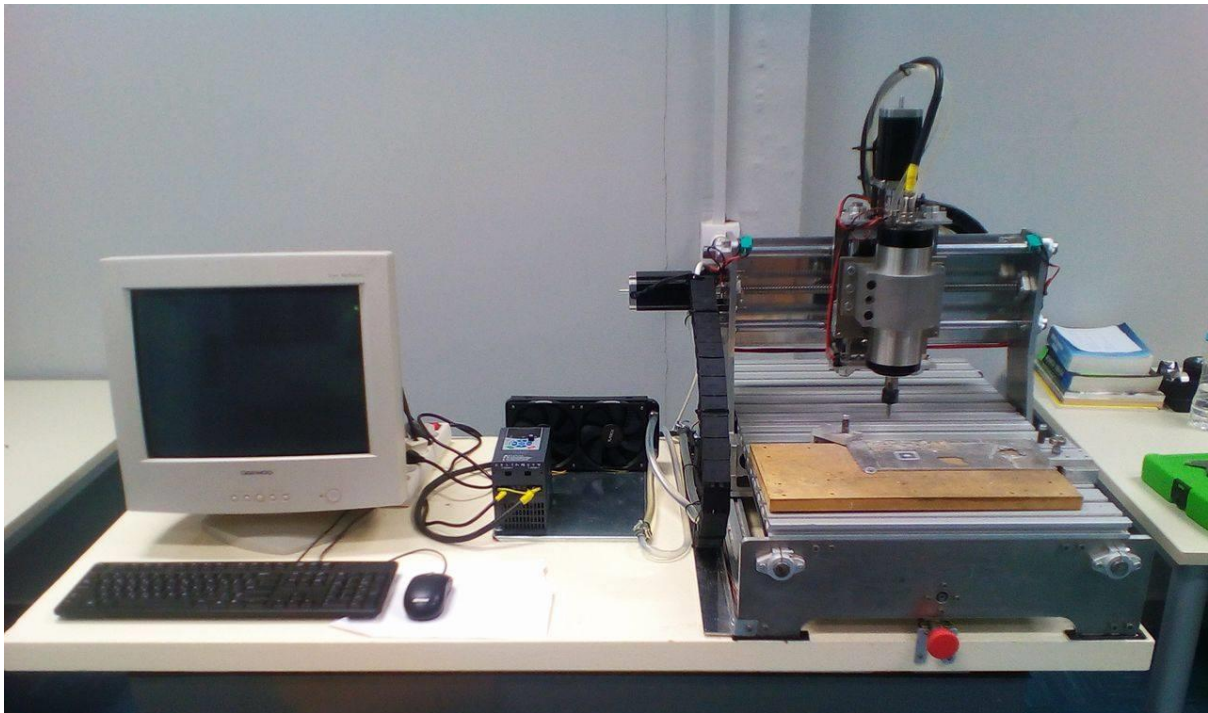


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ CNC ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΤΡΙΩΝ ΑΞΟΝΩΝ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΔΗΜΑΚΟΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ (Α.Μ. 6124)

ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ (Α.Μ. 5937)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2017



# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αφορά την ανάπτυξη σχεδιασμού, την μελέτη και την κατασκευή αριθμητικά ελεγχόμενης εργαλειομηχανής τριών αξόνων κατεργασίας. Είναι γνωστό ότι πολλές σύγχρονες βιομηχανικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιούν με αυξανόμενο ρυθμό την τεχνολογία του αριθμητικού ελέγχου στις εργαλειομηχανές, καθώς αυξάνει την ποιότητα της παραγωγής και κατά συνέπεια την παραγωγικότητα και την ανταγωνιστικότητα της επιχείρησης.

Στην αρχή παρουσιάζονται οι αριθμητικά ελεγχόμενες εργαλειομηχανές και τα συστήματα ελέγχου τους. Στην συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία σχεδιασμού της μηχανής, οι υπολογισμοί και η ανάλυση της σε σύγχρονα λογισμικά και τέλος η κατασκευή και συναρμολόγηση της.

Στο σημείο αυτό θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά, τον επιβλέποντα καθηγητή Δρ, Γιαννόπουλο Γεώργιο, πρώην πανεπιστημιακό υπότροφο του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., και τον Δρ. Τσινόπουλο Στέφανο, αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε, για την καθοριστική βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφεραν καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής αυτής εργασίας. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Δρ. Τσίρκα Σωτήριο για τη βοήθεια που μας προσέφερε στην κατεργασία των τμημάτων της κατασκευής. Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στις οικογένειες μας για την υποστήριξη και τα εφόδια που μας παρείχαν όλα αυτά τα χρόνια ώστε να καταφέρουμε να ολοκληρώσουμε τις σπουδές μας.

**Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών:** Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

(Όνοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)

(Όνοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)



# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στον σχεδιασμό την μελέτη και κατασκευή αριθμητικά ελεγχόμενης εργαλειομηχανής, τριών αξόνων κατεργασίας με δυνατότητα κοπής αλουμινίου και μαλακού χάλυβα. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται κατασκευαστικά σχέδια της μηχανής και γίνεται εκτενής μελέτη ως προς τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή της. Ο λόγος είναι η επιλογή του κατάλληλου σχεδίου προς υλοποίηση όσο αναφορά την λειτουργικότητα της μηχανής και τις δυνατότητες εξέλιξης που μας παρέχει.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είναι δομημένη σε δώδεκα κεφάλαια όπως θα παρουσιαστούν παρακάτω.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται εισαγωγικά στοιχεία και ιστορικές αναδρομές που αφορούν τις μηχανικές κατεργασίες, καθώς και μια ιστορική αναφορά στις εργαλειομηχανές και την αυτοματοποίησή τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις κατεργασίες με ιδιαίτερη έμφαση στις τελούμενες με αφαίρεση υλικού, μιας και η εργαλειομηχανή που θα κατασκευαστεί στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα κατεργάζεται τεμάχια κατ' αυτόν τον τρόπο. Επιπλέον γίνεται κατηγοριοποίηση των εργαλειομηχανών που χρησιμοποιούνται για τις κατεργασίες αυτές σύμφωνα με τη χρήση κάθε μιας από αυτές στο κατεργαζόμενο υλικό.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στις αρχές του αριθμητικού ελέγχου και κατηγοριοποιούνται οι αριθμητικά ελεγχόμενες εργαλειομηχανές σύμφωνα με το βαθμό αυτοματοποίησής τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε τα κατασκευαστικά στοιχεία των αριθμητικά ελεγχόμενων εργαλειομηχανών και αναλύουμε το κάθε ένα ξεχωριστά.

Στο πέμπτο κεφάλαιο αναλύονται τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου εργαλειομηχανών και γίνεται αναφορά στις αρχές αυτομάτου ελέγχου. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται τα συστήματα καθοδήγησης, τα συστήματα συντεταγμένων, τα χαρακτηριστικά σημεία της μηχανής και γίνεται αναφορά στον κώδικα προγραμματισμού.

Στο έκτο κεφάλαιο ορίζουμε της προδιαγραφές που θα πληρεί η εργαλειομηχανή που πρόκειται να κατασκευαστεί.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται παρουσίαση των τεμαχίων της εργαλειομηχανής κατηγοριοποιημένων ανα άξονα κατεργασίας.

Στο όγδοο κεφάλαιο γίνονται όλοι οι υπολογισμοί που απαιτούνται για την επιλογή των δομικών στοιχείων της εργαλειομηχανής. Επίσης υπολογίζονται οι δυνάμεις κοπής που θα χρησιμοποιηθούν για τη στατική ανάλυση της εργαλειομηχανής.

Στο ένατο κεφάλαιο πραγματοποιείται στατική ανάλυση της εργαλειομηχανής χρησιμοποιώντας το λογισμικό Solidworks Simulation. Αρχικά αναφέρονται οι αρχές της

ανάλυσης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και κατόπιν ακολουθεί ανάλυση της εργαλειομηχανής υπό διαφορετικές φορτίσεις.

Στο δέκατο κεφάλαιο περιγράφεται ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της εργαλειομηχανής και τις κινήσεις του κοπτικού εργαλείου.

Στο ενδέκατο κεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά η πορεία κατεργασίας των πλακών αλουμινίου, η κατασκευή της εργαλειομηχανής και του ηλεκτρικού κυκλώματος που θα την ελέγχει.

Στο δωδέκατο και τελευταίο κεφάλαιο παρατίθενται τα συνολικά συμπεράσματα αυτής της προσπάθειας.

Στο τέλος του τεύχους περιλαμβάνονται όλες οι απαραίτητες βιβλιογραφικές αναφορές και διαδικτυακές πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη της παρούσας πτυχιακής, όπως και παράρτημα με τα μηχανολογικά και ηλεκτρολογικά σχέδια που έγιναν στα πλαίσια της πτυχιακής εργασίας.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ .....</b>	<b>ii</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>iv</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>1</b>
1.1. ΣΚΟΠΟΣ.....	1
1.2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ.....	1
1.3 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	3
<b>2. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ .....</b>	<b>7</b>
2.1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ.....	7
2.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΚΟΠΗΣ.....	9
2.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΜΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ.....	11
2.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ.....	11
<b>3. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ.....</b>	<b>15</b>
3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	15
3.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ .....	15
3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ.....	18
<b>4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ .....</b>	<b>21</b>
4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ.....	21
4.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	22
4.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	25
4.3.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ.....	26
4.3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΕΣΗΣ .....	32
4.4 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ.....	37
4.5 ΑΛΛΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ.....	38
<b>5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ.....</b>	<b>43</b>
5.1 ΑΡΧΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	43
5.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ.....	45

5.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ .....	47
5.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ .....	50
5.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	53
<b>6. ΜΕΛΕΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ .....</b>	<b>59</b>
<b>7. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ SOLIDWORKS.....</b>	<b>63</b>
7.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	63
7.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	63
7.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ .....	63
7.3.1 ΒΑΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	65
7.3.2 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΑΞΟΝΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	73
7.3.3 ΚΑΘΕΤΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	78
7.3.4 ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	86
<b>8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ .....</b>	<b>89</b>
8.1. ΓΕΝΙΚΑ.....	89
8.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ .....	89
8.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΟΠΗΣ .....	93
8.3.1. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	94
8.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΙΝΗΤΗΡΙΑΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥ ΚΟΠΗΣ.....	98
8.5. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΧΛΙΑ BALL SCREW .....	99
8.6. ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	107
<b>9. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ SOLIDWORKS SIMULATION.....</b>	<b>111</b>
9.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	111
9.2. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ .....	113
9.3. ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	116
<b>10. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ .....</b>	<b>119</b>
10.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	119
10.2. ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ .....	119
10.3. ΟΔΗΓΟΙ ΒΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ.....	120
10.4. ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΛΑΚΕΤΑ .....	121



10.5. ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ.....	122
10.6. ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥ ΚΟΠΗΣ .....	122
10.7. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ (INVERTER).....	123
10.8. ΛΟΙΠΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ .....	124
<b>11. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ .....</b>	<b>125</b>
11.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	125
11.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ .....	125
11.3. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΠΛΑΚΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΤΗ ΦΡΕΖΑ.....	126
11.4. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΟΧΛΙΩΝ BALL SCREW ΣΕ ΤΟΡΝΟ .....	131
11.5. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ .....	132
<b>12. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>137</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>138</b>
<b>ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ .....</b>	<b>139</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ .....</b>	<b>140</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ .....</b>	<b>162</b>



# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1. ΣΚΟΠΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματεύεται το σχεδιασμό, τη μελέτη και την κατασκευή μίας αριθμητικά ελεγχόμενης από υπολογιστή (CNC) εργαλειομηχανής τριών αξόνων κατεργασίας. Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας. Σκοπός είναι η κατασκευή μιας μηχανής που θα λειτουργεί σαν Router και θα χρησιμοποιείται προς κατασκευή τυποποιημένων δοκιμών, θα πληρεί τα κριτήρια της ακρίβειας και της επαναληψιμότητας που προσφέρουν οι CNC εργαλειομηχανές, και θα έχει τις κατάλληλες διαστάσεις για τον χώρο για τον οποίο προορίζεται. Η υλοποίηση μιας τέτοιας προσπάθειας απαιτεί προσεκτικό σχεδιασμό, σωστή επιλογή των υλικών που θα απαρτίσουν την μηχανή, ανάλυση και επανασχεδιασμό έως ότου η μηχανή αυτή καταστεί ασφαλής προς χρήση.

Η μελέτη και ο σχεδιασμός γίνονται με στόχο η μηχανή να μπορεί να κατεργαστεί λάμες αλουμινίου. Η μηχανή θα συνδέεται με ηλεκτρονικό υπολογιστή από τον οποίο θα ελέγχονται οι λειτουργίες της μέσω του προγράμματος Mach3. Η κατασκευή θα πραγματοποιηθεί πάνω σε τραπέζι στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών, στο οποίο θα στηριχτούν τα κατασκευαστικά και ηλεκτρικά στοιχεία της μηχανής, όπως και ο υπολογιστής που θα την ελέγχει. Για το σχεδιασμό και την ανάλυση της μηχανής θα χρησιμοποιηθεί το σχεδιαστικό πρόγραμμα SOLIDWORKS και το υποπρόγραμμα SOLIDWORKS Simulation.

Εν κατακλείδι, στόχος της εργασίας αυτής είναι η κατασκευή μιας υπολογιστικά καθοδηγούμενης εργαλειομηχανής τριών αξόνων κατεργασίας με εργαλείο Router, που θα έχει προοπτικές να μετατραπεί σε οποιαδήποτε μηχανή που χρησιμοποιεί κίνηση σε τρεις άξονες, αλλάζοντας κεφαλή και προσαρμόζοντας την με κατάλληλη βάση στήριξης.

## 1.2. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Με τον όρο μηχανουργικές κατεργασίες εννοούμε τους τρόπους και τις μεθόδους που χρησιμοποιούμε ώστε να δώσουμε την επιθυμητή μορφή σε κάποιο υλικό, ώστε να μπορέσει αυτό να χρησιμοποιηθεί για κάποιο σκοπό. Οι βασικές κατηγορίες μηχανουργικών κατεργασιών είναι οι εξής:

- Κατεργασίες βαθμιαίας αφαίρεσης υλικού (τόρνευση, πλάνισμα, διάτρηση, φρεζάρισμα).

- Κατεργασίες με πλαστική παραμόρφωση του υλικού (απότμηση, κάμψη, κοίλανση, έλαση, συρματοποίηση).
- Μορφοποίηση με χύτευση.
- Μορφοποίηση με προσθήκη (συγκόλληση, επικάλυψη)

Οι κατεργασίες αυτές πραγματοποιούνται με την χρήση εργαλειομηχανών. Αρχικά οι εργαλειομηχανές διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες. Στην πρώτη υπάγονται αυτές που κατεργάζονται ελάσματα, ενώ στη δεύτερη αυτές που διαμορφώνουν τεμάχια. Στη δεύτερη κατηγορία κατατάσσονται οι τόρνοι, οι φρέζες, τα δρόπανα και οι πλάνες. Οι εργαλειομηχανές αυτές είναι πολύ σημαντικές για τη βιομηχανία και τις κατασκευές γιατί κατορθώνουν να δώσουν μια επιθυμητή μορφή σε μια ακανόνιστη και ακατέργαστη μάζα μετάλλου. Οι τόρνοι και οι φρέζες μάλιστα έχουν συμπεριλάβει στη λειτουργία τους όλες τις «πλούσιες» δυνατότητες που έδωσε στις εργαλειομηχανές η εξέλιξη του αριθμητικού ελέγχου και των συστημάτων CNC.

Για την μηχανουργική κατεργασία αφαίρεσης μεταλλικού υλικού υπάρχει μεγάλη ποικιλία ειδών εργαλειομηχανών και επιπλέον πληθώρα τύπων σε κάθε είδος. Ο διαχωρισμός των εργαλειομηχανών γίνεται σύμφωνα με τη βασική κατεργασία κοπής για την οποία η κάθε μια από αυτές είναι μελετημένη, σχεδιασμένη και κατασκευασμένη. Επομένως, υπάρχουν οι εργαλειομηχανές τόρνου για την τόρνευση, οι εργαλειομηχανές φρέζας για το φρεζάρισμα και οι εργαλειομηχανές δρόπανου για τη διάτρηση.

Στη σύγχρονη βιομηχανία για την παραγωγή παρτίδων μηχανολογικών εξαρτημάτων χρησιμοποιείται διαδοχική σειρά κατεργασιών, η κάθε μία από τις οποίες αποτελεί ένα ξεχωριστό στάδιο κατεργασίας. Με κατάλληλο συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων μηχανικών διαμορφώσεων μπορεί να επιτευχθεί η κατασκευή και η μαζική παραγωγή εξαρτημάτων πολύπλοκης γεωμετρίας, υψηλής ποιότητας και χαμηλού κόστους με εξάλειψη ανθρώπινου σφάλματος

Η εξέλιξη στον τομέα των ηλεκτρονικών υπολογιστών και η ανάγκη παραγωγής μεγάλων παρτίδων πανομοιότυπων τεμαχίων, με μικρό κόστος κατεργασίας και μεγάλη ακρίβεια κατασκευής, οδήγησαν στην αυτοματοποίηση των παραπάνω κατεργασιών. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των εργαλειομηχανών είναι η δυνατότητα χρήσης τους σε αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής. Γνωρίζουμε πολύ καλά πώς την σημερινή εποχή στον κόσμο των βιομηχανιών πρωταρχικό ρόλο παίζει ο χρόνος και ο αριθμός παραγόμενων τεμαχίων, όπου σε συνδυασμό με την ποιότητα του προϊόντος θα επιφέρουν στην επιχείρηση υψηλό κέρδος και βιωσιμότητα.

### 1.3 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Εργαλειομηχανές ονομάζονται οι μηχανές σταθερής θέσης με εξωτερική κίνηση, με τις οποίες πραγματοποιείται η επεξεργασία τεμαχίων στερεού υλικού (ξύλο, μέταλλο, κ.α.) για την δημιουργία διαφόρων προϊόντων. Η γνωστότερη από τους αρχαίους χρόνους εργαλειομηχανή είναι ο τόννος, καθώς και οι υπόλοιπες που έκαναν την εμφάνισή τους σε προγενέστερους αιώνες είναι το δράπανο, η φρέζα, η πλάνη, η πρέσα κ.ά.

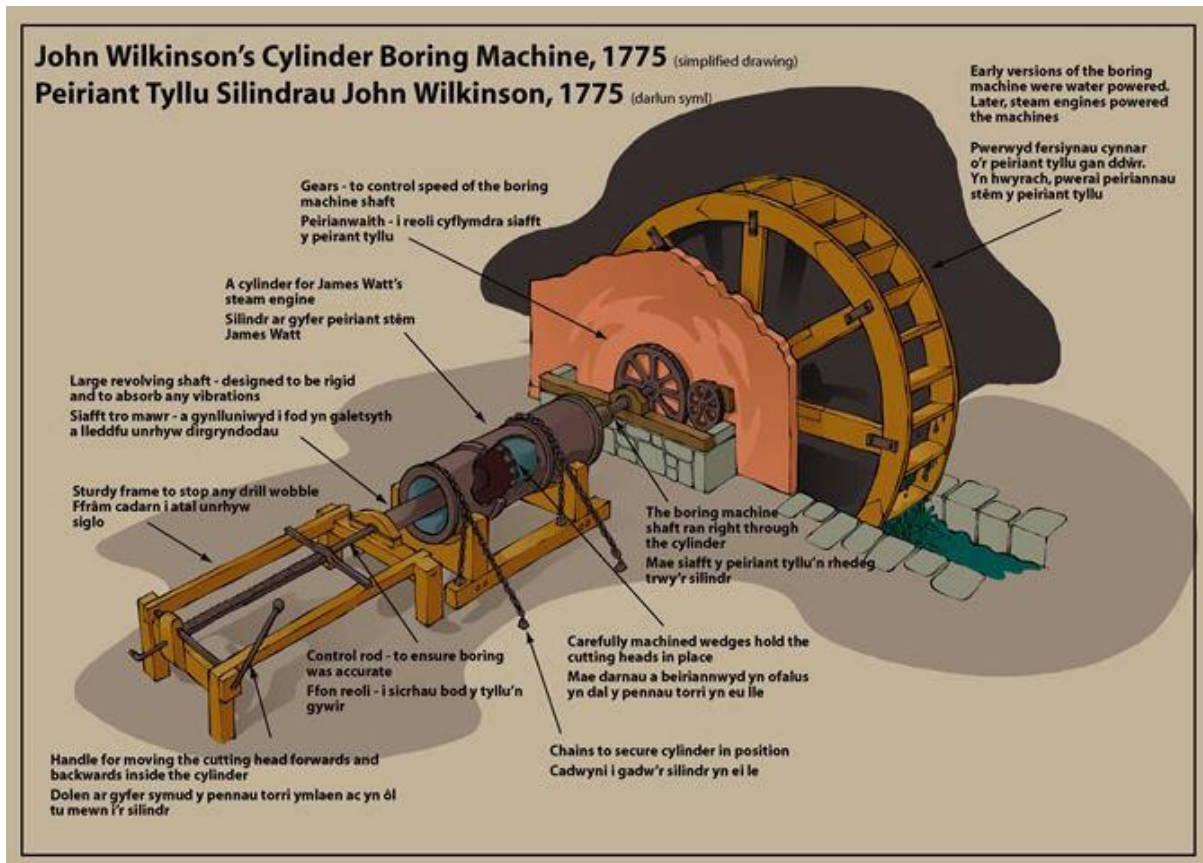
Έχουν διασωθεί γραφικές αποτυπώσεις που παριστάνουν τεχνικούς στη Μεσοποταμία και την αρχαία Αίγυπτο να χειρίζονται ένα είδος τόννου, δηλαδή μιας «μηχανής» που περιστρέφει (με τη μυϊκή δύναμη του βοηθού, συνήθως δούλου) το προς επεξεργασία αντικείμενο και ο χειριστής να επεμβαίνει στη μορφή του προς διαμόρφωση αντικειμένου. Αντίστοιχες παραστάσεις βρέθηκαν στην Κίνα, στην αρχαία Ελλάδα και άλλες περιοχές της Ευρώπης και της Ασίας. Σημαντικά δημιουργήματα με χρήση τόννου έχουν διασωθεί από τους Κέλτες και τους Ετρούσκους. Συνηθέστερη και πρωταρχική μορφή αυτής της διαδικασίας επεξεργασίας είναι η διαμόρφωση με τα χέρια πήλινων κεραμικών στον περιστρεφόμενο τροχό.



*Εικόνα 1.1. Τοιχογραφία που βρέθηκε σε αιγυπτιακό τάφο απεικονίζει ένα πρωταρχικό είδος τόννου.*

Βέβαια, η σύγχρονη ιστορία των εργαλειομηχανών άρχισε το έτος 1775 στην πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση, όταν ο Άγγλος John Wilkinson (1728-1808) κατασκεύασε ένα οριζόντιο δράπανο (φρεζοδράπανο) για την επεξεργασία των εσωτερικών επιφανειών πυροβόλων. Η κινητήρια δύναμη της μηχανής του ερχόταν από ένα υδροτροχό. Ο Henry Maudslay (1771-1831) κατασκεύασε το 1794 ένα μεταλλικό τόννο με αυτοδύναμη προώθηση

του κοπτικού εργαλείου. Στη συνέχεια κατασκεύασε ο ίδιος διάφορους όμοιους τórνους με μεταβαλλόμενη ταχύτητα περιστροφής, καθώς επίσης κοπτικές μηχανές για σπειρώματα και γρανάζια.



Εικόνα 1.2. Οριζόντιο δράπανο που κατασκεύασε ο John Wilkinson.

Ο James Watt κατασκεύασε στη δεκαετία του 1810 ένα παντογράφο, μια μηχανή που χρησιμοποιείται συχνά και σήμερα για να «αντιγράψει» ανάγλυφες επιφάνειες (νομίσματα κ.ά.) και ο Thomas Blanchard (1788-1864) κατασκεύασε ένα τórνο, στον οποίο το κοπτικό εργαλείο καθοδηγείται από μια επαφή που «ακολουθούσε» ένα προκατασκευασμένο υπόδειγμα. Με τον τρόπο αυτό κατασκεύαζε ο Μπλάνσαρντ κάνες μικρών όπλων. Στη δεκαετία του 1840 κατασκευάστηκε ο πρώτος αυτόματος τórνος (ρεβόλβερ), στον οποίο το εργαλειοφορείο έχει επάνω του όλα τα κοπτικά εργαλεία. Με μια περιστροφή του φορείου έρχεται το κατάλληλο εργαλείο σε θέση εργασίας και εξοικονομείται έτσι σημαντικός χρόνος.



*Εικόνα 1.3. Ο πρώτος παντογράφος. Εφεύρεση του James Watt.*

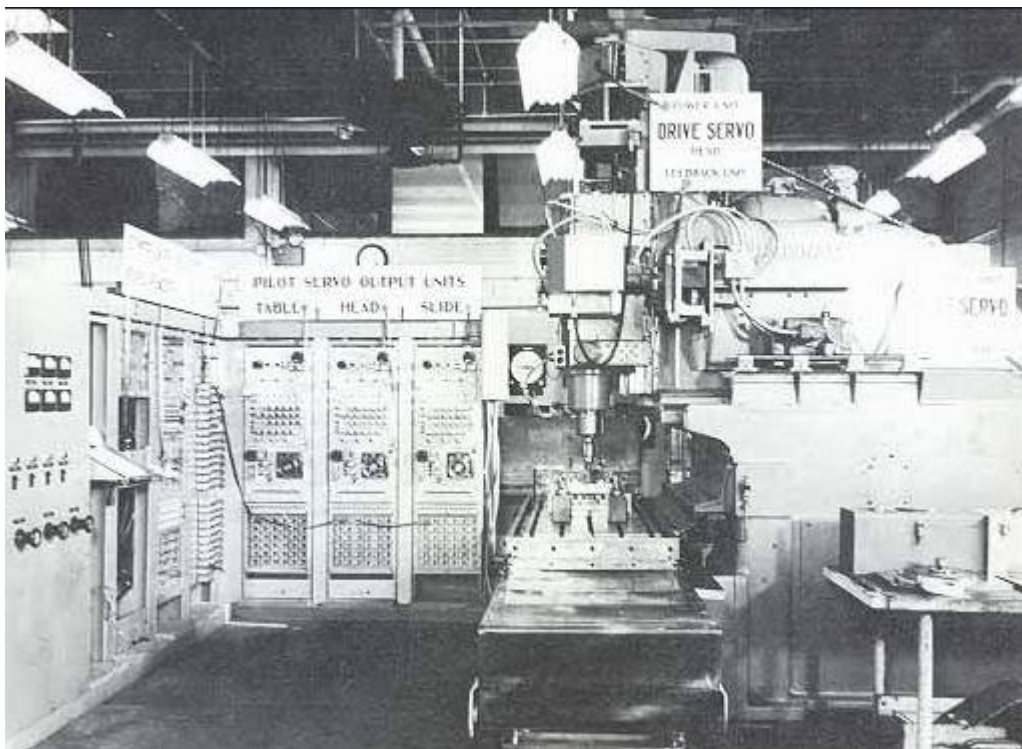
Σημαντική στον τομέα των εργαλειομηχανών ήταν στα μέσα του 19ου αιώνα η συμβολή του Άγγλου Joseph Whitworth (1803-1887), ο οποίος ασχολήθηκε με κατασκευές οργάνων μετρήσεως και σπειρωμάτων. Ο σημαντικός αυτός μηχανικός δημιούργησε, εκτός από τις τεχνικές κατασκευές, και τις αρχές της τυποποίησης, σύμφωνα με την οποία, κάθε τεχνικό εξάρτημα που είχε μελετηθεί και δοκιμαστεί, έπρεπε να κατασκευάζεται, ανεξάρτητα από την υπόλοιπη μηχανή, με ακριβείς προδιαγραφές και σχέδια που προέβλεπαν διαστάσεις, ανοχές κλπ. Έτσι, κάθε εξάρτημα σε μια μηχανή θα ήταν εύκολο να αντικατασταθεί, σε περίπτωση βλάβης, με ένα ανταλλακτικό, ακριβώς ίδιο. Με αυτές τις ιδέες του Whitworth περνάει η μηχανουργία από τη βιοτεχνική στη βιομηχανική εποχή, κατά την οποία η μηχανολογική παραγωγή μαζικοποιείται. Το όνομα του πρωτοπόρου αυτού τεχνικού έχει δοθεί σε ένα τυποποιημένο σπείρωμα (Whitworth thread) που στηρίζεται σε ίντσες και είναι διαδεδομένο κυρίως στον αγγλοσαξονικό χώρο. Στην ηπειρωτική Ευρώπη κυριαρχεί το μετρικό σπείρωμα που βασίζεται στο δεκαδικό σύστημα.

Η ραγδαία εξέλιξη των εργαλειομηχανών έδωσε τη δυνατότητα, αφενός για μαζική παραγωγή τυποποιημένων προϊόντων, αφετέρου για ακριβείς κατασκευές, με αποτέλεσμα να αρχίσουν να προσφέρονται στην αγορά τεχνολογικά προϊόντα σε όλο και χαμηλότερες τιμές. Οι αυξημένες πωλήσεις οδηγούσαν σε υψηλά έσοδα, τα οποία σε μεγάλο βαθμό επενδύονταν σε όλο και καλύτερες μηχανές κ.ο.κ. Αυτή η συνεχής κλιμάκωση οδήγησε τις επινοήσεις και την παραγωγή σε ένα απρόβλεπτα υψηλό σημείο. Πέρα απ' αυτά, η ακρίβεια των εργαλειομηχανών διευκόλυνε την παραγωγή ήδη κατά το 19ο αιώνα υψηλής ποιότητας



λεπτομηχανικών κατασκευών, όπως όργανα μετρήσεως, ρολόγια, βελτιωμένα μουσικά όργανα, μικρά όπλα κ.ά.

Με την εμφάνιση του πρώτου υπολογιστή, στις αρχές τις δεκαετίας του 50, άρχισαν οι πρώτες προσπάθειες αυτοματοποίησης των εργαλειομηχανών. Έτσι το 1952 ο J. Parsons από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT), εφηύρε ένα σύστημα για τον άμεσο έλεγχο της θέσης των ατράκτων στις εργαλειομηχανές, μέσω εξόδων μιας υπολογιστικής μηχανής. Η επιτυχία βασίστηκε στη χρήση σερβοκινητήρων για την κίνηση των αξόνων της μηχανής, με βάση τα σήματα εισόδου. Δύο χρόνια αργότερα, το 1954, η εταιρία Bendix ξεκίνησε την παραγωγή των πρώτων εργαλειομηχανών αυτομάτου ελέγχου. Με τη ραγδαία εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων τα τελευταία 60 χρόνια, οι νέες εργαλειομηχανές έφτασαν σε υψηλό επίπεδο ακρίβειας, ποιότητας και χρόνου κατεργασίας.



Εικόνα 1.4. Η πρώτη αριθμητικά ελεγχόμενη εργαλειομηχανή, στο Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT).



## 2. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

### 2.1 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

Διαφόρων τύπων μηχανήματα, κατασκευές, εργαλεία κλπ., αποτελούνται κατά κανόνα από μηχανολογικά εξαρτήματα όπως άξονες, οδοντωτοί τροχοί, κοχλίες κ.ά. Κάθε τέτοιο ξεχωριστό τεμάχιο, έχει πάρει την τελική του μορφή με κάποια ή με συνδυασμό κάποιων κατεργασιών μορφοποίησης. Τέτοιες κατεργασίες μορφοποίησης είναι :

- η αρχέγονη μορφοποίηση (χύτευση ή κωνιομεταλλουργία).
- η μορφοποίηση με αφαίρεση υλικού (τόρνευση, φρεζάρισμα, διάτρηση, πλάνιση, λείανση, κ.ά.).
- η μορφοποίηση με παραμόρφωση (απότμηση, εξέταση, κ.ά.).
- η μορφοποίηση με προσθήκη (συγκόλληση, επικάλυψη, κ.ά.).



Εικόνα 2.1. Δυνατότητες μορφοποίησης τεμαχίων.

Στην Εικόνα 2.1 παρουσιάζεται η δομή των δυνατοτήτων μορφοποίησης των τεμαχίων. Τα διάφορα μηχανολογικά εξαρτήματα παίρνουν την αρχική τους μορφή κατά κανόνα με μεθόδους μορφοποίησης χωρίς αφαίρεση υλικού (ιδιαίτερα χύτευση), αφήνοντας μικρή ποσότητα υλικού για την τελική κατεργασία. Η τελική κατεργασία στην διαμόρφωση ενός εξαρτήματος μπορεί να επιτευχθεί κυρίως με μεθόδους με αφαίρεση υλικού, μιας και με τέτοιες

κατεργασίες προκύπτουν μεγαλύτερη διαστατική ακρίβεια και καλύτερη ποιότητα επιφανείας. Η αφαίρεση υλικού σαν κατεργασία μπορεί να γίνεται χειροκίνητα με την χρήση εργαλείων όπως η λίμα, το πριόνι κ.ά., ή με κατάλληλες εργαλειομηχανές όπως είναι ο τόρνος, η φρέζα, η πλάνη, το δράπανο κλπ. Οι εργαλειομηχανές αυτές δίνουν την δυνατότητα, εκτός της παραγωγής απλών κυλινδρικών ή επίπεδων τεμαχίων και για κατεργασία ειδικών διαμορφώσεων όπως το σπείρωμά, η οδόντωση και γενικά διαφόρων μορφών επιφανειών.

Η επιθυμητή μορφή και διάσταση στο τεμάχιο δίνεται, αφαιρώντας υλικό από αυτό με την χρήση κοπτικών εργαλείων ή εργαλειομηχανών σε μορφή αποβλήτων (γρεζιών). Το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποιείται είναι δυνατόν να έχει συγκεκριμένη γεωμετρία, όπως είναι το μαχαίρι του τόρνου, το τρυπάνι κλπ, ή να έχει ακαθόριστη γεωμετρία, πράγμα που συμβαίνει στον λειαντικό τροχό. Το κοπτικό εργαλείο επίσης, μπορεί να διαθέτει μία κύρια κόψη, όπως είναι το εργαλείο του τόρνου, ή και περισσότερες από μία, όπως το τρυπάνι, ο κοπτήρας της φρέζας κλπ. Κάθε κατεργασία με αφαίρεση υλικού μπορεί να διαιρεθεί σε τρία κύρια στάδια :

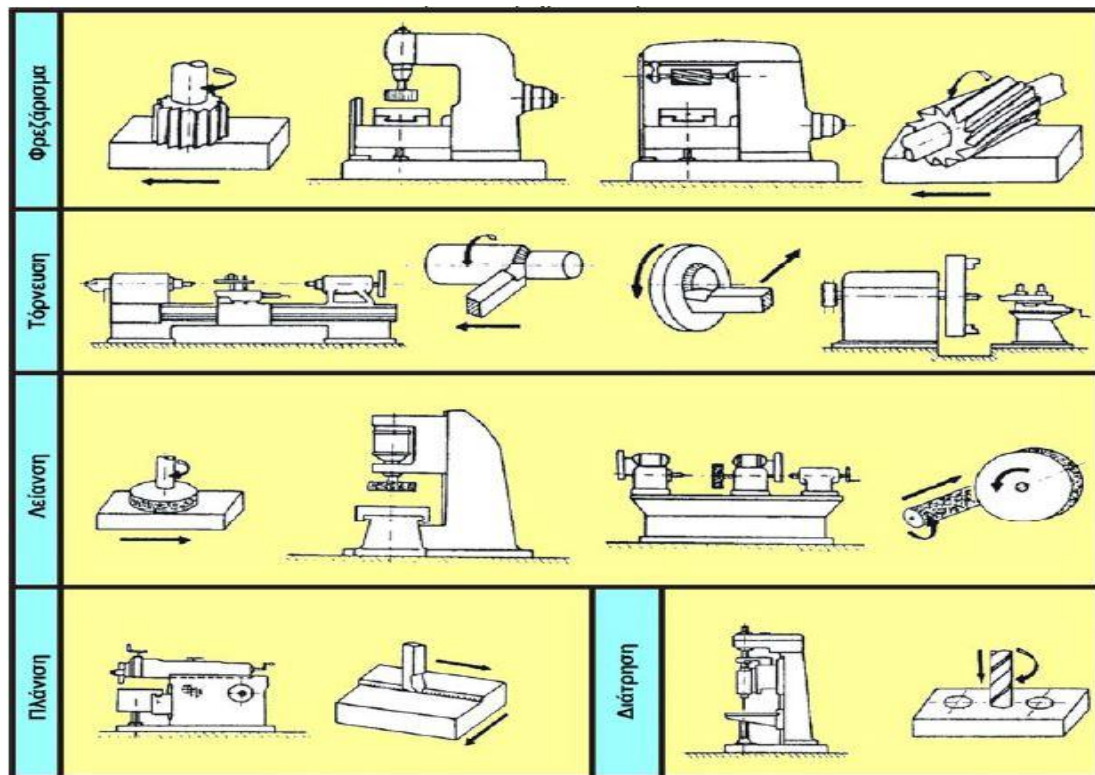
- αρχική κατεργασία : αποτελεί το πρώτο "πέρασμα" του κοπτικού εργαλείου για την απομάκρυνση άχρηστων στρωμάτων υλικού από την προηγούμενη διαμόρφωσή του.
- βασική κατεργασία : αποτελείται από μια σειρά "περασμάτων" του κοπτικού εργαλείου ώστε να δοθεί το επιθυμητό σχήμα στο κατεργαζόμενο τεμάχιο.
- κατεργασία αποπερατώσεως (φινίρισμα) : είναι το τελικό πέρασμα του κοπτικού εργαλείου ώστε να επιτευχθούν οι προδιαγραφές για διαστατική ακρίβεια και ποιότητα επιφάνειας.

Το κόστος των κατεργασιών με αφαίρεση υλικού είναι μεγαλύτερο, συγκριτικά με το αντίστοιχο κόστος των κατεργασιών διαμορφώσεως και το κόστος των άλλων μεθόδων μορφοποίησεως τεμαχίων. Η ελαχιστοποίηση του κόστους στην κατεργασία σημαίνει οικονομικότερη κατεργασία, η οποία επιτυγχάνεται με :

- ελαχιστοποίηση του χρόνου κατεργασίας.
- βέλτιστη χρησιμοποίηση των κοπτικών εργαλείων ώστε να αυξάνεται ο χρόνος ζωής τους.
- ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης ενέργειας για την κατεργασία.
- κατάλληλες συνθήκες κοπής, για αξιοποίηση των δυνατοτήτων των υλικών των κοπτικών εργαλείων, σε συνδυασμό με το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου και την μέθοδο κατεργασίας.

## 2.2 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΚΟΠΗΣ

Στην Εικόνα 2.2 παρουσιάζονται οι κυριότερες κατεργασίες με αφαίρεση υλικού και σχηματικά οι αντίστοιχες χρησιμοποιούμενες εργαλειομηχανές.



Εικόνα 2.2. Κατεργασίες με αφαίρεση υλικού.

Οι εργαλειομηχανές με αφαίρεση υλικού κατατάσσονται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- Ως προς το είδος της κατεργασίας

Κατεργασία	Εργαλειομηχανή	Τεχνικές Επιφάνειες	Κίνηση Εργαλείου	Κίνηση Τεμαχίου
Τόρνευση	Τόρνος	Κυκλικές	Μετατόπιση	Περιστροφή
Φρεζάρισμα	Φρέζα	Επίπεδες Κυκλικές Εσοχές Αυλάκια Οδοντοτροχοί	Περιστροφή	Μετατόπιση
Διάτρηση	Δράπανο	Άνοιγμα οπών	Περιστροφή	Ακίνητο
Πλάνισμα	Πλάνη	Επίπεδες	Μετατόπιση	Μετατόπιση
Λείανση	Λειαντικός Τροχός	Επίπεδες Κυκλικές	Μετατόπιση και Περιστροφή	Μετατόπιση και Περιστροφή

Πίνακας 2.1. Κατάταξη ως προς το είδος κατεργασίας.

- Ως προς το είδος της πρωτεύουσας κίνησης

<b>Εργαλειομηχανές με περιστροφική κίνηση</b>	Τόρνοι	Οριζόντιοι Κατακόρυφοι Περιστροφικοί Αυτόματοι ή ημιαυτόματοι
	Φρέζες	Οριζόντιες Κατακόρυφες Αντιγραφής (παντογράφος)
	Δράπανα	Κατακόρυφα Οριζόντια Ακτινωτά Ειδικά (κατακόρυφα και οριζόντια με πολλές ατράκτους)
	Λειαντικοί Τροχοί	Επίπεδων επιφανειών Κυλινδρικών επιφανειών Άνευ κέντρων Οδοντώσεων Σπειρωμάτων Ειδικά (πχ για στροφαλοφόρους ατράκτους) Τροχιστικά
	Πριόνια	Περιστροφικά
	Μηχανήματα κοπής οδοντώσεων	Παράλληλων οδοντωτών τροχών Κωνικών οδοντωτών τροχών
<b>Εργαλειομηχανές με ευθύγραμμη πρωτεύουσα κίνηση</b>	Πριόνια	Παλινδρομικά
	Πλάνες	Εγκάρσιες Επιμήκειες Κατακόρυφες

Πίνακας 2.2. Κατάταξη ως προς το είδος πρωτεύουσας κίνησης

- Ως προς το βαθμό εξειδίκευσης.
  - ◆ Εργαλειομηχανές γενικής χρήσεως (τόρνος)
  - ◆ Εργαλειομηχανές ειδικής χρήσεως (γρاناζοκόπτης, λειαντικός τροχός οδοντώσεων, κ.α.)
  - ◆ Εξειδικευμένες εργαλειομηχανές (εργαλειομηχανές που είναι μελετημένες μόνο για την εκτέλεση ορισμένης φάσης κατεργασίας σε ορισμένο κομμάτι)
  - ◆ Εργαλειομηχανές μεταφοράς (ροϊκή παραγωγή)

- Ως προς την ακρίβεια κατεργασίας.
  - ◆ Εργαλειομηχανές συνήθους ακριβείας
  - ◆ Εργαλειομηχανές ακριβείας
  - ◆ Εργαλειομηχανές μεγάλης ακριβείας
  - ◆ Εργαλειομηχανές υψίστης ακριβείας
  
- Ως προς το βάρος.
  - ◆ Εργαλειομηχανές ελαφρές (βάρος μικρότερο του 1 τόνου)
  - ◆ Εργαλειομηχανές μέσου βάρους (βάρος μεταξύ 1 και 10 τόνων)
  - ◆ Εργαλειομηχανές βαριές (βάρος μεγαλύτερο των 10 τόνων)
  
- Ως προς το βαθμό αυτοματισμού.
  - ◆ Κοινές εργαλειομηχανές
  - ◆ Ημιαυτόματες εργαλειομηχανές (οι κινήσεις γίνονται αυτόματα)
  - ◆ Αυτόματες εργαλειομηχανές (οι κινήσεις και η τροφοδοσία γίνονται αυτόματα)

### **2.3 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΚΑΙ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΜΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ**

Η βασική λειτουργία μιας εργαλειομηχανής για τις διαδικασίες αφαίρεσης υλικού είναι να κινήσει ένα κοπτικό εργαλείο κατά μήκος μιας λίγο ή πολύ σύνθετης τροχιάς με ικανοποιητική ακρίβεια, αντιστεκόμενο στις δυνάμεις που προβάλλει το υλικό λόγω της κατεργασίας του. Αυτό πρέπει να γίνει φθάνοντας την απαιτούμενη μορφή και το ποσοστό αφαίρεσης υλικού.

### **2.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ**

Βασικό τμήμα του σχεδιασμού μιας εργαλειομηχανής είναι ο καθορισμός των κύριων χαρακτηριστικών γνωρισμάτων της. Για τη σχεδίαση θα πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη τυχαίοι χρήστες, κοινές απαιτήσεις και καθορισμένες προδιαγραφές. Οι μικρές και οι μεσαίες μηχανές κατασκευάζονται εξετάζοντας υποθετικούς πελάτες, ενώ οι μεγάλες κατόπιν παραγγελίας. Σε κάθε περίπτωση οι απαιτήσεις σχετίζονται με τις ακόλουθες πτυχές.

1. **Το μέγιστο μέγεθος αντικειμένων που επεξεργάζεται η μηχανή.** Η κατεργασία θα απαιτηθεί σε κάθε σημείο του αντικειμένου, συνεπώς ο χώρος εργασίας θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το μέγιστο μέγεθος των κομματιών προς κατεργασία.
2. **Η κύρια γεωμετρία των κομματιών προς κατεργασία.** Η γενική μορφή του κομματιού είναι σημείο κλειδί για να επιλεγεί τύπος μηχανής. Για κυλινδρικό κομμάτι ο τόρνος είναι το κατάλληλο μηχάνημα, ενώ για πρισματικό κομμάτι επιλέγεται φρέζα ή κέντρο κατεργασίας.
3. **Ο αριθμός και η πολυπλοκότητα των λεπτομερειών.** Όσο πιο πολλά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα της κατεργασίας, τόσο πιο σύνθετη πρέπει να είναι η εργαλειομηχανή δομικά.
4. **Το ποσοστό αφαίρεσης υλικού.** Αν θα δουλεύεται η μηχανή για μεγάλη ακρίβεια ή για γρήγορη και παραγωγική κατεργασία τύπου ξεχονδρίσματος. Συνήθως επιλέγεται μια εργαλειομηχανή που να συνδυάζει και τα δύο σε σύγκριση με την τιμή της, εκτός αν είναι για πολύ συγκεκριμένη εργασία. Τα χαρακτηριστικά που ποικίλουν εδώ είναι η ισχύς και η ροπή, καθώς και ο κύριος άξονας του κοπτικού. Η δυσκολία για το συνδυασμό όλων προκύπτει από το ότι η παραγωγικότητα απαιτεί μεγάλη ταχύτητα, άρα και κραδασμούς της μηχανής, κάτι που αποκλείει την ακρίβεια. Έτσι προσπαθούμε οι μηχανές να έχουν υψηλή δυσκαμψία και απόσβεση.
5. **Η ακρίβεια.** Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η ακρίβεια συγκρούεται με την παραγωγικότητα. Υπάρχει όμως και μία άλλη διάσταση της ακρίβειας, αυτή της επαναληψιμότητας. Δηλαδή να μπορούμε να πετύχουμε το ίδιο αποτέλεσμα πολλές φορές. Η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα σε μια εργαλειομηχανή είναι κύριοι στόχοι των κατασκευαστών και επιτυγχάνονται με τη μελέτη πολλών παραμέτρων όπως:
  - Τα λάθη συναρμολόγησης των κινητών τμημάτων της μηχανής στη θέση του κοπτικού εργαλείου.
  - Οι παραμορφώσεις των δομών στο πλαίσιο της δράσης της κοπής και των αδρανών δυνάμεων.
  - Η δυναμική συμπεριφορά του συστήματος υπό τη διέγερση των δυνάμεων κοπής επειδή οι περισσότερες από τις διαδικασίες κατεργασίας παράγουν μεταβλητές δυνάμεις.
  - Την τριβή και τις σπασμωδικές κινήσεις στους οδηγούς.
  - Τη θερμότητα που παράγεται στα πέντε σημεία θερμότητας. Το βασικό άξονα του κινητήρα, τους κινητήρες κίνησης, την κατεργασία, το υλικό που αφαιρείται ως απόβλητο και τη θερμοκρασία του χώρου εργασίας.
  - Ο έλεγχος τροχιάς των εργαλείων, δηλαδή τα λάθη που γίνονται από απότομες και γρήγορες αλλαγές κατεύθυνσης των κοπτικών εργαλείων.

6. **Η κινηματική συμπεριφορά.** Αυτός είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον τρόπο που θα σχεδιαστεί η εργαλειομηχανή. Η ταχύτητα κίνησης και η ταχύτητα αλλαγής εργαλείων απαρτίζουν την κινηματική συμπεριφορά. Ακόμα και η επιτάχυνση πρέπει να εξετάζεται, ακόμα και αν δεν είναι άμεση απαίτηση των χρηστών, λόγω των δυνάμεων αδράνειας που εξαρτώνται από αυτήν.
7. **Το μέγεθος της παρτίδας.** Είναι ένας ακόμη παράγοντας που πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη για το σχεδιασμό μηχανών και των βοηθητικών συσκευών. Στο σημείο αυτό η διαφοροποίηση γίνεται στον τρόπο αυτοματοποίησης, «σκληρή» ή «μαλακή», ανάλογα με το αν υπάρχει μόνο μία μηχανή CNC ή αν υπάρχει μια ολόκληρη εγκατάσταση με συστήματα μεταφοράς από τη μια μηχανή στην άλλη.
8. **Η τιμή.** Το κόστος αγοράς της μηχανής είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που πρέπει να εξαρτάται από το μέγεθος της μηχανής, την ακρίβεια, το βαθμό αυτοματοποίησης, και τον αριθμό των αξόνων στους οποίους κινείται και δουλεύει. Σε αυτό τον τομέα θα πρέπει να λάβουμε υπ' όψη εκτός από την αρχική επένδυση, το κόστος συντήρησης, της σταθερές δαπάνες και τις δαπάνες ανάκτησης της μηχανής.





## 3. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΜΕ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ

### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η τάση του ανθρώπου για καλύτερη ποιότητα ζωής, μέσω της βελτίωσης των προϊόντων και των υπηρεσιών αφενός και του περιορισμού του χρόνου εργασίας αφετέρου, εξαναγκάζει τη βιομηχανία σε όλο και μεγαλύτερη αύξηση της παραγωγικότητας. Λόγω της διαρκώς εντονότερης συναίσθησης της ατομικότητας του αγοραστή και του σκληρού διεθνούς ανταγωνισμού, τα προϊόντα πρέπει να κατασκευάζονται σε μερικές παρτίδες απ' ό,τι μέχρι τώρα και σε όσο το δυνατό χαμηλότερο κόστος.

Τα συστήματα παραγωγής σε παρτίδες μικρού ή μεσαίου μεγέθους καλύπτουν τη σύγχρονη ανάγκη μεγάλης ποικιλίας προϊόντων σε μικρό και μεσαίο όγκο παραγωγής.

Χαρακτηριστικά του συστήματος είναι:

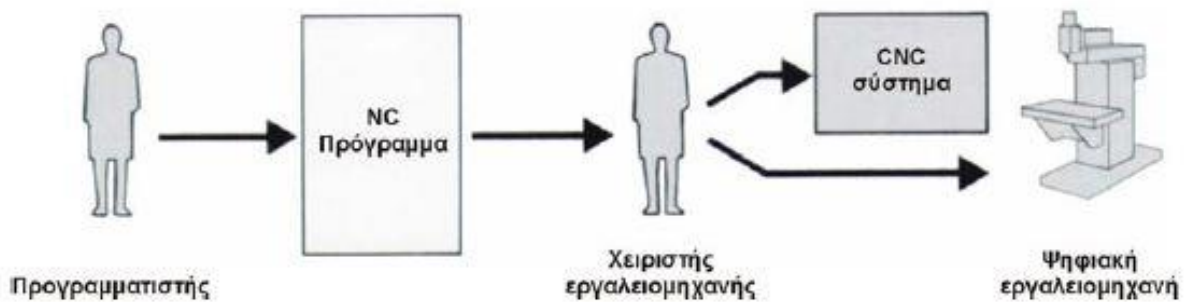
- Ποικιλία προϊόντων, άρα και κατεργασιών
- Η παραγωγή εξαρτάται από τη βραχυπρόθεσμη ζήτηση με τους επιβαλλόμενους περιορισμούς
- Δυσκολίες στο σχεδιασμό και στον έλεγχο της παραγωγής

Βασικά μειονεκτήματα των διαφόρων συστημάτων παραγωγής, ιδιαίτερα όμως αυτού σε παρτίδες μικρού ή μεσαίου μεγέθους, ήρθαν να καλύψουν τα νέα συστήματα αυτοματοποίησης της μηχανουργικής παραγωγής, που βασίζονται στις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση.

### 3.2 ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ

Η ψηφιακή καθοδήγηση στις εργαλειομηχανές πραγματοποιείται μέσω του Αριθμητικού Ελέγχου (Numerical Control). Αριθμητικός έλεγχος στις εργαλειομηχανές λέγεται ο έλεγχος και η λειτουργία τους μέσω της χρήσης κωδικοποιημένων αριθμητικών πληροφοριών για τον έλεγχο της θέσης του εξοπλισμού. Πιο συγκεκριμένα, τα βήματα παραγωγής ενός

εξαρτήματος αποθηκεύονται σε ένα πρόγραμμα, το οποίο διαβάζεται από το σύστημα ελέγχου της εργαλειομηχανής και το εξάρτημα παράγεται χωρίς ανθρώπινη συμμετοχή.



Εικόνα 3.1. Μεταφορά προγράμματος NC στην εργαλειομηχανή.

Το πρόγραμμα εξαρτήματος είναι ένα σύνολο εντολών τις οποίες μπορεί να ερμηνεύσει το σύστημα ελέγχου της μηχανής και να τις μετατρέψει σε ηλεκτρικά σήματα που θα κινήσουν τους μηχανισμούς κίνησης και τις ατράκτους της εργαλειομηχανής. Περιέχει γεωμετρικές πληροφορίες σχετικά με το εξάρτημα και πληροφορίες κίνησης για τη μετακίνηση του εργαλείου κοπής σε σχέση με το αντικείμενο κατεργασίας (κομμάτι). Επίσης στο πρόγραμμα εξαρτήματος καθορίζονται η ταχύτητα κοπής, ο ρυθμός τροφοδοσίας και άλλες βοηθητικές λειτουργίες όπως η χορήγηση ή όχι ψυκτικού υγρού και η διεύθυνση της ατράκτου, ώστε οι παράμετροι αυτές να πληρούν τις απαιτήσεις είδους της τελικής επιφάνειας και τις ανοχές.

Οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές διακρίνονται σε **NC**, **CNC** και **DNC**.

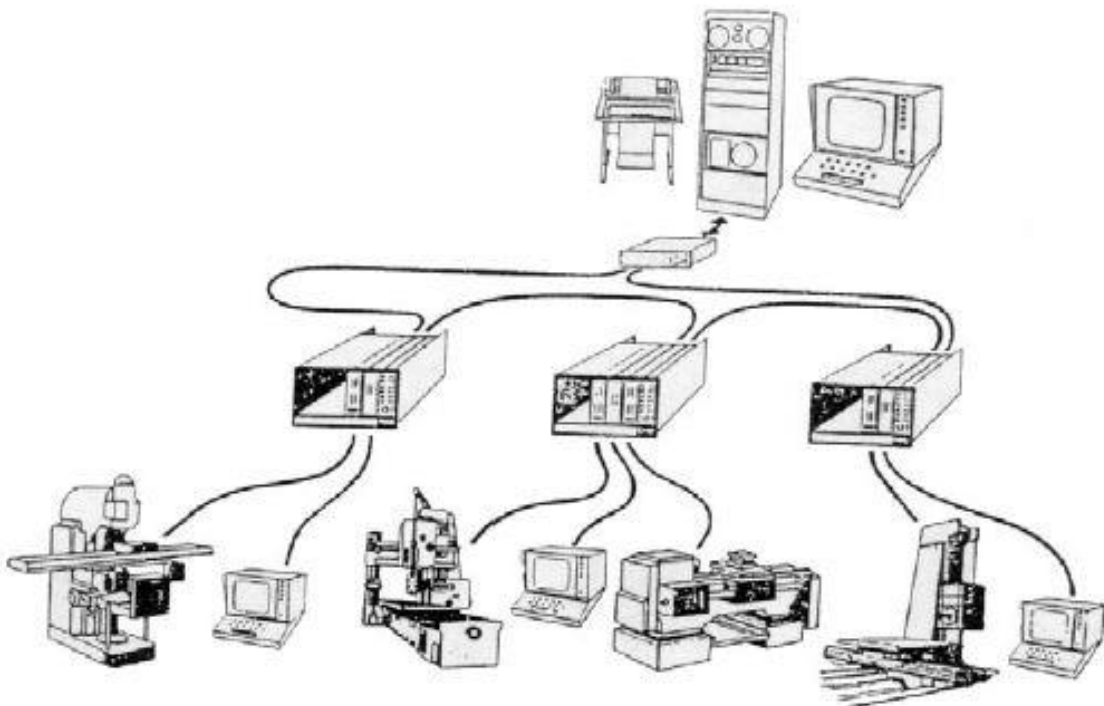
**Εργαλειομηχανές NC** (Αριθμητικά Καθοδηγούμενες-Numerical Control): Μηχανές οι οποίες ελέγχονται και καθοδηγούνται βάσει προγραμμάτων που καταχωρεί ο χειριστής στη μηχανή και διαβάζεται από τη Μονάδα Ελέγχου της.

**Εργαλειομηχανές CNC** (Αριθμητικά Καθοδηγούμενες με Η/Υ-Computer Numerical Control): Σε αυτές τις μηχανές υπάρχει ένας υπολογιστής, ο οποίος αναλαμβάνει τις βασικές καθοδηγητικές λειτουργίες. Υπολογίζει ενδιάμεσες τιμές για κινήσεις ευθύγραμμες, κυκλικών τόξων ή και άλλων τροχιών, που πιθανώς επιδέχεται η καθοδήγηση, όπως και σημεία τροχιών, που πιθανώς δεν υπάρχουν στο πρόγραμμα. Ο υπολογιστής δίνει και τη δυνατότητα να πληκτρολογηθεί ένα πρόγραμμα απευθείας στη μηχανή, όπως επίσης να προβληθούν τυχόν διορθώσεις ή αλλαγές προγραμμάτων.



Εικόνα 3.2. CNC Τόρνος.

**Εργαλειομηχανές DNC** (Άμεσα Αριθμητικά Καθοδηγούμενες-Direct Numerical Control): Πολλές ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές είναι συνδεδεμένες με έναν κεντρικό υπολογιστή, στον οποίο συντάσσονται και ελέγχονται τα προγράμματα ψηφιακής καθοδήγησης, τα οποία στη συνέχεια διοχετεύονται αυτόματα στην εκάστοτε εργαλειομηχανή.



Εικόνα 3.3. Διασύνδεση επιμελώς ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών με κεντρικό υπολογιστή.

### 3.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Οι εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση εμφανίζουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών:

- Μεγαλύτερη ασφάλεια του χειριστή, εφόσον τα συστήματα NC λειτουργούν από μια κονσόλα που είναι συνήθως μακριά από την περιοχή εργασίας. Έτσι, ο χειριστής δεν είναι εκτεθειμένος σε κινούμενα μέρη της μηχανής ή στο κοπτικό εργαλείο.
- Επιτυγχάνουν ανώτερη ακρίβεια στις διαστάσεις, στη μορφή και στη θέση. Η ακρίβεια στις μηχανές NC δεν εξαρτάται από τη δεξιότητα του τεχνίτη ή από συστηματικά σφάλματα που μπορούν να προκύψουν στις συμβατικές εργαλειομηχανές. Έτσι έχουμε μείωση των σκάρτων και περιορισμό στην έκταση του ποιοτικού ελέγχου.
- Η δυνατότητα ταυτόχρονης κίνησης και στους τρεις άξονες της εργαλειομηχανής (X,Y,Z) επιτρέπει τη μορφοποίηση καμπύλων επιφανειών στο χώρο. Επίσης, δεν απαιτείται αναπροσανατολισμός του τεμαχίου, κάτι που εισάγει σοβαρά σφάλματα αναπροσδέσεως.
- Οι νεκροί χρόνοι, λόγω εκτέλεσης μετρήσεων και άλλων αιτιών, δεν υπάρχουν ή περιορίζονται στο ελάχιστο και ο χρόνος παραμονής του τεμαχίου στην εργαλειομηχανή μειώνεται σημαντικά.
- Δε χρειάζονται μηχανολογικά σχέδια για τεμάχια με μορφή που μπορεί να περιγραφεί από μαθηματικές σχέσεις, γιατί υπάρχει δυνατότητα απευθείας τροφοδότησης του συστήματος ψηφιακής καθοδήγησης της εργαλειομηχανής.
- Γίνεται πιο εύκολος και ρεαλιστικός ο προγραμματισμός και ο έλεγχος της παραγωγής στο μηχανουργείο, γιατί ο χρόνος κατεργασίας είναι καθορισμένος με ακρίβεια.
- Μία εργαλειομηχανή με ψηφιακή καθοδήγηση παρουσιάζει ευελιξία στις κατεργασίες που μπορεί να εκτελέσει. Αναγκαίο είναι το κατάλληλο πρόγραμμα ψηφιακής καθοδήγησης και η δυνατότητα καθοδήγησης των απαιτούμενων αξόνων για την κατεργασία.
- Επιτυγχάνεται μεγαλύτερος βαθμός ανταγωνιστικότητας εξαιτίας της μείωσης των χρόνων. Η αύξηση της παραγωγικότητας και του όγκου παραγωγής και της ακρίβειας της κατεργασίας επηρεάζουν το κόστος παραγωγής, το οποίο μειώνεται.

Ως σοβαρά προβλήματα, που συνδέονται με την προμήθεια και λειτουργία των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης, μπορεί να θεωρηθούν τα εξής:

- Ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού για την κατάρτιση του κατάλληλου προγράμματος χωρίς σφάλματα, στον ταχύτερο δυνατό χρόνο και με το χαμηλότερο κόστος, αλλά και

για άλλες εργασίες όπως ρυθμίσεις της εργαλειομηχανής, προετοιμασία και έλεγχος των εργαλείων και γενικά συντήρηση της εργαλειομηχανής, η οποία πρέπει να γίνεται στην εντέλεια.

- Αλλαγές στην εν γένει οργάνωση του μηχανουργείου. Η εισαγωγή εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση ασκεί επιρροή στο όλο σύστημα οργάνωσης από τη σχεδίαση του προϊόντος, στη σχεδίαση των φάσεων κατεργασίας, στην κατεργασία, στον έλεγχο ποιότητας και στην αποθήκευση.
- Το κόστος κατασκευής εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση είναι πολύ υψηλό σε σχέση με αυτό αντιστοίχων συμβατικών εργαλειομηχανών, το οποίο σημαίνει και υψηλό κόστος απόκτησης της εργαλειομηχανής.



## 4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

### 4.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΦΙΛΟΣΟΦΙΑ

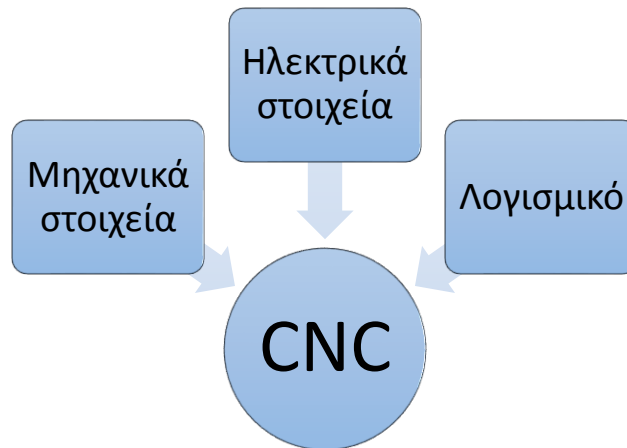
Η βασική αρχή των μη συμβατικών εργαλειομηχανών στηρίζεται, όπως περιεγράφηκε, σε ένα μεγάλης ακρίβειας σύστημα ηλεκτρονικού ελέγχου, το οποίο παράγει ψηφιακά σήματα, που καθοδηγούν τις λειτουργίες και τις παραμέτρους της κατεργασίας. Τα σήματα αυτά επεξεργάζονται και προσαρμόζονται δυναμικά από το σύστημα ελέγχου της μηχανής και, τελικά, ενεργοποιούν τους κινητήρες του κάθε άξονα κατεργασίας, την άτρακτο κοπής και τις περιφερειακές λειτουργίες της μηχανής, όπως είναι η αλλαγή των κοπτικών εργαλείων, η τροφοδοσία υγρού κοπής κ.λπ.. Οι παραπάνω μηχανισμοί αντικαθιστούν τους χειροτροχούς, τους μοχλούς και τους διακόπτες των συμβατικών μηχανών.

Οι μηχανικοί σχεδιασμού και ανάπτυξης τέτοιου είδους εργαλειομηχανών έχουν πάντα ως αρχή την κατασκευή εργαλειομηχανών, οι οποίες εκτελούν, όσο το δυνατόν, μεγαλύτερο όγκο κατεργασίας με μία μόνο διαδικασία καθοδήγησης και ρύθμισης. Σε αυτήν τη σκέψη στηρίζεται η εξέλιξη των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση, δηλαδή στην αύξηση του βαθμού αυτοματοποίησης της μηχανουργικής τεχνολογίας. Σε αυτήν την προσπάθεια συμβάλλουν πολλές άλλες επιμέρους επιστήμες, όπως η τεχνολογία των υλικών, η τεχνολογία των κοπτικών εργαλείων, η ηλεκτρονική, η ρομποτική, η επιστήμη των υπολογιστών και ιδίως η μηχανολογία. Μάλιστα, η τελευταία επιστήμη καθορίζει την ταχύτητα εξέλιξης των μηχανικών τμημάτων των εργαλειομηχανών (συστήματα κίνησης, οδηγοί κοχλίες, οδοντώσεις, εδράσεις ατράκτων κ.λπ.).

Οι μηχανές ψηφιακής καθοδήγησης έχουν να αντιμετωπίσουν αποστολές κατεργασίας που σχετίζονται με πολύ δυσμενείς συνθήκες κοπής. Για παράδειγμα, οι ταχύτητες κοπής, άρα και οι αντίστοιχες θερμοκρασίες, είναι πολύ υψηλές. Ακόμα, οι προώσεις και οι δυνάμεις κοπής ξεπερνούν κατά πολύ τα μεγέθη των αντίστοιχων συμβατικών μηχανών. Η δυναμική και στατική συμπεριφορά των μηχανών αυτών απαιτεί ιδιαίτερη μελέτη, αφού οι απαιτήσεις σε ακρίβεια είναι κατά πολύ αυξημένες. Επίσης, στην περίπτωση των CNC εργαλειομηχανών, που εργάζονται σε δύο ή και τρεις βάρδιες μέσα σε μεγάλα μηχανουργεία ή βιομηχανίες, η απομάκρυνση των αποβλήτων είναι ένα πρόβλημα που δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί με σκούπα και φαράσι, όπως στις συμβατικές εργαλειομηχανές. Έτσι, λοιπόν, οι κατασκευαστικές υποομάδες των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης, παράγονται με ξεχωριστές προδιαγραφές σε σχέση με αυτές των συμβατικών.

Κάθε ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή αποτελείται από τρία βασικά υποσυστήματα. Τα υποσυστήματα αυτά είναι:

1. Μηχανικά στοιχεία.
2. Ηλεκτρικά στοιχεία.
3. Λογισμικό.



Σχήμα 4.1. Στοιχεία CNC.

Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφούν τα τρία αυτά υποσυστήματα και τα στοιχεία από τα οποία αποτελούνται.

## 4.2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Το υποσύστημα των μηχανικών στοιχείων κάθε εργαλειομηχανής αποτελείται από τα εξής στοιχεία.

### Σώμα εργαλειομηχανής

Το σώμα είναι ο κορμός της εργαλειομηχανής, στο οποίο στηρίζονται όλα τα μέρη της. Το σώμα πρέπει να έχει δυνατότητα αντίστασης στις εξωτερικές δυνάμεις και ικανότητα απόσβεσης των ταλαντώσεων που προκαλούνται. Τα κύρια υλικά κατασκευής των σωμάτων των εργαλειομηχανών είναι τα παρακάτω:

- Ο φαιός χυτοσίδηρος. Έχει χαμηλό κόστος, καλή κατεργασιμότητα, ικανοποιητικό μέτρο απόσβεσης. Είναι κατάλληλος για εργαλειομηχανές μέσου βάρους.
- Ο χυτοχάλυβας. Προτιμάται σε βαριές εργαλειομηχανές. Το πλεονέκτημά του είναι η καλή ταλαντωτική συμπεριφορά.
- Διάφορα είδη χαλύβων. Το σώμα είναι μια συγκολλητή κατασκευή, που αποτελείται από διάφορα είδη χαλύβων. Η επιλογή των υλικών του σώματος γίνεται με βάση την



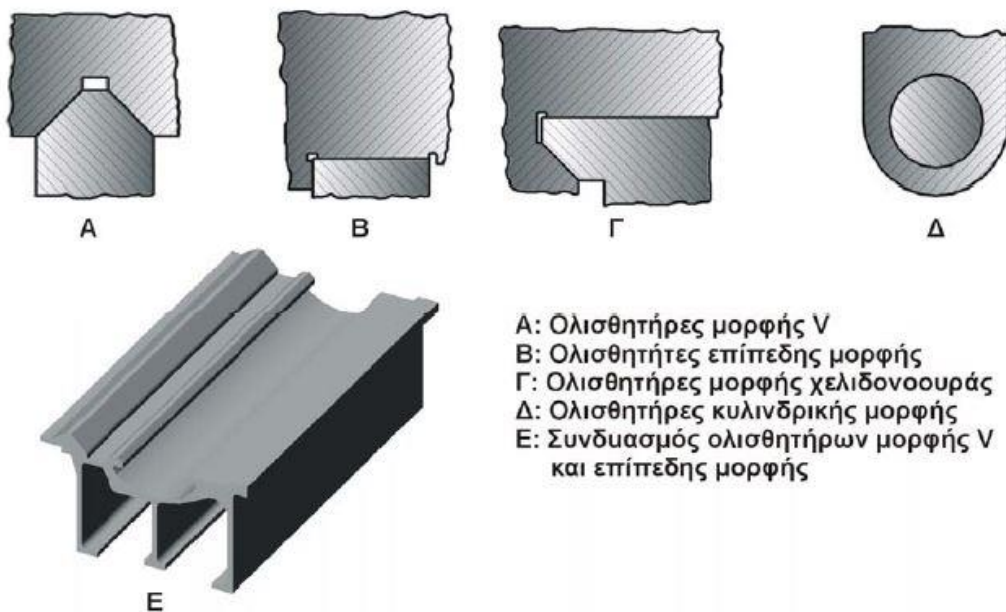
απαιτούμενη αντοχή. Το πλεονέκτημα τέτοιων σωμάτων είναι ή άνετη συντήρησή τους στην περίπτωση φθοράς. Το μειονέκτημά τους είναι η χειρότερη ταλαντωτική συμπεριφορά τους σε σύγκριση με τα προηγούμενα σώματα.

### Ολισθητήρες

Οι ολισθητήρες είναι στοιχεία που χρησιμοποιούνται για τη διευκόλυνση της γραμμικής μετακίνησης των κινητών δομικών στοιχείων επάνω στα σταθερά δομικά στοιχεία. Οι ολισθητήρες είναι γραμμικά έδρανα, που αποτελούνται από δυο μέλη, το ένα μέλος είναι ενσωματωμένο ή συνδεδεμένο στο σώμα της εργαλειομηχανής, το άλλο στο μετακινούμενο δομικό στοιχείο. Οι ολισθητήρες πρέπει να είναι ευθύγραμμοι, να έχουν δυνατότητα ρύθμισης και λίπανσης και κατασκευαστικά να είναι στεγανοποιημένοι, ώστε να εμποδίζεται η εισροή γρεζιών ή άλλων σωμάτων, τα οποία βοηθούν στη χειροτέρευση της ποιότητας επιφανείας των τριβόμενων επιφανειών, με αποτέλεσμα να εμποδίζεται η εύκολη ολίσθηση μεταξύ των επιφανειών.

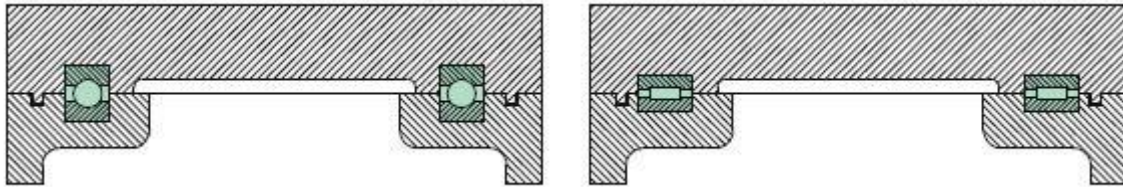
Τα διάφορα είδη των ολισθητήρων είναι τα εξής (Εικόνα 4.1):

- Ολισθητήρες μορφής V.
- Ολισθητήρες επίπεδης μορφής.
- Ολισθητήρες μορφής χελιδονοουράς.
- Κυλινδρικοί ολισθητήρες.
- Συνδυασμός ολισθητήρων μορφής V με ολισθητήρες επίπεδης μορφής.

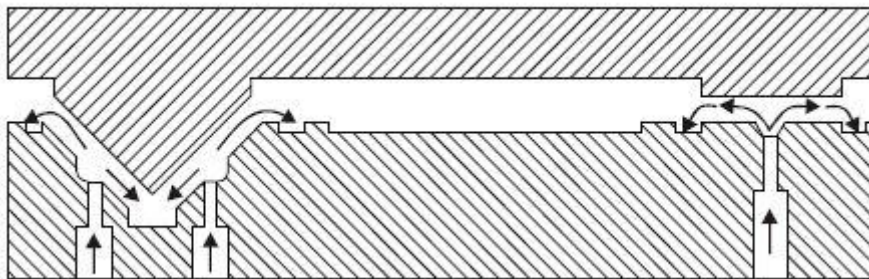


Εικόνα 4.1. Είδη ολισθητήρων

Για την μείωση του συντελεστή τριβής μεταξύ των τριβόμενων επιφανειών, χρησιμοποιούνται ολισθητήρες αντιτριβής, όπως έδρανα κύλισης (Εικόνα 4.2). Επίσης, υπάρχουν ολισθητήρες με υδροστατική λίπανση (Εικόνα 4.3), στους οποίους κυκλοφορεί ανάμεσα στις τριβόμενες επιφάνειες λιπαντικό υπό πίεση. Τέλος, υπάρχουν οι αεροστατικοί ολισθητήρες, στους οποίους, ανάμεσα στις τριβόμενες επιφάνειες, αντί λιπαντικού κυκλοφορεί πεπιεσμένος αέρας.



Εικόνα 5. Ολισθητήρες αντιτριβής.



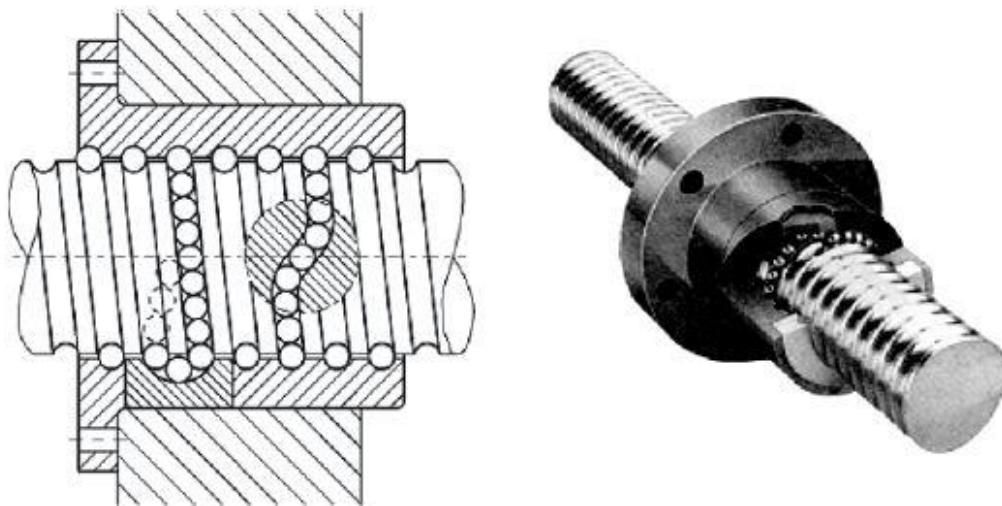
Εικόνα 6. Ολισθητήρες με υδροστατική λίπανση.

### **Μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης**

Οι μετακινήσεις κατά μήκος και γύρω από τους άξονες κατεργασίας εκτελούνται από τους αντίστοιχους κινητήρες προώσεων. Οι κινήσεις των κινητήρων αυτών ενεργοποιούνται από παλμούς, που ξεκινούν από τη μονάδα κεντρικού ελέγχου και μετατρέπονται σε κινήσεις του τεμαχίου ή του κοπτικού εργαλείου. Ο τρόπος, όμως, που μετατρέπεται η περιστροφική κίνηση των κινητήρων προώσεως σε γραμμικές μετατοπίσεις της τράπεζας της μηχανής, για παράδειγμα, δεν είναι απλή υπόθεση. Αντίθετα, πρέπει να καλύπτει ένα σύνολο απαιτήσεων με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Για παράδειγμα, η ζητούμενη ακρίβεια μετακίνησης είναι ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος για την αξιοπιστία μιας εργαλειομηχανής. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις κατεργασίας μεγάλων και βαριών τεμαχίων, η επιτάχυνση και επιβράδυνση της μάζας του φορείου και του τεμαχίου και η δύναμη της αδράνειας μπορεί να είναι πολύ μεγάλη και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Ο πιο διαδεδομένος τρόπος μετατροπής περιστροφικής κίνησης σε γραμμική είναι ο μηχανισμός **επανακυκλοφορούντων σφαιρών**, που φαίνεται στην Εικόνα 4.4. Ο κινητήρας προώσεως είναι συνδεδεμένος με τον κοχλία κίνησης, που φαίνεται στο σχήμα. Το σπείρωμα

αυτού του κοχλία είναι σφαιρικό αντί για τριγωνικό, που χρησιμοποιείται στους κοινούς κοχλίες. Στη θέση επαφής του κοχλία κίνησης με την τράπεζα ή το εργαλειοφορείο της μηχανής, υπάρχει ένα ειδικό περικόχλιο (παξιμάδι), που έχει το ίδιο σπείρωμα αλλά εσωτερικό. Ανάμεσα στον κοχλία και το περικόχλιο υπάρχουν σφαίρες κατασκευασμένες από το ίδιο υλικό, με το οποίο κατασκευάζονται οι σφαίρες των ρουλεμάν, δηλαδή από βαμμένο χάλυβα. Οι σφαίρες συμπιέζουν η μια την άλλη, ώστε να μην υπάρχουν διάκενα (τζόγος), που επηρεάζουν την ακρίβεια της μετατόπισης. Καθώς περιστρέφεται ο κοχλίας κίνησης, οι σφαίρες κινούνται έξω από το περικόχλιο και μπαίνουν σε ένα ειδικό κανάλι που τις μεταφέρει στο άλλο άκρο του περικοχλίου. Έτσι, υπάρχει μία ανακύκλωση των σφαιρών, που αναγκάζει το περικόχλιο και, άρα, και την τράπεζα ή το εργαλειοφορείο να μετακινηθούν. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να επιτευχθούν ταχύτητες μεταφοράς πάνω από 20 m/min με ακρίβεια της τάξης των 5 μm, σε όλο το μήκος μετατόπισης της τράπεζας.



Εικόνα 4.4. Μηχανισμός επανακυκλοφορούντων σφαιρών που χρησιμοποιείται στην κίνηση των γραμμικών αξόνων κατεργασίας.

### **Τράπεζα εργαλειομηχανής**

Η τράπεζα συγκρατεί το κατεργαζόμενο τεμάχιο. Η τράπεζα έχει δυνατότητες μετακίνησης κατά μήκος των αξόνων λειτουργίας της ή περιστροφή γύρω από τους άξονές της, σε περίπτωση πολυαξονικής εργαλειομηχανής.

## **4.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

Το υποσύστημα των ηλεκτρικών στοιχείων χωρίζεται σε δύο βασικές υποκατηγορίες. Η πρώτη είναι οι ηλεκτρικοί κινητήρες, οι οποίοι δίνουν την περιστροφική κίνηση για την περιστροφή του κοπτικού εργαλείου και την πρόωση των αξόνων κατεργασίας. Η δεύτερη

υποκατηγορία περιλαμβάνει τα συστήματα ελέγχου που προσδιορίζουν την πραγματική μετατόπιση των κινούμενων στοιχείων της μηχανής και δίνουν σήμα για τη διόρθωση των στροφών του κάθε κινητήρα όπου είναι απαραίτητη. Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφούν τα στοιχεία που ορίζουν αυτές τις υποκατηγορίες.

#### **4.3.1 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ**

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι από τα σημαντικότερα υποσυστήματα των εργαλειομηχανών, καθώς όλες σχεδόν οι κινήσεις μετατόπισης και κοπής οδηγούνται από αυτούς. Η απόδοσή τους καθορίζει σε μεγάλο βαθμό, την ποιότητα των μηχανουργικών κατεργασιών και την παραγωγικότητα των εργαλειομηχανών, που τους περιέχουν. Σήμερα οι NC, CNC οι DNC μηχανές περιέχουν, ως βασικό εξοπλισμό, ολόκληρα συστήματα σερβοκινητήρων (servomotors), που προσφέρουν διαρκή έλεγχο των παραμέτρων τους (ταχύτητα περιστροφής και αποδιδόμενη ισχύς).

Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται τόσο για τον έλεγχο των προώσεων, όσο και των ταχυτήτων κοπής. Αποτελούνται από ηλεκτρικό κινητήρα συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος, ενώ σπανιότερα χρησιμοποιούνται βηματικοί κινητήρες. Η λειτουργία αυτών των κινητήρων θα περιγραφεί στις επόμενες παραγράφους, ανάλογα με την εφαρμογή τους. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχει μετρητής της ταχύτητας περιστροφής και μηχανισμός άμεσης πέδησης. Οι σερβοκινητήρες ενσωματώνουν ηλεκτρονικές διατάξεις ελέγχου και προστασίας, ενώ μπορεί να περιλαμβάνουν και μηχανικά υποσυστήματα, όπως συμπλέκτες και μειωτήρες.

Οι απαιτήσεις για τους κινητήρες ενεργοποίησης των αξόνων κατεργασίας (κινητήρες προώσεων) είναι κατά πολύ διαφορετικές από αυτούς που χρησιμοποιούνται για τις κύριες ατράκτους των εργαλειομηχανών. Επίσης, η σχεδιαστική φιλοσοφία διαφέρει από τύπο σε τύπο μηχανής, αφού, για παράδειγμα, η ταχύτητα κοπής σε λειαντική μηχανή είναι πολλαπλάσια από τις αντίστοιχες του φρεζαρίσματος και της τórνευσης. Πριν περιγραφούν οι εφαρμογές των διαφόρων τύπων κινητήρα στις εργαλειομηχανές, είναι σκόπιμο να δοθούν μερικά βασικά δεδομένα, που σχετίζονται γενικότερα με τις κατεργασίες.

#### **Χαρακτηριστικά στοιχεία κινητήρων**

Η βασικότερη παράμετρος που επηρεάζει την ταχύτητα κοπής και επηρεάζεται από τον κινητήρα, είναι η γωνιακή ταχύτητα. Το μέγεθος αυτό προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, που μετριέται σε στροφές ανά λεπτό (rpm) και δίνεται από τη σχέση :

$$\omega = 2 * \pi * n / 60$$

$\omega$  : Γωνιακή ταχύτητα

n : Συχνότητα περιστροφής

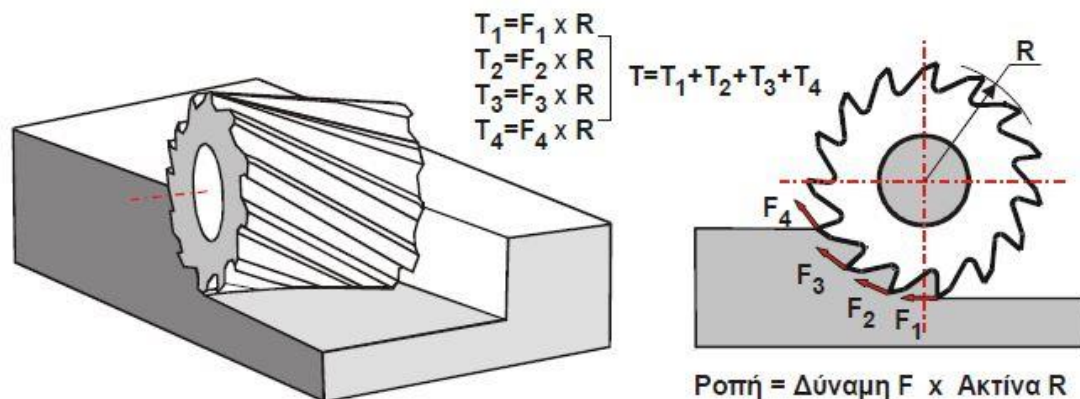
Μία ακόμη σημαντική παράμετρος των ηλεκτρικών κινητήρων είναι η αποδιδόμενη ισχύς, η οποία μετριέται σε kWatt και σπανιότερα σε Hp. Σε όλες τις περιπτώσεις των κινητήρων δεν ενδιαφέρει τόσο η απόλυτη ισχύς, όσο η συσχέτισή της με τις στροφές, στις οποίες αποδίδεται αυτή η μέγιστη ισχύς. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται περισσότερο η ροπή στρέψεως που μετριέται σε Nm και εκφράζεται από τη σχέση :

$$T = P/\omega$$

T : Ροπή στρέψεως

P : Αποδιδόμενη ισχύς

Η ροπή στρέψεως ενός κινητήρα εκφράζει τη δυνατότητα υπερνίκησης μιας αντίστοιχης ροπής. Στην περίπτωση της κινητήριας ατράκτου της εργαλειομηχανής, η ροπή που πρέπει να υπερνικηθεί, οφείλεται στην αντίσταση κοπής, δηλαδή στην κάθετη δύναμη κοπής. Η ροπή αυτή περιγράφεται στην Εικόνα 4.5 για το φρεζάρισμα σαν τη συνολική ροπή, που προκύπτει από το άθροισμα των επιμέρους ροπών, που οφείλονται στις αντίστοιχες δυνάμεις κοπής.



Εικόνα 7. Ροπή στρέψης στο φρεζάρισμα.

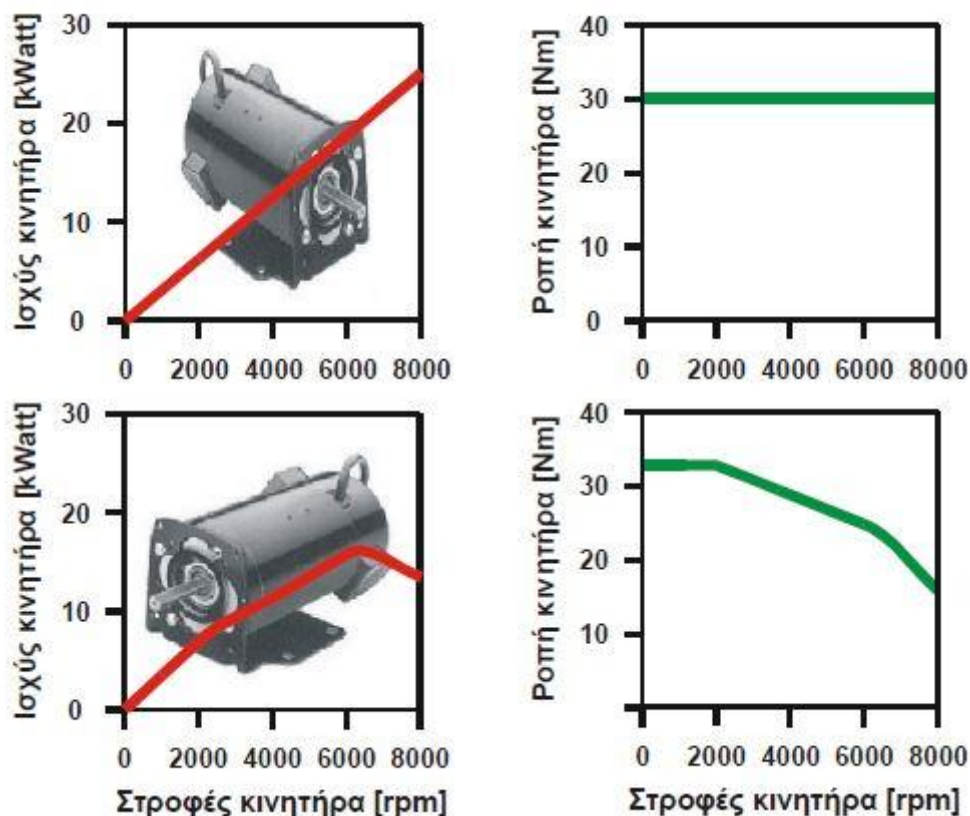
Έτσι, ανάλογα με τη συγκεκριμένη κατεργασία, επιλέγεται και ο αντίστοιχος κινητήρας, σε σχέση με τα χαρακτηριστικά ροπής και ισχύος. Για παράδειγμα, στην περίπτωση λειαντικής μηχανής που απαιτεί μεγάλη ταχύτητα και εμφανίζει μικρές δυνάμεις κοπής και ροπή αντίστασης, θα χρησιμοποιηθεί ένας κινητήρας, που αποδίδει τη μέγιστη ισχύ του σε υψηλές στροφές. Σε αντίθετη περίπτωση, θα απαιτηθεί η προσθήκη πολλαπλασιαστή στροφών, που όμως αυξάνει το κόστος.

Οι βέλτιστοι σε απόδοση κινητήρες είναι αυτοί που εμφανίζουν σταθερή στρεπτική ροπή, σε όλο το εύρος των στροφών λειτουργίας τους. Για να συμβεί αυτό, πρέπει η παραγόμενη ισχύς του κινητήρα να αυξάνεται, ανάλογα με τις στροφές λειτουργίας (γραμμικά).



Στην περίπτωση αυτή, η αποδιδόμενη ροπή στρέψεως είναι σταθερή, σε σχέση με τις στροφές και το φαινόμενο αυτό συχνά ονομάζεται **επίπεδη απόδοση ροπής**.

Τέτοια περίπτωση φαίνεται στο πάνω μέρος της Εικόνας 4.6. Για παράδειγμα, ο συγκεκριμένος κινητήρας μπορεί να διπλασιάσει τις στροφές του, άρα και την ταχύτητα κοπής, χωρίς να χάσει σε ικανότητα υπερνίκησης της ροπής αντίστασης. Υπάρχουν όμως και κινητήρες που δεν έχουν τη συμπεριφορά αυτή, όπως φαίνεται στο κάτω μέρος του ίδιου σχήματος. Στην περίπτωση αυτή, η ροπή του κινητήρα δεν είναι σταθερή σε όλο το εύρος των στροφών, γεγονός που δε βοηθάει τον ακριβή έλεγχο της κινητήριας ατράκτου.

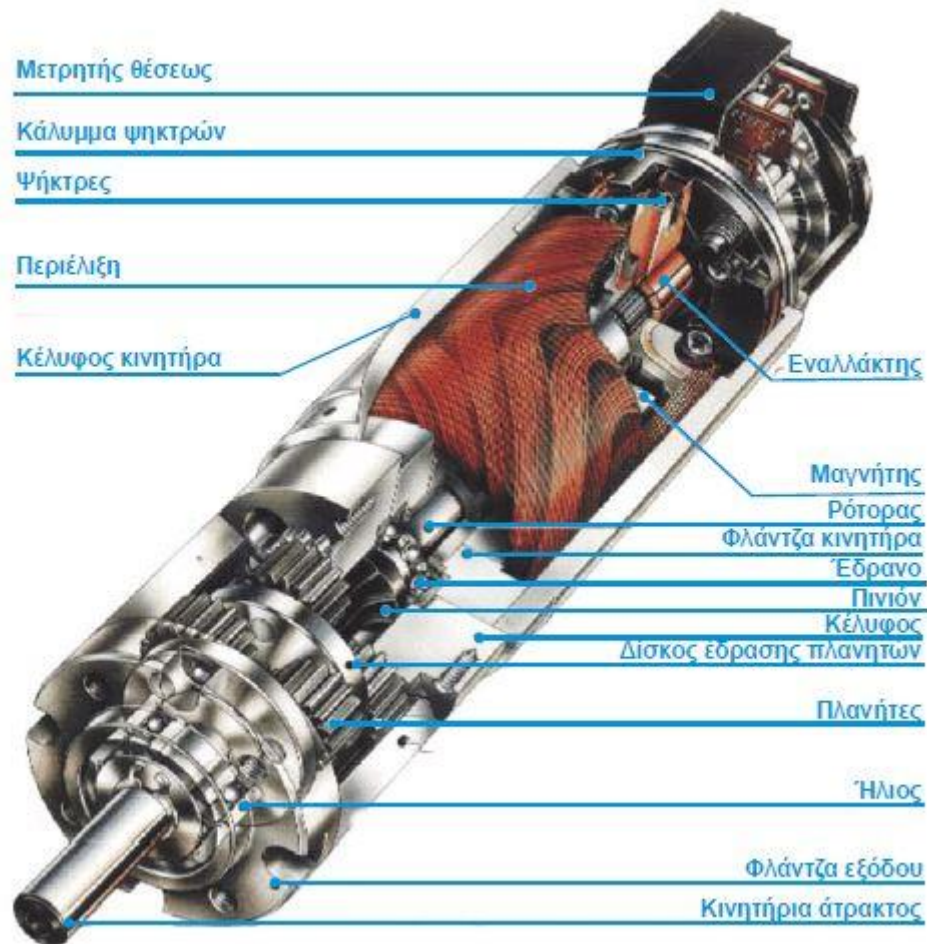


Εικόνα 4.6. Χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος και ροπής.

### **Ηλεκτροκινητήρες ατράκτου κοπής**

Όπως περιεγράφηκε, η ταχύτητα κοπής παράγεται από κάποια περιστροφική κίνηση που στην περίπτωση της τόννευσης την εκτελεί το κατεργαζόμενο τεμάχιο, ενώ σχεδόν σε όλες τις άλλες κατεργασίες την εκτελεί το κοπτικό εργαλείο. Σε κάθε περίπτωση, η περιστροφική κίνηση δίδεται από την κινητήρια άτρακτο της εργαλειομηχανής. Η άτρακτος αυτή ενεργοποιείται άμεσα ή έμμεσα από κάποιου είδους ηλεκτρικό κινητήρα. Ένας τέτοιος ηλεκτρικός κινητήρας ατράκτου σε τομή παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.7. Όπως φαίνεται στο σχήμα, οι άτρακτοι, εκτός από τον κινητήρα τους και τον εργαλειοδέτη, περιέχουν ένα μεγάλο

αριθμό ηλεκτρονικών και μηχανικών υποσυστημάτων. Χαρακτηριστικές ηλεκτρονικές ομάδες είναι οι ρυθμιστές του ρεύματος τροφοδοσίας, τα συστήματα προστασίας του κινητήρα, οι μετασχηματιστές κ.λπ.. Τα μηχανικά συστήματα περιέχουν κιβώτια σταθερών ή διαρκώς μεταβαλλόμενων σχέσεων μετάδοσης και την πέδη της ατράκτου.



Εικόνα 8. Κατασκευαστικά στοιχεία κινητήρα ατράκτου εργαλειομηχανής.

Οι κινητήρες ατράκτων πρέπει να μπορούν να λειτουργούν σε ένα αρκετά μεγάλο εύρος στροφών, ώστε να μπορούν να αντιμετωπίσουν όλες τις εναλλαγές στις συνθήκες κατεργασίας. Οι κύριες απαιτήσεις των κινητήρων αυτών είναι :

- Η δυνατότητα παραγωγής επίπεδων καμπυλών ροπής, για ένα μεγάλο εύρος στροφών.
- Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 12.000 rpm για τόνους, φρέζες και κέντρα κατεργασίας και 50.000 rpm για λειαντικές μηχανές.
- Μέγιστη αποδιδόμενη ροπή σε συνθήκες αιχμής (peak), τουλάχιστον διπλάσια από την ονομαστική του κινητήρα.

- Ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη περιστροφική ταχύτητα να κυμαίνεται για τόνους από 40 έως 60, για φρέζες από 30 έως 50 και για κέντρα κατεργασίας από 50 έως 70.
- Ονομαστική ισχύς έως 100 kWatt.

Στις κινητήριες ατράκτους εργαλειομηχανών χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι κινητήρων:

- **Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC drives).** Πρόκειται για κινητήρες εξωτερικής διέγερσης με αναστρεφόμενους πόλους και εξωτερικό κύκλωμα ψύξης, που χρησιμοποιούνται πολύ στις ατράκτους των εργαλειομηχανών. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα τους είναι ο σχετικά απλός έλεγχος και το μικρό κόστος των ηλεκτρονικών τους. Αντίθετα, η χρήση ψηκτρών έχει ως συνέπεια την ανάγκη συχνής συντήρησής τους, ενώ σε πολύ χαμηλές ταχύτητες εμφανίζουν αστάθεια (stall) και σε πολύ υψηλές υπάρχει ο περιορισμός των εναλλαγών των ψηκτρών του κινητήρα.
- **Τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες (Three phase asynchronous motors).** Πρόκειται για την πιο διαδεδομένη κατηγορία κινητήρων για ατράκτους εργαλειομηχανών. Επειδή η μεταφορά ισχύος γίνεται μέσω του φαινομένου της επαγωγής, οι κινητήρες αυτοί δε χρειάζονται συλλέκτες. Με τον τρόπο αυτό, περιορίζονται οι ανάγκες συντήρησης των κινητήρων αυτών. Οι αρχικές δυσκολίες ελέγχου των κινητήρων αυτών και, ιδίως, της ρύθμισης των στροφών τους έχει σήμερα λυθεί με ηλεκτρονικές συσκευές μετατροπών συχνότητας.

### Ηλεκτροκινητήρες προώσεως

Οι κινήσεις προώσεως των αξόνων μίας εργαλειομηχανής πρέπει γενικά να είναι μεγάλης ακρίβειας και να έχουν μικρές επιβραδύνσεις, λόγω τριβών. Οι μετατοπίσεις των αξόνων πρέπει να είναι ανεξάρτητες από τα φορτία αντίδρασης, που είναι οι δυνάμεις τριβής και οι αδρανειακές δυνάμεις. Επίσης, οι κινήσεις προώσεως πρέπει να είναι σταθερές, καθώς απότομες αλλαγές και ταλαντωτικές κινήσεις είναι εντελώς απαράδεκτες, μια και επιδρούν δραστικά στην ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας. Παλιότερα, σε αρχικά στάδια εξέλιξης των εργαλειομηχανών CNC, για όλες τις κινήσεις των αξόνων υπήρχε ένας μόνο κινητήρας. Η κίνηση μεταδιδόταν στους διάφορους άξονες μέσω συμπλεκτών και πεδών. Αυτή η μέθοδος έχει σήμερα εγκαταλειφθεί και κάθε άξονας κατεργασίας ενεργοποιείται από το δικό του κινητήρα.



Οι κύριες απαιτήσεις των κινητήρων των αξόνων είναι :

- Σταθερή ροπή στρέψης σε όλο το εύρος των στροφών λειτουργίας των κινητήρων.
- Μέγιστη ταχύτητα περιστροφής σε περίπτωση ταχείας κίνησης έως 6.000 rpm.
- Μέγιστη αποδιδόμενη ροπή σε συνθήκες αιχμής (peak) τουλάχιστον τετραπλάσια από την ονομαστική του κινητήρα.
- Ονομαστική ισχύς έως 15 kWatt.

Στις κινήσεις προώσεων χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τύποι κινητήρων :

• **Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC feed drives).** Οι κινητήρες αυτοί είναι αντίστοιχοι με αυτούς που χρησιμοποιούνται και στην περίπτωση των κινητήριων ατράκτων των εργαλειομηχανών. Είναι φυσικό να χρησιμοποιούνται κινητήρες με σαφώς μικρότερη ονομαστική ισχύ, σε σχέση με τις ατράκτους. Υπάρχουν πολλές κατασκευαστικές λύσεις και, γενικά, οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται αρκετά στις κινήσεις προώσεων σε όλους τους άξονες κατεργασίας.

• **Τριφασικοί σύγχρονοι κινητήρες (Three phase synchronous motors).** Σε σχέση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, οι κινητήρες αυτοί έχουν πολλά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα δε χρειάζονται εναλλάκτη ρεύματος, με αποτέλεσμα να μην έχουν ιδιαίτερα προβλήματα φθοράς, ενώ η απουσία συλλέκτη λύνει το πρόβλημα της καρβουνόσκονης. Επίσης, μπορούν να δώσουν τη μέγιστη ροπή τους ακόμα και κατά τη στιγμή της εκκίνησης, όταν δηλαδή ο ρότορας τους δεν περιστρέφεται. Ακόμα για τις ίδιες εξωτερικές διαστάσεις αποδίδουν μεγαλύτερη ροπή, ενώ δεν έχουν προβλήματα υπερθέρμανσης. Για τους λόγους αυτούς, οι τριφασικοί σύγχρονοι κινητήρες είναι πολύ ελκυστικοί στους κατασκευαστές εργαλειομηχανών.

• **Βηματικοί κινητήρες (stepper motors).** Οι βηματικοί κινητήρες ενεργοποιούνται με παλμούς, δηλαδή με ψηφιακό σήμα. Κάθε παλμός περιστρέφει την άτρακτο του κινητήρα ακριβώς κατά μία αυστηρά προκαθορισμένη γωνία. Έτσι δε χρειάζεται να μετατραπεί το ψηφιακό σήμα καθοδήγησης σε αναλογικό ρεύμα ενεργοποίησης, όπως συμβαίνει σε όλους τους άλλους τύπους ηλεκτρικών κινητήρων. Επίσης, δε χρειάζονται σύστημα μέτρησης της θέσεως, αφού η ακρίβεια κίνησης είναι δεδομένη. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά θα έκαναν τους βηματικούς κινητήρες πολύ ελκυστικούς για ενεργοποίηση των ατράκτων προώσεων, εάν δεν είχαν κάποια μεγάλα μειονεκτήματα για τέτοιες εφαρμογές. Έτσι, οι συχνότητες βήματος είναι πολύ μικρές, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνονται μεγάλες προώσεις. Ακόμα, οι διαθέσιμες

ροπές είναι πολύ χαμηλές, ενώ και η επιτάχυνση τους είναι πολύ αργή. Για τους λόγους αυτούς, οι βηματικοί κινητήρες χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια στις εργαλειομηχανές.

- **Υδροστατικές μεταδόσεις κίνησης** (hydraulic feed drives). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε αρχικά στις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση, ενώ αργότερα αντικαταστάθηκε σχεδόν πλήρως από τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Όμως, τα τελευταία χρόνια, η βελτίωση των υδραυλικών κυλίνδρων είναι τόσο θεαματική, ώστε τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται αρκετά από τους σχεδιαστές εργαλειομηχανών. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των υδροστατικών μεταδόσεων κίνησης είναι το μικρό τους βάρος, οι μικρές διαστάσεις τους, η μεγάλη ισχύς τους, η απευθείας γραμμική κίνηση και οι μικρές απαιτήσεις σε ηλεκτρονικά συστήματα καθοδήγησης τους.

#### 4.3.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΕΣΗΣ

Στην αυτοματοποιημένη παραγωγή τα συστήματα μετρήσεων είναι απαραίτητα, ώστε ανά πάσα στιγμή να είναι γνωστό το αποτέλεσμα των εντολών καθοδήγησης (μετατοπίσεις, περιστροφές κ.λπ.). Μάλιστα, οι απαιτήσεις σε ακρίβεια κατεργασίας, οδηγούν στη ζήτηση τέτοιων μετρητών με ολοένα μεγαλύτερη ακρίβεια, διακριτική ικανότητα, αξιοπιστία και εύρος λειτουργίας. Κάθε άξονας κατεργασίας απαιτεί το δικό του σύστημα μέτρησης της θέσης του. Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφούν τέτοιου είδους συστήματα μέτρησης, που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές. Σε επόμενο μάλιστα κεφάλαιο θα φανεί ότι, χωρίς τους μετρητές, δεν είναι δυνατός ο απόλυτος έλεγχος των κατεργασιών και η επίτευξη των απαιτήσεων σε ακρίβεια κατεργασίας.

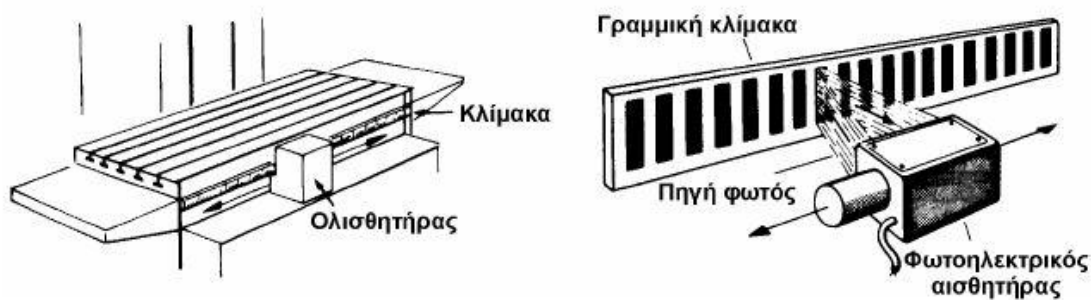
Πριν όμως αναλυθεί η λειτουργία αυτών των διατάξεων, πρέπει να προσδιορισθούν ορισμένες λέξεις κλειδιά, που χρησιμοποιούνται στην περιοχή αυτή. Η μέτρηση ενός μήκους ή μίας γωνίας σημαίνει τη σύγκρισή τους με ένα πρότυπο μήκος ή μία πρότυπη γωνία, αντίστοιχα. Το πρότυπο μήκος είναι το μέτρο (m), το οποίο ισούται με την απόσταση, που διανύει το φως μέσα στο κενό σε χρονικό διάστημα  $3 \times 10^{-9}$  sec. Στη μηχανουργική τεχνολογία οι μονάδες μήκους που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι το χιλιοστό ( $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ ) και το μικρόμετρο ή μικρό ( $1 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$ ).

Αντίστοιχα, η πρότυπη γωνία είναι το ακτίνιο (rad) και αντιστοιχεί σε τόξο κύκλου ίσο με την ακτίνα του ίδιου κύκλου. Πιο διαδεδομένη μονάδα μέτρησης γωνιών είναι η μοίρα ( $^{\circ}$ ), η οποία αντιστοιχεί στο  $1/360$  τμήμα της πλήρους γωνίας. Τέλος, ο όρος ψηφιακή μέτρηση (digital measurement) σημαίνει ότι το μετρούμενο μέγεθος αντιστοιχίζεται σε μια ακολουθία ψηφιακών σημάτων, που καταλαβαίνει η μονάδα κεντρικού ελέγχου MCU της εργαλειομηχανής.

Οι μετρητές των εργαλειομηχανών ανήκουν στη γενικότερη οικογένεια των αισθητήρων και στην περίπτωση αυτή ονομάζονται κωδικοποιητές θέσης (encoders). Στην πλειοψηφία τους, χρησιμοποιούν αρχές της οπτικής, του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού, περιέχουν και μηχανικά τμήματα, ενώ όλες οι πληροφορίες διακινούνται με χρήση ψηφιακών σημάτων. Μετρούν, ανάλογα με τον άξονα κατεργασίας, μήκη ή γωνίες και προσδιορίζουν την τρέχουσα θέση των ολισθητήρων ή των περιστρεφόμενων στοιχείων των εργαλειομηχανών. Στους κωδικοποιητές των εργαλειομηχανών η ελάχιστη ακρίβεια μέτρησης, σε περίπτωση μηκών, είναι 1  $\mu\text{m}$ , ενώ, στην περίπτωση των γωνιών, είναι  $0.001^\circ$ . Το εύρος μέτρησης στην περίπτωση γραμμικών αξόνων κατεργασίας είναι μεγαλύτερο από 100 mm.

### **Άμεσα και έμμεσα συστήματα μετρήσεων διαδρομής ή περιστροφής**

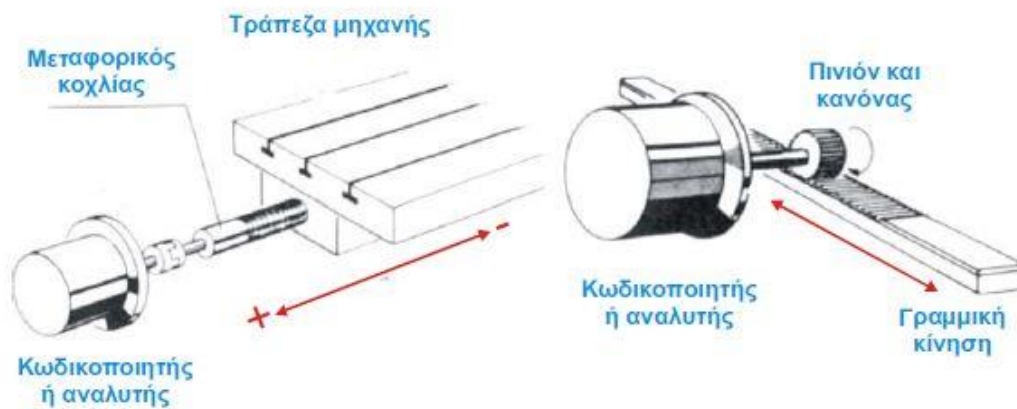
Τα άμεσα συστήματα μετρήσεων διαδρομής ή περιστροφής βασίζονται σε επαγωγικές ή φωτοηλεκτρικές διατάξεις που θα περιγραφούν σε επόμενες παραγράφους. Ονομάζονται έτσι, διότι κατά τη λειτουργία τους παράγουν ψηφιακά σήματα, τα οποία μεταδίδονται άμεσα στην κεντρική μονάδα ελέγχου της εργαλειομηχανής. Στην Εικόνα 4.8 παρουσιάζονται δύο τυπικές περιπτώσεις τέτοιων συστημάτων. Στην αριστερή πλευρά του σχήματος φαίνεται σύστημα μέτρησης θέσης στην τράπεζα της εργαλειομηχανής με ολισθητήρα και κλίμακα. Στη δεξιά πλευρά του ίδιου σχήματος παρουσιάζεται η αντίστοιχη αρχή μέτρησης με φωτοηλεκτρικό αισθητήρα. Τα συστήματα άμεσης μέτρησης έχουν το πλεονέκτημα της απευθείας μετατροπής μίας κίνησης σε ψηφιακό σήμα, που αντιστοιχεί στο μήκος της μετατόπισης.



Εικόνα 9. Άμεσα συστήματα μέτρησης θέσης.

Σε αντίθεση με αυτά, τα έμμεσα συστήματα μέτρησης που βασίζονται σε μηχανικές διατάξεις με κανόνες και πινιόν ή σπειρώματα, χρειάζονται αποκωδικοποιητές, για να παράγουν το απαιτούμενο ψηφιακό σήμα. Στην περίπτωση αυτή η βασική μεταφορική κίνηση της τράπεζας μετατρέπεται σε περιστροφική και τελικά σε ψηφιακό σήμα μέτρησης. Στην Εικόνα 4.9 παρουσιάζονται δύο τυπικές περιπτώσεις τέτοιων συστημάτων. Στην αριστερή πλευρά του σχήματος φαίνεται σύστημα μέτρησης με κοχλία και κωδικοποιητή, ενώ στη δεξιά πλευρά

παρουσιάζεται η αρχή της μέτρησης με ζεύγος κανόνα – πινιόν και κωδικοποιητή. Στην περίπτωση των εμμέσων συστημάτων μέτρησης, στα τυπικά σφάλματα της μετάδοσης ψηφιακών σημάτων προστίθενται και τα σφάλματα που μπορεί να εισάγει η μετατροπή της κίνησης από γραμμική σε περιστροφική.



Εικόνα 10. Έμμεσα συστήματα μέτρησης θέσης.

### **Απόλυτα και βηματικά συστήματα μετρήσεων διαδρομής ή περιστροφής**

Η μετατόπιση ή η περιστροφή σε έναν άξονα κατεργασίας μπορεί να μετρηθεί με δύο τρόπους.

Ο πρώτος τρόπος ονομάζεται απόλυτος και μετράει τη διαφορά δύο μετρήσεων, δηλαδή της αρχής και του τέλους της κίνησης, όταν αυτοί έχουν μετρηθεί σε σχέση με το μηδενικό σημείο της μηχανής. Το απόλυτο σύστημα μετρήσεων μετράει την απόλυτη θέση κάθε άξονα χωριστά, αμέσως, μόλις η εργαλειομηχανή τεθεί σε λειτουργία. Στην περίπτωση αυτή η άτρακτος της μηχανής δε χρειάζεται να μετακινηθεί στο μηδενικό σημείο. Για το λόγο αυτό, τα απόλυτα συστήματα μέτρησης είναι πολύ ελκυστικά. Έτσι, στην περίπτωση διακοπής της κατεργασίας, για παράδειγμα, λόγω διακοπής του ηλεκτρικού ρεύματος, η μηχανή δε χρειάζεται να μηδενιστεί ξανά. Όμως, τα απόλυτα συστήματα μέτρησης έχουν μεγάλο όγκο, η λειτουργία τους είναι πολύπλοκη και έχουν αυξημένο κόστος.

Ο δεύτερος τρόπος ονομάζεται βηματικός και μετράει τη μετατόπιση ή την περιστροφή του κάθε άξονα κατεργασίας πάντα σε σχέση με την αρχή της κίνησης. Η μέθοδος αυτή αντίστοιχα βασίζεται στην αρχή των βηματικών συντεταγμένων. Στην περίπτωση αυτή, οι κλίμακες μέτρησης είναι χωρισμένες σε πολλά διαστήματα, που η μετατόπιση από θέση σε θέση τα προσθέτει και τα αφαιρεί ώστε να προκύψει η τελική μετατόπιση. Έτσι, το μηδενικό σημείο κάθε άξονα ορίζεται πάνω στην κλίμακα με ένα ειδικό σημάδι, ώστε να το προσδιορίζει ο μετρητής. Σε περίπτωση διακοπής της κατεργασίας, η τρέχουσα θέση του άξονα χάνεται από τη μνήμη της μηχανής και απαιτείται επιστροφή στο μηδενικό της σημείο. Πρόκειται για τον πιο διαδεδομένο τρόπο μέτρησης, αφού έχει το μικρότερο κόστος.

Στην κατασκευαστική βιομηχανία των εργαλειομηχανών χρησιμοποιούνται και άλλα συστήματα που συνδυάζουν χαρακτηριστικά και των δύο παραπάνω μεθόδων και ονομάζονται υβριδικά ή ψευδο-απόλυτα συστήματα.

### **Επαγωγικά στοιχεία μετρήσεων διαδρομής**

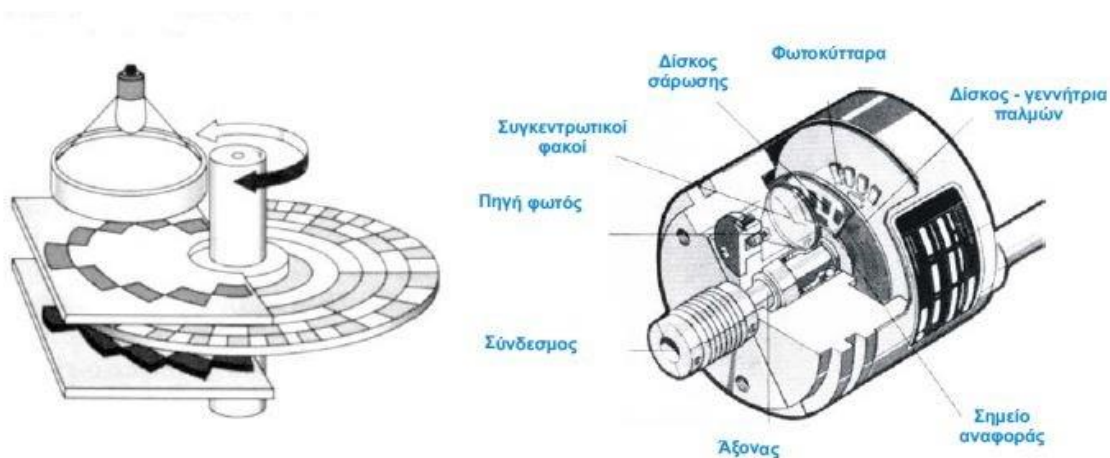
Σε αυτήν την κατηγορία μετρητών ανήκουν οι αναλυτές (resolvers), οι συγχρομηχανισμοί (synchro mechanisms) ή επαγωγικές κλίμακες (inductosyn scales). Οι διατάξεις αυτές παράγουν κατά τη λειτουργία τους μία τάση αναφοράς και μία τάση θέσεως. Η κεντρική μονάδα ελέγχου MCU της εργαλειομηχανής χρησιμοποιεί αυτές τις τάσεις, ώστε να προσδιορίσει με ακρίβεια τις μετατοπίσεις του κοπτικού εργαλείου ή του τεμαχίου. Αυτή η λειτουργία εκτελείται συνεχώς και ταυτόχρονα για όλους τους άξονες κατεργασίας. Οι αναλυτές κατασκευάζονται, για να προσφέρουν μετρήσεις ακριβείας γωνιακών θέσεων, και έχουν την ίδια αρχή λειτουργίας με τους ηλεκτρικούς κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος με δακτυλίου. Φυσικά, είναι μικρότεροι και πιο ακριβείς.

Αποτελούνται από ένα εξωτερικό κέλυφος και ένα ρότορα, που εδράζεται σε έδρανα μεγάλης ακρίβειας και υψηλής ποιότητας κατασκευής. Ο στάτορας έχει δύο περιελίξεις, που αποδίδουν δύο τάσεις εξόδου, ενώ η περιέλιξη του ρότορα είναι μονή και διέρχεται από την τάση εισόδου. Όταν η εξωτερική τάση διεγείρει το ρότορα, αυτός περιστρέφεται και παράγει δύο τάσεις στα άκρα των δύο περιελίξεων του στάτορα. Η διαφορά της μιας τάσης σε σχέση με την άλλη εξαρτάται από τη θέση του ρότορα σε σχέση με αυτή του στάτορα. Η διαφορά φάσης τελικά είναι αυτή που, αφού μετατραπεί σε ψηφιακό σήμα, περιγράφει τη θέση του άξονα κατεργασίας. Επειδή το σύστημα δεν έχει ψήκτρες, δεν υπάρχουν προβλήματα επαφής και δημιουργίας ηλεκτρικού τόξου. Για το λόγο αυτό οι αναλυτές δεν απαιτούν κανενός είδους συντήρηση. Εκτός από διπολικούς αναλυτές υπάρχουν και αντίστοιχοι δεκαπολικοί, οι οποίοι προσφέρουν μεγαλύτερη ευαισθησία μέτρησης.

Αντίστοιχα, οι περιστροφικές επαγωγικές κλίμακες μπορεί να θεωρηθούν ως αναλυτές με πολύ μεγάλο αριθμό πόλων. Για παράδειγμα, μια περιστροφική κλίμακα με 2000 πόλους περιέχει 1000 ζεύγη πόλων και μία περιστροφή του μαγνητικού πεδίου κατά 360° αντιστοιχεί μόλις σε 0.36° περιστροφής του ρότορα του μετρητή. Οι γραμμικές επαγωγικές κλίμακες είναι αντίστοιχες των περιστροφικών, με τη διαφορά ότι τα πηνία είναι σε γραμμική διάταξη. Το εύρος και η διαφορά φάσης των τάσεων στις περιελίξεις δημιουργούνται επίσης μέσω του φαινομένου της επαγωγής, λόγω της μετατόπισης του ολισθητήρα, όπως ακριβώς και στην περίπτωση των περιστροφικών επαγωγικών κλιμάκων.

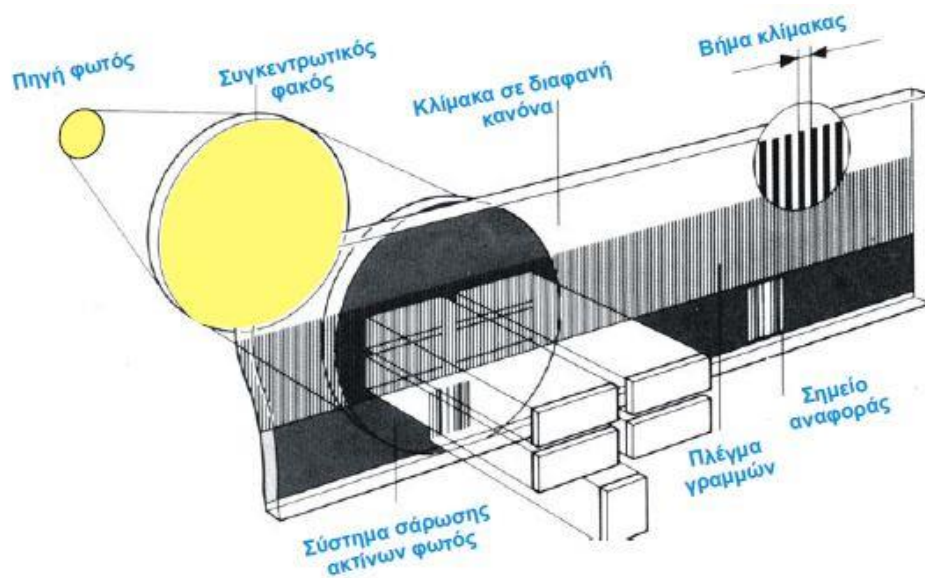
## Φωτοηλεκτρικά συστήματα

Στα φωτοηλεκτρικά συστήματα μέτρησης θέσης ανήκουν οι κωδικοποιητές θέσης (encoders) και οι μετρητικές κλίμακες (measuring scales). Οι κωδικοποιητές θέσης είναι περιστροφικές διατάξεις μετατροπής, οι οποίοι δημιουργούν ένα προκαθορισμένο αριθμό ηλεκτρονικών παλμών σε κάθε μία περιστροφή τους. Οι παλμοί παράγονται από τη διέλευση του φωτός μίας πηγής από ένα διάφανο δίσκο, που όμως διακόπτεται από μαύρες γραμμές με κυκλική διάταξη και σε ίσες αποστάσεις. Οι κωδικοποιητές είναι διαθέσιμοι σε διάφορα μεγέθη εξωτερικών διαμέτρων (από 30 έως 150 mm) και ευαισθησίας (από 50 έως 100,000 παλμοί ανά περιστροφή). Στις εργαλειομηχανές τα τυπικά μεγέθη είναι 75 mm και 5,000 παλμοί, αντίστοιχα. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται σε αρχές της οπτικής και φαίνεται στην Εικόνα 4.10. Πολλές φορές, ο αριθμός των παλμών ανά περιστροφή αυξάνεται τεχνητά με ειδικά ηλεκτρονικά κυκλώματα, αυξάνοντας έτσι την ευαισθησία του κωδικοποιητή με χαμηλό κόστος. Οι μετρητές αυτοί χρησιμοποιούνται πολύ συχνά στις εργαλειομηχανές, διότι είναι πολύ αξιόπιστοι, έχουν υψηλή ανάλυση, σχετικά χαμηλό κόστος και ευκολία τοποθέτησης. Ακόμα, δεν έχουν προβλήματα λόγω απότομων επιταχύνσεων ή επιβραδύνσεων και μπορούν να λειτουργήσουν σωστά από χαμηλές έως πολύ υψηλές περιστροφικές ταχύτητες.



Εικόνα 4.10. Αρχή λειτουργίας των κωδικοποιητών θέσης.

Επίσης διαδεδομένες είναι και οι μετρητικές κλίμακες, οι οποίες στηρίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας με τους κωδικοποιητές, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.11. Σε αυτήν την περίπτωση, οι ηλεκτρονικοί παλμοί παράγονται από τη διέλευση ή μη φωτός από ένα διαφανή κανόνα, που περιέχει και αυτός μαύρες γραμμές, σε ευθύγραμμη όμως διάταξη. Οι μετρητικές κλίμακες που χρησιμοποιούνται στις εργαλειομηχανές, είναι εντελώς κλειστές από ένα στεγανό περίβλημα, ώστε να αποφεύγονται βλάβες ή δυσλειτουργίες σε αυτά τα ευαίσθητα συστήματα, λόγω σκόνης, υγρού κοπής κ.λπ..



Εικόνα 11. Αρχή λειτουργίας των κλιμάκων μέτρησης.

Οι δύο παραπάνω περιπτώσεις συσκευών που βασίζονται σε οπτικά φαινόμενα, χρησιμοποιούνται συνήθως στην κατασκευή βηματικών συστημάτων μέτρησης θέσης εργαλειομηχανών. Οι κωδικοποιητές θέσεως, χρησιμοποιούνται σπανιότερα και στην κατασκευή απολύτων συστημάτων μέτρησης θέσεως.

#### 4.4 ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Σε κάθε ψηφιακά ελεγχόμενη εργαλειομηχανή υπάρχει ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ο οποίος ελέγχει τις λειτουργίες της. Σε αυτόν τον υπολογιστή τρέχει ένα λογισμικό το οποίο είναι υπεύθυνο για τη διεξαγωγή των εντολών, είτε αυτές δίνονται απευθείας από τον χρήστη, είτε μέσω κώδικα που διαβάζεται και μεταφράζεται στις αντίστοιχες εντολές από το λογισμικό αυτό.

Το λογισμικό της κάθε μηχανής δέχεται σαν είσοδο στοιχεία όπως εντολές του χρήστη και μετρήσεις από τα μετρητικά όργανα θέσης και στροφών και παράγει σαν έξοδο ηλεκτρικά σήματα για την εκτέλεση των λειτουργιών της μηχανής.

Οι περισσότεροι κατασκευαστές CNC εργαλειομηχανών έχουν τα δικά τους λογισμικά τα οποία προμηθεύουν με την αγορά μιας μηχανής και είναι ήδη εγκαταστημένα στην κεντρική μονάδα ελέγχου της. Για μικρού τύπου ή ερασιτεχνικές εργαλειομηχανές υπάρχουν στο εμπόριο προγράμματα τα οποία εγκαθίστανται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και λειτουργούν σαν λογισμικό για της λειτουργίες της συνδεδεμένης μηχανής. Τέτοια προγράμματα είναι το Mach3 για λογισμικό Windows και το LinuxCNC για λογισμικό Linux.



## 4.5 ΑΛΛΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΗΦΙΑΚΑ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

### Συστήματα τροφοδοσίας υγρού κοπής και πεπιεσμένου αέρα

Όπως και στις κατεργασίες με συμβατικές μηχανές, έτσι και στην περίπτωση κοπής με εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης απαιτείται η χρήση υγρού κοπής ή αέρα. Μάλιστα, επειδή οι κατεργασίες στις σύγχρονες μηχανές γίνονται με πολύ μεγάλες ταχύτητες κοπής, η χρήση υγρού κοπής για την προστασία του κοπτικού εργαλείου από πρόωρη φθορά είναι πολύ σημαντική. Ανάλογα με την περίπτωση κατεργασίας, χρησιμοποιείται έλαιο κοπής ή σαπουνέλαιο. Για το λόγο αυτό, σχεδόν όλες οι εργαλειομηχανές CNC είναι εξοπλισμένες με ακροφύσια, που πετούν με πίεση το ψυκτικό υγρό στη θέση κοπής, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.12. Σε αρκετές περιπτώσεις υπάρχουν ιδιαίτερα ακροφύσια για το λάδι κοπής, για το σαπουνέλαιο και για τον αέρα. Τα δύο πρώτα τροφοδοτούνται από δύο ξεχωριστά δοχεία, που βρίσκονται εντός της μηχανής, στα οποία και ανακυκλώνεται το υγρό κοπής κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Το ακροφύσιο του αέρα συνδέεται με το κεντρικό δίκτυο πεπιεσμένου αέρα του μηχανουργείου.



Εικόνα 12. Φρεζάρισμα με υγρό κοπής.

Στις συμβατικές εργαλειομηχανές, το άνοιγμα και το κλείσιμο της παροχής υγρού κοπής και πεπιεσμένου αέρα γίνεται χειροκίνητα από τον τεχνίτη, ο οποίος χρησιμοποιεί τους μικρούς διακόπτες των ακροφυσίων. Αντίθετα, στις εργαλειομηχανές CNC, το άνοιγμα και το κλείσιμο της παροχής προγραμματίζεται από το χειριστή της εργαλειομηχανής και ενεργοποιείται αυτόματα μέσω αντλιών, που παίρνουν εντολές από τη μονάδα κεντρικού ελέγχου. Με τον τρόπο αυτό περιορίζεται σημαντικά η άσκοπη ανακύκλωση των υγρών



κοπής. Επίσης, για να υπάρχει μόνιμη καθοδήγηση του υγρού κοπής ακριβώς στη θέση κατεργασίας, χρησιμοποιούνται ειδικά κοπτικά εργαλεία, όπως αυτό που φαίνεται στην Εικόνα 4.13. Αντί το υγρό κοπής να ψεκάζεται από τα ακροφύσια, βγαίνει απευθείας από το κοπτικό εργαλείο από ειδικά κανάλια, που υπάρχουν τόσο στον εργαλειοδέτη, όσο και στο κοπτικό πλακίδιο. Με τον τρόπο αυτό, η θέση κοπής ψύχεται καλύτερα, ενώ απομακρύνονται ευκολότερα τα απόβλητα. Με τον ίδιο τρόπο μπορεί να διοχετευθεί και ο πεπιεσμένος αέρας.



*Εικόνα 13. Απευθείας παροχή υγρού κοπής στη θέση κοπής.*

### **Σύστημα απομάκρυνσης αποβλήτων**

Ένα μεγάλο πρόβλημα που έχουν τα μηχανουργεία που περιέχουν εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης, είναι η απομάκρυνση των αποβλήτων και ο καθαρισμός της εργαλειομηχανής. Ακόμα και στις συμβατικές εργαλειομηχανές, οι τεχνίτες αφιερώνουν ένα σημαντικό μέρος του χρόνου εργασίας τους στην απομάκρυνση των αποβλήτων. Στη διάρκεια του χρόνου αυτού, η εργαλειομηχανή παραμένει εκτός λειτουργίας, κυρίως για λόγους ασφάλειας. Το πρόβλημα είναι ακόμα μεγαλύτερο στις μη συμβατικές εργαλειομηχανές, αφού, λόγω της απόδοσής τους, παράγουν πολλαπλάσιο όγκο αποβλήτων ανά ημέρα. Επίσης, το κόστος ακινησίας στις εργαλειομηχανές CNC είναι υψηλότερο, σε σχέση με τις συμβατικές εργαλειομηχανές.

Για τους λόγους αυτούς, πολλοί κατασκευαστές εξοπλίζουν τις εργαλειομηχανές τους με συστήματα αυτόματης απομάκρυνσης των αποβλήτων (chip conveyors), όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.14. Οι διατάξεις αυτές συλλέγουν τα απόβλητα κατά τη διάρκεια της κοπής και τα οδηγούν σε ειδικά βαρέλια, που δίνονται για ανακύκλωση.



Εικόνα 14. Σύστημα αυτόματης απομάκρυνσης αποβλήτων από τις εργαλειομηχανές CNC.

### **Συστήματα συγκράτησης κοπτικών εργαλείων - εργαλειοδέτες**

Η μεγάλη πρόοδος των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση έχει αναγκάσει τους κατασκευαστές κοπτικών εργαλείων σε μία διαρκή κούρσα βελτίωσης των υλικών κοπής. Τα σύγχρονα κοπτικά εργαλεία κατασκευάζονται από σκληρομέταλλα, κεραμικά, στελλίτες, διαμάντι και κυβικά βοριοιτρίδια, ενώ έχει περιοριστεί σε λίγες εφαρμογές η χρήση ταχυάλυβα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα κοπτικά εργαλεία επικαλύπτονται με λεπτές επιφανειακές στιβάδες που ονομάζονται επικαλύψεις και που προσφέρουν πολύ μεγαλύτερη αντοχή σε φθορά.

Εκτός των υλικών, στη φάση σχεδιασμού των κοπτικών εργαλείων δίνεται ιδιαίτερη σημασία στη γεωμετρία της κοπτικής ακμής, αφού αυτή επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την τεχνολογία της κοπής. Τα σύγχρονα κοπτικά εργαλεία μπορεί να έχουν αυξημένο κόστος αγοράς, αλλά επιτρέπουν την επίτευξη μεγάλων ταχυτήτων κοπής και εμφανίζουν μεγάλη αντίσταση στη φθορά ή θραύση. Τα κοπτικά αυτά εργαλεία συγκρατούνται πάνω στις εργαλειομηχανές με χρήση των εργαλειοδετών (μανέλες και κώνοι). Οι διαστάσεις και το είδος των μανελών και των κώνων είναι τυποποιημένες. Στην Εικόνα 4.15, φαίνονται δύο χαρακτηριστικοί κώνοι για πρόσδεση εργαλείων φρεζαρίσματος.



Εικόνα 15. Κώνοι CNC φρεζών.

Όπως αναφέρθηκε, είναι αναγκαία η τυποποίηση, που πρέπει να έχουν, όλα τα περιφερειακά εξαρτήματα των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης. Ειδικά για τους εργαλειοδέτες η τυποποίηση έχει τα εξής οφέλη :

- Μειώνει το πλήθος των εργαλειοδετών και το κόστος αγοράς τους.
- Δίνει τη δυνατότητα χρήσης του ίδιου εργαλειοδέτη σε πολλές εργαλειομηχανές.
- Διευκολύνει τη διαχείριση και αποθήκευσή τους στο μηχανουργείο.
- Δίνει τη δυνατότητα συνεργασίας τους με συστήματα αυτόματης αλλαγής του κοπτικού εργαλείου, που διαθέτουν οι περισσότερες εργαλειομηχανές, που πωλούνται σήμερα.



## 5. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

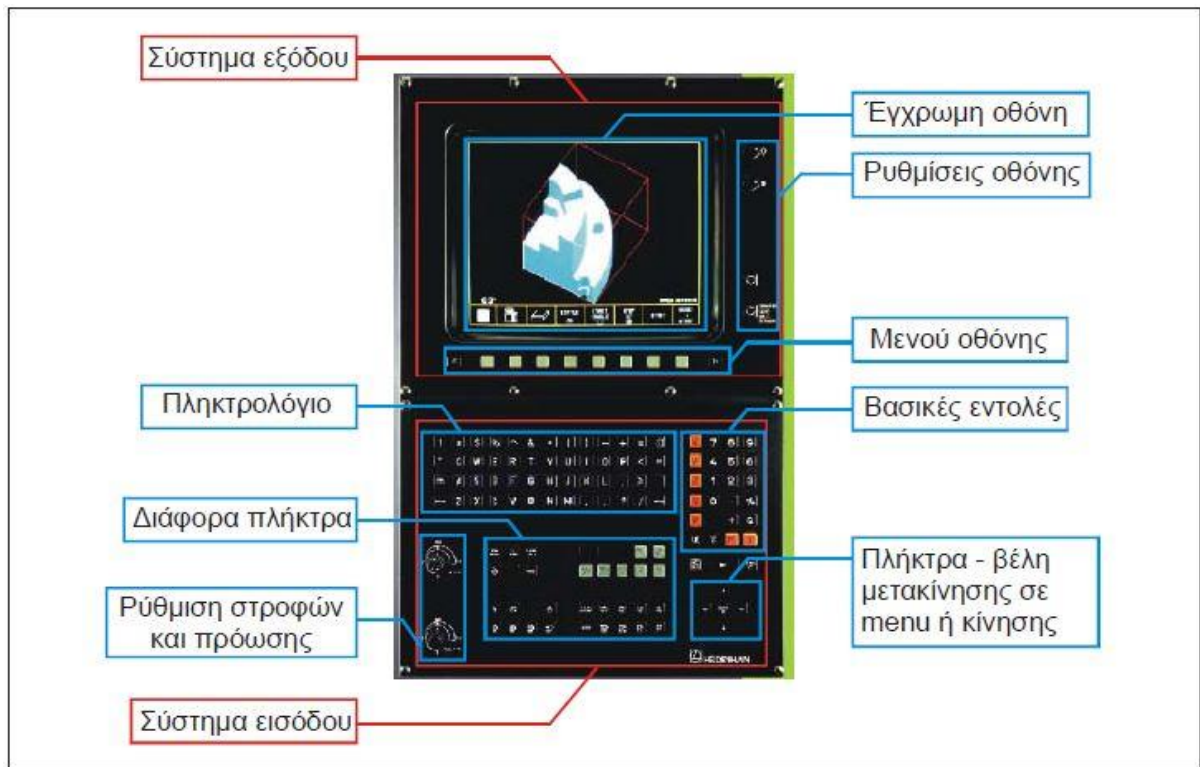
### 5.1 ΑΡΧΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Οι λειτουργίες των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης προγραμματίζονται στη μονάδα κεντρικού ελέγχου ή σε κάποιο υπολογιστή που είναι συνδεδεμένος με τη μηχανή και την εξυπηρετεί. Το σύστημα ελέγχου μετατρέπει τις εντολές καθοδήγησης σε σήματα ελέγχου υπό μορφή ηλεκτρικής τάσης ή παλμών. Τα σήματα αυτά ενεργοποιούν τελικά όλες τις λειτουργίες της εργαλειομηχανής, με βάση τις αρχές των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου (ΣΑΕ). Τα συστήματα αυτά ονομάζονται αυτόματα, διότι η λειτουργία τους δεν γίνεται αντιληπτή από το χειριστή της εργαλειομηχανής. Οι διαδικασίες αυτομάτου ελέγχου συνθέτουν μία ολόκληρη επιστήμη, με εφαρμογές, εκτός από τη μηχανουργική τεχνολογία, στην ιατρική, στη βιολογία, στις οικονομικές επιστήμες και στην επιχειρηματική δραστηριότητα.

Στις εφαρμοσμένες θετικές επιστήμες, εκεί που ανήκει και η μηχανουργική τεχνολογία, ο αυτόματος έλεγχος χρησιμεύει στο να παρακολουθούνται διάφορες καταστάσεις, να μετρώνται τα φυσικά μεγέθη και να επηρεάζεται η εξέλιξη μίας διαδικασίας προς τον καλύτερο και πιο επιθυμητό τρόπο. Για τον αυτόματο έλεγχο απαιτείται η ύπαρξη και συνεργασία ενός συνόλου ηλεκτρονικών και μηχανικών διατάξεων, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

#### **Κεντρικό σύστημα ελέγχου**

Το κεντρικό σύστημα ελέγχου συντονίζει όλες τις επιμέρους διεργασίες που συμμετέχουν στο σύστημα αυτομάτου ελέγχου. Στην περίπτωση των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης, το ρόλο αυτό αναλαμβάνει η μονάδα ελέγχου της μηχανής MCU. Το κεντρικό σύστημα ελέγχου πρέπει να έχει έναν τρόπο επικοινωνίας με το χειριστή της μηχανής, που στην προκειμένη περίπτωση είναι η οθόνη και το πληκτρολόγιο όπως φαίνεται στην Εικόνα 5.1. Επίσης, υπάρχουν και διάφορα πλήκτρα, τα οποία διευκολύνουν την εισαγωγή δεδομένων και ελέγχουν διάφορες λειτουργίες της εργαλειομηχανής.



Εικόνα 5.1. Κεντρικό σύστημα ελέγχου εργαλειομηχανής με μονάδα εισόδου (πληκτρολόγιο) και μονάδα εξόδου (έγχρωμη οθόνη).

### **Μηχανισμοί και διαδικασίες**

Συστήματα που να μπορούν να επιδράσουν και να διαμορφώσουν το μέγεθος που ελέγχεται. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του ελέγχου της κίνησης κατά μήκος ενός άξονα κατεργασίας, πρέπει να υπάρχει κάποιος σερβομηχανισμός ή κάποιος βηματικός κινητήρας, όπως αυτοί περιεγράφηκαν στο Κεφάλαιο 4.

### **Αισθητήρες**

Οι αισθητήρες είναι υπεύθυνοι για τη μέτρηση του μεγέθους, που πρέπει να ελεγχθεί κατά τη λειτουργία της εργαλειομηχανής. Για παράδειγμα, εάν ελέγχεται η ακρίβεια της κίνησης κατά μήκος ενός γραμμικού άξονα κατεργασίας, χρησιμοποιείται σαν αισθητήρας ένας κωδικοποιητής θέσεως (encoder). Εάν το μέγεθος που μετριέται, είναι οι δυνάμεις κοπής, τότε χρησιμοποιείται απευθείας δυναμόμετρο ή γίνεται επεξεργασία της ισχύος που απορροφά η άτρακτος της εργαλειομηχανής.

### **Ηλεκτρονικά κυκλώματα**

Κάθε εργαλειομηχανή έχει ηλεκτρονικά κυκλώματα και ηλεκτρικά υποσυστήματα που μπορούν επεξεργάζονται και να μεταφέρουν τα σήματα καθοδήγησης, που παράγονται στο κεντρικό σύστημα ελέγχου, προς τους μηχανισμούς. Επίσης, οι ίδιες διαδικασίες γίνονται και

στην περίπτωση μεταφοράς των σημάτων των αισθητήρων προς το κεντρικό σύστημα ελέγχου. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν ενισχυτές, ανορθωτές, μετασχηματιστές, καλωδιώσεις κ.λπ..

## **5.2 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ**

Στις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση, η κύρια λειτουργία του συστήματος αυτομάτου ελέγχου είναι να τοποθετεί την τράπεζα ή την άτρακτο της μηχανής στην προγραμματισμένη θέση. Δεν είναι υπερβολή να πει κανείς ότι η διαδικασία αυτή αποτελεί το 95% του συνολικού χρόνου λειτουργίας του συστήματος αυτομάτου ελέγχου. Υπάρχουν δύο διαφορετικοί τρόποι ελέγχου, με τους οποίους το σύστημα αριθμητικού ελέγχου εκπληρώνει την ακριβή τοποθέτηση. Πρόκειται για το σύστημα κλειστού και το σύστημα ανοικτού βρόγχου, που περιγράφονται, αντίστοιχα, στις δύο επόμενες παραγράφους.

### **Συστήματα καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου**

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου (open loop control) φαίνεται στην Εικόνα 5.2. Το σήμα ελέγχου κάθε μετατόπισης ή κίνησης, που προέρχεται από την κεντρική μονάδα ελέγχου, ενισχύεται, ώστε να μπορεί να ενεργοποιήσει τον αντίστοιχο κινητήρα. Με τη σειρά του, ο κινητήρας μεταδίδει κίνηση στους ολισθητήρες της εργαλειομηχανής απευθείας είτε μέσω κατάλληλου μειωτήρα στροφών. Με τη διαδικασία αυτή, η παροχή ισχύος από τους κινητήρες ρυθμίζεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να προκύπτει η επιθυμητή ταχύτητα ή πρόωση κατεργασίας.

Εάν όμως, για παράδειγμα, το φορτίο της εργαλειομηχανής μεταβληθεί, διότι αυξάνεται το βάθος κοπής, τότε η ταχύτητα του σερβοκινητήρα θα επηρεασθεί. Η μείωση της ταχύτητας όμως δεν θα γίνει αντιληπτή από την κεντρική μονάδα ελέγχου, αφού δεν υπάρχει κάποιος τρόπος να φτάσει ως εκεί η πληροφορία. Για το λόγο αυτό, το σύστημα αυτομάτου ελέγχου ανοικτού βρόγχου δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί από μηχανές με μεταβαλλόμενο φορτίο κοπής.

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά σε εργαλειομηχανές διάτρησης, όπου το φορτίο κοπής είναι σταθερό. Η εφαρμογή τέτοιων συστημάτων περιορίζεται σε κατεργασίες, στις οποίες δεν απαιτείται ακρίβεια μεγαλύτερη από 25 μm.





Εικόνα 5.2. Σύστημα ελέγχου ανοικτού βρόγχου για τον έλεγχο της μετατόπισης στους ολισθητήρες.

### Συστήματα καθοδήγησης κλειστού βρόγχου

Τα προβλήματα ελέγχου που δεν είναι δυνατό να λυθούν με χρήση συστήματος ανοικτού βρόγχου, λύνονται με συστήματα κλειστού βρόγχου (closed loop control). Η λειτουργία των συστημάτων αυτών βασίζεται στην αρχή της ανάδρασης (feedback), που είναι το θεμέλιο στην επιστήμη του αυτομάτου ελέγχου. Ανάδραση σημαίνει η σύγκριση της πραγματικής τιμής ενός μεγέθους με την επιθυμητή τιμή και κατάλληλη επέμβαση, ώστε η διαφορά μεταξύ των δύο αυτών τιμών να ελαχιστοποιηθεί. Για παράδειγμα, εάν το ελεγχόμενο μέγεθος είναι η μετατόπιση ενός άξονα κατεργασίας μίας εργαλειομηχανής, πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα μέτρησης (ο κωδικοποιητής θέσεως). Ανά πάσα στιγμή συγκρίνεται η πραγματική θέση του ολισθητήρα με την προγραμματισμένη θέση. Η διαφορά των τιμών οδηγείται στην κεντρική μονάδα ελέγχου και το σήμα καθοδήγησης αυξάνει ή μειώνει την ταχύτητα του αντίστοιχου σερβοκινητήρα, ώστε να διορθωθεί το λάθος.

Η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος κλειστού βρόγχου φαίνεται στην Εικόνα 5.3. Οι διαφορές από το αντίστοιχο σχήμα του συστήματος καθοδήγησης ανοικτού βρόγχου είναι η εισαγωγή του κωδικοποιητή θέσης και της μονάδας ανάδρασης (transducer). Τα συστήματα ανάδρασης είναι ηλεκτρονικές συσκευές, που συγκρίνουν σε ηλεκτρικές ή μαγνητικές κλίμακες. Εάν το σύστημα είναι ψηφιακό, η συσκευή συγκρίνει παλμούς, ενώ, εάν είναι αναλογικό, συγκρίνει τάσεις. Έχουν όλα μία βασική κατασκευαστική αρχή. Όταν ένα σύστημα επιτύχει την επιθυμητή θέση και τη διατηρεί, το σύστημα ανάδρασης παράγει παλμούς μηδενικού μεγέθους ή μηδενική τάση. Στην περίπτωση αυτή, η κεντρική μονάδα ελέγχου δεν έχει κάποιο ερέθισμα, ώστε να τροποποιήσει κάποιες από τις αρχικές εντολές της. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν στο σύστημα ανάδρασης παράγονται παλμοί ή τάση, το σύστημα ελέγχου ρυθμίζει τις αρχικές εντολές της.





Εικόνα 5.3. Σύστημα ελέγχου κλειστού βρόγχου για τον έλεγχο της μετατόπισης στους ολισθητήρες.

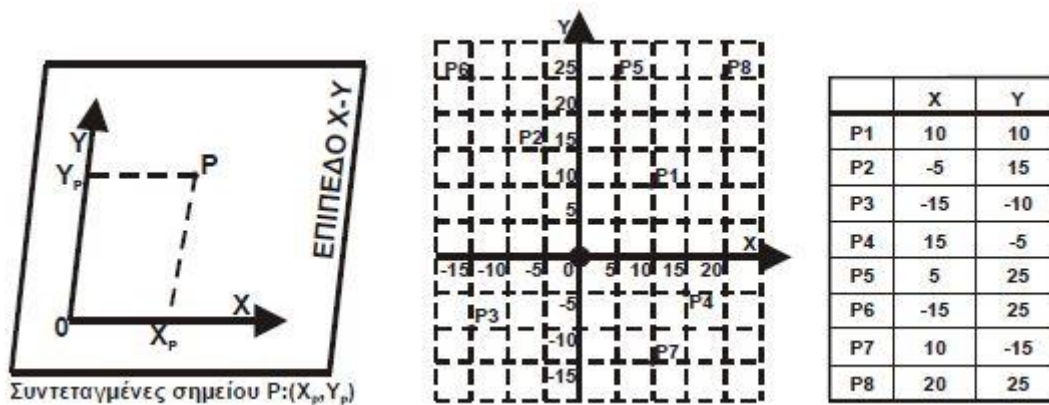
Σε συστήματα κλειστού βρόγχου με παλμούς απαιτούνται περίπου 10.000 ηλεκτρικοί παλμοί για να μετακινηθεί ο ολισθητήρας 25 mm. Ο κάθε παλμός ελέγχεται από το σύστημα ανάδρασης και αυτό σημαίνει ότι υπάρχει δυνατότητα ελέγχου της κίνησης του ολισθητήρα κατά 2.5  $\mu\text{m}$ . Έτσι, η ακρίβεια που επιτυγχάνουν τα συστήματα κλειστού βρόγχου, είναι δεκαπλάσια από αυτήν των συστημάτων ανοικτού βρόγχου. Πέρα από την ανάδραση για τον έλεγχο της θέσης κάποιου ολισθητήρα, υπάρχουν και άλλες παράμετροι, που πρέπει να ελέγχονται αυτόματα. Τυπική περίπτωση αποτελεί ο έλεγχος της ταχύτητας κοπής, που χρησιμοποιείται, για να βελτιστοποιήσει την ποιότητα σύνθετων επιφανειών.

### 5.3 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΤΕΤΑΓΜΕΝΩΝ

Για τον έλεγχο των κινήσεων των ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών, απαιτείται η είσοδος των συντεταγμένων των διαδοχικών θέσεων του κοπτικού εργαλείου ως προς κάποιο σύστημα συντεταγμένων. Ο εύκολος και γρήγορος προσδιορισμός των συντεταγμένων αυτών είναι απαραίτητος για τον προγραμματιστή τέτοιων εργαλειομηχανών. Οι συντεταγμένες στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές παρουσιάζονται είτε ως καρτεσιανές είτε ως πολικές συντεταγμένες.

#### Καρτεσιανές συντεταγμένες

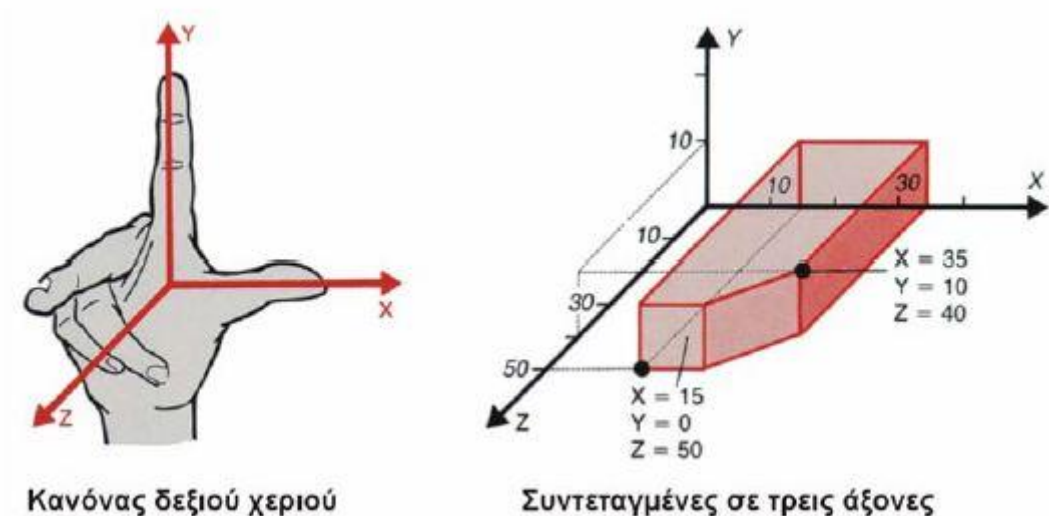
Τις καρτεσιανές συντεταγμένες ενός σημείου P στο επίπεδο, ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων X-Y, αποτελούν η τετμημένη  $X_p$  και η τεταγμένη  $Y_p$ , όπως φαίνονται στην Εικόνα 5.4. Οι καρτεσιανές συντεταγμένες οποιουδήποτε σημείου χαρακτηρίζουν μονοσήμαντα το σημείο αυτό. Αυτό σημαίνει πως δεν υπάρχουν στο επίπεδο ή στο χώρο σημεία με τις ίδιες ακριβώς συντεταγμένες.



Εικόνα 5.4. Προσδιορισμός καρτεσιανών συντεταγμένων.

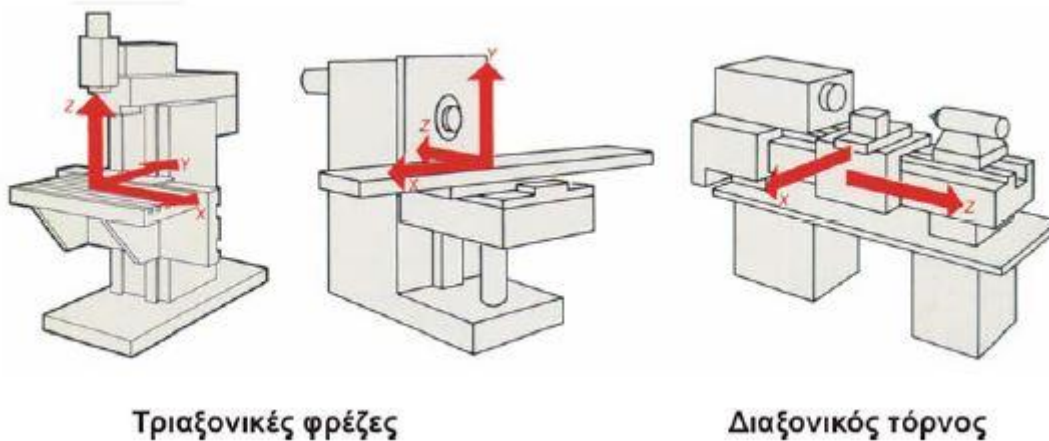
Στο παράδειγμα της Εικόνας 5.4 δίδονται οι συντεταγμένες εννέα σημείων ως προς το σύστημα X-Y. Όλες αυτές οι συντεταγμένες δίνονται σε σχέση με ένα σημείο αναφοράς, σταθερό στο χώρο. Αυτός ο τρόπος καθορισμού λέγεται απόλυτος, ενώ οι συντεταγμένες που προκύπτουν λέγονται απόλυτες συντεταγμένες. Οι απόλυτες συντεταγμένες, αλλά και οι σχετικές συντεταγμένες, θα αναλυθούν παρακάτω.

Αντίστοιχα, για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων, αλλά σε τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων X-Y-Z, οι συντεταγμένες ενός σημείου ορίζονται και από τη θέση του εξεταζόμενου σημείου ως προς τη διάσταση Z. Ένα τρισδιάστατο σύστημα συντεταγμένων ορίζεται ως δεξιόστροφο με τον "κανόνα του δεξιού χεριού". Στην Εικόνα 5.5 δίδεται ένας τρόπος προσδιορισμού συστημάτων συντεταγμένων για κατεργασία φρεζαρίσματος και για κατεργασία τορναρίσματος.



Εικόνα 5.5. Προσδιορισμός συστημάτων συντεταγμένων.

Το σύστημα συντεταγμένων αναφέρεται στο κομμάτι. Έτσι, ο προγραμματισμός είναι ανεξάρτητος από το αν κινείται το κομμάτι ή το εργαλείο. Κατά την κατάστρωση του προγράμματος, όμως, θεωρείται ότι κινείται μόνο το εργαλείο, χωρίς αυτό να επηρεάζει τις μετέπειτα κινήσεις (κομματιού ή εργαλείου). Στα παραδείγματα της Εικόνας 5.6 φαίνονται συστήματα συντεταγμένων διαφόρων μηχανών.



Εικόνα 5.6. Παραδείγματα συστημάτων συντεταγμένων.

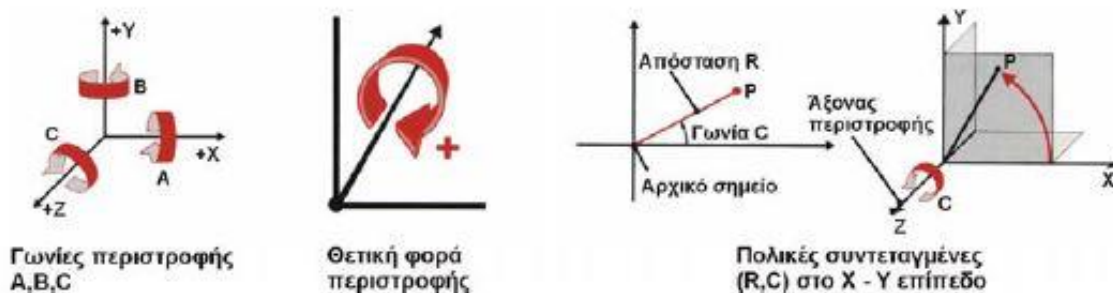
### **Πολικές συντεταγμένες**

Οι πολικές συντεταγμένες ενός σημείου  $P$  ως προς ένα σύστημα συντεταγμένων  $X$ - $Y$  ορίζονται με μία απόσταση και μία γωνία, όπου είναι: "η απόσταση του σημείου από το κέντρο του συστήματος συντεταγμένων και η γωνία που σχηματίζεται από τον άξονα  $X$  και την ευθεία, που ενώνει το σημείο με το κέντρο του συστήματος". Η προαναφερόμενη γωνία μετριέται θετικά από τον άξονα  $X$  με αντιωρολογιακή φορά. Η θετική κατεύθυνση γωνιών περιστροφής αξόνων  $A$ ,  $B$  και  $C$  προσδιορίζεται βάσει των πολικών συντεταγμένων και του κανόνα του δεξιού χεριού, ως εξής:

Αν το προγραμματισμένο σημείο  $P$  βρίσκεται στο επίπεδο  $X$ - $Y$  του συστήματος συντεταγμένων, η γωνία πολικής συντεταγμένης ισούται με τη γωνία περιστροφής του άξονα  $Z$  ( $C$ ).

Αν το προγραμματισμένο σημείο βρίσκεται στο επίπεδο  $Y$ - $Z$  του συστήματος συντεταγμένων, η γωνία πολικής συντεταγμένης ισούται με τη γωνία περιστροφής του άξονα  $X$  ( $A$ ).

Αν το προγραμματισμένο σημείο βρίσκεται στο επίπεδο  $X$ - $Z$  του συστήματος συντεταγμένων, η γωνία πολικής συντεταγμένης ισούται με τη γωνία περιστροφής του άξονα  $Y$  ( $B$ ).

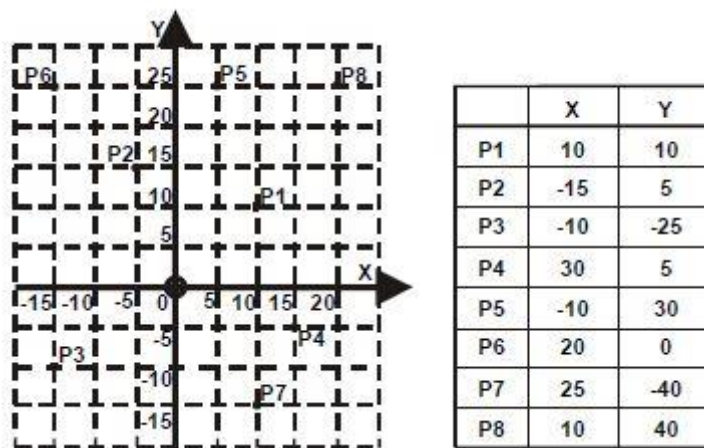


Εικόνα 5.7. Γωνίες περιστροφής αξόνων.

### Απόλυτες και σχετικές συντεταγμένες

Οι συντεταγμένες, ως προς συγκεκριμένο σύστημα συντεταγμένων, καλούνται απόλυτες συντεταγμένες, είτε είναι καρτεσιανές είτε πολικές. Όταν όμως η θέση ενός σημείου P1 εξαρτάται από τη σχετική του θέση ως προς ένα άλλο σημείο P2, τότε οι συντεταγμένες ονομάζονται σχετικές ή αυξητικές συντεταγμένες του σημείου P1 ως προς το σημείο P2. Για τον εύκολο προσδιορισμό των σχετικών συντεταγμένων ενός σημείου P1 ως προς σημείο P2, θεωρείται ένα νοητό σύστημα συντεταγμένων X'-Y' με κέντρο το σημείο P2. Οι σχετικές συντεταγμένες τότε του σημείου P1 ως προς το σημείο P2, είναι οι απόλυτες συντεταγμένες του σημείου P1 ως προς το σύστημα X'-Y'.

Στο παράδειγμα της Εικόνας 5.8 δίδονται οι σχετικές συντεταγμένες των σημείων P1-P8.



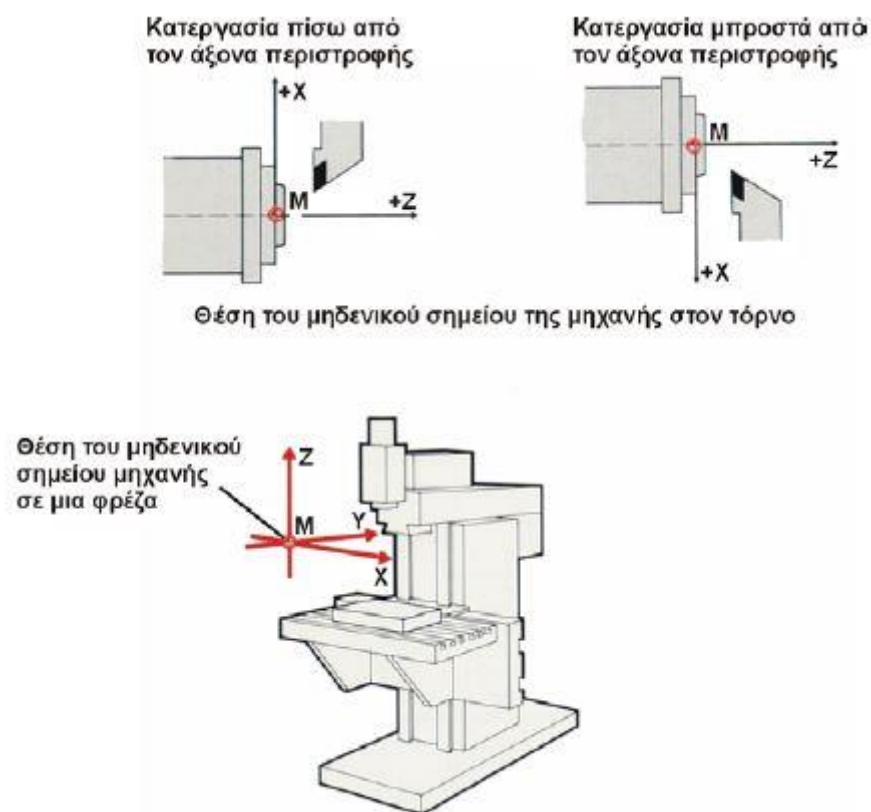
Εικόνα 5.8. Παράδειγμα προσδιορισμού σχετικών καρτεσιανών συντεταγμένων στο επίπεδο X-Y.

### 5.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΗΜΕΙΑ

Τα χαρακτηριστικά σημεία, βάσει των οποίων ορίζονται τα συστήματα συντεταγμένων, που χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό σε εργαλειομηχανή με ψηφιακή καθοδήγηση, είναι τα εξής:

### Μηδενικό σημείο της μηχανής M

Καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Είναι το μηδενικό σημείο του σταθερού συστήματος συντεταγμένων της μηχανής και το αρχικό σημείο όλων των άλλων συστημάτων συντεταγμένων και σημείων αναφοράς στη μηχανή. Στους τórνους το μηδενικό σημείο της μηχανής βρίσκεται στο κέντρο της αξονικής γραμμής της κύριας ατράκτου. Είναι το μηδενικό σημείο του συστήματος X-Z, του οποίου ο άξονας Z συμπίπτει με την αξονική γραμμή της κύριας ατράκτου. Η θετική κατεύθυνση των αξόνων εξαρτάται από τη θέση του εργαλειοφορείου σε σχέση με το κομμάτι. Στις φρεζομηχανές, το μηδενικό σημείο της μηχανής διαφέρει από μηχανή σε μηχανή.

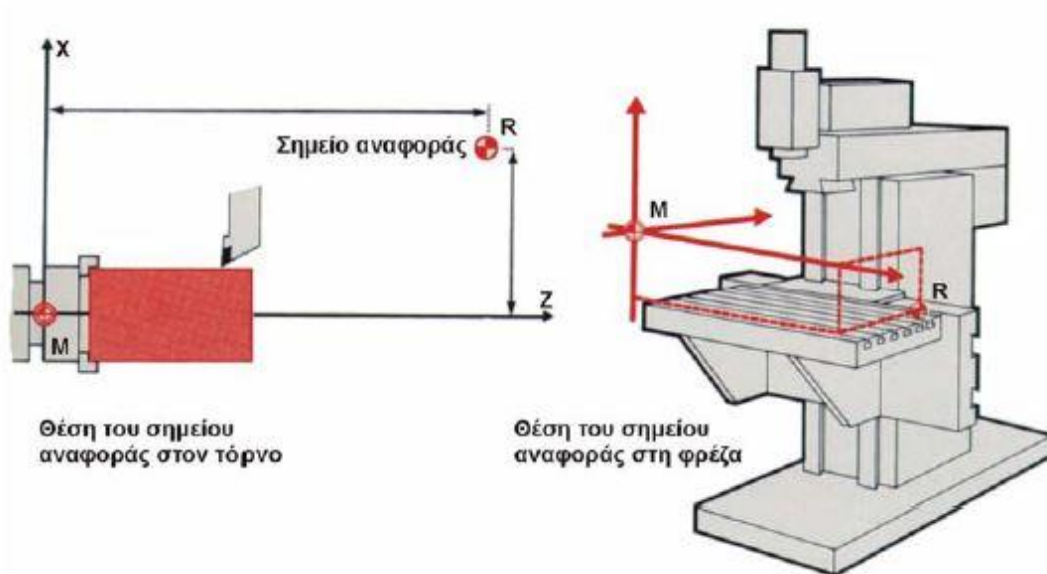


Εικόνα 5.9. Μηδενικό σημείο της μηχανής M.

### Σημείο αναφοράς της μηχανής R

Καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Έχει σταθερές συντεταγμένες σε σχέση με το μηδενικό σημείο της μηχανής. Οι συντεταγμένες αυτές ορίζουν τη μέγιστη διαδρομή των αξόνων της μηχανής. Μόλις μπει σε λειτουργία η μηχανή, το κοπτικό εργαλείο πρέπει να προσεγγίσει το σημείο αναφοράς, ώστε να ρυθμισθεί το σύστημα μέτρησης μετατοπίσεων των αξόνων.

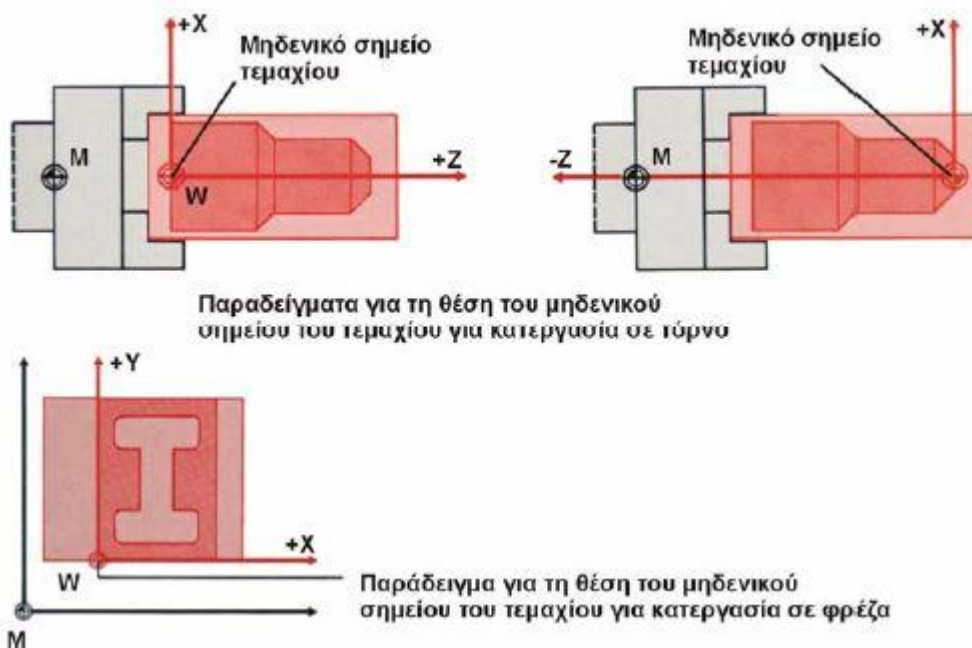




Εικόνα 5.10. Σημείο αναφοράς της μηχανής R.

### Μηδενικό σημείο του κομματιού W

Είναι το αρχικό σημείο του συστήματος συντεταγμένων του κομματιού, το οποίο καθορίζεται βάσει του μηδενικού σημείου της μηχανής. Επιλέγεται από τον προγραμματιστή, και εισάγεται στο σύστημα ελέγχου της μηχανής. Πριν την εκτέλεση του προγράμματος, πρέπει να γίνει μετατόπιση του συστήματος συντεταγμένων της μηχανής στο σύστημα συντεταγμένων του τεμαχίου (Set up). Έτσι, όλες οι προγραμματισμένες συντεταγμένες δίδονται βάσει του μηδενικού σημείου του τεμαχίου.



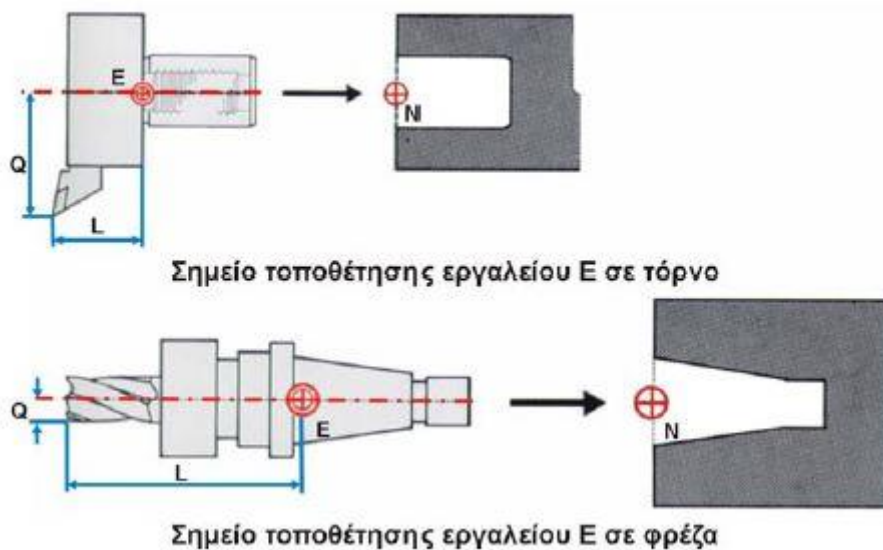
Εικόνα 5.11. Μηδενικό σημείο του τεμαχίου W.

Κατά την τόννευση, το μηδενικό σημείο του κομματιού  $W$  ορίζεται επί την αξονική γραμμή της κύριας ατράκτου στο δεξί ή στο αριστερό μέτωπο του κομματιού.

Κατά την εργασία στη φρέζα, το μηδενικό σημείο του κομματιού  $W$  ορίζεται στο κέντρο του κομματιού ή σε κάποια ακραία γωνία του.

### Σημείο αναφοράς του εργαλείου $E$

Είναι το σημείο τοποθέτησης του εργαλείου στη θήκη του εργαλειοφορείου. Επίσης, είναι το σημείο αναφοράς των διαστάσεων των κοπτικών εργαλείων.



Εικόνα 5.12. Σημείο τοποθέτησης του εργαλείου.

## 5.5 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ

Ο προγραμματισμός για την κατεργασία ενός τεμαχίου σε εργαλειομηχανή, με ψηφιακή καθοδήγηση, γίνεται με τον κώδικα μηχανής. Πρόκειται για μια σειρά τυποποιημένων εντολών, που προσδιορίζουν λειτουργίες της εργαλειομηχανής, όπως κινήσεις, αλλαγές εργαλείων, ρυθμίσεις στροφών και προώσεων κ.λπ. Οι εντολές αυτές εκτελούνται κατά σειρά προτεραιότητας με την σειρά εγγραφής τους. Οι συνηθισμένες εντολές-κώδικες είναι οι εντολές  $G$  (εντολές κίνησης) και  $M$  (εντολές λειτουργίας). Οι εντολές αυτές συντάσσονται με συγκεκριμένο τρόπο και εντάσσονται σε ένα συνολικό πρόγραμμα καθοδήγησης.

Το πρόγραμμα καθοδήγησης αποτελείται από ξεχωριστά block πληροφοριών, που το κάθε ένα αρχίζει με έναν αύξοντα αριθμό αναγνώρισής του. Ο αύξων αριθμός αυτός συνοδεύεται μπροστά από τον κωδικό  $N$ . Ένα παράδειγμα σειράς blocks μπορεί να είναι:  
 $N001 G00 X10.0 Z2.0$

## N002 G01 X10.0 Z22.0

Η αρχική αυτή αρίθμηση μπορεί να γίνεται ανά ένα ή και ανά 5 ή 10, και αυτό για το λόγο ότι τις περισσότερες φορές απαιτείται να τροποποιηθεί ένα πρόγραμμα ,εισάγοντας ένα νέο block ανάμεσα σε δύο άλλα. Αυτό θα ήταν αδύνατον, στην περίπτωση που τα blocks θα είχαν συνεχή, ανά ένα, αρίθμηση. Εκτός από τον αριθμό αναγνώρισης του block, αυτό επίσης συνήθως περιλαμβάνει :

- Κωδικό εντολής.
- Απαιτούμενα δεδομένα για κάθε κωδικό.

Ο κωδικός εντολής μπορεί να περιλαμβάνει εντολές G και M. Οι πίνακες 5.1 και 5.2 δίνουν την τυποποιημένη κωδικοποίηση εντολών κίνησης G και εντολών λειτουργίας M κατά DIN 66025 αντίστοιχα.

Οι εντολές που προαναφέρθηκαν χρησιμοποιούν τους χαρακτήρες M και G. Αντίστοιχα, ορισμοί αυτών των εντολών χρησιμοποιούν διάφορους χαρακτήρες που συνολικά οι λειτουργίες τους φαίνονται στον πίνακα 5.3.



**Κωδικοποίηση εντολών G (κίνησης) κατά DIN 66025**

<b>Κωδικός</b>	<b>Λειτουργία</b>
G00	Ευθύγραμμη κίνηση χωρίς κοπή με τη μέγιστη πρόωση της εργαλειομηχανής.
G01	Γραμμική παρεμβολή - ευθύγραμμη κίνηση για κοπή με δοσμένη πρόωση.
G02	Κυκλική παρεμβολή με ωρολογιακή φορά.
G03	Κυκλική παρεμβολή με αντιωρολογιακή φορά.
G04	Προγραμματισμένη χρονική καθυστέρηση.
G06	Παραβολική παρεμβολή με μεταβαλλόμενες ταχύτητες από τη μονάδα ελέγχου.
G08	Επιτάχυνση μέχρι δοσμένη ταχύτητα.
G09	Επιβράδυνση μέχρι δοσμένη ταχύτητα.
G13-G16	Επιλογή αξόνων.
G17-G19	Επιλογή επιπέδων κατεργασίας XY - ZX - YZ αντίστοιχα.
G33	Κοπή σπειρώματος με σταθερό βήμα.
G34	Κοπή σπειρώματος.
G35	Κοπή σπειρώματος.
G40	Άρση της αντιστάθμισης εργαλείου.
G41	Αριστερή αντιστάθμιση.
G42	Δεξιά αντιστάθμιση.
G43	Αντιστάθμισμα θετικό.
G44	Αντιστάθμισμα αρνητικό.
G50-G59	Μετατοπίσεις προσαρμογής.
G70	Συντεταγμένες σε ίντσες (in).
G71	Συντεταγμένες σε χιλιοστά του μέτρου (mm).
G72	Δεξιόστροφη κυκλική παρεμβολή τριών διαστάσεων.
G73	Αριστερόστροφη κυκλική παρεμβολή τριών διαστάσεων.
G75	Κυκλική παρεμβολή πολλών τερτατημορίων.
G80	Ακύρωση κύκλων εργασιών G81-G89.
G81-G89	Κύκλοι εργασιών.
G90	Απόλυτες συντεταγμένες.
G91	Σχετικές συντεταγμένες.
G92	Μετατόπιση συστήματος συντεταγμένων.
G93	Κωδικοποίηση πρόωσης.
G94	Ταχύτητα πρόωσης σε in ή mm/min.

G95	Ταχύτητα πρόωσης σε in ή mm/rev.
G96	Σταθερή ταχύτητα κοπής με έλεγχο των στροφών της ατράκτου.
G97	Στροφές σε 1/λεπτό.

Πίνακας 5.1. Κωδικοποίηση εντολών G (κίνησης).

<b>Κωδικοποίηση εντολών M (λειτουργίας) κατά DIN 66025</b>	
<b>Κωδικός</b>	<b>Λειτουργία</b>
M00	Προγραμματισμένη παύση.
M01	Προαιρετική παύση, αν έχει ενεργοποιηθεί.
M02	Τέλος προγράμματος.
M03	Δεξιόστροφη - ωρολογιακή περιστροφή ατράκτου.
M04	Αριστερόστροφη - αντιωρολογιακή περιστροφή ατράκτου.
M05	Διακοπή περιστροφής ατράκτου.
M06	Αλλαγή εργαλείου.
M07-M09	Έλεγχος ροής ψυκτικών υγρών.
M10	Σύσφιξη (τσοκ).
M11	Χαλάρωση (τσοκ).
M15-M16	Επιλογή γρήγορης κίνησης ή κατεύθυνσης πρόωσης.
M19	Παύση περιστροφής ατράκτου με προκαθορισμένη τελική θέση παύσης.
M26	Απόσυρση του εργαλείου στη θέση αλλαγής εργαλείου.
M30	Τέλος προγράμματος και επιστροφή στην αρχή.
M31	Αρση ασφάλισης.
M47	Επιστροφή στην αρχή του προγράμματος.
M49	Παράκαμψη χειροκίνητων ρυθμίσεων και επιστροφή στις προγραμματισμένες.
M59	Σταθερός αριθμός στροφών.
M90-M99	Εντολές προγραμματιζόμενες για το χρήστη.

Πίνακας 5.2. Κωδικοποίηση εντολών M (λειτουργίας).

Κωδικοποίηση χαρακτήρων κατά DIN 66025	
Χαρακτήρας	Λειτουργία
N	Χαρακτηρίζει τον αύξοντα αριθμό του block
G	Εντολή κίνησης.
X	Μέγεθος κίνησης στον άξονα X.
Y	Μέγεθος κίνησης στον άξονα Y.
Z	Μέγεθος κίνησης στον άξονα Z.
R	Επίπεδο για σταθερούς κύκλους.
I	Συντεταγμένη κέντρου τόξου, παράλληλη με τον άξονα X.
J	Συντεταγμένη κέντρου τόξου, παράλληλη με τον άξονα Y.
K	Συντεταγμένη κέντρου τόξου, παράλληλη με τον άξονα Z.
F	Ταχύτητα πρόωσης.
S	Ταχύτητα ατράκτου.
T	Αριθμός εργαλείου.
H	Αντιστάθμιση μήκους εργαλείου.
D	Αντιστάθμιση ακτίνας.
E	Απόσταση βάσης στήριξης.
L	Χρόνος καθυστέρησης σε κύκλους εργασιών.
M	Λειτουργία.
Q	Υποπρόγραμμα.

Πίνακας 3.3. Χαρακτήρες που χρησιμοποιούνται σε εντολές NC προγράμματος.



## 6. ΜΕΛΕΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΩΝ

Για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό μιας εργαλειομηχανής που θα πραγματοποιεί τις απαιτούμενες κατεργασίες με ασφάλεια, ακρίβεια και υψηλή παραγωγικότητα, είναι κρίσιμης σημασίας να οριστούν εξ αρχής οι προδιαγραφές με τις οποίες θα κατασκευαστεί. Για το λόγο αυτό πριν ξεκινήσουμε το σχεδιασμό θα πρέπει να εξεταστούν όλοι οι παράγοντες απόκτησης και λειτουργίας της μηχανής.

### 1. Σκοπός κατασκευής της εργαλειομηχανής.

Η εργαλειομηχανή που πρόκειται να κατασκευαστεί θα έχει σαν κύρια λειτουργία την κατασκευή τυποποιημένων δοκιμών από αλουμίνιο ή μαλακό χάλυβα για τα πειράματα εφελκυσμού που διεξάγονται στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών. Τα συγκεκριμένα δοκίμια έχουν πρισματική μορφή, συνεπώς για την κατεργασία τους απαιτείται εργαλειομηχανή τύπου φρέζας με κίνηση σε τρεις άξονες κατεργασίας.

### 2. Περιορισμοί σε μέγεθος μηχανής και χώρο εργασίας.

Η κατασκευή της μηχανής θα γίνει πάνω σε τραπέζι στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών, επομένως ο πρώτος περιορισμός είναι οι συνολικές διαστάσεις της μηχανής να είναι κατάλληλες ώστε να μπορεί να στηριχτεί με ασφάλεια στο τραπέζι αυτό. Επίσης, στο τραπέζι θα στηριχθούν τα ηλεκτρικά στοιχεία της μηχανής όπως και ο υπολογιστής που θα την ελέγχει. Για τους λόγους αυτούς αποφασίσαμε το πλάτος της μηχανής (άξονας Υ) να είναι η μεγάλη διάσταση της και τα πόδια της βάσης της να έχουν απόσταση 720 [mm] στις εξωτερικές τους πλευρές. Ο κινητήρας πρόωσης του άξονα θα βρίσκεται στο πίσω μέρος για λόγους ασφαλείας.

Ο δεύτερος περιορισμός είναι ο χώρος εργασίας, δηλαδή το μέγεθος της τράπεζας και τα όρια στα οποία θα μπορεί να κινηθεί το κοπτικό εργαλείο. Ο βασικότερος παράγοντας για τον προσδιορισμό του χώρου εργασίας είναι το μέγεθος του αντικειμένου που επεξεργάζεται η μηχανή. Σύμφωνα με την τυποποίηση ASTM E8M-01, οι διαστάσεις των δοκιμών θα είναι 200x20 [mm]. Βάσει των παραπάνω δεδομένων αποφασίσαμε η τράπεζα της μηχανής να έχει διαστάσεις 450x720 [mm].

### **3. Δυνατότητες και υλικά κατασκευής της εργαλειομηχανής.**

Όπως προαναφέραμε, σκοπός της εργαλειομηχανής είναι η κατεργασία πλακών από αλουμίνιο και μαλακό χάλυβα. Για να επιτύχουμε αυτές της κατεργασίες σε συνδυασμό με υψηλή ακρίβεια και ποιότητα επιφάνειας του τελικού προϊόντος, θα πρέπει τα κατασκευαστικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται η μηχανή να της προσφέρουν στιβαρότητα και απόσβεση των κραδασμών που προέρχονται από την κοπή. Οι δύο επιλογές σε μέταλλα που έχουμε για την κατασκευή του σκελετού της μηχανής είναι ο χάλυβας και το αλουμίνιο. Αποφασίσαμε πως το αλουμίνιο αποτελεί την καλύτερη επιλογή, λόγω του ότι μειώνει αισθητά το βάρος των κινούμενων στοιχείων της εργαλειομηχανής, άρα και την απαιτούμενη ισχύ των κινητήρων προώσεως.

### **4. Κινηματική συμπεριφορά και ακρίβεια.**

Ο κυριότερος παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια είναι οι παραμορφώσεις των δομικών στοιχείων της μηχανής υπό τη διέγερση των δυνάμεων κοπής. Οι παραμορφώσεις αυτές μπορούν να υπολογιστούν και να ελαχιστοποιηθούν μέσω της στατικής ανάλυσης της μηχανής και του επανασχεδιασμού της, όπου κρίνεται απαραίτητος. Για την κατασκευή των δοκιμών εφελκυσμού η τυποποίηση ορίζει ανοχές  $\pm 0,1$  [mm]. Με βάση το κριτήριο αυτό ορίζουμε επιθυμητή ακρίβεια της μηχανής  $\leq 0,05$  [mm].

Η κινηματική συμπεριφορά είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τον τρόπο που θα σχεδιαστεί η εργαλειομηχανή. Απαρτίζεται από την ταχύτητα κίνησης και την επιτάχυνση στους άξονες κατεργασίας. Ως μέγιστη πρόωση σε γρήγορη κίνηση ορίζουμε τα 10 [m/min] και μέγιστη επιτάχυνση 0,3 [m/s<sup>2</sup>], δηλαδή την επιτάχυνση που χρειάζεται για να επιτευχθεί η μέγιστη πρόωση σε χρόνο 0,5 [sec].

### **5. Τύπος κινητήρων προώσεως.**

Για την επιλογή κινητήρων προώσεως έχουμε δύο επιλογές, βηματικούς κινητήρες ή σερβοκινητήρες. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε είδους κινητήρα φαίνονται παρακάτω στον Πίνακα 6.1. Με βάση τη σύγκριση αυτή και δεδομένου ότι οι ταχύτητες προώσεως των αξόνων κατεργασίας θα είναι σχετικά μικρές, αποφασίζουμε να χρησιμοποιήσουμε βηματικούς κινητήρες.

	<b>Βηματικοί κινητήρες</b>	<b>Σερβοκινητήρες</b>
<b>Πλεονεκτήματα</b>	Υψηλή ροπή σε μικρές ταχύτητες. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς συστήματα ανάδρασης. Υψηλή ακρίβεια. Μειωμένο κόστος.	Υψηλή ροπή σε μεγάλες ταχύτητες. Μικρή παραγωγή θερμότητας.
<b>Μειονεκτήματα</b>	Χαμηλή ροπή σε μεγάλες ταχύτητες. Θερμαίνονται εύκολα.	Χαμηλή ροπή σε μικρές ταχύτητες. Απαιτήται κατάλληλο σύστημα ανάδρασης για να λειτουργήσουν με ακρίβεια. Υψηλό κόστος.

Πίνακας 4.1. Βηματικοί κινητήρες και σερβοκινητήρες.

## 6. Κόστος.

Το συνολικό κόστος της κατασκευής της εργαλειομηχανής υπολογίζεται να φτάσει έως 2500 € συμπεριλαμβάνοντας όλα τα μηχανικά, ηλεκτρικά και υδραυλικά στοιχεία. Το κόστος αυτό αποτελεί σημαντική εξοικονόμηση συγκριτικά με τις μηχανές αντίστοιχων δυνατοτήτων που είναι διαθέσιμες στην αγορά.

<b>ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ</b>	
Μέγιστες διαστάσεις κοπής	255 x 500 x 36 [mm]
Διαστάσεις τράπεζας	450 x 720 [mm]
Μέγιστη επιτάχυνση	0,3 [m/s <sup>2</sup> ]
Μέγιστη πρόωση	10 [m/min]
Ακρίβεια	≤ 0,05 [mm]
Αριθμός αξόνων κατεργασίας	3
Υλικό κατασκευής σκελετού	Αλουμίνιο
Υλικό κατεργασίας	Αλουμίνιο – Χάλυβας (μαλακός)
Τύπος κινητήρων προώσεως	Βηματικοί
Κόστος	≤ 2500 €





# **7. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ SOLIDWORKS**

## **7.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Η μηχανή που σχεδιάστηκε σε αυτή την εργασία είναι μια αριθμητικά ελεγχόμενη εργαλειομηχανή τριών αξόνων κατεργασίας με σκοπό να χρησιμοποιηθεί για κατασκευή τυποποιημένων δοκιμίων στο εργαστήριο Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας. Ο σχεδιασμός της μηχανής είναι το πρώτο βήμα που έγινε σε αυτή την εργασία και μας προβλημάτισε ιδιαίτερα, μιας και η επιλογή τελικού σχεδίου θα έπρεπε να γίνει με σιγουριά ώστε να μπορέσουμε στη συνέχεια να προχωρήσουμε στην ανάλυση αυτής της συσκευής και τέλος στην κατασκευή της.

## **7.2 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

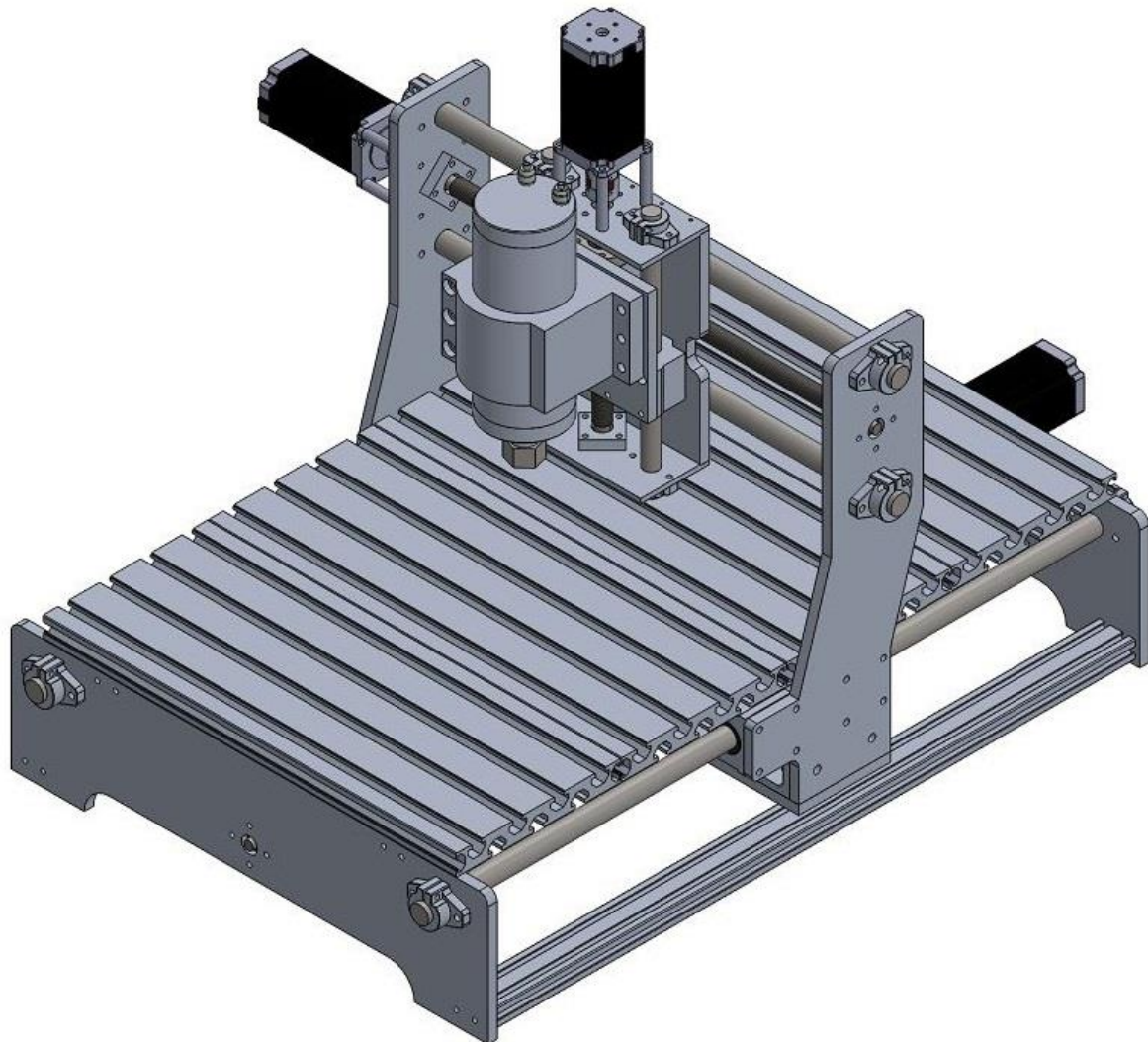
Στόχος της σχεδίασης της μηχανής αυτής είναι η συγκέντρωση και ο συνδυασμός πληροφοριών ώστε να σχεδιαστεί μια μηχανή που θα μπορεί να καλύπτει το χειριστή στις διάφορες κατεργασίες που θέλει να πραγματοποιήσει με ασφάλεια και ποιότητα. Το πλαίσιο της μηχανής θα πρέπει να έχει τέτοια μορφή που θα μπορεί ο χειριστής της να επιβλέπει από όλα τα σημεία την εργασία που εκτελεί, χωρίς να έχει άμεση επαφή με την μηχανή. Επιπλέον, θα πρέπει η χρήστης να έχει εύκολη πρόσβαση στην τράπεζα της μηχανής ώστε να γίνεται η πρόσδεση και η αφαίρεση του τεμαχίου με ευκολία και ασφάλεια.

Τέλος, θα πρέπει να γίνει κατάλληλος σχεδιασμός και επιλογή υλικών που θα δώσουν στην εργαλειομηχανή τη στιβαρότητα που απαιτείται για τέτοιου είδους κατεργασίες και θα την καταστήσουν οικονομικότερη, μειώνοντας αισθητά το κόστος απόκτησης της. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας του κόστους είναι το βάρος των στοιχείων που αποτελούν τους άξονες της εργαλειομηχανής, μιας και αυξημένο βάρος σημαίνει ότι απαιτείται μεγαλύτερης ισχύος κινητήρας για να κινήσει τον άξονα, αυξάνοντας το κόστος αγοράς των βηματικών κινητήρων που αποτελούν σημαντικό μέρος του συνολικού κόστους.

## **7.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ**

Τα σχέδια που υλοποιήθηκαν αφορούν τα μηχανικά τμήματα της εργαλειομηχανής, μιας και αυτά δέχονται όλες τις καταπονήσεις και αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση τους. Ο περιφερειακός υδραυλικός και ηλεκτρικός εξοπλισμός θα περιγραφούν ξεχωριστά.

Τα σχέδια έχουν δισδιάστατη και τρισδιάστατη μορφή και υλοποιήθηκαν με τη χρήση του σχεδιαστικού προγράμματος Solidworks. Στην Εικόνα 7.1 απεικονίζεται η συναρμογή όλων των τμημάτων που αποτελούν την εργαλειομηχανή σε ισομετρική όψη.

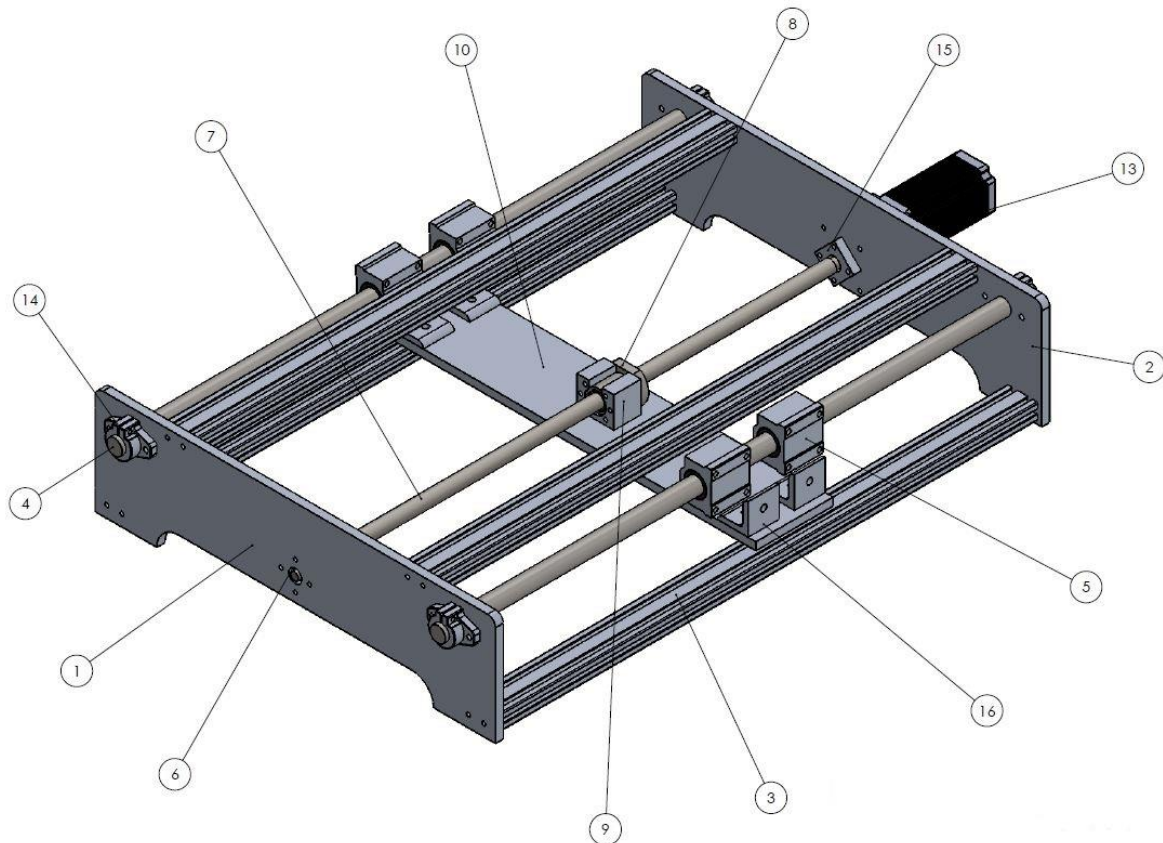


*Εικόνα 7.1. Ισομετρική όψη συναρμογής.*

Παρακάτω θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τα τεμάχια που απαρτίζουν την εργαλειομηχανή. Λόγω της περιπλοκότητας της κατασκευής και για την καλύτερη κατανόηση της, θα διαιρέσουμε τη μηχανή σε τρία επιμέρους τμήματα το καθένα από τα οποία αποτελείται από τα στοιχεία κίνησης και τα σταθερά τμήματα για έναν από τους τρεις άξονες κατεργασίας. Η παρουσίαση των τεμαχίων γίνεται υπό μορφή 3D για την καλύτερη αντίληψη του στερεού. Στο Παράρτημα Α της εργασίας θα παρουσιάσουμε τα μηχανολογικά σχέδια τις κατασκευής με όλες τις απαραίτητες διαστάσεις.

### 7.3.1 ΒΑΣΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το πρώτο τμήμα της εργαλειομηχανής που θα αναλύσουμε αποτελείται από τη βάση της και τα μηχανικά στοιχεία με τα οποία πραγματοποιούνται οι κινήσεις του εργαλείου στον εγκάρσιο άξονα κατεργασίας, ή αλλιώς στον «Υ άξονα». Πάνω στη βάση επίσης θα προσδεθεί αργότερα η τράπεζα της εργαλειομηχανής.



Εικόνα 7.2. Στοιχεία κατασκευής βάσης και εγκάρσιου άξονα.

Νούμερο Τεμαχίου	Είδος Τεμαχίου	Αριθμός Τεμαχίων
1	Μπροστινή πλάκα βάσης μηχανής	1
2	Πίσω πλάκα βάσης μηχανής	1
3	Βιομηχανικό προφίλ αλουμινίου 20x40 [mm]	4
4	Στρογγυλή ράγα SFC20 άξονα Υ	2
5	Γραμμικό ρουλεμάν SC20UU	4
6	Ρουλεμάν κλειστού τύπου 10x26x8 [mm]	2
7	Κοχλίας τύπου Ball Screw RM1605 άξονα Υ	1
8	Περισκόχλιο για Ball Screw RM1605	1
9	Φωλιά περισκόχλιου Ball Screw	1
10	Πλάκα προσδέσεως περισκόχλιου Ball screw	1
13	Βηματικός κινητήρας τύπου Nema 23	1
14	Σφικτήρας συγκράτησης SHF20	4
15	Φωλιά για ρουλεμάν αξόνων X & Y	2
16	Γωνία σύνδεσης	4

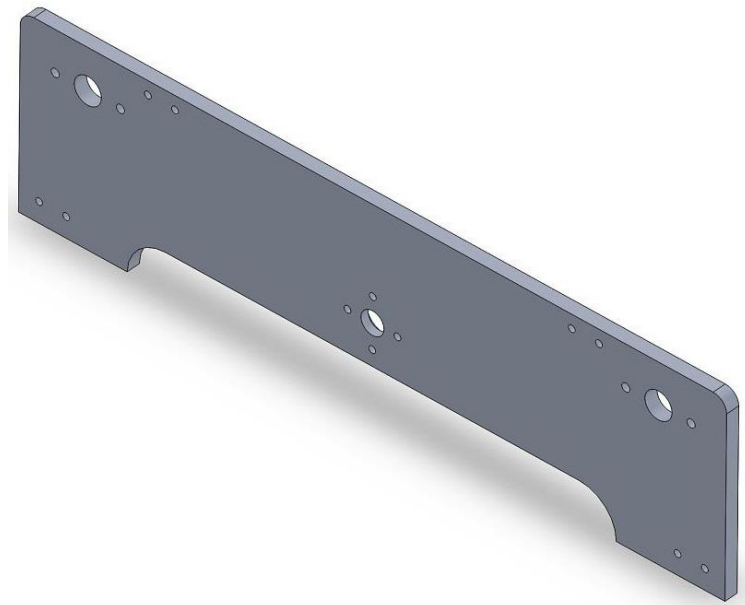
Πίνακας 5.1. Κατάλογος τεμαχίων βάσης και εγκάρσιου άξονα.

Σημείωση: Η αρίθμηση των τεμαχίων έγινε με βάση τα κατασκευαστικά σχέδια που υπάρχουν στο Παράρτημα 1 της εργασίας.

Στις Εικόνες 7.3 έως 7.16 που ακολουθούν διακρίνουμε τα μέρη που απαρτίζουν τη βάση και τον εγκάρσιο άξονα κατεργασίας της μηχανής κατά σειρά αρίθμησης σύμφωνα με τον κατάλογο τεμαχίων (Πίνακας 7.1).

### **Μπροστινή πλάκα βάσης μηχανής**

Περιγραφή: Η μπροστινή πλάκα βάσης της μηχανής είναι ένα από τα δύο στοιχεία που στηρίζουν όλη την κατασκευή. Πάνω της δένονται οι ράγες και ο κοχλίας που μεταδίδει την κίνηση του βηματικού κινητήρα στον εγκάρσιο άξονα κατεργασίας, όπως και τα βιομηχανικά προφίλ αλουμινίου που στηρίζουν την τράπεζα της μηχανής. Το τεμάχιο αυτό θα κατασκευαστεί από πλάκα σκληρού αλουμινίου πάχους 10 [mm] που θα κατεργαστεί στη CNC φρέζα του εργαστηρίου CNC του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας προκειμένου να πάρει την επιθυμητή μορφή.



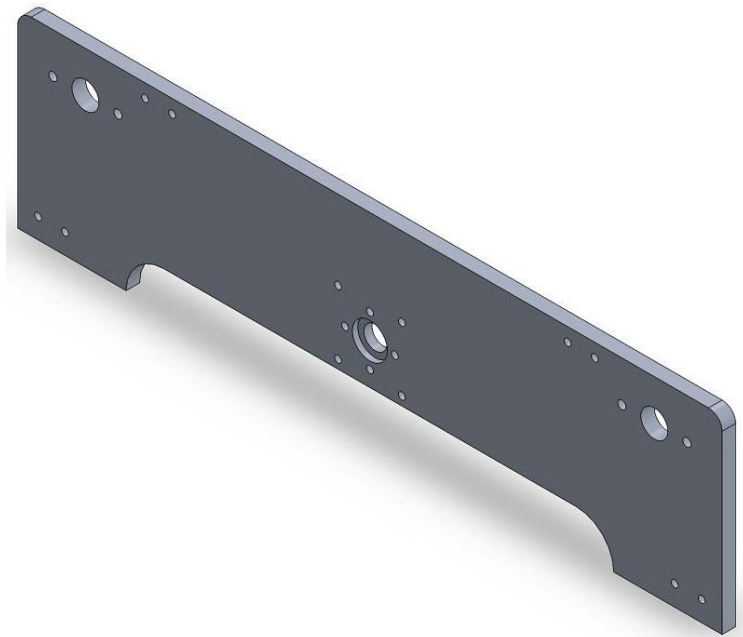
*Εικόνα 7.3. Μπροστινή πλάκα βάσης μηχανής.*

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

### **Πίσω πλάκα βάσης μηχανής**

Περιγραφή: Η πίσω πλάκα βάσης της μηχανής είναι σχεδόν πανομοιότυπη με την μπροστινή. Βρίσκεται στο πίσω μέρος της μηχανής και πάνω της δένονται οι ράγες, ο κοχλίας και τα βιομηχανικά προφίλ αλουμινίου. Η διαφορά της με την μπροστινή πλάκα είναι ότι πάνω της στηρίζεται με αποστάτες ο βηματικός κινητήρας που κινεί τον εγκάρσιο άξονα κατεργασίας.

Το τεμάχιο αυτό θα κατασκευαστεί από την ίδια πλάκα αλουμινίου με την μπροστινή πλάκα βάσης.

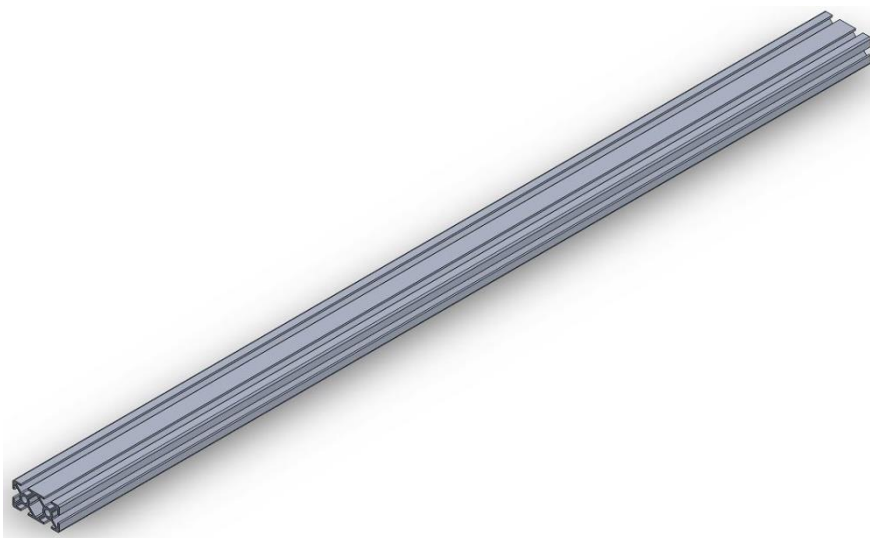


Εικόνα 7.4. Πίσω πλάκα βάσης μηχανής.

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

### **Βιομηχανικό προφίλ αλουμινίου 20x40 [mm]**

Περιγραφή: Τα προφίλ αλουμινίου δένονται με κοχλίες στην μπροστινή και την πίσω πλάκα βάσης της μηχανής. Ο ρόλος τους στην κατασκευή είναι να ενισχύουν τη στιβαρότητα και τη δυσκαμψία της συναρμογής. Τα δύο προφίλ που βρίσκονται στο πάνω μέρος υποστηρίζουν την τράπεζα της μηχανής η οποία δένεται πάνω τους με κοχλίες και ειδικά περικόχλια.



Εικόνα 7.5. Βιομηχανικό προφίλ αλουμινίου 20x40.

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6063

## Στρογγυλή ράγα SFC20

Περιγραφή: Οι ράγες λειτουργούν σαν μέσο στήριξης της πλειοψηφίας των κινούμενων στοιχείων της εργαλειομηχανής και σε συνδυασμό με τα γραμμικά ρουλεμάν προσφέρουν ευθύγραμμη κίνηση με ελάχιστες δυνάμεις τριβών. Σκοπός τους είναι να έχουν μεγάλη αντοχή σε καμπτικά φορτία ώστε να μην υπάρχουν παραμορφώσεις κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Οι ράγες που επιλέχθηκαν με αυτό το κριτήριο είναι οι SFC20.

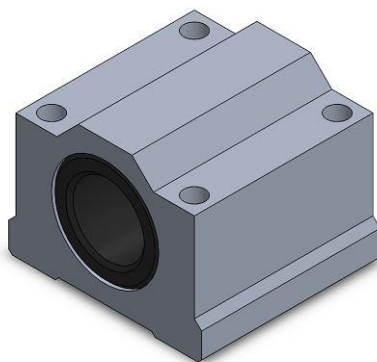


Εικόνα 7.6. Στρογγυλή ράγα SFC20.

Υλικό κατασκευής: Ανοξείδωτος χάλυβας AISI 304 με επίστρωση χρωμίου

## Γραμμικό ρουλεμάν SC20UU

Περιγραφή: Τα γραμμικά ρουλεμάν προσαρμόζονται στις στρογγυλές ράγες και συνδέονται με κοχλίες με τα στοιχεία του διαμήκη άξονα κατεργασίας. Έτσι λειτουργούν σαν τριβείς κύλισης και ελαχιστοποιούν τις δυνάμεις των τριβών κατά την ευθύγραμμη κίνηση. Τα ρουλεμάν που ταιριάζουν στις στρογγυλές ράγες που επιλέχθηκαν είναι τα SC20UU.

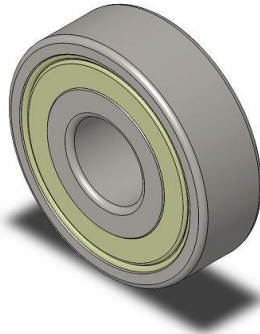


Εικόνα 7.7. Γραμμικό ρουλεμάν SC20UU



## Ρουλεμάν κλειστού τύπου 10x26x8 [mm]

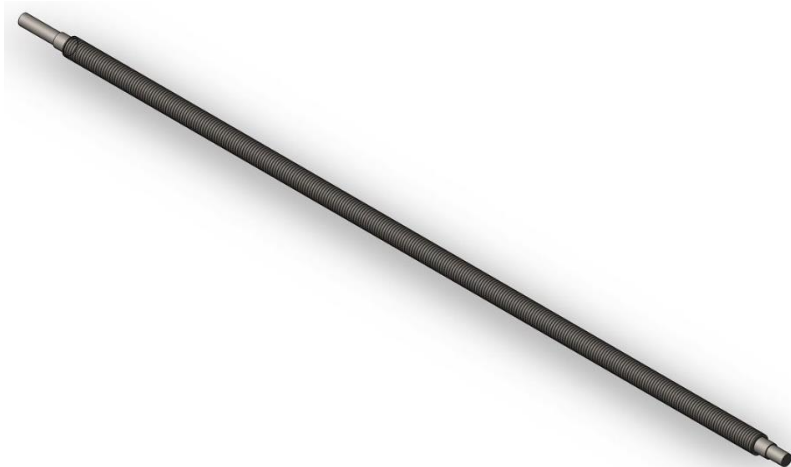
Περιγραφή: Για να σταθεροποιηθεί το Ball Screw στην μπροστινή και την πίσω πλάκα της βάσης με τέτοιο τρόπο που θα του επιτρέψει μόνο την περιστροφική κίνηση, θα χρησιμοποιηθούν ρουλεμάν κλειστού τύπου. Τα ρουλεμάν αυτά θα εμφωλευτούν στις πλάκες με σφικτή συναρμογή, για την οποία θα χρησιμοποιηθεί υδραυλική πρέσα, και από την εσωτερική τους οπή θα περάσουν τα άκρα του Ball Screw πάλι με σφικτή συναρμογή.



Εικόνα 7.8. Ρουλεμάν κλειστού τύπου.

## Κοχλίας τύπου Ball Screw RM1605

Περιγραφή: Ο κοχλίας τύπου Ball Screw είναι απαραίτητος για το σύστημα επανακυκλοφορούντων σφαιρών. Συνδέεται με τον βηματικό κινητήρα και περιστρέφεται από αυτόν. Το σπείρωμα αυτού του κοχλία είναι σφαιρικό αντί για τριγωνικό, που χρησιμοποιείται στους κοινούς κοχλίες. Ανάμεσα στον κοχλία και το περικόχλιο υπάρχουν σφαίρες κατασκευασμένες από βαμμένο χάλυβα. Οι σφαίρες συμπιέζουν η μια την άλλη, ώστε να μην υπάρχουν διάκενα, που επηρεάζουν την ακρίβεια της μετατόπισης. Καθώς περιστρέφεται ο κοχλίας, οι σφαίρες κινούνται έξω από το περικόχλιο και μπαίνουν σε ένα ειδικό κανάλι που τις μεταφέρει στο άλλο άκρο του περικόχλιου. Έτσι, υπάρχει μία ανακύκλωση των σφαιρών που αναγκάζει το περικόχλιο, άρα και την πλάκα που συνδέεται με αυτό να μετακινηθούν. Ο κοχλίας θα κατεργαστεί σε τόρνο στα δύο άκρα του ώστε να γίνει σφικτή συναρμογή με τα ρουλεμάν.

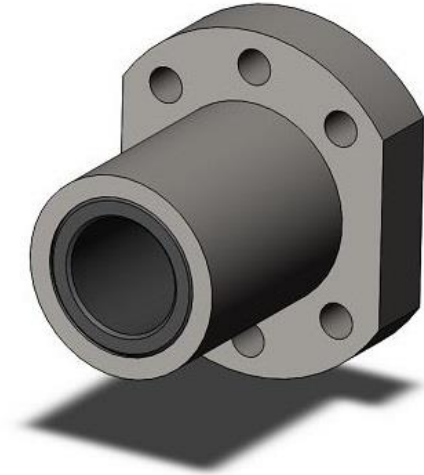


Εικόνα 7.9. Κοχλίας τύπου Ball Screw.

Υλικό κατασκευής: Ανοξείδωτος χάλυβας που έχει υποστεί επιφανειακή θερμική κατεργασία

## Περικόχλιο για Ball Screw RM1605

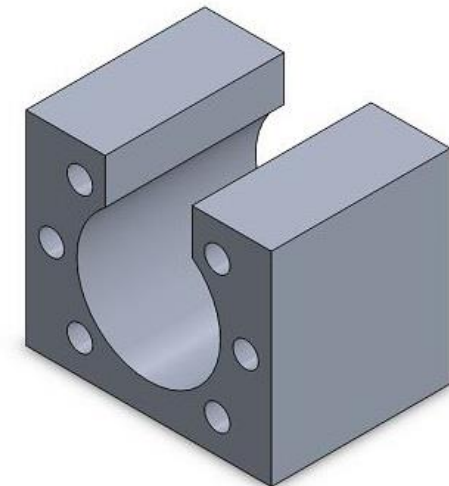
Περιγραφή: Το περικόχλιο του κοχλία κίνησης τύπου Ball Screw, όπως περιγράψαμε παραπάνω είναι το δεύτερο απαραίτητο στοιχείο για το σύστημα επανακυκλοφορούντων σφαιρών. Το συγκεκριμένο περικόχλιο ταιριάζει στον κοχλία RM1605 που επιλέξαμε.



Εικόνα 7.10. Περικόχλιο για Ball Screw.

## Φωλιά περικοχλίου Ball Screw

Περιγραφή: Η φωλιά του περικοχλίου δένεται πάνω στο περικόχλιο και ενώνεται με την πλάκα προσδέσεως περικοχλίου Ball Screw, μεταδίδοντας έτσι την κίνηση από το περικόχλιο.



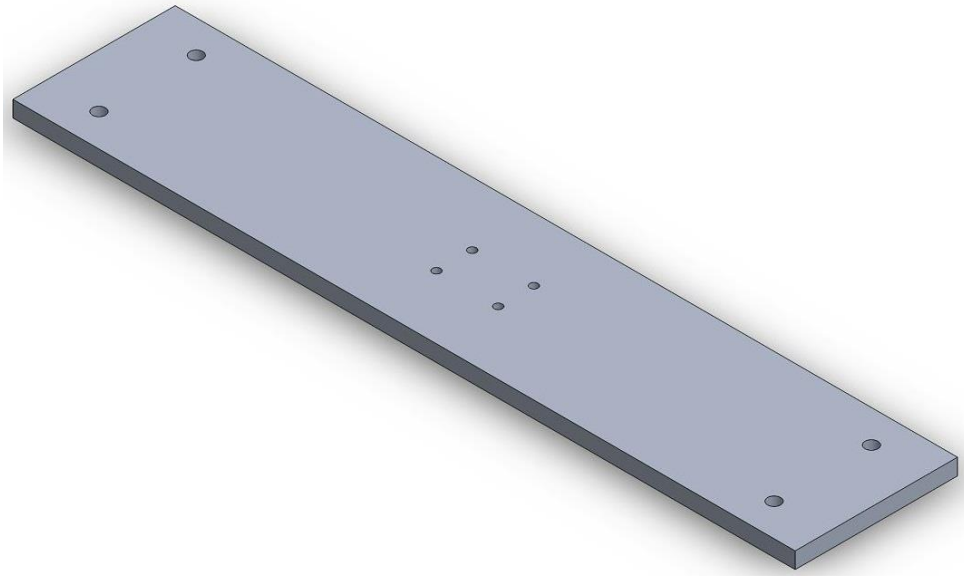
Εικόνα 7.11. Φωλιά περικοχλίου Ball Screw.

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061



## Πλάκα προσδέσεως περικοχλίου Ball Screw

Περιγραφή: Η πλάκα προσδέσεως περικοχλίου Ball Screw συνδέεται με τη φωλιά του περικοχλίου και μεταφέρει την ευθύγραμμη κίνηση του στα υπόλοιπα κινούμενα τμήματα της μηχανής. Το τεμάχιο αυτό θα κατασκευαστεί όπως και οι άλλες πλάκες από αλουμίνιο πάχους 10 [mm] που θα κατεργαστεί στη CNC φρέζα του εργαστηρίου CNC του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας προκειμένου να πάρει την επιθυμητή μορφή.

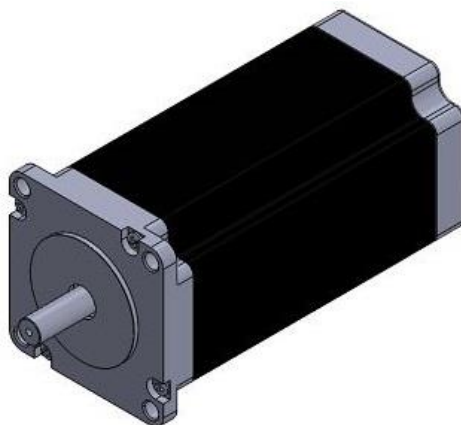


Εικόνα 7.12. Πλάκα προσδέσεως περικοχλίου Ball Screw.

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

## Βηματικός κινητήρας τύπου Nema 23

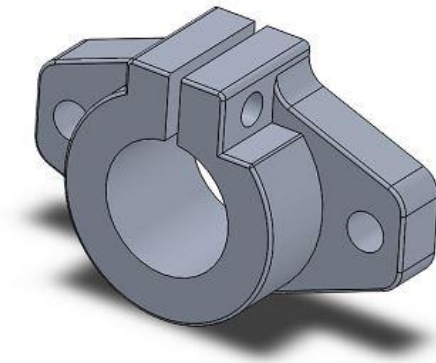
Περιγραφή: Οι βηματικοί κινητήρες συνδέονται με τους κοχλίες Ball Screw και τους περιστρέφουν, με αποτέλεσμα την κίνηση των αξόνων κατεργασίας. Συνδέονται με τους κοχλίες χρησιμοποιώντας κατάλληλους συνδέσμους αξόνων και αποστάτες. Για την εργαλειομηχανή θα χρησιμοποιηθούν κινητήρες τύπου Nema 23, το μέγεθος των οποίων θα υπολογιστεί σε επόμενο κεφάλαιο.



Εικόνα 7.13. Βηματικός κινητήρας τύπου Nema 23.

## Σφικτήρας συγκράτησης στρογγυλής ράγας SHF20

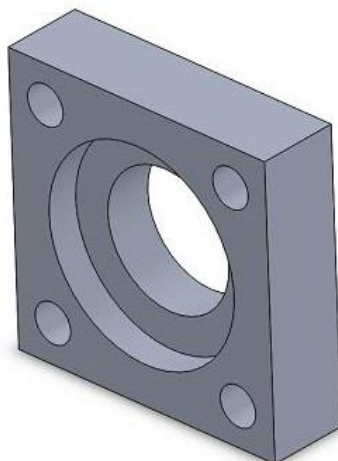
Περιγραφή: Οι σφικτήρες συγκράτησης συνδέονται στην μπροστινή και την πίσω πλάκα βάσης και σταθεροποιούν τις ράγες. Ο τύπος σφικτήρα που ταιριάζει στις ράγες που επιλέξαμε είναι SHF20.



Εικόνα 7.14. Σφικτήρας συγκράτησης στρογγυλής ράγας SHF20.

## Φωλιά για ρουλεμάν αξόνων X & Y

Περιγραφή: Για την περαιτέρω σταθεροποίηση του ρουλεμάν και του Ball Screw πάνω στην πλάκα, θα τοποθετηθούν ιδικά σχεδιασμένες φωλιές στην εσωτερική πλευρά της πλάκας που θα προσαρμοστούν με κοχλίες πάνω της και θα πιέζουν το ρουλεμάν στην εξωτερική του επιφάνεια. Οι φωλιές αυτές θα κατασκευαστούν από την πλάκα που θα κατασκευαστούν και η μπροστινή και πίσω βάσεις της εργαλειομηχανής.

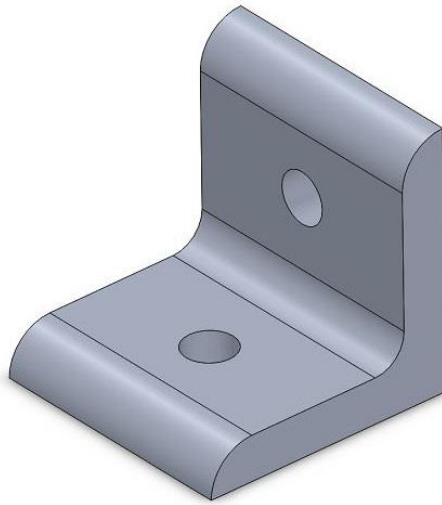


Εικόνα 7.15. Φωλιά ρουλεμάν αξόνων X & Y.

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

## Γωνία σύνδεσης

Περιγραφή: Οι γωνίες σύνδεσης είναι οι σύνδεσμοι που συνδέουν την πλάκα προσδέσεως περικοχλίου Ball Screw με τις πλάγιες πλάκες της μηχανής.

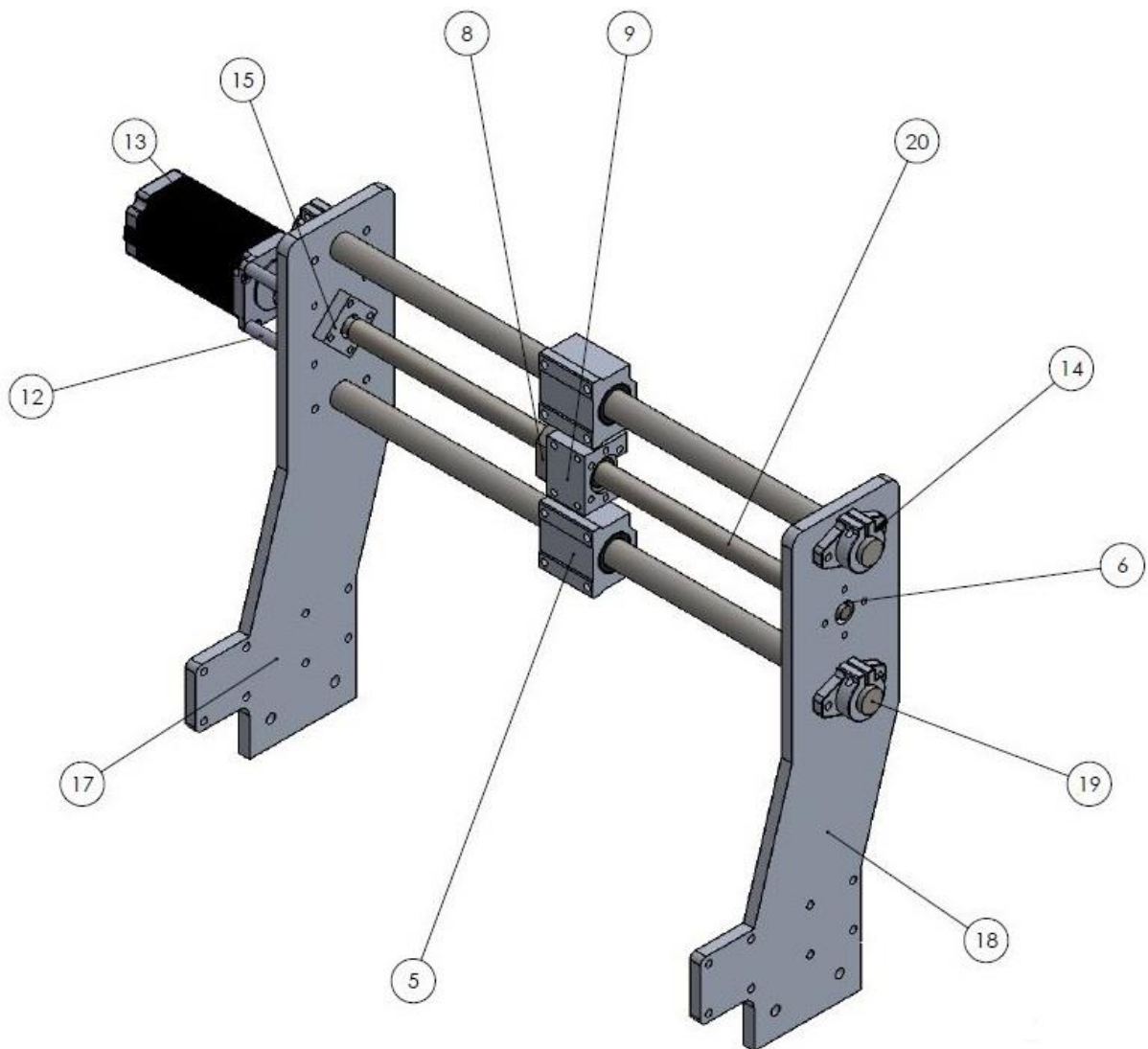


*Εικόνα 7.16. Γωνία σύνδεσης.*

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

### 7.3.2 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΑΞΟΝΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το δεύτερο τμήμα της εργαλειομηχανής που θα αναλύσουμε είναι τα μηχανικά στοιχεία με τα οποία πραγματοποιούνται οι κινήσεις του εργαλείου στον διαμήκη άξονα κατεργασίας, ή αλλιώς στον «X άξονα». Αυτό το σύστημα των στοιχείων προσδένεται πάνω στα στοιχεία του εγκάρσιου άξονα κατεργασίας.



Εικόνα 7.17. Στοιχεία κατασκευής διαμήκη άξονα.

Νούμερο Τεμαχίου	Είδος Τεμαχίου	Αριθμός Τεμαχίων
5	Γραμμικό ρουλεμάν SC20UU	2
6	Ρουλεμάν κλειστού τύπου 10x26x8 [mm]	2
8	Περισκόχλιο για Ball Screw RM1605	1
9	Φωλιά περικοχλίου Ball Screw	1
12	Αποστάτης βηματικού κινητήρα	4
13	Βηματικός κινητήρας τύπου Nema 23	1
14	Σφικτήρας συγκράτησης στρογγυλής ράγας SHF20	4
15	Φωλιά για ρουλεμάν αξόνων X & Y	2
17	Πλάγια αριστερή πλάκα στήριξης	1
18	Πλάγια δεξιά πλάκα στήριξης	1
19	Στρογγυλή ράγα SFC20 άξονα X	2
20	Κοχλίας τύπου Ball Screw RM1605 άξονα X	1

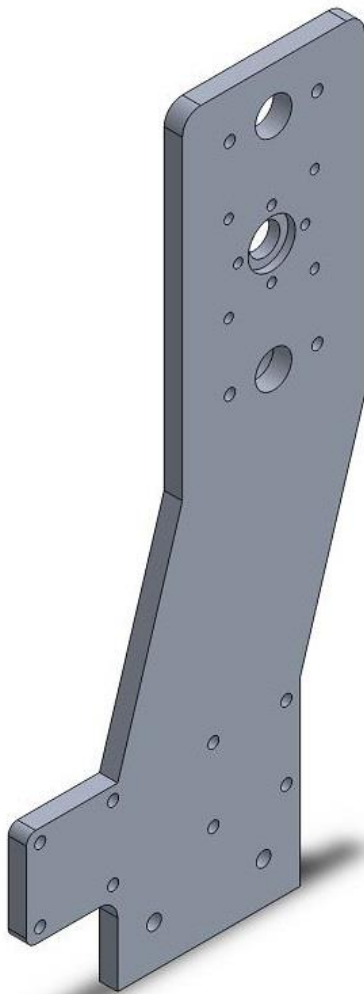
Πίνακας 7.2. Κατάλογος τεμαχίων διαμήκη άξονα.

Στις Εικόνες 7.18 έως 7.21 που ακολουθούν διακρίνουμε τα σχέδια των μερών που απαρτίζουν τον διαμήκη άξονα κατεργασίας της μηχανής κατά σειρά αρίθμησης σύμφωνα με

τον κατάλογο τεμαχίων (Πίνακας 7.2). Για τα τεμάχια 5, 6, 8, 9, 13, 14 και 15 δεν παρατίθενται σχέδια διότι είναι πανομοιότυπα με τα αντίστοιχα τεμάχια που περιγράψαμε στον εγκάρσιο άξονα κατεργασίας.

### Πλάγια αριστερή πλάκα στήριξης

Περιγραφή: Οι πλάγιες πλάκες στήριξης είναι οι πλάκες που ενώνονται με την πλάκα προσδέσεως περικοχλίου Ball Screw του εγκάρσιου άξονα και στηρίζουν όλα τα τμήματα του διαμήκη και κατά συνέπια και του κάθετου άξονα. Ο σχεδιασμός αυτών των πλακών έγινε έτσι ώστε να έχουν προς το πίσω μέρος της μηχανής για δύο σημαντικούς λόγους. Ο πρώτος είναι ότι θέλουμε ο κάθετος άξονας της κοπής να είναι κοντά στον κεντροβαρικό άξονα της μηχανής ώστε να μην εμφανίζονται ροπές που επηρεάζουν την ακρίβεια και την ποιότητα της κοπής, και ο δεύτερος λόγος είναι ότι με αυτό τον τρόπο μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τη μέγιστη δυνατή επιφάνεια της τράπεζας για μια κοπή μεγάλης πλάκας. Τα τεμάχια αυτά θα κατασκευαστούν από πλάκες αλουμινίου πάχους 10 [mm] που θα κατεργαστούμε στη CNC φρέζα του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας.



Εικόνα 7.18. Πλάγια αριστερή πλάκα στήριξης.

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

## Πλάγια δεξιά πλάκα στήριξης

Περιγραφή: Η δεξιά πλάκα στήριξης είναι σχεδόν πανομοιότυπη με την αριστερή. Η διαφορά της αριστερής πλάκα στήριξης είναι ότι πάνω της στηρίζεται με αποστάτες ο βηματικός κινητήρας που κινεί τον διαμήκη άξονα κατεργασίας. Το τεμάχιο αυτό θα κατασκευαστεί από την ίδια πλάκα αλουμινίου με την αριστερή πλάκα στήριξης.

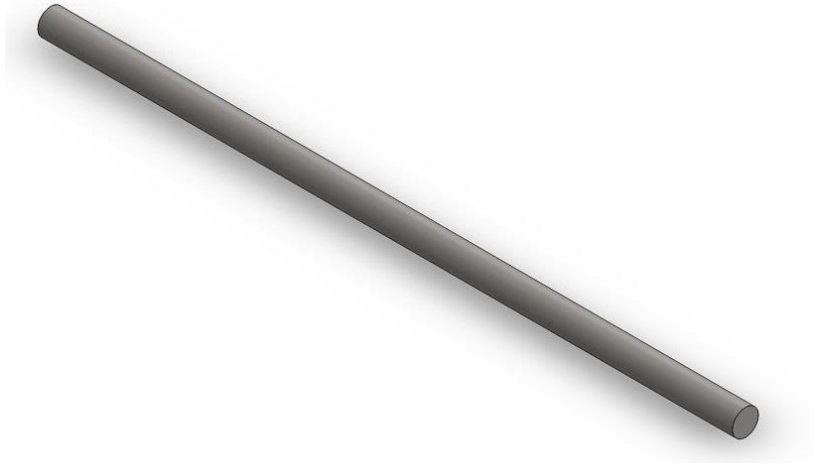


*Εικόνα 7.19. Πλάγια δεξιά πλάκα στήριξης.*

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

## Στρογγυλή ράγα SFC20 άξονα X

Περιγραφή: Όπως και στον εγκάρσιο άξονα, οι ράγες σε συνδυασμό με γραμμικά ρουλεμάν χρησιμοποιούνται ως μέσω στήριξης για τα κινούμενα στοιχεία της μηχανής. Για λόγους αντοχής σε καμπτικά φορτία και δυσκαμψίας επιλέχθηκαν οι ράγες SFC20.

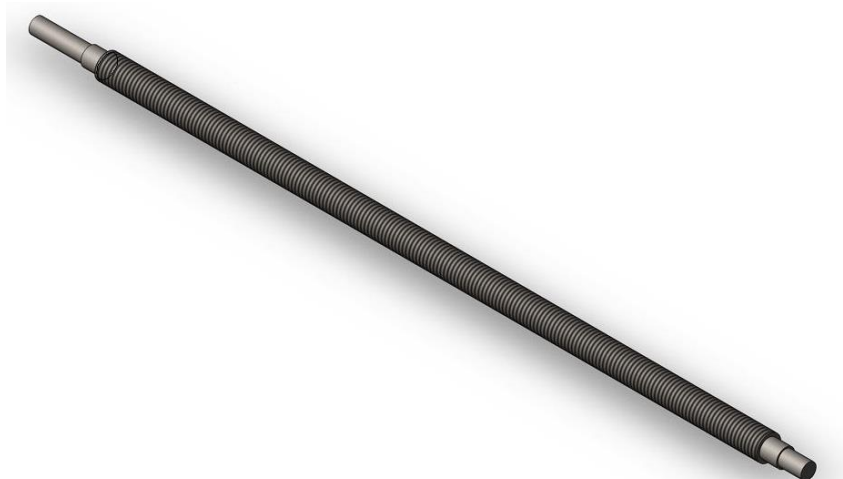


Εικόνα 7.20. Στρογγυλή ράγα SFC20.

Υλικό κατασκευής: Ανοξείδωτος χάλυβας AISI 304 με επίστρωση χρωμίου

## Κοχλίας τύπου Ball Screw RM1605 άξονα X

Περιγραφή: Ο κοχλίας τύπου Ball Screw συνδέεται με τον βηματικό κινητήρα του διαμήκη άξονα και περιστρέφεται από αυτόν. Όπως και στον εγκάρσιο άξονα που περιγράψαμε, τοποθετείται μαζί με το αντίστοιχο περικόχλιο ώστε να μετατρέψει την περιστροφική κίνηση του κινητήρα σε γραμμική με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Ο κοχλίας θα κατεργαστεί σε τόρνο στα δύο άκρα του ώστε να γίνει σφικτή συναρμογή με τα ρουλεμάν.

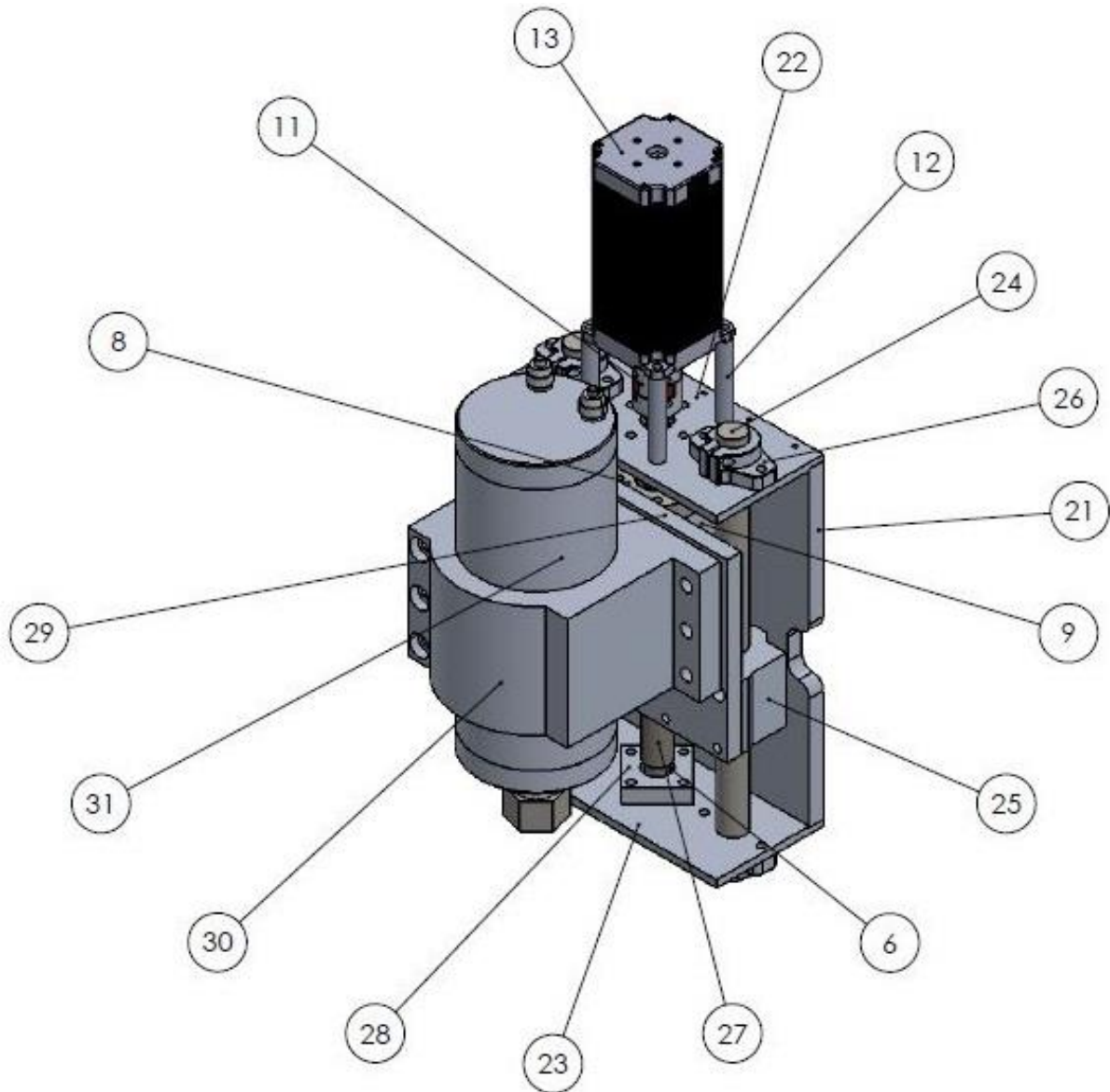


Εικόνα 7.21. Κοχλίας τύπου Ball Screw.

Υλικό κατασκευής: Ανοξείδωτος χάλυβας που έχει υποστεί επιφανειακή θερμική κατεργασία

### 7.3.3 ΚΑΘΕΤΟΣ ΑΞΟΝΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Το τρίτο και τελευταίο τμήμα της εργαλειομηχανής που θα παρουσιάσουμε αποτελείται από τα στοιχεία του κάθετου άξονα κατεργασίας, ή αλλιώς του «Z άξονα». Το σύστημα αυτό των στοιχείων ενώνεται με τον διαμήκη άξονα στην πίσω πλάκα του, μεταφέροντας έτσι την κίνηση από τον διαμήκη και έμμεσα και από τον εγκάρσιο άξονα κατεργασίας στην κινητήρια άτρακτο κοπής που προσδένεται στο μπροστινό τμήμα του, ενώ το ίδιο πραγματοποιεί την κίνηση της άτρακτου στον κάθετο άξονα κατεργασίας.



Εικόνα 7.22. Στοιχεία κατασκευής κάθετου άξονα.



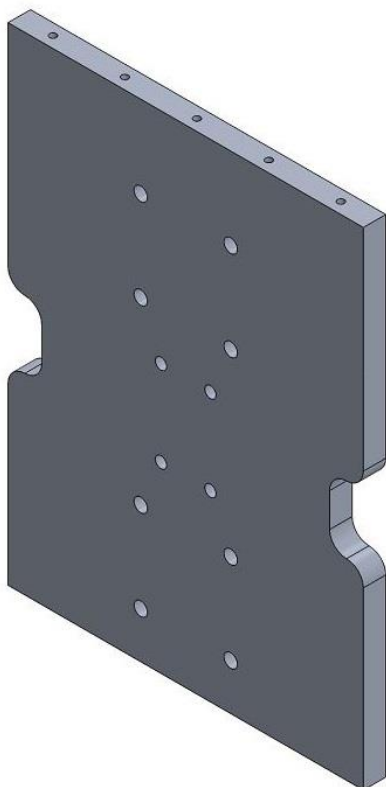
Νούμερο Τεμαχίου	Είδος Τεμαχίου	Αριθμός Τεμαχίων
6	Ρουλεμάν κλειστού τύπου 10x26x8 [mm]	2
8	Περικόχλιο για Ball Screw RM1605	1
9	Φωλιά περικοχλίου Ball Screw	1
11	Σύνδεσμοι αξόνων	1
12	Αποστάτες βηματικού κινητήρα	4
13	Βηματικός κινητήρας τύπου Nema 23	1
21	Πίσω πλάκα κάθετου άξονα	1
22	Άνω πλάκα κάθετου άξονα	1
23	Κάτω πλάκα κάθετου άξονα	1
24	Στρογγυλή ράγα SFC16	2
25	Γραμμικό ρουλεμάν SC16UU	2
26	Σφικτήρας συγκράτησης στρογγυλής ράγας SHF16	4
27	Κοχλίας τύπου Ball Screw RM1605 άξονα Z	1
28	Φωλιά για ρουλεμάν άξονα Z	2
29	Μπροστινή πλάκα κάθετου άξονα	1
30	Βάση συγκράτησης κινητήρα ατράκτου κοπής	1
31	Κινητήρας ατράκτου κοπής	1

Πίνακας 7.3. Κατάλογος τεμαχίων κάθετου άξονα.

Στις Εικόνες 7.23 έως 7.33 που ακολουθούν διακρίνουμε τα σχέδια των μερών που απαρτίζουν τον κάθετο άξονα κατεργασίας της μηχανής κατά σειρά αρίθμησης σύμφωνα με τον κατάλογο τεμαχίων (Πίνακας 7.3). Για τα τεμάχια 6, 8, 9, και 13 δεν παρατίθενται σχέδια διότι είναι πανομοιότυπα με τα αντίστοιχα τεμάχια που περιγράψαμε στον εγκάρσιο άξονα κατεργασίας.

### Πίσω πλάκα κάθετου άξονα

**Περιγραφή:** Η πίσω πλάκα του κάθετου άξονα είναι το τεμάχιο που συνδέεται με τα γραμμικά ρουλεμάν και το παξιμάδι Ball Screw του διαμήκη άξονα. Αποτελεί τη βάση για να συναρμολογηθεί ο κάθετος άξονας. Η κατεργασία αυτού του τεμαχίου απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή λόγω των οπών που πρέπει να ανοιχτούν στις κάθετες πλευρές της για την πρόσδεση των άνω και κάτω πλακών. Οι οπές αυτές πρέπει να γίνουν με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια, αφού η οποιαδήποτε απόκλιση θα επηρεάζει τη συνολική ακρίβεια της μηχανής. Για να επιτευχθεί αυτή η κατεργασία εντός των απαιτούμενων προδιαγραφών θα χρησιμοποιηθεί ο τέταρτος άξονας κατεργασίας με τη χρήση τσόκ της CNC φρέζας του T.E.I. Δυτικής Ελλάδας. Το πρόπλασμα από το οποίο θα κατασκευαστεί το τεμάχιο αυτό είναι πλάκα αλουμινίου πάχους 10 [mm].

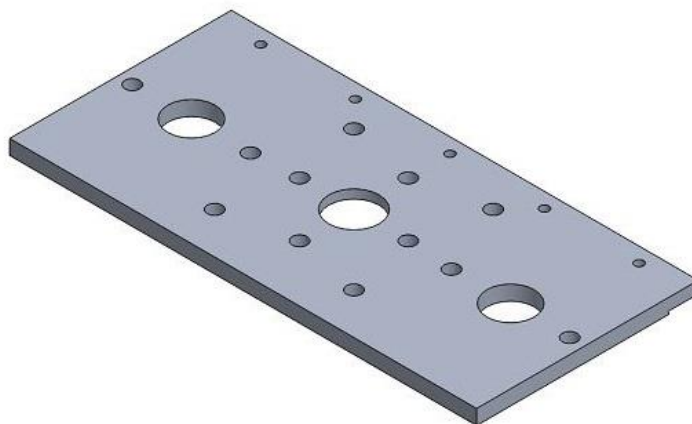


Εικόνα 7.23. Πίσω πλάκα κάθετου άξονα.

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

### **Άνω πλάκα κάθετου άξονα**

Περιγραφή: Η άνω πλάκα του κάθετου άξονα προσδένεται πάνω στην πίσω πλάκα και υποστηρίζει τις ράγες, τον κοχλία Ball Screw και τον βηματικό κινητήρα που κινεί τον κάθετο άξονα κατεργασίας. Το τεμάχιο αυτό θα έχει πάχος 5 [mm] και θα κατασκευαστεί από πλάκα αλουμινίου στη CNC φρέζα.

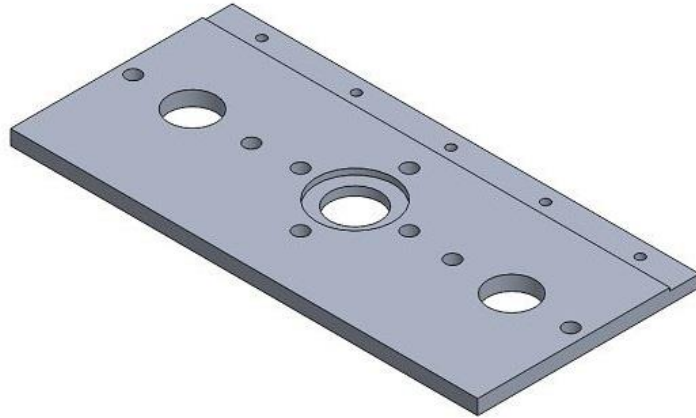


Εικόνα 7.24. Άνω πλάκα κάθετου άξονα.

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

### Κάτω πλάκα κάθετου άξονα

Περιγραφή: Το τεμάχιο αυτό βρίσκεται στο κάτω μέρος του κάθετου άξονα, απέναντι από την άνω πλάκα και στηρίζει με τον ίδιο τρόπο τις ράγες και τον κοχλία Ball Screw. Κατασκευάζεται από την ίδια πλάκα αλουμινίου πάχους 5 [mm] με την άνω πλάκα.

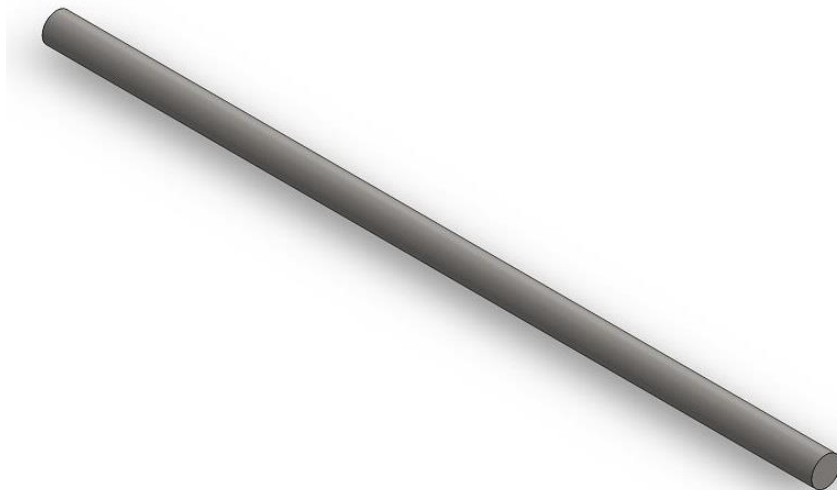


Εικόνα 7.25. Κάτω πλάκα κάθετου άξονα.

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

### Στρογγυλή ράγα SFC16

Περιγραφή: Οι ράγες στον κάθετο άξονα κατεργασίας θα έχουν διάμετρο 16[mm] αντί των 20[mm] που έχουν στους άλλους δύο άξονες, λόγω του ότι φέρουν σημαντικά μικρότερο φορτίο.

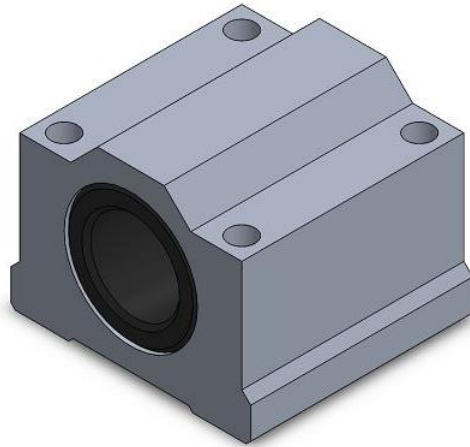


Εικόνα 7.26. Στρογγυλή ράγα SFC16.

Υλικό κατασκευής: Ανοξειδωτος χάλυβας AISI 304 με επίστρωση χρωμίου

## Γραμμικό ρουλεμάν SC16UU

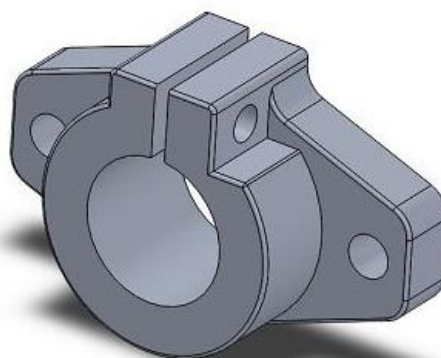
Περιγραφή: Τα γραμμικά ρουλεμάν προσαρμόζονται στις στρογγυλές ράγες και συνδέονται με κοχλίες με την μπροστινή πλάκα του κάθετου άξονα. Έτσι λειτουργούν σαν τριβείς κύλισης και ελαχιστοποιούν τις δυνάμεις των τριβών κατά την ευθύγραμμη κίνηση. Τα ρουλεμάν που ταιριάζουν στις στρογγυλές ράγες που επιλέχθηκαν είναι τα SC16UU.



Εικόνα 7.27. Γραμμικό ρουλεμάν SC16UU.

## Σφικτήρας συγκράτησης στρογγυλής ράγας SHF16

Περιγραφή: Οι σφικτήρες συγκράτησης συνδέονται στην άνω και την κάτω πλάκα του κάθετου άξονα κατεργασίας και σταθεροποιούν τις ράγες. Ο τύπος σφικτήρα που ταιριάζει στις ράγες που επιλέξαμε είναι SHF16.



Εικόνα 7.28. Σφικτήρας συγκράτησης στρογγυλής ράγας SHF16.

## Κοχλίας τύπου Ball Screw RM1605

Περιγραφή: Όπως και στους άλλους δύο άξονες, ο κοχλίας τύπου Ball Screw συνδέεται με τον βηματικό κινητήρα του διαμήκη άξονα και περιστρέφεται από αυτόν. Σε συνεργασία με το αντίστοιχο περικόχλιο μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του κινητήρα σε γραμμική με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια. Ο κοχλίας θα κατεργαστεί σε τόρνο στα δύο άκρα του ώστε να γίνει σφικτή συναρμογή με τα ρουλεμάν.

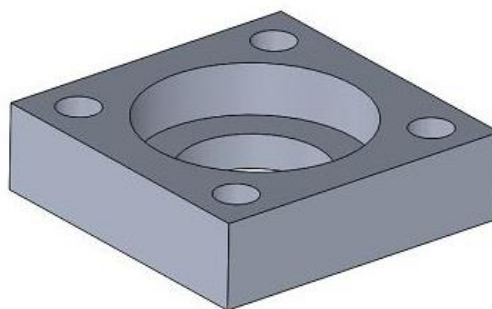


Εικόνα 7.29. Κοχλίας τύπου Ball Screw RM1605.

Υλικό κατασκευής: Ανοξείδωτος χάλυβας που έχει υποστεί επιφανειακή θερμική κατεργασία

## Φωλιά για ρουλεμάν άξονα Z

Περιγραφή: Όπως και στον εγκάρσιο και τον διαμήκη άξονα, θα τοποθετηθούν ιδικά σχεδιασμένες φωλιές στην εσωτερική πλευρά της πλάκας για την περεταίρω σταθεροποίηση του ρουλεμάν και του Ball Screw πάνω σε αυτή. Η διαφορά στον κάθετο άξονα είναι ότι οι φωλιές πρέπει να έχουν μεγαλύτερο βάθος επειδή οι άνω και κάτω πλάκες έχουν μικρότερο πάχος από τις αντίστοιχες των άλλων αξόνων. Οι φωλιές αυτές θα κατασκευαστούν από την πλάκα που θα κατασκευαστούν και η μπροστινή και πίσω βάσεις της εργαλειομηχανής.

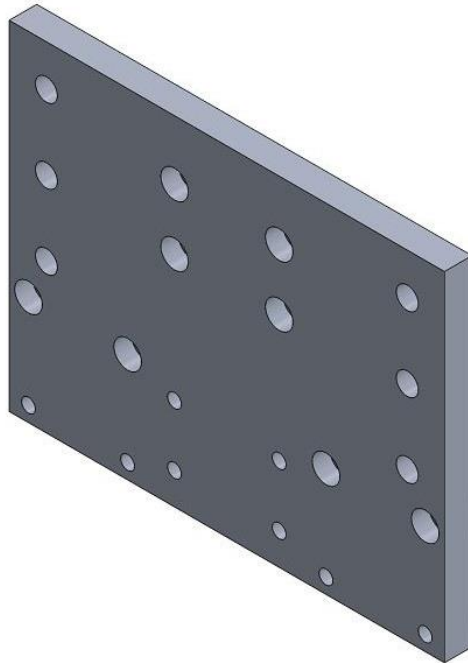


Εικόνα 7.30. Φωλιά ρουλεμάν άξονα Z.

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

## Μπροστινή πλάκα κάθετου άξονα

Περιγραφή: Η μπροστινή πλάκα του κάθετου άξονα συνδέεται με τα γραμμικά ρουλεμάν και τα περικόχλια Ball Screw του κάθετου άξονα κατεργασίας και πάνω της προσδένεται η βάση συγκράτησης της κινητήριας ατράκτου κοπής. Θα κατασκευαστεί από πλάκα αλουμινίου πάχους 10 [mm] στη CNC φρέζα.

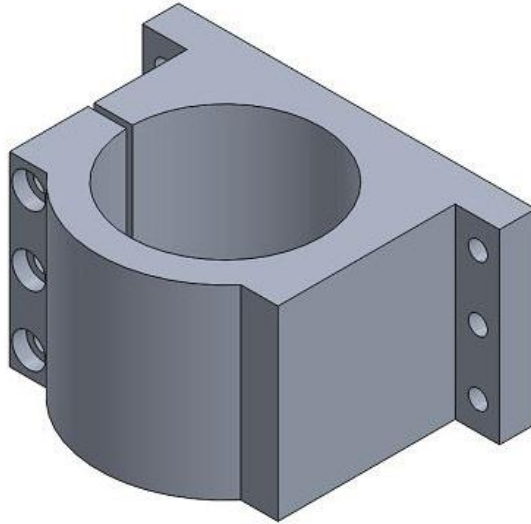


*Εικόνα 7.31. Μπροστινή πλάκα κάθετου άξονα.*

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

## Βάση συγκράτησης κινητήρα ατράκτου κοπής

Περιγραφή: Η βάση συγκράτησης προσδένεται στην μπροστινή πλάκα του κάθετου άξονα και μέσω ενός συστήματος σύσφιξης με κοχλίες, συγκρατεί τον κινητήρα περιστροφής της κύριας ατράκτου κοπής.



*Εικόνα 7.32. Βάση συγκράτησης κινητήρα ατράκτου κοπής.*

Υλικό κατασκευής: Αλουμίνιο AISI 6061

### **Κινητήρας ατράκτου κοπής**

Περιγραφή: Ο κινητήρας που περιστρέφει το κοπτικό εργαλείο βρίσκεται στο μπροστινό μέρος του κάθετου άξονα κατεργασίας και συγκρατείται από την κατάλληλη βάση. Οι υπολογισμοί για το απαιτούμενο μέγεθος κινητήρα θα γίνουν σε επόμενο κεφάλαιο.

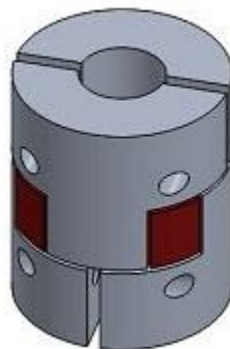


Εικόνα 7.3316. Κινητήρας ατράκτου κοπής.

### 7.3.4 ΕΠΙΠΛΕΟΝ ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

#### Σύνδεσμοι αξόνων

Περιγραφή: Οι σύνδεσμοι αξόνων τοποθετούνται ανάμεσα στο ένα άκρο του Ball Screw και στον άξονα του βηματικού κινητήρα. Το άκρο του κάθε άξονα μπαίνει σε ειδική εσοχή του συνδέσμου και συσφίγγεται με κοχλία. Έτσι εξασφαλίζεται η σωστή μεταφορά της περιστροφικής κίνησης χωρίς ολίσθηση.



Εικόνα 7.34. Σύνδεσμος αξόνων.



## Αποστάτες βηματικών κινητήρων

Περιγραφή: Οι αποστάτες που θα χρησιμοποιήσουμε είναι μεταλλικά τεμάχια κυλινδρικού σχήματος, κομμένα σε μήκος ίσο με την απόσταση από το άκρο του βηματικού κινητήρα έως την πλάκα που προσδένεται. Σταθεροποιούνται με κοχλίες και περικόχλια ώστε να εμποδίσουν την όποια μετατόπιση ή περιστροφή του κελύφους του κινητήρα ως προς την πλάκα.



Εικόνα 7.35. Αποστάτες βηματικών κινητήρων.

## Τράπεζα προσδέσεως τεμαχίου

Περιγραφή: Η τράπεζα προσδέσεως τεμαχίου αποτελείται από τέσσερα βιομηχανικά προφίλ αλουμινίου τύπου “T-slot” και διαστάσεων διατομής 22,5x180 και μήκους 450 [mm] το κάθε ένα. Τα προφίλ αυτά προσδένονται στα δύο προφίλ αλουμινίου 20x40 [mm] της βάσης της μηχανής και σταθεροποιούνται με ειδικούς κοχλίες και περικόχλια.



Εικόνα 7.36. Βιομηχανικό προφίλ αλουμινίου 22,5x180.



## 8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ

### 8.1. ΓΕΝΙΚΑ

Ο υπολογισμός των φορτίων και η σωστή επιλογή δομικών και μηχανικών στοιχείων αποτελεί κρίσιμο κομμάτι του σχεδιασμού της εργαλειομηχανής. Τα στοιχεία που θα επιλεγθούν πρέπει να καθιστούν της εργαλειομηχανή ικανή να φέρει σε πέρας τις κατεργασίες για τις οποίες προορίζεται, ικανοποιώντας τις προδιαγραφές της ακρίβειας, της ταχύτητας, της μεγάλης διάρκειας ζωής αλλά και του κόστους.

Κατά το σχεδιασμό της μηχανής κάναμε μια αρχική εκτίμηση για τα στοιχεία αυτά. Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνουν οι υπολογισμοί που θα κρίνουν την ορθότητα της επιλογής αυτής και αν χρειαστεί θα γίνουν οι απαραίτητες τροποποιήσεις.

### 8.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ

Το βάρος της εργαλειομηχανής είναι ο πρώτος παράγοντας που πρέπει να υπολογίσουμε, μιας και επηρεάζει άμεσα όλα τα επιμέρους στοιχεία της. Για να υπολογίσουμε με ακρίβεια το βάρος των στοιχείων της εργαλειομηχανής θα χρησιμοποιήσουμε σε όποια είναι διαθέσιμα τα στοιχεία του κατασκευαστή και στα υπόλοιπα θα το υπολογίσουμε με βάση τον όγκο τους και το υλικό κατασκευής τους. Το πρόγραμμα Solidworks μας παρέχει την επιλογή να δούμε με ακρίβεια τον όγκο των στοιχείων που έχουμε σχεδιάσει, όπως π.χ. των πλακών αλουμινίου. Για τους υπολογισμούς θα λάβουμε πυκνότητα χάλυβα  $d_{\text{steel}} = 7,85$   $[\text{g}/\text{cm}^3]$  και πυκνότητα αλουμινίου  $d_{\text{al}} = 2,7$   $[\text{g}/\text{cm}^3]$ .

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΒΑΣΗΣ						
A/A	Τεμάχιο	Όγκος Τεμ. $[\text{cm}^3]$	Πυκνότητα Τεμ. $[\text{g}/\text{cm}^3]$	Βάρος Τεμαχίου $[\text{kg}]$	Αριθμός Τεμαχίων	Βάρος $[\text{kg}]$
1	Μπροστινή πλάκα βάσης	616,88	2,7	1,666	1	1,666
2	Πίσω πλάκα βάσης	616,09	2,7	1,663	1	1,663
3	Προφίλ αλουμινίου 20x40	187,84	2,7	0,507	4	2,029
4	Προφίλ αλουμινίου 22,5x180	1058,68	2,7	2,858	4	11,434
5	Στρογγυλή ράγα άξονα Υ	241,90	7,85	1,899	2	3,798

6	Σφικτήρας ράγας άξονα Y	-	-	0,050	4	0,200
7	Ball Screw άξονα Y	141,13	7,85	1,108	1	1,108
8	Ρουλεμάν άξονα Y	-	-	0,019	2	0,038
9	Φωλιά ρουλεμάν άξονα Y	8,69	2,7	0,023	2	0,047
10	Βηματικός κινητήρας άξονα Y	-	-	1,550	1	1,550
11	Αποστάτες Βηματικού κινητήρα	2,25	2,7	0,006	4	0,024
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ ΒΑΣΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ :</b>						<b>23,556</b>

Πίνακας 8.1. Βάρος στοιχείων βάσης.

Τα στοιχεία βάσης της εργαλειομηχανής στηρίζονται από το τραπέζι στο οποίο θα κατασκευαστεί και δεν επιβαρύνουν με φορτία τα υπόλοιπα τεμάχια. Ο υπολογισμός του βάρους τους έγινε για να υπολογιστεί και το συνολικό βάρος της εργαλειομηχανής. Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε το βάρος των τμημάτων που επιφέρουν καμπτικά φορτία στις ράγες των τριών αξόνων της εργαλειομηχανής, ξεκινώντας από τον άξονα Z.

<b>ΒΑΡΟΣ ΣΤΙΣ ΡΑΓΕΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Z</b>						
A/A	Τεμάχιο	Όγκος Τεμ. [cm <sup>3</sup> ]	Πυκνότητα Τεμ. [g/cm <sup>3</sup> ]	Βάρος Τεμαχίου [kg]	Αριθμός Τεμαχίων	Βάρος [kg]
1	Βάση κινητήριας ατράκτου κοπήs	494,90	2,7	1,336	1	1,336
2	Κινητήρας ατράκτου κοπήs	-	-	5,000	1	5,000
3	Μπροστινή πλάκα άξονα Z	185,12	2,7	0,500	1	0,500
4	Γραμμικό ρουλεμάν άξονα Z	-	-	0,200	2	0,400
5	Περικόχλιο για Ball Screw	-	-	0,185	2	0,370

6	Φωλιά περικοχλίου Ball Screw	-	-	0,113	2	0,226
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ:</b>						<b>7,832</b>

Πίνακας 8.2. Βάρους στον άξονα Z.

<b>ΒΑΡΟΣ ΣΤΙΣ ΡΑΓΕΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ X</b>						
A/A	Τεμάχιο	Όγκος Τεμ. [cm <sup>3</sup> ]	Πυκνότητα Τεμ. [g/cm <sup>3</sup> ]	Βάρος Τεμαχίου [kg]	Αριθμός Τεμαχίων	Βάρος [kg]
1	Πίσω πλάκα άξονα Z	329,61	2,7	0,890	1	0,890
2	Άνω πλάκα άξονα Z	52,60	2,7	0,142	1	0,142
3	Κάτω πλάκα άξονα Z	52,99	2,7	0,143	1	0,143
4	Στρογγυλή ράγα άξονα Z	53,68	7,85	0,421	2	0,843
5	Σφικτήρας ράγας άξονα Z	-	-	0,030	4	0,120
6	Ball Screw άξονα Z	42,69	7,85	0,335	1	0,335
7	Ρουλεμάν άξονα Z	-	-	0,038	2	0,076
8	Φωλιά ρουλεμάν άξονα Z	8,08	2,7	0,022	2	0,044
9	Βηματικός κινητήρας άξονα Z	-	-	1,550	1	1,550
10	Αποστάτες Βηματικού κινητήρα	2,25	2,7	0,006	4	0,024
11	Γραμμικό ρουλεμάν άξονα X	-	-	0,250	2	0,500
12	Περικόχλιο για Ball Screw	-	-	0,185	1	0,185

13	Φωλιά περικοχλίου Ball Screw	-	-	0,113	1	0,113
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ:</b>						<b>4,965</b>

Πίνακας 8.3. Βάρους στον άξονα Χ.

<b>ΒΑΡΟΣ ΣΤΙΣ ΡΑΓΕΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Υ</b>						
A/A	Τεμάχιο	Όγκος Τεμ. [cm <sup>3</sup> ]	Πυκνότητα Τεμ. [g/cm <sup>3</sup> ]	Βάρος Τεμαχίου [kg]	Αριθμός Τεμαχίων	Βάρος [kg]
1	Πλάγια δεξιά πλάκα στήριξης	409,23	2,7	1,105	1	1,105
2	Πλάγια αριστερή πλάκα στήριξης	408,44	2,7	1,103	1	1,103
3	Πλάκα προσδέσεως Ball Screw	479,20	2,7	1,294	1	1,294
4	Στρογγυλή ράγα άξονα Χ	167,13	7,85	1,312	2	2,624
5	Σφικτήρας ράγας άξονα Χ	-	-	0,050	4	0,200
6	Ball Screw άξονα Χ	93,27	7,85	0,732	1	0,732
7	Ρουλεμάν άξονα Χ	-	-	0,038	2	0,076
8	Φωλιά ρουλεμάν άξονα Χ	8,69	2,7	0,023	2	0,047
9	Βηματικός κινητήρας άξονα Χ	-	-	1,550	1	1,550
10	Αποστάτες Βηματικού κινητήρα	2,25	2,7	0,006	4	0,024
11	Γραμμικό ρουλεμάν άξονα Υ	-	-	0,250	4	1,000

12	Περικόχλιο για Ball Screw	-	-	0,185	1	0,185
13	Φωλιά περικοχλίου Ball Screw	-	-	0,113	1	0,113
14	Γωνία σύνδεσης	19,11	2,7	0,052	4	0,206
<b>ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ:</b>						<b>10,259</b>

Πίνακας 8.4. Βάρος στον άξονα Y.

Συνολικό βάρος στις ράγες του άξονα Z:	7,832 [kg]
Συνολικό βάρος στις ράγες του άξονα X:	12,797 [kg]
Συνολικό βάρος στις ράγες του άξονα Y:	23,056 [kg]
Βάρος βάσης εργαλειομηχανής:	23,556 [kg]
Συνολικό βάρος εργαλειομηχανής:	46,612 [kg]

Πίνακας 8.5. Βάρος εργαλειομηχανής.

### 8.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΟΠΗΣ

Ο υπολογισμός των δυνάμεων κοπής θα γίνει πραγματοποιηθεί για δύο υλικά, ώστε τα αποτελέσματα της μελέτης να μας δώσουν μια ευρύτερη εικόνα για τη συμπεριφορά της μηχανής στις διάφορες κατεργασίες. Τα υλικά που επιλέχθηκαν είναι το αλουμίνιο AISI 6061-O και ο χάλυβας AISI 1060 ψυχρής έλασης, περιεκτικότητας σε άνθρακα 0,6% κατά βάρος.

Μηχανικές ιδιότητες αλουμινίου AISI 6061-O				
Πυκνότητα [g/cm <sup>3</sup> ]	Μέτρο Ελαστικότητας [GPa]	Όριο διαρροής σε εφελκυσμό [MPa]	Όριο αντοχής σε εφελκυσμό [MPa]	Σκληρότητα Brinell
2,7	70	65	120	30

Πηγή: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=3328>

Μηχανικές ιδιότητες χάλυβα AISI 1060				
Πυκνότητα [g/cm <sup>3</sup> ]	Μέτρο Ελαστικότητας [GPa]	Όριο διαρροής σε εφελκυσμό [MPa]	Όριο αντοχής σε εφελκυσμό [MPa]	Σκληρότητα Brinell
7,85	210	485	620	183

Πηγή: <http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6542>

### 8.3.1. ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ

Για να υπολογιστεί η δύναμη κοπής κατά την κατεργασία ενός υλικού πρέπει να είναι γνωστές οι συνθήκες κατεργασίας.

$d$  : Διάμετρος κοπτικού εργαλείου σε [mm].

$h$  : Βάθος κοπής σε [mm].

$U$  : Ταχύτητα κοπής σε [m/min]

$S_z$  : Πρόωση ανα περύγιο σε [mm]

Η πρόωση σε μία πλήρη περιστροφή του κοπτικού εργαλείου δίνεται από τη σχέση:

$$S_{rev} = S_z * z \quad (1)$$

$S_{rev}$  : Πρόωση του κοπτικού εργαλείου σε μια πλήρη περιστροφή σε [mm/rev]

$z$  : Αριθμός περυγίων κοπτικού εργαλείου

Η συχνότητα περιστροφής του κοπτικού εργαλείου υπολογίζεται σε περιστροφές ανά λεπτό από τον τύπο:

$$n = \frac{U * 1000}{\pi * d} \quad (2)$$

$n$  : Συχνότητα περιστροφής κοπτικού εργαλείου σε [rpm].

$U$  : Ταχύτητα κοπής σε [m/min].

Η πρόωση του κοπτικού εργαλείου σε μέτρα ανα λεπτό υπολογίζεται από τη σχέση:

$$S = S_{rev} * n \quad (3)$$

$S$  : Πρόωση του κοπτικού εργαλείου σε [m/min]

Στους παρακάτω υπολογισμούς χρησιμοποιούνται οι βέλτιστες συνθήκες για την κατεργασία πλάκας αλουμινίου ψυχρής έλασης και πλάκας χάλυβα AISI 1020 σε φρέζα, σύμφωνα με το εγχειρίδιο «Oberg, Erik. Machinery's Handbook 29<sup>th</sup> edition. Industrial Press, 2012».



### Συνθήκες κατεργασίας αλουμινίου AISI 6061-O

$$d = 6 \text{ [mm]}$$

$$h = 1 \text{ [mm]}$$

$$U = 259 \text{ [m/min]}$$

$$S_z = 0,0508 \text{ [mm]}$$

Για την κατεργασία του αλουμινίου θα χρησιμοποιηθεί κονδύλι από ταχυχάλυβα (HSS) με δύο πτερύγια.

$$z = 2$$

Η σχέση (1) μας δείνει την πρόωση με μία πλήρη περιστροφή :

$$S_{rev} = 0,0508 * 2 \Rightarrow S_{rev} = 0,1016 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right]$$

Η σχέση (2) μας δείνει :

$$n = \frac{259 * 1000}{\pi * 6} \Rightarrow n = 13741 \text{ [rpm]}$$

Κατόπιν υπολογίζεται η πρόωση σε μέτρα ανά λεπτό από τη σχέση (3) :

$$S = 0,1016 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right] * 13741 \text{ [rpm]} \Rightarrow S = 1,396 \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

Συνθήκες κατεργασίας αλουμινίου					
Διάμετρος κοπτικού εργαλείου d [mm]	Βάθος κοπής h [mm]	Ταχύτητα κοπής U [m/min]	Πρόωση ανά περιστροφή S <sub>rev</sub> [mm]	Πρόωση S [m/min]	Συχνότητα περιστροφής n [rpm]
6	1	259	0,1016	1,396	13741

### Συνθήκες κατεργασίας χάλυβα AISI 1060

$$d = 6 \text{ [mm]}$$

$$h = 1 \text{ [mm]}$$

$$U = 100 \text{ [m/min]}$$

$$S_z = 0,0254 \text{ [mm]}$$

Για την κατεργασία του χάλυβα θα χρησιμοποιηθεί κονδύλι καρβιδίου (Carbide) με τέσσερα πτερύγια.

$$z = 4$$

Η σχέση (1) μας δίνει την πρόωση με μία πλήρη περιστροφή :

$$S_{rev} = 0,0254 * 4 \Rightarrow S_{rev} = \mathbf{0,1016} \left[ \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right]$$

Η σχέση (2) μας δίνει :

$$n = \frac{100 * 1000}{\pi * 6} \Rightarrow \mathbf{n = 5305} \text{ [rpm]}$$

Κατόπιν υπολογίζεται η πρόωση σε μέτρα ανά λεπτό από τη σχέση (3) :

$$S = 0,1016 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right] * 5305 \text{ [rpm]} \Rightarrow \mathbf{S = 0,539} \left[ \frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

Συνθήκες κατεργασίας χάλυβα AISI 1020					
Διάμετρος κοπτικού εργαλείου d [mm]	Βάθος κοπής h [mm]	Ταχύτητα κοπής U [m/min]	Πρόωση ανά περιστροφή S <sub>rev</sub> [mm]	Πρόωση S [m/min]	Συχνότητα περιστροφής n [rpm]
6	1	100	0,1016	0,539	5305

### 8.3.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ «Kienzle - Victor» ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΚΟΠΗΣ

Ο υπολογισμός της δύναμης κοπής που απαιτείται για την κατεργασία αλουμινίου και χάλυβα στην υπολογιστικά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή θα γίνει με βάση το μοντέλο Kienzle-Victor (Kienzle και Victor, 1957). Το μοντέλο αυτό εισάγει την ειδική αντίσταση κοπής  $k_c$  προκειμένου να υπολογιστεί η δύναμη κοπής.

$$F_c = k_c * A = k_c * b_A * h_A \tag{4}$$

$F_c$  : Δύναμη κοπής σε [N].

$k_c$  : Ειδική αντίσταση κοπής σε [N/mm<sup>2</sup>].

$A$  : Επιφάνεια διατομής αποβλήτου σε [mm<sup>2</sup>].

$b_A$  : πάχος αποβλήτου σε [mm].

$h_A$  : ύψος αποβλήτου σε [mm].

Η ειδική αντίσταση κοπής  $k_c$  λαμβάνεται από το νομογράφημα της Εικόνας 8.1.

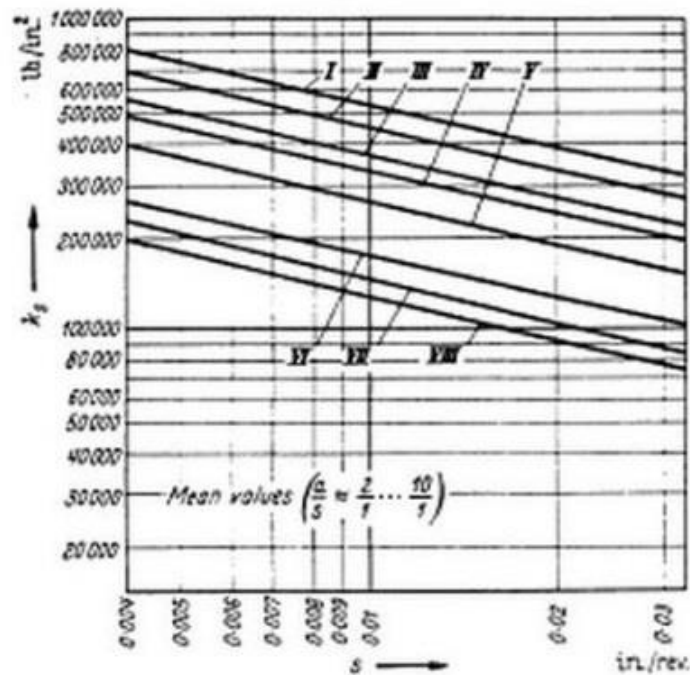


FIG. 5a. Specific cutting resistance values.

I Alloy steel up to 115 tons/in<sup>2</sup>.  
 II Alloy steel up to 64 tons/in<sup>2</sup>.  
 III Carbon steel up to 38 tons/in<sup>2</sup>.  
 IV Cast steel and carbon steel up to 32 tons/in<sup>2</sup>.

V Cast iron 200-250 Brinell.  
 VI Cast iron up to 200 Brinell.  
 VII Brass 80-120 Brinell.  
 VIII Aluminium alloy.

Εικόνα 8.1. Ειδική αντίσταση κοπής.

Στο νομογράφημα χρησιμοποιούμε την πρόωση ανά περιστροφή για κάθε μέταλλο σε [in/rev].

$$S_{\text{rev al}} = S_{\text{rev st}} = 0,1016 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right] = 0,004 \left[ \frac{\text{in}}{\text{rev}} \right]$$

Από το νομογράφημα με την παραπάνω πρόωση λαμβάνουμε :

Για αλουμίνιο (VIII)

$$k_{c \text{ al}} = 200000 \left[ \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right] \Rightarrow k_{c \text{ al}} = 1379 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Για την ειδική αντίσταση κοπής του χάλυβα 1060 πρέπει να δούμε ποια γραμμή θα ακολουθήσουμε.

Αντοχή χάλυβα  $\sigma_u = 620 \text{ [MPa]} = 45 \text{ [tons/in}^2\text{]}$

Για χάλυβα (II)

$$k_{c \text{ st}} = 700000 \left[ \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \right] \Rightarrow k_{c \text{ st}} = 4828 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$$

Το ύψος αποβλήτου του κάθε μετάλλου ισούται με το βάθος κοπής και το πάχος αποβλήτου ισούται με την πρόωση ανά πτερύγιο. Η σχέση (4) μας δίνει:

- **Δύναμη κοπής αλουμινίου**

$$F_{c\text{al}} = 1379 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] * 0,0508 [\text{mm}] * 1[\text{mm}] \Rightarrow F_{c\text{al}} = 70,05 [\text{N}]$$

- **Δύναμη κοπής χάλυβα AISI 1020**

$$F_{c\text{st}} = 4828 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right] * 0,0254 [\text{mm}] * 1[\text{mm}] \Rightarrow F_{c\text{st}} = 122,63 [\text{N}]$$

#### **8.4. ΕΠΙΛΟΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΚΙΝΗΤΗΡΙΑΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥ ΚΟΠΗΣ**

Για την περιστροφή του κοπτικού εργαλείου σε αυτού του τύπου τις εργαλειομηχανές χρησιμοποιούνται τριφασικοί ασύγχρονοι ηλεκτρικοί κινητήρες με συχνότητα περιστροφής έως 24000 [rpm]. Για να γίνει επιλογή του κατάλληλου ηλεκτρικού κινητήρα πρέπει να υπολογιστεί η απαιτούμενη ισχύς για την κατεργασία των μετάλλων. Ο υπολογισμός θα γίνει στις δυσμενέστερες συνθήκες.

##### **Υπολογισμός της ροπής**

Η ροπή του κινητήρα δίνεται από τη σχέση :

$$T = F_c * r \tag{5}$$

T : Ροπή κινητήρα σε [Nm].

r : Ακτίνα κοπτικού εργαλείου σε [m].

Υποθέτοντας κοπή χάλυβα με  $F_c = 122,635 [\text{N}]$  και διάμετρο κοπτικού  $d = 6 [\text{mm}]$ , έχουμε :

$$T = 122,63 * 0,003 \Rightarrow T = 0,368 [\text{Nm}]$$

##### **Υπολογισμός της απαιτούμενης ισχύος**

Η ισχύς του κινητήρα δίνεται από τη σχέση :

$$P = T * \omega \tag{6}$$

$$P = T * \frac{2\pi * n}{60}$$

Για τη μέγιστη συχνότητα 24000 [rpm], η μέγιστη απαιτούμενη ισχύς θα είναι :

$$P_{\text{max}} = 0,368 * \frac{2\pi * 24000}{60} \Rightarrow P_{\text{max}} = 925 [\text{Watt}]$$

Συμπεριλαμβάνοντας συντελεστή ασφαλείας **FoS = 1,5**

$$P_{\text{design}} = P_{\text{max}} * \text{FoS} \Rightarrow P_{\text{design}} = 1387,5 \text{ [Watt]}$$

Η επιλογή του ηλεκτρικού κινητήρα ατράκτου κοπής θα γίνει στην επόμενη μεγαλύτερη διαθέσιμη ισχύ.

## 8.5. ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΧΛΙΑ BALL SCREW

Οι κοχλίες τύπου ball screw είναι τα στοιχεία που σε συνδυασμό με το αντίστοιχο περικόχλιο μετατρέπουν την περιστροφική κίνηση των κινητήρων σε γραμμική κίνηση στους άξονες. Η επιλογή τους απαιτεί προσεκτικό υπολογισμό της συμπεριφοράς τους υπό τα φορτία που δέχονται ώστε να ικανοποιούν τις προδιαγραφές με τις οποίες κατασκευάζεται η εργαλειομηχανή.

### Εξισώσεις Υπολογισμού

Η μέση συχνότητα περιστροφής του κοχλία δίνεται από τη σχέση:

$$n_{\text{av}} = n_1 * \frac{t_1}{100} + n_2 * \frac{t_2}{100} + \dots + n_n * \frac{t_n}{100} \quad (7)$$

$n_{\text{av}}$  : Μέση συχνότητα περιστροφής σε [rpm].

$n_x$  : Συχνότητα περιστροφής σε [rpm].

$t_x$  : Χρόνος % στην συχνότητα  $n_x$ .

Το μέσο φορτίο λειτουργίας δίνεται από τη σχέση:

$$F_{\text{bm}} = \sqrt[3]{F_{b1}^3 * f_{p1}^3 * \frac{t_1}{100} * \frac{n_1}{n_{\text{av}}} + F_{b2}^3 * f_{p2}^3 * \frac{t_2}{100} * \frac{n_2}{n_{\text{av}}} + \dots + F_{bn}^3 * f_{pn}^3 * \frac{t_n}{100} * \frac{n_n}{n_{\text{av}}}} \quad (8)$$

$F_{\text{bm}}$  : Μέσο φορτίο λειτουργίας σε [N].

$F_{\text{bx}}$  : Αξονικό φορτίο σε [N].

$f_p$  : Συντελεστής κατάστασης λειτουργίας.

$f_p$	Κατάσταση Λειτουργίας
1,1 - 1,2	Λειτουργία χωρίς προσκρούσεις
1,3 - 1,8	Κανονική λειτουργία
2,0 - 3,0	Λειτουργία με ισχυρές προσκρούσεις και κραδασμούς

Πίνακας 8.6. Συντελεστής κατάστασης λειτουργίας.

Η διάρκεια ζωής του Ball Screw σε περιστροφές δίνεται από τη σχέση:

$$L = \left( \frac{C}{F_{bm}} \right)^3 * 10^6 \quad (9)$$

L : Διάρκεια ζωής σε περιστροφές.

C : Τάξη δυναμικού φορτίου. Δίνεται στους καταλόγους Ball Screw της Hiwin.

Η διάρκεια ζωής του Ball Screw σε ώρες δίνεται από τη σχέση:

$$L_h = \frac{L}{n_{av} * 60} \quad (10)$$

L<sub>h</sub> : Διάρκεια ζωής σε ώρες.

Όταν το ο κοχλίας Ball Screw υποβάλλεται σε αξονικά θλιπτικά φορτία μπορεί να εμφανιστεί το φαινόμενο του λυγισμού. Για να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο πρέπει να υπολογίσουμε το κρίσιμο φορτίο λυγισμού για τους κοχλίες, το οποίο δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$F_k = 399463 * \left( \frac{N_f * d_r^4}{L_t^2} \right) \quad (11)$$

F<sub>k</sub> : Κρίσιμο φορτίο λυγισμού σε [N].

N<sub>f</sub> : Συντελεστής τύπου στήριξης.

d<sub>r</sub> : Εσωτερική διάμετρος κοχλία σε [mm].

L<sub>t</sub> : Απόσταση μεταξύ στηρίξεων σε [mm].

Τύπος στήριξης	N <sub>f</sub>
Σταθερή – Σταθερή	1,0
Σταθερή – Υποστήριξη	0,5
Υποστήριξη – Υποστήριξη	0,25
Σταθερή - Ελεύθερη	0,0625

Πίνακας 8.7. Συντελεστής τύπου στήριξης N<sub>f</sub>

Άλλη μία παράμετρος που πρέπει να ελεγχθεί είναι η κρίσιμη ταχύτητα. Με τον όρο κρίσιμη ταχύτητα εννοούμε την περιστροφική συχνότητα του κοχλία όταν γίνεται ίση με την πρώτη ιδιοσυχνότητα του. Στην περίπτωση αυτή εμφανίζεται το φαινόμενο του συντονισμού το οποίο προκαλεί ισχυρή ταλάντωση στον άξονα. Η κρίσιμη ταχύτητα του κοχλία Ball Screw υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση :

$$n_c = 2,71 * 10^8 * \frac{M_f * d_r}{L_t^2} \quad (12)$$

n<sub>c</sub> : Κρίσιμη ταχύτητα σε [rpm].

M<sub>f</sub> : Συντελεστής τύπου στήριξης.

d<sub>r</sub> : Εσωτερική διάμετρος κοχλία σε [mm].

$L_t$  : Απόσταση μεταξύ στηρίξεων σε [mm].

Τύπος στήριξης	$M_f$
Σταθερή – Σταθερή	1,0
Σταθερή – Υποστήριξη	0,689
Υποστήριξη – Υποστήριξη	0,441
Σταθερή - Ελεύθερη	0,157

Πίνακας 8.8. Συντελεστής τύπου στήριξης  $M_f$

Ένας άλλος τρόπος να υπολογίσουμε το κρίσιμο φορτίο λυγισμού και την κρίσιμη ταχύτητα για διαφορετικές διαμέτρους Ball Screw και μεθόδους στήριξης, είναι χρησιμοποιώντας τα γραφήματα Α και Β της Εικόνας 8.2.

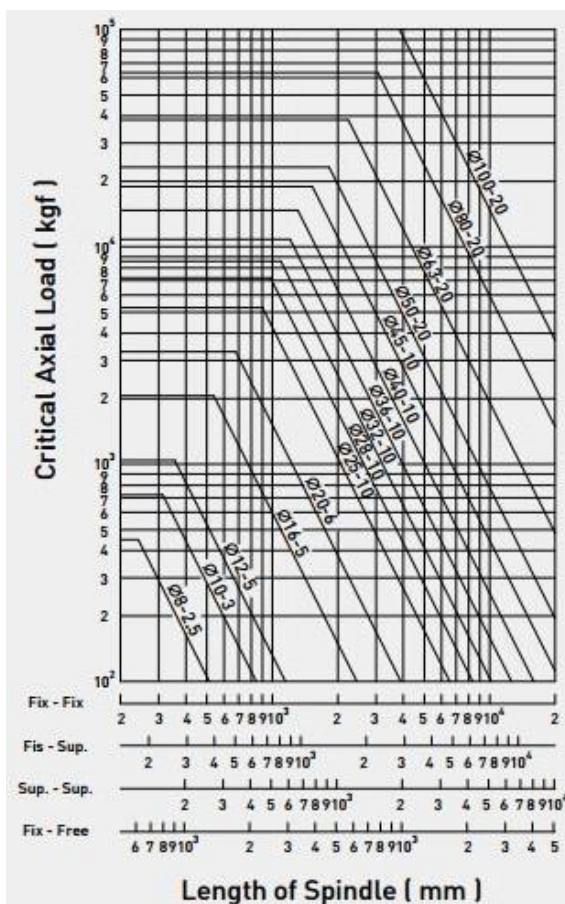


Fig 4.25 Shows the buckling load for different screw spindle diameter and length

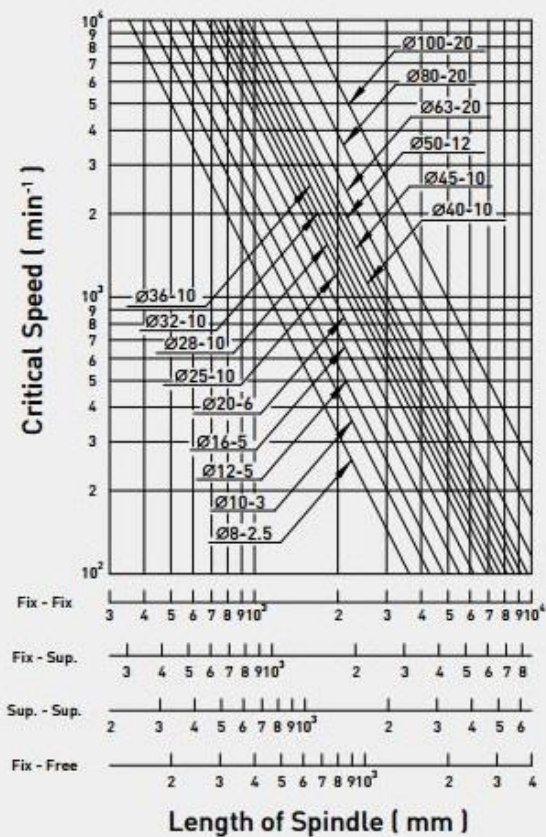


Fig 4.26 shows the critical speed for different screw spindle diameter and length

Εικόνα 8.2. Α (αριστερά): Κρίσιμο φορτίο λυγισμού.  
Β (δεξιά): Κρίσιμη ταχύτητα.

## Υπολογισμοί Ball Screw αξόνων

Οι υπολογισμοί για κάθε Ball Screw άξονα θα γίνουν και για τα δύο υλικά. Για λόγους περιπλοκότητας υπολογισμών, υποθέτουμε δύναμη τριβής  $F_g = 10$  [N] σε κάθε γραμμικό έδρανο κύλισης η οποία περιλαμβάνει οποιαδήποτε στατική ή κινητική τριβή.

Η συχνότητα περιστροφής του κοχλία Ball Screw 1605 που αποδίδει την απαιτούμενη ταχύτητα πρόωσης στον κάθε άξονα κατεργασίας δίνεται από τη σχέση:

$$n = \frac{S}{l} \quad (13)$$

$n$  : Συχνότητα περιστροφής σε [rpm].

$S$  : Ταχύτητα πρόωσης σε [m/min].

$l$  : Βήμα Ball Screw σε [m].

Από τη σχέση (13) υπολογίζονται:

### Η συχνότητα περιστροφής σε γρήγορη πρόωση

Ορίζουμε γρήγορη πρόωση χωρίς κοπή  $S_r = 10$  [m/min]

$$n_r = \frac{10}{0,005} \Rightarrow n_r = 2000 \text{ [rpm]}$$

### Η συχνότητα περιστροφής σε πρόωση κοπής αλουμινίου AISI 6061-O

$$n_{al} = \frac{1,396}{0,005} \Rightarrow n_{al} = 279 \text{ [rpm]}$$

### Η συχνότητα περιστροφής σε πρόωση κοπής χάλυβα AISI 1060

$$n_{st} = \frac{0,539}{0,005} \Rightarrow n_{st} = 108 \text{ [rpm]}$$

<b>Κατεργασία αλουμινίου AISI 6061-O</b>		
	Συχνότητα Περιστροφής [rpm]	Χρόνος % στην συχνότητα
Γρήγορη πρόωση	2000	20 %
Πρόωση κοπής	279	80 %
<b>Κατεργασία Χάλυβα AISI 1060</b>		
	Συχνότητα Περιστροφής [rpm]	Χρόνος % στην συχνότητα
Γρήγορη πρόωση	2000	20 %
Πρόωση κοπής	108	80 %



## Ball Screw Άξονα Y

Για κατεργασία αλουμινίου:

$$n_{av\_al} = 2000 * \frac{20}{100} + 279 * \frac{80}{100} \Rightarrow n_{av\_al} = 623 \text{ [rpm]}$$

$$F_{bm\_al} = \sqrt[3]{(4 * 10)^3 * 1,2^3 * \frac{20}{100} * \frac{2000}{623} + (70,05 + 4 * 10)^3 * 1,5^3 * \frac{80}{100} * \frac{279}{623}} \Rightarrow$$

$$F_{bm\_al} = 119 \text{ [N]}$$

Για κατεργασία χάλυβα:

$$n_{av\_st} = 2000 * \frac{20}{100} + 108 * \frac{80}{100} \Rightarrow n_{av\_st} = 486 \text{ [rpm]}$$

$$F_{bm\_st} = \sqrt[3]{(4 * 10)^3 * 1,2^3 * \frac{20}{100} * \frac{2000}{486} + (122,63 + 4 * 10)^3 * 1,5^3 * \frac{80}{100} * \frac{108}{486}} \Rightarrow$$

$$F_{bm\_st} = 139 \text{ [N]}$$

Διάρκεια ζωής:

Για να υπολογίσουμε τη διάρκεια ζωής του Ball Screw υπό αυτές τις συνθήκες θα υποθέσουμε κατανομή χρόνου για κατεργασίες αλουμινίου και χάλυβα 50%-50%. Έτσι ως μέση συχνότητα περιστροφής και ως μέσο φορτίο λειτουργίας θα λάβουμε τη μέση τιμή από αυτές που υπολογίσαμε για τα δύο υλικά.

$$n_{av\_eq} = \frac{623 + 486}{2} \Rightarrow n_{av\_eq} = 554,5 \text{ [rpm]}$$

$$F_{bm\_eq} = \frac{119 + 139}{2} \Rightarrow F_{bm\_eq} = 129 \text{ [N]}$$

Η διάρκεια ζωής του Ball Screw δίνεται από τη σχέση (9). Για τον υπολογισμό της χρειάζεται να ξέρουμε την τάξη δυναμικού φορτίου (dynamic load rating). Η τάξη δυναμικού φορτίου ορίζεται ως το μέγιστο σταθερό φορτίο που έχει ως αποτέλεσμα διάρκεια ζωής του Ball Screw  $10^6$  περιστροφές. Η τάξη δυναμικού φορτίου λαμβάνεται από τους καταλόγους Ball Screw της εταιρίας Hiwin «<http://www.hiwin.com/pdf/ballscrews.pdf>» για Ball Screw 1605.

$$C = 763 \text{ [kgf]} \Rightarrow C = 7485,03 \text{ [N]}$$

$$L = \left(\frac{7485,03}{129}\right)^3 * 10^6 \Rightarrow L = 195349 * 10^6 \text{ [rpm]}$$

Από τη σχέση (10) έχουμε:

$$L_h = \frac{195349 * 10^6}{554,5 * 60} \Rightarrow L_h = 5,87 * 10^6 \text{ [hours]}$$

Από τους υπολογισμούς βλέπουμε ότι ο κοχλίας Ball Screw που επιλέξαμε ικανοποιεί το κριτήριο της μεγάλης διάρκειας ζωής.

### **Ball Screw Άξονα Χ**

Για κατεργασία αλουμινίου:

$$n_{av\_al} = 2000 * \frac{20}{100} + 279 * \frac{80}{100} \Rightarrow n_{av\_al} = 623 \text{ [rpm]}$$

$$F_{bm\_al} = \sqrt[3]{(2 * 10)^3 * 1,2^3 * \frac{20}{100} * \frac{2000}{623} + (70,05 + 2 * 10)^3 * 1,5^3 * \frac{80}{100} * \frac{279}{623}} \Rightarrow$$

$$F_{bm\_al} = 96 \text{ [N]}$$

Για κατεργασία χάλυβα:

$$n_{av\_st} = 2000 * \frac{20}{100} + 108 * \frac{80}{100} \Rightarrow n_{av\_st} = 486 \text{ [rpm]}$$

$$F_{bm\_st} = \sqrt[3]{(2 * 10)^3 * 1,2^3 * \frac{20}{100} * \frac{2000}{486} + (122,63 + 2 * 10)^3 * 1,5^3 * \frac{80}{100} * \frac{108}{486}} \Rightarrow$$

$$F_{bm\_st} = 121 \text{ [N]}$$

Διάρκεια ζωής:

Για να υπολογίσουμε τη διάρκεια ζωής του Ball Screw υπό αυτές τις συνθήκες θα υποθέσουμε κατανομή χρόνου για κατεργασίες αλουμινίου και χάλυβα 50%-50%. Έτσι ως μέση συχνότητα περιστροφής και ως μέσο φορτίο λειτουργίας θα λάβουμε τη μέση τιμή από αυτές που υπολογίσαμε για τα δύο υλικά.

$$n_{av\_eq} = \frac{623 + 486}{2} \Rightarrow n_{av\_eq} = 554,5 \text{ [rpm]}$$

$$F_{bm\_eq} = \frac{96 + 121}{2} \Rightarrow F_{bm\_eq} = 108,5 \text{ [N]}$$

$$C = 763 \text{ [kgf]} \Rightarrow C = 7485,03 \text{ [N]}$$

$$L = \left(\frac{7485,03}{108,5}\right)^3 * 10^6 \Rightarrow L = 328315 * 10^6 \text{ [rpm]}$$

Από τη σχέση (10) έχουμε:

$$L_h = \frac{328315 * 10^6}{554,5 * 60} \Rightarrow L_h = 9,87 * 10^6 \text{ [hours]}$$

Από τους υπολογισμούς βλέπουμε ότι ο κοχλίας Ball Screw που επιλέξαμε ικανοποιεί το κριτήριο της μεγάλης διάρκειας ζωής.

### **Ball Screw Άξονα Z**

Η ιδιαιτερότητα του άξονα Z είναι ότι εκτός από τη δύναμη κοπής και τις δυνάμεις τριβών φέρει και το φορτίο του βάρους των στοιχείων του, το οποίο στην περίπτωση της γρήγορης πρόωσης αντιστέκεται στην κίνηση ενώ στην περίπτωση της κοπής τη διευκολύνει. Το συνολικό βάρος στις ράγες του άξονα Z που υπολογίστηκε είναι:

$$W_z = 7,832 \text{ [kgf]} \Rightarrow W_z = 76,8 \text{ [N]}$$

Για κατεργασία αλουμινίου:

$$n_{av\_al} = 2000 * \frac{20}{100} + 279 * \frac{80}{100} \Rightarrow n_{av\_al} = 623 \text{ [rpm]}$$

$$F_{bm\_al} = \sqrt[3]{(76,8 + 2 * 10)^3 * 1,2^3 * \frac{20}{100} * \frac{2000}{623} + (70,05 + 2 * 10 - 76,8)^3 * 1,5^3 * \frac{80}{100} * \frac{279}{623}}$$

$$F_{bm\_al} = 100 \text{ [N]}$$

Για κατεργασία χάλυβα:

$$n_{av\_st} = 2000 * \frac{20}{100} + 108 * \frac{80}{100} \Rightarrow n_{av\_st} = 486 \text{ [rpm]}$$

$$F_{bm\_st} = \sqrt[3]{(76,8 + 2 * 10)^3 * 1,2^3 * \frac{20}{100} * \frac{2000}{486} + (122,63 + 2 * 10 - 76,8)^3 * 1,5^3 * \frac{80}{100} * \frac{108}{486}}$$

$$F_{bm\_st} = 113 \text{ [N]}$$

### Διάρκεια ζωής:

Για να υπολογίσουμε τη διάρκεια ζωής του Ball Screw υπό αυτές τις συνθήκες θα υποθέσουμε κατανομή χρόνου για κατεργασίες αλουμινίου και χάλυβα 50%-50%. Έτσι ως μέση συχνότητα περιστροφής και ως μέσο φορτίο λειτουργείας θα λάβουμε τη μέση τιμή από αυτές που υπολογίσαμε για τα δύο υλικά.

$$n_{av\_eq} = \frac{623 + 486}{2} \Rightarrow n_{av\_eq} = 554,5 \text{ [rpm]}$$

$$F_{bm\_eq} = \frac{100 + 113}{2} \Rightarrow F_{bm\_eq} = 106,5 \text{ [N]}$$

$$C = 763 \text{ [kgf]} \Rightarrow C = 7485,03 \text{ [N]}$$

$$L = \left(\frac{7485,03}{106,5}\right)^3 * 10^6 \Rightarrow L = 347161 * 10^6 \text{ [rpm]}$$

Από τη σχέση (10) έχουμε:

$$L_h = \frac{347161 * 10^6}{554,5 * 60} \Rightarrow L_h = 10,4 * 10^6 \text{ [hours]}$$

Από τους υπολογισμούς βλέπουμε ότι ο κοχλίας Ball Screw που επιλέξαμε ικανοποιεί το κριτήριο της μεγάλης διάρκειας ζωής.

### Έλεγχος κρίσιμου φορτίου λυγισμού και κρίσιμης ταχύτητας

Ο έλεγχος κρίσιμου φορτίου λυγισμού και κρίσιμης ταχύτητας θα γίνει στο Ball Screw του άξονα Υ, λόγω του ότι έχει το μεγαλύτερο ελεύθερο μήκος και θα είναι το πρώτο στο οποίο θα εμφανιστούν τα δύο αυτά φαινόμενα.

$$L_{t,y} = 692 \text{ [mm]}$$

Η εσωτερική διάμετρος του κοχλία λαμβάνεται από τους καταλόγους Ball Screw της εταιρίας Hiwin για το Ball Screw 1605:

$$d_r = 13,324 \text{ [mm]}$$

$$F_k = 399463 * \left( \frac{1 * 13,324^4}{692^2} \right) \Rightarrow F_k = 26291 \text{ [N]}$$

$$n_c = 2,71 * 10^8 * \frac{1 * 13,324}{692^2} \Rightarrow n_c = 7540 \text{ [rpm]}$$

Σαν μέγιστη επιτρεπόμενη συχνότητα περιστροφής θέτουμε:

$$n_p = 0,8 * n_c \Rightarrow \mathbf{n_p = 6032 \text{ [rpm]}}$$

Ο έλεγχος της κρίσιμης ταχύτητας μας δείχνει ότι η μέγιστη επιτρεπτή πρόωση για την εργαλειομηχανή θα είναι:

$$\mathbf{S_{max} = 30 \text{ [m/min]} = 3 * S_r}$$

Βάσει των παραπάνω ελέγχων, κρίνουμε ότι τα Ball Screw 1605 που επιλέξαμε ικανοποιούν όλες τις προδιαγραφές με τις οποίες σχεδιάστηκε η εργαλειομηχανή.

## 8.6. ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Η επιλογή των βηματικών κινητήρων θα γίνει με βασικό κριτήριο τη ροπή που αποδίδουν. Λόγω της κατασκευής τους και της αρχής λειτουργίας τους οι βηματικοί κινητήρες αποδίδουν πολύ υψηλή ροπή σε χαμηλές στροφές η οποία μειώνεται σημαντικά όσο αυξάνονται οι στροφές. Ο παράγοντας αυτός θα πρέπει να συμπεριληφθεί στους υπολογισμούς ώστε να γίνει σωστή επιλογή κινητήρων.

### Εξισώσεις Υπολογισμού

Η απαιτούμενη ροπή για τη γραμμική κίνηση με σταθερή ταχύτητα δίνεται από τη σχέση:

$$T_a = \frac{F_{bm} * l}{2 * \pi * e} \quad (14)$$

$T_a$  : Ροπή ομαλής κίνησης σε [Nm]

$F_{bm}$  : Μέσο φορτίο λειτουργίας σε [N].

$l$  : Βήμα Ball Screw σε [m].

$e$  : Βαθμός απόδοσης Ball Screw.

Για επιταχυνόμενη κίνηση πρέπει να υπολογιστεί και η ροπή που απαιτείται για να υπερνικηθεί η αδράνεια του συστήματος, η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$T'_a = J * a \quad (15)$$

$T'_a$  : Ροπή για την επιτάχυνση σε [Nm].

J : Αδράνεια του συστήματος σε [Nm\*sec<sup>2</sup>]

a : Γωνιακή επιτάχυνση σε [rad/sec<sup>2</sup>]

Η αδράνεια του συστήματος δίνεται από τη σχέση:

$$J = J_M + J_B + J_W \quad (16)$$

J<sub>M</sub> : Αδράνεια κινητήρα σε [Nm\*sec<sup>2</sup>]. Δίνεται στα χαρακτηριστικά του κάθε κινητήρα.

J<sub>B</sub> : Αδράνεια Ball Screw σε [Nm\*sec<sup>2</sup>].

J<sub>W</sub> : Αδράνεια μάζας εργαλειομηχανής σε [Nm\*sec<sup>2</sup>].

$$J_B = \frac{W_B * D_N^2}{8 * g} \quad (17)$$

W<sub>B</sub> : Βάρος του κοχλία Ball Screw σε [N].

D<sub>N</sub> : Εξωτερική διάμετρος Ball Screw σε [m].

g : Επιτάχυνση της βαρύτητας σε [m/sec<sup>2</sup>]

$$J_W = \frac{W}{g} * \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \quad (18)$$

W : Βάρος κινούμενων στοιχείων σε [N].

Η γωνιακή επιτάχυνση δίνεται από τη σχέση:

$$a = \frac{2 * \pi * (n_2 - n_1)}{60 * t_a} \quad (19)$$

n<sub>1</sub> : Αρχική συχνότητα περιστροφής σε [rpm].

n<sub>2</sub> : Τελική συχνότητα περιστροφής σε [rpm].

t<sub>a</sub> : Χρόνος επιτάχυνσης σε [sec].

Η συνολική ροπή που απαιτείται από τον κινητήρα είναι:

$$T_M = T_a + T'_a \quad (20)$$

T<sub>M</sub> : Συνολική ροπή λειτουργείας σε [Nm].

### **Υπολογισμός ροπής κινητήρων**

Ο υπολογισμός της ροπής θα γίνει για τον κινητήρα του άξονα Y, ο οποίος φέρει το μεγαλύτερο φορτίου βάρους και δυνάμεων. Για τον υπολογισμό επίσης θα θεωρηθεί κοπή χάλυβα σε όλη τη διάρκεια της κίνησης. Για λόγους μελέτης και υπολογισμών έγινε μία αρχική εκτίμηση του βηματικού κινητήρα που ταιριάζει στην εφαρμογή, η ορθότητα της οποίας θα κριθεί από τη μελέτη. Τα χαρακτηριστικά του κινητήρα φαίνονται στον Πίνακα 8.9.

Model	Step Angle [°]	Motor Length [mm]	Rate Voltage [V]	Rate Current [A]	Phase Resistance [Ω]	Phase Inductance [mH]	Holding Torque [oz-in]	Lead Wire	Rotor Inertia [g*cm <sup>2</sup> ]	Detent Torque [g*cm]	Motor Weight [kg]
Nema 23	1,8	115	6,3	3	2,1	9	425	4	810	890	1,55

Πίνακας 8.9. Χαρακτηριστικά βηματικού κινητήρα.

Για τις συνθήκες αυτές υπολογίζουμε ο μέσο φορτίο λειτουργείας από τη σχέση (8).

$$F_{bm} = \sqrt[3]{(122,63 + 4 * 10)^3 * 1,5^3} \Rightarrow F_{bm} = 243,95 \text{ [N]}$$

Θεωρώντας βαθμό απόδοσης του Ball Screw  $e = 0,8$  υπολογίζουμε την απαιτούμενη ροπή για γραμμική κίνηση με σταθερή ταχύτητα.

$$T_a = \frac{243,95 * 0,005}{2 * \pi * 0,8} \Rightarrow T_a = 0,242 \text{ [Nm]}$$

Η αδράνεια του κινητήρα δίνεται από τον κατασκευαστή.

$$J_M = 810 \text{ [g * cm}^2] \Rightarrow J_M = 8,1 * 10^{-5} \text{ [Nm * sec}^2]$$

Το βάρος στις ράγες του άξονα Y και του βάρους του Ball Screw έχουν υπολογιστεί :

$$W = 226,18 \text{ [N]}$$

$$W_B = 10,87 \text{ [N]}$$

$$J_B = \frac{10,87 * 0,016^2}{8 * 9,81} \Rightarrow J_B = 3,55 * 10^{-5} \text{ [Nm * sec}^2]$$

$$J_W = \frac{226,18}{9,81} * \left(\frac{0,005}{2\pi}\right)^2 \Rightarrow J_W = 1,46 * 10^{-5} \text{ [Nm * sec}^2]$$

$$J = (8,1 + 3,55 + 1,46) * 10^{-5} \Rightarrow J = 1,31 * 10^{-4} \text{ [Nm * sec}^2]$$

Θεωρώντας χρόνο επιτάχυνσης  $t_a = 0,5 \text{ [sec]}$  υπολογίζουμε τη γωνιακή επιτάχυνση.

$$a = \frac{2 * \pi * (108 - 0)}{60 * 0,5} \Rightarrow a = 22,62 \text{ [rad/sec}^2]$$

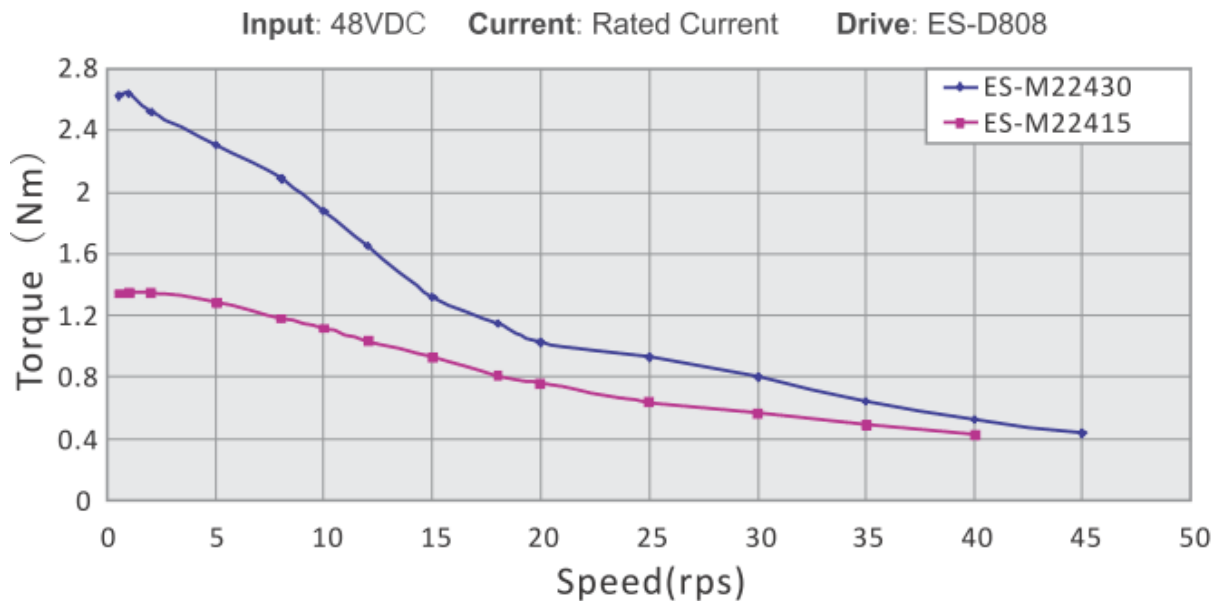
$$T'_a = 1,31 * 10^{-4} * 22,62 \Rightarrow T'_a = 2,96 * 10^{-3} \text{ [Nm]}$$

$$T_M = 0,242 + 2,96 * 10^{-3} \Rightarrow T_M = 0,245 \text{ [Nm]}$$

Θεωρώντας συντελεστή ασφαλείας  $FS = 2$ , έχουμε:

$$T_{\max} = 2 * T_M \Rightarrow T_{\max} = \mathbf{0,490 \text{ [Nm]}}$$

Στους βηματικούς κινητήρες η ονομαστική ροπή δίνεται στο ξεκίνημα του κινητήρα, και όσο αυξάνονται οι στροφές η ροπή μειώνεται. Αυτό φαίνεται καθαρά στο διάγραμμα ροπής – συχνότητας περιστροφής που παρατίθεται παρακάτω.



Διάγραμμα 8.1. Καμπύλες ροπής βηματικών κινητήρων.

Με βάση τα κριτήρια αυτά αποφασίζουμε ότι η επιλογή βηματικού κινητήρα που έγινε νωρίτερα καλύπτει τις απαιτήσεις αυτής της εφαρμογής.



# 9. ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΥΠΟΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ SOLIDWORKS SIMULATION

## 9.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την στατική ανάλυση της εργαλειομηχανής θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό Solidworks Simulation. Το Solidworks Simulation είναι ένα υποπρόγραμμα του σχεδιαστικού προγράμματος Solidworks. Πρόκειται για ένα εργαλείο ανάλυσης σχεδιασμού που βασίζεται στην αριθμητική τεχνική γνωστή ως «Μέθοδο Πεπερασμένων Στοιχείων» (Finite Element Analysis ή FEA).

Σε μαθηματικούς όρους, η Μέθοδος Πεπερασμένων Στοιχείων είναι μια αριθμητική μέθοδος επίλυσης τεχνικών προβλημάτων που περιγράφονται από μια σειρά μερικών διαφορικών εξισώσεων. Τέτοιοι τύποι προβλημάτων αντιμετωπίζονται συχνά σε πολλούς μηχανικούς τομείς, όπως στην ανάλυση μηχανών, ακουστικής, ηλεκτρομαγνητισμού και ρευστοδυναμικής. Στον τομέα της μηχανολογίας η μέθοδος FEA χρησιμοποιείται ευρέως για την δομική, ταλαντωτική και θερμική ανάλυση μηχανολογικών κατασκευών.

Η μέθοδος FEA δεν είναι το μόνο διαθέσιμο εργαλείο που έχουμε για αριθμητική ανάλυση. Άλλες αριθμητικοί μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στον τομέα της μηχανικής είναι η «Μέθοδος Πεπερασμένων Διαφορών» (Finite Difference Method), η «Μέθοδος Συνοριακών Στοιχείων» (Boundary Elements Method) και η «Μέθοδος Πεπερασμένων Όγκων» (Finite Volumes Method). Παρά τον ανταγωνισμό, λόγω της ευστροφίας και της υψηλής αριθμητικής αποτελεσματικότητας η μέθοδος FEA έχει κυριαρχήσει στην αγορά λογισμικού για μηχανική ανάλυση.

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο FEA μπορούμε να αναλύσουμε εξαρτήματα και κατασκευές οποιουδήποτε σχήματος, να χρησιμοποιήσουμε ποικίλους τρόπους εξιδανίκευσης γεωμετρίας και να παράγουμε αποτελέσματα με την επιθυμητή ακρίβεια. Όταν η μέθοδος FEA ενσωματώνετε σε ένα σύγχρονο λογισμικό όπως το Solidworks Simulation η διατύπωση των αριθμητικών προβλημάτων και η επίλυση τους είναι εντελώς αόρατα για τον χρήστη.

Για να εφαρμοστεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων τα θεμελιώδη βήματα είναι πάντα τα ίδια, ανεξάρτητα από τον τύπο και την περιπλοκότητα του προβλήματος.

## 1. Προετοιμασία γεωμετρικού μοντέλου

Το αρχικό σημείο κάθε ανάλυσης είναι το γεωμετρικό μοντέλο, το οποίο στην περίπτωση μας είναι η συναρμογή των στοιχείων της εργαλειομηχανής που έχουμε σχεδιάσει στο πρόγραμμα Solidworks. Για να είναι δυνατή η ανάλυση αυτού του μοντέλου πρέπει να εξασφαλιστεί ότι μπορεί να δημιουργηθεί πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων και το πλέγμα αυτό να αποδίδει σωστές λύσεις για τα δεδομένα που μας ενδιαφέρουν, δηλαδή την τάση, την παραμόρφωση και τη μετατόπιση. Συχνά κατά τη μοντελοποίηση, η δημιουργία σωστού πλέγματος απαιτεί να γίνουν τροποποιήσεις στη γεωμετρία του σχεδίου CAD. Οι τροποποιήσεις αυτές είναι οι εξής.

### i. Απλοποίηση γεωμετρικών χαρακτηριστικών

Με τον όρο αυτό εννοούμε την καταστολή ή την αφαίρεση γεωμετρικών χαρακτηριστικών που κρίνονται ασήμαντα για την ανάλυση, όπως η καμπυλότητα σε μία ακμή, τα λογότυπα κ.α.

### ii. Εξιδανίκευση

Η εξιδανίκευση είναι μία πιο επιθετική μορφή τροποποίησης και περιλαμβάνει αλλαγές στη γεωμετρία του μοντέλου όπως, για παράδειγμα, την αντικατάσταση λεπτών τοίχων με δισδιάστατες επιφάνειες.

## 2. Προεπεξεργασία

Αφού κρίνουμε ότι το υπό ανάλυση μοντέλο είναι έτοιμο για τη δημιουργία πλέγματος, ορίζουμε τον τύπο της ανάλυσης που θέλουμε κάνουμε, τις ιδιότητες των υλικών από τα οποία αποτελείται η υπό ανάλυση κατασκευή, καθώς επίσης θέτουμε και τις απαραίτητες συνοριακές συνθήκες του προβλήματος (δυνάμεις, στηρίξεις). Στο τέλος της προεπεξεργασίας δημιουργείται το πλέγμα και κατανέμονται οι κόμβοι ώστε να έχουμε την γένεση των πεπερασμένων στοιχείων.

## 3. Επίλυση

Στο στάδιο αυτό γίνεται η επίλυση των εξισώσεων του πεδίου των πεπερασμένων στοιχείων μέσω του προγράμματος.

## 4. Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Το τελευταίο στάδιο είναι η ανάλυση των αποτελεσμάτων της επίλυσης του προβλήματος. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται με χρωματικό κώδικα πάνω στο μοντέλο και με τη χρήση διαγραμμάτων, από τα οποία ο μελετητής μπορεί να λάβει

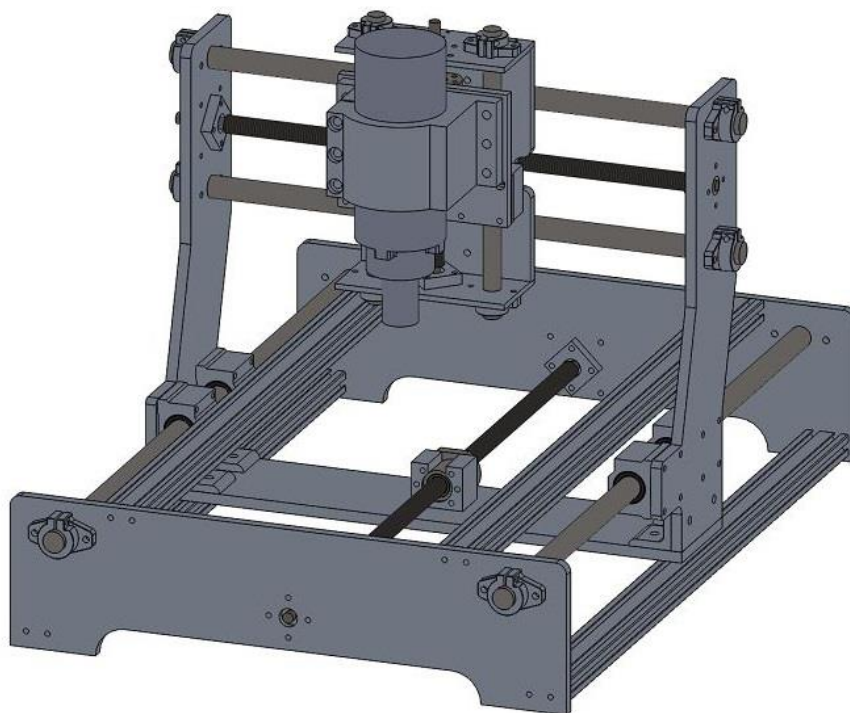
όλες τις πληροφορίες που χρειάζεται για τη συμπεριφορά του μοντέλου με την εφαρμογή των καθορισμένων συνθηκών. Στο στάδιο αυτό ο μελετητής πρέπει να λάβει υπόψιν του στα αποτελέσματα και τυχών υποθέσεις ή απλοποιήσεις που μπορεί να έγιναν στα τρία πρώτα βήματα, τα οποία μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια της επίλυσης.

Σημαντικό στοιχείο των βημάτων που ακολουθούνται για την ανάλυση του μοντέλου της κατασκευής είναι η δημιουργία του πλέγματος. Για την διευκόλυνση αυτού του σταδίου, σήμερα όλα τα λογισμικά συστήματα προσφέρουν δυνατότητες αυτόματης γένεσης πλέγματος. Το Solidworks Simulation χρησιμοποιεί πλέγμα τετραεδρικών στοιχείων για στερεή γεωμετρία και τριγωνικά στοιχεία για επιφάνεια στο χώρο. Για την ανάλυση της κατασκευής μας χρησιμοποιείται πλέγμα που δημιουργείται αυτόματα με την μεγαλύτερη δυνατή πυκνότητα που προσφέρει στο χρήστη το λογισμικό αυτό.

## 9.2. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Το πρώτο βήμα που κάνουμε πριν την ανάλυση είναι να αφαιρέσουμε από την κατασκευή τα στοιχεία που δεν επηρεάζουν την επίλυση της κατασκευής και να εξιδανικεύσουμε τα στοιχεία που έχουν περίπλοκη γεωμετρία.

Το γεωμετρικό μοντέλο που προκύπτει έπειτα από της ενέργειες αυτές είναι το εξής.



Εικόνα 9.1. Γεωμετρικό μοντέλο ανάλυσης.

Συγκεκριμένα:

- i. Τα ρουλεμάν των αξόνων αντικαταστάθηκαν με κυλινδρικά τεμάχια ίδιων διαστάσεων.
- ii. Ο κινητήρας της ατράκτου κοπής αντικαταστάθηκε με ενιαίο τεμάχιο ίδιων διαστάσεων.
- iii. Όλα τα περιττά προς την ανάλυση τεμάχια αφαιρέθηκαν.

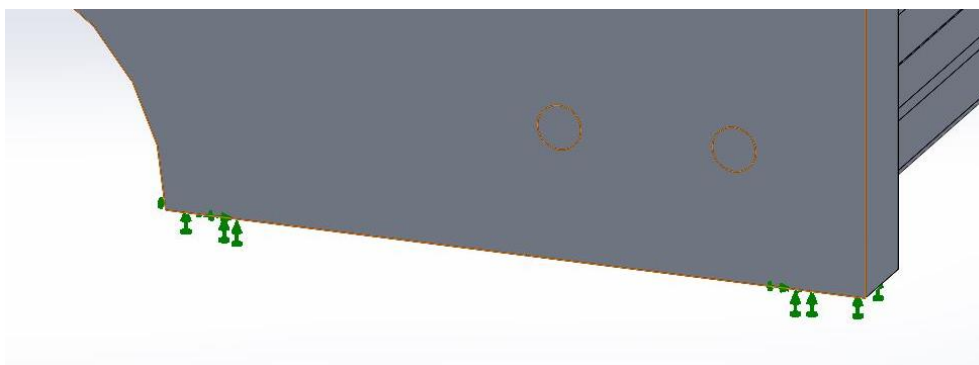
Το δεύτερο βήμα είναι να ορίσουμε τα υλικά από τα οποία αποτελούνται τα τεμάχια της κατασκευής. Τα υλικά που επιλέχθηκαν είναι:

<b>Χάλυβας AISI 4340</b>		
Μέτρο Ελαστικότητας	Όριο διαρροής	Όριο αντοχής σε εφελκυσμό
205 GPa	470 MPa	745 MPa

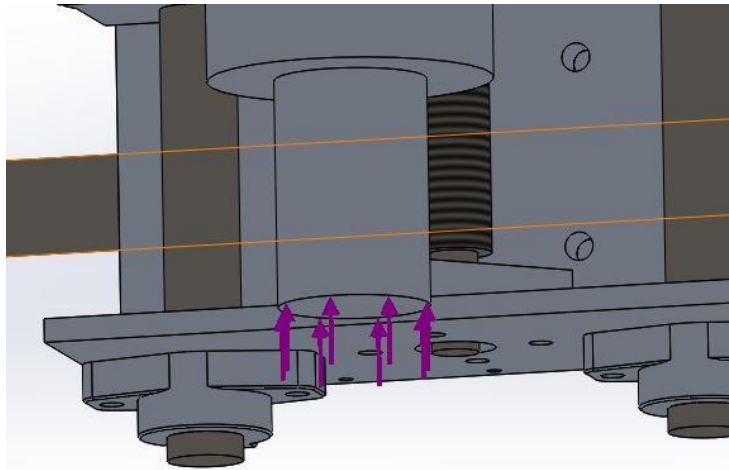
<b>Ανοξείδωτος Χάλυβας AISI 304</b>		
Μέτρο Ελαστικότητας	Όριο διαρροής	Όριο αντοχής σε εφελκυσμό
190 GPa	206 MPa	517 MPa

<b>Αλουμίνιο AISI 6061</b>		
Μέτρο Ελαστικότητας	Όριο διαρροής	Όριο αντοχής σε εφελκυσμό
69 GPa	55 MPa	124 MPa

Το τρίτο βήμα της προετοιμασίας είναι να ορίσουμε τις συνδέσεις των επιμέρους τεμαχίων, να θέσουμε τις απαιτούμενες φορτίσεις και αντιδράσεις του μοντέλου.

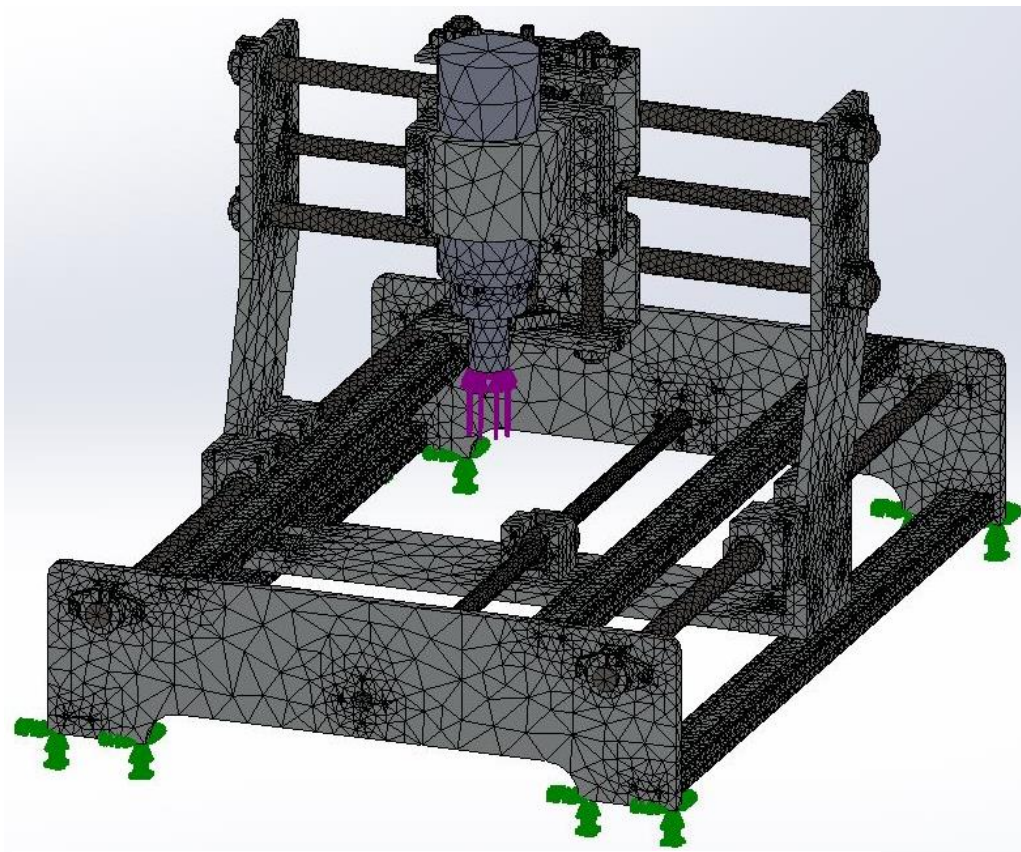


Εικόνα 9.2. Πάκτωση στο πόδι της βάσης.



Εικόνα 9.3. Παράδειγμα φόρτισης κατά τη φορά του κάθετου άξονα.

Στο σημείο αυτό επιλέγεται η δημιουργία του πλέγματος των πεπερασμένων στοιχείων για το μοντέλο μας. Στη λειτουργία αυτή επιλέγεται ο αυτόματος έλεγχος θέτοντας υψηλή πυκνότητα πλέγματος για πιο προσεγγιστικά αποτελέσματα στις πραγματικές συνθήκες. Στην Εικόνα 9.4 παρατηρούμε την δημιουργία του πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων στις διάφορες περιοχές της εργαλειομηχανής καθώς και τα χαρακτηριστικά αυτού. Όπως διακρίνεται το πλέγμα είναι αρκετά πυκνό στον κάθετο άξονα της μηχανής, στις οπές, τα γραμμικά ρουλεμάν και τα περιστρεφόμενα στοιχεία.

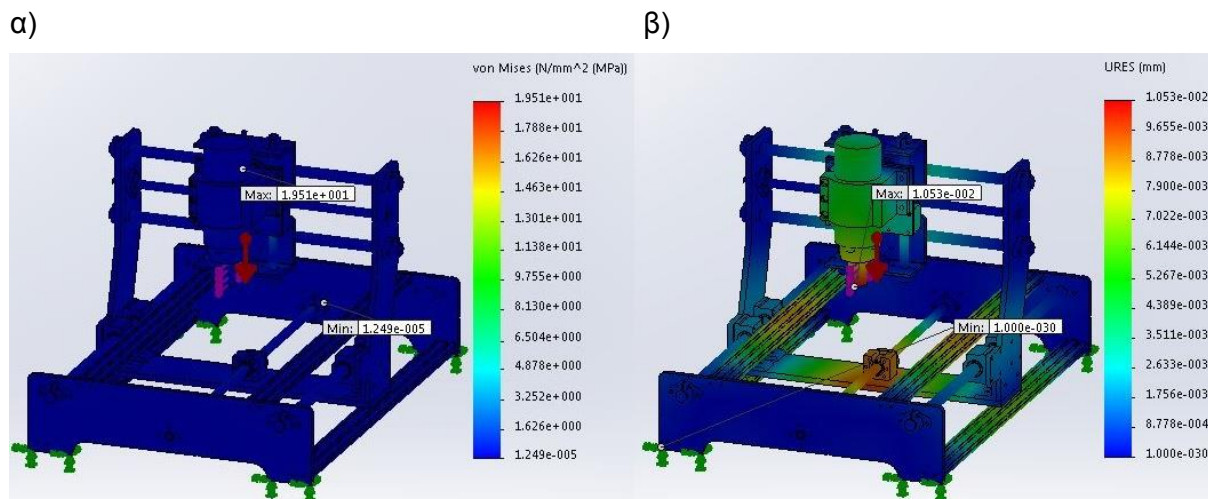


Εικόνα 9.4. Πλέγμα πεπερασμένων στοιχείων.

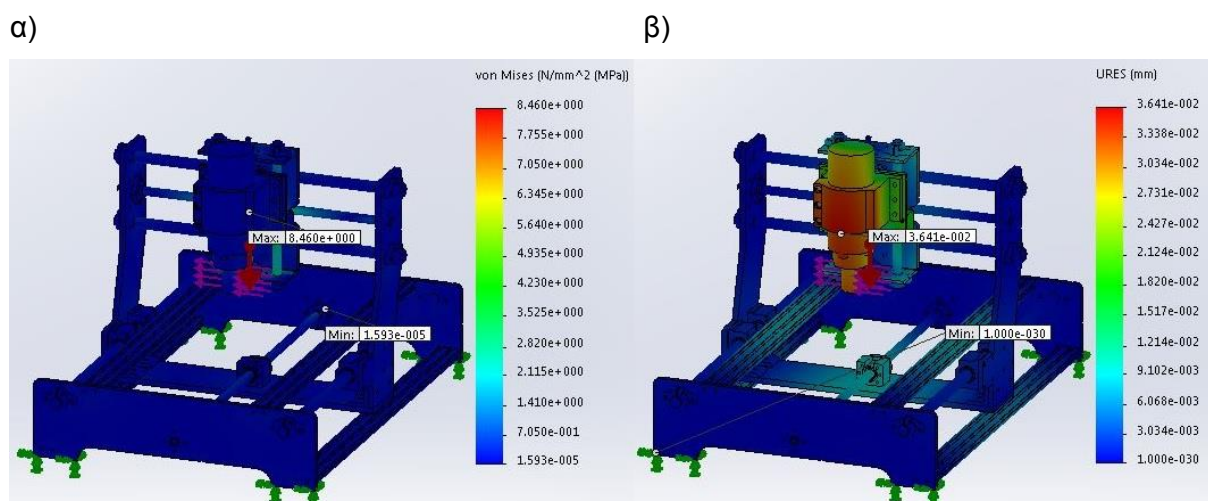


### 9.3. ΣΤΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Αφού επιλέχθηκε η ποιότητα του πλέγματος που ικανοποιεί τα χαρακτηριστικά της κατασκευής το πρόγραμμα επιλύει τις εξισώσεις του πεδίου των πεπερασμένων και εμφανίζει τα αποτελέσματα. Στις Εικόνες 9.5 έως 9.8 εμφανίζονται τα αποτελέσματα που εξήγαγε το πρόγραμμα ανάλυσης, με χρήση περιγραμμάτων τάσης von Mises και συσταταμένης μετατόπισης.

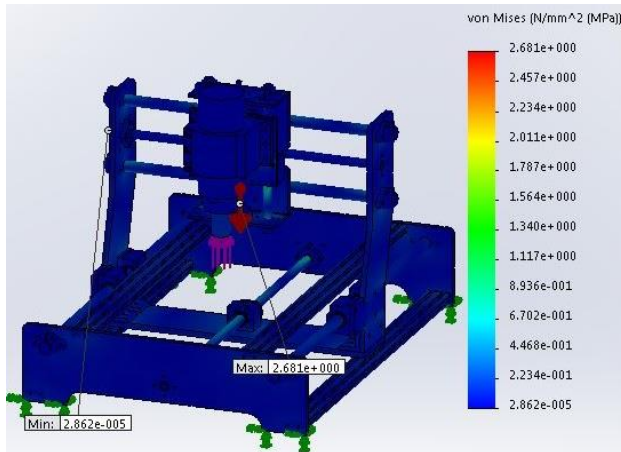


Εικόνα 9.5. Φόρτιση στον εγκάρσιο άξονα. α) Περιγράμμα τάσης von Mises. β) Περιγράμμα συσταταμένης μετατόπισης.

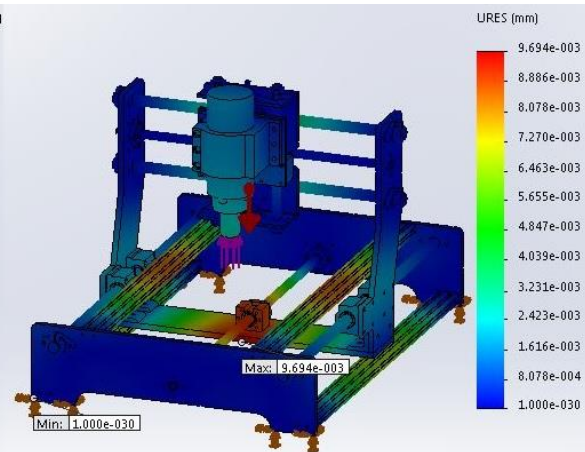


Εικόνα 9.6. Φόρτιση στον διαμήκη άξονα. α) Περιγράμμα τάσης von Mises. β) Περιγράμμα συσταταμένης μετατόπισης.

α)

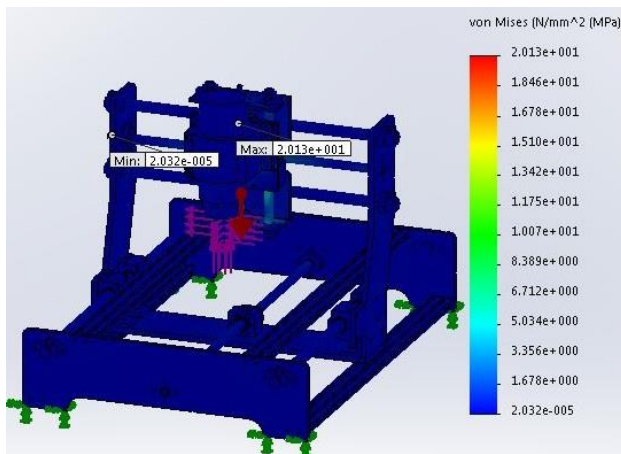


β)

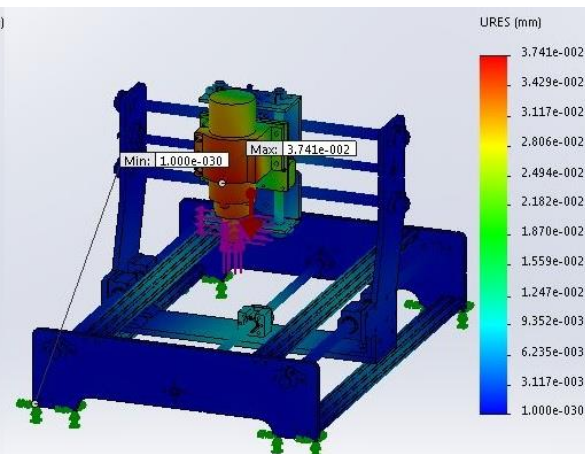


Εικόνα 9.7. Φόρτιση στον κάθετο άξονα. α) Περίγραμμα τάσης von Mises. β) Περίγραμμα συνισταμένης μετατόπισης.

α)



β)



Εικόνα 9.8. Ταυτόχρονη φόρτιση όλων των αξόνων. α) Περίγραμμα τάσης von Mises. β) Περίγραμμα συνισταμένης μετατόπισης.

Για ταυτόχρονη φόρτιση όλων των αξόνων κατεργασίας παρατηρήται η μέγιστη τάση που είναι 20 [MPa]. Η τάση αυτή δεν αποτελεί κίνδυνο για αστοχία της κατασκευής μιας και είναι πολύ χαμηλότερη από το όριο διαρροής του χάλυβα. Η μεγαλύτερη μετατόπιση παρατηρείται στον κινητήρα της ατράκτου κοπής και ισούται με 0,037 [mm]. Το μέγεθος αυτό είναι εντός των προδιαγραφών που έχουν οριστεί για την ακρίβεια της μηχανής.





# 10. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

## 10.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια παρουσίαση των ηλεκτρονικών και ηλεκτρολογικών εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται στην πτυχιακή εργασία. Για τη συνδεσμολογία τους ηλεκτρικά σχέδια συμπεριλαμβάνονται στο Παράρτημα Β. Συνοπτικά τα εξαρτήματα αυτά είναι:

- Βηματικοί κινητήρες
- Οδηγοί βηματικών κινητήρων
- Κεντρική πλακέτα
- Τροφοδοτικά
- Κινητήρας ατράκτου κοπής
- Αντιστροφέας (Inverter)

## 10.2. ΒΗΜΑΤΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

Οι βηματικοί κινητήρες χρειάζονται συνεχές ρεύμα για την λειτουργία τους και η κατασκευή τους είναι συμπαγής και οικονομική. Το όνομα "βηματικός" προέρχεται από τον τρόπο λειτουργίας του. Δίνοντας συνεχή τάση χωρίς μεταβολή ο κινητήρας θα κάνει ένα μόνο μικρό βήμα συγκεκριμένης γωνίας. Σε αυτή την θέση μένει "κολλημένο". Δίνοντας μετά τροφοδοσία με άλλο συνδυασμό σύνδεσης ή πολικότητας ο άξονας κάνει άλλο ένα βήμα. Μετά από έναν συγκεκριμένο αριθμό βημάτων οι εντολές επαναλαμβάνονται. Ένα τυπικό νούμερο είναι 200 βήματα για μια πλήρης περιστροφή.

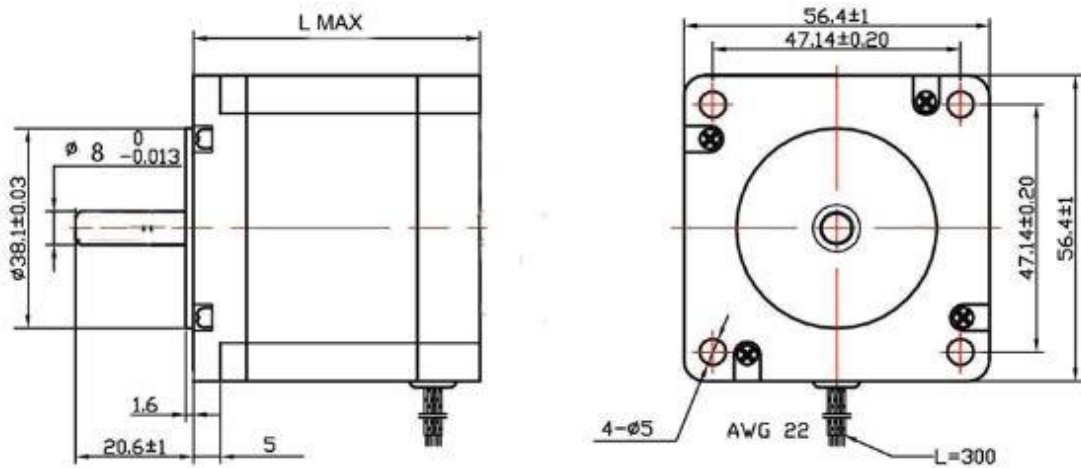
Για τον έλεγχο του χρειάζεται κύκλωμα οδηγό που έχει τα απαραίτητα ηλεκτρονικά που χρειάζονται για την τροφοδοσία και σύνδεση των συνήθως δυο πηνίων του, που είναι στον στάτορα. Το σταθερό τμήμα με τα πηνία μπορεί να είναι και στην μέση του μοτέρ, αυτό που συνήθως αποκαλούμε ρότορα, σε αυτή την περίπτωση γυρίζει το κέλυφος στο οποίο είναι συνδεδεμένος και ο άξονας.

Συνήθως οι οδηγοί ελέγχου έχουν δυο ξεχωριστές πηγές τροφοδοσίας, μια για το λογικό τμήμα, συνήθως στα 5 [Volt] DC και μια για την τροφοδοσία του μοτέρ, συνήθως από 12 μέχρι 50 [Volt] DC.

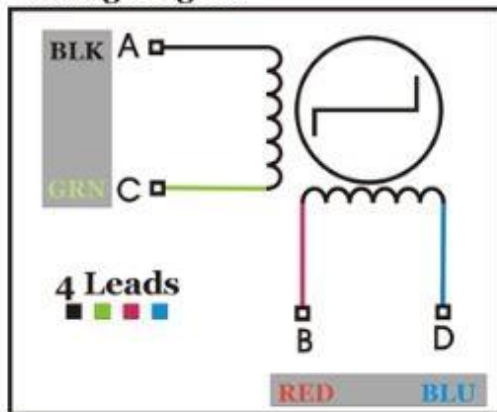
Η επιλογή βηματικών κινητήρων για την κίνηση των αξόνων κατεργασίας της εργαλειομηχανής έγινε σύμφωνα με τους υπολογισμούς του Κεφαλαίου 8, ενώ τα χαρακτηριστικά τους είναι τα εξής:

Model	Step Angle [°]	Motor Length [mm]	Rate Voltage [V]	Rate Current [A]	Phase Resistance [Ω]	Phase Inductance [mH]	Holding Torque [oz-in]	Lead Wire	Rotor Inertia [g*cm <sup>2</sup> ]	Detent Torque [g*cm]	Motor Weight [kg]
Nema 23	1,8	115	6,3	3	2,1	9	425	4	810	890	1,55

Πίνακας 10.1. Χαρακτηριστικά βηματικών κινητήρων.



Wiring Diagram



Εικόνα 10.1. Βηματικοί κινητήρες.

### 10.3. ΟΔΗΓΟΙ ΒΗΜΑΤΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Όπως προαναφέραμε, οι βηματικοί κινητήρες για να λειτουργήσουν χρειάζονται κυκλώματα οδηγούς που ελέγχουν την τροφοδοσία τους. Οι οδηγοί που επιλέξαμε για τους βηματικούς κινητήρες είναι οι εξής:

Μοντέλο	TB6560 Stepper Motor Driver Board Controller 1.5A - 3.5A
Τάση τροφοδοσίας	10-35 [Volt] DC
Ρεύμα τροφοδοσίας	Έως 3 [A]
Micro Stepping	1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16
Διαστάσεις	75mm x 50mm x 35mm

Πίνακας 10.2. Οδηγοί βηματικών κινητήρων.

Οι οδηγοί των βηματικών κινητήρων έχουν μια σειρά από διακόπτες DIP switch που πρέπει να ρυθμιστούν κατάλληλα, αλλιώς οι κινητήρες δεν θα δουλέψουν σωστά και υπάρχει κίνδυνος βλάβης. Οι ρυθμίσεις αυτές φαίνονται παρακάτω.

Running Current														
(A)	0.3	0.5	0.8	1	1.1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.9	2	2.2	2.6	3
SW1	OFF	OFF	OFF	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON	ON	ON	ON	ON
SW2	OFF	OFF	ON	ON	ON	OFF	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	ON
SW3	ON	ON	OFF	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	OFF	ON	ON	OFF	ON
S1	ON	OFF	ON	OFF	ON	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	ON	OFF	OFF

Stop Current	
	S2
20%	ON
50%	OFF

Excitation Mode		
Step	S3	S4
whole	OFF	OFF
half	ON	OFF
1/8	ON	ON
1/16	OFF	ON

Decay Setting		
	S5	S6
0%	OFF	OFF
25%	ON	OFF
50%	OFF	ON
100%	ON	ON

Εικόνα 10.2. Ρυθμίσεις οδηγών.

#### 10.4. ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΛΑΚΕΤΑ

Ο έλεγχος της εργαλειομηχανής CNC θα γίνεται από το πρόγραμμα Mach3. Για την επικοινωνία με τον υπολογιστή και τη μεταβίβαση των εντολών στους βηματικούς κινητήρες χρησιμοποιείται μια κεντρική πλακέτα. Η πλακέτα αυτή έχει δύο σημαντικές λειτουργίες.

1. Μεταφράζει τα σήματα που δέχεται από τον Η/Υ σε σήματα που λειτουργούν τη μηχανή και αντίστροφα.
2. Απομονώνει την μητρική πλακέτα του Η/Υ από οποιοδήποτε ηλεκτρικό πρόβλημα που μπορεί σε άλλη περίπτωση να την καταστρέψει.

Η κεντρική πλακέτα που επιλέχθηκε είναι η εξής:



Εικόνα 10.3. Κεντρική πλακέτα ελέγχου.

Μοντέλο	5 Axis Breakout Board interface for Stepper Motor Driver
Τάση τροφοδοσίας	12-24 [Volt] DC
Υποστηριζόμενοι άξονες	5
Έλεγχος κινητήρα κοπής	Ναι
Διαστάσεις	90mm x 70mm x 18mm

Πίνακας 10.3. Κεντρική πλακέτα ελέγχου

## 10.5. ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΑ

Για την τροφοδοσία των βηματικών κινητήρων και των περιφερειακών στοιχείων θα χρησιμοποιήσουμε δύο τροφοδοτικά πάγκου, ισχύς 300 [W] και 60 [W] αντίστοιχα. Το πρώτο τροφοδοτικό θα συνδεθεί με τους οδηγούς των βηματικών κινητήρων ενώ το δεύτερο με την κεντρική πλακέτα.

## 10.6. ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥ ΚΟΠΗΣ

Η επιλογή του κινητήρα ατράκτου κοπής έγινε σύμφωνα με τους υπολογισμούς του κεφαλαίου 8. Ο κινητήρας που επιλέχθηκε είναι τριφασικός ασύγχρονος με σύστημα

υδρόψυξης και τσόκ στο κάτω μέρος του για την προσαρμογή του κοπτικού εργαλείου. Τα χαρακτηριστικά του φαίνονται στον Πίνακα 10.4.

Ονομαστική ισχύς	1,5 [kW]
Ονομαστική τάση	220-250 [V] 3ph
Ονομαστική συχνότητα	400 [Hz]
Συχνότητα περιστροφής	8000-24000 [rpm]
Ψυκτικό μέσο	Νερό
Διαστάσεις	D : 80 [mm] , L : 245 [mm]

Πίνακας 10.4. Χαρακτηριστικά κινητήρα ατράκτου κοπής.



Εικόνα 10.4. Κινητήρας ατράκτου κοπής.

## 10.7. ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ (INVERTER)

Ο αντιστροφέας είναι απαραίτητος για τη λειτουργία του κινητήρα ατράκτου κοπής. Δέχεται ως είσοδο την τάση του δικτύου και τη μετατρέπει σε τριφασική τάση εξόδου στα 220 [Volt]. Επίσης μας δίνει τη δυνατότητα ρύθμισης συχνότητας στην έξοδο του από 0 έως 400 [Hz], καθιστώντας έτσι δυνατή τη ρύθμιση της συχνότητας περιστροφής του κοπτικού εργαλείου. Ο αντιστροφέας που επιλέξαμε είναι ο εξής:

Μοντέλο	EMHEATER EM11
Τάση εισόδου	220 [Volt] AC 50 [Hz]
Ισχύς εξόδου	1,5 [kW]
Έξοδος	3PH, 7 [A], 220 [Volt] AC, 0-400 [Hz]
Διαστάσεις	222mm x 142mm x 166mm

Πίνακας 10.5. Χαρακτηριστικά Inverter.



Εικόνα 10.5. Inverter Emheater EM11.

## 10.8. ΛΟΙΠΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ

Για λόγους ασφάλειας του χειριστή της εργαλειομηχανής αλλά και εξασφάλιση του ότι δεν θα χτυπήσει η μηχανή από λάθος χειρισμό, εγκαταστάθηκαν τα εξής εξαρτήματα.

- **Διακόπτης τύπου Μανιτάρι Emergency Stop.**

Ο διακόπτης αυτός τοποθετείται μπροστά από τη μηχανή σε μέρος στο οποίο ο χρήστης έχει εύκολη πρόσβαση από όλα τα πιθανά σημεία χειρισμού της. Πατώντας το κουμπί αυτό σταματάνε ακαριαία οι κινητήρες των αξόνων κατεργασίας και ο κινητήρας κοπής.

- **Τερματικοί διακόπτες αξόνων.**

Οι διακόπτες αυτοί είναι τυπικοί διακόπτες NC/NO που τοποθετούνται στα άκρα του κάθε άξονα κατεργασίας. Σε περίπτωση που από κάποιο λάθος τα κινούμενα στοιχεία του άξονα τείνουν να κινηθούν εκτός του διαθέσιμου χώρου και να χτυπήσουν, ο διακόπτης αυτός ανοίγει το κύκλωμα και οι κινητήρες σταματάνε να περιστρέφονται.

# 11. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ

## 11.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό της πτυχιακής εργασίας παρουσιάζεται αναλυτικά η πορεία κατεργασίας των πλακών αλουμινίου, η κατασκευή της εργαλειομηχανής και του ηλεκτρικού κυκλώματος που θα την ελέγχει.

Τα κύρια δομικά στοιχεία της εργαλειομηχανής κατασκευάστηκαν στη CNC φρέζα του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας από πλάκες αλουμινίου, ενώ τα ηλεκτρικά στοιχεία ελέγχου αγοράστηκαν ως έτοιμα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Το κόστος αγοράς των τμημάτων της εργαλειομηχανής καλύφθηκε από το Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας. Τα κατασκευαστικά σχέδια και η συναρμολόγηση της μηχανής έγιναν εξ ολοκλήρου από τους συγγραφείς αυτής της πτυχιακής εργασίας.

## 11.2. ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΕ

Για την κατεργασία και κατασκευή των στοιχείων της εργαλειομηχανής και την συναρμολόγηση της χρησιμοποιήθηκαν:

### Μετρητικά όργανα

- Αναλογικό παχύμετρο
- Ψηφιακό παχύμετρο
- Μέτρο
- Ψηφιακό πολύμετρο

### Μ.Α.Π.

- Γάντια εργασίας
- Μάσκα προστασίας από σκόνη

## Εργαλεία

- Τροχός χειρός μεγάλος
- Τρυπάνι χειρός
- Κλειδιά άλλεν
- Γαλλικά κλειδιά
- Γερμανικά κλειδιά
- Συρματόβουρτσα
- Νταβίδια
- Μέγγενη
- Σφυρί
- Λίμες κατεργασίας μετάλλου
- Κολλητήρι
- Κολαούζοι
- Σιδεροπρίονο
- Αναλώσιμα (γυαλόχαρτα, τρυπάνια, λάμες πριονιού)

## Εργαλειομηχανές

- Συμβατικός τόρνος
- CNC φρέζα
- Στράτζα

### **11.3. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΠΛΑΚΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΤΗ ΦΡΕΖΑ**

Το πρώτο βήμα που έγινε στην κατασκευή της μηχανής ήταν να κατεργαστούν οι πλάκες αλουμινίου. Η κατεργασία αυτή έγινε στη CNC φρέζα του εργαστηρίου CAM-CNC , η οποία έχει διαστατική ακρίβεια 0,005 [mm], σύμφωνα με τα κατασκευαστικά σχέδια της μηχανής.

Ο λόγος που επιλέξαμε να κάνουμε τις κατεργασίες αυτές σε CNC φρέζα αντί να χρησιμοποιήσουμε συμβατική είναι ότι η παραμικρή αστοχία στις διαστάσεις των τμημάτων της μηχανής θα μεταφραζόταν σε μη καλή ευθυγράμμιση των αξόνων, αζυγοσταθμία, πιθανούς κραδασμούς και μείωση της ακρίβειας. Οι κατεργασίες έγιναν όλες με ένα δέσιμο σε κάθε πλάκα ώστε να εξασφαλιστεί ότι θα αποτυπωθούν οι διαστάσεις των κατασκευαστικών σχεδίων με τη μέγιστη ακρίβεια.





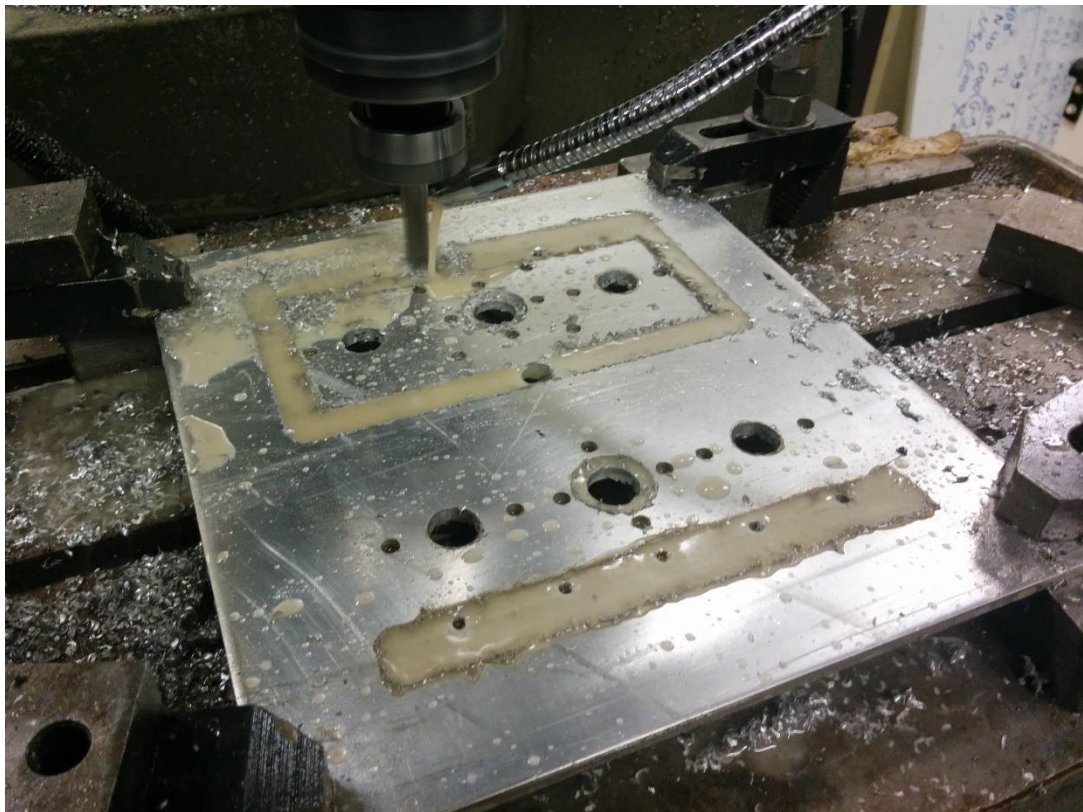
Εικόνα 11.1. Παραλαβή των υλικών.



Εικόνα 11.2. Τοποθέτηση πλάκας στη CNC φρέζα.

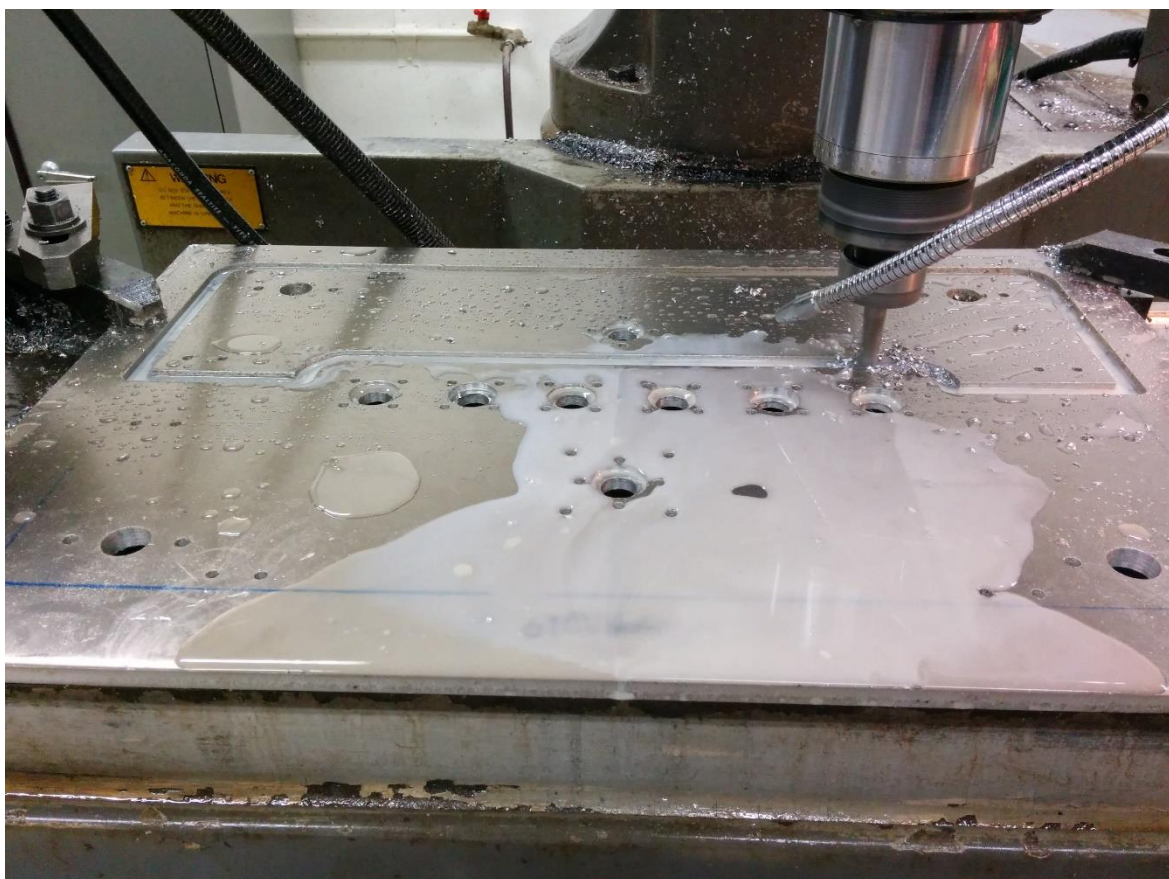


Εικόνα 11.3. Κατεργασία πλάκας αλουμινίου (κάθετος άξονας).

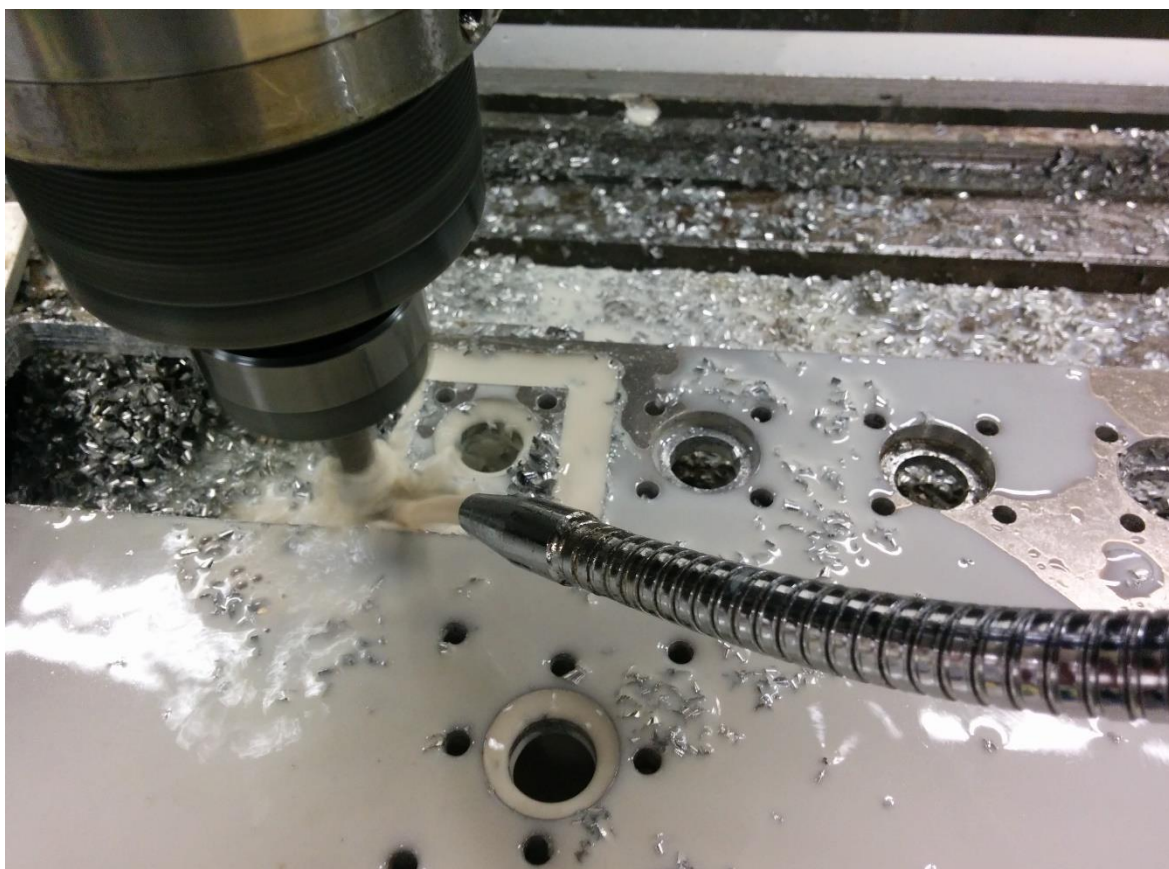


Εικόνα 11.4. Κατεργασία πλάκας αλουμινίου (κάθετος άξονας).

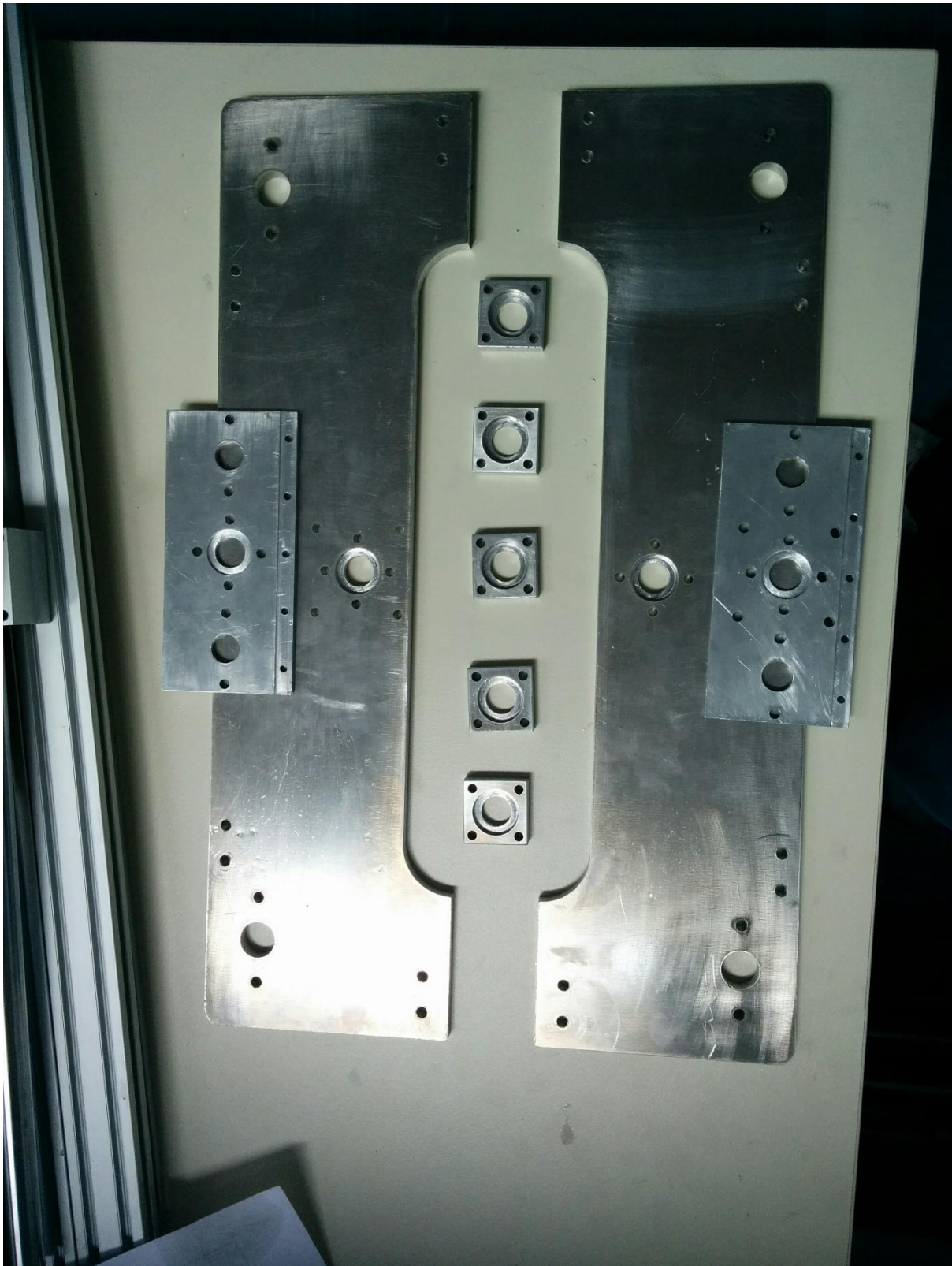




*Εικόνα 11.5. Κατεργασία πλάκας αλουμινίου (εγκάρσιος άξονας).*



*Εικόνα 11.6. Κατεργασία πλάκας αλουμινίου (φωλιά ρουλεμάν).*



*Εικόνα 11.7. Πλάκες μετά την κατεργασία.*



#### 11.4. ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΚΟΧΛΙΩΝ BALL SCREW ΣΕ ΤΟΡΝΟ

Το δεύτερο βήμα στην κατασκευή της εργαλειομηχανής ήταν να κατεργαστούμε τους κοχλίες Ball Screw ώστε να γίνει στα άκρα τους η κατάλληλη διάμετρος για την εφαρμογή τους με τα ρουλεμάν, όπως και η πατούρα για να εξασφαλιστεί η απόσταση μεταξύ των άκρων της μηχανής. Η κατεργασίες αυτές έγιναν σε συμβατικό τόρνο.



Εικόνα 11.8. Μέτρηση των Ball Screws με παχύμετρα.



Εικόνα 11.9. Κατεργασία σε συμβατικό τόρνο.

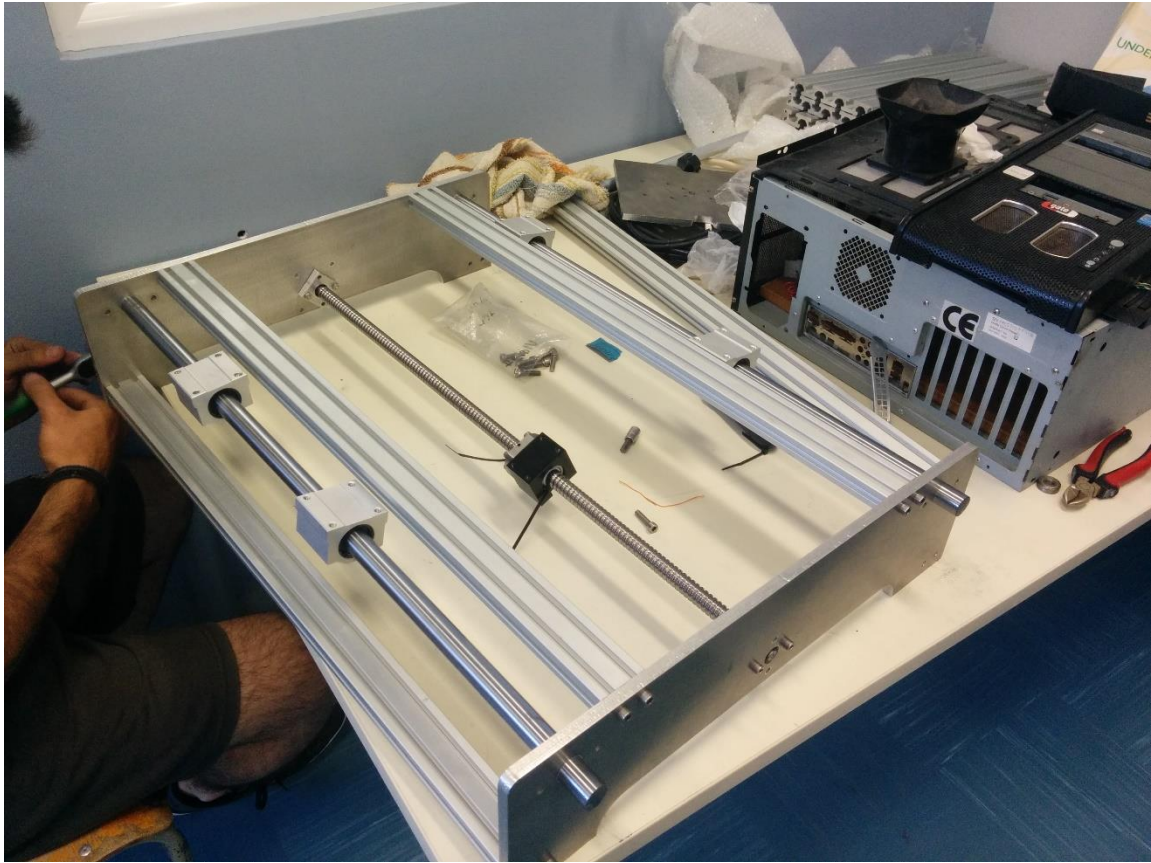
## 11.5. ΣΥΝΑΡΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΗΣ

Τέλος, εφόσον έχουμε όλα τα κομμάτια της εργαλειομηχανής ξεκινάμε τη συναρμολόγηση της. Αρχικά στήνουμε τη βάση στο τραπέζι που θα τοποθετηθεί και κατόπιν συναρμολογούμε τη μηχανή προς τα πάνω. Πρώτα στήνεται ο άξονας Υ, μετά ο άξονας Χ και τέλος ο άξονας Ζ. Ο κινητήρας που θα περιστρέφει το κοπτικό εργαλείο και οι βηματικοί κινητήρες τοποθετούνται στο τέλος.



Εικόνα 11.10. Τρίψιμο του τραπεζιού με πλάνη χειρός για να βαφτεί.





Εικόνα 11.11. Συναρμολόγηση βάσης εργαλειομηχανής.

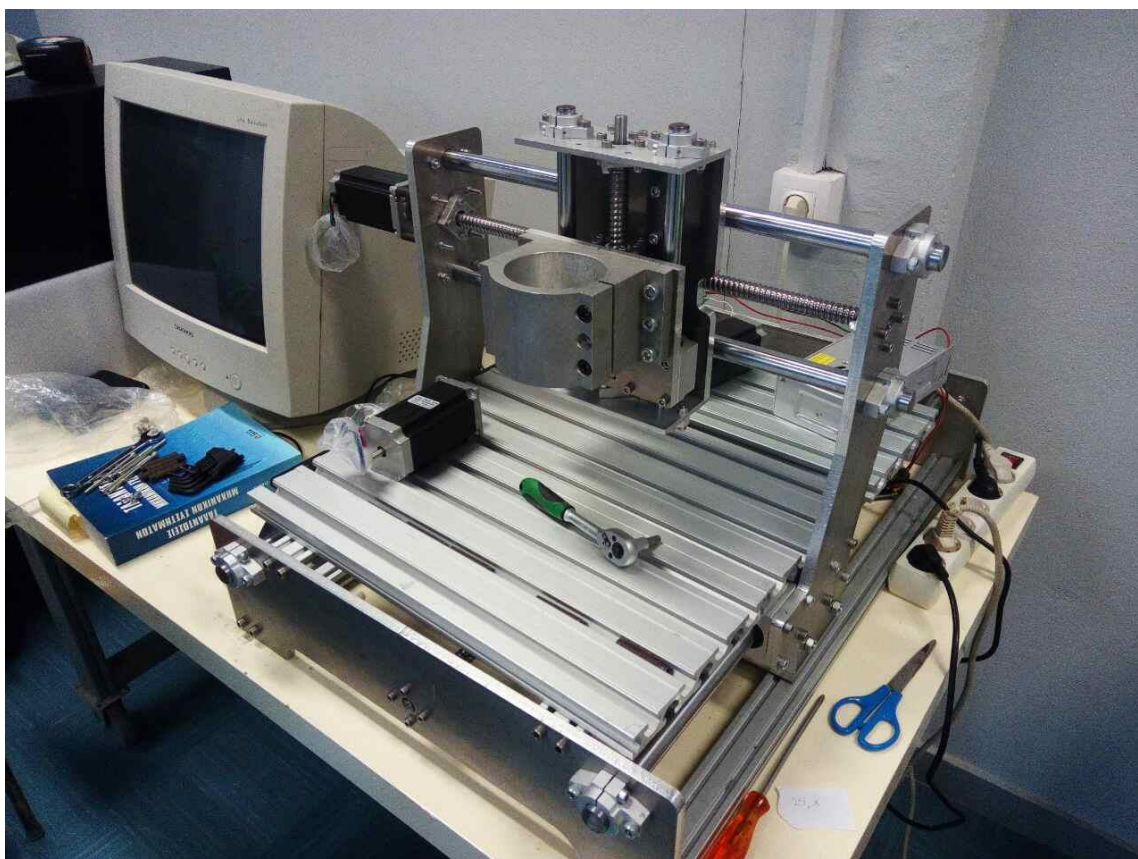


Εικόνα 11.12. Συναρμολόγηση μπράτσου εργαλειομηχανής.

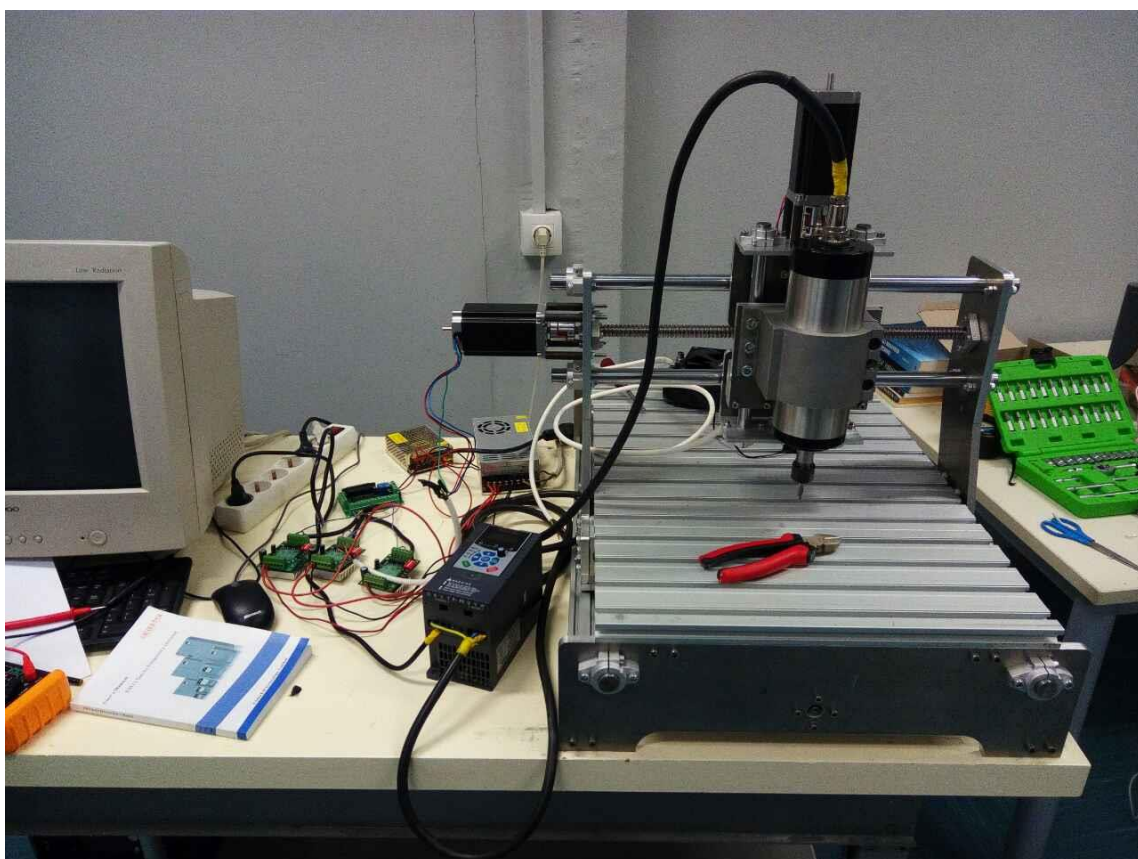


Εικόνα 11.13. Συναρμολόγηση διαμήκη άξονα.

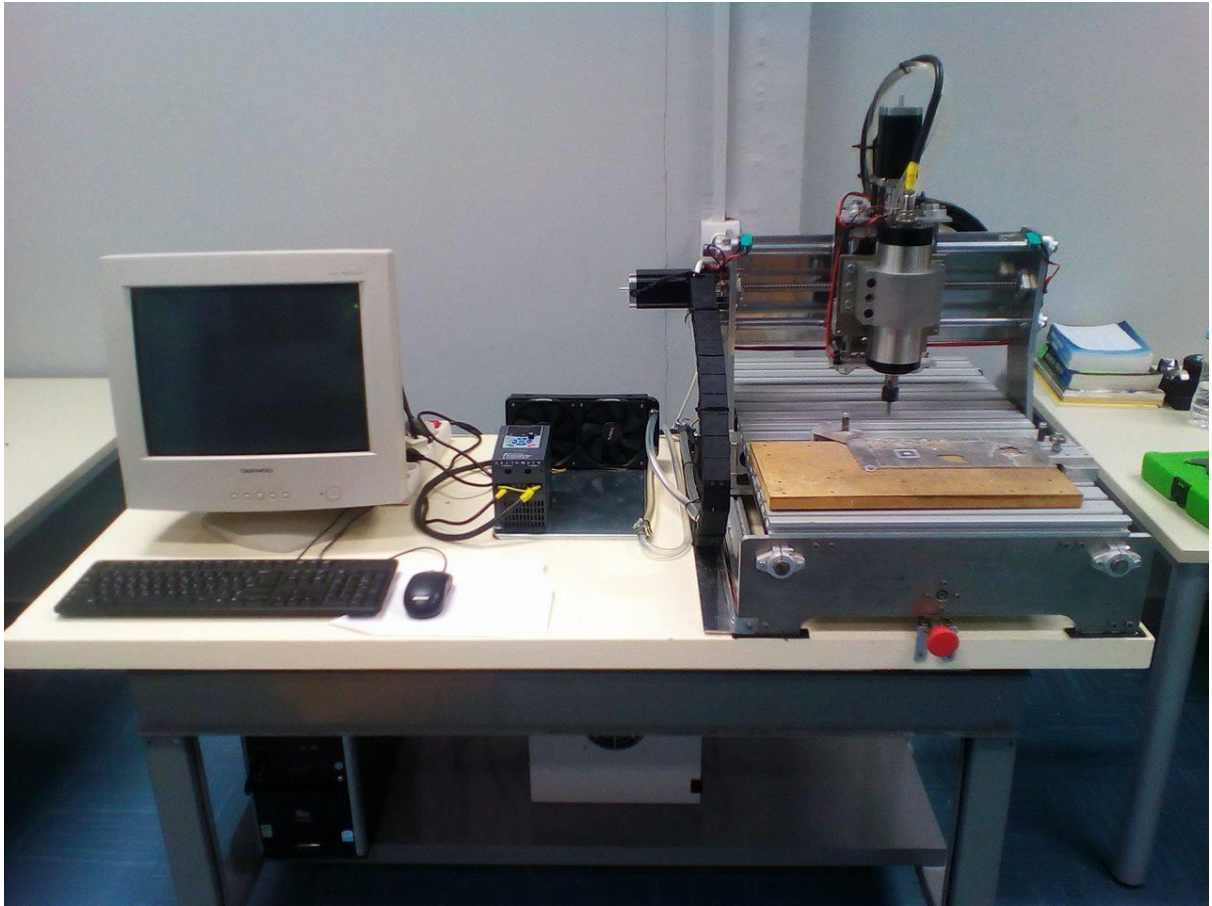




Εικόνα 11.14. Συναρμολόγηση κάθετου άξονα.



Εικόνα 11.15. Συναρμολόγηση εργαλειομηχανής.



## 12. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία σχεδιάστηκε, μελετήθηκε και κατασκευάστηκε εξολοκλήρου μια εργαλειομηχανή τριών αξόνων κατεργασίας με κοπτικό εργαλείο για κατεργασία μετάλλων και άλλων υλικών. Για το σχεδιασμό της κατασκευής, αλλά και την διεξαγωγή της αντίστοιχης στατικής μελέτης της κατασκευής επιλέχθηκε το λογισμικό επαγγελματικό πακέτο SolidWorks καθότι επιτρέπει τον απλοϊκό σχεδιασμό τρισδιάστατων και πολύπλοκων γεωμετριών αλλά και τη εισαγωγή κατασκευαστικών λεπτομερειών, που με άλλα σχεδιαστικά πακέτα θα ήταν πιο δύσκολο και χρονοβόρο. Το σημαντικότερο όμως πλεονέκτημα του εν λόγω λογισμικού είναι το γεγονός ότι με βάσει τη τρισδιάστατη απεικόνιση της κατασκευής επιτρέπει την απευθείας προσομοίωση της μηχανικής και όχι μόνο συμπεριφοράς του, γεγονός που διευκολύνει σημαντικά το μελετητικό κομμάτι του μηχανικού.

Για την κατασκευή την μηχανής, το πρώτο βήμα ήταν η κατασκευή ενός εργονομικού σχεδίου που θα έδινε την δυνατότητα μελλοντικών παρεμβάσεων και μετεξέλιξης. Ακολούθησε λεπτομερής σχεδιασμός όλων των μερών που απαρτίζουν το σύστημα πρέσας καλουπιού. Εν συνεχεία πραγματοποιήθηκε στατική μελέτη καθώς και έλεγχος λογισμού με τη βοήθεια της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων που συμπεριλαμβάνεται ως επιλογή στο λογισμικό πακέτο SolidWorks. Αυτό διευκόλυε σημαντικά τη μελέτη της κατασκευής, διότι η ανάλυση των στοιχείων της εργαλειομηχανής είναι δύσκολη και χρονοβόρα με τις κλασσικές αναλυτικές προσεγγίσεις μηχανικής.

Τα αποτελέσματα έδειξαν, ότι η προτεινόμενη μηχανή έχει επαρκή αντοχή για κατεργασίες που σχεδιάστηκε ενώ παράλληλα οι αναλύσεις έδειξαν ότι δεν κινδυνεύει σε παραμόρφωση λόγω κάμψης. Αφού διασφαλίστηκε η ασφάλεια της κατασκευής, ακολούθησε το στάδιο της κατασκευής που περιλάμβανε κατεργασίας σε φρέζα, τόρνο και συναρμολόγηση μηχανικών και ηλεκτρικών τμημάτων. Ο έλεγχος λειτουργίας απέδειξε την ορθότητα του σχεδιασμού και της μελέτης. Το συνολικό δε κόστος της κατασκευής κυμάνθηκε σε λογικά πλαίσια με βάσει τα δεδομένα του ανταγωνισμού.

# ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Στ. Γ. Φραγκόπουλος, «Ιστορία της Τεχνολογίας: Ατμοκίνηση, Βιομηχανική επανάσταση», Δρ. Μηχανικός, Καθηγητή ΤΕΙ Αθήνας

Μανσούρ Γκ. «Μηχανουργική τεχνολογία - εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου NC – CNC» , Δρ. Μηχανικός, Αναπληρωτής καθηγητής Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Α.Π.Θ.

Νεκτάριος Βιδάκης, Αριστομένης Αντωνιάδης : Σημειώσεις Μαθήματος «Εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση» ΑΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ – Τμήμα Μηχανολογίας . Σεπτέμβριος 2004

Γ. Βοσνιακός: Σημειώσεις Μαθήματος «Εργαλειομηχανές» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο. Αθήνα 2008

Σωτήρης Λ. Ομήρου «Προγραμματισμός Εργαλειομηχανών C.N.C.», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα 2000

Ε. Παπαδόπουλου: «Συστήματα Μετατροπής Ενέργειας», Έκδοση Ε.Μ.Π. 2000-2001

Σκιπτιδής , Φιλήμων Χ. «Βασικές Αρχές Αριθμητικού ελέγχου και προγραμματισμού εργαλειομηχανών CNC» , τόμοι Α,Β,Γ. Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική. Έκδοση 2000

Warren S.Seames «Computer Numerical Control – Concepts & Programming 4th Edition.» Delmar Cengage Learning August 1, 2001

William W.Luggen «CNC A first Look Primer 1st edition.» Delmar Cengage Learning October 9, 1996

Karl-Heinrich Grote, Erik K. Antonsson «Springer Handbook of Mechanical Engineering», Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009

Kunwoo Lee, «Βασικές αρχές συστημάτων CAD/CAM/CAE», Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2011

Oberg, Erik. «Machinery's Handbook 29<sup>th</sup> edition.» Industrial Press, 2012

## ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ

<https://greekelectrician.blogspot.gr/2015/10/stepper.motor.arduino.am2170.html>

<http://www.mechatronics.gr/el/rd/11-step-motor-basics-tutorial.html?showall=1>

[http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/kataskeuastikes%20texnologies/1-eisagwgi\\_kataskeuastikes\\_texnol.pdf](http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/kataskeuastikes%20texnologies/1-eisagwgi_kataskeuastikes_texnol.pdf)

<http://www.tm.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/kataskeuastikes%20texnologies/katask.texn.Karouzos.pdf>

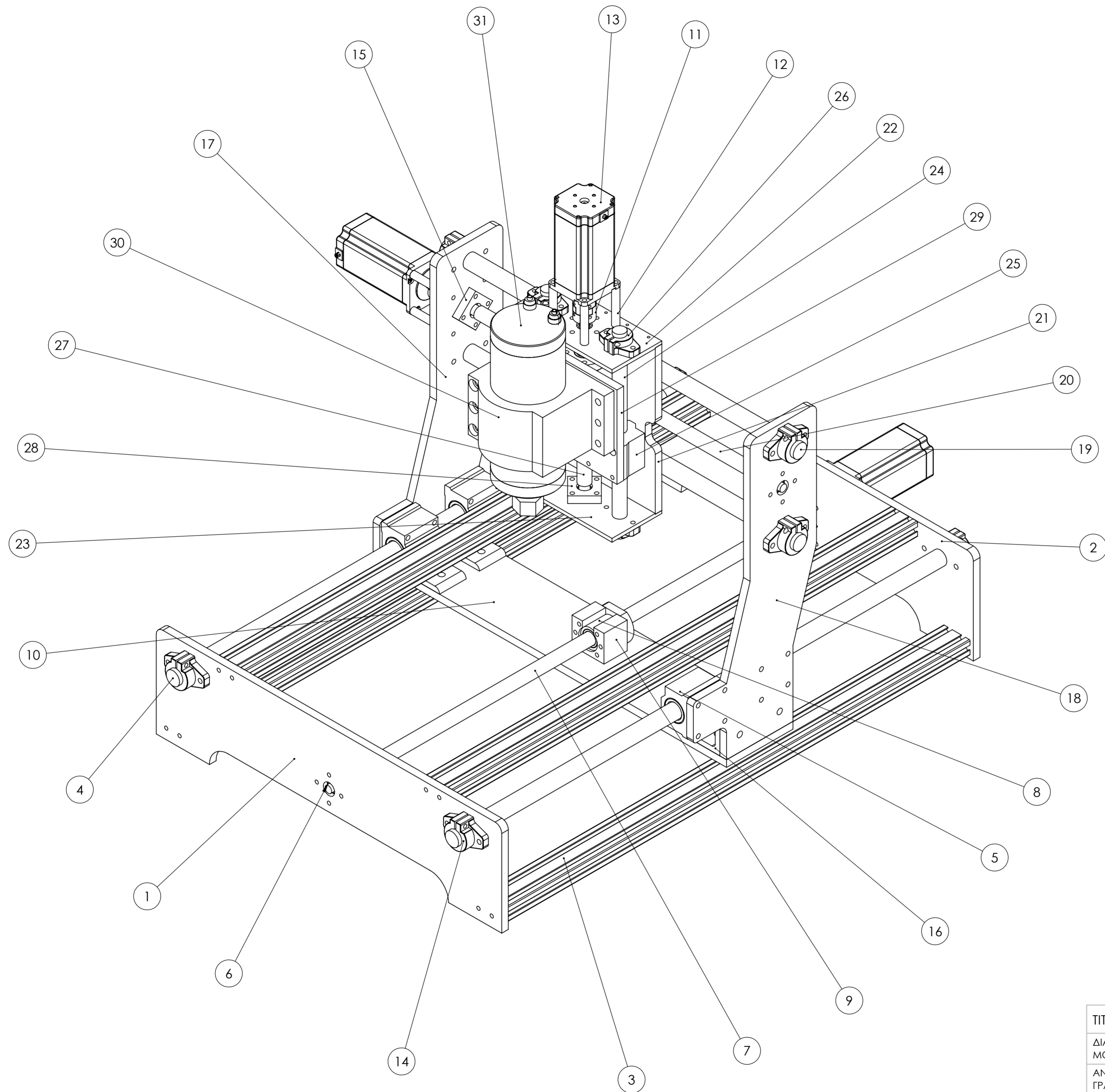
[http://cyrus.tcdn.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/psifiaki%20kathodigisi\\_cam/cam\\_theoria\\_part\\_b.pdf](http://cyrus.tcdn.teicrete.gr/Portals/23/Shmeioseis/psifiaki%20kathodigisi_cam/cam_theoria_part_b.pdf)

<http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=145>

<http://courseware.mech.ntua.gr/ml26076/mathimata/ORTHOGONIKI%20KOPI.pdf>

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ**

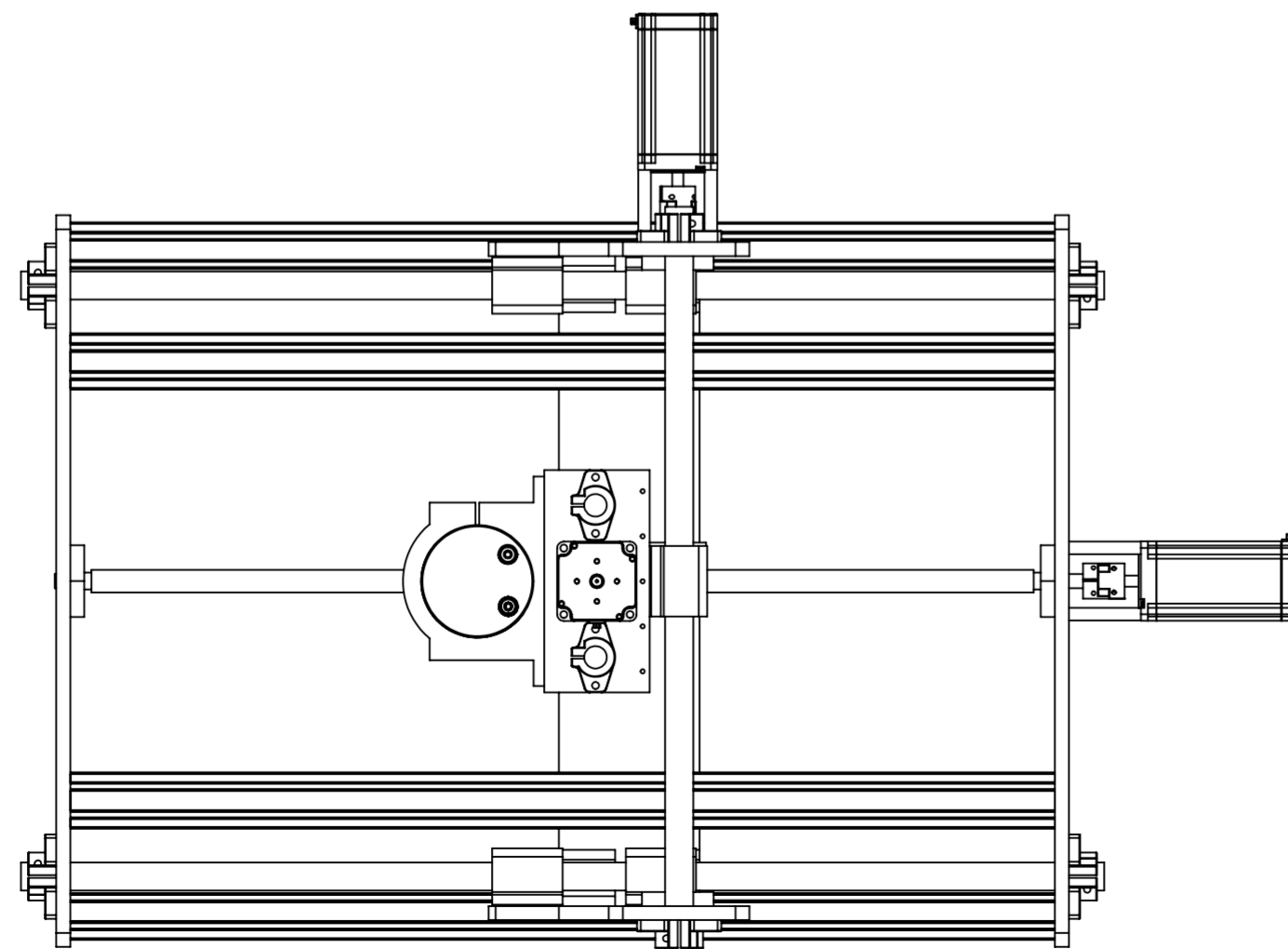
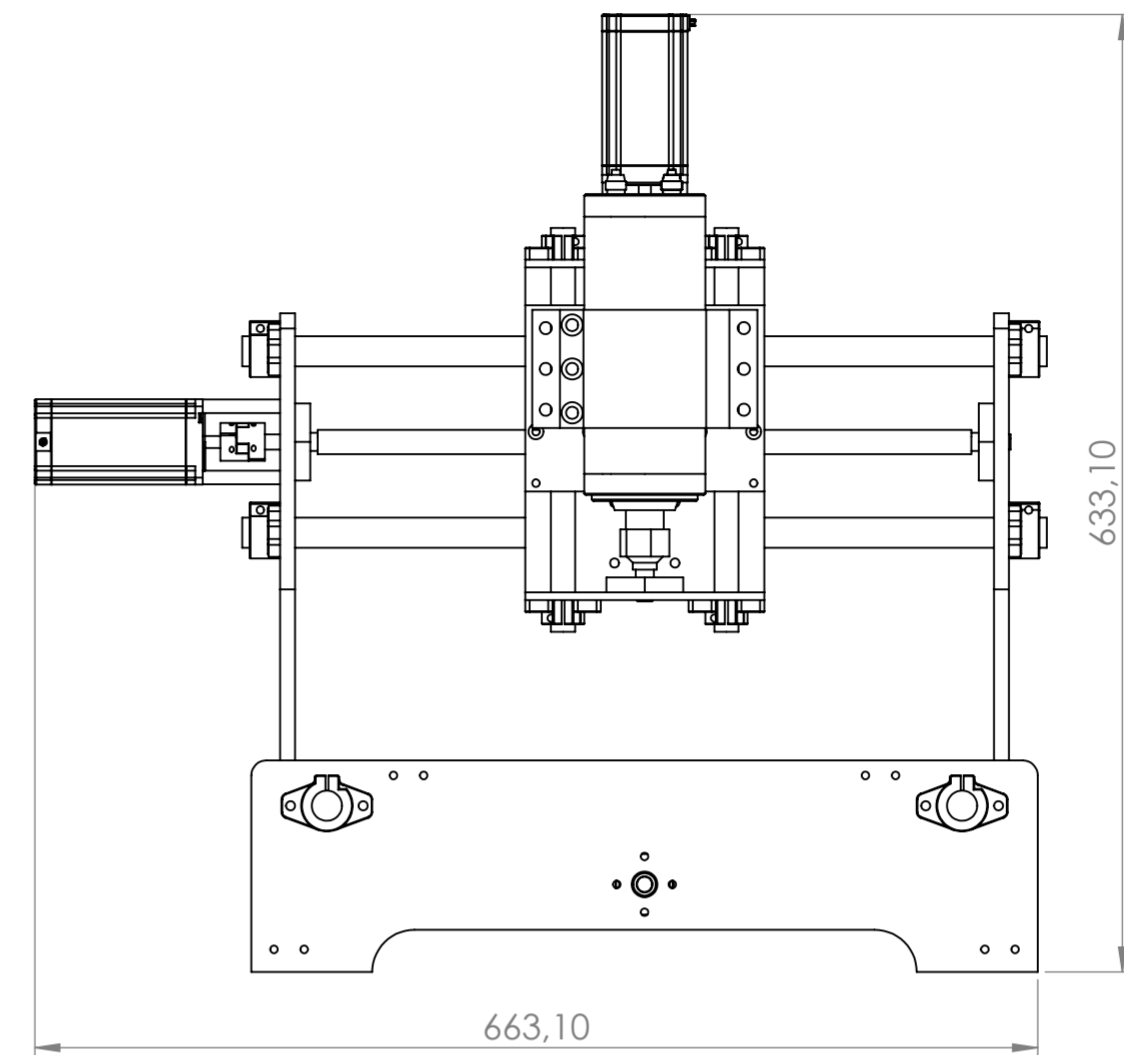
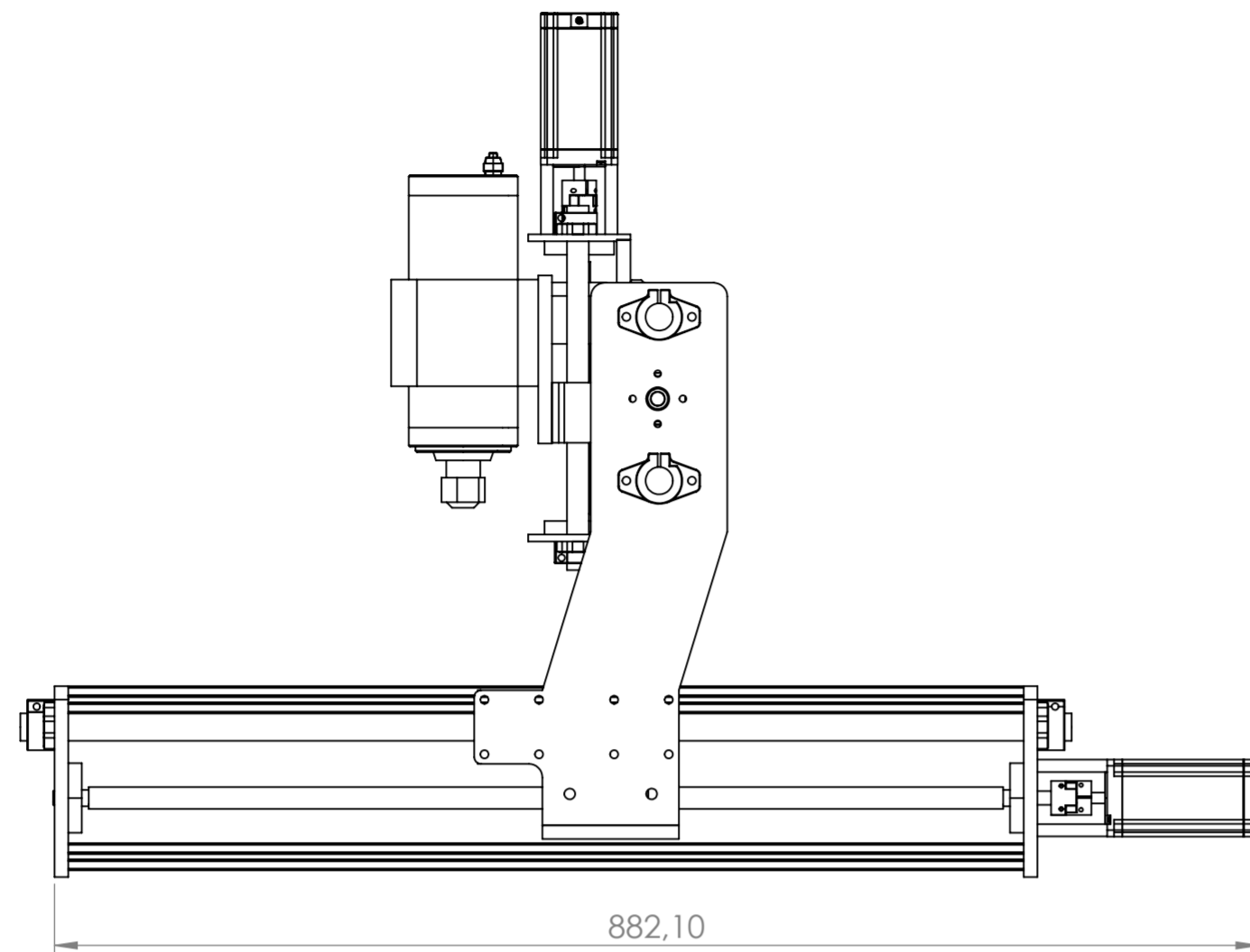




A/A	ΤΕΜΑΧΙΟ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ
1	Μπροστινή πλάκα βάσης	1
2	Πίσω πλάκα βάσης	1
3	Προφίλ αλουμινίου 20x40	4
4	Ράγα SFC20 άξονα Y	2
5	Γραμμικό ρουλεμάν SCE20UU	6
6	Ρουλεμάν 26x10x8	6
7	Ball screw άξονα Y	1
8	Περισκόχλιο Ball screw D1605	3
9	Φωλιά περικοχλίου Ball screw	3
10	Πλάκα προσδέσεως περικοχλίου Ball screw	1
11	Σύνδεσμοι αξόνων	3
12	Αποστάτες βηματικού κινητήρα	12
13	Βηματικός κινητήρας Nema 23	3
14	Σφικτήρας συσκράτησης SHF20	8
15	Φωλιά ρουλεμάν αξόνων X & Y	4
16	Γωνία	4
17	Πλάγια αριστερή πλάκα	1
18	Πλάγια δεξιά πλάκα	1
19	Ράγα SFC20 άξονα X	2
20	Ball screw άξονα X	1
21	Πίσω πλάκα άξονα Z	1
22	Άνω πλάκα άξονα Z	1
23	Κάτω πλάκα άξονα Z	1
24	Ράγα SFC16 άξονα Z	2
25	Γραμμικό ρουλεμάν SCE16UU	2
26	Σφικτήρας συσκράτησης SHF16	4
27	Ball screw άξονα Z	1
28	Φωλιά ρουλεμάν άξονα Z	2
29	Μπροστινή πλάκα άξονα Z	1
30	Βάση συγκράτησης κινητήρα ατράκτου κοπής	1
31	Κινητήρας ατράκτου κοπής	1

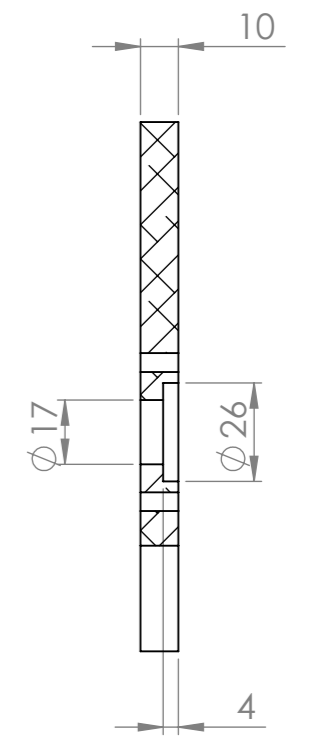
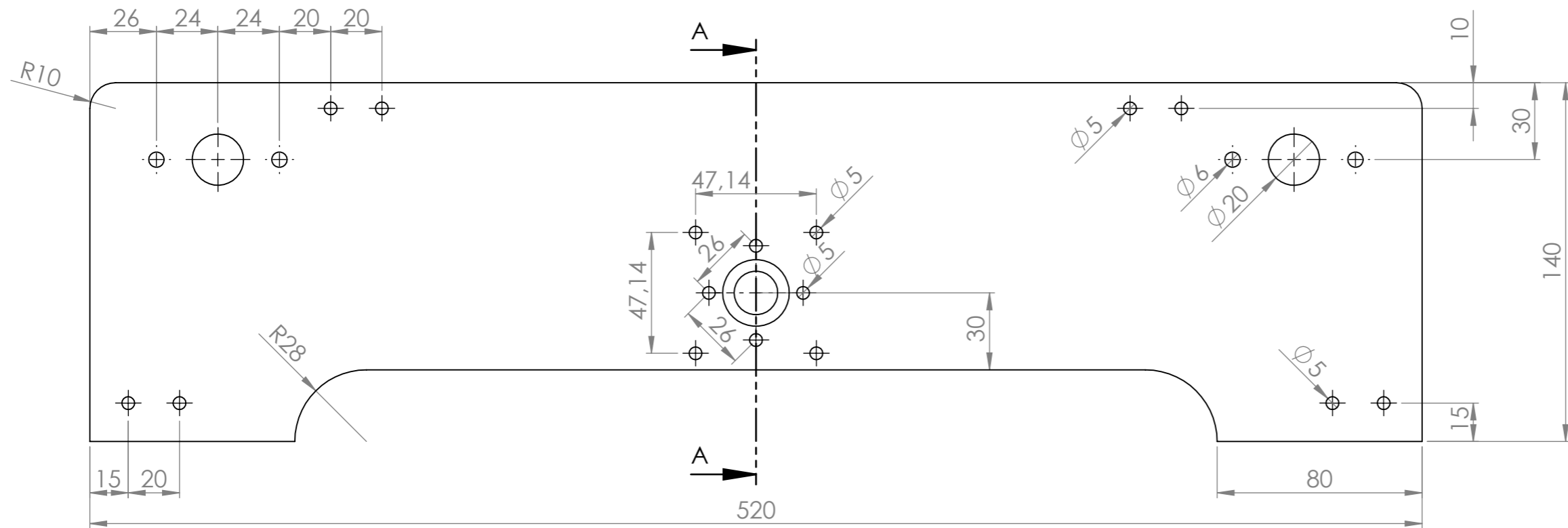
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Συναρμογή στοιχείων εργαλειομηχανής		
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 1	ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ:
ΑΝΟΧΕΣ: ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ: +/-01 ΓΩΝΙΑΚΕΣ: +/-1	ΥΛΙΚΟ:	
ΟΝΟΜΑ	ΗΜ/ΝΙΑ	
Σχεδιάστηκε: ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	13/11/2015	
Ελέγχθηκε:		
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:3	ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1	ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: A2





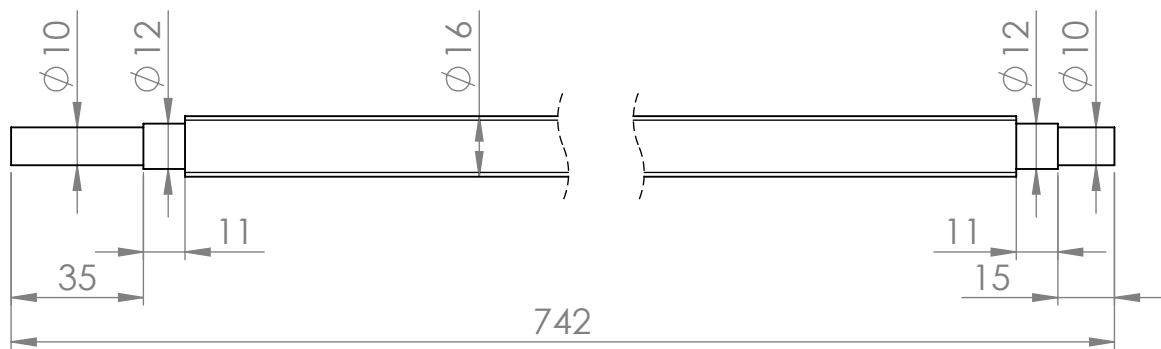
ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Όψεις συναρμογής		
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 2	ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ:
ΑΝΟΧΕΣ: ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ: +/-01 ΓΩΝΙΑΚΕΣ: +/-1	ΥΛΙΚΟ:	
Σχεδιαστής: ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	ΗΜ/ΝΙΑ: 13/11/2015	ΚΛΙΜΑΚΑ 1:5
Ελέγχθηκε:		ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1
		ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: Α2





ΤΟΜΗ Α-Α

ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Πίσω πλάκα βάσης		
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 4	ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 2
ΑΝΟΧΕΣ: ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ: +/-0.1 ΓΩΝΙΑΚΕΣ: +/-1	ΥΛΙΚΟ: Αλουμίνιο	
ΟΝΟΜΑ	ΗΜ/ΝΙΑ	
Σχεδιάστηκε	ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	13/11/2015
Ελέγχθηκε		
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2	ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1	ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: Α3



ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Ball Screw άξονα Υ

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 5

ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 7

ΑΝΟΧΕΣ:  
ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ: +/-0.01  
ΓΩΝΙΑΚΕΣ: +/-1

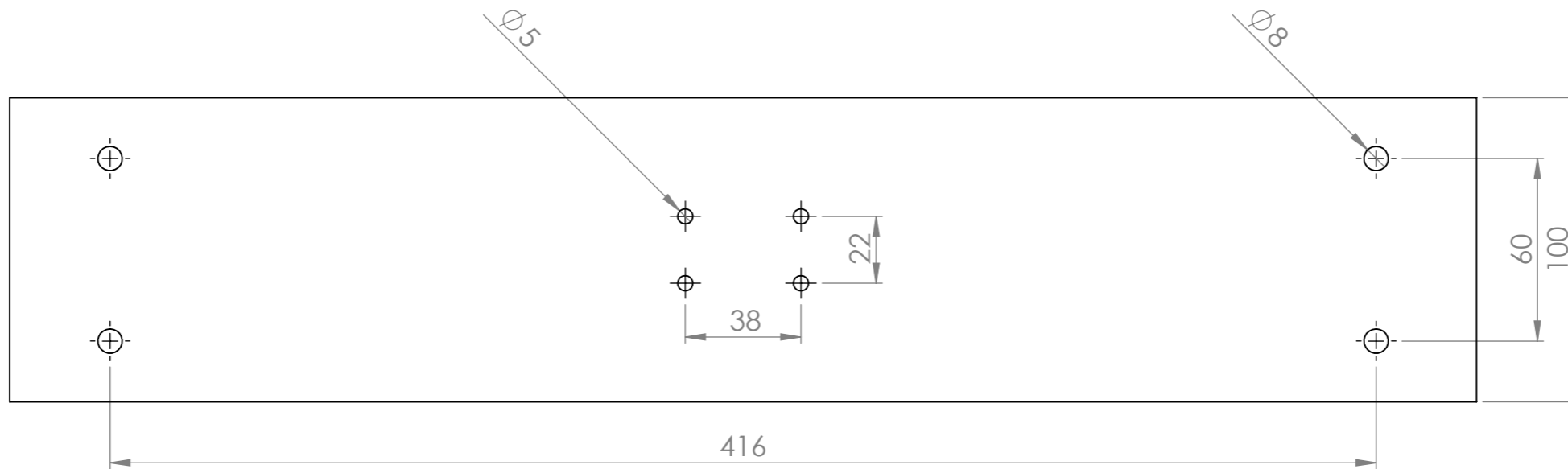
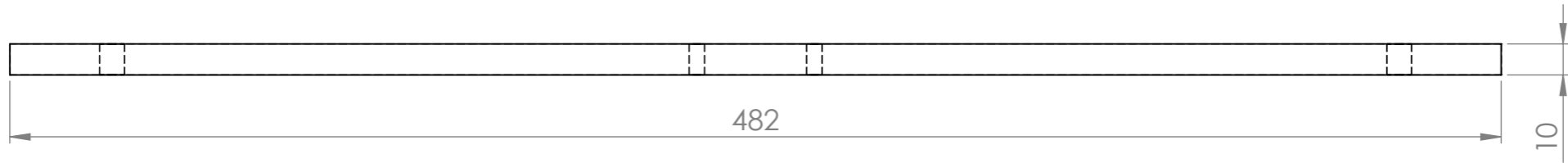
ΥΛΙΚΟ: Χάλυβας

	ΟΝΟΜΑ	ΗΜ/ΝΙΑ
Σχεδιάστηκε	ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	13/11/2015
Ελέγχθηκε		

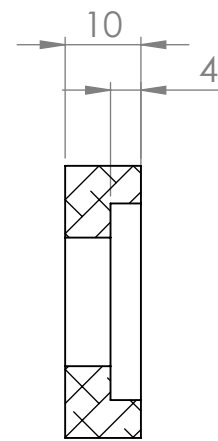
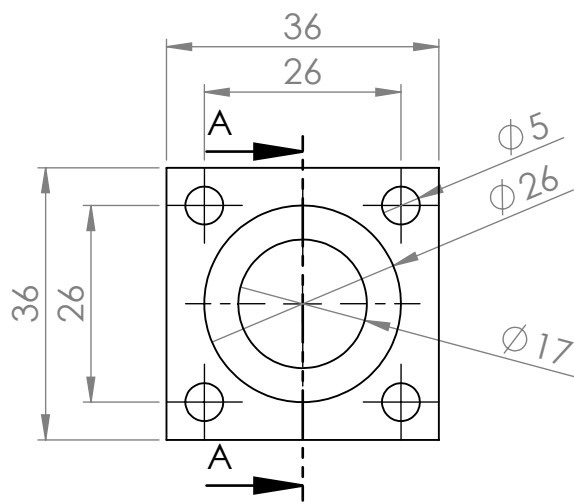
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2

ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1

ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: Α4



ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Πλάκα προσδέσεως περικοχλίου Ball Screw		
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 6	ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 10
ΑΝΟΧΕΣ: ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ: +/-0.1 ΓΩΝΙΑΚΕΣ: +/-1	ΥΛΙΚΟ: Αλουμίνιο	
ΟΝΟΜΑ	ΗΜ/ΝΙΑ	
Σχεδιάστηκε	ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	13/11/2015
Ελέγχθηκε		
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2	ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1	ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: Α3



ΤΟΜΗ Α-Α

ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Φωλιά ρουλεμάν αξόνων Χ & Υ

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 7

ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 15

ΑΝΟΧΕΣ:  
ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ:  $\pm 0.01$   
ΓΩΝΙΑΚΕΣ:  $\pm 1$

ΥΛΙΚΟ: Αλουμίνιο

	ΟΝΟΜΑ	ΗΜ/ΝΙΑ
Σχεδιάστηκε	ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	13/11/2015
Ελέγχθηκε		

Σχεδιάστηκε ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ 13/11/2015

Ελέγχθηκε

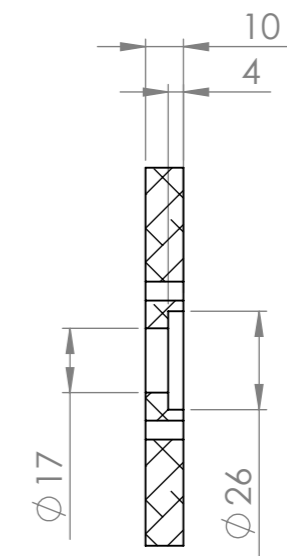
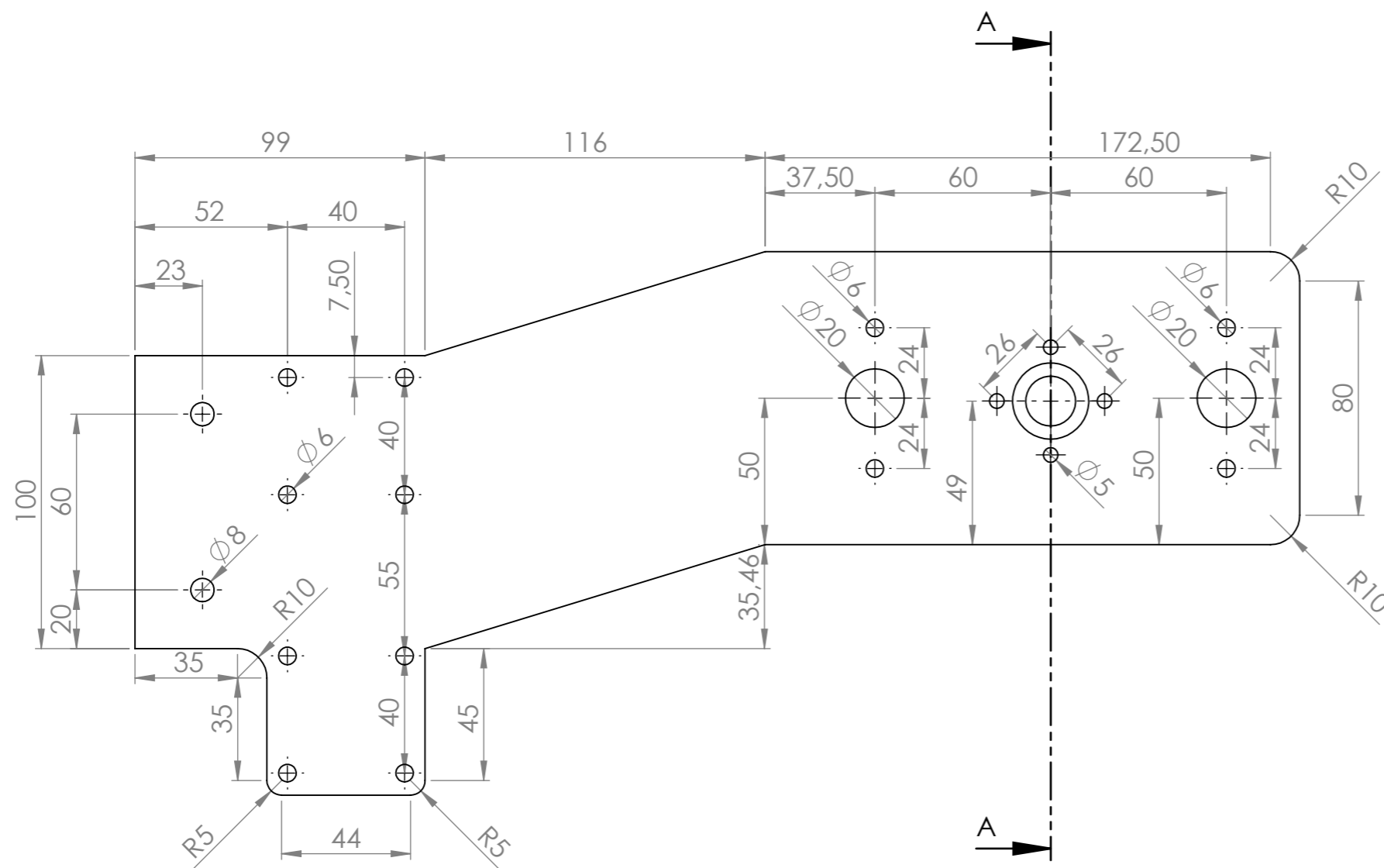
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:1

ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1

ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: Α4

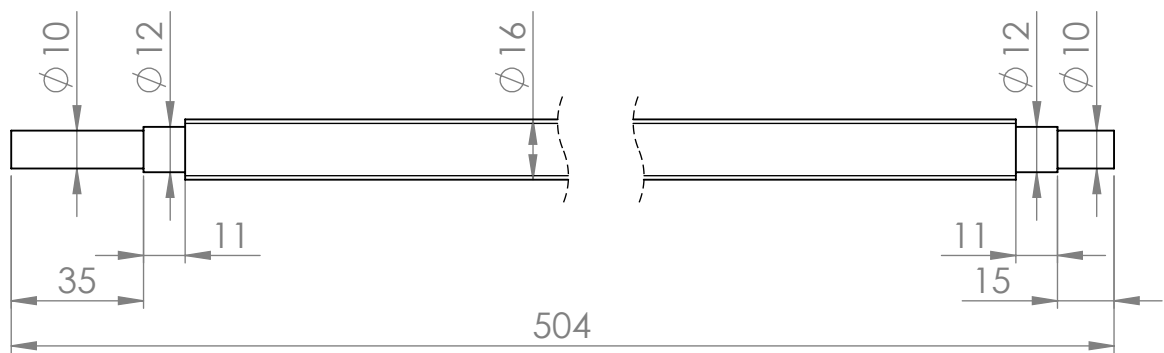






ΤΟΜΗ Α-Α

ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Πλάγια δεξιά πλάκα		
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 9	ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 18
ΑΝΟΧΕΣ: ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ: +/-01 ΓΩΝΙΑΚΕΣ: +/-1	ΥΛΙΚΟ: Αλουμίνιο	
ΟΝΟΜΑ	ΗΜ/ΝΙΑ	
Σχεδιάστηκε	ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	13/11/2015
Ελέγχθηκε		
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2	ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1	ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: Α3



ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Ball Screw άξονα Χ

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 10

ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 20

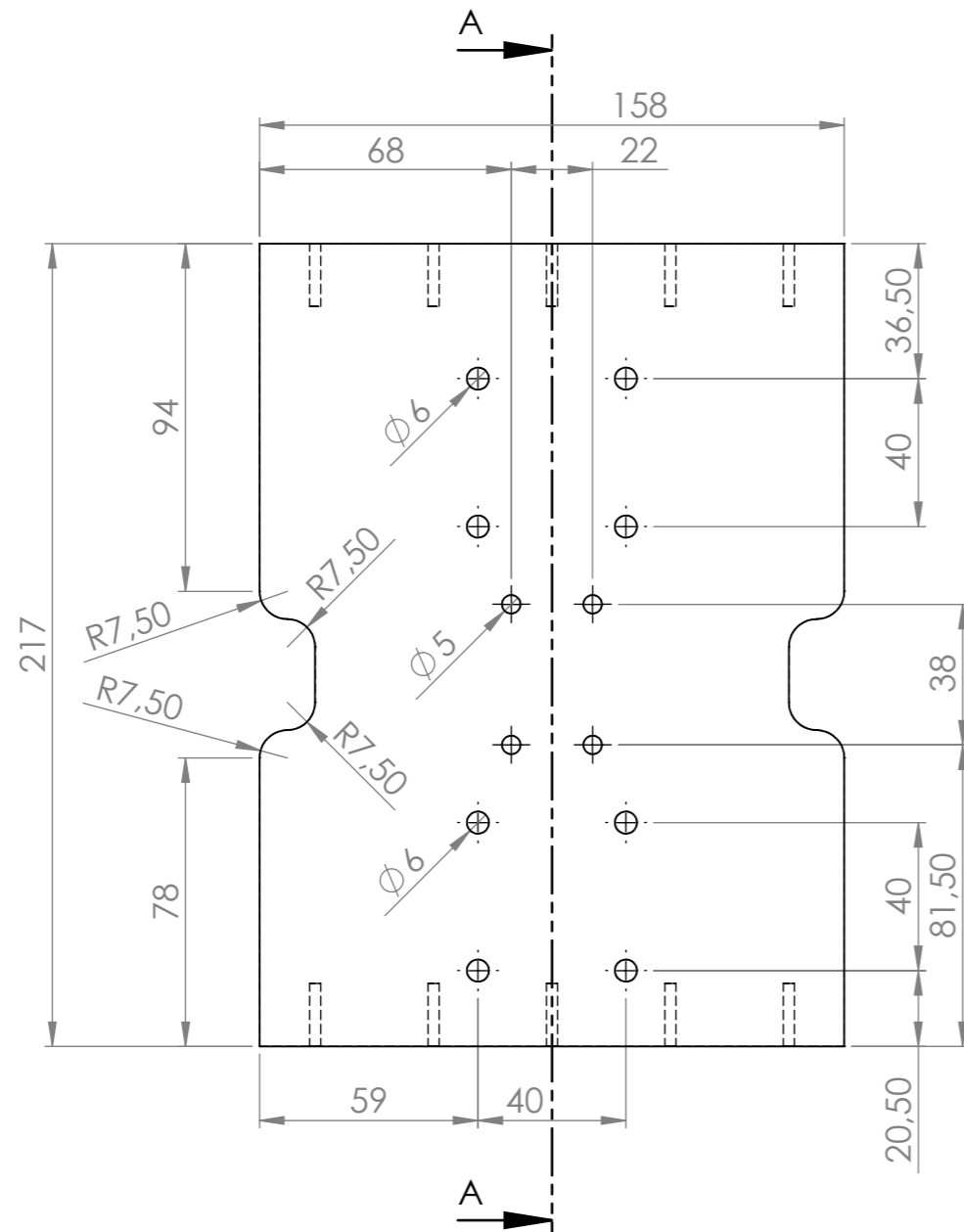
ΑΝΟΧΕΣ:  
ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ: +/-0.01  
ΓΩΝΙΑΚΕΣ: +/-1

ΥΛΙΚΟ: Χάλυβας

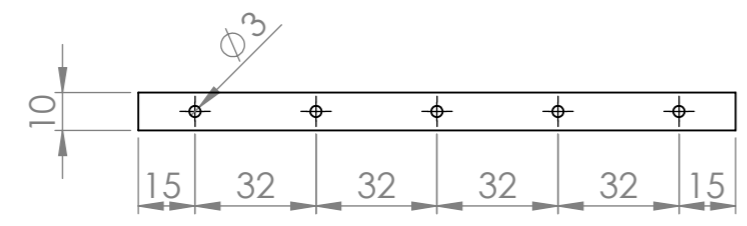
	ΟΝΟΜΑ	ΗΜ/ΝΙΑ
Σχεδιάστηκε	ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	13/11/2015
Ελέγχθηκε		

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2 ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1 ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: Α4

Ελέγχθηκε

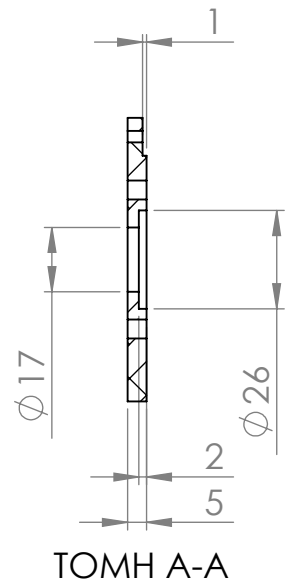
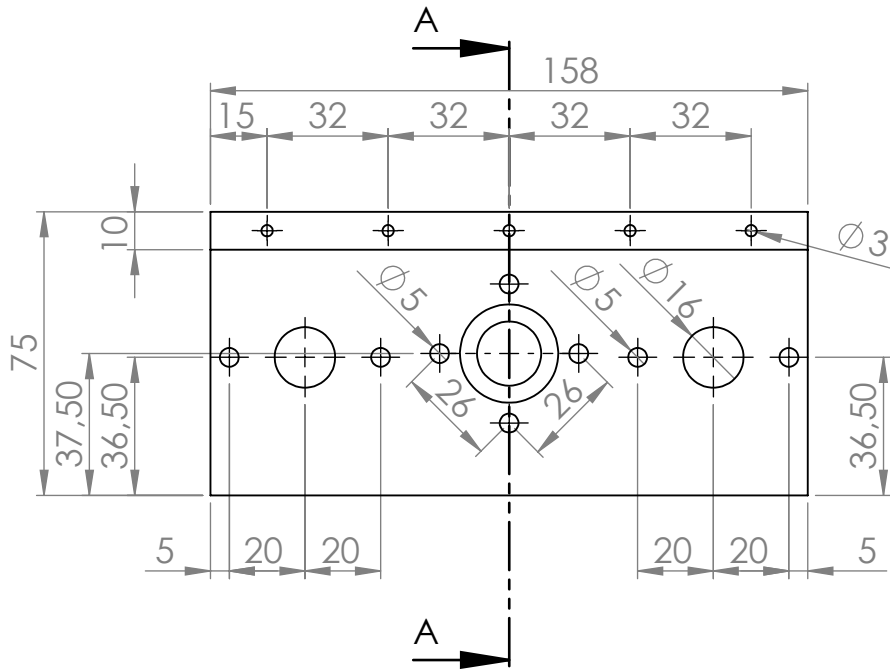


ΤΟΜΗ Α-Α



ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Πίσω πλάκα άξονα Z		
ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 11	ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 21
ΑΝΟΧΕΣ: ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ: +/-01 ΓΩΝΙΑΚΕΣ: +/-1	ΥΛΙΚΟ: Αλουμίνιο	
ΟΝΟΜΑ	ΗΜ/ΝΙΑ	
Σχεδιάστηκε	ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	13/11/2015
Ελέγχθηκε		
ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2	ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1	ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: Α3





ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Κάτω πλάκα άξονα Z

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 13

ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 23

ΑΝΟΧΕΣ:  
ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ: +/-0.01  
ΓΩΝΙΑΚΕΣ: +/-1

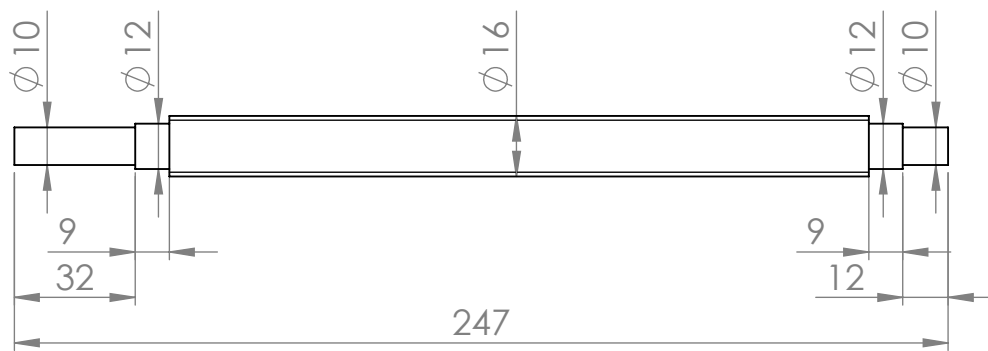
ΥΛΙΚΟ: Αλουμίνιο

	ΟΝΟΜΑ	ΗΜ/ΝΙΑ
Σχεδιάστηκε	ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	13/11/2015
Ελέγχθηκε		

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2

ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1

ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: A4



ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Ball Screw άξονα Z

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 14

ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 27

ΑΝΟΧΕΣ:  
ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ: +/-0.01  
ΓΩΝΙΑΚΕΣ: +/-1

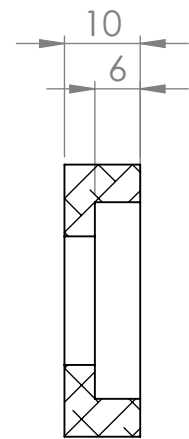
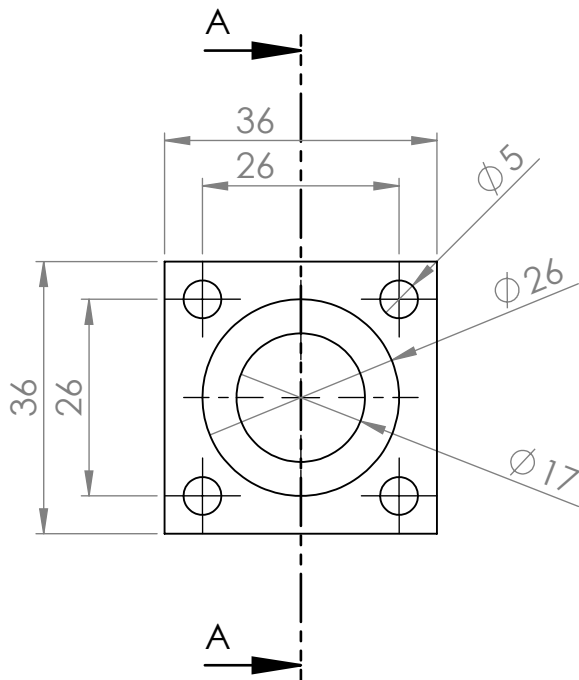
ΥΛΙΚΟ: Χάλυβας

	ΟΝΟΜΑ	ΗΜ/ΝΙΑ
Σχεδιάστηκε	ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	13/11/2015
Ελέγχθηκε		

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:2

ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1

ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: A4



ΤΟΜΗ Α-Α

ΤΙΤΛΟΣ ΣΧΕΔΙΟΥ: Φωλιά ρουλεμάν άξονα Z

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ ΚΑΙ ΜΟΙΡΕΣ

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ: 15

ΑΡ. ΚΑΤΑΛΟΓΟΥ ΤΕΜΑΧΙΩΝ: 28

ΑΝΟΧΕΣ:  
ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ: +/-0.1  
ΓΩΝΙΑΚΕΣ: +/-1

ΥΛΙΚΟ: Αλουμίνιο

	ΟΝΟΜΑ	ΗΜ/ΝΙΑ
Σχεδιάστηκε	ΦΟΥΦΟΠΟΥΛΟΣ-ΔΗΜΑΚΟΣ	13/11/2015
Ελέγχθηκε		

ΚΛΙΜΑΚΑ 1:1

ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1

ΜΕΓΕΘΟΣ ΧΑΡΤΙΟΥ: Α4





## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β : ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ**

