εικόνα 4.3).



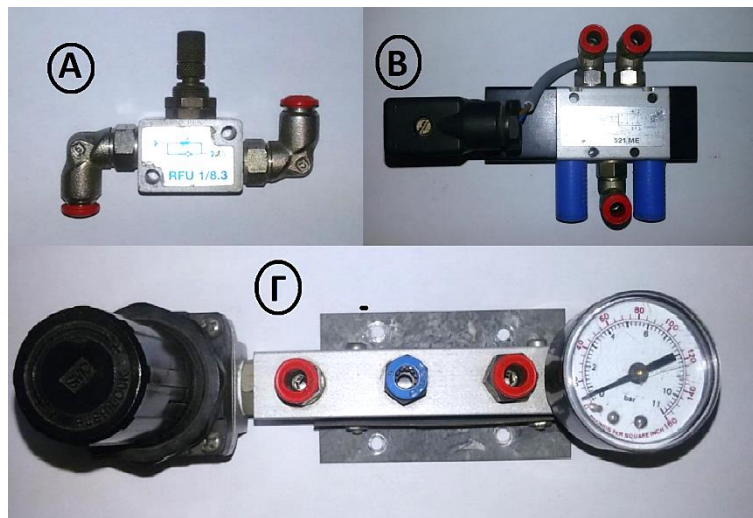
Εικόνα 4.3: Η πνευματική διάταξη χωρίς τα ελαστικά σωληνάκια που ενώνουν τα εξαρτήματά της για να φανούν καλύτερα τα επιμέρους στοιχεία της

Πιο λεπτομερής περιγραφή για την σύνδεση είναι η εξής: Ξεκινάμε από την κεντρική τροφοδοσία του εργαστηρίου η οποία είναι στα 10bar και συνδέουμε το σωληνάκι στο μανόμετρο όπου περιορίζουμε την πίεση στα 2bar, τα οποία είναι αρκετά για την κίνηση των εξωσκελετικών δαχτύλων. Ο πνευματικός ρυθμιστής (μανόμετρο) που χρησιμοποιήθηκε είναι ο MC EAR2000-F02. Από δω ο αέρας θα πρέπει να οδηγηθεί στους στραγγαλιστές ροής.

Οι τέσσερις στραγγαλιστές ροής, οι οποίοι ελέγχουν την ροή μέσα στο σύστημα, είναι υπεύθυνοι για την ταχύτητα που κλείνουν τα δάχτυλα (για το άνοιγμα των δαχτύλων ρυθμίζουμε την εξαγωγή του αέρα στις ηλεκτροβαλβίδες). Ο στραγγαλιστής ροής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο RFU 1/8.3. Με αυτούς μπορεί ο χρήστης να ελέγχει την ταχύτητα που επιθυμεί ο ίδιος κάθε φορά να εκτελείται η κίνηση των δαχτύλων του νάρθηκα.

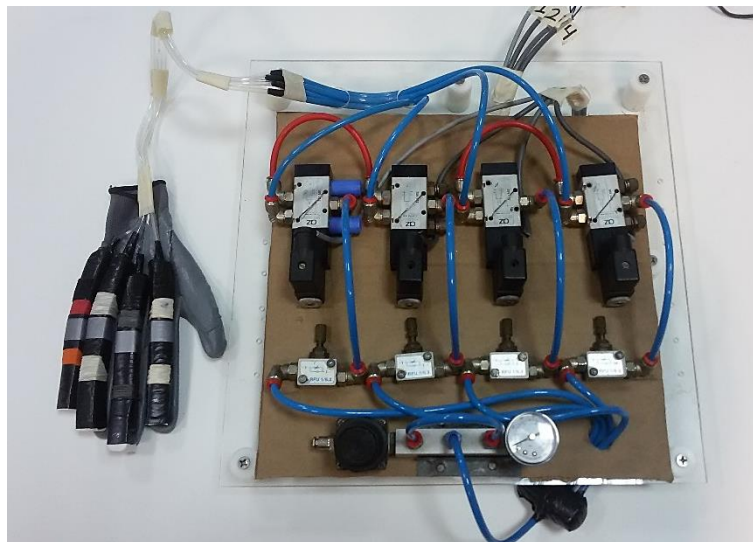
Μετά από τους στραγγαλιστές ροής ο αέρας οδηγείται στις ηλεκτροβαλβίδες όπου ανάλογα από το σήμα που παίρνουν οδηγούν τον αέρα στους πνευματικούς επενεργητές ή τον αποβάλλουν. Η δουλειά της ηλεκτροβαλβίδας είναι να κατευθύνει τον αέρα προς μια από τις δύο κατευθύνσεις που έχει. Όταν θα δέχεται ρεύμα θα κατευθύνει τον αέρα προς το δάχτυλο κλείνοντάς το ενώ όταν δεν θα δέχεται ρεύμα θα τον αποβάλει αφήνοντας το δάχτυλο ανοιχτό. Οι ηλεκτροβαλβίδες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι 521 ME.

Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται παρακάτω (**Εικόνα 4.4**).



Εικόνα 4.4: Α) Στραγγαλιστής ροής RFU 1/8.3, Β) Ηλεκτροβαλβίδα 521 ME, Γ) Μανόμετρο S MC EAR2000-F02

Αφού έχουν τοποθετηθεί όλα τα στοιχεία της διάταξης σε ένα κομμάτι πλεξιγκλάς, θα πρέπει να συνδεθούν μεταξύ τους αλλά και με τον νάρθηκα. Η παροχή θα γίνει με ένα σωληνάκι που θα συνδεθεί στο μανόμετρο, από εκεί θα πρέπει να μοιραστεί η ροή σε τέσσερα κομμάτια και να οδηγηθεί στους στραγγαλιστές ροής, μετά στις ηλεκτροβαλβίδες και τέλος στον νάρθηκα (Εικόνα 4.5). Η τελική διάταξη φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 4.5: Τελική πνευματική διάταξη συνδεδεμένη στον ρομποτικό νάρθηκα

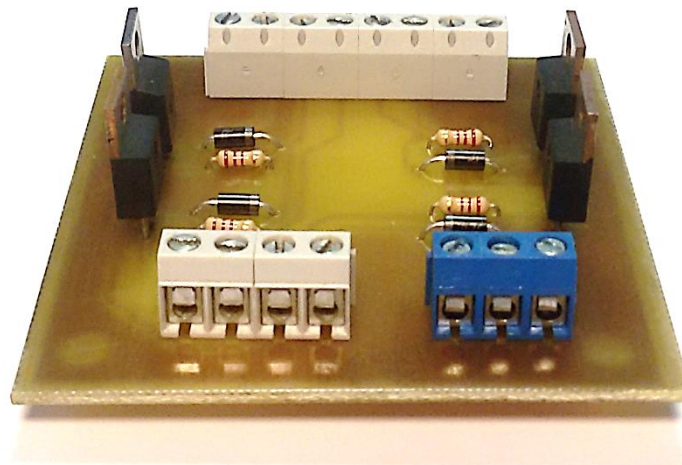
4.3 Η ηλεκτρολογική διάταξη που είναι υπεύθυνη για την τροφοδοσία των ηλεκτροβαλβίδων



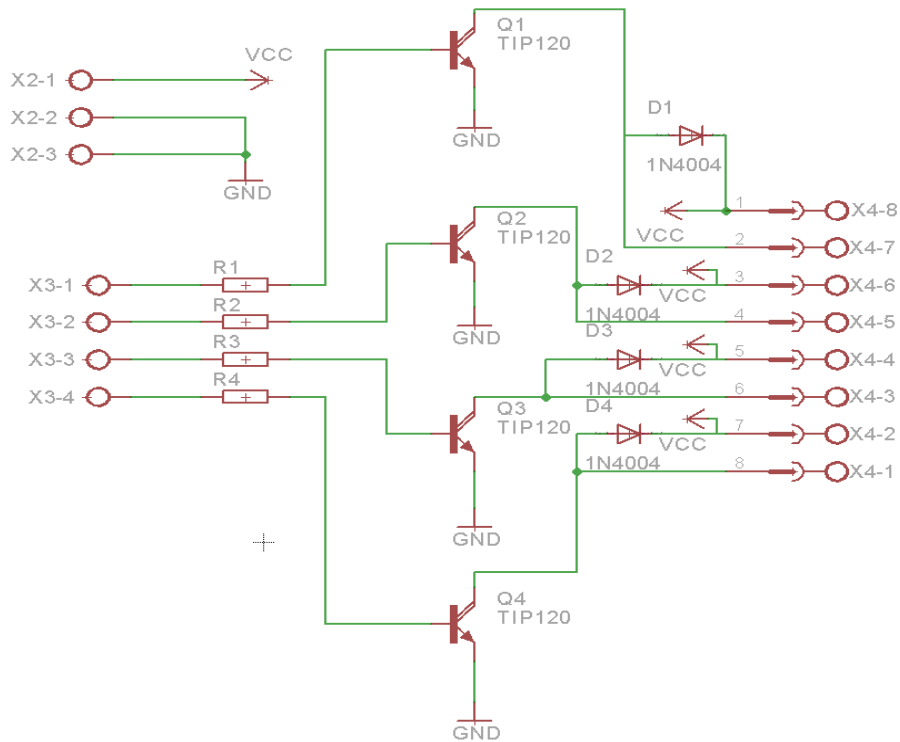
Προκειμένου να δουλέψουν οι ηλεκτροβαλβίδες θα πρέπει να τροφοδοτηθούν με 24 Volt, αυτό σημαίνει πως η τροφοδοσία θα πρέπει να γίνει από εξωτερική πηγή καθώς ο Arduino Uno μπορεί να τροφοδοτήσει μέχρι 5 Volt. Για να συμβεί αυτό θα πρέπει να φτιαχτεί ένα κύκλωμα προσαρμογής ανάμεσα στον μικροελεγκτή και τις ηλεκτροπνευματικές βαλβίδες. Αυτό γίνεται πολύ εύκολα με τέσσερα τρανζίστορ, όπως φαίνεται στο σχήμα του κυκλώματος παρακάτω (Εικόνα 4.7).

Αυτό που ουσιαστικά συμβαίνει, είναι να στέλνονται κατάλληλα σήματα από τον μικροελεγκτή στις βάσεις των τρανζίστορ, οι οποίοι είναι Normal Open (δηλαδή όταν δεν δέχονται σήμα στην βάση τους δεν επιτρέπουν ρεύμα να περάσει από τον συλλέκτη στον εκπομπό, άρα δεν τροφοδοτούνται οι ηλεκτροβαλβίδες), και να τροφοδοτείται η εκάστοτε ηλεκτροβαλβίδα. Αυτό σημαίνει πως θα οδηγηθεί αέρας προς τους επενεργητές του νάρθηκα και θα κλείνουν τα δάχτυλα.

Η διάταξη αυτή μπορεί να υλοποιηθεί πολύ εύκολα σε μια πλακέτα Pcb. Η πλακέτα αυτή κατασκευάστηκε στο εργαστήριο ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Κρήτης και φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 4.6).

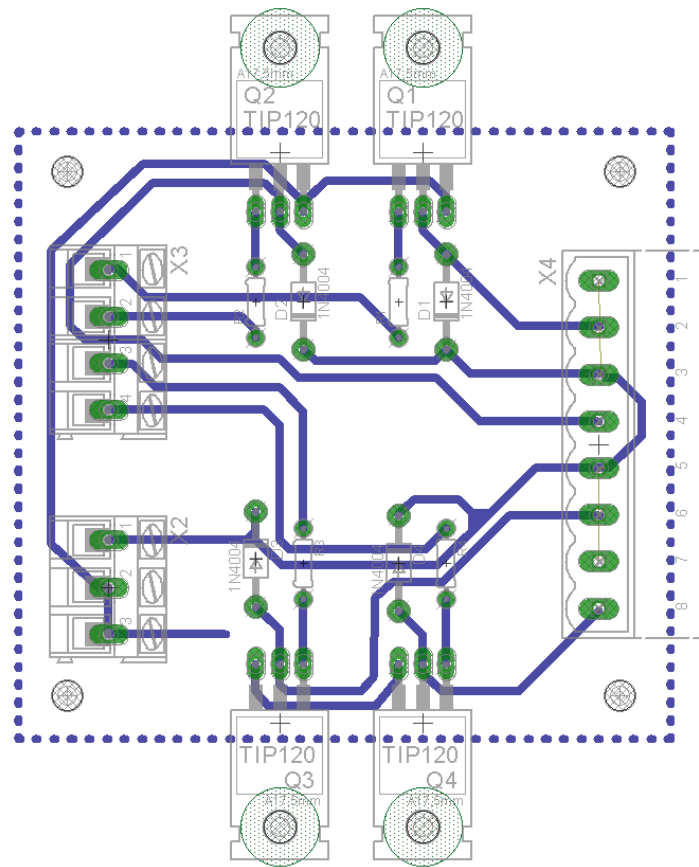


Εικόνα 4.6: Η πλακέτα που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Κρήτης



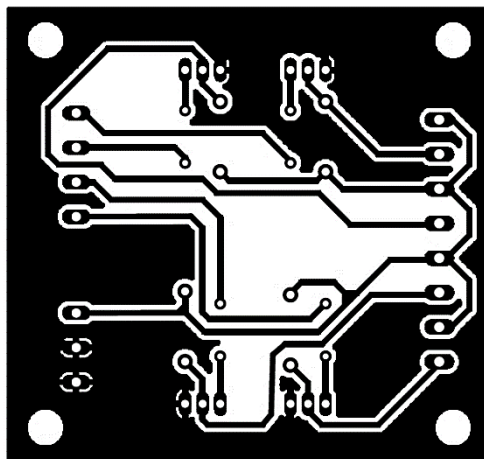
Εικόνα 4.7: Κύκλωμα ενεργοποίησης ρελλέ ηλεκτροβαλβίδων μέσω τρανζίστορ

Για την κατασκευή της πλακέτας θα πρέπει να γίνει χαλκογραφία αυτής. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατασκευής πλακέτας όμως αυτός που χρησιμοποιείται στο εργαστήριο ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Κρήτης είναι η μέθοδος του φωτοευαίσθητου υλικού. Αρχικά θα πρέπει να γίνει ο σχεδιασμός της πλακέτας (Pcb), αυτό έγινε στο σχεδιαστικό πρόγραμμα Eagle 6.6.0 (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.8: Πρότυπο σχέδιο πλακέτας Pcb για χαλκογραφία

Αφού έχει σχεδιαστεί η πλακέτα (Εικόνα 4.9), θα πρέπει να εκτυπωθεί σε ρυζόχαρτο ή ένα άλλο είδους διάφανου φύλλου. Μετά την εκτύπωση του σχεδίου πρέπει να βεβαιωθούμε πως δεν υπάρχουν ατέλειες στο χαρτί και αυτό γίνεται τοποθετώντας το πάνω σε ειδική λάμπα (Εικόνα 4.10).



Εικόνα 4.9: Τελικό σχέδιο πλακέτας Pcb όπως θα εκτυπωθεί στο ρυζόχαρτο



Εικόνα 4.10: Ειδική λάμπα για τον έλεγχο του εκτυπωμένου σχεδίου της πλακέτας Pcb

Μετά κόβεται η πλακέτα στις διαστάσεις του εκτυπωμένου σχεδίου και τοποθετείται πάνω από το ρυζόχαρτο σε ένα ειδικό μηχάνημα έκθεσης υπεριώδους ακτινοβολίας UV, προσέχοντας η μεριά όπου έχει εκτυπωθεί το μελάνι να ακουμπάει την πλακέτα από την μεριά που αυτή έχει το μπλε αυτοκόλλητο, αφού το έχουμε αφαιρέσει (**Εικόνα 4.11**).



Εικόνα 4.11: Το εκτυπωμένο σχέδιο πάνω στο ειδικό μηχάνημα έκθεσης υπεριώδους ακτινοβολίας UV

Αφού αφαιρεθεί το μπλε αυτοκόλλητο και η πλακέτα τοποθετηθεί πάνω στο σχέδιο, κλείνει το καπάκι και αφήνεται στην υπεριώδη ακτινοβολία για περίπου 3 λεπτά, ώστε να αποτυπωθεί το σχέδιο στην πλακέτα. Όπου υπάρχει μελάνι στο ρυζόχαρτο, αυτό εμποδίζει την ακτινοβολία να φτάσει στον χαλκό της πλακέτας και αποτυπώνεται το επιθυμητό σχέδιο. Στην συνέχεια η πλακέτα τοποθετείται σε ένα μείγμα καυστικής σόδας όπου αφαιρείται το ανεπιθύμητο φιλμ, που είναι η επιφάνεια που δέχτηκε την ακτινοβολία UV (**Εικόνα 4.12**).



Εικόνα 4.12: Η πλακέτα στο μείγμα καυστικής σόδας

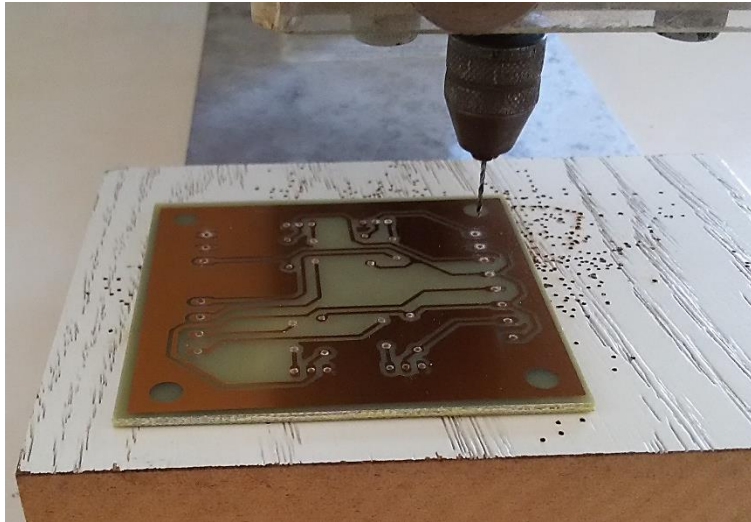
Αφού αφαιρεθεί το φιλμ, η πλακέτα ξεπλένεται καλά με νερό για να τοποθετηθεί σε ένα μηχάνημα που περιέχει μείγμα χλωριούχου σιδήρου (**Εικόνα 4.13**). Αυτό το μείγμα αφαιρεί τον ανεπιθύμητο χαλκό από την πλακέτα και μένει το σωστό κύκλωμα. Σε αυτό το στάδιο η πλακέτα θα πρέπει να παραμείνει στο μηχάνημα για περίπου 20 λεπτά, ο χρόνος αυτός δεν πρέπει να ξεπεραστεί πολύ επειδή μπορεί να αρχίσουν να βγαίνουν κομμάτια από τον επιθυμητό χαλκό.



Εικόνα 4.13: Το μηχάνημα με το μείγμα χλωριούχου σιδήρου για την αφαίρεση του ανεπιθύμητου χαλκού από την πλακέτα

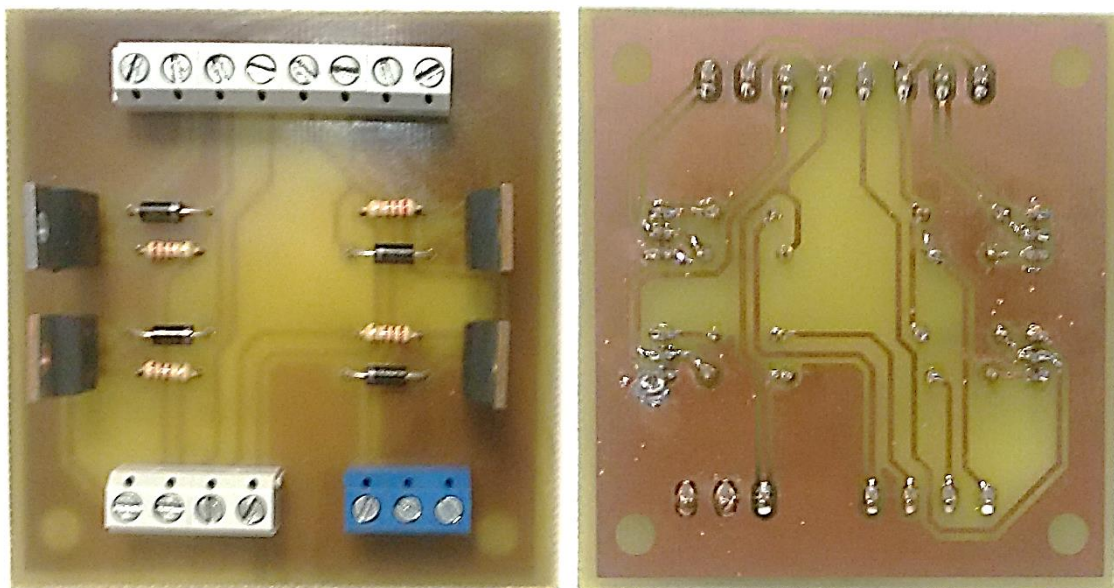


Μετά από αυτό η πλακέτα είναι σχεδόν έτοιμη για να τοποθετηθούν τα στοιχεία πάνω της. Με κατάλληλο τρυπάνι γίνονται τρύπες για την υποδοχή του κάθε στοιχείου (**Εικόνα 4.14**).



Εικόνα 4.14: Η πλακέτα Pcb αφού έχει αφαιρεθεί ο ανεπιθύμητος χαλκός και έχουν ανοιχτεί οι τρύπες για την υποδοχή των στοιχείων

Τέλος η πλακέτα καθαρίζεται με ασετόν ή οινόπνευμα για να φύγουν οποιαδήποτε υπολείμματα υπάρχουν και συγκολλούνται πάνω της τα στοιχεία με καλάνι για να δημιουργηθεί το τελικό κύκλωμα (**Εικόνα 4.15**).

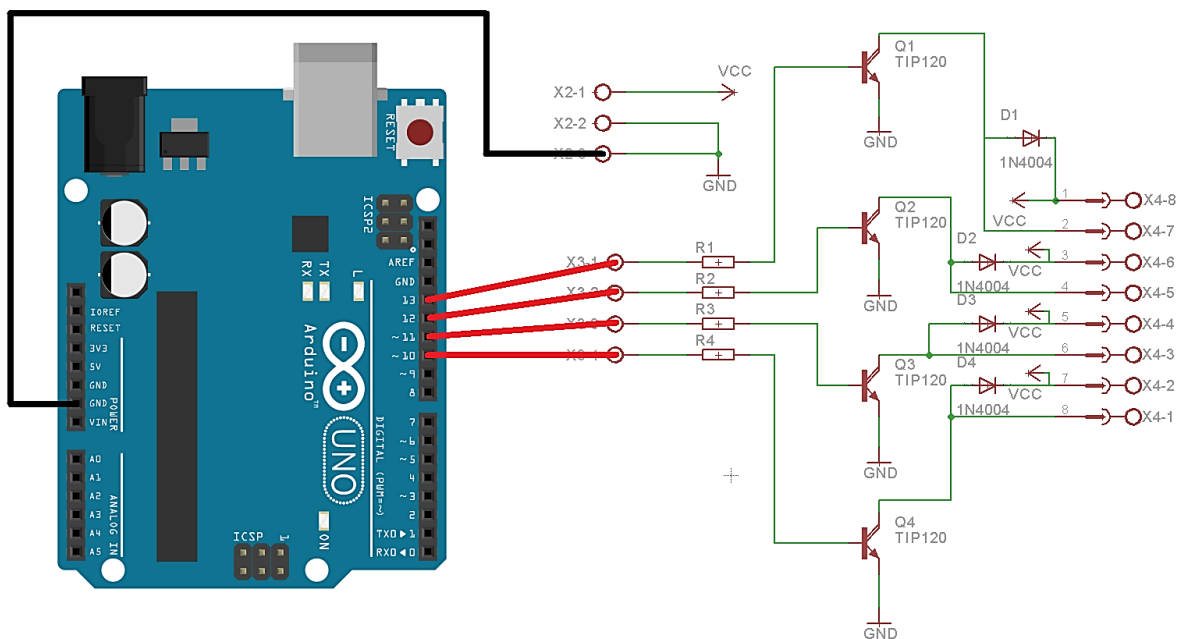


Εικόνα 4.15: Η τελική μορφή της πλακέτας Pcb που κατασκευάστηκε στο εργαστήριο ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Κρήτης για την ενεργοποίηση ηλεκτροβαλβίδων λαμβάνοντας κατάλληλο σήμα από τον μικροελεγκτή



4.4 Σύνδεση ηλεκτρολογικής διάταξης με τον μικροελεγκτή Arduino Uno

Η ηλεκτρολογική διάταξη είναι κατασκευασμένη και σχεδιασμένη για να συνδέεται με τον μικροελεγκτή και δουλεύει σαν διακόπτης προκειμένου να τροφοδοτεί τις ηλεκτροπνευματικές βαλβίδες της πνευματικής διάταξης όταν δέχεται τα κατάλληλα σήματα. Αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας τα σωστά pin του μικροελεγκτή στις κατάλληλες εισόδους της πλακέτας. Παρακάτω φαίνεται σχηματικά η σύνδεση του Arduino Uno με την πλακέτα pcb(Εικόνα 4.16).



Εικόνα 4.16: Η σύνδεση του μικροελεγκτή Arduino Uno με την εκτυπωμένη πλακέτα



5. Ανάπτυξη και λειτουργία εφαρμογής για τον έλεγχο του εξωσκελετικού νάρθηκα

5.1 Εισαγωγή

Για την λειτουργία και τον έλεγχο του νάρθηκα έχει αναπτυχθεί μια εφαρμογή στο προγραμματιστικό περιβάλλον του Visual Studio 2013 και γλώσσα προγραμματισμού C#. Η γλώσσα αυτή επιτρέπει την δημιουργία γραφικού περιβάλλοντος. Ο σκοπός της εφαρμογής είναι να μπορεί να ελέγξει ο χρήστης τον νάρθηκα με απλό τρόπο που παράλληλα του δίνει την δυνατότητα να ορίσει τι είδους άσκηση θα κάνει. Στην εφαρμογή δόθηκε το ίδιο όνομα με τον εξωσκελετικό νάρθηκα για λόγους ευκολίας.

Ο λόγος που αναπτύχθηκε η εφαρμογή είναι για να δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να χειρίζεται εύκολα τον νάρθηκα και να μπορεί να προσαρμόζει τις λειτουργίες του στις δικές

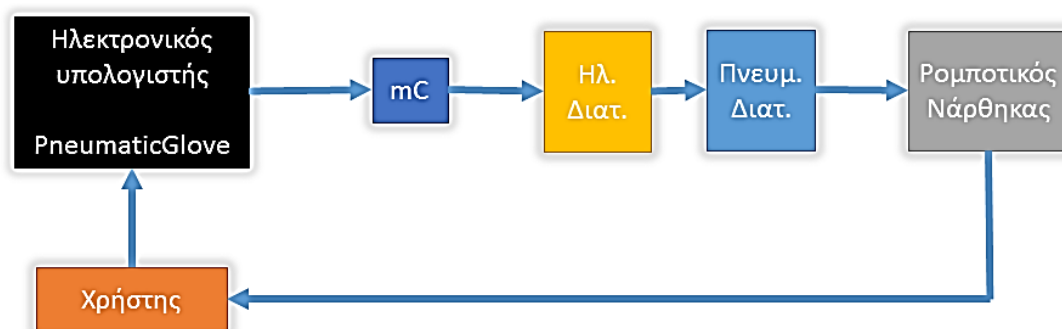


του ανάγκες χωρίς να χρειάζεται να ασχοληθεί ή να κατανοήσει τα επιμέρους κομμάτια και στοιχεία που αποτελούν ολόκληρη την διάταξη και την σύνδεσή της. Οι χρήστες του νάρθηκα είναι πιθανό να είναι μερικώς εξοικειωμένοι με την χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών, κάτι που είναι αρκετό για να χειριστούν την εφαρμογή.

Ανοίγοντας την εφαρμογή εμφανίζεται ένα παράθυρο στο οποίο ο χρήστης πρέπει να ορίσει κάποιες παραμέτρους σχετικά με την σύνδεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή με τον μικροελεγκτή μέσω μιας απλής σειριακής θύρας, αφού οριστούν αυτές οι παράμετροι (κάτι που γίνεται σχεδόν αυτόματα) ο χρήστης πρέπει να πατήσει την επιλογή Start Communication και ξεκινάει η επικοινωνία της εφαρμογής με τον μικροελεγκτή Arduino Uno. Όταν έχει αποκατασταθεί η επικοινωνία του ελεγκτή με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή εμφανίζονται τα παράθυρα με τον τρόπο που θέλει να χειριστεί τον νάρθηκα ο χρήστης και οι λειτουργίες που υπάρχουν σε αυτήν. Αναλυτικότερα περιγράφεται η εφαρμογή παρακάτω.

5.2 Διάγραμμα ελέγχου του συστήματος

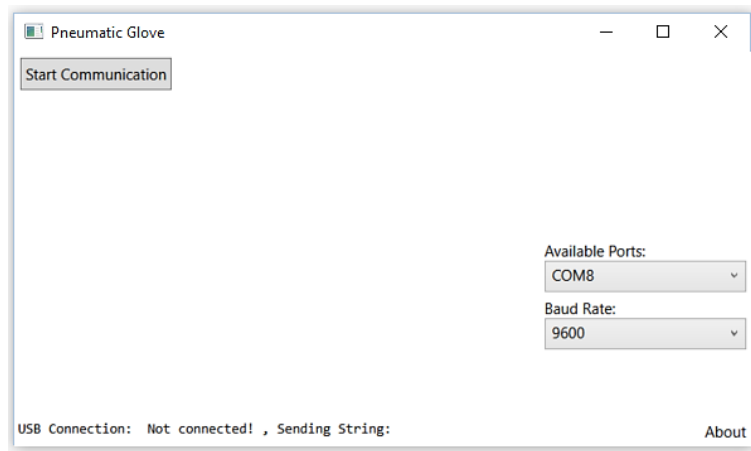
Για να πάρει κάποιος μια ιδέα για την λειτουργία του συστήματος μπορεί να κοιτάξει το διάγραμμα ελέγχου(Εικόνα 5.1), το οποίο δείχνει πως ο χρήστης επικοινωνεί με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή εισάγοντάς του κάποια δεδομένα και παίρνει σαν έξοδο την κίνηση του νάρθηκα. Ο υπολογιστής από την άλλη δέχεται τα δεδομένα από τον χρήστη, τα μεταφέρει στον μικροελεγκτή, αυτός με την σειρά του δίνει τα κατάλληλα σήματα στην ηλεκτρολογική διάταξη από όπου τροφοδοτούνται οι ηλεκτροβαλβίδες και οδηγείται ο αέρας στον νάρθηκα και αυτός κινεί τα δάχτυλα του χρήστη.



Εικόνα 5.1: Διάγραμμα ελέγχου του συστήματος (Ηλεκτρονικός Υπολογιστής - Μικροελεγκτής - Ηλεκτρολογική Διάταξη - Πνευματική Διάταξη – Χρήστης)

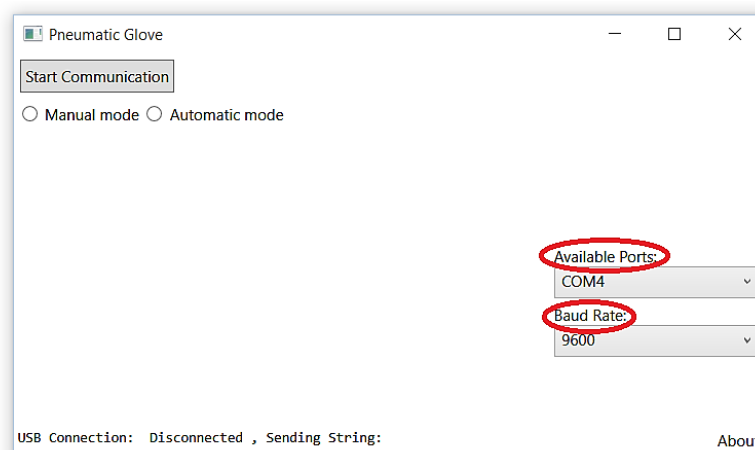
5.3 Ορισμός αρχικών παραμέτρων και αρχή σειριακής επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή Arduino Uno

Ανοίγοντας την εφαρμογή εμφανίζεται ένα γραφικό περιβάλλον το οποίο ζητάει στον χρήστη να του ορίσει κάποιες παραμέτρους που έχουν να κάνουν με την σειριακή επικοινωνία αυτής με τον μικροελεγκτή. Το παράθυρο που εμφανίζεται φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 5.2).



Εικόνα 5.2: Το γραφικό περιβάλλον της εφαρμογής PneumaticGlove την στιγμή που ανοίγει

Το πρόγραμμα με το που ανοίγει σαρώνει αν υπάρχει κάποια διαθέσιμη σειριακή θύρα και πόσες, αν είναι πάνω από μια, και τις εμφανίζει στην θέση Available Ports(Εικόνα 5.3). Ο χρήστης θα πρέπει να επιλέξει την θύρα που είναι συνδεδεμένος ο μικροελεγκτής του και να ορίσει το Baud Rate της σειριακής επικοινωνίας. Αφού έχει κάνει τα παραπάνω μένει μόνο να πατήσει Start Communication και ξεκινάει η σειριακή επικοινωνία του ηλεκτρονικού υπολογιστή με τον ελεγκτή.

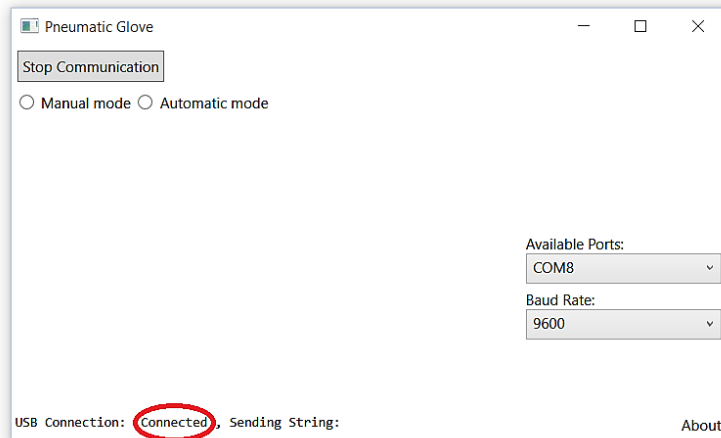


Εικόνα 5.3: Το παράθυρο που εμφανίζεται την στιγμή που η εφαρμογή έχει κάνει την σάρωση για τις διαθέσιμες θύρες και τις έχει εμφανίσει

Την στιγμή που ο χρήστης πατάει Start Communication πρέπει να εμφανιστεί ένα μήνυμα κάτω αριστερά δίπλα στο USB Connection, για το αν η σύνδεση έγινε με επιτυχία(Εικόνα 5.4). Αν η σύνδεση είναι επιτυχημένη το μήνυμα είναι Connected, αν όχι είναι Disconnected και ο χρήστης θα πρέπει να ελέγξει τις θύρες και να βεβαιωθεί πως έχει συνδεθεί σωστά ο ελεγκτής



με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Αφού θα έχει αποκατασταθεί η επικοινωνία μπορεί πλέον να προχωρήσει στην επιλογή της λειτουργίας που θέλει. Αρχικά θα διαλέξει μεταξύ της χειροκίνητης (Manual mode) και της αυτόματης (Automatic mode) λειτουργίας, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

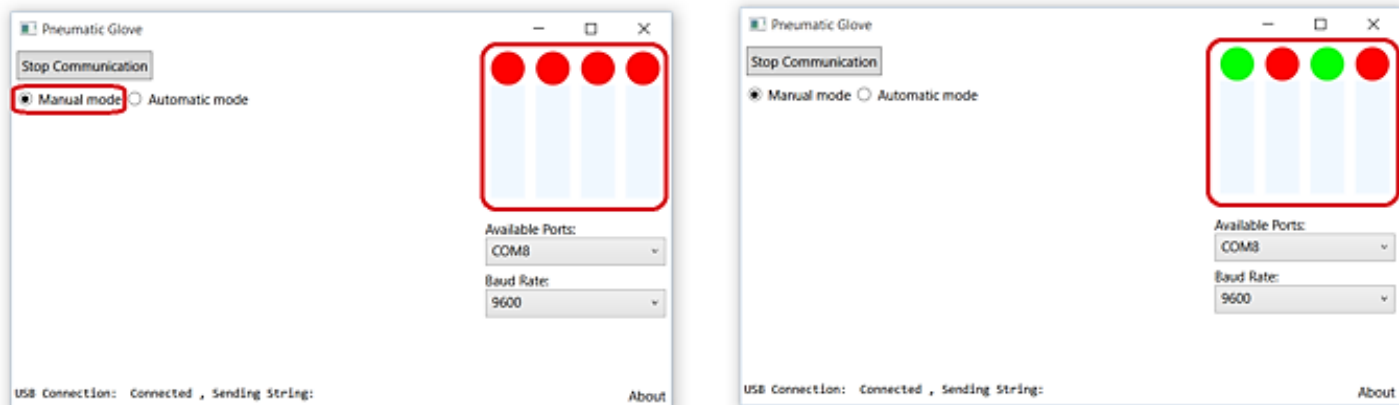


Εικόνα 5.4: Όταν η σειριακή επικοινωνία έχει γίνει με επιτυχία εμφανίζεται το εξής μήνυμα δίπλα στο USB Connection

5.4 Χειροκίνητη λειτουργία (Manual mode)

Στο στάδιο αυτό μπορεί κανείς να ξεκινήσει την λειτουργία του νάρθηκα είτε χειροκίνητα με το Manual mode είτε αυτόματα με το Automatic mode.

Αρχικά περιγράφεται το Manual mode. Πατώντας το εμφανίζονται πάνω δεξιά τέσσερα ορθογώνια με ένα κόκκινο κύκλο πάνω από το καθένα (Εικόνα 5.5). Το κάθε ορθογώνιο αντιστοιχεί σε ένα από τα εξωσκελετικά δάχτυλα και το κόκκινο χρώμα δείχνει πως αυτό είναι απενεργοποιημένο, δηλαδή το δάχτυλο του χεριού είναι ανοιχτό. Κάνοντας δεξί κλικ με το ποντίκι πάνω στους κύκλους ενεργοποιείται το αντίστοιχο δάχτυλο στο γάντι, το χρώμα του γίνεται πράσινο και το δάχτυλο κλείνει. Όταν ξαναπατηθεί, ξαναγίνεται κόκκινο και το δάχτυλο επιστρέφει στην αρχική του θέση, δηλαδή ανοίγει. Ο χρήστης μπορεί και διαλέγει μόνος του κάθε φορά το ποιο δάχτυλο θα κλείσει (Εικόνα 5.6).



Εικόνα 5.5: Φαίνεται ο τρόπος που δουλεύει η χειροκίνητη λειτουργία (Manual mode)

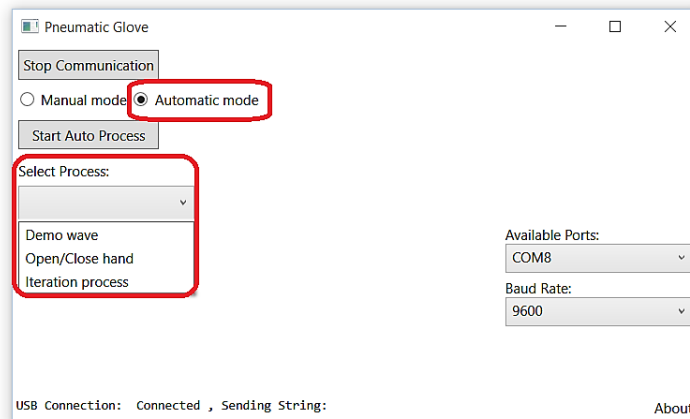


Εικόνα 5.6: Ο εξωσκελετικός νάρθηκας σε κίνηση έχοντας επιλέξει ο χρήστης κάθε φορά ποιο δάχτυλο θα κλείνει μέσω της χειροκίνητης λειτουργίας (Manual mode)

5.5 Automatic mode

Ο χειροκίνητος τρόπος λειτουργίας του νάρθηκα μπορεί να είναι και ένας τρόπος ελέγχου για το αν δουλεύει σωστά ο νάρθηκας. Οι τυποποιημένες ασκήσεις κινησιοθεραπείας/φυσικοθεραπείας βρίσκονται στο Automatic mode (Εικόνα 5.7). Αν επιλεγεί το Automatic mode, το πρόγραμμα μπαίνει σε ένα παράθυρο στο οποίο υπάρχουν τρεις αυτοματοποιημένες λειτουργίες φυσιοθεραπείας, οι οποίες εμφανίζονται σε λίστα κάτω από το Select Process (Εικόνα 5.7). Οι λειτουργίες είναι οι εξής:

- Επίδειξη ανοίγματος και κλεισίματος των δαχτύλων σε μορφή κύματος (Demo wave).
- Επίδειξη ανοίγματος και κλεισίματος του χεριού (Open/Close Hand).
- Λειτουργία επανάληψης ορισμένη από τον χρήστη (Iteration process).

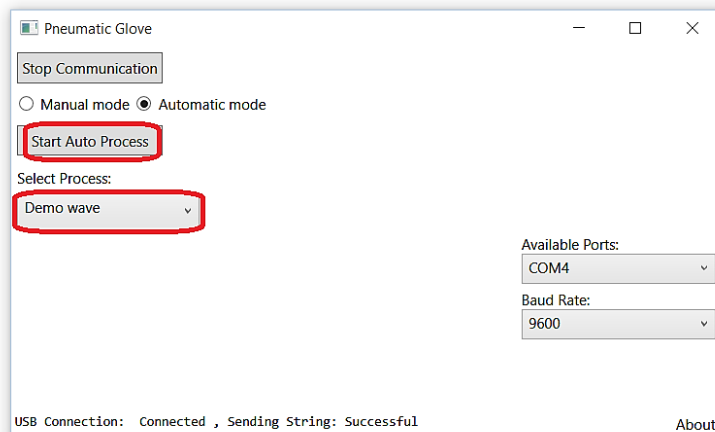


Εικόνα 5.7: Το παράθυρο που εμφανίζεται όταν πατάει ο χρήστης την αυτόματη λειτουργία (Automatic mode) και μετά το Select Process

Για να ξεκινήσει ο χρήστης κάποια από τις λειτουργίες αυτές θα πρέπει να την επιλέξει, να κάνει τις δικές του προσωπικές ρυθμίσεις, δηλαδή ανάλογα από το είδος των ασκήσεων που πρέπει να κάνει και τις επαναλήψεις που του έχει επιτρέψει ο φυσιοθεραπευτής, να επιλέξει τις κατάλληλες παραμέτρους, και να πατήσει Start Auto Process. Από κει και πέρα ο νάρθηκας εκτελεί ότι του έχει οριστεί. Αναλυτικότερες πληροφορίες για την κάθε λειτουργία φαίνονται παρακάτω.

5.5.1 Επίδειξη ανοίγματος και κλεισίματος του χεριού σε μορφή κύματος (Demo wave)

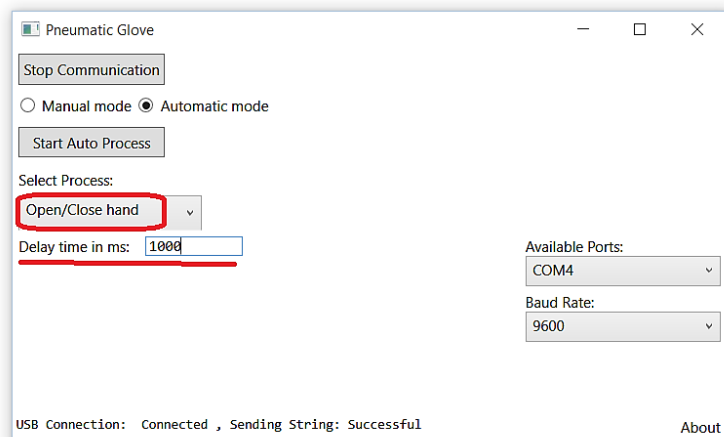
Η πρώτη, στην λίστα, αυτοματοποιημένη λειτουργία είναι το Demo wave(Εικόνα 5.8). Εδώ ο χρήστης απλά θα πρέπει να επιλέξει το εικονίδιο Demo wave και να πατήσει Start Auto Process. Τα δάχτυλα κλείνουν σε μορφή κύματος ξεκινώντας από τα αριστερά προς τα δεξιά με μια μικρή διαφορά φάσης, αυτό πρακτικά σημαίνει πως οι ηλεκτροπνευματικές βαλβίδες ενεργοποιούνται με μια διαδοχική σειρά, εκτελούν την ίδια ακριβώς δουλειά, όμως έχουν μια χρονική καθυστέρηση η μια από την άλλη. Όταν κλείσει και το τελευταίο δάχτυλο τότε ξεκινάνε να ανοίγουν και πάλι με την ίδια φορά και η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να την τερματίσει ο χρήστης.



Εικόνα 5.8: Πατώντας το *Demo wave* ο χρήστης δεν χρειάζεται να ορίσει κάποια παράμετρο, αρκεί να ξεκινήσει την εφαρμογή

5.5.2 Επίδειξη ανοίγματος και κλεισίματος του χεριού (Open/Close Hand)

Η δεύτερη αυτοματοποιημένη λειτουργία είναι το Open/Close Hand(Εικόνα 5.9). Εδώ αυτό που γίνεται είναι να κλείνουν και να ανοίγουν και τα τέσσερα δάχτυλα ταυτόχρονα. Μόλις επιλέξει ο χρήστης την επιλογή αυτή εμφανίζεται από κάτω άλλο ένα παράθυρο (Delay time in ms) το οποίο ζητάει να του οριστεί ο χρόνος για τον οποίο θα διατηρείται το χέρι κλειστό και ανοιχτό. Αν για παράδειγμα του δοθεί η $t=2000\text{ms}$ δηλαδή ο χρόνος να είναι 2 δευτερόλεπτα, το χέρι θα παραμένει κλειστό για δυο δευτερόλεπτα και μετά θα ανοίγει για δυο δευτερόλεπτα. Η διαδικασία θα συνεχίζεται μέχρι ο χρήστης να τερματίσει την λειτουργία.

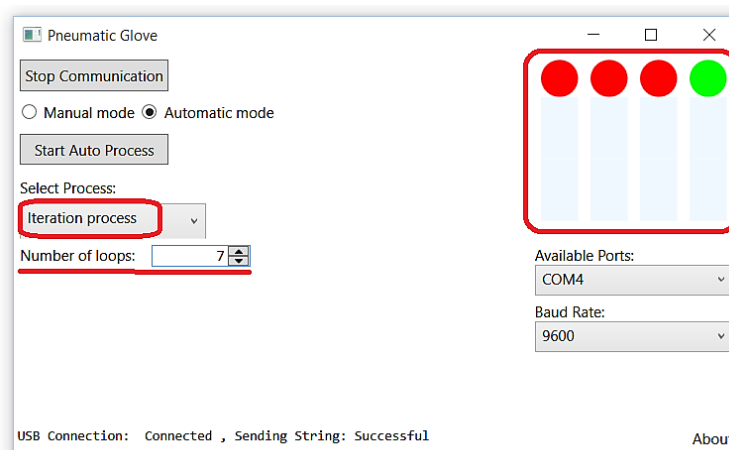


Εικόνα 5.9: Όταν ο χρήστης πατάει την εντολή *Open/Close Hand* εμφανίζεται η εντολή *Delay time in ms* και ζητάει να του οριστεί μια τιμή που αντιστοιχεί στο χρονικό διάστημα που θα παραμείνει ανοιχτό ή κλειστό το χέρι



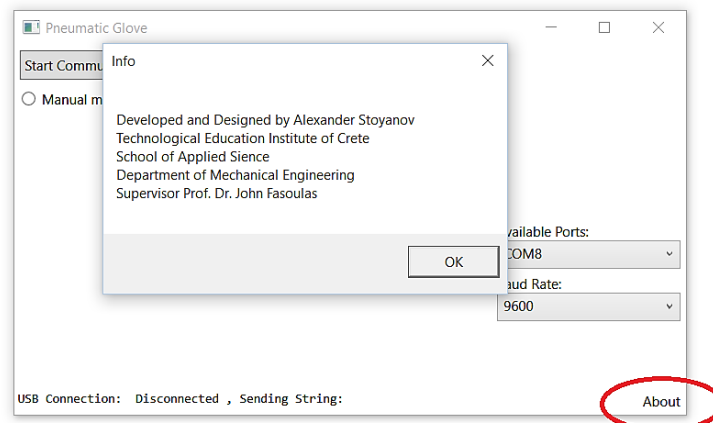
5.5.3 Λειτουργία επανάληψης ορισμένη από τον χρήστη (Iteration process)

Η τρίτη αυτοματοποιημένη λειτουργία είναι η Iteration process(Εικόνα 5.10). Στην λειτουργία της επανάληψης (Iteration process) ο χρήστης έχει πλήρη έλεγχο στο είδος της άσκησης που θα εκτελεστεί. Με αυτήν την λειτουργία ο χρήστης μπορεί να δουλέψει συγκεκριμένα εκεί που είναι το πρόβλημα, δηλαδή να επικεντρωθεί στο δάχτυλο ή στα δάχτυλα που θέλει και να ασχοληθεί με αυτά διαλέγοντας αυτός τις επαναλήψεις που θα κάνει το κάθε δάχτυλο χωριστά. Μόλις δηλαδή πατήσει το Iteration Process εμφανίζεται το παράθυρο πάνω δεξιά με τους κόκκινους κύκλους, το ίδιο που εμφανίζεται και στην χειροκίνητη λειτουργία. Πατώντας σε κάθε κύκλο αυτό γίνεται πράσινο και περιμένει να του οριστεί το πόσες επαναλήψεις θα κάνει το συγκεκριμένο δάχτυλο, αυτό γίνεται δίπλα στην επιλογή Number of loops (Αριθμός επαναλήψεων). Αφού οριστούν οι επαναλήψεις για το κάθε δάχτυλο και ο χρήστης πατήσει Start Auto Process, εκτελείται η λειτουργία με τον τρόπο που έχει οριστεί. Η διαδικασία συνεχίζεται μέχρι να την τερματίσει ο χρήστης.



Εικόνα 5.10: Ο τρόπος που εμφανίζεται το παράθυρο όταν ο χρήστης πατήσει την επιλογή Iteration process

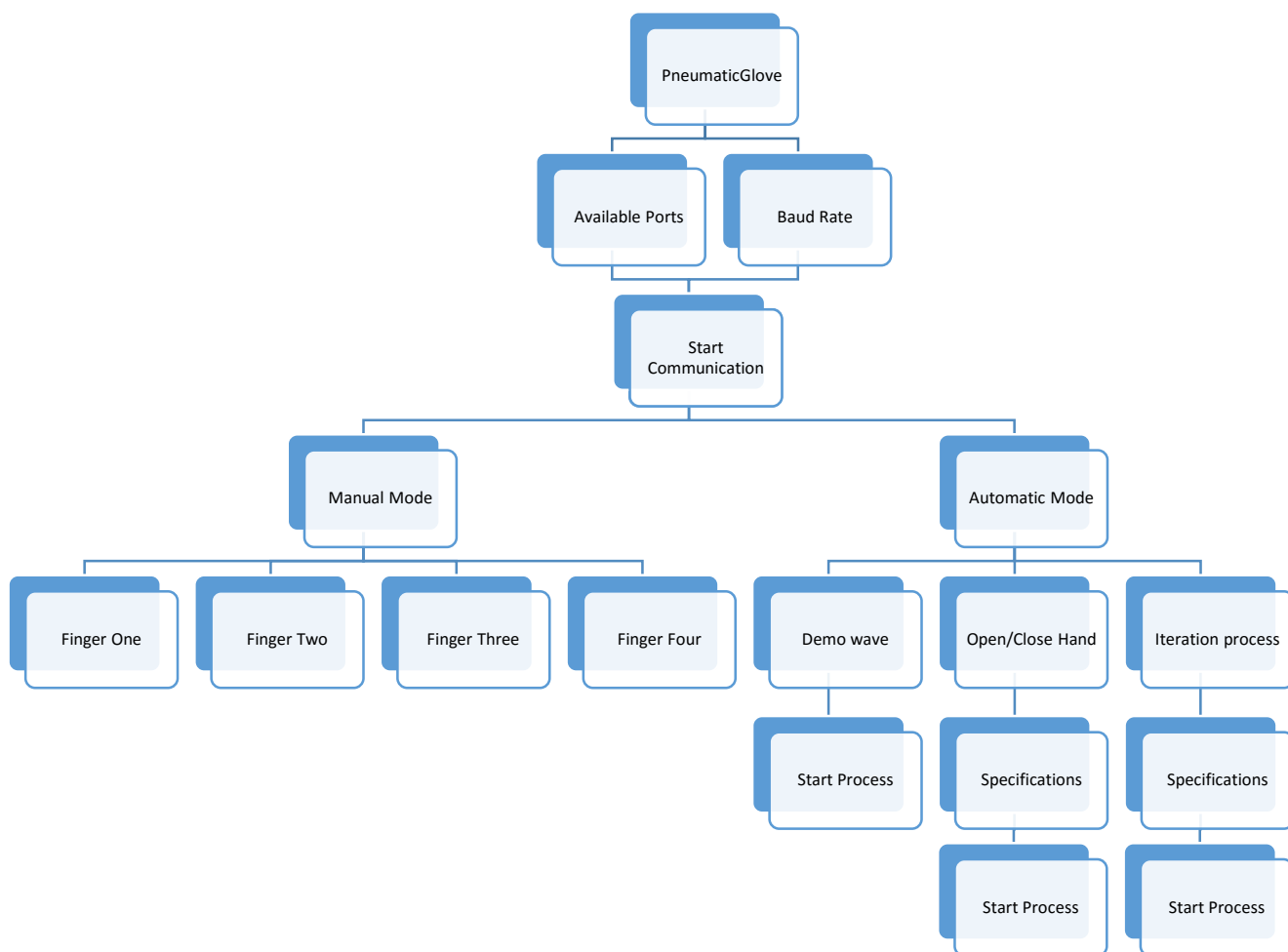
Το πρόγραμμα μπορεί να δώσει κάποιες πληροφορίες στον χρήστη οι οποίες έχουν να κάνουν με τους ανθρώπους που έχουν αναπτύξει την εφαρμογή, την σχολή που έχει αναπτυχτεί και τον επιβλέπον διδάσκοντα(Εικόνα 5.11). Για να δει ο χρήστης τα παραπάνω πρέπει να πατήσει απλά πάνω στην επιλογή About που υπάρχει κάτω δεξιά του παραθύρου.



Εικόνα 5.11: Πατώντας στο About εμφανίζεται ένα παράθυρο με πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή

5.6 Λογικό διάγραμμα της εφαρμογής PneumaticGlove για να φανούν οι λειτουργίες του νάρθηκα

Παρακάτω φαίνεται η λειτουργία της εφαρμογής σε ένα λογικό διάγραμμα(Εικόνα 5.12). Στο λογικό διάγραμμα φαίνεται η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης για να εκτελέσει κάθε μια από τις λειτουργίες της εφαρμογής. Για λεπτομέρειες, όμως, θα πρέπει να διαβάσει αναλυτικά πως ρυθμίζεται η κάθε λειτουργία.

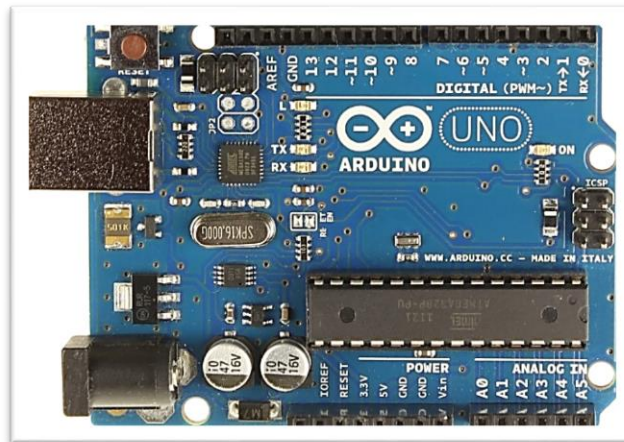


Εικόνα 5.12: Αναλυτικό λογικό διάγραμμα για τον χειρισμό και την λειτουργία της εφαρμογής PneumaticGlove

5.7 Επικοινωνία της εφαρμογής PneumaticGlove με τον μικροελεγκτή Arduino Uno

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, ο οποίος είναι το μέσο επικοινωνίας του συστήματος (Application-microController-Ηλεκτρική Διάταξη-Πνευματική Διάταξη-Νάρθηκας) με τον χρήστη, συνδέεται με μια σειριακή θύρα με τον μικροελεγκτή. Για να πετύχει αυτή η επικοινωνία πρέπει να έχει μελετηθεί η λειτουργία του μικροελεγκτή που έχουμε διαλέξει και στην συνέχεια να προγραμματιστεί κατάλληλα ώστε να δέχεται τα δεδομένα που εξάγει η εφαρμογή και να δίνει τα σωστά σήματα στην ηλεκτρολογική διάταξη και να έχουμε τα ζητούμενα αποτελέσματα.

Στην περίπτωση μας έχουμε διαλέξει να δουλέψουμε με έναν μικροελεγκτή Arduino Uno (Εικόνα 5.13) ο οποίος είναι μια πολύ καλή και ανθεκτική πλακέτα ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό διάφορων κατασκευών. Ο τρόπος σύνδεσης του με ηλεκτρονικό υπολογιστή και με άλλα εξαρτήματα ή προγραμματιστικές πλατφόρμες, είναι σχετικά απλός, πράγμα που καθιστά τον συγκεκριμένο ελεγκτή κατάλληλο για τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας.



Εικόνα 5.13: Ο μικροελεγκτής Arduino Uno που χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο του νάρθηκα

Η εφαρμογή PneumaticGlove έχει γραφτεί σε γλώσσα C# και για να γίνει δυνατή η επικοινωνία του προγράμματος με τον Arduino Uno, κατασκευάστηκε κατάλληλος κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού Cwire ώστε ο μικροελεγκτής να ανοίγει τις θύρες του όταν θα δέχεται το κατάλληλο σήμα από την εφαρμογή και να στέλνει τα κατάλληλα σήμα στην ηλεκτρολογική διάταξη.

5.7.1 Ο κώδικας που αναπτύχθηκε για την σειριακή επικοινωνία του μικροελεγκτή Arduino Uno με την εφαρμογή PneumaticGlove

Προκειμένου να εκτελεστούν οι λειτουργίες της εφαρμογής, πρέπει αυτή να επικοινωνήσει με κάποιον τρόπο με τον μικροελεγκτή, για να γίνει αυτό αναπτύχθηκε ένας κώδικας ο οποίος μπορεί να κάνει τον ελεγκτή να δέχεται τις εντολές από την εφαρμογή και να στέλνει τα κατάλληλα σήματα στην ηλεκτρολογική διάταξη. Παρακάτω περιγράφονται κάποιες τεχνικές λεπτομέρειες της σύνδεσης και επικοινωνίας αυτών.

Η σύνδεση του ελεγκτή με την εφαρμογή και την ηλεκτρολογική διάταξη απαιτεί κάποιες βασικές παραμέτρους. Αρχικά ορίζεται το Baud Rate της σειριακής επικοινωνίας (ηλεκτρονικού υπολογιστή – Arduino) στα 9600, στην συνέχεια ο ελεγκτής πρέπει να έχει τρόπο να συλλέξει τα δεδομένα από την σειριακή θύρα και στην συνέχεια να στείλει το κατάλληλο κάθε φορά σήμα στην ηλεκτρολογική διάταξη. Για να γίνουν τα παραπάνω στον κώδικα ορίζονται τα pin του μικροελεγκτή σαν εισόδους ή εξόδους (στην περίπτωση αυτή θα είναι εξόδοι) και μετά ανάλογα με την λειτουργία που έχει επιλέξει ο χρήστης να εκτελέσει, μέσω της εφαρμογής, συλλέγονται κάποια δεδομένα και στέλνει το κατάλληλο σήμα στην ηλεκτρολογική διάταξη όπου με την σειρά της θα ενεργοποιηθεί η πνευματική διάταξη και τέλος θα δουλέψει ο νάρθηκας. Ο κώδικας αυτός είναι απλός και φαίνεται παρακάτω(Εικόνα 5.14).



```
1 byte FingerOne = 0;
2 int delayOne = 0;
3 byte FingerTwo = 0;
4 int delayTwo = 0;
5 byte FingerThree = 0;
6 int delayThree = 0;
7 byte FingerFour = 0;
8 int delayFour = 0;
9
10 void setup() {
11   Serial.begin(9600);
12   pinMode(13, OUTPUT);
13   pinMode(12, OUTPUT);
14   pinMode(11, OUTPUT);
15   pinMode(10, OUTPUT);
16
17 }
18
19 void loop() {
20   while(Serial.available())
21   {
22     // Συλλογή των δεδομένων που υπάρχουν στην σειριακή θύρα
23     FingerOne = Serial.parseInt();
24     delayOne = Serial.parseInt();
25     FingerTwo = Serial.parseInt();
26     delayTwo = Serial.parseInt();
27     FingerThree = Serial.parseInt();
28     delayThree = Serial.parseInt();
29     FingerFour = Serial.parseInt();
30     delayFour = Serial.parseInt();
31
32
33     // Έλεγχος άμα το τελευταίο ψηφίο στην μήνυμα είναι enter
34     // Το οποίο σημαίνει ότι έχει ολοκληρωθεί η αποστολή του πρώτου
35     // πακέτου δεδομένων
36     if (Serial.read()=='\n'){
37       digitalWrite(13, FingerOne);
38       delay(delayOne);
39       digitalWrite(12, FingerTwo);
40       delay(delayTwo);
41       digitalWrite(11, FingerThree);
42       delay(delayThree);
43       digitalWrite(10, FingerFour);
44       delay(delayFour);
45     }
46   }
47 }
```

Εικόνα 5.14: Ο κώδικας που αναπτύχθηκε για την σύνδεση της εφαρμογής PneumaticGlove με τον μικροελεγκτή Arduino Uno



6. Συμπεράσματα και μελλοντική έρευνα

6.1 Ανασκόπηση και συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκε ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός εξωσκελετικού νάρθηκα με πνευματικούς επενεργητές για την αποκατάσταση της κινηματικής των δαχτύλων του χεριού, καθώς και η μονάδα ελέγχου και οδήγησής του. Τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις συνοψίζονται ως εξής:

Αρχικά μελετήθηκε ο τομέας της ρομποτικής που επιλέχτηκε για την κατασκευή του νάρθηκα και φάνηκαν τα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει μια τέτοια κατασκευή. Αναλυτικότερα:

- a) Από την μελέτη των πνευματικών επενεργητών φάνηκε πως ο σχεδιασμός τους είναι πολύ απλός, η κατασκευή τους δεν είναι πολύ σύνθετη και είναι πολύ οικονομικοί.



- b) Ο σχεδιασμός τους εκτός από απλός, είναι και πολύ εύκολο να αλλάξει αν χρειαστεί να γίνουν αλλαγές και προσαρμογές στο τελικό προϊόν που θέλουμε να κατασκευάσουμε.
- c) Ο έλεγχος του νάρθηκα γίνεται με τρόπο που δεν απαιτεί από τον χρήστη την κατανόηση της κατασκευής της μονάδας ελέγχου και της σύνδεσής της. Έτσι το προϊόν γίνεται προσίτο σε πιο ευρύ κοινό.
- d) Η κατασκευή ενός επενεργητή είναι εκτός από απλή, και σχετικά γρήγορη και η προσαρμογή του πάνω στον νάρθηκα είναι εύκολη. Σε περίπτωση που χαλάσει ένας από αυτούς μπορεί να αλλαχτεί με ευκολία.
- e) Πιο σημαντική παρατήρηση είναι πως τελικά κατασκευάστηκε ένα πλήρως λειτουργικό προϊόν το οποίο μπορεί να κάνει κάποιες φυσιοθεραπευτικές ασκήσεις με ευκολία χωρίς την επίβλεψη ειδικού. Μπορεί να τοποθετηθεί στον επιθυμητό χώρο του ασθενή (για παράδειγμα σπίτι του). Η μονάδα οδήγησης και ελέγχου του είναι προσαρμοσμένη με τρόπο που την καθιστά απλή για τον χρήστη και πάνω από όλα η τελική κατασκευή είναι πολύ οικονομική.

6.2 Μελλοντική έρευνα

Από την παρούσα πτυχιακή εργασία αναδείχτηκε η δυνατότητα πραγματοποίησης φυσιοθεραπευτικών ασκήσεων μέσω ενός ρομποτικού νάρθηκα που χρησιμοποιεί μαλακούς πνευματικούς επενεργητές για την κίνηση των δαχτύλων του χεριού. Η κατασκευή έγινε με σκοπό να χρησιμοποιηθούν υλικά και εξοπλισμός που υπάρχουν στο εργαστήριο Αυτοματικής και Ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης καθιστώντας το τελικό προϊόν οικονομικό. Μελλοντικό πεδίο μελέτης και επέκτασης του εξωσκελετικού νάρθηκα μπορεί να αποτελέσει:

- a) Η τοποθέτηση αισθητήρων αφής στο κάτω μέρος των δαχτύλων οι οποίοι θα μπορούν να δέχονται μικρή πίεση από το δάχτυλο και να στέλνει σήμα σε έναν ελεγκτή ο οποίος να ενεργοποιεί τους επενεργητές και το δάχτυλο να κλείνει, και όταν πάψει να λαμβάνει πίεση ο αισθητήρας να στέλνει σήμα στον ελεγκτή να απενεργοποιεί τους επενεργητές και να ανοίγουν τα δάχτυλα. Με αυτόν τον τρόπο ο νάρθηκας πέρα από φυσιοθεραπεία θα μπορεί να κάνει υποβοήθηση κίνησης σε άτομα με μερική αναπηρία. Αν δηλαδή ένας ασθενής πάσχει από κάποια ασθένεια που του περιορίζει την κίνηση του χεριού, φορώντας τον νάρθηκα θα μπορεί να πραγματοποιήσει κάποιες από τις κινήσεις που δεν μπορεί μόνος του.
- b) Θα μπορεί να μελετηθεί η κίνηση του αντίχειρα ώστε να σχεδιαστεί και να κατασκευαστεί κατάλληλος επενεργητής που να δώσει κίνηση και σε αυτό το δάχτυλο, το οποίο για να έχει καλύτερη χρησιμότητα χρειάζεται έναν παραπάνω βαθμό ελευθερίας από τα υπόλοιπα.
- c) Μπορούν να τοποθετηθούν αισθητήρες κάμψης (flex sensors) πάνω στα εξωσκελετικά δάχτυλα οι οποίοι να δίνουν πληροφορία για την γωνία που έχει στραφεί το δάχτυλο. Αυτό σε συνδυασμό με ηλεκτροπνευματικές βαλβίδες που έχουν προσαρμοσμένους αισθητήρες πίεσης και δικό τους μανόμετρο (και όχι ένα για ολόκληρο το σύστημα όπως είναι στην παρούσα πτυχιακή εργασία), μπορεί να δώσει στον νάρθηκα την



δυνατότητα ελέγχου της ακριβούς γωνίας στροφής του κάθε δάχτυλου μέσω της μονάδας ελέγχου.

- d) Χρησιμοποιώντας πιο εξελιγμένα εξαρτήματα για την κατασκευή της μονάδας οδήγησης και ελέγχου, μπορεί αυτή να γίνει φορητή, δίνοντας στον χρήστη δυνατότητα να χρησιμοποιεί τον νάρθηκα οπουδήποτε βρίσκεται. Το μειονέκτημα του να γίνει η κατασκευή φορητή, είναι πως αυξάνεται πολύ το κόστος κατασκευής καθώς τα εξαρτήματα που χρειάζονται είναι πολύ ακριβά.



Βιβλιογραφία

- [1] «A compliant hand based on a novel pneumatic actuator,», Available: http://www.robotics.tu-berlin.de/fileadmin/fg170/Publikationen_pdf/2013-icra13_Deimel_Brock.pdf
- [2] «How to create a PneuFlex actuator,» Available: http://www.robotics.tu-berlin.de/index.php?id=pneuflex_tutorial
- [3] Φασουλάς, «Σημειώσεις Ρομποτικής,» Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Ηράκλειο, Κρήτης, 2010.
- [4] Μ. Παπαδάκης, «Σχεδιασμός και κατασκευή εξωσκελετικού νάρθηκα για την υποβοήθηση ατόμων με μερική αναπηρία στα χέρια,» Τ.Ε.Ι. Κρήτης, Ηράκλειο, 2014.
- [5] Φ. Ιωάννης, «Εισαγωγή στην Μηχατρονική,» σε Παρουσίαση του Arduino, Ηράκλειο, eClass TEI of Crete, 2010, p. 1.
- [6] «Arduino serial,», Arduino Inc, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Reference/Serial>
- [7] «Arduino uno,», Arduino Inc, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [8] Κ. Φυράι, «Τηλεχειρισμός ανθρωπόμορφου ρομποτικού χεριού μέσω πρωτότυπης διάταξης αισθητήρων προσαρμοσμένων σε γάντι,» Τ.Ε.Ι. Κρήτης. Ηράκλειο 2014.
- [9] Bobak Mosadegh, Panagiotis Polygerinos, Christoph Keplinger, Sophia Wennstedt, Robert F. Shepherd, Unmukt Gupta, Jongmin Shim, Katia Bertoldi, Conor J. Walsh, and George M. Whitesides, «Pneumatic Networks for Soft Robotics that actuate rapidly,» WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2014.
- [10] «soft robotics toolkit,» [Ηλεκτρονικό] Available: <http://softroboticstoolkit.com/>
- [11] Μ. Καββουσανός «Τεχνολογία Ελέγχου,» σε πνευματικά – υδραυλικά συστήματα, eClass TEI of Crete, 2012.
- [12] Paxton Maeder-York, Tyler Clites, Emily Boggs, Ryan Neff, Panagiotis Polygerinos, Dónal Holland, Leia Stirling, Kevin Galloway, Catherine Wee, Conor Walsh, «Biologically inspired Soft Robot for thumb rehabilitation,» Harvard School of Engineering and Applied Sciences, Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering Harvard University, Spaulding Hospital for Continuing Medical Care Cambridge, 2014. Available: <http://softroboticstoolkit.com/publications/biologically-inspired-soft-robot-thumb-rehabilitation>



[13] Raphael Deimel, Oliver Brock, Robotics and Biology Laboratory , «A novel type of compliant, under actuated robotic hand for dexterous grasping,» Technological Institute of Berlin, Germany.

[14] Yong-Lae Park, Jobim Santos, Kevin G. Galloway, Eugene C. Goldfield, and Robert J. Wood , «A soft wearable robotic device for active knee motions using flat pneumatic artificial muscles,» IEEE International Conference on Robotics & Automation 2014.

[15] P. Polygerinos, et al., «Towards a soft pneumatic glove for hand rehabilitation,» in Intelligent Robots and Systems (IROS), 2013 IEEE/RSJ International Conference on, pp. 1512–1517, 2013.

[16] Kevin C. Galloway, Panagiotis Polygerinos, Conor J. Walsh, and Robert J. Wood, «Mechanically programmable bend radius for fiber-reinforced soft actuators»