



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΣΤΙΓΚΑΣ

Αριθμός Μητρώου: 48013098

Επιβλέπων Καθηγητής

ΠΑΝΤΕΛΕΗΜΩΝ ΑΣΒΕΣΤΑΣ

ΑΘΗΝΑ 10/2022



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

SCHOOL OF ENGINEERING
Department of Biomedical Engineering

MODEL – CONSTRUCTION OF A SIMPLE SURGICAL TABLE

NIKOLAOS STIGKAS

Registration Number: 48013098

Supervising Professor

PANTELIS ASVESTAS

ATHENS 10/2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΗΣ

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η πτυχιακή/διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

Α/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Π. Ασβεστάς	Αναπληρωτής Καθηγητής	
2	Δ. Γκλώτσος	Αναπληρωτής Καθηγητής	
3	Σ. Κωστόπουλος	Αναπληρωτής Καθηγητής	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος **Νικόλαος Στίγκας** του **Δημητρίου**, με αριθμό μητρώου **48013098** φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιοϊατρικής δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Νικόλαος Στίγκας

Νικόλαος Στίγκας, Φοιτητής



Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή πραγματοποιείται η επεξήγηση για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και τις δοκιμές – πειράματα όπου γίνονται σε μια εξεταστική – χειρουργική τράπεζα ασθενούς. Αρχικά γίνεται ο σχεδιασμός της τράπεζας και εξετάζεται ως προς τις συνιστώσες όπου μπορεί να επηρεάσουν την αποδοτικότητα της, όπως η μέγιστη κλίση που κατεβαίνει η πλάτη ή το μέγιστο ύψος που ανεβαίνει η τράπεζα. Οι κινήσεις οι οποίες είναι ικανή να κάνει η τράπεζα είναι το ανέβασμα και το κατέβασμα της τράπεζας, το ανέβασμα και το κατέβασμα των κάτω άκρων, το ανέβασμα και το κατέβασμα του άνω άκρου, την κίνηση trendelenburg και anti-trendelenburg. Επίσης αναγράφεται στην οθόνη LCD η κίνηση που πραγματοποιείται ενώ εκτελείται κάποια από τον χειριστή και απεικονίζεται σε περίπτωση συναγερμού ότι υπάρχει κίνδυνος και περιορισμός στο κρεβάτι. Οι κινήσεις είναι εφικτές να γίνουν μέσω ενός χειριστηρίου, όπου είναι ενσύρματο και είναι τοποθετημένο στη βάση της τράπεζας. Ακόμα υπάρχει ένα σύστημα ασφαλείας κατά το οποίο η τράπεζα θα σταματάει την κίνηση της σε περίπτωση που καταλάβει πως θα χτυπήσει κάτι με το κάτω μέρος της. Η υλοποίηση αυτών γίνεται με την χρήση 3 κινητήρων για τις κινήσεις της τράπεζας (έναν για την κίνηση άνω άκρου, έναν για την κίνηση των κάτω άκρων και έναν για την αλλαγή του ύψους της τράπεζας), 1 μικροεπεξεργαστής τύπου Arduino Uno R3 για την επεξεργασία των πληροφοριών και των εντολών αλλά και για την εμφάνιση πληροφοριών στην οθόνη LCD, 6 microswitch για το σύστημα ασφαλείας, 2 microswitch για τις τερματικές θέσεις του κινητήρα, 2 ποτενσιόμετρα, 2 χειριστήρια με 4 πλήκτρα το καθένα, μια οθόνη LCD και δυο τροφοδοτικά από 230VAC σε 5VDC το ένα και σε 9VDC το άλλο. Η βάση και η επιφάνεια της τράπεζας είναι φτιαγμένη από ξύλο, κόντρα πλακέ. Για μαξιλάρια χρησιμοποιείται υλικό αφρολέξ. Η χειρουργική τράπεζα δοκιμάζεται σε όλες τις εφικτές τις κινήσεις όπως και στα ύψη από το χειριστήριό της με τα μαξιλάρια επάνω της.

SUMMARY

This paper explains the planning, the construction and the testing-trials that is conducted, of a surgical bed. Firstly, with the planning of the bed, it is examined which component might influence its efficiency, like the highest inclination of the back or the height the bed can reach. The moves that the bed is capable of is the up and down of the bed, the up and down of the legs and the up and down of the upper part, the trendelenburg and anti-trendelenburg move. Furthermore, the LCD screen is displaying which move is used each time by the user and it is also alarming him of any danger or prohibition on the bed. All the moves are being delivered to the bed via a controller, which is cabled and attached to the base. Moreover, there is a security system that is stopping the bed from moving if it is in danger of hitting something with its lower end. The implementation of these moves is done by three motors (one for the moves of the upper part, one for the legs and one for the height), one microprocessor of Arduino Uno R3 type for the processing of information and commands, but also for displaying the information on the LCD screen, 6 microswitch for the security system, 2 microswitch for the motor terminals, 2 potentiometers, 2 controllers with 4 buttons each, one LCD screen, 2 power suppliers from 230VAC to 5VDC the first and 9VDC the second. The base and the surface of the bed are made of plywood. For cushions, the material that is used is foam. The surgical bed is tested on all possible moves and heights with its cushions on, from the controller.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
SUMMARY	6
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΞΕΛΙΞΗ ΧΡΗΣΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ	11
1.1 Εξέλιξη Χειρουργικών Τραπεζών	11
1.2: Χειριστήρια-Επεξήγηση κουμπιών	13
1.3: Κινήσεις.....	17
1.3.1: Ύπτια Θέση	17
1.3.2: Θέση Trendelenburg.....	18
1.3.3: Θέση Λιθοτομής.....	19
1.3.4: Πλάγια Κατακεκλιμένη Θέση	20
1.3.5: Καθιστική Θέση	21
1.4: Μαξιλάρια Χειρουργικών Τραπεζών	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΥ – ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΟΥ ΤΡΑΠΕΖΙΟΥ	25
2.1: Η Κατασκευή	25
2.2: Επεξήγηση Κινήσεων – Χειρισμός	26
2.2.1: Σύστημα Ασφαλείας.....	29
2.3: Ηλεκτρονικά Κυκλώματα	30
2.3.1: Χειριστήρια	30
2.3.2: Έλεγχος Ορίων	30
2.3.3: Σύστημα Ασφαλείας.....	31
2.3.4: Οθόνη LCD	32
2.3.5: Arduino Uno R3 και Κινητήρες	34
2.4: Υλικά Κυκλωμάτων	37
2.4.1: Χειριστήρια	37
2.4.2: Τρανζίστορ	38
2.4.3: Διακόπτες	40
2.4.4: Ποτενσιόμετρα	41
2.4.5: Οθόνη LCD	42
2.4.6: Κινητήρες	44
2.4.7: Αντάπτορας οθόνης LCD	45
2.4.8: L293D Motor driver shield.....	46
2.4.9: Επεκτάσεις Ακροδεκτών Arduino Uno R3	47
2.4.10: Arduino Uno R3	48
2.4.11: Τροφοδοτικά 9V, 5V	51

2.4.12: LEDs και αντιστάσεις.....	53
2.4.13: Καλώδια	54
2.5 Υλικά Μακέτας	54
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ	56
3.1: Κώδικας.....	56
3.2: Επεξήγηση Κώδικα	64
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΟΚΙΜΕΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ	68
4.1: Αποτελέσματα	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	70
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	71

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χειρουργική τράπεζα είναι η βάση μιας χειρουργικής αίθουσας. Από αυτή ξεκινάει το στήσιμο της χειρουργικής αίθουσας. Υπάρχουν δυο είδη χειρουργικών τραπεζών, οι σταθερές μονάδες που γίνονται ένα με την αίθουσα και εκείνες που μπορούν να τοποθετηθούν σε άλλη αίθουσα ως κινητές μονάδες.

Ένα σύστημα χειρουργικού τραπεζιού αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία: μια στήλη χειρουργικού τραπεζιού, την επιφάνεια του τραπεζιού και τον μεταφορέα. Υπάρχει μια μεγάλη γκάμα επιτραπέζιων επιφανειών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για γενική χειρουργική όσο και για ειδικούς κλάδους. Τα κινητά χειρουργικά τραπέζια, ωστόσο, τείνουν να είναι εξοπλισμένα με μια συγκεκριμένη πειθαρχία στο μυαλό. Η βάση, η στήλη και η επιφάνεια του τραπεζιού σχηματίζουν μια μονάδα[1].

Το κεντρικό στοιχείο κάθε χειρουργείου είναι το χειρουργικό τραπέζι. Το χειρουργικό τραπέζι ή η θέση στην οποία είναι στημένο είναι η βάση για την τοποθέτηση όλων των άλλων συσκευών υψηλής τεχνολογίας, όπως βάσεις οροφής για συστήματα αναισθησίας και χειρουργικής επέμβασης, χειρουργικά φώτα, πιθανώς ενισχυτές ακτίνων X στην οροφή ή χειρουργικά μικροσκόπια, μαζί με οροφές και πάνελ κλιματισμού.

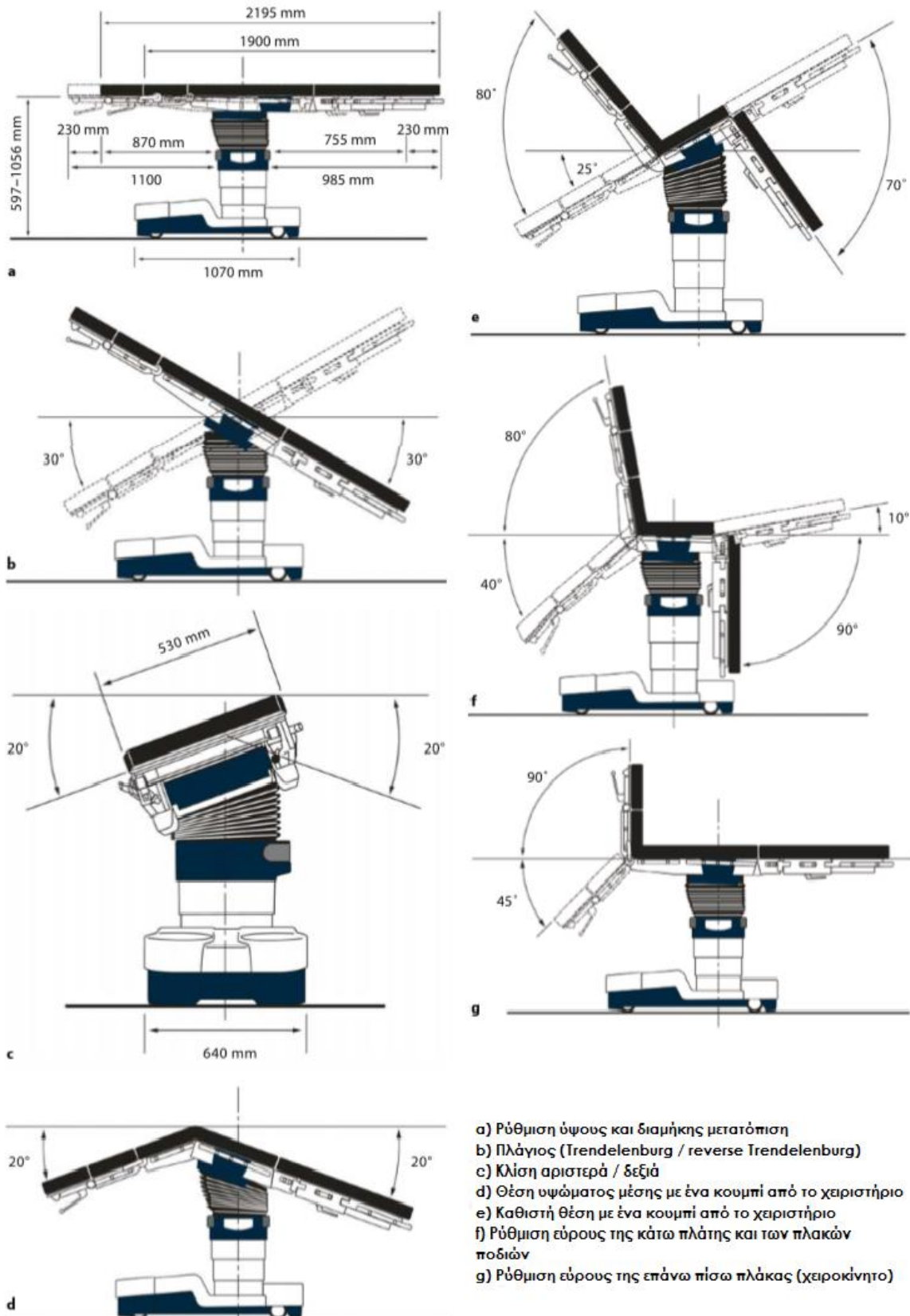
Ο ασθενής τοποθετείται (με ανατομικά σωστό τρόπο) για την επέμβαση του σε αυτό το «τραπέζι». Με άλλα λόγια, ένα χειρουργικό τραπέζι πρέπει να ικανοποιεί τις ανάγκες του χειρουργού, του αναισθησιολόγου και του ασθενούς. Αυτές οι ανάγκες είναι ουσιαστικά αυτές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας: [2].

Ιδιότητες και απαιτήσεις ενός χειρουργικού τραπεζιού	
Ρύθμιση ύψους	για προσαρμογή στο ύψος του χειρουργού για εργονομική εργασία
Υπό κλίση (Trendelenburg / αντίστροφη Trendelenburg), οπίσθια / εμπρόσθια	για να επιτραπεί κατά τη διασωλήνωση ή λήψη άμεσων μέτρων, ο κίνδυνος σοκ και ο έλεγχος κατά την περιφερειακή αναισθησία
Υπο κλίση δεξιά / αριστερά	για να δώσει καλύτερη εικόνα για την κοιλότητα του σώματος και για την τοποθέτηση οργάνων κατά τη διάρκεια ελάχιστα επεμβατικών διαδικασιών
Προσαρμογή των επιμέρους τμημάτων της επιφάνειας του ασθενή	για να επιτρέψει στο σώμα να κάμπτεται στις ανατομικά σωστές θέσεις και να τοποθετεί τα άκρα όπως απαιτείται για την επέμβαση
Ακτινοδιαπερατή επιφάνεια ασθενή	για την χειρουργική με τον ενισχυτή εικόνας ακτίνων X χωρίς προβλήματα
Μαλακά, αφρώδες και ακτινοδιαπερατά μαξιλάρια	για την αποφυγή ζημίας στους μαλακούς ιστούς του ασθενή
Ευκινησία	για να τοποθετηθεί ο ασθενής από το νοσοκομειακό κρεβάτι ή την επιφάνεια μεταφοράς ασθενή στην αίθουσα προετοιμασίας αναισθησίας και το χειρουργείο χωρίς να χρειάζεται να μεταφερθεί ο ασθενής

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται οι κινήσεις όπου είναι εφικτές να γίνουν από ένα χειρουργικό τραπέζι.

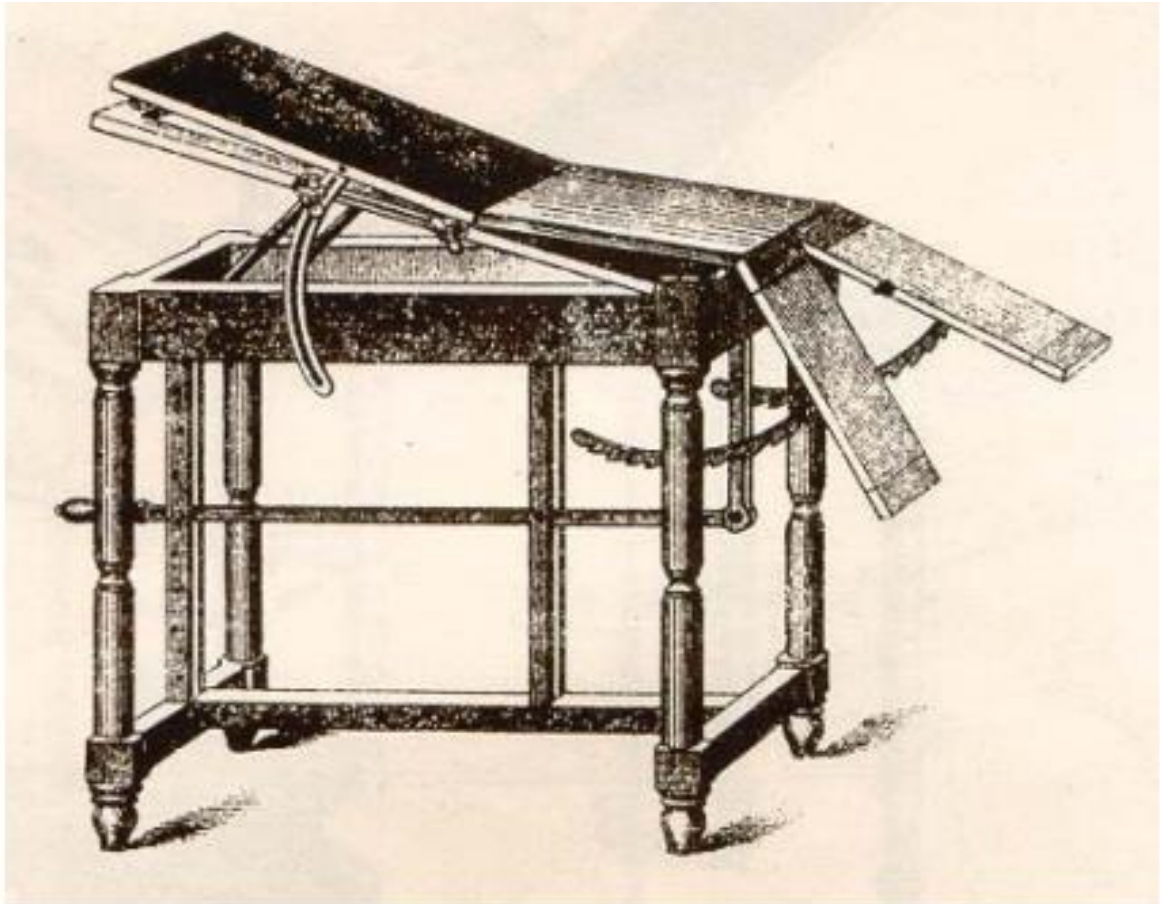


Εικόνα: [2].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΞΕΛΙΞΗ ΧΡΗΣΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

1.1 Εξέλιξη Χειρουργικών Τραπεζών

Οι μέρες κατά τις οποίες οι χειρουργοί χειρουργούσαν τους ασθενείς τους ενώ αυτοί ήταν ξαπλωμένοι στο κρεβάτι του νοσοκομείου χρονολογούνται περισσότερα από 160 χρόνια πίσω. Αρχικά οι χειρουργοί είχαν αντίρρηση με το χαμηλό ύψος του κρεβατιού και την ασταθής τοποθέτηση του ασθενούς.

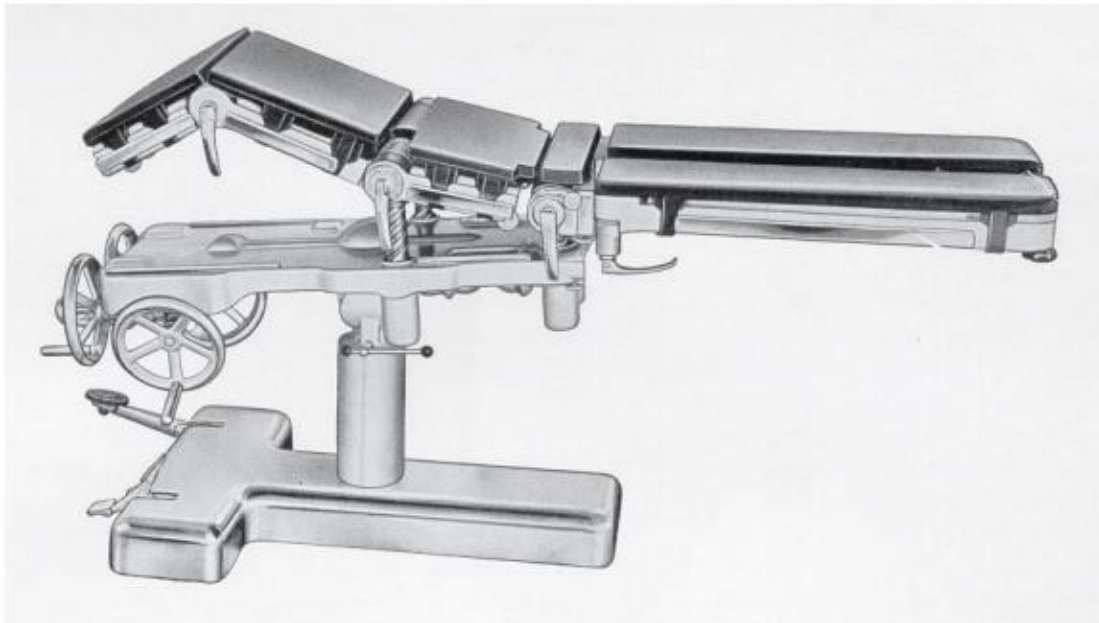


Εικόνα 1.1: Χειρουργική τράπεζα φτιαγμένη από ξύλο, χρονολογείται το 1840 [2].

Βρέθηκαν θεραπείες, με αποτέλεσμα τα πρώτα «χειρουργικά έπιπλα», τα οποία έλαβαν υπόψη τα εξέχοντα ανατομικά σημεία του ανθρώπινου σώματος – τους γοφούς και τα γόνατα. Υπήρχαν πολύ περισσότεροι χειρουργικές τράπεζες κατά τη διάρκεια των ετών ανάπτυξης, από αυτές που εμφανίζονται εδώ. Η εξέλιξη από τα «λειτουργικά έπιπλα» μέσω του χειρουργικού τραπέζιού στο σύστημα χειρουργικού τραπέζιού αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια:

- χειρουργική τράπεζα από ξύλο, εν μέρει με καλλιτεχνικά σχεδιασμένες λεπτομέρειες, που έπαιζαν μόνο οπτικό ρόλο, για παράδειγμα πόδια που ανεβοκατεβαίνουν.

- Κινητή χειρουργική τράπεζα σε μικρούς τροχούς με μεταλλική κατασκευή. Η τεχνική για τη κίνηση Trendelenburg και την αντίστροφη Trendelenburg γίνεται ένα σίγουρο στοιχείο στην επόμενη γενιά χειρουργικών τραπέζιων.
- Χειρουργική τράπεζα με μεταλλική κατασκευή, που περιλάμβανε τη κίνηση Trendelenburg και αντίστροφη Trendelenburg, εισήγαγε τη δυνατότητα ρύθμισης ύψους.
- Η περαιτέρω ανάπτυξη των χειρουργικών τεχνικών έκανε τις διαδικασίες πιο συγκεκριμένες και εκτενείς, με πολύ μεγαλύτερες απαιτήσεις για την προσαρμογή του χειρουργικού τραπέζιου και τη θέση του ασθενούς. Τα χειρουργικά τραπέζια ξεκίνησαν να έχουν επιφάνεια ασθενούς πολλαπλών τμημάτων, υδραυλική ρύθμιση ύψους, Trendelenburg και αντίστροφη Trendelenburg, πληρώντας αρκετές απαιτήσεις χειρουργών της εποχής.
- Η απαίτηση για καλύτερη υγιεινή στο χειρουργικό τραπέζι είχε ως αποτέλεσμα όλοι οι τροχοί χειρός για διεγχειρητικές ρυθμίσεις να μετακινηθούν στο άκρο της κεφαλής, έτσι ώστε η πραγματική περιοχή χειρουργικής επέμβασης να παραμείνει αποστειρωμένη σε όλη την έκταση. Ως γενική χειρουργική τράπεζα, η «μεγάλη Heidelberg» εκπλήρωσε όλες τις απαιτήσεις ενός χειρουργικού τραπέζιου για γενική



Εικόνα 1.2: Χειρουργική τράπεζα «Large Heidelberg 1111», χρονολογείται το 1960 [2].

χειρουργική επέμβαση. Χωρίστηκε σε άνω και κάτω πλάκα πλάτης, πλάκα καθίσματος, γέφυρα σώματος, διαχωρισμένες πλάκες ποδιών (πλάκες ποδιών 4 τμημάτων προαιρετικά) και υδραυλική ρύθμιση ύψους, ώστε να είναι δυνατή η προσαρμογή της ιδανικής θέσης για τον ασθενή στην επέμβαση.

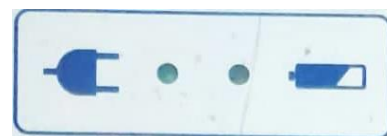
Στις επόμενες γενιές κρεβατιών, λόγω των απεικονίσεων με ακτίνες X σε ιατρικές εφαρμογές, προστέθηκαν μηχανισμοί συγκράτησης κασετών, ώστε να απεικονίζεται ο ασθενής επάνω στο χειρουργικό κρεβάτι, χωρίς να χρειαστεί να μεταφερθεί ή να τοποθετηθεί η κασέτα ακριβώς από κάτω του. Κατά τον τρόπο αυτόν οι χειρουργικές τράπεζες έπρεπε να είναι ακτινοδιαπερατές [2].

1.2: Χειριστήρια-Επεξήγηση κουμπιών

Οι σύγχρονες χειρουργικές τράπεζες εκτελούν τις κύριες κινήσεις τους ηλεκτρονικά, μέσω χειριστηρίου. Το χειριστήριο που μπορεί να έχει μια χειρουργική τράπεζα μπορεί να είναι ασύρματο ή ενσύρματο, αλλιώς θα είναι τοποθετημένο επάνω της σε ένα από τα κύρια μέρη της, στην κολώνα ή στην βάση. Συνήθως, το χειριστήριο, το οποίο είναι τοποθετημένο επάνω στην χειρουργική τράπεζα, είναι το «χειριστήριο ανάγκης» και χρησιμοποιείται σε περίπτωση που υπάρχει κάποια βλάβη ή όταν το ενσύρματο χειριστήριο δεν συμμορφώνεται με την χειρουργική τράπεζα [3].



Εικόνα 1.3: Ενσύρματο χειριστήριο χειρουργικής τράπεζας [4].



Εικόνα 1.4: Ένδειξη τροφοδοσίας χειρουργικής τράπεζας, αριστερά από το δίκτυο παροχής ρεύματος και δεξιά από τους συσσωρευτές του συστήματος.

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ



Εικόνα 1.5: Διακοπή χειρισμού χειρουργικής τράπεζας από το συγκεκριμένο χειριστήριο.



Εικόνα 1.6: Έναρξη χειρισμού χειρουργικής τράπεζας από το συγκεκριμένο χειριστήριο. Η κατάσταση ενεργοποίησης αναδεικνύεται από την φωτεινή ένδειξη δίπλα από το κομβίο.



Εικόνα 1.7: Εντολή κλειδώματος θέσης χειρουργικής τράπεζας στον χώρο. Η διαδικασία πραγματοποιείται με το κατέβασμα στύλων – συριγμάτων όπου σηκώνουν την χειρουργική τράπεζα με αποτέλεσμα οι τροχοί να είναι στον αέρα σταθεροποιώντας την τράπεζα.



Εικόνα 1.8: Εντολή ξεκλειδώματος θέσης χειρουργικής τράπεζας από τον χώρο. Πραγματοποιείται η αντίστροφη διαδικασία από την εντολή κλειδώματος θέσης. Κατά την διάρκεια των εντολών κλειδώματος και ξεκλειδώματος οι αντίστοιχες φωτεινές ενδείξεις αναβοσβήνουν όσο η διαδικασία βρίσκεται σε εξέλιξη και σταθεροποιούνται όταν ολοκληρωθεί.



Εικόνα 1.9: Πιέζοντας παρατεταμένα για ένα μικρό χρονικό διάστημα η χειρουργική τράπεζα προσαρμόζεται στη θέση ασθενούς που απεικονίζεται στην εικόνα. Με την ρύθμιση αυτή οι υπόλοιπες εντολές κίνησης προσαρμόζονται αντίστοιχα.



Εικόνα 1.10: Παρομοίως με την παραπάνω εντολή ρύθμισης θέσης, πιέζοντας παρατεταμένα για ένα μικρό χρονικό διάστημα η χειρουργική τράπεζα προσαρμόζεται στη θέση ασθενούς που απεικονίζεται στην εικόνα. Με την ρύθμιση αυτή οι υπόλοιπες εντολές κίνησης προσαρμόζονται αντίστοιχα.



Εικόνα 1.11: Εντολή οδήγησης τράπεζας όπισθεν. Με την βοήθεια ενός πέμπτου τροχού, ο οποίος στις περισσότερες χειρουργικές τράπεζες βρίσκεται στο κέντρο της βάσης τους, όπου είναι συνδεδεμένος με ένα μοτέρ, ωθεί την τράπεζα προς τα πίσω. Η λειτουργία αυτή είναι επιτρεπτή μόνο για την μεταφορά του κρεβατιού χωρίς ασθενή επάνω του.

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ



Εικόνα 1.12: Εντολή εμπρόσθιας οδήγησης τράπεζας. Με την βοήθεια του πέμπτου τροχού η χειρουργική τράπεζα κινείται προς τα εμπρός. Η λειτουργία αυτή είναι επιτρεπτή μόνο για την μεταφορά του κρεβατιού χωρίς ασθενή επάνω του.



Εικόνα 1.13: Εντολή για εκτέλεση κίνησης Trendelenburg. Η θέση αυτή πραγματοποιείται με το να παίρνει η χειρουργική τράπεζα κλίση με το κεφάλι του ασθενούς στην χαμηλότερη μεριά.



Εικόνα 1.14: Εντολή για εκτέλεση κίνησης αντίστροφου Trendelenburg. Η θέση αυτή πραγματοποιείται με το να παίρνει η χειρουργική τράπεζα κλίση με το κεφάλι του ασθενούς στην υψηλότερη μεριά.



Εικόνα 1.15: Εντολή ανόρθωσης του επιπέδου της χειρουργικής τράπεζας.



Εικόνα 1.16: Εντολή κατεβάσματος του επιπέδου της χειρουργικής τράπεζας.



Εικόνα 1.17: Εντολή κλίσης επιφάνειας χειρουργικής τράπεζας προς τα αριστερά.



Εικόνα 1.18: Εντολή κλίσης επιφάνειας χειρουργικής τράπεζας προς τα δεξιά.

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ



Εικόνα 1.19: Εντολή ανόρθωσης πλάτης ασθενούς.



Εικόνα 1.20: Εντολή κατεβάσματος πλάτης ασθενούς.



Εικόνα 1.21: Εντολή ανόρθωσης κάτω άκρων ασθενούς.



Εικόνα 1.22: Εντολή κατεβάσματος κάτω άκρων ασθενούς.



Εικόνα 1.23: Εντολή για τοποθέτηση ασθενούς σε πλάγια κατακεκλιμμένη θέση, κάνοντας την μέση του ασθενούς το υψηλότερο σημείο του σώματος του. Αυτό επιτυγχάνεται με το παράλληλο κατέβασμα του κεφαλιού και των κάτω άκρων, ενώ το σημείο της λεκάνης παίρνει κλίση προς τα κάτω άκρα.



Εικόνα 1.24: Εντολή για τοποθέτηση ασθενούς σε αντίστροφοι πλάγια κατακεκλιμμένη θέση, κάνοντας την μέση του ασθενούς το χαμηλότερο σημείο του σώματος του. Αυτό επιτυγχάνεται με το παράλληλο ανέβασμα του κεφαλιού και των κάτω άκρων, ενώ το σημείο της λεκάνης παίρνει κλίση προς τα κάτω άκρα.



Εικόνα 1.25: Εντολή επαναφοράς της επιφάνειας της χειρουργικής τράπεζας παράλληλα με το δάπεδο.

Σε κάθε χειρουργείο υπάρχουν κανόνες για την τοποθέτηση των ασθενών στην χειρουργική τράπεζα από το προσωπικό του χειρουργείου, τους οποίους πρέπει να τους τηρούν καθ' όλη την διάρκεια της επέμβασης.

- Διατήρηση όσο είναι εφικτό της αξιοπρέπειας του ασθενούς, με την αποφυγή σωματικής έκθεσης.
- Επαρκής έκθεση του σημείου του σώματος του ασθενή όπου θα πραγματοποιηθεί η χειρουργική επέμβαση.
- Εξασφάλιση βέλτιστου αερισμού, με τη διατήρηση της βατότητας των αεραγωγών και την αποφυγή πίεσης του θωρακικού τοιχώματος.
- Επαρκής πρόσβαση στις ενδοφλέβιες γραμμές καθώς και στον εξοπλισμό παρακολούθησης ζωτικών λειτουργιών.
- Προστασία από βλάβη περιφερειακών νεύρων, με την αποφυγή πιεστικών φαινομένων σε μύες, νεύρα και οστά χρησιμοποιώντας ειδικά στηρίγματα, καθώς και με τη προσεκτική παρατήρηση των αγκώνων, των ώμων και των δακτύλων των ποδιών και των χεριών του ασθενούς.
- Διατήρηση της κυκλοφορίας του αίματος, με την αποφυγή πίεσης σε οποιοδήποτε μέρος του σώματος.
- Λήψη προληπτικών μέτρων για την αποφυγή εμφάνισης εμβολής από αέρα.
- Αποφυγή ιστικής υποάρδευσης, λόγω μειωμένης παροχής αίματος.

Για να είναι λειτουργική ως προς την επέμβαση μια χειρουργική τράπεζα πρέπει να είναι εφικτό να διατηρήσει τους κανόνες αυτούς σε οποιαδήποτε από τις συνήθεις θέσεις επέμβασης (ύπτια, καθιστική, λιθοτομής, πλάγια κατακεκλιμένη, πρηνής, καθώς και σε παραλλαγές αυτών Trendelenburg/αντι-Trendelenburg) [5].

1.3: Κινήσεις

1.3.1: Ύπτια Θέση

Η ύπτια θέση είναι η πιο συχνή τοποθέτηση του αρρώστου στη χειρουργική τράπεζα και αφορά τον μεγαλύτερο αριθμό χειρουργικών επεμβάσεων. Ο ασθενής τοποθετείται έχοντας την πλάτη του σε επαφή με το χειρουργικό τραπέζι και το κεφάλι του σε ουδέτερη θέση πάνω σε μικρό μαξιλάρι ή σε ειδικά στηρίγματα από γέλη. Η μόνη απαίτηση από τη χειρουργική τράπεζα για την θέση αυτή είναι η σταθεροποίηση του ασθενούς. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου χρειάζονται πρόσθετα στηρίγματα χεριών για

την θέση αυτή. Η στήριξη των άνω άκρων πραγματοποιείται με επιπρόσθετα εξαρτήματα που στερεώνονται στις πλαϊνές ράγες της χειρουργικής τράπεζας [7].



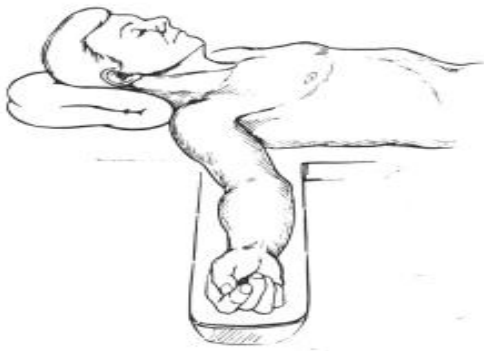
Εικόνα 1.26: Μαξιλάρι κεφαλιού για ύπτια θέση [2].



Εικόνα 1.27: Πλάκα με σκοπό στηρίγματος άνω και κάτω βραχίονα [2].



Εικόνα 1.28: Μηχανισμός τοποθέτησης συγκράτησης άνω άκρου [2].



Εικόνα 1.29: Ύπτια θέση με το κεφάλι ασθενούς σε ουδέτερη θέση και η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ του βραχίονα και του ώμου δεν ξεπερνά τις 90° [2].

1.3.2: Θέση Trendelenburg

Η θέση Trendelenburg θεωρείται παραλλαγή της ύπτιας θέσης όπου ως χαρακτηριστικό έχει το να κλίνει το κεφάλι του ασθενή προς τα κάτω. Χρησιμοποιείται για την αύξηση της φλεβικής επιστροφής, για την βελτίωση της έκθεσης του χειρουργικού πεδίου σε επεμβάσεις λαπαροσκοπικής χειρουργικής, για την πρόληψη εμβολής αέρα καθώς και για τη διευκόλυνση τοποθέτησης κεντρικού φλεβικού καθετήρα. Επίσης, παρατηρείται αύξηση στην πίεση ενσφήνωσης των πνευμονικών τριχοειδών, στην μέση αρτηριακή πίεση καθώς και στον κορεσμό του μικτού φλεβικού αίματος. Ο όγκος παλμού μειώνεται, ενώ η πίεση στον αριστερό κόλπο αυξάνεται. Η απαίτηση από την χειρουργική τράπεζα για την ομαλή και λειτουργική περαίωση της επέμβασης σε αυτή την θέση πρέπει να είναι όσο λιγότερο ολισθηρή γίνεται [10-11-17].



Εικόνα 1.30: Θέση Trendelenburg [12].

1.3.3: Θέση Λιθοτομής

Στην θέση λιθοτομής ο ασθενής τοποθετείται στην τράπεζα με τα κάτω άκρα να τοποθετούνται σε ειδικά υποστηρίγματα ενώ αφαιρείται το κάτω τμήμα του χειρουργικού τραπεζιού. Η θέση αυτή χρησιμοποιείται σε γυναικολογικές, ουρολογικές και σε επεμβάσεις γενικής χειρουργικής.

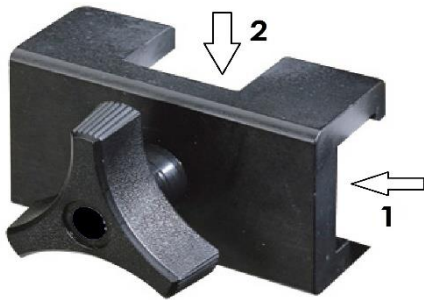
Τα ειδικά υποστηρίγματα έχουν μεγάλο βαθμό ευελιξίας ως προς την κάμψη των κάτω άκρων. Οι χειρουργικές τράπεζες είναι εξοπλισμένες με πλαϊνές ράγες στην δεξιά και αριστερή πλευρά τους στις οποίες μέσω ενός αντάπτορα (σφικτήρας ράγας) μπορούν να στηριχτούν τα ειδικά υποστηρίγματα κάτω άκρων [7-8-17].



Εικόνα 1.31: Θέση λιθοτομής [13].



Εικόνα 1.32-1.33: Ειδικό υποστήριγμα κάτω άκρου [13-15].

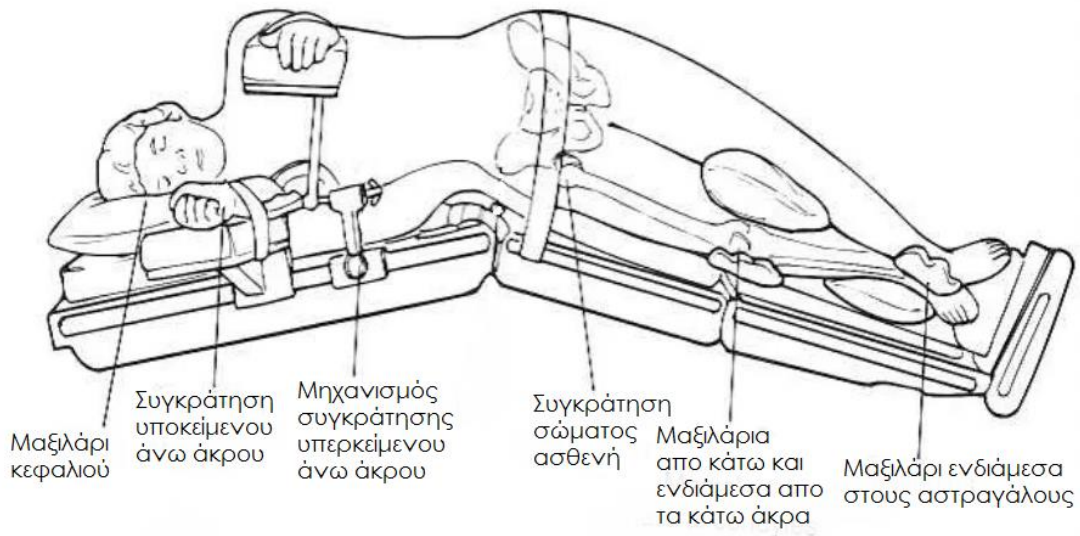


Εικόνα 1.34: Σφιγκτήρας ράγας που έχει σκοπό την τοποθέτηση ειδικού υποστηρίγματος κάτω άκρου. Στην θέση με τον αριθμό 1 τοποθετείται η πλαϊνή ράγα της χειρουργικής τράπεζας. Στην θέση με τον αριθμό 2 τοποθετείται η σιδερένια προεξοχή από το κάτω μέρος του ειδικού υποστηρίγματος [14].

Τα ειδικά αυτά υποστηρίγματα κάτω άκρων λειτουργούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μην τραυματιστούν τα κάτω άκρα του ασθενή. Ενώ είναι εφικτό να γίνουν κινήσεις προς σχεδόν όλες τις κατευθύνσεις, πάντα η μπότα είναι ευέλικτη και κινείται βάση του κάτω άκρου του ασθενούς. Μέσω του μηχανισμού κλειδώματος μπότας ρυθμίζεται το ύψος στο οποίο θα τοποθετηθεί η μπότα. Κλείνοντας την λαβή πίεσης πραγματοποιούνται οι κινήσεις τις οποίες είναι ικανό να κάνει το ειδικό υποστήριγμα, ενώ αφήνοντας την, κλειδώνει στο σημείο στο οποίο είναι εκείνη την χρονική στιγμή.

1.3.4: Πλάγια Κατακεκλιμένη Θέση

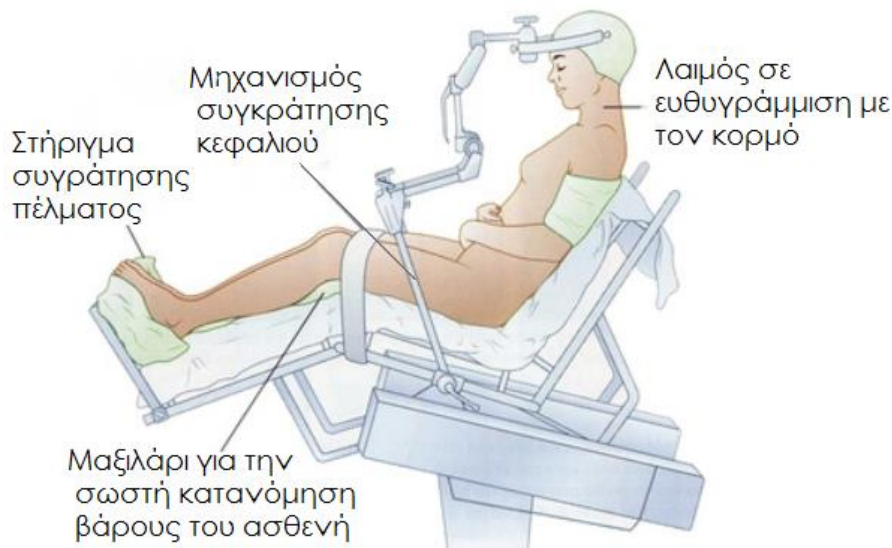
Η πλάγια κατακεκλιμένη θέση χρησιμοποιείται για επεμβάσεις στον θώρακα, στον οπισθοπεριτοναϊκό χώρο καθώς και για επεμβάσεις ισχίου. Στην θέση αυτή το υποκείμενο άνω άκρο στηρίζεται σε επέκταση του χειρουργικού τραπεζιού στο ίδιο επίπεδο με το υπόλοιπο σώμα, ενώ το υπερκείμενο στηρίζεται πάνω από το άλλο χέρι με άλλη επέκταση χειρουργικού τραπεζιού [7-10-11].



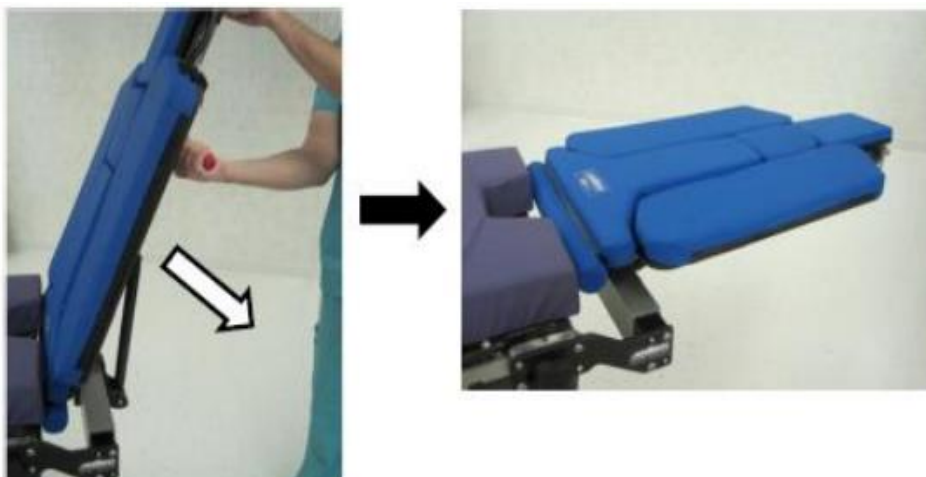
Εικόνα 1.35: Πλάγια κατακεκλιμένη θέση [16].

1.3.5: Καθιστική Θέση

Στην καθιστική θέση εκτελούνται συνήθως οι επεμβάσεις του οπίσθιου κρανιακού βόθρου και της αυχενικής μοίρας της σπονδυλικής στήλης. Μια παραλλαγή της καθιστικής θέσης, είναι η λεγόμενη beach chair θέση, η οποία χρησιμοποιείται στις επεμβάσεις ώμου. Στην καθιστική θέση το προσκέφαλο του χειρουργικού τραπεζιού, που βρίσκεται ο ασθενής, τοποθετείται σε γωνία 30°-90° πάνω από το οριζόντιο επίπεδο. Τα πόδια κάμπτονται στο ισχίο και ελαφρώς και τα γόνατα, μαξιλάρια τοποθετούνται στα σημεία πίεσης (ισχία, γόνατα, πέλματα), ενώ άλλο ειδικό στήριγμα θα συγκρατήσει το πέλμα και θα μετριάσει το βάρος του σώματος [2-7-17].



Εικόνα 1.36: Καθιστική θέση [17].



Εικόνα 1.37: Ειδικό εξάρτημα για τις επεμβάσεις ώμου (Beach Chair) [19].

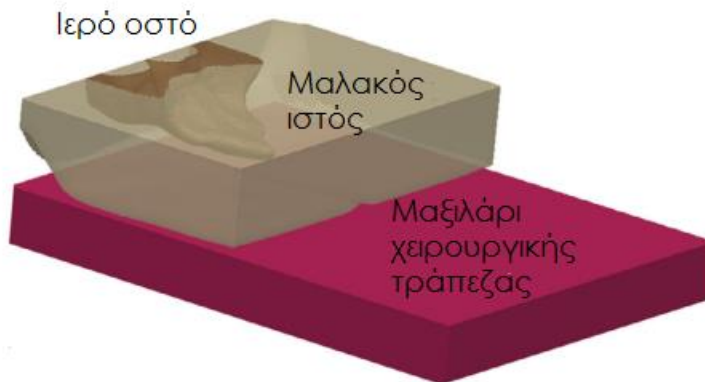


Εικόνα 1.38: Τοποθέτηση μοντέλο ασθενούς στην χειρουργική τράπεζα, με σκοπό επέμβασης δεξί ώμου [18].

Το ειδικό εξάρτημα Beach Chair συνδέεται με την χειρουργική τράπεζα με σφικτήρες ραγών στις πλαϊνές ράγες της.

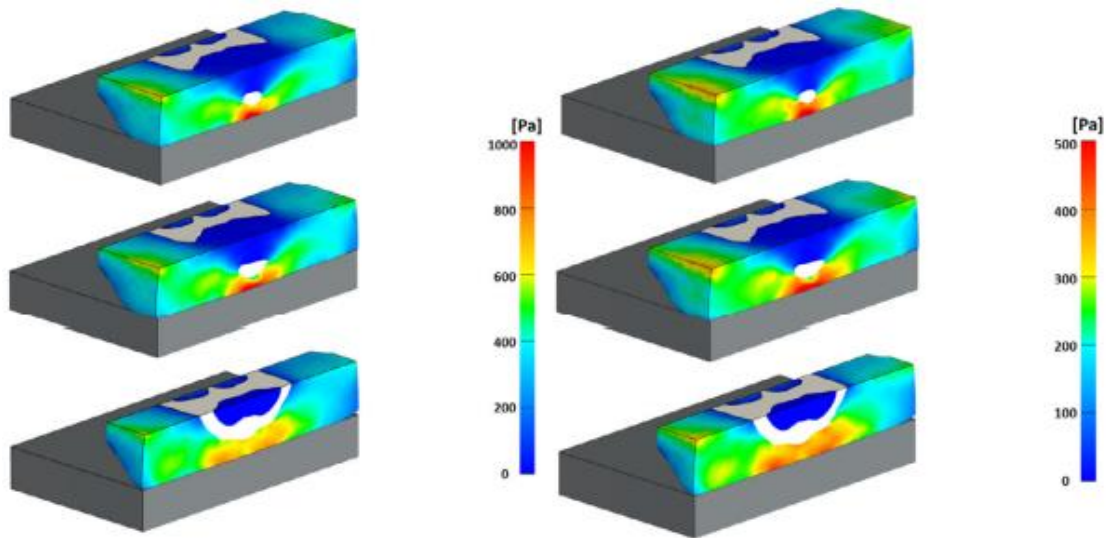
1.4: Μαξιλάρια Χειρουργικών Τραπεζών

Λόγω της πίεσης που ασκείται από το βάρος του ίδιου του σώματος του ασθενούς στους μαλακούς ιστούς του, μετά από μια πολύωρη επέμβαση διακρίνονται τραυματισμοί στο σώμα του ασθενή. Αναμενόμενες παραμορφώσεις των ιστών στην χειρουργική τράπεζα στις περιοχές του σώματος που είναι πιο ευαίσθητες σε διεγχειρητικά έλκη πίεσης, δηλαδή την περιοχή του ιερού οστού και τις οπίσθιες πλευρές των πτερνών. Αυτά είναι τα σημεία του σώματος που μεταφέρουν σημαντικές δυνάμεις σωματικού βάρους σε ύπτια θέση και περιέχουν σχετικά «αιχμηρές» οστικές προεξοχές που συμπιέζουν σχετικά λεπτές δομές μαλακών ιστών.



Εικόνα 1.39: Εικόνα προσομοίωσης ιερού οστού που φέρει βάρος στους περιβάλλοντες μαλακούς ιστούς σε ύπτια θέση σε μαξιλάρι χειρουργικής τράπεζας [20].

Πράγματι, οι ιδιότητες ακαμψίας των μαξιλαριών ενός χειρουργικού τραπεζιού είναι συνήθως 10 φορές περισσότερες από τις τιμές ακαμψίας των μη χειρουργικών μαξιλαριών ιατρικής υποστήριξης, ιδιαίτερα επειδή τα μη χειρουργικά στρώματα μπορούν να κατασκευαστούν με πολύ πιο παχύ προφίλ για να αποφευχθεί να ακουμπήσει το σώμα του ασθενή με την επιφάνεια του χειρουργικού τραπεζιού. Αυτό επιβάλλει μεγαλύτερες παραμορφώσεις μαλακών ιστών από το μαξιλάρι χειρουργείου, σε σύγκριση με εκείνες που συνήθως σχηματίζονται όταν το ίδιο άτομο τοποθετείται σε ένα παχύτερο και μαλακότερο στρώμα. Σαφώς, οι περιορισμοί μηχανικής σχεδίασης για τα μαξιλαράκια χειρουργικού τραπεζιού είναι πολύ αυστηρότεροι από εκείνους για επιφάνειες ιατρικής υποστήριξης γενικής χρήσης, που προορίζονται για χρήση σε μονάδες εντατικής θεραπείας ή θαλάμους. Οι ειδικές διατάξεις που ισχύουν στο χώρο του χειρουργείου έρχονται σε ευθεία αντίθεση με τις βασικές εμπιομηχανικές απαιτήσεις για την προστασία των ιστών από έλκη πίεσης, καθώς τα επιθέματα του χειρουργείου πρέπει να είναι λεπτότερα και ως εκ τούτου πιο άκαμπτα από τα στρώματα των κρεβατιών μη χειρουργείου. Το χειρουργικό τραπέζι εξελίχθηκε πολύ λίγο στον προηγούμενο αιώνα και ομοίως, τα μαξιλαράκια του χειρουργικού τραπεζιού είναι ένα καλό παράδειγμα μιας στάσιμης ιατρικής τεχνολογίας, παρά τον γνωστό κίνδυνο για διεγχειρητικά έλκη πίεσης [8].



Εικόνα 1.40: Οι συγκεντρώσεις τάσεων κάτω από το ιερό οστό παρουσιάζονται σε τρεις διαφορετικές αξονικές διατομές και για ορθές (αριστερό πλαίσιο) και διατημητικές (δεξιό πλαίσιο) [21].

Τα μαξιλάρια των χειρουργικών τραπεζιών, ως επί το πλείστο στο εσωτερικό τους αποτελούνται από 60mm ιξωδοελαστικό στρώμα με μνήμη σχήματος σε βάση αφρού υψηλής σκληρότητας πάχους 20 mm. Το κάλυμμα των στρωμάτων είναι κατασκευασμένο από ύφασμα με επίστρωση πολουρεθάνης, κολλημένα και ραμμένα, με αδιάβροχες ραφές. Αυτό κάνει εύκολη την συντήρηση και τον καθαρισμό τους, καθώς δεν υπάρχει κίνδυνος στην χρήση απορρυπαντικού ή απολυμαντικού, ούτε τριψίματος ούτε σχολαστικού ξεπλύματος κάτω από τρεχούμενο νερό σε περίπτωση σοβαρής βρωμιάς.



Εικόνα 1.41: Μαξιλάρι χειρουργικής τράπεζας [66].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΟΥ – ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΟΥ ΤΡΑΠΕΖΙΟΥ



Εικόνα 2.1: Κατασκευή χειρουργικού – Εξεταστικού τραπέζιού

2.1: Η Κατασκευή

Η κατασκευή αποτελείται από την μακέτα της τράπεζας, η οποία χωρίζεται σε τρία κομμάτια: την βάση, την κολώνα και την επιφάνεια ασθενούς. Ο χρήστης αλληλοεπιδρά μέσω της βάσης, η οποία στην εξωτερική της πλευρά έχει το χειριστήριο, την οθόνη και τις φωτεινές ενδείξεις. Το χειριστήριο αποτελείται από 8 κουμπιά: οι 3 πρώτες στήλες κουμπιών αντιστοιχούν στις μεμονωμένες κινήσεις της επιφάνειας της τράπεζας, ενώ η τέταρτη στήλη είναι η αντίστοιχη εντολή για την κίνηση Trendelenburg και αντίστροφου Trendelenburg. Η πάνω σειρά εκτελεί τις κινήσεις προς τα πάνω και η κάτω σειρά τις κινήσεις προς τα κάτω. Η πρώτη στήλη κουμπιών αφορά την κίνηση της πλάτης, η δεύτερη στήλη το ύψος της επιφάνειας της τράπεζας και η τρίτη την κίνηση των κάτω άκρων.

Στην οθόνη εμφανίζονται καθοδηγήσεις για τον χειρισμό σε κατάσταση συναγερμού ή κινήσεις εκτός ορίων ασθενούς, καθώς και η κίνηση η οποία πραγματοποιείται εκείνη την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Υπάρχουν δύο φωτεινές ενδείξεις χρώματος κίτρινου, οι οποίες σηματοδοτούν τα όρια του ύψους που μπορεί να δεχτεί η κολώνα της τράπεζας. Στο χαμηλότερο ύψος της κολώνας θα ανάψει η μία ένδειξη και στο υψηλότερο ύψος θα ανάψει η άλλη. Η τρίτη φωτεινή ένδειξη που υπάρχει, είναι χρώματος κόκκινο και σηματοδοτεί πως κάτι εμποδίζει την επιφάνεια της τράπεζας να κινηθεί προς τα κάτω.



Εικόνα 2.2: Βάση κατασκευής (χειριστήριο, φωτεινές ενδείξεις, LCD οθόνη)

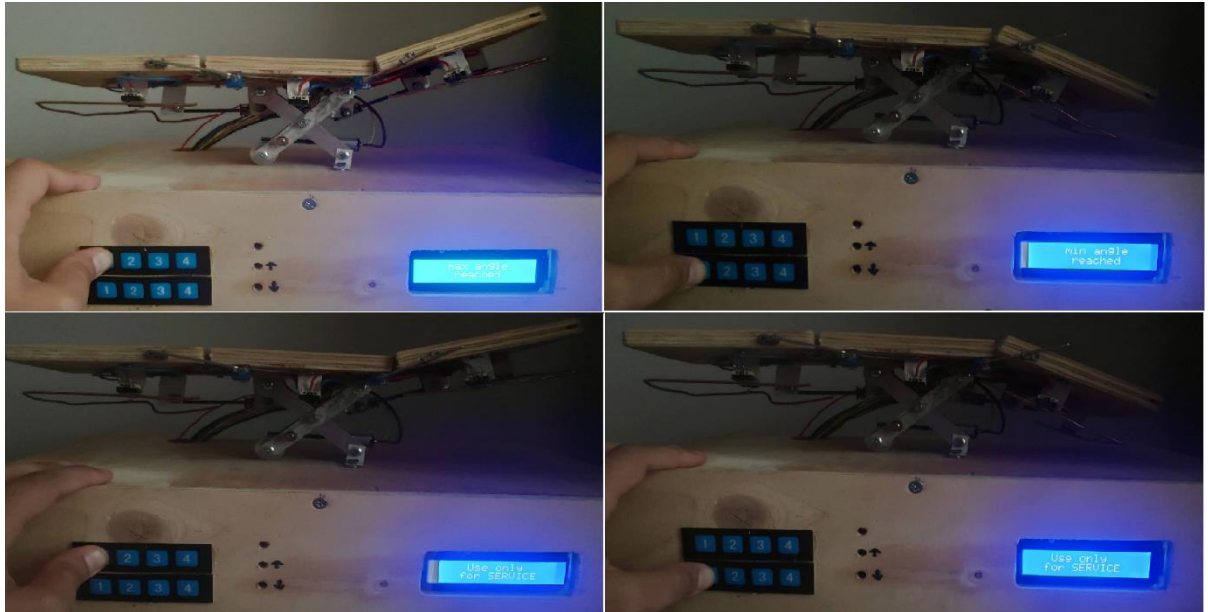
2.2: Επεξήγηση Κινήσεων – Χειρισμός

Το κύκλωμα του χειριστηρίου είναι φτιαγμένο με τέτοιο τρόπο ώστε, ενώ λειτουργεί η οποιαδήποτε κίνηση, να μην είναι εφικτό να ενεργοποιηθεί η αντίθετη της. Αυτό γίνεται για την προστασία του κυκλώματος και των μηχανισμών κίνησης. Η απόρριψη του σήματος ενεργοποίησης πραγματοποιείται με την χρήση δύο τρανζίστορ ανάμεσα στο χειριστήριο και στον κεντρικό επεξεργαστή σημάτων του κυκλώματος.

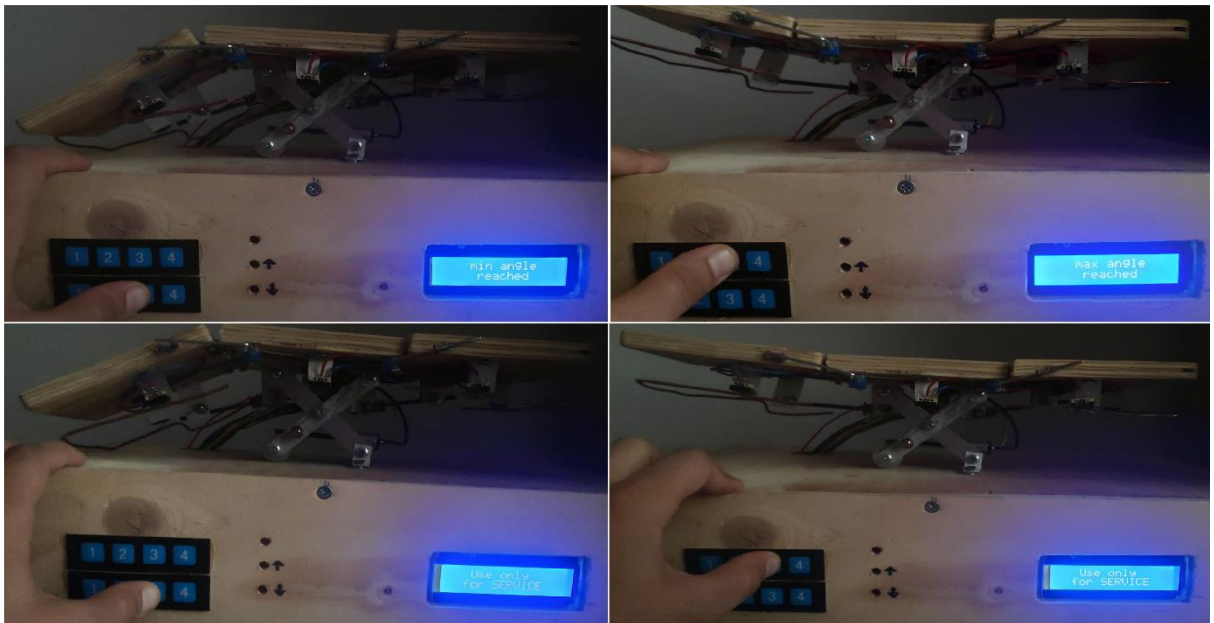
Η κλίση της μεριάς της πλάτης της επιφάνειας ελέγχεται από ένα ποτενσιόμετρο τοποθετημένο στο σημείο επαφής της πλάτης με τη λεκάνη της επιφάνειας. Μετά από μία συγκεκριμένη κλίση η τράπεζα σταματάει να κινείται και προειδοποιεί μέσω της οθόνης πως βγαίνει εκτός ορίων ασθενούς. Αυτό σημαίνει πως κάθε περαιτέρω κίνηση προς εκείνη την πλευρά θα πρέπει να γίνει χωρίς ασθενή επάνω στην τράπεζα. Μετά από ένα μικρό χρονικό διάστημα η τράπεζα επιτρέπει στον χρήστη να συνεχίσει την κίνηση προς την ίδια κατεύθυνση έως ότου να φτάσει στο σημείο όπου δεν εφικτό να προχωρήσει άλλο. Το ίδιο συμβαίνει αντίστοιχα με την αντίθετη κίνηση.

Η ίδια ακριβώς τεχνική εφαρμόζεται και για την λειτουργία των κάτω άκρων με ένα ποτενσιόμετρο τοποθετημένο στο σημείο επαφής των κάτω άκρων με τη λεκάνη της επιφάνειας. Ελέγχοντας την κλίση που έχει η επιφάνεια των κάτω άκρων η τράπεζα σταματάει να κινείται όταν φτάσει στα σημεία που βγαίνει εκτός ορίων ασθενούς, είτε από την πάνω μεριά είτε από την κάτω.

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

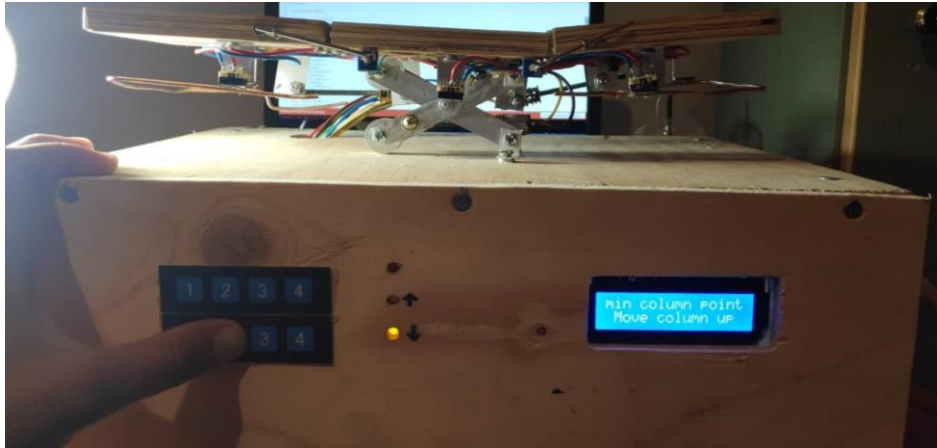


Εικόνα 2.3: Τερματικές θέσεις Άνω άκρου. Αριστερά κάτω - ανώτατο όριο ασθενή. Αριστερά πάνω - ανώτατο όριο τράπεζας. Δεξιά κάτω - κατώτατο όριο ασθενή. Δεξιά πάνω - κατώτατο όριο τράπεζας.

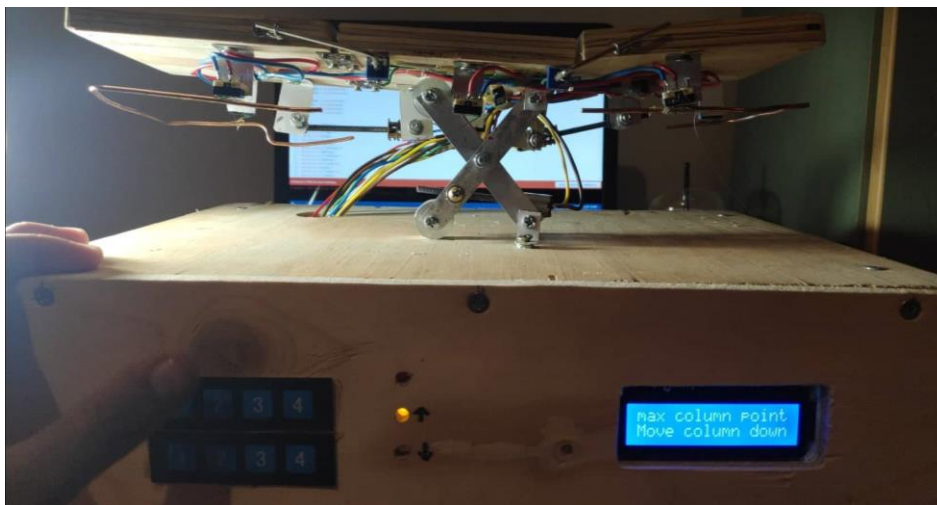


Εικόνα 2.4: Τερματικές θέσεις Κάτω άκρου. Αριστερά κάτω - κατώτατο όριο ασθενή. Αριστερά πάνω - κατώτατο όριο τράπεζας. Δεξιά κάτω - ανώτατο όριο ασθενή. Δεξιά πάνω - ανώτατο όριο τράπεζας.

Το σύστημα ελέγχου για το ύψος της κολώνας ελέγχεται με την χρήση δύο διακοπών πίεσης, ένα για το ανώτατο όριο ύψους και ένα για το κατώτατο.

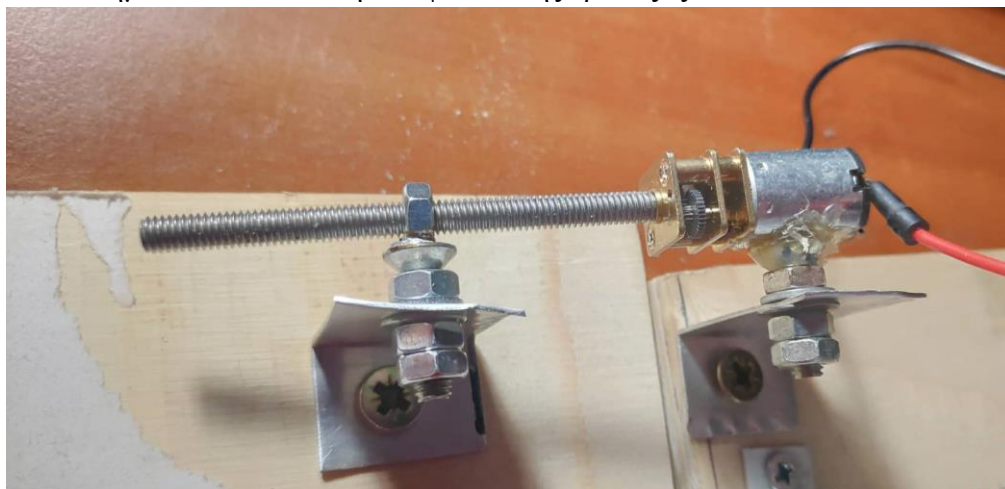


Εικόνα 2.5: Κατώτατο σημείο ύψους

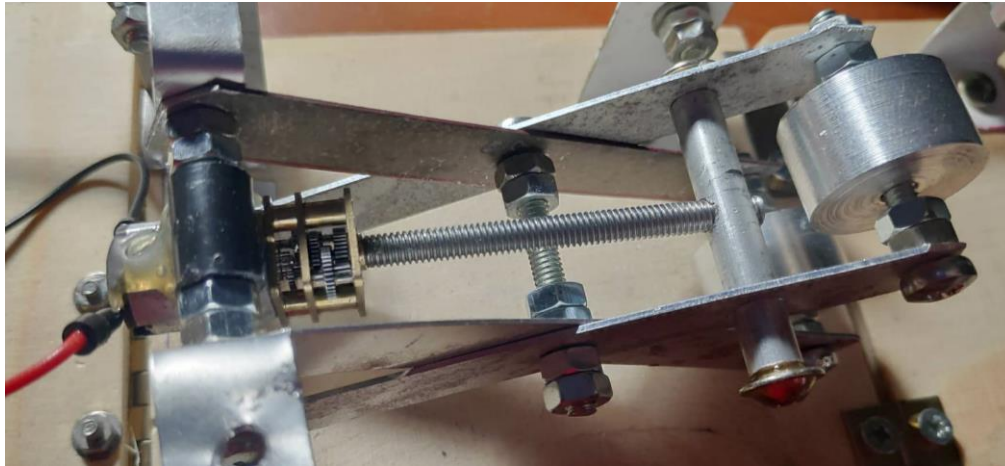


Εικόνα 2.6: Ανώτατο σημείο ύψους

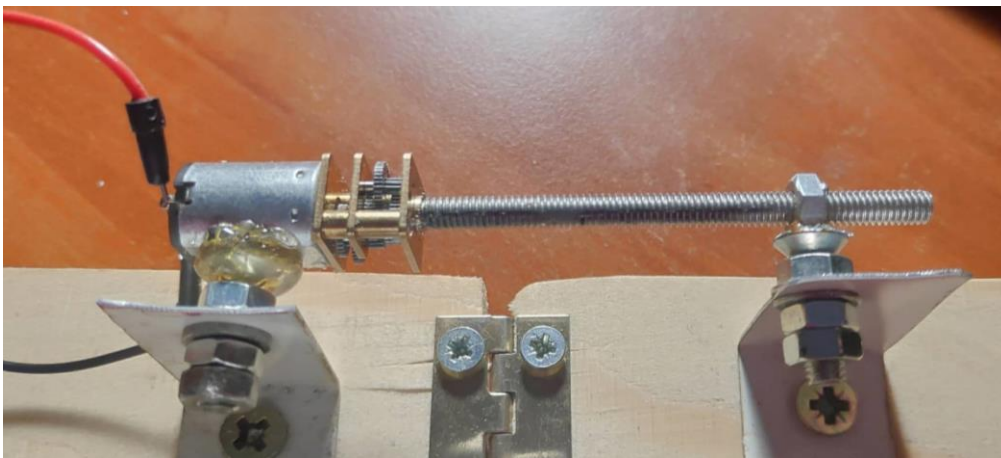
Οι κινήσεις της τράπεζας γίνονται με την χρήση τριών κινητήρων, ο ένας, που είναι υπεύθυνος για την κίνηση του ύψους της επιφάνειας, βρίσκεται στο κέντρο της κολώνας και οι άλλοι που είναι υπεύθυνοι για τις κινήσεις των άκρων είναι τοποθετημένοι κάτω από την επιφάνεια της τράπεζας.



Εικόνα 2.7: Κινητήρας κίνησης άνω άκρου



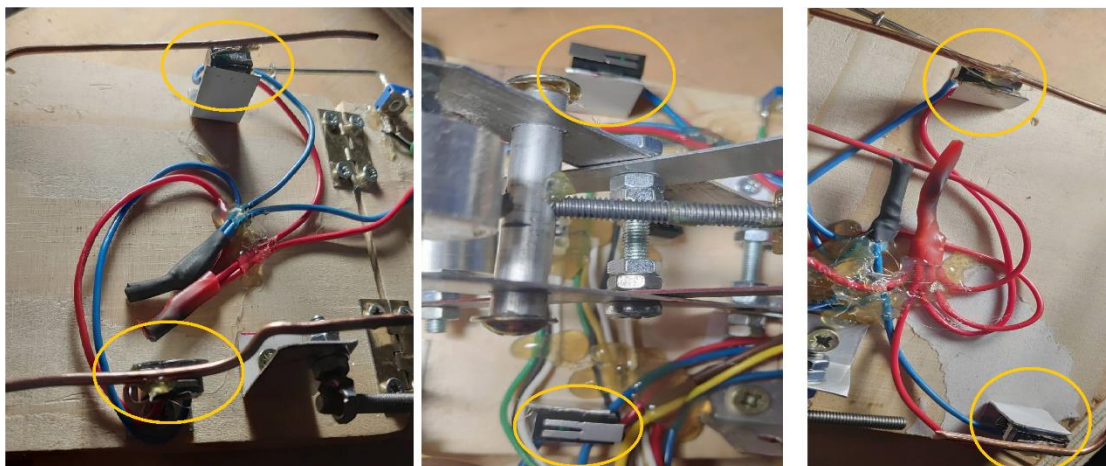
Εικόνα 2.8: Κινητήρας κίνησης ύψους της επιφάνειας



Εικόνα 2.9: Κινητήρας κίνησης κάτω άκρων

2.2.1: Σύστημα Ασφαλείας

Το σύστημα ασφαλείας λειτουργεί και αυτό με διακόπτες πίεσης που είναι τοποθετημένοι στην εσωτερική πλευρά της επιφάνειας από κάτω. Είναι συνδεδεμένοι σε σειρά, ώστε ανεξάρτητα με το ποιος θα ενεργοποιήσει το κύκλωμα να αντληφθεί τον ίδιο συναγερμό.



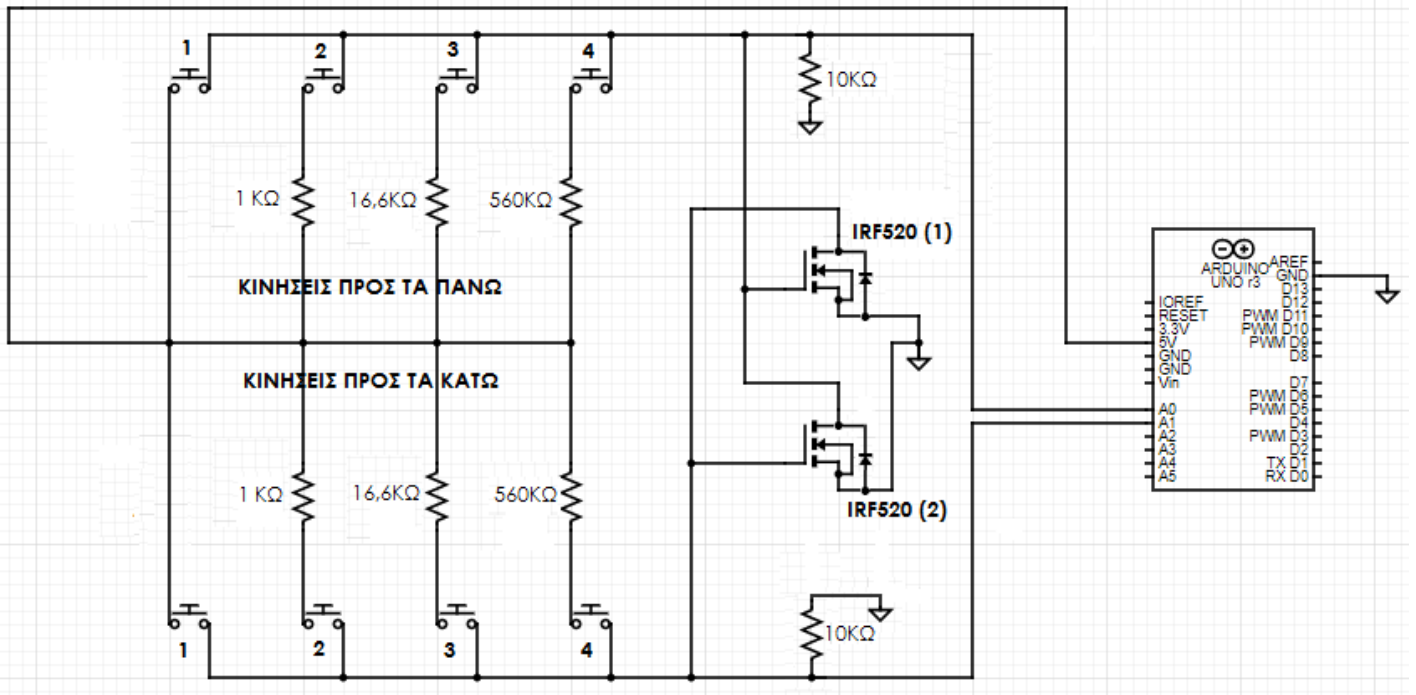
Εικόνα 2.10: Διακόπτες ασφαλείας

2.3: Ηλεκτρονικά Κυκλώματα

2.3.1: Χειριστήρια

Το κύκλωμα που καθιστά εφικτή την λειτουργία των χειριστηρίων και παράλληλα την απομόνωση του σήματος του ενός χειριστηρίου, ενώ λειτουργεί το άλλο, φαίνεται στο παρακάτω σχεδιάγραμμα.

Τα σήματα του χειριστηρίου όπου είναι υπεύθυνα για τις κινήσεις προς τα πάνω καταλήγουν στην αναλογική είσοδο του Arduino A0 ενώ τα σήματα για τις κινήσεις προς τα κάτω καταλήγουν στην αναλογική είσοδο του Arduino A1.



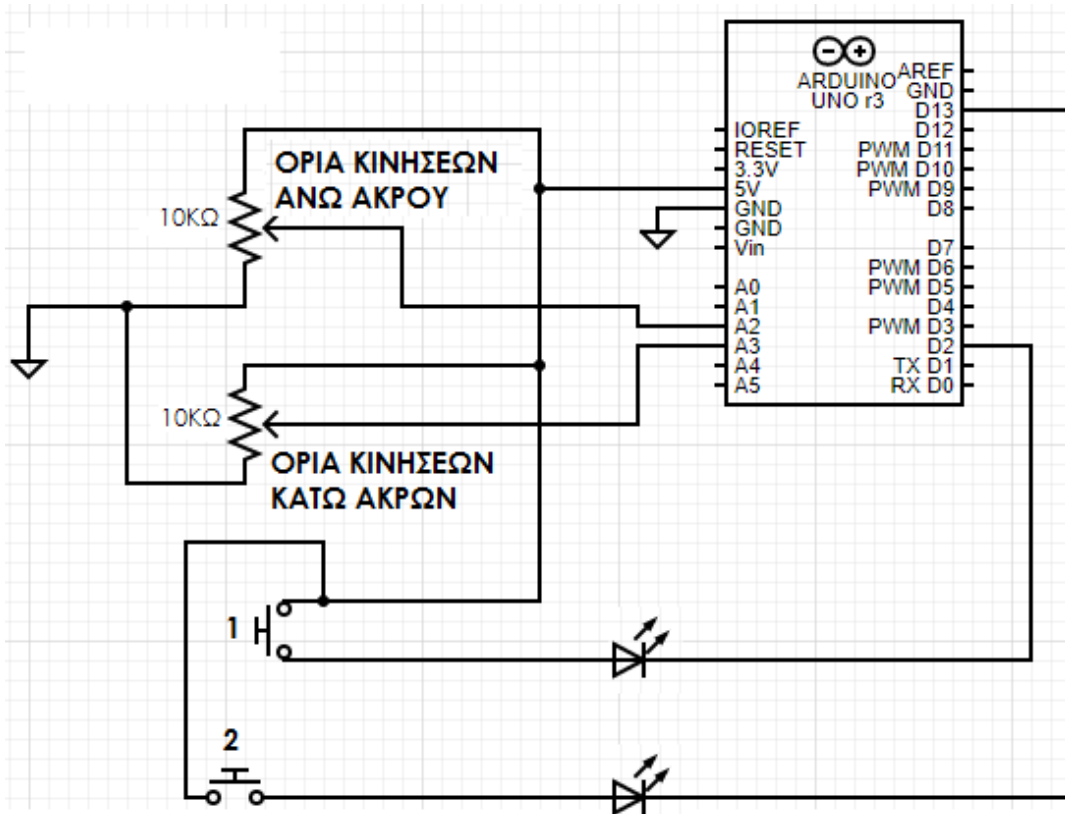
Εικόνα 2.11: Σχεδιάγραμμα χειριστηρίου χειρουργικής τράπεζας. (1) Κύκλωμα αποκοπής κινήσεων προς τα κάτω. (2) Κύκλωμα αποκοπής κινήσεων προς τα πάνω.

2.3.2: Έλεγχος Ορίων

Το κύκλωμα που είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο των ορίων των κινήσεων της χειρουργικής τράπεζας δομείται ως εξής:

- Ένα ποτενσιόμετρο των 10 kΩ χρησιμοποιείται ως αισθητήρας για την ανώτατη και τη κατώτατη κλίση που μπορεί το άνω άκρο του ασθενούς όπως επίσης και για το υψηλότερο και κατώτατο σημείο όπου είναι εφικτό να φτάσει το μέρος της κεφαλής του χειρουργικού τραπέζιού. Το σήμα του αντίστοιχου αισθητήρα καταλήγει στην αναλογική είσοδο του Arduino A2.
- Ένα ποτενσιόμετρο των 10 kΩ χρησιμοποιείται ως αισθητήρας για την ανώτατη και τη κατώτατη κλίση που μπορεί το κάτω άκρο του ασθενούς όπως επίσης και για το υψηλότερο και κατώτατο σημείο όπου είναι εφικτό να φτάσει το μέρος του κάτω άκρου του χειρουργικού τραπέζιού. Το σήμα του αντίστοιχου αισθητήρα καταλήγει στην αναλογική είσοδο του Arduino A3.

- Για τον έλεγχο του ανώτατου και του κατώτατου ορίου ύψους της χειρουργικής τράπεζας χρησιμοποιήθηκαν δύο διακόπτες, ένας για το υψηλότερο σημείο και ένας για το χαμηλότερο. Το σήμα της ενεργοποίησης του υψηλότερου σημείου της χειρουργικής τράπεζας καταλήγει στην ψηφιακή είσοδο του Arduino D13 ενώ το σήμα της ενεργοποίησης του χαμηλότερου σημείου καταλήγει στην ψηφιακή είσοδο του Arduino D2. Ακόμα με την ενεργοποίηση των διακοπών τερματικών θέσεων ανάβει και η αντίστοιχη φωτεινή ένδειξη.

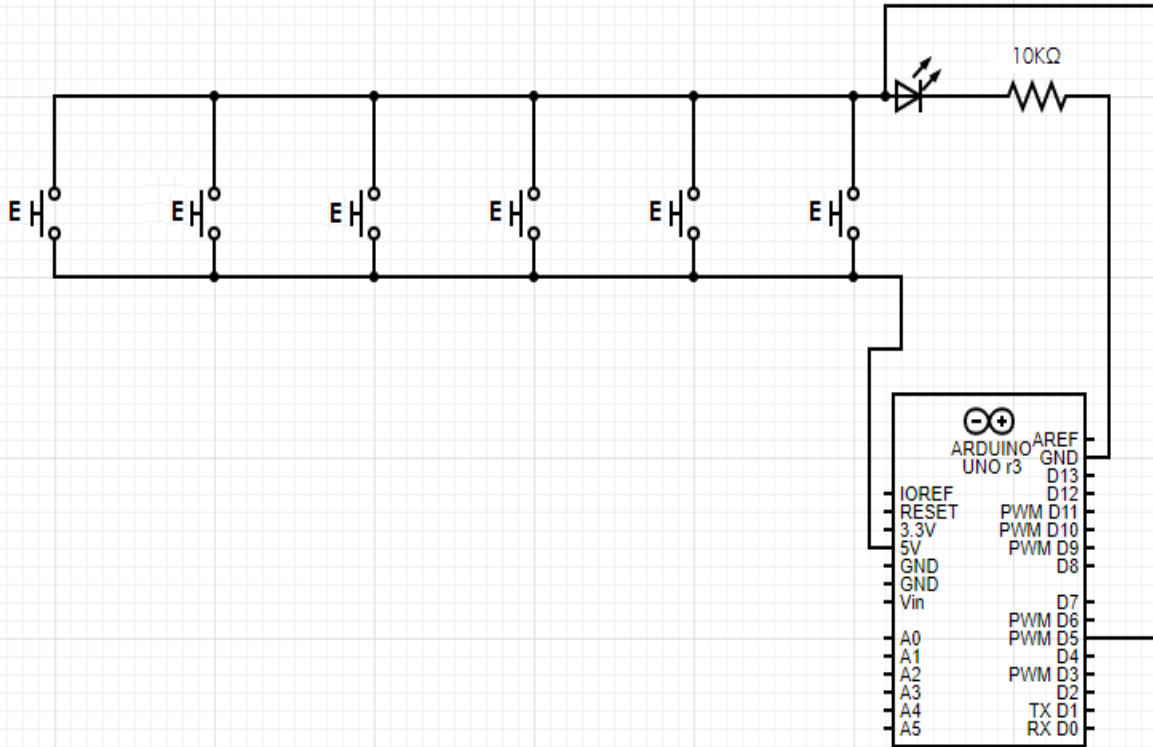


Εικόνα 2.12: Κύκλωμα ελέγχου οριακών θέσεων χειρουργικής τράπεζας. (1) Διακόπτης ελέγχου χαμηλότερης θέσης (2) Διακόπτης ελέγχου υψηλότερης θέσης.

2.3.3: Σύστημα Ασφαλείας

Το παραπάνω κύκλωμα είναι το κύκλωμα ασφαλείας της χειρουργικής τράπεζας. Αποτελείται από πολλούς διακόπτες που παίζουν τον ρόλο των αισθητήρων τοποθετημένοι από την κάτω μεριά της επιφάνειας της χειρουργικής τράπεζας. Στην περίπτωση που υπάρχει ένα αντικείμενο από κάτω από την επιφάνεια της τράπεζας ή κάποια άλλη επιφάνεια, μόλις ενεργοποιηθούν οι διακόπτες θα σταματήσουν κατευθείαν όλες οι κινήσεις της χειρουργικής τράπεζας με σκοπό την ασφάλεια του μηχανικού μέρους της κατασκευής αλλά και του ηλεκτρονικού. Η μόνη κίνηση που είναι εφικτή να πραγματοποιηθεί ενώ είναι ενεργοποιημένη η ασφάλεια είναι η κίνηση ανόρθωσης της τράπεζας, ώστε να μπορεί να ελευθερωθεί το αντικείμενο από κάτω από την επιφάνεια. Όσο το κύκλωμα ασφαλείας είναι ενεργοποιημένο ανάβει και η

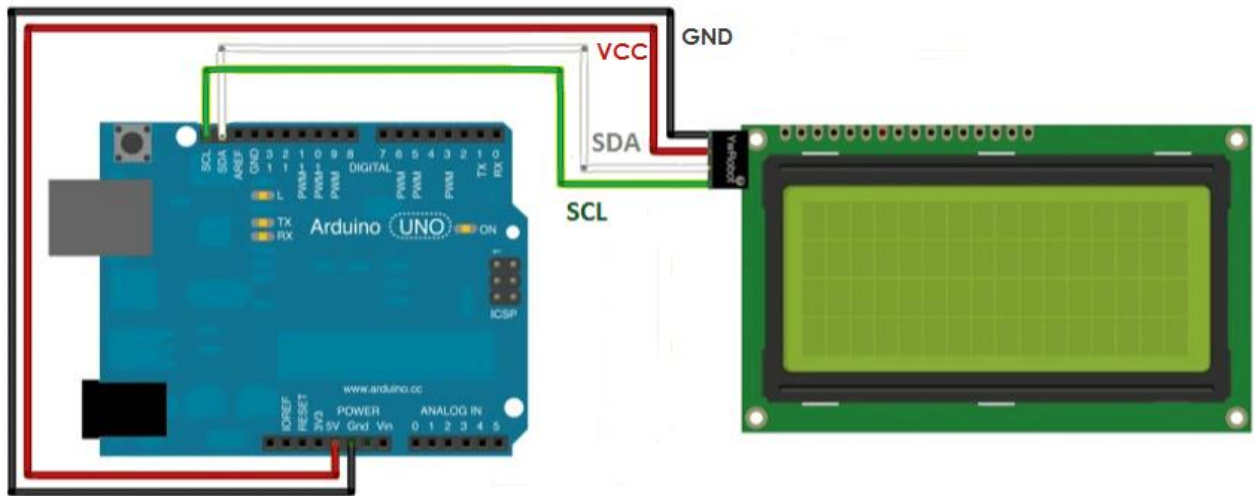
αντίστοιχη φωτεινή σήμανση. Το σήμα του κυκλώματος καταλήγει στην ψηφιακή είσοδο του Arduino D5.



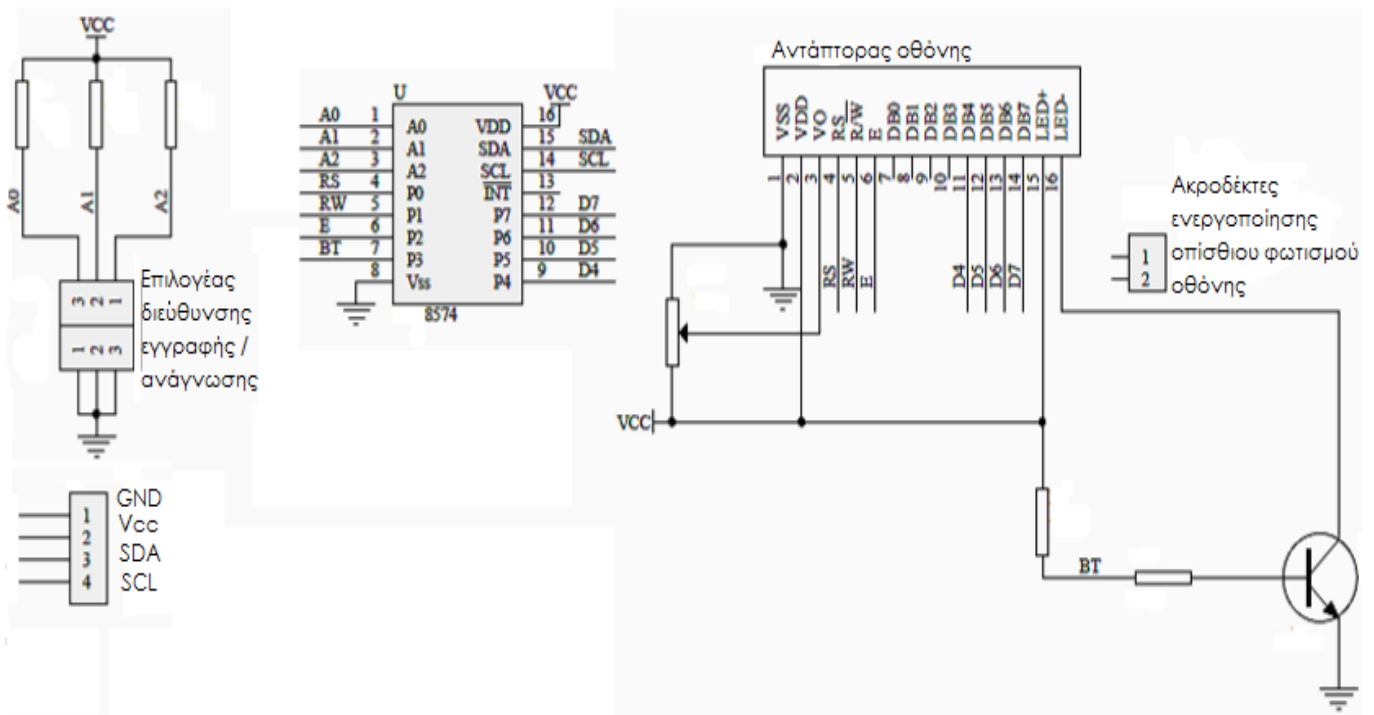
Εικόνα 2.13: Κύκλωμα ασφαλείας χειρουργικής τράπεζας. Οι διακόπτες ασφαλείας εμφανίζονται ως (E).

2.3.4: Οθόνη LCD

Η οθόνη LCD της χειρουργικής τράπεζας είναι η άμεση επαφή μεταξύ της τράπεζας και του χρήστη. Η οθόνη αυτή είναι έμμεσα συνδεδεμένη με τον κύριο επεξεργαστή του κυκλώματος γιατί μεσολαβεί μια πλακέτα αντάπτορας. Η πλακέτα αυτή ονομάζεται «I2C Serial Interface 1602 LCD Module» και κάνει προσιτή την σύνδεση της οθόνης LCD με το Arduino δεσμεύοντας μόνο 4 εισόδους του, ενώ χωρίς αυτό θα δεσμευόντουσαν 16. Επίσης διαθέτει ενσωματωμένη ρύθμιση ελέγχου αντίθεσης, ρύθμιση ελέγχου οπίσθιου φωτισμού και διεπαφή επικοινωνίας I2C [55].



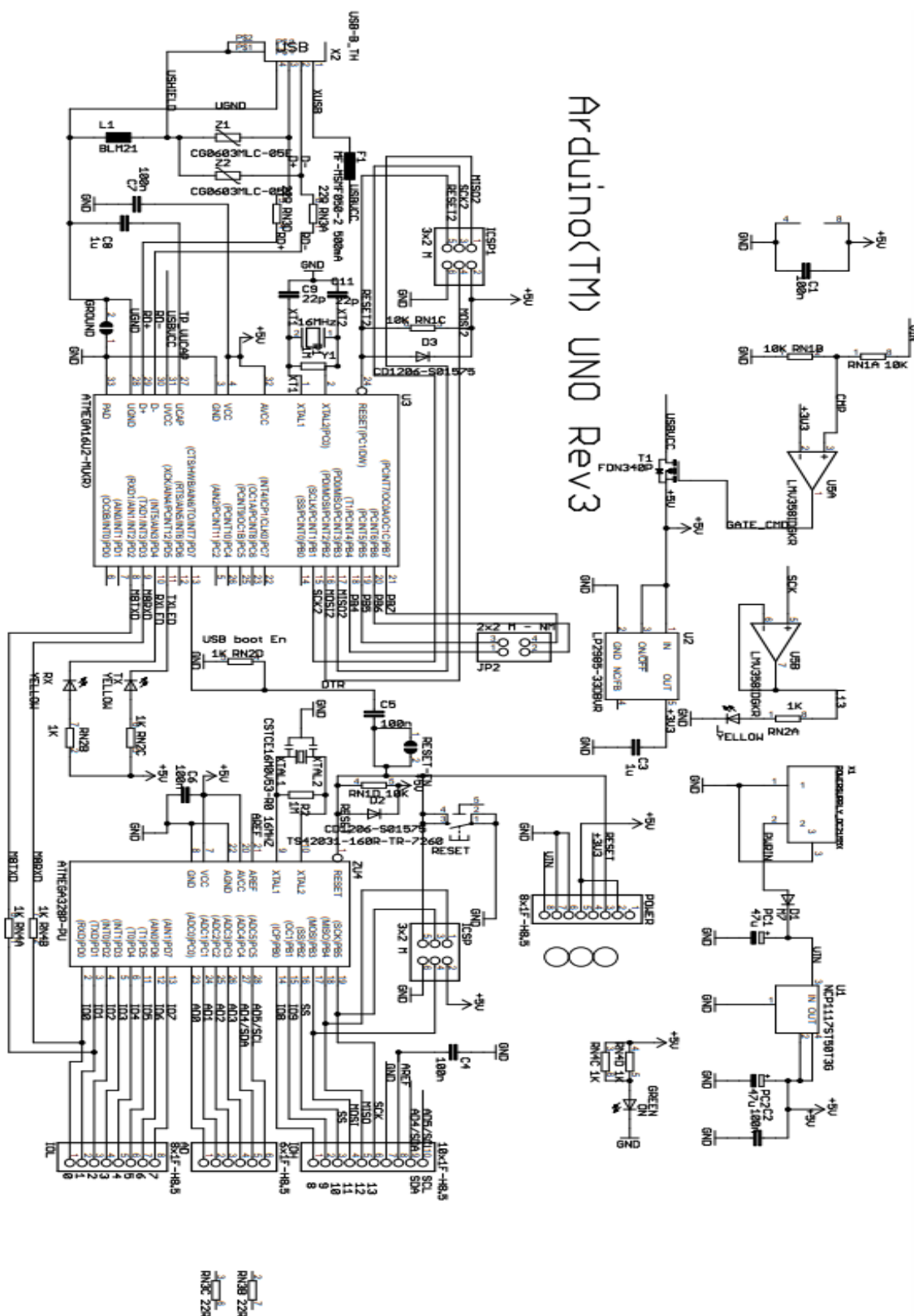
Εικόνα 2.14: Arduino Uno - I2C Serial Interface 1602 LCD Module - LCD Module [55].



Εικόνα 2.15: I2C Serial Interface 1602 LCD Module [55].

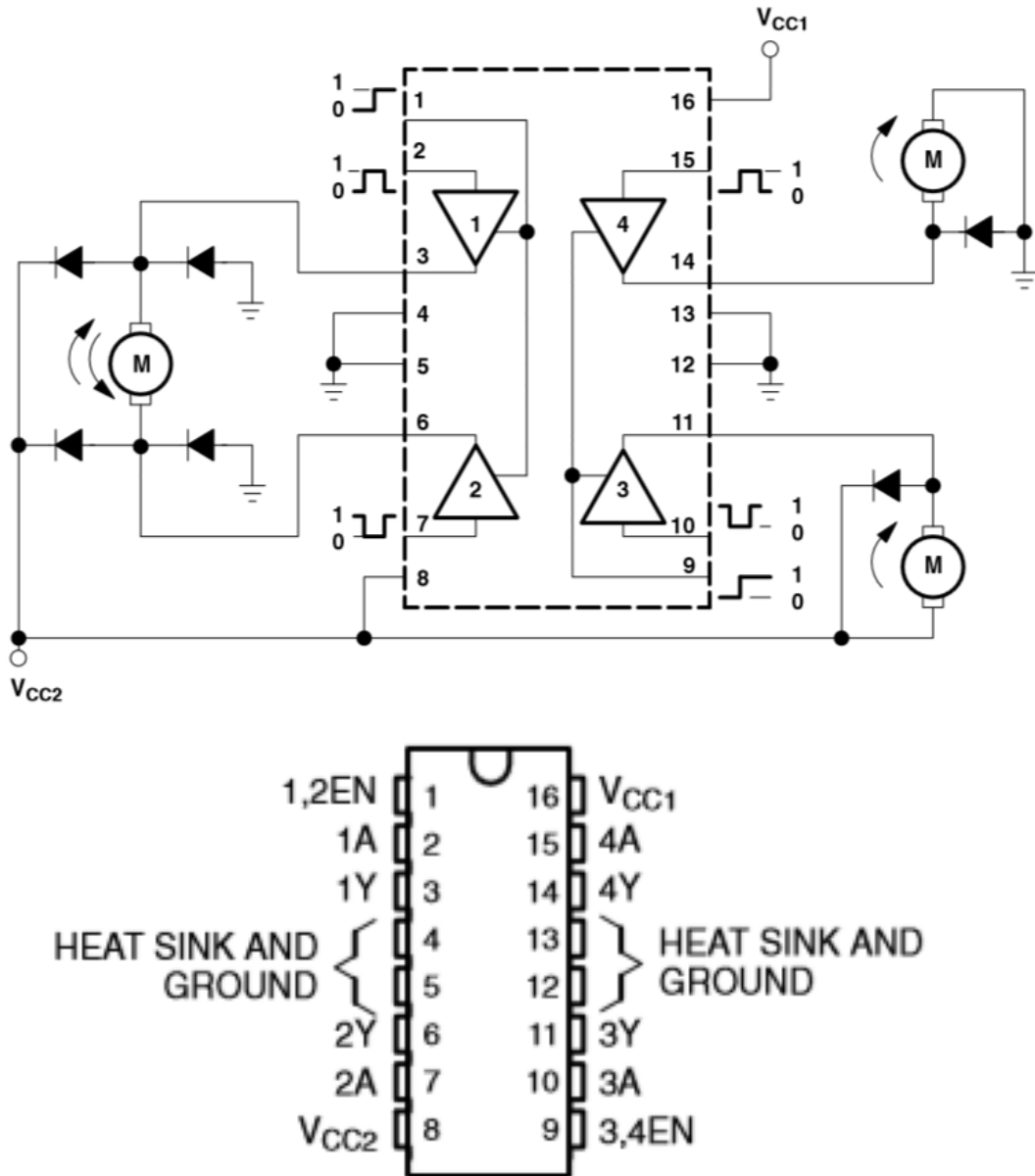
2.3.5: Arduino Uno R3 και Κινητήρες

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας της κατασκευής είναι το Arduino Uno R3 και στο παρακάτω σχεδιάγραμμα απεικονίζεται το κύκλωμα με το οποίο λειτουργεί η πλακέτα.



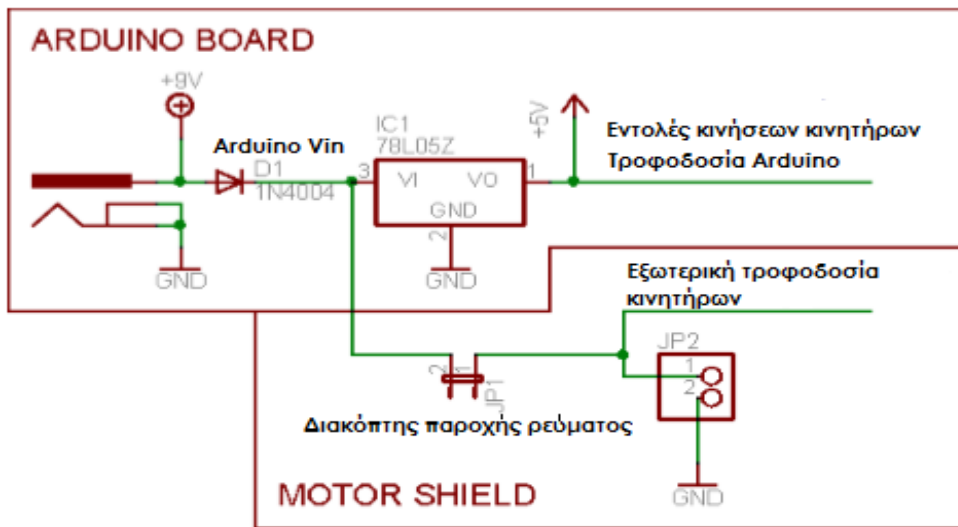
Εικόνα 2.16: Σχεδιάγραμμα πλακέτας Arduino Uno R3 [57].

Για τον έλεγχο και την χρήση των κινητήρων της κατασκευής χρησιμοποιήθηκε ένα ειδικό εξάρτημα συμβατό με την πλακέτα του Arduino. Το εξάρτημα αυτό ονομάζεται L293D Motor driver shield και μέσω αυτού γίνονται οι εναλλαγές των ρευμάτων για την εμπρός ή πίσω κίνηση των κινητήρων. Το L293D είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, το οποίο είναι κατάλληλο για την λειτουργία κινητήρων. Μέσω αυτής της πλακέτας είναι εφικτό να ελεγχτούν 4 κινητήρες μέσω των 2 L293D που υπάρχουν στο L293D Motor driver shield. Στη κατασκευή αυτή χρησιμοποιούνται τρεις θέσεις, λόγω των τριών κινητήρων της χειρουργικής τράπεζας [47-49].

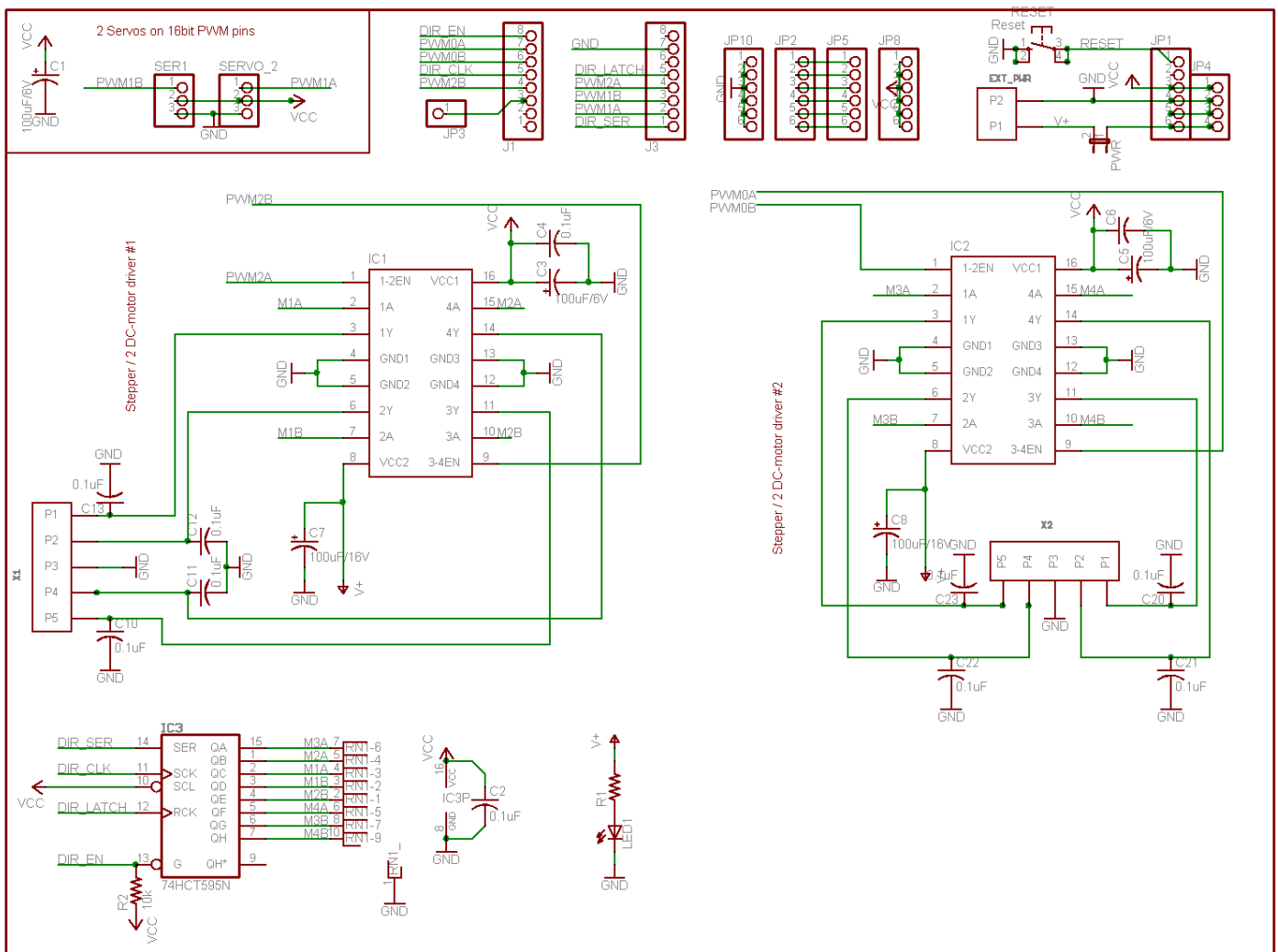


Εικόνα 2.17– Εικόνα 2.18: Στο σχεδιάγραμμα φαίνεται η λειτουργία του L293D με τρεις κινητήρες ανεξαρτήτως πλακέτας. Στην εικόνα παρουσιάζονται οι ακροδέκτες του ολοκληρωμένου κυκλώματος L293D. Ο (1) ακροδέκτης είναι υπεύθυνος για την ενεργοποίηση των ακροδεκτών της αριστερής πλευράς του ολοκληρωμένου ενώ ο (9) ακροδέκτης για την δεξιά πλευρά του. Μέσω των ακροδεκτών (2) και (3) εκτελούνται οι κινήσεις για τον κινητήρα 1, μέσω των ακροδεκτών (6) και (7) εκτελούνται οι κινήσεις για τον κινητήρα 2, μέσω των ακροδεκτών (10) και (11) εκτελούνται οι κινήσεις για τον κινητήρα 3 και μέσω των ακροδεκτών (14) και (15) εκτελούνται οι κινήσεις για τον κινητήρα 4 [67-65].

Το L293D Motor driver Shield δίνει την δυνατότητα να παρέχεται εξωτερική τροφοδοσία στους κινητήρες χωρίς την παρέμβαση των ρευμάτων από την πλακέτα του Arduino.

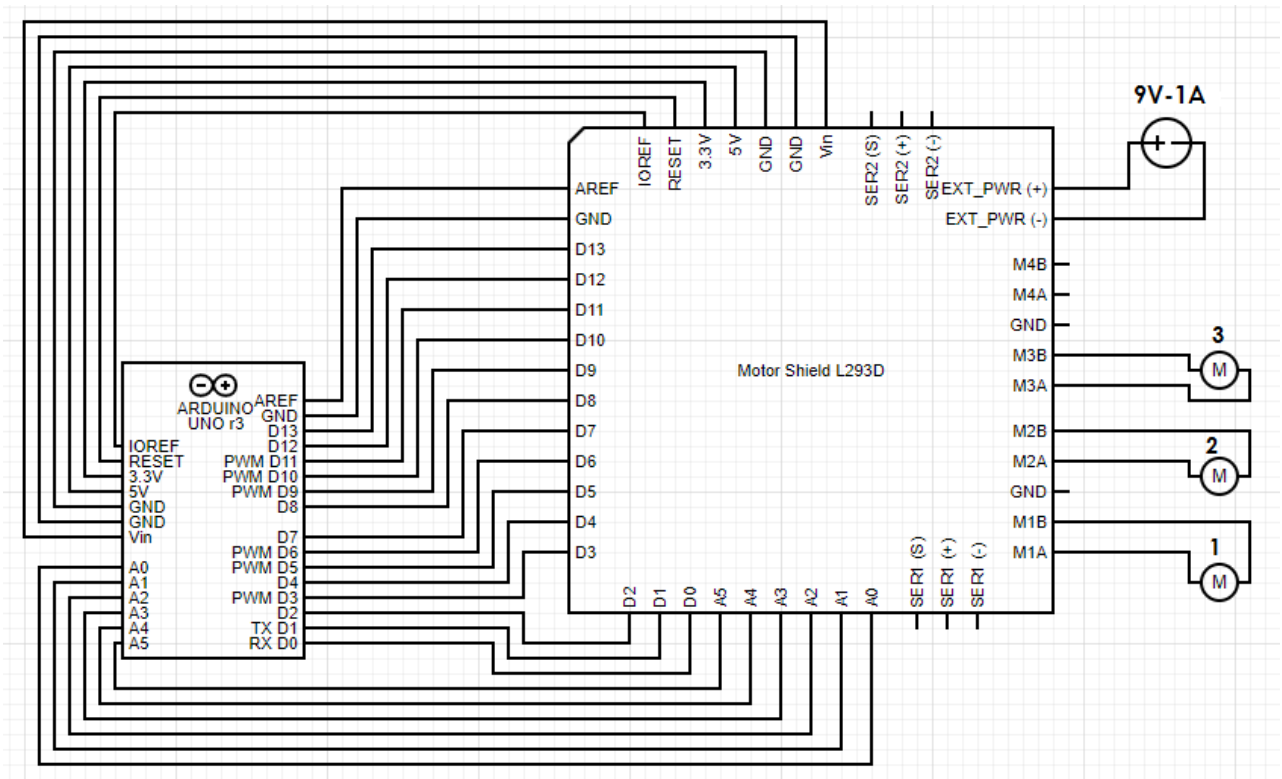


Εικόνα 2.19: Κύκλωμα εξωτερικής παροχής ενέργειας στους κινητήρες [68].



Εικόνα 2.20: Σχεδιάγραμμα L293D Motor driver shield [68].

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται το κύκλωμα όπου φαίνεται η σύνδεση μεταξύ της πλακέτας του Arduino, της πλακέτας L293D Motor driver shield και των κινητήρων.



Εικόνα 2.21: Κύκλωμα λειτουργίας κινητήρων χειρουργικής τράπεζας. Οι ακροδέκτες με συμβολισμό EXT_PWR χρησιμοποιούνται για την εξωτερική παροχή ενέργειας των κινητήρων. Οι ακροδέκτες M1A-M1B κινούν το κινητήρα M1, οι ακροδέκτες M2A-M2B κινούν το κινητήρα M2 και οι ακροδέκτες M3A-M3B κινούν το κινητήρα M3.

2.4: Υλικά Κυκλωμάτων

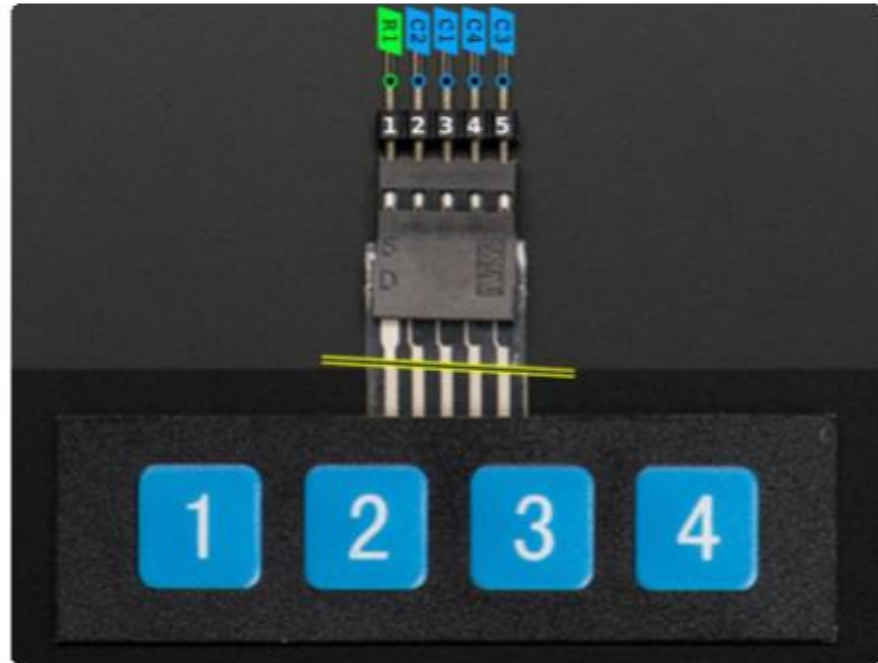
Για την ολοκλήρωση του κυκλώματος της χειρουργικής τράπεζας χρησιμοποιήθηκαν τα υλικά που φαίνονται παρακάτω.

2.4.1: Χειριστήρια

Ως χειριστήριο χρησιμοποιήθηκαν δύο μεμβράνες με 4 κουμπιά η κάθε μία, η πρώτη για τις κινήσεις προς τα πάνω και η δεύτερη για τις κινήσεις προς τα κάτω.

Μεμβράνη–χειριστήριο διαστάσεων 1x4 (PID 1332)

Ακροδέκτες

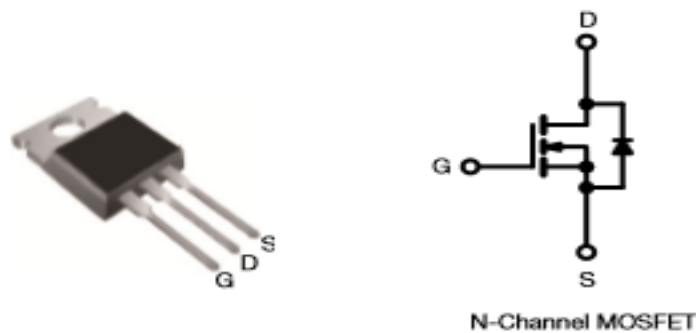


Εικόνα 2.22: [69].

Όπως φαίνεται και στην εικόνα ο ακροδέκτης 1 αντιστοιχεί στο κοινό όλων των κουμπιών,
 ο ακροδέκτης 2 αντιστοιχεί στο κουμπί με αριθμό 2
 ο ακροδέκτης 3 αντιστοιχεί στο κουμπί με αριθμό 1
 ο ακροδέκτης 4 αντιστοιχεί στο κουμπί με αριθμό 4
 ο ακροδέκτης 5 αντιστοιχεί στο κουμπί με αριθμό 3.

2.4.2: Τρανζίστορ

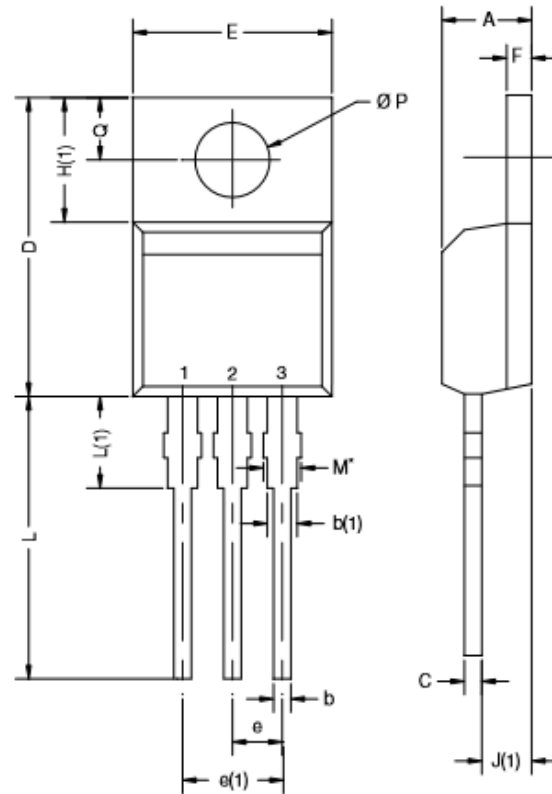
Η αποκοπή του σήματος του ενός χειριστηρίου από το άλλο πραγματοποιείται με την χρήση ενός Power MOSFET, το IRF520.



Εικόνα 2.23: Power MOSFET IRF520 [58].

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

Το εξάρτημα αυτό έχει αντοχή θερμοκρασίας ενώ είναι σε λειτουργία έως και τους 175°C, παράλληλα έχοντας ανώτατο όριο λειτουργίας τα 100Volt και τα 9,2Ampere μπορεί να καλύψει την εφαρμογή αυτή του χειριστηρίου της κατασκευής, αφού η τροφοδοσία από το Arduino είναι στο μέγιστο της 5V και 800mA [58].

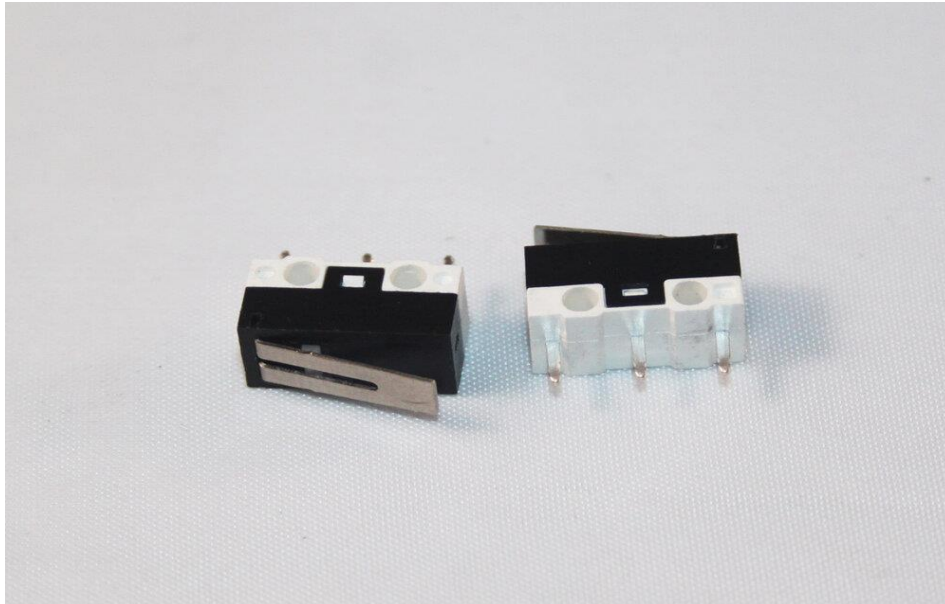


DIM.	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN.	MAX.	MIN.	MAX.
A	4.24	4.65	0.167	0.183
b	0.69	1.02	0.027	0.040
b(1)	1.14	1.78	0.045	0.070
c	0.36	0.61	0.014	0.024
D	14.33	15.85	0.564	0.624
E	9.96	10.52	0.392	0.414
e	2.41	2.67	0.095	0.105
e(1)	4.88	5.28	0.192	0.208
F	1.14	1.40	0.045	0.055
H(1)	6.10	6.71	0.240	0.264
J(1)	2.41	2.92	0.095	0.115
L	13.36	14.40	0.526	0.567
L(1)	3.33	4.04	0.131	0.159
$\varnothing P$	3.53	3.94	0.139	0.155
Q	2.54	3.00	0.100	0.118

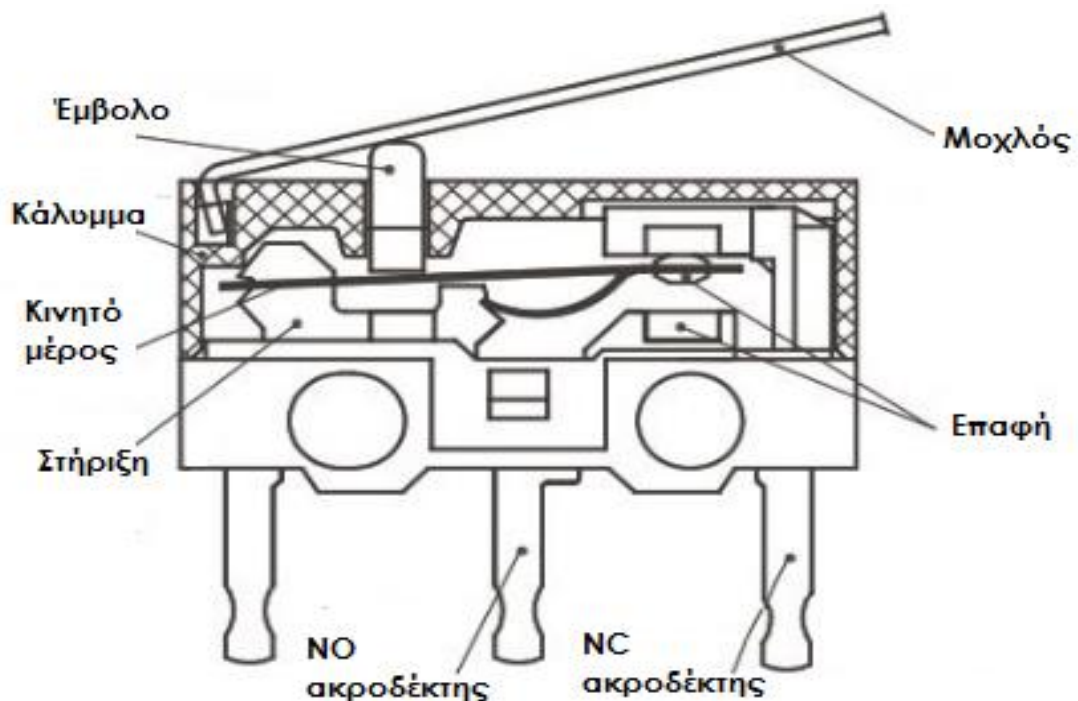
Εικόνα 2.24: Διαστάσεις Power MOSFET IRF520 [58].

2.4.3: Διακόπτες

Οι διακόπτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι τύπου MS10-ZIP Micro Switch διαστάσεων 12.6*5.7*6.5mm έχοντας εσωτερική αντίσταση επαφής $\leq 30\text{m}\Omega$ ενώ αντέχει έως 1A στα 250V. Η διαμόρφωση επαφών του είναι ενός πόλου σε δύο πόλους (SPDT – single pole double throw) και η μέθοδος εναλλαγής είναι On-(On) κάνοντας την ενεργοποίηση του στιγμιαία. Η θερμοκρασία που είναι εφικτό να λειτουργήσει κυμαίνεται από $-25^{\circ}\text{C} \sim +70^{\circ}\text{C}$ [61].



Εικόνα 2.25: Διακόπτες τύπου MS10-ZIP Micro Switch [59].



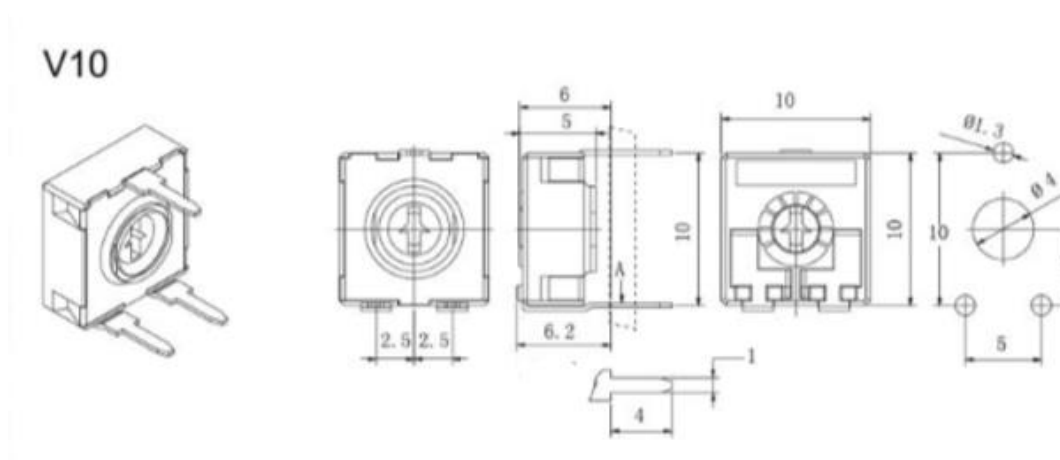
Εικόνα 2.26: Κατασκευή διακόπτη τύπου MS10-ZIP Micro Switch. Στη μέση φαίνεται ο κανονικά ανοιχτός ακροδέκτης (Normally Open) και στα δεξιά ο κανονικά κλειστός (Normally closed) ενώ αριστερά είναι ο κοινός ακροδέκτης [60].

2.4.4: Ποτενσιόμετρα

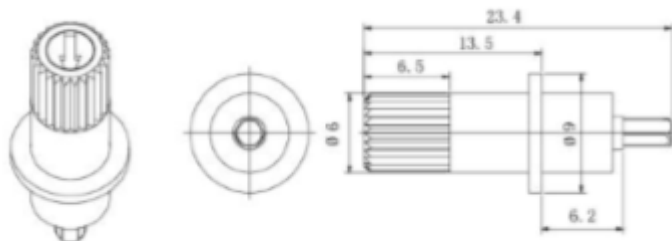
Τα ποτενσιόμετρα που τοποθετήθηκαν στην κατασκευή ως αισθητήρες κλίσης είναι τύπου Trimmer potentiometer CA9 διαστάσεων V10. Η τιμή της αντίστασης του φτάνει τα 10ΚΩ με κλίση 240°. Η θερμοκρασία που λειτουργεί ξεκινάει από -25°C έως +70°C και οι διαστάσεις του άξονα του είναι τύπου 9006 [53].



Εικόνα 2.27: Trimmer potentiometer CA9 [53].



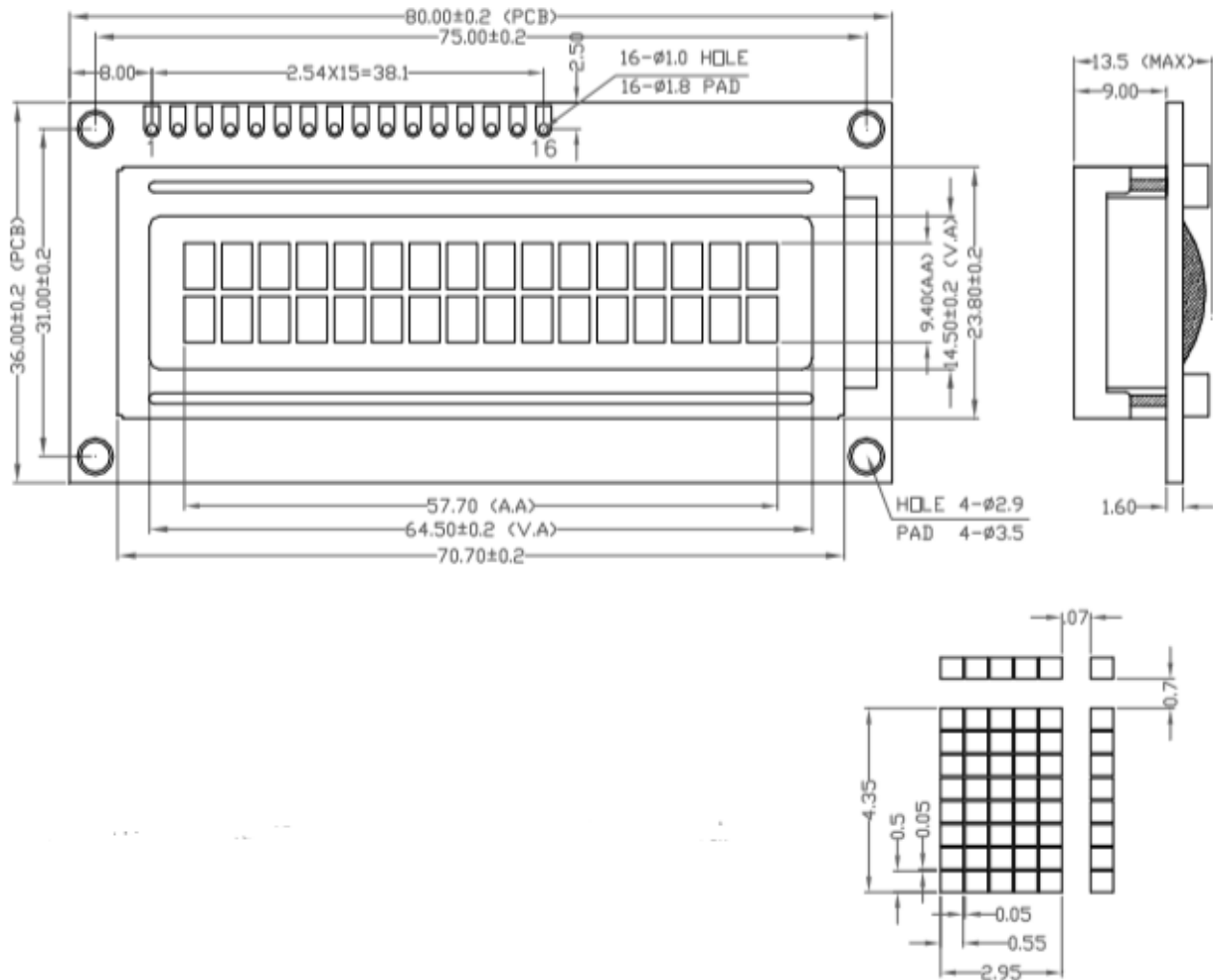
Εικόνα 2.28: Διαστάσεις τύπου V10 για Trimmer potentiometer CA9 [52].



Εικόνα 2.29: Άξονας ρύθμισης αντίστασης ποτενσιομέτρου [52].

2.4.5: Οθόνη LCD

Ο τύπος της LCD Οθόνης της κατασκευής είναι STN (Super-Twisted Nematic) 16 χαρακτήρων x 2 γραμμές που σημαίνει πως το μέγεθος της οθόνης είναι 64.5x14.5mm, ενώ το μέγεθος ολόκληρου του εξαρτήματος είναι 80x36x13.5mm. Η κατασκευή ενός χαρακτήρα γίνεται με 5x7 κουκίδες και έχει διαστάσεις 2.95x4.35mm. Η λειτουργία προβολής είναι κατηγορίας κίτρινο-πράσινο θετικό (Y/G Positive Transmissive) και επιτυγχάνεται παρέχοντας του με 5V και 0.6A. Η θερμοκρασία που λειτουργεί ξεκινάει από 0°C έως +50°C.



1	2	3	4	5	6	7	8
VSS	VDD	V0	RS	R/W	E	DB0	DB1
9	10	11	12	13	14	15	16
DB2	DB3	DB4	DB5	DB6	DB7	LEDA	LEDK

Εικόνα 2.30: Διαστάσεις LCD Οθόνης και ονομασία ακροδεκτών [51].

Πίνακας 2.1: Επεξήγηση ακροδεκτών LCD Οθόνης [51].

ΑΡΙΘ. ΑΚΡ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
1	VSS	ΓΕΙΩΣΗ	0V(GND)
2	VDD	ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΓΙΑ ΤΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ	+5V
3	V0	ΡΥΘΜΙΣΗ ΑΝΤΙΘΕΣΗΣ LCD	
4	RS	ΕΠΙΛΟΓΕΑΣ ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗΣ ΕΝΤΟΛΕΣ/ΔΕΔΟΜΕΝΑ	RS=0: ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΕΝΤΟΛΩΝ RS=1: ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ
5	R/W	ΕΠΙΛΟΓΕΑΣ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ/ΕΓΓΡΑΦΗΣ	R/W=0: ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΕΓΓΡΑΦΗΣ R/W=1: ΚΑΤΑΧΩΡΗΣΗ ΑΝΑΓΝΩΣΗΣ
6	E	ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ	
7	DB0	ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ / ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ ΕΞΟΔΟΥ	8 BIT: DB0 - DB7
8	DB1		
9	DB2		
10	DB3		
11	DB4		
12	DB5		
13	DB6		
14	DB7		
15	LEDA	ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΓΙΑ LED+	+5V
16	LEDK	ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΓΙΑ LED-	0V



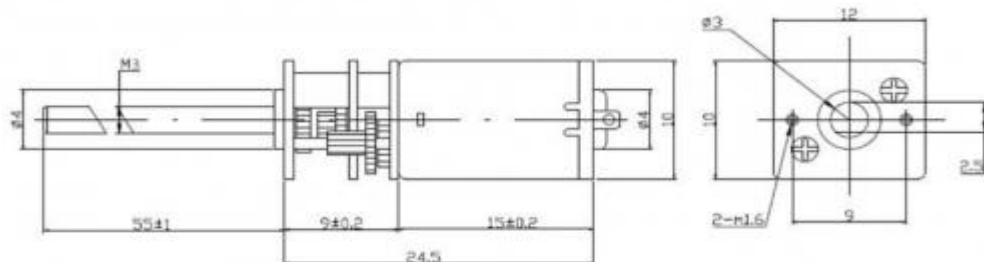
Εικόνα 2.31: Οθόνη LCD (STN) 16x2 χαρακτήρων [62].

2.4.6: Κινητήρες

Οι κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για να γίνονται οι κινήσεις της κατασκευής είναι τύπου GA12-N20 με ταχύτητα 15RPM. Οι διαστάσεις του κινητήρα είναι 15 x 12 x 10mm ενώ του άξονα M3 x 55mm. Τροφοδοτείται με 6V -12V Κάνοντας το ιδανικό για εργασίες μικρού βάρους, υψηλής ροπής και χαμηλών RPM [54].



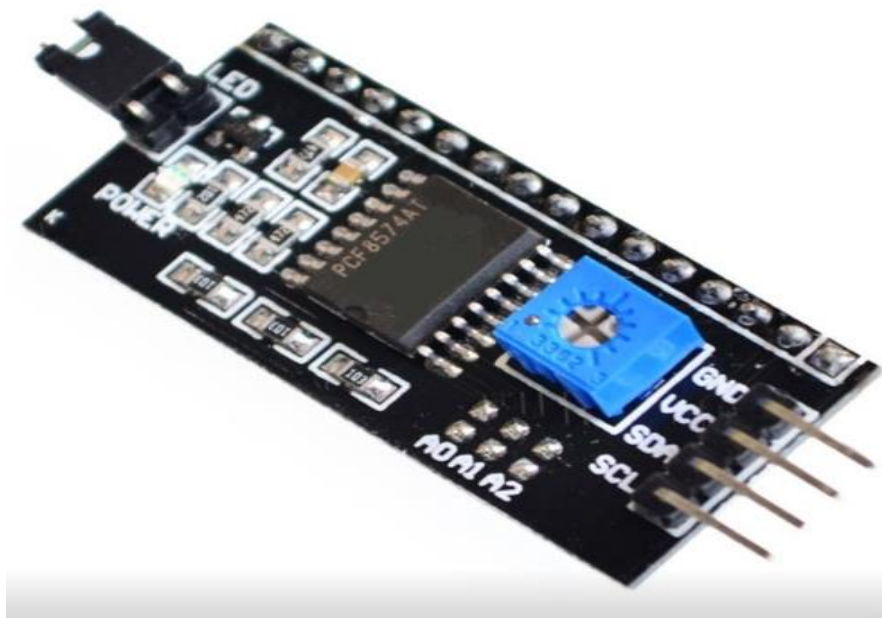
Εικόνα 2.32: Κινητήρας GA12-N20 με άξονα M3 x 55mm [70].



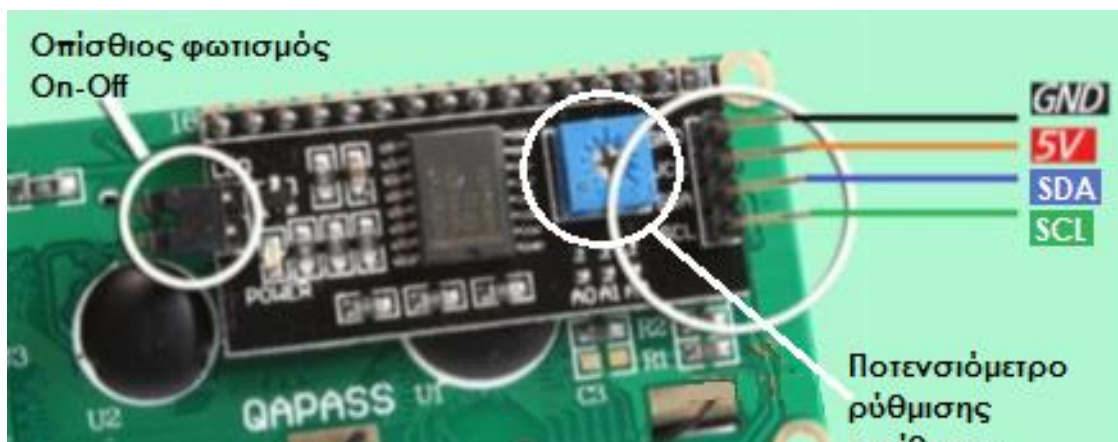
Εικόνα 2.33: Διαστάσεις κινητήρα GA12-N20 με άξονα M3 x 55mm [54].

2.4.7: Αντάπτορας οθόνης LCD

Ο αντάπτορας της οθόνης LCD ονομάζεται I2C interface 16x2 LCD display module. Χρησιμοποιείται για την ελευθέρωση εισόδων του Arduino που δεσμεύονται από την οθόνη LCD. Εάν γινόταν απευθείας η σύνδεση μεταξύ των ακροδεκτών της οθόνης και του Arduino θα δεσμεύονταν όλες οι ψηφιακές εισόδους ενώ με την χρήση του LCD Header δεν υπάρχει καμία δέσμευση εισόδων. Η λειτουργία είναι εφικτή συνδέοντας έναν ακροδέκτη του στην τροφοδοσία (+5V) και έναν στην γείωση. Οι άλλοι δυο ακροδέκτες είναι υπεύθυνοι για τις πληροφορίες και τον χρονισμό (SDA - data line and SCL - clock line). Η πλακέτα του Arduino έχει ξεχωριστές εισόδους για τις συγκεκριμένες αυτές λειτουργίες οπότε συνδέονται απευθείας στους ακροδέκτες αυτούς. Η πλακέτα του I2C interface 16x2 LCD display module διαθέτει ενσωματωμένο ποτενσιόμετρο με το οποίο ο χρήστης μπορεί να ρυθμίσει την αντίθεση στην οθόνη. Επίσης διαθέτει δυο ακροδέκτες που χρησιμοποιούνται για την ενεργοποίηση του οπίσθιου φωτισμού της οθόνης [56].



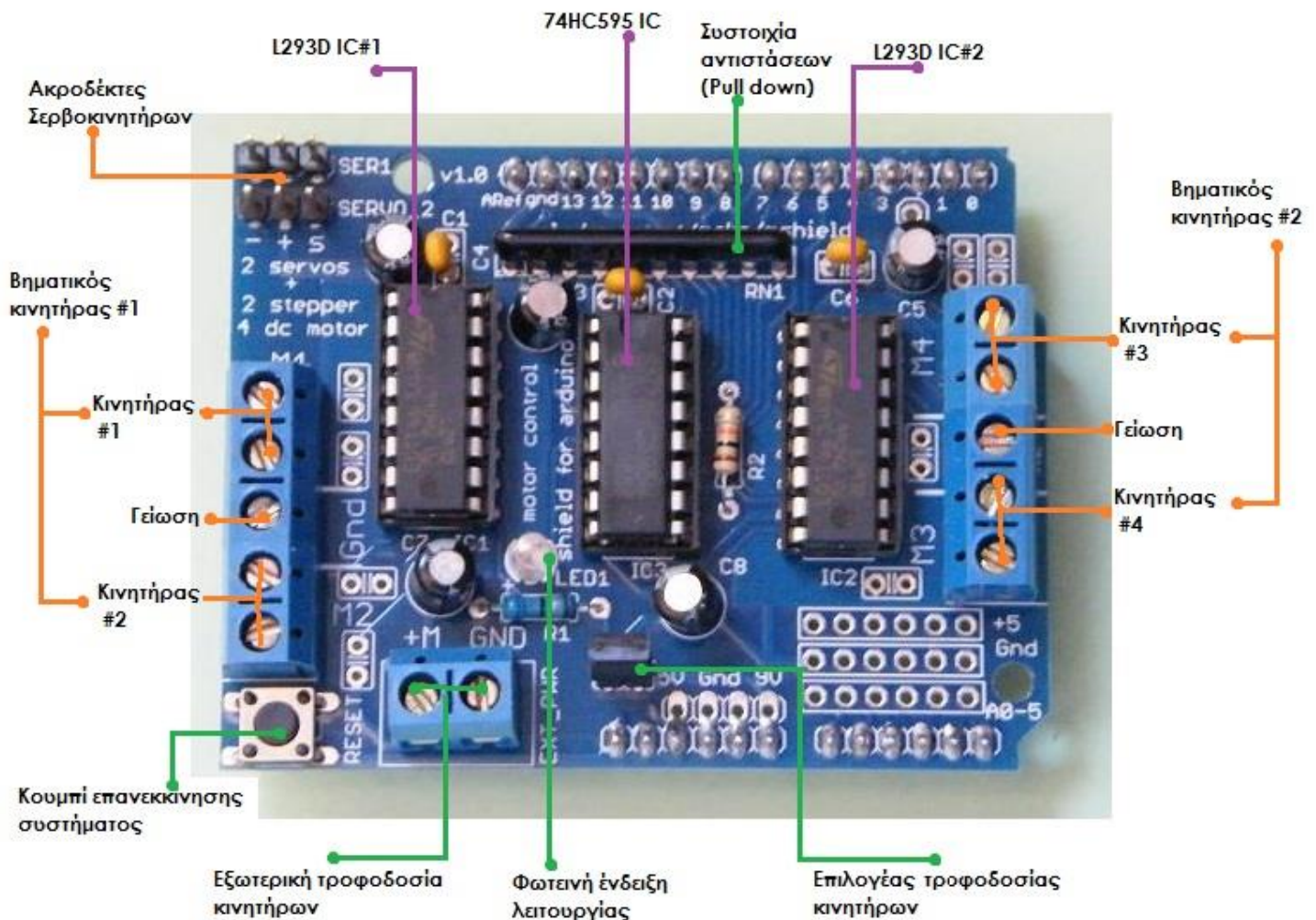
Εικόνα 2.34: I2C interface 16x2 LCD display module.[71].



Εικόνα 2.35: I2C interface 16x2 LCD display module τοποθετημένο στην οθόνη LCD. Αριστερά φαίνονται οι ακροδέκτες για τον οπίσθιο φωτισμό της οθόνης. Δεξιά οι ακροδέκτες τροφοδοσίας, πληροφοριών και χρονισμού και δίπλα τους προσκολλημένο το ποτενσιόμετρο ρύθμισης αντίθεσης [55].

2.4.8: L293D Motor driver shield

Η πλακέτα που ελέγχει τους κινητήρες λέγεται L293D Motor driver shield και είναι ένα εξάρτημα από την σειρά του Arduino, κάνοντάς το συμβατό με την πλακέτα του Arduino Uno R3, δηλαδή οι ακροδέκτες του είναι κατασκευασμένες για να είναι συμβατές με το Arduino. Μπορεί να υποστηρίξει έως και 4 κανάλια συνεχούς ρεύματος κινητήρες ή 2 κανάλια βηματικών κινητήρων. Για τους 4 αμφίδρομους κινητήρες υπάρχει η δυνατότητα επιλογής ταχύτητας 8 bit (περίπου 0,5% διαφορά βηματισμού). Η επιλογή της ταχύτητας γίνεται μέσω του κώδικα, με την εντολή setSpeed (ταχύτητα), η οποία κυμαίνεται από 0 (stop) έως 255 (πλήρης ταχύτητα). Το L293D Motor driver shield έχει σχεδιαστεί για να παρέχει ρεύμα έως και 600 mA και 1,2 A ρεύμα κορύφωσης για κάθε κινητήρα. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στα 2 ολοκληρωμένα κυκλώματα (L293D) που έχει. Κάθε τσιπ L293D παρέχει ρεύμα 0,6A (μέγιστο 1,2A) ανά γέφυρα και προστατεύεται από θερμική απενεργοποίηση, 4,5V έως 36V. Επίσης έχει και ένα κουμπί επανεκκίνησης για το Arduino [47-50].



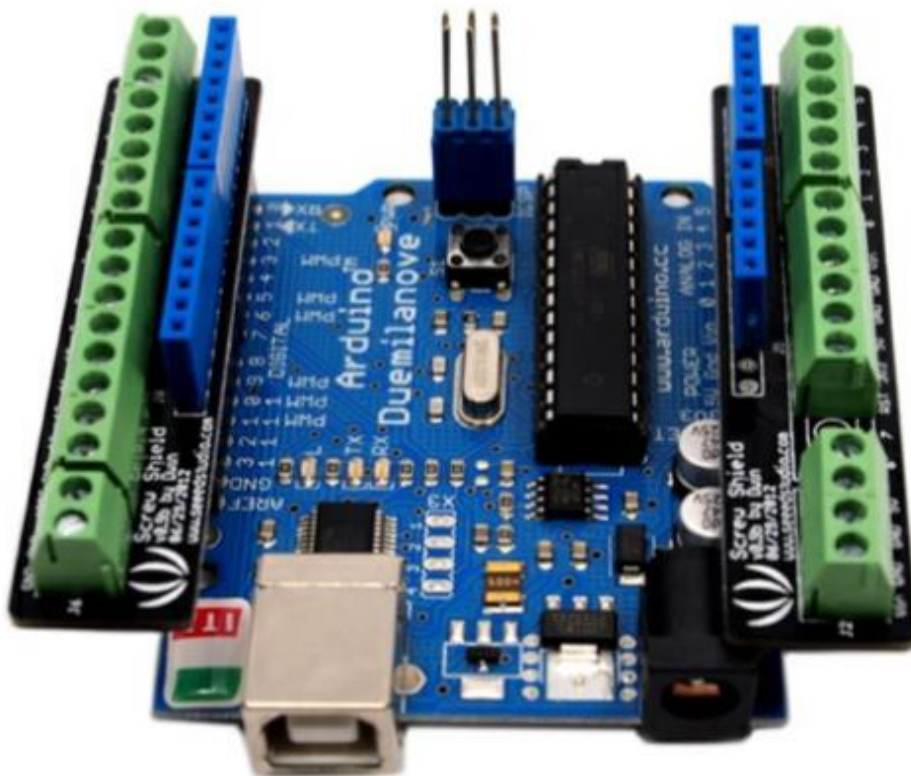
Εικόνα 2.36: Πλακέτα L293D Motor Driver Shield. Η συστοιχία αντιστάσεων στο επάνω μέρος της πλακέτας κρατάει τους κινητήρες ανενεργούς όση ώρα χρειάζεται για την ενεργοποίηση του κυκλώματος για λόγους ασφαλείας. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα 74HC595 επεκτείνει τους 4 ψηφιακούς ακροδέκτες του Arduino στους 8 ακροδέκτες ελέγχου κατεύθυνσης των δύο L293D [48].

2.4.9: Επεκτάσεις Ακροδεκτών Arduino Uno R3

Για την διευκόλυνση της τοποθέτησης των ακροδεκτών των περιφερειακών εξαρτημάτων της κατασκευής χρησιμοποιήθηκαν ένα ζευγάρι επεκτάσεων των ακροδεκτών στη πλακέτα του Arduino. Η επέκταση αυτή του Arduino ονομάζεται Screw terminal Shield και εξυπηρετεί στην ασφαλής τοποθέτηση ακροδεκτών στην κύρια πλακέτα. Επίσης ασφαλίζει κάθε ακροδέκτη δίνοντας την δυνατότητα στον χρήστη να τον βιδώσει επάνω στην επέκταση [72].



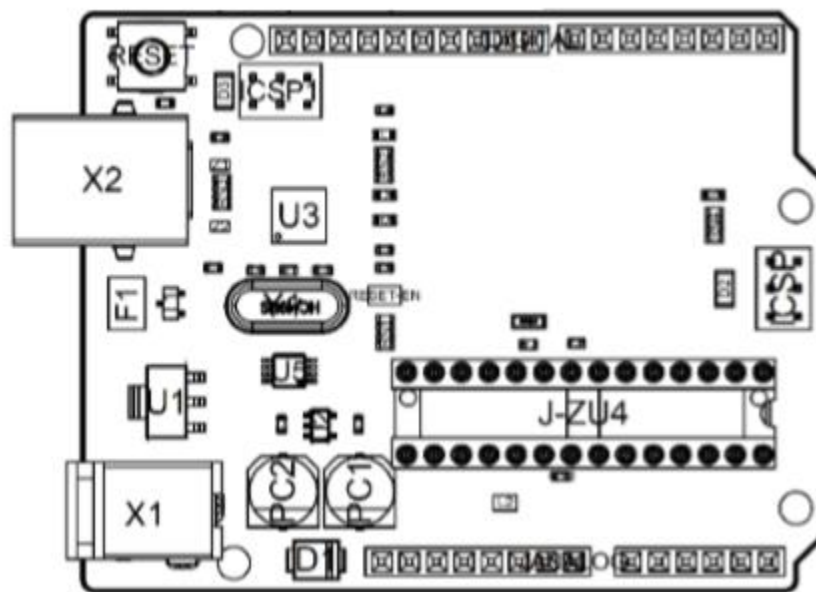
Εικόνα 2.37: Ζευγάρι επεκτάσεων ακροδεκτών για το Arduino [72].



Εικόνα 2.38: Πλακέτα Arduino με τοποθετημένο το ζευγάρι επέκτασης Screw terminal Shield στους ακροδέκτες της [72].

2.4.10: Arduino Uno R3

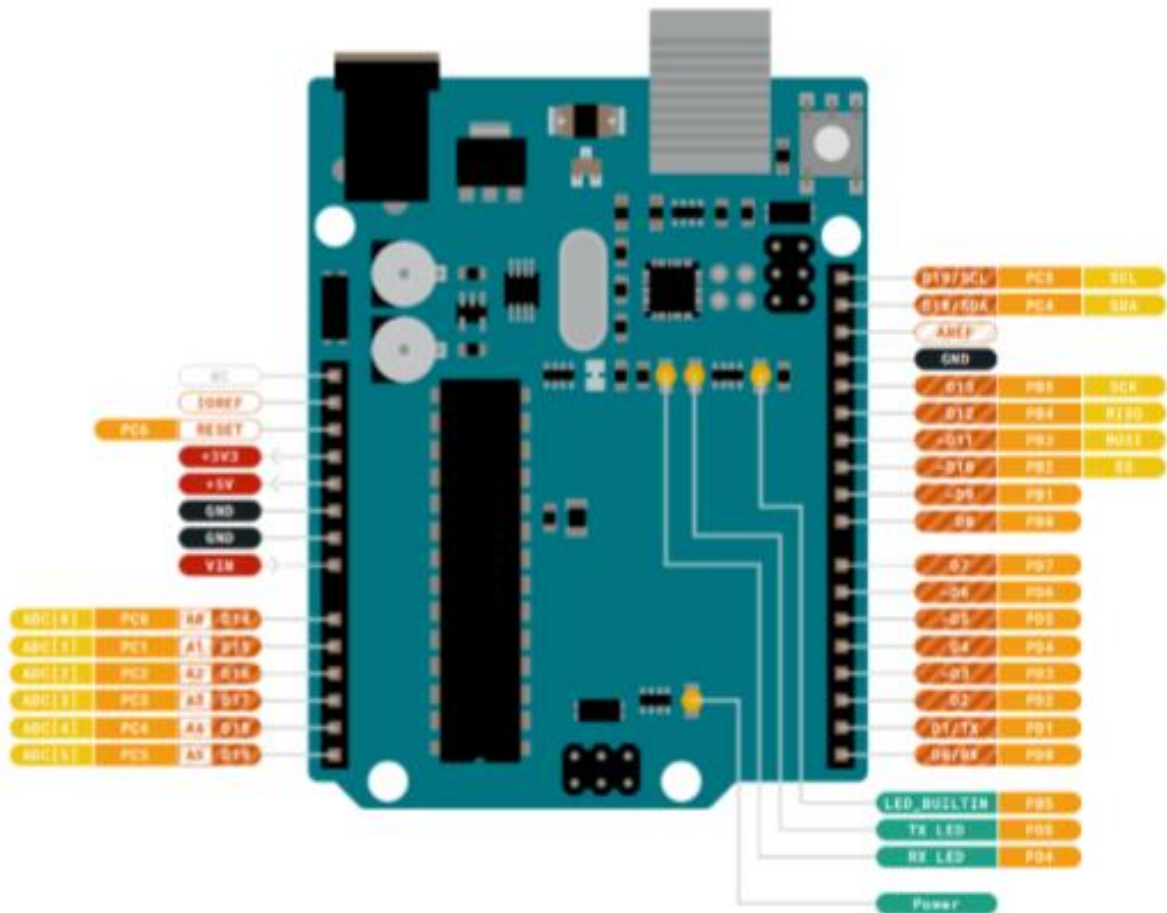
Η κύρια μονάδα επεξεργασίας της κατασκευής είναι η πλακέτα Arduino Uno R3 όπου μέσω αυτής γίνεται εφικτός ο έλεγχος και η παραμετροποίηση των κινήσεων της κατασκευής. Ο μικροελεγκτής αυτός προγραμματίζεται από το περιβάλλον προγραμματισμού Arduino Desktop IDE, μέσω ενός υπολογιστή και κρατάει το τελευταίο πρόγραμμα όπου φορτώθηκε σε αυτόν ακόμα και εάν κοπεί η τροφοδοσία του. Έτσι, μπορούν να πραγματοποιηθούν εφαρμογές απομακρυσμένα από το περιβάλλον προγραμματισμού έχοντας ως μόνη απαίτηση την τροφοδοσία ρεύματος. Λειτουργεί με 5V τα οποία μπορεί να λάβει είτε από την θύρα USB είτε από την θύρα Τροφοδοσίας (jack) διαστάσεων 2.1x5.5mm. Ο μικροελεγκτής λειτουργεί σε θερμοκρασίες από -40 °C έως 85 °C [46].



Εικόνα 2.39: Άνο όψη πλακέτας Arduino Uno R3 [64].

Πίνακας 2.2: Επεξήγηση εξαρτημάτων όπως φαίνονται στην Εικόνα 2.29 [64].

Ονομασία	Επεξήγηση	Ονομασία	Επεξήγηση
X1	Υποδοχή τροφοδοσίας 2.1x5.5mm	U1	Ρυθμιστής Τάσης SPX1117M3-L-5
X2	Θύρα USB	U3	Κύκλωμα ATMEGA16U2
PC1	Πυκνωτής EEE-1EA470WP 25V SMD	U5	Κύκλωμα LMV358LIST-A.9
PC2	Πυκνωτής EEE-1EA470WP 25V SMD	F1	Πυκνωτής τσιπ, υψηλής συχνότητας
D1	Ανορθωτής CGRA4007-G	ICSP	Συνδέσεις ακροδεκτων x6
J-ZU4	Κύκλωμα ATMEGA328P	ICSP1	Συνδέσεις ακροδεκτων x6
Y1	Ταλαντωτής ECS-160-20-4X-DU		



Εικόνα 2.40: Σηματοδότηση ακροδεκτών και φωτεινών ενδείξεων στην πλακέτα του Arduino Uno R3 [64].

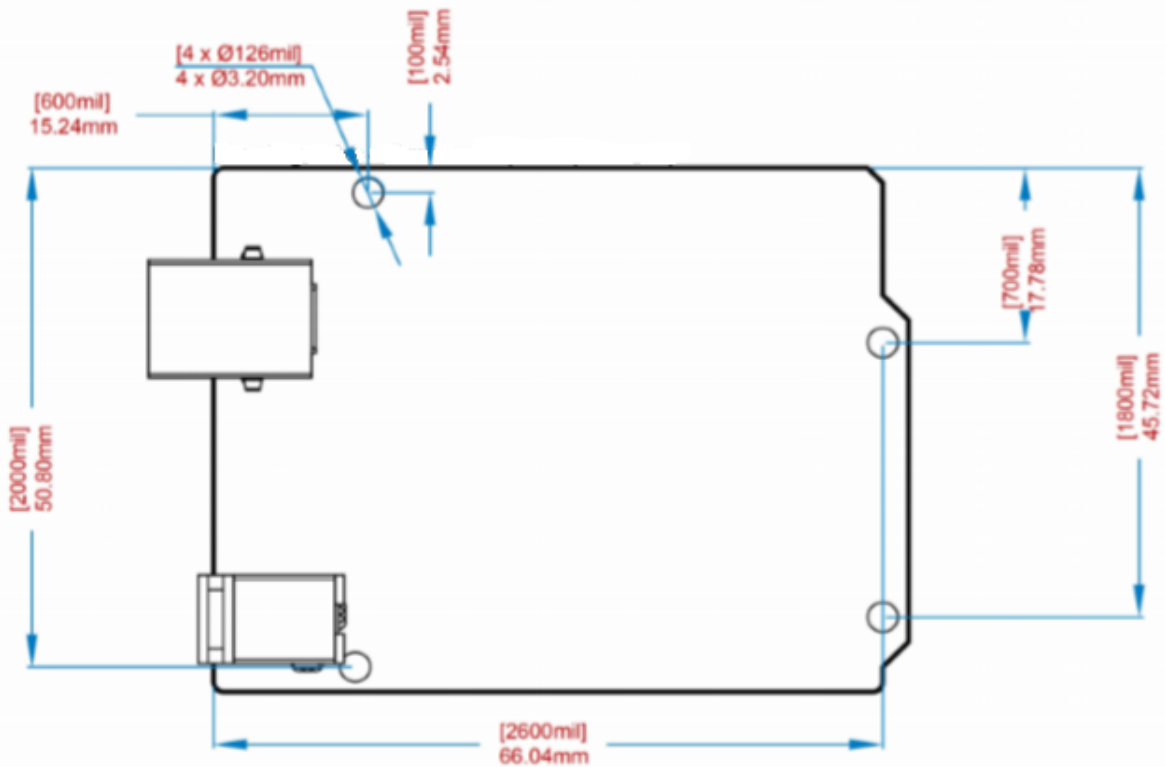
Πίνακας 2.3: Επεξήγηση αναλογικών ακροδεκτών (αριστερή πλευρά πλακέτας)[64].

ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΙ ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ			
Ακροδέκτης	Λειτουργία	Τύπος	Επεξήγηση
1	NC	NC	Δεν είναι συνδεδεμένο
2	IOREF	IOREF	Συνδεδεμένο στα 5V
3	Reset	Reset	Επαναφορά
4	+3V3	Τροφοδοσία	+3V3 γραμμή τροφοδοσίας
5	5V	Τροφοδοσία	+5 γραμμή τροφοδοσίας
6	GND	Τροφοδοσία	Γείωση
7	GND	Τροφοδοσία	Γείωση
8	VIN	Τροφοδοσία	Είσοδο τροφοδοσίας
9	A0	Αναλογικό/GPIO	Αναλογική είσοδος 0 /GPIO
10	A1	Αναλογικό/GPIO	Αναλογική είσοδος 1 /GPIO
11	A2	Αναλογικό/GPIO	Αναλογική είσοδος 2 /GPIO
12	A3	Αναλογικό/GPIO	Αναλογική είσοδος 3 /GPIO
13	A4/SDA	Αναλογική είσοδος / I2C	Αναλογική είσοδος 4 / I2C Γραμμή πληροφοριών
14	A5/SCL	Αναλογική είσοδος / I2C	Αναλογική είσοδος 5 / I2C Γραμμή ρολογιού

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

Πίνακας 2.4: Επεξήγηση ψηφιακών ακροδεκτών (δεξιά πλευρά πλακέτας)[64].

ΨΗΦΙΑΚΟΙ ΑΚΡΟΔΕΚΤΕΣ			
Ακροδέκτης	Λειτουργία	Τύπος	Επεξήγηση
1	D0	Ψηφιακό/GPIO	Ψηφιακή είσοδος 0 /GPIO
2	D1	Ψηφιακό/GPIO	Ψηφιακή είσοδος 1 /GPIO
3	D2	Ψηφιακό/GPIO	Ψηφιακή είσοδος 2 /GPIO
4	D3	Ψηφιακό/GPIO	Ψηφιακή είσοδος 3 /GPIO
5	D4	Ψηφιακό/GPIO	Ψηφιακή είσοδος 4 /GPIO
6	D5	Ψηφιακό/GPIO	Ψηφιακή είσοδος 5 /GPIO
7	D6	Ψηφιακό/GPIO	Ψηφιακή είσοδος 6 /GPIO
8	D7	Ψηφιακό/GPIO	Ψηφιακή είσοδος 7 /GPIO
9	D8	Ψηφιακό/GPIO	Ψηφιακή είσοδος 8 /GPIO
10	D9	Ψηφιακό/GPIO	Ψηφιακή είσοδος 9 /GPIO
11	SS	Ψηφιακό	SPI Επιλογέας τσιπ
12	MOSI	Ψηφιακό	SPI1 Κυρίως έξοδος, Δευτερεύων είσοδος
13	MISO	Ψηφιακό	SPI Κυρίως είσοδος, Δευτερεύων έξοδος
14	SCK	Ψηφιακό	SPI Έξοδος σειριακού ρολογιού
15	GND	Τροφοδοσία	Γείωση
16	AREF	Ψηφιακό	Αναλογική τροφοδοσία αναφοράς
17	A4/SDA	Ψηφιακό	Αναλογική είσοδος 4 / I2C Γραμμή πληροφοριών (διπλότυπη)
18	A5/SCL	Ψηφιακό	Αναλογική είσοδος 5 / I2C Γραμμή ρολογιού (διπλότυπη)



Τρόπος στερέωσης - Εικόνα από την επάνω πλευρά (Κλίμακα 1:1)

Εικόνα 2.41: Διαστάσεις και σημεία στερέωσης της πλακέτας Arduino Uno R3 [64].

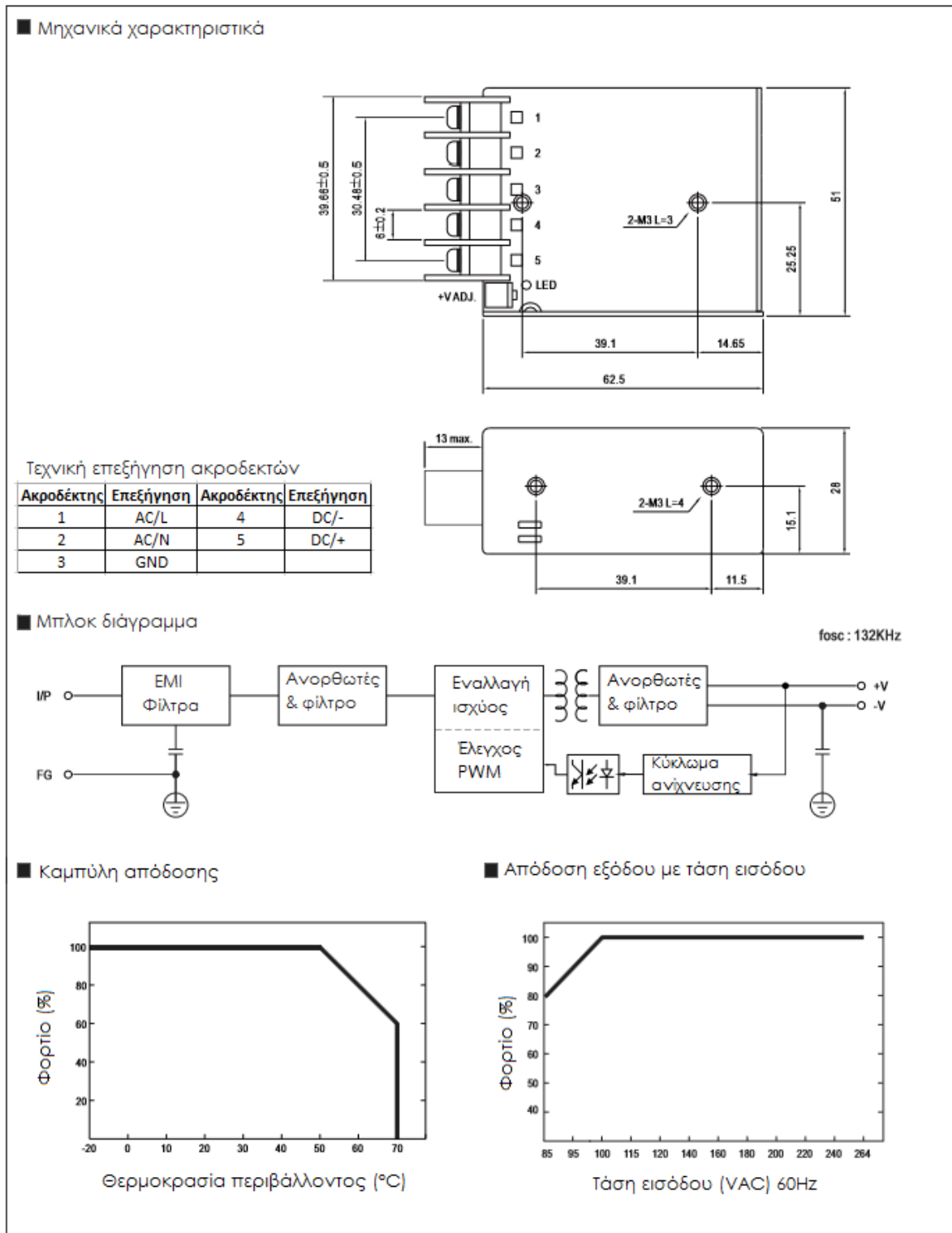
2.4.11: Τροφοδοτικά 9V, 5V

Χρειάστηκαν 2 τροφοδοτικά για την αυτονομία της κατάστασης ώστε να μπορεί να λειτουργήσει μόνο με ένα καλώδιο παροχής στο δίκτυο του ηλεκτρικού ρεύματος.

- Τροφοδοτικό μονής εξόδου 15W των 5V – 3A, μοντέλου RS-15-5
Το κύκλωμα του είναι σχεδιασμένο για να μην καταναλώνει ισχύς φορτίου άνω του 0,5W. Διαθέτει προστασία από βραχυκύκλωμα, υπερφόρτωση, υπερβολική τάση και υπερβολική θερμοκρασία. Η ψύξη γίνεται μέσω της ελεύθερης μεταφοράς αέρα του περιβάλλοντος. Ακόμα μπορεί να αντέξει μέχρι και 5 δευτερόλεπτα υπέρτασης εισόδου 300VAC. Η έξοδος παρέχει σταθερά 5VDC έως 3000mA (3 Amp) [65].
- Τροφοδοτικό μονής εξόδου 9W των 9V – 1A, μοντέλου QN-0305
Η έξοδος είναι ρυθμισμένη για την λήψη σταθερής τροφοδοσίας ρεύματος 9VDC έως 1000mA (1 Amp). Η είσοδος δέχεται τροφοδοσία 100V-240V AC δικτύου και το κύκλωμα του είναι ασφαλές από απροσδόκητους κυματισμούς ή υπερτάσεις, αλλά προσφέρει επίσης προστασία υπερφόρτωσης και βραχυκυκλώματος



Εικόνα 2.42: Τροφοδοτικό μονής εξόδου 15W των 5V – 3A, μοντέλου RS-15-5 [65].



Εικόνα 2.43: Χαρακτηριστικά και σχεδιάγραμμα λειτουργίας τροφοδοτικού μονής εξόδου 15W των 5V – 3A, μοντέλου RS-15-5 [65].

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ



Εικόνα 2.44: Κύκλωμα και επεξήγηση εξαρτημάτων τροφοδοτικού μονής εξόδου 9W των 9V – 1A, μοντέλου QN-0305 [74].

2.4.12: LEDs και αντιστάσεις

Για τις φωτεινές ενδείξεις χρησιμοποιήθηκαν 2 διαφορετικών χρωματισμών LEDs:

2 x κίτρινου χρώματος

1 x κόκκινου χρώματος

Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν 11 αντιστάσεις, 9 x 4-ζωνών χρωματισμό και 2 x 5-ζωνών χρωματισμό.

4 - ζωνών χρωματισμό:

2 x 560Ω – 5% ανοχή

5 x 1KΩ – 5% ανοχή

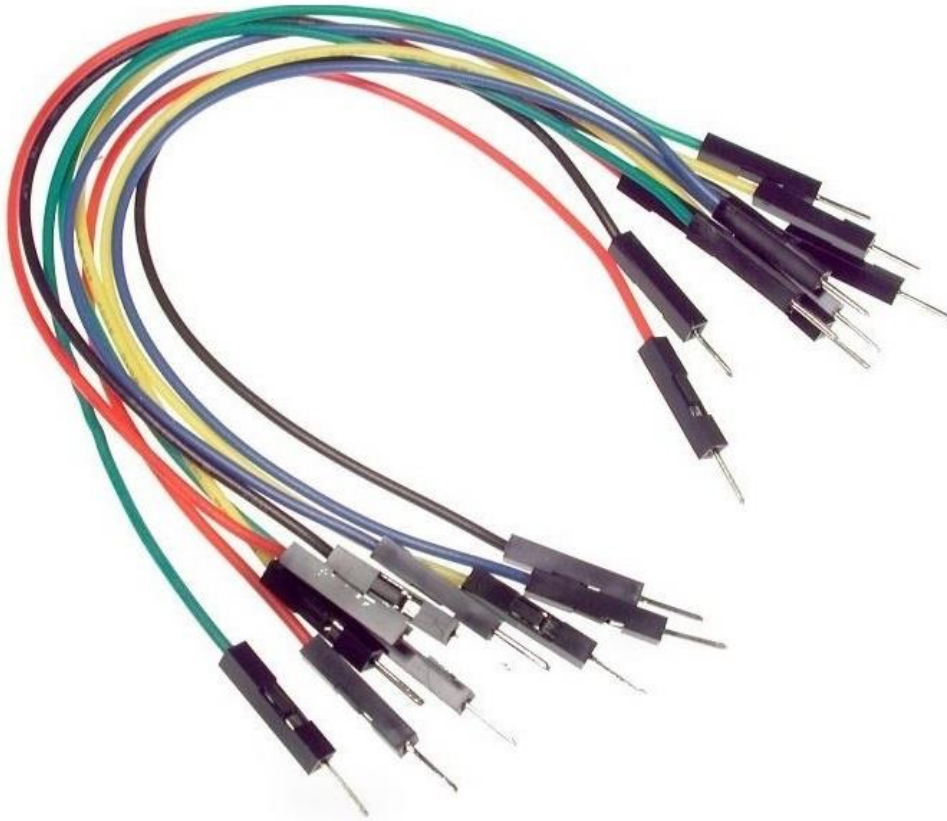
2 x 10KΩ – 5% ανοχή

5 - ζωνών χρωματισμό:

2 x 22.6KΩ – 2% ανοχή

2.4.13: Καλώδια

Οι συνδέσεις πραγματοποιήθηκαν με καλώδια συνδέσεως τύπου αρσενικού διπλής κεφαλής και με μονόκλινα και πολύκλινα καλώδια ρεύματος εύκαμπτα και άκαμπτα των 0.33 mm και 0,5 mm.



Εικόνα 2.45: Καλώδια συνδέσεως τύπου αρσενικού διπλής κεφαλής [73].

2.5 Υλικά Μακέτας

Για την κατασκευή της μακέτας χρειάστηκαν τα παρακάτω υλικά:

- 9 κομμάτια ξύλου κόντρα πλακέ
 - 38 x 26.5 x 1 (cm)
 - 38 x 15 x 1 (cm)
 - 12 x 11 x 1 (cm)
 - 11 x 11 x 1 (cm)
 - 11 x 12.5 x 1 (cm)
 - (4x) 2.5 x 2 x 15 (cm)
- 26 ξυλόβιδες M3-M4
- 11 βίδες M4
- 34 παξιμάδια M4
- 8 ροδέλες M4
- 3 μεταλλικούς μεντεσέδες 2 x 3
- 2 ροδάκια αλουμινίου
- Λαμαρίνα αλουμινίου η οποία διαμορφώθηκε σε διάφορα μεγέθη

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

- 2 Μπάρες θερμοκόλλας
- 2 γωνιακά εξάγωνα κλειδιά 2.5 mm τύπου άλλεν
- Μονόκλωνο καλώδιο χαλκού 2.5 mm
- Breadboard με 10 στήλες και 63 σειρές, διαστάσεων 16.5 x 5.4 x 0.9 cm

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

3.1: Κώδικας

Ο προγραμματισμός του Arduino Uno R3 πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον Arduino Software (IDE - Arduino Integrated Development Environment). Παρακάτω φαίνεται ο κώδικας που χρησιμοποιεί η κατασκευή για να λειτουργήσει κατάλληλα [20-21].

```

-----
-----
#include <AFMotor.h>
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Activating the motors

AF_DCMotor motor1(1);
AF_DCMotor motor2(2);
AF_DCMotor motor3(3);

//Creating Lcd characters

uint8_t d[8] = {0x4, 0x4, 0x4, 0x4, 0x4, 0x1b, 0xe, 0x4};
uint8_t u[8] = {0x4, 0xe, 0x1b, 0x4, 0x4, 0x4, 0x4, 0x4};
uint8_t t[8] = {0x0, 0x0, 0x19, 0x1b, 0x6, 0xc, 0x18, 0x10};
uint8_t a[8] = {0x18, 0x18, 0x0, 0x10, 0x18, 0xc, 0x6, 0x3};

//Setting the Lcd communication

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

void setup() {

  //Activating the Serial monitor

  Serial.begin(9600);

  //Activating the Lcd monitor

  lcd.begin();
  lcd.backlight();

  lcd.createChar(0, d);
  lcd.createChar(1, t);
  lcd.createChar(2, a);
  lcd.createChar(3, u);

  //Setting the speed of the motors

  motor1.setSpeed(250);
  motor1.run(RELEASE);

```

```

motor2.setSpeed(250);
motor2.run(RELEASE);

motor3.setSpeed(250);
motor3.run(RELEASE);
}

void loop() {

//Setting the INPUTS

int Safety = digitalRead(5);
int BDStop = digitalRead(2);
int BUStop = digitalRead(13);

int kvDown = analogRead(A1);
int kvUp = analogRead(A0);
int Llmt = analogRead(A3);
int Hlmt = analogRead(A2);

Serial.print("Down:");
Serial.print(kvDown);
Serial.print("\tUp:");
Serial.print(kvUp);
Serial.print("\tSafety:");
Serial.print(Safety);
Serial.print("\tBDStop:");
Serial.print(BDStop);
Serial.print("\tBUStop:");
Serial.print(BUStop);
Serial.print("\tLlmt:");
Serial.print(Llmt);
Serial.print("\tHlmt:");
Serial.println(Hlmt);

lcd.clear();
lcd.setCursor(4, 0);
lcd.print("OP Table");

//Emergency stop

if (Safety == HIGH ) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("Safety activated");
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Move up the OPT");
motor1.run(RELEASE);
}
}

```

```

motor2.run(RELEASE);
motor3.run(RELEASE);
delay(3000);
while (Safety == HIGH) {
  Serial.println(kvUp);
  while (kvUp >= 915 && kvUp <= 930) {
    Serial.print(kvUp);
    motor2.run(BACKWARD);
    kvUp = analogRead(A0);
  }
  kvUp = analogRead(A0);
  Safety = digitalRead(5);
}
}
else {

  // Down CONTROL

  // Head down

  if (kvDown >= 1006) {
    motor1.run(FORWARD);
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print("Head down");
    lcd.setCursor(13, 1);
    lcd.write(0);
    delay(50);
    if (Hlmt <= 343) {
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(5, 0);
      lcd.print("out of");
      lcd.setCursor(2, 1);
      lcd.print("patient range");
      motor1.run(RELEASE);
      delay(3000);
      lcd.clear();
      Serial.println(Hlmt);
      while (kvDown >= 1010) {
        motor1.run(FORWARD);
        Serial.println(Hlmt);
        lcd.setCursor(3, 0);
        lcd.print("Use only");
        lcd.setCursor(2, 1);
        lcd.print("for SERVICE");
        if (Hlmt <= 336) {
          motor1.run(RELEASE);
          lcd.clear();
          lcd.setCursor(4, 0);
          lcd.print("min angle");
          lcd.setCursor(5, 1);
          lcd.print("reached");
        }
      }
    }
  }
}
}

```



```

    delay(2000);
    motor1.run(BACKWARD);
    delay(200);
    motor1.run(FORWARD);
    delay(200);
    Serial.print(Hlmt);
    Serial.print("\t");
    Serial.println(kvDown);
  }
  Hlmt = analogRead(A2);
  kvDown = analogRead(A1);
}
}
}

// Table down

if (kvDown >= 915 && kvDown <= 930) {
  motor2.run(FORWARD);
  lcd.setCursor(2, 1);
  lcd.print("Table down");
  lcd.setCursor(13, 1);
  lcd.write(0);
  delay(50);
  if (BDStop == HIGH) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("min column point");
    lcd.setCursor(1, 1);
    lcd.print("Move column up");
    motor2.run(RELEASE);
    delay(3000);
    while (BDStop == HIGH) {
      Serial.println(kvUp);
      while (kvUp >= 915 && kvDown <= 930) {
        Serial.print(kvUp);
        Serial.print("\t");
        Serial.println(BDStop);
        motor2.run(BACKWARD);
        kvUp = analogRead(A0);
      }
      kvUp = analogRead(A0);
      BDStop = digitalRead(2);
    }
  }
}

//Legs down

if (kvDown >= 980 && kvDown <= 1004) {
  motor3.run(FORWARD);

```

```

lcd.setCursor(3, 1);
lcd.print("Legs down");
lcd.setCursor(3, 1);
lcd.print("Legs down");
lcd.setCursor(13, 1);
lcd.write(0);
delay(50);
if (Llmt >= 595) {
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(5, 0);
  lcd.print("out of");
  lcd.setCursor(2, 1);
  lcd.print("patient range");
  motor3.run(RELEASE);
  delay(3000);
  lcd.clear();
  Serial.println(Llmt);
  while (kvDown >= 980 && kvDown <= 1004) {
    motor3.run(FORWARD);
    lcd.setCursor(3, 0);
    lcd.print("Use only");
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print("for SERVICE");
    if (Llmt >= 610) {
      motor3.run(RELEASE);
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(4, 0);
      lcd.print("min angle");
      lcd.setCursor(5, 1);
      lcd.print("reached");
      delay(2000);
      motor3.run(BACKWARD);
      delay(200);
      motor3.run(FORWARD);
      delay(200);
      Serial.print(Llmt);
      Serial.print("\t");
      Serial.println(kvDown);
    }
    Serial.println(Llmt);
    Llmt = analogRead(A3);
    kvDown = analogRead(A1);
  }
}
}
}

```

//Trendelenburg

```

if (kvDown >= 955 && kvDown <= 970) {
  motor1.run(FORWARD);
  motor3.run(BACKWARD);
}

```

```

lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Trendelenburg");
lcd.setCursor(15, 1);
lcd.write(1);
while (kvDown >= 955 && kvDown <= 970) {
    delay(50);
    if (Hlmt >= 336) {
        Hlmt = analogRead(A2);
        Serial.println(Hlmt);
        motor1.run(RELEASE);
    }
    if (Llmt <= 542) {
        Llmt = analogRead(A3);
        Serial.println(Llmt);
        motor3.run(RELEASE);
    }
    kvDown = analogRead(A1);
    Llmt = analogRead(A3);
    Hlmt = analogRead(A2);
}
}

```

// Up CONTROL

// Head up

```

if (kvUp >= 1006) {
    motor1.run(BACKWARD);
    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.print("Head up");
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.write(3);
    delay(150);
    if (Hlmt >= 373) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(5, 0);
        lcd.print("out of");
        lcd.setCursor(2, 1);
        lcd.print("patient range");
        motor1.run(RELEASE);
        delay(3000);
        lcd.clear();
        Serial.println(Hlmt);
        while (kvUp >= 1010) {
            motor1.run(BACKWARD);
            lcd.setCursor(3, 0);
            lcd.print("Use only");
            lcd.setCursor(2, 1);
            lcd.print("for SERVICE");
            if (Hlmt >= 380) {

```

```

    motor1.run(RELEASE);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(4, 0);
    lcd.print("max angle");
    lcd.setCursor(5, 1);
    lcd.print("reached");
    delay(2000);
    motor1.run(BACKWARD);
    delay(200);
    motor1.run(FORWARD);
    delay(200);
    Serial.print(Hlmt);
    Serial.print("\t");
    Serial.println(kvUp);
}
Hlmt = analogRead(A2);
kvUp = analogRead(A0);
}
}
}

//Table up

if (kvUp >= 915 && kvUp <= 930) {
    motor2.run(BACKWARD);
    lcd.setCursor(3, 1);
    lcd.print("Table up");
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.write(3);
    delay(50);
    if (BUStop == HIGH) {
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("max column point");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print("Move column down");
        motor2.run(RELEASE);
        delay(3000);
        while (BUStop == HIGH) {
            Serial.println(kvUp);
            while (kvDown >= 915 && kvDown <= 930) {
                Serial.print(kvDown);
                Serial.print("\t");
                Serial.println(BUStop);
                motor2.run(FORWARD);
                kvDown = analogRead(A1);
            }
            kvDown = analogRead(A1);
            BUStop = digitalRead(13);
        }
    }
}
}

```

```

}

// Legs up

if (kvUp >= 980 && kvUp <= 1004) {
  motor3.run(BACKWARD);
  lcd.setCursor(4, 1);
  lcd.print("Legs up");
  lcd.setCursor(12, 1);
  lcd.write(3);
  delay(150);
  if (Llmt <= 542) {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(5, 0);
    lcd.print("out of");
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print("patient range");
    motor3.run(RELEASE);
    delay(3000);
    lcd.clear();
    Serial.println(Llmt);
    while (kvUp >= 980 && kvUp <= 1004) {
      motor3.run(BACKWARD);
      lcd.setCursor(3, 0);
      lcd.print("Use only");
      lcd.setCursor(2, 1);
      lcd.print("for SERVICE");
      if (Llmt <= 527) {
        motor3.run(RELEASE);
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(4, 0);
        lcd.print("max angle");
        lcd.setCursor(5, 1);
        lcd.print("reached");
        delay(2000);
        motor3.run(BACKWARD);
        delay(200);
        motor3.run(FORWARD);
        delay(200);
        Serial.print(Llmt);
        Serial.print("\t");
        Serial.println(kvUp);
      }
      Serial.println(Llmt);
      Llmt = analogRead(A3);
      kvUp = analogRead(A0);
    }
  }
}

//Anti - Trendelenburg

```

```

if (kvUp >= 955 && kvUp <= 970) {
  motor1.run(BACKWARD);
  motor3.run(FORWARD);
  lcd.setCursor(3, 1);
  lcd.print("Anti-Trend");
  lcd.setCursor(15, 1);
  lcd.write(2);
  while (kvUp >= 955 && kvUp <= 970) {
    delay(50);
    if (Hlmt <= 373) {
      Hlmt = analogRead(A2);
      Serial.print(Hlmt);
      motor1.run(RELEASE);
    }
    if (Llmt >= 595) {
      Llmt = analogRead(A3);
      Serial.print(Llmt);
      motor3.run(RELEASE);
    }
    kvUp = analogRead(A0);
    Llmt = analogRead(A3);
    Hlmt = analogRead(A2);
  }
}
if (kvDown == 0) {
  motor1.run(RELEASE);
  motor2.run(RELEASE);
  motor3.run(RELEASE);
}
}
}
}

```

3.2: Επεξήγηση Κώδικα

Οι εντολές και οι βιβλιοθήκες που χρησιμοποιήθηκαν για την σύνταξη του προγράμματος λειτουργίας της κατασκευής είναι:

-Βιβλιοθήκη AFMotor

Είναι απαραίτητη με την χρήση του L293D Motor driver shield και των κινητήρων γιατί δίνει οδηγίες στο Arduino για το πως να γίνει η ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στο L293D Motor driver shield και το ίδιο το Arduino [23].

- Βιβλιοθήκη Wire

Αυτή η βιβλιοθήκη επιτρέπει την επικοινωνία με συσκευές I2C/TWI. Στις πλακέτες Arduino με διάταξη R3, το SDA (γραμμή δεδομένων) και το SCL (γραμμή ρολογιού)

βρίσκονται στις κεφαλίδες των ακροδεκτών κοντά στον ακροδέκτη AREF. Υπάρχουν δύο εκδόσεις 7 και 8-bit των διευθύνσεων I2C. Τα πρώτα 7 bit προσδιορίζουν τη συσκευή και το όγδοο bit καθορίζει εάν γίνεται εγγραφή ή ανάγνωση από αυτήν. Η βιβλιοθήκη Wire χρησιμοποιεί διευθύνσεις 7 bit παντού [24].

- Βιβλιοθήκη LiquidCrystal I2C

Επιτρέπει τον έλεγχο των οθονών I2C με λειτουργίες εξαιρετικά παρόμοιες με τη βιβλιοθήκη LiquidCrystal. Η βιβλιοθήκη LiquidCrystal επιτρέπει την επικοινωνία με αλφαριθμητικές οθόνες υγρών κρυστάλλων (LCD), δηλαδή δίνει την δυνατότητα σε μια πλακέτα Arduino/Genuino να ελέγχει οθόνες LiquidCrystal (LCD) με βάση το chipset Hitachi HD44780 (ή ένα συμβατό), το οποίο βρίσκεται στις περισσότερες οθόνες LCD που απεικονίζουν κείμενο. Η βιβλιοθήκη λειτουργεί είτε σε λειτουργία 4 είτε 8 bit (δηλαδή χρησιμοποιώντας 4 ή 8 γραμμές δεδομένων εκτός από την γραμμή επιλογής καταχωρητή, ενεργοποίησης, και, προαιρετικά, τις γραμμές ελέγχου ανάγνωσης-εγγραφής) [25-26].

-Εντολή AF_DCMotor motorname (portnum, freq)

Αυτή είναι εντολή ορισμού ενός κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Για κάθε κινητήρα στο κύκλωμα πρέπει να γίνει ο ορισμός πριν την χρήση του. Επίσης κάθε κινητήρας πρέπει να έχει διαφορετικό όνομα. (Εάν δεν οριστεί συχνότητα κινητήρα μπαίνει αυτόματα με προεπιλογή 1KHz) [27].

-Εντολή uint8_t

Δημιουργία χαρακτήρων στην οθόνη LCD [28].

-Εντολή LiquidCrystal I2C

Ορισμός διεύθυνσης επικοινωνίας ανάμεσα στο Arduino και την οθόνη LCD, θέτοντας και τον αριθμό των γραμμών και των σειρών της οθόνης [29].

-Εντολή Serial.begin

Ρυθμίζει τον ρυθμό δεδομένων σε bit ανά δευτερόλεπτο για σειριακή μετάδοση δεδομένων για την επικοινωνία με το Serial Monitor [30].

-Εντολή lcd.begin

Αρχικοποιεί τη διεπαφή με την οθόνη LCD [31].

-Εντολή lcd.backlight

Ενεργοποιεί τον οπίσθιο φωτισμό της οθόνης [32].

-Εντολή lcd.createChar

Δημιουργεί έναν προσαρμοσμένο χαρακτήρα για χρήση στην οθόνη LCD. Υποστηρίζονται έως και οκτώ χαρακτήρες των 5x8 pixel (αριθμημένοι από 0 έως 7). Η εμφάνιση κάθε προσαρμοσμένου χαρακτήρα καθορίζεται από έναν πίνακα οκτώ byte, ένα για κάθε σειρά. Τα πέντε λιγότερο σημαντικά bit σε κάθε byte καθορίζουν τα pixel σε αυτή τη σειρά [33].

-Εντολή setSpeed

Ρυθμίζει την ταχύτητα του κινητήρα. Οι έγκυρες τιμές για την «ταχύτητα» είναι μεταξύ 0 και 255 με το 0 να είναι απενεργοποιημένο και το 255 ενεργοποίηση στο μέγιστο.

-Εντολή run (cmd)

Ρυθμίζει τη λειτουργία κίνησης του κινητήρα.

cmd - η επιθυμητή λειτουργία κίνησης για τον κινητήρα και οι τιμές που μπορεί να πάρει είναι:

- FORWARD - κίνηση προς τα εμπρός (η πραγματική κατεύθυνση περιστροφής εξαρτάται από την καλωδίωση του κινητήρα)
- BACKWARD - κίνηση προς τα πίσω (η περιστροφή θα είναι προς την αντίθετη κατεύθυνση από το FORWARD)
- RELEASE - Σταματά τον κινητήρα. Αυτό αφαιρεί την ισχύ από τον κινητήρα και ισοδυναμεί με την εντολή setSpeed(0) [34].

-Εντολή digitalRead

Διαβάζει την τιμή από έναν καθορισμένο ψηφιακό ακροδέκτη του Arduino, ο οποίος παίρνει είτε τιμή HIGH είτε τιμή LOW [35].

-Εντολή int

Ορισμός μεταβλητής [36].

-Εντολή analogRead

Διαβάζει την τιμή από τον καθορισμένο αναλογικό ακροδέκτη. Οι ακέραιες τιμές που μπορεί να αντιστοιχηθούν από την τάση εισόδου είναι μεταξύ 0 και 1023 [37].

-Εντολή Serial.print

Εκτυπώνει δεδομένα στη σειριακή θύρα ως κείμενο ASCII [38].

-Εντολή lcd.clear

Καθαρίζει την οθόνη LCD και τοποθετεί τον κέρσορα στην επάνω αριστερή γωνία [39].

-Εντολή lcd.setCursor

Επανατοποθετεί τον κέρσορα της οθόνης σε μια συγκεκριμένη θέση γραμμής και στήλης ορίζοντας το σημείο που θα εμφανιστεί ο επόμενος χαρακτήρας [40].

-Εντολή lcd.print

Εκτυπώνει κείμενο στην οθόνη LCD [41].

- Εντολή While()

Ένας βρόχος while επαναλαμβάνεται συνεχώς, και απεριόριστα, έως ότου η έκφραση μέσα στην παρένθεση γίνει ψευδής. Κάτι πρέπει να αλλάξει τη μεταβλητή που ορίζεται μέσα στην παρένθεση, διαφορετικά ο βρόχος while δεν θα σταματήσει ποτέ [42].

-Εντολή If

Ελέγχει μια συνθήκη και εκτελεί την ακόλουθη πρόταση ή σύνολο εντολών εάν η συνθήκη είναι αληθείς [43].

-Εντολή else

(Πάντα μετά από εντολή If ή While) Ένας όρος else θα εκτελεστεί εάν η συνθήκη στη δήλωση if καταλήξει σε ψευδής [44].

-Εντολή delay()

Κάνει παύση του προγράμματος για το χρονικό διάστημα (σε χιλιοστά του δευτερολέπτου) που καθορίζεται ως παράμετρος [45].

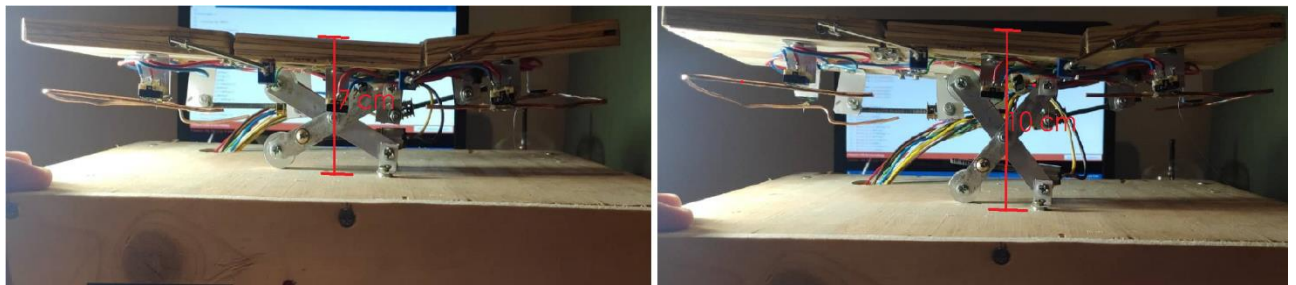
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΟΚΙΜΕΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ

Οι δοκιμές της κατασκευής πραγματοποιήθηκαν μέχρι και τα σημεία όπου μπορεί να φτάσει το σύστημα. Δεν θα είναι επιτρεπτό από το κύκλωμα ο χρήστης να φτάσει σε αυτά λόγω ασφαλείας της κατασκευής αλλά και του χρήστη. Για την ασφάλεια από τυχόν διαρροή ρεύματος χρησιμοποιήθηκε υλικό μόνωσης σε μεταλλικά σημεία όπου είναι ορατά από τον χρήστη ή υπάρχει δυνατότητα επαφής με αυτόν.

Οι διαστάσεις της βάσης της κατασκευής είναι 37,5 x 27.5 x 16 (cm) ενώ της επιφάνειας του ασθενή είναι 33.5 x 12.5 x 8.5 (cm).

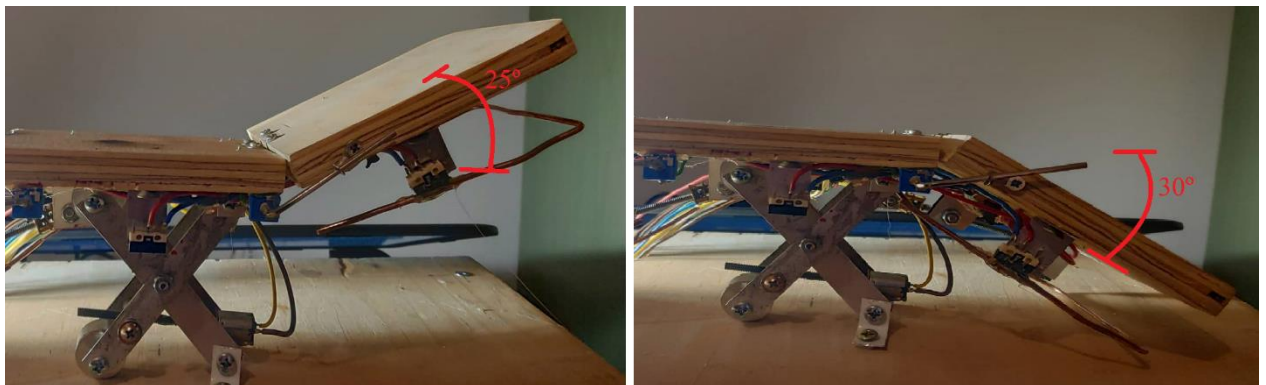
4.1: Αποτελέσματα

Το μέγιστο ύψος από την βάση που μπορεί να επιτευχθεί είναι 10 cm. Η διαφορά ύψους από το μικρότερο εφικτό σημείο μέχρι και το μεγαλύτερο είναι 3 cm. κάνοντας το κοντότερο εφικτό σημείο για την επιφάνεια από την βάση να είναι 7 cm.



Εικόνα 4.1: Διαφορά ύψους επιφάνειας

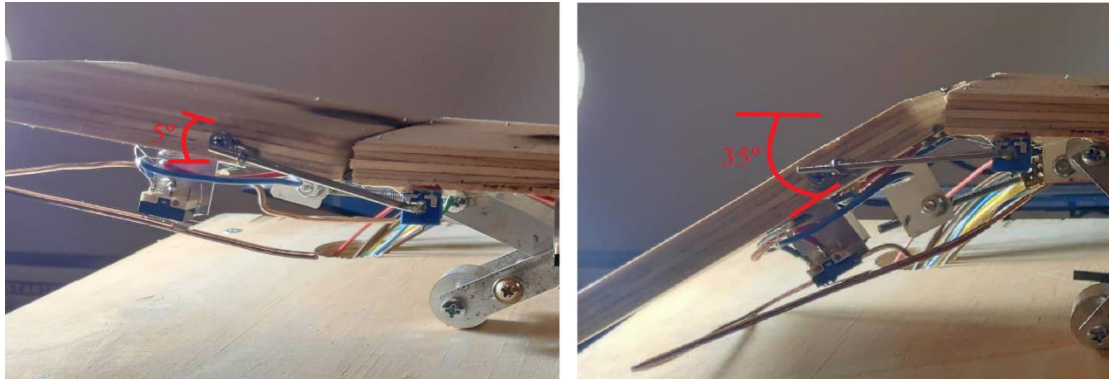
Η μέγιστη κλίση όπου μπορεί να πάρει το πάνω μέρος της επιφάνειας (επιφάνεια κεφαλής) είναι 25° ενώ η μικρότερη είναι 30°. Η γωνία ελευθερίας είναι 55°.



Εικόνα 4.2: Εφικτή κλίση άνω άκρου επιφάνειας

Η μέγιστη κλίση όπου μπορεί να πάρει το κάτω μέρος της επιφάνειας (επιφάνεια κάτω ακρών) είναι 5° ενώ η μικρότερη είναι 35°. Η γωνία ελευθερίας είναι 40°.

ΜΟΝΤΕΛΟ – ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΠΛΗΣ ΧΕΙΡΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΡΑΠΕΖΑΣ



Εικόνα 4.3: Εφικτή κλίση κάτω άκρου επιφάνειας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χειρουργική τράπεζα αποτελεί την βάση κάθε χειρουργικής αίθουσας. Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν να παρουσιάσει και να επεξηγήσει τις αναγκαίες κινήσεις που είναι απαραίτητες να κάνει μία χειρουργική τράπεζα. Μέσω της κατασκευής παρουσιάζονται οι κατασκευαστικές ανάγκες που υπάρχουν όπως είναι η ανάγκη για τον διαχωρισμό της επιφάνειας σε διάφορα μέρη του σώματος ή αλλαγή του ύψους για την σωστή τοποθέτηση του ασθενή ως προς τον χειρουργό. Η κατασκευή της τράπεζας αυτής αποτελεί την πιο απλοποιημένη έκδοση της δίνοντας περιθώριο για τυχόν βελτιώσεις. Ένα παράδειγμα βελτίωσης είναι η ενίσχυση του συστήματος ασφαλείας με αισθητήρες υπέρηχων για την αναγνώριση απόστασης, καθιστώντας βέβαιη την αποφυγή καταστροφής αντικειμένων όπου ξεχάστηκαν κάτω από την επιφάνεια της τράπεζας. Το κόστος της κατασκευής ήταν σχετικά χαμηλό, δεδομένου ότι επρόκειτο για ερασιτεχνική κατασκευή που θα χρησιμοποιηθεί για σκοπούς διπλωματικής εργασίας. Σαφώς υπάρχει δυνατότητα επιλογής ανώτερων σε ποιότητα υλικών, με σκοπό την βελτίωση και αναβάθμιση του συστήματος, στην παρούσα εργασία όμως, καταφέραμε να διατηρήσουμε το κόστος σε χαμηλά πλαίσια συμπεραίνοντας ότι μια τέτοια κατασκευή είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί με επένδυση χαμηλού χρηματικού ποσού αλλά καταλήγοντας σε απόλυτα λειτουργικό αποτέλεσμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] *Operating table* (2022). - *Wikipedia*. [online] En.wikipedia.org. Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Operating_table>
- [2] Colberg, H., Aschemann, D., Kulik, B. and Rösinger, C., (n.d). Technical equipment. *Positioning Techniques in Surgical Applications*, pp.67-90
- [3] Rothrock, J. C. (2015). *Alexander's Care of the Patient in Surgery*, 15th Edition, C.V. Mosby Co.
- [4] Britishmedicalauctions.co.uk. (2022). *British Medical Auctions: Buy & Sell Surplus Medical Equipment*. [online] Available at: <<https://auctions.britishmedicalauctions.co.uk/lot-details/index/catalog/301/lot/62628/Maquet-Alphastar-Plus-Electric-Operating-Table-Model-1132-03A3-with-Cushions-and-Controller-Powers-Up-and-Tested-Working-SN-0009/>>
- [5] AORN Journal, (2001). Recommended Practices for Positioning the Patient in the Perioperative Practice Setting. 73(1), pp.231-238
- [6] Anesthesiology, (2000). Practice Advisory for the Prevention of Perioperative Peripheral Neuropathies. [online] 92(4), pp.1168-1182. Available at: <<https://doi.org/10.1097/00000542-200004000-00036>>
- [7] Longnecker, D., L. Brown, D., F. Newman, M. and Zapol, W., (2012). Chapter 27. Positioning of Patients for Operation | *Anesthesiology*, Second Edition | AccessAnesthesiology | McGraw Hill Medical. [online] Accessanesthesiology.mhmedical.com. Available at: <<https://accessanesthesiology.mhmedical.com/content.aspx?bookid=490§ionid=40114710#56629355>>
- [8] Beckett, A., (2010). Are We Doing Enough to Prevent Patient Injury Caused by Positioning for Surgery?. *Journal of Perioperative Practice*, 20(1), pp.26-29.
- [9] Snyder D. (2010) *Positioning and transferring your patient safely*. *OR Nurse*; 4:40-6.
- [10] Kalra, P., (2010). Miller's Anesthesia, Volumes 1 and 2, 7th Edition. *Anesthesiology*, 112(1), pp.260-261
- [11] Nagelhout, J., Plaus, K. and Moriber, N., (2014). *Nurse Anesthesia. 5th ed.*. [online] DigitalCommons@Fairfield.
- [12] Trendelenburg position, (2013). *Wikimedia Commons*. [online] Commons.wikimedia.org. Available at: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Trendelenburg_position.gif>
- [13] Yellofins® Stirrups, (2022). *Yellofin | Home Page*. [online] Yellofin.co.uk. Available at: <<http://www.yellofin.co.uk/index.html#products>>
- [14] Rail Clamp Accessory, (2022). *Universal Rail Clamp for Blade Style Accessories*. [online] David Scott Company. Available at: <<https://www.davidscottco.com/product/universal-rail-clamp-for-blade-style-accessories/>>.
- [15] Yellofin® Stirrups, (2020). *Yellofin® Stirrups Instructions for Use Product No. O-YFASI, O-YFSI, O-YFES, O-YFESP*. [online] Available at: <<https://www.hillrom.co.uk/content/dam/hillrom-aem/us/en/sap-documents/LIT/80028/80028160LITPDF.pdf>>

- [16] Shailendra V.L., (2008). *Patient Positioning*. [online]
<https://www.slideshare.net/>. Available at:
<https://www.slideshare.net/shylu/patient-positioning>
- [17] Positioning Patient, (2022). Positioning Patient for Surgery. [online]
<https://quizlet.com/>. Available at: <https://quizlet.com/268569115/positioning-patient-for-surgery-flash-cards/>
- [18] Beach Chair, (2021). Beach Chair OR Accessory Package for Surgical Tables. [online] Hillrom. Available at: <https://www.hillrom.com/en/products/beach-chair-or-accessory-package-for-surgical-tables/>
- [19] Lift Assist Beach Chair, (2020). *Lift Assist Beach Chair*. [online] Hillrom. Available at: <https://www.hillrom.com/content/dam/hillrom-aem/us/en/sap-documents/LIT/80028/80028319LITPDF.pdf>
- [20] Gefen, A., (2021). Gravity Is Our Best Friend Yet Can Also Be Our Worst Enemy: Tissue Deformations and Pressure Ulcer Risk on the Operating Table. *Journal of Elasticity*, 145(1-2), pp.153-162
- [21] Lustig, M., Wiggermann, N., How, G.A. (2020). *Patient migration in bed affects the sacral soft tissue loading and thereby the risk for a hospital-acquired pressure injury*. *Int. Wound J.* 17(3), 631–640.
- [22] Arduino IDE 2.0.0, (2022). *Software*. [online] Arduino.cc. Available at: <https://www.arduino.cc/en/software/>
- [23] Motor Shield Library Install, (2012). *Adafruit Motor Shield*. [online] Adafruit Learning System. Available at: <https://learn.adafruit.com/adafruit-motor-shield/library-install>
- [24] Wire library, (2022). *Wire - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/wire/>
- [25] LiquidCrystal Arduino library, (2022). *GitHub - johnrickman/LiquidCrystal_I2C: LiquidCrystal Arduino library for the DFRobot I2C LCD displays*. [online] GitHub. Available at: https://github.com/johnrickman/LiquidCrystal_I2C
- [26] LiquidCrystal, (2022). *LiquidCrystal - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <https://www.arduino.cc/en/Reference/LiquidCrystal>
- [27] AF_DCMotor Class, (2012). *Adafruit Motor Shield*. [online] Adafruit Learning System. Available at: <https://learn.adafruit.com/adafruit-motor-shield/af-dcmotor-class>
- [28] Uint8_t, (2009). *What is " uint8_t" ?*. [online] Arduino.cc. Available at: https://forum.arduino.cc/t/what-is-uint8_t/41700
- [29] I2C Liquid Crystal Display, (2016). *How to use an I2C LCD 16x2 with Arduino*. [online] Ardumotive Arduino Greek Playground. Available at: <https://www.ardumotive.com/i2clcden.html>
- [30] Arduino, (2022). *Serial - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/>
- [31] Arduino, (2022). *LiquidCrystal - begin - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/liquidcrystal/begin>

- [32] Arduino, (2012). *Turning off I2C backlight*. [online] Arduino Forum. Available at: <<https://forum.arduino.cc/t/turning-off-i2c-backlight/108963>>
- [33] Arduino, (2022). *LiquidCrystal - createChar - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/liquidcrystal/createchar>>
- [34] AF_DCMotor motorname(portnum, freq), (2012). *Adafruit Motor Shield*. [online] Adafruit Learning System. Available at: <<https://learn.adafruit.com/adafruit-motor-shield/af-dcmotor-class>>
- [35] Arduino, (2022). *DigitalRead - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/reference/en/>>
- [36] Arduino, (2022). *int - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/reference/en/language/variables/data-types/int>>
- [37] Arduino, (2022). *analogRead - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/analog-io/analogread/>>
- [38] Arduino, (2022). *Serial.print - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/print/>>
- [39] Arduino, (2022). *LiquidCrystal - clear - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/liquidcrystal/clear>>
- [40] Arduino, (2022). *setCursor() method*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/en/Tutorial/LibraryExamples/LiquidCrystalSetCursor/>>
- [41] Arduino, (2022). *LiquidCrystal - print - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/liquidcrystal/print/>>
- [42] Arduino, (2022). *While - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/reference/en/>>
- [43] Arduino, (2022). *If - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/reference/en/>>
- [44] Arduino, (2022). *else - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/reference/en/language/structure/control-structure/else/>>
- [45] Arduino, (2022). *delay - Arduino Reference*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/reference/en/>>
- [46] Arduino, (2022). *Arduino UNO R3*. [online] Docs.arduino.cc. Available at: <<https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3/>>
- [47] Olfat, S., (2021). *L293D: Theory, Diagram, Simulation & Pinout - ElectroPeak*. [online] Electropeak. Available at: <<https://electropeak.com/learn/l293d-theory-diagram-simulation-pinout/>>
- [48] L293D, (2022). *L293D Motor Driver Shield*. [online] Electropeak.com. Available at: <<https://electropeak.com/l293d-motor-drive-shield>>
- [49] ElectroPeak, (2019). *Arduino L293D Motor Driver Shield Tutorial*. [online] Arduino Project Hub. Available at:

- <<https://create.arduino.cc/projecthub/electropeak/arduino-l293d-motor-driver-shield-tutorial-c1ac9b>>
- [50] L293D Motor Driver Shield, (n.d). *Control DC, Stepper & Servo with L293D Motor Driver Shield & Arduino*. [online] Last Minute Engineers. Available at: <<https://lastminuteengineers.com/l293d-motor-driver-shield-arduino-tutorial/>>
- [51] Arduino, (n.d). *SPECIFICATION OF LCD MODULE*. [online] Arduino.cc. Available at: <<https://www.arduino.cc/documents/datasheets/LCDscreen.PDF>>
- [52] Trimmer, (n.d). *Trimmer Potentiometer*. [online] Doc.platan.ru. Available at: <<https://doc.platan.ru/pdf/datasheets/kennon/CA9.pdf>>
- [53] CA9 -CE9, (n.d). *Carbon Potentiometers CA*. [online] Diamondelec.co.uk. Available at: <<https://diamondelec.co.uk/wp-content/uploads/2020/12/CA9-Series-Cermet-Potentiometers.pdf>>
- [54] DC Mini Metal Gear Motor, (n.d). *G12-N20 Geared Mini DC Motor*. [online] Handsontec.com. Available at: <<https://www.handsontec.com/dataspecs/GA12-N20.pdf>>
- [55] Micro Switch, (2010). *MICRO SWITCH™ Standard Subminiature Snap-Action Z Series*. [online] Farnell.com. Available at: <<https://www.farnell.com/datasheets/1676940.pdf>>
- [56] I2C-to-LCD piggy-back board, (n.d). *I2C Serial Interface 1602 LCD Module*. [online] Handsontec.com. Available at: <http://handsontec.com/dataspecs/module/I2C_1602_LCD.pdf>
- [57] Arduino, (n.d). *arduino_Uno_Rev3*. [online] Arduino.cc. Available at: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/Arduino_Uno_Rev3-schematic.pdf>
- [58] Alldatasheet.com. (2022). *IRF520 Datasheet(PDF) - Vishay Siliconix*. [online] Available at: <https://www.alldata<sheet.com/datasheet-pdf/pdf/1418059/VISHAY/IRF520.html>>
- [59] Made-in-China.com. (n.d). *Microswitch Black/White Housing Limit Switch DIP 1A 125VAC 3A 250V Micro Switch*. [online] Available at: <<https://fftech.en.made-in-china.com/product/SwYtgdbOwLkX/China-Microswitch-Black-White-Housing-Limit-Switch-DIP-1A-125VAC-3A-250V-Micro-Switch.html>>
- [60] Agarwal, T., (2022). *Micro Switch : Construction, Circuit, Working, Types & Its Applications*. [online] EIProCus - Electronic Projects for Engineering Students. Available at: <<https://www.elprocus.com/micro-switch/>>
- [61] MS10-Z1P is Micro Switch, (2022). *MicroSwitch Micro SPDT ON-(ON) - Short Lever 11.5mm*. [online] grobotronics.com. Available at: <<https://grobotronics.com/>>
- [62] Tme.eu. (2022). *Electronic components. Distributor, online shop – Transfer Multisort Elektronik*. [online] Available at: <<https://www.tme.eu/en/>>
- [63] RS-15 series, (2022). *15W Single Output Switching Power Supply*. [online] Meanwell.com. Available at: <<https://www.meanwell.com/webapp/product/search.aspx?prod=rs-15>>
- [64] Arduino, (2022). *Arduino® UNO R3*. [online] Docs.arduino.cc. Available at: <<https://docs.arduino.cc/>>

- [65] Users.ece.utexas.edu. (2002). *L293, L293D QUADRUPLE HALF-H DRIVERS*. [online] Available at: <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/L293d.pdf>.
- [66] Getinge, (2022). *Maquet SFC and IPC pads Optimizing patient comfort while reducing costly complications*. [online] Getinge.com. Available at: https://www.getinge.com/dam/hospital/documents/english/maquet-sfc-ipc-pads-en-non_us_canada.pdf.
- [67] ti.com. (2016). *L293x Quadruple Half-H Drivers*. [online] Available at: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/l293.pdf>.
- [68] electronicsfun.com. (n.d). Driver shield for Arduino. [online] Available at: [UserManualforL293DMotorShield.pdf](#).
- [69] Adafruit, (2018). *Matrix Keypad*. [online] Adafruit Learning System. Available at: <https://learn.adafruit.com/matrix-keypad/pinouts>
- [70] Aliexpress. (n.d). *GA12-N20-M3*55 Micro Speed Gear Motor Reduction Gear*. [online] Available at: <https://www.aliexpress.com/i/4001134896334.html>
- [71] Grobotronics, (n.d). *LCD Display I2C Interface Module*. [online] grobotronics.com. Available at: <https://grobotronics.com/lcd-display-i2c-interface-module.html>.
- [72] Seeedstudio, (n.d). *Screw Shield*. [online] Seeedstudio.com. Available at: <https://www.seeedstudio.com/Screw-Shield.html>
- [73] Instructables. (n.d). *Arduino Piano With Piezoelectric Sensors*. [online] Available at: <https://www.instructables.com/Arduino-Piano-With-Piezoelectric-Sensors/>
- [74] Lambert, G., (n.d). *How to Build a Switch Mode Power Supply*. [online] Circuit Basics. Available at: <https://www.circuitbasics.com/what-is-a-switch-mode-power-supply/>