

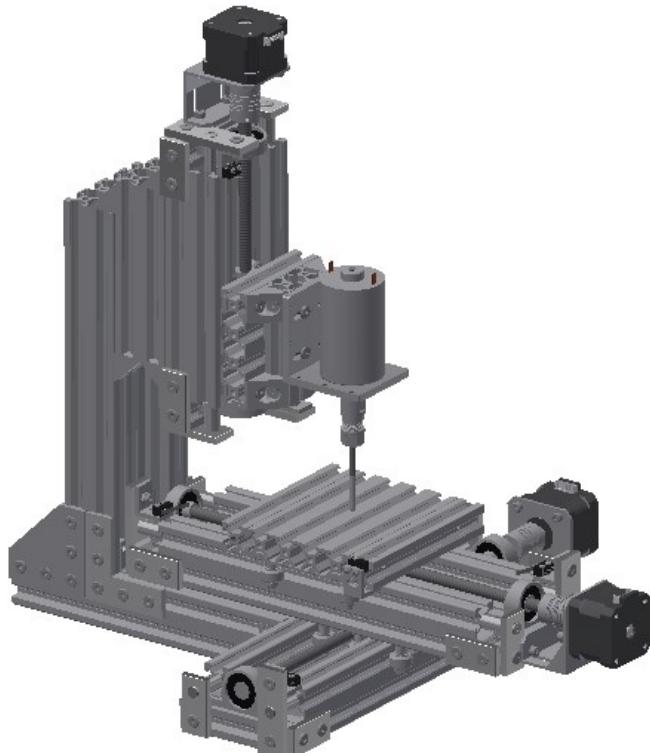
ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ ΕΥΡΙΠΟΥ – ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ  
ΠΠΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ. Ε.

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

### ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑ 3-ΑΞΟΝΙΚΗ ΦΡΕΖΑ CNC ΓΙΑ ΚΟΠΗ ΜΑΛΑΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΑΠΟ ΕΞΥΠΝΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

Όνοματεπώνυμο : Παναγόπουλος Γεώργιος

ΑΜ : ΜΑ08086



Επιβλέπων  
Δρ. Μηχ. Α. Κριμπένης  
Επίκουρος Καθηγητής

ΨΑΧΝΑ 2023



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Αγαθοκλή κριμπένη για την παροχή εμπιστοσύνης, καθοδήγησης, των πολύτιμων συμβούλων και γνώσεων, της εξαιρετικής συνεργασίας μας, με αποτέλεσμα να μου δοθεί η ευκαιρία να ερευνήσω και να μελετήσω περαιτέρω την εξέλιξη των εργαλειομηχανών.

Ευχαριστώ όλους τους καθηγητές και καθηγήτριες οι οποίοι με την πνευματική τους συνεισφορά και το διδακτικό τους έργο αποτέλεσαν στην ικανότητα μου να μελετώ, να ερευνώ και να είμαι σε θέση να επιλύω προβλήματα μηχανολογικής φύσεως.

Ευχαριστώ την οικογένειά μου για τη στήριξη, την εμπιστοσύνη, την κατανόηση, το σεβασμό, τις αρχές και τις αξίες που μου χάρισαν, ώστε να βρεθώ εδώ που είμαι τώρα.

Ευχαριστώ όλους τους φίλους μου και τους συμφοιτητές μου για την εμψύχωση και την αισιοδοξία τους,



# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	5
ABSTRACT .....	6
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	7
Εισαγωγή .....	7
1.1 Σκοπός και στόχοι της εργασίας .....	7
1.2 Ιστορικά στοιχεία .....	8
1.2.1 Εποχή του χαλκού .....	8
1.2.2 Εποχή του σιδήρου.....	8
1.2.3 Σημαντικά επιτεύγματα της αρχαίας ιστορίας .....	8
1.2.4 Η πρώτη εμφάνιση εργαλειομηχανής .....	9
1.2.5 Η εξέλιξη των εργαλειομηχανών έως και σήμερα .....	9
1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση και σχετικές εργασίες .....	11
1.4 Περίληψη των κεφαλαίων .....	12
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Θεωρία .....	13
Εισαγωγή .....	13
2.1 Θεωρία δομικών στοιχείων .....	13
2.1.1 Προφίλ αλουμινίου 2020 .....	14
2.1.2 Προφίλ αλουμινίου 2040 .....	14
2.1.3 Προφίλ αλουμινίου 2080 .....	15
2.1.4 Προφίλ αλουμινίου 4080 .....	15
2.1.5 Ορθογώνιο προφίλ αλουμινίου .....	16
2.1.6 Κυλινδρικό προφίλ αλουμινίου .....	17
2.2 Στοιχεία σύνδεσης .....	17
2.2.1 Κοχλίες .....	17
2.2.2 Περικόχλια .....	17
2.2.3 Βάσεις και γωνίες .....	18
2.2.4 Εξάρτημα συγκράτησης κοπτικών εργαλείων .....	18
2.2.5 Σύνδεσμοι Ένωσης αξόνων .....	18
2.2.6 Παράκυκλοι και αποστάτες .....	18
2.3 Στοιχεία μετάδοσης κίνησης.....	19
2.3.1 Ράουλα κύλισης.....	19
2.3.2 Έδρανα κύλισης .....	19
2.3.3 Τραπεζοειδής κοχλίες.....	19
2.3.4 Περικόχλια απαλοιφής διάκενου .....	19
2 .4 Ηλεκτρομηχανικά μέρη .....	19
2.4.1 Βηματικοί κινητήρες .....	19
2.4.2 Κινητήρας περιστροφής κοπτικού εργαλείου .....	20
2.5 Ηλεκτρολογικό υλικό .....	21
2.5.1 Τροφοδοτικό.....	21
2.5.2 Καλωδίωση .....	21

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

2.5.3 Τερματικοί διακόπτες .....	22
2.6 Ψηφιακός μικροϋπολογιστής .....	22
2.6.1 Ο Μικροϋπολογιστής ARDUINO.....	22
2.6.2 Αρχιτεκτονική μνήμης του μικρού υπολογιστή .....	22
2.6.3 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας .....	23
2.6.4 Μονάδα ελέγχου.....	23
2.7 Έξυπνες συσκευές .....	23
2.8 Αισθητήρες και μικροκυκλώματα .....	23
2.8.1 Αισθητήρες.....	24
2.8.2 Δίαυλος ασύρματης επικοινωνίας .....	24
2.9 Λογισμικά εφαρμογές και προγράμματα .....	24
2.9.1 Λογισμικό εργαλειομηχανής.....	24
2.9.2 Εφαρμογή αποστολέα G - κώδικα .....	32
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Πρακτική εφαρμογή .....</b>	<b>37</b>
3.1 Εισαγωγή .....	37
3.1.1 Όψη προσέγγισης του θέματος.....	38
3.1.2 Ροή εργασίας.....	38
3.1.3 Βλέψεις και επιδιώξεις .....	40
3.2 Θεωρητικός σχεδιασμός .....	40
3.2.1 Μέθοδος σχεδιασμού .....	41
3.2.2 Σχέδια συναρμογών .....	42
3.3 Μελέτες .....	46
3.3.1 Μελέτη στατικής επάρκειας.....	46
3.3.2 Μελέτη ισχύος κοπής .....	49
3.4 Οικονομοτεχνική ανάλυση .....	49
3.4.1 Κόστος .....	49
3.5 Πειράματα εφαρμογής .....	52
3.5.1 Στήριξη τραπεζοειδές περικοχλίου .....	52
3.5.2 Αποστάτες .....	53
3.5.3 Σύνδεσμοι Ένωσης προφίλ .....	54
3.6 Κατασκευή εξαρτημάτων .....	54
3.6.1 Βάση στήριξης τραπεζοειδές περικοχλίου .....	55
3.6.2 Προφίλ 2040 Πρόσδεσης τραπεζιού .....	56
3.6.4 Αποστάτες .....	57
3.6.5 Τροποποίηση τραπεζοειδές περικοχλίου .....	57
3.6.6 Τροποποίηση βάσης βηματικού κινητήρα .....	58
3.6.7 Τροποποίηση προφίλ 2020 .....	58
3.7 Συναρμολόγηση.....	59
3.7.1 Συναρμογές Αξόνων κίνησης.....	59
3.7.2 Συναρμογή κορμού .....	65
3.7.3 Ολοκλήρωση συναρμογής της εργαλειομηχανής .....	67
3.8 Εγκατάσταση λογισμικού και συρμάτωση μικροϋπολογιστή .....	69
3.8.1 Συρμάτωση μικροϋπολογιστή .....	70
3.9 Πειράματα λειτουργίας .....	72
3.9.1 Μετρήσεις αποτελέσματος .....	74

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Συμπεράσματα .....	76
4.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων .....	76
4.2 Συμπεράσματα .....	77
4.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα.....	78
 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	79
Βιβλία .....	79
Σελίδες στο διαδίκτυο .....	79



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εργασία έχει ως σκοπό τη σχεδίαση και την κατασκευή τριαξονικής φρέζας ασύρματης ψηφιακής καθοδήγησης από έξυπνες συσκευές

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε συνέδεσε επεκτάσιμες εφαρμογές της τεχνολογίας της μηχανουργίας με το σχέδιο χρησιμοποιώντας πρότυπες διατομές και προγράμματα ανοιχτού κώδικα. Η ψηφιακή τεχνολογία και οι αυτοματισμοί θα καθορίσουν κρίσιμο ρόλο στην εξέλιξη των συμβατικών σταθερών εργαλειομηχανών αναλογικής λειτουργίας.

Λέξεις κλειδιά: Έξυπνες συσκευές, Ψηφιακή τεχνολογία, Τριαξονική φρέζα

---

**Abstract**

## **ABSTRACT**

The thesis aims at the design and construction of a three-axis milling machine for wireless digital guidance from smart devices.

The method followed linked extensible applications of mechanical engineering technology to the design using standard cross-sections and open source programs. The bottom line is that digital technology and automation will play a crucial role in the evolution of conventional fixed analog machine tools.

Keywords: Smart devices, Digital technology, three-axis milling machine.

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

## **Εισαγωγή**

Το θέμα το οποίο εξετάζουμε, με τίτλο (ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΑ 3-ΑΞΟΝΙΚΗ ΦΡΕΖΑ CNC ΓΙΑ ΚΟΠΗ ΜΑΛΑΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΑΠΟ ΕΞΥΠΝΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ) εστιάζει στη μελέτη και το σχεδιασμό τριαξονικής φρέζας, χρησιμοποιώντας την ασύρματη τεχνολογία Bluetooth για την ψηφιακή καθοδήγηση από έξυπνες συσκευές συνοδευόμενες από προγράμματα ανοιχτού κώδικα.

## **1.1 Σκοπός και στόχοι της εργασίας**

Σκοπός της παρούσας εργασίας ο συνδυασμός παλιότερων μεθοδολογιών με νεότερες ώστε το αποτέλεσμα να είναι η προσβασιμότητα σε νέες τεχνολογίες, την προσπάθεια ενοποίησης τεχνολογιών και εργαλείων, η αυτοματοποίηση λειτουργιών ώστε να καθίσταται η εργασία στις εργαλειομηχανές από απόσταση περισσότερο προσιτή και εύκολη. Για την επίτευξη της εργασίας υλοποιήθηκαν οι παρακάτω στόχοι:

- Μελέτη και εκμάθηση του σχεδιαστικού προγράμματος inventor.
- Μελέτη στατικής επάρκειας και αποκλίσεων.
- Οικονομοτεχνική ανάλυση μέσω αναζήτησης επιμέρους εξαρτημάτων και των τρισδιάστατων σχεδίων αυτών στο διαδίκτυο.

## **Κεφαλαίο 1. Εισαγωγή**

---

- Τρισδιάστατη σχεδίαση ορισμένων επιμέρους εξαρτημάτων και της συναρμογής της εργαλειομηχανής.
- Δημιουργία φασεολόγιου και κατασκευή ορισμένων επιμέρους εξαρτημάτων μέσω της εργαλειομηχανής emco5.
- Μελέτη και εγκατάσταση του προγράμματος grbl.
- Μελέτη και εγκατάσταση της εφαρμογής gcode2grbl.
- Συναρμολόγηση και παραμετροποίηση της εργαλειομηχανής.

## **1.2 Ιστορικά στοιχεία**

Σύμφωνα με την έως τώρα γνωστή ιστορία του ανθρώπου από την πρώτη εμφάνιση του στον πλανήτη βρέθηκε στην ανάγκη να χρησιμοποιήσει ένα μέσο πιο σκληρό από τα χέρια του. Ανθρωπολόγοι και ιστορικοί αναφέρουν πως ο άνθρωπος χρησιμοποίησε εργαλεία από ξύλα και λίθους. Στη λίθινη εποχή ο πρωτόγονος άνθρωπος ξεκίνησε να επεξεργάζεται αυτά τα δύο υλικά που έβρισκε εύκολα στο περιβάλλον.

### **1.2.1 Εποχή του χαλκού**

Η εποχή του χαλκού η οποία χρονολογείται από το 3000 π.χ. Μέχρι το 1000 π.χ. Όπου χρυσός, άργυρος και χαλκός μέταλλα χαμηλής θερμοκρασίας τήξεως με τη χρήση της φωτιάς άρχισαν να επεξεργάζονται. Ο άνθρωπος ξεκίνησε να εξορίσει το χαλκό και να παράγει χάλκινα αντικείμενα αλλά και μπρούτζινα με την εισαγωγή του κασσίτερου. Έτσι κατασκευάστηκαν τα πρώτα μεταλλικά εργαλεία όπου και αναπτύχθηκε η μεταλλουργία. Μερικά από τα εργαλεία εκείνης της εποχής ήταν ο πέλεκυς, το αμόνι, τα μαχαίρια.

### **1.2.2 Εποχή του σιδήρου**

Η εποχή του σιδήρου στην Ελλάδα ξεκινάει από το 1200 π.χ. έως το 800 π.χ. όπου άρχισε να αναπτύσσεται η σιδηρουργία. Σημαντικό επίτευγμα της εποχής ήταν η εφεύρεση της φρεατώδους καμίνου η οποία εφαρμοζόταν μέχρι και τα τέλη του 19ου αιώνα. Έκτοτε επεκτάθηκε η μεταλλουργία του σιδήρου και η επεξεργασία του με τη θερμή σφυρηλάτηση και βαφή για την επίτευξη βελτιωμένων μηχανικών ιδιοτήτων.

### **1.2.3 Σημαντικά επίτευγματα της αρχαίας ιστορίας**

Σημαντικά επιτεύγματα της μηχανικής της αρχαίας κλασικής εποχής μεταξύ του τετάρτου αιώνα π.χ. και δεύτερου μ.χ. από κάποια σημαντικά ιστορικά πρόσωπα όπως ήταν ο Αρχύτας, ο Αρχιμήδης, ο Ήρων.

Οι σπουδαιότερες εφευρέσεις και ανακαλύψεις της χρονικής περιόδου ήταν Η τροχαλία, ο κοχλίας, η ιονόσφαιρα και η σημαντικότερη εφεύρεση και πιο προηγμένη της εποχής ήταν ο μηχανισμός των Αντικυθήρων όπου φαίνεται για πρώτη φορά πώς χρησιμοποιούνται οδοντωτοί τροχοί κατασκευασμένοι από μπρούτζο όπως συμβαίνει μέχρι και τις μέρες μας.

#### **1.2.4 Η πρώτη εμφάνιση εργαλειομηχανής**

Με τον όρο εργαλειομηχανή στη σύγχρονη εποχή εννοείται μία διάταξη μηχανής η οποία κατεργάζεται μεταλλικά τεμάχια μέσω της περιστροφικής κίνησης διαμορφώνοντας τα με την χρήση ενός εργαλείου κοπής. Σύμφωνα με τα έως τώρα ιστορικά ευρήματα η πρώτη εργαλειομηχανή τόρνου χρησιμοποιήθηκε από τους Αιγυπτίους από το 1300 π.χ. και πιθανότατα τόρνος κατεργασίας ξύλου. Η περιστροφική κίνηση επιτυγχάνονταν με τη χρήση σχοινιού τυλιγμένο σε τόξο και τυλιγμένο με μία περιέλιξη στο κατεργαζόμενο τεμάχιο.

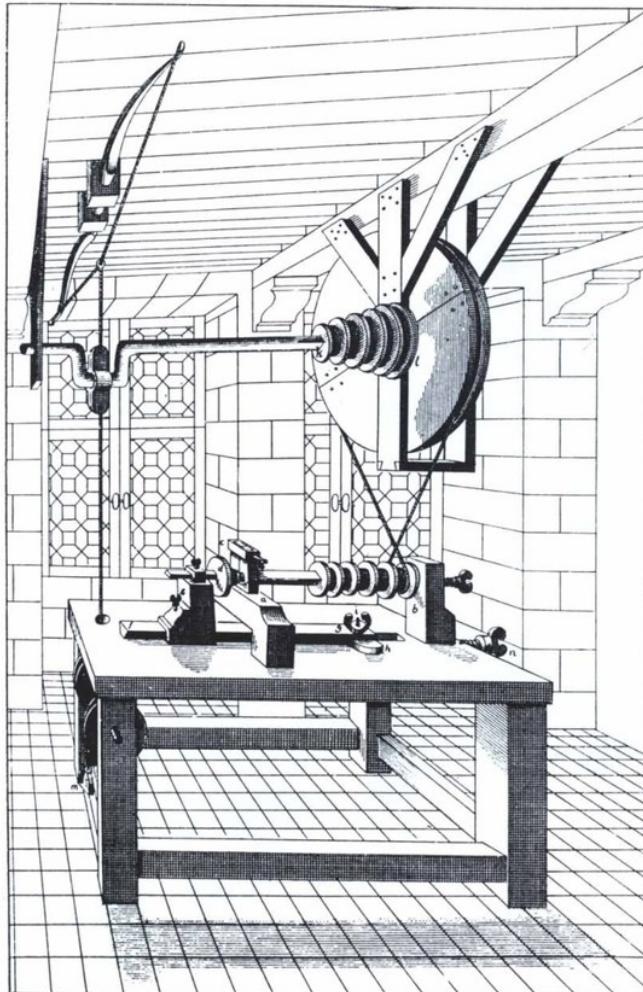


shutterstock.com - 86393401

**Εικόνα 1.2.4** Εργαλειομηχανή τοξωτού ξυλότορνου στην Αίγυπτο.

#### **1.2.5 Η εξέλιξη των εργαλειομηχανών έως και σήμερα**

Κατά την πάροδο του χρόνου έγιναν προσπάθειες για βελτιώσεις του τόρνου με σκοπό την ευκολότερη εργασία των χειριστών. Γύρω στα 1400 παρατηρούνται βελτιώσεις για τη διαχείριση τις μνήκης ενέργειας του χειριστή. Σε πηγές αναφέρεται πως τον 17ο αιώνα μία αρκετά βελτιωμένη εργαλειομηχανή τόρνου αναπτύχθηκε και περιγράφεται από τον Γάλλο Cherubini d'Orléans κατασκευαστή επιστημονικών οργάνων και διακεκριμένο φυσικό της εποχής.



LATHE OF 1671 was remarkably advanced for its time. The bow drive was powered by an apprentice who placed his foot in a stirrup (m) and pumped. The crankshaft was turned by the combined action of foot and bow. A large flywheel kept the piece turning smoothly. The lathe, described by Cherubin d'Orleans, used pulleys of various sizes to provide various speeds of revolution.

| 32

© 1963 SCIENTIFIC AMERICAN, INC

#### Εικόνα 1.2.5 Ποδοκίνητος τοξωτός τόρνος έτους 1671.

Σήμερα οι εργαλειομηχανές ενσωματώνουν όλο και περισσότερες ψηφιακές τεχνολογίες και αυτοματισμούς καθώς εισάγουν τη χρήση της τεχνητής νοημοσύνης. Από τις κορυφαίες εταιρίες θεωρείται η Ιαπωνική Yamazaki Mazak παράγοντας κέντρα κατεργασίας πέντε αξόνων και άλλες CNC εργαλειομηχανές.



**Εικόνα 1.2.5** Κέντρο κατεργασίας της εταιρείας Mazak.

### **1.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση και σχετικές εργασίες**

Για τη πραγματοποίηση της πτυχιακής εργασίας πληροφορίες όπου η αναζήτηση έγινε βάση ελεύθερης πρόσβασης σε αυτές αντλήθηκαν από το διαδίκτυο, από τις βάσεις δεδομένων Google Scholar, JSTOR, και από βιβλία της μηχανολογίας. Μέρη της εργασίας στηριχτήκανε σε έρευνες άλλων μελετητών οι οποίοι με τη δημοσιοποίηση των έργων τους συνέβαλαν στην έρευνα στη μελέτη και στην αξιοποίηση προσβάσιμων τεχνολογιών χαμηλού κόστους.

Ο κορμός της ψηφιακής καθοδήγησης βασίστηκε στο πρόγραμμα Grbl. Δημιουργός του ο Simen Svale Skogsrød η πρώτη του δημοσίευση έγινε το 2009. Την τρέχον περίοδο συντηρείται από τον Sungeun K. Jeon όπου φιλοξενείται στην κοινότητα του github.

Μέσω της εφαρμογής G-Code2GRBL διαθέσιμη στο Google Play όπου ο δημιουργός της είναι ο Andreas Thölke επιτυγχάνεται η ασύρματη επικοινωνία και η αποστολή των G κώδικα.

## **1.4 Περίληψη των κεφαλαίων**

Συνοπτικά τα μέρη που χωρίστηκε η εργασία κατατάσσονται σε τέσσερα επιμέρους κεφάλαια. Η ιεραρχική δομή της εργασίας ακολουθεί την παρακάτω ροή.

- Στο πρώτο κεφάλαιο περιγράφονται οι ορισμοί του τίτλου και γίνεται περιγραφή του αντικειμένου της εργασίας. Προσδιορίζεται ο σκοπός και ο στόχος ,επίσης αναφέρονται ιστορικά στοιχεία μέσω σύντομης ιστορικής ανασκόπησης. Σύνοψη βιβλιογραφίας και σχετικές εργασίες.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο περιέχεται η θεωρητική υποστήριξη και η πληροφορίες που σχετίζονται με τα υλικά, τα επιμέρους εξαρτήματα, τους μηχανισμούς , τα προγράμματα και την εφαρμογή έξυπνων συσκευών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για την πραγματοποίηση της πτυχιακής εργασίας.
- Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιείται η πρακτική εφαρμογή, όπου επίσης επεξεργάζονται και όλες οι πληροφορίες του δεύτερου κεφαλαίου. Υλοποιούνται μελέτες, σχέδια, διαγράμματα. Περιγράφεται η κατεργασία υλικών και εξαρτημάτων αλλά και η διαδικασία της συναρμολόγησης. Καταγράφονται τα αποτελέσματα πειραμάτων και δοκίμων και γίνεται σχολιασμός αυτών.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο συνοψίζονται τα αποτελέσματα και οι σχολιασμοί όπου και εξάγονται συμπεράσματα. Γίνονται συγκρίσεις μεταξύ παρόμοιων μηχανών και μεθοδολογιών. Στο τέλος διατυπώνονται προτάσεις και συστάσεις για την βελτίωση και την επέκταση της εργασίας.

Ακολουθεί η βιβλιογραφία της εργασίας με όλες τις πηγές των πληροφοριών. Στην συνέχεια τα παραρτήματα τα οποία περιέχονται τα σχέδια όλων των εξαρτημάτων και οι κώδικες των προγραμμάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Θεωρία

### Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο καταγράφονται οι ιδιότητες, τα χαρακτηριστικά, οι προδιαγραφές και όλες τις πληροφορίες σχετικά με τα επιμέρους εξαρτήματα. Περιγράφεται η αρχή λειτουργίας και ο σκοπός της χρήσης.

### 2.1 Θεωρία δομικών στοιχείων

Για το πλαίσιο και την στήριξη των επιμέρους εξαρτημάτων, το κύριο υλικό κατασκευής είναι το αλουμίνιο 6063 T5 με ιδιότητες του πίνακα 2.1.

**Πίνακας 2.1.** Ιδιότητες αλουμινίου 6063 T5.

Χημική σύνθεση			
α/α	Χημικό στοιχείο	Συμβολισμός	Περιεκτικότητα
1	Αλουμίνιο	Al	<=97,5%
2	Μαγνήσιο	Mg	0,45-0,9%
3	Πυρίτιο	Si	0,2-0,6%
4	Σιδηρος	Fe	<=0,35%
5	Μαγγάνιο	Mn	<=0,1%
6	Χαλκός	Cu	<=0,1%
7	Χρώμιο	Cr	<=0,1%
8	Ψευδάργυρος	Zn	<=0,1%
9	Τιτάνιο	Ti	<=0,1%
10	Άλλα στοιχεία	-	0,05-0,15%

## Κεφαλαίο 2. Θεωρία

Φυσικές ιδιότητες				
α/α	Μέγεθος	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδα μέτρησης
11	Πυκνότητα	d	2,70	$\frac{gr}{cm^3}$
Μηχανικές ιδιότητες				
12	Μέγιστη εφελκυστική τάση	σmax	186	MPa
13	Όριο διαρροής	σ	145	MPa
14	Μέτρο ελαστικότητας	E	68,9	GPa
Θερμικές Ιδιότητες				
15	Συντελεστής θερμικής διαστολής (20-100)°C	α	21,8	$\frac{\mu m}{m \cdot ^\circ C}$
16	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας	k	209	$\frac{w}{m \cdot K}$

### 2.1.1 Προφίλ αλουμινίου 2020

Το προφίλ αυτό χρησιμοποιήθηκε ως φορέας σύνδεσης στις συναρμογές των αξόνων κίνησης. Συμβάλλει στην στήριξη των εδράνων του τραπεζοειδούς κοχλίας, αλλά και στην επέκταση της Τραπέζης. Παρακάτω στον πίνακα 2.1.1 δίνονται οι ροπές αδράνειας της διατομής του προφίλ από τον κατασκευαστή.

Πίνακας 2.1.1

Προφίλ αλουμινίου 2020				
Mέγεθος	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδα μέτρησης	
Ροπή αδράνειας ως προς X άξονα	$I_X$	$6,998 \times 10^{-9}$	$m^4$	
Ροπή αδράνειας ως προς Y άξονα	$I_Y$	$6,998 \times 10^{-9}$	$m^4$	

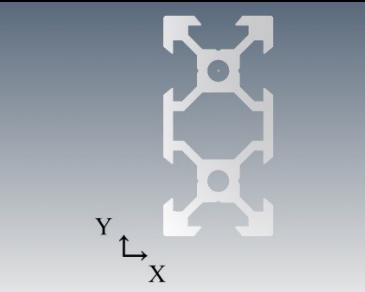
### 2.1.2 Προφίλ αλουμινίου 2040

Η χρήση προφίλ 2040 συναντάται σε δύο εφαρμογές. Ως ενωτικός σύνδεσμος μεταξύ της βάσης του κινητήρα περιστροφής του κοπτικού εργαλείου και του τραπεζιού της συναρμογής κίνησης κατακόρυφης διεύθυνσης του άξονα Z.

Η δεύτερη εφαρμογή βρίσκεται σε κάθε συναρμογή κίνησης των τριών αξόνων X, Y και Z. Το προφίλ αυτό τοποθετείται στο κέντρο και κάτω από το εκάστοτε τραπέζι συναρμογής κίνησης, εξαιρουμένου της συναρμογής κίνησης κατά τον άξονα Y όπου εδράζεται στη βάση της συναρμογής κίνησης. Στο στο άκρο του κάθε προφίλ εδράζεται

το τραπεζοειδή περικόχλιο. Δίνονται οι ροπές αδράνειας της διατομής από τον κατασκευαστή στον παρακάτω πίνακα 2.1.2.

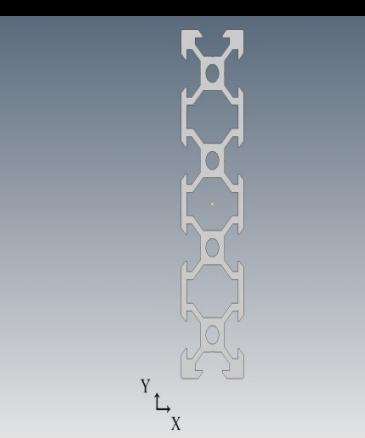
Πίνακας 2.1.2

Προφίλ αλουμινίου 2040				
	Μέγεθος	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδα μέτρησης
	Ροπή αδράνειας ως προς X άξονα	$I_X$	$48,163 \times 10^{-9}$	$m^4$
	Ροπή αδράνειας ως προς Y άξονα	$I_Y$	$12,305 \times 10^{-9}$	$m^4$

### 2.1.3 Προφίλ αλουμινίου 2080

Η εφαρμογή του προφίλ 2080 σε δύο περιπτώσεις είναι ως τραπέζι. Στη συναρμογή κίνησης κατά διεύθυνση Y όπου εκεί δένονται τα τεμάχια προς κατεργασία, και στη συναρμογή κινήσεις κατά διεύθυνση Z που στερεώνεται ο κινητήρας περιστροφής του κοπτικού εργαλείου. Στον πίνακα 2.1.3 δίνονται από τον κατασκευαστή οι ροπές αδράνειας.

Πίνακας 2.1.3

Προφίλ αλουμινίου 2080				
	Μέγεθος	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδα μέτρησης
	Ροπή αδράνειας ως προς X άξονα	$I_X$	$336,224 \times 10^{-9}$	$m^4$
	Ροπή αδράνειας ως προς Y άξονα	$I_Y$	$22,938 \times 10^{-9}$	$m^4$

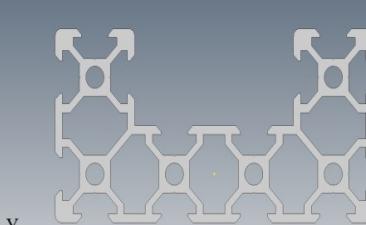
### 2.1.4 Προφίλ αλουμινίου 4080

Χρησιμοποιήθηκε για το μεγαλύτερο μέρος της κατασκευής ως κύριο δομικό στοιχείο. είναι ο φορέας στον οποίο περιστρέφονται και κινούνται τα ράουλα κατά μήκος του προφίλ και των αξόνων διεύθυνσης X ,Y και Z . Χρησιμοποιείται ως κατακόρυφη Δοκός και ως βάση Αυτής για την στήριξη της συναρμογής κίνησης. Επίσης μεταξύ της συναρμογής κίνηση Z και της κατακόρυφης δοκού παρεμβάλλεται

## Κεφαλαίο 2. Θεωρία

ως αποστάτης ώστε η διεύθυνση του άξονα Z να τέμνει κάθετα το επίπεδο και να διέρχεται από το σημείο όπου τέμνονται ο άξονας X και Y. Από τον κατασκευαστή δίνονται οι ροπές αδράνειας στον παρακάτω πίνακα 2.1.4.

Πίνακας 2.1.4

Προφίλ αλουμινίου 4080			
	Μέγεθος	Συμβολισμός	Τιμή
	Μονάδα μέτρησης		
	Ροπή αδράνειας ως προς X άξονα	$I_X$	$117,760 \times 10^{-9}$
	Ροπή αδράνειας ως προς Y άξονα	$I_Y$	$565,646 \times 10^{-9}$

## 2.1.5 Ορθογώνιο προφίλ αλουμινίου

Το προφίλ αυτό χρησιμοποιήθηκε σε κάθε συναρμογή κίνησης ως ενωτικός σύνδεσμος μεταξύ των προφίλ 4080 και 2020. Επίσης εφαρμόστηκε ως βάση στα τραπεζοειδή περικόχλια. Από τη θεωρία έχουν δοθεί οι μαθηματικές σχέσεις (1.1) και (1.2) οπού προκύπτουν οι ροπές αδράνειας στον παρακάτω πίνακα 2.1.5.

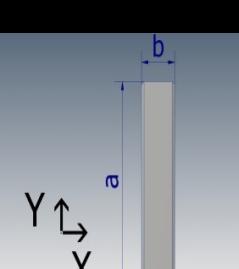
$$I_Y = \frac{1}{12} ab^3 \quad (1.1)$$

$$I_Y = \frac{1}{12} 20 \times 5^3 (\text{mm}^4)$$

$$I_X = \frac{1}{12} ba^3 \quad (1.2)$$

$$I_X = \frac{1}{12} 5 \times 20^3 (\text{mm}^4)$$

Πίνακας 2.1.5

Ορθογώνιο προφίλ αλουμινίου				
	Μέγεθος	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδα μέτρησης
	Ροπή αδράνειας ως προς X άξονα	$I_X$	$3,33 \times 10^{-9}$	$m^4$
	Ροπή αδράνειας ως προς Y άξονα	$I_Y$	$2,08 \times 10^{-10}$	$m^4$

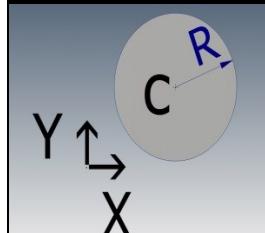
### 2.1.6 Κυλινδρικό προφίλ αλουμινίου

Χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή αποστατών το που παρεμβάλλονται μεταξύ των ράουλων κύλισης και τον τραπεζιών των αξόνων X και Z, στη συναρμογή κινήσεις του άξονα Y αντικαθίσταται το τραπέζι με το προφίλ αλουμινίου 4080 πού είναι η βάση.

$$I_X = \frac{\pi}{4} R^4 \quad (1.3)$$

$$I_Y = \frac{\pi}{4} R^4 \quad (1.4)$$

Πίνακας 2.1.6

Κυλινδρικό προφίλ αλουμινίου				
	Μέγεθος	Συμβολισμός	Τιμή	Μονάδα μέτρησης
	Ροπή αδράνειας ως προς X άξονα	$I_X$	$3,21 \times 10^{-9}$	$m^4$
	Ροπή αδράνειας ως προς Y άξονα	$I_Y$	$3,21 \times 10^{-9}$	$m^4$

### 2.2 Στοιχεία σύνδεσης

Όλες οι ενώσεις της κατασκευής συνδέθηκαν μέσω της συναρμογής κοχύλια και περικοχλίου. Βοηθητικά χρησιμοποιήθηκαν βάσεις για ορισμένα εξαρτήματα, επίσης στοιχεία συμβατά με τη σειρά 20 προφίλ αλουμινίου πού αναλύονται παρακάτω.

#### 2.2.1 Κοχλίες

Οι κοχλίες περικόχλια και τα σπειρώματα είναι θεμελιώδης στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν για την στερέωση τι σύσφιξη και τις συνδέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων.

Ειδικού τύπου κοχλίες σχήματος κεφαλής T συμβατή με προφίλ της σειράς 20, κοχλίες με κυλινδρική κεφαλή και εσωτερικό εξάγωνο συνήθης αλλά και χαμηλού προφίλ, κοχλίες στερέωσης, κοχλίες με κοχλίες με ημισφαιρική κεφαλή. Αποτελούμενη από κράμα χάλυβα ποιότητας 10 . 9 με συνήθη τριγωνικά δεξιόστροφα σπειρώματα σύνδεσης μιας αρχής.

#### 2.2.2 Περικόχλια

Εξειδικευμένος τύπος τετραγωνικού περικοχλίου σχήματος v διατομής για να

## **Κεφαλαίο 2. Θεωρία**

---

εφαρμόζονται στα προφίλ αλουμινίου σειράς 20, εξαγωνικά περικόχλια σπειρώματος M4, M5 και επίσης εξαγωνικά περικόχλια ασφαλείας κατηγορίας αντοχής 10 αποτελούμενα από κράμα χάλυβα.

### **2.2.3 Βάσεις και γωνίες**

Βάσεις χρησιμοποιήθηκαν για τη στήριξη των βηματικών κινητήρων, επίσης για τη στήριξη του κινητήρα περιστροφής κοπτικών εργαλείων. Γωνίες εσωτερικές και εξωτερικές χρησιμοποιήθηκαν για την κάθετη στήριξη τον προφίλ αλουμινίου 40 80.

### **2.2.4 Εξάρτημα συγκράτησης κοπτικών εργαλείων**

Με τη χρήση αυτού του εξαρτήματος υπάρχει δυνατότητα συγκράτησης κοπτικών εργαλείων διαφορετικών διαμέτρων από ένα χιλιοστό μέχρι 7 με τη χρήση επτά διαφορετικών σφιγκτήρων κωνικής μορφής από το ένα άκρο ενώ από το άλλο γίνεται σύσφιξη μέσω ενός περικοχλίου. Κατά συνέπεια σφίγγεται και το κοπτικό εργαλείο. Εδράζεται σε άξονα 5mm μέσω δύο κοχλιών στερέωσης.

### **2.2.5 Σύνδεσμοι Ένωσης αξόνων**

Συνδέονται άξονες διαμέτρου 5 και 8 χιλιοστών μέσω δύο κοχλιών στερέωσης σε κάθε άκρο, αποτελούμενοι από αλουμίνιο. Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό είναι ότι εμφανίζεται ένας μικρός βαθμός ελευθερίας κάμψης ως προς το μήκος του ενώ δεν επιτρέπεται η στρέψη. Η ιδιαιτερότητα αυτή προκύπτει λόγω σχήματος στο μέσον του που μιμείται σπείρες ενός ελατηρίου.

### **2.2.6 Παράκυκλοι και αποστάτες**

Παράκυκλοι κοχλιών πάχους 1 και 2 χιλιοστών εξωτερικής διαμέτρου 8 και 8 χιλιοστών και εσωτερική διαμέτρου 5 χιλιοστών τοποθετήθηκαν στους κοχλίες συγκράτησης του βηματικού κινητήρα και στους κοχλίες σχήματος T μεταξύ της επιφάνειας έδρασης του προφίλ και του κυλινδρικού αποστάτη μήκους 7,5 χιλιοστών εξωτερικής διαμέτρου 8 χιλιοστών και εσωτερικής 5 χιλιοστών. Κυλινδρικοί αποστάτες εξωτερικής διαμέτρου 10 χιλιοστών εσωτερικής διαμέτρου 5 χιλιοστών και μήκους 20 χιλιοστών ενίσχυσαν τη στήριξη των εδράνων κύλισης του τραπεζοειδούς περικοχλίου

## 2.3 Στοιχεία μετάδοσης κίνησης

### 2.3.1 Ράουλα κύλισης

Χρησιμοποιούνται για την κίνηση των τραπεζιών όπου είναι πακτωμένα πάνω σε αυτά, και περιστρέφονται κινούμενα στα εσωτερικά των προφίλ αλουμινίου 4080. Κατασκευάζονται από πολυκαρβονικό πολυμερή υλικό το οποίο έχει αντοχή 5 mega pascal. Δεξιά και αριστερά του βρίσκονται εσοχές στις οποίες τοποθετούνται συνολικά δύο έδρανα κύλισης κατάλληλα για αξονικές και ακτινικές φορτίσεις.

### 2.3.2 Έδρανα κύλισης

Για τη στήριξη των τραπεζοειδή κοχλία μετάδοσης κίνησης και στα ράουλα κύλισης χρησιμοποιήθηκαν έδρανα κύλισης μονοσφαιρικά κατάλληλα να δέχονται ακτινικά και αξονικά φορτία τοποθετημένα σε βάσεις, στο κάθε άκρο διατίθενται σπειροτομημένες οπές για τους κοχλίες στερέωσης.

### 2.3.3 Τραπεζοειδής κοχλίες

Χρησιμοποιήθηκαν για την κίνηση των τραπεζιών. Τραπεζοειδής κοχλίας μιας αρχής 8 χιλιοστών διαμέτρου και βήματος δεξιόστροφου σπειρώματος κίνησης δύο χιλιοστών.

### 2.3.4 Περικόχλια απαλοιφής διάκενου

Συνεργαζόμενο με τραπεζοειδής δεξιόστροφο σπείρωμα κινήσεις μιας αρχής βήματος 2 χιλιοστών εσωτερικής διαμέτρου 8 χιλιοστών. Το περικόχλιο είναι χωρισμένο σε δύο μέρη ως δύο ξεχωριστά περικόχλια τα οποία εφάπτονται με 2 εσοχές και 2 προεξοχές. Στο ενδιάμεσο τοποθετείται ελατήριο τάσης 5 Newton με σκοπό την απαλοιφή του διάκενου πού παρατηρείται κατά την αλλαγή φοράς περιστροφής.

## 2.4 Ηλεκτρομηχανικά μέρη

### 2.4.1 Βηματικοί κινητήρες

Για την μετατόπιση του τεμαχίου προς κατεργασία κατά τις διευθύνσεις των

## **Κεφαλαίο 2. Θεωρία**

οριζόντιων αξόνων χ και ψ αλλά και για την μετατόπιση του κοπτικού εργαλείου κατά τον κατακόρυφο άξονα Ζ χρησιμοποιήθηκαν βηματικοί κινητήρες συνεχούς ρεύματος κλειστού βρόγχου έμμεσης ανάδρασης.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του βηματικού κινητήρα είναι πως διαθέτει συριακή θύρα και μπορούν να αποσταλούν με δεδομένα ανατροφοδότησης σε υπολογιστή. Διαθέτει λειτουργία βαθμονόμησης και αναφοράς σφαλμάτων. Παρακάτω δίνεται ο πίνακας 2.4.1 με πληροφορίες από τον κατασκευαστή.

**Πίνακας 2.4.1**

Τεχνικά χαρακτηριστικά βηματικού κινητήρα		
α/α	Παράμετρος	Τιμή
1	Τάση εισόδου	12-24 V
2	Μέγιστη ένταση ρεύματος	±2 A
3	Μέγιστες στροφές	1000 rpm
4	Συχνότητα ανατροφοδότησης	6 KHZ
5	Ακρίβεια	0,1125°
6	Υποδιαιρεση βημάτων	16,32,64,128,256
7	Μικροϋπολογιστής	ATSAMD21G18A
8	Μαγνητικός αισθητήρας	A1333
9	Κύκλωμα οδήγησης κινητήρα	A4954

## **2.4.2 Κινητήρας περιστροφής κοπτικού εργαλείου**

Ηλεκτρικός Κινητήρας συνεχούς ρεύματος με τεχνικά χαρακτηριστικά του παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 2.4.2**

Τεχνικά χαρακτηριστικά κινητήρα ατράκτου		
α/α	Παράμετρος	Τιμή
1	Ισχύς	150 W
2	Τάση λειτουργίας	6~12 V
3	Ένταση ρεύματος	1~12,5 A
4	Εύρος στροφών	1000~12000 RPM

## 2.5 Ηλεκτρολογικό υλικό

### 2.5.1 Τροφοδοτικό

Για τις απαιτήσεις συστήματος σε ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτικό από το οποίο μετατρέπεται η τάση του δικτύου 220 volt σε 12 volt και ισχύς 240 watt με μέγιστη ένταση ρεύματος 20 αμπέρ. Παρέχεται ασφάλιση με αυτόματη διακοπή της λειτουργίας σε περίπτωση βραχυκυκλώματος ή υπερφόρτωσης του κυκλώματος.

### 2.5.2 Καλωδίωση

Για τη μεταφορά της Ηλεκτρικής Ενέργειας από την παροχή του δικτύου στο τροφοδοτικό χρησιμοποιήθηκε καλώδιο εύκαμπτο H07RN-F 3x2.5 τετραγωνικά χιλιοστά μονωμένο με εξωτερική επένδυση από καουτσούκ. Για την σύνδεση του κινητήρα περιστροφής του κοπτικού εργαλείου χρησιμοποιήθηκε πυράντοχο καλώδιο 200 βαθμών Κελσίου εξωτερικής επένδυσης από σιλικόνη εμβαδόν διατομής 2,5 τετραγωνικά χιλιοστά. Για την τροφοδοσία των βηματικών κινητήρων χρησιμοποιήθηκε καλώδιο εμβαδού διατομής 1,5 τετραγωνικό χιλιοστό με εξωτερική μόνωση.

Για την σύνδεση των μικροϋπολογιστών σε τάση 5 volt έγινε η χρήση καλωδίου εμβαδού διατομής 0,5 τετραγωνικά χιλιοστά με εξωτερική μόνωση ενώ για τη μεταφορά ψηφιακών σημάτων χρησιμοποιήθηκαν καλώδια εμβαδό διατομής 0,25 τετραγωνικά χιλιοστά με εξωτερική μόνωση.

### **2.5.3 Τερματικοί διακόπτες**

Για την αποφυγή υπέρβασης των ορίων λειτουργίας της μηχανής αλλά και για την οριοθέτηση σημείων αναφοράς σε ακραίες θέσεις διακόπτες χρησιμοποιήθηκαν σε κάθε συναρμογή κίνησης.

## **2.6 Ψηφιακός μικροϋπολογιστής**

### **2.6.1 Ο Μικροϋπολογιστής ARDUINO**

Η μονάδα ελέγχου μηχανής αποτελείται από έναν μικροϋπολογιστή που αποτελείται από την κυρία μονάδα μνήμης στην οποία αποθηκεύεται το λογισμικό ελέγχου του συστήματος, την δευτερεύουσα μονάδα μνήμης πού αποθηκεύεται ψηφιακή πληροφορία εντολής μέχρις ότου εκτελεστεί, από τη μονάδα επεξεργασίας και από τη μονάδα ελέγχου.

### **2.6.2 Αρχιτεκτονική μνήμης του μικρού υπολογιστή**

Στον τομέα της μνήμης αποθηκεύονται πληροφορίες σε μορφή δυαδικού συστήματος μόνιμα και προσωρινά.

#### **2.6.2.1 Μόνιμη μνήμη μόνο για ανάγνωση**

Σε Αυτόν τον τομέα της μνήμης αποθηκεύεται μόνιμα το πρόγραμμα του συστήματος το οποίο εκτελείται κατά τη λειτουργία του μικροϋπολογιστή.

Για οποιαδήποτε τροποποίηση στον κώδικα του συστήματος θα πρέπει να γίνει επαναπρογραμματισμός του μικροϋπολογιστή από τον ενσύρματο συριακό δίαυλο δεδομένων επικοινωνίας μέσω ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή με τη χρήση εξειδικευμένου λογισμικού.

#### **2.6.2.2 Προσωρινή μνήμη τυχαίας προσπέλασης**

Σε αυτόν τον τύπο μνήμης αποθηκεύονται δεδομένα τα οποία εισήλθαν στο μικροϋπολογιστή από κάποια είσοδο και αφού παράγονται κάποια έξοδο αντικαθίστανται από νέα. Κατά την απενεργοποίηση του μικροϋπολογιστή χάνονται σε όλα τα δεδομένα σε αυτή τη μνήμη.

### 2.6.2.3 Βοηθητική μνήμη

Σε αυτόν τον τύπο μνήμης μπορούμε να αποθηκεύσουμε δεδομένα μεταβλητών τις οποίες έχει ορίσει ο προγραμματιστής στον κώδικα του συστήματος.

Χαρακτηριστικό είναι ότι με την ενεργοποίηση του μικροϋπολογιστή τα δεδομένα είναι διαθέσιμα για ανάγνωση και τροποποίηση.

### 2.6.3 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας

Στον μικροεπεξεργαστή ο οποίος συνδέεται μέσω του διαύλου συστήματος με την μονάδα ελέγχου και τον τομέα της μνήμης όπου ανακτάται ο κώδικας του συστήματος και τα δεδομένα του χρήστη, γίνεται επεξεργασία των δεδομένων, εκτελούνται αριθμητικές και λογικές πράξεις.

### 2.6.4 Μονάδα ελέγχου

Η μονάδα ελέγχου συνδέεται με τις παραπάνω μονάδες μέσω του διαύλου συστήματος και ελέγχει τη ροή δεδομένων.

## 2.7 Έξυπνες συσκευές

Οι έξυπνες συσκευές είναι ηλεκτρονικές συσκευές μικρές σε μέγεθος φορητές, οι οποίες συνδέονται σε ένα δίκτυο εξ αποστάσεως και αλληλεπιδρούν με το χρήστη. Σε αυτήν την Κατηγορία κατατάσσονται και τα έξυπνα τηλέφωνα και η ηλεκτρονικές ταμπλέτες.

Η παραπάνω εμπορικές ηλεκτρικές συσκευές ξεπερνούν σε υπολογιστική ισχύ τους εμπορικούς ηλεκτρονικούς υπολογιστές τις προηγούμενης εικοσαετίας. Γίνεται χρήση των προαναφερόμενων έξυπνων συσκευών ώστε να αποστέλλονται οι εντολές G κώδικα στην εργαλειομηχανή και να λαμβάνονται πληροφορίες αναφοράς της λειτουργίας της μηχανής. Προϋποθέτει την εγκατάσταση κατάλληλης εφαρμογής και τη δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας.

## 2.8 Αισθητήρες και μικροκυκλώματα

### **2.8.1 Αισθητήρες**

Αισθητήρας υπέρυθρης ακτινοβολίας τοποθετήθηκε στο άκρο της συναρμογής κίνησης του άξονα Z στοχεύοντας στο εξάρτημα σύνδεσης κοπτικών εργαλείων. Η διάταξη περιέχει διόδους εκπομπής και λήψης υπέρυθρης ακτινοβολίας επίσης και ένα μετατροπέα αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά . Μικρό μέρος του περιστρεφόμενου εξαρτήματος καλύπτεται με ανακλαστική επιφάνεια ενώ το υπόλοιπο με μη ανακλαστική. Ως αποτέλεσμα των παραπάνω έχουμε για κάθε μία περιστροφή έχουμε έξοδο ενός σήματος το οποίο εισέρχεται σε εισόδους μικροϋπολογιστή . Με κατάλληλο κώδικα γίνεται η επεξεργασία των σημάτων . Εξάγονται αποτελέσματα σε οθόνη ως στροφές ανά λεπτό.

### **2.8.2 Διαύλος ασύρματης επικοινωνίας**

Η ζεύξη μεταξύ του μικρό υπολογιστή της εργαλείο μηχανής και ενός έξυπνου τηλεφώνου επιτυγχάνεται μέσω του διαύλου ασύρματης επικοινωνίας όπου είμαι συνδεδεμένος με το μικροϋπολογιστή. Η χρησιμοποιούμενη τεχνολογία Bluetooth. Χαρακτηριστικά της είναι ότι χρησιμοποιεί μη αδειοδοτημένη ανοιχτή για τους πολίτες συχνότητα στα 2,45 περίπου gigahertz μικρής ισχύος για αποστάσεις έως 10 μέτρα. Προσφέρεται κρυπτογράφηση των δεδομένων μεταξύ των συσκευών μέσω ενός κοινού κλειδιού.

## **2.9 Λογισμικά εφαρμογές και προγράμματα**

Σε αυτό το υποκεφάλαιο περιγράφονται όλα στα λογισμικά που χρησιμοποιήθηκαν. Πραγματοποιήθηκε εγκατάσταση στον μικροϋπολογιστή του προγράμματος έτοι Grbl, Στην έξυπνη συσκευή πραγματοποιήθηκε η εγκατάσταση της εφαρμογής Gcode2grbl.

### **2.9.1 Λογισμικό εργαλειομηχανής**

Το λογισμικό πού εγκαταστάθηκε στον μικροϋπολογιστή της εργαλειομηχανής ονομάζεται grbl. Είναι λογισμικό ανοιχτού κώδικα ελεύθερο να αντιγράφει και να τροποποιηθεί. Βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού C ικανό να παράγει παλμούς συχνότητας 30 kHz ώστε να τους παρέχει στους διασυνδεδεμένους βηματικούς κινητήρες ώστε να μπορούν να πραγματοποιηθούν τροχιές τόξου , κύκλου και ελικοειδής τροχιές με την ακμή του κοπτικού εργαλείου . Αναγνωρίζεται και εκτελείται G κώδικας κατά τα διεθνή πρότυπα. Μη διαθέσιμη η λειτουργία για τυποποιημένες

βηματικές κατεργασίες, όπως επίσης και για μακροεντολές. Στους παρακάτω πίνακες βρίσκονται όλες οι εντολές και οι ρυθμίσεις που δέχεται η εργαλειομηχανή από τον χρήστη.

### 2.9.1.1 Εντολές λογισμικού

Στον παρακάτω πίνακα περιγράφονται οι εντολές που δέχεται η μηχανή από το χρήστη πριν τεθεί σε λειτουργία για την εκτέλεση προγράμματος σε G - κώδικα. Προβολή των ρυθμίσεων που έχουν αποθηκευτεί στη μνήμη. Διακρίνονται τα στοιχεία στον αριθμό 7 του παρακάτω πίνακα στον πού χρησιμεύουν στον ορισμό των παραμέτρων των πινάκων που αναλύονται στα επόμενα υποκεφάλαια.

**Πίνακας 2.9.1.1.** Εντολές συστήματος.

α/α	Εντολή	Ορισμός	Επεξήγηση
1	\$#	G-Κώδικας	Προβολή των παραμέτρων του G-κώδικα. Λίστα συντεταγμένων αναφοράς εργασίας (G54-G59), προκαθορισμένες θέσεις(G28-G30), προκαθορισμένο μήκος κοπτικού εργαλείου (TLO), αντιστάθμιση κοπτικού εργαλείου (PRB).
2	\$G	Κατάσταση Αναλυτή	Προβάλλονται από τον Αναλυτή του λογισμικού οι ενεργές λειτουργίες του G-κώδικα . Παράδειγμα - [G0 G54 G17 G21 G90 G94 M0 M5 M9 T0 S0 F500.0]
3	\$I	Έκδοση προγράμματος	Πληροφορίες σχετικά με την έκδοση του λογισμικού, τον πηγαίο κώδικα και την ημερομηνία κατασκευής.
4	\$N	Εντολές G-Κώδικα	Προβάλλονται οι εντολές N που εκτελούνται κάθε φορά που ενεργοποιείται ο μικροϋπολογιστής ή επανεκκινείται το λογισμικό.
5	\$N0=...	Εντολές G-Κώδικα	Αποθήκευση εντολής N.
6	\$N1=...	Εντολές G-Κώδικα	Αποθήκευση εντολής N.

## Κεφαλαίο 2. Θεωρία

7	\$...=...	Αποθήκευση ρυθμίσεων	Το μοτίβο της εντολής που χρησιμοποιείται για να αποθηκεύονται οι τιμές των παραμέτρων. Παράδειγμα - \$100=250.000
8	\$C	Προβολή G-Κώδικα	Γίνεται επεξεργασία και έλεγχος του εισερχόμενου G-κώδικα χωρίς να εκτελούνται ενέργειες από την εργαλειομηχανή.
9	\$X	Αφόπλιση συναγερμού	Απενεργοποιεί την κατάσταση συναγερμού ώστε να επιτρέπονται οι κινήσεις των αξόνων.
10	\$H	Κύκλος μηδενισμού	Εκτέλεση ενός κύκλου μηδενισμού.
11	\$\$	Προβολή παραμέτρων	Προβάλλεται ο πίνακας παραμετροποίησης όποιος είναι αποθηκευμένος στην βοηθητική μνήμη του υπολογιστή.

### 2.9.1.2 Εντολές σε πραγματικό χρόνο

Εντολές σε πραγματικό χρόνο για την βασικές λειτουργίες , προβολή θέσης, την εκκίνηση και παύση ενός προγράμματος G - κώδικα, της επανεκκίνησης της εργαλειομηχανής. Προβάλλονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα 2.9.1.2 .

**Πίνακας 2.9.1.2.** Εντολές συστήματος σε πραγματικό χρόνο.

α/α	Εντολές	Ορισμός	Επεξήγηση
1	~	Εκκίνηση εργασίας	Εκκινείται η μεταφόρτωση του G κώδικα. Συνέχιση της εργασίας μετά από την εντολή παύση πρόωσης.
2	!	Παύση πρόωσης	Επιβραδυνόμενη διακόπτη του κύκλου εργασίας με διατήρηση της θέσης εργασίας.
3	?	Τρέχουσα κατάσταση	Επιστρέφει την ενεργή κατάσταση του λογισμικού τη θέση μηχανής και τη θέση εργασίας.

4	ctrl-x	Επανεκκίνηση	Επανεκκινείται το σύστημα διατηρώντας τη θέση μηχανής και Εργασίας χωρίς την απενεργοποίηση του μικροϋπολογιστή.
---	--------	--------------	--

### 2.9.1.3 Ορισμοί παραμετροποίησης αξόνων

Η φορά κίνησής των αξόνων καθορίζονται από την επαφή των παλμών και την επαφή της κατεύθυνσης του μικροϋπολογιστή, οι οποίες συνδέονται με το κύκλωμα οδήγησης του κάθε βηματικού κινητήρα. Οι τιμές που βρίσκονται στον πίνακα 2.9.1.3 σε κάθε περίπτωση ανήκουν σε ένα συνδυασμό κίνησης των τριών αξόνων κινούμενοι αντίστροφα η μη.

**Πίνακας 2.9.1.3.** Παραμετροποίηση αξόνων.

α/α	Ορισμός τιμής	Αντιστροφή X	Αντιστροφή Y	Αντιστροφή Z
1	0	OXI	OXI	OXI
2	1	NAI	OXI	OXI
3	2	OXI	NAI	OXI
4	3	NAI	NAI	OXI
5	4	OXI	OXI	NAI
6	5	NAI	OXI	NAI
7	6	OXI	NAI	NAI
8	7	NAI	NAI	NAI

#### **2.9.1.4 Παράμετροι παλμών**

Οι παρακάτω ρυθμίσεις του πίνακα 2.9.1.4 σχετίζονται με τις παλμικές γεννήτριες του μικροϋπολογιστή όπου τα σήματα παρέχονται στα κυκλώματα οδήγησης των βηματικών κινητήρων.

**Πίνακας 2.9.1.4**

a/a	Παράμετρος	Ορισμός	Επεξήγηση
1	\$0=10	Μήκος παλμού βήματος	Καθορίζεται το μήκος του βηματικού παλμού σε msec. Σκοπός είναι επιτευχθεί το ελάχιστο δυνατό μήκος που ο βηματικός κινητήρας μπορεί να ανταποκριθεί.
2	\$1=25	Καθυστέρηση αδράνειας	Ρυθμίζεται η χρονική καθυστέρηση σε msec όπου το πρόγραμμα διατηρεί τον βηματικό κινητήρα ενεργοποιημένο σε κατάσταση συγκράτησης αφότου ολοκληρωθεί μία εντολή κίνησης. Ορίζοντας την τιμή 255 δεν απενεργοποιείται η κατάσταση συγκράτησης.
3	\$2=0	Διαμόρφωση Παλμού	Ορίζει το σήμα που αποστέλλεται στο κύκλωμα οδήγησης του βηματικού κινητήρα. Από προεπιλογή το σήμα βήματος ξεκίνα από χαμηλή σε υψηλή τάση για να ξεκινήσει μία εντολή κίνησης. Τιμές από 0 έως 7 βλέπε πίνακα παραμετροποίησης αξόνων.
4	\$3=6	Διεύθυνση αξόνων	Γίνεται η αλλαγή της φοράς κίνησης των αξόνων χωρίς παρέμβαση στην καλωδίωση. Τιμές από 0 έως 7 βλέπε πίνακα παραμετροποίησης αξόνων 2.9.1.3.

### 2.9.1.5 Παράμετροι επαφών

Στον πιο κάτω πίνακα 2.9.1.5 ορίζονται οι λογικές τιμές 0 ή 1 για τη διαθεσιμότητα της ασφαλής λειτουργίας με την αξιοποίηση των επαφών του μικροϋπολογιστή με τη χρήση διακοπτών στις ακραίες θέσεις της εργαλειομηχανής.

**Πίνακας 2.9.1.5.** Παράμετροι επαφών.

α/α	Παράμετρος	Ορισμός	Επεξήγηση
1	\$4=0	Επαφή 'enable'	Διαχειρίζεται το σήμα που αποστέλλεται στην επαφή 'enable' του κυκλώματος οδήγησης του βηματικού κινητήρα.
2	\$5=0	Επαφές ορίων	Οι επαφές των οριακών διακοπτών όπου το σήμα είναι υψηλής τάσης από προεπιλογή, χρησιμοποιούνται οι εσωτερικοί αντιστάτες του μικροϋπολογιστή. Με το κλείσιμο του διακόπτη γειώνετε η επαφή και καθορίζεται το όριο. Σε αντίστροφη λειτουργία με τιμή ρύθμισης 1 χρειάζονται επιπλέον εξωτερικές αντιστάσεις.
3	\$6=0	Επαφή 'probe'	Διευκολύνεται η ισοστάθμιση κοπτικού εργαλείου και έχει ίδια χαρακτηριστικά με τις επαφές ορίων.

### 2.9.1.6 Παράμετροι κινήσεων

Τιμές παραμέτρων για τον ορισμό των μονάδων μέτρησης τον τόπο πληροφοριών της κατάστασης της εργαλειομηχανής αλλά και για την ομαλότητα και ακρίβεια για τις σύνθετες ταυτόχρονες κινήσεις των αξόνων.

## Κεφαλαίο 2. Θεωρία

**Πίνακας 2.9.1.6.** Ενδεικτικές τιμές για τις παραμέτρους των σύνθετων κινήσεων.

α/α	Παράμετρος	Ορισμός	Επεξήγηση
1	\$10=3	Αναφορά κατάστασης	Δεδομένα σε πραγματικό χρόνο αποστέλλονται στο χρήστη. Δεδομένα συντεταγμένων θέσης μηχανής με τιμή 1 και δεδομένα συντεταγμένων θέσης εργασίας με τιμή 2 και αθροίζοντας τις τιμές προκύπτει η τιμή 3 όπου ορίζεται ως υποχρεωτική προεπιλογή. Προαιρετικά μπορούν να προστεθούν οι παρακάτω τιμές των επιλογών, οργανόγραμμα προσωρινής μνήμης με τιμή 4, δεδομένα προσωρινής μνήμης με τιμή 8, και επαφές ορίων με τιμή 16.
2	\$11=0.020	Απόκλιση διασταυρώσεων	Εισάγοντας μικρότερες τιμές σε χιλιοστά ελαττώνεται η ταχύτητα πρόωσης στις γωνίες και το ρίσκο απώλειας παλμού, ενώ αυξάνεται η ακρίβεια.
3	\$12=0.002	Ανοχές τόξων	Ορίζεται σε χιλιοστά η ομαλότητα των καμπυλών.
4	\$13=0	Μονάδες μέτρησης	Ορίζει τις μονάδες των δεδομένων Θέσης. Για χιλιοστά η τιμή είναι 0, για ίντσες η τιμή είναι 1.

### 2.9.1.7 Παράμετροι κύκλου μηδενισμού

Ένας κύκλος μηδενισμού πραγματοποιείται με την εκκίνηση της εργαλειομηχανής. Με τις τιμές του πίνακα 2.9.1.7 ορίζεται ο κύκλος μηδενισμού αναλυτικά.

**Πίνακας 2.9.1.7.** Παράμετροι κύκλου μηδενισμού.

α/α	Παράμετρος	Ορισμός	Επεξήγηση
1	\$20=0	Μαλακά όρια	Γίνεται έλεγχος στις εντολές του G Κόδικα εάν ζεπερνούν τις μέγιστες μετατοπίσεις της μηχανής. Απαιτείται η ενεργοποίηση του κύκλου μηδενισμού με τιμή 1. Για απενεργοποίηση τιμή 0.

2	\$21=0	Σκληρά όρια	Καθώς ενεργοποιείται ένας από τους διακόπτες ορίων ενεργοποιείται η κατάσταση συναγερμού. Όλες οι λειτουργίες της μηχανής απενεργοποιούνται. Απαιτείται η εγκατάσταση διακοπτών στις ακραίες θέσης τις εργαλειομηχανής.
3	\$22=0	Κύκλος μηδενισμού	Καθώς ενεργοποιείται η επιλογή κατά την εκκίνηση της μηχανής καμία εντολή δεν εκτελείται εάν δεν πραγματοποιηθεί ένας κύκλος μηδενισμού. Απαιτείται η εγκατάσταση διακοπτών στις ακραίες θέσης τις εργαλειομηχανής.
4	\$23=1	Φόρα κύκλου μηδενισμού	Αλλαγή της φόρας του κύκλου μηδενισμού. Τιμές από 0 έως 7 βλέπε πίνακα παραμετροποίησης αξόνων.
5	\$24=50.000	Προσέγγιση μηδενισμού	Επαναπροσέγγιση του τερματικού διακόπτη με μικρή ταχύτητα πρόωσης (mm/min) χωρίς κοπή για πιθανότερη ακρίβεια.
6	\$25=635.000	Αναζήτηση μηδενισμού	Αρχική προσέγγιση του τερματικού διακόπτη με μέγιστη δυνατή ταχύτητα πρόωσης (mm/min) χωρίς κοπή, για να μη καταστραφούν οι διακόπτες μελετάται η ταχύτητα.
7	\$26=250	Αναπήδηση μηδενισμού	Χρονική καθυστέρηση (msec) κατά τη διάρκεια κλεισίματος του διακόπτη για τη μείωση του ηλεκτρονικού θορύβου.
8	\$27=1.000	Απόσταση μηδενισμού	Απόσταση (mm) από τους διακόπτες αφού ολοκληρωθεί ένας κύκλος μηδενισμού.

### 2.9.1.8 Παράμετροι μετατοπίσεων

Στον πίνακα 2.9.1.8 Ορίζονται για κάθε άξονα οι μέγιστες τιμές πρόωσης, επιτάχυνσης, μετατόπισης αλλά και το Χαρακτηριστικό 'βήματα ανά χιλιοστό' μετατόπισης της τράπεζας από την συναρμογή βηματικού κινητήρα- τραπεζοειδή κοχλία- περικοχλίου. Από τις παραπάνω ρυθμίσεις προσδιορίζεται το μέγιστο σε

## Κεφαλαίο 2. Θεωρία

διαστάσεις προς κατεργασία τεμάχιο.

**Πίνακας 2.9.1.8.** Παράμετροι μετατοπίσεων.

α/α	Παράμετρος	Ορισμός	Επεξηγηση
1	\$100=314.961	X - Άξονας	
2	\$101=314.961	Υ- Άξονας	
3	\$102=314.961	Z- Άξονας	Ορίζεται ο λόγος των βημάτων του βηματικού κινητήρα για μία πλήρη περιστροφή ως προς βήμα του τραπεζοειδή κοχλία. (Βήματα/mm)
4	\$110=635.000	X - Μέγιστη πρόωση	
5	\$111=635.000	Υ - Μέγιστη πρόωση	Ορίζεται μέγιστη ταχύτητα (mm/min) των αξόνων κίνησης.
6	\$112=635.000	Z - Μέγιστη πρόωση	
7	\$120=50.000	X -Μέγιστη επιτάχυνση	
8	\$121=50.000	Υ - Μέγιστη επιτάχυνση	Ορίζεται μέγιστη επιτάχυνση (mm/sec <sup>2</sup> ) των αξόνων κίνησης.
9	\$122=50.000	Z - Μέγιστη επιτάχυνση	
10	\$130=225.000	X - Μέγιστη διαδρομή	
11	\$131=125.000	Υ - Μέγιστη διαδρομή	Ορίζεται μέγιστη διαδρομή των αξόνων κίνησης. Χρησιμοποιείται εφόσον τα μαλακά όρια και ο κύκλος μηδενισμού είναι ενεργοποιημένα.
12	\$132=170.000	Z - Μέγιστη διαδρομή	

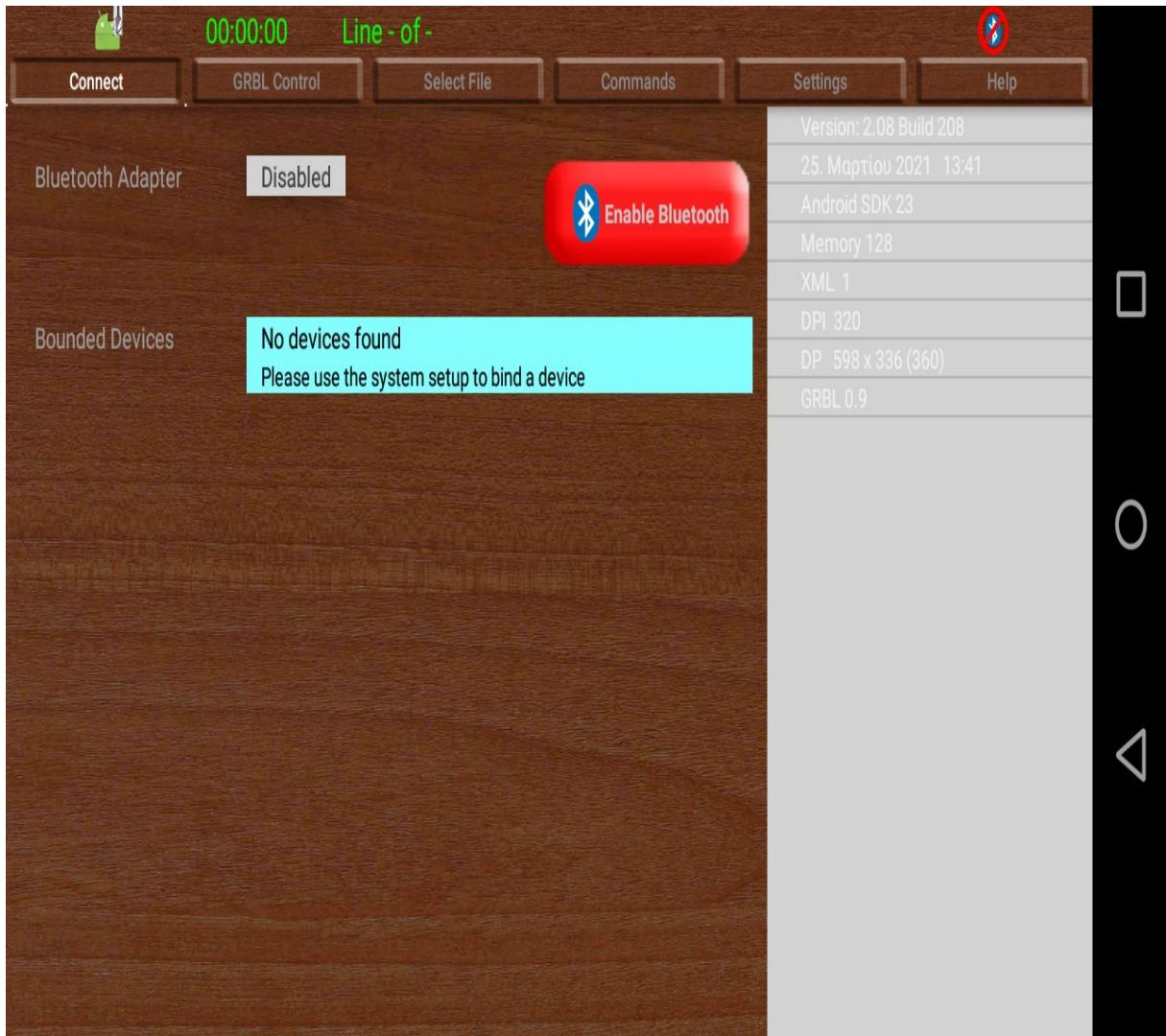
## 2.9.2 Εφαρμογή αποστολέα G - κώδικα

Η εφαρμογή ελεύθερη χρέωσης που βρίσκεται στην βάση δεδομένων google play store, εγκαθίσταται σε ένα έξυπνο τηλέφωνο ονομάζεται gcode 2grbl . Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία της ζεύξης μέσω της ασύρματης τεχνολογίας Bluetooth μεταξύ του έξυπνου τηλεφώνου και του μικροϋπολογιστή της εργαλειομηχανής. Η εφαρμογή έχει την δυνατότητα να αποστείλει τον g - κώδικα από το αρχείο που βρίσκεται στη μνήμη του έξυπνου τηλεφώνου.

Μέσω της εφαρμογής γίνονται οι κινήσεις της Τραπέζης και του κοπτικού εργαλείου σε επιθυμητή θέση ώστε να γίνει το σημείο αναφοράς μηδέν. Στις παρακάτω εικόνες περιγράφονται τα χαρακτηριστικά της εφαρμογής.

### **2.9.2.1 Ασύρματη σύνδεση**

Εκτελώντας την εφαρμογή προβάλλεται η καρτέλα όπου δίνεται η δυνατότητα μέσω του ασυρμάτου διαύλου επικοινωνίας τις έξιπνης συσκευής να συνδεθεί με τον μικροϋπολογιστή της εργαλειομηχανής.



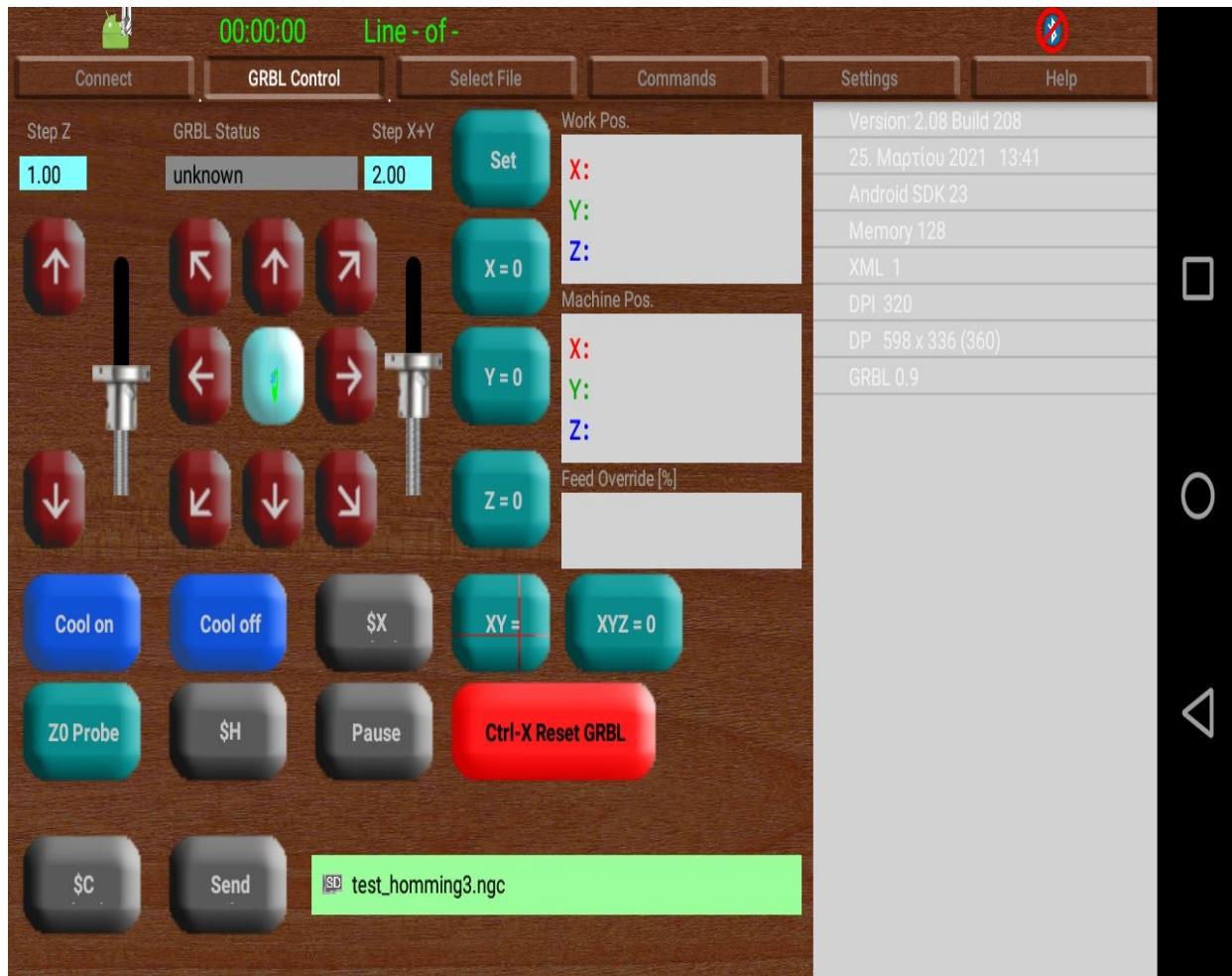
**Εικόνα2.9.2.1** Κάρτα ασύρματης σύνδεσης

### **2.9.2.2 Έλεγχος κινήσεων**

Σε αυτή την καρτέλα γίνεται ο χειρισμός της εργαλειομηχανής. Με την κάθε πίεση των πλήκτρων βέλους μετατοπίζεται η τράπεζα ή το κοπτικό εργαλείο μερικά χιλιοστά, όπου ορίζονται από τα πλήκτρα ροοστάτες. Παρουσιάζονται στους πίνακες δεδομένα συντεταγμένων θέσης εργασίας, θέσης μηχανής, σφαλμάτων και κατάστασης της

## Κεφαλαίο 2. Θεωρία

μηχανής. Με τα σιέλ πλήκτρα γίνεται ο μηδενισμός στο τεμάχιο προς κατεργασία και η αντιστάθμιση του κοπτικού εργαλείου. Τα γκρι πλήκτρα χρησιμοποιούνται για την αποστολή εντολών συστήματος και για την αποστολή του προγράμματος σε G - κώδικα. Το κόκκινο πλήκτρο απενεργοποιεί μία εντολή συναγερμού.

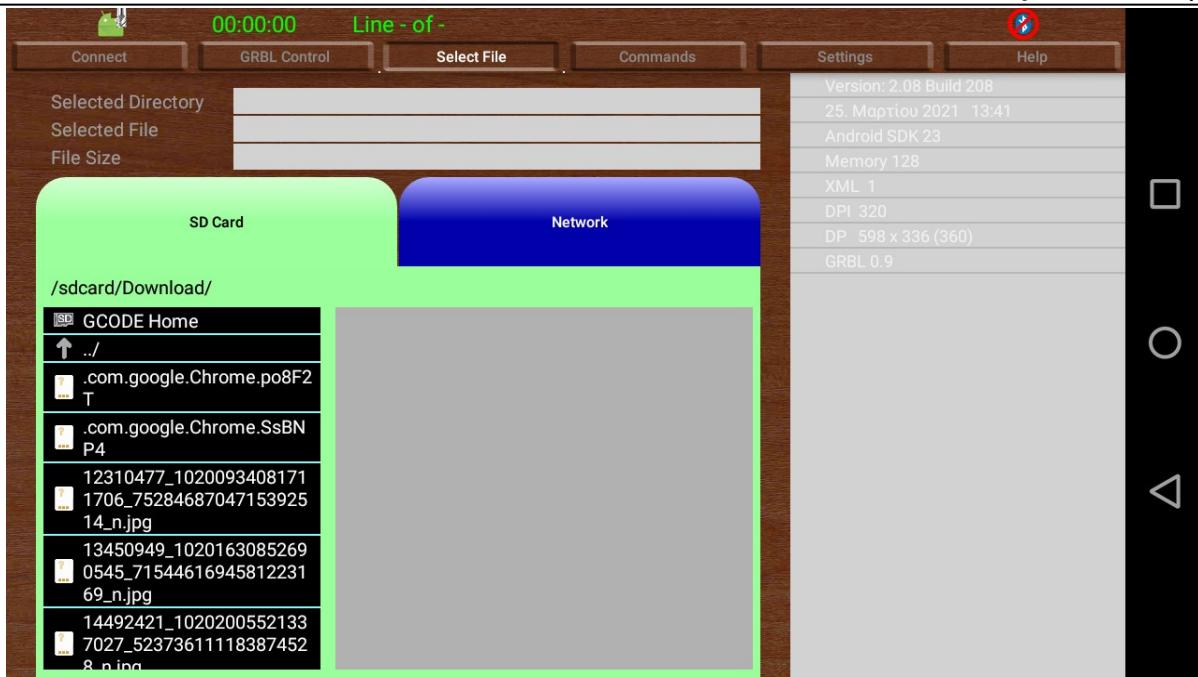


Εικόνα 2.9.2.2. Εικόνα κάρτας ελέγχου κινήσεων.

### 2.9.2.3 Επιλογή αρχείου

Εδώ γίνεται η επιλογή του αρχείου που περιέχει το G - κώδικα. Μπορεί να βρίσκεται στην μνήμη της έξυπνης συσκευής ή να βρίσκεται στο τοπικό δίκτυο που είναι συνδεδεμένη.

Τα αρχεία που αναγνωρίζονται και αποστέλλονται μετά το όνομα τους έχουν τις καταλήξεις '.nc', '.NC', '.ngc'. Σε περίπτωση που αρχείο με εντολές G - κώδικα μετονομαστεί η κατάληξη ενός αρχείου με τις παραπάνω και αδυνατεί να εκτελεσθεί τότε ελέγχεται η κωδικοποίηση και η γλώσσα της γραμματοσειράς.



Εικόνα 2.9.2.3. Εικόνα κάρτας εύρεσης αρχείου.

#### 2.9.2.4 Εντολές και ρυθμίσεις

Σε αυτή την καρτέλα δίνεται η δυνατότητα να προβληθούν οι ρυθμίσεις της εργαλειομηχανής και να τροποποιηθούν. Επίσης μπορεί να αποσταλεί μια εντολή γκώδικα.



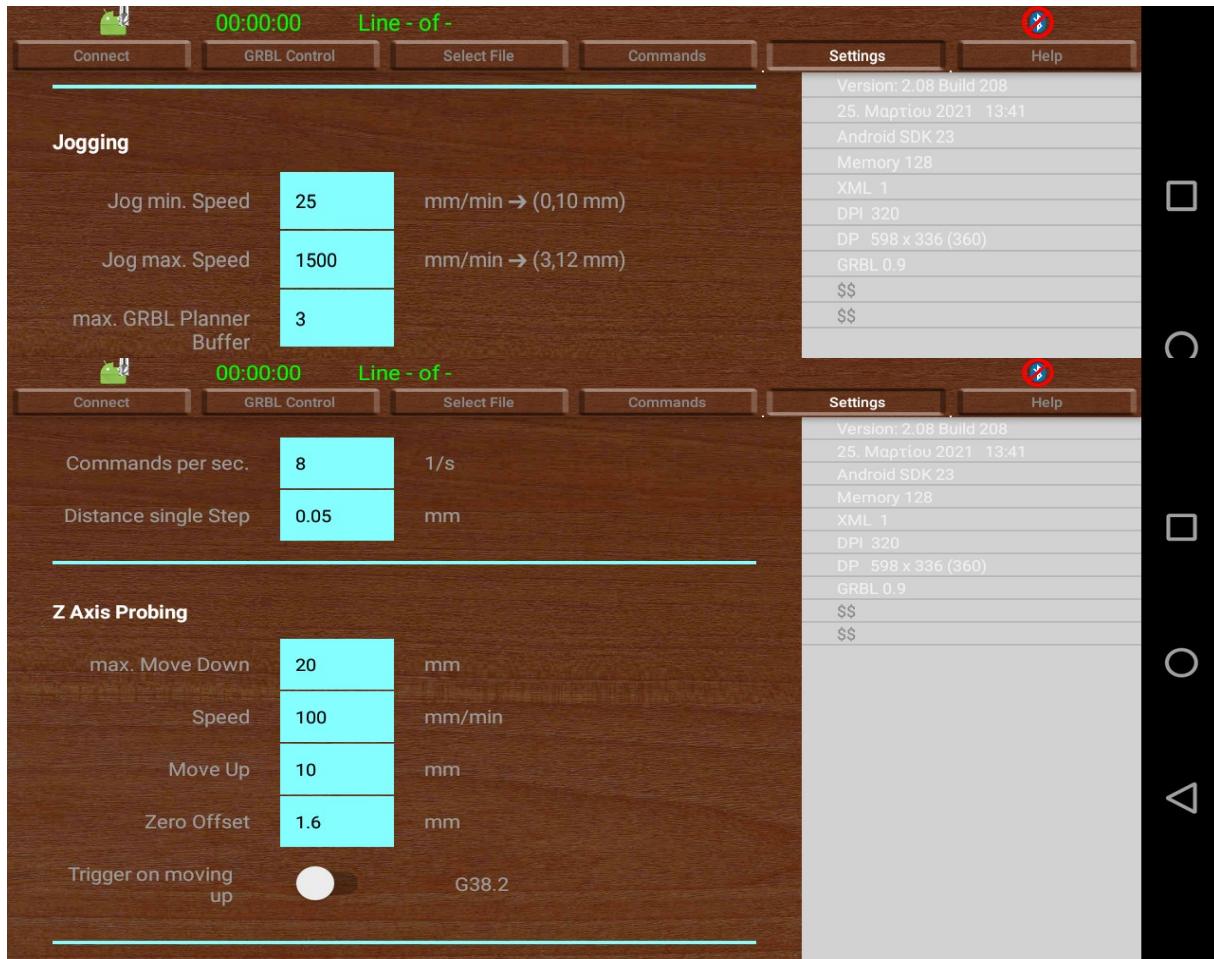
Εικόνα 2.9.2.4. Εικόνα κάρτας ρυθμίσεων παραμέτρων.

#### 2.9.2.5 Ρυθμίσεις χειριστηρίου και ισοστάθμισης

Σε αυτή την καρτέλα ορίζονται οι παράμετροι για τις μέγιστες και ελάχιστες ταχύτητες πρόσωσης χωρίς κοπή των δυναμικών πλήκτρων ελεύθερης κίνησης. Επίσης

## Κεφαλαίο 2. Θεωρία

ορίζονται, μέγιστη μετατόπιση στον Z άξονα κίνησης με κατεύθυνση κίνησης προς τα κάτω, η ταχύτητα πρόωσης χωρίς κοπή, μετατόπιση στον Z άξονα κίνησης με κατεύθυνση κίνησης προς τα πάνω, απόσταση από το ορισμένο μηδενικό σημείο, παράμετροι σχετικά με την αντιστάθμιση του κοπτικού εργαλείου.



Εικόνα 2.9.2.5. Εικόνα κάρτας ρυθμίσεων ταχειάς κίνησης και ισοστάθμισης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### **Πρακτική εφαρμογή**

#### **3.1 Εισαγωγή**

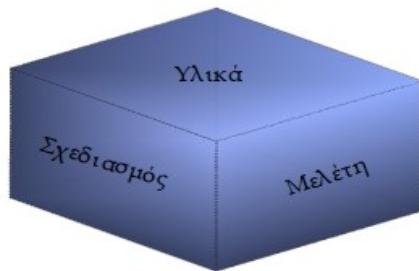
Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται η πρακτική εφαρμογή των θεωρητικών γνώσεων του προηγούμενου κεφαλαίου. Περιέχεται ο θεωρητικός σχεδιασμός ο οποίος πραγματοποιήθηκε παράλληλα με την έρευνα αγοράς των επιμέρους εξαρτημάτων και την οικονομοτεχνική ανάλυση. Πραγματοποιήθηκε θεωρητική μελέτη της στατικής επάρκειας σε περιπτώσεις απλής φόρτισης και κατόπιν πειράματα εφαρμογής των εξαρτημάτων.

Επαναπροοδιορίστηκαν λύσεις, σχεδιάστηκαν ορισμένα από τα εξαρτήματα και κατασκευάστηκαν με σκοπό τη μείωση του κόστους. Περιγράφηκε η συναρμολόγηση των όλων των επιμέρους εξαρτημάτων. Και τέλος έγινε η παραμετροποίηση της εργαλειομηχανής και διεξήχθησαν πειράματα λειτουργιάς ώστε να γίνουν τροποποιήσεις και προσθήκες με σκοπό την αύξηση των δυνατοτήτων της μηχανής με συνέπεια την περαιτέρω μείωση του κόστους.

### 3.1.1 Όψη προσέγγισης του θέματος

Οι δύο οπτικές με τις οποίες προσεγγίστηκε το θέμα της εργασίας είναι από θεωρητική ερευνητική όψη και η πραγματική πειραματική όψη.

Οι πλευρές με τις οποίες προσεγγίζεται το θέμα της εργασίας περιγράφονται γραφικά από το παρακάτω σχήμα από την θεωρητική όψη.



**Σχήμα 3.1.1.1.** Θεωρητική προσέγγιση

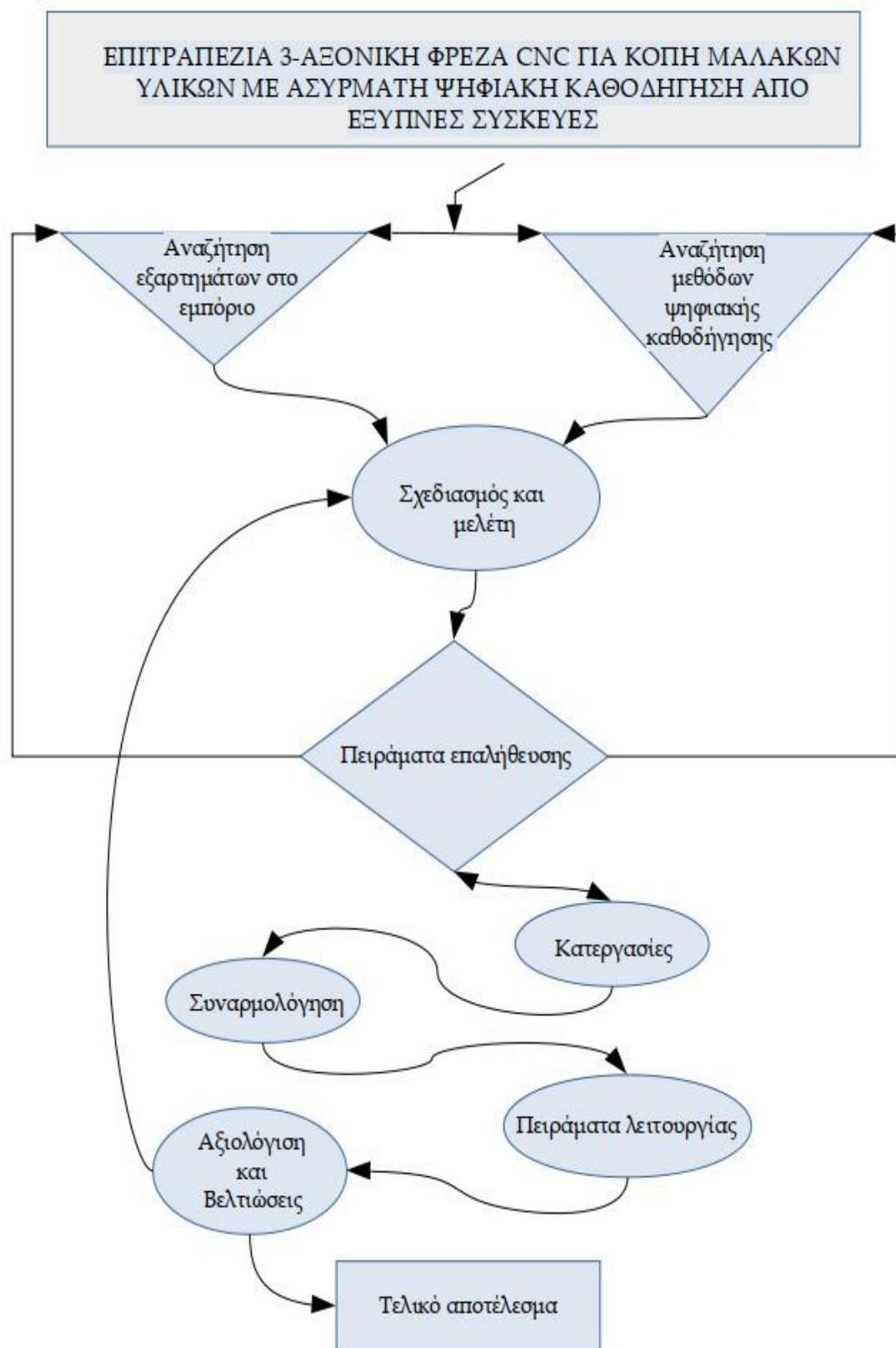
Αντίστοιχα υλοποιώντας και μετασχηματίζοντας τη θεωρία προκύπτουν παρακάτω πλευρές του σχήματος από την πραγματική όψη.



**Σχήμα 3.1.1.2.** Πειραματική προσέγγιση

### 3.1.2 Ροή εργασίας

Η γραφική απεικόνιση της μεθόδου που εκτελέστηκε και η προσέγγιση του θέματος διαμέσου της θεωρητικής έρευνας και πειραματικής εφαρμογής δίνεται στο παρακάτω σχήμα 3.1.2.



**Σχήμα 3.1.2.** Διάγραμμα ροής λογισμού και εργασίας.

### 3.1.3 Βλέψεις και επιδιώξεις

Μία επιδίωξη είναι με το ελάχιστο δυνατό κόστος και τα ελάχιστα δυνατά υλικά να επιτευχθεί το μέγιστο δυνατό αποτέλεσμα, ακόμα μία είναι η εξερεύνηση νεότερων μεθόδων όπως για παράδειγμα έχει πραγματοποιηθεί στις συναρμογές των αξόνων διεύθυνσης ευθύγραμμης κίνησης.

Διαχρονικά οι εργαλειομηχανές για την επίτευξη της ευθύγραμμης κίνησης η τράπεζα εργασίας ολισθαίνει επάνω σε γλίστρες, κατεργασμένες επιφάνειες από χάλυβα υψηλής ποιότητας.

Στην παρών εργασία εφαρμόστηκε μία μέθοδος την οποία ράουλα από πολυκαρβονικό υλικό στα οποία εφαρμόζονται έδρανα κόλισης κυλούν κατά μήκος του προφίλ αλουμινίου. Σημαντική μείωση του κόστους κατασκευής, μείωση των Δυνάμεων τριβής που αντιτίθενται στην κίνηση, είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα. Μειονέκτημα αναμένεται να είναι η μειωμένη ποιότητα στις ανοχές των διαστάσεων και η μικρή χρονική διάρκεια καλής λειτουργίας καθώς στο κεφάλαιο πειραμάτων λειτουργίας θα καθοριστούν οι τιμές που προκύπτουν.

Μετά τον κύκλο ζωής της εργαλειομηχανής τα περισσότερα από τα υλικά αποτελούμενα από αλουμίνιο τα οποία έχει κατασκευαστεί θα μπορούσαν να ανακυκλωθούν η και να επαναχρησιμοποιηθούν για άλλες κατασκευές και ιδιοσυσκευές στοχεύοντας τα προφίλ αλουμινίου της σειράς 20. Οι μικροϋπολογιστές επίσης χρησιμοποιούνται ξανά μέσω του εκ νέου προγραμματισμού τους και έχουν τη δυνατότητα εκτελέσεις διαφορετικών προγραμμάτων για διαφορετικές ανάγκες αυτοματισμού.

## 3.2 Θεωρητικός σχεδιασμός

Ο σχεδιασμός είναι η διεργασία με την οποία συνδέονται και συνεργάζονται όλες οι επιμέρους εργασίες και πραγματοποιείται αμέσως μετά τον ορισμό του τίτλου και τις αναζητήσεις στο διαδίκτυο για υλικά και μεθόδους.

Ο θεωρητικός σχεδιασμός εμπεριέχει τις ικανότητες υλοποίησης υπό την έννοια ότι οι ικανότητες κατεργασίας είναι περιορισμένες στο βαθμό που ορίζονται από τα διαθέσιμα εργαλεία και τις διαθέσιμες μεθόδους.

Καθαρισμός θεωρητικού αποτελέσματος όπου εμπεριέχει τις δυνατότητες της εργαλειομηχανής οι οποίες εξαρτώνται από τα παρακάτω :

- Υλικά κατεργασίας
- Μέγιστες διαστάσεις αρχικού τεμαχίου
- Μέγιστες ανοχές παραγόμενου τεμαχίου

Τα υλικά τα οποία μπορεί να κατεργαστούν εξαρτώνται από την ισχύ κοπής, την ισχύ πρόωσης και το μέτρο ελαστικότητας των προφίλ αλουμινίου και των ράουλων κύλισης ώστε να επιτευχθεί μία ελάχιστη ακρίβεια στις ανοχές των διαστάσεων στο υπό κατεργασία τεμάχιο. Όπως χαρακτηρίζονται στον τίτλο μαλακά υλικά θεωρούνται υλικά όπως το κερί κατεργασίας το οποίο είναι και ο βασικός στόχος για την επίτευξη εργαστηριακών δοκιμών και πειραμάτων για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Βασικό πλεονέκτημα του παραπάνω υλικού είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά αφού ακολουθηθεί μία διαδικασία τήξεως και πήξεως σε καλούπι. Ο γύψος είναι ένα ακόμη υλικό το οποίο θεωρείται μαλακό.

Οι μέγιστες διαστάσεις κατεργασίας οι οποίες ορίστηκαν κατά τη διάρκεια του θεωρητικού σχεδιασμού παρακάτω.

Η ποιότητα επιφάνειας του τελικού τεμαχίου που καθορίζεται από τις ανοχές των διαστάσεων οι οποίες προκύπτουν από την ακρίβεια της μηχανής.

### **3.2.1 Μέθοδος σχεδιασμού**

Για την πραγματοποίηση του σχεδιασμού επιλέχθηκε το σχεδιαστικό πακέτο inventor της εταιρείας autodesk όπου προϋπήρχαν από άλλα μαθήματα του προγράμματος σπουδών γνώσεις χειρισμού αλλά και διευρύνθηκαν. Για το σχεδιασμό των ηλεκτρολογικών σχεδίων και τη δημιουργία ηλεκτρολογικών σχημάτων αναπαράστασης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα Fritzing.

Παράλληλα με το σχεδιασμό εκτελέστηκε οικονομοτεχνική ανάλυση επικεντρώνοντας στο κόστος ως παράγοντα αποδοχής ή απόρριψης εξαρτημάτων του εμπορίου εγχώρια και διεθνώς. Κατά τη διάρκεια της έρευνας αγοράς προέκυψε δυσκολία στην εύρεση ψηφιακών τρισδιάστατων σχεδίων από εξαρτήματα του εμπορίου σε βάσεις δεδομένων. Ως διευκόλυνση προτείνετε η δημιουργία βιβλιοθηκών εξαρτημάτων κατά πρότυπο. Τα σχέδια των εξαρτημάτων που δεν βρέθηκαν η που κατασκευάστηκαν, σχεδιάστηκαν κατά τις ανάγκες η δεδομένα που παρείχε ο προμηθευτής.

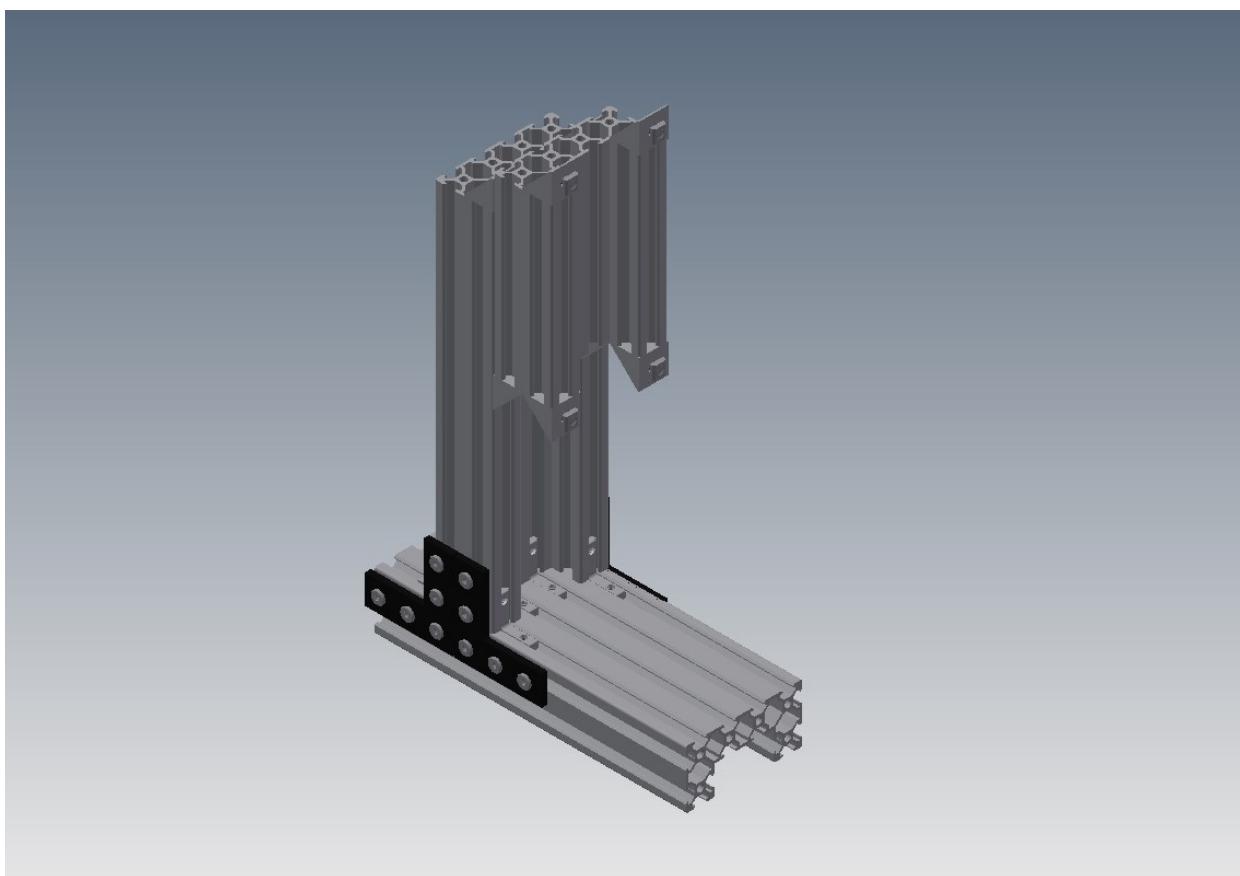
Μέσω της τρισδιάστατης ψηφιακής απεικόνιση διευκολύνθηκε η προσομοίωση της κατασκευής και ως αποτέλεσμα αυτού η απαλοιφή των σφαλμάτων προμήθειας μη συμβατών εξαρτημάτων και τα οποία απαιτούσαν περαιτέρω κατεργασίες αυξάνοντας το κόστος. Περιπτώσεις αμφιβολίας υπήρξαν όταν τα δεδομένα ήταν ελλιπής και μέσω των πειραμάτων εφαρμογής καθορίστηκαν.

### **3.2.2 Σχέδια συναρμογών**

Η συναρμογή της εργαλειομηχανής αποτελείται από τέσσερις βασικές συναρμογές. Εξαρτήματα τα οποία κατασκευαστήκαν από πρώτες ύλες βρίσκονται αναλυτικότερα σχέδια στο κεφάλαιο πειράματα εφαρμογής.

#### **3.2.2.1 Κορμός**

Στον κορμό βασίστηκαν όλα τα επιμέρους εξαρτήματα, οι συναρμογές όλων των αξόνων κίνησης. Αποτελείται από τμήματα του προφίλ αλουμινίου της σειράς 4080. Για την κάθετη στήριξη τοποθετήθηκαν εξωτερικές γωνίες και εσωτερικές γωνίες κατάλληλες για τα προφίλ της σειράς όπου για την πάκτωση τους εφαρμόστηκε η συναρμογή του κοχλία με το περικόχλιο επίσης κατάλληλο για τη σειρά του προφίλ.



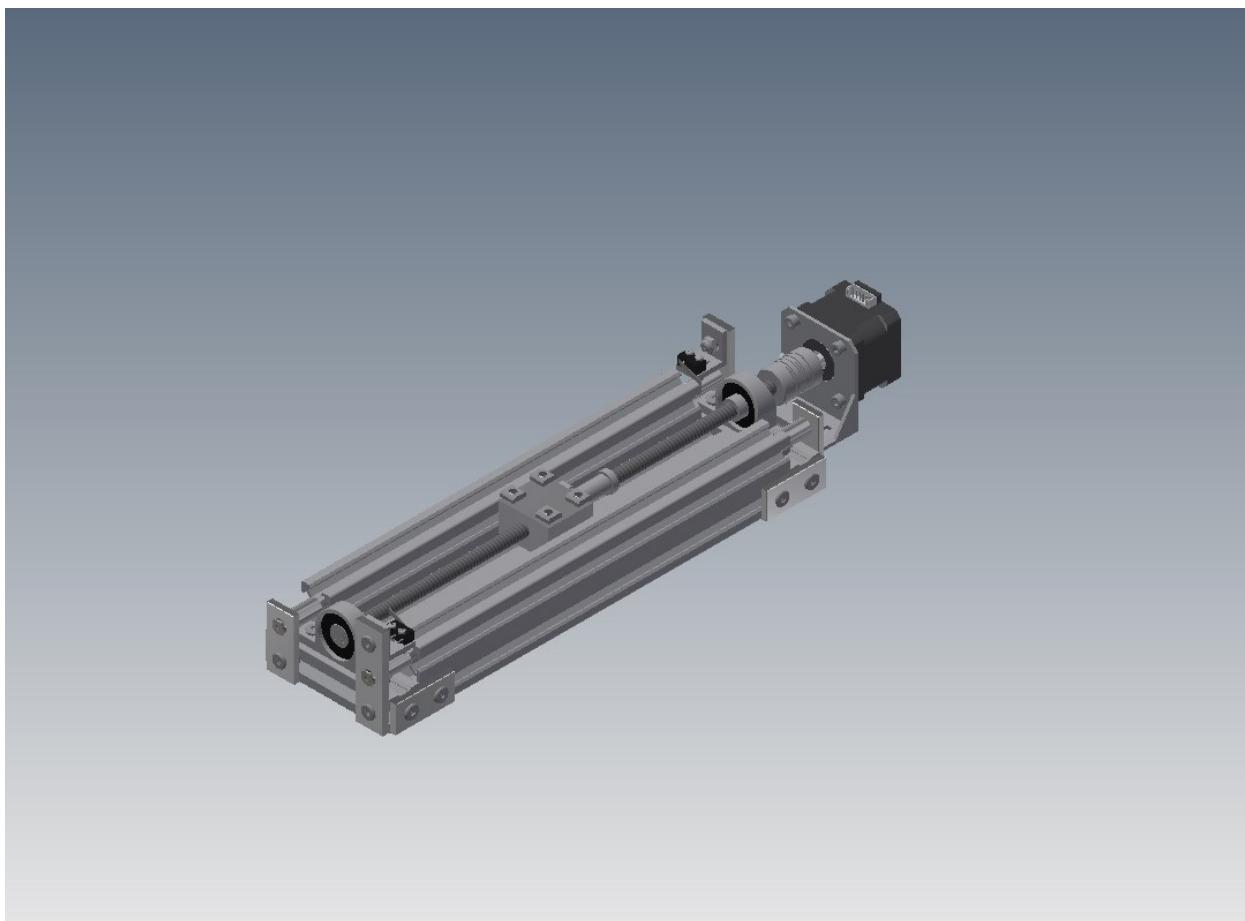
**Εικόνα 3.2.2.1 Κορμός εργαλειομηχανής**

#### **3.2.2.2 Συναρμογή X άξονα κίνησης**

Αποτελούμενη από ένα τμήμα προφίλ αλουμινίου της σειράς 4080 ως βάση, δύο προφίλ της σειράς 20 για την στήριξη των εδράνων κύλισης τα οποία φέρουν τον

### **Κεφαλαίο 3. Πρακτική Εφαρμογή**

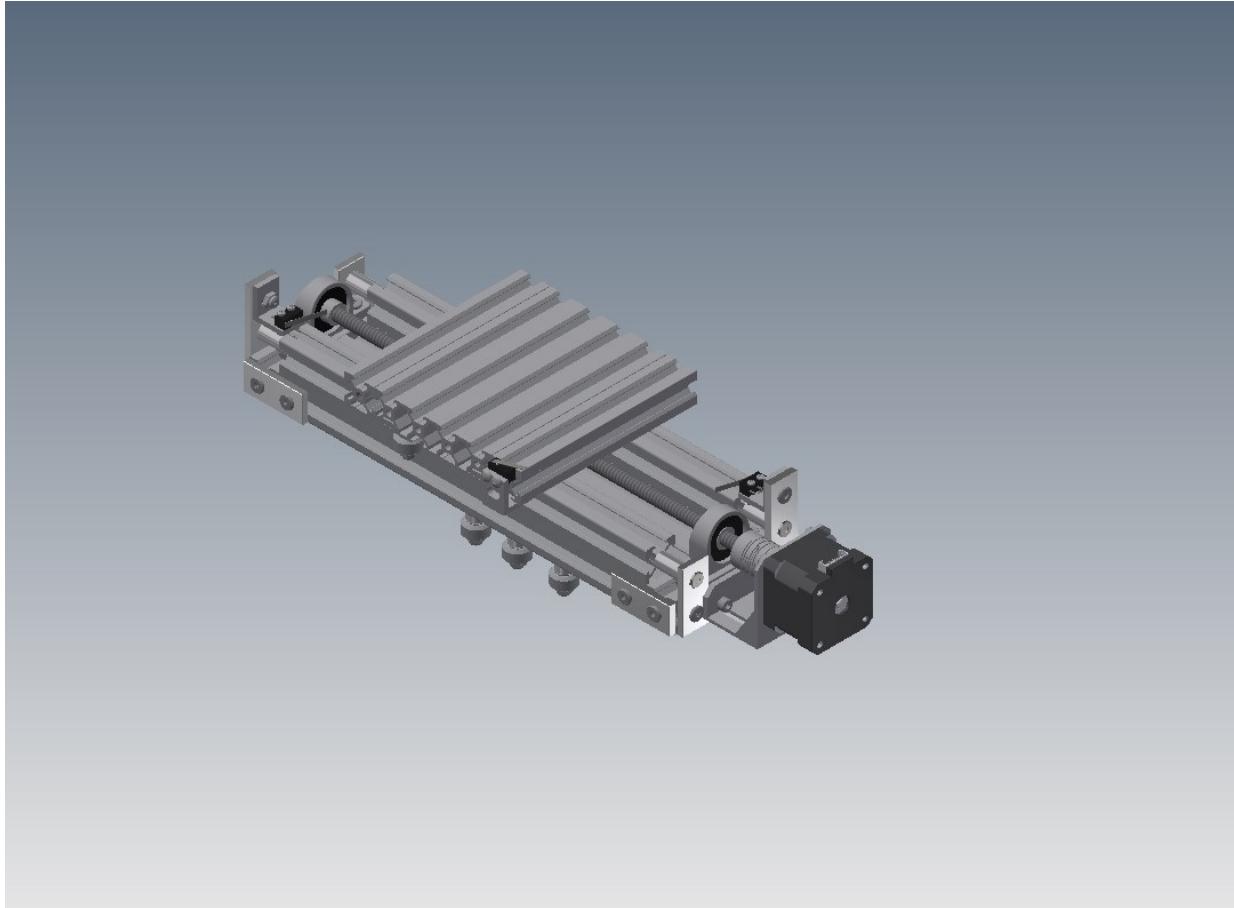
τραπεζοειδή κοχλία. Τμήμα προφίλ αλουμινίου της σειράς 2040 χρησιμοποιήθηκε ως σύνδεσμος μεταξύ του τραπεζοειδή περικοχλίου και τις εκάστοτε τραπέζης. Ορθογώνιο προφίλ αλουμινίου εφαρμόστηκε δύο και τριών οπών για συγκράτηση με κοχλίες και ως βάση για το τραπεζοειδή περικόχλιο, γωνίες αλουμινίου για τη στήριξη των τερματικών διακοπών, κυλινδρικοί αποστάτες και σύνδεσμος αξόνων αλουμινίου. Μεταλλική βάση για τη στήριξη του βηματικού κινητήρα.



**Εικόνα 3.2.2.2 Συναρμογή Χ άξονα κίνησης**

#### **3.2.2.3 Συναρμογή Υ άξονα κίνησης**

Ιδιες ενέργειες με τη σχεδίαση της συναρμογής του χ άξονα κίνησης ως βασική σκέψη και ιδέα για την ευθύγραμμη κίνηση όπως εκτελούνται και σε αυτήν την συναρμογή με την προσθήκη ορισμένων εξαρτημάτων.

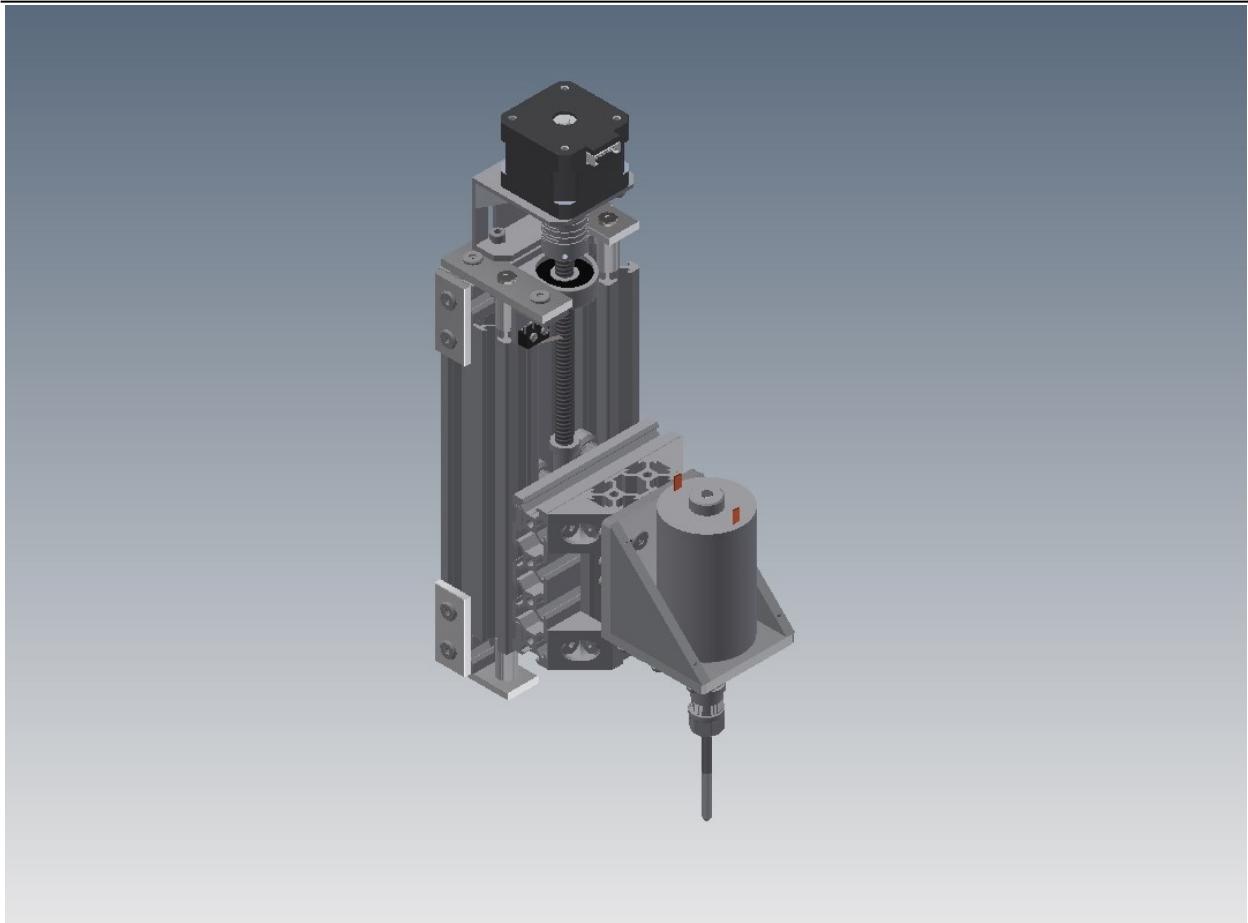


**Εικόνα 3.2.2.3 Συναρμογή Y άξονα κίνησης**

Για την τράπεζα πρόσδεσης τεμαχίων επιλέχθηκε προφίλ αλουμινίου της σειράς 2080 και με σκοπό την επέκταση της τραπέζης, ενώθηκαν δύο τμήματα προφίλ αλουμινίου της σειράς 2020 στα άκρα. Μεταξύ των συναρμογών X και Y παραλήφθηκε το αντίστοιχο για λόγους οικονομίας και αξιοποίησης της χρηστικότητας των προφίλ σαν αποτέλεσμα τα ράουλα κύλισης τοποθετήθηκαν στη βάση της συναρμογής Y χρησιμοποιώντας κυλινδρικούς αποστάτες αλουμινίου με περικόχλια ασφαλείας και κοχλίες ειδικού τύπου T για τη σειρά 20.

#### **3.2.2.4 Συναρμογή Z άξονα κίνησης**

Ίδια χαρακτηριστικά με τον ψ άξονα κίνησης με τη διαφορά έχει μειωθεί το μήκος της διαδρομής και επίσης για την στήριξη του κινητήρα περιστροφής του κοπτικού εργαλείου τοποθετήθηκαν βάσεις αλουμινίου. Μία ορθογώνια και ένα τμήμα προφίλ 2040 όπου προσδέθηκε η βάση με το τραπέζι επίσης και ως αποστάτης ώστε η αιχμή του κοπτικού εργαλείου να βρίσκεται στο κέντρο συμμετρίας του επιπέδου X Y.



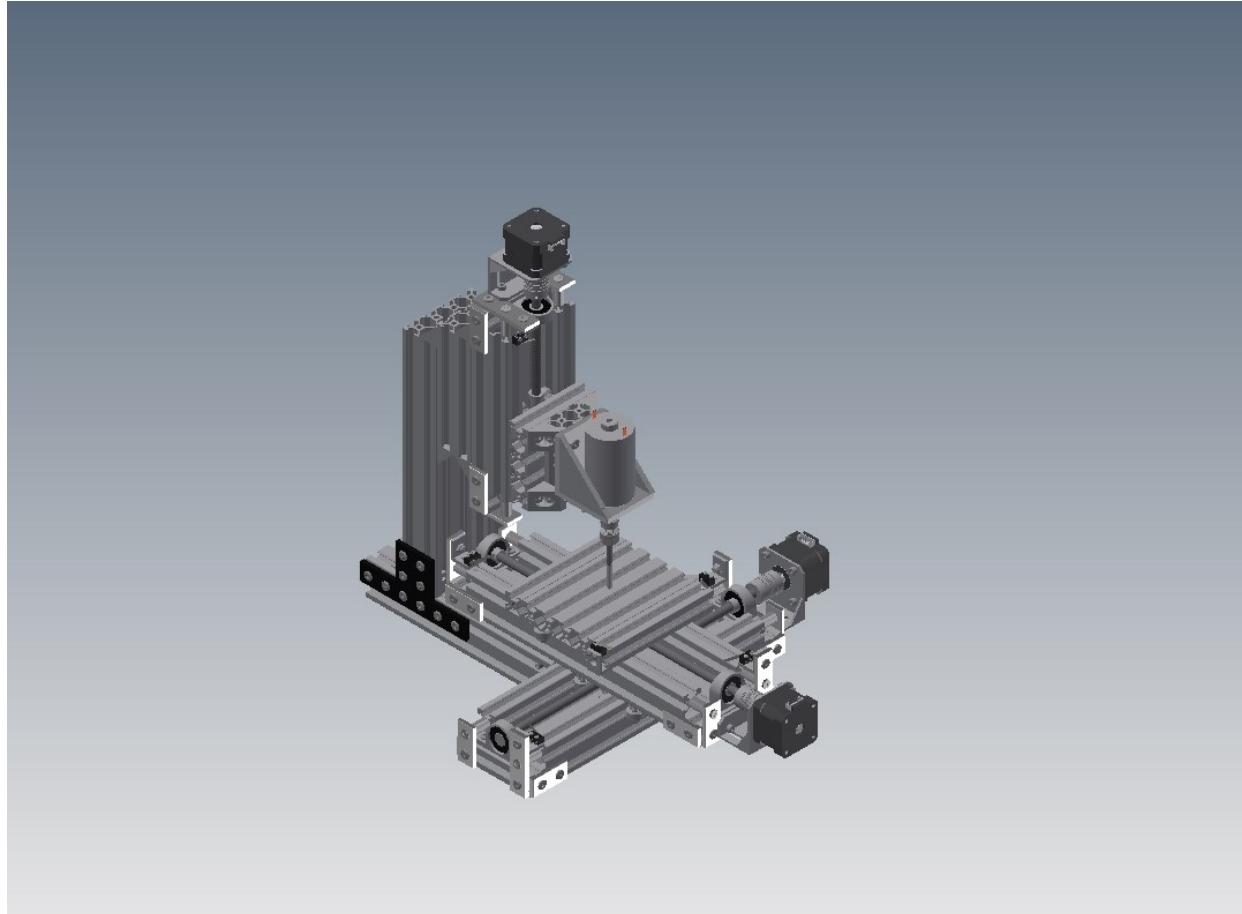
**Εικόνα 3.2.2.4 Συναρμογή Ζ άξονα κίνησης**

Μία παρατήρηση που μπορεί να γίνει εδώ είναι πως σε περίπτωση που προταθεί να χρησιμοποιηθεί μήτρα η ιδιοσυσκευή πρόσδεσης τεμαχίου πάνω στο υφιστάμενο τραπέζι δίνεται να τροποποιηθεί το μηδενικό επίπεδο της μηχανής. Μετά από μία τέτοια ενέργεια απαραίτητη είναι η βαθμονόμηση.

### 3.2.2.5 Συναρμογή εργαλειομηχανής

Με τη σύνθεση των παραπάνω συναρμογών προκύπτει η εργαλειομηχανή. Η σχεδίαση έγινε εμπειρικά και παράλληλα με την οικονομοτεχνική ανάλυση, μελετώντας τα δεδομένα λαμβάνοντας υπόψιν της δυνατότητες κατεργασίας των διαθέσιμων εργαλείων.

Σε συνδυασμό κόστους και των θεωρητικών δυνατοτήτων επιδιώχθηκε βέλτιστη αναλογία. Αποδίδονται οι μέγιστες μετατοπίσεις των τραπεζιών και κατ επέκταση οι μέγιστες διαστάσεις κατεργασίας ενός τεμαχίου σε 120 χιλιοστά μήκους 120 χιλιοστά πλάτους και 60 χιλιοστά όψους.



**Εικόνα 3.2.2.5** Συναρμογή εργαλειομηχανής

### **3.3 Μελέτες**

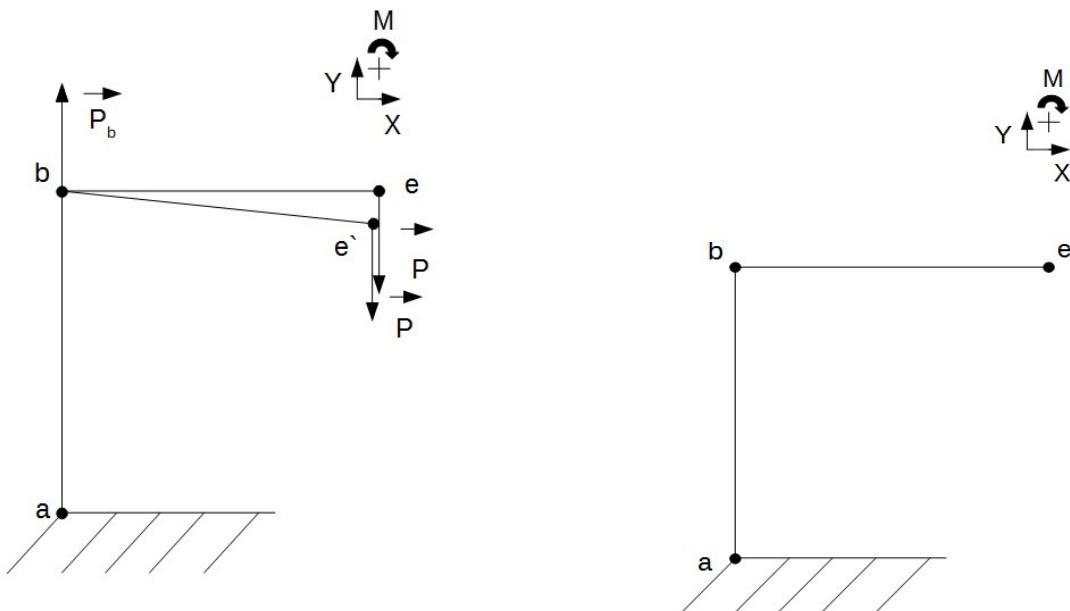
#### **3.3.1 Μελέτη στατικής επάρκειας**

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα επιχειρηθεί να προσδιοριστεί μέσω θεωρητικών μεθόδων η βόθιση στο άκρο του προβόλου και κατά συνέπεια η ακρίβεια κοπής εξαιτίας της ταλάντωσης του κινητήρα περιστροφής του κοπτικού εργαλείου αλλά και του ίδιου του βάρους της διάταξης που το συγκρατεί.

Είναι απαραίτητο να γίνουν κάποιες θεωρήσεις , Έτσι λοιπόν θα θεωρηθεί πάκτωση το κάθε σημείο του προβόλου το οποίο στην πράξη στηρίχθηκε με τη συναρμογή κοχλία και περικοχλίου. Οι εδράσεις των διατομών προσανατολίζονται όπως απεικονίζονται στα σχέδια. Δεδομένα προκύπτουν από την εξίσωση της ελαστικής γραμμής. Θα θεωρηθεί πως η δοκός έχει αμελητέα μάζα.

### 3.3.1.1 Γενική περίπτωση

Παρακάτω θα εξεταστεί η μετατόπιση του σημείου e στην γενική περίπτωση που θεωρείται πώς έχουμε ένα απλό πρόβολο του σχήματος 3.3.1.1.



Σχήμα 3.3.1.1.1 Απλός πρόβολος

Σχήμα 3.3.1.1.2 Απλός πρόβολος υπό φορτίο P.

### 3.3.1.2 Δεδομένα γενικής περίπτωσης

Τα δεδομένα προκύπτουν από το σχεδιασμό και τις ιδιότητες υλικών από τους κατασκευαστές και παρατίθενται στον πίνακα 3.3.1.2.

Πίνακας 3.3.1.2. Δεδομένα

α/α	Συμβολισμός	Μέγεθος	Τιμή	Μονάδα μέτρησης
1	e	Μέτρο ελαστικότητας	$68.9 \times 10^9$	Pa
2	i	Ροπή αδράνειας	$565.646 \times 10^{-9}$	$m^4$
3	P	Δύναμη	90	N
4	ab	Μήκος	300	mm
5	be	Μήκος	182	mm

### 3.3.1.3 Υπολογισμοί

$$\sum f_x = 0$$

$$\sum M_e = 0$$

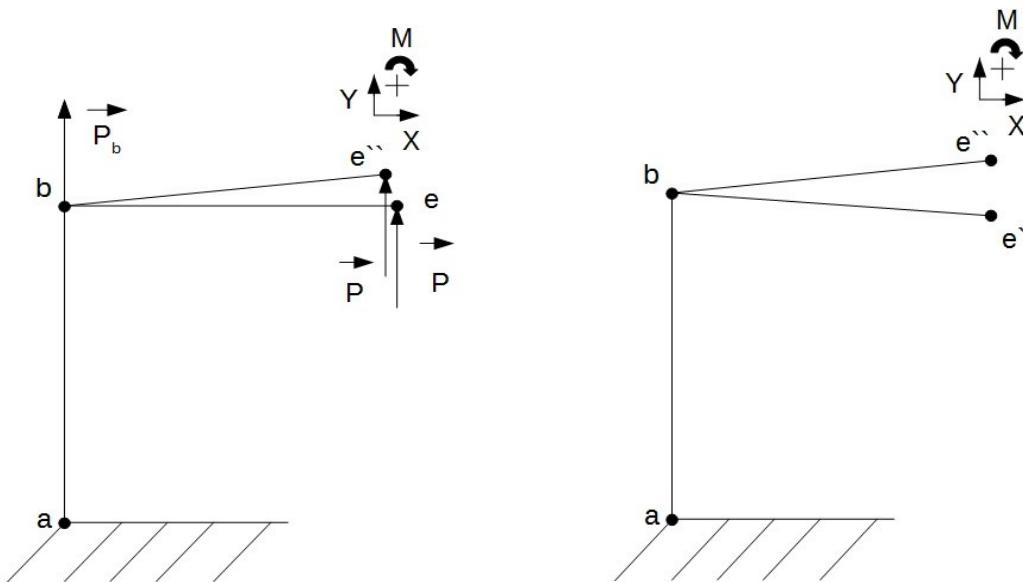
$$\sum f_y = 0 \Rightarrow -P + P_b = 0 \Rightarrow P_b = P = 90N$$

$$ee' = \frac{1000(be)^3 P}{3ei} \quad (3,1)$$

ee': Είναι η βύθιση του προβόλου μήκους (be) ιδιοτήτων e, ι υπό φορτίο P

$$ee' = \frac{1000x(0.182)^3 x 90}{3x68.9x10^9x565.646x10^{-9}} (mm) = 0.00464mm$$

Στην περίπτωση που θεωρηθεί ότι ασκείται δύναμη ίσου μέτρου και αντίθετης διεύθυνσης τότε προκύπτει το σχήμα 3.3.1.3.1. Και τότε το αποτέλεσμα δεν θα αλλάξει αριθμητικά παραμένοντας ίδιο με το παραπάνω.



**Σχήμα 3.3.1.3.1** Πρόβολος υπό φορτίο P προς τα πάνω.    **Σχήμα 3.3.1.3.2** Ακραίες θέσεις.

Επομένως και το μήκος  $e''e = e'e = 0.00464mm$ , άρα το τμήμα  $e''e' = 2ee' = e''e = 2 \times 0.00464mm = 0.00928mm$

### 3.3.2 Μελέτη ισχύος κοπής

Κατά τη διάρκεια των ενεργειών με τη βέλτιστη αναλογία της μελέτης της οικονομοτεχνικής ανάλυσης και του σχεδιασμού επιλέχθηκε ηλεκτρικός κινητήρας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πίνακα 2.4.2. Μελετώντας την ισχύ κοπής στην οποία συνδέονται τα μεγέθη του κοπικού εργαλείου με τον κινητήρα της κυρίας ατράκτου και τα κατεργάζομαι να υλικά. Εισάγοντας τα δεδομένα στην παρακάτω σχέση (3.2) εξάγονται θεωρητικά συμπεράσματα για την χρήση κατάλληλων κοπικών εργαλείων και των μαλακών υλικών στα οποία μπορεί να γίνει η κατεργασία.

$$P_c = \frac{\alpha_p \times \alpha_e \times F}{60 \times 10^6 \times \eta} \times k_c \quad (3.2)$$

Επεξήγηση των μεγεθών:

$P_c$ : Ισχύς κοπής

$F$  : Ταχύτητα πρόωσης σε mm/min

$\alpha_p$ : Βάθος κοπής σε mm

$\alpha_e$ : Πάχος κοπής σε mm

$\eta$  : Βαθμός απόδοσης ηλεκτρικού κινητήρα

$k_c$ : Δύναμη κοπής ανά μονάδα επιφάνειας σε N/mm ,σταθερά του υλικού

## 3.4 Οικονομοτεχνική ανάλυση

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν βρέθηκαν μετά από έρευνα αγοράς στο διαδίκτυο και προμηθεύτηκαν κατεργασμένα οπού σε τρεις περιπτώσεις οι κοπές των αλουμινίων έγιναν στις επιθυμητές διαστάσεις. Αυτές είναι στην περίπτωση του προβόλου, της τραπέζης και της στήριξης του κινητήρα περιστροφής του κοπικού εργαλείου. Σε διαφορετικές περιπτώσεις που περιγράφεται στο παρακάτω κεφάλαιο κατασκευή εξαρτημάτων πραγματοποιήθηκαν κατεργασίες με τα διαθέσιμα προσωπικά εργαλεία.

### 3.4.1 Κόστος

Το κόστος των εξαρτημάτων στη λιανική πώληση με την πάροδο του χρόνου φαίνεται πως διακυμαίνεται. Παρακάτω στον πίνακα 3.4.1.1 ενδεικτικά έχουν συγκεντρωθεί όλα τα εξαρτήματα όπου δεν απαιτούνται κατεργασίες για να υλοποιηθεί η συναρμογή, και οι ποσότητες αυτών με τις τιμές προμήθειας της εγχώριας αγοράς.

**Κεφαλαίο 3. Πρακτική Εφαρμογή**

**Πίνακας 3.4.1.1** Κόστος προσαρμοσμένων εξαρτημάτων εγχώριας αγοράς

α/α	Εξάρτημα	Ποσότητα	Τιμή σε €	Σύνολα	Ανάλογο
1	Αποστάτης M5x10x1	4	0,12	0,48	0,07%
2	Αποστάτης M5x10x10	6	0,45	2,7	0,37%
3	Αποστάτης Αλουμινίου M5x10x35	6	0,5	3	0,41%
4	Αποστάτης Αλουμινίου M5x10x40	6	0,6	3,6	0,49%
5	Βάση βηματικού κινητήρα	3	3,6	10,8	1,47%
6	Βάση κινητήρα περιστροφής	1	9,9	9,9	1,35%
7	Βηματικός κινητήρας με ανατροφοδότηση 1.2NxM	2	65	130	17,71%
8	Βηματικός κινητήρας με ανατροφοδότηση 1.8NxM	1	83	83	11,31%
9	Γωνιακές συνδέσεις προφίλ 2020	6	1,8	10,8	1,47%
10	Γωνιακές συνδέσεις τύπου L προφίλ 2020	2	1,2	2,4	0,33%
11	Γωνίες τύπου L 20x40	3	0,8	2,4	0,33%
12	Εξωτερικές γωνίες προφίλ 2020	8	3	24	3,27%
13	Εσωτερικές γωνίες προφίλ 2020	22	0,8	17,6	2,40%
14	Ευθείες συνδέσεις προφίλ 2020	12	0,6	7,2	0,98%
15	Κινητήρας περιστροφής κοπτικού εργαλείου	1	39,9	39,9	5,44%
16	Κοχλίας τύπου Άλεν M5x15	6	0,07	0,42	0,06%
17	Κοχλίας τύπου Άλεν M5x40	6	0,16	0,96	0,13%
18	Κοχλίας τύπου Άλεν M5x55	6	0,25	1,5	0,20%
19	Κοχλίας τύπου Άλεν M5x60	4	0,25	1	0,14%
20	Κοχλίες χαμηλού προφίλ M5x08	16	0,08	1,28	0,17%
21	Κοχλίες χαμηλού προφίλ M5x10	88	0,08	7,04	0,96%
22	Κοχλίες χαμηλού προφίλ M5x12	12	0,1	1,2	0,16%
23	Κοχλίες χαμηλού προφίλ M5x25	6	0,12	0,72	0,10%
24	Περικόχλιο M5 προφίλ 2020	120	0,2	24	3,27%
25	Περικόχλιο ασφαλείας M5	12	0,06	0,72	0,10%
26	Προφίλ αλουμινίου 20x40x250	1	4	4	0,54%
27	Προφίλ αλουμινίου 20x80x250	1	5	5	0,68%
28	Προφίλ αλουμινίου 40x80x250	4	7	28	3,81%
29	Συναρμογή κίνησης άξονα X,Ψ,Z	3	81,9	245,7	33,47%
30	Σύνδεσμος αξόνων εύκαμπτος	3	3,2	9,6	1,31%
31	Τροφοδοτικό 48V 158.4W	1	24,8	24,8	3,38%
32	Τροφοδοτικό 12V 150W	1	16,5	16,5	2,25%
33	Μικροεπεξεργαστής	1	6	6	0,82%

**Κεφαλαίο 3. Πρακτική Εφαρμογή**

34	Ασύρματος Διαυλος επικοινωνίας	1	7,8	7,8	1,06%
	Αθροισμα των συνόλων			734,02	

Σε μία προσπάθεια ανεύρεσης οικονομικών εξαρτημάτων έμφαση δόθηκε στα υψηλά ποσοστά της τελευταίας στήλης ανάλογο η οποία εκφράζει το ποσοστό της αξίας ενός συνόλου είδος εξαρτημάτων σε σχέση με το συνολικό κόστος της κατασκευής.

Η έρευνα αγοράς επαναλήφθηκε επιλέγοντας εξαρτήματα και από τη διεθνή αγορά επιλέγοντας το χαμηλότερο κόστος .

**Πίνακας 3.4.1.2** Κόστος εξαρτημάτων εγχώριας και διεθνής αγοράς

α/α	Εξάρτημα	Ποσότητα	Τιμή σε €	Σύνολα	Ανάλογο
1	Βηματικός κινητήρας με βάση	3	26,84	80,52	22,42%
2	Βάση κινητήρα περιστροφής	1	5	5	1,39%
3	Γωνιακές συνδέσεις προφίλ 2020	2	1,8	3,6	1,00%
4	Γωνιακές συνδέσεις τύπου L προφίλ 2020	4	1,5	3	0,84%
5	Εξωτερικές γωνίες προφίλ 2020	10	0,3	3	0,84%
6	Allen Head Cup	50	3,24	3,24	0,90%
7	Εσωτερικές γωνίες προφίλ 2020	22	0,44	10,8	3,01%
8	Ευθείες συνδέσεις προφίλ 2020 20x80	2	0,12	0,24	0,07%
9	ER11A-5mm Extension Rod Collet Chuck	1	6,83	6,83	1,90%
10	Κινητήρας περιστροφής κοπτικού εργαλείου	1	19,92	19,92	5,55%
11	Συναρμογή κίνησης άξονα X	1	40,22	40,22	11,20%
12	Συναρμογή κίνησης άξονα Ψ	1	43,62	43,62	12,14%
13	Συναρμογή κίνησης άξονα Z	1	44,75	44,75	12,46%
14	Slot Cover	1	4,9	4,9	1,36%
15	Κοχλίες χαμηλού προφίλ M5x08	17	0,08	1,36	0,38%
16	Κοχλίες χαμηλού προφίλ M5x10	44	0,08	3,52	0,98%
17	Περικόχλιο M5 προφίλ 2020	45	0,066	2,97	0,83%
18	Προφίλ αλουμινίου 40x80x250	3	7	21	5,85%
19	Τροφοδοτικό 12V 20A 240W	1	19,9	19,9	5,54%
20	Μικροεπεξεργαστής	1	5	5	1,39%
21	Ασύρματος Διαυλος επικοινωνίας	1	7	7	1,95%
22	Cable Drag Chain	1	4,02	4,02	1,12%
23	Spindle controller	1	13,81	13,81	3,84%
24	Τερματικοί διακόπτες	10	0,35	3,5	0,97%
25	Γωνίες τύπου L	7	0,8	5,6	1,56%
26	Περικόχλιο M2 Μεταλλικό H1.6mm	14	0,02	0,28	0,08%

### Κεφαλαίο 3. Πρακτική Εφαρμογή

27	Βίδα M2 - L14mm DIN7985	14	0,03	0,42	0,12%
28	Ροδέλα M2.5 Μεταλλική	12	0,02	0,24	0,07%
29	Ευθείες συνδέσεις προφίλ 2020 20x60	6	0,1	0,6	0,17%
30	Περικόχλιο ασφαλείας M5	6	0,06	0,36	0,10%
Άθροισμα των συνόλων					359,22

## 3.5 Πειράματα εφαρμογής

Για την επαλήθευση των θεωρητικών δεδομένων αλλά και για τον καθορισμό ασαφές ή και ανεπάρκεια δεδομένων πραγματοποιήθηκαν πειράματα εφαρμογής και δοκιμές από που προέκυψαν συμπεράσματα. Αμέσως παρακάτω παρουσιάζονται τρόποι και ιδέες επίλυσης προβλημάτων. Στα αμέσως επόμενα κεφάλαια 3.6 και 3.7 περιγράφεται αναλυτικά η κατασκευή και η συναρμογή τους.

### 3.5.1 Στήριξη τραπεζοειδές περικοχλίου

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού προέκυψε το ερώτημα εάν διέρχεται ένα προφίλ αλουμινίου 2040 στο διάκενο που υπάρχει στο προφίλ 4080 οι διαστάσεις κατά τη θεωρητική εφαρμογή και προσομοίωση και στις δύο περιπτώσεις ήταν 40 mm όπου θεωρείται συναρμογή αμφίβολης σύσφιξης.



Εικόνα 3.5.1.1 Προφίλ αλουμινίου



Εικόνα 3.5.1.2 Εξακρίβωση δεδομένων

Μετρήθηκε πώς στο προφίλ 2040 το πλάτος έχει ακριβή διάσταση 39,96 mm και η απόσταση μεταξύ των εντός του προφίλ 4080 είναι 40,2 mm επομένως ορίζεται πως η συναρμογή είναι ελεύθερη. Έπειτα από αυτή τη διαπίστωση σχεδιάστηκε μία οικονομική λύση για την στήριξη του τραπεζοειδές περικοχλίου μεταξύ του συνεργαζόμενου άξονα και της εκάστοτε τραπέζης.



Εικόνα 3.5.1.3 Συναρμογή στήριξης περικοχλίου



Εικόνα 3.5.1.4 Επιμέρους συναρμογής

Αποτελείται από τμήμα κατεργασμένου προφίλ αλουμινίου 2040 το οποίο πακτώνεται με τη συναρμογή κοχλία περικοχλίου στο εκάστοτε τραπέζι και ένα κατεργασμένο τμήμα προφίλ ορθογώνιας διατομής το οποίο πακτώνεται στο προφίλ αλουμινίου 2040 και πακτώνει τραπεζοειδές περικόχλιο.

### 3.5.2 Αποστάτες

Σε συνέχεια αλλά και με ταυτόχρονη μελέτη με την συναρμογή στήριξης του τραπεζοειδές περικοχλίου διαμορφώθηκαν οι διαστάσεις των τεμαχίων και των κυλινδρικών αποστατών όπου παρεμβάλλονται μεταξύ των τραπεζιών και των ράουλων κύλισης. Τα θεμελιώδη δεδομένα είναι η θέση του άξονα του τραπεζοειδή κοχλία και η θέση που εφαρμόζονται τα ράουλα κύλισης στα προφίλ 4080. Κυλινδρική αποστάτες επίσης εφαρμόστηκαν για τη βέλτιστη στήριξη των εδράνων κύλισης του τραπεζοειδή κοχλία.



Εικόνα 3.5.2.1 Χρήσεις αποστατών



Εικόνα 3.5.2.2 Επαλήθευση αποστατών

### **3.5.3 Σύνδεσμοι Ένωσης προφίλ**

Για την περαιτέρω μείωση του κόστους αποφασίστηκε η κατασκευή συνδέσμων ενώσεις προφίλ αλουμινίου.



**Εικόνα 3.5.3 Σύνδεσμοι Ένωσης προφίλ**

## **3.6 Κατασκευή εξαρτημάτων**

Για τις απαιτούμενες κατεργασίες πρώτων υλών αλλά και εμπορικά διαθέσιμων εξαρτημάτων χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω διαθέσιμα εργαλεία:

- Επιτραπέζια εργαλειομηχανή emco compact5
- Επιτραπέζιο δράπανο
- Πριόνι ταινίας μετάλλου

Για τις μετρήσεις των διαστάσεων, τη διαπίστωση θεωρητικών δεδομένων αλλά και την βαθμονόμηση χρησιμοποιήθηκαν:

- Ωρολογιακό μικρόμετρο ακριβείας 0,01 mm
- Παχύμετρο ακριβείας 0,02 mm
- Γωνία ακριβείας DIN875/0

Ιδιοσυσκευή οπτικής σήμανσης ερυθρού φωτός μήκος κύματος 600 nm επινοήθηκε και εφαρμόστηκε για τις απαιτήσεις σε ακριβεία του τεμαχίου της βάσης του τραπεζοειδές περικοχλίου καθώς το πρώτο πειραματικό χειροποίητο τεμάχιο ισορροπούσε μεταξύ της αποδοχής και απόρριψης. Επιχειρήθηκε να απομονωθεί δέσμη φώτος με τη χρήση φύλλου αλουμινίου καλύπτοντας την κεφαλή της ερυθρής φωτοδιόδου και έπειτα από σύντομες προσπάθειες διάτρησης του φύλλου με μία καρφίτσα απομονώθηκε μία δέσμη φωτός ίχνους 0.8 mm περίπου και σε απόσταση

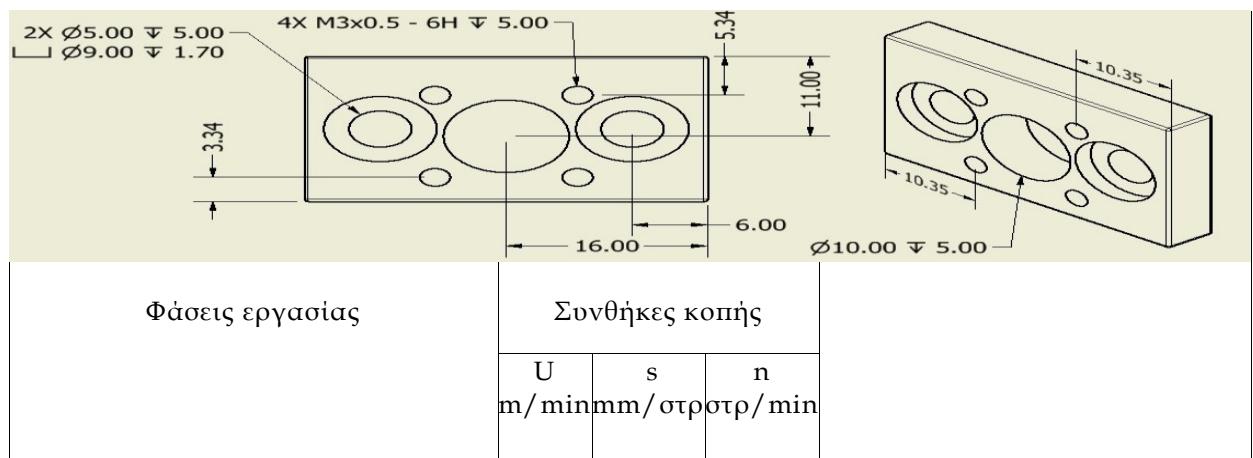
20cm από την πηγή. Προσαρμόστηκε στο δράπανο της εργαλειομηχανής. Για την μέγιστη απόδοση κατά τη χρήση της σε κάθε κάτοψη κατεργαζόμενου τεμαχίου επικολλήθηκε εκτυπωμένη κάτοψη του ψηφιακού σχεδίου σε κλίμακα 1 προς 1. Για κάθε διαφορετικό ύψος επιπέδου του τεμαχίου απαιτούνταν και εκ νέου βαθμονόμηση μέσω της στόχευσης με την δέσμη φώτος σε ένα σημάδι στο επίπεδο που προκλήθηκε από το κοπτικό εργαλείο. Κατά τη χρήση της ιδιοσυσκευής λήφθηκαν απαραίτητα μέτρα προστασίας για τα μάτια.



**Εικόνα 3.6 Εργαλειομηχανή Emco Compact 5**

### 3.6.1 Βάση στήριξης τραπεζοειδές περικοχλίου

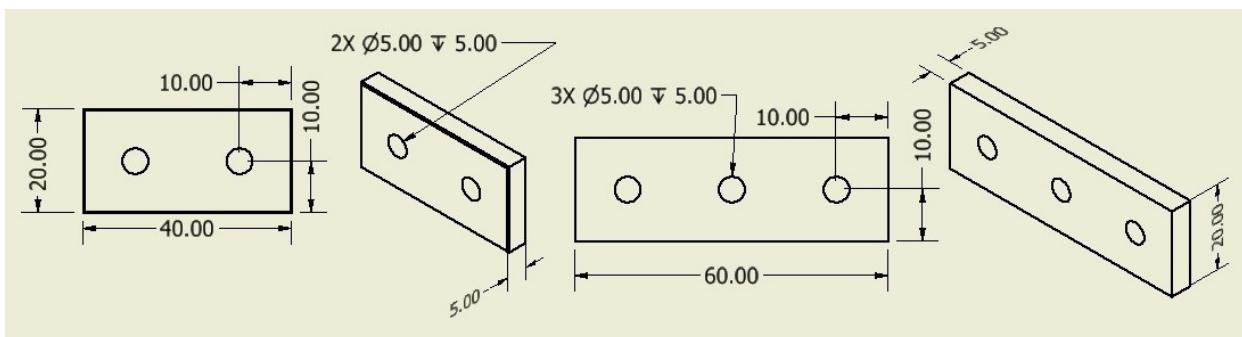
**Πίνακας 3.6.1 Φασεολόγιο Βάσης στήριξης τραπεζοειδές περικοχλίου**



### Κεφαλαίο 3. Πρακτική Εφαρμογή

Κοπή υλικού από προφίλ $5 \times 20$ mm σε τμήματα 32mm με πριόνι ταινίας .	20			
Συγκράτηση στη μέγγενη κατασκευή κέντρων όλων των οπών με κεντροτρύπανο και τη χρήση της ιδιοσυσκευής οπτικής σήμανσης.		480		
Διάνοιξη διαμπερές οπών στα υφιστάμενα κέντρα Κατά σειρά με τρυπάνια 2,5mm, 5mm 10mm. Τρύπημα βάθους 1,7mm στις οπές των 5mm.		480		
Διάνοιξη σπειρωμάτων M3 με χρήση πετρελαίου ως λιπαντικοί, εξομάλυνση των κοφτερών άκμων του τεμαχίου με τη χρήση λίμας και σμυριδόπανου P180	Διά χειρός			
Ετοιμο κομμάτι				

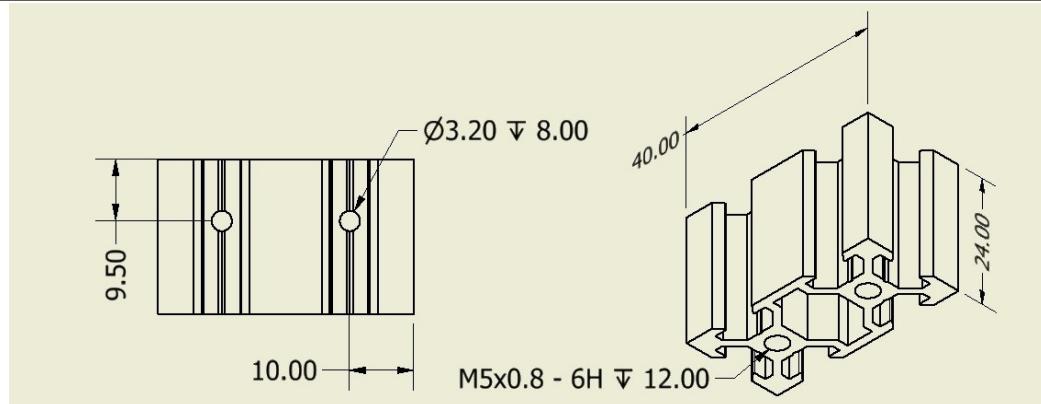
Με τον ίδιο τρόπο εργαστήκαμε και για την κατασκευή των συνδέσμων ένωσης προφίλ.



Σχήμα 3.6.1 Σύνδεσμοι ένωσης προφίλ

### 3.6.2 Προφίλ 2040 Πρόσδεσης τραπεζιού

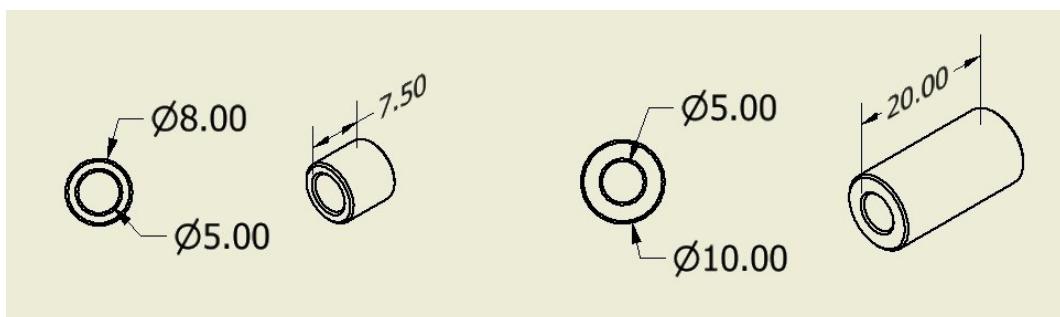
Το τραπέζι ενώθηκε με την παραπάνω βάση δια μέσω του Τμήματος προφίλ 2040 του παρακάτω σχήματος 3.6.2 στο οποίο προσδέθηκε με κοχλίες εφόσον διανοίχτηκε σπείρωμα M5. Διανοίχτηκαν οπές 3,20 mm με σκοπό να περάσει το κλειδί συσφίξεις του κοχλία.



Σχήμα 3.6.2 Προφίλ 2040 Πρόσδεσης τραπεζιού

#### 3.6.4 Αποστάτες

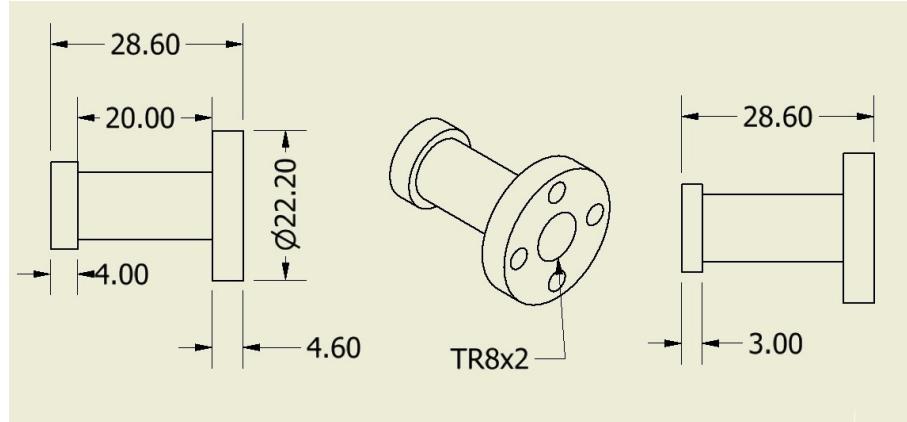
Αποστάτες κατασκευάστηκαν στην εργαλειομηχανή από κύλινδρο αλουμινίου με 8 και 10 χιλιοστών με τα χαρακτηριστικά του παρακάτω σχήματος.



Σχήμα 3.6.4 Αποστάτες

#### 3.6.5 Τροποποίηση τραπεζοειδές περικοχλίου

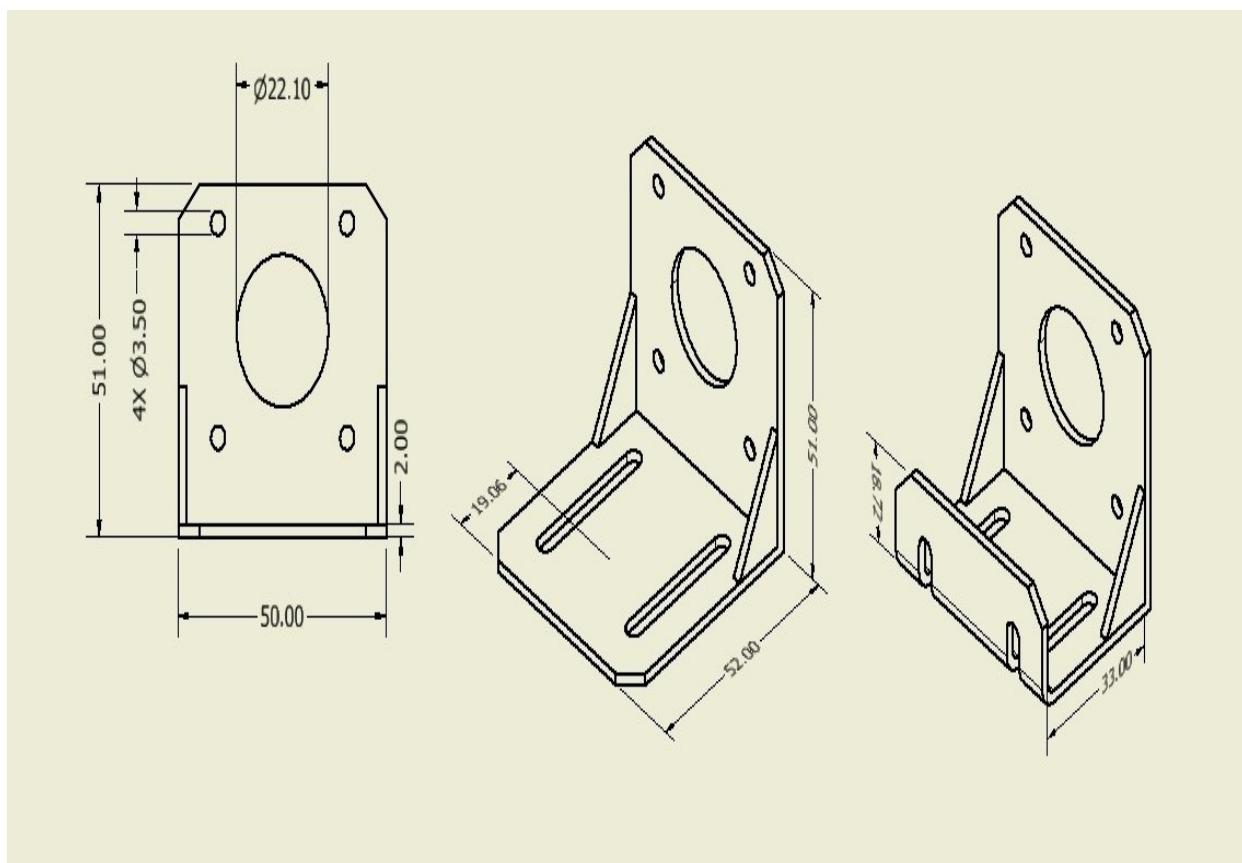
Για τη μέγιστη αξιοποίηση του μήκους διαδρομής των αξόνων κίνησης ώστε να μη συμπίπτει με τα ράουλα τροποποιήθηκε στην εργαλειομηχανή το τραπεζοειδές περικοχλίο που πραγματοποιήθηκε αφαίρεση υλικού ενός χιλιοστού.



**Σχήμα 3.6.5 Τροποποίηση τραπεζοειδές περικοχλίου**

### 3.6.6 Τροποποίηση βάσης βηματικού κινητήρα

Για την εφαρμογή της βάσης του βηματικού κινητήρα απαιτήθηκε ο λυγισμός του ενός άκρου κατά  $90^{\circ}$  σε απόσταση 19 mm από το άκρο πάχους λαμαρίνας 2 mm.

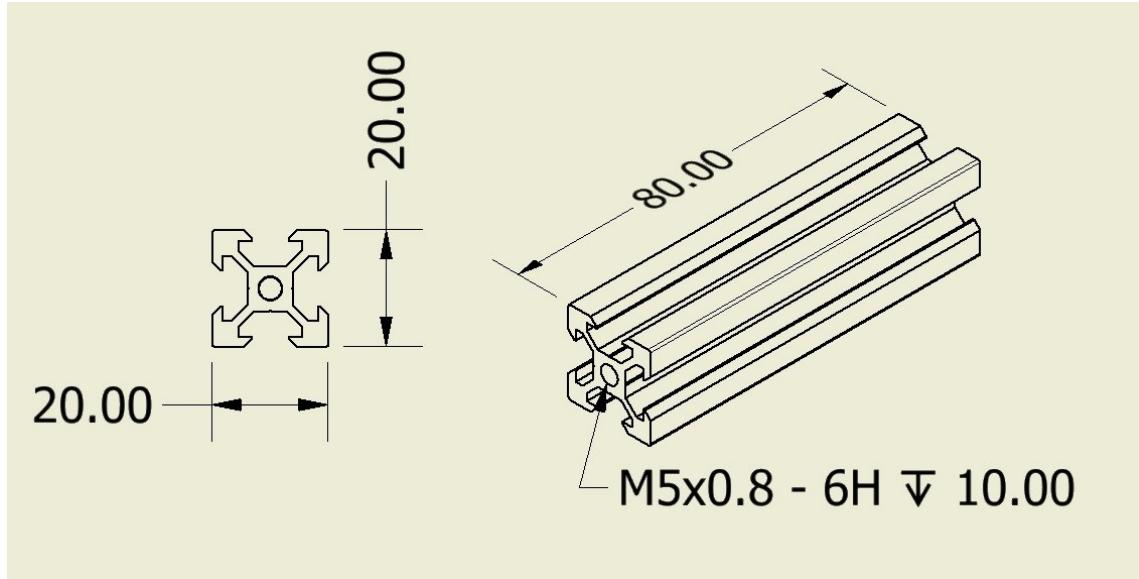


**Σχήμα 3.6.6 Τροποποίηση βάσης βηματικού κινητήρα**

### 3.6.7 Τροποποίηση προφίλ 2020

Στα προφίλ της σειράς 2020 που χρησιμοποιήθηκαν για την στήριξη των εδράνων

κύλισης διανοιχτήκαν σπειρώματα. Σε δύο τμήματα μήκους 120 mm τα οποία πακτώθηκαν στο τραπέζι του ψ άξονα κίνησης. Διανοιχτήκαν οπές διαμέτρου 3,2 mm ώστε το κλειδί να περάσει και να πραγματοποιήσει σύσφιξη στην συναρμογή κοχλία και περικοχλίου.



**Σχήμα 3.6.7 Τροποποίηση προφίλ 2020**

## 3.7 Συναρμολόγηση

### 3.7.1 Συναρμογές Αξόνων κίνησης

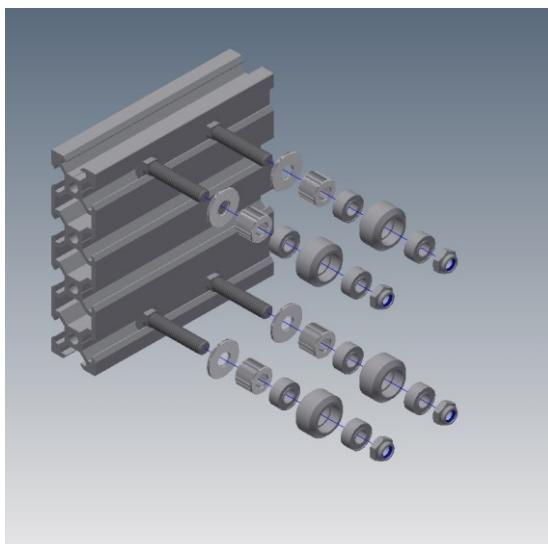
Η συναρμολόγηση εκκινείται από τον Z άξονα κίνησης. Ακολουθείται η σειρά συναρμολόγησης που περιγράφεται παρακάτω ως διευκόλυνση και σε ορισμένες περιπτώσεις ως η μοναδική σειρά με την οποία μπορεί να συναρμολογηθεί. Προετοιμάζουμε και οργανώνουμε τα επιμέρους εξαρτήματα.



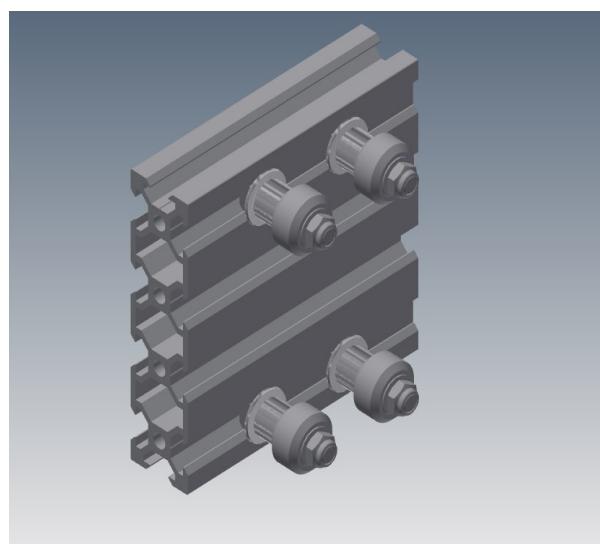
**Εικόνα 3.7.1.1 Εξαρτήματα Ζ άξονα**

Τοποθετούνται στα ράουλα τα έδρανα κύλισης, έπειτα παράκυκλοι M5x15x2 στον ειδικό τύπου T κοχλία που εφαρμόζει στα προφίλ της σειράς 2020, στη συνέχεια τοποθετείται αποστάτης αλουμινίου Φ8x5x7,5 το ράουλο και το περικόχλιο ασφαλείας M5 και επαναλαμβάνουμε για όλα τα ράουλα.

Τοποθετήθηκαν στο τραπέζι ανά δύο στις εξωτερικές αυλακώσεις και σε απόσταση 26 mm περίπου από το κέντρο του άξονα συμμετρίας του κοχλία τύπου T μέχρι το άκρο του τραπεζιού και πραγματοποιήθηκε η ελάχιστη σύσφιξη ώστε με μικρή δυσκολία να μετακινούνται, Έπειτα από δοκιμές και αφού επαληθεύτηκε η συμμετρία σφίχθηκαν τα περικόχλια ασφαλείας κατά ένα τέταρτο της στροφής.



**Σχήμα 3.7.1.1 Ράουλα Προσαρμογή**

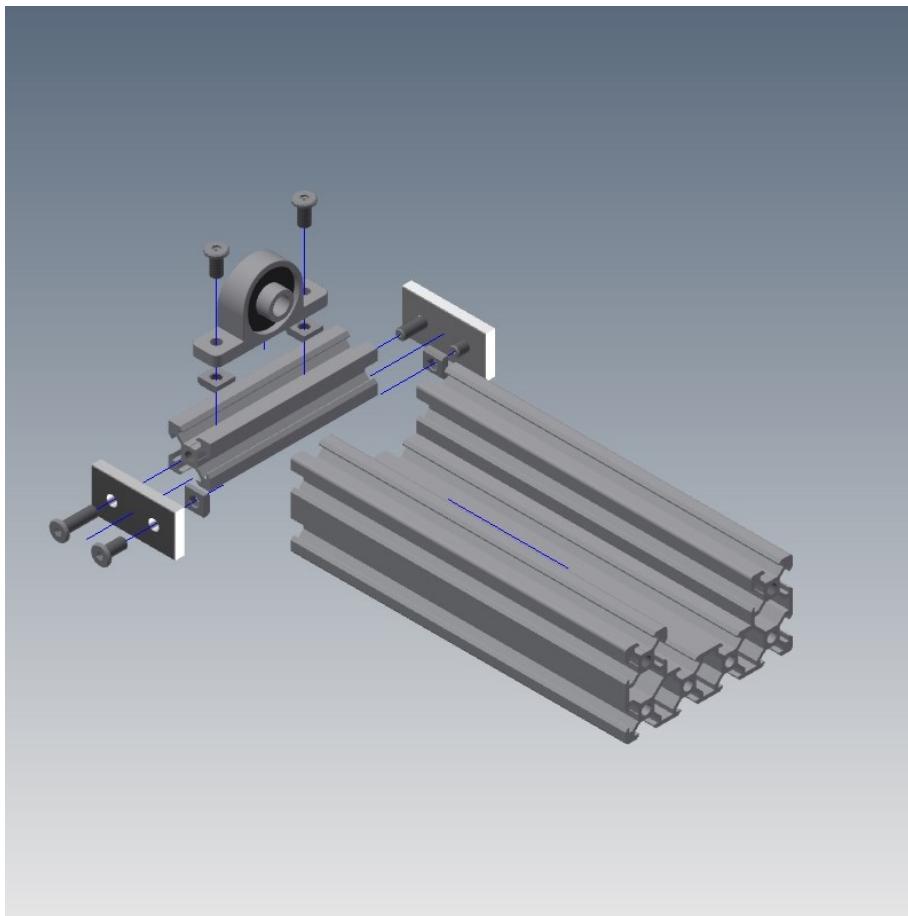


**Σχήμα 3.7.1.2 Ράουλα στο τραπέζι**

Προσαρμόζονται με ελάχιστη σύσφιξη κοχλίας χαμηλού προφίλ M5x10 με το

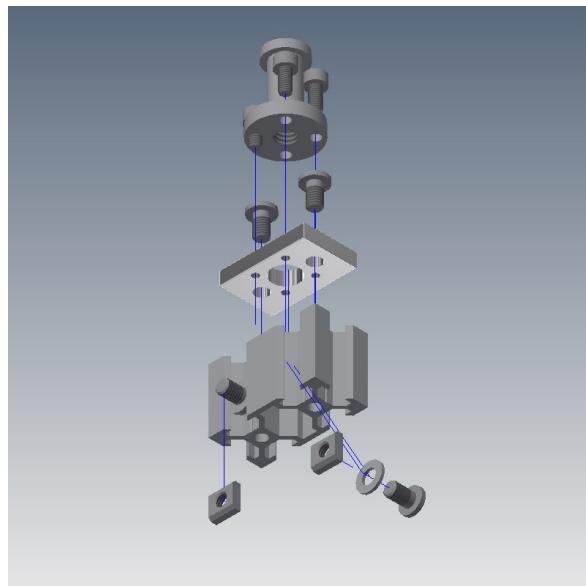
### **Κεφαλαίο 3. Πρακτική Εφαρμογή**

περικόχλιο προφίλ M5 τα ράουλα κύλισης των αξόνων στα προφίλ 2020x80 σε απόσταση 12,5 mm από τα άκρα. Τοποθετούνται πλευρικά οι σύνδεσμοι ένωσης προφίλ 20x40 με κοχλίες χαμηλού προφίλ M5x10.

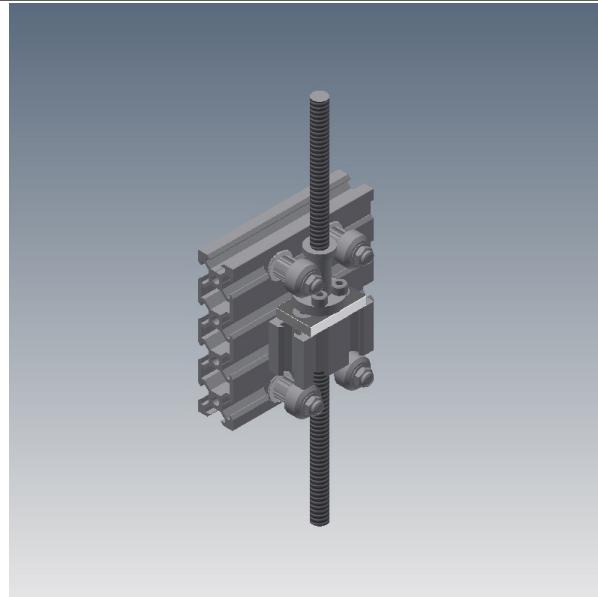


**Σχήμα 3.7.1.3 Συναρμογή εδράνων κύλισης**

Προσδένεται στον σύνδεσμο ένωσης προφίλ 2020 τραπεζιού η βάση τραπεζοειδή περικοχλίου με δύο κοχλίες χαμηλού προφίλ M5x10 και στη συνέχεια το περικόχλιο με τέσσερις κοχλίες τόπου άλλεν M3x8. Στην πλευρά στην οποία εφάπτεται με το τραπέζι για να πακτωθεί τοποθετούνται 2 κοχλίες χαμηλού προφίλ M3x6 με παράκυκλους M5x10x1 και περικόχλια προφίλ M5. Έπειτα εισάγουμε τα εξαγωνικά κλειδιά από τις οπές ώστε να συγκρατούμε τους κοχλίες και προσδένουμε με ελάχιστη σύσφιξη στο τραπέζι. Εισάγουμε στο τραπεζοειδή περικόχλιο το ελατήριο και με το υπόλοιπο τμήμα του και τον τραπεζοειδή άξονα, περιστρέφεται μέχρι η απόσταση του τραπεζοειδή άξονα να βρίσκεται περίπου στο μέσον.

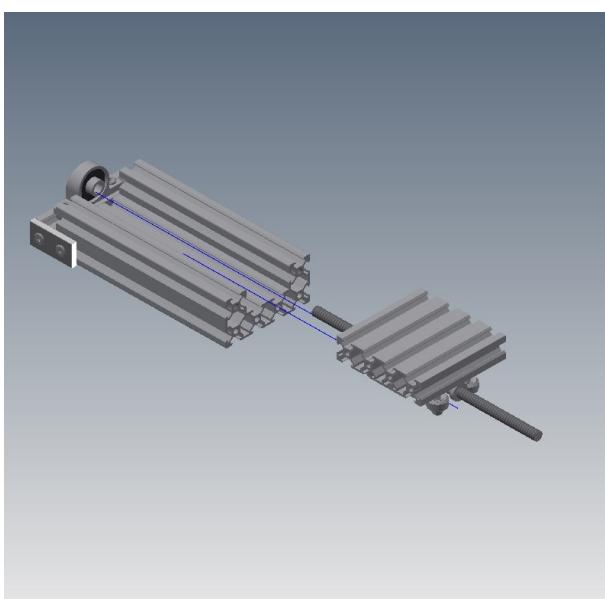


**Σχήμα 3.7.1.4** Σύνδεσμος ένωσης τραπεζιού

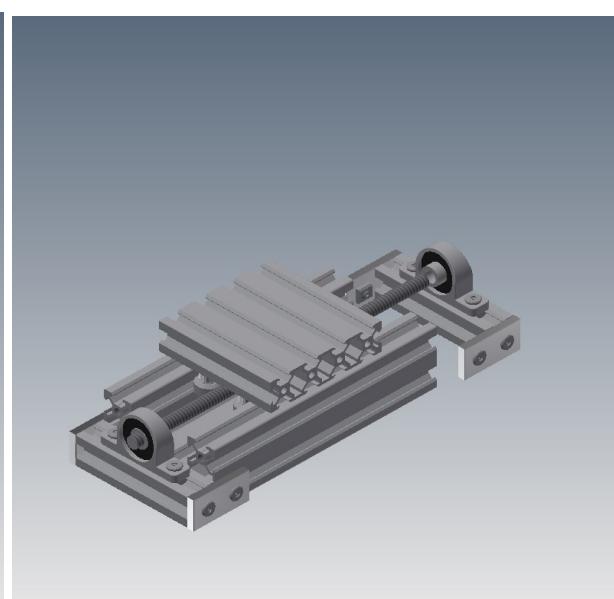


**Σχήμα 3.7.1.5** Συναρμογή τραπεζιού

Τοποθετείται στο προφίλ 4080 στο ένα άκρο το έδρανο κύλισης του τραπεζοειδή άξονα προσδένεται με περικόχλιο προφίλ M5 έπειτα εισάγετε το τραπέζι με τον άξονα όπως προετοιμάστηκε και ύστερα τοποθετείται και στο άλλο άκρο το έδρανο κύλισης. Συσφίγγονται όλοι κοχλίες και επίσης των εδράνων του τραπεζοειδή άξονα και περιστρέφεται ώστε να εκτελεστεί μία πλήρη διαδρομή του τραπεζιού με σκοπό να μετατοπιστεί ο σύνδεσμος Ένωσης προφίλ στην κατάλληλη θέση. Αφού αυτό επιβεβαιωθεί με παρατηρήσεις και δοκιμές με ιδιαίτερη έμφαση στο να παραμείνει στην κατάλληλη θέση αποσυναρμολογούμε και σφίγγονται στο μέγιστο οι κοχλίες που βρίσκονται στο σύνδεσμο ένωσης τραπεζιού προφίλ εισάγοντας το εξαγωνικό κλειδί από τις οπές 3,2 mm. Στη συνέχεια συναρμολογούμε ξανά και επιβεβαιώνουμε.

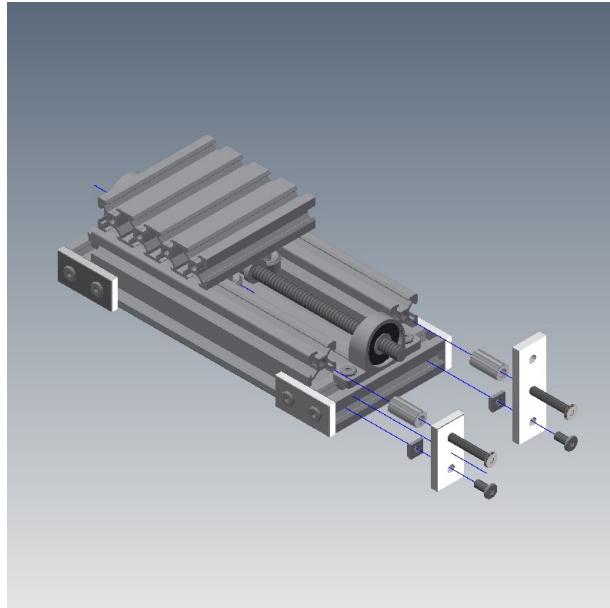


**Σχήμα 3.7.1.6** Εισαγωγή τραπεζιού



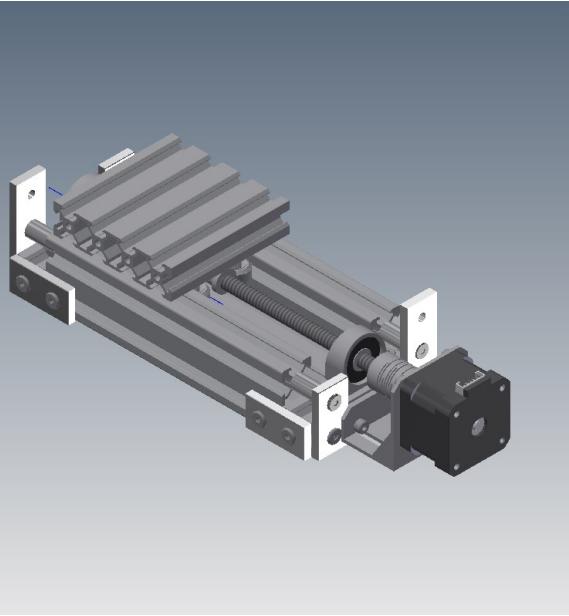
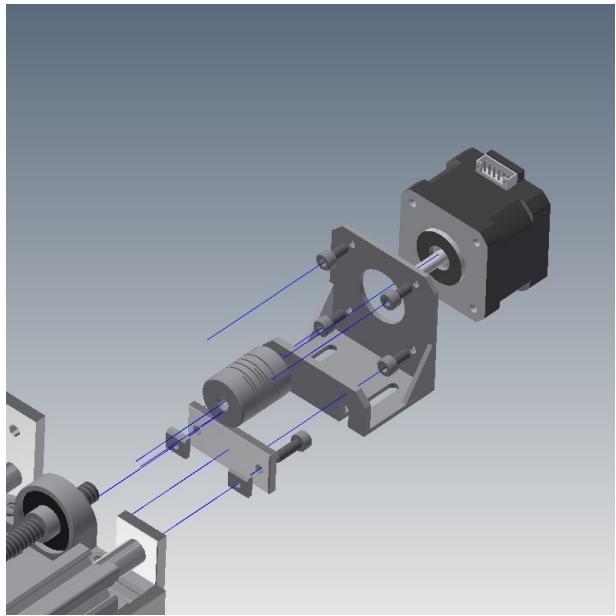
**Σχήμα 3.7.1.7** Εφαρμογή τραπεζιού

Ενισχύονται οι στηρίξεις των εδράνων κύλισης του τραπεζοειδή κοχλία με τους συνδέσμους ένωσης προφίλ 20x40 και 20x60 σε συνδυασμό με τους αποστάτες Φ10x5x20 και από τέσσερις κοχλίες χαμηλού προφίλ M5x10 και M5x30 χρησιμοποιώντας τέσσερα περικόχλια προφίλ M5.



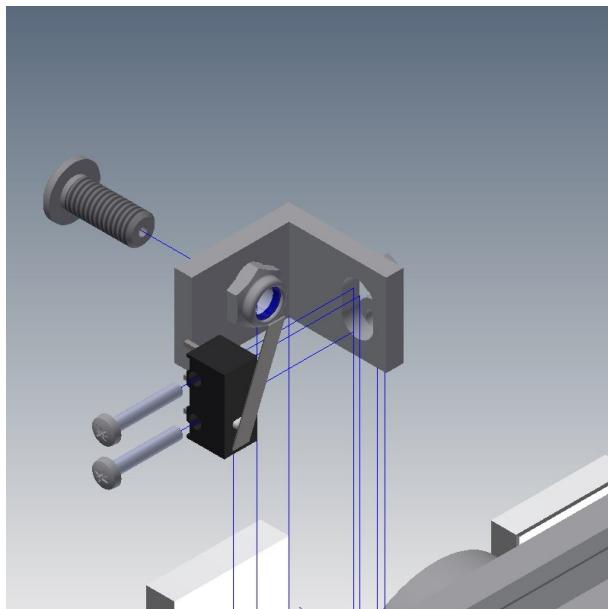
**Σχήμα 3.7.1.8** Επιπλέον στηρίξεις των εδράνων κύλισης

Προσδένεται βηματικός κινητήρας στη βάση του από τέσσερις κοχλίες τύπου Allen M3x6 με παράκυκλους M3x8x0,5, έπειτα πραγματοποιείται εφαρμογή στο προφίλ 2020x80 ώστε οι άξονες συμμετρίας του βηματικού κινητήρα και του τραπεζοειδή κοχλία να ταυτίζονται και ο σύνδεσμος ένωσης αξόνων να διέρχεται ελεύθερα και από τους δύο χρησιμοποιώντας από δύο κοχλίες τύπου Άλεν M4x14 και παράκυκλους M4x8x1. Κατά τη σύσφιξη των κοχλιών που βρίσκονται στο σύνδεσμο ένωσης αξόνων ξεκινάμε πρώτα με τους κοχλίες που βρίσκονται στη μεριά του τραπεζοειδή άξονα με σκοπό να βρει μία θέση στο σπείρωμα και στο τέλος συσφίγγονται οι κοχλίες από τη μεριά του βηματικού κινητήρα.

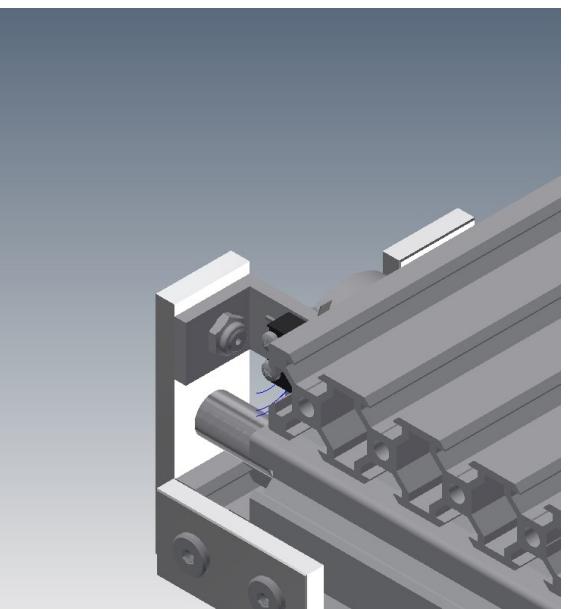


**Σχήμα 3.7.1.9** Πρόσδεση βηματικού κινητήρα **Σχήμα 3.7.1.10** Στερέωση βηματικού κινητήρα

Εγκαθίστανται τερματικοί διακόπτες στα άκρα στηριζόμενοι στους συνδέσμους ενώσεις προφίλ  $20 \times 60$  με γωνίες τύπου L και κοχλία χαμηλού προφίλ  $M5 \times 15$  και περικόχλιο ασφαλείας M5. Ο κάθε διακόπτης στηρίχτηκε στη γωνία με δύο κοχλίες τύπου Άλεν  $M3 \times 14$  και περικόχλια ασφαλείας M3.

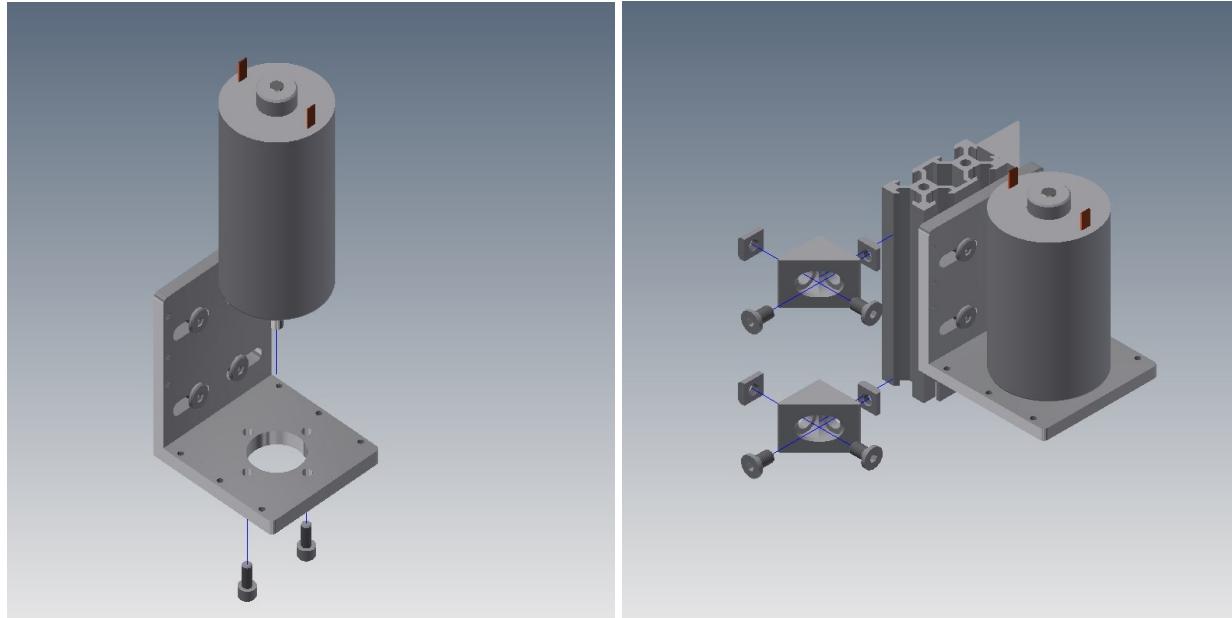


**Σχήμα 3.7.1.11** Συναρμογή διακόπτη



**Σχήμα 3.7.1.12** Στερέωση διακόπτη

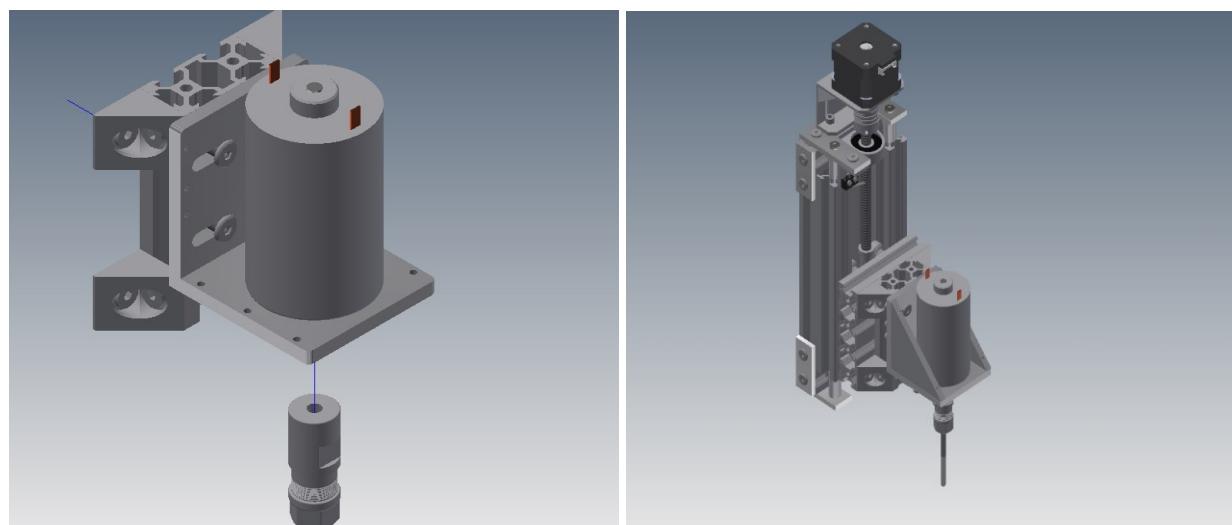
Οι παραπάνω ενέργειες επαναλήφθηκαν δύο ακόμη φορές για τις υπόλοιπες συναρμογές κίνησης με τις μονές διάφορες στον Y άξονα κίνησης το τραπέζι επεκτάθηκε και έχει διαστάσεις  $120 \times 120$  mm και στον X άξονα κίνησης δεν τοποθετήθηκε τραπέζι για περαιτέρω μείωση του κόστους, το τραπέζι θεωρείτε πως είναι το προφίλ 4080 του Y άξονα κίνησης.



**Σχήμα 3.7.1.13** Στερέωση κινητήρα

**Σχήμα 3.7.1.14** Στερέωση βάσης κινητήρα

Ολοκληρώνοντας τη συναρμογή άξονα κίνησης Z τοποθετείται ο κινητήρας περιστροφής κοπτικού εργαλείου στην βάση του με δύο κοχλίες τύπου Allen M4x10 και παράκυκλους M4x9x1 στη συνέχεια η βάση εδράζεται σε τμήμα μήκους 80mm προφίλ αλουμινίου 2040 με τέσσερις κοχλίες χαμηλού προφίλ M5x10 και περικόχλια προφίλ M5 κατόπιν το προφίλ 2040 εδράζεται στο τραπέζι από τέσσερις εξωτερικές γωνίες προφίλ, κοχλίες χαμηλού προφίλ M5x8 και περικόχλια προφίλ M5.



**Σχήμα 3.7.1.15** Στερέωση στο τραπέζι

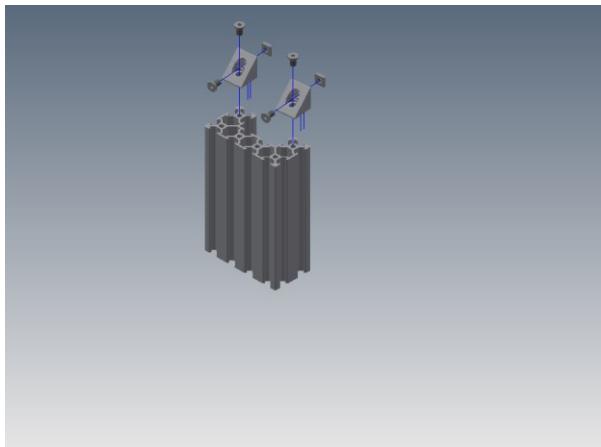
**Σχήμα 3.7.1.16** Ολοκλήρωση Z συναρμογής

### 3.7.2 Συναρμογή κορμού

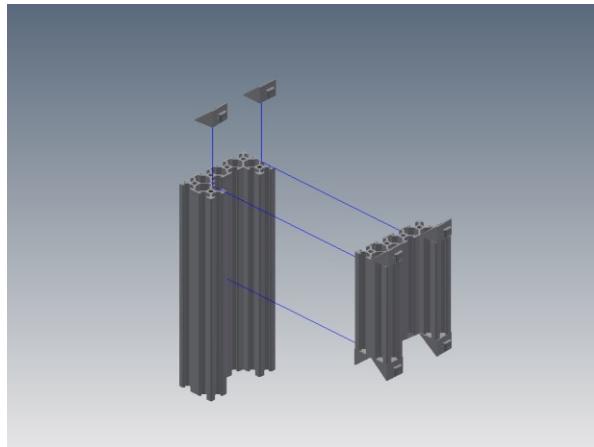
Για την υλοποίηση της συναρμογής του κορμού χρησιμοποιήθηκε προφίλ 4080 ως βάση της συναρμογής άξονα Z την οποία τοποθετήθηκαν 8 εξωτερικές γωνίες μέσω 16

### Κεφαλαίο 3. Πρακτική Εφαρμογή

κοχλιών χαμηλού προφίλ M5x10 και 8 περικοχλίων προφίλ M5.

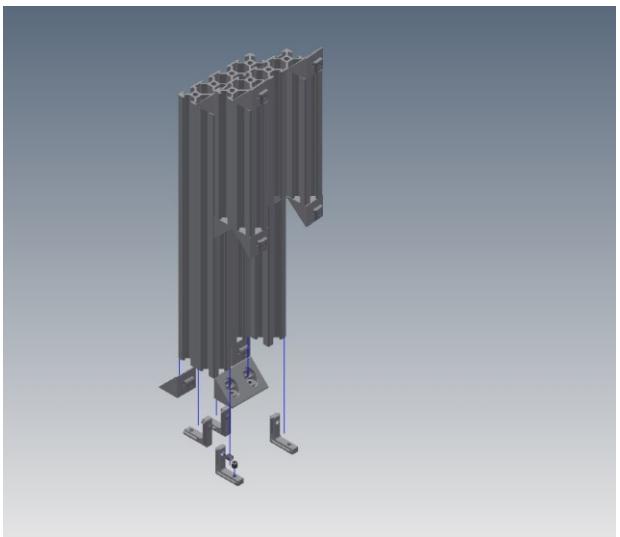


Σχήμα 3.7.2.1 Βάση Z άξονα

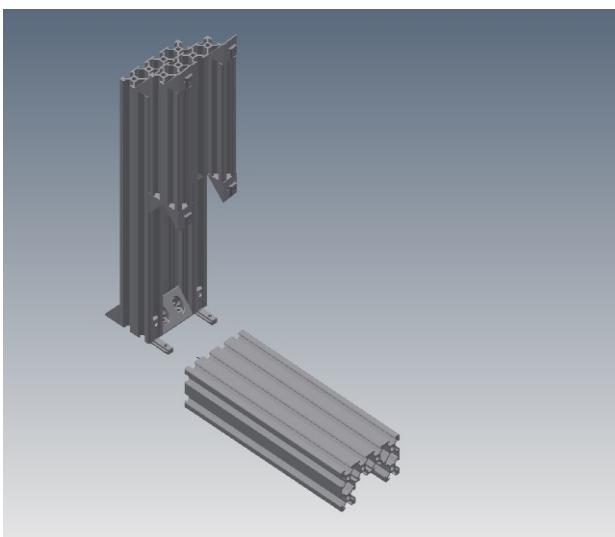


Σχήμα 3.7.2.2 Στερέωση βάσης στον κορμό

Στην συνέχεια προσδέθηκε στο κάθετο προφίλ 4080 και στο κάτω άκρο προσαρμόστηκαν από 4 εξωτερικές και εσωτερικές γωνίες.

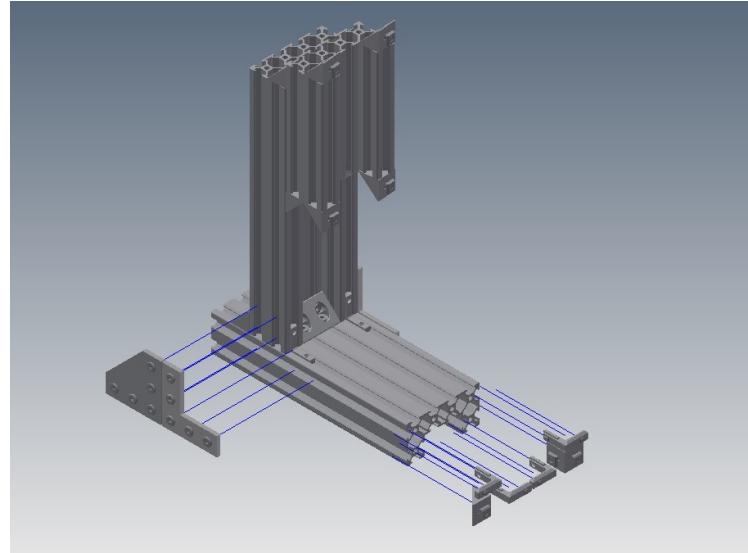


Σχήμα 3.7.2.3 Εισαγωγή γωνιών



Σχήμα 3.7.2.4 Προσαρμογή στην βάση

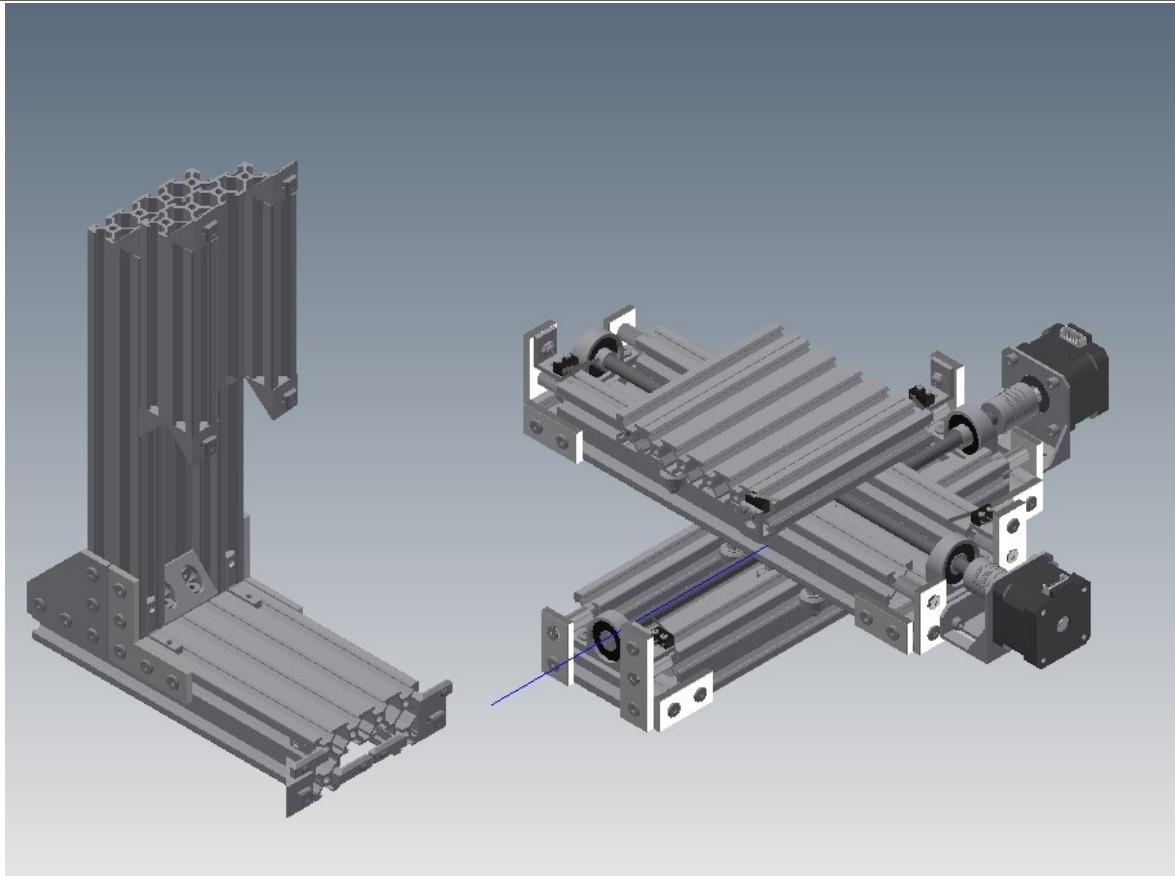
Έπειτα από την θεωρητική μελέτη και την πρακτική εφαρμογή διαπιστώθηκε η απόσταση στην οποία θα πρέπει να πακτωθεί η κάθετη στήλη του κορμού ώστε η ακμή του κοπτικού εργαλείου να βρίσκεται στο κέντρο συμμετρίας των αξόνων κίνησης X και Y. Μετρήθηκε στα 121,25 mm από το άκρο το οριζόντιο προφίλ μέχρι το άκρο του κάθετου προφίλ. Στη συνέχεια ενισχύθηκε η στήριξη πλευρικά με τις γωνίες του παρακάτω σχήματος 3.7.2.5. Προσδέθηκαν εσωτερικές και εξωτερικές γωνίες στο άκρο του οριζοντίου προφίλ στο οποίο υποδέχεται τη συναρμογή X και Y άξονα.



**Σχήμα 3.7.2.5 Ολοκλήρωση συναρμογής του κορμού**

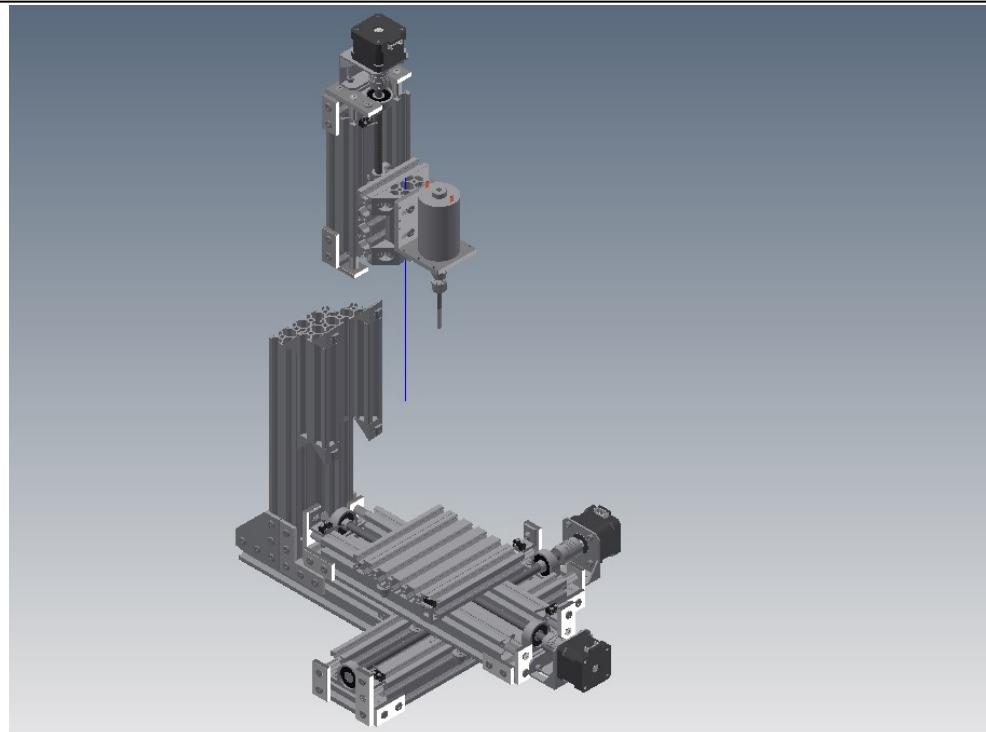
### **3.7.3 Ολοκλήρωση συναρμογής της εργαλειομηχανής**

Σε αυτό το σημείο εισάγεται η συναρμογή του X και Y άξονα σε απόσταση 85 mm από το άκρο του προφίλ του κορμού και του προφίλ του X άξονα κίνησης ώστε να επιτυγχάνεται η συμμετρία και με κατεύθυνση από τα αριστερά προς τα δεξιά ή και το αντίστροφο, πραγματοποιείται σύσφιξη όλων των κοχλιών.



**Σχήμα 3.7.3.1** Εισαγωγή X και Y άξονα στον κορμό

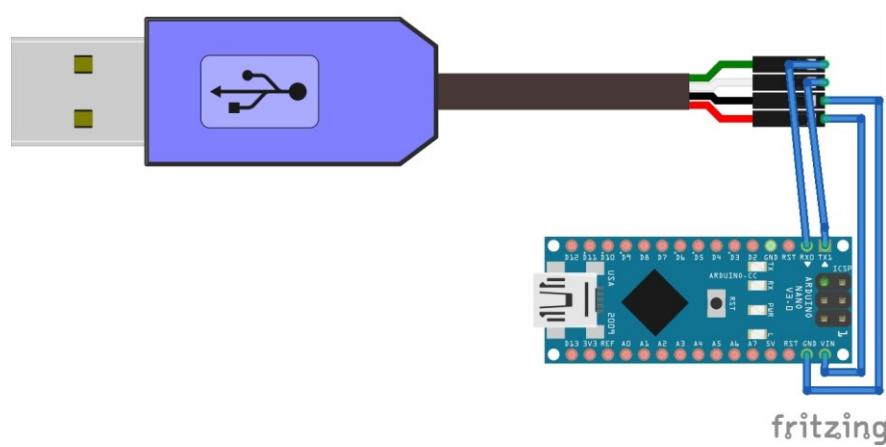
Ολοκληρώνοντας εισάγεται η συναρμογή του Z άξονα κίνησης όπου το κάτω ακραίο σημείο της συναρμογής απέχει από το τραπέζι 40 mm το οποίο ορίζει το μέγιστο ύψος του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Η απόσταση αυτή μπορεί να μεταβληθεί έως και 65 mm από το τραπέζι ανάλογα με το διαθέσιμο κοπτικό εργαλείο και της ανάγκης κατεργασίας. Μετά από μία τέτοια ενέργεια Απαιτείται έλεγχος κάθετης κίνησης του κοπτικού εργαλείου κατά X-Z και Y-Z επίπεδα. Επίσης και ο τερματικός διακόπτης βαθμονόμησης κοπτικού εργαλείου που έχει τοποθετηθεί στο τραπέζι μπορεί να μετακινηθεί ανάλογα με τις ανάγκες.



Σχήμα 3.7.3.2 Εισαγωγή Z άξονα στον κορμό

### 3.8 Εγκατάσταση λογισμικού και συρμάτωση μικροϋπολογιστή

Για να αποθηκεύσουμε ένα πρόγραμμα στην μνήμη του μικροϋπολογιστή απαραίτητο είναι να γίνει η εγκατάσταση της διεπαφής Arduino IDE 1.8.19 σε έναν υπολογιστή. Ανοίγουμε τη διεπαφή της πλατφόρμας arduino και πιέζουμε ταυτόχρονα control και κόμμα (ctrl+,) διαλέγομε στο editor language ελληνικά και κάνουμε επανεκκίνηση του προγράμματος. Έπειτα συνδέεται μέσω ενός καλωδίου mini USB ή και όπως στο παρακάτω σχήμα 3.8 με τον υπολογιστή.



Σχήμα 3.8 Σύνδεση με H/Y

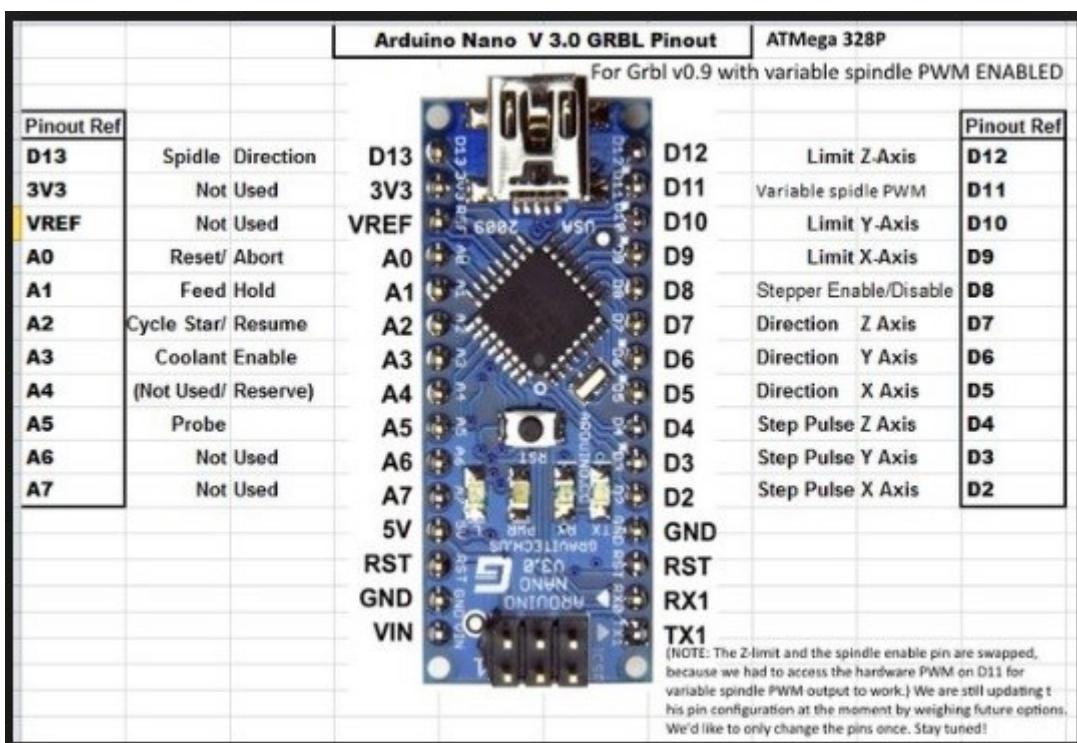
Για τη μεταφορά και αποθήκευση στη μνήμη του μικροϋπολογιστή του προγράμματος grbl εφόσον έχει ληφθεί και αποθηκευτεί στον φάκελο της διεπαφής στον οποίο αποθηκεύονται οι εργασίες από την επίσημη ιστοσελίδα σε συμπιεσμένη μορφή αρχείου zip και αφού αποσυμπιεστεί εκεί, εκτελούνται οι παρακάτω ενέργειες:

### Κεφαλαίο 3. Πρακτική Εφαρμογή

- Εργαλεία-> προγραμματιστής-> = AVRISP mkII
- Εργαλεία-> πλακέτα-> = Arduino Nano w/ ATmega328P
- Εργαλεία-> Σειριακή θύρα-> = επιλέγεται εκείνη που χρησιμοποιήθηκε
- Σχέδιο-> Συμπερίληψη βιβλιοθήκης-> = προσθήκη βιβλιοθήκης zip-> Grbl-master-> = επιλέγεται το αρχείο Grbl
- Αρχείο-> Παραδείγματα-> Grbl->= GrblUpload
- Στο αρχείο GrblUpload που ανοίχτηκε επιλέγεται το βέλος με τη δεξιά κατεύθυνση αναφερόμενο ως ανέβασμα.

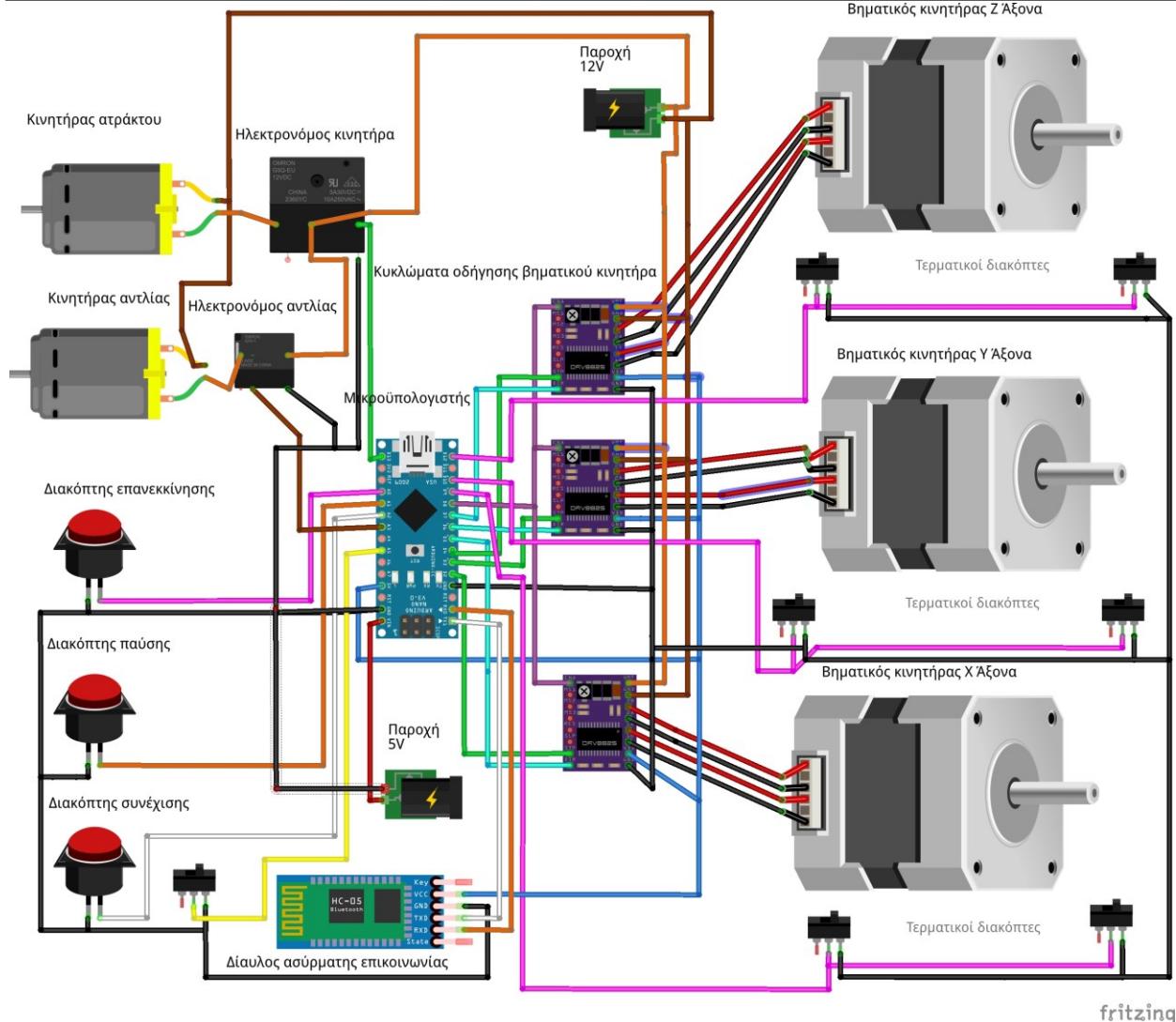
#### 3.8.1 Συρμάτωση μικροϋπολογιστή

Από τους προγραμματιστές του λογισμικού grbl ορίστηκαν οι λειτουργίες των εξόδων μικροϋπολογιστή. Δίνονται στην παρακάτω εικόνα 3.8.1.



Εικόνα 3.8.1 Λειτουργίες εξόδων μικροϋπολογιστή

Οι συρμάτωση του μικροϋπολογιστή απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα 3.8.2 συνδέονται σε αυτόν οι τερματικοί διακόπτες, τα κυκλώματα οδήγησης των βηματικών κινητήρων και οι ηλεκτρονόμοι.

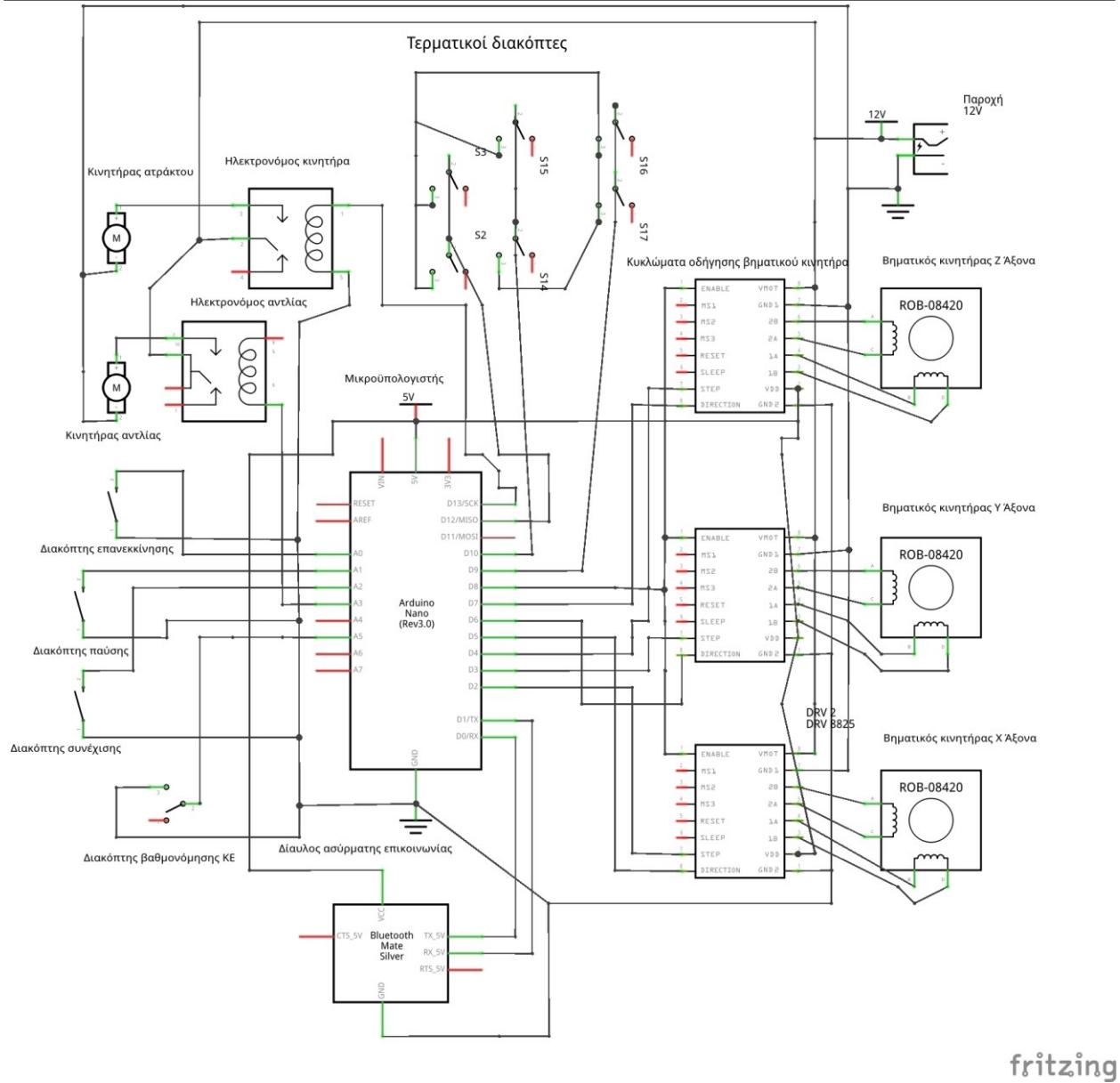


fritzing

### Σχήμα 3.8.2 Συρμάτωση του μικροϋπολογιστή

Απαραίτητη είναι η ανάγνωση του ηλεκτρολογικού σχεδίου για κάθε αλλαγή η τροποποίηση και αντικατάσταση εξαρτημάτων.

### Κεφαλαίο 3. Πρακτική Εφαρμογή



### 3.9 Πειράματα λειτουργίας

Στο κεφάλαιο 2.9.1 περιγράφηκαν και εξηγήθηκαν οι παράμετροι του λογισμικού ψηφιακής καθοδήγησης σε πίνακες οι οποίοι δόθηκαν με ενδεικτικές τιμές. Απαραίτητη είναι η αλλαγή ορισμένων μεταβλητών ώστε να ανταποκρίνονται στα χαρακτηριστικά της εργαλειομηχανής.

Στον παρακάτω πίνακα 3.9 δίνονται οι παράμετροι που ορίστηκαν με βάση τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων και έπειτα από δοκιμαστική λειτουργία.

## Πίνακας 3.9 Παραμετροποίηση εργαλειομηχανής

α/α	Παράμετρος	Ορισμός	Επεξήγηση
1	\$100=200	X - Άξονας	
2	\$101=200	Y- Άξονας	Ορίζεται ο λόγος των βημάτων του βηματικού κινητήρα για μία πλήρη περιστροφή ως προς βήμα του τραπεζοειδή κοχλία. (Βήματα/mm)
3	\$102=200	Z- Άξονας	
4	\$110=600.000	X - Μέγιστη πρόωση	
5	\$111=600.000	Y - Μέγιστη πρόωση	Ορίζεται μέγιστη ταχύτητα (mm/min) των αξόνων κίνησης.
6	\$112=600.000	Z - Μέγιστη πρόωση	
7	\$120=60.000	X - Μέγιστη επιτάχυνση	
8	\$121=60.000	Y - Μέγιστη επιτάχυνση	Ορίζεται μέγιστη επιτάχυνση (mm/sec <sup>2</sup> ) των αξόνων κίνησης.
9	\$122=60.000	Z - Μέγιστη επιτάχυνση	
10	\$130=121.000	X - Μέγιστη διαδρομή	Ορίζεται μέγιστη διαδρομή των αξόνων κίνησης. Χρησιμοποιείται εφόσον τα μαλακά όρια και ο κύκλος μηδενισμού \$9 - είναι ενεργοποιημένα.
11	\$131=121.000	Y - Μέγιστη διαδρομή	
12	\$132=80.000	Z - Μέγιστη διαδρομή	
13	\$ 3=3	Διεύθυνση αξόνων	Γίνεται η αλλαγή της φοράς κίνησης των αξόνων χωρίς παρέμβαση στην καλωδίωση. Τιμές από 0 έως 7 βλέπε πίνακα παραμετροποίησης αξόνων 2.9.1.
14	\$6=0	Επαφή 'probe'	Διευκολύνεται η ισοστάθμιση κοπτικού εργαλείου και έχει ίδια χαρακτηριστικά με τις επαφές ορίων.

### Κεφαλαιό 3. Πρακτική Εφαρμογή

15	\$20=1	Μαλακά όρια	Γίνεται έλεγχος στις εντολές του G Κώδικα εάν ξεπερνούν τις μέγιστες μετατόπισης της μηχανής. Απαιτείται η ενεργοποίηση του κύκλου μηδενισμού με τιμή 1. Για απενεργοποίηση τιμή 0.
16	\$21=1	Σκληρά όρια	Καθώς ενεργοποιείται ένας από τους διακόπτες ορίων ενεργοποιείται η κατάσταση συναγερμού. Όλες οι λειτουργίες της μηχανής απενεργοποιούνται. Απαιτείται η εγκατάσταση διακοπών στις ακραίες θέσης τις εργαλειομηχανής.
17	\$22=1	Κύκλος μηδενισμού	Καθώς ενεργοποιείται η επιλογή κατά την εκκίνηση της μηχανής καμία εντολή δεν εκτελείται εάν δεν πραγματοποιηθεί ένας κύκλος μηδενισμού. Απαιτείται η εγκατάσταση διακοπών στις ακραίες θέσης τις εργαλειομηχανής.

Οι τιμές των υπολοίπων παραμέτρων δεν τροποποιήθηκαν και παρέμειναν οι προεπιλεγμένες τιμές οι οποίες βρίσκονται στο κεφάλαιο 2.9.1. Απαιτείται επιφύλαξη και μελέτη καθώς τροποποιήσουμε εκ νέου τις παραπάνω τιμές.

#### 3.9.1 Μετρήσεις αποτελέσματος

Κατά τη δοκιμαστική λειτουργία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με την χρήση ωρολογιακού μικρομέτρου ακριβείας 0,01 mm της εταιρίας Facom ώστε να χαρακτηριστεί η ακρίβεια τις εργαλειομηχανής.

Τοποθετήθηκε το μετρητικό όργανο στο τραπέζι του κάθε άξονα και εκτελέστηκαν κινήσεις μετατοπίσεις ενός χιλιοστού με κατεύθυνση δεξιά και αριστερά. Μετρήθηκε ότι κατά την αλλαγή φοράς κίνησης δεν παρατηρήθηκε μετρήσιμη απόκλιση χωρίς την άσκηση δύναμης κατά μήκος του εκάστοτε άξονα κίνησης. Συμπεραίνεται ότι το τραπεζοειδές περικόχλιο έχει τη δυνατότητα να απαλειφθεί το διάκενο σε περιπτώσεις όπου δεν ασκείται φόρτιση. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις με διάφορες φορτίσεις κατά μήκος του άξονα κίνησης και δίνονται στον πίνακα 3.9.1

**Πίνακας 3.9.1 Δεδομένα μετρήσεων**

α/α	Δύναμη φόρτισης	Σφάλμα μετατόπισης
1	0 N	0 mm
2	4,90 N	0,01 mm
3	14,72 N	0,08 mm
4	19,62 N	0,12 mm
5	29,43 N	0,12 mm

Παρατηρείται έπειτα από εμπειρικές μετρήσεις ότι το μέγιστο σφάλμα μετατόπισης ορίζεται στα 0,12 mm.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **Συμπεράσματα**

#### **4.1 Σύνοψη αποτελεσμάτων**

Ανακεφαλαιώνοντας την εργασία σχεδιάστηκε, μελετήθηκε και κατασκευάστηκε κατακόρυφη φρεζομηχανή τριών αξόνων κίνησης από βηματικούς κινητήρες έμμεσης ανάδρασης, ψηφιακά καθοδηγούμενη με τη χρήση έξυπνων συσκευών ή και έξυπνων τηλεφώνων. Η μηχανή είναι εφοδιασμένη με μονάδα δίαυλου ασύρματης επικοινωνίας Bluetooth και έναν μικροϋπολογιστή Arduino ως μονάδα ελέγχου με εγκατεστημένο το πρόγραμμα GRBL όπου εκτελείται ο G - κώδικας και στη συνέχεια αποστέλλονται σήματα παλμών στους βηματικούς κινητήρες. Η αποστολή του G - κώδικα πραγματοποιείται από οποιαδήποτε έξυπνη συσκευή διαθέτει την εφαρμογή Gcode2grbl και δυνατότητα ασύρματης σύνδεσης Bluetooth. Η εφαρμογή είναι ελεύθερη και δωρεάν όπως και το πρόγραμμα GRBL και επιπλέον ανοιχτού κώδικα.

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα των προηγούμενων ενεργειών προέκυψαν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της φρεζομηχανής :

- Ισχύς κινητήρα ατράκτου 0.15KW.

- Στροφές ατράκτου 1000 - 12000 rpm.
- Μέγιστη ταχύτητα πρόωσης 2 m/min.
- Μέγιστο μήκος φρεζαρίσματος 120 mm.
- Μέγιστο πλάτος φρεζαρίσματος 120 mm.
- Μέγιστο όψος φρεζαρίσματος 60 mm.
- Ελάχιστη ακρίβεια μετατόπισης 0.12 mm.
- Μέγιστη ακρίβεια μετατόπισης 0.01 mm.

Η μονάδα ελέγχου διαμορφώνεται από το εγκατεστημένο πρόγραμμα GRBL και παρέχεται η δυνατότητα προγραμματιζόμενου ελέγχου στροφών και είναι εκτός λειτουργίας, χειροκίνητη λειτουργία μέσω ενός περιστρεφόμενου κομβίου είναι διαθέσιμη. Χειροκίνητη αλλαγή κοπτικού εργαλείου, αυτόματη δεν διατίθεται. Αναγνωρίζεται και εκτελείται G κώδικας κατά τα διεθνή πρότυπα. Μη διαθέσιμη η λειτουργία για τυποποιημένες βηματικές κατεργασίες, όπως επίσης και για μακροεντολές. Δίδονται οι παρακάτω ιδιότητες:

- Δυνατότητα ταυτόχρονου ελέγχου τριών αξόνων κίνησης.
- Δεδομένα συντεταγμένων θέσης μηχανής, εργασίας, δεδομένα προσωρινής μνήμης σε πραγματικό χρόνο αποστέλλονται στο χρήστη.
- Πραγματοποίηση έλεγχου στις εντολές του G Κώδικα εάν ξεπερνούν τις μέγιστες μετατοπίσεις της φρεζομηχανής.
- Δυνατότητα αποθήκευσης δύο εντολών που εκτελούνται κατά την εκκίνηση.

## 4.2 Συμπεράσματα

Η κοινότητα του ανοιχτού κώδικα μας έδωσε την δυνατότητα ψηφιακής καθοδήγησης συμβάλλοντας στην εκπαιδευτική διαδικασία συνεισφέροντας στην μελέτη την ανάπτυξη και πραγματοποίηση ιδεών.

Χαμηλό κόστος επετεύχθη κατά το ήμισυ μιας αντίστοιχης φρεζομηχανής της εγχώριας αγοράς που απαιτούνταν μόνο η συναρμολόγηση. Αιτία του χαμηλότερου κόστους ήταν η προμήθεια εξαρτημάτων και από τη διεθνή αγορά αλλά και επίσης η αντικατάσταση εξαρτημάτων του εμπορίου μέσω πρακτικού σχεδιασμού κατασκευάστηκαν αντίστοιχα εξαρτήματα.

Στην περίπτωση στην οποία ως πρώτη ύλη χρησιμοποιείται το κερί κατεργασίας θεωρείται ιδανική διότι επιτυγχάνεται η μέγιστη ακρίβεια 0,01 mm. Έτσι εξηπηρετούνται οι ανάγκες της εκπαιδευτικής διαδικασίας του εργαστηρίου καθώς το υλικό ανακυκλώνεται και επαναχρησιμοποιείται. Επίσης τα τεμάχια από το υλικό αυτό

#### **Κεφαλαίο 4. Συμπεράσματα**

---

μετατρέπονται σε μεταλλικά ύστερα από τη διαδικασία της χύτευσης μέσω της τεχνικής του χαμένου κεριού πού χρησιμοποιείται στην οδοντοτεχνική και στην αργυροχρυσοχοΐα.

Επιτυγχάνεται η κατασκευή πρωτότυπων πλακετών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων διανοίγοντας αυλάκια και οπές σε φύλλα χαλκού. Αντικαθίσταται η μέθοδος του φωτοπολυμερισμού και η χρήση οξέων και χημικών, επιπλέον απαλλασσόμαστε από τη χειροκίνητη διάνοιξη των οπών με το δράπανο.

### **4.3 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα**

Διευρύνοντας και εμβαθύνοντας επί του θέματος συνιστώ σε μελλοντικούς ερευνητές να εξετάσουν τις παρακάτω προτάσεις όπου προτείνεται:

- Ανάπτυξη μεθόδου συγκράτησης των τεμαχίων όπου θα διευκολύνεται η πρόσδεση στην τράπεζα.
- Να ερευνηθεί μία μέθοδος όπου θα ενεργοποιήσει την λειτουργία προγραμματιζόμενου έλεγχου στροφών και θα διατηρεί σταθερή τιμή μέσω ανατροφοδότησης.
- Ανάπτυξη συστήματος αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων.
- Μελέτη ασφαλές λειτουργίας κατά την μη αναμενόμενη διακοπή παροχής ηλεκτρικής ενέργειας.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **Βιβλία**

- [1] Ιωάννης Δ. Κεχαγιάς Εργαλειομηχανές Ψηφιακής Καθοδήγησης Θεωρία και Εργαστήριο Εκδόσεις ΙΩΝ.
- [2] Γιάννης Β. Γκαρούτσος Τεχνική Μηχανική Εκδόσεις spin.
- [3] Μελέτιος Δ. Βούλγαρης Μηχανολογικό Σχέδιο Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική.
- [4] Δρ. Μηχ. Α. Κριμπένης Καθηγητής Εφαρμογών Εργαλειομηχανές CNC Σημειώσεις Θεωρίας - Εργαλεία και Συνθήκες Κατεργασίας στις EM CNC.
- [5] Νικόλαος Α. Πανταζής PLC Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές Τρίτη Εκδοση Εκδόσεις ΙΩΝ.
- [6] Μιχάλης Φρυδάκης Στοιχεία Μηχανών II Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική.
- [7] Ιωάννης Κ. Βάγιας Σιδηρές Κατασκευές Ανάλυση και Διαστασιολόγηση Εκδόσεις Κλειδάριθμος.

### **Σελίδες στο διαδίκτυο**

- [1] [www.el.wikipedia.org](http://www.el.wikipedia.org)
- [2] [www.museduc.gr](http://www.museduc.gr)
- [3] [www.didaktorika.gr](http://www.didaktorika.gr)
- [4] [www.archaiologia.gr](http://www.archaiologia.gr)
- [5] [www.drvikasthukral.com](http://www.drvikasthukral.com)
- [6] [english.mazak.jp](http://english.mazak.jp)
- [7] [play.google.com](http://play.google.com)

---

**Κεφαλαίο 4. Συμπεράσματα**

---

- [8] www.all3dp.com
- [9] www.jstor.org
- [10] www.github.com
- [11] docs.arduino.cc
- [12] www.Techopedia.com
- [13] www.lathes.co.uk
- [14] www.fritzing.org
- [15] help.autodesk.com
- [16] www.3dcontentcentral.com
- [17] b2b.partcommunity.com