



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

***Σχεδιασμός, τρισδιάστατη μοντελοποίηση και υλοποίηση υδραυλικών
και πειραματικών διατάξεων για το Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών
του Ε.Μ.Π.***

ΝΙΚΟΠΑΥΛΟΣ ΝΙΚΟΛΟΠΟΥΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΣΠΙΤΑΣ

Αθήνα, Οκτώβριος 2019

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη	4
Abstract	5
ΜΕΡΟΣ Α΄ Δοκιμαστήριο Υδραυλικών Εξαρτημάτων Υψηλής Πίεσης	6
1. Εισαγωγή.....	7
1.1 Στόχοι	7
1.2 Παραγωγή Υδραυλικής Ισχύος	8
2. Λειτουργίες Δοκιμαστηρίου	10
2.1. Δοκιμή Αντλίας	11
2.2. Δοκιμή Διάταξης Κινητήρα-Αντλίας	13
2.3. Δοκιμή Υδραυλικών Εξαρτημάτων Κατεύθυνσης και Κινητήρα.....	15
2.4. Δοκιμή Υδραυλικών Κυλίνδρων	17
3. Επανασχεδιασμός Υδραυλικών Μπλοκ	19
3.1. Phantom Entities.....	19
3.2. Τελικά Τρισδιάστατα Μοντέλα Υδραυλικών Τάκων	20
3.3. Φασεολόγιο Κατασκευής Οκταγωνικού Υδραυλικού Υδραυλικού μπλόκ σε Τριαξονική CNC Φρέζα.....	26
4. Τρισδιάστατος Σχεδιασμός Διάταξης.....	30
4.1 Συναρμολόγημα Σκελετού	30
4.2 Συναρμολόγημα Ηλεκτρικών Κινητήρων και Αντλιών	31
4.3 Συναρμολόγημα Τράπεζας Δοκιμών	31
4.4 Συναρμολόγημα Παροχομέτρων	32
4.5 Συνολικό Συναρμολόγημα	33
5. BOM	36
ΜΕΡΟΣ Β΄ Πειραματική Διάταξη Τρισδιάστατης Εκτύπωσης Κονιαμάτων	40
6. Εισαγωγή.....	41
7. Σύστημα κίνησης	42
7.1 Ηλεκτρικός Κινητήρας	42
7.2 Ιμαντοκίνηση	44
7.3 Σύνδεση ηλεκτροκινητήρα τροχαλία	44
8 Βάση Διάταξης	46
8.1 Κατασκευαστικά Σχέδια.....	46
8.2 Κατασκευή.....	47
9 Άξονας Περιστροφής Πλατφόρμας Εκτύπωσης	48
9.1 Προδιαγραφές κι Απαιτήσεις	48
9.2 Στοιχεία Κύλισης.....	48
9.3 Κατασκευαστικά Σχέδια & Ανοχές	50
9.4 Κατασκευή.....	51
10 Άξονας Κίνησης Ακροφυσίου Εκτύπωσης Κονιάματος	54
10.1 Προδιαγραφές	54
10.2 Αξονικό Στοιχείο Κύλισης	54
10.3 Κατασκευαστικά Σχέδια.....	55

10.4	Κατασκευή.....	60
11	Βιβλιογραφία.....	62

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η κατασκευαστική μελέτη δύο πειραματικών διατάξεων για της ανάγκες του Εργαστηρίου Στοιχείων Μηχανών του ΕΜΠ. Βασικές πτυχές της εργασίας αποτέλεσαν αφενός ο επανασχεδιασμός και η βελτιστοποίηση υπαρχόντων σχεδίων των αντίστοιχων διατάξεων καθώς και η εκπόνηση νέων σχεδίων για την αποτελεσματικότερη υλοποίηση του τελικού σταδίου της κατασκευής.

Το πρώτο μέρος της εργασίας αφορά τη μελέτη και τον σχεδιασμό δοκιμαστηρίου υδραυλικών εξαρτημάτων υψηλής πίεσης. Η συγκεκριμένη διάταξη έχει ιδιαίτερη χρησιμότητα για την πραγματοποίηση πειραματικών δοκιμών εξαρτημάτων που μελετά, σχεδιάζει και αναπτύσσει το εργαστήριο.

Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται η μελέτη, η εκπόνηση τελικών κατασκευαστικών σχεδίων καθώς και η διαδικασία κατασκευής πειραματικής διάταξης τρισδιάστατης εκτύπωσης κονιαμάτων. Η συγκεκριμένη διάταξη στοχεύει στην δοκιμή διαφόρων κονιαμάτων για την δυνατότητα χρήσης τους σε τρισδιάστατη εκτύπωση σε διάφορες ταχύτητες.

Abstract

The purpose of this diploma thesis is the design study of two experimental configurations for the Machine Design Laboratory of NTUA. Fundamental elements of the study were the re-design and optimization of these configurations based on existing design drawings, as well as the creation of new designs for the efficient implementation of the final stage of the construction phase of the project.

The first part of this thesis concerns the design study of a high-pressure hydraulic bench testing configuration. This setup allows for the realization of experimental tests of machinery components that are used, studied and designed by the Machine Design Laboratory.

In the second part of the thesis, the design study, production of final design drawings, as well as the step-by-step construction procedure of a mortars 3D printing experimental configuration is presented. This configuration allows for testing of different mortars to assess their potential use in 3D printing applications at various speeds.

ΜΕΡΟΣ Α' Δοκιμαστήριο Υδραυλικών Εξαρτημάτων Υψηλής Πίεσης

1. Εισαγωγή

Στο πρώτο μέρος της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε η κατασκευαστική μελέτη του δοκιμαστηρίου υδραυλικών εξαρτημάτων υψηλής πίεσης (Hydraulic Test Bench). Πρόκειται για διάταξη που είναι απαραίτητη στη βιομηχανία για δοκιμές είτε κατά την ανάπτυξη προϊόντων για τον εντοπισμό σχεδιαστικών ή κατασκευαστικών αστοχιών είτε έτοιμων υδραυλικών εξαρτημάτων πριν την χρήση της σε ολοκληρωμένα υδραυλικά κυκλώματα. Η παρούσα διάταξη έρχεται να καλύψει ακριβώς αυτές της ανάγκες για το Εργαστήριο Στοιχείων Μηχανών.

Οι αντίστοιχες διατάξεις του εμπορίου έχουν υψηλό κόστος αγοράς λόγω του υψηλού κόστους των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται όπως αντλίες θετικής μετατόπισης μεταβλητής παροχής, κεντρικός ψηφιακός έλεγχος των λειτουργιών της διάταξης και βέλτιστος εργονομικός σχεδιασμός και ποιότητα κατασκευής υλικών κι επιφανειών. Συνεπώς, η αγορά μιας τέτοιας διάταξης είναι απαγορευτική. Ο σχεδιασμός του δοκιμαστηρίου με δυνατότητες λειτουργίας που να ικανοποιούν τις ανάγκες του εργαστηρίου αλλά και ο περιορισμός του κόστους κατασκευής του με ενσωμάτωση στο σχεδιασμό υπαρχόντων υδραυλικών και μηχανολογικών εξαρτημάτων αποτέλεσε την βασικότερη πρόκληση.

1.1 Στόχοι

Σκοπός του δοκιμαστηρίου είναι η υλοποίηση 4 διαφορετικών διατάξεων λειτουργίας για την δοκιμή κάθε είδους υδραυλικών εξαρτημάτων καθώς και την δυνατότητα εκτέλεσης διαφορετικών πειραμάτων στο καθένα για την εξαγωγή αποτελεσμάτων σχετικών με το εύρος λειτουργίας τους. Η ταξινόμηση διατάξεων και πειραμάτων παρουσιάζεται συνοπτικά παρακάτω ενώ ακολουθούν μονογραμμικά σχέδια του εκάστοτε υδραυλικού κυκλώματος και ανάλυσή τους.

A) Λειτουργία Αντλίας (με Ηλεκτρικό Κινητήρα)

1. Εξαγωγή διαγράμματος P-Q.
2. Δυνατότητα επιβολής σταθερού και μεταβλητού υδραυλικού φορτίου.
3. Εκτίμηση εξωτερικών διαρροών.

B) Λειτουργία Κινητήρα

1. Εκτίμηση ογκομετρικού βαθμού απόδοσης.
2. Εξαγωγή διαγράμματος απόκρισης P-Q, με παράλληλο έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής και προς τις δύο κατευθύνσεις.
3. Μοντελοποίηση εσωτερικών διαρροών.

Γ) Λειτουργία Βαλβίδων

1. Εκτίμηση των απωλειών πίεσης, συναρτήσει της παροχής αλλά και της πίεσης λειτουργίας.
2. Συμπεριφορά σε μεταβατικά φαινόμενα
3. Απόκριση συχνότητας

Δ) Λειτουργία Κυλίνδρου

1. Απόκριση της ταχύτητας του εμβόλου σε μεταβλητή παροχή και πίεση ρευστού, και δύο κατευθύνσεις.
2. Εκτίμηση της αντίστασης τριβής της το έμβολο συναρτήσει της πίεσης και της ταχύτητας του εμβόλου.
3. Μέτρηση των εσωτερικών διαρροών του κυλίνδρου, και της της δύο κατευθύνσεις.

4. Μέτρηση αντοχής μέγιστης πίεσης.

1.2 Παραγωγή Υδραυλικής Ισχύος

Η αντίστοιχες διατάξεις του εμπορίου χρησιμοποιούν αντλίες θετικής μετατόπισης μεταβλητής παροχής προκειμένου να επιτύχουν το επιθυμητό εύρος παροχής-πίεσης που απαιτείται για την εκτέλεση κάθε πειράματος. Για την παραγωγή της απαιτούμενης υδραυλικής ισχύος για τις ανάγκες της διάταξης θα χρησιμοποιηθούν κυρίως ηλεκτρικοί κινητήρες και αντλίες που υπάρχουν ήδη στο εργαστήριο. Πρόκειται για αντλίες θετικής μετατόπισης, σταθερής παροχής, καθώς λειτουργούν στις στροφές του αντίστοιχου ηλεκτρικού κινητήρα – κοντά στις 1500rpm για 4-πολικούς εναλλασσόμενου ρεύματος-. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι διαθέσιμες αντλίες του εργαστηρίου με τα βασικά χαρακτηριστικά τους:

Τύπος Αντλίας	P _{max} (bar)	Q _{max} (lt/min)	Ισχύς (kW)
Γραναζωτή	250	17	8,8
Πτερυγιοφόρος	100	19	4
Πτερυγιοφόρος	125	14,4	6
		8,64	

Πίνακας 1.1 : Αντλίες Εργαστηρίου

Επιπλέον των παραπάνω στο εργαστήριο υπάρχει διαθέσιμος βηματικός κινητήρας (stepper motor) ισχύος 2KW με εύρος στροφών 0-5600rpm, με ικανότητα οδήγησης αντλίας παροχής Q=12 lt/min και πίεσης P= 100bar. Αποφασίστηκε, λοιπόν, η αγορά γραναζωτής αντλίας θετικής μετατόπισης με αυτά τα χαρακτηριστικά προκειμένου να επιτύχουμε πλήρη ρύθμιση της ισχύος μέσω της μεταβλητής παροχής που θα καταθλίβει ανάλογα με τις στροφές λειτουργίας του κινητήρα.

Με τη χρήση του διαθέσιμου εξοπλισμού διαπιστώνεται διαφορά στην μέγιστη πίεση λειτουργίας των αντλιών. Συνεπώς, η διάταξη θα έχει δύο καταστάσεις λειτουργίας.

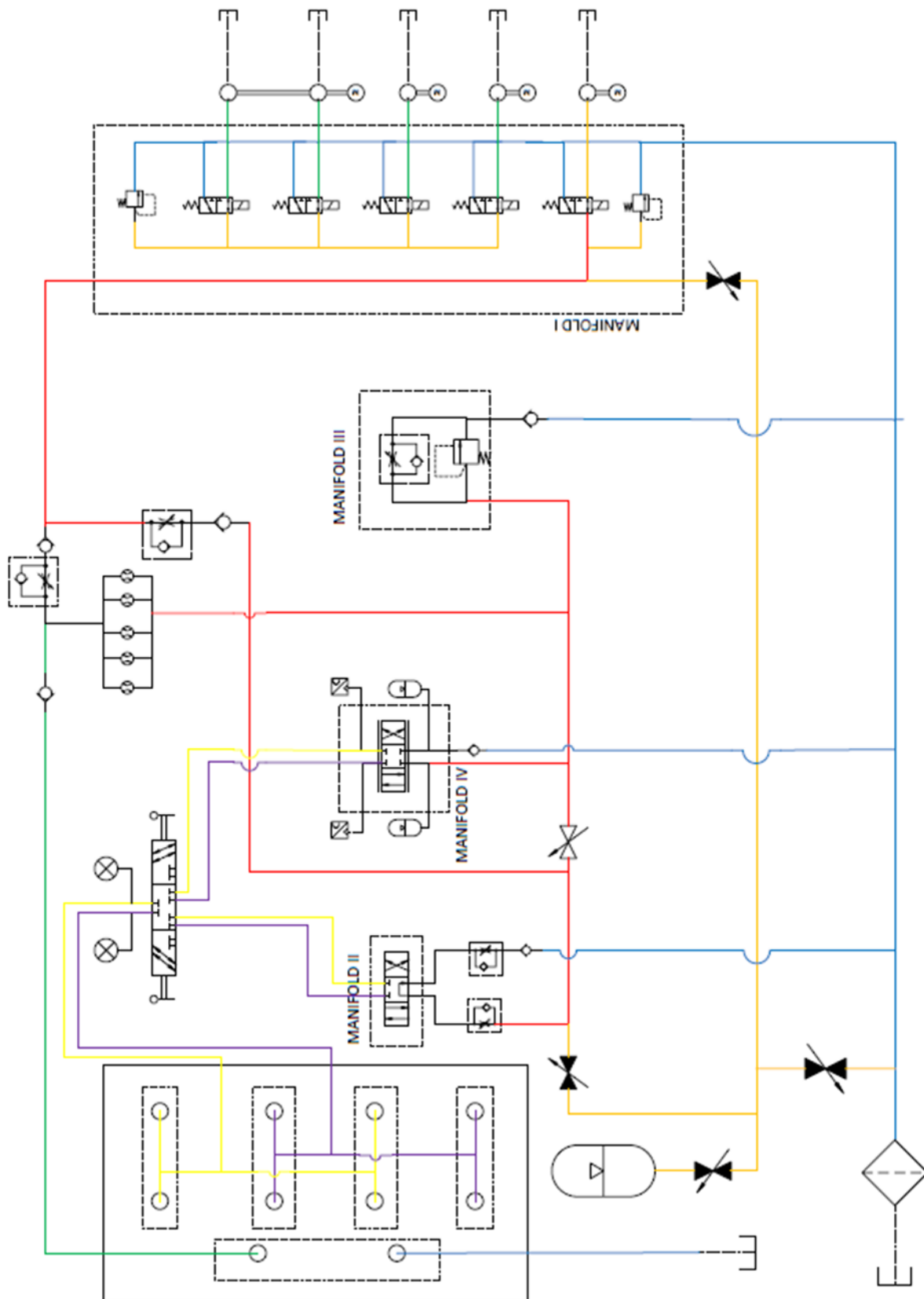
- α. Ονομαστική πίεση λειτουργίας $P_n = 100 \text{ bar}$ και ονομαστική παροχή $Q_n = 71 \text{ lt/min}$
- β. Ονομαστική πίεση λειτουργίας $P_n = 250 \text{ bar}$ και ονομαστική παροχή $Q_n = 17 \text{ lt/min}$

Πρόκειται για ένα σύστημα hi-lo ευρέως χρησιμοποιούμενο στα υδραυλικά συστήματα ισχύος όπου χρειαζόμαστε είτε υψηλή ταχύτητα άρα και υψηλή παροχή με χαμηλή πίεση είτε χαμηλή ταχύτητα και παροχή με υψηλή πίεση για την διαχείριση αυξημένου φορτίου. Συνεπώς οι παραπάνω δύο καταστάσεις λειτουργίας θα μπορέσουν να καλύψουν από πλευράς ισχύος όλο το εύρος των πειραμάτων που έχουμε σκοπό να εκτελεί η υπό μελέτη διάταξη.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Διάταξης	
Ηλεκτρική Ισχύς	400 V – 3x63 A
Μέγιστη Ισχύς Αντλιών	26 kW
Δυναμικότητα εμβόλων	500 kN/1m
Διαθέσιμη Ισχύς για δοκιμή	9 kW
Μέγιστη Παροχή	71 lt/min
Μέγιστη Πίεση	250 bar
Χωρητικότητα Δεξαμενής	250 lt
Sizing	NG10
Κανάλια σύνδεσης P-T	½"
Διαστάσεις Τράπεζας	1740 X 550 mm
Συνδέσεις Τράπεζας	M12
Αναλογικός έλεγχος	•

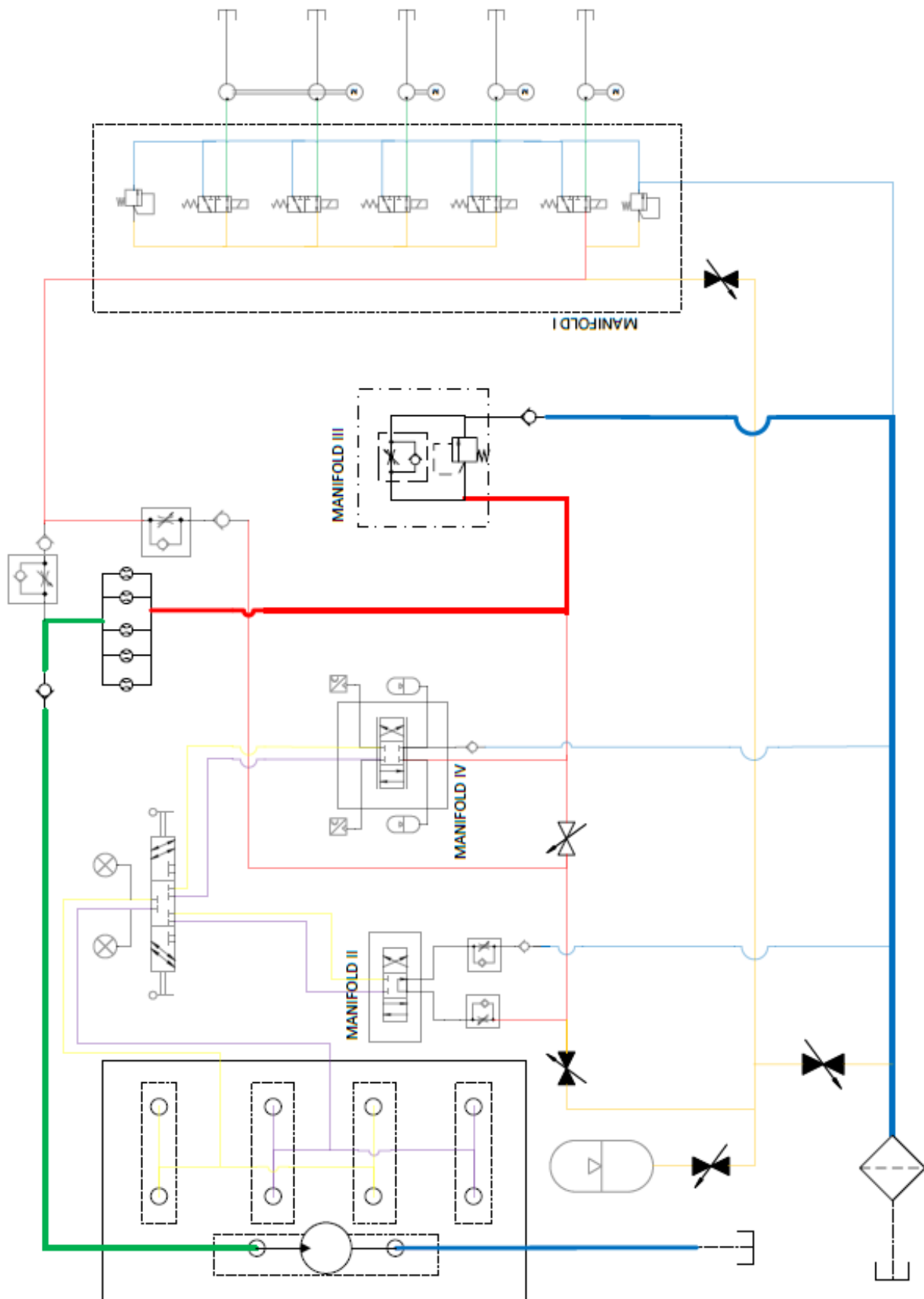
Πίνακας 1.2 : Τεχνικές προδιαγραφές διάταξης

2. Λειτουργίες Δοκιμαστήριου



Εικόνα 2.1: Μονογραμμικό σχέδιο συνολικής διάταξης

2.1. Δοκιμή Αντλίας



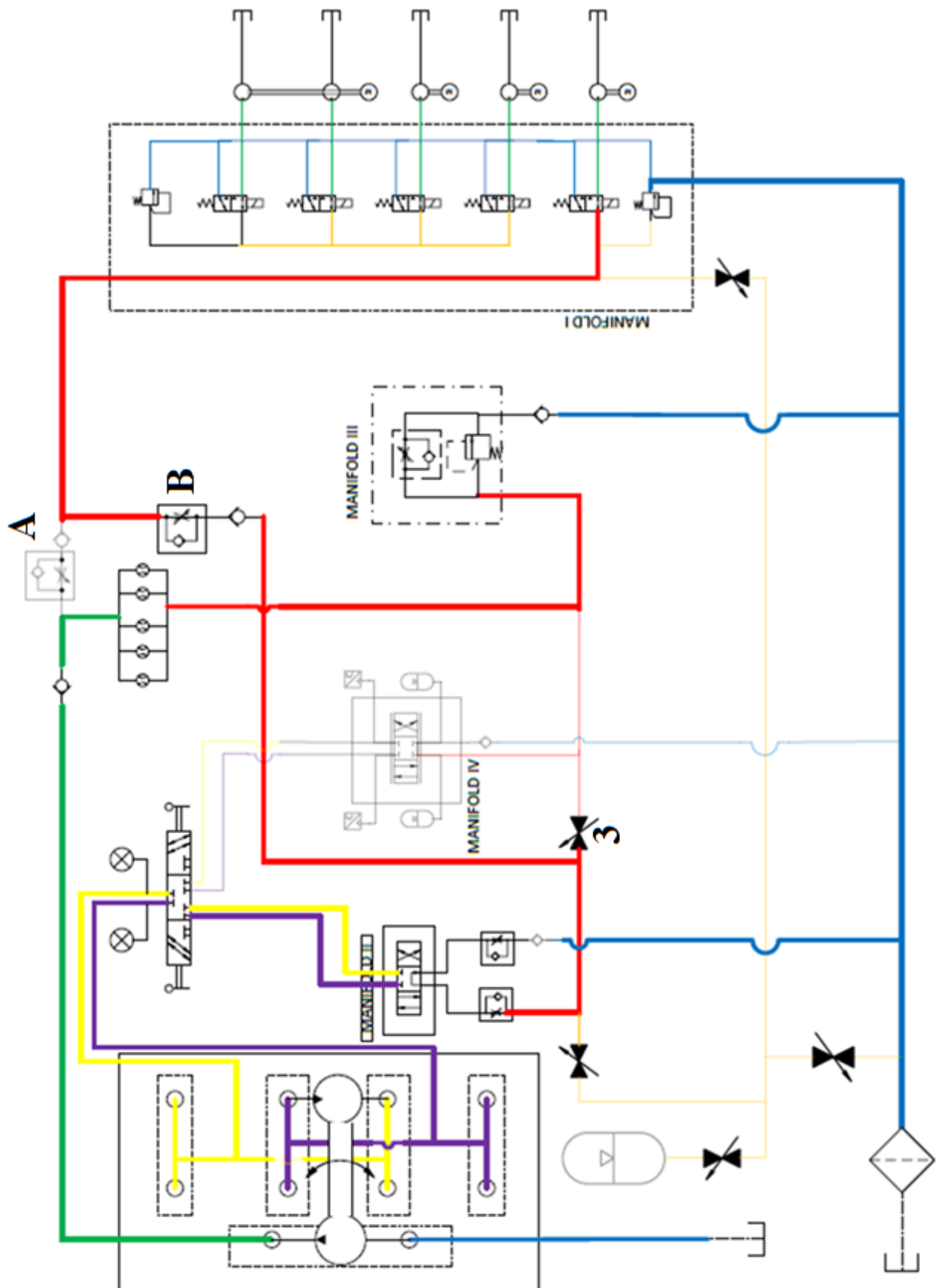
Εικόνα 2.2: Μονογραμμικό σχέδιο δοκιμής αντλίας

Στην παρούσα λειτουργία η υπό δοκιμή αντλία κινείται μέσω ηλεκτρικού κινητήρα όπως φαίνεται και στο μονογραμμικό σχέδιο. Η αναρρόφησή του συνδέεται με την δεξαμενή του δοκιμαστηρίου μέσω της μπλε σωληνογραμμής του κρεβατιού ενώ η κατάθλιψή του με την πράσινη σωληνογραμμή η οποία καταλήγει στα παροχόμετρα και τον κεντρικό πιεζοστάτη –τα οποία της δίνουν στοιχεία για την παροχή (Q) και την πίεση (P) της αντλίας- προτού φτάσει στον Τάκο III που δημιουργεί το τεχνητό υδραυλικό φορτίο μέσω στραγγαλιστικής βαλβίδας.

Η στραγγαλιστική βαλβίδα επιτρέπει την ρύθμιση της παροχής από 0-350bar και την επιβολή είτε σταθερού είτε μεταβαλλόμενου φορτίου στην αντλία με χειροκίνητη ρύθμιση της παροχής. Η παρουσία του ασφαλιστικού στον Τάκο II επιτρέπει την αύξηση πίεσης μέχρι τα 400bar ενώ έπειτα ενεργοποιείται κι η παροχή της αντλίας καταθλιβεται στην κεντρική μπλε σωληνογραμμή κατάθλιψης του δοκιμαστηρίου.

Οι κινητήρες κι οι αντλίες του δοκιμαστηρίου είναι απενεργοποιημένες και από τον Τάκο I δεν περνά παροχή. Οι βαλβίδα θέσης του υδραυλικού μπλόκ II και η αναλογική βαλβίδα θέσης (PVG) του υδραυλικού μπλόκ IV βρίσκονται στην κεντρική τους θέση και είναι κλειστές ώστε η παροχή της αντλίας να περνά εξ' ολοκλήρου από τον Τάκο III.

2.2. Δοκιμή Διάταξης Κινητήρα-Αντλίας

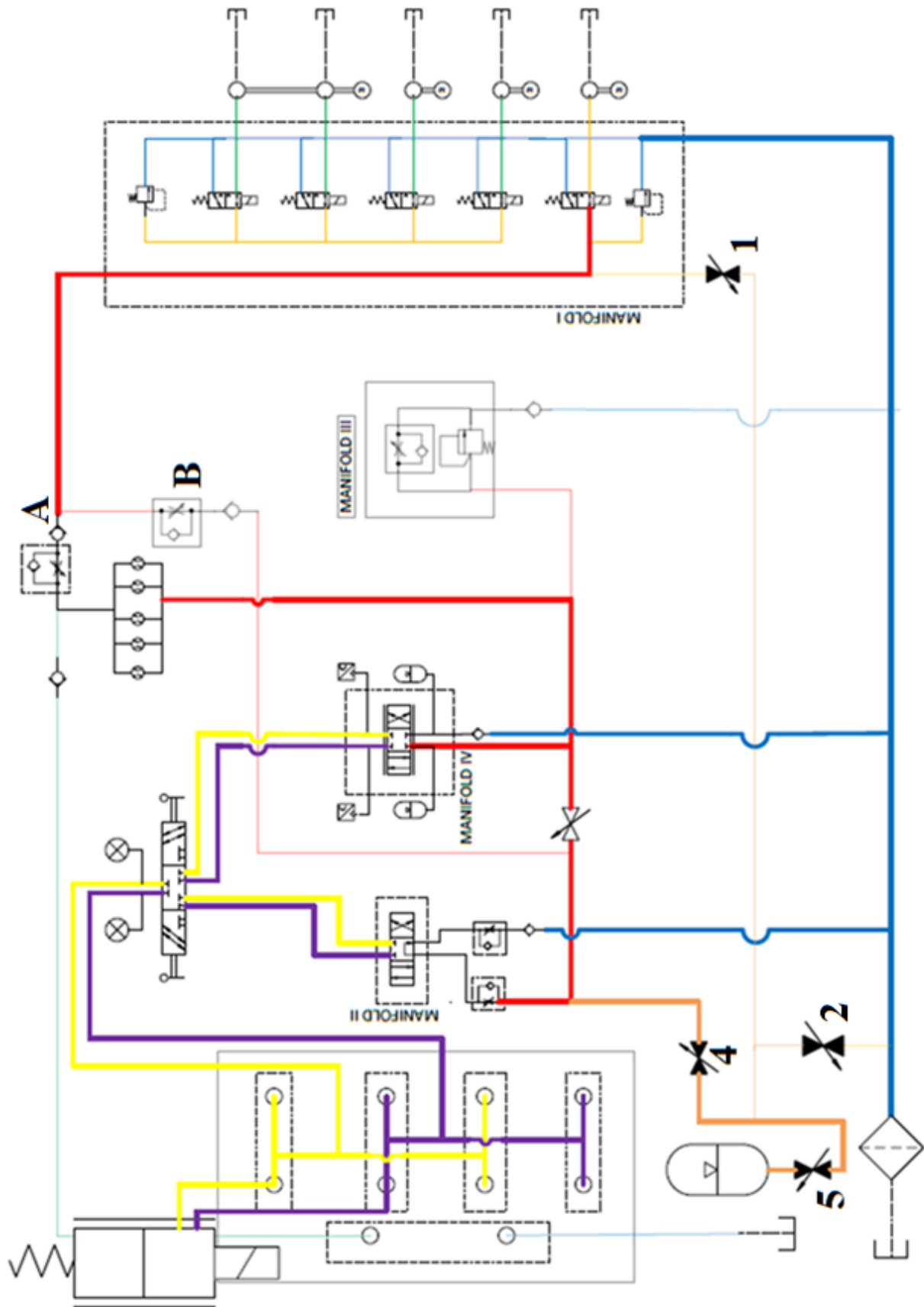


Εικόνα 2.3: Μονογραμμικό σχέδιο διάταξης δοκιμής κινητήρα-αντλίας

Για τη συγκεκριμένη λειτουργία είναι απαραίτητη η χρήση της βοηθητικής κόκκινης σωληνογραμμής που φαίνεται στο σχέδιο, κλείνοντας την στραγγαλιστική βαλβίδα ελέγχου παροχής Α, ανοίγοντας το αντίστοιχο στραγγαλιστικό Β και κλείνοντας την βάνα 3. Αυτή επιτρέπει την τροφοδότηση υδραυλικού κινητήρα – προσδεμένου στις μωβ και κίτρινες σωληνογραμμές του κρεβατιού δοκιμών- μέσω της κεντρικής παροχής λειτουργίας διαμέσου του υδραυλικού μπλόκ Ι και την ρύθμιση της τροφοδοσίας του κινητήρα μέσω της βαλβίδας θέσης και των στραγγαλιστικών του υδραυλικού μπλόκ ΙΙ.

Στο κρεβάτι δοκιμών τοποθετούμε επίσης μία αντλία η οποία κινείται από τον υδραυλικό κινητήρα ενώ η αναρρόφησή της συνδέεται με την μπλε σωληνογραμμή του κρεβατιού ενώ η κατάθλιψή της με την πράσινη σωληνογραμμή όπου περνώντας από τα παροχόμετρα και τον κεντρικό πιεζοστάτη καταλήγει στο τεχνητό φορτίο που δημιουργεί το στραγγαλιστικό του υδραυλικού μπλόκ ΙΙΙ.

2.3. Δοκιμή Υδραυλικών Εξαρτημάτων Κατεύθυνσης και Κινητήρα



Εικόνα 2.4: Μονογραμμικό σχέδιο διάταξης δοκιμής εξαρτημάτων κατεύθυνσης

Στη συγκεκριμένη διάταξη χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες κεντρικές αντλίες του δοκιμαστήριου σύμφωνα με την παροχή και την πίεση που θέλουμε να επιτύχουμε ενώ το υδραυλικό μπλόκ Ι διαχειρίζεται την συνολική παροχή τους. Με χρήση του στραγγαλιστικού Α διοχετεύουμε την κατάθλιψη του υδραυλικού μπλόκ Ι στα παροχόμετρα –τα οποία μας δίνουν την πίεση λειτουργίας- ενώ με το αντίστοιχο στραγγαλιστικό Β σε κλειστή θέση και την ανεπίστροφη βαλβίδα που βρίσκεται σε σειρά αποκλείουμε από το κύκλωμα την πρόσθετη κόκκινη σωληνογραμμή που καταθλίβει κατ' ευθείαν στο Τάκο ΙΙ. Το στραγγαλιστικό του υδραυλικού μπλόκ ΙΙΙ είναι μόνιμα κλειστό καθώς στα σχετικά πειράματα δεν θα χρησιμοποιηθεί.

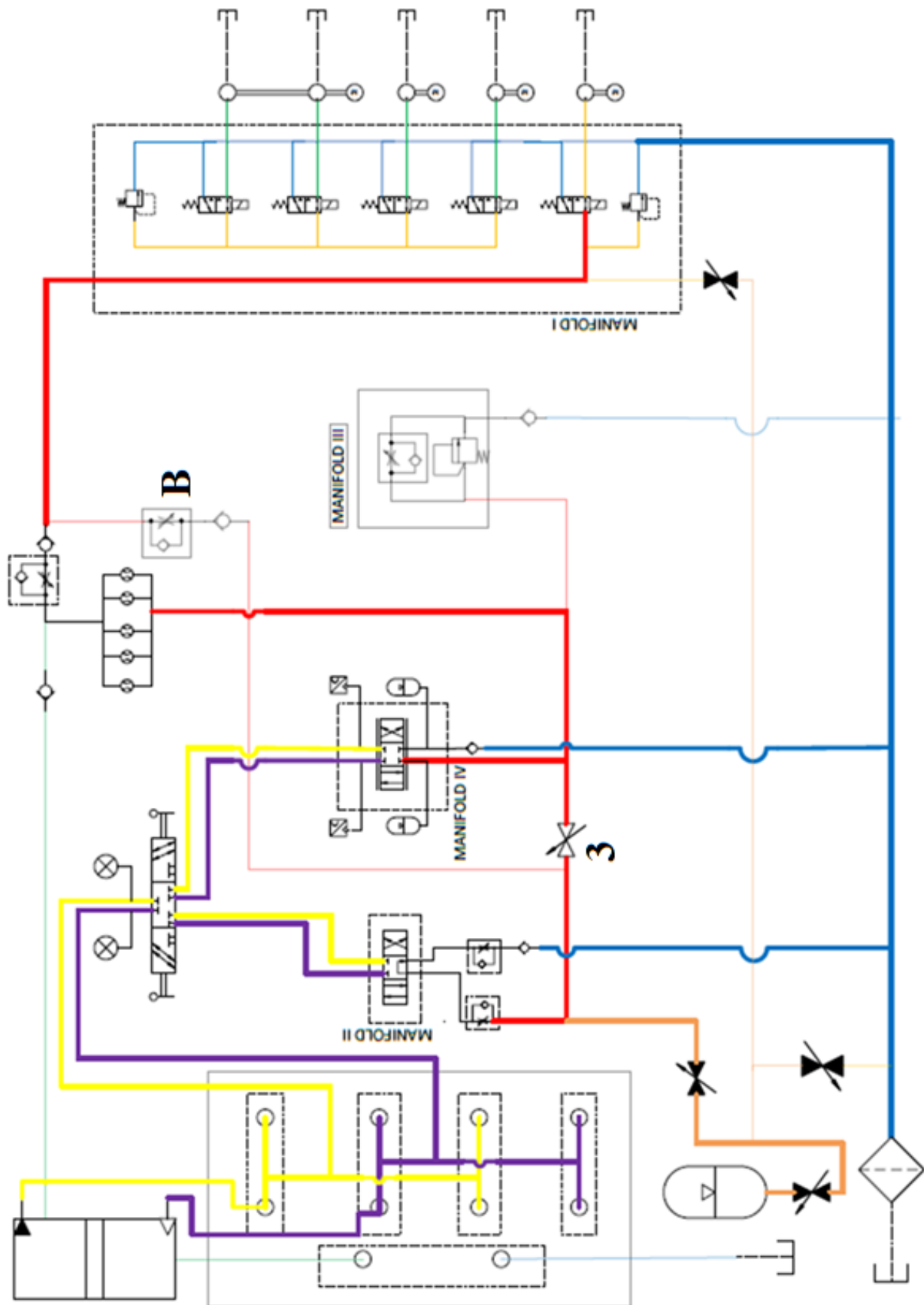
Για την εκτίμηση απωλειών πίεσης συναρτήσει της παροχής και της πίεσης λειτουργίας που έχει επιλεγεί, χρησιμοποιείται το υδραυλικό μπλόκ ΙV επιλέγοντας την άνω θέση της 6-πορτης βαλβίδας κατεύθυνσης και τοποθετώντας την βαλβίδα θέσης του υδραυλικού μπλόκ ΙΙ στην κεντρική κλειστή θέση. Με χρήση της αναλογικής βαλβίδας του υδραυλικού μπλόκ ΙV ελέγχονται οι σχετικές απώλειες και προς τις δύο κατευθύνσεις ανάλογα με τη θέση λειτουργίας που έχει επιλεγεί για την ΡVΓ. Οι πιεζοστάτες που βρίσκονται στα κανάλια Α, Β του υδραυλικού μπλόκ ΙV δίνουν την διαφορά πίεσης για την πίεση και παροχή λειτουργίας και συνεπώς εκτίμηση των απωλειών πίεσης της υπό δοκιμή βαλβίδας.

Για την δοκιμή βαλβίδων και γενικότερα υδραυλικών εξαρτημάτων κατεύθυνσης σε μεταβατικά φαινόμενα στο δοκιμαστήριο, χρησιμοποιείται το υδραυλικό μπλόκ ΙΙ και ο κεντρικός συσσωρευτής των 330bar.

Αρχικά θα πρέπει να φορτιστεί ο κεντρικός συσσωρευτής. Η 6-πορτη βαλβίδα και οι Τάκοι ΙΙ, ΙV βρίσκονται στην κεντρική κλειστή τους θέση και οι βάνες 1, 5 είναι ανοιχτές προκειμένου η παροχή να οδηγείται στον συσσωρευτή. Οι βάνες 2, 4 που συνδέουν τον συσσωρευτή με την κεντρική μπλε σωληνογραμμή κατάθλιψης και τον Τάκο ΙΙ αντίστοιχα είναι κλειστές.

Στη συνέχεια οι βάνες 1, 5 κλείνουν. Η 6-πορτη βαλβίδα βρίσκεται στην κάτω θέση της για χρήση του υδραυλικού μπλόκ ΙΙ ο οποίος βρίσκεται στην θέση κατεύθυνσης που επιθυμούμε να γίνει ο έλεγχος. Ο υδραυλικό μπλόκ ΙV βρίσκεται στην κεντρική κλειστή θέση. Η κεντρική παροχή είτε κλείνει είτε διοχετεύεται στην μπλε σωληνογραμμή κατάθλιψης μέσω των ασφαλιστικών του υδραυλικού μπλόκ Ι. Τα στραγγαλιστικά στις θέσεις Ρ, Τ του υδραυλικού μπλόκ ΙΙ είναι ανοιχτά, οι βάνες 5, 4 ανοίγουν και ο συσσωρευτής καταθλίβει στο υπό δοκιμή εξάρτημα.

2.4. Δοκιμή Υδραυλικών Κυλίνδρων



Εικόνα 2.5: Μονογραμμικό σχέδιο διάταξης δοκιμής κυλίνδρου

Και στην παρούσα δοκιμή η βοηθητική κόκκινη σωληνογραμμή απ' ευθείας σύνδεσης του υδραυλικού μπλόκ I με το υδραυλικό μπλοκ II παραμένει ανενεργή με την στραγγαλιστική βαλβίδα B κλειστή και την βάννα 3 σε ανοιχτή θέση. Το στραγγαλιστικό του υδραυλικού μπλόκ III παραμένει επίσης κλειστό. Οι κεντρικές αντλίες της διάταξης ενεργοποιούνται και το υδραυλικό μπλόκ I καταθλίβει την συνολική παροχή λειτουργίας μέσω των παροχομέτρων και του κεντρικού πιεζοστάτη είτε στον Τάκο II είτε στον Τάκο IV. Ο υπό δοκιμή υδραυλικός κύλινδρος συνδέεται με την μωβ και κίτρινη σωλήνωση του κρεβατιού.

Με χρήση του υδραυλικού μπλόκ II μπορούμε να εκτελέσουμε πειράματα και προς τις δύο κατευθύνσεις κίνησης του εμβόλου του κυλίνδρου ενώ τα στραγγαλιστικά τόσο στην αναρρόφηση όσο και στην κατάθλιψη μας επιτρέπουν τον ασφαλή έλεγχο της κίνησης του εμβόλου με τη μέθοδο meter-in και meter-out αντίστοιχα. Η εκτέλεση του πειράματος για αντοχή μέγιστης πίεσης του εμβόλου επιτυγχάνεται με την επιλογή της κατάλληλης θέσης της βαλβίδας κατεύθυνσης του υδραυλικού μπλόκ II και το κλείσιμο του εκάστοτε στραγγαλιστικού. Τα μανόμετρα μετά την 6-πορτη βαλβίδα μας επιτρέπουν να έχουμε πληροφόρηση σχετικά με τυχόν εγκλωβισμένη πίεση εντός του υπό δοκιμή εμβόλου προκειμένου να την εκτονώσουμε με άνοιγμα του στραγγαλιστικού πριν την αποσύνδεση του από το κρεβάτι δοκιμών.

Η χρήση του υδραυλικού μπλόκ IV μας επιτρέπει την αναλογική ρύθμιση της παροχής προς τον υπό δοκιμή κύλινδρο ενώ οι συσσωρευτές 330bar, 1lt με τους οποίους είναι συνδεδεμένη τόσο η αναρρόφηση όσο και η κατάθλιψη μας επιτρέπουν την απόσβεση μεταβατικών φαινομένων κατά την εκτέλεση των πειραμάτων.

3. Επανασχεδιασμός Υδραυλικών Μπλοκ

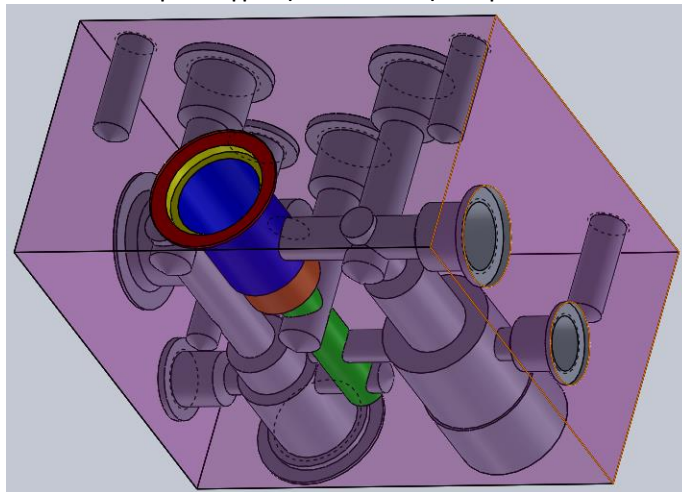
Τα αρχικά υδραυλικά σχέδια της διάταξης απλοποιήθηκαν και τροποποιήθηκαν για να ανταποκρίνονται καλύτερα στους σκοπούς λειτουργίας του δοκιμαστηρίου και να μειωθεί το κόστος κατασκευής και παραγγελίας υλικών και εξαρτημάτων. Αυτές οι αλλαγές οδήγησαν και σε τροποποιήσεις στα κατασκευαστικά σχέδια των υδραυλικών μπλοκ της διάταξης. Αλλαγή των αρχικών υδραυλικών εξαρτημάτων των μπλοκ καταλήγει σε αλλαγή των αντίστοιχων υποδοχών στα μπλόκ, κατάργηση παλαιότερων υποδοχών αλλά και δημιουργία νέων.

Παράλληλα, τα αρχικά τρισδιάστατα μοντέλα παρείχαν μία ικανοποιητική εποπτεία όσων αφορά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και την διάταξη των σωληνογραμμών στο εσωτερικό των τάκων άλλα έπρεπε να γίνει λεπτομερέστερος σχεδιασμός τους προκειμένου να αποτελέσουν έτοιμα προς κατασκευή μοντέλα που θα ενσωματώνουν τις βασικές αρχές μηχανουργικής κατεργασίας τέτοιων μηχανολογικών εξαρτημάτων.

3.1. Phantom Entities

Η συνεχής αλλαγή των σχεδίων προϋπέθετε ένα ευέλικτο τρισδιάστατο μοντέλο για τον κάθε μπλοκ στο οποίο θα είναι εύκολο να εφαρμόζονται οι εκάστοτε αλλαγές χωρίς ανάγκη τροποποίησης όλων των χαρακτηριστικών του ή ακόμα κι εξ' αρχής σχεδιασμό του μοντέλου. Ένας τέτοιος τρόπος είναι η μέθοδος των phantom entities.

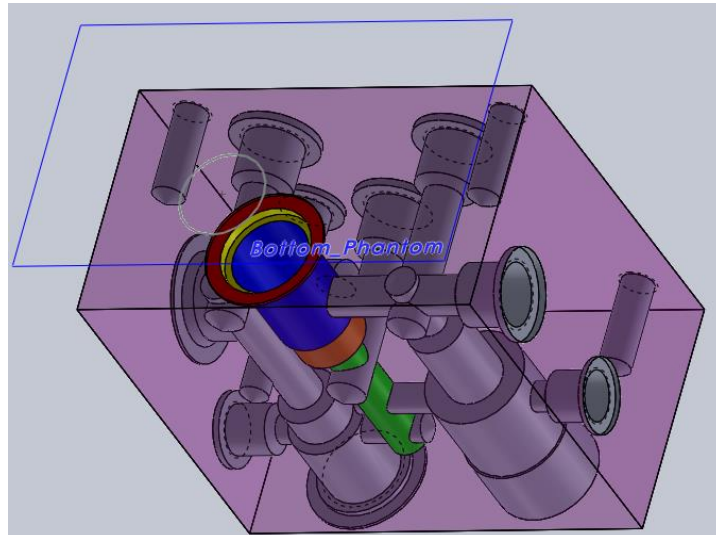
Το σύνηθες στα τρισδιάστατα μοντέλα εξαρτημάτων γενικότερα αλλά και των υδραυλικών μπλοκ είναι η δημιουργία χαρακτηριστικών (features) με επιφάνειες και σημεία αναφοράς που υπάρχουν ήδη πάνω στο υπό σχεδιασμό εξάρτημα. Μια τέτοια μέθοδος, όμως, δεν μας επιτρέπει να αλλάξουμε το ένα feature χωρίς να επηρεαστεί το άλλο. Ένα τέτοιο παράδειγμα φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 3.1: Τρισδιάστατος σχεδιασμός υδραυλικού μπλοκ

Η αρχική κόκκινη πατούρα έχει ως επιφάνεια αναφοράς την εξωτερική μωβ επιφάνεια του υδραυλικού μπλόκ. Η κίτρινη πατούρα έχει ως επιφάνεια αναφοράς την επιφάνεια της κόκκινης. Η μπλε επιφάνεια αντίστοιχα βασίζεται στην κίτρινη, η πορτοκαλί στην μπλε και τέλος η πράσινη στην πορτοκαλί. Μια αλλαγή της κόκκινης πατούρας θα επηρέαζε όλες τις υπόλοιπες και πιθανώς να απαιτούνταν επανασχεδιασμός όλης της οπής και των διαμορφώσεών της από την αρχή.

Τα phantom entities αντίθετα είναι επιφάνειες αναφοράς εκτός των επιφανειών και των χαρακτηριστικών των υπό κατασκευή εξαρτημάτων κι έτσι έχουμε την δυνατότητα αλλαγών σε κάθε feature ξεχωριστά χωρίς να επηρεάζονται τα υπόλοιπα. Με τον τρόπο αυτό αν και απαιτήθηκε ο εξ αρχής σχεδιασμός όλων των μπλοκ, στην πορεία οι εκάστοτε αλλαγές ήταν πολύ πιο απλές και πολύ λιγότερο χρονοβόρες. Στην παρακάτω εικόνα η εισαγωγή της μπλε επιφάνειας σε απόσταση εκτός του σώματος του υδραυλικού μπλόκ στο τρισδιάστατο μοντέλο επέτρεψε την αναγωγή του σημείου αναφοράς όλων των επιφανειών διαμόρφωσης της συγκεκριμένης πλευράς στον κύκλο που είναι σχεδιασμένος και κατ' επέκταση κάθε μία μπορούσε να τροποποιηθεί χωρίς να επηρεαστούν οι υπόλοιπες.



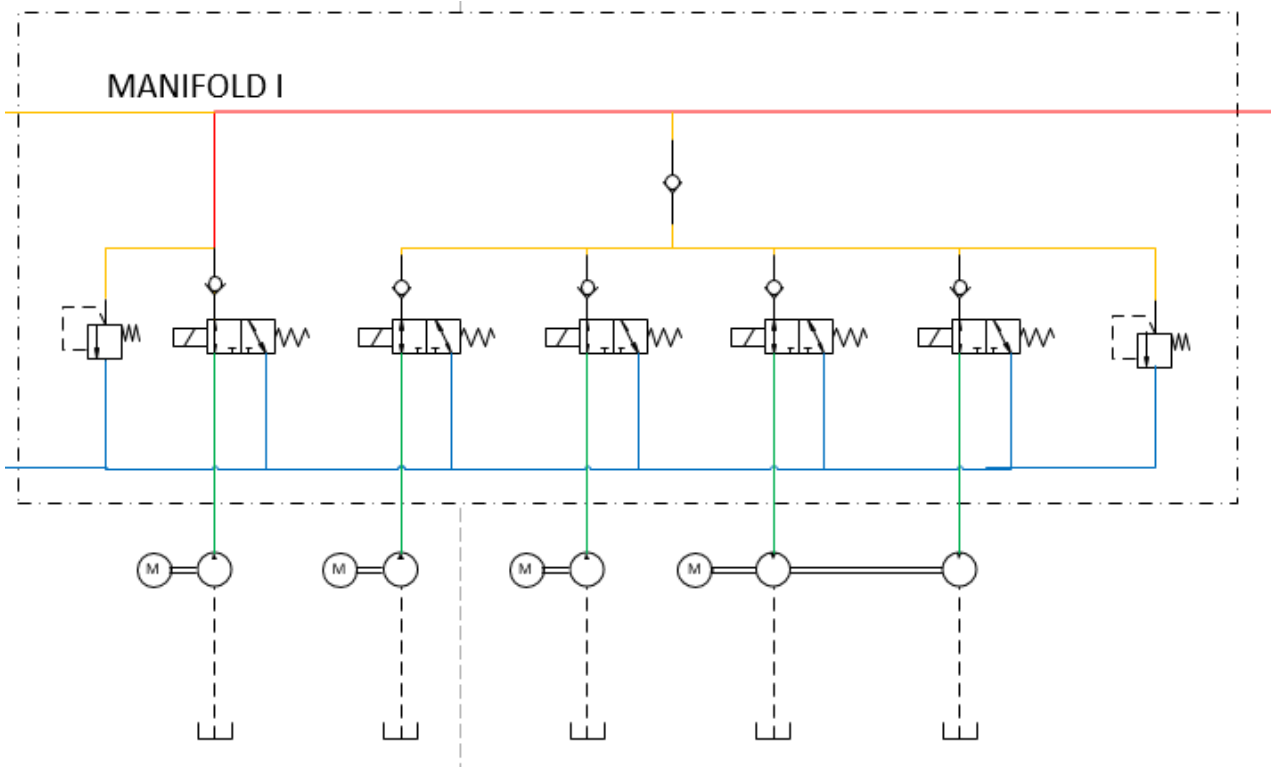
Εικόνα 3.2: Τρισδιάστατος σχεδιασμός με phantom entities

3.2. Τελικά Τρισδιάστατα Μοντέλα Υδραυλικών Τάκων

Παρακάτω παρουσιάζονται τα μονογραμμικά σχέδια αλλά και τελικά τρισδιάστατα μοντέλα των υδραυλικών μπλοκ με τα συνολικά τους συναρμολογήματα (assemblies) με τα εξαρτήματά τα οποία επιλέχθηκαν για να υλοποιήσουν τον σχεδιασμό που προηγήθηκε.

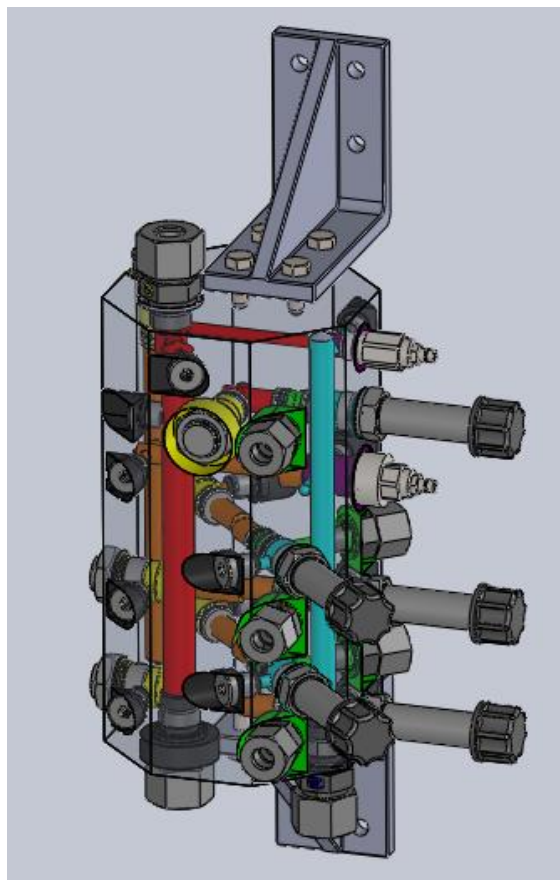
Τα συγκεκριμένα τρισδιάστατα μοντέλα ενσωματώθηκαν και στο τελικό συναρμολόγημα της διάταξης το οποίο θα παρουσιαστεί στην επόμενη ενότητα.

Υδραυλικό μπλόκ I (Manifold I)



Μονογραμμικό Σχέδιο Υδραυλικού μπλόκ I

Τύπος Εξαρτήματος	Ποσότητα	Μέγεθος	Εταιρία/Κωδικός
3/2 Directional Poppet Valve	5	8	HYDAC WSM08130D-01
Pressure Relief Valve	1	6	HYDAC DB06C
Pressure Relief Valve	1	10	HYDAC DB10-01
Check Valve	1	10	HYDAC RVM10120
Check Valve	5	6	HYDAC RVM06020
Male Thread Adapter	3	G ½"	Parker GE16SRED71
Male Thread Adapter	5	G ¼"	Parker GE12SR1
Port Plug	13	G ¼"	Parker VSTI1



Εικόνα 3.3: Τρισδιάστατο Μοντέλο Συναρμολογήματος Υδραυλικού μπλόκ Ι

Το υδραυλικό μπλόκ Ι καλείται να διαχειριστεί το σύνολο της παραγόμενης υδραυλικής ισχύος της διάταξης. Η κατάθλιψη της γρاناζωτής αντλίας που λειτουργεί με τον βηματικό κινητήρα έχει σχεδιαστεί σε σχετική ανεξαρτησία με τις υπόλοιπες αντλίες καθώς θα εκτελεί ρυθμιστικό ρόλο –όπως προαναφέρθηκε- στην ισχύ της διάταξης.

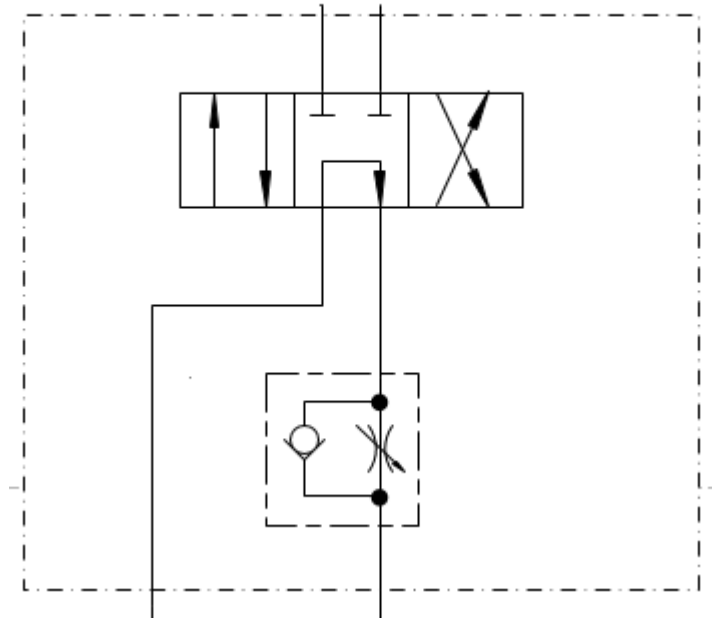
Οι 5 βαλβίδες κατεύθυνσης μας επιτρέπουν να διακόψουμε ή να ενεργοποιήσουμε την παροχή κάθε αντλίας ξεχωριστά και εν τέλει να διαχειριστούμε το σύνολο της παροχής που θα εργαστεί η διάταξη. Επιλέχθηκε για την λειτουργία αυτή μία βαλβίδα κατεύθυνσης τύπου poppet 3/2 της με πίεση λειτουργίας $P_{max} = 350$ bar και παροχή $Q_{max} = 22$ lt/min (HYDAC WSM08130D-01). Για την ασφάλεια της διάταξης χρησιμοποιούνται δύο βαλβίδες ανακούφισης (pressure relief valves) της HYDAC. Μία μεγέθους NG6, με $Q_{max} = 20$ l/min και $P_{max} = 350$ bar (HYDAC DB06C) για την προστασία αποκλειστικά της γρاناζωτής αντλίας που θα λειτουργεί με τον βηματικό κινητήρα και μία βαλβίδα μεγέθους NG10, με $Q_{max} = 60$ lt/min και $P_{max} = 350$ bar (HYDAC DB10-01) για τις υπόλοιπες αντλίες της διάταξης.

Οι αντεπίστροφες βαλβίδες διασφαλίζουν ότι δεν θα υπάρξει παροχή από την κατάθλιψη προς την αναρρόφηση. Μία βαλβίδα μεγέθους 10 (HYDAC RVM10120) με $P_{max} = 350$ bar και $Q_{max} = 100$ lt/min θα

τοποθετηθεί στην συνολική κατάθλιψη του υδραυλικού μπλόκ ενώ 5 βαλβίδες μεγέθους 6 (HYDAC RVM06020) τοποθετούνται στην κατάθλιψη κάθε αντλίας ξεχωριστά.

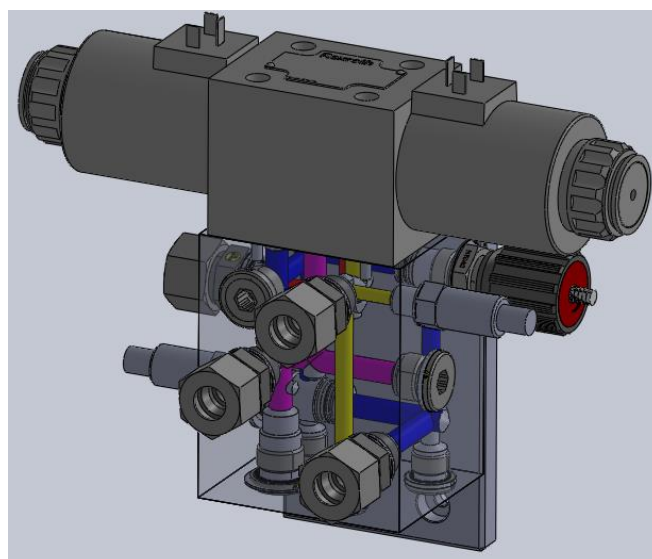
Υδραυλικό μπλόκ II (Manifold II)

MANIFOLD II



Μονογραμμικό Σχέδιο Υδραυλικού μπλόκ II

Τύπος Εξαρτήματος	Ποσότητα	Μέγεθος	Εταιρία/Κωδικός
Throttle Valve	1	10	HYDAC DVE10920
Check Valve	1	10	HYDAC RVM10120
Pressure Transducer	2	-	Rexroth HM20
4/3 Directional Valve	1	NG10	Vincke 4WE10
Male Thread Adapter	4	G ½"	Parker GE16SRED71
Port Plug	3	G ½"	Parker VSTI1
Port Plug	4	G 3/8"	Parker VSTI3



Εικόνα 3.4: Τρισδιάστατο Συναρμολόγημα Υδραυλικού μπλόκ II

Μέσω του υδραυλικού μπλόκ II πραγματοποιείται η οδήγηση των εμβόλων ενώ ενσωματώνει την δυνατότητα ρύθμισης της ταχύτητάς τους με meter-out στο T κανάλι του με μία στραγγαλιστική βαλβίδα HYDAC DVE10920 με $Q_{max}= 80 \text{ lt/min}$ και $P_{max}= 350 \text{ bar}$ ενώ μία αντεπίστροφη βαλβίδα HYDAC RVM10120 εξασφαλίζει την ρύθμιση σε μία μόνο κατεύθυνση της ροής. Η ρύθμιση της ταχύτητας κατά την P είσοδο ρυθμίζεται με στραγγαλιστική βαλβίδα HYDAC DRV12 μίας κατεύθυνσης με $Q_{max}= 90 \text{ lt/min}$ και $P_{max}= 350 \text{ bar}$ εξωτερικά του υδραυλικού μπλόκ II σε σύνδεση με την σωληνογραμμή της διάταξης.

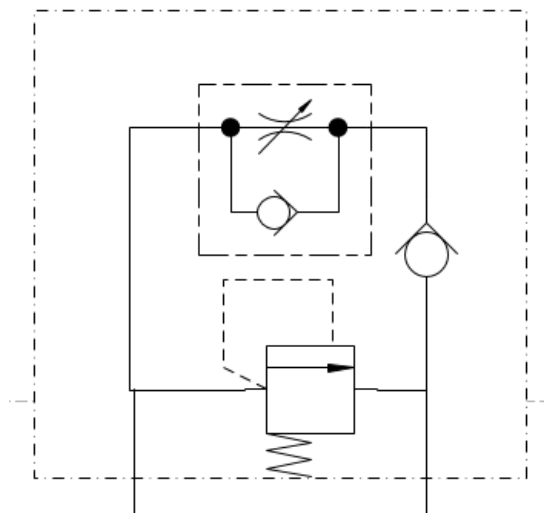
Το υδραυλικό μπλόκ II χρησιμοποιείται και στις δοκιμές εξαρτημάτων σε μεταβατικά φαινόμενα με την χρήση του κεντρικού συσσωρευτή.

Δύο πιεζοστάτες Rexroth HM 20 στα κανάλια A, B μετρούν την πίεση. Με τον τρόπο αυτό έχουμε πληροφορία και για την πίεση του υπό δοκιμή εξαρτήματος (έμβολο, βαλβίδα, κινητήρας) εκτός από την παροχή που μας δίνουν τα κεντρικά παροχόμετρα της διάταξης.

Τέλος η βαλβίδα κατεύθυνσης 4/3, Vincke 4WE10, που θα χρησιμοποιηθεί επιτρέπει την ρύθμιση της κατεύθυνσης της ροής άρα και της μετατόπισης ενός εμβόλου ή της φοράς περιστροφής ενός κινητήρα, επιτρέποντας έτσι την ολοκληρωμένη εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με την απόδοση ενός υδραυλικού εξαρτήματος.

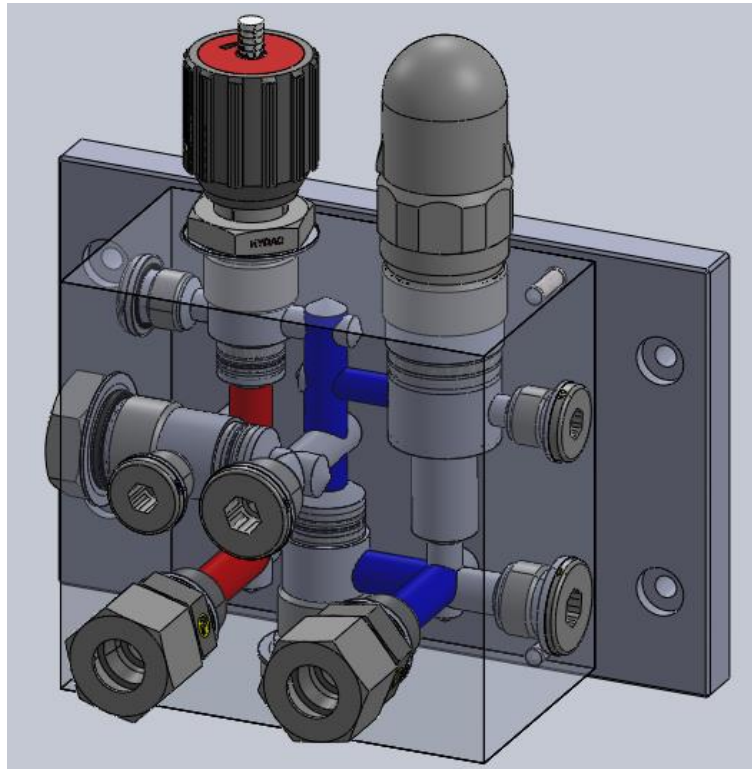
Υδραυλικό μπλόκ III (Manifold III)

MANIFOLD III



Μονογραμμικό Σχέδιο Υδραυλικού μπλόκ III

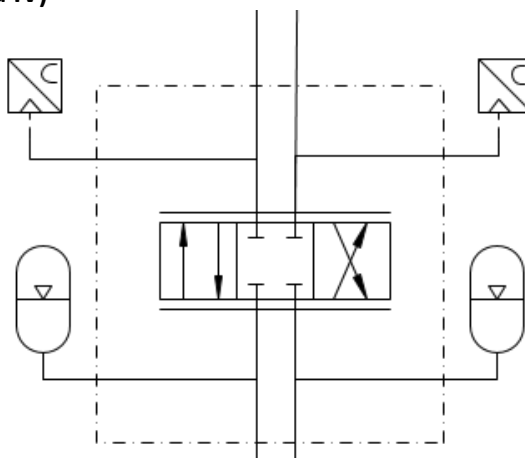
Τύπος Εξαρτήματος	Ποσότητα	Μέγεθος	Εταιρία/Κωδικός
Throttle Valve	1	12	HYDAC DVE12920
Check Valve	2	12	HYDAC RV12A
Pressure Relief Valve	1	10	Rexroth DBDS10
Port Plug	2	G 1/2"	Parker VSTI1
Port Plug	3	G 3/8"	Parker VSTI3
Male Thread Adapter	2	G 1/2"	Parker GE16SRED71



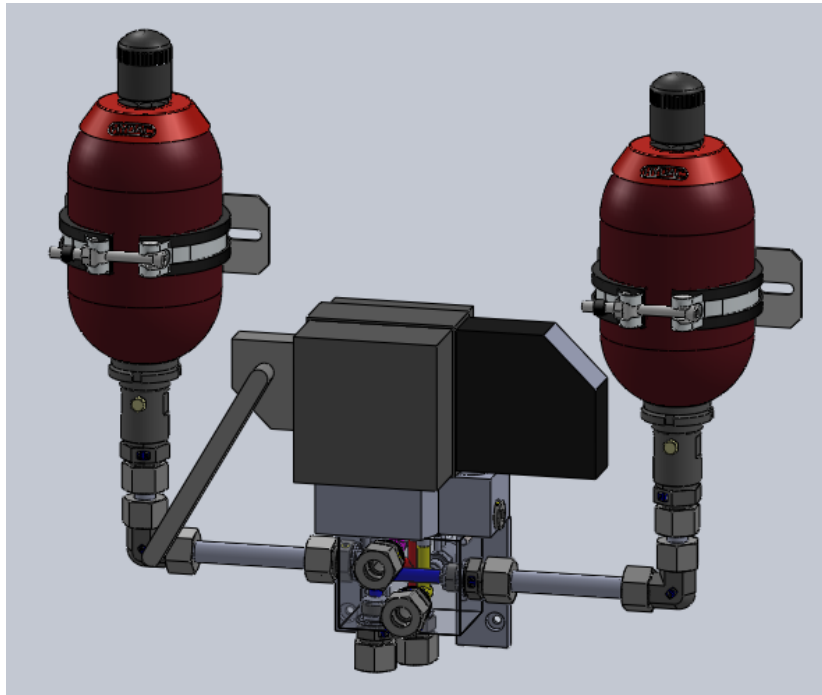
Εικόνα 3.5: Τρισδιάστατο Συναρμολόγημα Υδραυλικού μπλόκ III

Το υδραυλικό μπλόκ III έχει ως αποκλειστική χρήση την δημιουργία τεχνητού φορτίου στην κατάθλιψη της υπό δοκιμής αντλίας. Η στραγγαλιστική βαλβίδα (HYDAC DVE12920) με $P_{max} = 350 \text{ bar}$ και $Q_{max} = 160 \text{ lt/min}$ μας δίνει την δυνατότητα να μελετήσουμε την συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά της αντλίας σε ένα μεγάλο εύρος παροχής ενώ το ασφαλιστικό (Rexroth DBDS10) μας επιτρέπει να καθορίσουμε το σημείο μέγιστης πίεσης στο οποίο θα ενεργοποιείται με βάση τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε αντλίας. Έχει σχεδιαστεί επίσης ένθετη αντεπίστροφη βαλβίδα (HYDAC RV12A) τόσο για την αποτροπή ανακυκλοφορίας στην κατάθλιψη του υδραυλικού μπλόκ και μία ίδια βαλβίδα που υλοποιεί την ρύθμιση της παροχής μέσω του στραγγαλιστικού σε μία κατεύθυνση. Σε σχέση με προηγούμενο σχεδιασμό επιλέχθηκε στραγγαλιστική βαλβίδα μεγέθους 12 σε αντίθεση με την προηγούμενη μεγέθους 10 για την επίτευξη μεγαλύτερου εύρους ρύθμισης.

Υδραυλικό μπλόκ IV (Manifold IV)



Μονογραμμικό Σχέδιο Υδραυλικού μπλόκ IV

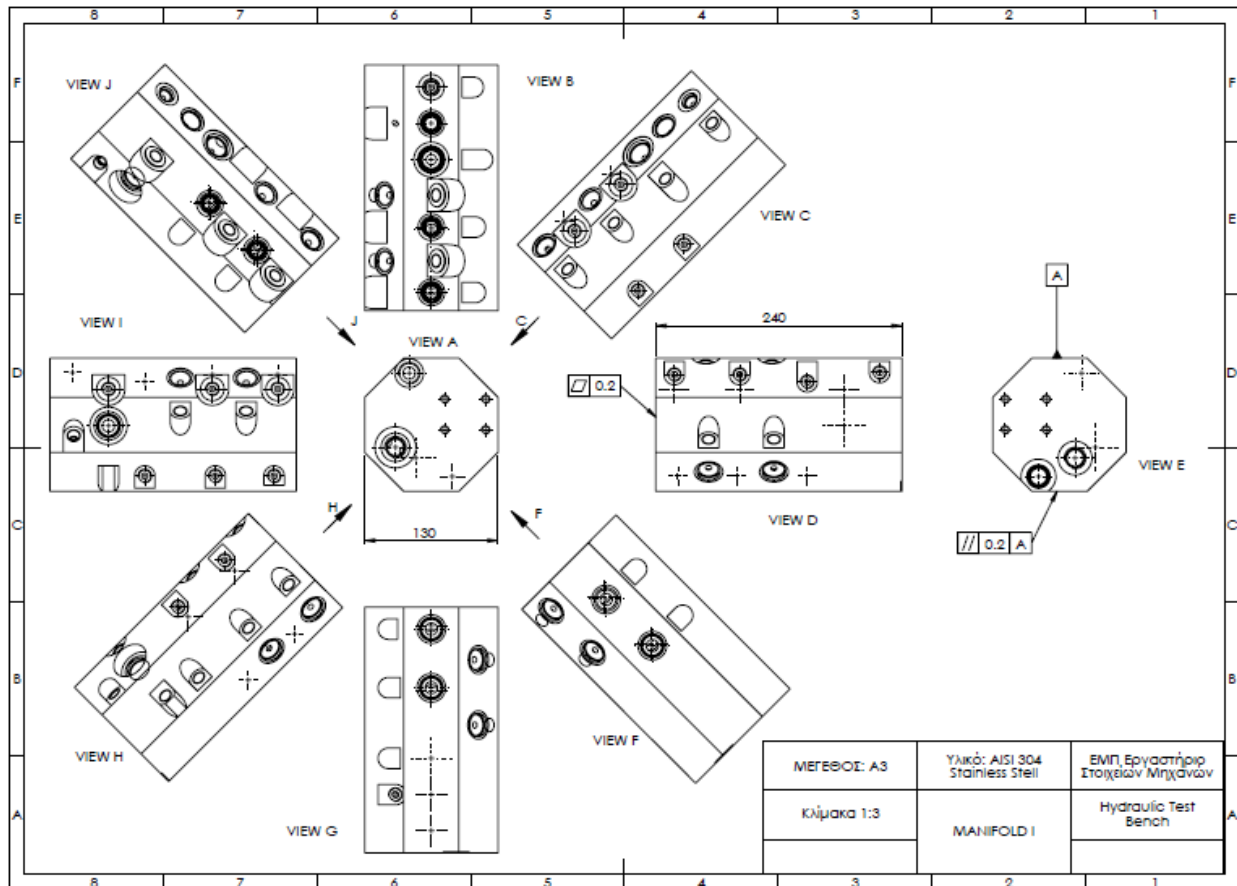


Εικόνα 3.6: Τρισδιάστατο Συναρμολόγημα Υδραυλικού μπλόκ IV

Τύπος Εξαρτήματος	Ποσότητα	Μέγεθος	Εταιρία/Κωδικός
Pressure Transducer	2	-	Rexroth HM20
Bladder Accumulator	2	1 lt	HYDAC SB330-1A1
Accumulator Clamp	2	-	HYDAC 110-118-124 H10
Tube	320mm	16/12mm	Parker R16X271
Elbow Union	2	16	Parker W16SCFX
Male Thread Adapter	2	G 3/4"	Parker GE16SR34ES71
Male Thread Adapter	6	G 1/2"	Parker GE16SRED71
Port Plug	2	G 3/8"	Parker VSTI3

Στο μπλοκ IV τοποθετείται η αναλογική βαλβίδα μέσω του μπλόκ προσαρμογής. Στα κανάλια A, B έχουν τοποθετηθεί δύο συσσωρευτές των 330 bar χωρητικότητας 1 lt προκειμένου να αποσβένουν τυχόν μεταβατικά φαινόμενα κατά τη λειτουργία της διάταξης. Στα ίδια κανάλια έχουν τοποθετηθεί δύο πιεζοστάτες προκειμένου να έχουμε πληροφορία για την πίεση λειτουργίας του υπό δοκιμή εξαρτήματος (κύλινδρος, βαλβίδα).

3.3. Φασεολόγιο Κατασκευής Οκταγωνικού Υδραυλικού Υδραυλικού μπλόκ σε Τριαξονική CNC Φρέζα



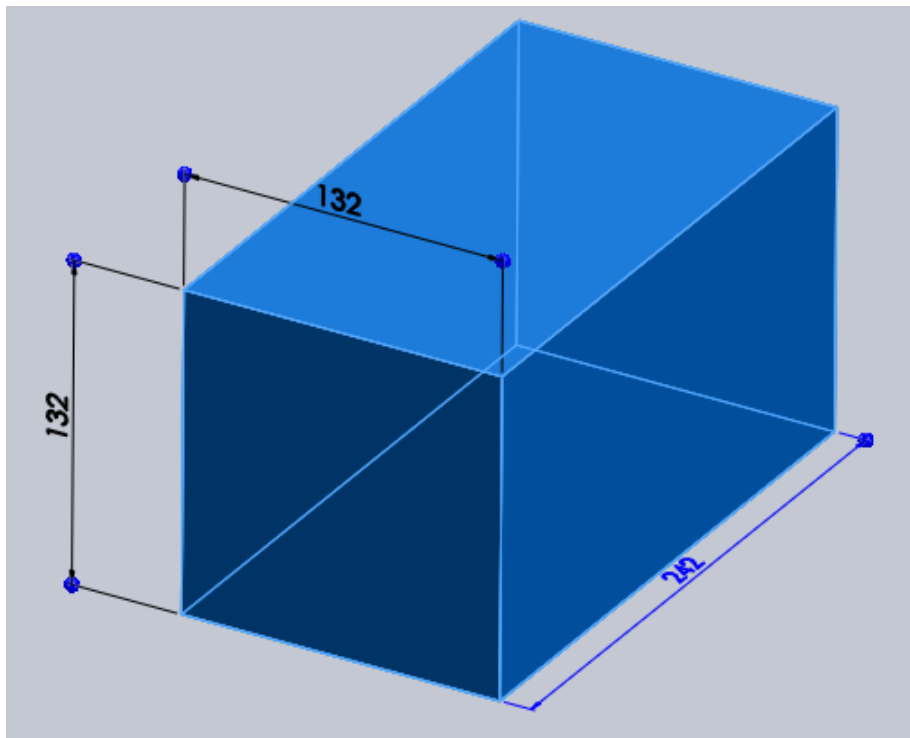
Εικόνα 3.7: Σχέδιο Όψεων Οκταγωνικού Υδραυλικού Μπλοκ

Το υδραυλικό μπλόκ I που διαχειρίζεται το σύνολο της παραγόμενης ισχύος από τις αντλίες παρουσιάζει την μεγαλύτερη κατασκευαστική πρόκληση λόγω του οκταγωνικού του σχήματος αλλά και της ακρίβειας που πρέπει να επιτευχθεί στην διάνοξη οπών. Η παρουσίαση της κατεργασίας του συγκεκριμένου υδραυλικού μπλόκ είναι ενδεικτική για την κατασκευή και όλων των υπολοίπων γεωμετρικά πιο απλών καθώς καλύπτει όλες τις τεχνικές λεπτομέρειες που θα πρέπει να προσεχθούν. Τα στάδια της κατασκευής εξαρτώνται από τις φορές που θα πρέπει να δέσουμε το αρχικό μπλοκ του υλικού στο κρεβάτι της CNC φρέζας. Η γεωμετρία της κατασκευής μας υποχρεώνει να πραγματοποιήσουμε 10 διαφορετικά δεσίματα, όσες και οι όψεις του υδραυλικού μπλόκ δεδομένου ότι έχουμε 3-αξονική φρέζα. Για κάθε όψη θα πρέπει να τοποθετούμε τα κατάλληλα εργαλεία στον μύλο 16 θέσεων της μηχανής ενώ θα πρέπει να ελέγχουμε με ρολόι την επιπεδότητα της κάθε επιφάνειας για να βρίσκεται εντός της ανοχής των 0,2mm.

Ξεκινάμε με ένα αρχικό μπλοκ 242x132x132mm δηλαδή με 2mm περισσότερα σε κάθε διάσταση ώστε να έχουμε χώρο για να συγκρατήσουμε το κομμάτι μας στην μέγγενη του μηχανήματος και να το κατεργαστούμε.

Για την διάνοξη οπών μεγάλου βάθους χρησιμοποιούμε αρχικά τρυπάνι καρβιδίου μικρού μήκους με τεχνολογία coolant through (ροή ψυκτικού υγρού διαμέσου του εργαλείου) για την διάνοξη οπής-οδηγού στο 5% περίπου του συνολικού βάθους της οπής και με ανοχή H7. Έπειτα εισάγουμε coolant through τρυπάνι καρβιδίου μεγάλου μήκους με ανάποδες στροφές περί τις 300rpm μέχρι το βάθος της οπής-οδηγού και στη συνέχεια κατεργαζόμαστε όλο το βάθος της οπής με πρόωση και στροφές της τάξης των 300 mm/min και 1500 rpm αντίστοιχα. Όταν επιτύχουμε το τελικό βάθος οπής εισάγουμε χρονοκαθυστέρηση (dwell time) περίπου 2sec στην επιστροφή του εργαλείου προκειμένου το υγρό κοπής να αποβάλλει το εναπομείνον γρέζι μέσω του coolant through. Επιλέγουμε εξάρτημα συγκράτησης του εργαλείου (tool holder) τύπου Weldon καθώς ελαχιστοποιεί τις ταλαντώσεις που προκαλούνται λόγω του αυξημένου μήκους του

εργαλείου και παρέχει στιβαρότητα στη διάταξη. Η ποιότητα επιφανείας και η αποβολή οποιουδήποτε γρεζιού είναι καθοριστική για τα υδραυλικά μπλόκ καθώς τυχόν υπολείμματα μετάλλου θα κυκλοφορήσουν εντός της διάταξης με καταστροφικά αποτελέσματα για τα εξαρτήματά μας λόγω των υψηλών πιέσεων λειτουργίας.



Εικόνα 3.8: Αρχικό Μπλοκ Manifold I

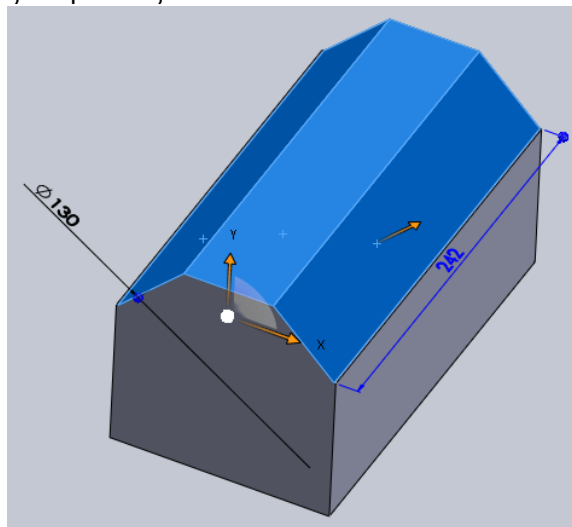
Για την διάνοιξη των σπειρωμάτων σε κάθε όψη ακολουθούμε συγκεκριμένη μεθοδολογία με τα εξής βήματα με την σειρά που παρουσιάζονται:

- A. Δημιουργία οδηγών (πόντες) για τα τρυπάνια στην θέση όπου θα γίνει η κάθε κατεργασία. Για την συγκεκριμένη κατεργασία μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το ίδιο εργαλείο για όλες τις θέσεις ανεξάρτητα με το μέγεθος της τρύπας που θα διανοιχτεί έπειτα.
- B. Για κάθε θηλυκό σπείρωμα υπάρχει το αντίστοιχο τρυπάνι με το οποίο θα πρέπει να ανοίξουμε την αρχική οπή. π.χ για κολαούζο M8 το αντίστοιχο τρυπάνι το οποίο θα πρέπει πρώτα να χρησιμοποιήσουμε είναι διαμέτρου 6,8mm. Το βάθος της οπής που δημιουργούμε με το τρυπάνι θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το βάθος σπειρώματος. Συνήθως επιλέγεται η οπή να είναι βαθύτερη τουλάχιστον 2 με 3 βήματα του σπειρώματος που θα διανοίξουμε. π.χ. για σπείρωμα M8 –βήμα 1,25mm- με βάθος σπειρώματος 12mm, θα επιλέξουμε βάθος οπής ίσο με 15,5mm δηλαδή σχεδόν 3 βήματα μεγαλύτερο.
- Γ. Στη συνέχεια δημιουργούμε κατάλληλο σπάσιμο (chamfer) στη γωνία της τρύπας που έχουμε ήδη δημιουργήσει ώστε να οδηγηθεί το κολαούζο του σπειρώματος και να διασφαλίσουμε την καθετότητα σε σχέση με την επιφάνεια που κατεργαζόμαστε. Επιλέγουμε το chamfer να είναι συμμετρικό –ίδιο βάθος και μεταβολή διαμέτρου- προκειμένου να μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε εργαλείο 90 μοιρών που είναι και το πιο σύνθητες. Επιλέγουμε το μέγεθος του chamfer να είναι τουλάχιστον όσο 1 βήμα του σπειρώματος που θα κατασκευάσουμε. π.χ. για σπείρωμα M8 με βήμα 1,25 επιλέγουμε chamfer συμμετρικό του 1,5mm.

Δ. Τέλος επιλέγουμε το εργαλείο διάνοιξης θηλυκών σπειρωμάτων (κολαούζο) για να ολοκληρώσουμε την κατεργασία.

Αρχικά ξεκινάμε την κατεργασία των όψεων Α και Ε καθώς αυτές περιέχουν τις βαθύτερες οπές που είναι και τα βασικά κανάλια κυκλοφορίας του υδραυλικού μπλόκ. Η πρώτη κατεργασία είναι με φρεζοκεφαλή μεγάλης διαμέτρου για να έχουμε καθαρή και επίπεδη επιφάνεια της πλευράς Α. Το βάθος που επιλέγουμε είναι 1mm ώστε το άλλο 1mm που περισσεύει από την διάσταση 240mm του μπλοκ να κατεργαστεί από την όψη Ε. Έπειτα ακολουθεί η διάνοιξη των οπών με τη σειρά που παρουσιάστηκε παραπάνω και την επιλογή κατάλληλων εργαλείων. Στη συνέχεια, δένουμε το κομμάτι μας στο κρεββάτι της φρέζας για κατεργασία της πλευράς Ε. Με κατεργασμένη την πλευρά Α πρέπει να προσέξουμε τον προσανατολισμό κατά το δέσιμο της πλευράς Ε για να διανοίξουμε τις οπές στις σωστές θέσεις με βάση το σχέδιο του υδραυλικού μπλόκ. Σημαντικό επίσης είναι να ελέγξουμε με τη χρήση ρολογιού την επιπεδότητα του κομματιού μας πριν την έναρξη της κατεργασίας. Με την χρήση φρεζοκεφαλής και με πάσο 1mm ολοκληρώνουμε την κατεργασία του υδραυλικού μπλόκ κατά μήκος ενώ ακολουθεί η διάνοιξη των αντίστοιχων οπών.

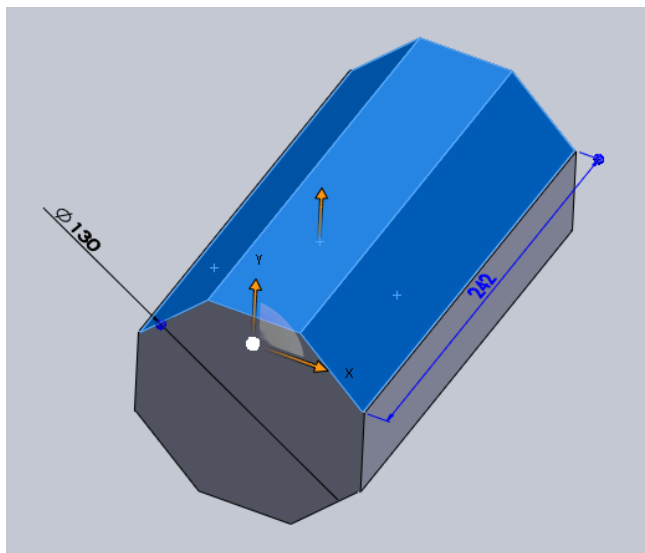
Στη συνέχεια προχωράμε στην κατεργασία της πλευράς Β ξεκινώντας και πάλι με την χρήση φρεζοκεφαλής και πάσο 1mm για να κατεργαστούμε την επίπεδη επιφάνεια –την μία πλευρά της διάστασης των 130mm καθ' ύψος-. Στη συνέχεια θα κατασκευάσουμε τις 2 πρώτες πλευρές της οκταγωνικής γεωμετρίας χρησιμοποιώντας πολύφτερο π.χ. 6φτερο κονδύλι girrer διαμέτρου 16mm -με ταυτόχρονη κίνηση του εργαλείου ως προς τον Ζ άξονα και κίνηση του κρεββατιού της φρέζας ως προς τους άξονες Χ-Υ καθώς δεν πρόκειται για επίπεδες ως προς το εργαλείο επιφάνειες, γνωστή και ως κατεργασία contour- για ξεχόνδρισμα με ενδεικτική πρόωση και στροφές 850 mm/min και 4000rpm και βήμα 2,5mm για κάθε πάσο. Για το φινίρισμα των συγκεκριμένων επιφανειών θα χρησιμοποιήσουμε κονδύλι τύπου bull nose –εργαλείο με ακτινική κι όχι σημειακή ακμή κοπής- διαμέτρου 12mm και γωνίας ακμής 2mm, με αύξηση στροφών και πρόωσης -7500rpm και 1200 mm/min- αλλά μικρότερο βήμα πάσων ίσο με 0,1mm (cut increment) για επίτευξη καλύτερης ποιότητας επιφανείας.



Εικόνα 3.9: Κατεργασία πλευρών υπό κλίση

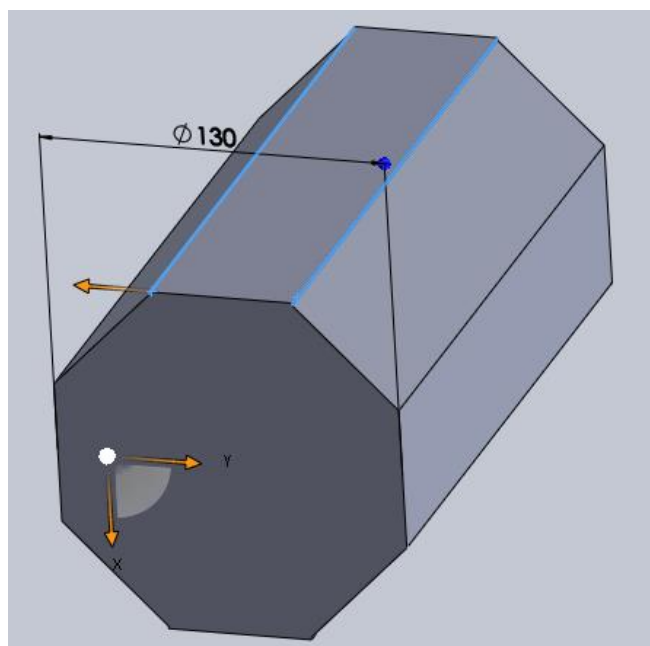
Στη συνέχεια ακολουθεί η διάνοιξη των αντίστοιχων οπών της συγκεκριμένης όψης κατά τα γνωστά όπως παρουσιάστηκε παραπάνω.

Ακολουθεί η κατεργασία της πλευράς G προκειμένου να ολοκληρώσουμε την κατεργασία κατά την διάσταση των 130mm καθ' ύψος. Και πάλι με φρεζοκεφαλή και πάσο 1mm κατεργαζόμαστε την επίπεδη επιφάνεια ενώ συνεχίζουμε με την κατεργασία των άλλων δύο πλευρών της οκταγωνικής γεωμετρίας με την χρήση του πολύφτερου κονδυλιού και του bull nose end mill. Τέλος ολοκληρώνουμε τη συγκεκριμένη φάση κατεργασίας με την διάνοιξη των οπών που φαίνονται στο κατασκευαστικό σχέδιο.



Εικόνα 3.10: Ολοκλήρωση κατεργασίας οκταγωνικής γεωμετρίας

Η επόμενη πλευρές που θα πρέπει να κατεργαστούμε είναι η I και D, προκειμένου να ολοκληρώσουμε την κατεργασία του μπλοκ κατά την διάσταση των 130mm αφαιρώντας το πάχος του 1mm που έχει απομείνει και στις δύο πλευρές όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, με την χρήση της φρεζοκεφαλής. Ολοκληρώνουμε με την διάνοιξη των οπών κάθε όψης.



Εικόνα 3.11: Κατεργασία εναπομείναντος υλικού από το αρχικό μπλοκ

Εφ' όσον έχουμε διαμορφώσει την οκταγωνική γεωμετρία και πλέον έχουμε τις τελικές διαστάσεις του υδραυλικού μπλόκ, μας απομένουν 4 ακόμα φάσεις κατεργασίας για την διάνοιξη οπών για τις πλευρές J, C, H και F.

Σημαντική παράμετρος κάθε φάσης κατεργασίας είναι η μέτρηση κι εισαγωγή των διαστάσεων του μπλοκ που θα κατεργαστούμε, στην μνήμη της CNC μηχανής ώστε με την σειρά της να πραγματοποιήσει τις κατεργασίες. Η επανάληψη αυτής της διαδικασίας για 10 φάσεις κατεργασίας είναι ιδιαίτερα χρονοβόρα δεδομένου ότι πρέπει απαραίτητα να συνδυάζεται με έλεγχο της επιτεδότητας όπως προαναφέρθηκε. Για να μειώσουμε τον χρόνο της κατεργασίας, μετά την κατεργασία των πλευρών A και E μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε stopper ακριβείας που θα μας εξασφαλίζει τη σωστή τοποθέτηση του κομματιού κατά

μήκος της πλευράς των 240mm την οποία ήδη έχουμε κατεργαστεί χωρίς να χρειάζεται μέτρηση της συγκεκριμένης διάστασης σε κάθε φάση.

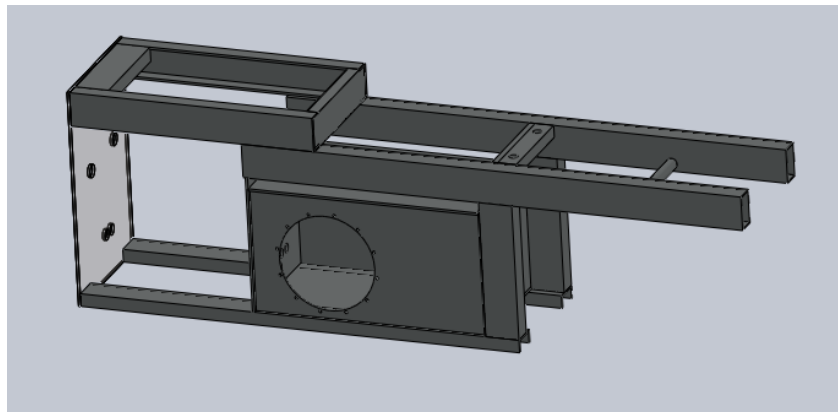
Καθοριστικός παράγοντας για τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό της κατεργασίας είναι τα διαθέσιμα εργαλεία αλλά και πρώτες ύλες. Τα διαθέσιμα εργαλεία για κατεργασία ανοξείδωτου χάλυβα θα καθορίσουν τόσο την πρόωση όσο και τις στροφές ενώ ειδικά τα εργαλεία διάνοιξης σπών θα πρέπει να έχουν το απαραίτητο μήκος για την αποφυγή σύγκρουσης του κομματιού που κατεργαζόμαστε με το εξάρτημα συγκράτησης του εργαλείου (tool holder).

4. Τρισδιάστατος Σχεδιασμός Διάταξης

Βασικός παράγοντας για το τελικό στάδιο κατασκευής της διάταξης είναι η αποτύπωση της σε λεπτομερές τρισδιάστατο συναρμολόγημα. Σκοπός ήταν η τοποθέτηση των εξαρτημάτων της διάταξης με εργονομικό τρόπο ώστε ο χειριστής να έχει πρόσβαση σε όλα τα χειροκίνητα μέρη ενώ παράλληλα να είναι δυνατή η όσο το δυνατόν ευκολότερη αποσυναρμολόγηση του κάθε εξαρτήματος σε περίπτωση βλαβών ή τροποποιήσεων. Αποφεύχθηκε η επιλογή σύνθετων υδραυλικών εξαρτημάτων που να μην θα εξοικονομούσαν χώρο και όγκο στη διάταξη αλλά το κόστος τους θα ήταν αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με την χρήση περισσότερων αλλά πιο απλών και φθηνών εξαρτημάτων. Με βάση το τελικό τρισδιάστατο συναρμολόγημα καθορίστηκε και ο πίνακας υλικών (BOM) ο οποίος παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα.

Το συνολικό συναρμολόγημα αποτελείται από 4 βασικά υποσυναρμολογήματα για την λειτουργία της διάταξης καθώς και τα συναρμολογήματα των υδραυλικών τάκων τα οποία παρουσιάστηκαν σε προηγούμενη ενότητα.

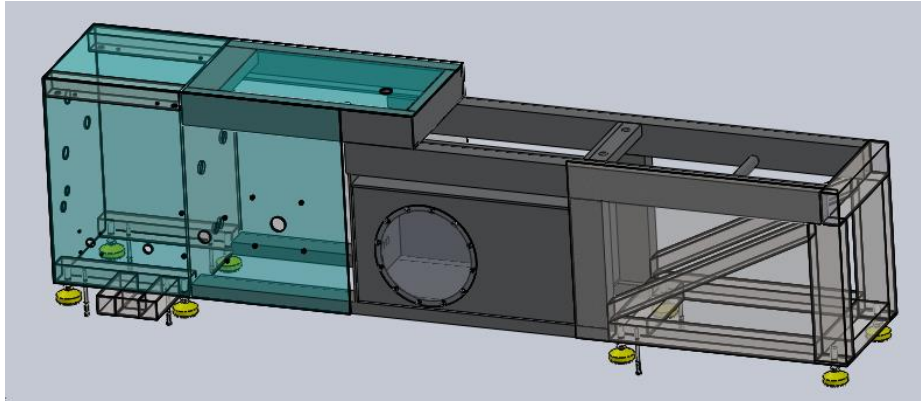
4.1 Συναρμολόγημα Σκελετού



Εικόνα 4.1: Σκελετός διάταξης

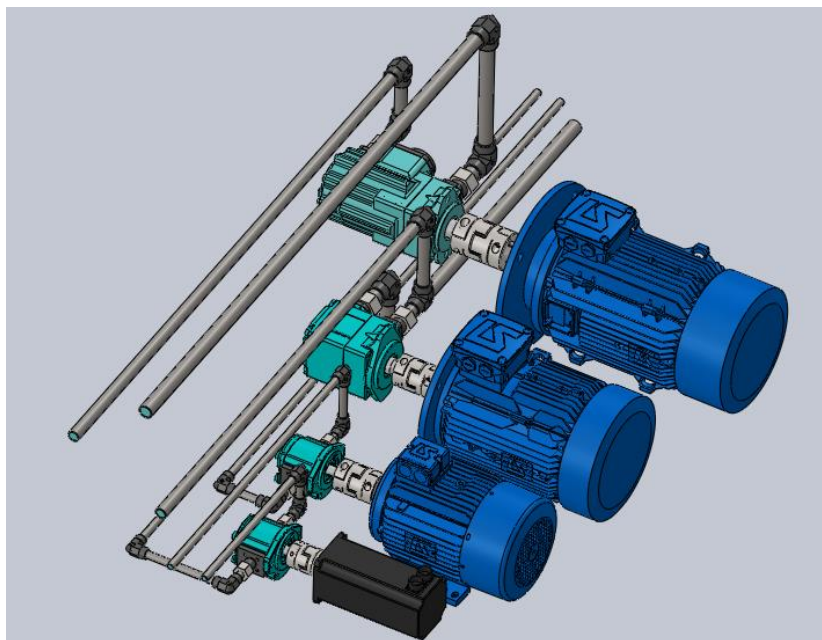
Ως βάση της διάταξης χρησιμοποιήθηκε ο σκελετός από μηχανή εξόλκευσης θερμοπλαστικού που βρίσκεται στο εργαστήριο στοιχείων μηχανών. Τα εξολκευτικά λειτουργούν και εκείνα με υδραυλικά συστήματα υψηλής πίεσης, χρήζοντας έτσι την συγκεκριμένη επιλογή απόλυτα κατάλληλη για τις ανάγκες του δοκιμαστήριου. Ο συγκεκριμένος σκελετός επαναδιαστασιολογήθηκε ενώ στη συνέχεια σχεδιάστηκαν τα απαραίτητα πρόσθετα μέρη που πρέπει να κατασκευαστούν προκειμένου να τοποθετηθούν όλα τα υπόλοιπα συναρμολογήματα και εξαρτήματα της διάταξης.

Αναγκαία ήταν η τοποθέτηση υποστηρίγματος κάτω από τη βάση πρόσδεσης της τράπεζας δοκιμών για να ενισχυθεί η στιβαρότητα της κατασκευής δεδομένης και της ακρίβειας των μετρήσεων που θέλουμε να πετύχουμε. Στο πίσω μέρος της διάταξης προστέθηκαν επίσης υποστηρίγματα και χαλύβδινες πλάκες στις οποίες θα τοποθετηθούν οι κινητήρες κι οι αντλίες της διάταξης ενώ σχεδιάστηκε φλάντζα στεγάνωσης της υπάρχουσας δεξαμενής. Τέλος προστέθηκαν εξαρτήματα πρόσδεσης του κυρίως σώματος στο δάπεδο.



Εικόνα 4.2: Τελικό συναρμολόγημα σκελετού

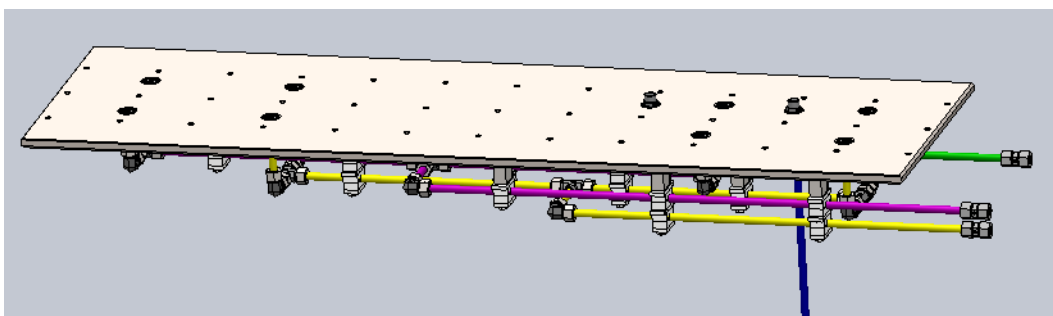
4.2 Συναρμολόγημα Ηλεκτρικών Κινητήρων και Αντλιών



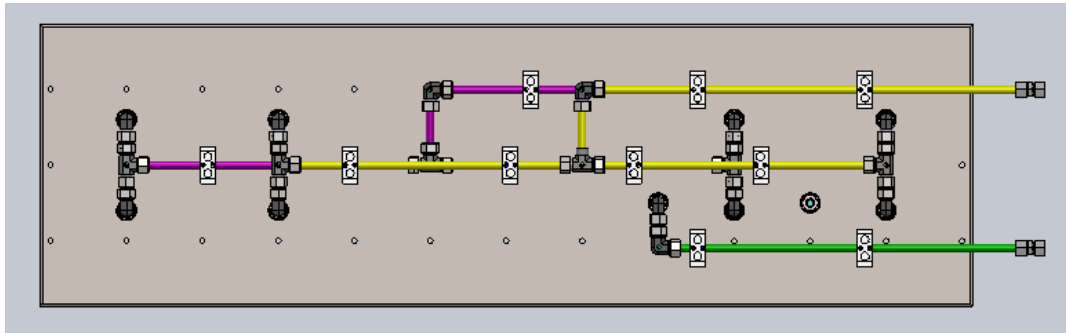
Εικόνα 4.3: Συναρμολόγημα κινητήρων-αντλιών

Για το συναρμολόγημα των ηλεκτρικών κινητήρων και των αντλιών της διάταξης χρησιμοποιήθηκαν τα τρισδιάστατα μοντέλα κινητήρων και αντλιών αντίστοιχων χαρακτηριστικών και διαστάσεων με εκείνα του εργαστηρίου. Στη συνέχεια επιλέχθηκαν τα κατάλληλα στοιχεία ζεύξης (κόπλερ) αλλά και οι διαστάσεις των σωληνώσεων που απαιτούνταν για κάθε αντλία.

4.3 Συναρμολόγημα Τράπεζας Δοκιμών



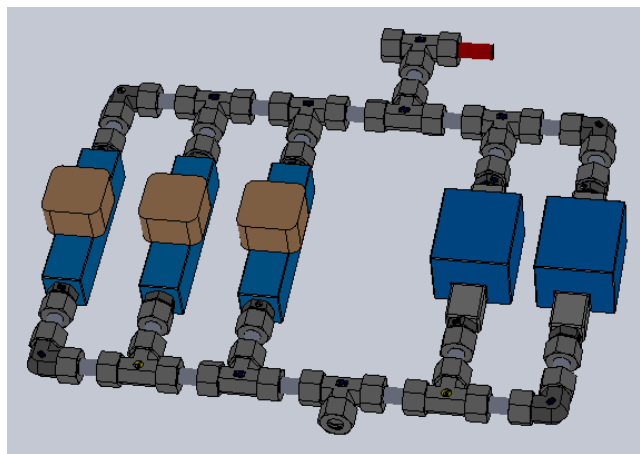
Εικόνα 4.4: Συναρμολόγημα τράπεζας δοκιμών



Εικόνα 4.5: Συναρμολόγημα τράπεζας δοκιμών (κάτοψη)

Η τράπεζα δοκιμών υλοποιεί την διάταξη που παρουσιάζεται και στα μονογραμμικά σχέδια της διάταξης. Αποτελείται από μία πλάκα ανοξείδωτου χάλυβα, με τις κατάλληλες υποδοχές για την πρόσδεση των υπό δοκιμή υδραυλικών εξαρτημάτων, στην οποία συνδέονται οι σωληνογραμμές που αντιστοιχούν στα κανάλια A (μωβ σωληνογραμμή) και B (κίτρινη σωληνογραμμή) των τάκων II και IV καθώς και τις σωληνογραμμές αναρρόφησης και κατάθλιψης –μπλε και πράσινη σωληνογραμμή αντιστοιχα- για δοκιμή αντλίας. Τα κανάλια A, B έχουν 4 υποδοχές το καθένα ώστε εκτός από την πρόσδεση εξαρτημάτων να υπάρχει η δυνατότητα πρόσδεσης μετρητικών όπως π.χ. μανομέτρων στην δοκιμή υδραυλικών κυλίνδρων για τον εντοπισμό εγκλωβισμένων πιέσεων. Τέλος, προστέθηκαν βάσεις στήριξης των σωληνώσεων.

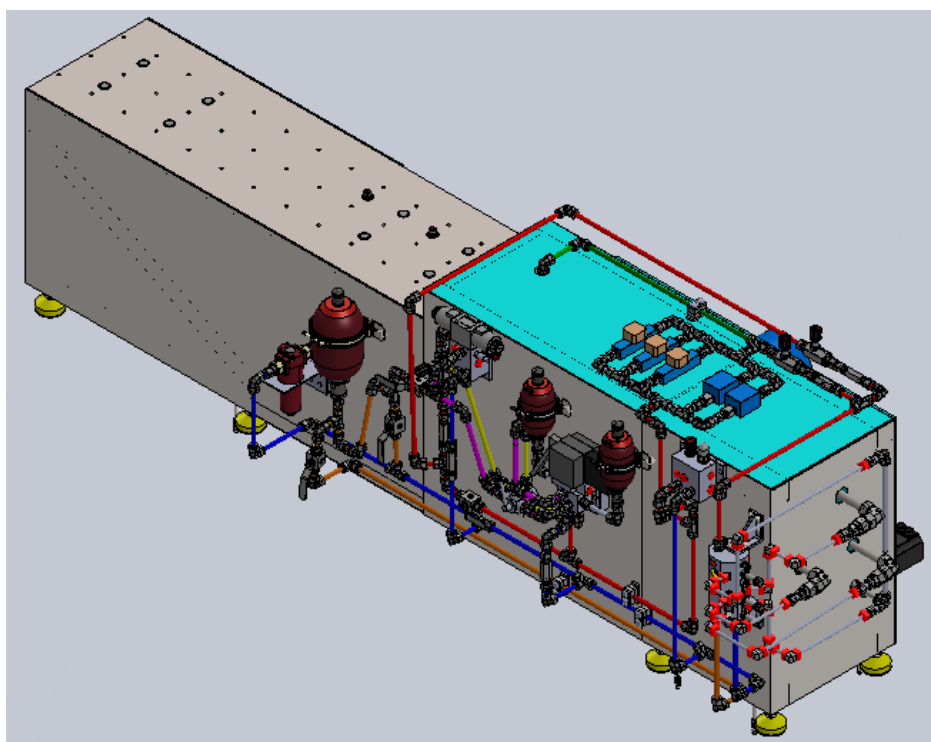
4.4 Συναρμολόγημα Παροχομέτρων



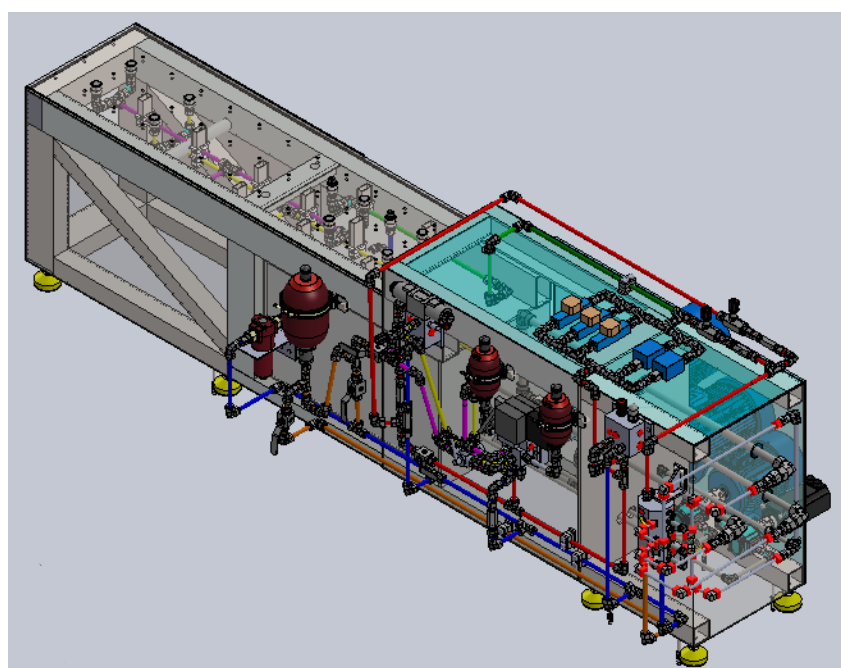
Εικόνα 4.6: Συναρμολόγημα παροχομέτρων

Τα παροχόμετρα που χρησιμοποιούνται είναι επίσης διαθέσιμα και πρόκειται για δύο Hydrotechnik GMBH Z 02-030 με $P_{max}= 315\text{bar}$ και $Q= 0,3-30\text{ lt/min}$ και τρία Kobold VKM10 των 350bar και $Q= 5-55\text{ lt/min}$. Η παροχή πριν περάσει από τα παροχόμετρα διαχωρίζεται με βάση το σχεδιασμό της διάταξης και κάθε παροχόμετρο μετρά το 1/5 της συνολικής παροχής. Τα εξαρτήματα σύνδεσης που επιλέχθηκαν είναι ρακόρ ευθεία, γωνιακά και τύπου T.

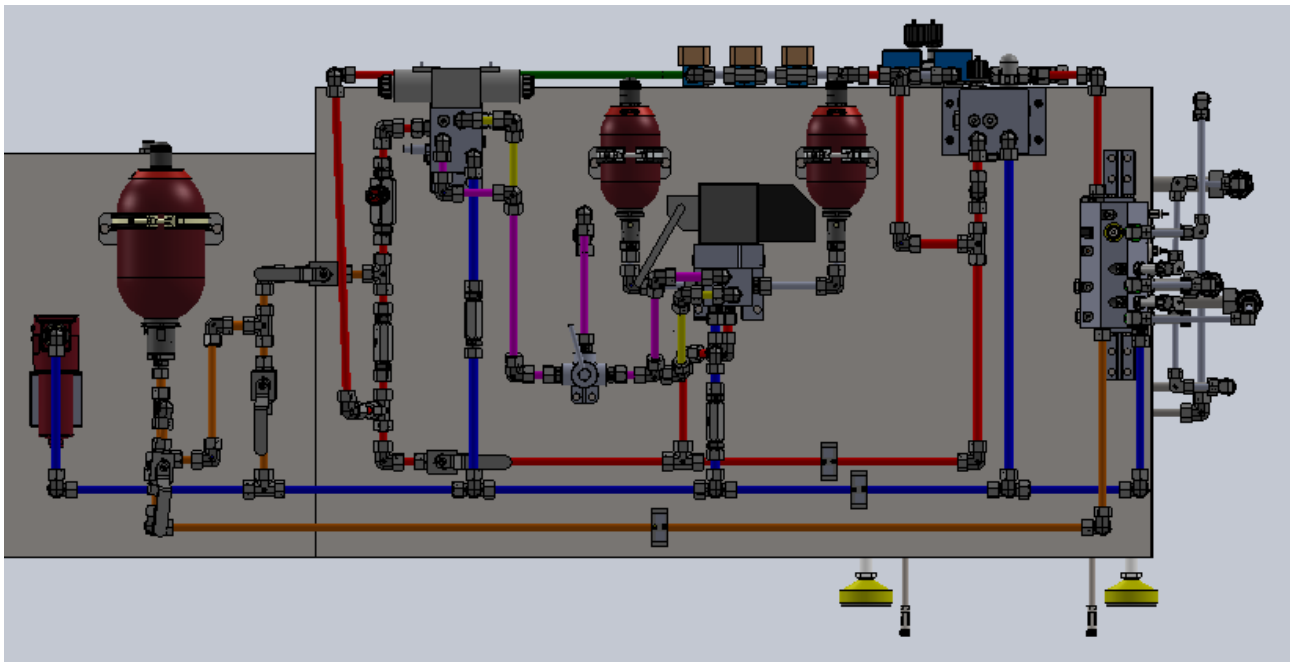
4.5 Συνολικό Συναρμολόγημα



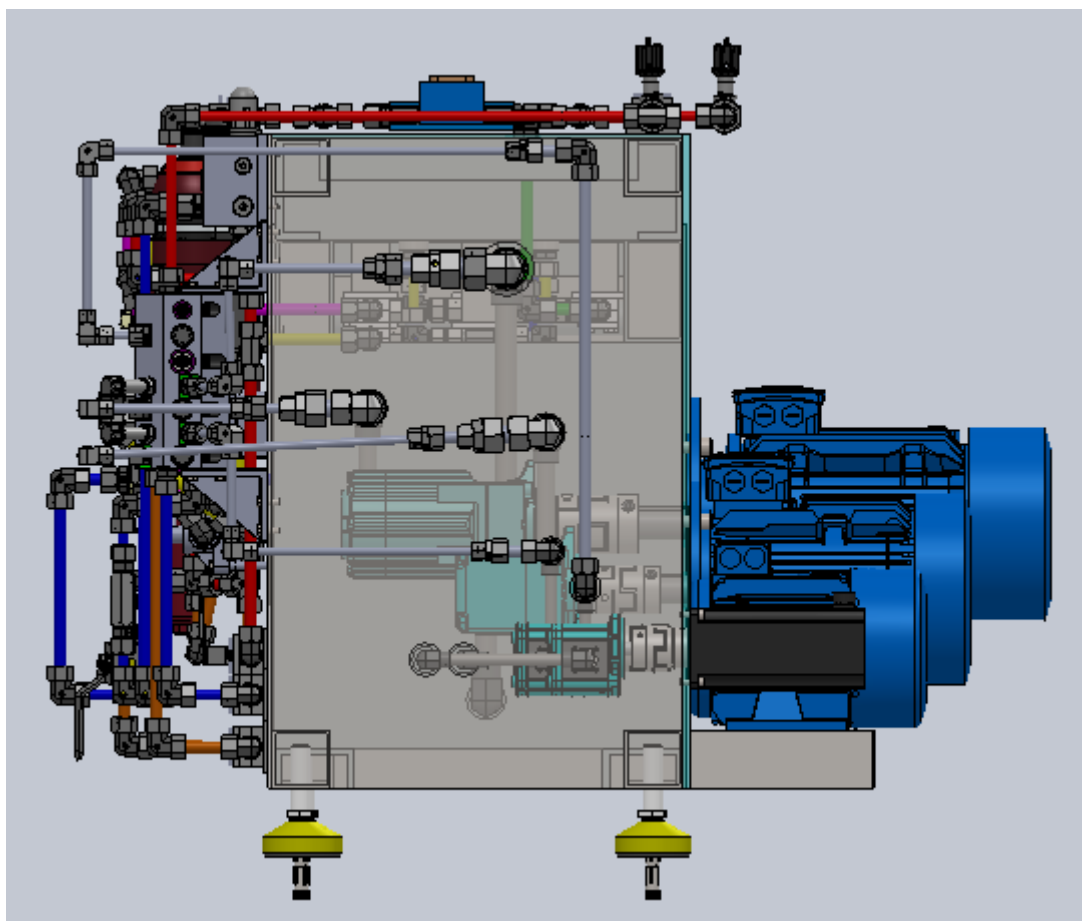
Εικόνα 4.7: Συνολικό συναρμολόγημα



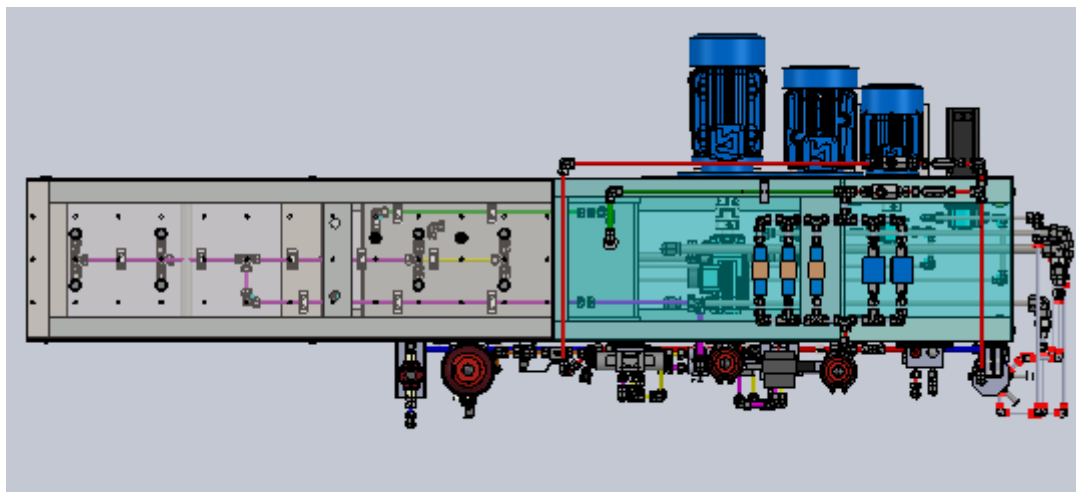
Εικόνα 4.8: Συνολικό συναρμολόγημα με λεπτομέρειες



Εικόνα 4.9: Πρόοψη συνολικού συναρμολογήματος



Εικόνα 4.10: Δεξιά όψη τελικού συναρμολογήματος



Εικόνα 4.11: Άνοψη συνολικού συναρμολογήματος

Ο σχεδιασμός του τελικού συναρμολογήματος προϋπέθετε την διασύνδεση όλων των απαραίτητων υποσυναρμολογημάτων και εξαρτημάτων με χρήση όσο το δυνατόν λιγότερου χώρου του κυρίως σώματος με παράλληλη μέριμνα για την απαραίτητη εργονομία της διάταξης. Για να επιτευχθεί το τελικό αποτέλεσμα ήταν απαραίτητη η συνεχής μετατροπή κι ορισμένες φορές επανασχεδιασμός των μερών της διάταξης.

Ο κεντρικός συσσωρευτής των 4 lt τοποθετήθηκε σε θέση όπου ο χειριστής δεν θα πραγματοποιεί εργασίες εκτός από την συναρμολόγηση και την επισκευή του. Τα παροχόμετρα τοποθετήθηκαν σε θέση που να επιτρέπουν την άμεση πρόσβαση σε αυτά. Οι βάνες της διάταξης είναι όλες σε εμφανή θέση και χωρίς περιορισμούς στην πρόσβαση και την αλλαγή της θέσης λειτουργίας τους. Οι υδραυλικοί τάκοι που σχεδιάστηκαν βρίσκονται όλοι στην ίδια πλευρά της διάταξης μαζί με την 6-πορτη βάνα και τις υπόλοιπες υδραυλικές διατάξεις που απαιτούν την συμμετοχή του χειριστή. Στην απέναντι πλευρά τοποθετήθηκαν οι κινητήρες και οι αντλίες ενώ στο πίσω μέρος της διάταξης πραγματοποιείται η σύνδεσή τους με τον τάκο I.

Οι στραγγαλιστικές βαλβίδες που χρησιμοποιήθηκαν για τον διαχωρισμό της κύριας και της δευτερεύουσας σωληνογραμμής όπως παρουσιάστηκε στα μονογραμμικά σχέδια αλλά και την υλοποίηση της επιλογής meter-in χειρισμού στον τάκο II είναι η HYDAC DRV-12 με $P_{max}= 350bar$ και $Q_{max}= 90 \text{ lt/min}$.

Τα στοιχεία σύνδεσης (ρακόρ) που χρησιμοποιήθηκαν ήταν ευθεία, γωνιακά και τύπου T ενώ οι σωληνώσεις είναι όλες ευθείες. Αυτά ήταν τα πιο απλά εξαρτήματα που επιλέχθηκαν για να υλοποιηθεί η διάταξη κι ως εκ τούτου μειώνεται αισθητά το κόστος παραγγελιών.

5. BOM

Διαθέσιμα Εργαστηρίου	Ποσότητα
Βαλβίδες και Βάνες	
Αναλογική Βαλβίδα PVG	1
Βαλβίδα Κατεύθυνσης Vincke 4WE10	1
6-πορτη Βάνα	
Κινητήρες	
Κινητήρας 5 kW	1
Κινητήρας 7,5 kW	1
Κινητήρας 11 kW	1
Κινητήρας Stepper 2.2 kW	1
Αντλίες	
Γραναζωτή 250bar, 17 lt/min	1
Πτερυγιοφόρος 100bar, 19 lt/min	1
2-Vane αντλία	1
Παροχόμετρα	
Kobold VKM10	3
Hydrotechnik GMBH	2

Overall Assembly

Σωληνώσεις				Σωληνώσεις			
Εταιρία	Κωδικός	Μήκος (mm)	Ποσότητα	Εταιρία	Κωδικός	Μήκος (mm)	Ποσότητα
Parker	R12X271	50	5	Parker	R16X271	184,95	1
Parker	R12X271	57,65	1	Parker	R16X271	202,64	1
Parker	R12X271	74,13	1	Parker	R16X271	203,41	1
Parker	R12X271	89,5	1	Parker	R16X271	212	1
Parker	R12X271	105,8	1	Parker	R16X271	213,11	1
Parker	R12X271	118,48	1	Parker	R16X271	217	1
Parker	R12X271	123,03	1	Parker	R16X271	222	1
Parker	R12X271	177,53	1	Parker	R16X271	230,5	1
Parker	R12X271	180,8	1	Parker	R16X271	245,48	1
Parker	R12X271	201,01	1	Parker	R16X271	246,03	1
Parker	R12X271	210,28	1	Parker	R16X271	250	1
Parker	R12X271	321,41	1	Parker	R16X271	268,17	1
Parker	R12X271	432,58	1	Parker	R16X271	273,75	1
Parker	R12X271	566,51	1	Parker	R16X271	314,09	1
Parker	R16X271	50	51	Parker	R16X271	344,5	1
Parker	R16X271	66,59	1	Parker	R16X271	350	1
Parker	R16X271	79,4	1	Parker	R16X271	352,14	1
Parker	R16X271	80,002	1	Parker	R16X271	352,36	1
Parker	R16X271	86,07	1	Parker	R16X271	366	2
Parker	R16X271	87,3	1	Parker	R16X271	368,29	1
Parker	R16X271	96,09	1	Parker	R16X271	414,4	1
Parker	R16X271	98,36	1	Parker	R16X271	461,22	1

Parker	R16X271	100	3	Parker	R16X271	513,4	1
Parker	R16X271	107,61	1	Parker	R16X271	550	1
Parker	R16X271	121,37	1	Parker	R16X271	568,86	1
Parker	R16X271	123,05	1	Parker	R16X271	593,33	1
Parker	R16X271	125,94	1	Parker	R16X271	610,26	1
Parker	R16X271	131,02	1	Parker	R16X271	622,38	1
Parker	R16X271	136,46	1	Parker	R16X271	677,53	1
Parker	R16X271	158,01	1	Parker	R16X271	1069,87	1
Parker	R16X271	178,61	1	Parker	R16X271	1753,96	1
Parker	R16X271	179,62	1	Parker	R20X271	50	1
Parker	R16X271	182	1	Parker	R25X2.571	50	2
				Parker	R30X471	50	1

Overall Assembly

Λοιπά Υδραυλικά

Είδος	Εταιρία	Κωδικός	Ποσότητα
Αντεπίστροφη	HYDAC	RV12-01.1_0	5
Βάνα	Parker	KH16S71	4
Βάση Συσσωρευτή	HYDAC	167-175 H5ST	1
Βάση Σωλήνωσης	Parker	RCP1_116	4
Στραγγαλιστικό	HYDAC	DRV12	3
Συσσωρευτής	HYDAC	SB330 4A1	1
Φίλτρο	HYDAC	DFN BH HC 63SC	1

Overall Assembly

Συνδέσεις Σωληνώσεων

Είδος	Εταιρία	Κωδικός	Ποσότητα
T	Parker	T16SCFX	11
Αντάπτορας	Parker	G 1/2 GE16SRED71	1
Αντάπτορας	Parker	G 3/4 GE16SR34ED71	2
Γωνιακό	Parker	W12SCFX	13
Γωνιακό	Parker	W16SCFX	63
Γωνιακό	Parker	W25SCFX	2
Γωνιακό	Parker	W30SCFX	1
Ευθύ	Parker	G16S71	1
Μετατροπέας Σπειρώματος	Parker	G 1 1/4_G 1/2_RI11_4EDX1	1
Μετατροπέας Σωλήνωσης	Parker	GR16_12SCFX	4
Μετατροπέας Σωλήνωσης	Parker	GR20_12SCFX	1
Μετατροπέας Σωλήνωσης	Parker	GR25_16SCFX	2
Μετατροπέας Σωλήνωσης	Parker	GR30_20SCFX	1

Pumps & Motors Assembly

Σωληνώσεις				Ρακόρ			
Εταιρία	Κωδικός	Μήκος (mm)	Ποσότητα	Εταιρία	Είδος	Κωδικός	Ποσότητα
Parker	R16X271	30	4	Parker	Γωνιακό	W16SCFX	13
Parker	R16X271	50	1	Parker	Γωνιακό	W30SCFX	7
Parker	R16X271	70	1	Parker	Γωνιακό	W25SCFX	6
Parker	R16X272	220	1				
Parker	R16X272	1555,65	1				
Parker	R16X273	170	1				
Parker	R16X273	672,34	1				
Parker	R16X274	100	1				
Parker	R16X274	1303,7	1				
Parker	R16X275	300	1				
Parker	R16X276	370	1				
Parker	R25X2.571	50	2				
Parker	R25X2.571	99,31	1				
Parker	R25X2.572	998,11	1				
Parker	R25X2.573	368,93	1				
Parker	R25X2.574	156,34	1				
Parker	R25X2.575	695,16	1				
Parker	R25X2.576	348,74	1				
Parker	R30X2.571	50	2				
Parker	R30X2.571	80	1				
Parker	R30X2.571	200	1				
Parker	R30X2.572	700	1				
Parker	R30X2.572	1037	1				
Parker	R30X2.573	280	1				
Parker	R30X2.574	298,14	2				
Parker	R30X2.575	80	1				
Parker	R30X2.576	89,67	1				

Flowmeter Assembly

Σωληνώσεις				Ρακόρ			
Εταιρία	Κωδικός	Μήκος (mm)	Ποσότητα	Εταιρία	Είδος	Κωδικός	Ποσότητα
Parker	R16X271	40	5	Parker	Ευθύ	G16S71	15
Parker	R16X271	41	8	Parker	Γωνιακό	W16SCFX	12
Parker	R16X271	42	1	Parker	T	T16SCFX	6
Parker	R16X271	80	4				
Parker	R16X271	100	2				
Parker	R16X271	400	1				
Parker	R16X271	551	4				
Parker	R16X271	700	1				
Parker	R16X271	850	1				

Parker	R16X271	1150	1	
--------	---------	------	---	--

Flowmeter Assembly

Λοιπά Υδραυλικά

Είδος	Εταιρία	Κωδικός	Ποσότητα
Βάση Σωλήνωσης	Parker	RCP1_116	5
Τάπα	Parker	8PNMLO	8

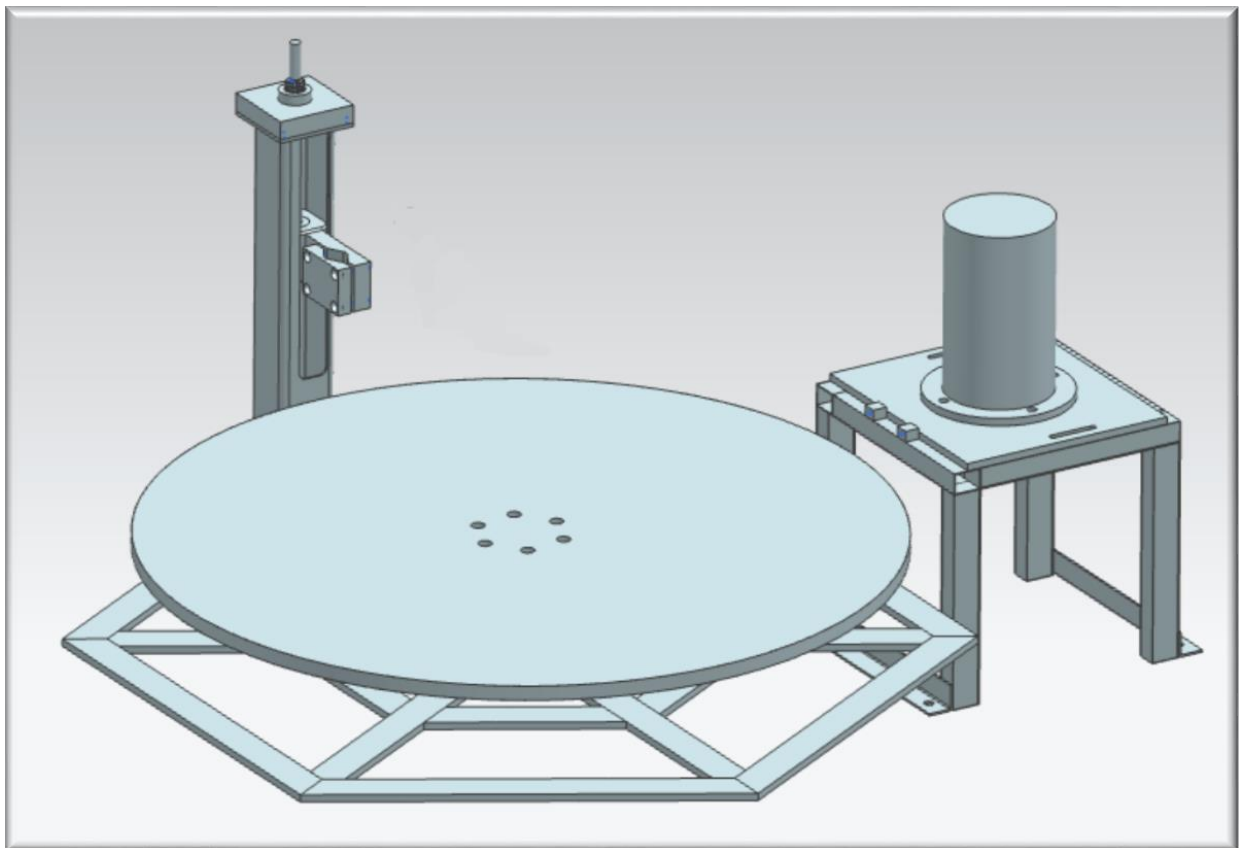
ΜΕΡΟΣ Β' Πειραματική Διάταξη Τρισδιάστατης Εκτύπωσης Κονιαμάτων

6. Εισαγωγή

Η συγκεκριμένη πειραματική διάταξη αποτελείται από μία ξύλινη περιστρεφόμενη πλατφόρμα (turntable) η οποία κινείται μέσω ηλεκτρικού κινητήρα και από μία βάση ακροφυσίου η οποία κινείται κάθετα στην επιφάνεια της πλατφόρμας μέσω χειροκίνητης διάταξης ατέρμονα-κοχλία (βλ. Εικόνα 6.1).

Αποτελεί μέρος ερευνητικού προγράμματος του εργαστηρίου Στοιχείων Μηχανών που στοχεύει στην υλοποίηση τελικής διάταξης ικανής για τρισδιάστατη εκτύπωση κτιρίων που θα πληρούν της απαραίτητες τεχνικές προδιαγραφές ασφαλείας. Τα βασικότερα μέρη μιας τέτοιας διάταξης θα είναι αφενός το είδος κονιάματος το οποίο θα χρησιμοποιείται και θα έχει της κατάλληλες προδιαγραφές για να εξασφαλίζει την στατικότητα των τελικών κατασκευών και αφετέρου η μηχανολογική διάταξη εκτύπωσης η οποία θα καθορίζει την ταχύτητα εκτύπωσης, την παροχή και γενικότερα την διαχείριση του υλικού.

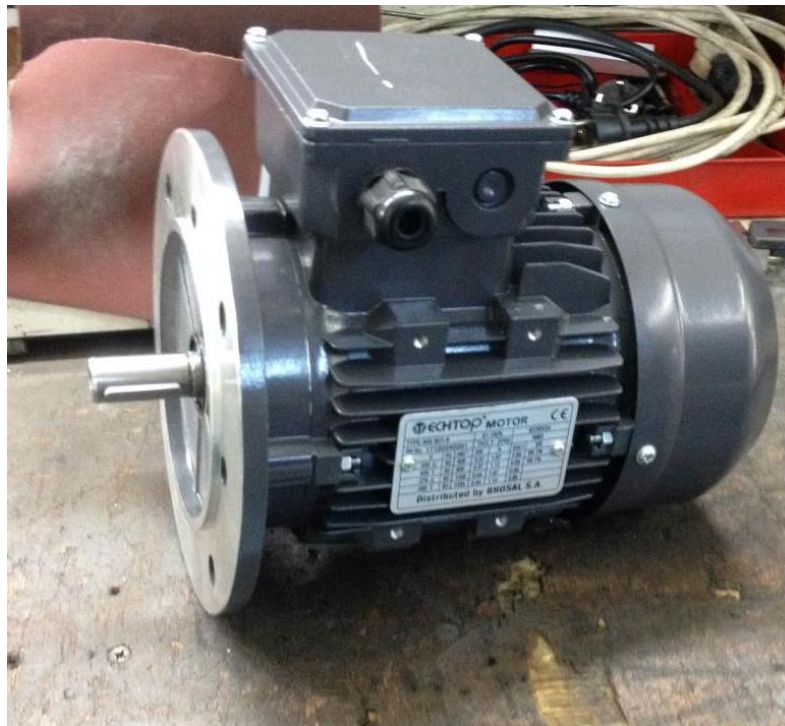
Τα αποτελέσματα χρήσης του turntable θα δώσει δεδομένα απαραίτητα για τον καθορισμό της ταχύτητας εκτύπωσης του κονιάματος που θα χρησιμοποιηθεί –παροχή, ταχύτητα ανύψωσης ακροφυσίου και περιστροφής τράπεζας-. Το τελικό προϊόν του turntable θα είναι ένα δαχτυλίδι κονιάματος στο οποίο θα πραγματοποιηθούν περαιτέρω πειράματα στατικότητας.



Εικόνα 6.1: Διάταξη τελική

7. Σύστημα κίνησης

7.1 Ηλεκτρικός Κινητήρας



Εικόνα 7.1: Ηλεκτρικός Κινητήρας TECHTOP, 6-πολικός 900rpm, 0.5HP

Για την επιλογή του ηλεκτρικού κινητήρα υπολογίστηκε αρχικά η ροπή αδράνειας στον άξονα περιστροφής της ξύλινης πλατφόρμας ενώ στην συνέχεια έγινε αναγωγή στον άξονα του ηλεκτρικού κινητήρα με βάση την σχέση μετάδοσης της μαντοκίνησης. Ακολουθούν εξισώσεις για τις ροπές αδράνειας:

$$I_{\text{τσιμ.δακτυλίου}} = \frac{\pi \cdot \rho \cdot h}{2} \cdot (r_2^4 - r_1^4) = 32.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \text{ με } r_2 = 0.4 \text{ m και } r_1 = 0.25 \text{ m}$$

$$I_{\text{κυκλικής πλατφόρμας}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2 = 2.5 \text{ kg} \cdot \text{m}^2, \text{ με } m = 20 \text{ kg και } r = 0.5 \text{ m}$$

$$I_{\text{συνολικό}} = 40 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$

Η πυκνότητα του κονιάματος θεωρήθηκε ίση με το κοινό τσιμέντο $\rho_{\text{τσιμ}} = 3,15 \text{ g/cm}^3$.

Με δεδομένο ότι η ταχύτητα εκτύπωσης είναι $u = 10\text{-}20 \text{ cm/s} = 0,1\text{-}0,2 \text{ m/s}$ έχουμε γωνιακή ταχύτητα από $\omega = 0,2\text{-}0,4 \text{ rad/s}$. Επιλέγοντας το σύστημά να αποκτά την μέγιστη ταχύτητα σε 2sec έχουμε την γωνιακή επιτάχυνση και κατ' επέκταση με βάση της εξισώσεις

$$T = I \cdot \dot{\omega} = 8 \text{ Nm}$$

και

$$P = T \cdot \omega = 3.2 \text{ W}$$

με $\dot{\omega} = 0,2 \text{ rad/sec}^2$ έχουμε την απαιτούμενη ροπή και ισχύ στον άξονα της πλατφόρμας.

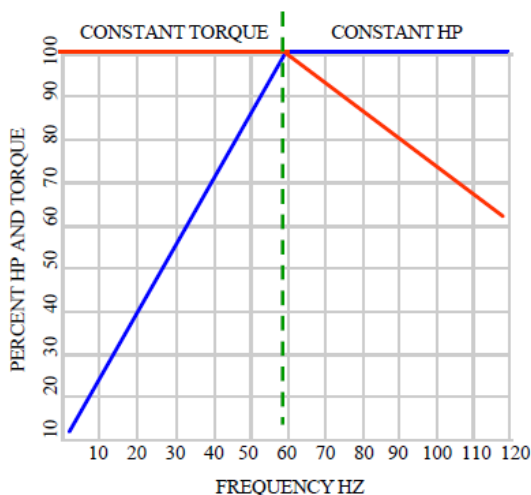
Με βάση την σχέση μετάδοσης της μαντοκίνησης $i = \frac{1}{4}$ για την ροπή και τις στροφές του κινητήρα έχουμε:

$$T_{\text{motor}} = 2 \text{ Nm}$$

$$\omega_{\text{motor}} = 1.6 \text{ rad/sec} = 15 \text{ rpm}$$

Για τον έλεγχο των στροφών του κινητήρα επιλέχθηκε εναλλάκτης (inverter) τύπου vector control ο οποίος επιτρέπει την χρήση της μέγιστης ροπής κατά την εκκίνηση, ιδιότητα ιδιαίτερα χρήσιμη στην συγκεκριμένη εφαρμογή καθώς θέλουμε μεγάλη ροπή σε χαμηλές στροφές.

Βασική αρχή του VFD (Variable Frequency Drive), δηλαδή του ελέγχου των στροφών της ηλεκτροκινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω ελέγχου της συχνότητας του ρεύματος που τον κινεί, είναι η διατήρηση σταθερής ροπής από τα 0Hz έως την συχνότητα λειτουργίας του δικτύου 60Hz και την μετέπειτα γραμμική μείωσή της, ενώ αντίστροφη πορεία διαγράφει η καμπύλη της ισχύος της φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 7.2):



Εικόνα 7.2: Καμπύλες Ισχύος-Συχνότητας και Ροπής-Συχνότητας VFD

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι της κινητήρας θα πρέπει στην συχνότητα ρεύματος του δικτύου (60Hz) στην οποία δίνεται συνήθως το βέλτιστο σημείο λειτουργίας του να αποδίδει την απαιτούμενη ροπή που υπολογίστηκε.

Με βάση την σχέση $RPM = \frac{120 \times \text{Frequency}}{\text{Number of Poles}}$ που συνδέει την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα με την συχνότητα του ρεύματος που τον διαρρέει καταλήγουμε στα εξής:

Κινητήρας με περισσότερους πόλους παράγει μεγαλύτερη ροπή με λιγότερες στροφές σε σχέση με έναν κινητήρα με λιγότερους πόλους με την ίδια ισχύ. Γι' αυτό το λόγο καταλήξαμε στην επιλογή 6-πολικού κινητήρα 0,5HP.

Οι στροφές λειτουργίας που επιλέχθηκαν είναι ιδιαίτερα χαμηλές. Η σχέση μεταξύ στροφών και συχνότητας για τον ίδιο κινητήρα είναι γραμμική καθώς ο αριθμός των πόλων παραμένει σταθερός. Με βάση της καμπύλες για τον VFD έλεγχο των στροφών του κινητήρα βλέπουμε ότι υπάρχει σχεδόν γραμμική σύνδεση συχνότητας –άρα και στροφών- και ισχύος. Για έναν 4-πολικό κινητήρα 1500rpm, οι 15rpm αποτελούν το 1% των στροφών του άρα περίπου και το 1% της ισχύος του. Αντίθετα για έναν 6-πολικό αυτό το ποσοστό είναι σχεδόν 2%. Άλλη μία παράμετρος λοιπόν για την επιλογή 6-πολικού κινητήρα 0,5HP είναι η αποδοτικότερη λειτουργία του της χαμηλές στροφές.

Υπολογισμοί για κινητήρα 0,5HP										
Απόκριση (sec)	1 sec		2 sec		2,5 sec		3 sec		5 sec	
	T (Nm)	P (W)	T (Nm)	P (W)	T (Nm)	P (W)	T (Nm)	P (W)	T (Nm)	P (W)
Απαιτούμενη	4,00	4,80	2,00	2,40	1,60	1,92	1,33	1,60	0,80	0,96
Κινητήρας 900rpm	3,96	6,22	3,96	6,22	3,96	6,22	3,96	6,22	3,96	6,22
Κινητήρας 1500 rpm	2,37	3,73	2,37	3,73	2,37	3,73	2,37	3,73	2,37	3,73

Πίνακας 7.1: Υπολογισμοί για την επιλογή κινητήρα, δοκιμή με κινητήρα 0,50hp

Υπολογισμοί για κινητήρα 0,75HP										
Απόκριση (sec)	1 sec		2 sec		2,5 sec		3 sec		5 sec	
	T (Nm)	P (W)	T (Nm)	P (W)	T (Nm)	P (W)	T (Nm)	P (W)	T (Nm)	P (W)
Απαιτούμενη	4,00	4,80	2,00	2,40	1,60	1,92	1,33	1,60	0,80	0,96
Κινητήρας 1500rpm	3,50	4,40	3,50	4,40	3,50	4,40	3,50	4,40	3,50	4,40

Πίνακας 7.2: Υπολογισμοί για την επιλογή κινητήρα, δοκιμή με κινητήρα 0,75hp

Η επιλογή λειτουργίας του κινητήρα σε τόσο χαμηλές στροφές εισάγει προβλήματα στην ψύξη του λόγω των χαμηλών στροφών λειτουργίας της πτερωτής του. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε η εισαγωγή πρόσθετης διάταξης ψύξης του κινητήρα μέσω πτερωτής (industrial blower).

7.2 Ιμαντοκίνηση

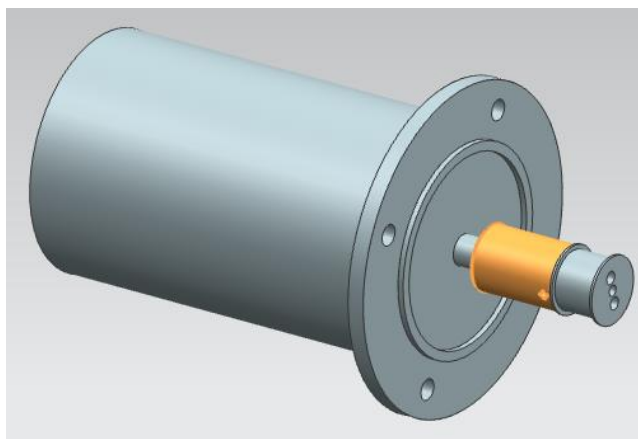


Εικόνα 7.3: Αριστερά η τροχαλία 48 οδόντων συναρμολογημένη στη βάση της Πλατφόρμας
Δεξιά η τροχαλία 12 οδόντων

Για την ιμαντοκίνηση επιλέχθηκαν τροχαλίες χρονισμού 48 και 12 οδόντων για να επιτευχθεί λόγος μετάδοσης $i = 1/4$, επιτυγχάνοντας ικανοποιητική μείωση των στροφών του κινητήρα και αύξηση της ροπής του χωρίς να προστεθεί πολύ μεγαλύτερη μάζα στον άξονα της πλατφόρμας.

7.3 Σύνδεση ηλεκτροκινητήρα τροχαλία

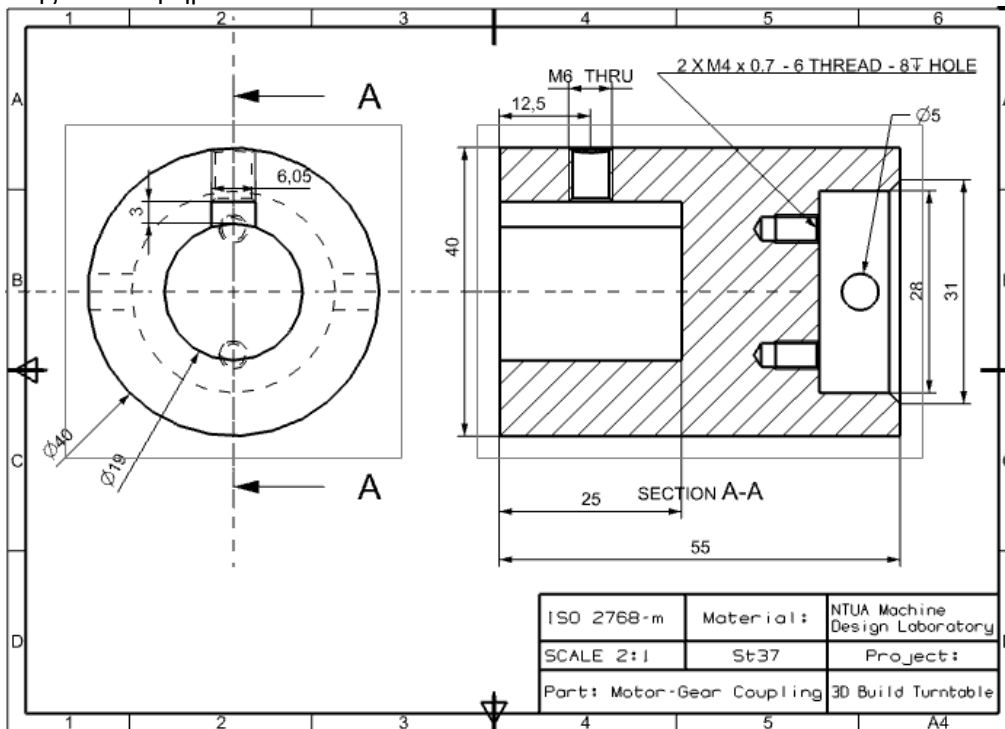
Ο ηλεκτροκινητήρας έχει στην έξοδο του άτρακτο διαμέτρου 19mm με σφήνα πάχους 6mm. Επιλέχθηκε η σύνδεση του άξονα και της τροχαλίας 12 οδόντων (πινιόν) μέσω ιδιοσκευής πρόσδεσης των δύο εξαρτημάτων.



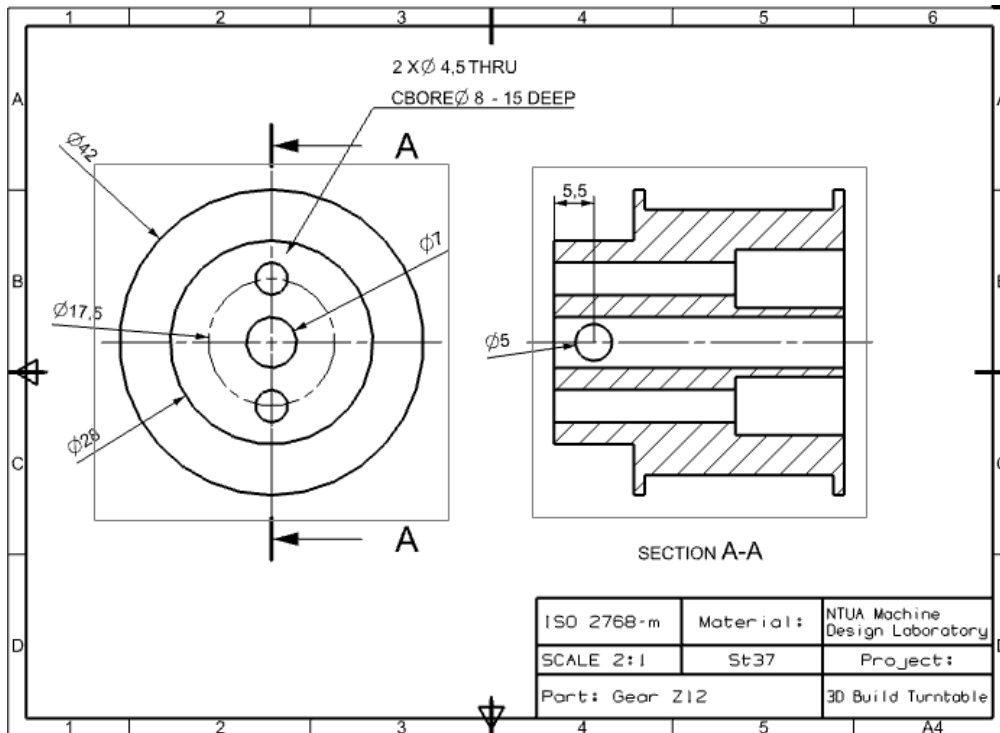
Εικόνα 7.4: Με πορτοκαλί χρώμα η ιδιοσυσκευή σύνδεσης κινητήρα-πινιόν

Στο πρώτο σχέδιο παρουσιάζεται η ιδιοσκευή σύνδεσης κινητήρα-τροχαλίας. Στην αριστερή πλευρά της όψης σε τομή φαίνεται η διαμόρφωση για την εισαγωγή του άξονα του κινητήρα με την σφήνα ενώ προστέθηκε M8 σπειρώμα στο οποίο θα εφαρμόσει ακέφαλος κοχλίας που θα εδράσει στην επιφάνεια της σφήνας. Στην δεξιά πλευρά φαίνεται η διαμόρφωση για την εισαγωγή του πινιόν και την πρόσδεσή της, αφενός με δύο κοχλίες M4 αλλά και ένα ασφαλιστικό διαμέτρου 5mm το οποίο θα περάσει από την κάθετη στην όψη οπή.

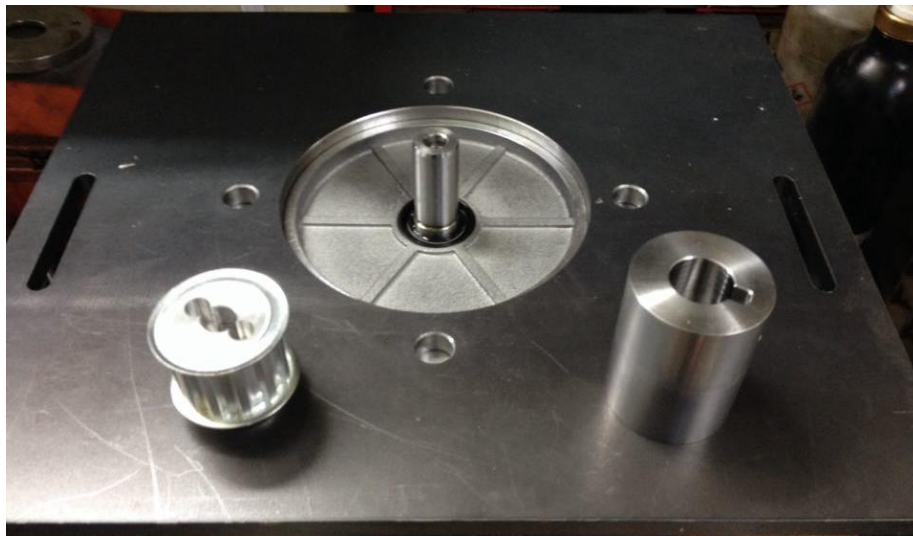
Στο δεύτερο σχέδιο παρουσιάζεται η διαμόρφωση του πινιόν προκειμένου να προσδεθεί στην ιδιοσυσκευή μέσω των κοχλιών M4 και του ασφαλιστικού. Η υπάρχουσα οπή διαμέτρου 7mm στο κέντρο του πινιόν και η διάμετρος του κύκλου κύλισης διαμέτρου 28mm επί της ουσίας καθόρισαν και το μέγεθος κοχλίωσης που θα χρησιμοποιηθεί προκειμένου να υπάρχει χώρος για την εφαρμογή κοχλιών με κεφαλή allen. Το ασφαλιστικό επιλέχθηκε ως πρόσθετο εξάρτημα για την παραλαβή της στρέψης που προκαλείται λόγω της ροπής του κινητήρα.



Εικόνα 7.5: Σχέδιο της Ιδιοσυσκευής σύνδεσης Κινητήρα-Πινιόν



Εικόνα 7.6: Σχέδιο Πινιόν



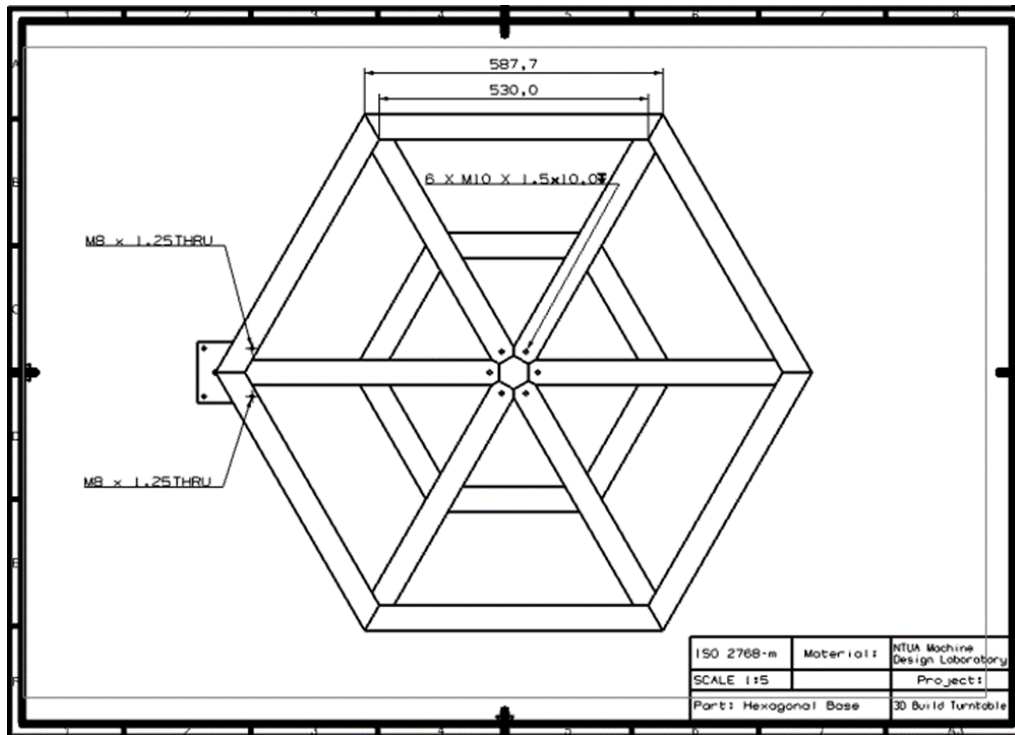
Εικόνα 7.7: Φωτογραφίες κατασκευασμένων πινιόν και προέκτασης

8 Βάση Διάταξης

Η βάση της διάταξης είναι ένα εξαγωνικό ασάλινο πλαίσιο πάχους 10mm το οποίο συγκρατεί την φλάντζα της βάσης της περιστρεφόμενης πλατφόρμας. Αποτελείται από 19 κομμάτια τα οποία κατασκευάστηκαν με κοπή laser και συγκολλήθηκαν με ηλεκτροκόλληση argon.

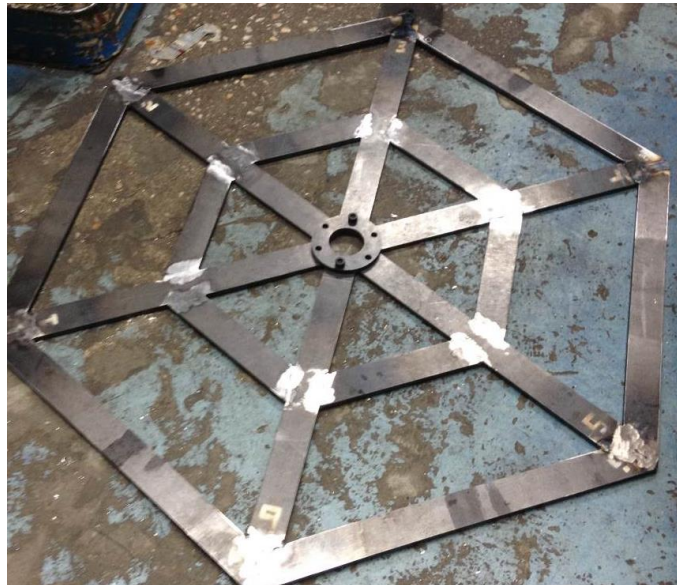
8.1 Κατασκευαστικά Σχέδια

Δεδομένου ότι τα κομμάτια του πλαισίου ήταν ήδη κατασκευασμένα σε κοπή laser το συγκεκριμένο σχέδιο χρησιμοποιήθηκε για την συγκόλληση των κομματιών.



Εικόνα 8.1: Σχέδιο 6-γωνικού Πλαισίου Στήριξης της Διάταξης

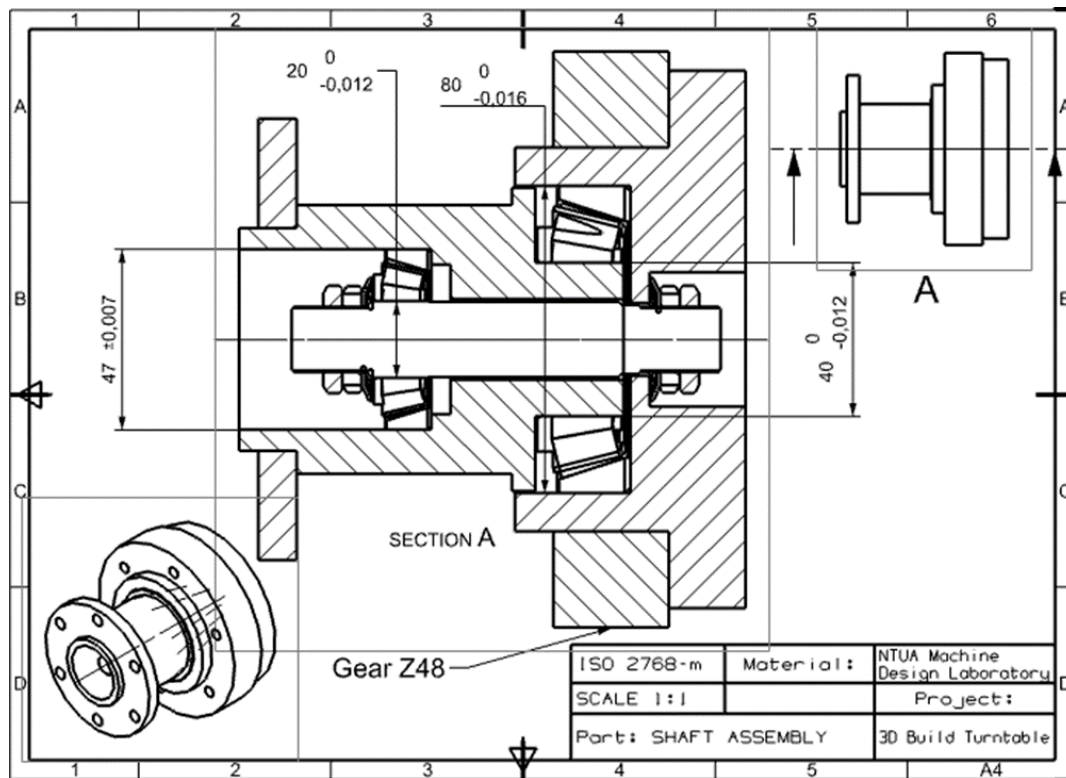
8.2 Κατασκευή



Εικόνα 8.2: Το 6-γωνικό πλαίσιο μετά την ολοκλήρωση των εργασιών συγκόλλησης

Για να επιτευχθεί η ομοκεντρότητα των οπών της φλάντζας με αυτές της βάσης, επιλέχθηκε η πρόσδεση της φλάντζας στα ακτινικά κομμάτια που φαίνονται στην εικόνα κι έπειτα οι αποκλίσεις μεταξύ των κομματιών αντιμετωπίστηκαν με την εναπόθεση του υλικού συγκόλλησης. Τα κομμάτια δέθηκαν σε τραπέζι με απόκλιση επιπεδότητας 1mm/m προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι ατέλειες λόγω συστολής του υλικού μετά το πέρας της συγκόλλησης. Τέλος, ακολούθησε λείανση του εναποθετημένου υλικού της συγκόλλησης με λειαντικό τροχό.

9 Άξονας Περιστροφής Πλατφόρμας Εκτύπωσης



Εικόνα 9.1: Σχέδιο συναρμολογήματος του άξονα κίνησης της περιστρεφόμενης πλατφόρμας

9.1 Προδιαγραφές κι Απαιτήσεις

Το συναρμολόγημα που φαίνεται στο παραπάνω σχέδιο εξασφαλίζει την απρόσκοπτη περιστροφή της ξύλινης πλατφόρμας αλλά και την πρόσδεσή της στην εξαγωνική βάση της διάταξης. Η τροχαλία 48 οδόντων παραλαμβάνει μέσω της μαντοκίνησης την ροπή του κινητήρα που απαιτείται για την περιστροφή της διάταξης κατά την διάρκεια εκτύπωσης και την μεταφέρει μέσω 6 κοχλιών M6 στη βάση της πλατφόρμας η οποία με τη σειρά της συνδέεται μέσω 6 κοχλιών M12 με την ξύλινη πλατφόρμα στην οποία τυπώνεται ένα δακτυλίδι κονιάματος, συνεχώς αυξανόμενο καθ' ύψος και σε μάζα.

Η λειτουργία της διάταξης θα πραγματοποιείται σε περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση σκόνης λόγω του κονιάματος, συνεπώς σχεδιαστικά λήφθηκε υπ' όψιν η προστασία των στοιχείων κύλισης στο τελικό συναρμολόγημα.

9.2 Στοιχεία Κύλισης

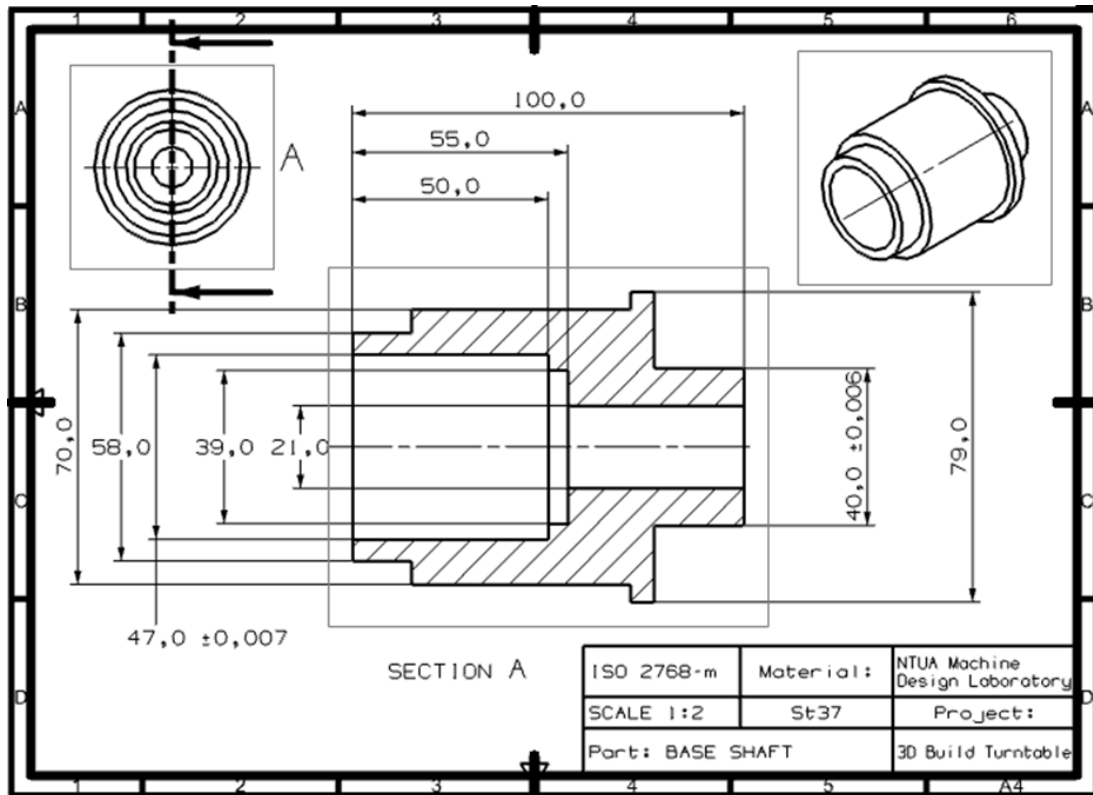
Η σύνδεση μεταξύ του εξαρτήματος που προσδένεται στο εξαγωνικό πλαίσιο και της βάσης της ξύλινης πλατφόρμας επιτυγχάνεται με την χρήση άξονα και κωνικών στοιχείων κύλισης (ρουλεμάν) τα οποία είναι ικανά να παραλαμβάνουν αποτελεσματικότερα της αξονικές δυνάμεις σε αντίθεση με τα σφαιρικά ή τα κυλινδρικά, ιδιαίτερα σε μία διάταξη που οι αξονικές δυνάμεις είναι κυρίαρχες. Σύμφωνα και με το σχέδιο του συναρμολογήματος, το δεξιό ρουλεμάν παραλαμβάνει όλο το αξονικό φορτίο και περιστρέφεται ο εξωτερικός του δακτύλιος ενώ το ακτινικό φορτίο που προκαλείται από τις δυνάμεις στην τροχαλία επιδρά και στα δύο στοιχεία κύλισης. Το αξονικό φορτίο είναι το βάρος του δακτυλίου κονιάματος το οποίο είναι περί τα 3kN ενώ το ακτινικό υπολογίζεται από τη σχέση:

$$F = \frac{M}{v} = \frac{M}{\omega * r_{\text{τροχαλίας}}} = 106.67 \text{ N}$$

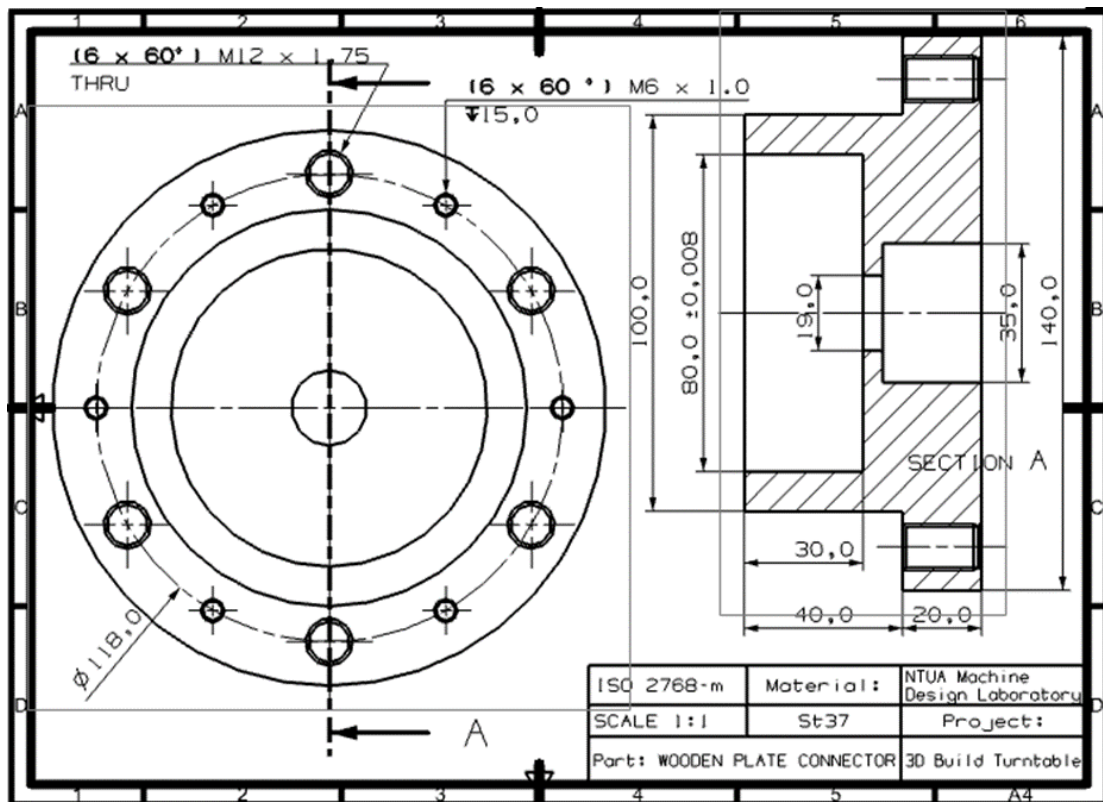
Δεδομένου ότι η διάταξη κινείται με ταχύτητα μικρότερη των 10rpm, θεωρούμε τα φορτία στατικά. Τα στοιχεία κύλισης που επιλέχθηκαν είναι ένα SKF 32208 εσωτερικής διαμέτρου 40mm και εξωτερικής 80mm με δυνατότητα παραλαβής αξονικού φορτίου 86,5 kN κι ένα SKF 30204 εσωτερικής διαμέτρου 20mm και εξωτερικής 47mm.

Όσο αφορά την άτρακτο του συναρμολογήματος, καθώς αυτή δεν παραλαμβάνει αξονικό φορτίο αλλά μόνο το ακτινικό της ιμαντοκίνησης καθώς και την στρέψη από την ροπή της διάταξης δεν προκύπτουν ανάγκες ακριβούς διαστασιολόγησης αλλά η διάμετρός της καθορίστηκε με βάση τα επιλεγμένα ρουλεμάν.

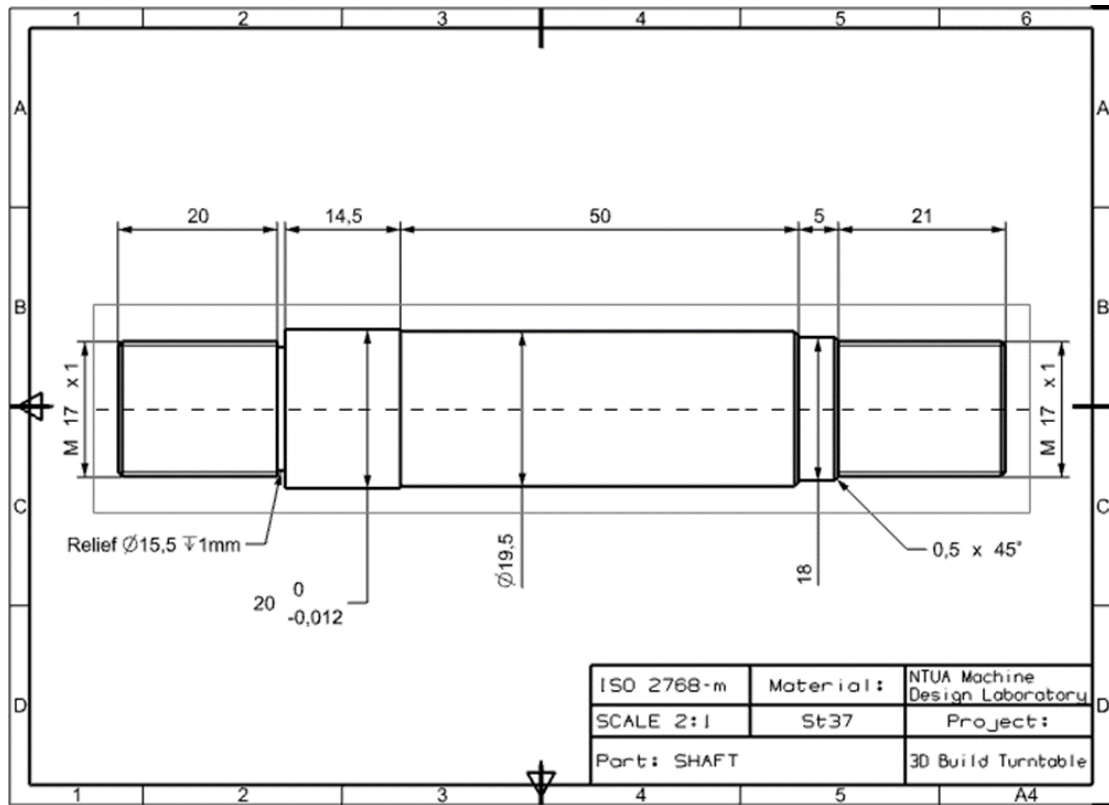
9.3 Κατασκευαστικά Σχέδια & Ανοχές



Εικόνα 9.2: Σχέδιο της βάσης της διάταξης περιστροφής



Εικόνα 9.3: Σχέδιο της βάσης της ξύλινης πλατφόρμας



Εικόνα 9.4: Σχέδιο του άξονα σύνδεσης βάσης διάταξης και βάσης πλατφόρμας

9.4 Κατασκευή

9.4.1 Μέθοδοι κατασκευής

Η βασική διαδικασία κατασκευής του συγκεκριμένου συναρμολογήματος πραγματοποιήθηκε σε συμβατικό τόρνο της TOS μοντέλο SN40B. Ιδιαίτερη σημασία κατά την κατεργασία των κομματιών δόθηκε στα σημεία που απαιτούνταν υψηλής ακρίβειας ανοχές –εμφανίζονται και στα αντίστοιχα σχέδια- για την έδραση των στοιχείων κύλισης της διάταξης. Οι διαμορφώσεις ακολούθησαν αρχικά την διαδικασία ξεχονδρίσματος με σχετικά μεγάλα πάσα κοπής, έπειτα πραγματοποιήθηκε φινιρίσμα με μικρότερα πάσα κοπής και τέλος λείανση με λεπτόκοκκο σμυριδόχαρτο.

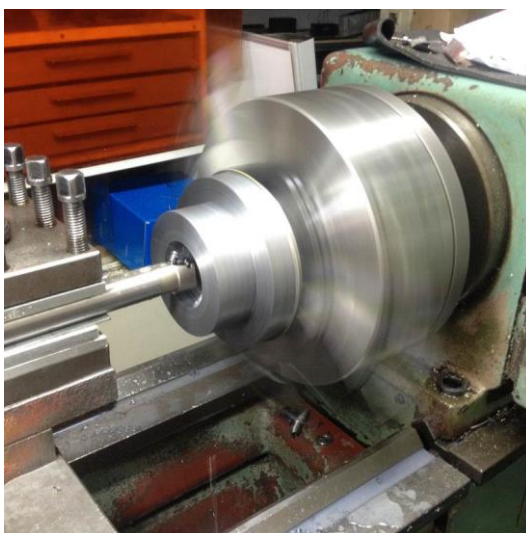
Οι κατεργασίες της βάσης πρόσδεσης του άξονα στο 6-γωνικό πλαίσιο, του άξονα και της βάσης της πλατφόρμας πραγματοποιήθηκαν σε 2 φάσεις (δεσίματα) στον τόρνο με βάση τα μηχανολογικά σχέδια που παρουσιάστηκαν παραπάνω:



Εικόνα 9.5: Η κατασκευή της βάσης της διάταξης περιστροφής σε τόρνο

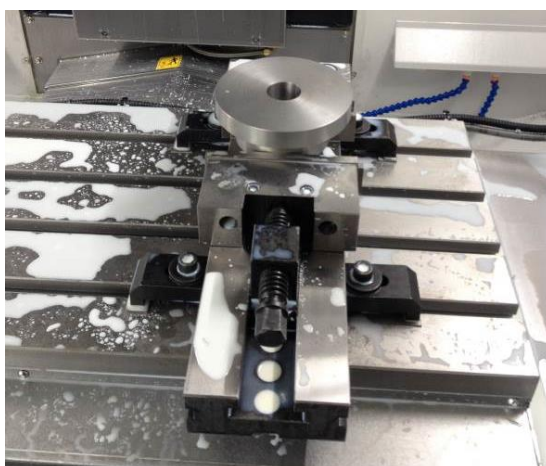


Εικόνα 9.6: Η κατασκευή του άξονα της διάταξης στον τόρνο



Εικόνα 9.7: Η κατασκευή της βάσης της πλατφόρμας στον τόρνο

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν πόντες με κεντροτρύπανο στην βάση της πλατφόρμας με χρήση 3-αξονικής CNC φρέζας Akira-Seiki SR3 XP, ενώ η διάνοιξη οπών και σπειρωμάτων ολοκληρώθηκε χειροκίνητα σε δράπανο.



Εικόνα 9.8: Η βάση της ξύλινης πλατφόρμας κατά την κατεργασία σε κέντρο CNC

Η διαμόρφωση της τροχαλίας 48 οδόντων προϋπέθεσε την διάνοιξη κεντρικής οπής 100mm με ανοχή H7 προκειμένου να εφαρμόσει στην βάση της πλατφόρμας, ενώ διανοίχθηκαν οπές για την υποδοχή των M6 κοχλιών εξαγωνικής κεφαλής. Οι εργασίες αυτές πραγματοποιήθηκαν σε 3-αξονική CNC φρέζα Primero KM100.

9.4.2 Υλικά

Το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για τις βάσεις και τον άξονα είναι κοινός χάλυβας κατασκευών St37. Οι τροχαλίες είναι κατασκευασμένες από κράμα αλουμινίου 7075.

9.4.3 Εργαλεία

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν της κατεργασίες του τόννου είναι μανέλες για εσωτερική και εξωτερική διαμόρφωση διαμέτρων, μανέλα για την διαμόρφωση μετρικού σπειρώματος καθώς και εργαλείο αποκοπής.

9.4.4 Τροποποιήσεις

Στα αρχικά σχέδια οι διάμετροι των οπών και αξόνων έδρασης των εκάστοτε δακτυλίων των ρουλεμάν είχαν μήκος ίσο με το πάχος του δακτυλίου. Μία τέτοια υλοποίηση του σχεδίου θα προϋπέθετε την ακριβή ομόκεντρη τοποθέτηση του δακτυλίου ρουλεμάν πριν τη χρήση πρέσας για την συναρμογή. Για να αντιμετωπιστεί αυτή η δυσκολία στην συναρμολόγηση, κατά την διάρκεια της κατασκευής των κομματιών επιλέχθηκε μεγαλύτερο μήκος διαμέτρων από το πάχος του ρουλεμάν, με μικρότερη ακρίβεια ανοχής στα πρώτα χιλιοστά, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί ως οδηγός για την σύσφιξη με τον αντίστοιχο άξονα ή οπή με τη χρήση πρέσας.



Εικόνα 9.9: Οι εξωτερικοί δακτύλιοι των ρουλεμάν οδηγούμενοι από της διαμέτρους μεγαλύτερης διαστασιολογικής ανοχής

10 Άξονας Κίνησης Ακροφυσίου Εκτύπωσης Κονιάματος



Εικόνα 10.1: Η διάταξης κάθετης κίνησης του ακροφυσίου κονιαμάτων

10.1 Προδιαγραφές

Η συγκεκριμένη διάταξη κινεί την βάση στήριξης (holder) του ακροφυσίου παροχής κονιάματος κάθετα στην επιφάνεια της ξύλινης πλατφόρμας επιτρέποντας την εκτύπωση καθ' ύψος. Βασίζεται στην χρήση ενός σταθερού ατέρμονα με ένα κοχλία να διατρέχει την σχεδιασμένη διαδρομή των 350mm.

Αποτελείται από το κέλυφος του holder (Εικόνα 10.3), τον ατέρμονα (Εικόνα 10.4), τον holder με τον σφιγκτήρα του (Εικόνα 10.6), την κάτω βάση έδρασης του ατέρμονα (Εικόνα 10.7), την άνω βάση έδρασης του ατέρμονα στην οποία τοποθετείται και το αξονικό ρουλεμάν (Εικόνα 10.8), το καπάκι του αξονικού ρουλεμάν (10.9), τα κουζινέτα (Εικόνα 10.10) και τον κοχλία του ατέρμονα (Εικόνα 10.11).

10.2 Αξονικό Στοιχείο Κύλισης

Αρχικά έγινε υπολογισμός για χρήση απλού ορειχάλκινου στοιχείου ολίσθησης στην βάση του ατέρμονα. Η προσθήκη του ακροφυσίου στην βάση θα δημιουργήσει ροπή λόγω της καμπυλότητας της σωλήνωσης τροφοδοσίας. Τότε αν το βάρος της σωλήνωσης με το κονίαμα είναι 25kg και βρίσκεται σε μία απόσταση 300mm από τον άξονα περιστροφής του ατέρμονα, θα έχουμε:

Για την ροπή που ασκείται στον ατέρμονα

$$M = 25kg * g * 0.3m$$

Για την δύναμη που θα ασκηθεί στην επιφάνεια επαφής ατέρμονα-στοιχείου ολίσθησης

$$F = \frac{M}{r_1}$$

$$A = \pi * (r_2^2 - r_1^2)$$

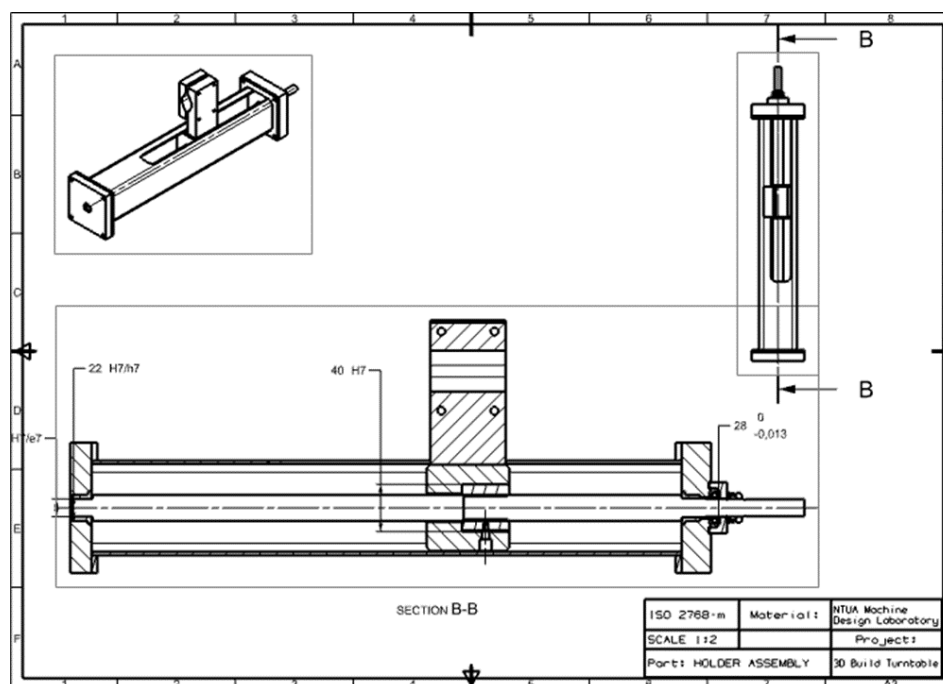
Όπου r_1 και r_2 οι ακτίνες του ατέρμονα και της εσωτερικής διαμέτρου του κουζιného αντίστοιχα και A η επιφάνεια επαφής

Τότε θα έχουμε μία πίεση επιφανείας των 40MPa. Δεδομένου ότι η αντοχή σε πίεση επιφανείας του ορείχαλκου είναι περί τα 50MPa, προτιμήθηκε η χρησιμοποίηση αξονικού στοιχείου κύλισης (ρουλεμάν) για καλύτερα αποτελέσματα στην ποιότητα κύλισης.

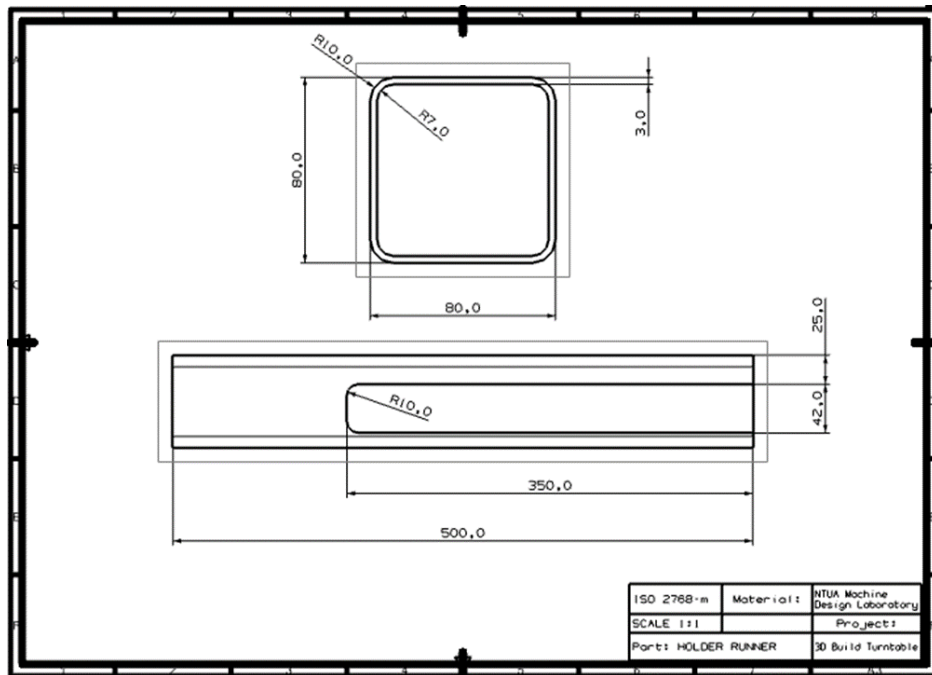
Με δεδομένη την καθαρή διάμετρο του ατέρμονα στα 17mm και για να υπάρχει η δυνατότητα κατεργασίας του για την διαμόρφωση σπειρωμάτων και λοιπών κατασκευαστικά απαραίτητων διαμέτρων επιλέχθηκε αξονικό ρουλεμάν (SKF 51102) εσωτερικής διαμέτρου 15mm και με αντοχή σε στατικό αξονικό φορτίο 18,3kN.

Με δεδομένη την λειτουργία της διάταξης σε περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση σκόνης κονιάματος και στην συγκεκριμένη διάταξη που απαιτείται η χρήση στοιχείου κύλισης έπρεπε να ληφθεί υπ' όψιν κατά το σχεδιασμό και η προστασία του ρουλεμάν για να αποφύγουμε ραγδαία μείωση του χρόνου ζωής αλλά και της λειτουργικότητάς του. Για τον σκοπό αυτό επιλέχθηκε ο σχεδιασμός καπακιού για το αξονικό ρουλεμάν –το οποίο φαίνεται στα παρακάτω σχέδια- αλλά και η διαμόρφωση σχετικής πατούρας στην βάση του ρουλεμάν ώστε να είναι πολύ λιγότερο εκτεθειμένο στη σκόνη κονιάματος. Οι ανοχές στα σημεία όπου εδράζονται τα διάφορα στοιχεία του αξονικού ρουλεμάν καθορίστηκαν με βάση τα στοιχεία που παρέχει η εταιρία κατασκευής.

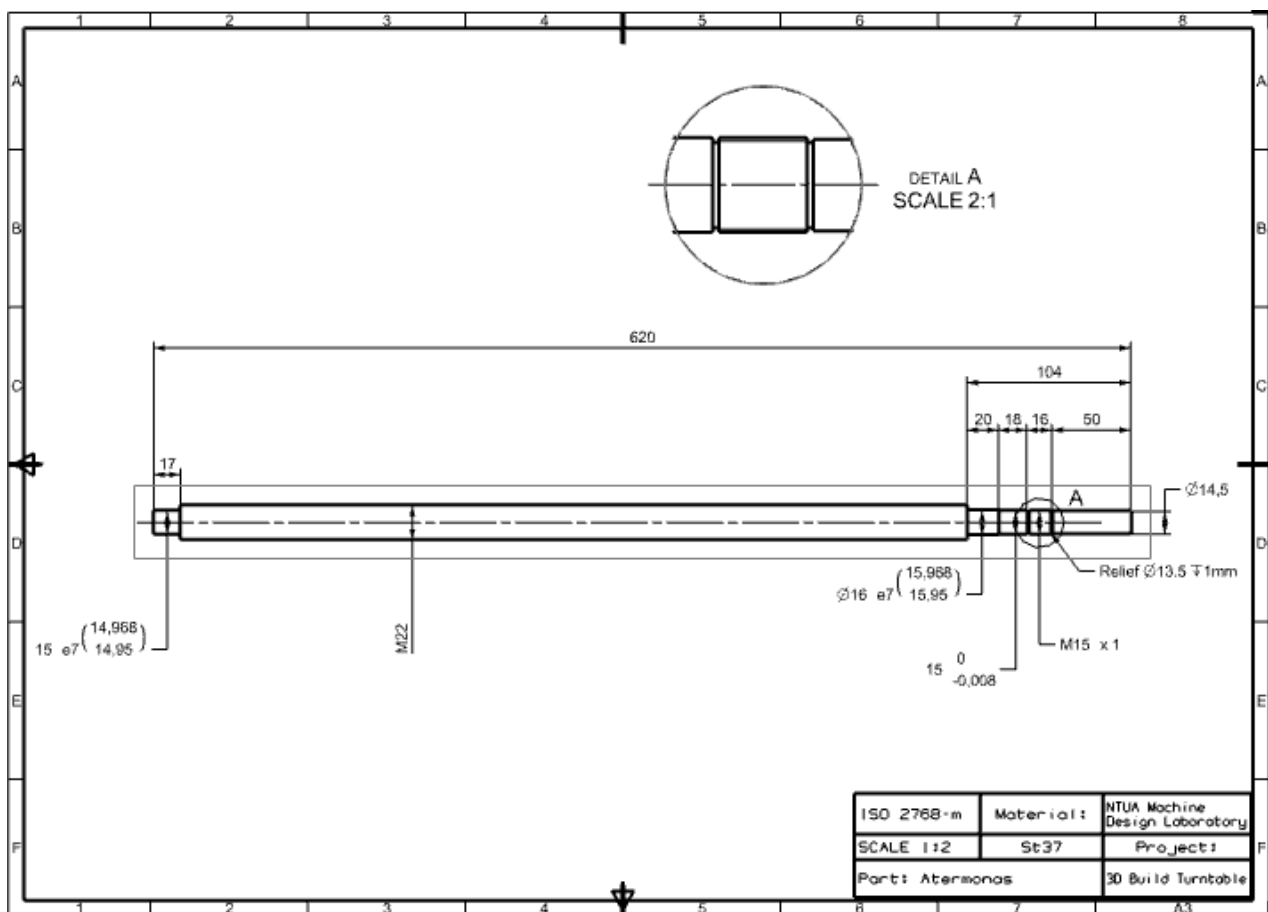
10.3 Κατασκευαστικά Σχέδια



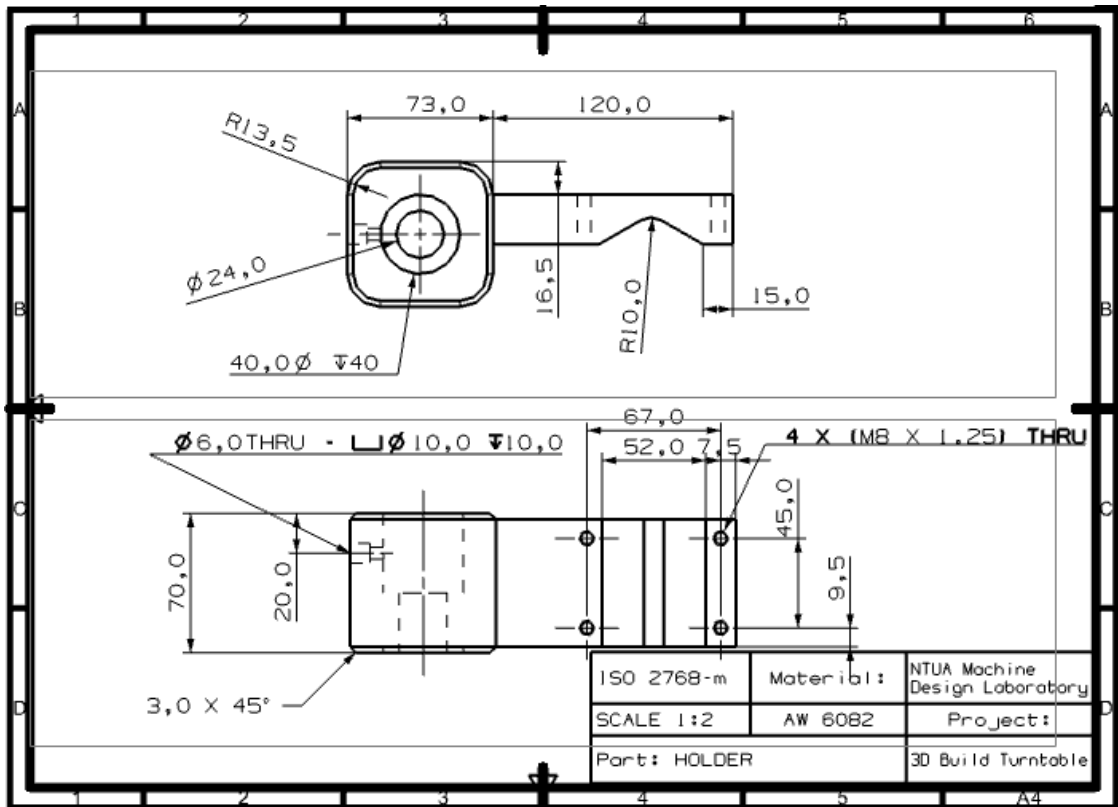
Εικόνα 10.2: Το σχέδιο της διάταξης



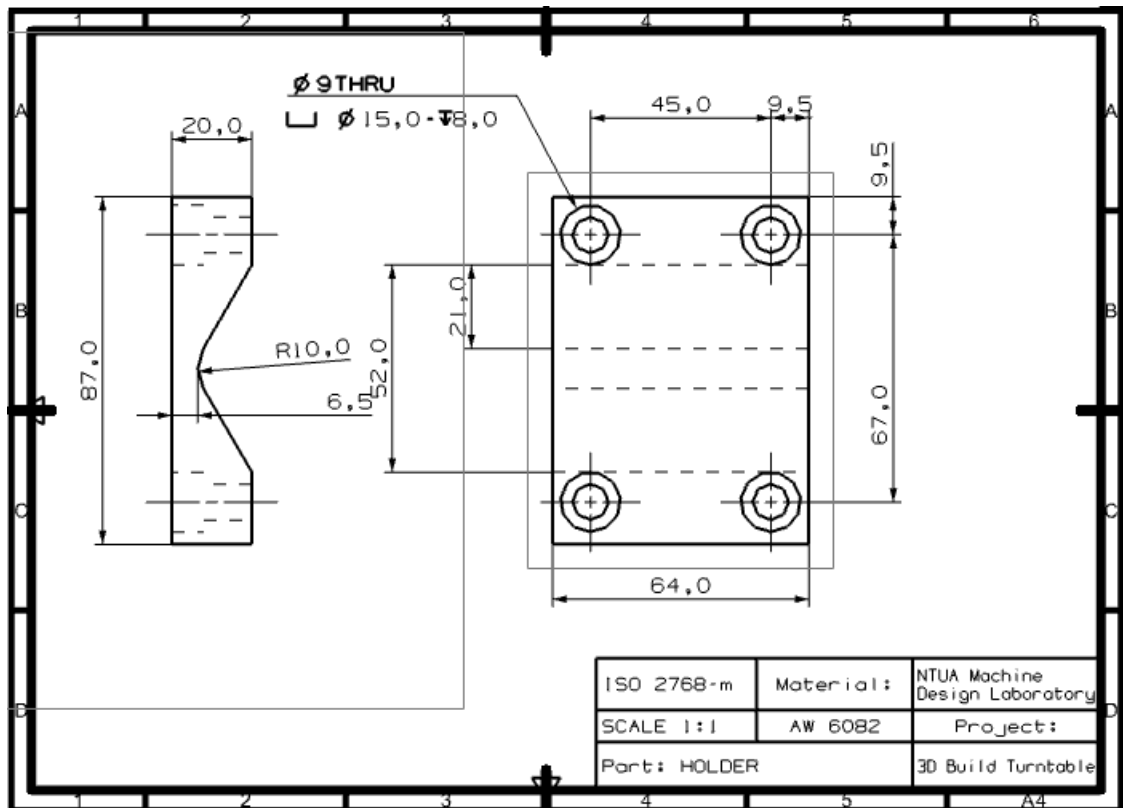
Εικόνα 10.3: Το σχέδιο του κελύφους του holder



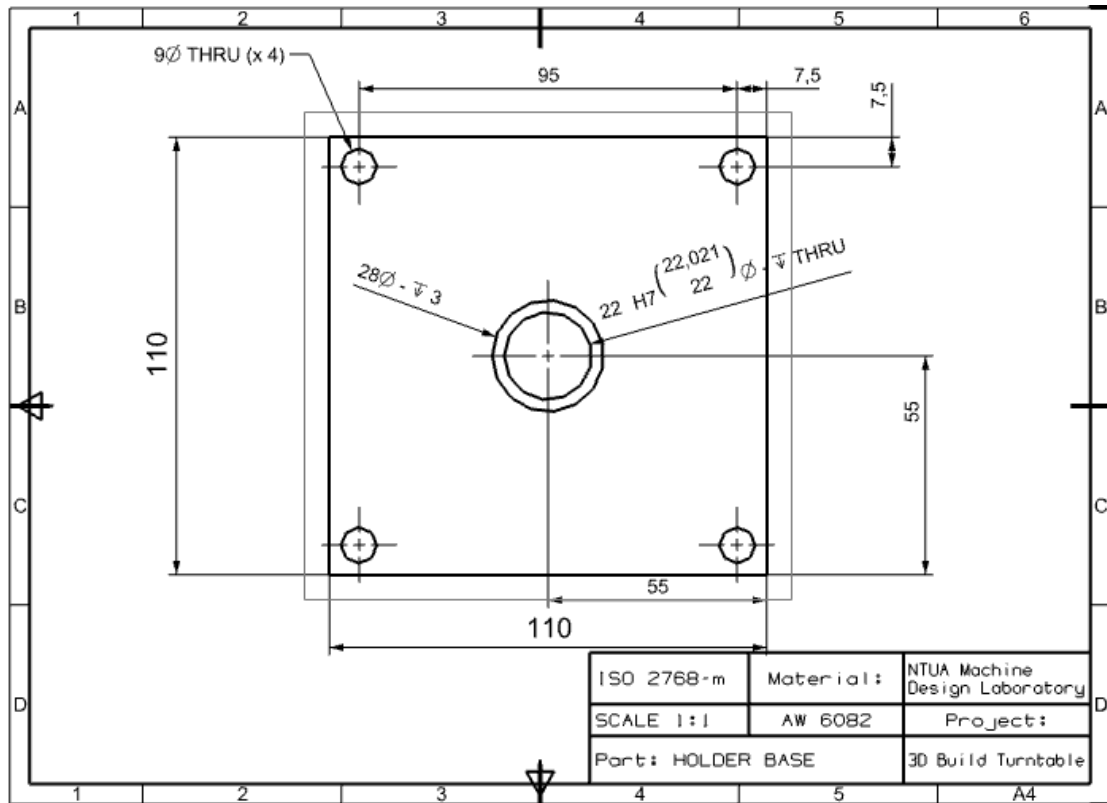
Εικόνα 10.4: Το σχέδιο του ατέρμονα



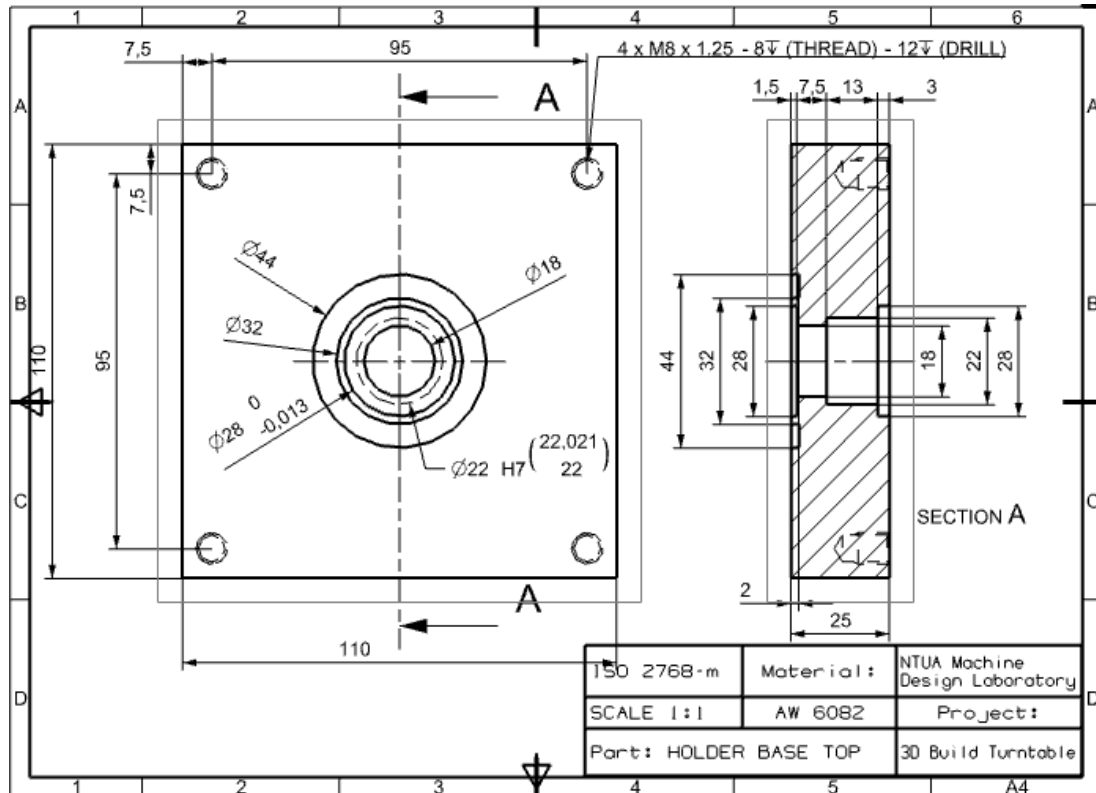
Εικόνα 10.5: Η βάση στήριξης του ακροφυσίου (holder)



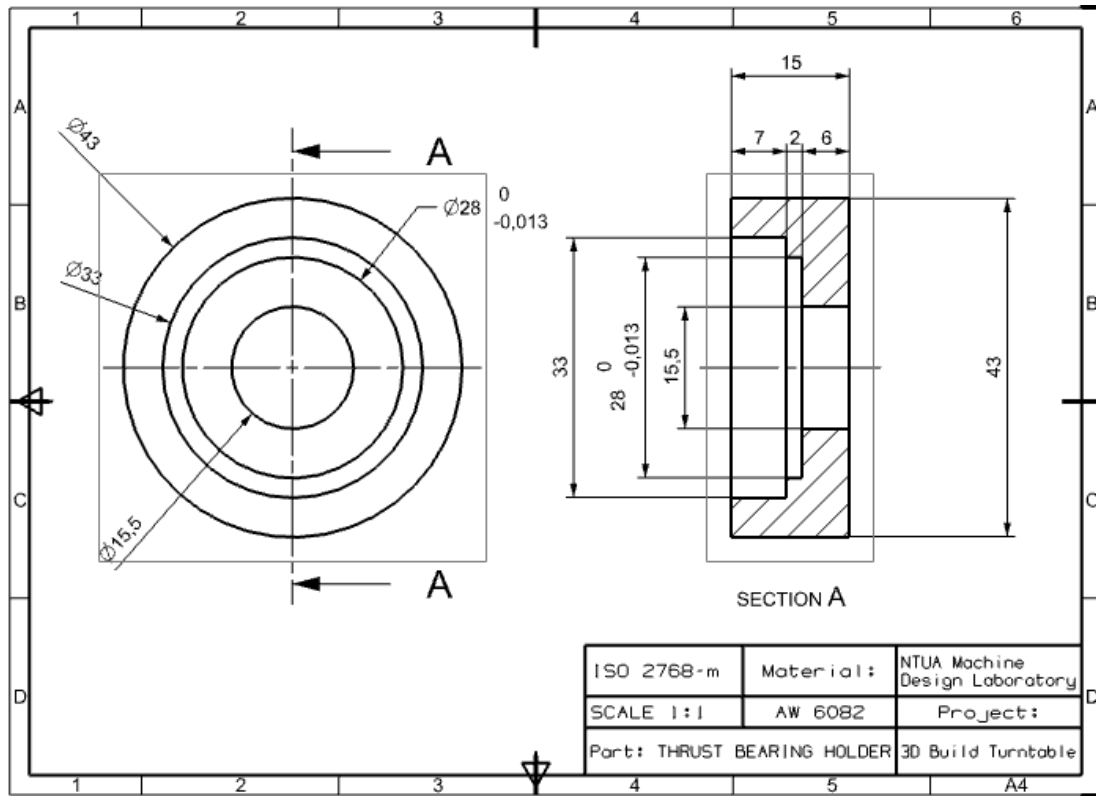
Εικόνα 10.6: Ο σφιγκτήρας(clamp) του holder



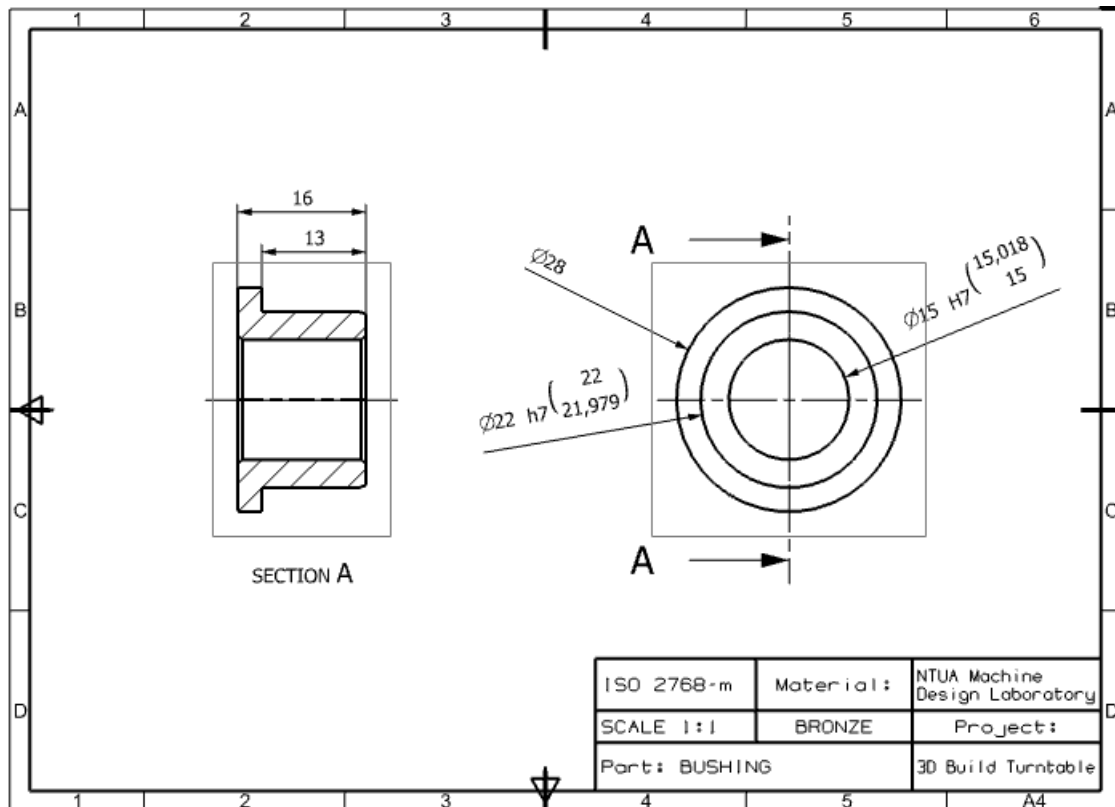
Εικόνα 10.7: Η κάτω βάση στήριξης του ατέρμονα με υποδοχή για κουζινέτο



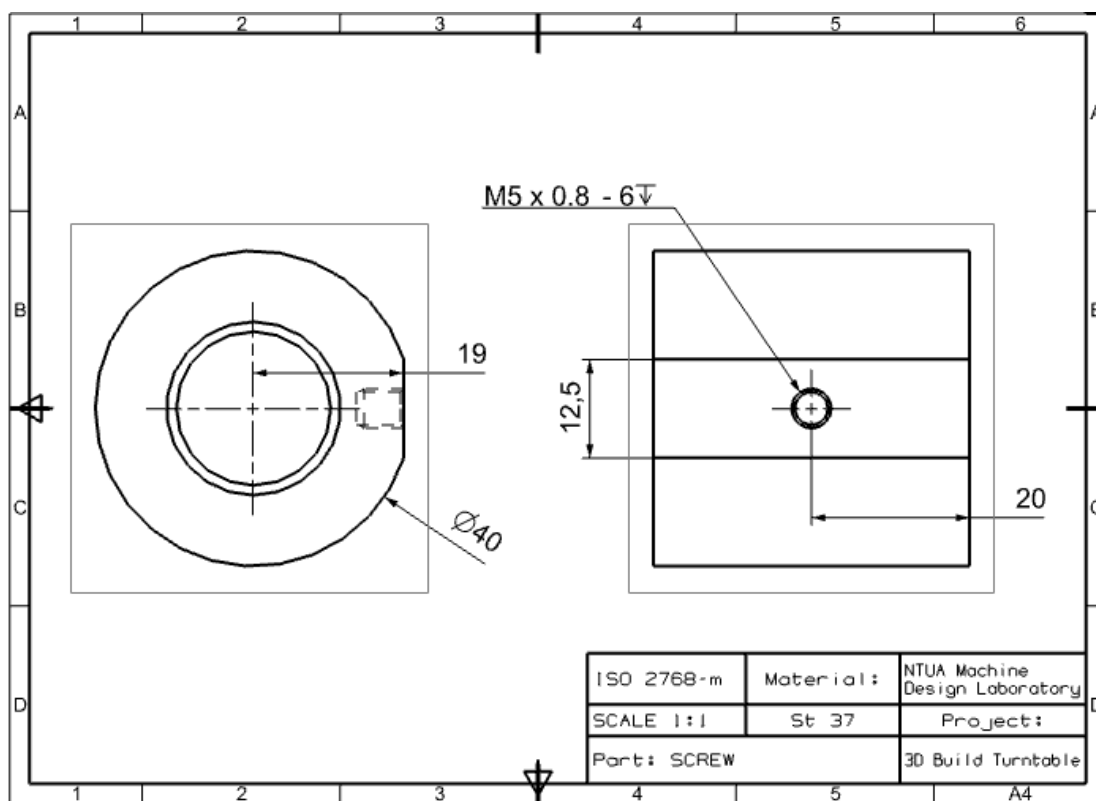
Εικόνα 10.8: Η άνω βάση στήριξης του ατέρμονα με υποδοχή για κουζινέτο και αξονικό ρουλεμάν



Εικόνα 10.9: Το καπάκι του αξονικού ρουλεμάν



Εικόνα 10.10: Σχέδιο των κουζινέτων που εδράζονται της βάσεις του ατέρμονα



Εικόνα 10.11: Ο κοχλίας του ατέρμονα

10.4 Κατασκευή

10.4.1 Μέθοδοι Κατασκευής

Στο συγκεκριμένο συναρμολόγημα η κατασκευή των περισσότερων εξαρτημάτων πραγματοποιήθηκε στην 3-αξονική CNC φρέζα Primego KM100. Οι διαμορφώσεις στην διάμετρο του ατέρμονα και τα στοιχεία ολίσθησης (κουζινέτα) κατασκευάστηκαν εξ' ολοκλήρου στον τόρνο.

10.4.2 Υλικά

Το υλικό που επιλέχθηκε για της βάσεις του ατέρμονα της και για το καπάκι του αξονικού ρουλεμάν είναι ημισκληρο αλουμίνιο 6082. Από το ίδιο υλικό κατασκευάστηκε η βάση του ακροφυσίου και ο σφιγκτήρας της.

Ο ατέρμονας και ο κοχλίας του είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα St37.

10.4.3 Τροποποιήσεις

Στην κατασκευή και την τελική συναρμολόγηση εμφανίστηκε το πρόβλημα της εκκεντρότητας μεταξύ των δυο βάσεων στήριξης του ατέρμονα και κατ' επέκταση η αύξηση των τριβών μεταξύ ατέρμονα-κουζινέτων και η επιδείνωση της ποιότητας κύλισης. Αυτό το πρόβλημα παρουσιάστηκε λόγω της συγκόλλησης σε έκκεντρη θέση των λεπτών βάσεων στο κέλυφος στο οποίο εδράζονται οι βάσεις του ατέρμονα. Κρίθηκε αναγκαία λοιπόν η αύξηση της εσωτερικής διαμέτρου των κουζινέτων προκειμένου να μειωθούν μεν οι τριβές αλλά να υπάρχει και οδήγηση για τον άξονα περιστροφής του ατέρμονα. Το κουζινέτο που εδράζεται στην άνω βάση του ατέρμονα απέκτησε τελική διάμετρο 16,4mm ενώ το αντίστοιχο της κάτω βάσης 16mm.

Παράλληλα λόγω ανομοιομορφίας της διατομής του κελύφους κατά το μήκος του, χρειάστηκε να δοθεί μεγάλη διαστασιολογική ανοχή στην βάση του ακροφυσίου προκειμένου να κινείται στο εσωτερικό της διατομής. Αυτή η ανοχή της με τη σειρά της οδήγησε σε ακτινική ανοχή του holder η οποία θα οδηγούσε σε τύπωση κυκλικού δακτυλίου έκκεντρα του άξονα περιστροφής της πλατφόρμας. Κάτι τέτοιο θα επηρέαζε

της υπολογισμένες ροπές αδράνειας της διάταξης με βάση και της οποίες επιλέχθηκε και το σύστημα κίνησης.

Για να αντιμετωπιστεί το συγκεκριμένο κατασκευαστικό πρόβλημα επιλέχθηκε η διάνοιξη οπών στις βάσεις του ατέρμονα αλλά και στον ίδιο τον holder από της οποίες περνούν 2 χαλύβδινοι άξονες διαμέτρου 8mm προκειμένου να χρησιμοποιηθούν ως οδήγηση με σχεδόν απαλοιφή της ακτινικής ανοχής. Οι οπές στην βάση που εδράζεται στο 6-γωνικό πλαίσιο είναι διαμέτρου 8mm ακριβώς προκειμένου να έχουμε σφιχτή συναρμογή των χαλύβδινων αξόνων. Οι οπές στον holder και την άνω βάση του ατέρμονα είναι διαμέτρου 8,1mm ενώ στην άνω βάση επιλέχθηκε η κατασκευή σπειρώματος M8 όπου με την εισαγωγή κοχλιών θα επιτευχθεί η σύσφιξη των χαλύβδινων αξόνων-οδηγών.



Εικόνα 10.12: Διάταξη Holder με την προσθήκη των διαγώνιων χαλύβδινων αξόνων οδήγησης

11 Βιβλιογραφία

- [1] KARASSIK, Igor J., et al. Pump handbook. McGraw-Hill, 1976.
- [2] RABIE, M. Galal; PH. D. Fluid power engineering. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2009.
- [3] Κωστόπουλος Θ., Υδραυλικά και Πνευματικά Συστήματα, Συμεών, 2009
- [4] Παπαδόπουλος Χ., Στοιχεία Μηχανών, Εκδ. Τζιόλα, 2013