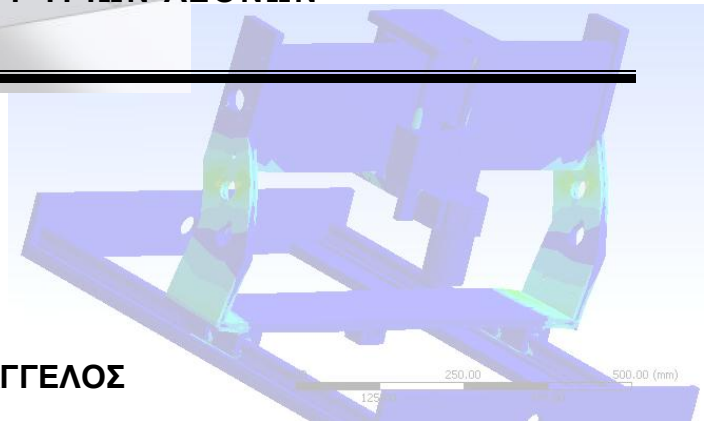


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ
CNC ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΤΡΙΩΝ ΑΞΟΝΩΝ**



ΕΚΠΟΝΗΤΗΣ: ΣΑΡΑΚΙΝΟΥΔΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΑΓΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ (Δρ. Μηχανολόγος Μηχανικός)

**ΣΕΡΡΕΣ
ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2015**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ...

Με την ολοκλήρωση της παρούσας πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην ολοκλήρωσή της.

Ευχαριστώ ιδιαίτερω τον καθηγητή μου Κύριο Σαγρή Δημήτριο.

Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον Διευθυντή του Εραστηρίου Εργαλειομηχανών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών καθηγητή Δαΐδ Κωνσταντίνο.

Σέρρες, Νοέμβριος 2015

ΣΑΡΑΚΙΝΟΥΔΗΣ ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1 Εξέλιξη των μηχανών	5
1.2 Γενικά	5
1.3 Ορισμοί.....	6
1.4 Ιστορική εξέλιξη του αριθμητικού ελέγχου	7
1.5 Εξέλιξη της τεχνολογίας nc και cnc.....	8
1.6 Που χρησιμοποιούνται οι εργαλειομηχανών	8
1.7 Ο στόχος των cnc.....	9
1.8 Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της ψηφιακής καθοδήγησης.....	9
1.9 Ηλεκτρικοί κινητήρες των εργαλειομηχανών	10
1.10 Άλλα υποσυστήματα εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης	14
1.11 Συστήματα τροφοδοσίας υγρών κοπής	15
1.12 Συστήματα συγκράτησης κοπτικών εργαλείων	17
1.13 Χαρακτηρισμός αξόνων και κινήσεων των εργαλειομηχανών.....	18
1.14 Συστήματα αναφοράς	18
1.15 Απαιτήσεις σε ακρίβεια των ψηφιακά καθοδηγούμενων μηχανών.....	19
1.16 Κοπτικά εργαλεία.....	19
1.17 Σκοπός της εργασίας.....	21
2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	22
2.1 Παρουσίαση σχεδιασμού εξαρτημάτων της μηχανής	22
3. ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	38
3.1 Παρουσίαση τρισδιάστατου σχεδίου.....	39
3.2 Ανάλυση των κινήσεων που εκτελεί η μηχανή σε κάθε άξονα	41
4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΟΧΛΙΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΕΩΣ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ	44
4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΟΥΣ ΑΞΟΝΕΣ X ΚΑΙ Y	44
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Z	45

5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ	45
5.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ	45
5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ	46
6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	47
6.1 Εφαρμογή της δύναμης στην διεύθυνση του άξονα x	48
6.2 Εφαρμογή της δύναμης στην διεύθυνση του άξονα y	54
6.3 Εφαρμογή της δύναμης στην διεύθυνση του άξονα z	61
6.4 Εφαρμογή της δύναμης στην διεύθυνση του άξονα x και y ταυτόχρονα	67
7. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΒΑΘΗ ΚΟΠΗΣ	76
8. ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	78
9. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ	81
10. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
11. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τα προϊστορικά χρόνια ο άνθρωπος χρησιμοποίησε την δύναμη του ώστε να κάνει τις διάφορες εργασίες που απαιτούνταν, όπως παραδείγματος χάριν το κυνήγι, οι κατασκευές εργαλείων και όπλων. Με το πέρασμα του χρόνου οι απαιτήσεις ανέβηκαν και οι άνθρωποι δημιούργησαν πιο περίπλοκα αντικείμενα και συγχρόνως χρησιμοποιήθηκαν νέα υλικά. Για την παραγωγή των προϊόντων η μυική δύναμη ήταν ο πιο βασικός παράγοντας. Έτσι για να αυξήσουν την σωματική δύναμη χρησιμοποίησαν μηχανικές διατάξεις ώστε να πολλαπλασιάζουν τη δύναμη. Η ισχύς τους όμως δεν ήταν αρκετή ώστε να μπορούν να κόψουν μέταλλα και έτσι περιορίστηκαν στη μέθοδο χύτευσης και στη σφυρηλασία. Με τις μεθόδους αυτές η παραγωγικότητα, η ακρίβεια και η ποιότητα ήταν χαμηλή.

1.1 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

Με την εφεύρεση των ατμομηχανών, των μηχανών εσωτερικής καύσης και των ηλεκτρικών μηχανών η ισχύς αυξήθηκε και αυτό έφερε την ανάπτυξη νέων μεθόδων παραγωγής σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της μεταλλουργίας όπου έφερε στους ανθρώπους καλύτερα υλικά. Με τη σταδιακή αυτή πρόοδο η παραγωγή αυξήθηκε όπως επίσης και η ποιότητα αλλά και το κόστος παράλληλα μειώθηκε. Στη συνέχεια με την βιομηχανική επανάσταση έρχεται η αυτοματοποίηση της παραγωγής, όπου ο ρόλος του ανθρώπου πλέον περιορίζεται στον σχεδιασμό και στην συντήρηση των εργαλειομηχανών και στην δημιουργία προγραμμάτων που θα μπορεί να ελέγχει τις εργαλειομηχανές. Όλο αυτό επιφέρει επιπλέον μείωση του κόστους και ακόμα καλύτερη ποιότητα των προϊόντων.

1.2 ΓΕΝΙΚΑ

Για την λειτουργία μηχανικών διατάξεων και μηχανών, απαιτείται πάντα κάποιος βαθμός ελέγχου και καθοδήγησης. Όσο πιο περίπλοκη είναι μια μηχανική διάταξη τόσο πιο δύσκολη και περίπλοκη είναι η καθοδήγηση και ο έλεγχος της. Η παραδοσιακή δομή ελέγχου και καθοδήγησης μηχανικών διατάξεων από το χειριστή τους συνεχώς υποβοηθείται ή αντικαθίσταται από κάποιο βαθμό αυτοματοποίησης. Έτσι η μηχανουργική τεχνολογία δεν θα μπορούσε να μη συμμετέχει στην περιοχή των εργαλειομηχανών. Σε περιόδους υψηλής οικονομικής, εμπορικής και στρατιωτικής

ανάπτυξης, ήταν ένας πολύ βασικός στόχος η αυτοματοποίηση των εργαλειομηχανών. Οι λόγοι της εξέλιξης αυτής ήταν η ανάγκη για την παραγωγή μεγάλου αριθμού παρτίδων και πανομοιότυπων τεμαχίων με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος και καλύτερη κατασκευαστική ακρίβεια. Έτσι με την μεγάλη ανάπτυξη εξελιγμένων στοιχείων των εργαλειομηχανών, τα στοιχεία δηλαδή που αποτελούν τον βασικό κορμό της εργαλειομηχανής αλλά και λόγω των ιδιαίτερα ανθεκτικών κοπτικών εργαλείων, κατάφεραν να ωθήσουν την παγκόσμια μηχανουργική παραγωγή σε υψηλά επίπεδα. Είναι όμως γεγονός ότι η παραγωγικότητα των συμβατικών εργαλειομηχανών εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό από τον χειριστή. Έτσι η ποιότητα εργασίας εξαρτάται από την εμπειρία, την εκπαίδευση, την φυσική κατάσταση, την ψυχολογία και την διάθεση του χειριστή. Στην προσπάθεια αυτή δεν θα μπορούσε να μείνει αμέτοχη η τεχνολογία των ηλεκτρονικών υπολογιστών, όπου τα τελευταία χρόνια γνώρισε απίστευτα γρήγορη ανάπτυξη.

1.3 ΟΡΙΣΜΟΙ

Ο αριθμητικός έλεγχος (numerical control ή NC), δίνει την δυνατότητα στον χειριστή της εργαλειομηχανής να << επικοινωνεί>> με αυτήν και να μπορεί να την καθοδηγεί μέσα από έναν κώδικα, που είναι μια ακολουθία γραμμάτων και αριθμών. Έτσι με αυτόν τον κώδικα πολλές χειρονακτικές εργασίες που γινότανε στην εργαλειομηχανή αυτοματοποιούνται και έχουν μεγάλη ακρίβεια και τη δυνατότητα πολλών επαναλήψεων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας μονάδας ελέγχου που βρίσκεται επάνω στην εργαλειομηχανή και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της εργαλειομηχανής. Όλες οι μηχανές που λειτουργούν με τον τρόπο αυτό ονομάζονται ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές (NC). Εάν παρεμβάλλεται ηλεκτρονικός υπολογιστής ανάμεσα στη μονάδα ελέγχου και τον χειριστή, όπου υπάρχει μεγαλύτερη ευκολία και πιο αποδοτικό χειρισμό τότε η μηχανή ονομάζεται ψηφιακή καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή με ηλεκτρονικό υπολογιστή (CNC). Με αυτή τη διάταξη η μηχανή αυτοματοποιείται περισσότερο και ο έλεγχος της μπορεί να γίνει από απόσταση. Η CNC καθοδήγηση έχει ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα το οποίο είναι η συνεργασία με συστήματα σχεδίασης (computer aided design, Cad) και τα συστήματα κατεργασιών (computer aided manufacturing, CAM) με ηλεκτρονικό υπολογιστή, ενώ μπορεί να ενταχθεί σε ολοκληρωμένα συστήματα παραγωγής με υπολογιστές (computer integrated manufacturing, CIM) και ευέλικτα συστήματα παραγωγής (Flexible manufacturing

systems, FMS). Ο τεχνικός NC ή CNC είναι υπεύθυνος στο να καθορίζει την ακολουθία των κινήσεων της εργαλειομηχανής, τις τιμές των συνθηκών κατεργασίας (ταχύτητα κοπής, πρόωσης κτλ), τον έλεγχο του υγρού κοπής, την διαχείριση των κοπτικών εργαλείων κτλ. Για να τα πραγματοποιήσει όλα αυτά πρέπει να συντάξει ένα πρόγραμμα καθοδήγησης σε τυποποιημένη γλώσσα προγραμματισμού, να το μεταφέρει στη μονάδα ελέγχου και να ενεργοποιήσει την εκτέλεση του προγράμματος. Η μεγάλη πρόοδος της και ιδιαίτερα η ανάπτυξη των αισθητήρων και των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου καταφέρνει να πάει ακόμα παραπέρα την τεχνολογία και τις δυνατότητες των εργαλειομηχανών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία "σκεφτόμενων" διατάξεων που ανάλογα με την εξέλιξη της κατεργασίας μπορούν να πάρουν αποφάσεις και να επέμβουν στο πρόγραμμα. Οι μηχανές αυτές ονομάζονται άμεσα καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές με ηλεκτρονικό υπολογιστή (Direct Numerical control- DNC). Εάν σε μια τυπική συνηθισμένη κατεργασία τόννευσης με NC ή CNC τόννο επιλεγεί κατά λάθος μια πάρα πολύ μεγάλη πρόωση, ο χειριστής πρέπει να διαβάσει τον πίνακα ελέγχου της εργαλειομηχανής και να δει την λανθασμένη πρόωση ώστε να την διορθώσει και να ξανά εκκινήσει το πρόγραμμα. Οι DNC εργαλειομηχανές είναι συνδεδεμένες με έναν κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, από τον οποίον λαμβάνουν εντολές για την εκτέλεση των εργασιών αλλά αντλούν και όλες τις πληροφορίες από τις σχετικές βάσεις δεδομένων. Έτσι οι DNC εργαλειομηχανές έχουν την δυνατότητα να ελέγχουν αυτόματα την ταχύτητα κοπής, την χρήση του ψυκτικού υγρού και την φθορά των εργαλείων. Ειδικά για τα κοπτικά εργαλεία πολλές ψηφιακές καθοδηγούμενες μηχανές διαθέτουν ειδικές μετρητικές μηχανές, όπου μπορούν να μετράνε σε τακτά χρονικά διαστήματα τη φθορά των κοπτικών εργαλείων. Σε περίπτωση που το εργαλείο έχει φθαρεί και χρειάζεται αντικατάσταση τότε η κατεργασία συνεχίζει με νέο όμοιο κοπτικό εργαλείο.

1.4 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το κίνητρο για την ανάπτυξη του αριθμητικού ελέγχου δόθηκε από την βιομηχανία αεροπορικών κατασκευών λόγω της ανάγκης για κατασκευή όλο και πιο περίπλοκων εξαρτημάτων. Η πρώτη εργαλειομηχανή με αριθμητικό έλεγχο κατασκευάστηκε στις ΗΠΑ στο πανεπιστήμιο του MIT το 1952, όπου το έργο το χρηματοδότησε η πολεμική αεροπορία. Για να προχωρήσει αυτή η τεχνολογία είχε γίνει αντιληπτό ότι έπρεπε να αναπτυχθούν κάποια προγράμματα για να μπορούν να προγραμματίζουν τις

εργαλειομηχανές. Επειδή για την δημιουργία του προγράμματος εκτιμήθηκε ότι θα κόστιζε πολύ, αποφασίστηκε από τις 25 μεγαλύτερες εταιρίες αεροκατασκευών να χρηματοδοτήσουν από κοινού ένα πρόγραμμα για την ανάπτυξη μιας γλώσσας προγραμματισμού APT (Automatic programmed tools). Διαχειριστής του προγράμματος APT είναι σήμερα ο μη κερδοσκοπικός οργανισμός CAM-I. Παρά το ότι ο compiler είναι γραμμένος σε γλώσσα fortan δεν σημαίνει ότι αν κάποιος γνωρίζει τη συγκεκριμένη γλώσσα έχει την δυνατότητα να προγραμματίζει στην APT.

1.5 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ NC ΚΑΙ CNC

Στην εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής έπαιξαν καθοριστικό ρόλο οι μικροεπεξεργαστές και μικροϋπολογιστές με τους οποίους μπόρεσε να μειωθεί το κόστος του συστήματος ελέγχου. Πριν εμφανιστούν οι μικροϋπολογιστές και οι μικροεπεξεργαστές στην αγορά ο σχεδιασμός του συστήματος ελέγχου γινότανε με λογικά κυκλώματα μικρού βαθμού ολοκλήρωσης. Τα συστήματα αυτά όμως είχαν πολύ μεγάλο κόστος και μικρές δυνατότητες. Αυτή η τεχνολογία ονομάστηκε NC (αριθμητικός έλεγχος). Με την εισαγωγή των μικροεπεξεργαστών αυξήθηκαν οι δυνατότητες του συστήματος και μειώθηκε και το κόστος. Τα νέα αυτά συστήματα ονομάστηκαν CNC (αριθμητικός έλεγχος με υπολογιστή). Έτσι με τους μικροϋπολογιστές υπήρχε δυνατότητα ελέγχου σε πραγματικό χρόνο. Έτσι με αυτή τη δυνατότητα μια ομάδα cnc εργαλειομηχανών μπορεί να συνδεθεί με έναν κεντρικό υπολογιστή. Από αυτόν τον υπολογιστή, υπάρχει δυνατότητα να στέλνουμε πληροφορίες και εντολές σε πραγματικό χρόνο, σε μία ή σε όλες τις μηχανές. Ο υπολογιστής έχει και την δυνατότητα να κρατάει στατιστικά στοιχεία των εργαλειομηχανών για διάφορες λειτουργίες τους.

1.6 ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΟΙ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΕΣ CNC

Ο έλεγχος των μηχανών έφερε μια τεράστια επανάσταση στον κατασκευαστικό τομέα λόγω του ότι η cnc τεχνολογία έχει την δυνατότητα να προσαρμοστεί σε όλες τις μηχανές που παρεμβάλλει ο άνθρωπος. Οι λόγοι για τους οποίους χρησιμοποιείται η τεχνολογία cnc είναι τεχνικοί αλλά περισσότερο οικονομική λόγω του ότι με την τεχνολογία αυτή υπάρχει μεγαλύτερη παραγωγικότητα σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Όταν η παραγωγή απαιτεί αριθμό τεμαχίων της τάξης των 1 έως 10 χωρίς πολύ περίπλοκη γεωμετρία και μεγάλη απαίτηση στην ακρίβεια τότε είναι προτιμότερο να

χρησιμοποιηθεί μια συμβατική εργαλειομηχανή. Εάν η παραγωγή είναι της τάξης των 10.000 τεμαχίων και άνω τότε απαιτείται χρήση τεχνολογίας cnc.

1.7 Ο ΣΤΟΧΟΣ ΤΩΝ CNC

Ο αρχικός και πρωτεύον στόχος για την ανάπτυξη των cnc έναντι των παλαιότερων συστημάτων nc, είναι να μειωθεί όσον το δυνατό περισσότερο το κόστος παραγωγής. Αυτό έχει επιτευχθεί αφού έχει μειωθεί ο χρόνος παραγωγής του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Επίσης η κατεργασία έχει γίνει πιο φιλική προς τον χρήστη. Ένα άλλο μεγάλο πλεονέκτημα που έχει επιτευχθεί είναι η μεγάλη μείωση στην αλλαγή και την ρύθμιση των κοπτικών εργαλείων. Επίσης υπάρχει μεγαλύτερη ομοιομορφία στα παραγόμενα προϊόντα αλλά και μείωση στα γενικά έξοδα παραγωγής. Με την χρήση cnc είναι πιο εύκολο να προγραμματισθεί και να κοστολογηθεί μια παραγωγή. Ιστορικά έχει αποδειχθεί ότι με την χρήση cnc μπορεί να πραγματοποιηθεί μια πιο ακριβής οικονομοτεχνική πρόβλεψη και γίνεται γρηγορότερη απόσβεση της επένδυσης σε σχέση με τις τεχνολογίες nc.

1.8 ΤΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ

Τα πλεονεκτήματα των ψηφιακά καθοδηγούμενων μηχανών είναι τα εξής :

- 1) Η δυνατότητα παραγωγής τεμαχίων με περίπλοκη γεωμετρική μορφή με ταυτόχρονη υψηλή διαστατική ακρίβεια και ποιότητα μορφής. Αυτό οφείλεται στην δυνατότητα της ταυτόχρονης κίνησης σε πολλούς άξονες.
- 2) Λόγω της αυτοματοποιημένης παραγωγής έχουμε πολύ μικρό ποσοστό ελαττωματικών τεμαχίων. Αυτό συμβαίνει διότι ο χειριστής δεν επεμβαίνει στην μηχανή, απλά επιβλέπει. Στις συμβατικές μηχανές που καθοδηγούνται από τους χειριστές έχουμε λάθη είτε λόγω απειρίας είτε λόγω κόπωσης είτε λόγω απροσεξίας. Έτσι έχουμε περισσότερα ελαττωματικά τεμάχια στις συμβατικές μηχανές έναντι των cnc.
- 3) Ελαχιστοποίηση των νεκρών χρόνων, δηλαδή τους χρόνους κατά τους οποίους η μηχανή δεν κόβει. Αυτοί οι νεκροί χρόνοι δημιουργούνται κατά τη διάρκεια δεσίματος λυσίματος του τεμαχίου, την αλλαγή του κοπτικού εργαλείου κ.α. Στις

σύγχρονες εργαλειομηχανές αυτό δεν συμβαίνει διότι η αλλαγή των κοπτικών εργαλείων γίνεται αυτόματα αλλά και οι ρυθμίσεις γίνονται πιο γρήγορα και πιο εύκολα.

- 4) Ευκολία προγραμματισμού της μηχανής λόγω χρήσης ηλεκτρονικού υπολογιστή όπου προσφέρει μεγάλη ευελιξία στις εκτελούμενες κατεργασίες
- 5) Ασφάλεια εργασίας επειδή ο χειριστής είναι σε απόσταση από το κοπτικό εργαλείο κατά την διάρκεια της κατεργασίας. Στις συμβατικές μηχανές ο χειριστής είναι εκτεθειμένος σωματικά αφού βρίσκεται σε πολύ κοντινή απόσταση κατά την κοπή. Επίσης πρέπει να είναι πολύ συγκεντρωμένος κατά την κατεργασία όπου με αυτό συνεπάγεται με πνευματική κούραση.
- 6) Αύξηση της παραγωγικότητας και της ποιότητας των παραγόμενων τεμαχίων και ταυτόχρονα αύξηση της ανταγωνιστικότητας. Η μείωση των νεκρών χρόνων και η μικρότερη ανάγκη για προσωπικό μειώνουν τα λειτουργικά έξοδα του μηχανουργείου

Τα μειονεκτήματα των ψηφιακά καθοδηγούμενων μηχανών είναι τα εξής :

- 1) Μεγάλο κόστος αγοράς. Η αξία των cnc εργαλειομηχανών είναι τουλάχιστον πέντε φορές μεγαλύτερη από μια αντίστοιχη συμβατική εργαλειομηχανή. Αν στην περίπτωση που η παραγωγή είναι πολύ μεγάλη, η απόσβεση του κόστους μπορεί να γίνει σε μικρό χρονικό διάστημα. Σε μηχανουργεία όπου η παραγωγή είναι μικρή είναι δύσκολο να τις αποκτήσουν και να κάνουν γρήγορα την απόσβεση.
- 2) Εξειδικευμένο προσωπικό. Οι ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές απαιτούν εξειδικευμένο προσωπικό ώστε να μπορούν να τις προγραμματίζουν και να τις συντηρούν.

1.9 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Οι ηλεκτροκινητήρες είναι ένα από τα πιο σημαντικά εξαρτήματα των εργαλειομηχανών, αφού όλες οι κινήσεις (μετατόπιση και κοπή) πραγματοποιούνται από αυτούς. Η απόδοση τους καθορίζει την απόδοση αλλά και την παραγωγικότητα της εργαλειομηχανής. Σήμερα οι cnc, nc και dnc διαθέτουν συστήματα σερβοκινητήρων ώστε να έχουν τον έλεγχο από τις διάφορες παραμέτρους όπως πρόωση, ταχύτητα περιστροφής. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν ηλεκτροκινητήρα συνεχούς ή

εναλλασσόμενου ρεύματος ενώ πιο σπάνια μπορεί να χρησιμοποιηθούν και οι βηματικοί κινητήρες. Σε μια εργαλειομηχανή ψηφιακά καθοδηγούμενη δεν χρησιμοποιούνται για όλες τις κινήσεις οι ίδιοι κινητήρες. Επίσης οι απαιτήσεις διαφοροποιούνται ανάλογα και με τον τύπο της εργαλειομηχανής. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι μια φρέζα σε σύγκριση με μια λειαντική μηχανή. Στην φρέζα υπάρχει ανάγκη για μεγάλη ροπή ενώ στην λειαντική μηχανή απαιτείται πολύ μεγάλος αριθμός στροφών. Έτσι στην εκάστοτε περίπτωση χρησιμοποιούμε διαφορετικού τύπου ηλεκτρικό κινητήρα.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΤΗΝ ΚΙΝΗΤΗΡΙΑ ΑΤΡΑΚΤΟ ΚΟΠΗΣ

Οι ηλεκτροκινητήρες της κύριας ατράκτου είναι πολύ σημαντικοί κινητήρες για μια εργαλειομηχανή, αφού από αυτούς παράγεται η ταχύτητα κοπής μέσα από την περιστροφική κίνηση που δημιουργούν. Στην τόννευση την περιστροφική κίνηση την εκτελεί το τεμάχιο ενώ στις υπόλοιπες κατεργασίες την εκτελεί το κοπτικό εργαλείο. Οι κινητήρες αυτοί διαθέτουν επίσης ηλεκτρονικά και μηχανικά υποσυστήματα. Στα ηλεκτρονικά συστήματα υπάρχουν συστήματα ρύθμισης του ρεύματος τροφοδοσίας, συστήματα ασφαλείας αλλά και άλλα πολλά συστήματα όσον αφορά το ηλεκτρικό ρεύμα. Οι κινητήρες των ατράκτων πρέπει να μπορούν να λειτουργούν σε ένα μεγάλο εύρος στροφών, ώστε να μπορούν να ανταπεξέρχονται σε όλες τις συνθήκες κατεργασίας. Ένα τέτοιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι στην τόννευση. Έχουμε έναν άξονα αρχικής διαμέτρου 100mm και θέλουμε να τον μειώσουμε στα 90mm, με δύο χιλιοστά βάθος κοπής σε κάθε πέρασμα και ταχύτητα κοπής 150m/min (μέτρα το λεπτό). Μετά από κάθε πέρασμα αφού η διάμετρος του τεμαχίου θα μικραίνει θα μικραίνει και η ταχύτητα κοπής, σύμφωνα με τον τύπο της γραμμικής ταχύτητας σε κυκλική τροχιά ($u=\omega r$). Ο τύπος αυτός μας δείχνει ότι για να διατηρηθεί η επιθυμητή γραμμική ταχύτητα που είναι και η ταχύτητα κοπής στην τόννευση, πρέπει να αυξηθεί η περιστροφική ταχύτητα (ω) αφού μειώνεται η ακτίνα του άξονα. Οι πιο κύριες απαιτήσεις για τους ηλεκτροκινητήρες ατράκτων είναι οι εξής :

- 1) Η μέγιστη ταχύτητα κοπής να μπορεί να φτάσει τις 12.000 στροφές το λεπτό, για τόννους και φρέζες και 50.000 στροφές το λεπτό για λειαντικές μηχανές.
- 2) Μέγιστη αποδιδόμενη ροπή σε συνθήκες αιχμής.
- 3) Ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη περιστροφική ταχύτητα να κυμαίνεται για τόννους από 40έως 60 και για φρέζες από 30 έως 50.

-
- 4) Η δυνατότητα παραγωγής επίπεδων καμπυλών ροπής, για μεγάλο εύρος στροφών.
 - 5) Ονομαστική ισχύς έως 100 kwatt.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΣΤΙΣ ΚΙΝΗΤΗΡΙΕΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥΣ

Για την περίπτωση των κινητήριων ατράκτων χρησιμοποιούνται οι εξής τύποι ηλεκτροκινητήρες : 1) κινητήρες συνεχούς ρεύματος, 2) τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες. Και οι δύο κατηγορίες παρουσιάζουν κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα.

Κινητήρες συνεχούς ρεύματος: Είναι κινητήρες εξωτερικής διέγερσης με αναστρεφόμενους πόλους και με εξωτερικό κύκλωμα ψύξης. Το μεγάλο πλεονέκτημα αυτών των κινητήρων είναι ότι μπορούν να ελεγχτούν εύκολα και το μικρό κόστος των ηλεκτρονικών τους. Τα μειονεκτήματα τους είναι η συχνή συντήρηση λόγω των ψηκτρών που φέρουν και η αστάθεια που εμφανίζουν σε πολύ χαμηλές στροφές.

Κινητήρες τριφασικοί ασύγχρονοι : Αυτή η κατηγορία των κινητήρων χρησιμοποιείται περισσότερο τις ατράκτους των εργαλειομηχανών. Οι κινητήρες αυτοί έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα της μικρής συντήρησης τους. Αυτό συμβαίνει διότι δεν χρειάζονται συλλέκτες επειδή η μεταφορά της ισχύος γίνεται με το φαινόμενο της επαγωγής. Σε αυτούς τους κινητήρες υπήρχε το πρόβλημα ελέγχου και της ρύθμισης των στροφών τους. Αυτά τα προβλήματα στις μέρες έχουν λυθεί διότι με τις ηλεκτρονικές συσκευές μετατροπής συχνότητας υπάρχει έλεγχος των στροφών τους.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΠΡΟΩΣΕΩΝ

Οι κινήσεις των προώσεων των αξόνων σε μια εργαλειομηχανή πρέπει να έχουν μεγάλη ακρίβεια και μικρή επιβράδυνση λόγω των τριβών. Όλες οι κινήσεις των αξόνων δεν πρέπει να επηρεάζονται από τις αδρανειακές δυνάμεις και τις δυνάμεις τριβής. Οι κινήσεις προώσεων πρέπει να μην έχουν ταλαντώσεις γιατί επηρεάζουν την ποιότητα και την ακρίβεια των παραγόμενων τεμαχίων. Στις παλιές εργαλειομηχανές όλες οι κινήσεις των αξόνων γινότανε από ένα μόνο κινητήρα, όπου η κίνηση μεταφερότανε σε κάθε άξονα μέσα από συμπλέκτες. Στις σημερινές εργαλειομηχανές αυτή η μέθοδος κίνησης των ατράκτων έχει εγκαταλειφθεί αφού πλέον ο κάθε άξονας κίνησης έχει τον δικό του ηλεκτροκινητήρα. Οι κυριότερες απαιτήσεις των ηλεκτρικών κινητήρων για την κίνηση των αξόνων πρόωσης είναι οι εξής :

- 1) Να διαθέτουν σταθερή ροπή στρέψεως σε όλο το φάσμα των στροφών λειτουργίας.

-
- 2) Σε περίπτωση γρήγορης κίνησης να μπορούν να έχουν ταχύτητα περιστροφής έως 6000 στροφές ανά λεπτό.
 - 3) Σε συνθήκες αιχμής να μπορεί να αποδώσει τουλάχιστον τετραπλάσια από την ονομαστική ροπή του κινητήρα.
 - 4) Ονομαστική ισχύ έως 15 Kwatt.

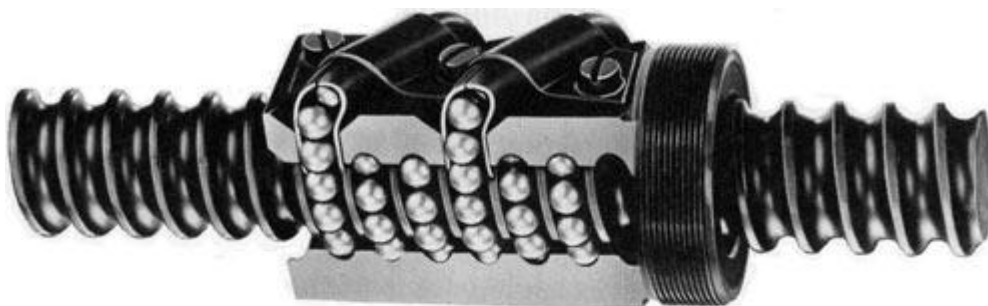
Στις κινήσεις προώσεων χρησιμοποιούνται οι εξής τύποι κινητήρων :

- 1) Κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Οι κινητήρες αυτοί χρησιμοποιούνται και στους κινητήριους ατράκτους των εργαλειομηχανών αλλά με μικρότερη ισχύς λόγω μικρότερων απαιτήσεων.
- 2) Τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες. Οι κινητήρες αυτοί έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα είναι ότι λόγω απουσίας εναλλάκτη ρεύματος, τα προβλήματα λόγω φθοράς είναι ελάχιστα. Επίσης η αναλογία όγκου ροπής, είναι πολύ καλύτερη από τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος. Οι τριφασικοί ασύγχρονοι μπορούν να δώσουν τη μέγιστη ροπή τους κατά τη στιγμή της εκκίνησης. Έτσι λόγω των παραπάνω πλεονεκτημάτων οι τριφασικοί ασύγχρονοι κινητήρες χρησιμοποιούνται πάρα πολύ.
- 3) Βηματικοί κινητήρες. Οι βηματικοί κινητήρες ενεργοποιούνται με παλμούς, δηλαδή με ψηφιακό σήμα. Ο κάθε παλμός που στέλνεται περιστρέφει τον ρότορα του κινητήρα κατά μία αυστηρά προκαθορισμένη γωνιά. Έτσι δεν απαιτείται η μετατροπή του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό ρεύμα όπως συμβαίνει με όλους τους κινητήρες. Με αυτό τον τρόπο λειτουργίας δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν συστήματα ελέγχου θέσεως, λόγω το ότι η γωνία περιστροφής με κάθε είναι δεδομένη. Παρ' ότι τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι βηματικοί κινητήρες είναι κατάλληλα για τους κινητήρες προώσεων, τα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν απομακρύνουν τους κατασκευαστές από την επιλογή τους. Τα μειονεκτήματα των βηματικών κινητήρων είναι ότι οι συχνότητες βήματος είναι πολύ μικρές με αποτέλεσμα να μην μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη πρόωση. Επίσης οι ροπές τους είναι πολύ μικρές για τους άξονες πρόωσης και τέλος δεν έχουν μεγάλη επιτάχυνση όπου και αυτό απαιτείται για τους άξονες πρόωσης όπως παράδειγμα στους νεκρούς χρόνους όπου το κοπτικό εργαλείο δεν κατεργάζεται και πρέπει να κινηθεί γρήγορα στην επόμενη θέση κοπής.

4) Υδροστατικές μεταδόσεις κίνησης. Οι υδροστατικές μεταδόσεις κίνησης χρησιμοποιήθηκαν αρχικά στις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση για την κίνηση των ατράκτων, ενώ στην συνέχεια αντικαταστήθηκαν σχεδόν πλήρως από τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Τα τελευταία χρόνια τα υδραυλικά συστήματα γνώρισαν πολύ μεγάλη βελτίωση και σε τέτοιο βαθμό ώστε οι κατασκευαστές των εργαλειομηχανών να αρχίσουν να ξαναχρησιμοποιούν τις υδροστατικές μεταδόσεις κίνησης. Τα κυριότερα πλεονεκτήματά τους είναι ότι έχουν μικρό βάρος, έχουν μικρό όγκο, αποδίδουν πολύ μεγάλη ισχύ και υπάρχει απευθείας γραμμική κίνηση χωρίς την απαίτηση για κοχλιών κίνησης. Επίσης δεν υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις για ηλεκτρονικά συστήματα καθοδήγησης.

1.10 ΑΛΛΑ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΚΑΘΟΔΗΓΗΣΗΣ

Οι μετακινήσεις κατά μήκος ενός και γύρω από τους άξονες κατεργασίες πραγματοποιούνται με τους αντίστοιχους κινητήρες προώσεων. Από την περιστροφική κίνηση των κινητήρων προώσεων πρέπει να μετατραπεί σε γραμμική κίνηση. Η διαδικασία αυτή δεν είναι καθόλου απλή διότι πρέπει να υπάρχει και η απαιτούμενη ακρίβεια. Ο πιο διαδεδομένος τρόπος μετατροπής της περιστροφικής κίνησης σε γραμμική είναι ο μηχανισμός των επανακυκλοφορούντων σφαιρών όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 1.1: Ball screw με τομή του περικοχλίου για την προβολή των επανακυκλοφορούντων σφαιρών



Σχήμα 1.2: Ball screw διαφορετικού τύπου με τομή του περικοχλίου για την προβολή των επανακυκλοφορούντων σφαιρών

Ο κινητήρας προώσεων είναι συνδεδεμένος με τον κοχλία κίνησης. Το σπείρωμα αυτών των κοχλιών είναι σφαιρικό και όχι τριγωνικό όπως είναι οι κοινοί κοχλίες. Στη θέση επαφής του εργαλιοφορείου ή της τράπεζας, υπάρχει ειδικό περικόχλιο που έχει ίδιο σπείρωμα με το εσωτερικό. Ανάμεσα στον κοχλία και στο περικόχλιο υπάρχουν σφαίρες που είναι κατασκευασμένες από βαμμένο χάλυβα, όπως είναι και οι σφαίρες των ρουλεμάν. Οι σφαίρες αυτές χρησιμεύουν ώστε να μην υπάρχει διάκενο (τζόγος), όπου αυτό επηρεάζει την ακρίβεια της μετατόπισης. Οι σφαίρες αυτές καθώς κινείται ο κοχλίας βγαίνουν έξω από το περικόχλιο και εισέρχονται σε ένα ειδικό κανάλι, όπου ξαναστέλνει τις σφαίρες στην άλλη άκρη του περικοχλίου. Έτσι υπάρχει μια συνεχής ανακύκλωση σφαιρών. Με αυτόν τον τρόπο υπάρχει δυνατότητα επίτευξης ταχυτήτων μεταφοράς πάνω από είκοσι μετρά το λεπτό με πολύ μεγάλη ακρίβεια της τάξης των πέντε μικρομέτρων.

1.11 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΥΓΡΩΝ ΚΟΠΗΣ

Το υγρό κοπής στις κατεργασίες είναι πολύ σημαντικό. Το υγρό κοπής χρησιμοποιείται και στις συμβατικές μηχανές αλλά και στις εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης όπου οι ταχύτητες κοπής είναι πολύ υψηλότερες είναι πολύ σημαντική η χρήση του για την προστασία του κοπτικού εργαλείου από πρόωρη φθορά. Ανάλογα με την

περίπτωση της κατεργασίας χρησιμοποιείται σαπουνέλαιο ή υγρό κοπής. Έτσι λόγω της σημαντικότητας χρήσης του κοπτικού υγρού, οι εργαλειομηχανές είναι εφοδιασμένες με ακροφύσια (όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1.3) ώστε να πετούν στην θέση κοπής το υγρό



Σχήμα 1.3: Ψεκασμός υγρού κοπής κατά την κατεργασία τεμαχίου

Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχουν ιδιαίτερα ακροφύσια για το σαπουνέλαιο, για το λάδι κοπής και τον αέρα. Τα ακροφύσια για το λάδι και το σαπουνέλαιο τροφοδοτούνται από ξεχωριστά δοχεία που βρίσκονται εντός της μηχανής, όπου ανακυκλώνονται κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Το ακροφύσιο του αέρα είναι συνδεδεμένο με την κεντρική παροχή του δικτύου. Στις συμβατικές μηχανές το άνοιγμα και το κλείσιμο της παροχής του υγρού γίνεται από τον χειριστή της μηχανής. Στις εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης το άνοιγμα και το κλείσιμο της παροχής προγραμματίζεται από τον χειριστή της μηχανής και ενεργοποιείται αυτόματα μέσω αντλιών, οι οποίες παίρνουν εντολές από τη μονάδα κεντρικού ελέγχου. Για να υπάρχει μόνιμη καθοδήγηση του υγρού κοπής στη θέση κοπής υπάρχουν κοπτικά εργαλεία που έχουν ειδικά κανάλια ώστε να περνάει το υγρό κοπής μέσα από αυτά και να φτάνει στην θέση κοπής. Έτσι η θέση κοπής ψύχεται καλύτερα και τα απόβλιττα απομακρύνονται ευκολότερα. Με την πάροδο του χρόνου η μηχανουργική τεχνολογία έχει την τάση να μειώσει τη χρήση ή και να καταργήσει την χρήση των υγρών κοπής. Αυτή η προσπάθεια γίνεται για δύο λόγους:

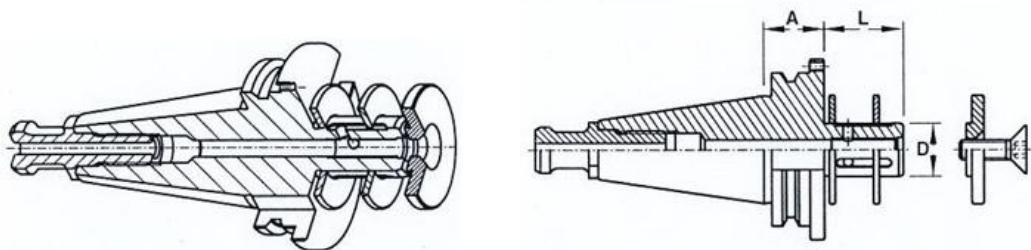
- 1) Τα υγρά κοπής έχουν διάφορα πρόσθετα τα οποία είναι επιβλαβή για το περιβάλλον αλλά και για τους εργαζόμενους. Έτσι για να αντιμετωπιστεί η μόλυνση του περιβάλλοντος, γίνονται επενδύσεις στα υλικά των κοπτικών εργαλείων ώστε να μην απαιτείται χρήση υγρών κοπής.
- 2) Τα απόβλιττα που παράγονται από κατεργασίες που χρησιμοποιούνται υγρά κοπής ακάθαρτα και λαδωμένα. Έτσι τα απόβλιττα αυτά πωλούνται πιο δύσκολα και πιο φθηνά στα χυτήρια.

1.12 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΓΚΡΑΤΗΣΗΣ ΚΟΠΤΙΚΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ

Τα κοπτικά εργαλεία των εργαλειομηχανών συγκρατούνται με τους εργαλειοδέτες (κώννοι και μανέλες). Οι διαστάσεις των κώννων και των μανελών είναι τυποποιημένες. Στα παρακάτω σχήματα 1.4 και 1.5 φαίνονται οι κώννοι που χρησιμοποιούνται για πρόσδεση εργαλείων για φρεζάρισμα.



Σχήμα 1.4: Κώννος συγκράτησης



Σχήμα 1.5: Κώννος συγκράτησης σε τομή

Όλα τα περιφερικά εξαρτήματα των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης είναι τυποποιημένα. Η τυποποίηση των εργαλειοδετών έχει τα εξής πλεονεκτήματα :

- 1) Μειώνει το κόστος αγοράς τους και το πλήθος των εργαλειοδετών
- 2) Υπάρχει δυνατότητα χρησιμοποίησης του ίδιου εργαλειοδέτη σε πολλές εργαλειομηχανές.
- 3) Υπάρχει ευκολία στην αποθήκευσή τους
- 4) Έχει τη δυνατότητα να συνεργαστεί με το σύστημα αυτόματης αλλαγής κοπτικών εργαλείων, που διαθέτουν οι περισσότερες εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης.

1.13 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΑΞΟΝΩΝ ΚΑΙ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Στις ΗΠΑ αναπτύχθηκαν κανονισμοί ώστε να αποσκοπούν στον χαρακτηρισμό των διαφόρων κινήσεων στις εργαλειομηχανές. Οι κανονισμοί εφαρμόστηκαν το 1968. Το δεξιόστροφο σύστημα καρτεσιανών συντεταγμένων αποτελεί τη βάση για το χαρακτηρισμό των αξόνων και των κινήσεων. Τα δύο κυριότερα προβλήματα που καλούνταν να λύσουν οι κανονισμοί είναι α) ποια κίνηση θα χαρακτηριστεί ως x, y, z και β) ποια κατεύθυνση κάθε κίνηση θα είναι θετική και ποια αρνητική. Ο άξονας Z της κίνησης ορίζεται ώστε να είναι παράλληλος προς τον κύριο άξονα της εργαλειομηχανής. Έτσι στις φρέζες ο άξονας στον οποίο γίνεται η συγκράτηση όπου είναι και ο κύριος εκλέγεται ως Z άξονας. Όταν το κοπτικό εργαλείο απομακρύνεται από το αντικείμενο τότε χαρακτηρίζεται σαν θετική κατεύθυνση ενώ όταν πλησιάζει χαρακτηρίζεται σαν αρνητική. Στον τόρνο, ο άξονας περιστροφής ορίζεται ο άξονας Z . Όπως και στην φρέζα όταν απομακρύνεται είναι θετική κατεύθυνση ενώ όταν πλησιάζει είναι αρνητική. Ο άξονας X είναι κάθετος προς τον άξονα Z και οριζόντιος και παράλληλος προς την επιφάνεια συγκράτησης του αντικειμένου. Εάν το κύριο περιστρεφόμενο κοπτικό εργαλείο είναι οριζόντιο, θετική κατεύθυνση είναι προς τα δεξιά όταν βλέπεις από το εργαλείο προς το αντικείμενο. Ο άξονας Y σύμφωνα και με το δεξιόστροφο σύστημα συντεταγμένων, αφού έχουν ορισθεί οι δύο άλλοι άξονες, ο Y είναι κάθετος ανάμεσα στο επίπεδο που σχηματίζουν οι άλλοι δύο άξονες. Όταν έχουμε περιστροφικές κινήσεις τα γράμματα A, B, C και οι κινήσεις αυτές όταν προωθούν δεξιόστροφους κοχλίες προς τη θετική κατεύθυνση των αξόνων X, Y, Z τότε είναι θετικές.

1.14 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

Τα δύο πιο βασικά συστήματα αναφοράς αριθμητικού ελέγχου που χρησιμοποιούνται είναι α) το βηματικό (σχετικό), β) απόλυτο. Στο βηματικό σύστημα η αναφορά για την επόμενη κίνηση γίνεται σε σχέση με το τελευταίο σημείο που έχει γίνει στάση. Το πιο μεγάλο μειονέκτημα σε αυτό το σύστημα είναι ότι εάν γίνει παραδείγματος χάριν μια βλάβη και χρειαστεί να διακοπεί η κατεργασία τότε κατά την επανεκκίνηση δεν μπορεί να ξεκινήσει ξανά από το ίδιο σημείο. Στο απόλυτο σύστημα συντεταγμένων η αναφορά γίνεται πάντα ως προς την αρχή των αξόνων της εργαλειομηχανής. Το σύστημα αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να γίνει διακοπή της κατεργασίας και κατά την

επανεκκίνηση να γίνει επιστροφή στο ίδιο σημείο απευθείας χωρίς κάποιο άλλο ενδιάμεσο σημείο.

1.15 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΨΗΦΙΑΚΑ ΚΑΘΟΔΗΓΟΥΜΕΝΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Η ραγδαία εξέλιξη τα τελευταία χρόνια των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης είναι πολύ αισθητή. Ένας λόγος όπου αυτή η εξάπλωση είναι πολύ μεγάλη είναι η πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια που προσφέρουν σε σχέση με τις συμβατικές εργαλειομηχανές. Η ακρίβεια των ψηφιακά καθοδηγούμενων εργαλειομηχανών είναι σταθερή και δεν μεταβάλλεται από τεμάχιο σε τεμάχιο όπως μπορεί να συμβεί στις συμβατικές εργαλειομηχανές, όπου η ακρίβεια εκεί εξαρτάται από την εμπειρία του χειριστή, την προσοχή του αλλά και την ψυχολογική κατάσταση του. Έτσι η ακρίβεια των εργαλειομηχανών ψηφιακής καθοδήγησης αναπαράγεται χωρίς περιορισμό όσο μεγάλος και αν είναι ο αριθμός των τεμαχίων, είτε πρόκειται για εκατοντάδες είτε πρόκειται για χιλιάδες. Η ποιότητα παραγωγής των σύγχρονων εργαλειομηχανών βασίζεται στον συνεχή έλεγχο και την προσαρμογή των κινήσεων των αξόνων κατεργασίας με τη βοήθεια των μετρητών θέσης. Οι σύγχρονες εργαλειομηχανές έχουν δυνατότητα επίτευξης ακρίβειας από 0,008 έως 0,015 mm (χιλιοστά) ανά πλήρη διαδρομή του άξονα. Αυτό σημαίνει ότι εάν ένας άξονας κατεργασίας με μετατόπιση από το ένα έως το άλλο όριο μετατόπισης, η διαφορά που θα υπάρχει από την προγραμματιζόμενη θέση σε σχέση με την πραγματική δεν θα πρέπει να βρίσκεται έξω από το προαναφερθέν διάστημα. Επίσης όταν ένας άξονας προγραμματιστεί να εκτελέσει κάποια κίνηση για δεύτερη φορά, η διαφορά των κινήσεων δεν θα πρέπει να βρίσκεται εκτός του διαστήματος από 0,001 mm έως 0,002 mm (χιλιοστά). Η δυνατότητα αυτή εκφράζει την απαναληψιμότητα της μετακίνησης.

1.16 ΚΟΠΤΙΚΑ ΕΡΓΑΛΕΙΑ

Τα κοπτικά εργαλεία αποτελούν ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία των εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου, λόγω των πολύ υψηλών ταχυτήτων κοπής που χρησιμοποιούνται αλλά και του μικρού χρόνου αλλαγής τους όπου είναι περίπου στα πέντε δευτερόλεπτα. Τα υλικά των κοπτικών εργαλείων μπορεί να είναι είτε από

ταχυχάλυβα, σκληρομέταλλο, κεραμικά, διαμάντι και από κυβικό βοριονιτρίδιο. Οι κυριότερες ιδιότητες που απαιτούνται από τα κοπτικά εργαλεία είναι η σκληρότητα εν θερμώ, αντίσταση στις θερμοκρασιακές μεταβολές, μηχανική αντοχή αντίσταση στην οξειδωση και να μην υπάρχει συγγένεια με τα κατεργαζόμενα υλικά. Οι ταχυχάλυβες (high speed steels) στην βασική τους σύνθεση περιέχουν βολφράμιο, βανάδιο και χρώμιο. Επίσης μπορεί να περιέχουν και κοβάλτιο και μολυβδαίνιο. Είναι οι πιο όλκιμοι από όλα τα κοπτικά εργαλεία γι' αυτό και αντέχουν σε κρουστικά φορτία και είναι κατάλληλοι για κατεργασίες με διακοπτόμενη κοπή όπως είναι το παραδείγματος χάριν το φρεζάρισμα. Το μειονέκτημα στους ταχυχάλυβες είναι ότι αν ξεπεραστούν οι 600 βαθμοί κελσίου κατά την κατεργασία η σκληρότητα και η μηχανική αντοχή τους ελαττώνεται. Τα σκληρομέταλλα είναι προϊόντα κonioμεταλλουργίας και αποτελούνται από καρβίδια μετάλλων (βολφραμίου, τιτανίου τανταλίου) με συνθετικό κοβάλτιο στις περισσότερες περιπτώσεις. Τα σκληρομέταλλα διατηρούν τη σκληρότητά τους σε υψηλές θερμοκρασίες μέχρι 900 βαθμούς κελσίου. Τα σκληρομέταλλα χωρίζονται σε τρεις με κύριες κατηγορίες P,M,K. Η κάθε κατηγορία χαρακτηρίζεται από ένα διψήφιο αριθμό όπου όταν μειώνεται έχουμε αύξηση σκληρότητας και αντίσταση σε φθορά αλλά έχουμε ταυτόχρονη μείωση της δυσθραυστότητας. Τα κεραμικά χωρίζονται σε δύο διαφορετικές κατηγορίες στη σύνθεση των υλικών που χρησιμοποιούνται για κοπτικά εργαλεία. Η πρώτη κατηγορία έχει ως βάση το οξείδιο του αργιλίου με συνθετικό μέσο σε πιο μικρά ποσοστά πυρίμαχα οξείδια μαγνησίου και πυριτίου. Η δεύτερη κατηγορία βασίζεται στο νιτρίδιο του πυριτίου. Τα κεραμικά υλικά έχουν πολύ μεγάλη σκληρότητα και μπορούν να την διατηρήσουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης έχουν αντίσταση στη φθορά και ερπυσμό. Τα μειονεκτήματα των κεραμικών υλικών είναι ότι είναι πολύ ευαίσθητα στα κρουστικά φορτία και στις θερμοκρασιακές μεταβολές. Γι αυτό το λόγο τα κοπτικά εργαλεία από κεραμικά υλικά είναι ακατάλληλα για διακοπτόμενες κατεργασίες. Το κυβικό βοριονιτρίδιο είναι συνθετικό υλικό και αλλοτροπική μορφή του βοριονιτρίτη. Τα υλικά αυτά κατασκευάζονται κάτω από πολύ υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Είναι το πιο σκληρό υλικό μετά το διαμάντι και μπορεί να διατηρεί την σκληρότητα του σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες από 1400 βαθμούς κελσίου. Το κυβικό βοριονιτρίδιο δεν οξειδώνεται στον αέρα και λόγω της πολύ υψηλής σκληρότητας του είναι κατάλληλο για να κατεργάζεται σκληρά υλικά και σε μεγάλες ταχύτητες κοπής. Το μεγάλο μειονέκτημα του είναι ότι έχει πάρα πολύ υψηλό κόστος, περίπου εξήντα φορές πιο ακριβό από τα σκληρομέταλλα. Το διαμάντι χωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Στο μονοκρυσταλλικό που είναι και το πιο σκληρό υλικό και στο πολυκρυσταλλικό. Τα κοπτικά εργαλεία είναι από πολυκρυσταλλικό διαμάντι, επειδή διαθέτει πολύ υψηλή

μηχανική αντοχή. Το διαμάντι έχει την μεγαλύτερη σκληρότητα από όλα τα άλλα υλικά και έχει πολύ μεγάλη αντοχή στη φθορά. Το διαμάντι είναι ψαθυρό υλικό και γι'αυτό το λόγω δεν αντέχει σε κρουστικά φορτία. Επίσης δεν αντέχει σε πολύ μεγάλες θερμοκρασίες (περίπου έως τους 800 βαθμούς κελσίου).

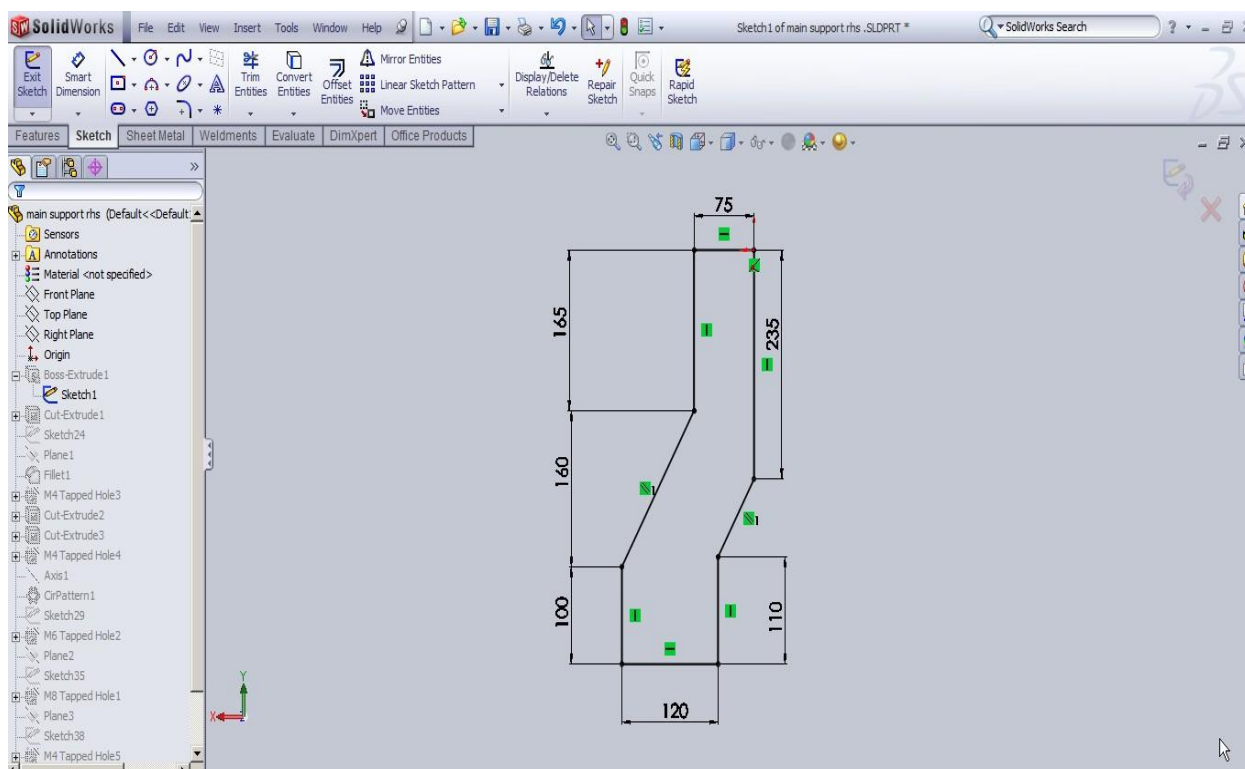
1.17 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο σχεδιασμός, η μελέτη και η βελτιστοποίηση μιας επιτραπέζιας CNC μηχανής τριών αξόνων. Στα πλαίσια της εργασίας θα πραγματοποιηθεί τρισδιάστατη σχεδίαση των εξαρτημάτων και της συναρμολογημένης διάταξης της μηχανής, με χρήση κατάλληλου λογισμικού τρισδιάστατης σχεδίασης (3D-CAD). Με χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων θα διεξαχθεί η μελέτη της στατικής αντοχής της διάταξης με εύρεση των τάσεων και παραμορφώσεων που αναπτύσσονται στα ονομαστικά φορτία λειτουργίας, καθώς και η μελέτη ιδιοσυχνοτήτων-ιδιομορφών της διάταξης. Επίσης θα πραγματοποιηθεί η διατύπωση και ο σχεδιασμός προτάσεων εξέλιξης και βελτίωσης της διάταξης, αναφορικά με την στιβαρότητά της, την αντοχή της, τον τρόπο λειτουργίας της και το κόστος κατασκευής, οδηγώντας τελικά σε μια βελτιωμένη γεωμετρία.

2. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

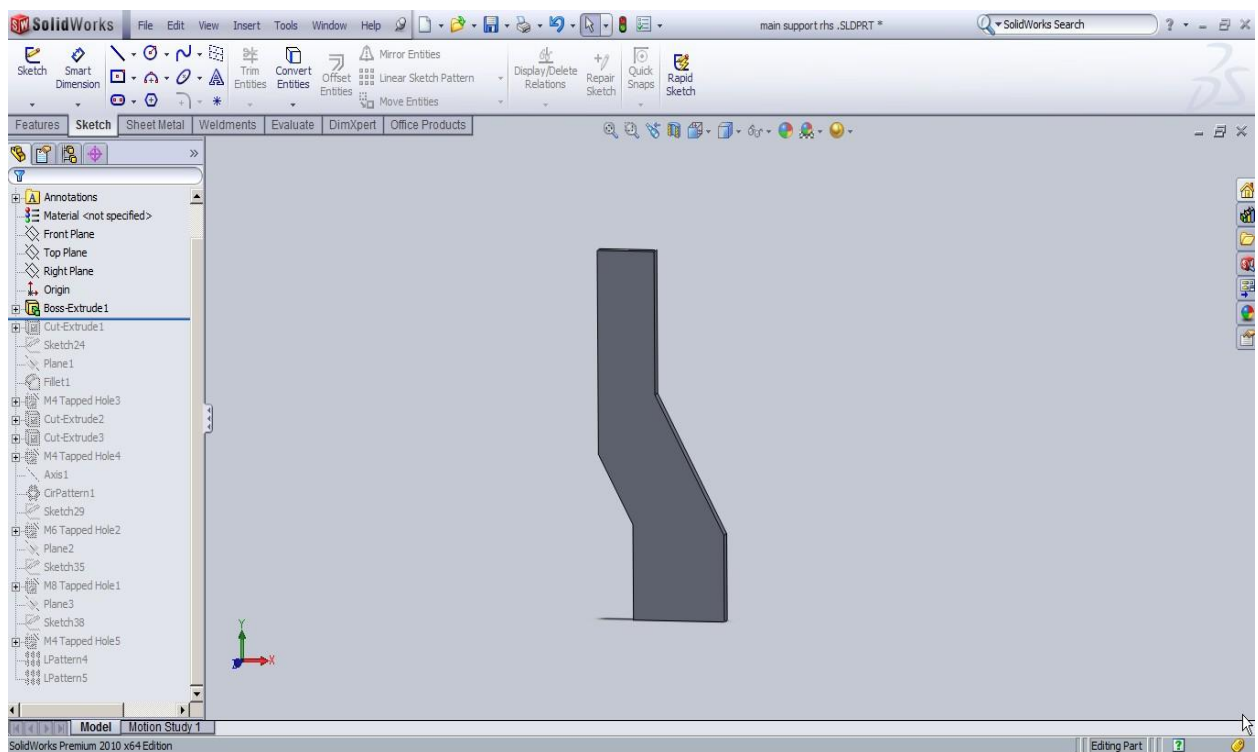
2.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

Σε αυτήν την ενότητα θα παρουσιασθεί ο τρόπος με τον οποίο σχεδιάστηκαν κάποια εξαρτήματα της μηχανής από δισδιάστατα σε τρισδιάστατα σχέδια, και με αυτά να δημιουργηθεί στη συνέχεια να το τρισδιάστατο μοντέλο της κατασκευής. Ο λόγος που δεν θα παρουσιασθεί ο τρόπος σχεδίασης για όλα τα εξαρτήματα είναι ο μεγάλος αριθμός σελίδων που θα δημιουργηθεί αλλά και δεν είναι απαραίτητο, αφού η λογική σχεδίασης είναι παρόμοια με τα εξαρτήματα που θα παρουσιασθούν. Στο τέλος της πτυχιακής υπάρχει παράρτημα όπου υπάρχουν όλα τα κατασκευαστικά σχέδια της κατασκευής. Τα εξαρτήματα που θα παρουσιασθούν έχουν επιλεγεί τυχαία. Το πρώτο σχέδιο που θα δειχθεί το πώς σχεδιάστηκε είναι το main support rhs (υπάρχει με το αντίστοιχο όνομα στο παράρτημα). Αρχικά σχεδιάζουμε σε δύο διαστάσεις το σχέδιο σαν να είναι κατασκευαστικό, όπως φαίνεται παρακάτω στην σχήμα 2.1



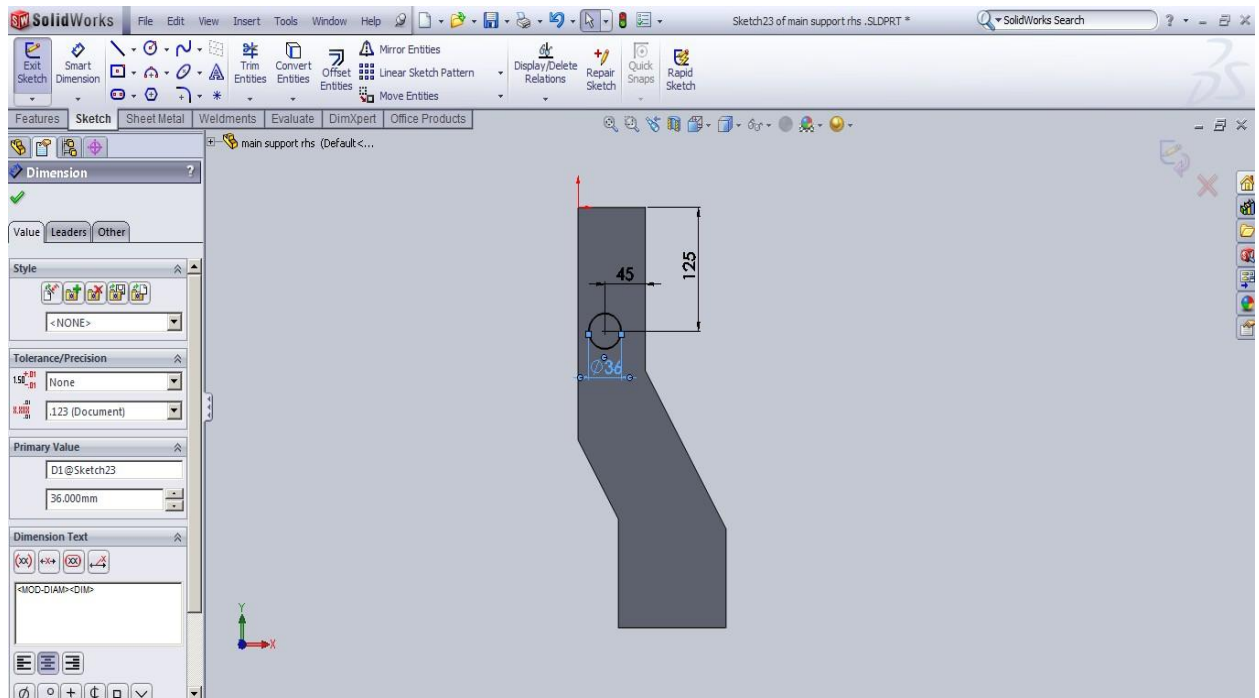
Σχήμα 2.1: Προσδιορισμός των εξωτερικών διαστάσεων

Αφού διαστασιολογήσουμε το σχέδιο μας, δίνουμε όγκο στην επιφάνεια του κλειστού περιγράμματος με την εντολή boss/extrude. Έτσι δημιουργείται το τρισδιάστατο εξάρτημα, όπου φαίνεται και παρακάτω από το σχήμα 2.2

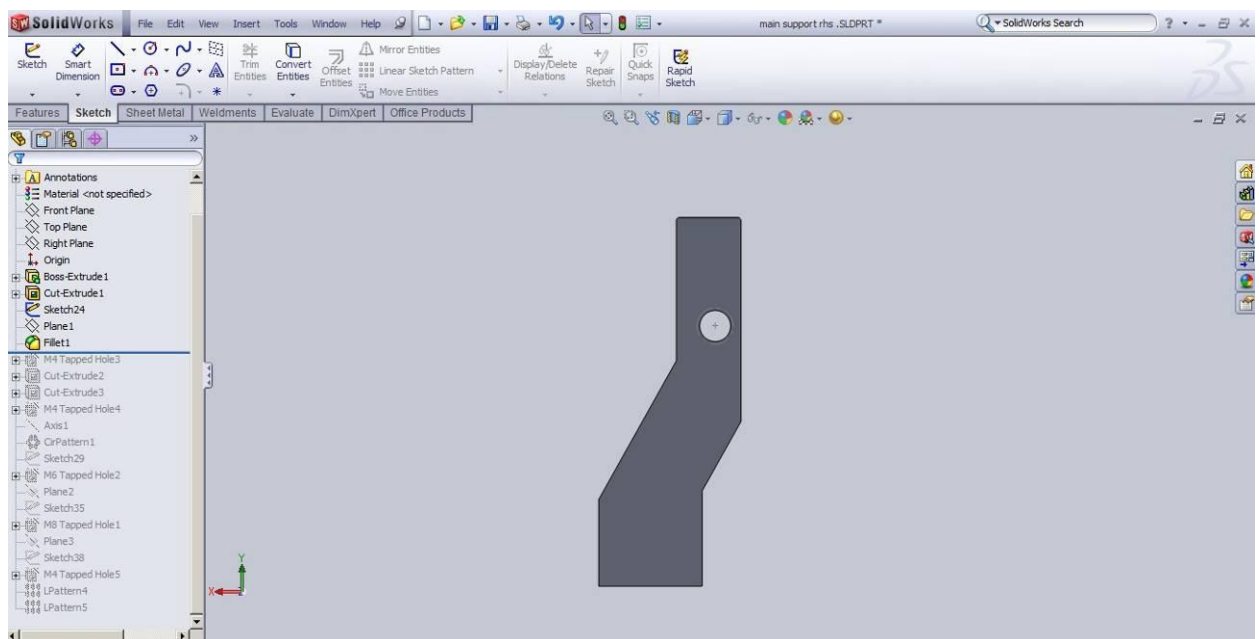


Σχήμα 2.2: Δημιουργία στερεού με βάση τις εξωτερικές διαστάσεις

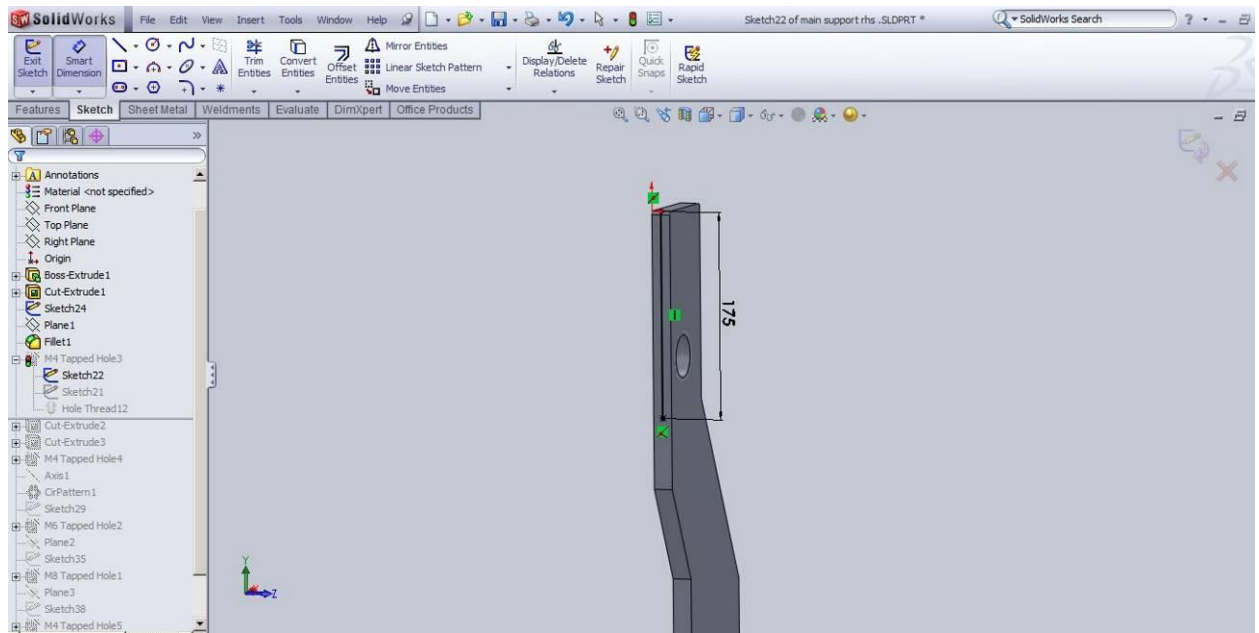
Στη συνέχεια πρέπει να δημιουργήσουμε τις οπές επάνω στο εξάρτημα. Για να γίνει αυτό πρέπει να σχεδιάσουμε τη διάμετρο της οπής στην κατάλληλη θέση και στη συνέχεια με κατάλληλη εντολή να αφαιρούμε υλικό από το περίγραμμα που έχουμε σχεδιάσει. Αν η οπή δεν είναι διαμπερής ή αν ακόμη χρειάζεται να γίνει και σπείρωμα τότε υπάρχει ειδική εντολή για οπές, όπου μπορούν να χρησιμοποιηθούν όλες οι τυποποιήσεις των οπών. Στην δεύτερη περίπτωση δεν χρειάζεται να σχεδιάσουμε την διάμετρο της οπής παρά μόνο να δώσουμε τις συντεταγμένες πάνω στο τεμάχιο. Έτσι ανάλογα με τις απαιτήσεις της οπής την δημιουργούμε με έναν από τους δύο τρόπους. Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται οι οπές που δημιουργήθηκαν με τους δύο αναφερθέντες τρόπους.



Σχήμα 2.3: Διαστασιολόγηση και προσδιορισμός θέσης της οπής

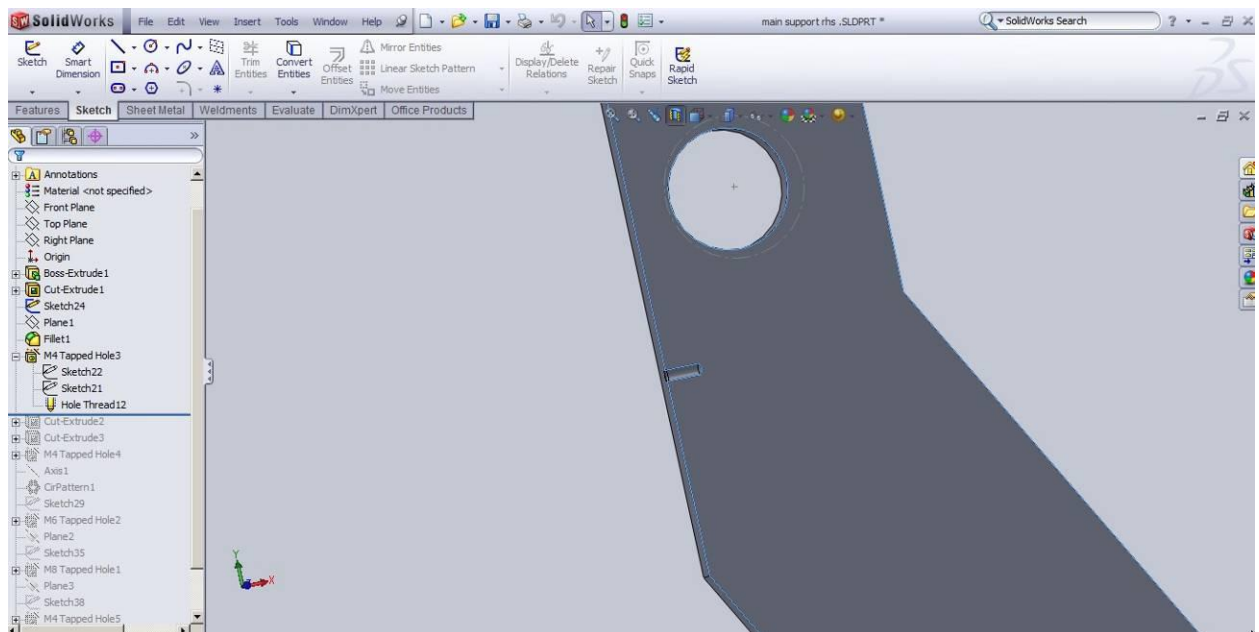


Σχήμα 2.4: Δημιουργία οπής στο εξάρτημα



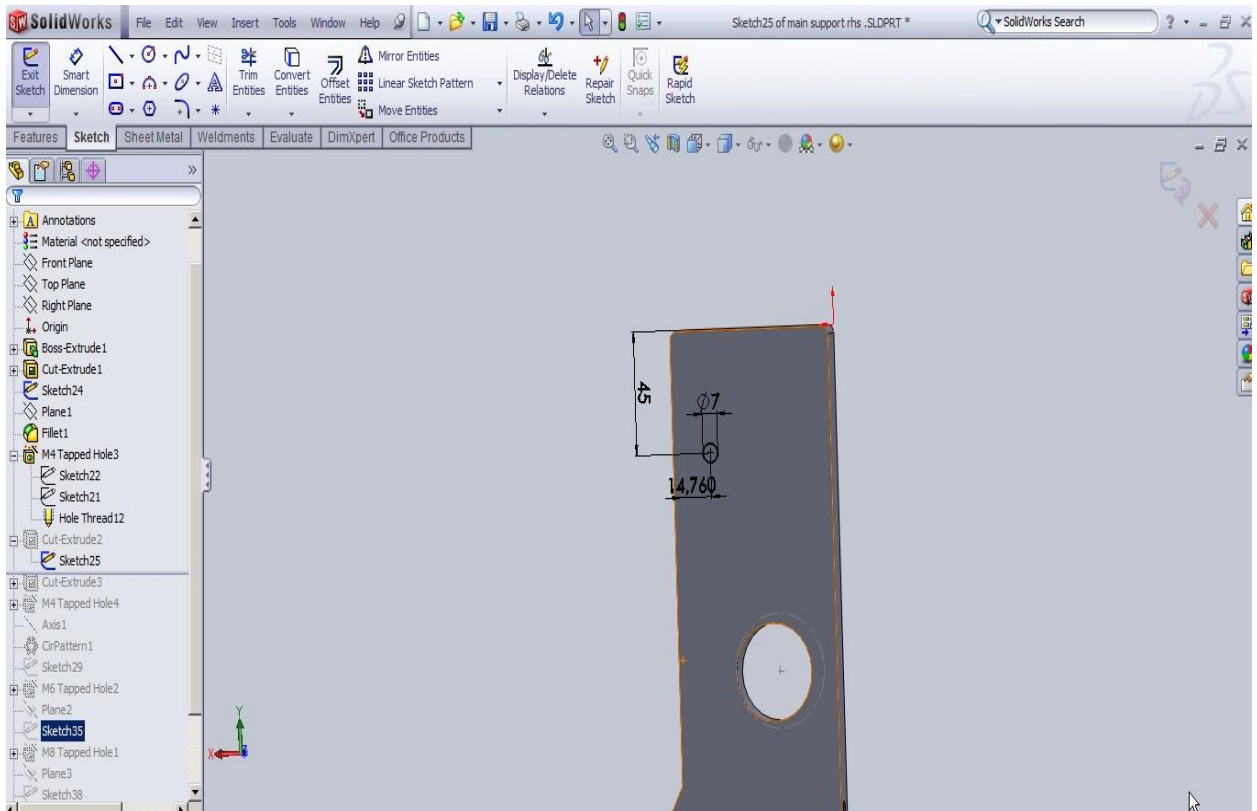
Σχήμα 2.5: Διαστασιολόγηση και προσδιορισμός θέσης της οπής

Εδώ γίνεται προσδιορισμός των συντεταγμένων της οπής. Μετά χρησιμοποιούμε την εντολή για τις οπές ώστε να πραγματοποιηθεί στο σημείο που έχουμε προσδιορίσει. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η οπή που έχει ανοιχτεί.

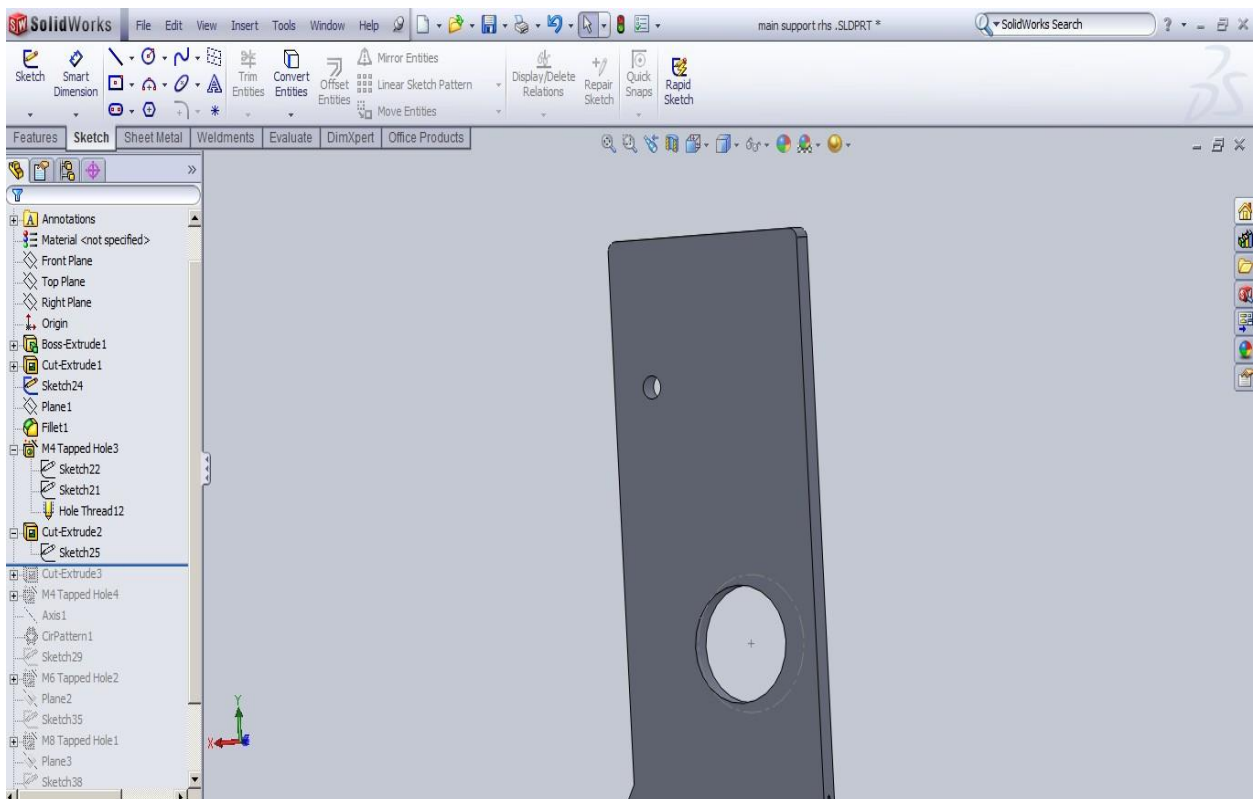


Σχήμα 2.6: Δημιουργία οπής στο εξάρτημα

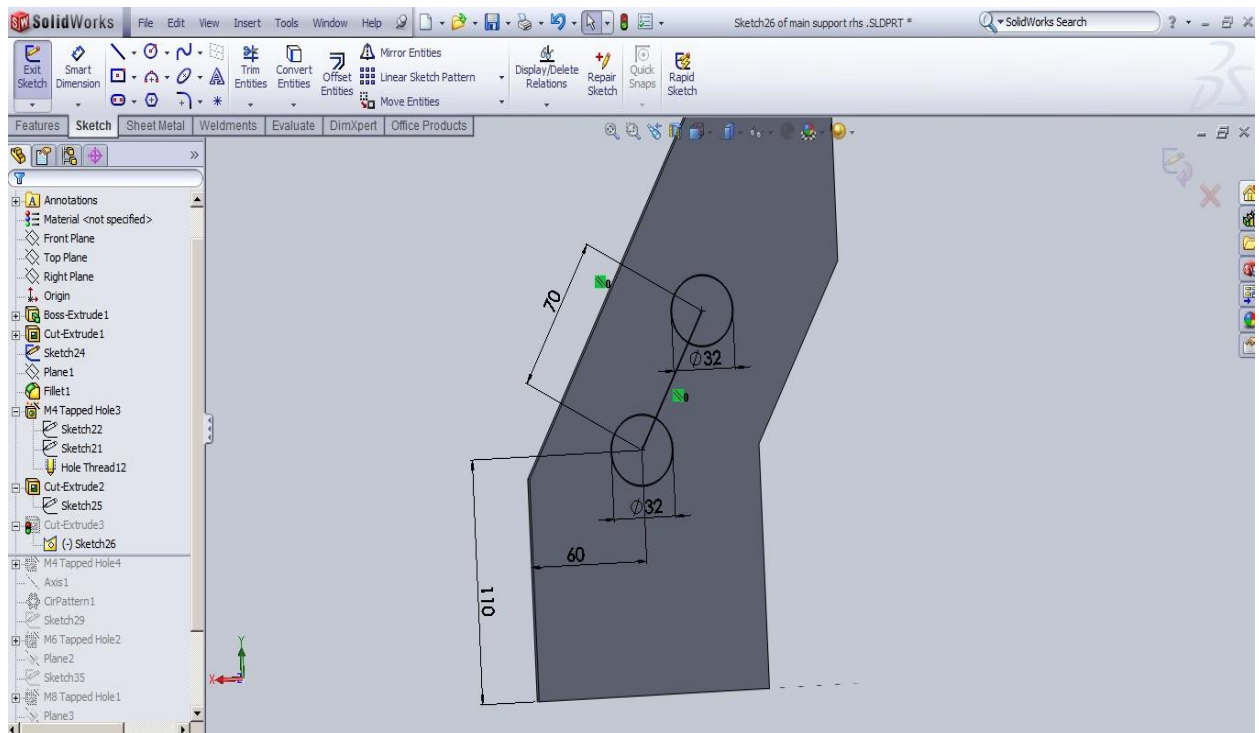
Σε αυτή την εικόνα βλέπουμε μια τομή του εξαρτήματος για να φανεί καλύτερα η οπή. Στις τέσσερις φωτογραφίες που θα ακολουθήσουν (εικ. 1.7,1.8,1.9,1.10) φαίνεται η διάνοιξη οπών που έγινε με ίδια μέθοδο όπως με τις προηγούμενες.



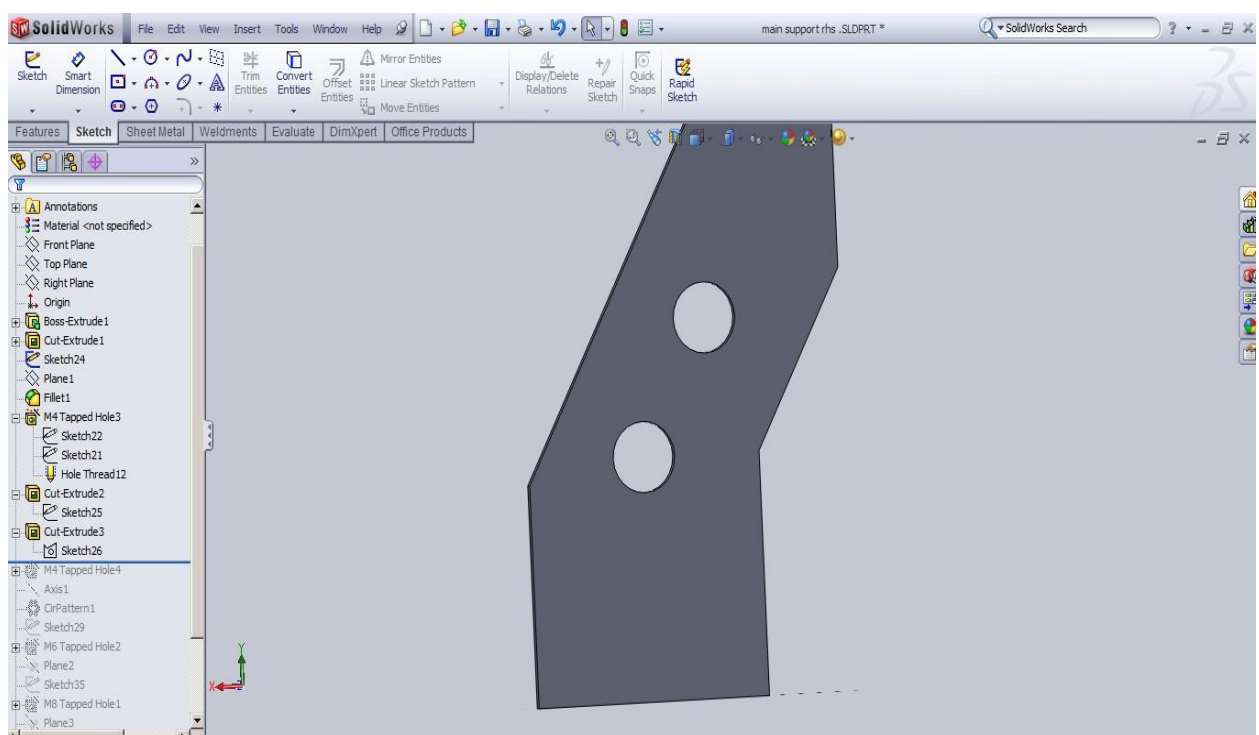
Σχήμα 2.7: Διαστασιολόγηση και προσδιορισμός θέσης της οπής



Σχήμα 2.8: Δημιουργία της οπής



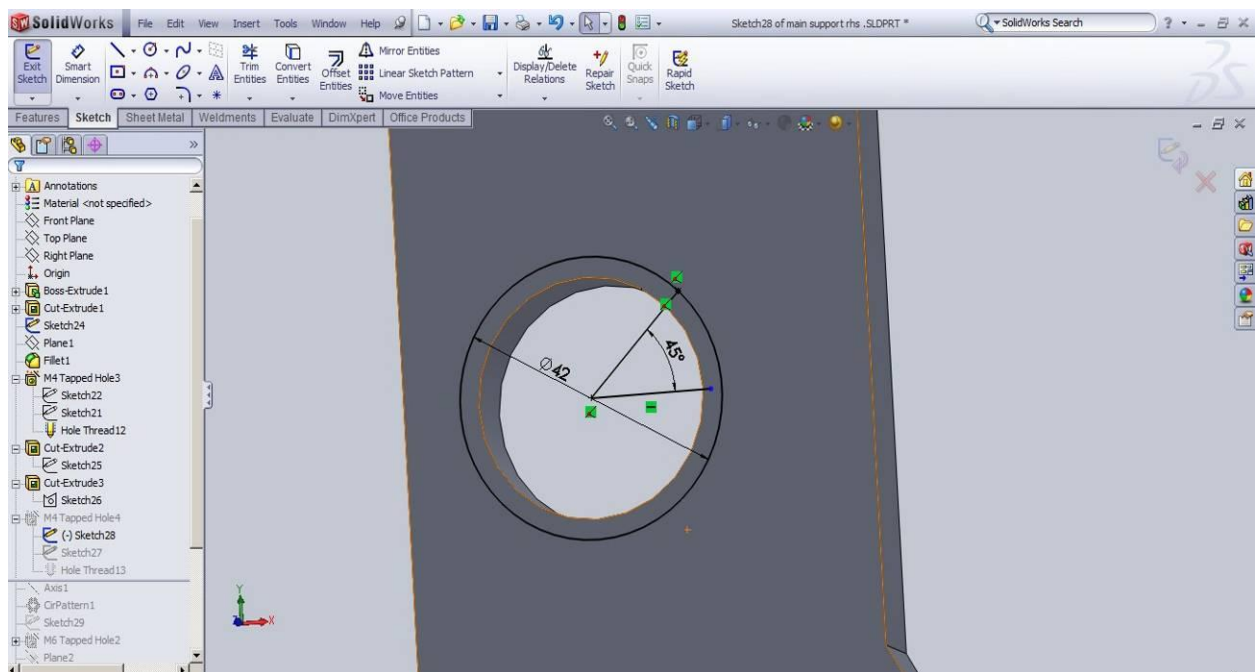
Σχήμα 2.9: Διαστασιολόγηση και προσδιορισμός θέσης της οπής



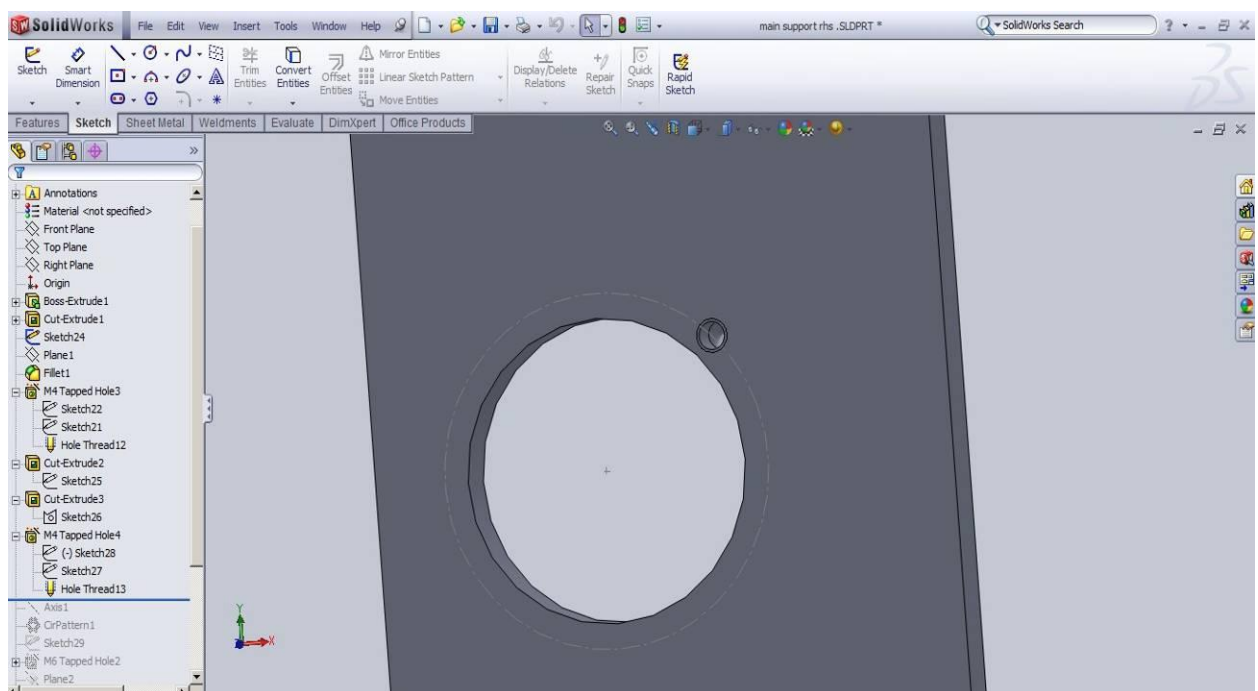
Σχήμα 2.10: Δημιουργία των οπών στο εξάρτημα

Στις εικόνες που ακολουθούν φαίνεται διάνοιξη των οπών γύρω από την περιφέρεια της μεγάλης οπής που φαίνεται στο σχήμα 2.4. Σε αυτήν την περίπτωση για μην προσδιορίσουμε μία μία τις οπές, δημιουργούμε μια οπή και με εντολή αντιγραφής σε

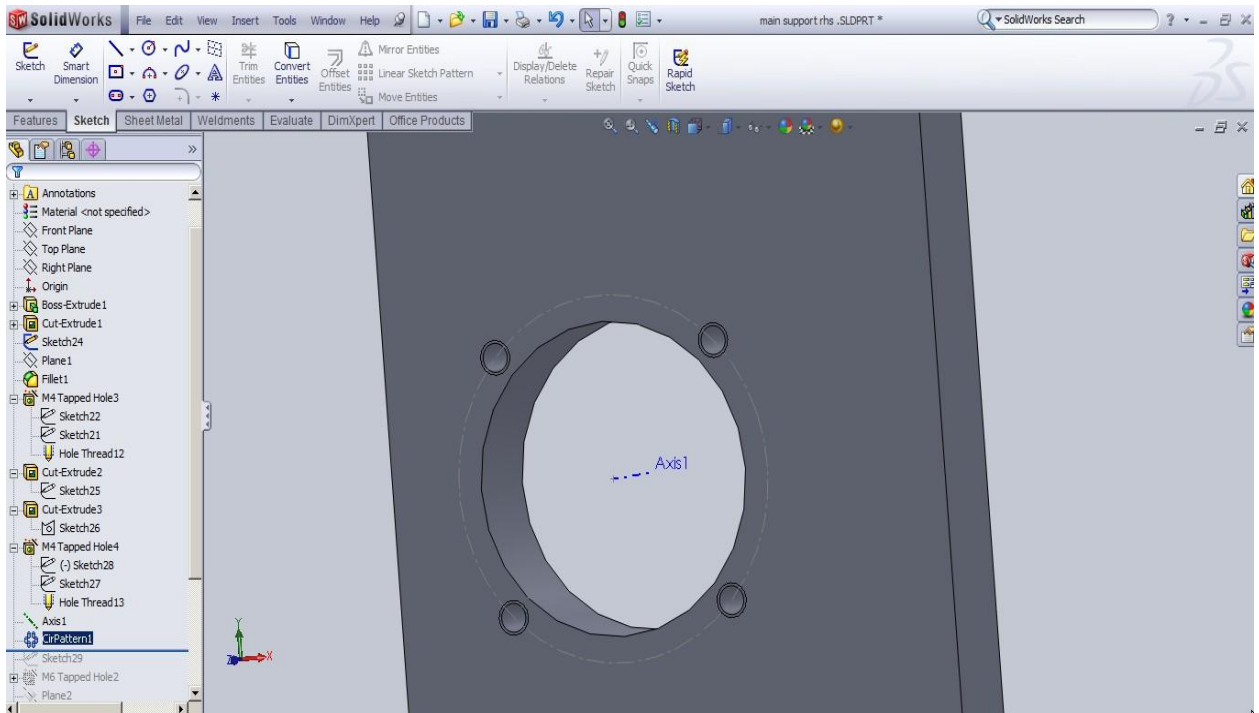
κυκλική τροχιά μπορούμε να δημιουργήσουμε όσες οπές θέλουμε σε συγκεκριμένες μοίρες με μια μόνο εντολή.



Σχήμα 2.11: Προσδιορισμός της θέσης για την μία οπή

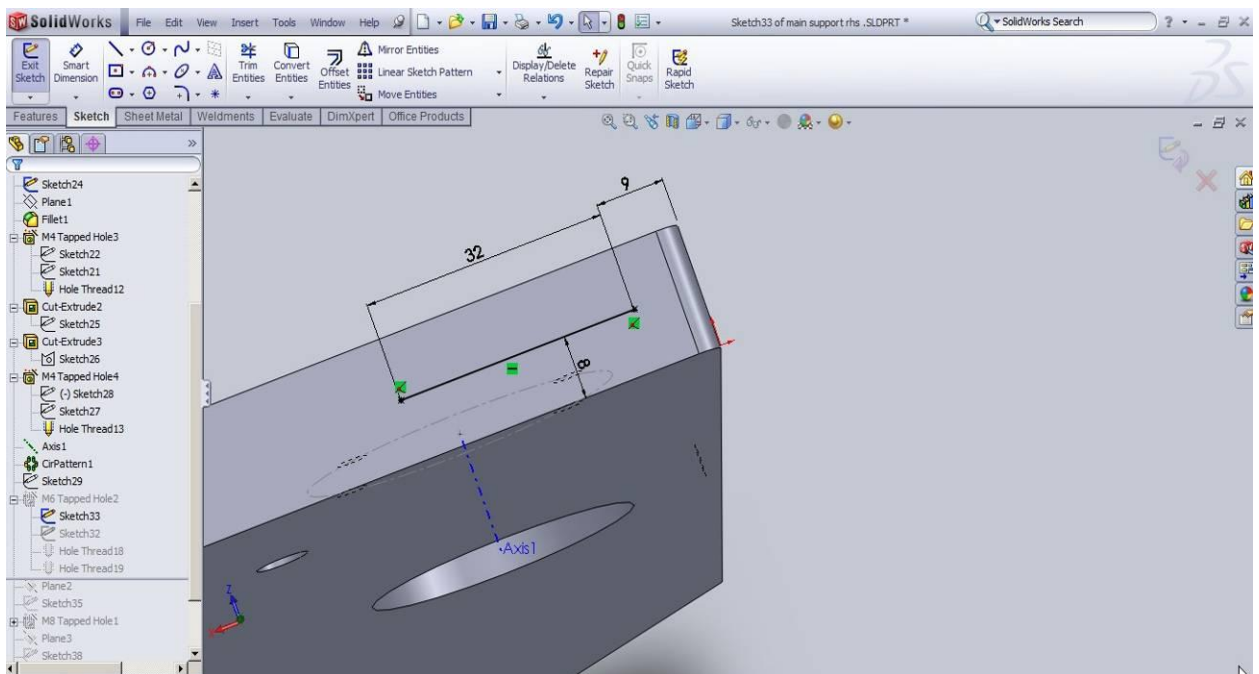


Σχήμα 2.12: Δημιουργία οπής

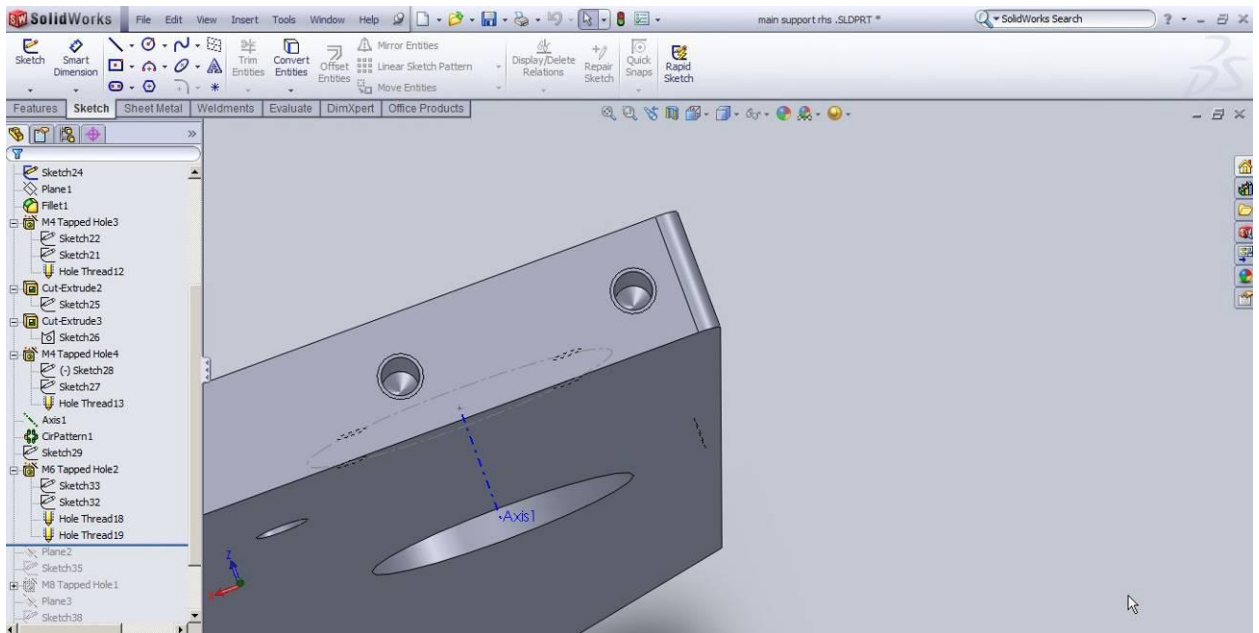


Σχήμα 2.13: Δημιουργία των υπόλοιπων οπών με εντολή αντιγραφής

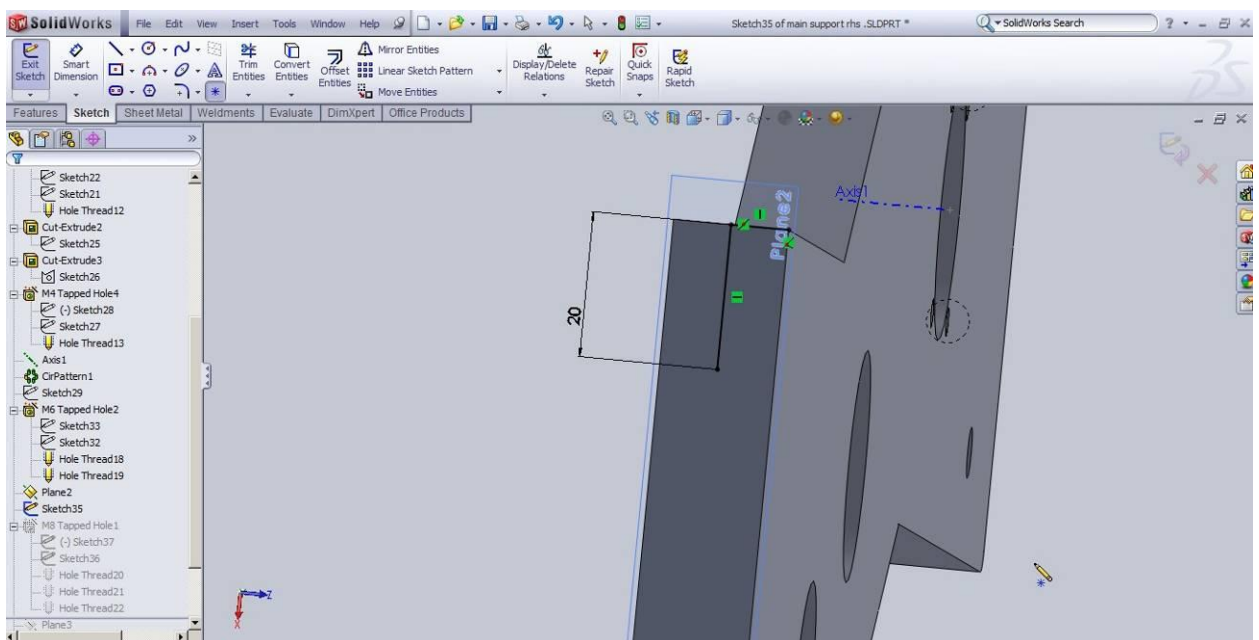
Παρακάτω θα ακολουθήσουν και οι εικόνες με τις υπόλοιπες οπές στο κομμάτι, οι οποίες έγιναν με τον ίδιο τρόπο όπως με τις προηγούμενες.



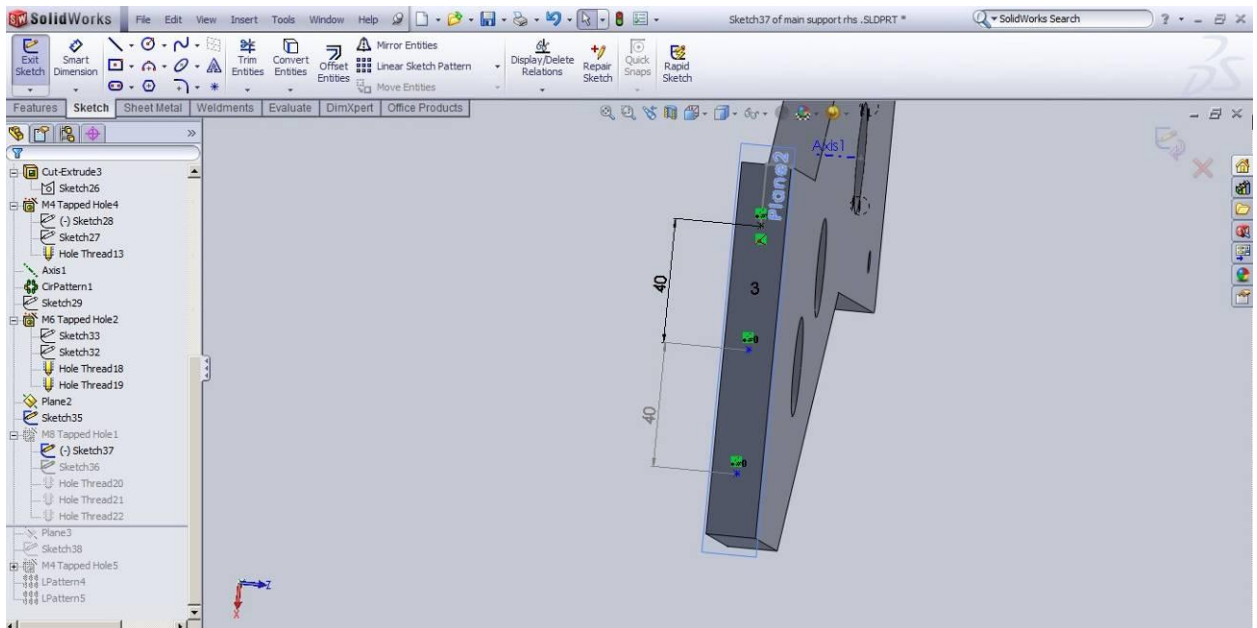
Σχήμα 2.14: Διαστασιολόγηση και προσδιορισμός θέσης των οπών



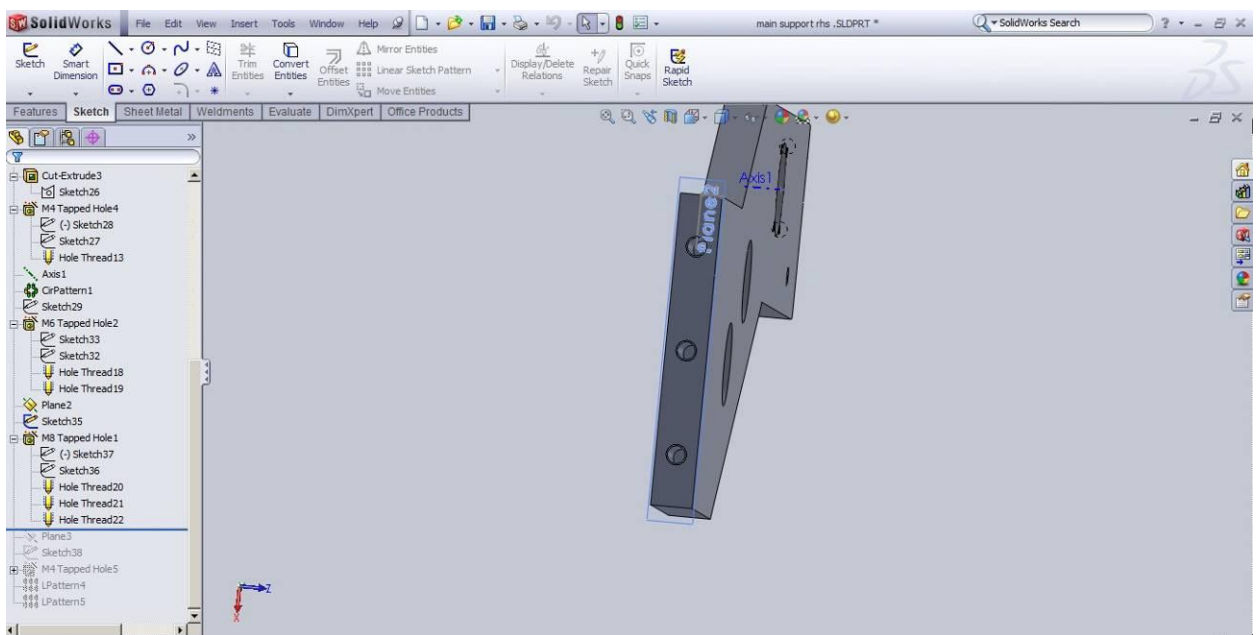
Σχήμα 2.15: Δημιουργία των οπών



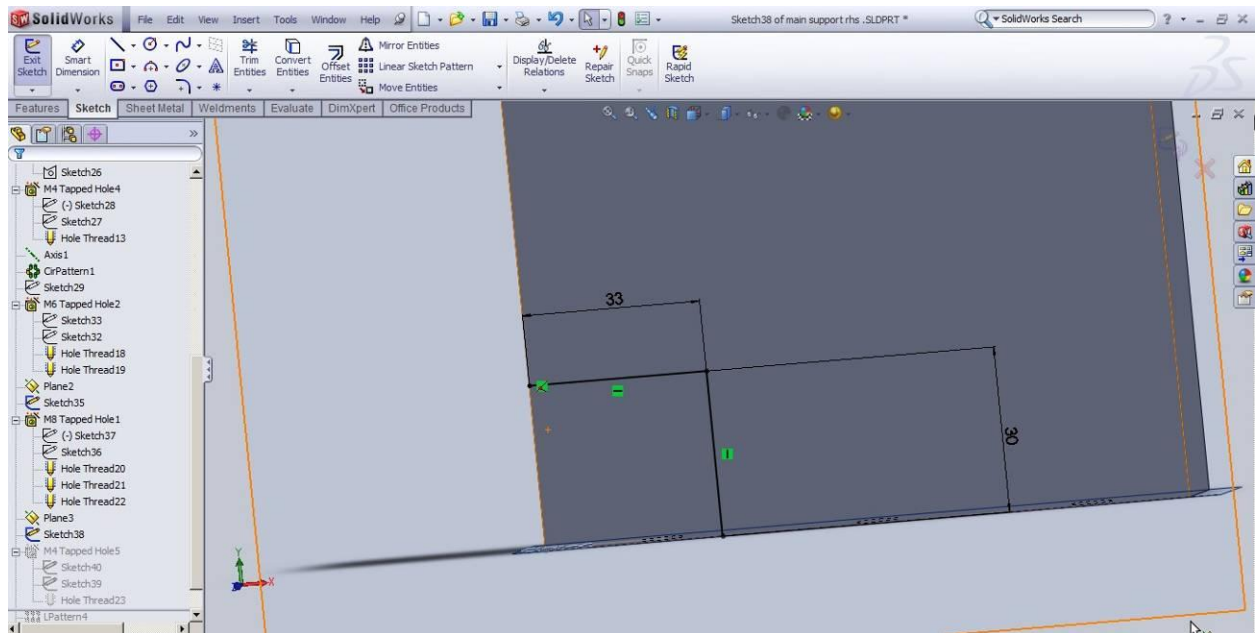
Σχήμα 2.16: Διαστασιολόγηση και προσδιορισμός θέσης των οπών



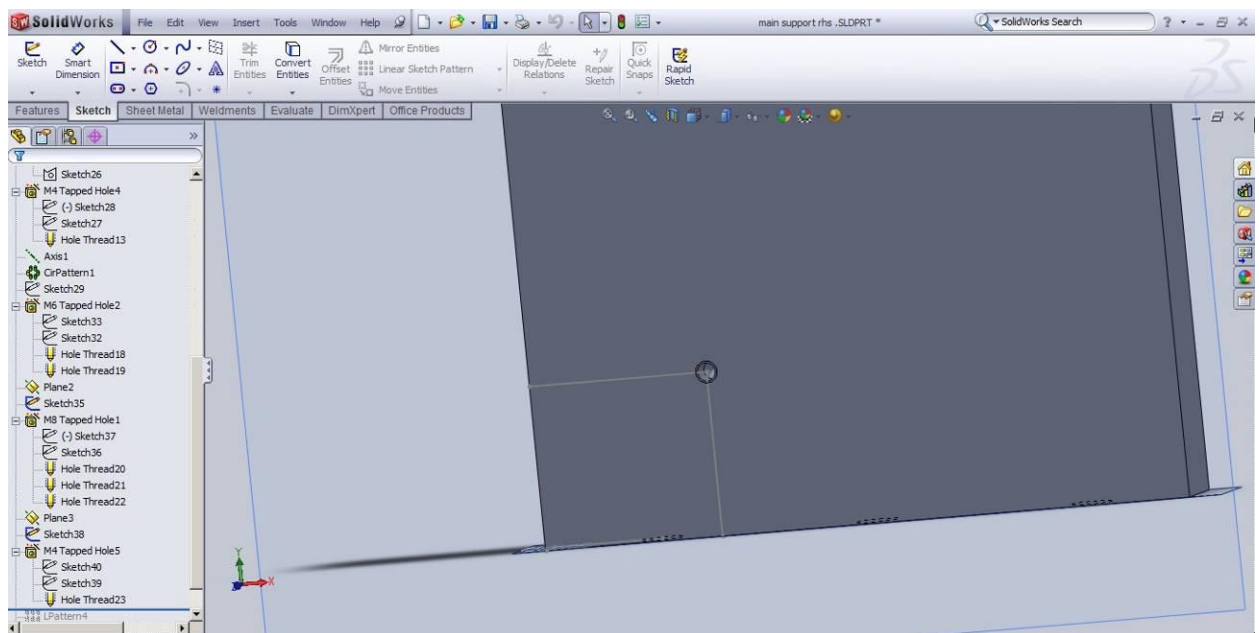
Σχήμα 2.17: Διαστασιολόγηση και προσδιορισμός θέσης των οπών



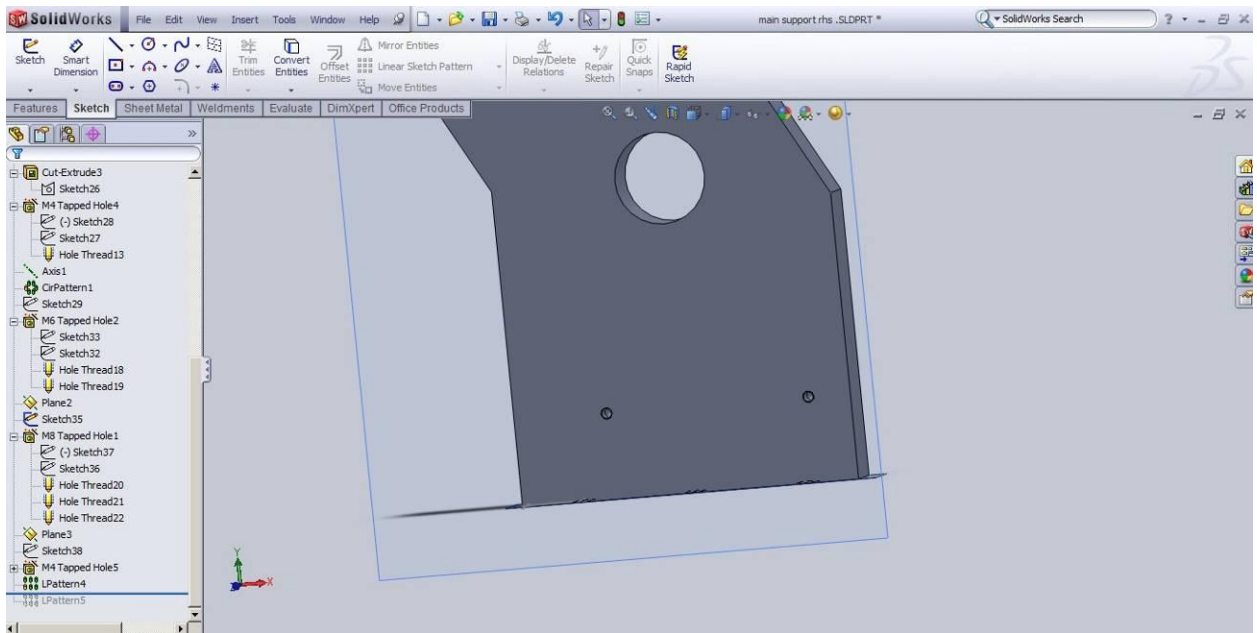
Σχήμα 2.18: Δημιουργία των οπών



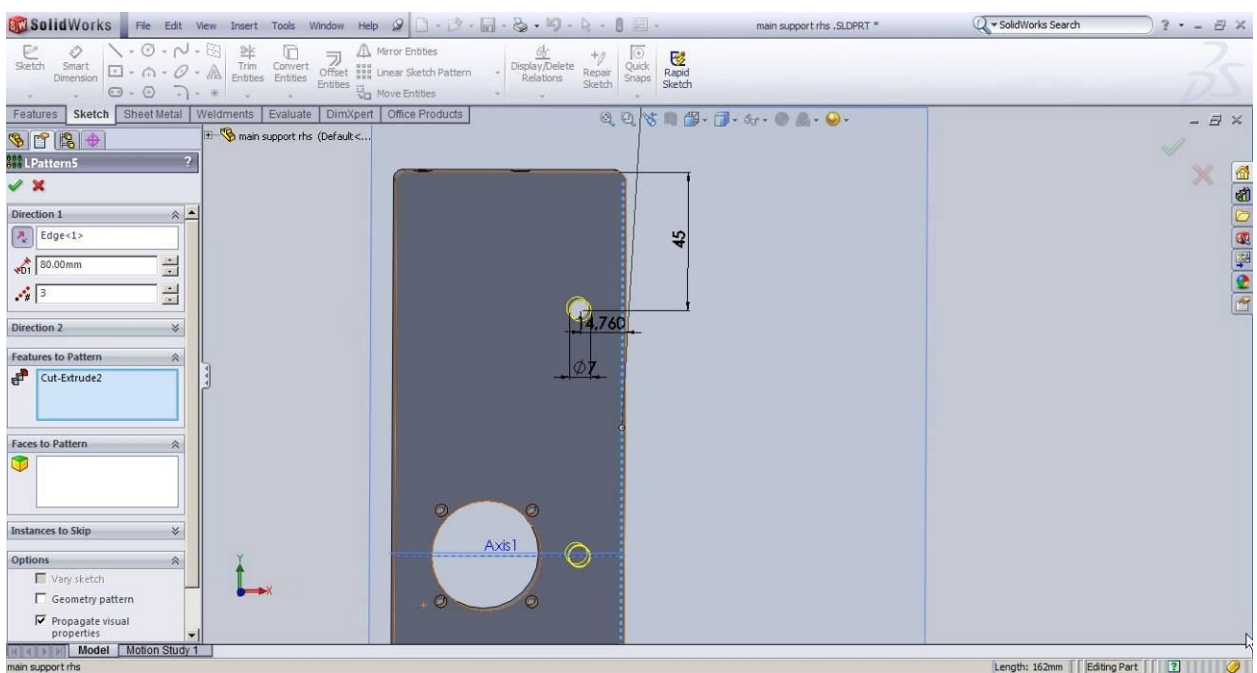
Σχήμα 2.19: Διαστασιολόγηση και προσδιορισμός θέσης της οπής



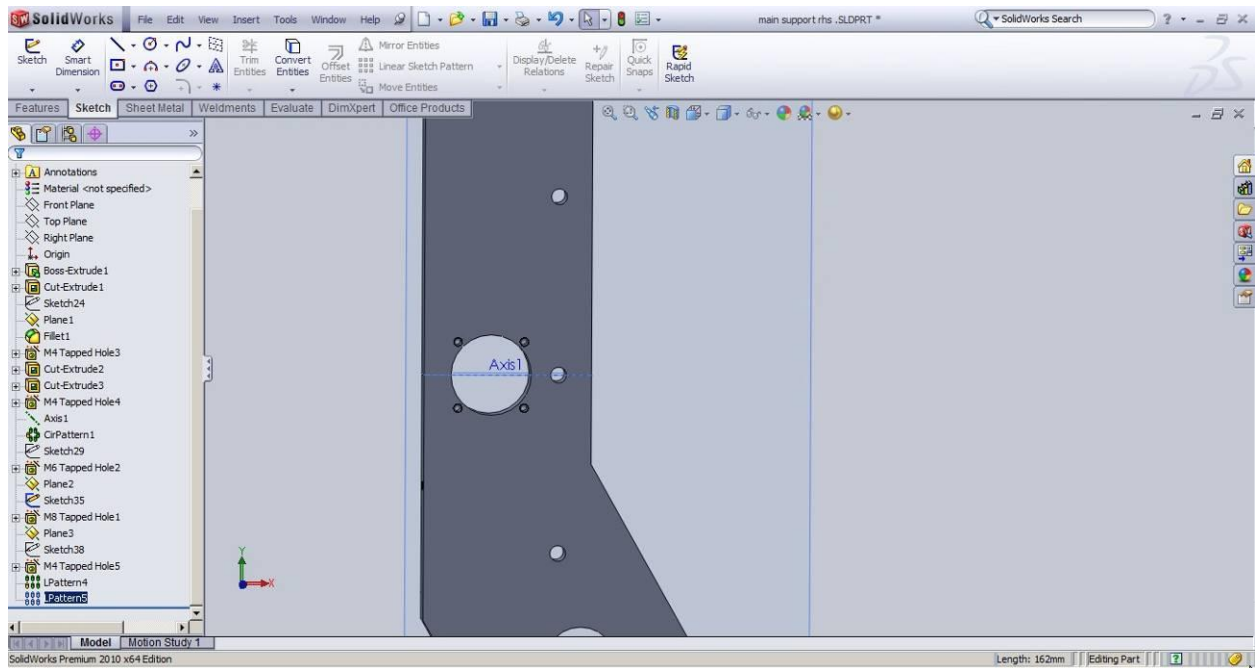
Σχήμα 2.20: Δημιουργία της οπής



Σχήμα 2.21: Δημιουργία της άλλης οπής με εντολή αντιγραφής

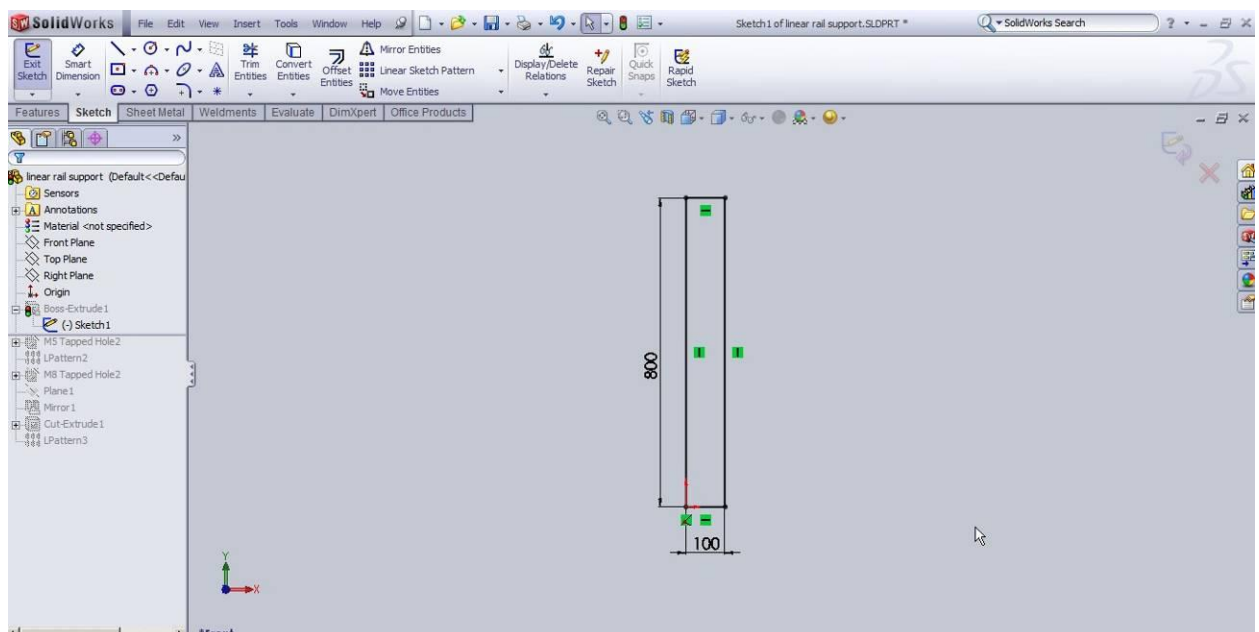


Σχήμα 2.22: Διαστασιολόγηση και προσδιορισμός θέσης της οπής



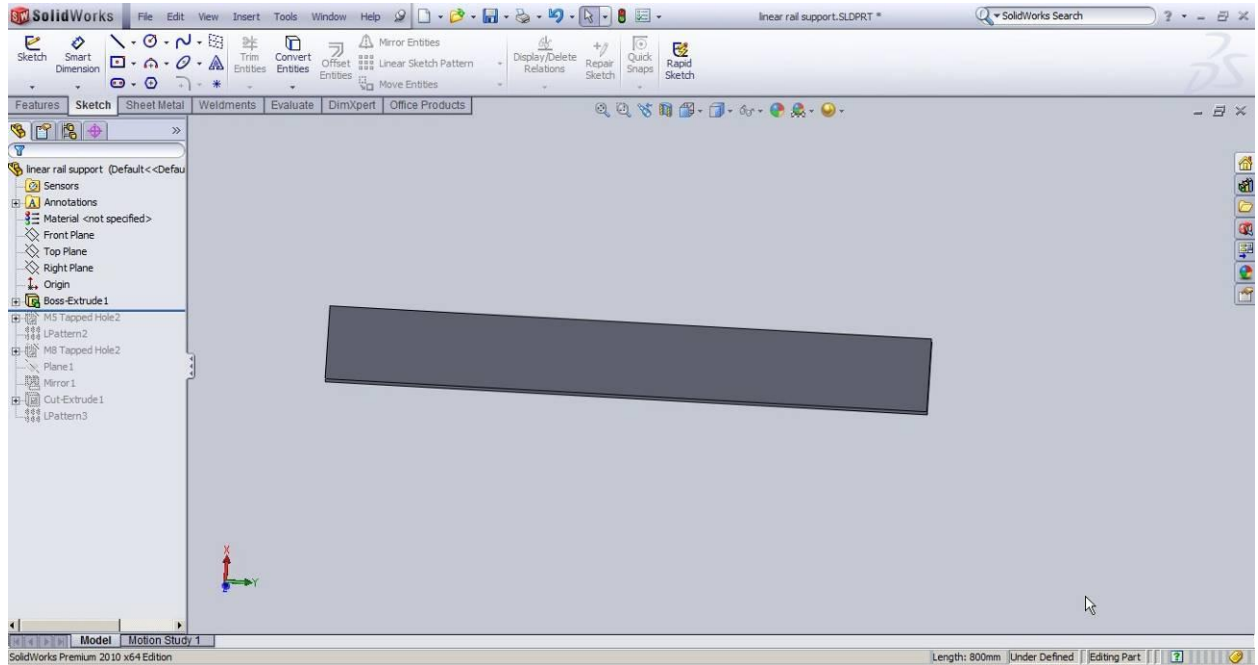
Σχήμα 2.23: Δημιουργία των άλλων οπών με εντολή αντιγραφής

Σε αυτές τις είκοσι τρεις εικόνες που προηγήθηκαν παρουσιάστηκαν τα βήματα σχεδιασμού του τρισδιάστατου εξαρτήματος. Παρακάτω θα ακολουθήσει μια ακόμη σύντομη παρουσίαση με εικόνες από τον σχεδιασμό ενός άλλου εξαρτήματος. Το εξάρτημα αυτό είναι το linear rail support, όπως ονομάζεται και στα σχέδια του παραρτήματος. Η διαδικασία σχεδιασμού του linear rail support είναι ίδια όπως και του προηγούμενου εξαρτήματος.



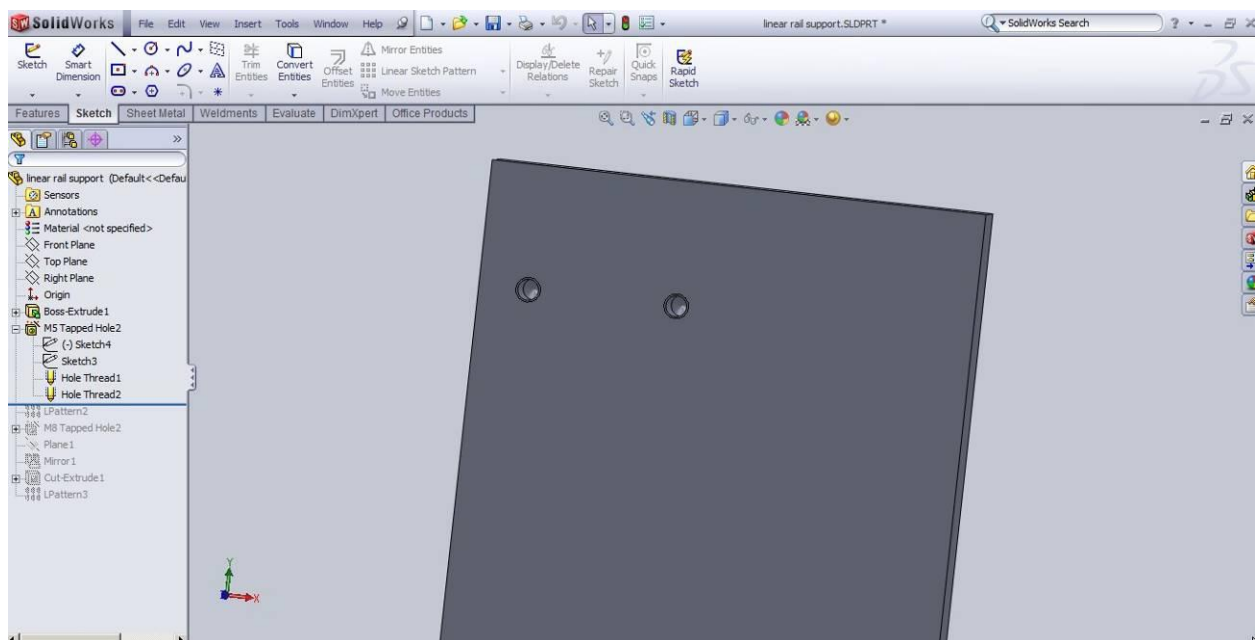
Σχήμα 2.24: Διαστασιολόγηση των εξωτερικών διαστάσεων

Αρχικά σχεδιάζουμε το περίγραμμα με τις εξωτερικές διαστάσεις που θέλουμε να δώσουμε στο εξαρτημά μας. Μετά δίνουμε όγκο όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα 2.2

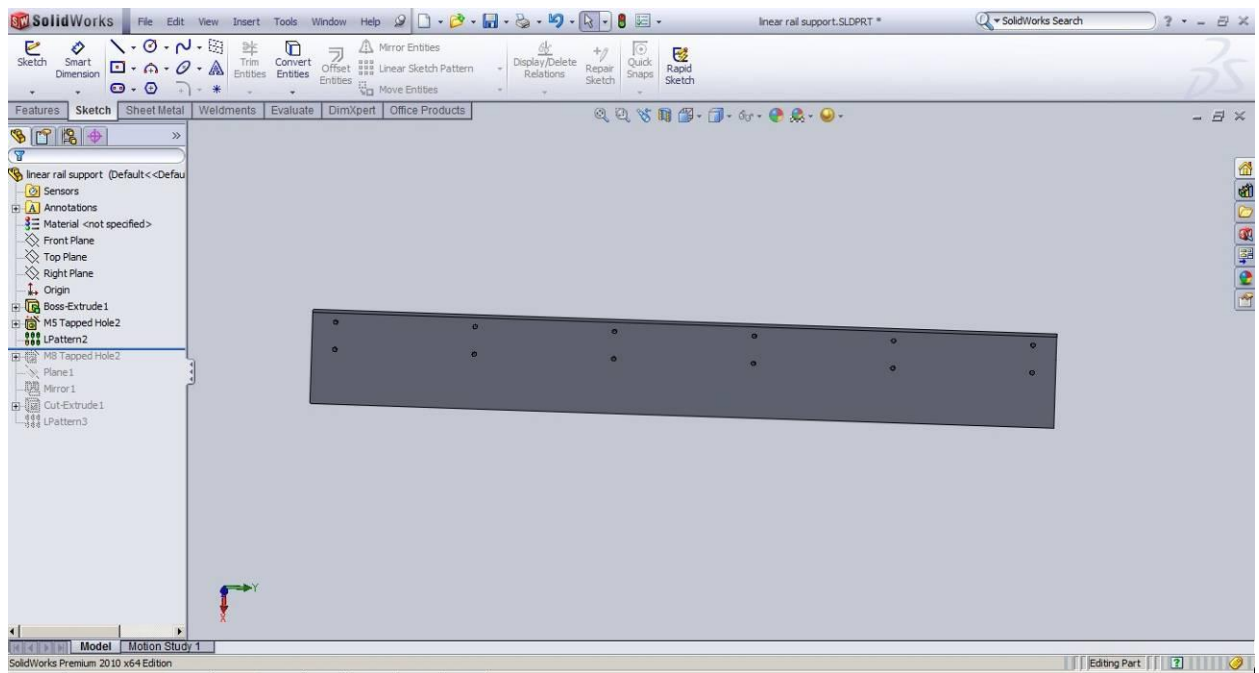


Σχήμα 2.25: Δημιουργία όγκου με τις επιθυμητές διαστάσεις

Μετά δημιουργούμε δύο οπές στην κατάλληλη θέση και μετά με μία εντολή δημιουργούμε και τις υπόλοιπες οπές κατά μήκος του εξαρτηματός μας.

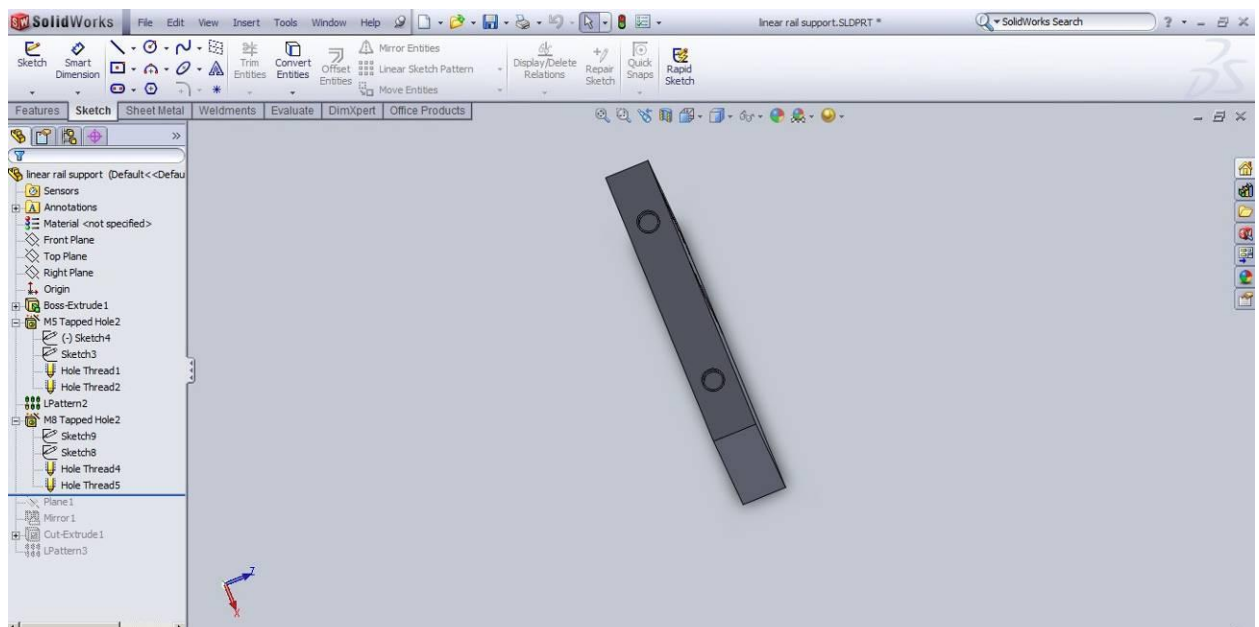


Σχήμα 2.26: Δημιουργία των δύο οπών

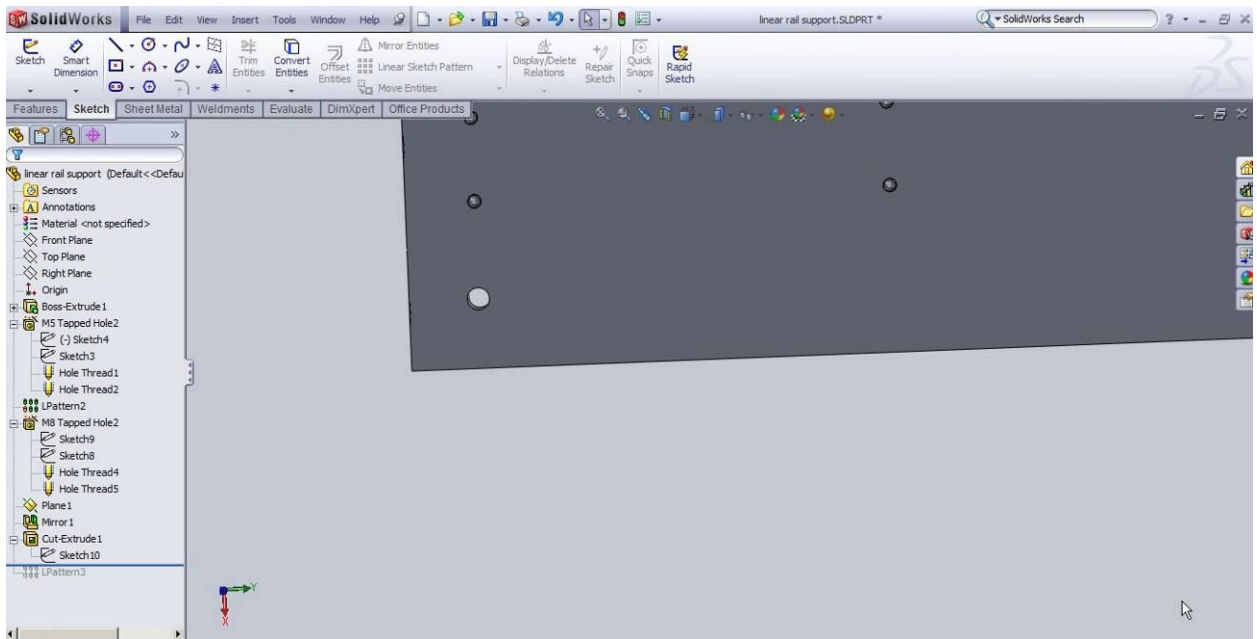


Σχήμα 2.27: Δημιουργία των υπολοίπων οπών με εντολή αντιγραφής

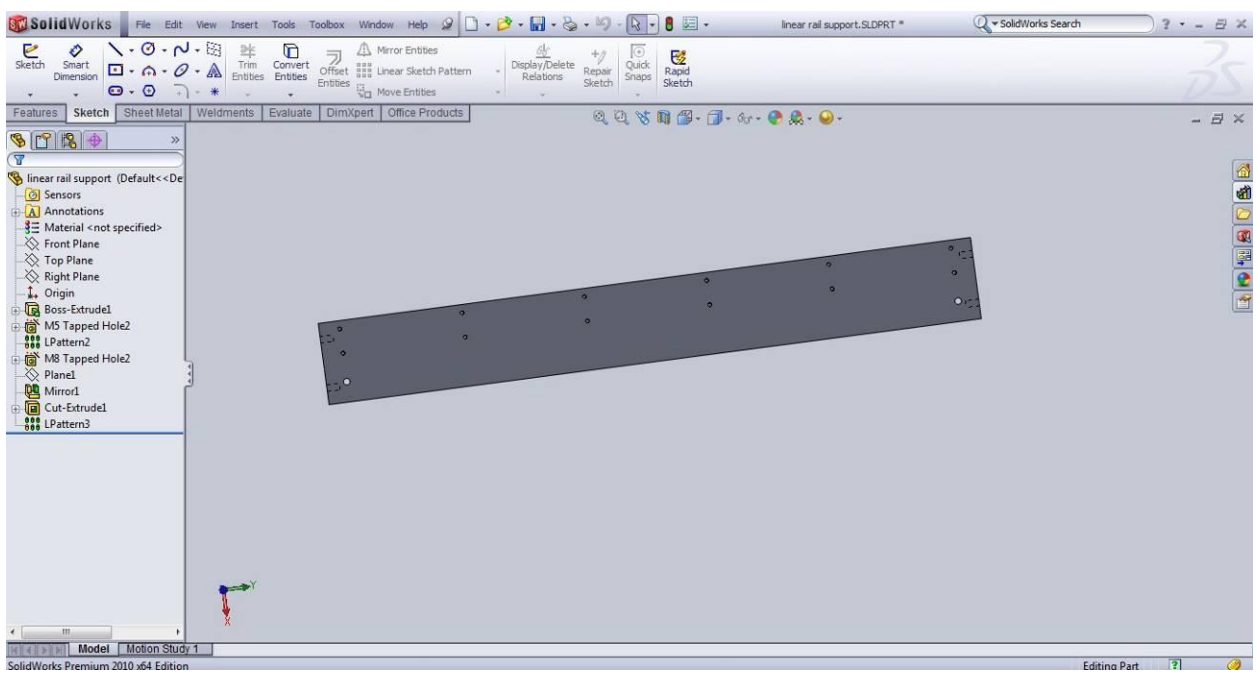
Στη συνέχεια φαίνεται στις εικόνες και η δημιουργία των υπολοίπων οπών επάνω στο τεμάχιο.



Σχήμα 2.28: Δημιουργία οπών σε άλλη επιφάνεια



Σχήμα 2.29: Δημιουργία διαμπερής οπής

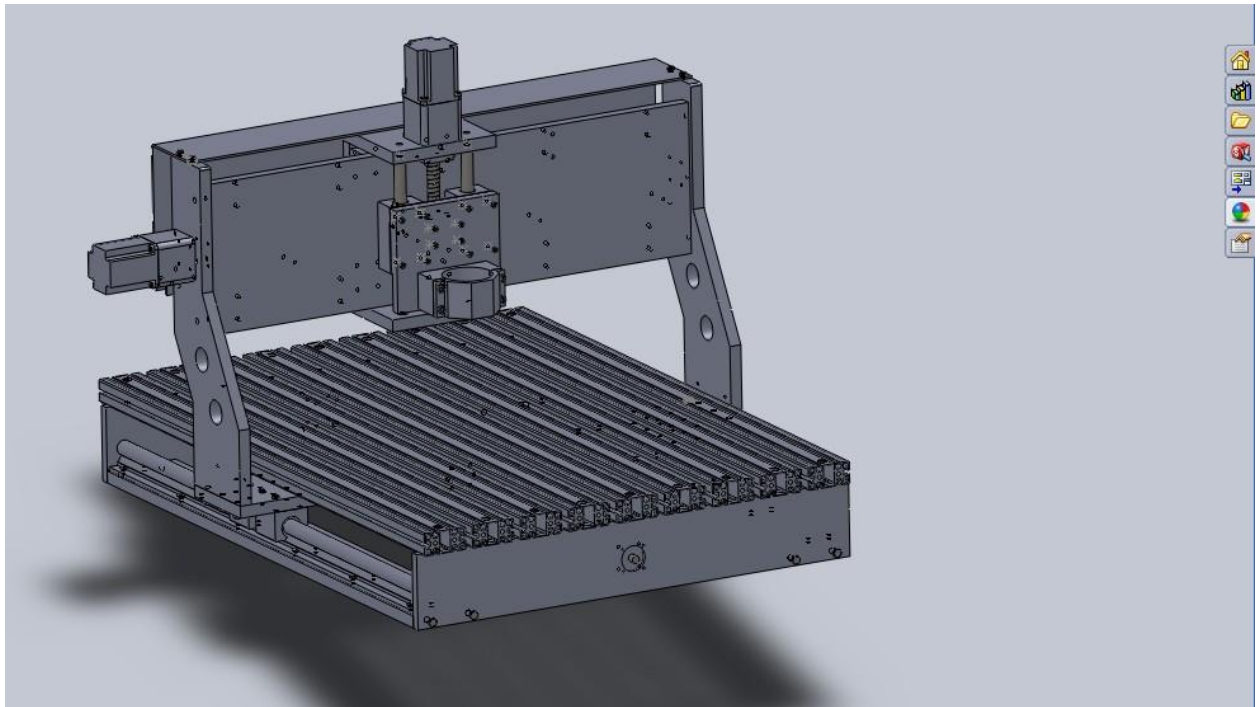


Σχήμα 2.30: Δημιουργία της άλλης διαμπερής οπής με αντιγραφή

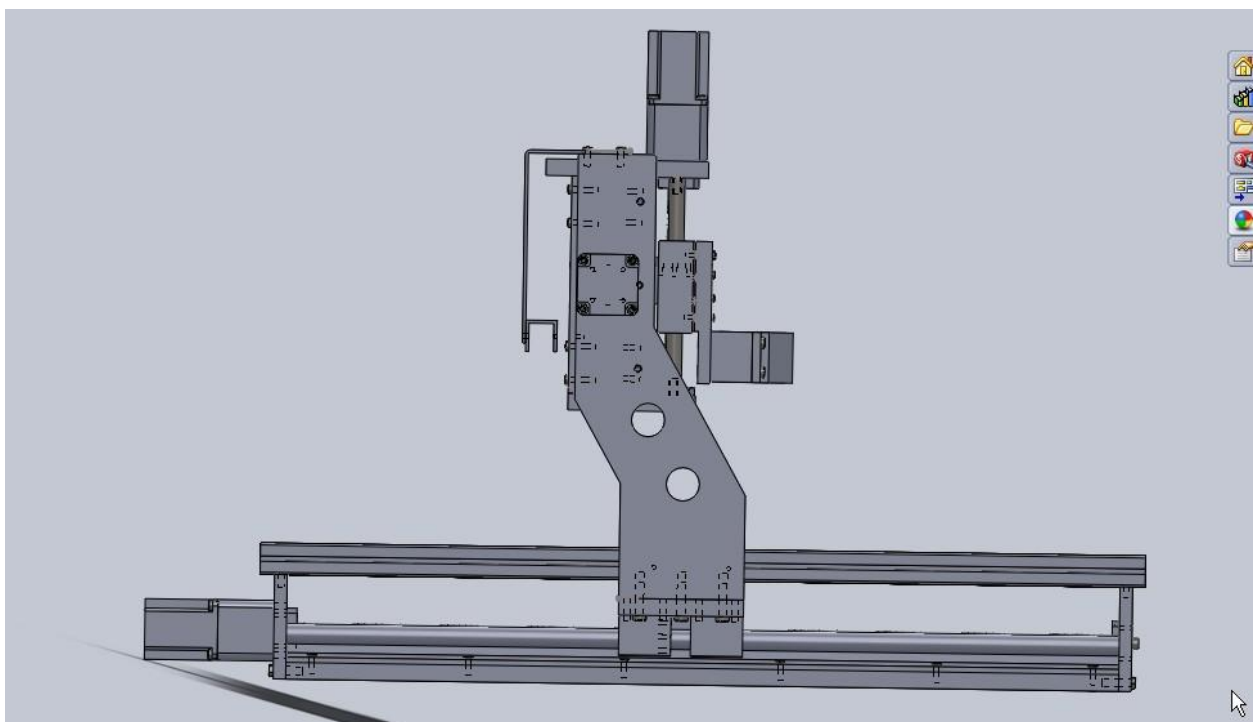
3. ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση και ανάλυση της κατασκευής, για να γίνει καλύτερα αντιληπτή η κίνηση που μπορεί να πραγματοποιεί σε κάθε άξονα. Η μηχανή έχει τρεις βαθμούς ελευθερίας. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να κάνει τρεις κινήσεις στο χώρο. Οι κινήσεις αυτές είναι όλες γραμμικές. Οι κινήσεις αυτές εκτελούνται μέσω της περιστροφικής κίνησης ενός ηλεκτροκινητήρα, που την μεταφέρει στον κοχλία κίνησης. Στη συνέχεια ο κοχλίας κίνησης μετατρέπει την περιστροφική κίνηση σε γραμμική. Έτσι η γραμμική κίνηση προκαλεί μια αξονική δύναμη που εξαρτάται από την ροπή του κινητήρα και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοχλία. Η αξονική δύναμη που προκαλεί ο κοχλίας μεταφέρεται στο περικόχλιο. Επειδή ο κοχλίας είναι εδρασμένος επάνω στην κατασκευή και δεν μπορεί να κινηθεί αξονικά παρά μόνο περιστροφικά, η αξονική δύναμη μεταφέρεται στο περικόχλιο που είναι συνδεδεμένο με τον κοχλία. Το περικόχλιο είναι συνδεδεμένο με ένα εξάρτημα που μπορεί μαζί με τις συνδέσεις άλλων εξαρτημάτων να κινούνται γραμμικά. Έτσι η ροή δύναμης από τον κοχλία στο περικόχλιο και στη συνέχεια στα άλλα συνδεδεμένα εξαρτήματα προκαλεί ευθύγραμμη κίνηση. Στις αναλύσεις που θα ακολουθήσουν θα δειχθεί με εικόνες η κίνηση που εκτελεί η μηχανή σε κάθε άξονα. Στην ανάλυση για κάθε κίνηση θα υπάρχουν τα εξαρτήματα που είναι απαραίτητα για να πραγματοποιηθεί η αντίστοιχη κίνηση.

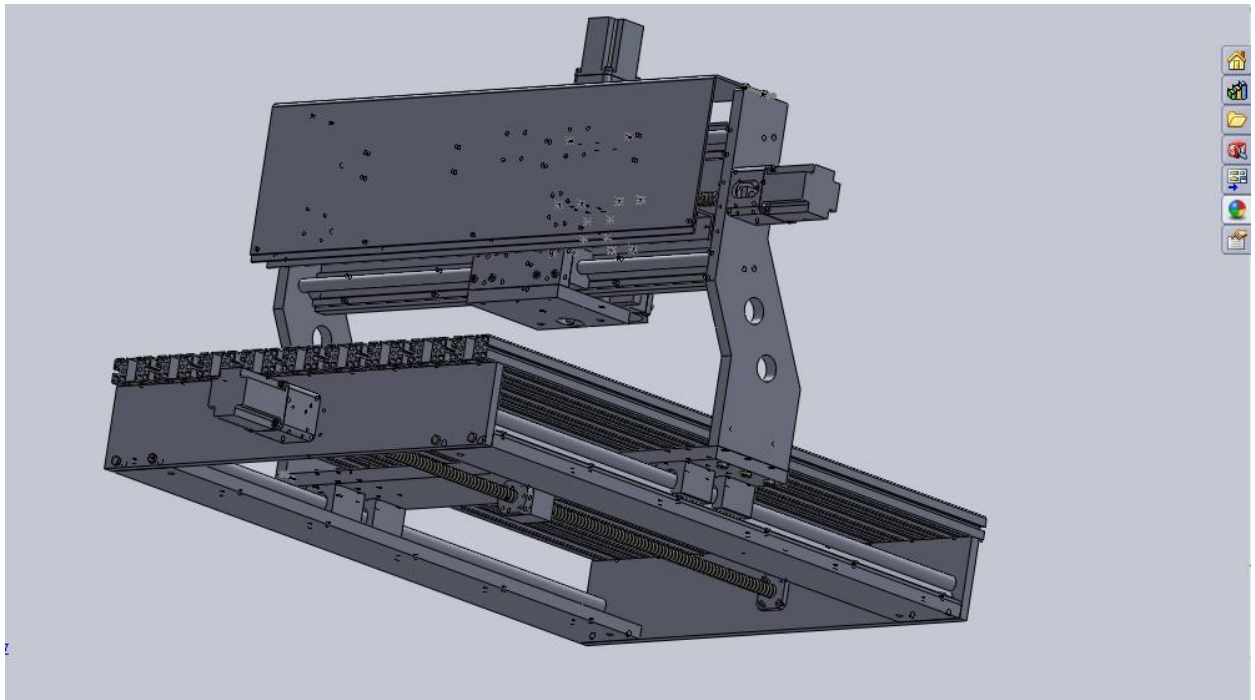
3.1 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ



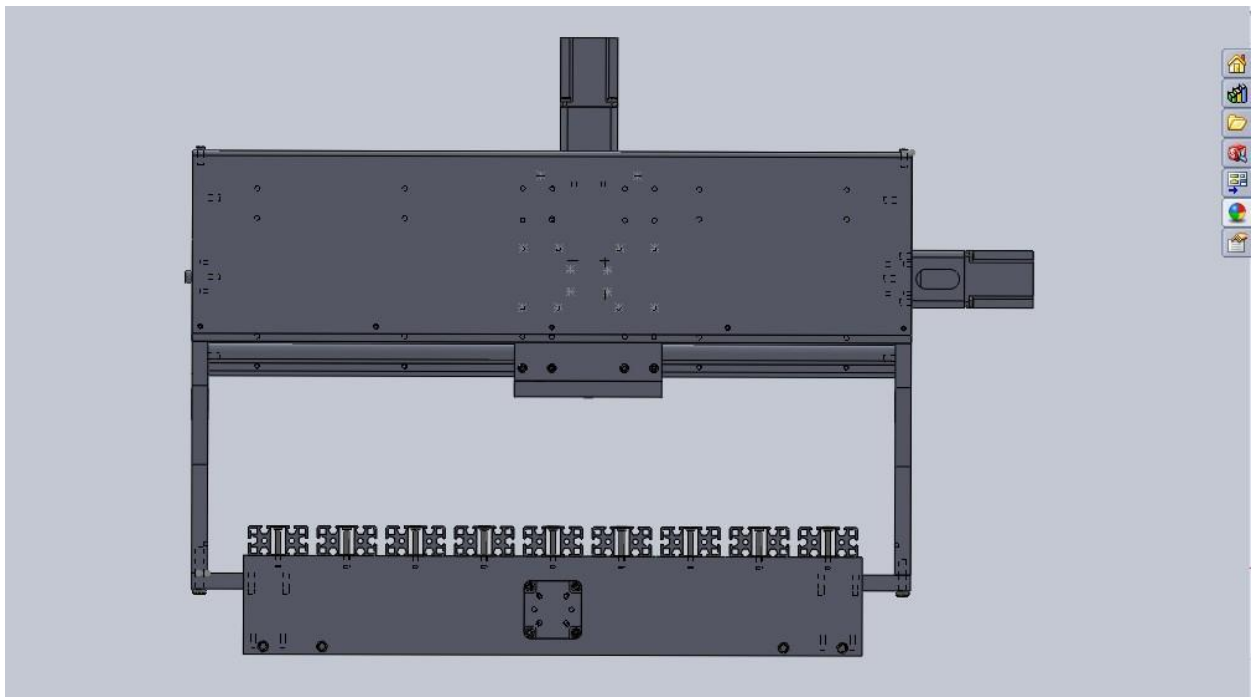
Σχήμα 3.1 Τρισδιάστατο μοντέλο κατασκευής



Σχήμα 3.2 Πλάγια όψη του μοντέλου



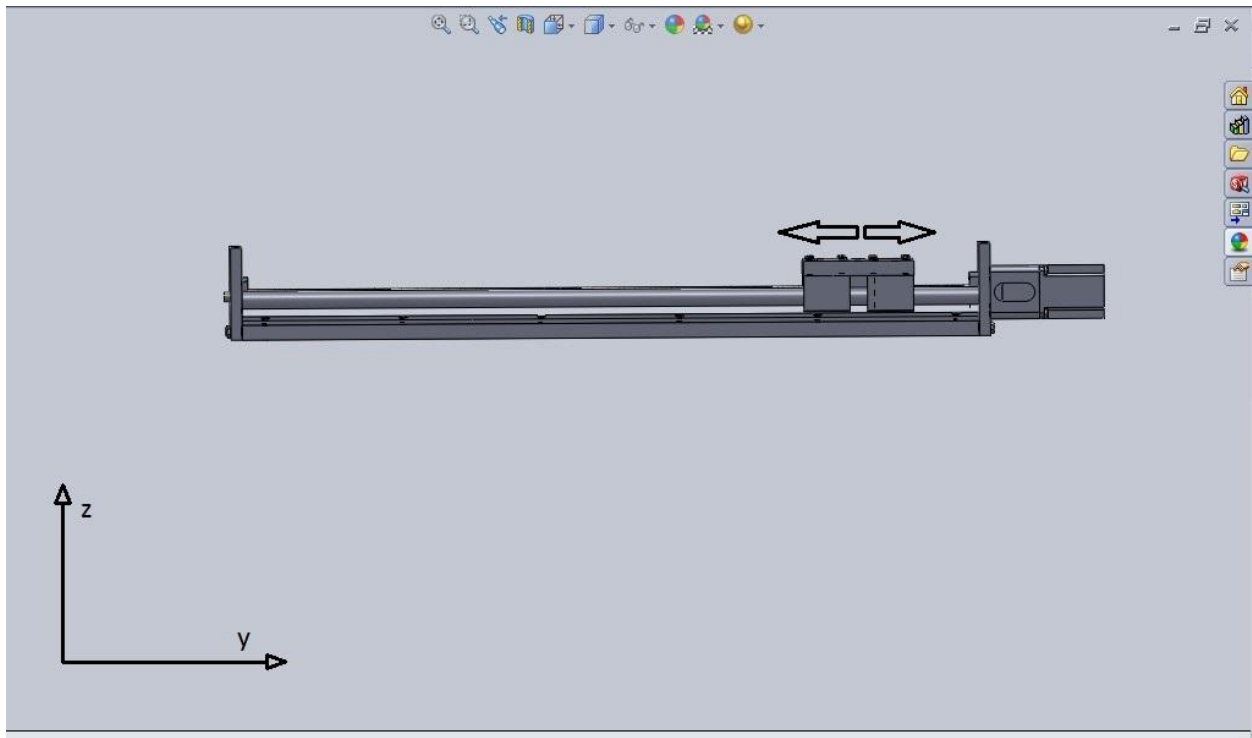
Σχήμα 3.3 Άλλη αξονομετρική όψη



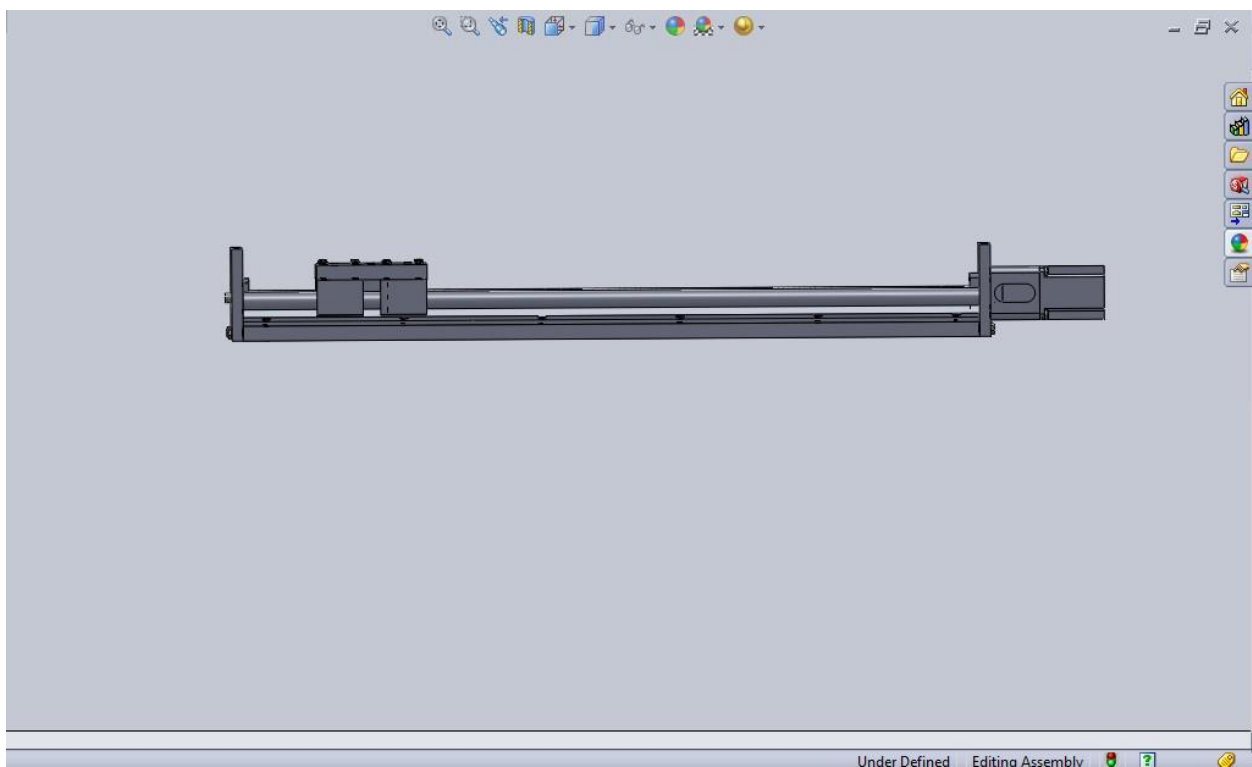
Σχήμα 3.4 Πίσω όψη του μοντέλου

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ ΠΟΥ ΕΚΤΕΛΕΙ Η ΜΗΧΑΝΗ ΣΕ ΚΑΘΕ ΑΞΟΝΑ

ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Y

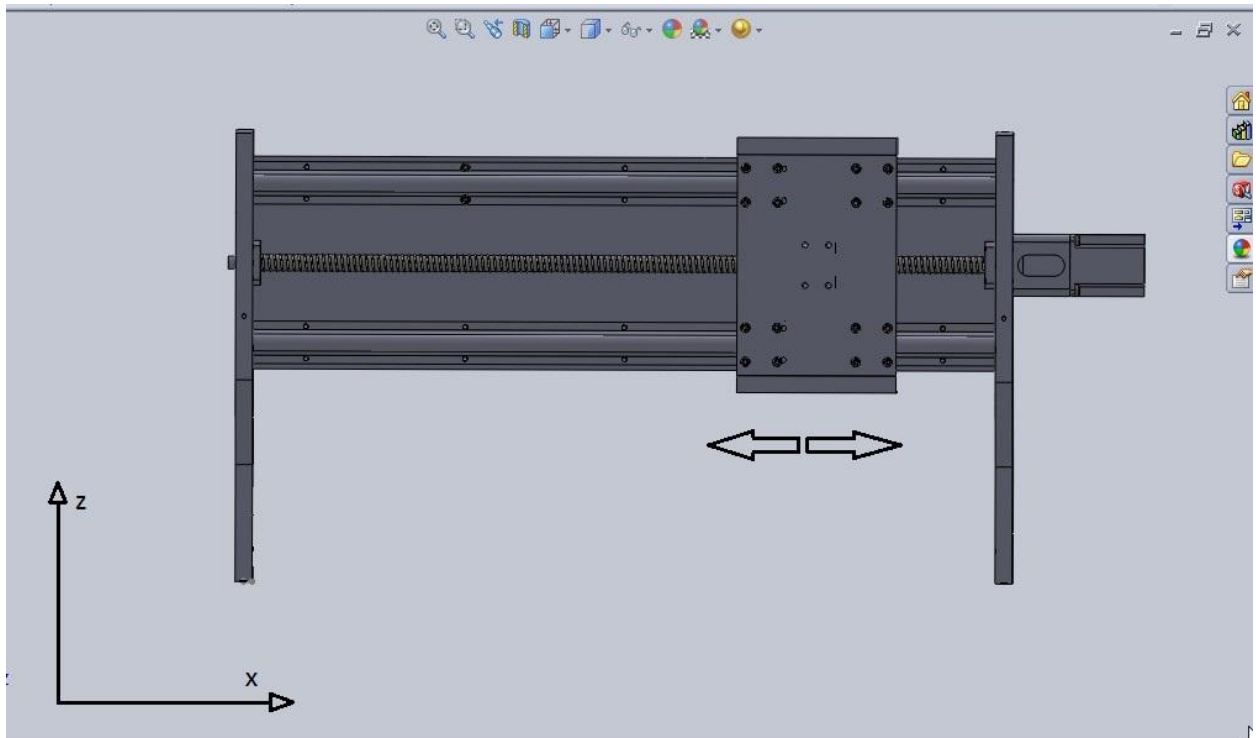


Σχήμα 3.5 Κίνηση στον άξονα y

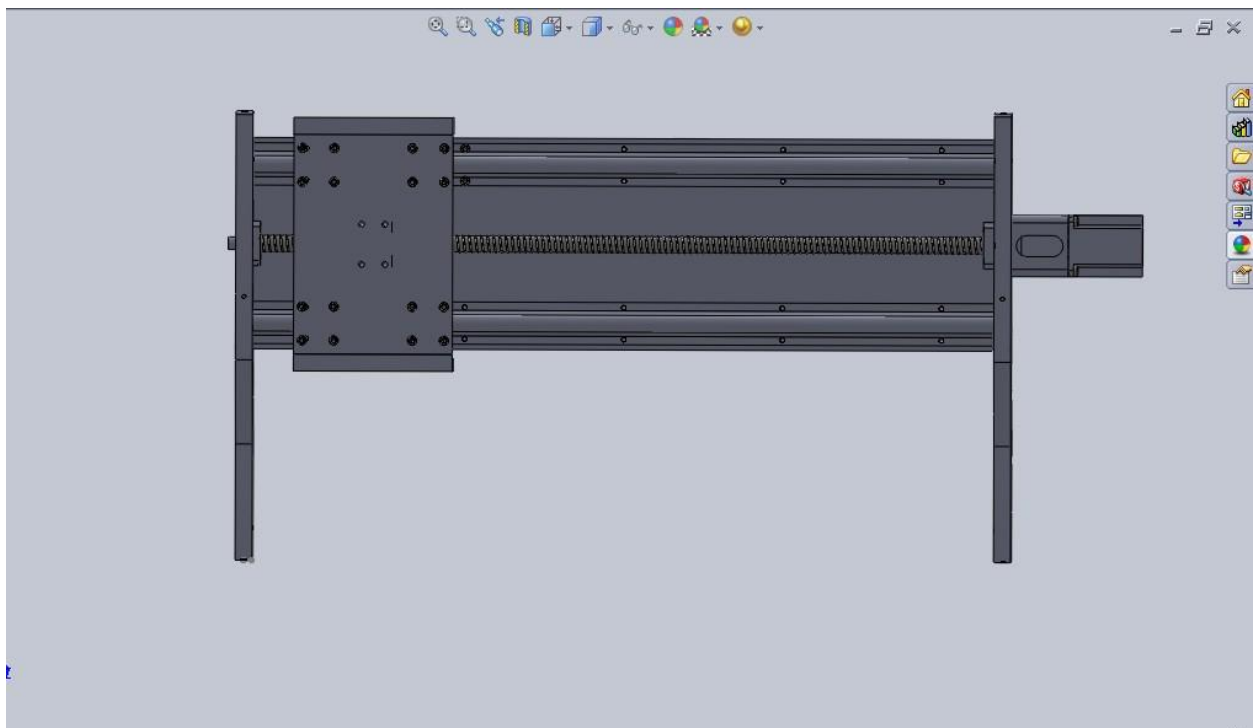


Σχήμα 3.6 Κίνηση στον άξονα y στην άλλη ακραία θέση του

ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Χ

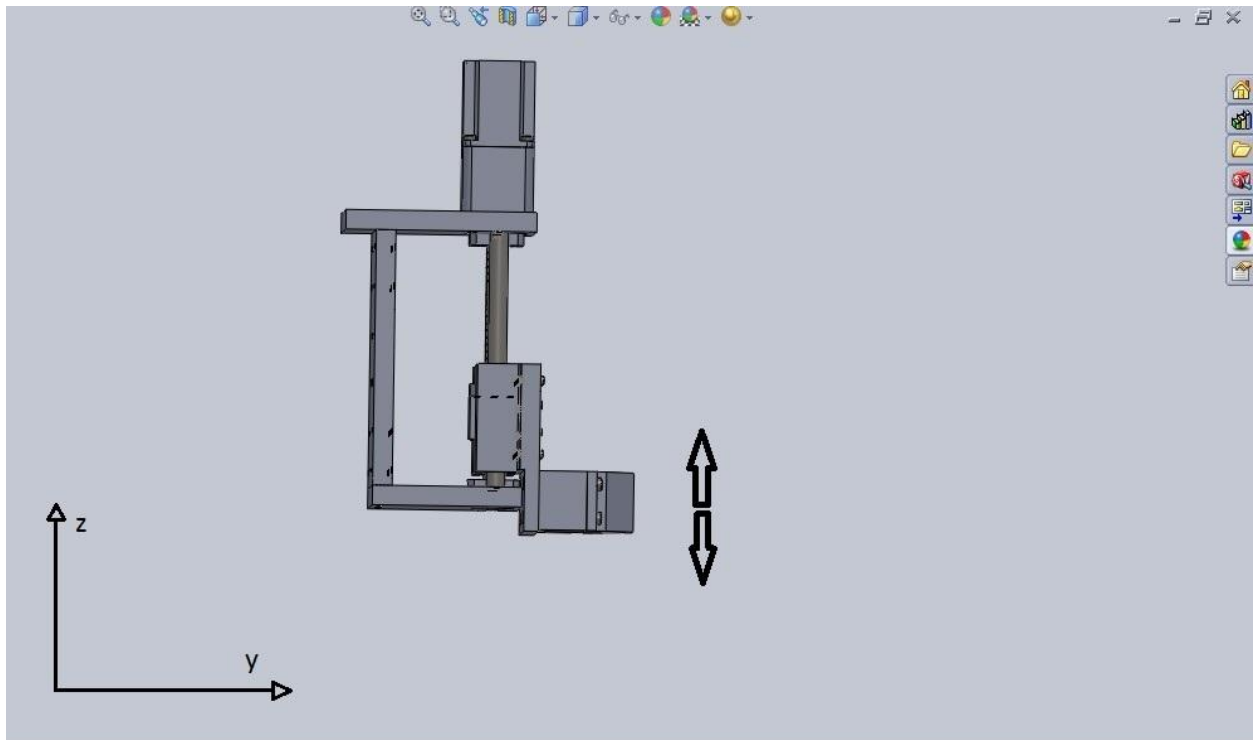


Σχήμα 3.7 Κίνηση στον άξονα χ

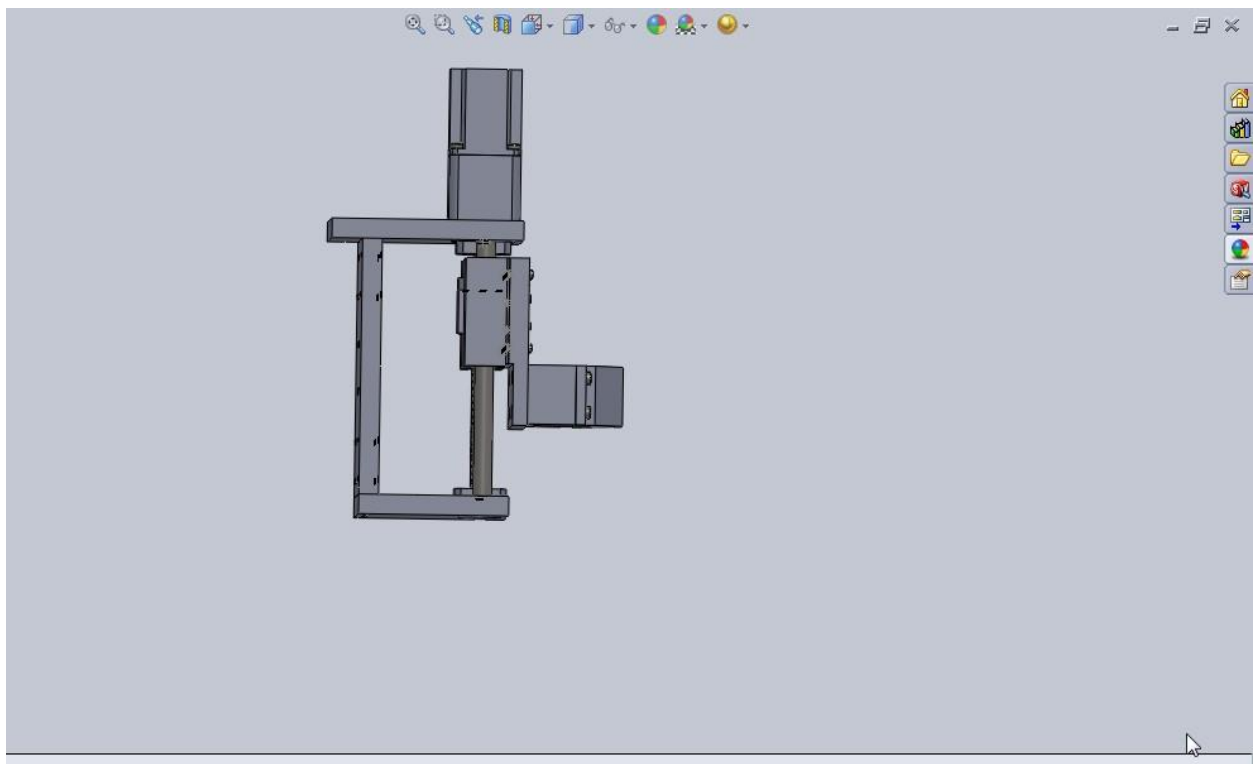


Σχήμα 3.8 Κίνηση στον άξονα χ στην άλλη ακραία θέση του

ΚΙΝΗΣΗ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Z



Σχήμα 3.9 Κίνηση στον άξονα Z



Σχήμα 3.10 Κίνηση στον άξονα Z στην άλλη ακραία θέση του

4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΟΧΛΙΕΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΕΩΣ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί ο τρόπος υπολογισμού των αξονικών δυνάμεων στους κοχλίες κίνησης, σύμφωνα με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους και την ονομαστική ισχύ των ηλεκτροκινητήρων. Στους άξονες x και y έχουμε κινητήρες με ίδια ροπή στρέψης όπως και ίδιους κοχλίες, οπότε η αξονική δύναμη στους άξονες αυτούς είναι ίδια. Για το μέγεθος της αξονικής δύναμης εκτός από την ροπή στρέψης των κινητήρων παίζει μεγάλο ρόλο και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κοχλία.

4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΟΥΣ ΑΞΟΝΕΣ X ΚΑΙ Y

Σύμφωνα με την θεωρία των στοιχείων μηχανών, ο τύπος για τον υπολογισμό της αξονικής δύναμης που δημιουργεί ο κοχλίας με μια μία ορισμένη ροπή στρέψης είναι ο

εξής : $F_v = \frac{M_{an}}{\frac{d_2}{2} * (\frac{p}{\pi * d_2} + \frac{\mu}{\cos \beta_1})}$. Το F_v είναι η αξονική δύναμη, το M_{an} είναι η ροπή

στρέψης του κινητήρα το d_2 είναι η μέση διάμετρος του σπειρώματος. Το p είναι το βήμα του κοχλία, το μ είναι ο συντελεστής τριβής και το β_1 είναι η γωνία παρειάς του δοντιού στο σπείρωμα. Στους άξονες x και y οι κινητήρες είναι βηματικοί και ο τύπος τους είναι Nema 23-400 ο οποίος αποδίδει ροπή στρέψης $M_{an}=2.82 \text{ Nm}$. Ο τύπος του κοχλία κίνησης είναι 1605. Το βήμα του κοχλία είναι $p=5 \text{ mm}$. Η μέση διάμετρος του

είναι $d_2 = \frac{d_{εξ} + d_{εσ}}{2} = \frac{(16+13,5) \text{ mm}}{2} = \rightarrow d_2 = 14.75 \text{ mm}$. Το $d_{εξ}$ είναι η εξωτερική

διάμετρος του κοχλία και το $d_{εσ}$ είναι η εσωτερική διάμετρος του κοχλία. Η γωνία β για τραπεζοειδή σπειρώματα είναι $\beta=15$ μοίρες και ο συντελεστής τριβής είναι $\mu=0.001$.

Έτσι η $F_v = \frac{2820 \text{ Nmm}}{\frac{14,75 \text{ mm}}{2} * (\frac{5 \text{ mm}}{\pi * 14,75} + \frac{0,001}{\cos 15})} \rightarrow F_v = 3335.8 \text{ N}$. Έτσι προκύπτει ότι η αξονική

δύναμη στον άξονα x και y είναι 3335.8 N (Newton).

4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ Z

Σε αυτόν τον άξονα ο βηματικός κινητήρας έχει μικρότερη ροπή στρέψης. Ο τύπος του είναι Nema 23-280. Ο κινητήρας αυτός αποδίδει ροπή 1.98 Nm. Ο κοχλίας κίνησης είναι ίδιος όπως και στους άλλους άξονες. Για τον υπολογισμό της δύναμης θα χρησιμοποιήσουμε την ίδια σχέση όπως και για τους άλλους άξονες. Στην σχέση υπολογισμού αυτή τη φορά θα αλλάξει μόνο η ροπή στρέψης του κινητήρα ενώ τα υπόλοιπα μεγέθη θα παραμείνουν ίδια. Έτσι Εφαρμόζοντας την σχέση προκύπτει η

$$\text{δύναμη } F_v = \frac{1,98 \text{ Nm}}{\frac{14,75 \text{ mm}}{2} * \left(\frac{5 \text{ mm}}{\pi * 14,75} + \frac{0,001}{\cos 15} \right)} \rightarrow F_v = 2464.5 \text{ N.}$$
 Όπως είναι λογικό η αξονική

δύναμη στον άξονα Z είναι μικρότερη από τους άλλους δύο άξονες, αφού ο κινητήρας έχει μικρότερη ροπή.

5. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ

5.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ

Ο λυγισμός είναι το φαινόμενο κατά το οποίο μια ράβδος ή άτρακτος με μικρή διατομή και μεγάλο μήκος δέχεται θλιπτικό φορτίο και παραμορφώνεται παίρνοντας μορφή τόξου. Ο έλεγχος σε λυγισμό θα γίνει για τον κοχλία στον άξονα y διότι έχει το μεγαλύτερο μήκος από τους άλλους και κινδυνεύει περισσότερο για το φαινόμενο του λυγισμού. Το κρίσιμο φορτίο το οποίο αντέχει ο κοχλίας δίνεται από τον τύπο: $R_{kr} =$

$$\frac{\pi^2 * E * A}{\lambda^2}, \text{ όταν } \lambda_c \leq \lambda \text{ όπου } \lambda \text{ είναι ο βαθμός λυγηρότητας, } E \text{ είναι το μέτρο ελαστικότητας}$$

του υλικού (για χάλυβα $E=210 \text{ GPa}$) και το A είναι η επιφάνεια διατομής. Το λ_c

προκύπτει από τον τύπο $\lambda_c = \pi * \sqrt{\frac{2 * E}{s_y}}$, όπου s_y είναι το όριο διαρροής του υλικού (για το

υλικό του κοχλίας της περίπτωσης μας είναι $s_y = 205 \text{ MPa}$). Οπότε το $\lambda_c = \pi *$

$$\sqrt{\frac{2 * 210 * 10^9 \text{ [Pa]}}{205 * 10^6 \text{ [Pa]}}} \rightarrow \lambda_c = 142.12. \text{ Το } \lambda \text{ του κοχλίας υπολογίζεται από την σχέση } \lambda = m \frac{l}{r},$$

όπου m είναι ένας συντελεστής που εξαρτάται από τον τρόπο έδρασης (στην

περίπτωση μας $m=1$), το I είναι το μήκος του κοχλίας (ο κοχλίας στον άξονα y είναι $I = 0.785 \text{ m}$) και r είναι η ακτίνα αδράνειας. Η ακτίνα αδράνειας υπολογίζεται από τον τύπο:

$r = \sqrt{\frac{I}{A}}$. Το I είναι η αδράνεια του κοχλίας. Η αδράνεια του κοχλίας υπολογίζεται από την

σχέση $I = \frac{\pi \cdot r^4}{4} = \frac{\pi \cdot 0.00675^4}{4} \rightarrow I = 1.63 \cdot 10^{-9} \text{ m}^4$. Η επιφάνεια διατομής του κοχλίας είναι $A =$

$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0.0135^2 \text{ m}^2}{4} \rightarrow A = 1.43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$. Αφού υπολογίσαμε και την επιφάνεια διατομής

μπορούμε να υπολογίσουμε την ακτίνα αδράνειας. Έτσι $r = \sqrt{\frac{1.63 \cdot 10^{-9}}{1.43 \cdot 10^{-4}}} \rightarrow r =$

0.00337 . Τώρα αφού υπολογίσαμε και την ακτίνα αδράνειας μπορούμε να υπολογίσουμε και τον βαθμό λυγηρότητας, οπότε $\lambda = m \cdot \frac{l}{r} = 1 \cdot \frac{0.785 \text{ m}}{0.00337 \text{ m}} \rightarrow \lambda = 232,9$.

Αφού έχουμε βρει και το λ μπορούμε να υπολογίσουμε το κρίσιμο φορτίο. Οπότε το

κρίσιμο φορτίο είναι $P_{\text{κρ}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210 \cdot 10^9 \cdot 1,43 \cdot 10^{-4}}{232,93^2} \rightarrow P_{\text{κρ}} = 5457,1 \text{ N}$. Με

αυτό το φορτίο ο κοχλίας αντέχει σε λυγισμό αφού $P_{\text{κρ}} > P_{\text{εφ}}$ όπου το $P_{\text{εφ}} = 3335,8 \text{ N}$.

5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΚΟΧΛΙΑ ΣΕ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟ

Το φαινόμενο του εφελκυσμού είναι φόρτιση που καταπονεί πολύ τους κοχλίες. Η σχέση που μπορούμε να υπολογίσουμε το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο ώστε να αντέχει στον εφελκυσμό είναι η εξής: $F_{\text{εφ}} \leq \sigma_{\text{επ}} \cdot A_{\text{κ}}$. Το $\sigma_{\text{επ}}$ είναι η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση του κοχλίας που μπορεί να εφαρμοστεί σε αυτόν. Η επιτρεπόμενη τάση προκύπτει από τον λόγο του ορίου διαρροής του υλικού προς ένα συντελεστή ασφαλείας. Το όριο διαρροής του κοχλίας της κατασκευής είναι $S_y = 215 \text{ Mpa}$. Έτσι το

$\sigma_{\text{επ}} = \frac{\sigma_y}{2} = \frac{215}{2} \rightarrow \sigma_{\text{επ}} = 107,5 \text{ Mpa}$. Το $A_{\text{κ}}$ είναι η επιφάνεια διατομής του κοχλίας και είναι

$A_{\text{κ}} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0.0135^2}{4} \rightarrow A_{\text{κ}} = 0,000143 \text{ m}^2$. Αφού έχουν υπολογισθεί και τα δύο μεγέθη

μπορεί να υπολογισθεί το μέγιστο φορτίο που μπορεί να εφαρμοστεί. Έτσι το $F_{\text{εφ}} \leq 105,5 \text{ Mpa} \cdot 0,000143 \text{ m}^2 \rightarrow F_{\text{εφ}} \leq 15093,5 \text{ N}$. Το μέγιστο αξονικό φορτίο που δέχεται ο κοχλίας στην κατασκευή είναι $3335,8 \text{ N}$ οπότε αντέχει τον εφελκυσμό.

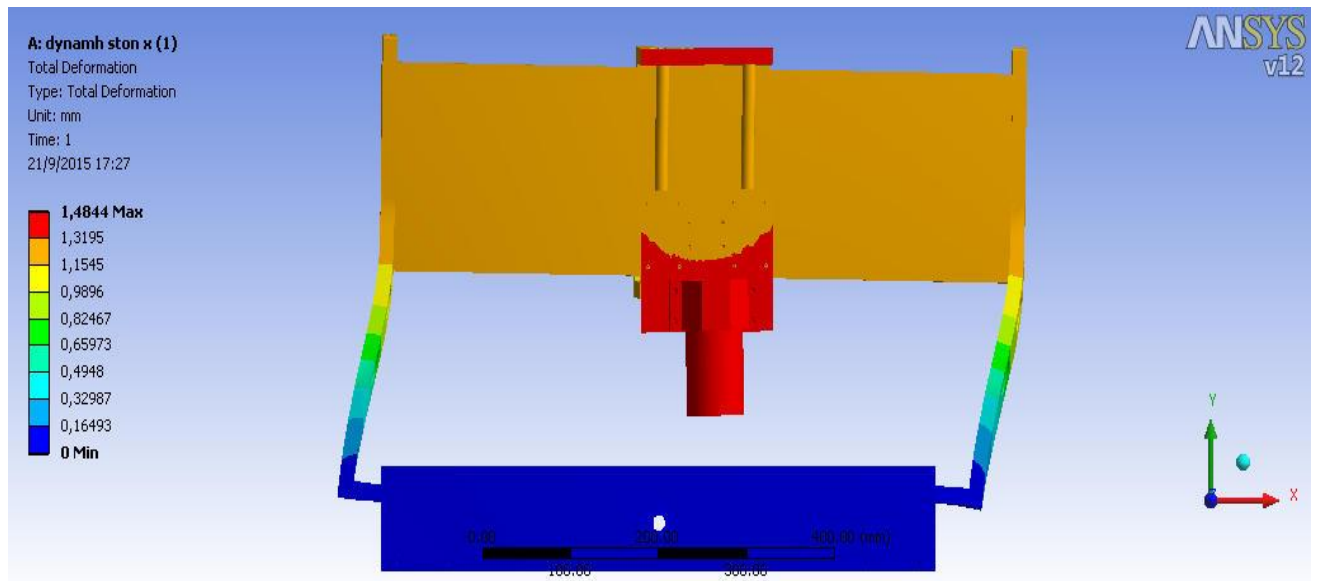
6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα εξετάσουμε την αντοχή της μηχανής με τα μέγιστα φορτία που μπορούν να εφαρμοστούν σύμφωνα με τις μέγιστες ονομαστικές ροπές των κινητήρων. Τα μέγιστα φορτία που μπορούν να εφαρμοστούν έχουν υπολογιστεί σε προηγούμενο κεφάλαιο και είναι 3335,8 Newton για τους άξονες x και y , ενώ για τον άξονα Z είναι 2464,5 Newton. Η ανάλυση των τάσεων και των παραμορφώσεων θα γίνει σε λογισμικό που χρησιμοποιεί την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Το λογισμικό αυτό είναι το Ansys. Η ανάλυση της μηχανής έγινε με τέσσερις συνθήκες εφαρμογής του φορτίου, όπου σε κάθε συνθήκη υπάρχουν δύο περιπτώσεις για το που βρίσκεται η συστοιχία του άξονα Z , όσον αφορά την διαδρομή που μπορεί να εκτελεί επάνω στους οδηγούς οδήγησης. Στις τρεις από τις τέσσερις συνθήκες έχουμε εφαρμογή της δύναμης στην κατεύθυνση ενός άξονα κάθε φορά και στη θέση που βρίσκεται το εργαλείο. Ενώ στην τέταρτη περίπτωση έχουμε ταυτόχρονη εφαρμογή του φορτίου στην κατεύθυνση του άξονα x και y . Η συστοιχία του άξονα Z στην μία περίπτωση θα βρίσκεται κάτω ακραία θέση από την διαδρομή λόγω του ότι είναι πιο επικίνδυνη από άνω ακραία θέση. Αυτό συμβαίνει διότι έχουμε πιο μεγάλη ροπή στρέψης λόγω μεγαλύτερης απόστασης από την εφαρμογή της δύναμης έως τα εξαρτήματα που συγκρατούν το κοπτικό εργαλείο. Στην άλλη περίπτωση θα βρίσκεται στη μέση της διαδρομής. Παρακάτω θα παρουσιαστούν εικόνες με τα αποτελέσματα από κάθε συνθήκη με τις δύο περιπτώσεις. Τα αποτελέσματα θα περιλαμβάνουν παραμορφώσεις, τάσεις και ανηγμένες παραμορφώσεις. Οι μονάδες μήκους για τις παραμορφώσεις είναι τα χιλιοστά (mm) ενώ οι μονάδες των τάσεων είναι μέγκα πασκάλ (Mpa). Σε κάθε εικόνα αναγράφονται επάνω αριστερά σε τι αναφέρεται (τάση ή παραμόρφωση) όπως επίσης μονάδες μέτρησις. Σε όλες τις εικόνες υπάρχει επίσης αριστερά μία κλίμακα που δείχνει με κάθε χρώμα μια συγκεκριμένη τιμή. Στο χρώμα του σκούρου μπλε είναι οι μικρότερες τιμές ενώ όσο ανοίγει το χρώμα αυξάνονται με το κόκκινο να έχει τις μέγιστες τιμές. Μια λεπτομέρεια που πρέπει να τονισθεί είναι ότι οι άξονες y και z στο λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων είναι ανάποδα. Ο άξονας z της μηχανής είναι στο λογισμικό ο άξονας y όπως και ο άξονας z στο λογισμικό είναι στην μηχανή ο άξονας y .

6.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Χ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΤΡΩΤΗ: Η ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Ζ (Υ ΣΤΟ ANSYS) ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ ΑΚΡΑΙΑ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

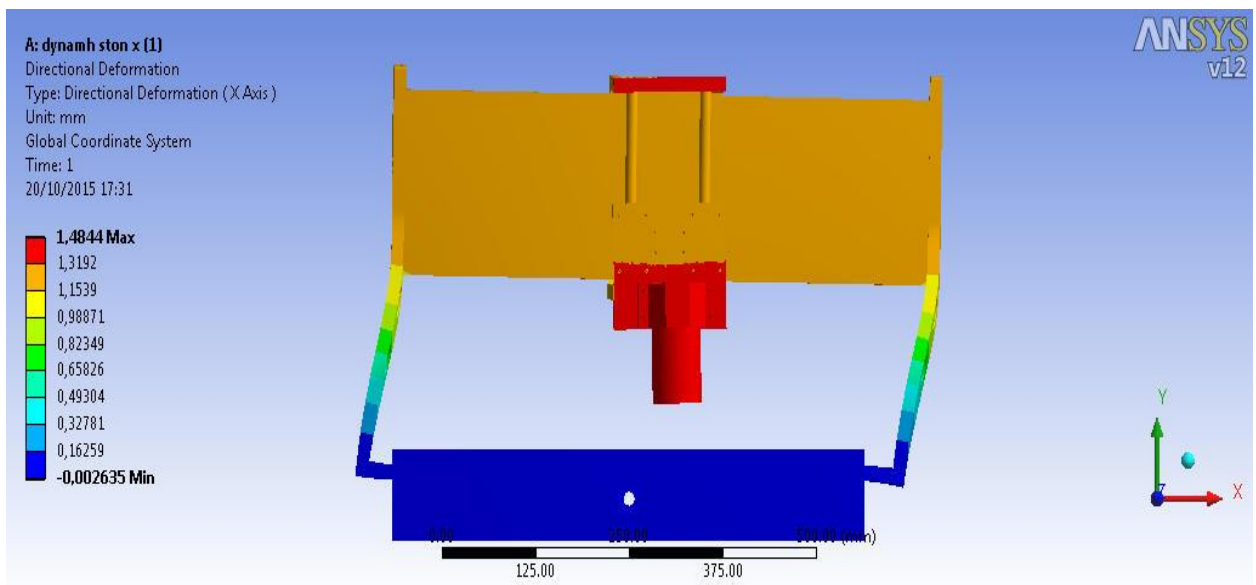
ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ



Σχημα 6.1 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμη στην διεύθυνση του άξονα χ

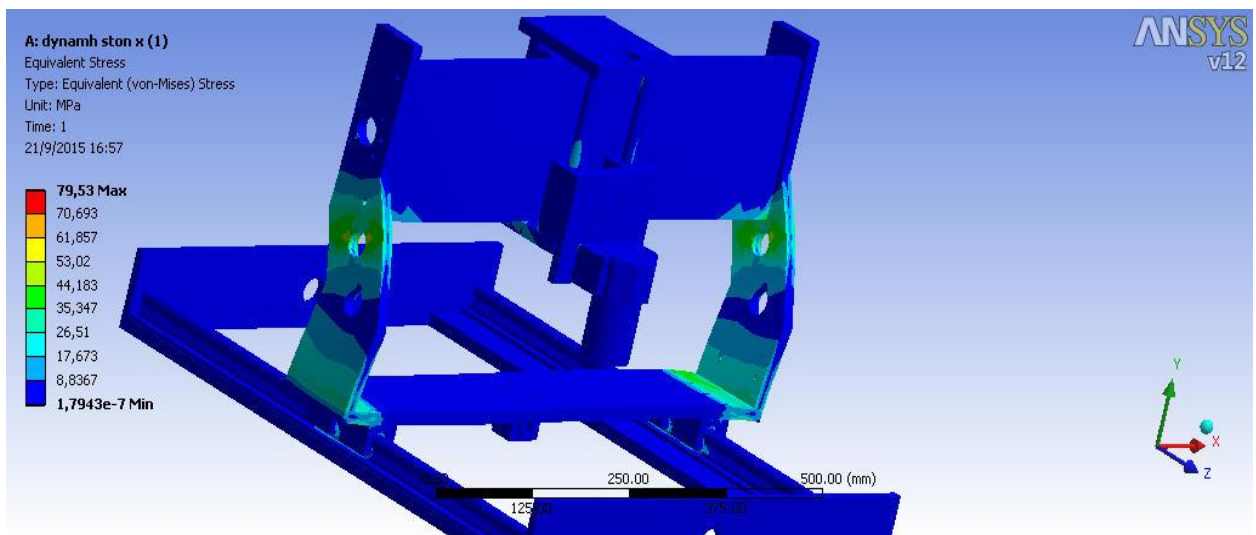
Όπως βλέπουμε η μέγιστη παραμόρφωση είναι 1,4844 mm στην κόκκινη περιοχή και η μετατόπιση γίνεται στην διεύθυνση του x.

ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Χ

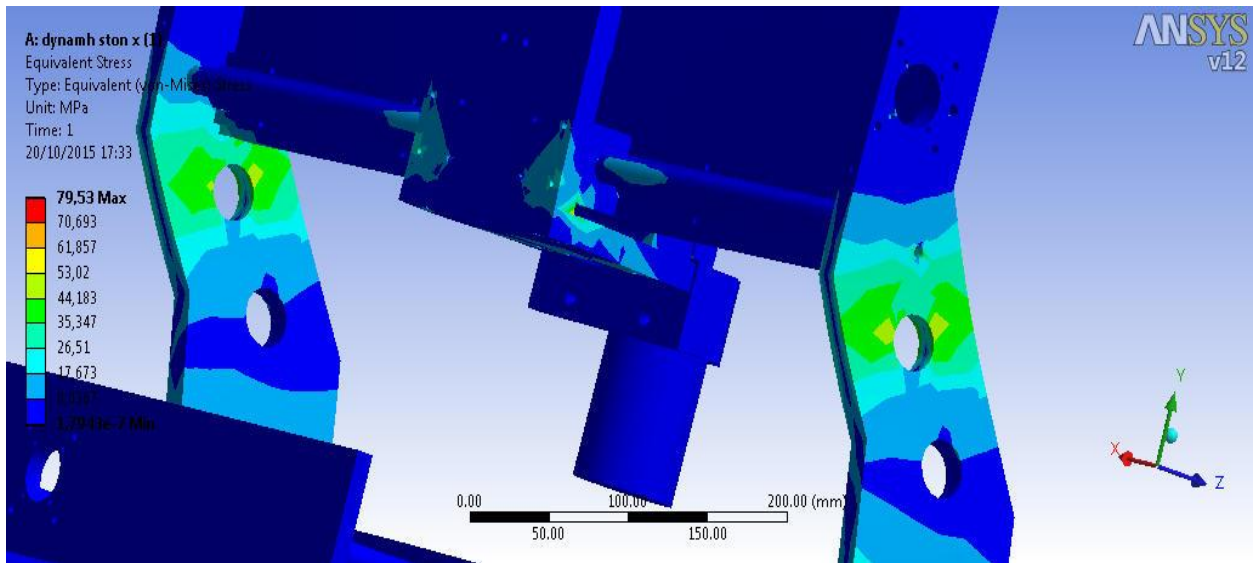


Σχήμα 6.2 Παραμόρφωση στην κατεύθυνση του άξονα χ από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ

ΤΑΣΕΙΣ

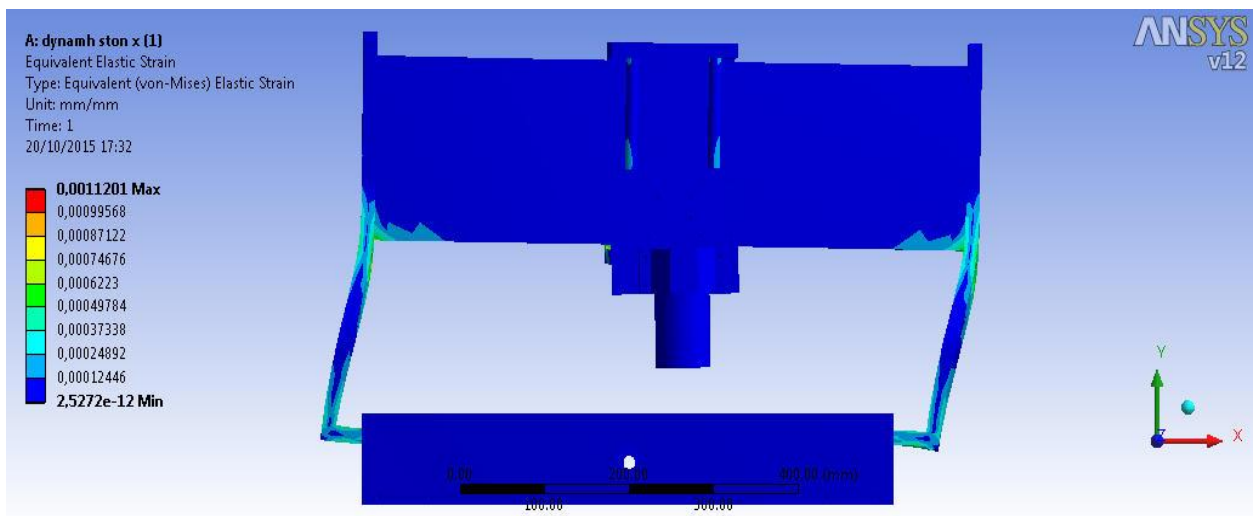


Σχήμα 6.3 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ



Σχήμα 6.4 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ

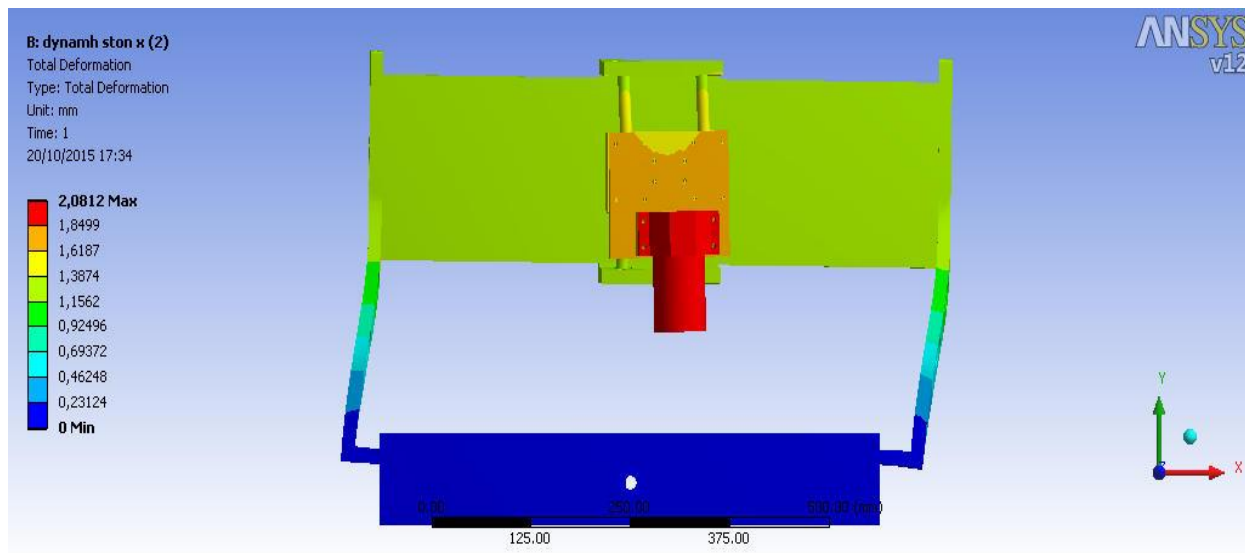
ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ



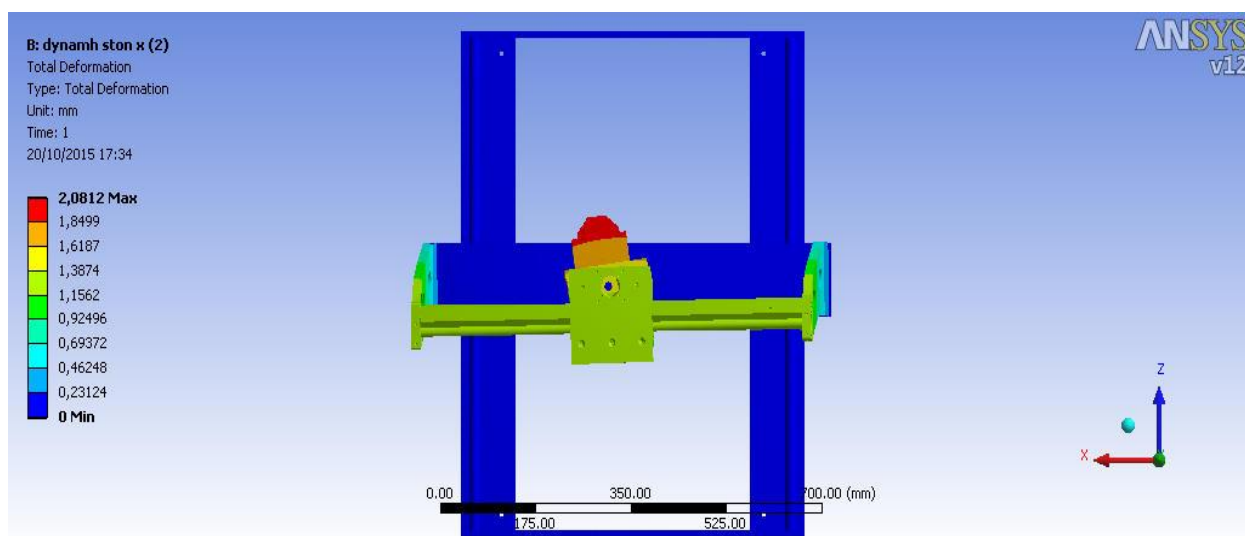
Σχήμα 6.5 Ανηγμένη παραμόρφωση με την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗ: Η ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Z ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΜΕΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

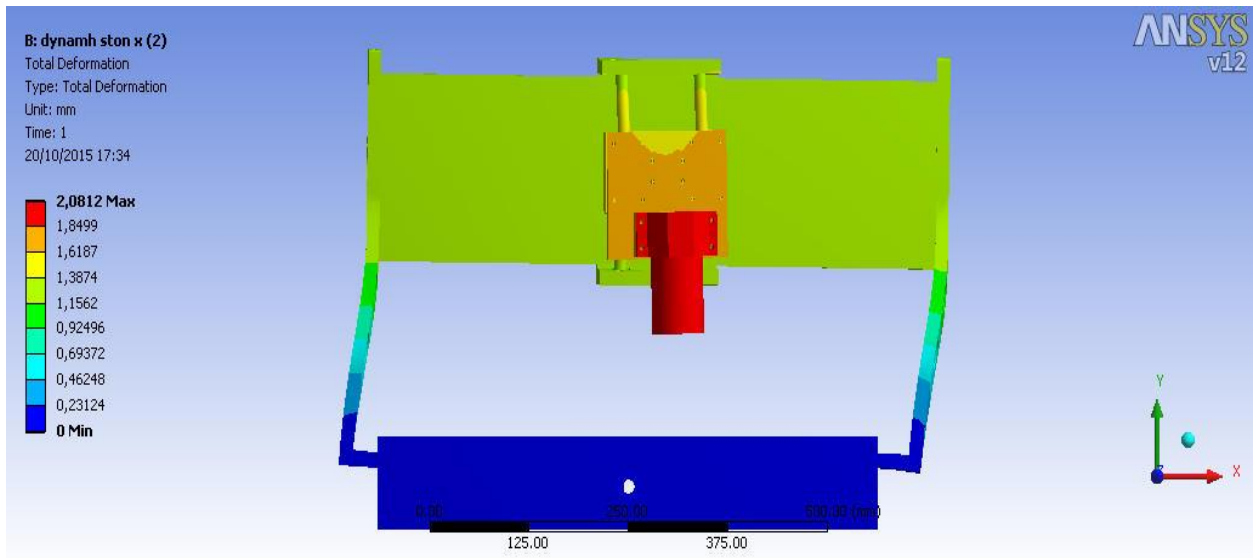


Σχήμα 6.6 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμη στην διεύθυνση του άξονα χ



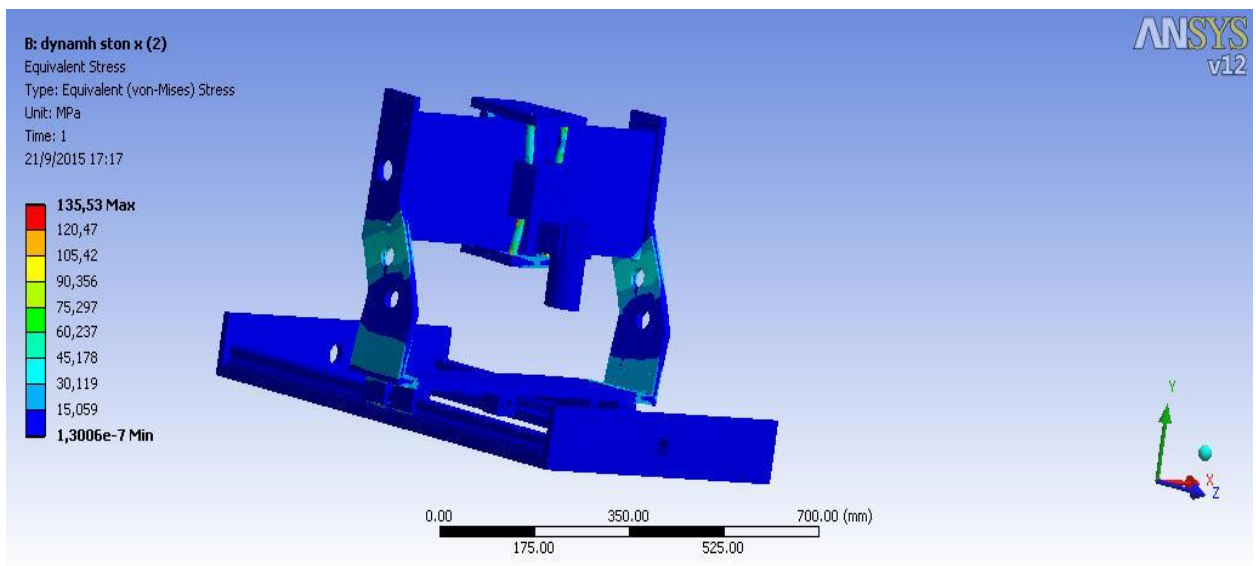
Σχήμα 6.7 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμη στην διεύθυνση του άξονα χ

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Χ

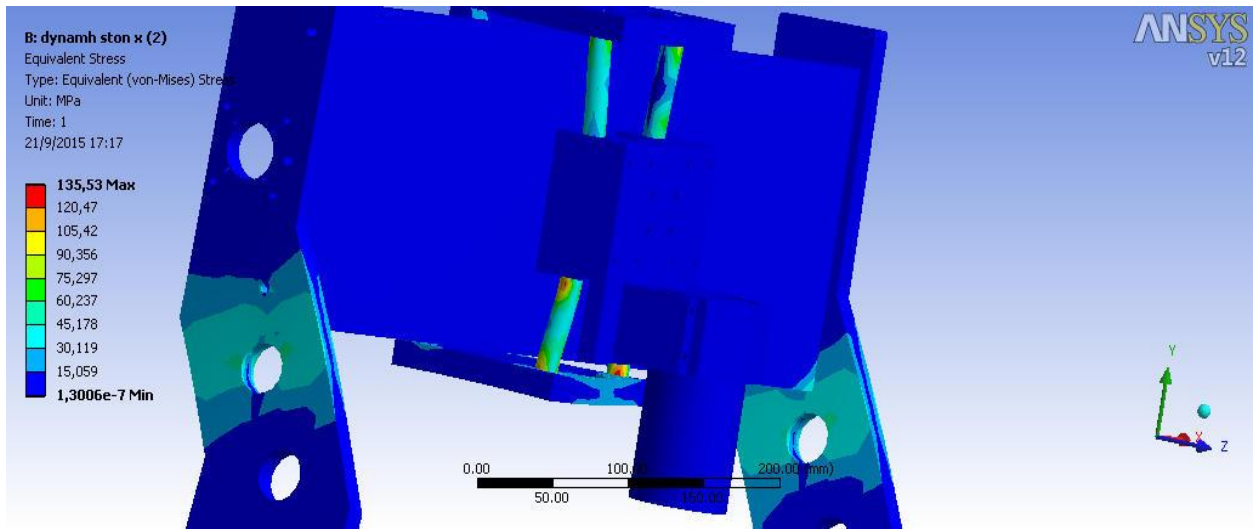


Σχήμα 6.8 Παραμορφώσεις στην διεύθυνση του άξονα χ από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ

ΤΑΣΕΙΣ

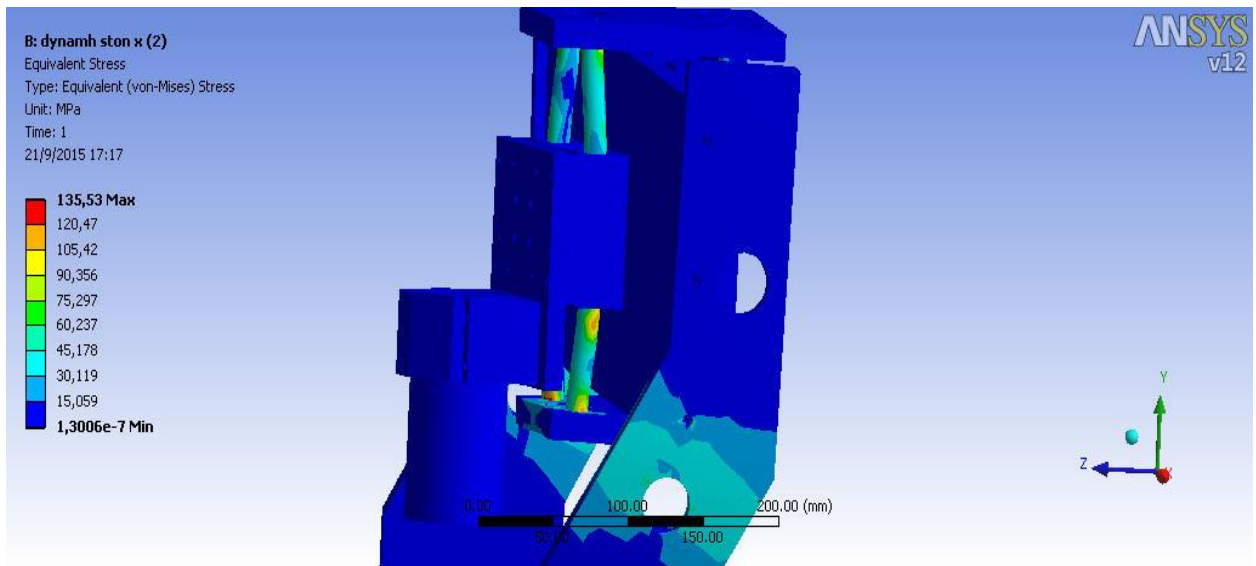


Σχήμα 6.9 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ



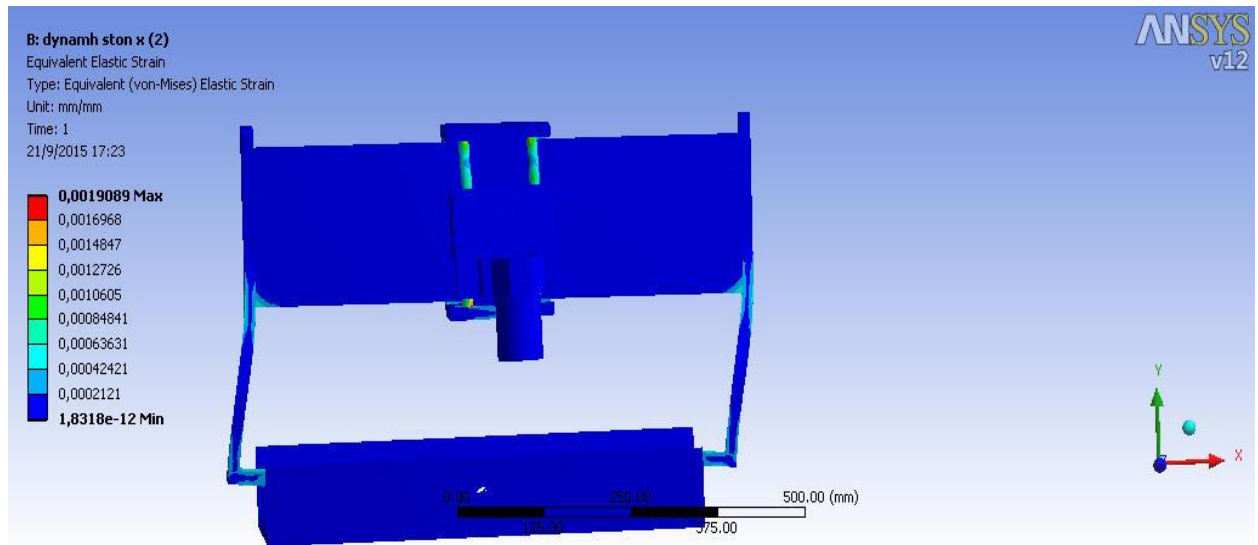
Σχήμα 6.10 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ

Βλέπουμε ότι όταν η συστοιχία του άξονα z βρίσκεται στη μέση της διαδρομής δέχεται σχεδόν διπλάσια τάση σε σχέση με το να βρίσκεται στην κάτω ακραία θέση.



Σχήμα 6.11 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ

ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

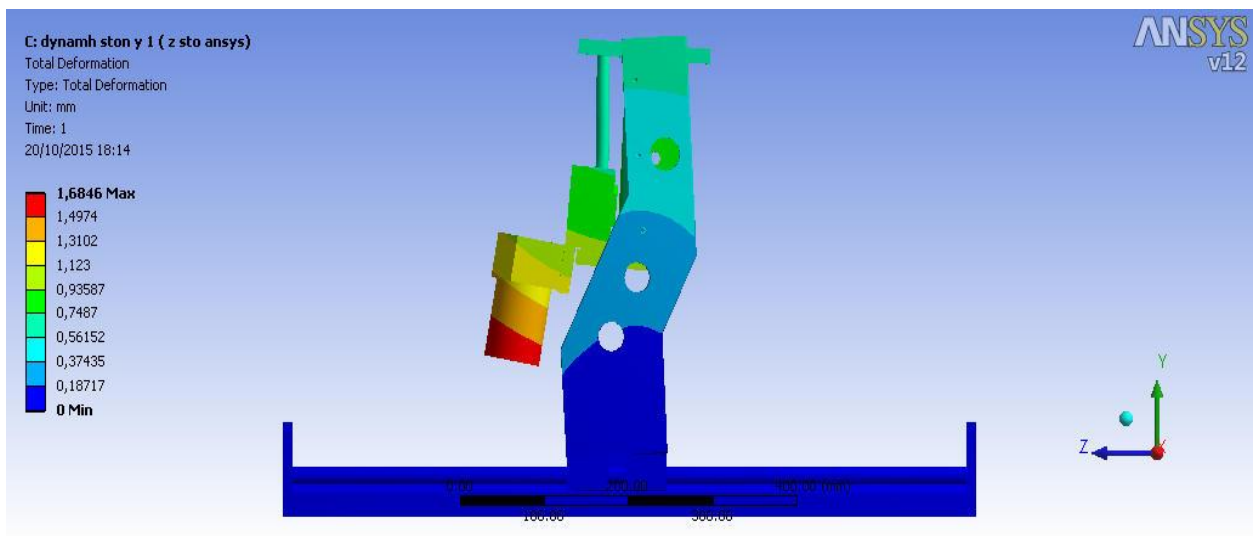


Σχήμα 6.12 Ανηγμένη παραμόρφωση με την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα x

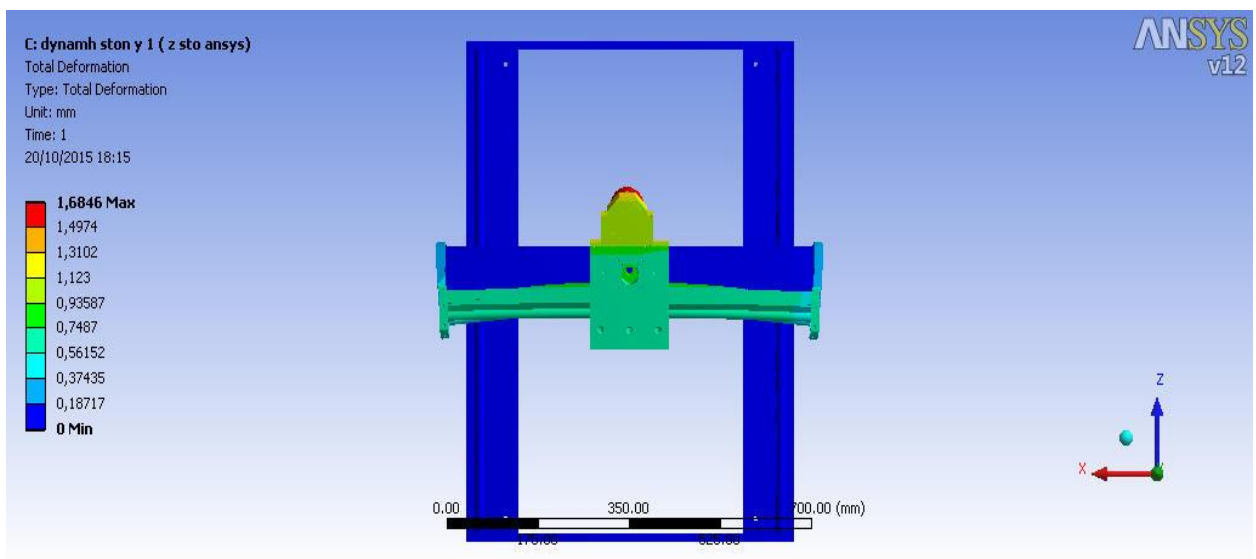
6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Y (Z ΣΤΟ ANSYS)

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΤΡΩΤΗ: Η ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Z (Y ΣΤΟ ANSYS) ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ ΑΚΡΑΙΑ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

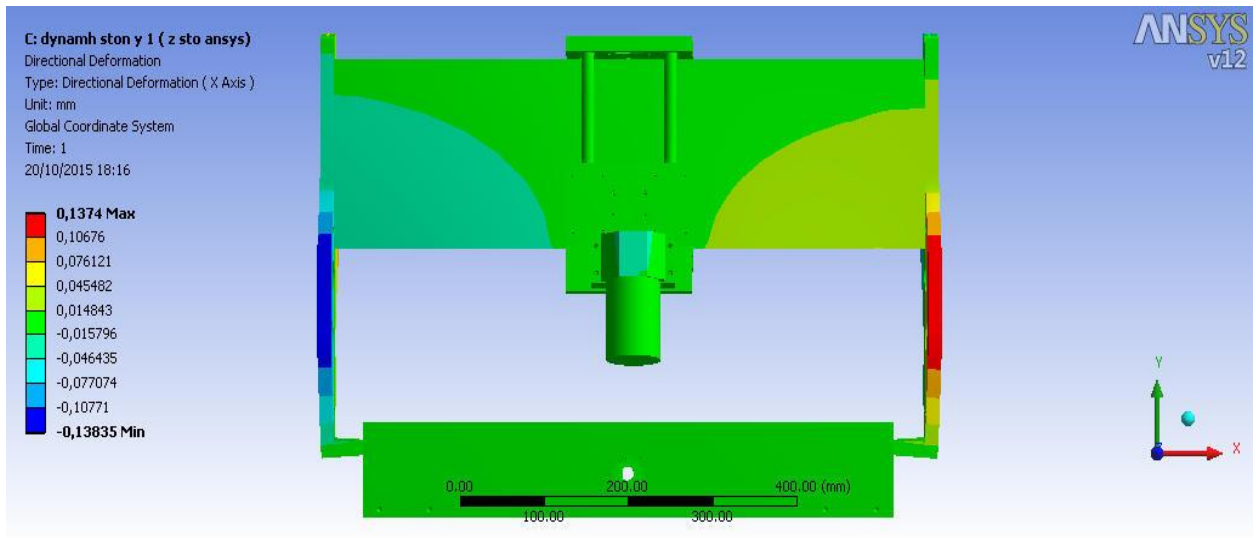


Σχήμα 6.13 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμη στην διεύθυνση του άξονα y (z στο Ansys)



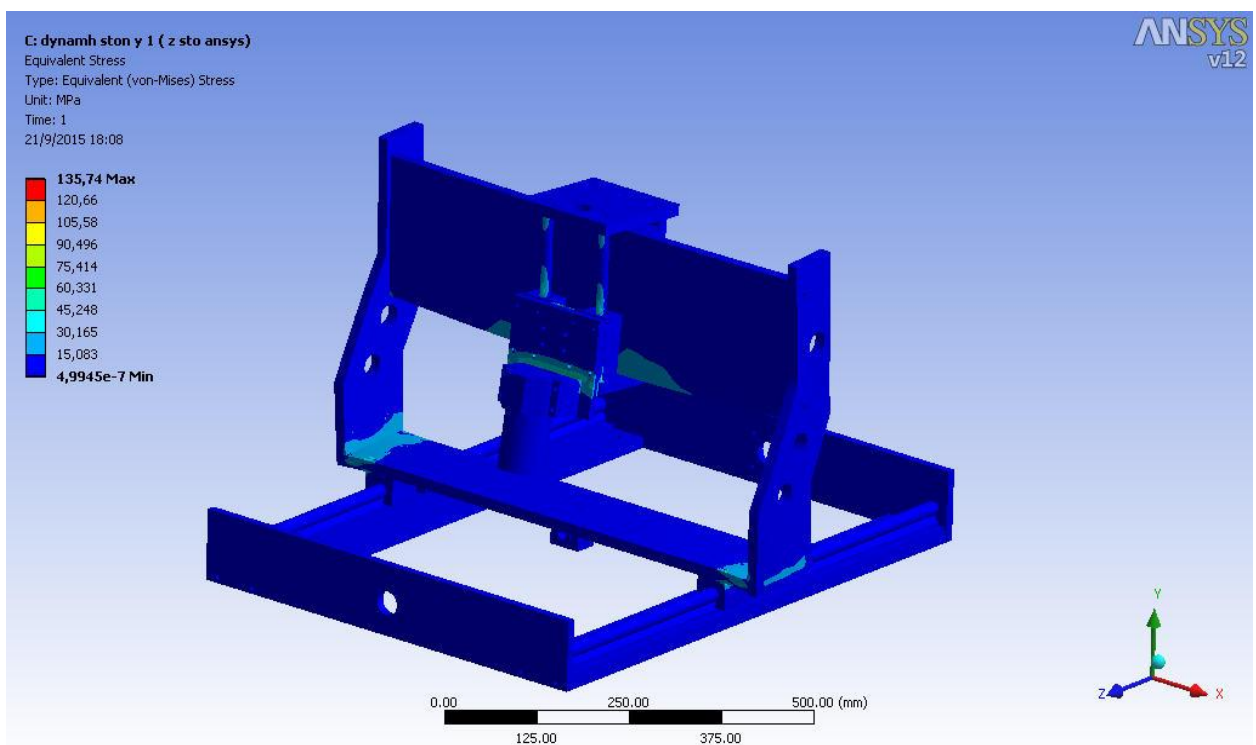
Σχήμα 6.14 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμη στην διεύθυνση του άξονα y (z στο Ansys)

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Χ

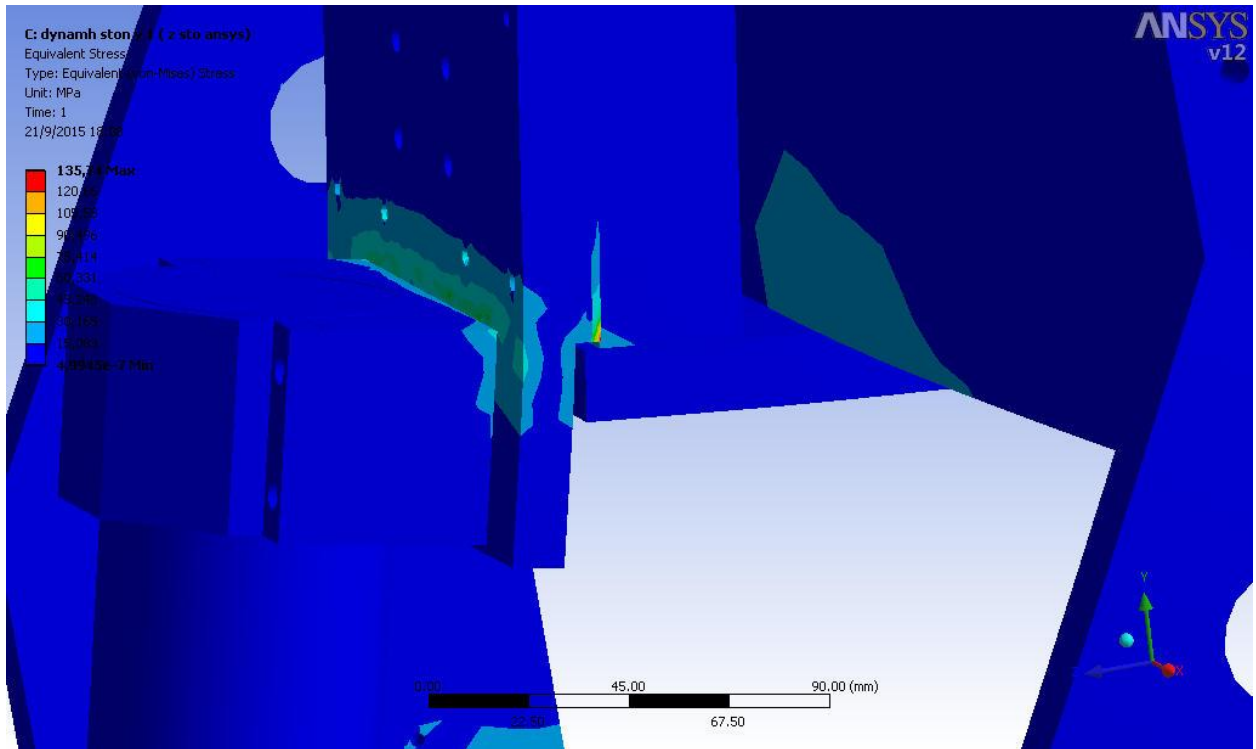


Σχήμα 6.15 Παραμορφώσεις στην διεύθυνση του άξονα χ από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα y (z στο Ansys)

ΤΑΣΕΙΣ



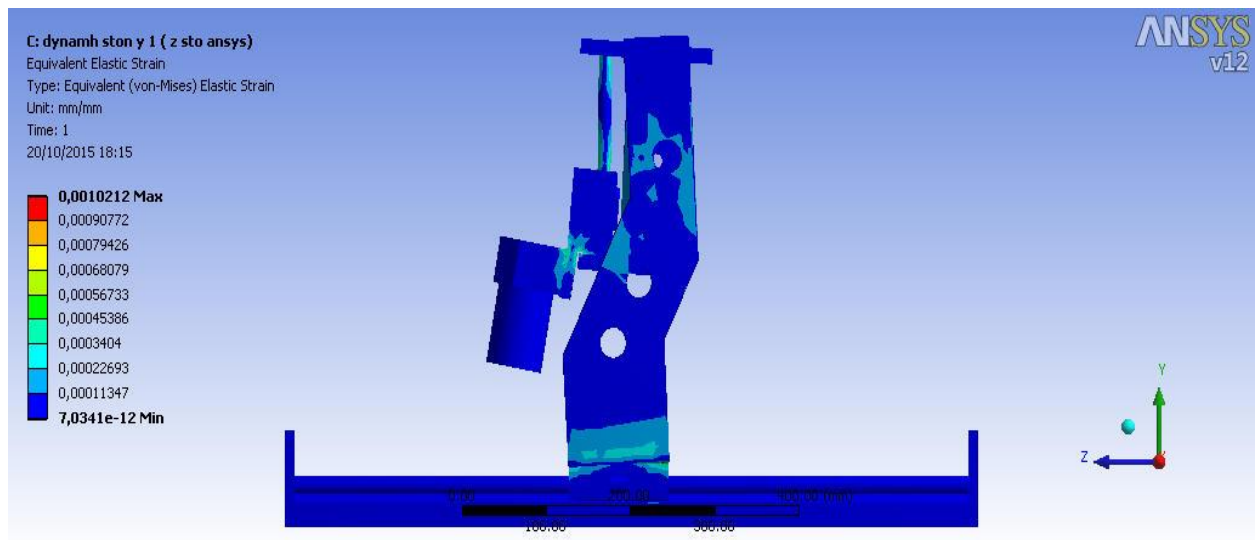
Σχήμα 6.16 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα y (z στο Ansys)



Σχήμα 6.17 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα y (z στο Ansys)

Με την εφαρμογή του φορτίου στον άξονα y της μηχανής παρατηρούμε ότι έχουμε μεγαλύτερες τάσεις σε σχέση με την εφαρμογή του φορτίου στον άξονα x. Αυτό δείχνει ότι τα φορτία στον άξονα y καταπονούν περισσότερο την μηχανή και έχουμε μεγαλύτερες παραμορφώσεις.

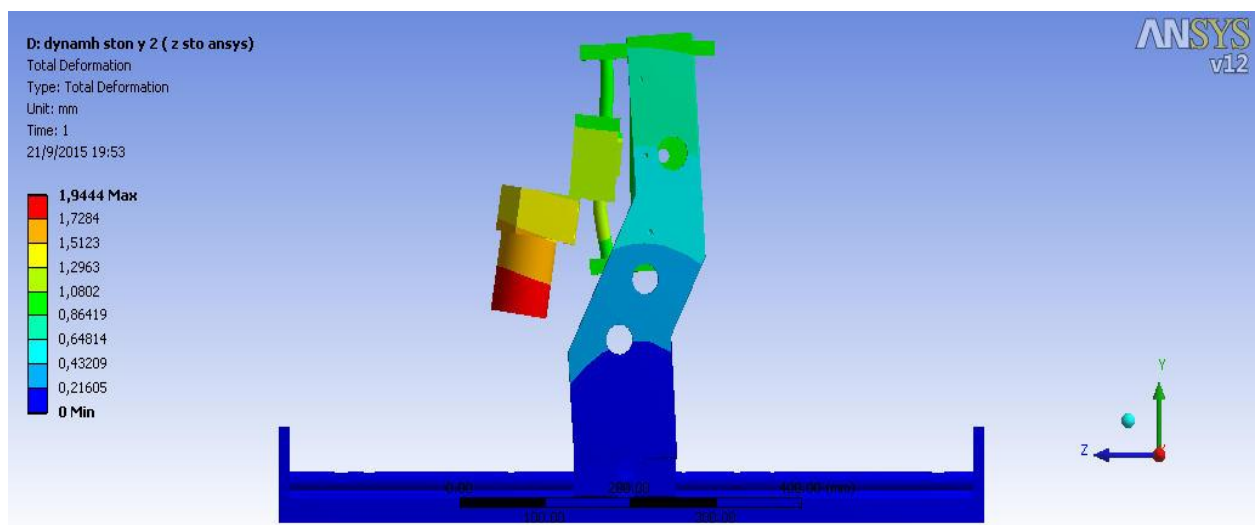
ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ



Σχήμα 6.18 Ανηγμένη παραμόρφωση με την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα y (z στο ansys)

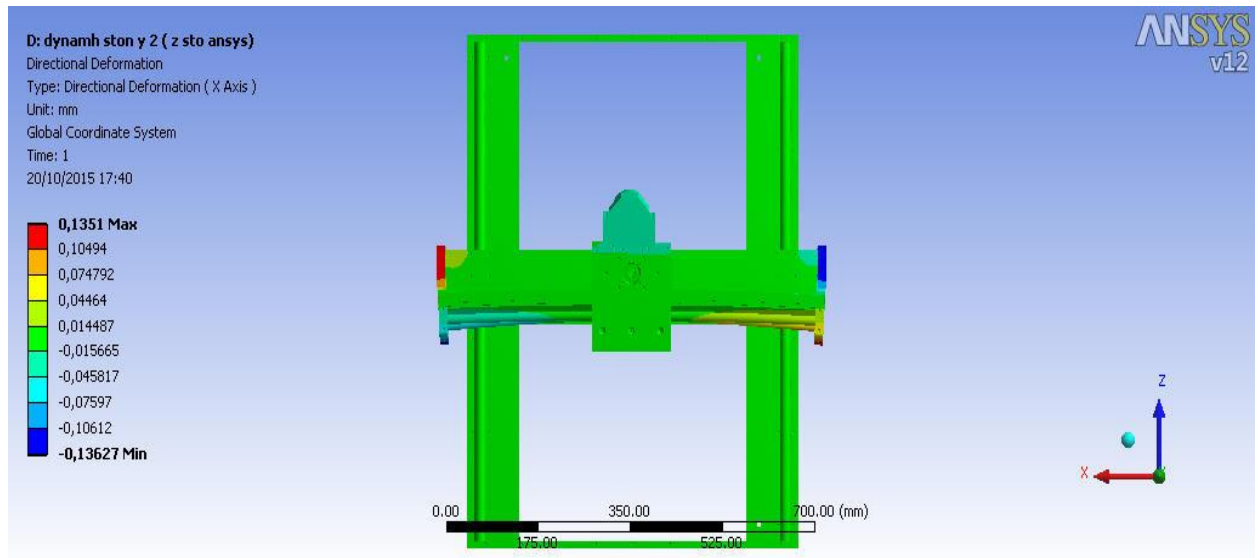
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗ: Η ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Z ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΜΕΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ



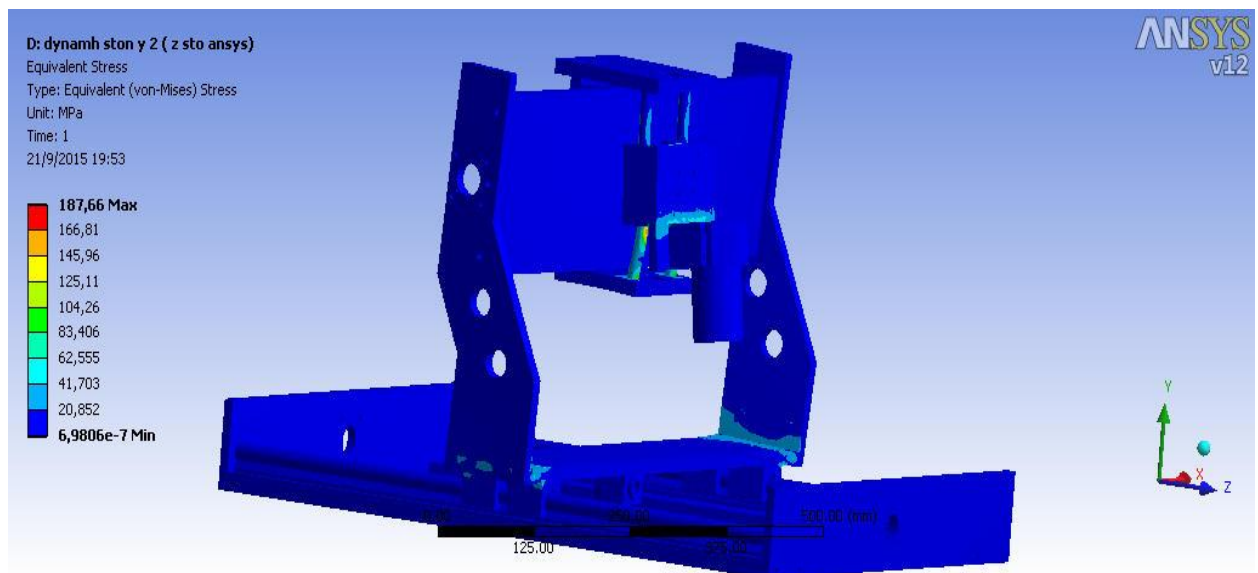
Σχήμα 6.19 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμη στην διεύθυνση του άξονα y (z στο Ansys)

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Χ

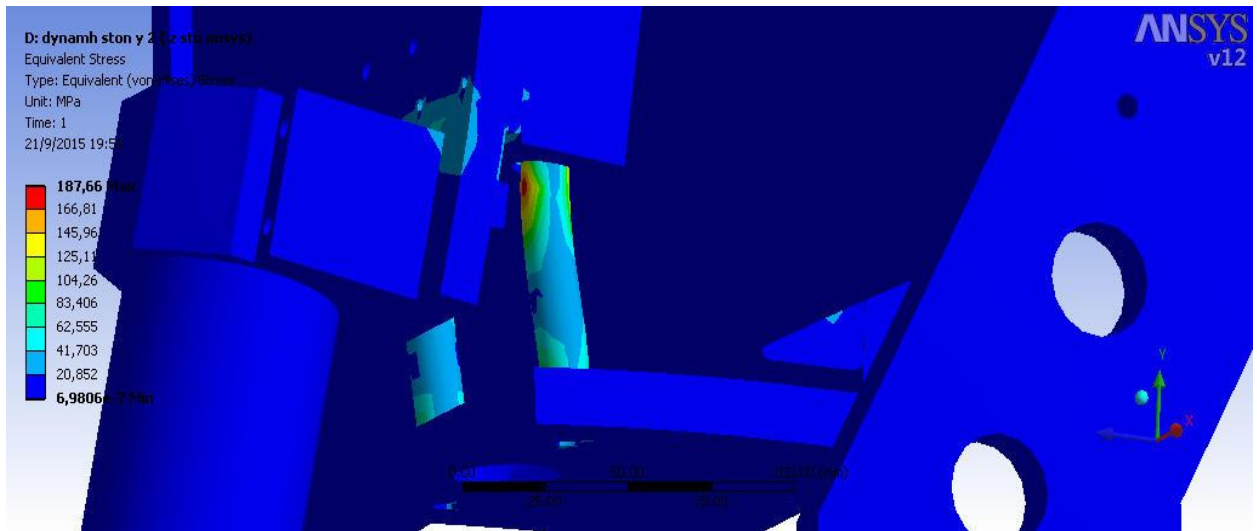


Σχήμα 6.20 Παραμορφώσεις στην διεύθυνση του άξονα χ από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα γ (z στο Ansys)

ΤΑΣΕΙΣ

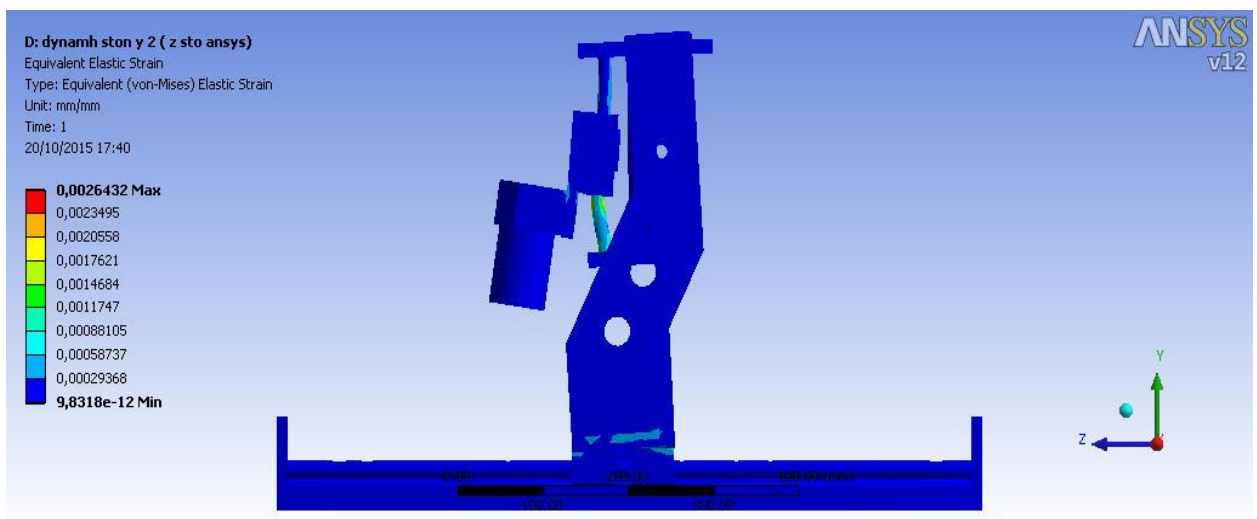


Σχήμα 6.21 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα γ (z στο Ansys)



Σχήμα 6.22 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα y (z στο Ansys)

ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

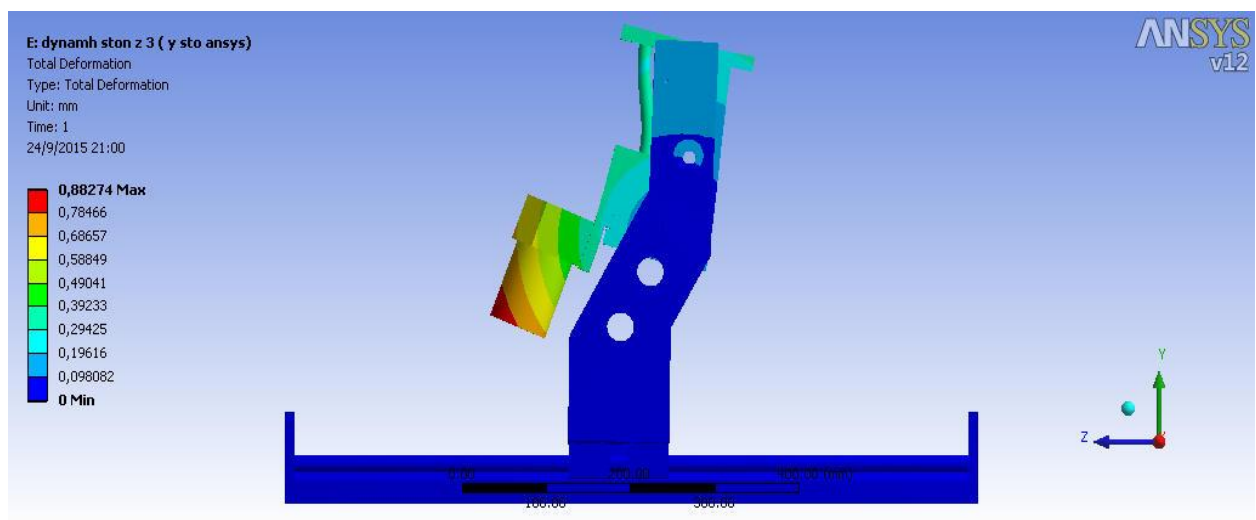


Σχήμα 6.23 Ανηγμένη παραμόρφωση με την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα y (z στο ansys)

6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Z (Υ ΣΤΟ ANSYS)

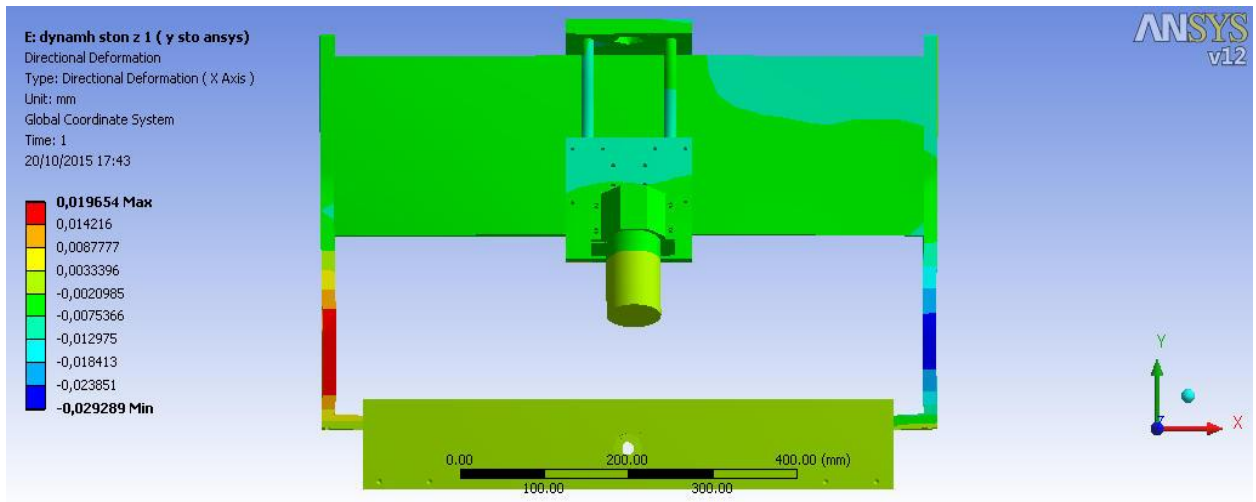
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΤΡΩΤΗ: Η ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Z (Υ ΣΤΟ ANSYS) ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ ΑΚΡΑΙΑ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ



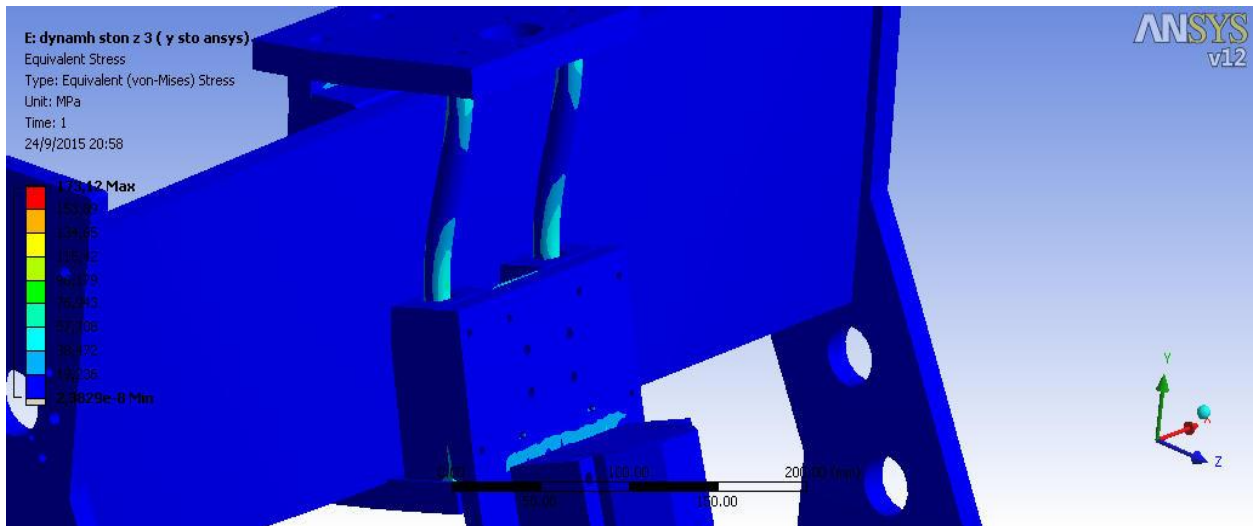
Σχήμα 6.24 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμη στην διεύθυνση του άξονα z (y στο Ansys)

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Χ

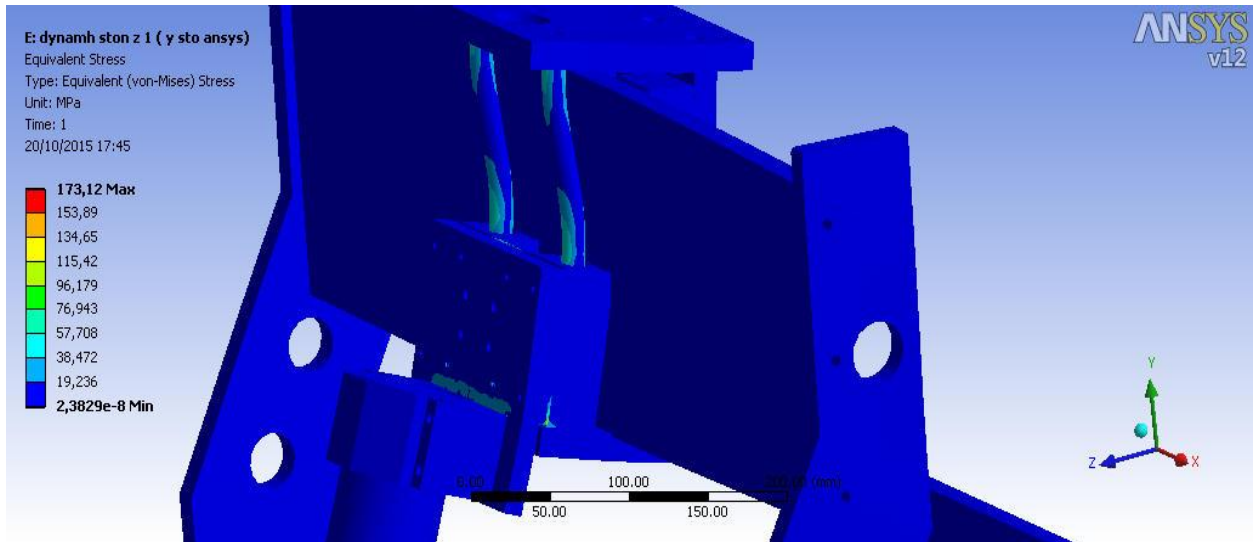


Σχήμα 6.25 Παραμορφώσεις στην διεύθυνση του άξονα χ από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα z (γ στο Ansys)

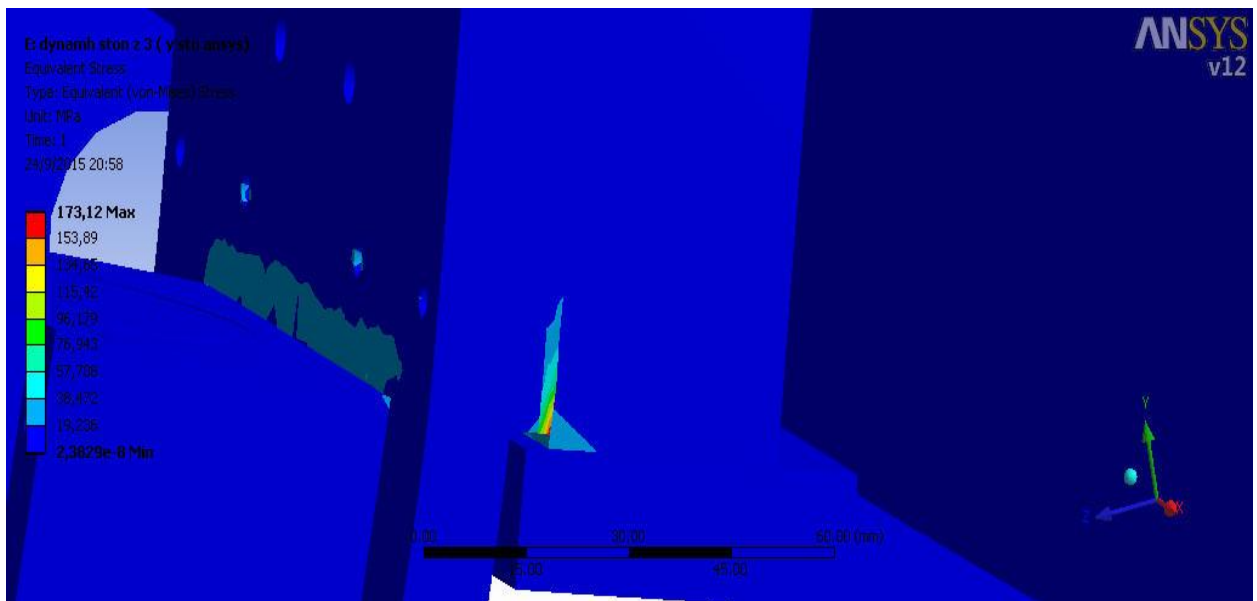
ΤΑΣΕΙΣ



Σχήμα 6.26 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα z (γ στο Ansys)

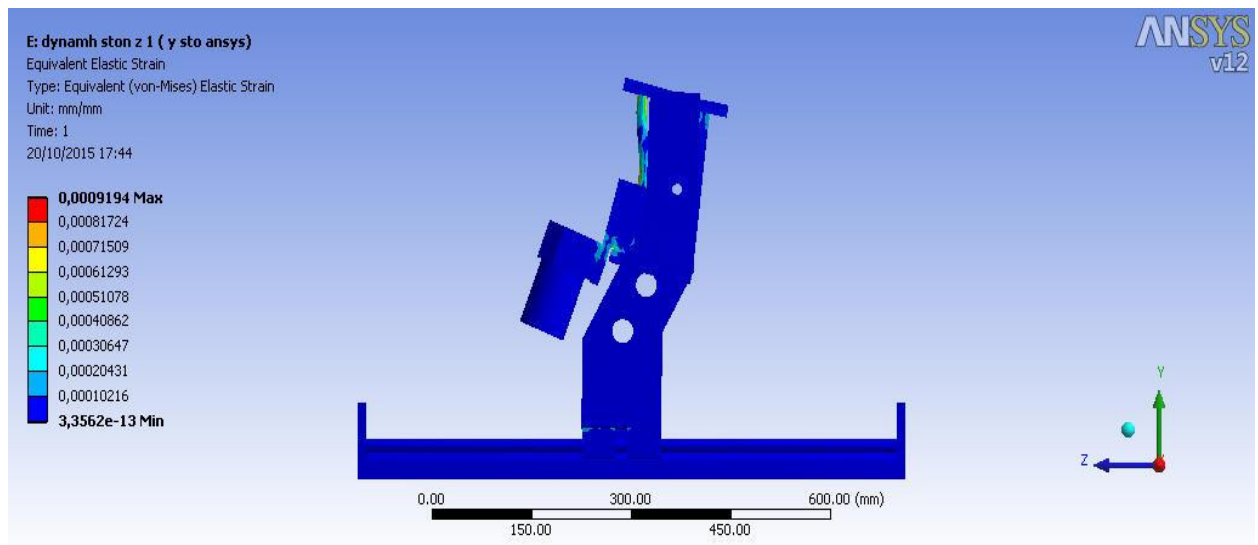


Σχήμα 6.27 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα z (y στο Ansys)



Σχήμα 6.28 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα z (y στο Ansys)

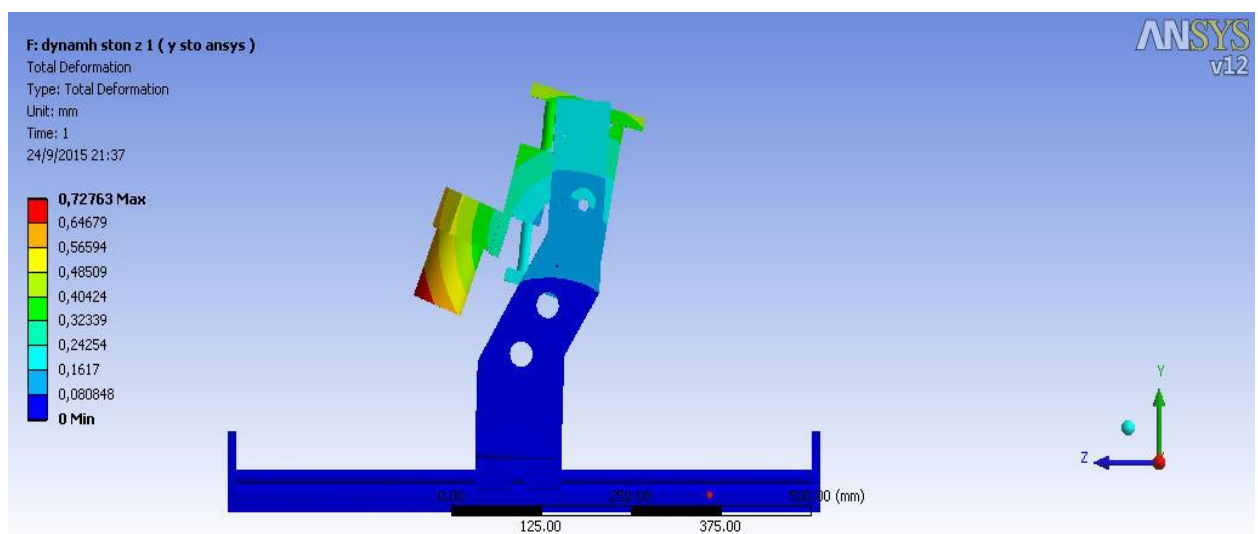
ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ



Σχήμα 6.29 Ανηγμένη παραμόρφωση με την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα z (y στο ansys)

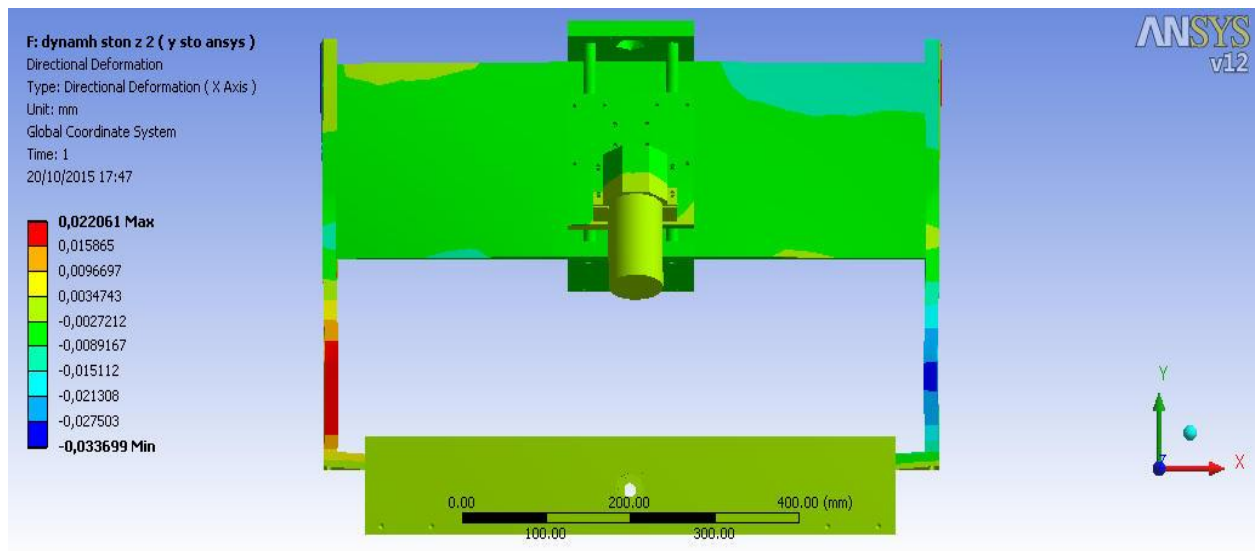
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗ: Η ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Z ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΜΕΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ



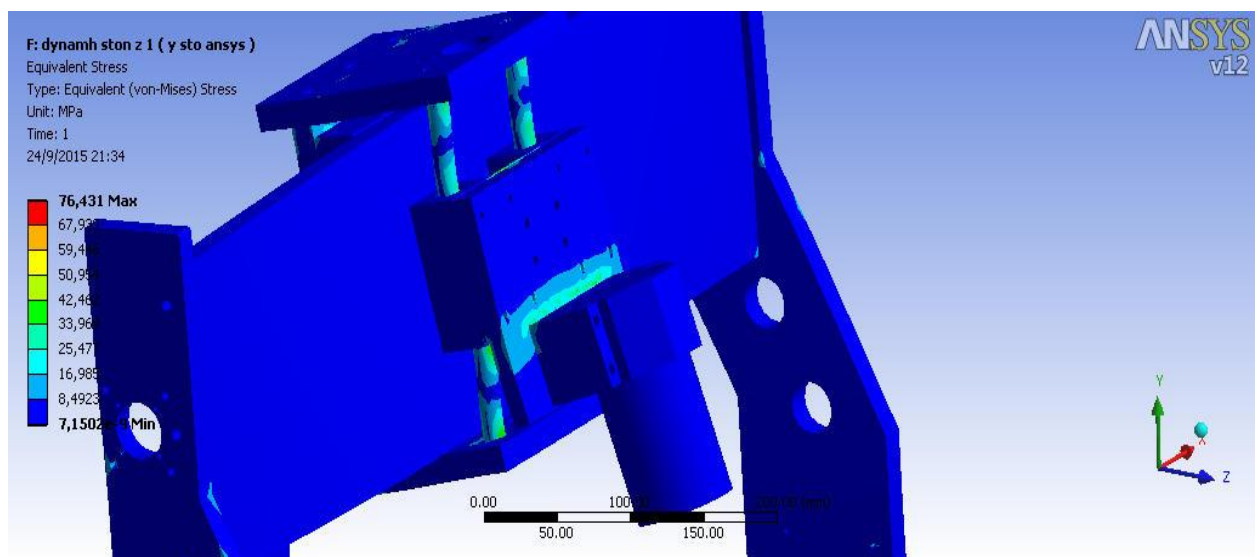
Σχήμα 6.30 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμης στην διεύθυνση του άξονα z (y στο Ansys)

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Χ

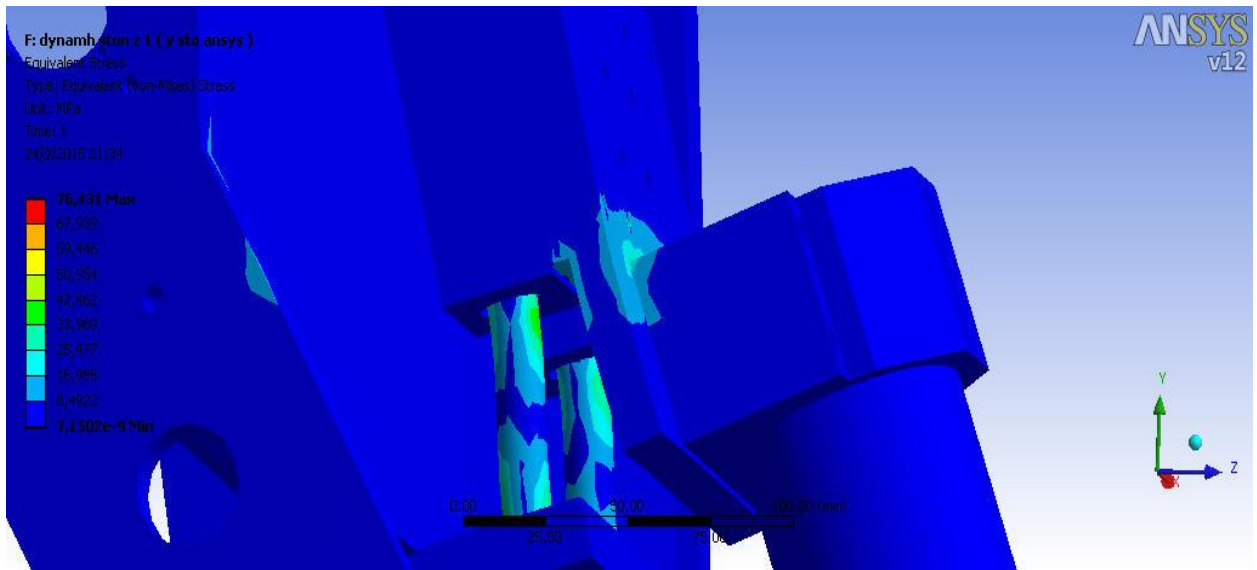


Σχήμα 6.31 Παραμορφώσεις στην διεύθυνση του άξονα χ από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα z (y στο Ansys)

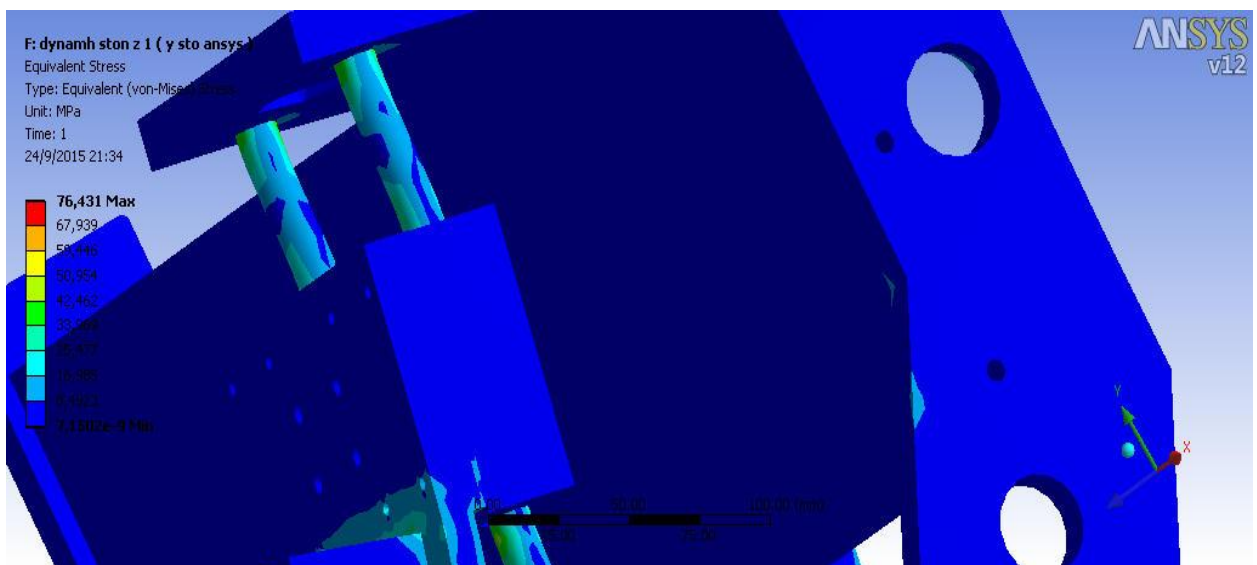
ΤΑΣΕΙΣ



Σχήμα 6.32 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα z (y στο Ansys)

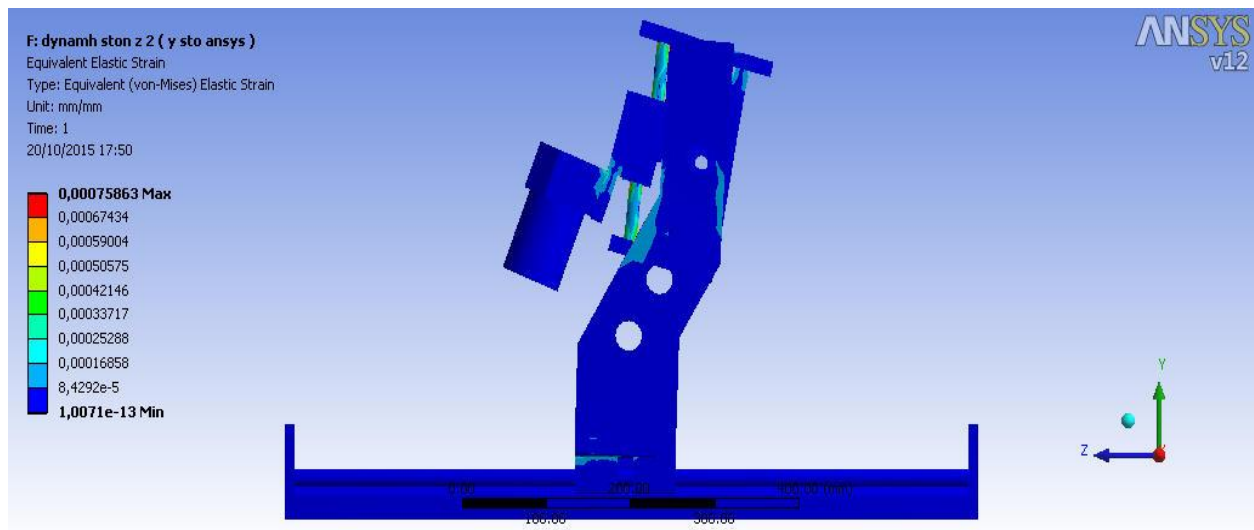


Σχήμα 6.33 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα z (y στο Ansys)



Σχήμα 6.34 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα z (y στο Ansys)

ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

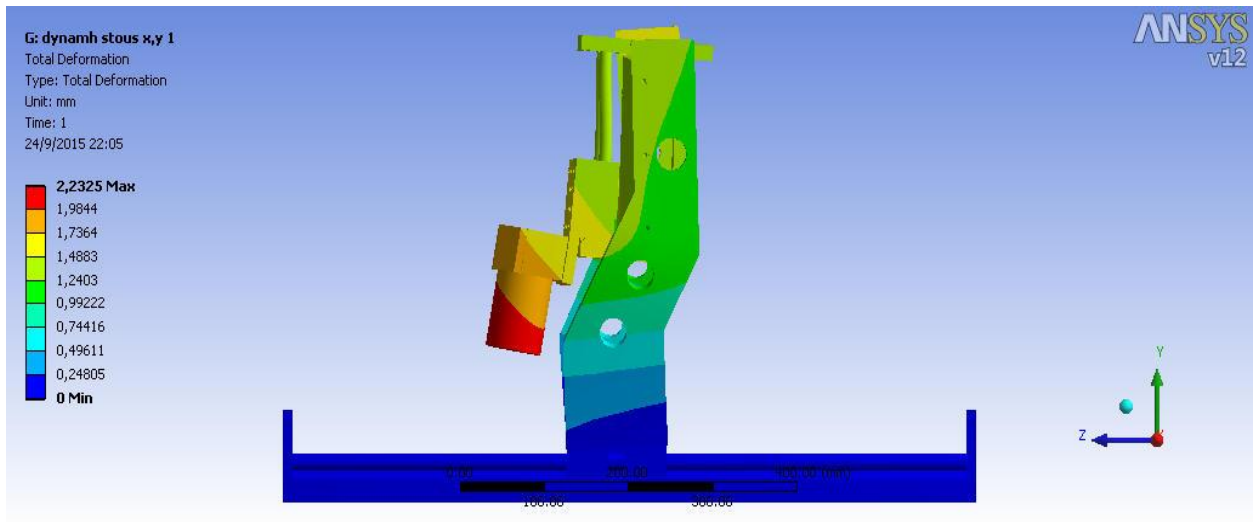


Σχήμα 6.35 Ανηγμένη παραμόρφωση με την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα z (y στο ansys)

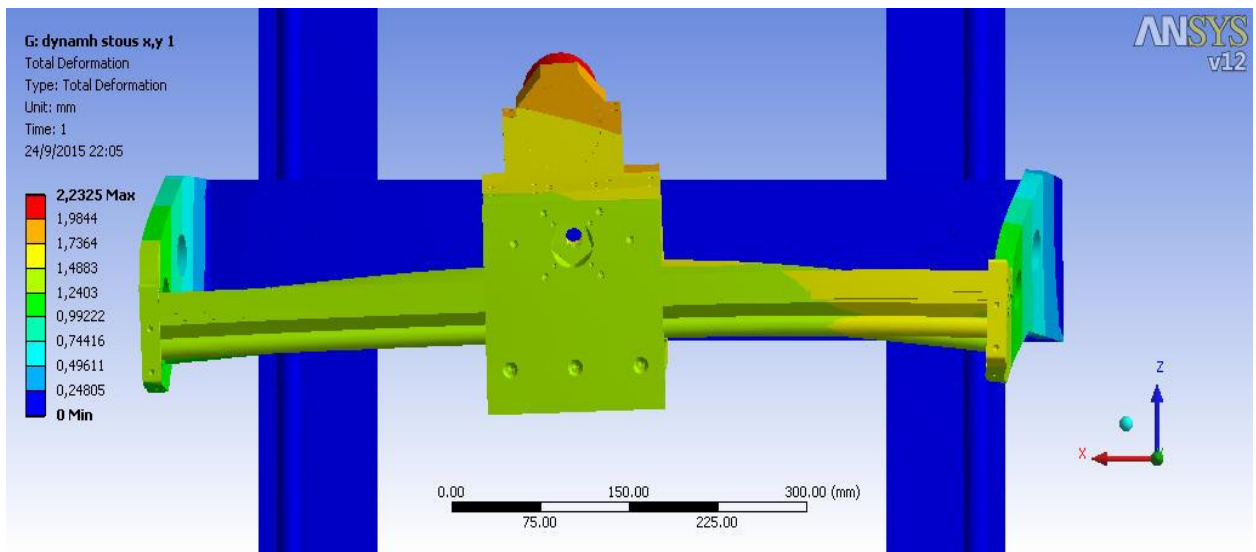
6.4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ X ΚΑΙ Y (Z ΣΤΟ ANSYS) ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΑ

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΠΤΡΩΤΗ: Η ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Z (Y ΣΤΟ ANSYS) ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ ΑΚΡΑΙΑ ΘΕΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

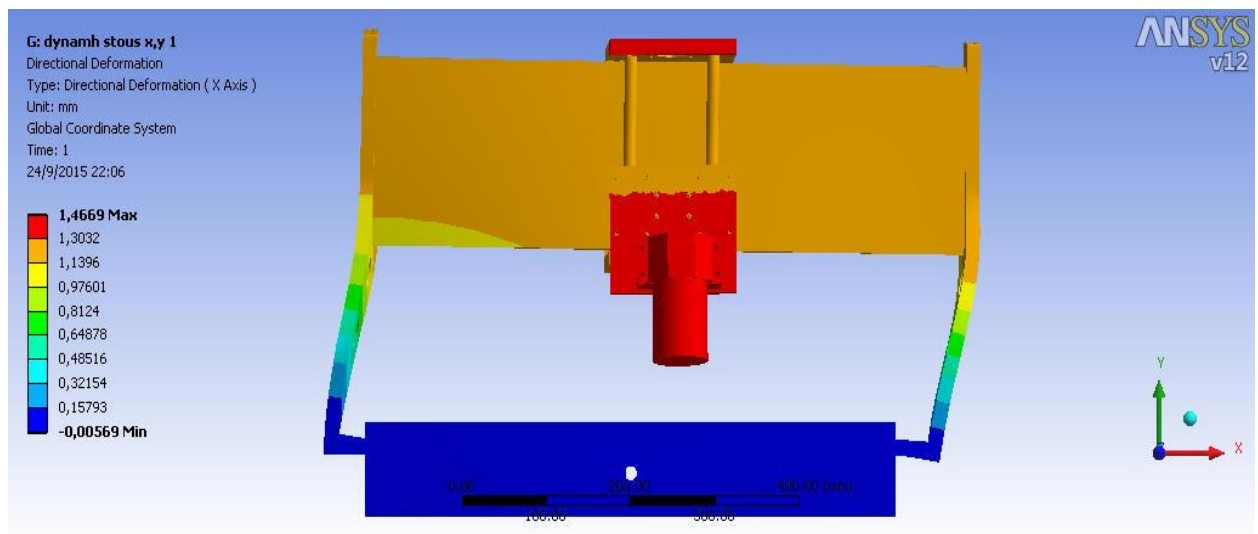


Σχήμα 6.36 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμη στην διεύθυνση του άξονα y (z στο Ansys) και χ ταυτόχρονα



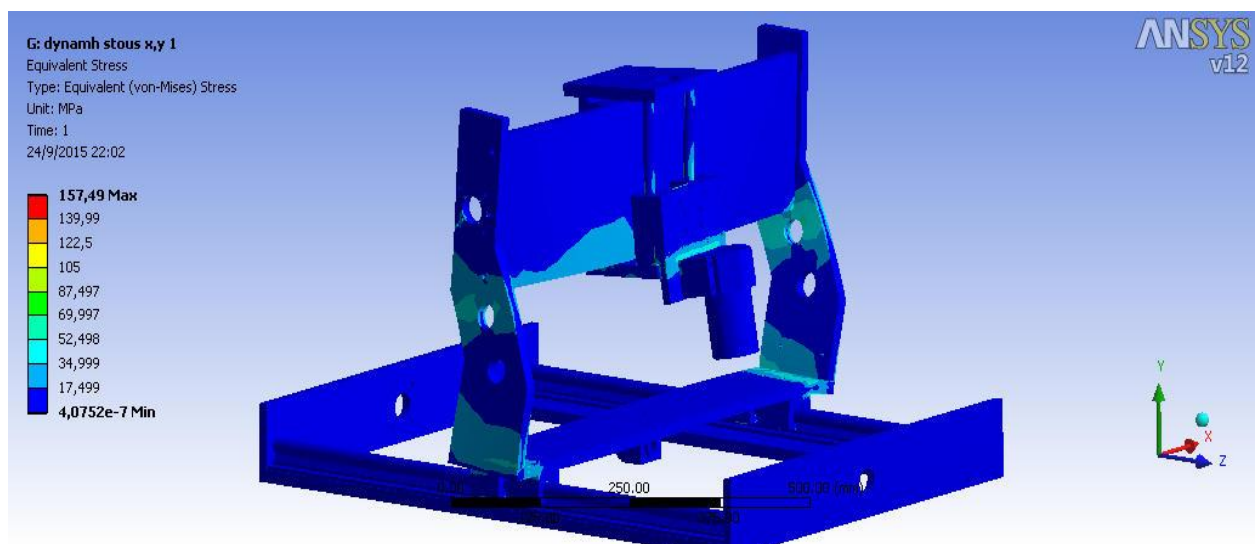
Σχήμα 6.37 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμη στην διεύθυνση του άξονα y (z στο Ansys) και χ ταυτόχρονα

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Χ

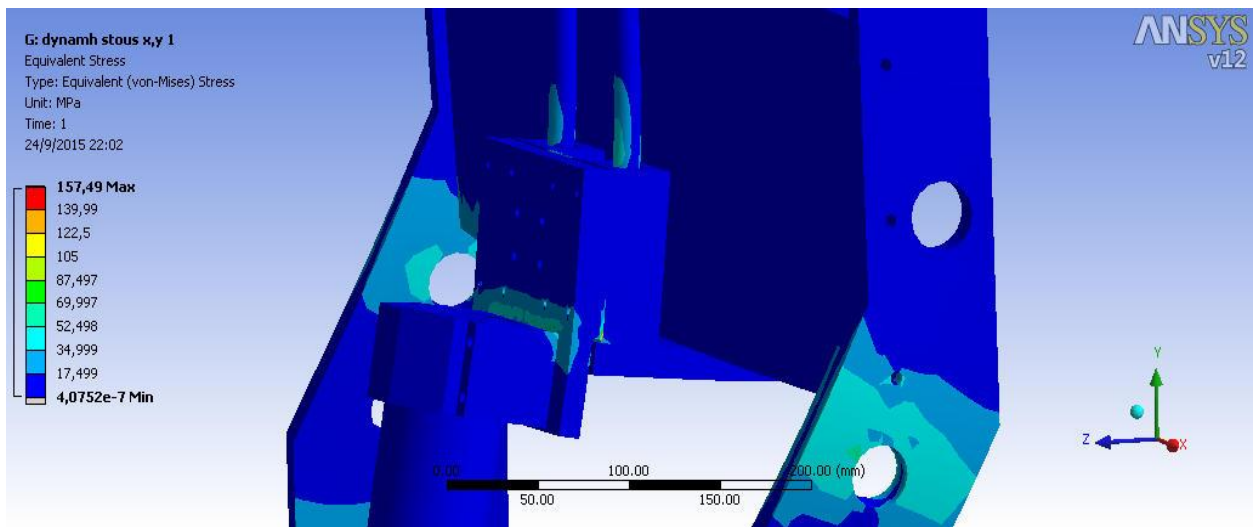


Σχήμα 6.38 Παραμορφώσεις στην διεύθυνση του άξονα x από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα x και y (z στο Ansys) ταυτόχρονα

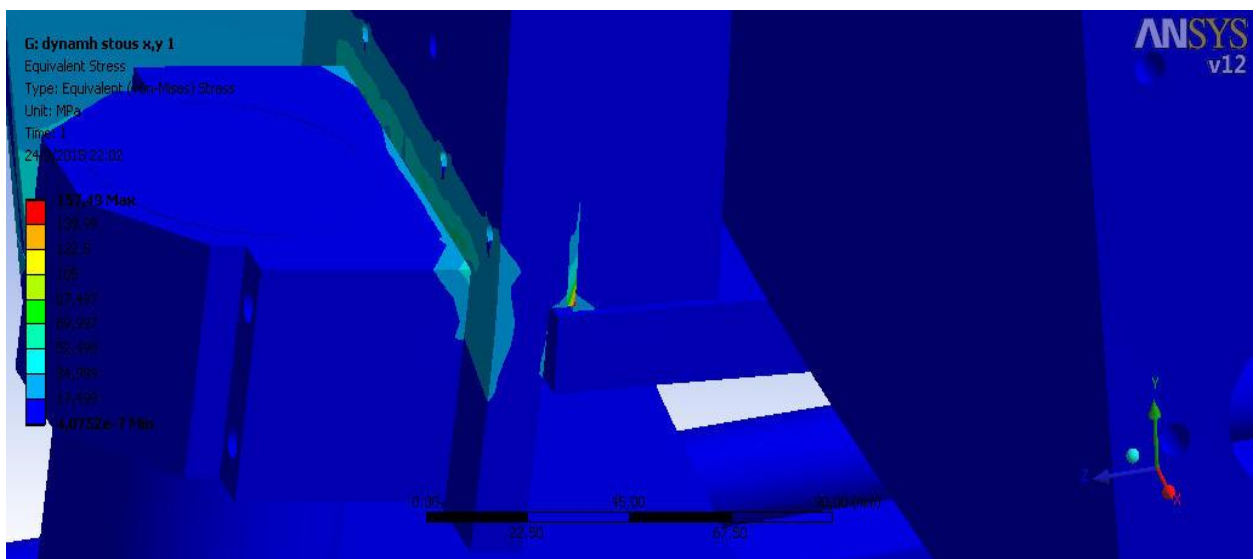
ΤΑΣΕΙΣ



Σχήμα 6.39 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα x και y (z στο Ansys) ταυτόχρονα

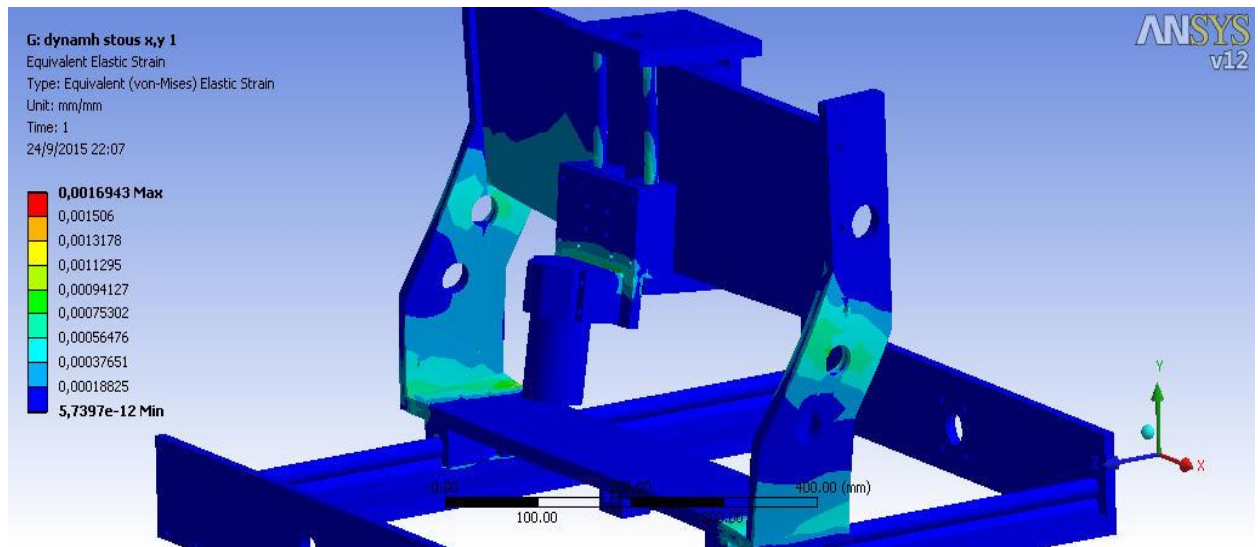


Σχήμα 6.40 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ και γ (z στο Ansys) ταυτόχρονα



Σχήμα 6.41 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ και γ (z στο Ansys) ταυτόχρονα

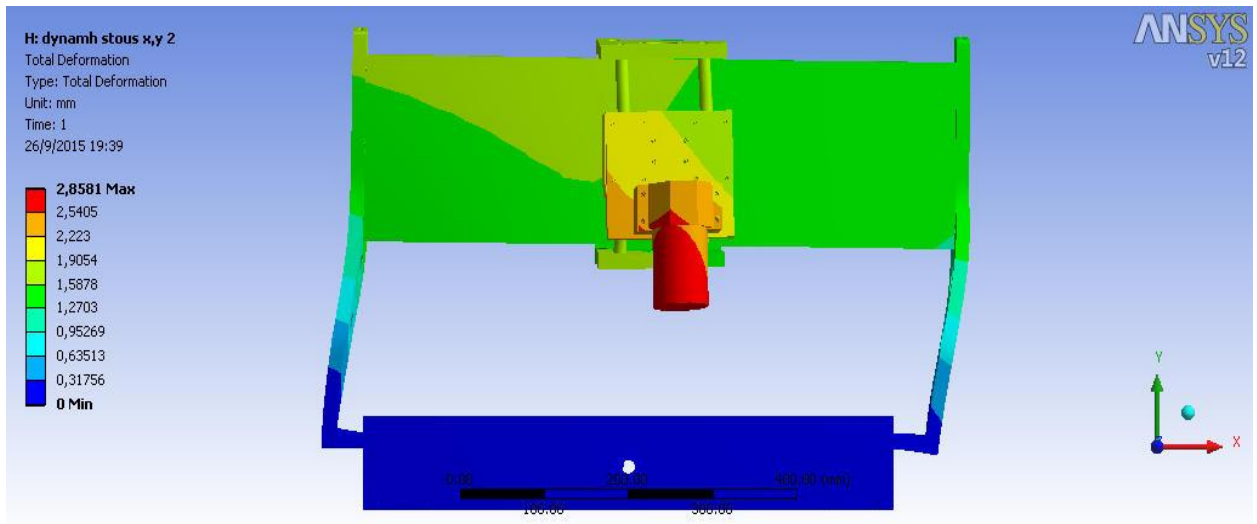
ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ



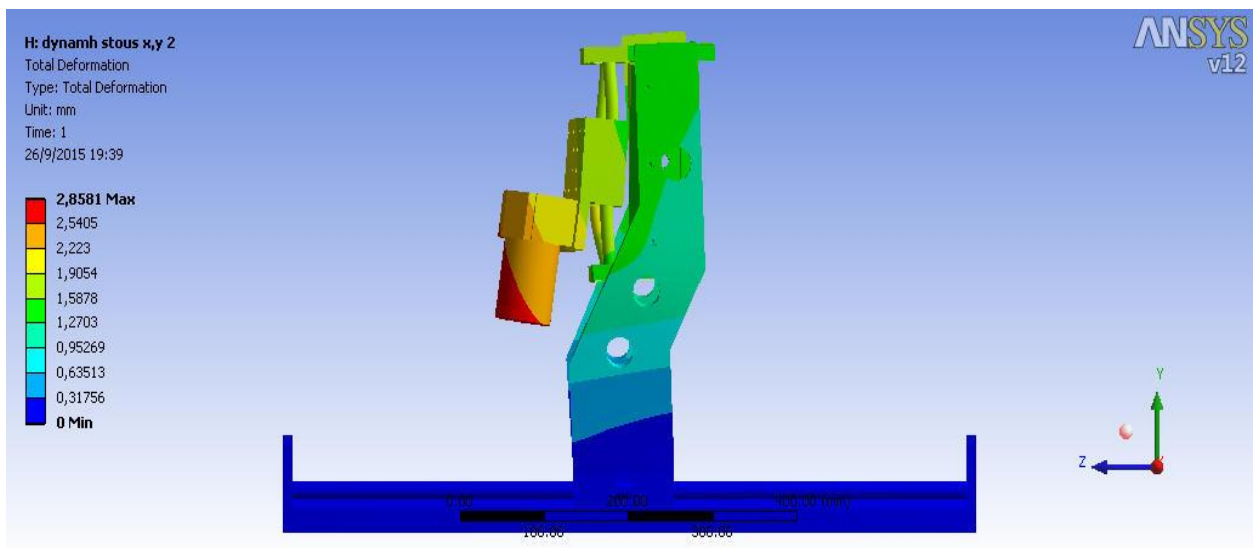
Σχήμα 6.42 Ανηγμένη παραμόρφωση με την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ και γ (z στο Ansys) ταυτόχρονα

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΔΕΥΤΕΡΗ: Η ΣΥΣΤΟΙΧΙΑ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Z ΒΡΙΣΚΕΤΑΙ ΣΤΗΝ ΜΕΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΡΟΜΗΣ

ΟΛΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

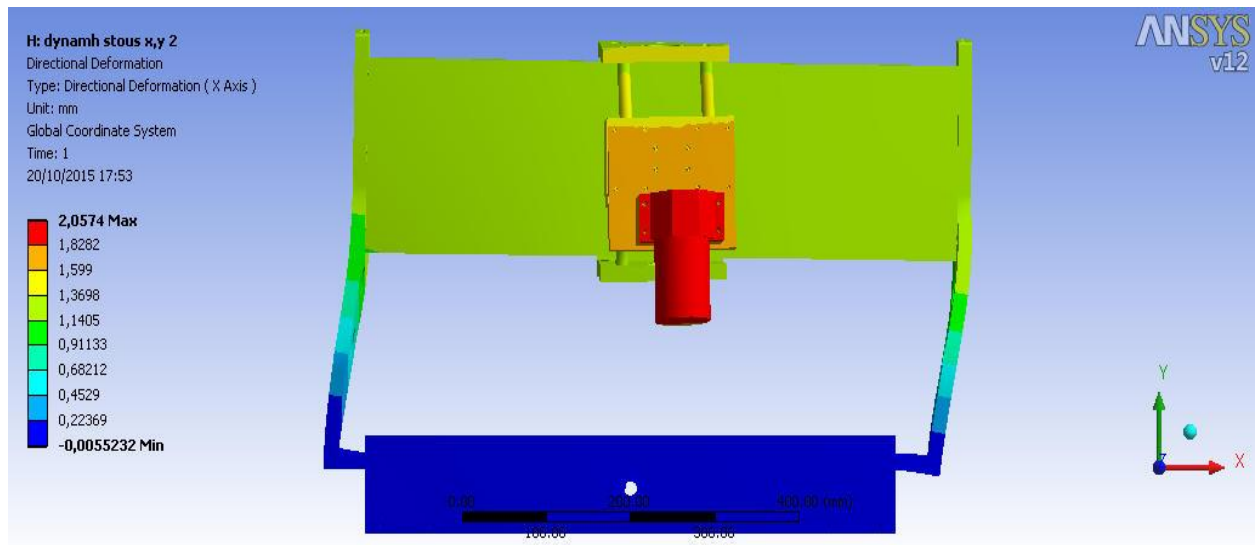


Σχήμα 6.43 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμη στην διεύθυνση του άξονα y (z στο Ansys) και χ ταυτόχρονα



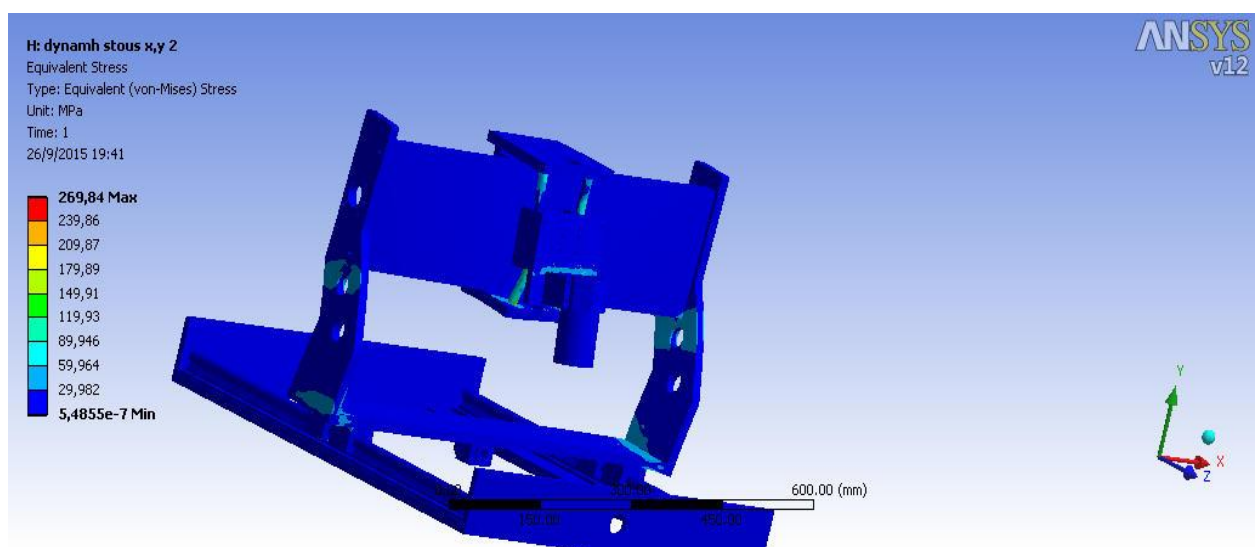
Σχήμα 6.44 Ολική παραμόρφωση από την εφαρμογή της δύναμη στην διεύθυνση του άξονα y (z στο Ansys) και χ ταυτόχρονα

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΤΗΝ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ Χ

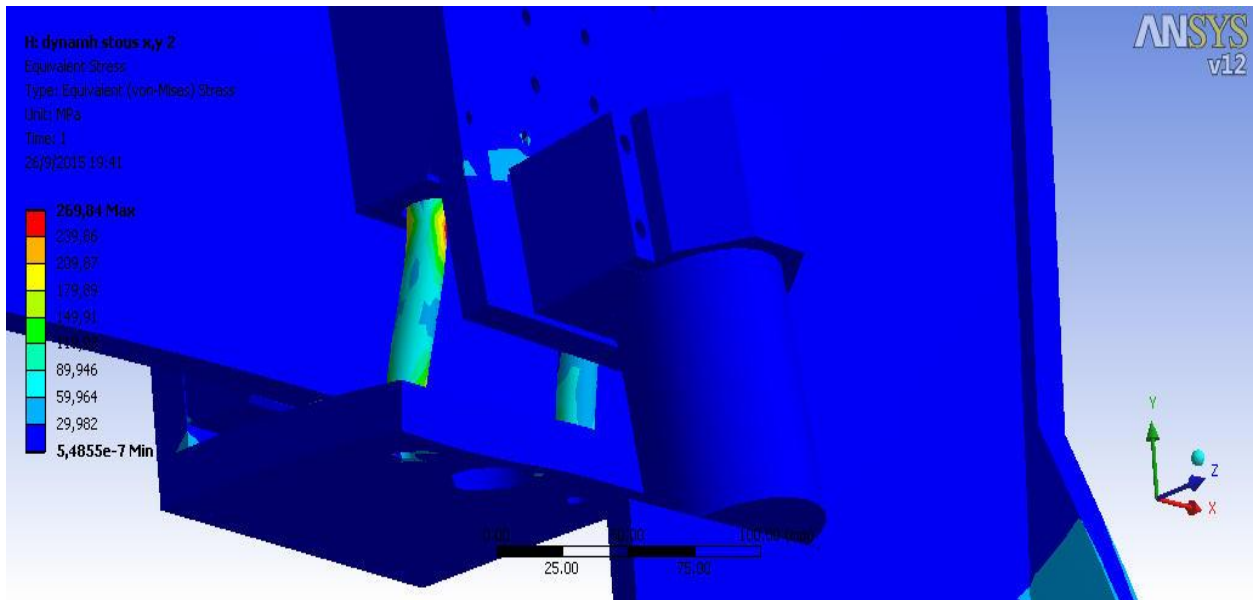


Σχήμα 6.45 Παραμορφώσεις στην διεύθυνση του άξονα χ από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ και y (z στο Ansys) ταυτόχρονα

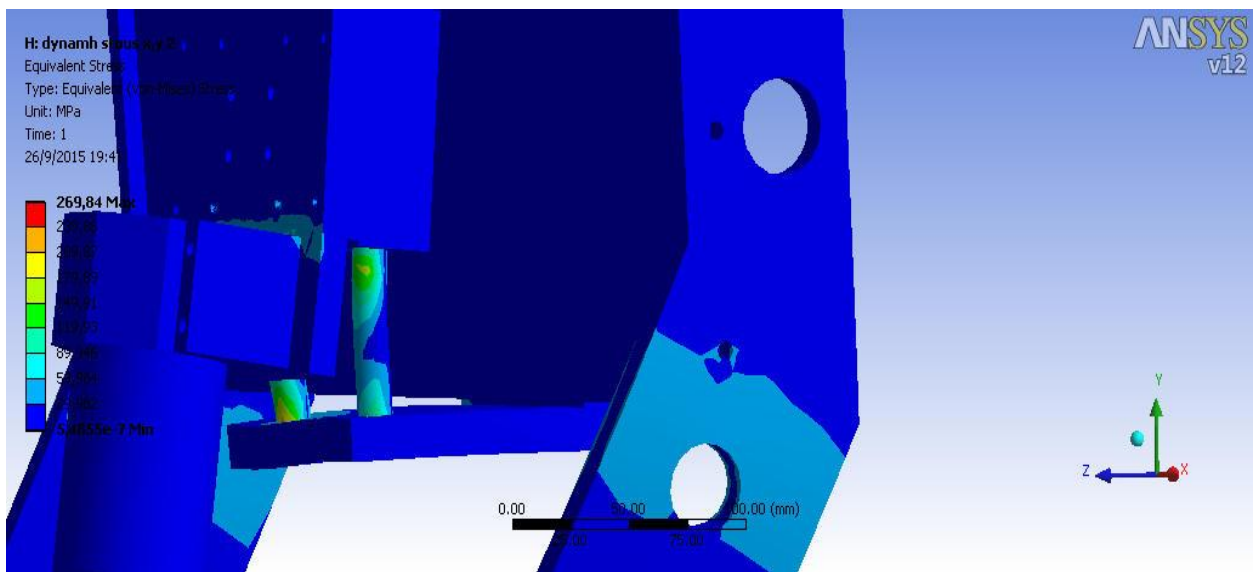
ΤΑΣΕΙΣ



Σχήμα 6.46 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ και y (z στο Ansys) ταυτόχρονα



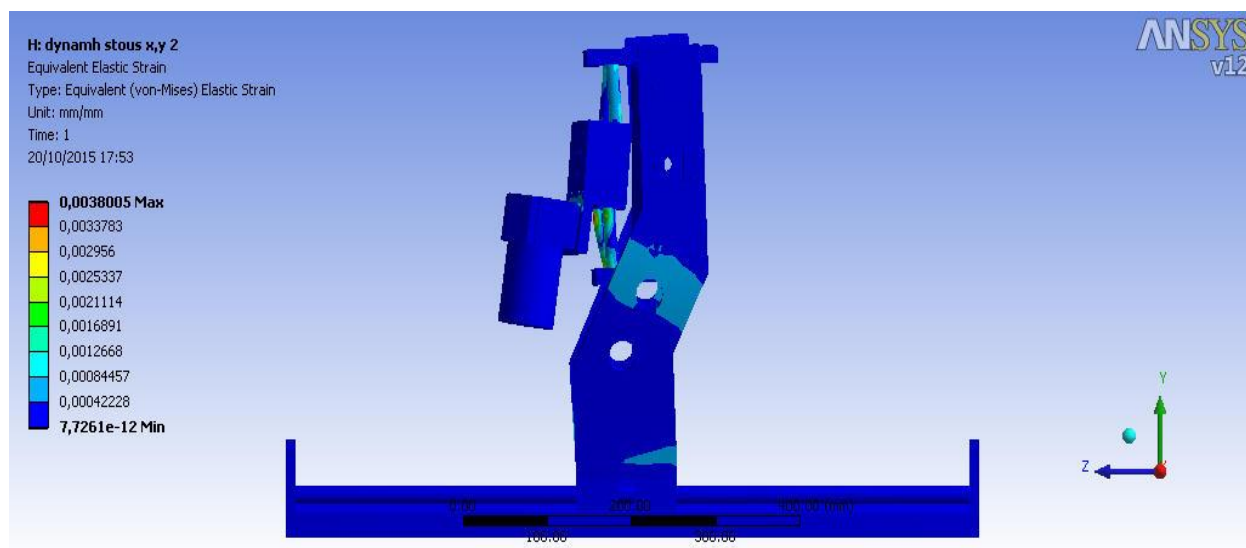
Σχήμα 6.47 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ και y (z στο Ansys) ταυτόχρονα



Σχήμα 6.48 Κατανομή των τάσεων από την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα χ και y (z στο Ansys) ταυτόχρονα

Παρατηρούμε ότι η κατασκευή καταπονείται περισσότερο όταν το φορτίο εφαρμόζεται ταυτόχρονα στους άξονες χ και y και η συστοιχία βρίσκεται στη μέση της διαδρομής. Σε αυτή την περίπτωση συναντάμε την μέγιστη τάση από οποιαδήποτε άλλη περίπτωση. Επίσης και η ολική παραμόρφωση είναι η μεγαλύτερη. Όπως και στις άλλες περιπτώσεις φόρτισης τα στοιχεία που καταπονούνται περισσότερο είναι οι οδηγοί του άξονα z.

ΑΝΗΓΜΕΝΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ



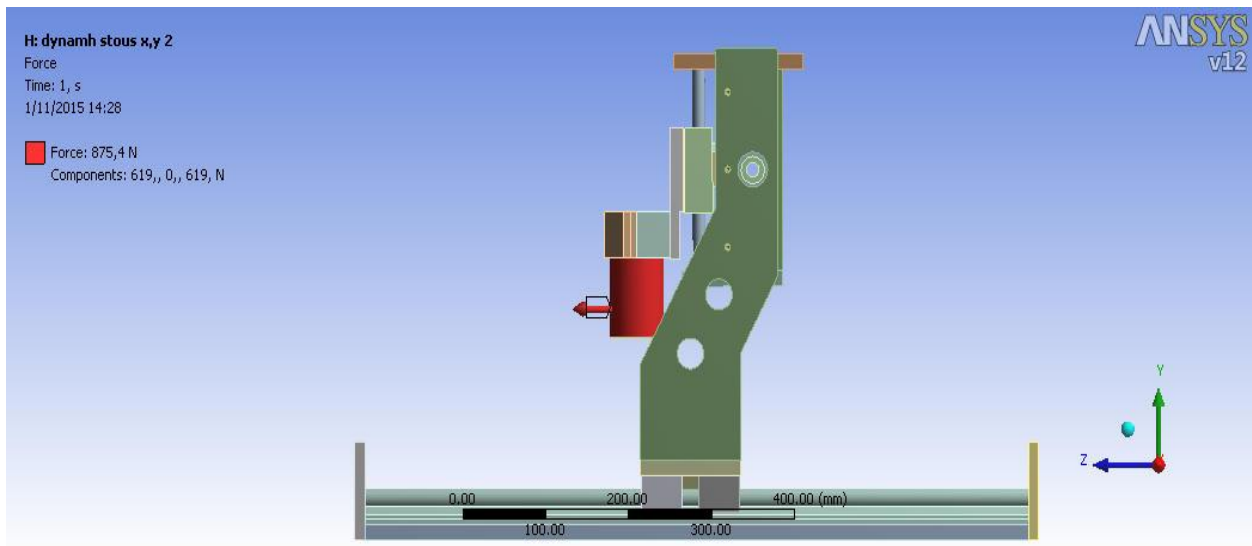
Σχήμα 6.49 Ανηγμένη παραμόρφωση με την εφαρμογή της δύναμης στον άξονα x και y (z στο Ansys) ταυτόχρονα

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

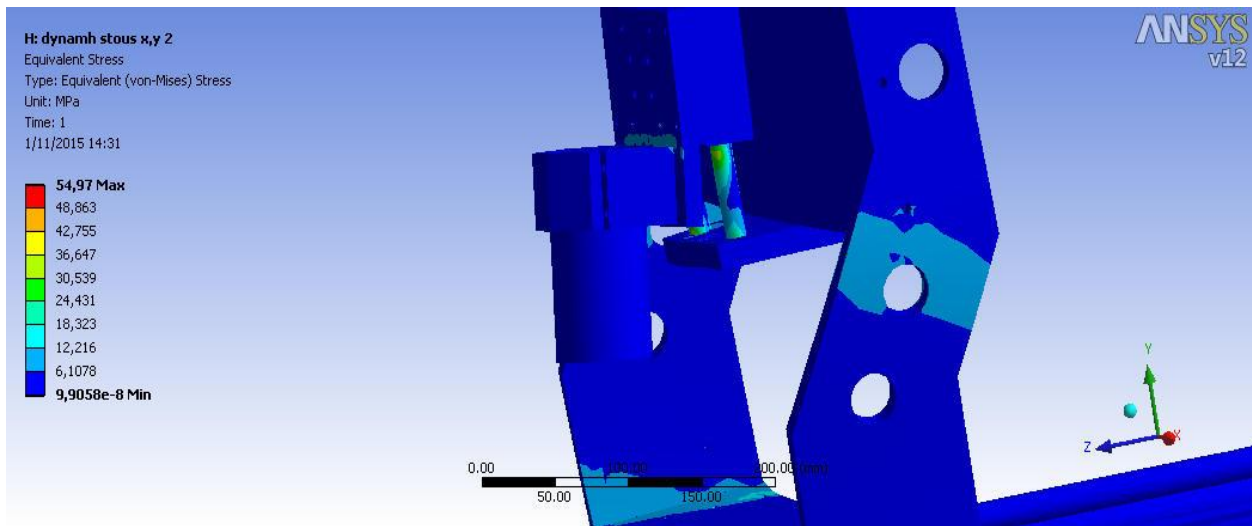
Στην μελέτη των τάσεων και των παραμορφώσεων που πραγματοποιήθηκε έγινε φανερό που καταπονείται περισσότερο η διάταξη. Όταν φορτίζεται στην διεύθυνση του άξονα x δεν υπάρχουν μεγάλες τάσεις και παραμορφώσεις. Όταν φορτίζεται στην διεύθυνση του άξονα y η διάταξη δέχεται μεγαλύτερες τάσεις και έχει μεγαλύτερες παραμορφώσεις. Όταν φορτίζεται στον άξονα z βλέπουμε ότι η διάταξη δέχεται πιο μεγάλη τάση σε σχέση με την φόρτιση στον άξονα x αλλά μικρότερη από την φόρτιση στον άξονα y . Οι μεγαλύτερες τάσεις και παραμορφώσεις κατά την φόρτιση στους άξονες x και y εμφανίζονται στην περίπτωση που η συστοιχία του άξονα z βρίσκεται στην μέση της διαδρομής, ενώ κατά την φόρτιση του άξονα z η συστοιχία βρίσκεται στην κάτω ακραία θέση της διαδρομής. Όλες οι τάσεις και για τις τρεις περιπτώσεις φορτίσεων στον κάθε άξονα δεν είναι επικίνδυνες διότι δεν μπορούν να προκαλέσουν πλαστική παραμόρφωση σε κάποιο εξάρτημα. Οι μεγαλύτερες τάσεις και παραμορφώσεις δημιουργούνται όταν η διάταξη φορτιστεί στους άξονες x και y ταυτόχρονα. Η μέγιστη τάση εμφανίζεται όταν η συστοιχία του άξονα z βρίσκεται στην μέση της διαδρομής. Η τάση αυτή είναι επικίνδυνη και μπορεί να προκαλέσει πλαστική παραμόρφωση διότι είναι σχεδόν ίση με την μέγιστη τάση που αντέχει του υλικό.

7. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΑ ΒΑΘΗ ΚΟΠΗΣ

Όπως φαίνεται και στο προηγούμενο κεφάλαιο, η μέγιστη τάση που δέχεται η κατασκευή είναι οριακά πιο κάτω από την αντόχη του υλικού της. Οι οδηγοί του άξονα Z που δέχονται και την μεγαλύτερη τάση δέχονται τάση 269,84 Mpa είναι πολύ επικίνδυνο να φορτιστούν με αυτή την τάση όπου η αντοχή του υλικού είναι 275 Mpa. Γιαυτό η μηχανή δεν πρέπει να φορτιστεί με τη μέγιστη αξονική δύναμη που μπορεί να αποδώσει. Για να μην κινδυνεύει η μηχανή από παραμορφώσεις θα πρέπει το μέγιστο φορτίο που μπορεί να εφαρμοστεί να είναι μικρότερο από αυτό που μπορεί να αποδώσει η μηχανή ώστε να έχουμε μια ασφάλεια. Η δύναμη αυτή θα υπολογιστεί με συντελεστή ασφαλείας $N=5$. Η επιτρεπόμενη τάση προκύπτει $\frac{\sigma_{μεγ}}{5} = \frac{275 \text{ Mpa}}{5} = 55$ Mpa = σεπ. Η δύναμη για να μην υπερβούμε την επιτρεπόμενη τάση είναι $F=619$ N. Με εφαρμογή αυτής της δύναμης στο λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων προκύπτει ότι είναι λίγο χαμηλότερη από την επιτρεπόμενη τάση, οπότε η δύναμη είναι δεκτή. Αυτό φαίνεται και παρακάτω στο σχήμα 7.2.



Σχήμα 7.1 Η εφαρμοζόμενη δύναμη με συντελεστή ασφαλείας $N=5$



Σχήμα 7.2 Κατανομή των τάσεων με εφαρμογή της δύναμης των 619 N

Όλα τα υλικά έχουν κάποια αντίσταση κοπής. Έτσι όσο πιο μεγάλος όγκος υλικού αφαιρείται τόσο μεγαλύτερη αντίσταση έχουμε. Η αντίσταση αυτή συνεπάγεται με δύναμη αντίδρασης, όπου αυτήν την παραλαμβάνουν τα εξαρτήματα της μηχανής. Με αυτή την δύναμη αντίδρασης του υλικού κατά την κοπή του θα υπολογιστούν τα μέγιστα βάθη κοπής σε κάθε υλικό ώστε η δύναμη που δέχεται η κατασκευή να είναι 619 N. Η δύναμη κοπής θα υπολογισθεί από τον τύπο του Otto Kienzle. Ο τύπος αυτός είναι ο εξής: $F_s = b * K_s * h^{1-z}$. Το F_s είναι η κύρια δύναμη κοπής, το b είναι το πλάτος αποβλίπτου (πάχος), το K_s είναι η ειδική αντίσταση κοπής, h είναι το πάχος αποβλίπτου (πρόωση) και τέλος το z είναι σταθερά του κατεργαζόμενου υλικού. Σε όλα τα υπολογιζόμενα βάθη κοπής η πρόωση είχε την τιμή 0,1 mm πρόωση ανά οδόντα. Έτσι αφού έχουμε δεδομένο την πρόωση ανά οδόντα h λύνουμε την εξίσωση ως προς το βάθος b . Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι τιμές των συντελεστών για κάθε υλικό και τα επιτρεπόμενα βάθη τα οποία προκύπτουν.

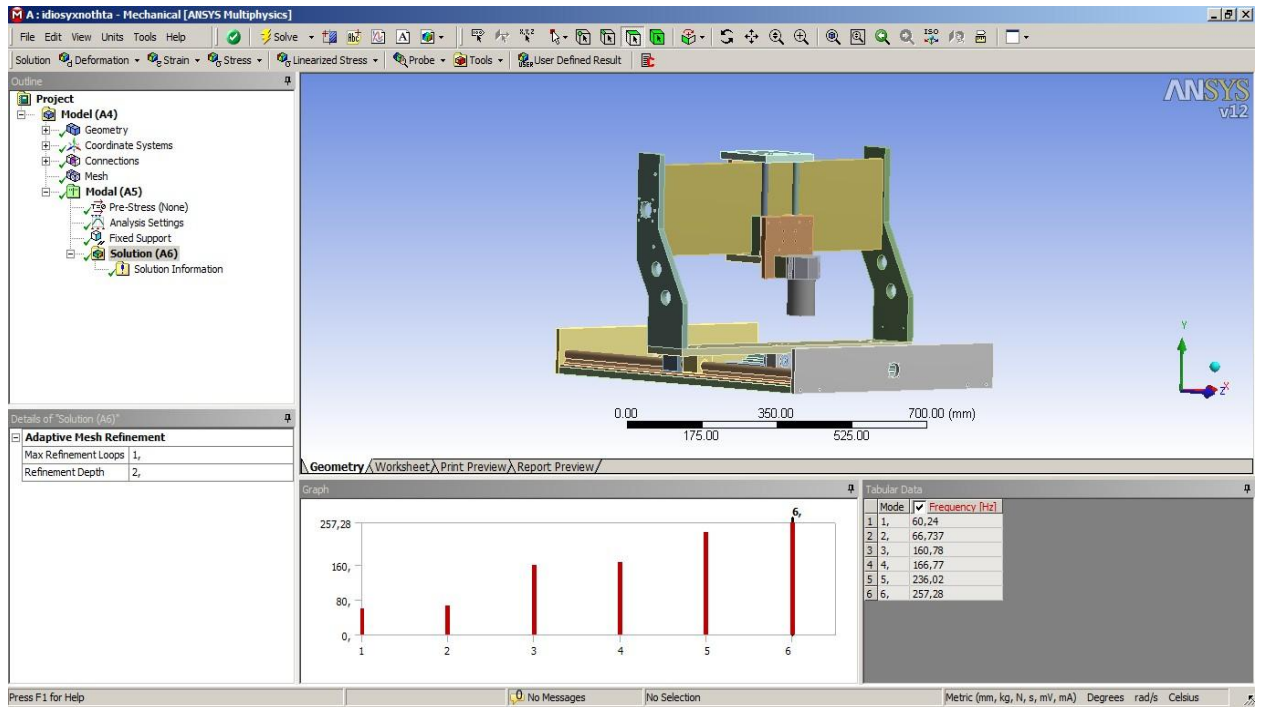
ΥΛΙΚΟ	Z(ΣΤΑΘΕΡΑ ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΥ. ΥΛΙΚΟΥ)	KS(ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΚΟΠΗΣ (N/mm ²))	ΜΕΓΙΣΤΟ ΒΑΘΟΣ ΚΟΠΗΣ (mm)
C15	0.22	1820	2.0
St50	0.26	1990	1.7
Ck45	0.14	2220	2.0
Ck60	0.18	2130	1.9

16MnCr5	0.26	2100	1.6
GG20	0.25	1020	3.4
GG25	0.26	1160	2.9
GGG60	0.17	1480	2.8

Πίνακας 7.1: Μέγιστα επιτρεπόμενα βάθη κοπής ανάλογα με το κατεργαζόμενο υλικό

8. ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Οι ταλαντώσεις είναι ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο στις cnc εργαλειομηχανές. Όπως είναι γνωστό ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των cnc μηχανών είναι η ακρίβεια τους. Για αυτό το λόγο οι ταλαντώσεις είναι ένα κεφάλαιο που επηρεάζουν πολύ την ακρίβεια τους. Για να έχουμε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια πρέπει η ιδιοσυχνότητα της κατασκευής να μην γίνει ίδια με την συχνότητα διέγερσης κατά την κοπή γιατί θα έχουμε το φαινόμενο του συντονισμού. Διέγερση στην κατασκευή προκαλεί η συχνότητα λειτουργίας του κινητήρα στον άξονα Z που δίνει κινητική ενέργεια στο κοπτικό εργαλείο. Η συχνότητα του κινητήρα είναι περίπου στα 50 Hz. Επίσης άλλη διέγερση προκαλούν οι κρούσεις κατά την κοπή από το εργαλείο. Η συχνότητα των κρούσεων αυτών εξαρτώνται από τις αρχές κοπής του εργαλείου και από την περιστροφική του ταχύτητα. Έτσι για να αποφύγουμε τον συντονισμό πρέπει οι δύο συχνότητες διέγερσης να μην συντονισθούν με τις ιδιοσυχνότητες της κατασκευής και να διαφέρουν κατά τριάντα τις εκατό (μεγαλύτερες ή μικρότερες) από την ιδιοσυχνότητα. Η ιδιοσυχνότητες υπολογίσθηκαν με το ίδιο λογισμικό που υπολογίσθηκαν οι τάσεις και οι παραμορφώσεις. Στο παρακάτω σχήμα 8.1 και πίνακα 8.1 φαίνονται οι ιδιοσυχνότητες της κατασκευής.



Σχήμα 8.1 Οι ιδιοσυχνότητες της κατασκευής

A/A	ΙΔΙΟΣΥΧΝΟΤΗΤΑ (Hz)
1	60,24
2	60,737
3	160,78
4	166,77
5	236,02
6	257,28

Πίνακας 8.1: Οι ιδιοσυχνότητες τις κατασκευής

Στοη πίνακα 8.1 φαίνεται ότι οι δύο πρώτες ιδιοσυχνότητες είναι οι επικίνδυνες. Είναι επικίνδυνες γιατί είναι μέσα στα όρια της διαφοράς του τριάντα τις εκατό η συχνότητα του κινητήρα . Έτσι πρέπει η διέγερση που προκαλεί το κοπτικό εργαλείο πρέπει να μην είναι και αυτή μέσα στα όρια αυτών των ιδιοσυχνοτήτων. Η συχνότητα διέγερσης από το κοπτικό υπολογίζεται από τον πολλαπλασιασμό των στροφών ανά δευτερόλεπτο επί τον αριθμό των αρχών του : $f_r = \text{rpm}/60 \cdot c$. Παρακάτω παρουσιάζεται ο πίνακας 8.1 με τις συχνότητες που προκαλούνται από το κοπτικό ανάλογα με τις διαθέσιμες στροφές των κινητήρων του εμπορίου και τις αρχές του κοπτικού καθώς και η πρόωση του κοπτικού εργαλείου σε χιλιοστά ανά λεπτό.

ΣΤΡΟΦΕΣ ΑΝΑ ΛΕΠΤΟ	ΚΟΠΤΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ : 2	ΠΡΟΩΣΗ ΜΕ ΚΟΠΤΙΚΟ ΔΥΟ ΑΡΧΩΝ mm/min	ΚΟΠΤΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ : 4	ΠΡΟΩΣΗ ΜΕ ΚΟΠΤΙΚΟ ΤΕΣΣΑΡΩΝ ΑΡΧΩΝ mm/min
3000	100 HZ	600	200 Hz	1200
6000	200 Hz	1200	400 Hz	2400
8000	267 Hz	1600	534 Hz	3200
12000	400 Hz	2400	800 Hz	4800
18000	600 Hz	3600	1200 Hz	7200

Πίνακας 8.2: Συχνότητες διέγερσης στην κατασκευή συναρτήση των αρχών του κοπτικού εργαλείου και τις στροφές του κινητήρα και πρόωση του κοπτικού εργαλείου συναρτήση των αρχών του και τις στροφές του κινητήρα.

Το εύρος των συχνοτήτων που πρέπει να αποφεύγεται από την πρώτη ιδιοσυχνότητα είναι από 42,17 Hz έως 78,31 Hz ($60,24 \pm 0,3$) ενώ το δεύτερο εύρος από την άλλη ιδιοσυχνότητα είναι 46,717 Hz έως 86,937 Hz. Βλέπουμε ότι οι συχνότητες από το κοπτικό δεν είναι ίδιες με τις δύο επικίνδυνες ιδιοσυχνότητες και είναι και εκτός από την επικίνδυνη περιοχή. Στην πραγματικότητα όμως κατά την διάρκεια της κοπής ο κινητήρας αντιμετωπίζει αντίσταση και μειώνονται στροφές, οπότε μειώνεται και η συχνότητα. Με αυτή τη μείωση μπορεί να εισέλθει στο μη επιτρεπόμενο φάσμα συχνοτήτων. Για αυτό το λόγο θα πρέπει εάν χρησιμοποιηθεί κινητήρας με 3000 στροφές ανά λεπτό να μην χρησιμοποιηθεί κοπτικό κονδύλι με δύο αρχές (δίπτερο).

9. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΒΕΛΤΙΩΣΗΣ

Με τα αποτελέσματα από την μελέτη αντοχής της κατασκευής είναι φανερό ότι τις μεγαλύτερες τάσεις τις δέχονται οι δύο οδηγοί του άξονα Z. Στην εφαρμογή των ονομαστικών φορτίων έγινε αντιληπτό ότι οι οδηγοί θα παραμορφωθούν πλαστικά γιατί η τάση που δέχονται ξεπερνάει την μέγιστη τάση που μπορεί να αντέξει το υλικό. Σε όλες τις κατασκευές όμως υπάρχει πάντα ένας συντελεστής ασφαλείας ώστε να υπάρχουν περιθώρια για να μην έχουμε αστοχία. Έτσι και στην δική μας περίπτωση υπολογίστηκε με συντελεστή ασφαλείας $N=5$ ποιο είναι το μέγιστο φορτίο που πρέπει να δέχεται η κατασκευή. Παρά το γεγονός ότι με το φορτίο των 619 N η κατασκευή δεν έχει κανένα πρόβλημα αντοχής είναι καλό οι δύο οδηγοί να αντικατασταθούν με οδηγούς μεγαλύτερης διαμέτρου αν είναι το ίδιο υλικό ή με κάποιο άλλο υλικό μεγαλύτερης αντοχής. Αυτή η αλλαγή θα ήταν καλή διότι κατά την κοπή με την δύναμη των 619 N έχουμε πάλι μια παραμόρφωση. Αυτή η παραμόρφωση όσο μικρή και αν είναι και δεν επηρεάζει την κατασκευή στο θέμα της αντοχής, επηρεάζει την κατεργασία. Αυτό συμβαίνει διότι όταν το κοπτικό εργαλείο θα κόβει το μέταλλο με την παραμόρφωση που θα υπάρχει δεν θα είναι κάθετα στην επιφάνεια κατεργασίας αλλά θα έχει μια πολύ μικρή κλίση. Αυτή η κλίση θα επηρεάζει και στις διαστάσεις του τελικού κατεργαζόμενου τεμαχίου αλλά και την ποιότητα της κατεργαζόμενης επιφάνειας. Έτσι με αυτήν την αλλαγή η μηχανή θα κατεργάζεται με μεγαλύτερη ακρίβεια τα τεμάχια

10. Βιβλιογραφία

1. Νικόλαος Μπιλάλης, Εργαλειομηχανές Αριθμητικού ελέγχου Nc & Cnc, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1993.
2. Φιλήμονας Χρ. Σκιπτίδη, Ph.D. Βασικές αρχές αριθμητικού ελέγχου και προγραμματισμός εργαλειομηχανών Cnc Τόμος Α, Εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική, 2000.
3. Ιωάννης Δ. Κεχαγιάς Δρ. Μηχ/γος Μηχ/κος, Εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης.Θεωρία και εργαστήριο, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2009.
4. Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης. Μηχανουργική Τεχνολογία Τόμος Β Κατεργασίες κοπής, Εκδόσεις Τζιόλα,2011.
5. <http://www.aerospacemetals.com/contact-aerospace-metals.html>.
6. Δαυίδ Κωνσταντίνος, Σημειώσεις: μηχανουργικές κατεργασίες με ψηφιακή καθοδήγηση, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες.
7. Μοσχίδης Νικόλαος, Σημειώσεις: Στοιχεία μηχανών Ι, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Σέρρες.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΤΟΥ CNC ROUTER

Σύντομο Βιογραφικό Σημείωμα

Προσωπικά στοιχεία:

Σαρακινούδης Ευάγγελος

Βασική εκπαίδευση:

Απόφοιτος 3^{ου} Γενικού λυκείου
Αλεξανδρούπολης

Σπουδές:

Επαγγελματική δραστηριότητα:



**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΗΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**Διευθυντής: Καθηγητής Dr.-Ing. Κ. Δαυίδ
ΤΕΡΜΑ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ, 62124, ΣΕΡΡΕΣ
Τηλ. +30 23210 49157**