



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ



**Σχεδιασμός κατακόρυφου δράπανου και δυναμική
ανάλυση μέσω της μεθόδου πεπερασμένων στοιχείων**

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: **Αγγελόπουλος Δημήτριος**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: **Σταυρουλάκης Γεώργιος**

ΧΑΝΙΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2014

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας, στα πλαίσια της φοίτησης μου στο Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε όλους τους ανθρώπους εκείνους που συνέβαλαν ώστε να καταφέρω να εκπληρώσω το στόχο μου.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές με τους οποίους ήρθα σε επαφή όλα αυτά τα χρόνια, τον καθένα ξεχωριστά, τόσο για την υπομονή τους, όσο και την επιμονή τους, ώστε να μας διδάξουν και να μας και να μας προσφέρουν όλα τα απαραίτητα εφόδια

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου και υπεύθυνο για την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας Κ. Σταυρουλάκη Γεώργιο, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου, την πολύτιμη βοήθειά του και την αμέριστη συμπαράσταση που έλαβα από την αρχή έως το τέλος των υποχρεώσεών μου.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Κ. Νικολό, καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, ο οποίος από τον ρόλο του σαν καθηγητής, μου προσέφερε πολύτιμες συμβουλές που θα με βοηθήσουν στη πορεία της ζωής μου.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω ένα ευχαριστώ για την Κ. Χαρίτου Καλλιόπη που με βοήθησε και με στήριξε στην διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ όλους τους φίλους μου, τόσο αυτούς που απέκτησα κατά την διάρκεια της φοιτητικής μου ζωής στην πόλη των Χανίων, όσο και εκείνους που άφησα πίσω στην πόλη μου την Αθήνα, για την αγάπη, το ενδιαφέρον και τη συμπαράσταση τους όλα αυτά τα χρόνια.

Κλείνοντας, ένα μεγάλο ευχαριστώ το οφείλω στη σύντροφο μου Νάσια που είναι δίπλα μου, με νοιάζεται και μου συμπαραστέκεται στις δύσκολες στιγμές. Το μεγαλύτερο ευχαριστώ όμως δικαιωματικά το οφείλω στην οικογένεια μου, την αδερφή μου Γωγώ και τους γονείς μου Παρασκευά και Ιωάννα γιατί εκτός από τη στήριξη και την υπομονή τους όλα τα χρόνια της ακαδημαϊκής μου εκπαίδευσης, αυτοί μου έδωσαν την δύναμη για να γίνω ο άνθρωπος που είμαι.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....σελ.	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
1.1 Ιστορικό των εργαλειομηχανών.....σελ.	5
1.2 Κατηγορίες των εργαλειομηχανών.....σελ.	9
1.3 Περιγραφή της φρεζομηχανής.....σελ.	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	
2.1 Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων.....σελ.	19
2.1.1 Ιστορική ανασκόπηση.....σελ.	19
2.1.2 Βασικές έννοιες της μεθόδου.....σελ.	20
2.2 Pro/Engineering.....σελ.	22
2.3 Το πρόγραμμα Comsol Multiphysics.....σελ.	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ.....σελ.	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	
4.1 Εισαγωγή.....σελ.	47
4.2 Στάδια της ανάλυσης.....σελ.	48
4.3 Παρουσίαση των μοντέλων.....σελ.	49
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΣΤΑΔΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟ COMSOL.....σελ.	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	
6.1 Ανάλυση σε ελεύθερο μοντέλο.....σελ.	69
6.2 Ανάλυση στο μοντέλο με πάκτωση στη βάση.....σελ.	92
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....σελ.	109
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ.....σελ.	135
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.	137

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία εξετάζουμε το σχεδιασμό και τη δυναμική συμπεριφορά ενός κατακόρυφου δράπανου. Ο σχεδιασμός του μοντέλου πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του προγράμματος Pro/Engineering και η ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς στο πρόγραμμα Comsol Multiphysics. Η εργασία αποτελείται από επτά κεφάλαιο.

Στο *Πρώτο Κεφάλαιο*, γίνεται μία εισαγωγή για την έννοια της εργαλειομηχανής που αναλύεται σε τρεις υποενότητες. Η πρώτη υποενότητα περιλαμβάνει το ιστορικό των εργαλειομηχανών, ακολουθεί η δεύτερη περιγράφοντας τα είδη και τις κατηγορίες τους και στην συνέχεια στην τρίτη υποενότητα δίνεται μια αναλυτική περιγραφή για τα δράπανα και συγκεκριμένα για τα δράπανα στήλης όπου αφορά τη μελέτη.

Στο *Δεύτερο Κεφάλαιο* γίνεται μία σύντομη αναφορά για τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, το πρόγραμμα Pro/Engineering και το Comsol Multiphysics δίνοντας μία γενική εικόνα.

Στο *Τρίτο Κεφάλαιο* περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος σχεδίασης του μοντέλου του δράπανου, εξηγώντας τον τρόπο λειτουργίας των εντολών που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο *Τέταρτο Κεφάλαιο* δίνεται η μεθοδολογία της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε, κάνοντας μία πολύ σύντομη εισαγωγή στην έννοια της ιδιομορφικής ανάλυσης, αναδεικνύοντας τα βήματα που ακολουθήθηκαν και παρουσιάζοντας το μοντέλο όπως απλοποιήθηκε για να εισαχθεί στο πρόγραμμα Comsol μαζί με τις τροποποιήσεις που έγιναν για τα βήματα της ανάλυσης.

Στο *Πέμπτο Κεφάλαιο* δίνονται αναλυτικά τα στάδια μοντελοποίησης του προγράμματος Comsol, περιγράφοντας τον τρόπο που πραγματοποιήθηκαν.

Στο *Έκτο και στο Έβδομο Κεφάλαιο* μετά από την επίλυση του προβλήματος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της κάθε περίπτωσης και στην συνέχεια, δίνονται οι συγκεντρωτικοί πίνακες των αποτελεσμάτων βάση των οποίων γίνεται η ανάλυση.

Τέλος, στο *Όγδοο Κεφάλαιο*, αναφέρεται στα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από την μελέτη της ανάλυσης και δίνεται ένα έναυσμα για επέκταση της μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

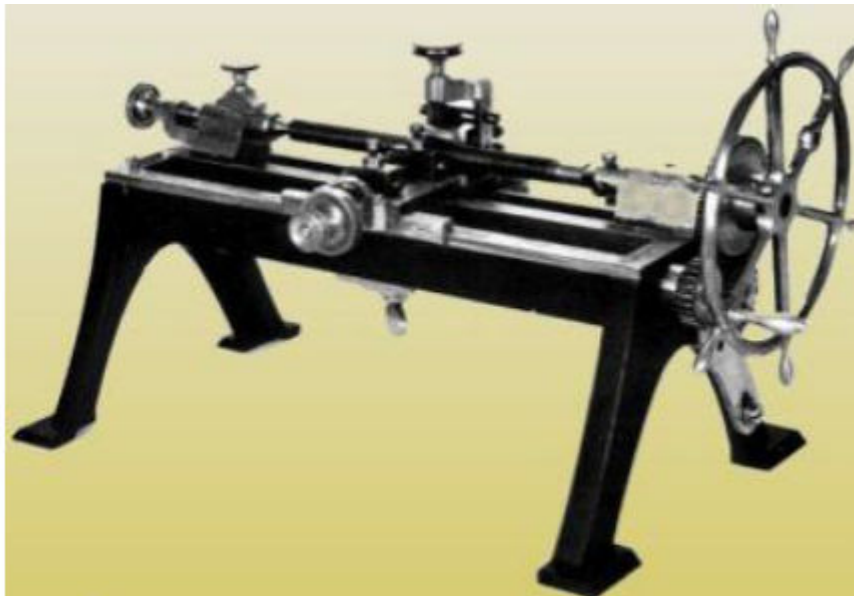
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Η ανάπτυξη των εργαλειομηχανών χρονολογείται γύρω στο 1775 και παρουσιάζει γρήγορη αύξηση κατά τον 19^ο αιώνα.

Το 1775 ο Άγγλος John Wilkinson κατασκεύασε ένα οριζόντιο δρόπανο (φρεζοδρέπανο) για την επεξεργασία των εσωτερικών επιφανειών πυροβόλων στο οποίο η κινητήρια δύναμη της μηχανής προερχόταν από ένα υδροτροχό.

Το 1794 ο Henry Maudsley κατασκεύασε ένα μεταλλικό τόρνο με αυτοδύναμη προώθηση του κοπτικού εργαλείου και τα επόμενα χρόνια κατασκεύασε διάφορους όμοιους τόρνους με μεταβαλλόμενη ταχύτητα περιστροφής, καθώς και επίσης και κοπτικές μηχανές για σπειρώματα και γρανάζια.



Εικόνα 1.1.1 Ο τόρνος του Maudsley για την κοπή σπειρωμάτων

Κατά την δεκαετία του 1810 ο James Watt κατασκεύασε ένα παντογράφο, μια μηχανή που χρησιμοποιείται συχνά και σήμερα για να αντιγράψει ανάγλυφες επιφάνειες. Στη συνέχεια ο Thomas Blanchard δημιούργησε ένα τόρνο για την παραγωγή μικρών κανών όπλων, στον οποίο ένα προκατασκευασμένο υπόδειγμα καθοδηγούσε το κοπτικό εργαλείο. Έπειτα στη δεκαετία του 1840

κατασκευάστηκε ο πρώτος αυτόματος τόνος που είναι γνωστός σαν ρεβόλβερ.

Στο δεύτερο μισό του 19^ο αιώνα παρατηρείται ανάπτυξη μεγάλης ποικιλίας εργαλειομηχανών για τις βασικές λειτουργίες κοπής και μετάλλου, όπως τόννευση, φρεζάρισμα, διάτρηση, πλάνισμα και λείανση, οι οποίες αρχίζουν να χρησιμοποιούνται ευρέως στον βιομηχανικό τομέα.

Σημαντική ήταν η συμβολή του Άγγλου Joseph Whitworth, ο οποίος ασχολήθηκε με κατασκευές οργάνων μετρήσεων και σπειρωμάτων, καθώς και επίσης δημιούργησε και τις αρχές τυποποίησης. Εξαιτίας αυτών των αρχών, κάθε εξάρτημα σε μια μηχανή σε περίπτωση βλάβης, μπορούσε εύκολα να αντικατασταθεί με ένα ανταλλακτικό πανομοιότυπο. Έτσι ξεκινάει η εποχή της μαζικοποιημένης μηχανολογικής παραγωγής.

Κατά το 1800 στην Αγγλία κατασκευάζονται οι πρώτες πλάνες για μεταλλικές επιφάνειες και στις πρώτες δεκαετίες του 19^ο αιώνα σημειώνεται η κατασκευή μεγάλων πλανών για σημαντικές μεταλλικές κατασκευές σε Αγγλία, Αμερική και Γερμανία .

Το 1947 ήταν αδύνατο για την κατασκευαστική βιομηχανία να καλύψει τις ανάγκες της Αμερικανικής πολεμικής αεροπορίας. Δεν ήταν μόνο η μειωμένη παραγωγική ικανότητα των συμβατικών εργαλειομηχανών αλλά και η συνεχής παραγωγή χωρίς συντήρηση και η κόπωση των τεχνικών που οδηγούσε συχνά σε ελαττωματικά προϊόντα. Έτσι το 1949 ο Johns Parsons της Parsons Corporation και το τεχνολογικό ινστιτούτο Μασαχουσέτης (MIT) ανέλαβαν την ανάπτυξη αυτοματοποιημένων εργαλειομηχανών.

Έπειτα, το 1952, το MIT ολοκλήρωσε με επιτυχία την πρώτη ψηφιακή εργαλειομηχανή (μηχανή αριθμητικού ελέγχου/Numerical Control – NC), μία φρέζα με κατακόρυφη άτρακτο με το όνομα Cincinnati Hydrotel και έχει τη δυνατότητα να κατασκευάζει εξαρτήματα με ταυτόχρονες κινήσεις κοπής σε τρεις άξονες και να εισάγει πληροφορίες μέσω διατρητής ταινίας. Το 1954 άρχισε να δημιουργείται η πρώτη συμβολική γλώσσα προγραμματισμού, ο Αυτόματος Προγραμματισμός Εργαλείων (APT) όπως ονομάστηκε.

Το 1958 , η εταιρία Bendix αγόρασε την πατέντα από τον Parsons και κατασκεύασε την πρώτη εμπορική ψηφιακά καθοδηγούμενη εργαλειομηχανή. Από εκείνη την περίοδο και μετά, η χρήση αυτών των μηχανών γίνεται απαραίτητη στον βιομηχανικό τομέα. Ξεκινάει η προσπάθεια

αυτοματοποίησης όλων των μηχανουργικών κατεργασιών και η ανάπτυξη των αντίστοιχων NC εργαλειομηχανών.

Η εξέλιξη των μικροϋπολογιστών οδήγησε στη μετάβαση από τις NC στις CNC εργαλειομηχανές (Computer Numerical Control) και η ανάπτυξη των αισθητήρων και των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου στις αντίστοιχες DNC μηχανές. (άμεσα καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές με ηλεκτρονικό υπολογιστή/Direct Numerical Control). Έτσι σήμερα, από την απλή διάτρηση, έως την πολύπλοκη επεξεργασία ανάγλυφων επιφανειών, χρησιμοποιούνται απλές και φθηνές ή σύνθετες και ακριβές εργαλειομηχανές.

Η συνεργασία των μηχανουργικών κατεργασιών με NC, CNC και DNC μηχανές με άλλες λειτουργίες που υποστηρίζονται από ηλεκτρονικό υπολογιστή, οδήγησαν στη δημιουργία των ολοκληρωμένων με υπολογιστή συστημάτων παραγωγής (CIM).



Εικόνα 1.1.2 Σύγχρονη εργαλειομηχανή CNC

Έτσι τα συστήματα ανάπτυξης (Computer Aided Engineering/CAE)

Έρχονται να βελτιστοποιήσουν το επιθυμητό προϊόν. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν συστήματα σχεδίασης (CAD /Computer Aided Design) και προγράμματα διαφόρων υπολογισμών με τη χρήση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων για την οποία θα γίνει αναφορά στην παρακάτω ενότητα (FEM / υπολογιστική μέθοδος στατικής και δυναμικής αντοχής κατασκευών). Ο προγραμματισμός των κατεργασιών γίνεται σε συστήματα CAM (Computer Aided Manufacturing).

Τα σύγχρονα μηχανουργεία εντάσσουν τις NC, CNC και DNC εργαλειομηχανές σε ακόμα πιο σύνθετες δομές, που ονομάζονται ευέλικτα συστήματα παραγωγής (FMS). Τα συστήματα αυτά ενσωματώνουν ηλεκτρονικό σχεδιασμό της παραγωγής, αυτόματες μεταφορικές διατάξεις και αποθήκες, βιομηχανικά ρομπότ και διατάξεις ποιοτικού ελέγχου. Όλα αυτά καθοδηγούνται και εποπτεύονται από έμπειρους μηχανικούς και τεχνικούς, με τη βοήθεια δικτύου ηλεκτρονικών υπολογιστών. Με τον τρόπο αυτό η παραγωγή αποτελεί πλέον μια ελεγχόμενη και τυποποιημένη διαδικασία.

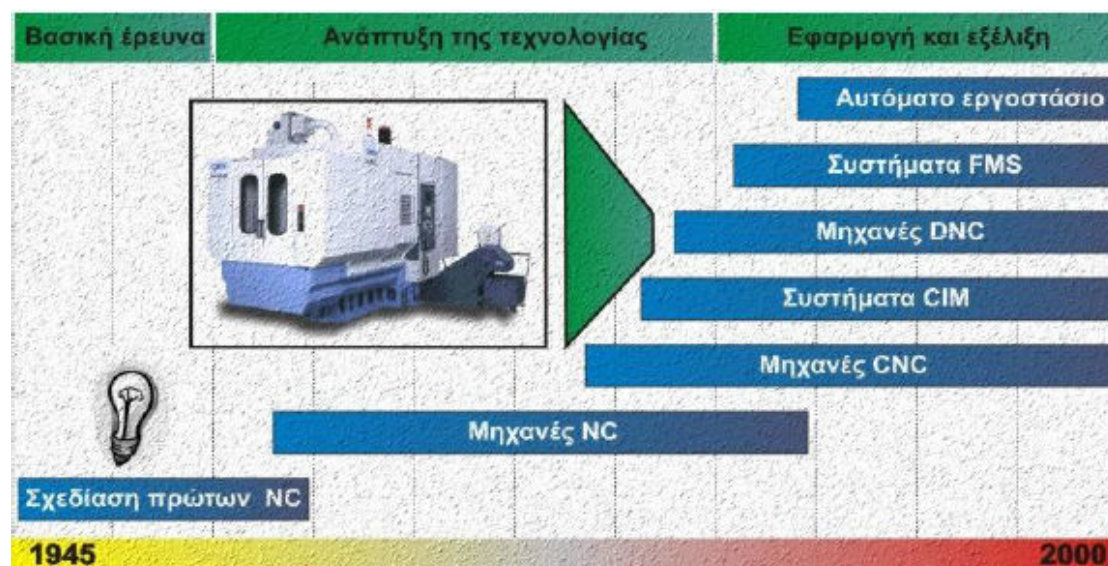
Κλείνοντας, στις μέρες μας έχουν αναπτυχθεί υψηλών στροφών μηχανές (High Speed), οι οποίες με τη βοήθεια των συστημάτων FMS, μειώνουν σε πολύ σημαντικό βαθμό τον χρόνο παραγωγής.

Οι μηχανές αυτές διαφέρουν από τις συμβατικές CNC μηχανές ως προς την τεχνολογία που χρησιμοποιούν.



Εικόνα 1.1.3 Κατεργασία φρεζαρίσματος υψηλών ταχυτήτων HSM

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται διαγραμματικά η ιστορική εξέλιξη των εργαλειομηχανών από τα αρχικά στάδια της έρευνας μέχρι την ολοκληρωτική εφαρμογή τους



Εικόνα 1.1.4 Τα στάδια εξέλιξης των εργαλειομηχανών.

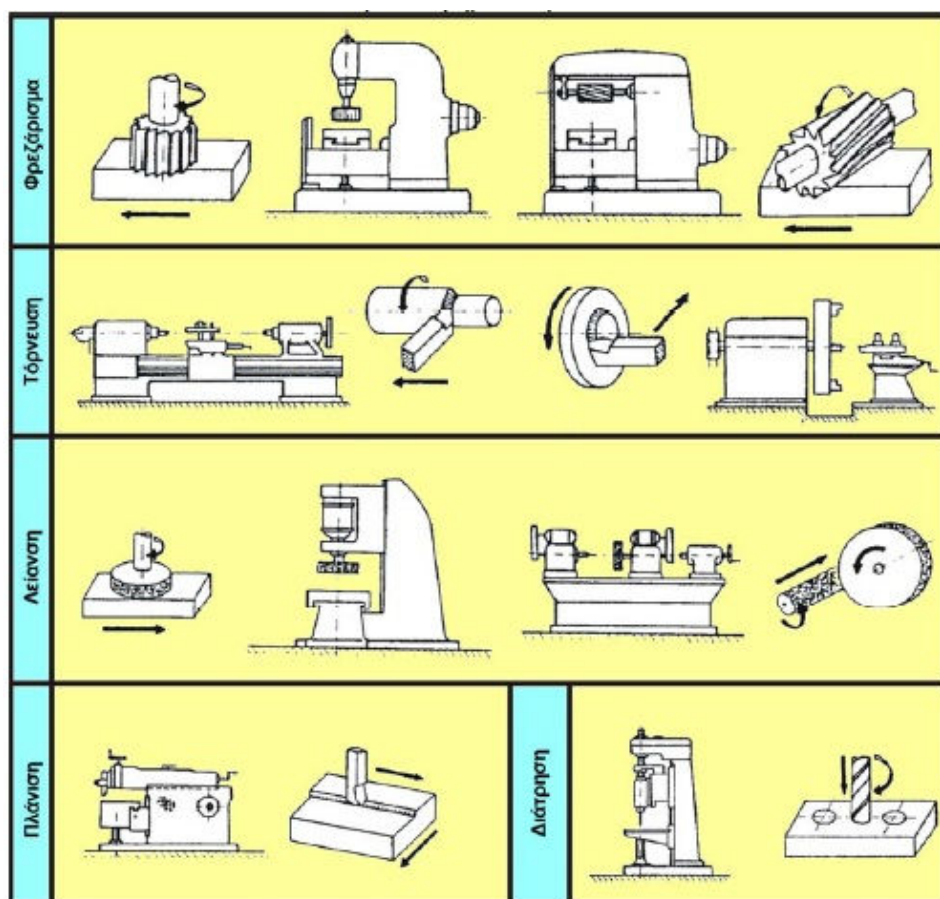
1.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

Οι κατηγορίες των εργαλειομηχανών, οι βασικότερες κατεργασίες με αφαίρεση υλικού, ποια εργαλειομηχανή αντιστοιχεί σε κάθε εκτέλεση εργασίας, οι τεχνικές επιφάνειας και η κίνηση του κοπτικού εργαλείου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Εργαλειομηχανή	Κατεργασία	Τεχνικές Επιφάνειες	Κίνηση Εργαλείου	Κίνηση Τεμαχίου
Τόρνος	Τόρνευση	Κυκλικές	Μετατόπιση	Περιστροφή
Φρέζα	Φρεζάρισμα	Επίπεδες Κυκλικές Εσοχές Αυλάκια Οδοντοτροχοί	Περιστροφή	Μετατόπιση

Διάτρηση	Δράπανο	Άνοιγμα οπών	Περιστροφή	Ακίνητο
Πλάνισμα	Πλάνη	Επίπεδες	Μετατόπιση	Μετατόπιση
Λείανση	Λειαντικός Τροχός	Επίπεδες Κυκλικές	Περιστροφή + Μετατόπιση	Περιστροφή = Μετατόπιση

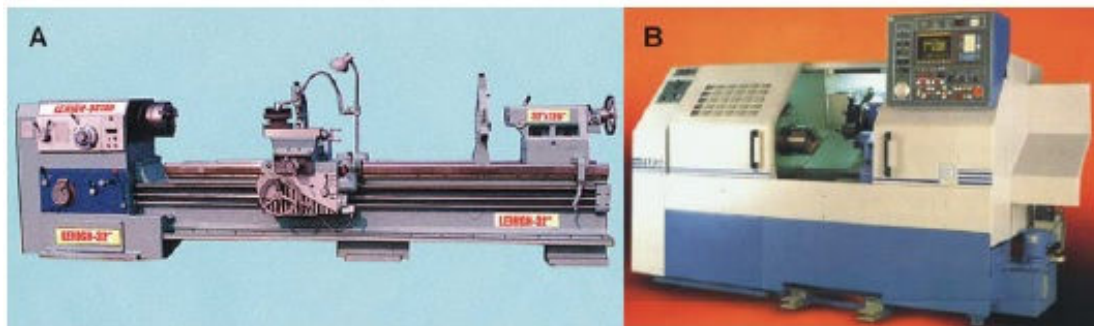
Στην εικόνα 1.2.1 παρουσιάζονται οι κυριότερες κατεργασίες με αφαίρεση υλικού και σχηματικά οι αντίστοιχες χρησιμοποιούμενες εργαλειομηχανές.



Εικόνα 1.2.1 Κατεργασίες με αφαίρεση υλικού

Επίσης οι εργαλειομηχανές με αφαίρεση υλικού κατατάσσονται με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

- Ως προς το είδος της κατεργασίας
- Ως προς το είδος της πρωτεύουσας κίνησης
 - Εργαλειομηχανές με περιστροφική κίνηση
 - Εργαλειομηχανές με ευθύγραμμη πρωτεύουσα κίνηση
- Ως προς το βαθμό εξειδίκευσεως
 - Εργαλειομηχανές γενικής χρήσεως
 - Εργαλειομηχανές ειδικής χρήσεως
 - Εξειδικευμένες εργαλειομηχανές
- Ως προς την ακρίβεια κατεργασίας
 - εργαλειομηχανές συνήθους ακριβείας
 - εργαλειομηχανές ακριβείας
 - εργαλειομηχανές μεγάλης ακριβείας
 - εργαλειομηχανές υψίστης ακριβείας
- ως προς το βάρος
 - εργαλειομηχανές ελαφρές (βάρος μικρότερο του 1 τόνου)
 - εργαλειομηχανές μέσου βάρους (βάρος μεταξύ 1 και 10 τόνων)
 - εργαλειομηχανές βαριές (βάρος μεγαλύτερο των 10 τόνων)
- ως προς το βαθμό αυτοματισμού
 - κοινές εργαλειομηχανές
 - ημιαυτόματες εργαλειομηχανές (οι κινήσεις γίνονται αυτόματα)
 - αυτόματες εργαλειομηχανές (οι κινήσεις και η τροφοδοσία γίνονται αυτόματες)



Εικόνα 1.2.2 Τόρνοι, Α: συμβατικός τόρνος, Β: Τόρνος με ψηφιακή καθοδήγηση CNC.

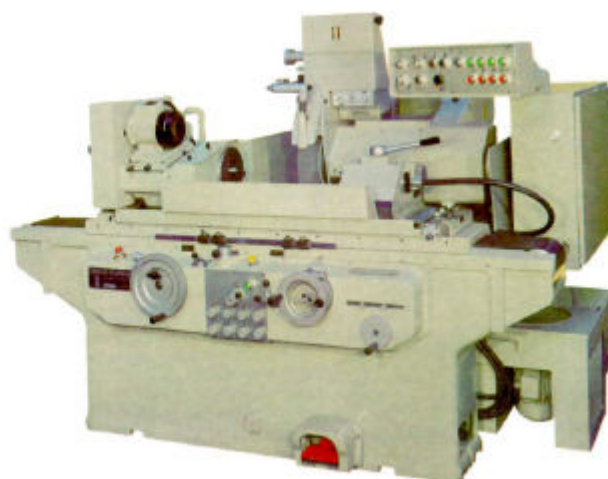


Εικόνα 1.2.3

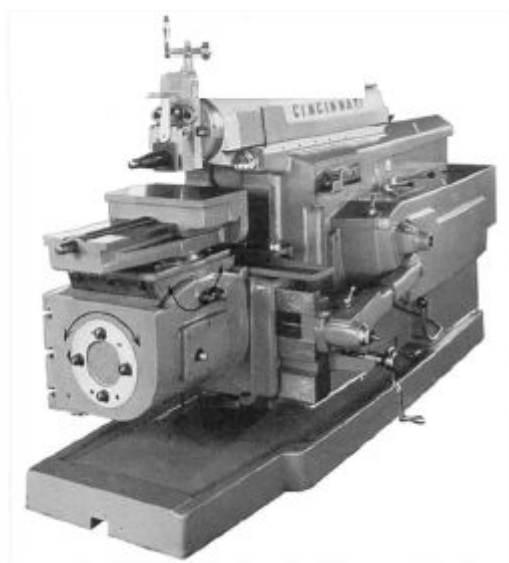
Φρεζομηχανές



Εικόνα 1.2.4 Δρέπανο



Εικόνα 1.2.5 Λειαντική Μηχανή



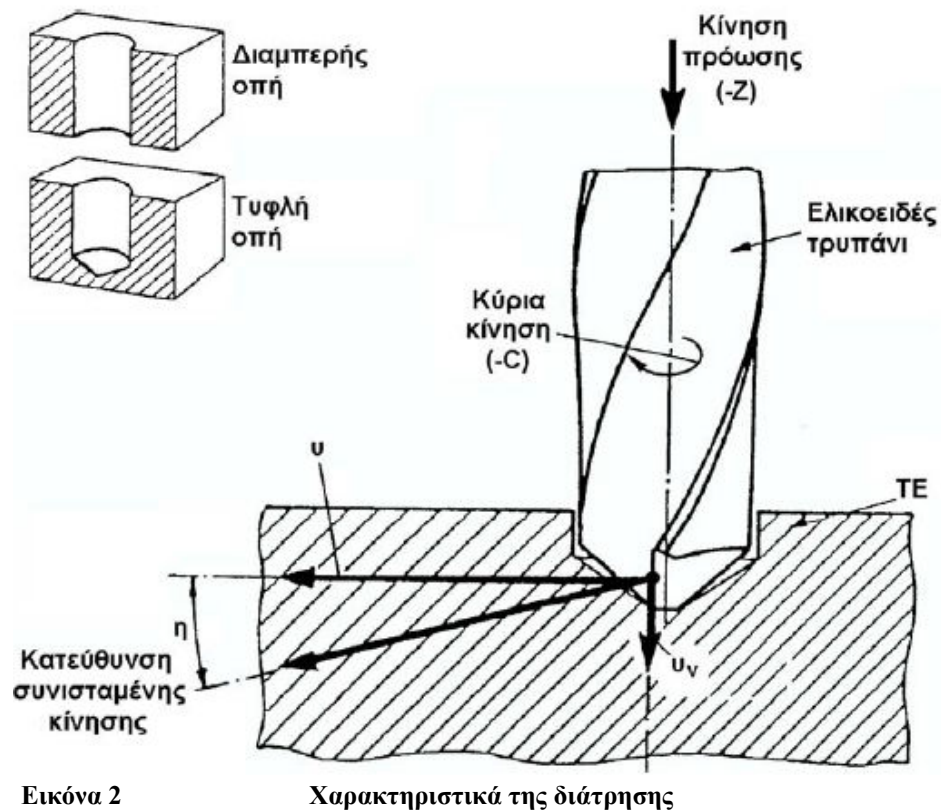
Εικόνα 1.2.6

Πλάνη

1.3 ΔΡΑΠΑΝΑ

Τα δράπανα, για τα οποία έγινε αναφορά και στη προηγούμενη ενότητα χρησιμοποιούνται για κατεργασίες αφαίρεσης υλικού προς διάνοιξη οπής ή τη διεύρυνση ήδη υπάρχουσας οπής. Ως κοπτικό εργαλείο χρησιμοποιείται το ελικοειδές τρύπανο που χαρακτηρίζεται ως κοπτικό εργαλείο καθορισμένης γεωμετρίας και πολλαπλής σημειακής επαφής. Οι κινήσεις του ΚΕ κατά τη διάτρηση είναι:

- (α) Η πρωτεύουσα κίνηση (-C) που αντιστοιχεί στην περιστροφική κίνηση του ΚΕ περί τον κατακόρυφο άξονά του.
- (β) Η δευτερεύουσα κίνηση (-Z) που αντιστοιχεί στη συνεχή αξονική κίνηση πρόωσης του ΚΕ μέσα στο κατεργαζόμενο τεμάχιο (ΤΕ).

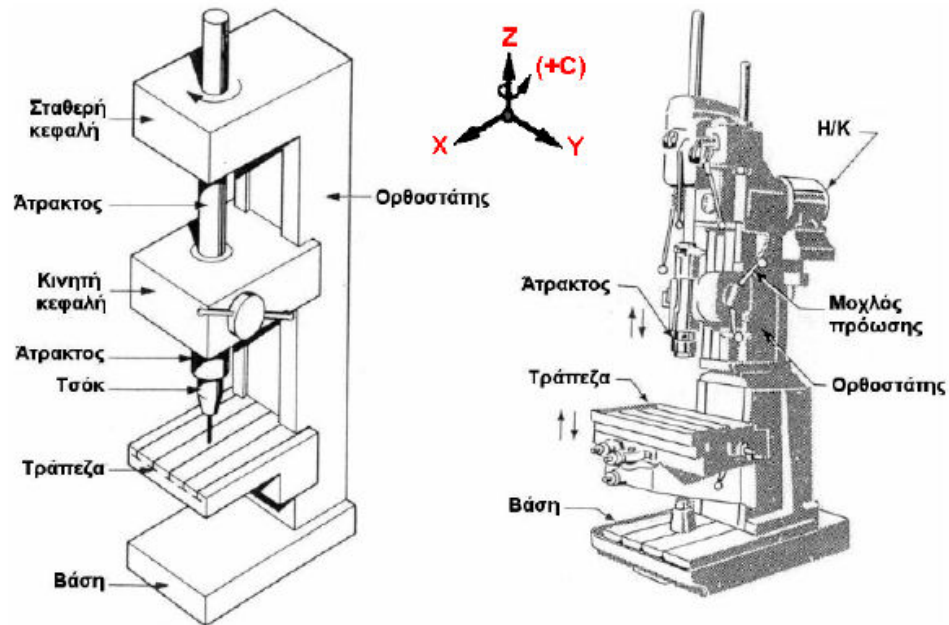


Η κατάταξη των δράπανων διακριτοποιείται

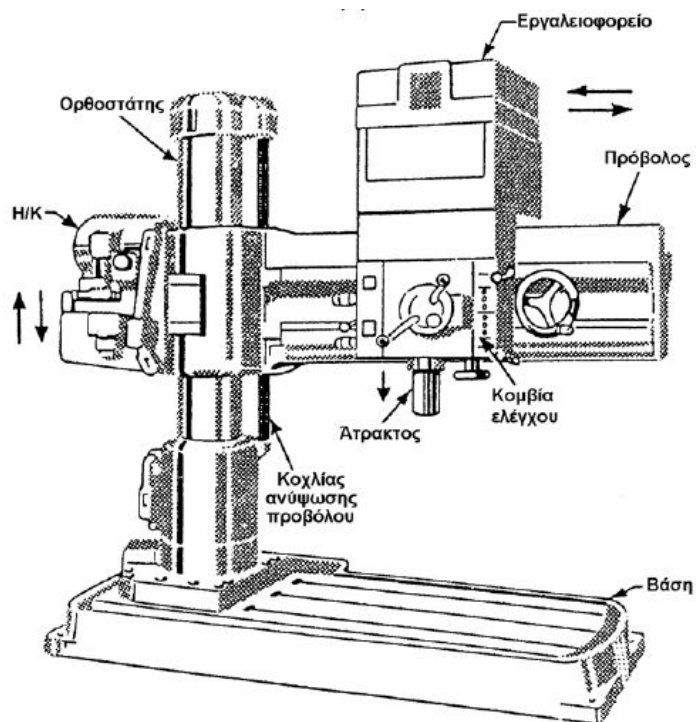
- Ανάλογα με το βάρος τους: Ελαφρά, μεσαία και βαρέως τύπου.
- Ανάλογα με το μέγεθος τους: Μικρά, μεσαία και μεγάλα.
- Ανάλογα με τη διάταξη της κύριας ατράκτου: Κατακόρυφα και οριζόντια.
- Ανάλογα με τον αριθμό των ατράκτων που λειτουργούν ταυτόχρονα: μονοάτρακτα, πολυάτρα-κτα και ακτινωτά.
- Ανάλογα με τον τρόπο κίνησης της ατράκτου: Χειροκίνητα, μηχανοκίνητα και αεροκίνητα.

Τα μηχανοκίνητα δράπανα αποτελούν το επιτραπέζιο δράπανο, το δράπανο στήλης, το ακτινωτό δράπανο (radial), το δράπανο μεταφοράς, το

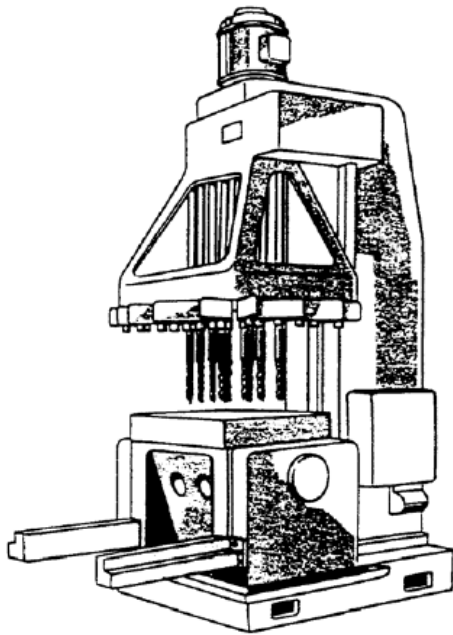
πολυάτρακτο δράπανο, το πυργωτό δράπανο και το δράπανο για οπές μεγάλου βάθους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα των δράπανων παρουσιάζονται στις παρακάτω εικόνες.



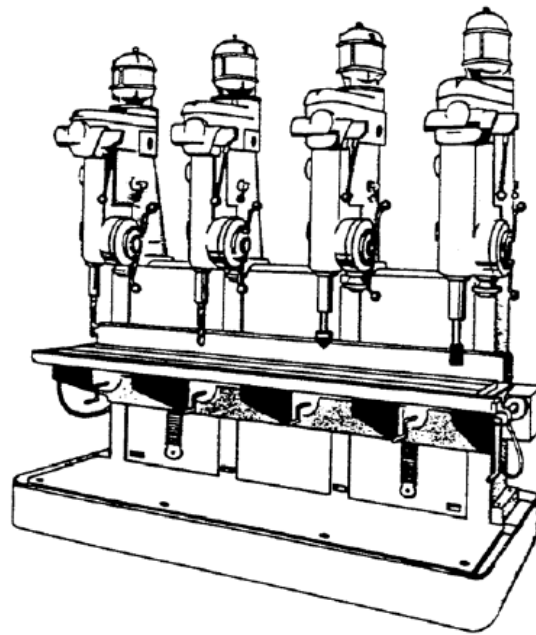
Εικόνα 1.3.1 Δράπανο στήλης



Εικόνα 1.3.2 Ακτινωτό δρόπανο (radial)



Εικόνα 1.3.3 Δράπανο μεταφοράς



Εικόνα 1.3.4 Πολυάτρακτο δρόπανο

Το **δρόπανο στήλης**, που αφορά την συγκεκριμένη μελέτη αποτελείται από τη βάση, τη στήλη (κορμός η ορθοστάτης), τη σταθερή κεφαλή, την κινητή κεφαλή και την τράπεζα. Ακολουθεί μια μικρή περιγραφή για το κάθε μέρος ξεχωριστά.

(i) Η βάση πρέπει να είναι συμπαγής, στιβαρή και απόλυτα ευθυγραμμισμένη σε κατάλληλη θεμελίωση.

(ii) Ο ορθοστάτης

- Προσαρμόζεται στη βάση και φέρει όλα τα άλλα δομικά στοιχεία του δραπάνου.
- Είναι συνήθως χυτός, κοίλος, ορθογωνικής ή κυλινδρικής μορφής.
- Στην πρόσθια πλευρά του φέρει ολισθητήρες για τη μετακίνηση της κινητής κεφαλής και της τράπεζας.

(iii) Η τράπεζα

- Φέρει αύλακες μορφής T για τη συγκράτηση του TE ή την πρόσδεση των συσκευών συγκράτησης αυτού.
- Όταν ο ορθοστάτης είναι κυλινδρικής μορφής, η τράπεζα μπορεί πέρα από την κατακόρυφη κίνηση να εκτελεί και περιστροφική περί τον άξονα του ορθοστάτη.

(iv) Στη σταθερή κεφαλή βρίσκεται το κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο είναι συνήθως με ολισθαίνοντες οδοντοτροχούς, χωρίς να αποκλείεται η χρήση βαθμιδωτής ιμαντοκίνησης για την αύξηση του πλήθους ταχυτήτων περιστροφής.

(v) Η κύρια άτρακτος

- Εξασφαλίζει την κύρια κίνηση για τη διάτρηση.

Στο κάτω άκρο της διαμορφώνεται σε τυποποιημένο κώνο Mors, όπου προσαρμόζεται το τρυπάνι, ενώ στο άλλο άκρο της διαμορφώνεται σε πολύσφηνο που συναρμόζεται κατάλληλα στο εσωτερικό του άξονα εξόδου του κιβωτίου ταχυτήτων.

(vi) Η κινητή κεφαλή

- Περιέχει το κιβώτιο πρόωσης που παρέχει την κίνηση πρόωσης με τη μορφή αξονικής μετα-τόπισης της ατράκτου.
- Η κίνηση παρέχεται είτε κατευθείαν από την άτρακτο, είτε από κάποιο άξονα του κιβωτίου ταχυτήτων.
- Η αλλαγή πρόωσης γίνεται με ολισθαίνοντες οδοντοτροχούς, με συμπλέκτες ή με ολισθαίνουσα σφήνα.
- Ο μηχανισμός πρόωσης μπορεί να λειτουργεί χειροκίνητα ή μηχανοκίνητα.

Σημειώνεται ότι το μοντέλο που σχεδιάστηκε για την συγκεκριμένη μελέτη αποτελείται μόνο από την σταθερή κεφαλή, χωρίς να διαθέτει το μέρος της κινητής κεφαλής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

2.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

2.1.1 Ιστορική Ανασκόπηση

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιασθεί περιληπτικά η **Μεθοδος των Πεπερασμένων Στοιχείων** (ΜΠΣ κ.εξ.) και θα αναδειχθεί η σημασία της για την ανάλυση και τον σχεδιασμό εργαλειομηχανών.

Αν και η αρχική σύλληψη της ΜΠΣ είχε στόχο την μητρωική ανάλυση, η θεωρητική της βάση διευρύνθηκε σημαντικά. Κι αυτό γιατί σύντομα έγινε αντιληπτό η δυνατότητα εφαρμογής της στην ανάλυση συνεχών μέσων (κελύφη, ελασματα κτλ.). Πιο συγκεκριμένα, κύριο χαρακτηριστικό της ΜΠΣ είναι η χρήση δισδιάστατων και τρισδιάστατων στοιχείων στην προσομοίωση συνεχών μέσων. Μια από τις πρώτες δημοσιεύσεις στις οποίες παρουσιάσθηκε η ιδέα αυτή ήταν εκείνη των Turner, Clough, Martin και Torp (1956) οι οποίοι κατάφεραν να δημιουργήσουν μητρώα ακαμψίας για δικτυώματα, δοκούς και άλλα στοιχεία. Πρόδρομος, ωστόσο, της προσέγγισης αυτής θα μπορούσε να χαρακτηριστεί η μελέτη τόσο του Hrenikoff (1941) όσο και των Courant (1943) και McHenry (1943). Η σχετική βιβλιογραφία εμπλουτίστηκε σημαντικά χάρη στις δημοσιεύσεις του καθηγητή Αργύρη και των συνεργατών του κατά την περίοδο από το 1954 ως το 1960. Μετά την καθιέρωση της στη γραμμική ελαστική περιοχή η μέθοδος εφαρμόσθηκε και σε δυσκολότερα προβλήματα όπως η δυναμική συμπεριφορά, ο λυγισμός και η μη-γραμμική απόκριση και συμπεριφορά του υλικού, ενώ οι μαθηματικές της βάσεις τέθηκαν στη δεκαετία του '70 καταδεικνύοντας ότι μπορεί να εφαρμοσθεί σε κάθε πρόβλημα πεδίου με μεταβολική διατύπωση.

2.1.2 Βασικές έννοιες της μεθόδου

Η ΜΠΣ αποτελεί σήμερα ένα πανίσχυρο εργαλείο για την αριθμητική επίλυση ενός σημαντικού φάσματος προβλημάτων του μηχανικού καθώς στον πυρήνα της βρίσκεται η δυνατότητα προσομοίωσης μιας πραγματικής, συνεχούς κατασκευής, χωρίς φυσικούς διαχωρισμούς, με τεχνητά στοιχεία τα οποία συνδέονται σε έναν πεπερασμένο αριθμό κόμβων. Τα τεχνητά αυτά στοιχεία, ή *πεπερασμένα στοιχεία*, είναι συνήθως τετράπλευρα ή τριγωνικά με τους κόμβους να καταλαμβάνουν τις θέσεις των άκρων. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται, επομένως, ένας πεπερασμένος αριθμός διακριτών μεταβλητών επι των οποίων είναι εφικτό να εφαρμοσθούν μητρικές μέθοδοι. Οι μεταβλητές αυτές είναι οι μετατοπίσεις των κόμβων και, σε ορισμένες περιπτώσεις, και οι παράγωγοί τους. Στην τελευταία αυτή περίπτωση κάνουμε λόγο για *βαθμούς ελευθερίας* αντί για *μετατοπίσεις κόμβων*. Έτσι, οι μόνοι άγνωστοι είναι οι μετατοπίσεις στους κόμβους, άρα και το πρόβλημα μετασχηματίζεται από συνεχές σε διακριτό εκφραζόμενο ως ένα σύστημα γραμμικών εξισώσεων οι οποίες επιλύονται με μητρικές μεθόδους.

Ωστόσο, μια διακριτή προσομοίωση δεν μπορεί να αποδώσει πάντοτε και με απόλυτη ακρίβεια την συμπεριφορά ενός συνεχούς μέσου, ανεξάρτητα από τον αριθμό των διακριτών μεταβλητών που εκάστοτε χρησιμοποιούνται. Υπάρχει, δηλαδή, πάντοτε το περιθώριο *σφάλματος*. Με την ορθή όμως επιλογή των ιδιοτήτων των στοιχείων και την κατάλληλη διακριτοποίηση το αριθμητικό σφάλμα μπορεί να περιορισθεί και να χαρακτηριστεί ως αμελητέο και τοπικό.

Ο πλέον διαδεδομένος τρόπος για διατύπωσης της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων για γραμμικά στατικά προβλήματα βασίζεται στη μέθοδο των μετατοπίσεων. Άλλοι τρόποι κάνουν χρήση της ισορροπίας δυνάμεων ή άλλων υβριδικών ή και μεικτών μεθόδων. Σε κάθε περίπτωση, όμως, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα σύνολο εξισώσεων, η επίλυση των οποίων δίνει την κατα προσέγγιση συμπεριφορά του συνεχούς.

Τα βασικά στάδια της μεθόδου είναι:

1. Η προσομοίωση (διακριτοποίηση) της κατασκευής με ένα σύνολο στοιχείων που συνδέονται με συνοριακούς κόμβους.
2. Ο προσδιορισμός των γενικευμένων (αγνώστων) μετατοπίσεων που θα καθορίσουν πλήρως την απόκριση της κατασκευής.
3. Η διατύπωση των εξισώσεων ισορροπίας που αντιστοιχούν στις άγνωστες κομβικές μετατοπίσεις και η επίλυσή τους.
4. Ο υπολογισμός των εσωτερικών κατανομών των τάσεων των στοιχείων για δεδομένες μετατοπίσεις στους κόμβους.
5. Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων της ανάλυσης (μετατοπίσεις και τάσεις) με βάση τις δεδομένες παραδοχές του προβλήματος.

Οι αυξημένες απαιτήσεις υπολογιστικής ισχύος αποτελούσαν για χρόνια το μεγάλο μειονέκτημα της εν λόγω μεθόδου ιδίως όταν εφαρμοζόταν σε σύνθετα μοντέλα. Το μειονέκτημα όμως αυτό αμβλύνθηκε χάρη στη ραγδαία εξέλιξη των υπολογιστικών μηχανών και των συστημάτων CAD (*Computer Aided Design*). Σήμερα, εναλλακτικά μοντέλα μπορούν να ελεγχθούν σε ψηφιακό περιβάλλον πολύ πριν την κατασκευή του πρωτοτύπου εκμηδενίζοντας ουσιαστικά το περιθώριο αυτού που παραπάνω κατωνομάσθηκε ως σφάλμα.

2.2. PRO/ENGINEERING

Το **Pro/Engineer** αποτελεί λογισμικό στερεάς μοντελοποίησης το οποίο δίνει ακριβείς αναπαράστάσεις τόσο της γεωμετρίας όσο και της μάζας. Μετά την πρώτη δύσχρηστη έκδοσή του το 1987 υπέστη σειρά αναβαθμίσεων που το έχουν καταστήσει σήμερα σημείο αναφοράς στον χώρο της παραμετρικής σχεδίασης. Αυτό οφείλεται στις δυνατότητες που έχει αυτή η εφαρμογή της Parametric Technology Corporation (PTC) στην πλήρη ανάλυση ενός προϊόντος με ακριβή αποτελέσματα, όσον αφορά την κατεργασία, τις αντοχές και πολλούς άλλους υπολογισμούς.

Πιο συγκεκριμένα, εκτός από την τρισδιάστατη παραμετρική μοντελοποίηση (Part) με βάση Features (*χαρακτηριστικά*), τη *συναρμολόγηση* (Assembly) των προϊόντων που έχουν ήδη σχεδιασθεί και τη δημιουργία ολοκληρωμένων μηχανολογικών σχεδίων (Drawings) το Pro/Engineer δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας αρχείων προσομοίωσης και σύνδεσης με την εργαλιομηχανή (Manufacturing) αλλά και την ευχέρεια πλήρους επικοινωνίας μεταξύ των τύπων εργασίας. Με τον τρόπο αυτό παρέχεται στον χειριστή η επιλογή να παρεμβαίνει σε οποιοδήποτε στάδιο ανάπτυξης ενός προϊόντος (ενημερώνοντας ταυτόχρονα όλους τους τύπους εργασίας) έχοντας στη διάθεση του γρήγορες κι εναλλακτικές λύσεις σχεδιασμού για την ακριβέστερη μοντελοποίηση πολύπλοκων γεωμετρικών στερεών. Με άλλα λόγια, το Pro/Engineer είναι ένα σχεδιαστικό πακέτο που βασίζεται στην παραμετρική μοντελοποίηση με διαχείριση χαρακτηριστικών (Feature Manipulation) στο οποίο η σχεδίαση είναι Feature Based (βασιζόμενη σε χαρακτηριστικά), Parametric (Παραμετρική) Associative (Συνδυαστική).

Σε ό,τι ακολουθεί γίνεται μια σύντομη ανάλυση των όρων αυτών.

2.2.1. Feature Based

Η σχεδίαση στο Pro/Engineer, βασισμένη δηλαδή σε χαρακτηριστικά. Ο όρος Feature Based χρησιμοποιείται για γεωμετρικά μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί από Features (*χαρακτηριστικά σχεδίασης*) τα οποία προκύπτουν από προέκταση, περιστροφή, οπές, κοψίματα, στρογγυλοποιήσεις κτλ. Κάθε

διαμόρφωση του αντικειμένου αποτελεί ένα Feature το οποίο προστίθεται σε μια δένδροειδή λίστα με το σύνολο των Features. Μεταξύ τους, μάλιστα, δημιουργείται μια ιεραρχική σχέση με το τελευταίο προστιθέμενο να τίθεται στο βάση της ιεραρχίας. Κατά τον τρόπο αυτό, το γεωμετρικό μοντέλο δημιουργείται Feature by Feature με τον σχεδιαστή να επιλέγει τη σειρά προσθήκης καθενός.

2.2.2 Parametric

Ο όρος Parametric σημαίνει ότι το γεωμετρικό μοντέλο έχει προκύψει από παραμέτρους ή διαστάσεις των οποίων οι τιμές μπορούν να μεταβάλλονται οποιαδήποτε στιγμή κατά την πορεία της σχεδίασης ή και σε ήδη αποθηκευμένο αρχείο. Συνεπώς, η γεωμετρία κάθε μοντέλου μπορεί να τροποποιηθεί εύκολα με την μεταβολή των τιμών διαστάσεων, ενώ το κάθε Feature ορίζεται ως προς τα υπόλοιπα που ήδη υπάρχουν στο μοντέλο: Αν γίνει μορφοποίηση σε ένα μόνο Feature τότε μορφοποιούνται και όσα άλλα Features συνδέονται με αυτό – αν και αυτό δεν είναι πάντα απόλυτο. Έτσι δημιουργείται μια σχέση Parent / Child, όπου Parent είναι αυτό που βρίσκεται υψηλότερα στην ιεραρχία και Child αυτό που είναι χαμηλότερα.

2.2.3 Associative

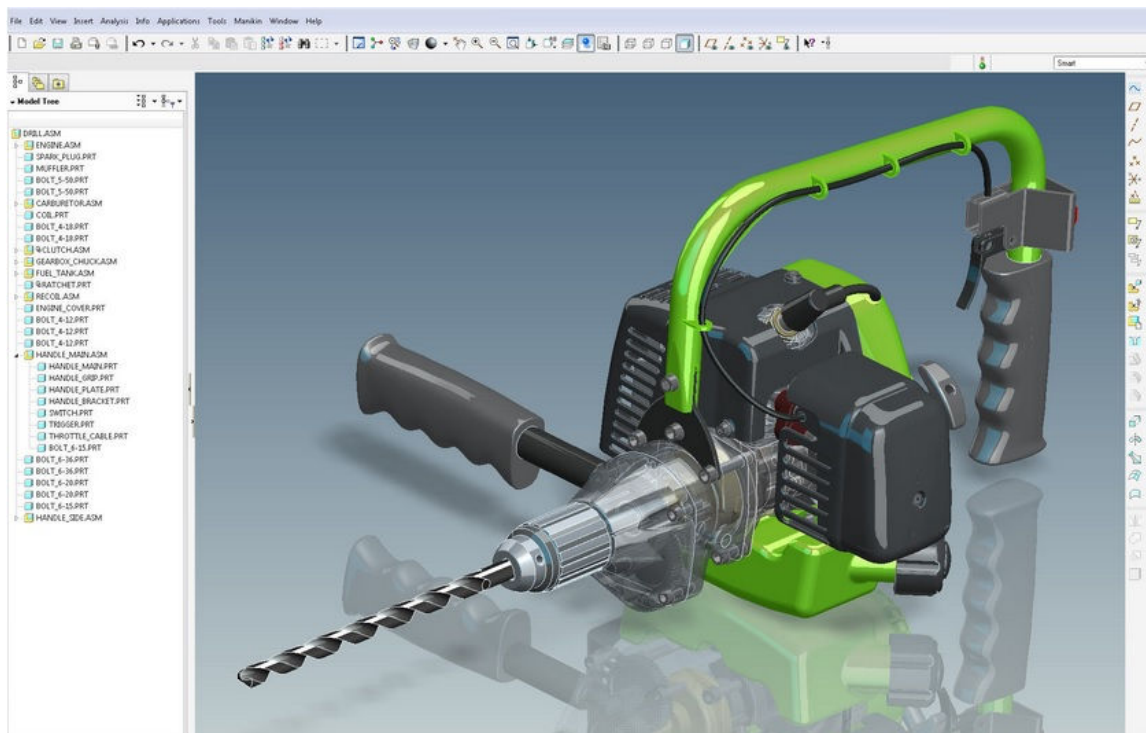
Στο Pro/Engineer πολλά μοντέλα αποτελούνται από διάφορα στερεά, γι' αυτό υπάρχει η δυνατότητα συναρμολόγησής τους και η δημιουργία μηχανολογικών σχεδίων. Με την ύπαρξη λειτουργικών διασυνδέσεων στο λογισμικό, σε όποια λειτουργία κι αν γίνει αλλαγή σε μια παράμετρο του γεωμετρικού μοντέλου, ενημερώνονται άμεσα όλες οι υπόλοιπες, οπότε οι περαιτέρω αλλαγές γίνονται πια στην ενημερωμένη έκδοση του μοντέλου.

2.2.4 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα του Pro/Engineer

Συμπερασματικά, στα πλεονεκτήματα του Pro/Engineer συμπεριλαμβάνει κανείς την ευκολία κατά τη σχεδίαση στερεών που προκύπτουν από δισδιάστατα σχέδια

με την αλλαγή διαστάσεων ή τη διαγραφή / μετακίνηση οποιουδήποτε Feature, όπως επίσης και τον υπολογισμό κέντρου βάρους, υλικού και καταπονήσεων σε οποιοδήποτε γεωμετρικό μοντέλο. Επιπλέον, η δημιουργία μηχανολογικών σχεδίων και προσομοιώσεων κοπής καθώς και αρχείων σε μορφή φωτογραφίας συμπεριλαμβάνονται στα σημεία υπεροχής του συγκεκριμένου λογισμικού.

Από την άλλη πλευρά, στα μειονεκτήματά του θα μπορούσε κανείς να καταχωρήσει το γεγονός ότι για τη δημιουργία ορισμένων Features απαιτούνται πολλές παράμετροι (π.χ. Drafts) με αποτέλεσμα τη συχνή πιθανότητα λάθους. Ακόμη, λόγω έλλειψης εικονιδίων συντόμευσης καθίστανται δύσχρηστες ορισμένες εντολές (πρβλ. τη δημιουργία Protrusion). Και οι δυο όμως αδυναμίες είναι δυνατόν να υπερκερασθούν μέσω της τριβής και της εμπειρίας του χρήστη.



Εικόνα 2.1 Αντικείμενο σχεδιασμένο στο Pro/Engineering

2.3 ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ COMSOL MULTIPHYSICS

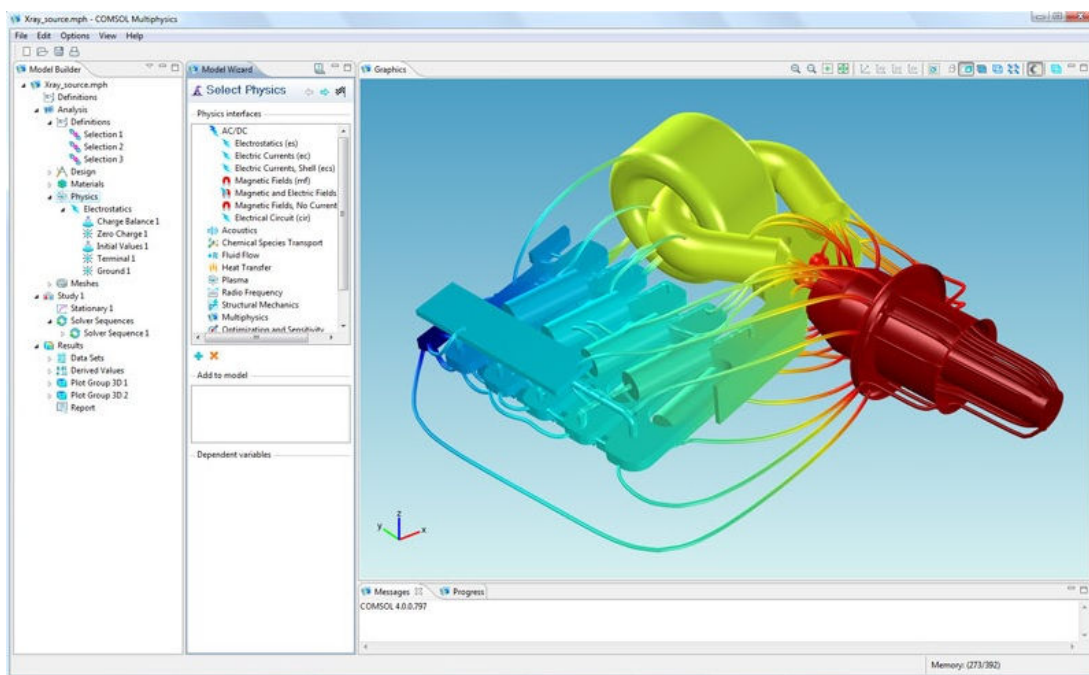
Το **Comsol Multiphysics** είναι ένα πανίσχυρο διαδραστικό περιβάλλον για τη μοντελοποίηση και την επίλυση επιστημονικών και τεχνικών προβλημάτων που περιγράφονται από *μερικές διαφορικές εξισώσεις* (ΜΔΕ κ.εξ.), οι οποίες, ως γνωστόν, αποτελούν τη βάση για τη μοντελοποίηση ενός ευρέος φάσματος φαινομένων στις επιστήμες της φυσικής και της μηχανικής. Κάτα την επίλυση των ΜΔΕ το Comsol Multiphysics (CM κ.εξ.) χρησιμοποιεί την ιδιαίτερα αποτελεσματική *Μέθοδο των Πεπερασμένων Στοιχείων* για την οποία λόγος έγινε παραπάνω. Εδώ θυμίζουμε απλώς πως η ανάγκη επίλυσης σύνθετων προβλημάτων οδήγησε στην ανάπτυξη προσεγγιστικών μεθόδων όπως η ΜΠΣ. Το μειονέκτημα, ωστόσο, που η συγκεκριμένη μέθοδος έχει είναι οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ. Λύση στο πρόβλημα αυτό ήρθε να δώσει η αξιοσημείωτη ανάπτυξη των υπολογιστικών μηχανών και λογισμικών συστημάτων όπως το CM.

Η εφαρμογή της ΜΠΣ απαιτεί πια τα ακόλουθα στάδια:

- Εισάγεται η γεωμετρία της υπο μελέτης κατασκευής σε ένα πρόγραμμα, όπως το CM και δημιουργείται ένα τρισδιάστατο μοντέλο αυτής.
- Χωρίζεται το μοντέλο σε πεπερασμένα στοιχεία, δημιουργείται το πλέγμα, επιλέγεται ο τρόπος επίλυσης και εισάγονται τα πρόσθετα δεδομένα που απαιτούνται.
- Τα προς επίλυση δεδομένα εισάγονται στο πρόγραμμα επίλυσης του προβλήματος.
- Μετά την επίλυση, χρησιμοποιείται ένα πρόγραμμα απεικόνισης των αποτελεσμάτων και ανάγνωσής τους από τον μελετητή

Σημαντικό πλεονέκτημα του CM είναι η δυνατότητα αλληλεπίδρασής του με το Matlab, γεγονός που επιτρέπει την αποθήκευση ενός υπολογιστικού μοντέλου με τη μορφή κώδικα. Στον κώδικα αυτόν ο σχεδιαστής είναι σε θέση να επέμβει επιφέροντας τις αλλαγές και τις τροποποιήσεις που κρίνει αναγκαίες. Ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του λογισμικού αυτού είναι *extended Multiphysics*, δηλαδή ο συνδυασμός των μεταβλητών για να συνδέσει μοντέλα μερικώς

διαφορικών εξισώσεων σε διάφορες γεωμετρίες – ένα βήμα σημαντικό προς τη μοντελοποίηση σε επίπεδο συστήματος. Τέλος, ένα εξίσου αξιόλογο χαρακτηριστικό του CM είναι η ικανότητα να συνδυάζει τομείς διαφορετικών χωρικών διαστάσεων στο ίδιο πρόβλημα. Αυτή η ευελιξία όχι μόνο απλοποιεί την μοντελοποίηση αλλά μειώνει και τον χρόνο εκτέλεσης.



Εικόνα 3.1 Γραφικό περιβάλλον στο πρόγραμμα Comsol Multiphysics

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

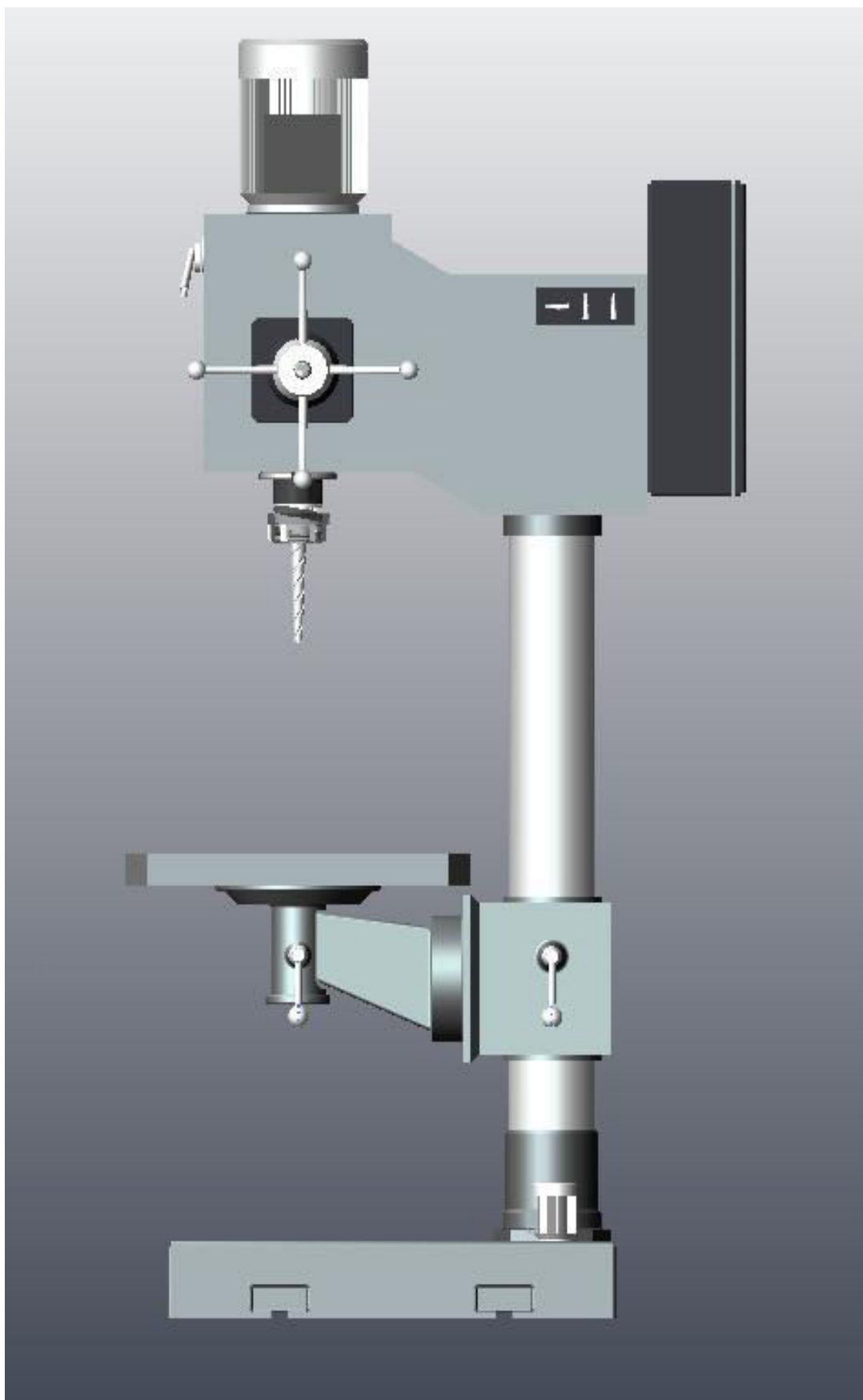
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Η κατασκευή η οποία επιθυμούμε να μελετήσουμε είναι ένα κατακόρυφο δράπανο. Το μοντέλο όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες, σχεδιάστηκε στο πρόγραμμα Pro Engineering 5.0 ΦF000 και σε αυτή τη ενότητα περιγράφεται αναλυτικά ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός καθώς και οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν.

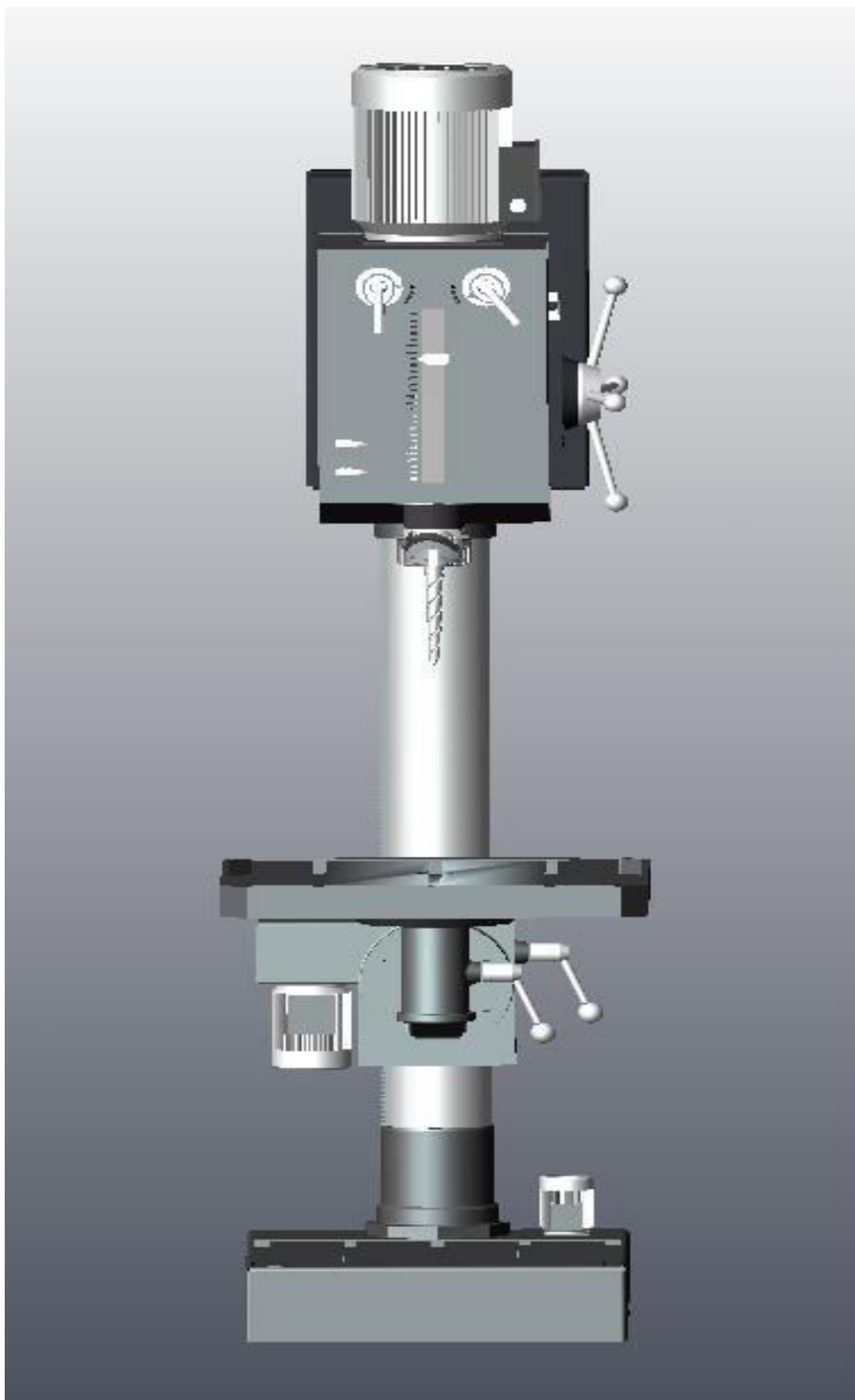
Το συγκεκριμένο δράπανο αποτελείται από

- Την βάση
- Την κεφαλή
- Τον ορθοστάτη
- Τη τράπεζα
- Την βάση της τράπεζας
- Τον σύνδεσμο της τράπεζας
- Τους μοχλούς και τους διακόπτες
- Τους κινητήρες
- Τις βίδες
- Το μέσο συγκράτησης
- Το κοπτικό εργαλείο

Το συγκεκριμένο μοντέλο αποτελεί πιστή απεικόνιση του πραγματικού όσον αφορά τα εξωτερικά του χαρακτηριστικά. Αν και όπως θα δούμε στη συνέχεια, στην διαδικασία της ανάλυσης υπέστη διαδοχικές απλοποιήσεις προκειμένου να είναι εφικτή η επεξεργασία του. Ωστόσο σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται αναλυτικά σχεδόν όλη η διαδικασία υλοποίησης του σχεδιασμού, ακόμα και σε μέρη που θα απλοποιηθούν. Αφ ενός γιατί, παρά τις απλοποιήσεις αυτό αποτελεί το πρότυπο και πραγματικό μοντέλο και αφ εταίρου δίνεται μια συνολική εικόνα για τον τρόπο λειτουργίας του προγράμματος στο οποίο δημιουργήθηκε διευκρινίζοντας τον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι εντολές. Το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζεται στις παρακάτω εικόνες.

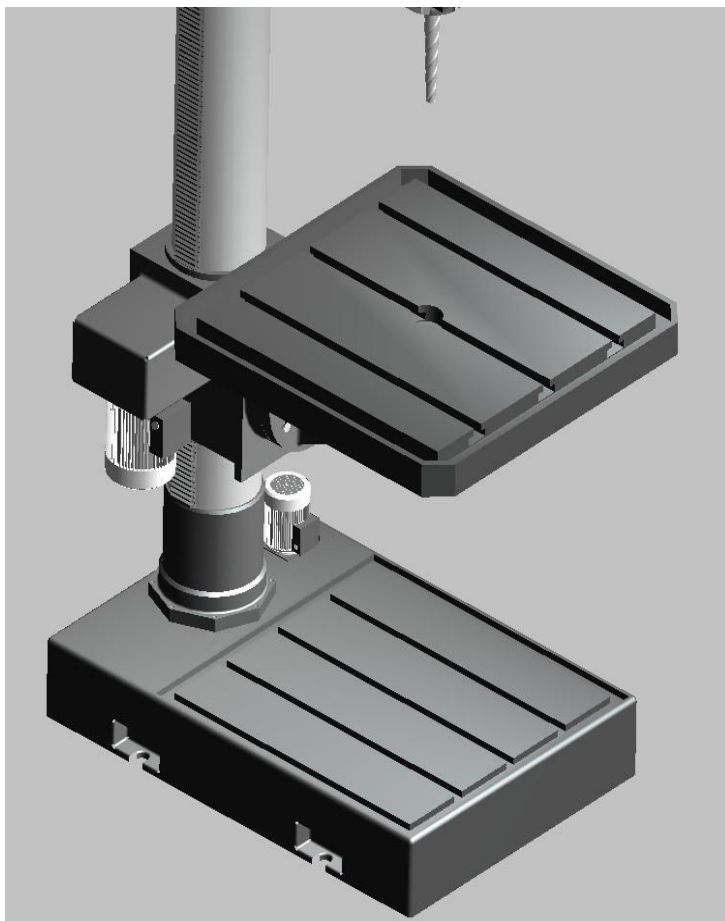


Εικόνα 3.1 Πλάγια όψη του δράπανου

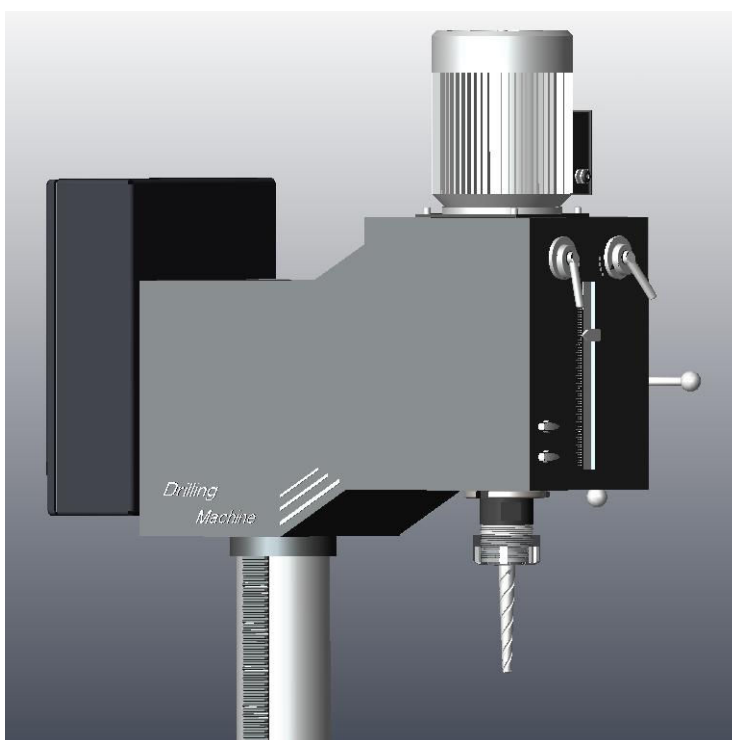


Εικόνα 3.2

Μπροστινή όψη του δράπανου



Εικόνα 3.3 **Κάτω μέρος**



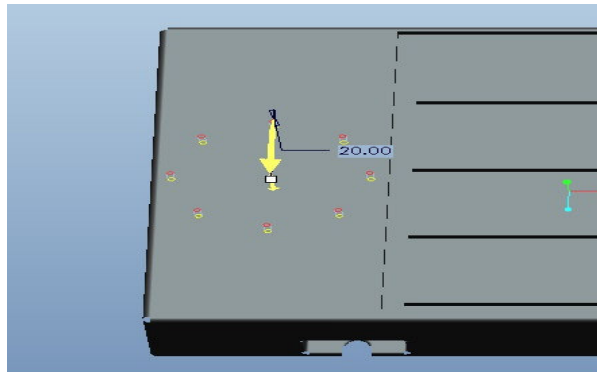
Εικόνα 3.4 **Άνω μέρος**

A 3D rendering of a black, rectangular electronic device, possibly a sensor or actuator module. The device has a textured top surface with several small, circular features. It features two small, protruding components on the side, which appear to be connectors or sensors. The device is shown from a perspective view against a light blue background.

Η βάση

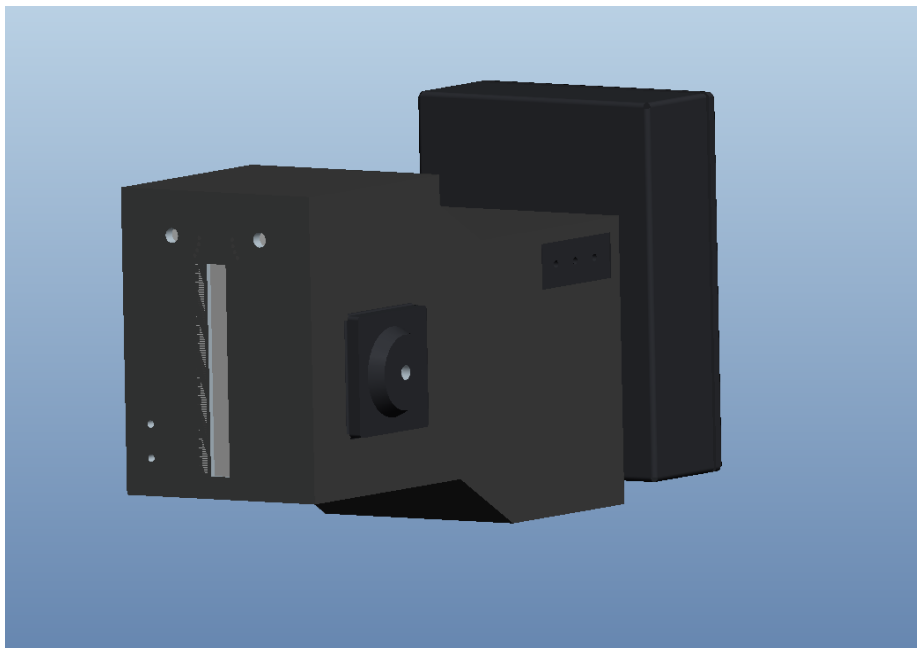
Sketch που δημιουργήθηκε

Στο σημείο που θα στηριχθεί ο ορθοστάτης, δημιουργείται μία οπή με ανάλογο τρόπο και στη συνέχεια με την εντολή **Pattern** και ορίζοντας έναν άξονα περιστροφής την αντιγράφουμε στο μήκος του κύκλου δίνοντας τον αριθμό αντιγράφων που επιθυμούμε (εικόνα 3.6) Τέλος Με τις εντολές **chamfer** και **round** δίνεται το τελικό αποτέλεσμα.



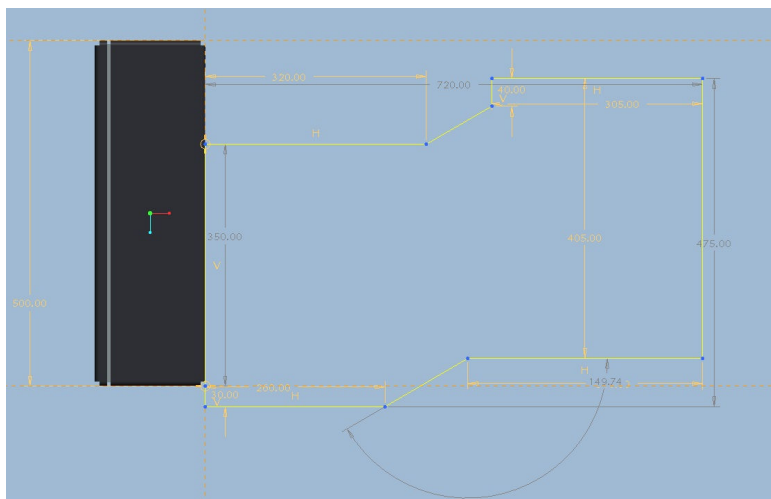
Εικόνα 3.7 Δημιουργία οπών

- Κεφαλή



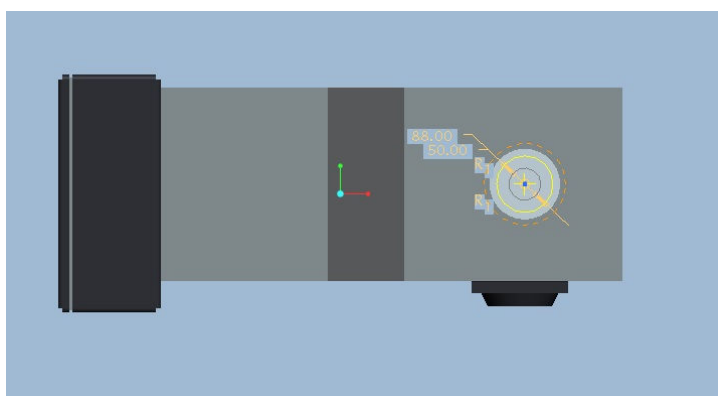
Εικόνα 3.8 Κεφαλή

Για τη σχεδίαση του κεφαλής δημιουργείται το αρχικό sketch που στην συνέχεια με την εντολή **extrude** δίνεται ο βασικός όγκος του σώματος. Στην συνέχεια με ανάλογο τρόπο δημιουργούνται οι προεξοχές πάνω στις οποίες θα συναρμολογηθούν τα υπόλοιπα εξαρτήματα δηλαδή οι διακόπτες, ο δείκτης και ο χειρομοχλός.



Εικόνα 3.9 Sketch που δημιουργήθηκε

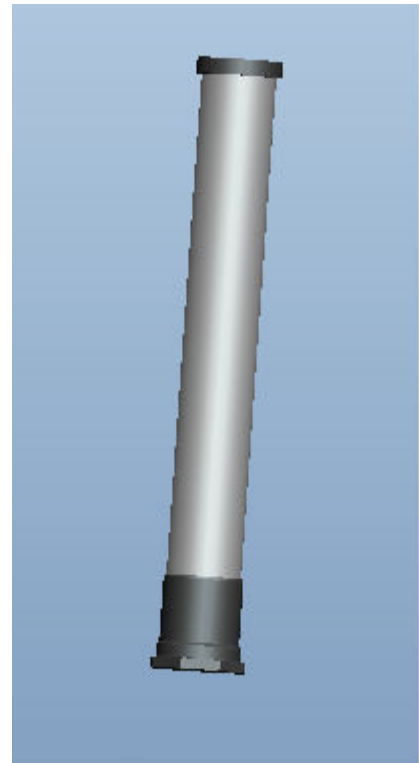
Για την δημιουργία της εσοχής που θα τοποθετηθεί το κοπτικό εργαλείο και το σώμα που το συγκρατεί γίνεται χρήση της εντολής **blend -> cut**. Στο sketch της σχεδιάζεται ένας κύκλος και με *toggle section* σχεδιάζεται και ο επόμενος κύκλος, ομόκεντρος αλλά διαφορετικής διαμέτρου, όπως φαίνεται στο παρακάτω εικόνα. Για την τελική μορφή που θα λάβει το σώμα γίνεται επανειλημμένη χρήση των εντολών **round** και **chamfer**. Η επόμενη εικόνα δίνει του ενδιάμεσο στάδιο της υλοποίησής της εσοχής που περιεγράφηκε.



Εικόνα 3.10 Sketch στην Blend Protrusion

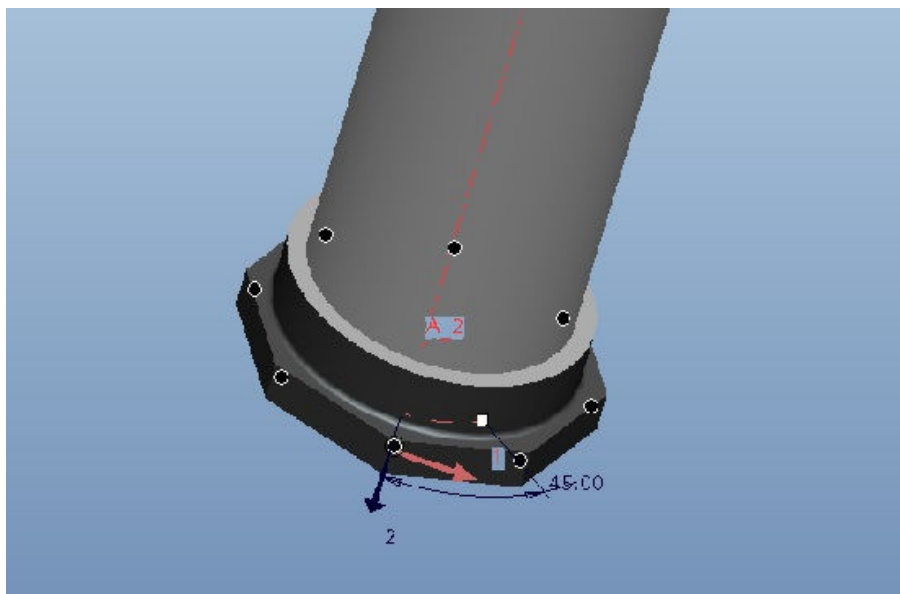
- **Ορθοστάτης**

Προκειμένου να δημιουργηθεί ο ορθοστάτης, πρώτα σχεδιάζεται το ένα άκρο του με το κατάλληλο sketch και το ανάλογο βάθος της εντολής **extrude**, όπου με την εντολή Mirror θα αντικατοπτριστεί προς μία κατεύθυνση. Αναμεσά στην απόσταση μεταξύ τους δημιουργείται ο κύριος όγκος του σώματος που αποτελεί έναν κύλινδρο. Ακολούθως σχεδιάζονται η πολυγωνική του βάση και οι υπόλοιπες λεπτομέρειες. Για τελική μορφοποίηση του χρησιμοποιήθηκαν εκ νέου οι εντολές **round** και **chamfer**.



Εικόνα 3.11

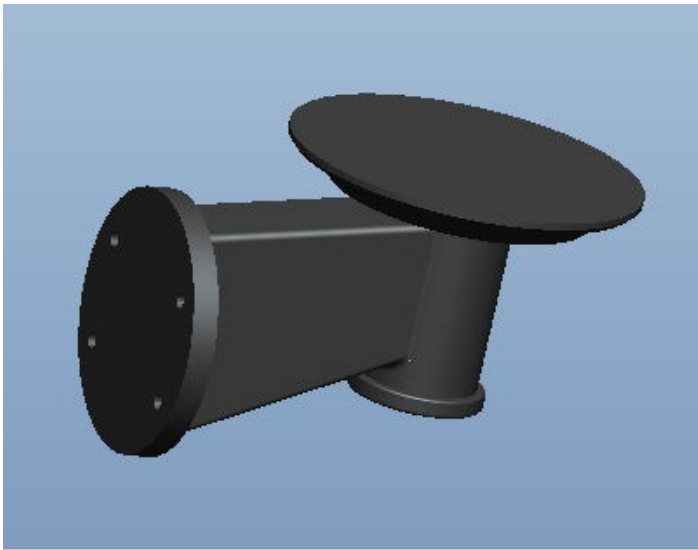
Στο τελευταίο στάδιο δημιουργούνται οι οπές πάνω στις οποίες θα τοποθετηθούν οι βίδες για την στερέωση του στην βάση του μοντέλου. Αρχικά σχεδιάζεται μια οπή και στην συνέχεια με την εντολή **pattern** αντιγράφεται σε μία κυκλική τα τροχιά αφού οριστούν ο αριθμός των αντίγραφων και ο άξονας περιστροφής.



Εικόνα 3.12

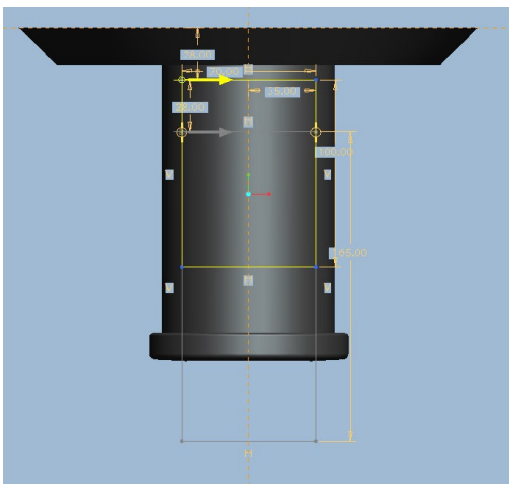
Δημιουργία οπών με Pattern

- Βάση της τράπεζας

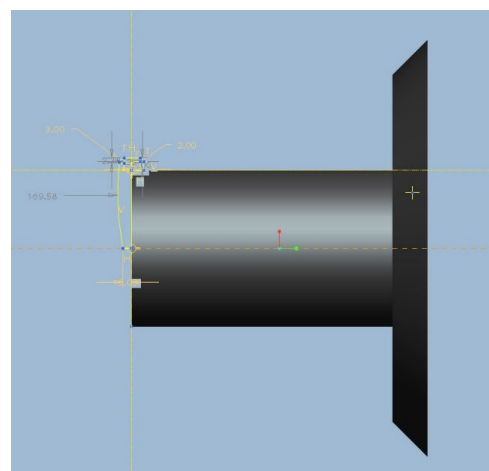


Εικόνα 3.12 Η βάση της τράπεζας

Πρώτα δημιουργείται το σώμα πάνω στο οποίο τοποθετείται η τράπεζα. Με τη δημιουργία sketch και την εντολή **revolve** δίνεται ο βασικός όγκος. Η χρήση της εντολής **blend -> protrusion** δημιουργεί το υπόλοιπο σώμα της βάσης, σχεδιάζοντας δύο διαφορετικής διαστάσεως sketch και δίνοντας την κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους. Επίσης η χρήση της εντολής **Sweep -> protrusion** δίνει το τελικό αποτέλεσμα. Σε αυτή την επιλέγεται η οδηγός διατομή και δημιουργείται το σχήμα που ακολουθήσει τη διαδρομή προσθέτοντας υλικό. Οι εικόνες δείχνουν τα στάδια των δυο εντολών.



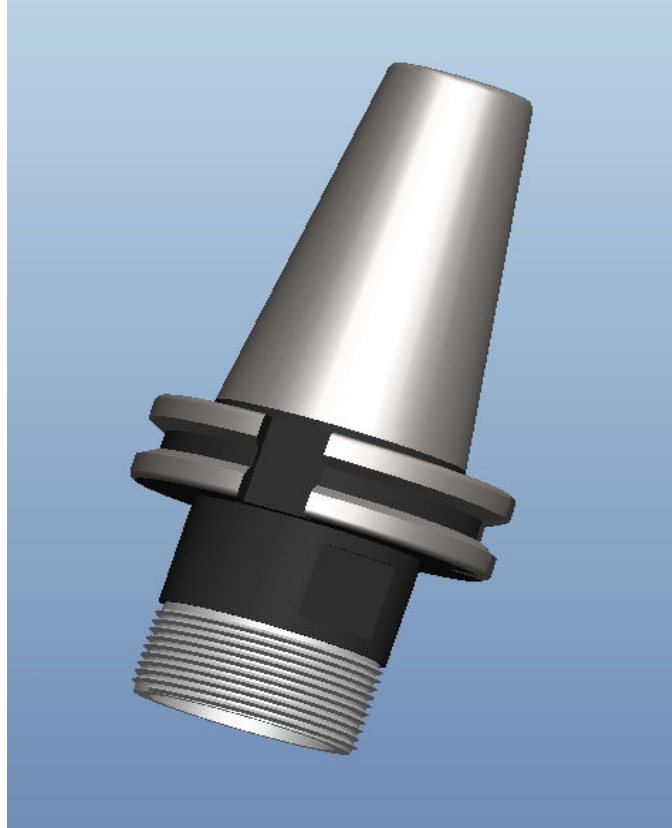
Εικόνα 3.13 Εντολή Blend Protrusion



Εικόνα 3.14 Εντολή Sweep Blend

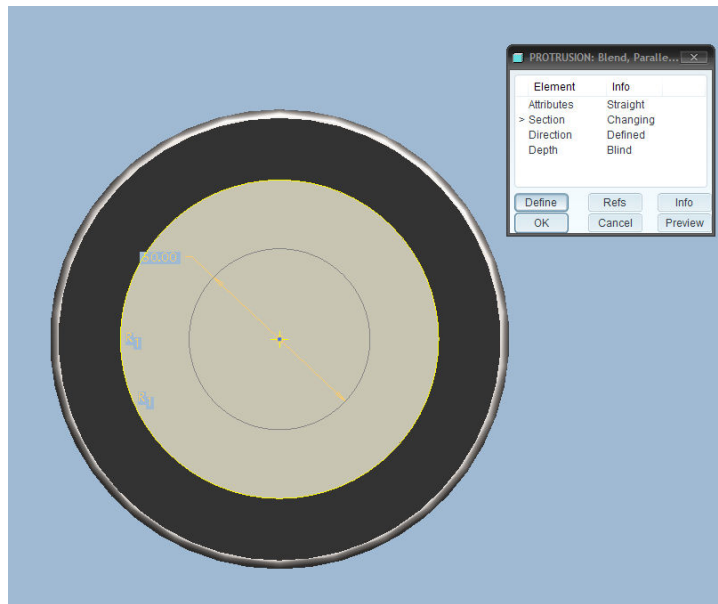
- **Μέσο συγκράτησης κοπτικού**

Για τη σχεδίαση του μέσου συγκράτησης του κοπτικού εργαλείου, αρχικά δημιουργείται το βασικό σώμα, σχεδιάζοντας έναν κύκλο στο sketch και με την εντολή **extrude** προστίθεται υλικό και έτσι δημιουργείται ένας συμπαγής κύλινδρος. Έπειτα χρησιμοποιείται αρκετές φορές η εντολή **extrude** για τη δημιουργία των κύκλων διαφορετικής διαμέτρου, καθώς και για αφαίρεση υλικού με σκοπό τη δημιουργία των κατάλληλων εγχοπών. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται οι εντολές **round** και **chamfer**, για να δοθεί καμπυλότητα ή να δημιουργηθούν οι επιθυμητές γωνίες, αντίστοιχα.



Εικόνα 3.15 Το μέσο συγκράτησης του κοπτικού

Για τη δημιουργία του κώνου στο επάνω μέρος του αντικειμένου, χρησιμοποιείται η εντολή **blend -> protrusion**. Στο sketch της σχεδιάζεται ένας κύκλος και με *toggle section* σχεδιάζεται και ο επόμενος κύκλος, ομόκεντρος αλλά διαφορετικής διαμέτρου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



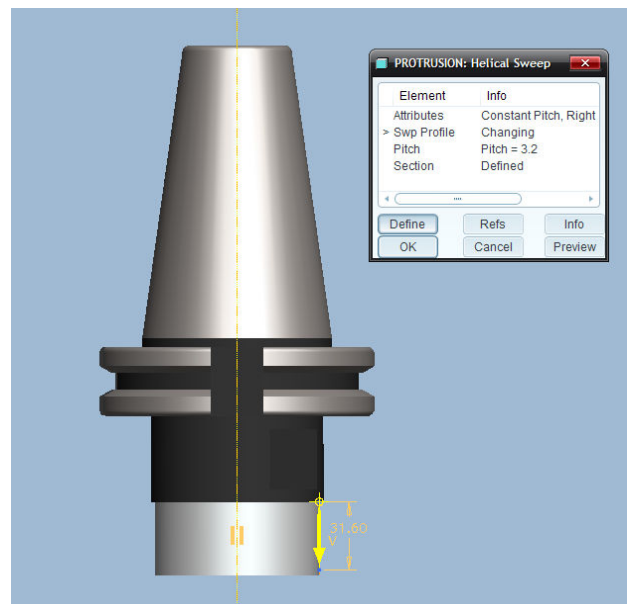
Εικόνα 3.16 Sketch στην εντολή Blend Protrusion

Στη συνέχεια δίνεται το βάθος (depth), που αποτελεί την απόσταση που θα έχουν οι δύο κύκλοι όταν ενωθούν.

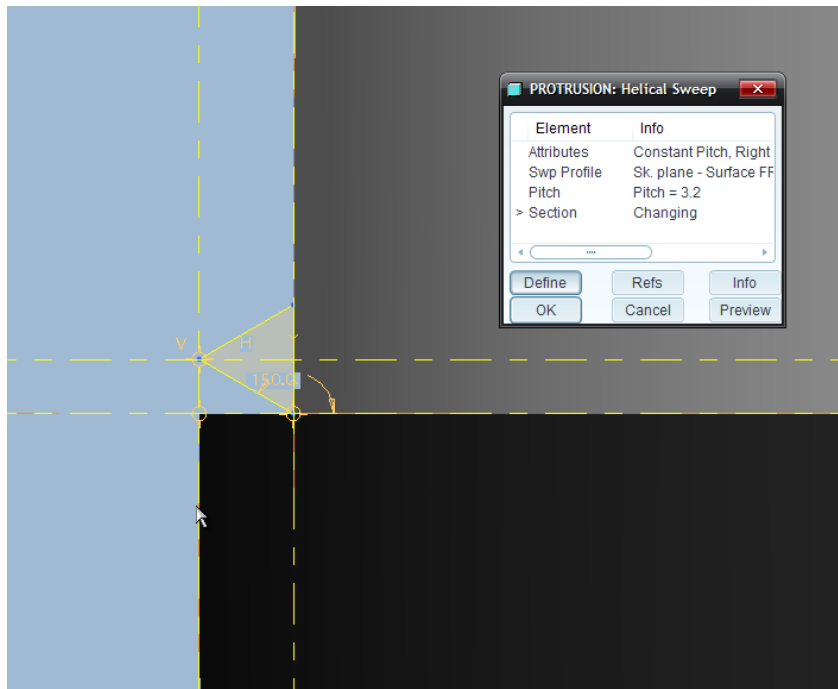
Έπειτα, για το σπείρωμα επιλέγεται η εντολή **helical sweep -> protrusion**.

Επιλέγεται το κατάλληλο επίπεδο σχεδίασης και σχεδιάζεται μια centerline στο κέντρο του κυλίνδρου και μια line στην άκρη του, όπως φαίνεται στο σχήμα. Το σπείρωμα δημιουργείται κατά μήκος της γραμμής και είναι συμμετρικό ως προς την centerline που ορίζεται.

Έπειτα, δίνεται το βήμα (pitch) του σπειρώματος και σχεδιάζεται ένα τρίγωνο στη τομή για να ορίσει το σχήμα του σπειρώματος που προστίθεται.



Εικόνα 3.17 Εντολή Helical Sweep



Εικόνα 3.18 Sketch στο Helical Sweep

Στο κάτω μέρος του κυλίνδρου δημιουργείται μια οπή με συγκεκριμένο βάθος, με το σχεδιασμό ενός κύκλου και αφαίρεση υλικού με το **Extrude**. Τέλος, όπως και σε κάθε αντικείμενο, γίνεται η επιθυμητή επιλογή χρωμάτων για τις επιφάνειες του μοντέλου.

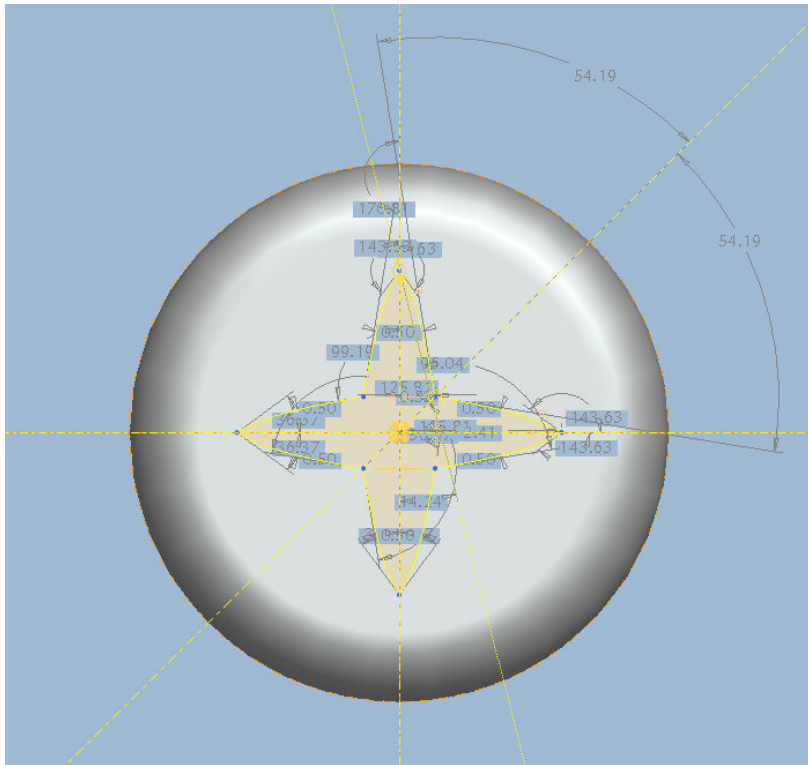
- **Βίδα**

Για τη δημιουργία της συγκεκριμένης βίδας, αρχικά, δημιουργείται ο κύλινδρος της βίδας, σχεδιάζοντας ένα ορθογώνιο και με την εντολή **Revolve** γίνεται προσθήκη υλικού περιστροφικά ως προς τη μια πλευρά του ορθογωνίου, κατά 360°.

Στη συνέχεια επιλέγεται η εντολή **helical sweep -> protrusion**, για τη δημιουργία του σπειρώματος, όπως περιγράφεται πιο πάνω. Εικόνα 3.19



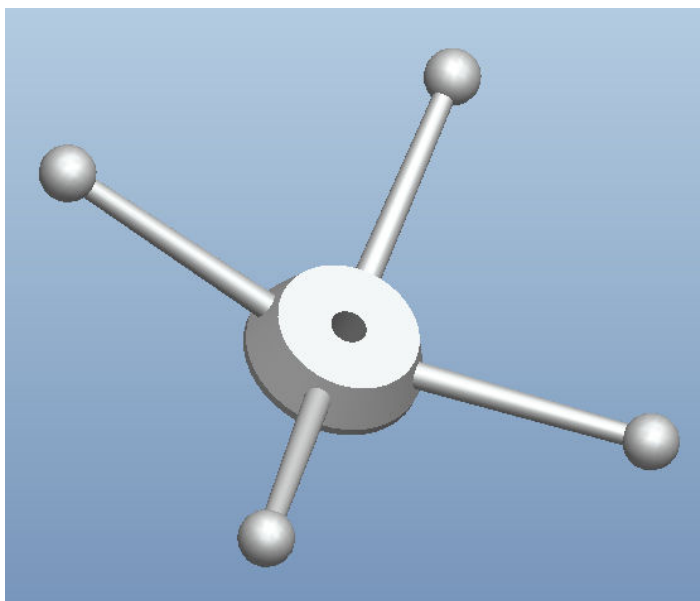
Έπειτα, σχεδιάζεται ένας κύκλος και προστίθεται υλικό με την εντολή **Extrude**, προκειμένου να δημιουργηθεί η κεφαλή της βίδας. Στην επάνω επιφάνειά της σχεδιάζεται ένα συμμετρικό σχήμα με κατάλληλες centerlines, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, και με το **Extrude** αφαιρείται το υλικό.



Εικόνα 3.20 Sketch που δημιουργήθηκε

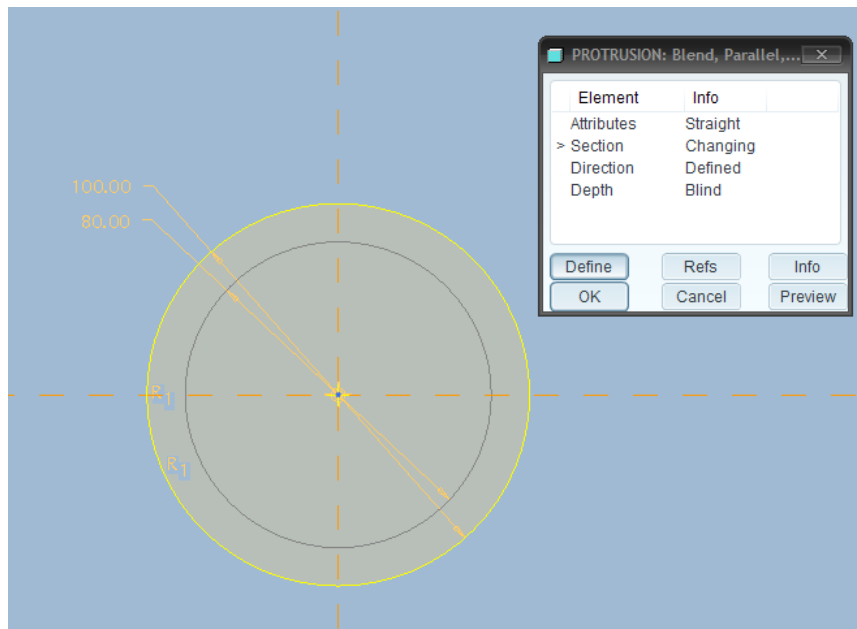
Τέλος, χρησιμοποιείται η εντολή **Round** για δοθεί καμπυλότητα στις ακμές.

- Χειρομοχλός



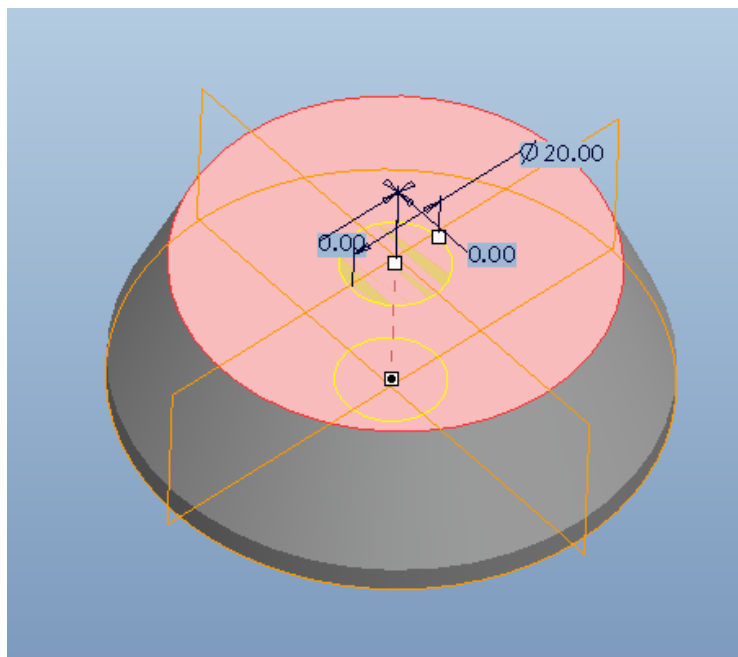
Εικόνα 3.23

Για τη δημιουργία του μοχλού, δημιουργείται η βάση του με την εντολή **blend** - > **protrusion**. Σχεδιάζονται δύο ομόκεντροι κύκλοι με ίδια διάμετρο, και ένας τρίτος ομόκεντρος διαφορετικής διαμέτρου. Έπειτα δίνονται δύο διαφορετικά βάθη, ώστε να ενωθούν τους κύκλους μεταξύ τους.



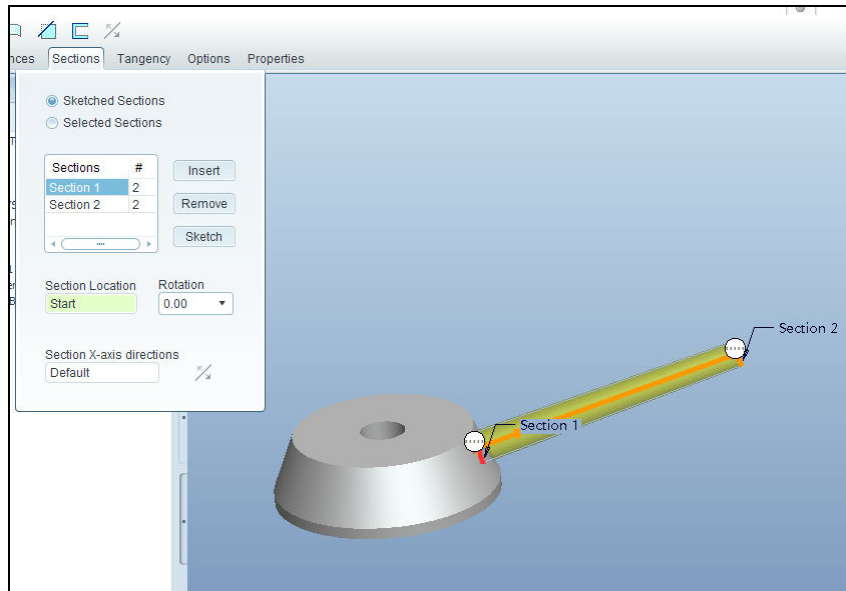
Εικόνα 3.24 Sketch στην Blend Protrusion

Στη συνέχεια, με την εντολή **hole** δημιουργείται μια τρύπα στο κέντρο του σχήματος, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



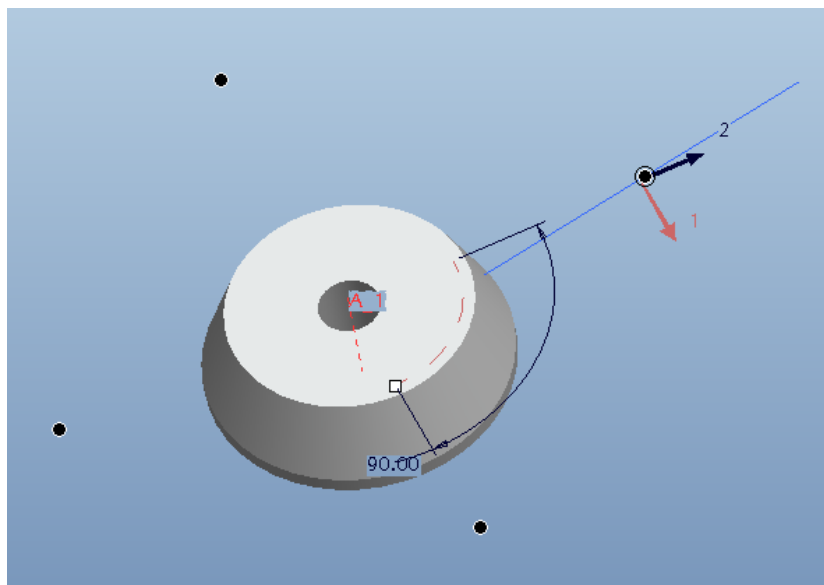
Εικόνα 3.25 Δημιουργία Hole

Έπειτα, σχεδιάζεται μια γραμμή σε ένα sketch, και με την εντολή **swept blend** δίνεται το σχήμα που θα ακολουθήσει τη συγκεκριμένη τροχιά. Επιλέγονται δύο sections στις άκρες της γραμμής και σε κάθε section σχεδιάζεται ένας κύκλος (διαφορετικής διαμέτρου). Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 3.26 Sketch στο Swept Blend

Το σχήμα που δημιουργήθηκε με το swept blend γίνεται αντιγραφή τέσσερις φορές με την εντολή **pattern** ως προς τον κεντρικό άξονα του σχήματος.

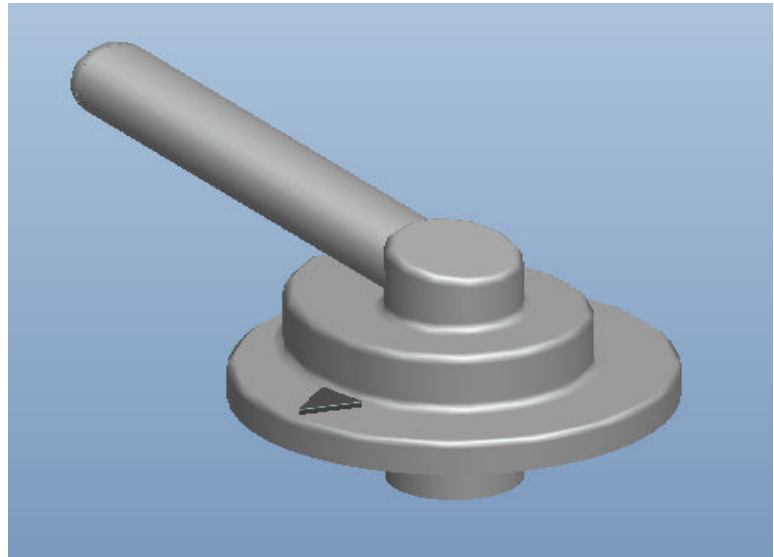


Εικόνα 3.27 Εντολή Pattern

Έπειτα, σχεδιάζεται ένα ημικύκλιο και με την εντολή **revolve** πλήρης περιστροφής, δημιουργείται ένας κύκλος στην άκρη του μοχλού. Τέλος, με την εντολή **pattern** αντιγράφεται και στις υπόλοιπες κορυφές.

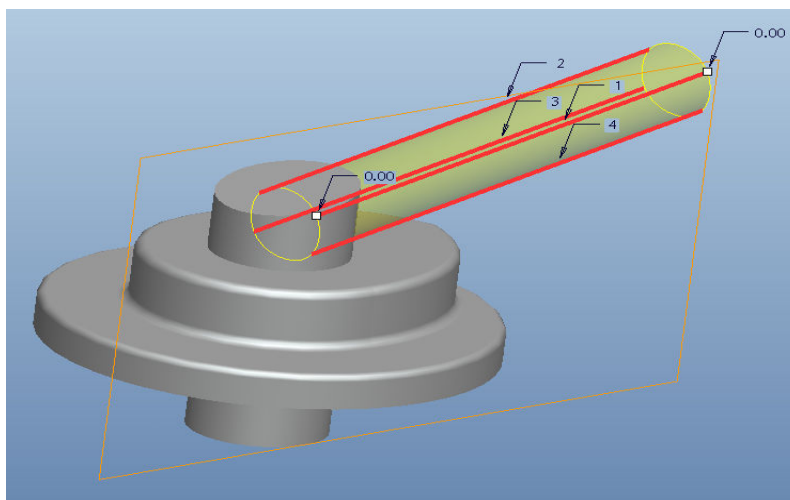
- **Διακόπτης 1**

Αρχικά, χρησιμοποιούνται οι εντολές **revolve**, **extrude** και **round** για να δημιουργηθούν οι κυκλικές επιφάνειες της βάσης και να προστεθεί καμπυλότητα στις ακμές. Έπειτα, σχεδιάζεται μια line με κλίση ως προς το οριζόντιο επίπεδο. Με την εντολή **pattern** αντιγράφεται



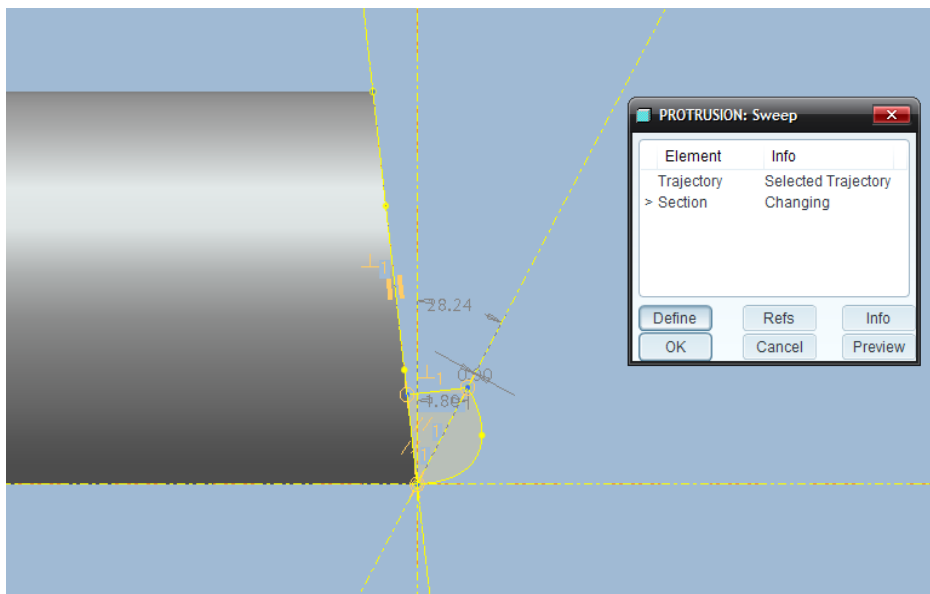
ως προς την κάθετη κατεύθυνση. Μετά οι δύο γραμμές **Εικόνα 3.28** αντιγράφονται με την εντολή **mirror** ως προς ένα κάθετο datum plane.

Στη συνέχεια, για να σχηματιστεί το χερούλι στον περιστροφικό διακόπτη χρησιμοποιείται η εντολή **boundary blend**, επιλέγοντας τις τέσσερις γραμμές



Εικόνα 3.29 Sketch στην Boundary Blend

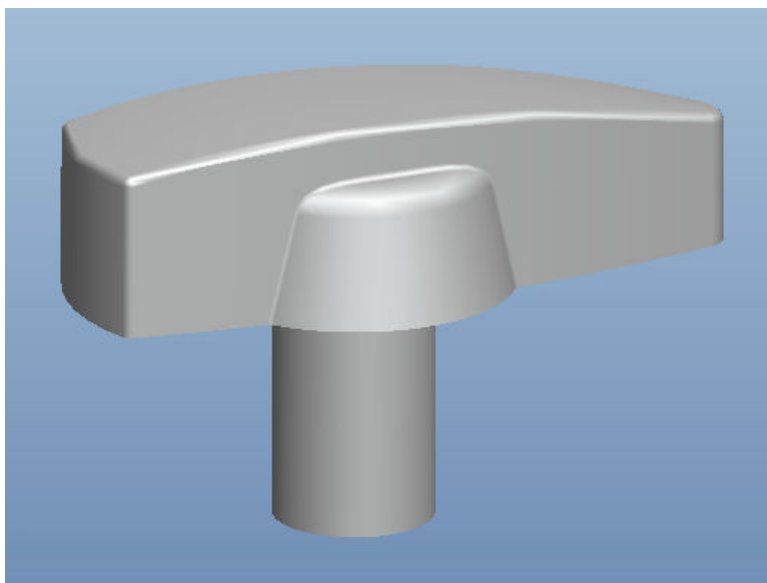
Στην ελεύθερη άκρη του, με την εντολή **sweep protrusion** προστίθεται το σχήμα της παρακάτω εικόνας, κατά μήκος της κυκλικής τροχιάς.



Εικόνα 3.30 Sketch στο Sweep Protrusion

Τέλος, χρησιμοποιείται η εντολή **round** προστεθεί καμπυλότητα στις ακμές και η εντολή **extrude** με προσθήκη υλικού ώστε να δημιουργηθεί το μικρό τρίγωνο ένδειξης.

- Διακόπτης 2



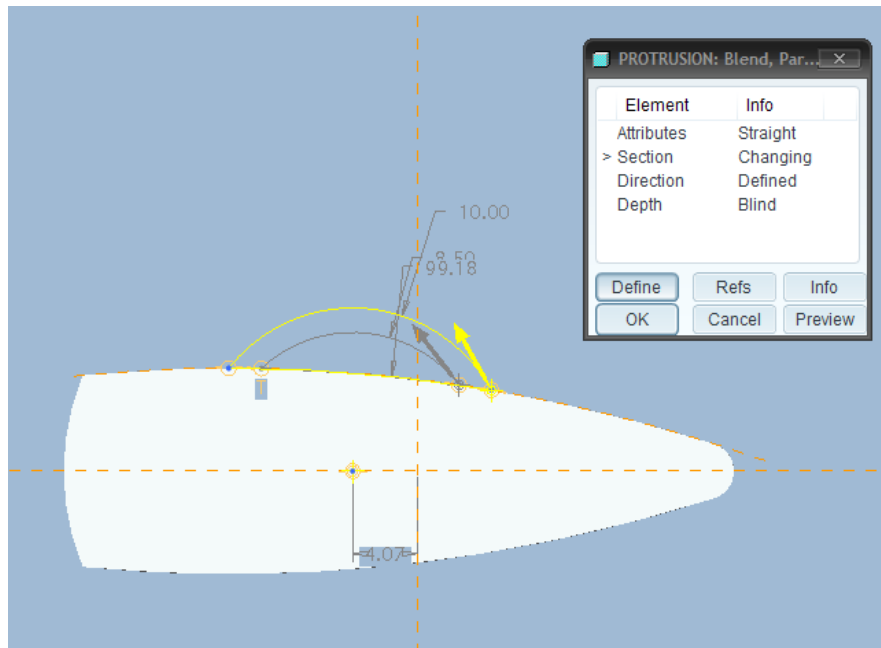
Εικόνα 3.31 Διακόπτης

A diagram showing a rectangular element in a coordinate system. The element is shaded gray and is centered on a vertical dashed yellow line. The horizontal axis is also a dashed yellow line. The vertical axis is a dashed yellow line. The element's width is labeled $2\Delta x$ and its height is labeled $2\Delta y$. The element is divided into four quadrants by the dashed lines. The top-left quadrant is labeled Δx and Δy . The top-right quadrant is labeled Δx and Δy . The bottom-left quadrant is labeled Δx and Δy . The bottom-right quadrant is labeled Δx and Δy . The element is labeled Δx and Δy on the right side.

Τελικά, δημιουργείται το σχήμα που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



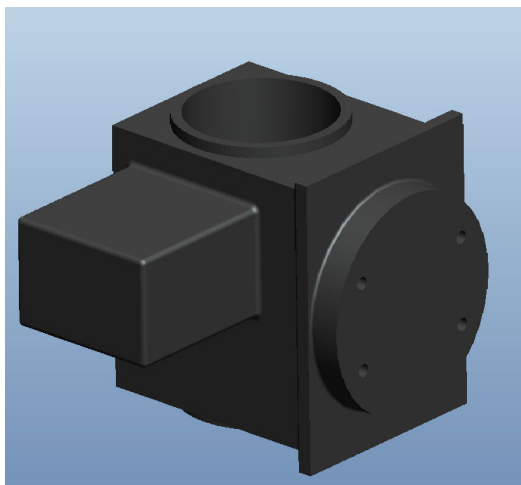
Έπειτα, σχεδιάζονται κατάλληλα σχήματα στις άκρες της βάσης και χρησιμοποιείται η εντολή **extrude** με αφαίρεση υλικού για να αφαιρεθούν. Μετά για να προστεθούν τα πλαϊνά της βάσης γίνεται χρήση της εντολής **blend -> protrusion**, σχεδιάζοντας ημικύκλια διαφορετικής καμπυλότητας και δίνοντας το κατάλληλο βάθος. Το σχήμα που σχηματίζεται αντιγράφεται ως προς το κεντρικό κάθετο plane με την εντολή **mirror**.



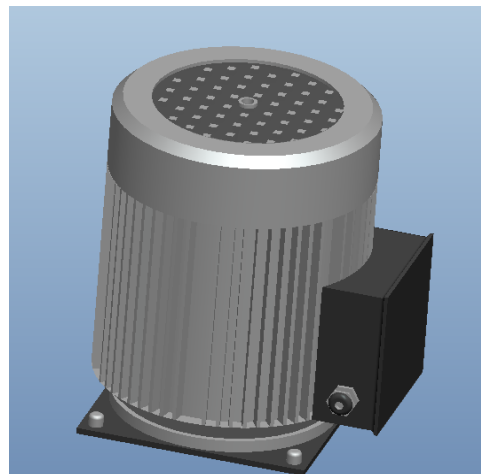
Εικόνα 3.34 Sketch στην Blend Protrusion

Στη συνέχεια προστίθεται καμπυλότητα στις ακμές με την εντολή **round** και για τη δημιουργία του κυλίνδρου στο κάτω μέρος του σχήματος, σχεδιάζεται ένας κύκλος και χρησιμοποιείται η εντολή **extrude** για προσθήκη υλικού.

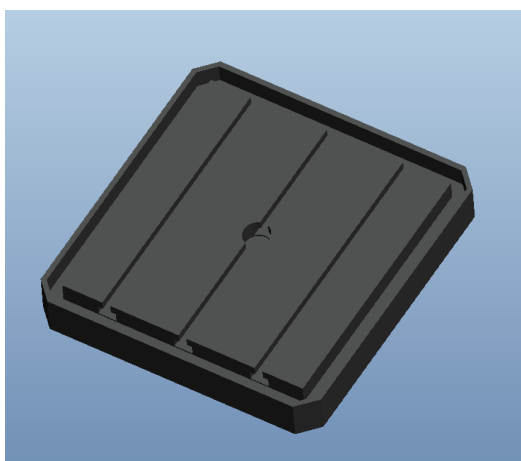
Ολοκληρώνοντας την περιγραφή της σχεδίασης, τα υπόλοιπα τμήματα του δράπανου δημιουργήθηκαν με ανάλογο τρόπο, καθώς χρησιμοποιήθηκαν εντολές και διαδικασίες που επεξηγήθηκαν παραπάνω. Παρουσιάζονται ωστόσο οι εικόνες που τα απεικονίζουν μεμονωμένα από το σύνολο του συνολικού μοντέλου.



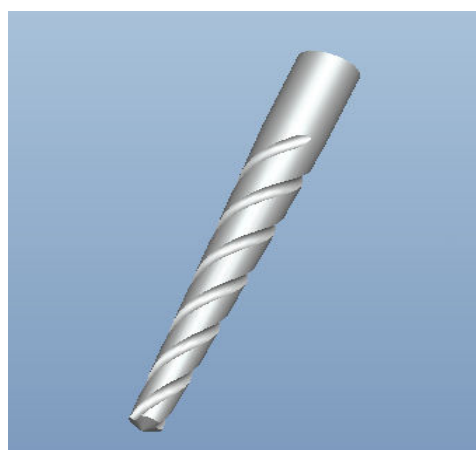
Εικόνα 3.35 **Σύνδεσμος της βάσης**



Εικόνα 3.36 **Κινητήρας**



Εικόνα 3.37 **Τράπεζα**



Εικόνα 3.38 **Κοπτικό**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 **ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία στόχο αποτελεί η μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς του κατακόρυφου δράπανου το οποίο σχεδιάστηκε, με απώτερο σκοπό τη διευκόλυνση της ροής εργασίας.

Γενικά η δυναμική ανάλυση των μηχανολογικών κατασκευών είναι κρίσιμη για τον προσδιορισμό των ιδιοσυχνοτήτων και των αντίστοιχων αποκρίσεων σε εξωτερικές διεγέρσεις. Οι φυσικές συχνότητες είναι απαραίτητο να προσδιοριστούν διότι σε περιπτώσεις που η κατασκευή διεγείρεται σε μια από αυτές τότε είναι πολύ πιθανό να εμφανιστούν φαινόμενα συντονισμού με αποτέλεσμα υψηλό επίπεδο δονήσεων, δυναμικής φόρτισης της κατασκευής και υψηλά επίπεδα θορύβου. Αυτό σημαίνει ότι η κατασκευή θα πρέπει να αναλυθεί δυναμικά στο εύρος εκείνων των συχνοτήτων που προκαλούν οι υπάρχουσες πηγές διεγέρσεων για λόγους κόστους-χρόνου. Ωστόσο στη συγκεκριμένη εργασία επιλέγονται προς μελέτη, οι πρώτες έξι ιδιοσυχνότητες που εξάγονται από τα αποτελέσματα του Comsol Multiphysics. .

Στη ουσία, μια μηχανολογική κατασκευή περιέχει άπειρους βαθμούς ελευθερίας, επομένως χρειάζονται άπειρα συστήματα συντεταγμένων για την περιγραφή όλων των πιθανών κινήσεων που αυτή πραγματοποιεί κάθε φορά. Επιπλέον, η κατασκευή περιλαμβάνει αρκετές φυσικές συχνότητες λόγω των βαθμών ελευθερίας, και όπως αναφέρθηκε αν αυτή διεγερθεί σε μια από αυτές πιθανόν να παρατηρηθούν φαινόμενα συντονισμού. Για κάθε φυσική συχνότητα, η κατασκευή έχει έναν χαρακτηριστικό τρόπο ταλάντωσης, μια ειδική *ιδιομορφή*. Ιδιομορφή (*modal shape*) είναι η χαρακτηριστική μορφή που λαμβάνει το σώμα προς εξέταση ανάλογα με την συχνότητα με την οποία διεγείρεται.

4.2 ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΠΟΥ ΘΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΘΟΥΝ

Η επεξεργασία του μοντέλου του κατακόρυφου δρόπανου αποτελείται από δύο κύρια μέρη.

1. Δυναμική ανάλυση σε ελεύθερο μοντέλο
2. Δυναμική ανάλυση σε μοντέλο με πάκτωση στη βάση

Στο πρώτο μέρος της ανάλυσης το μοντέλο είναι ελεύθερο στο χώρο, χωρίς να υπάρχει κανένας περιορισμός στον τρόπο με τον οποίο συγκρατείται κάποιο από τα μέρη του, ενώ στο δεύτερο μέρος μειώνεται ουσιαστικά ένας βαθμός ελευθερίας και το μοντέλο συγκρατείται στη βάση του που αποτελεί το κάτω μέρος της εργαλειομηχανής.

Επιπλέον σε κάθε μέρος πραγματοποιείται δυναμική ανάλυση σε τέσσερα διαφορετικά μοντέλα, ένα αρχικό και τρία μοντέλα που προκύπτουν από την τροποποίηση της μάζας σε διάφορα μέρη του.

Η λογική με την οποία έγιναν οι τροποποιήσεις ήταν η αύξηση της μάζας του μοντέλου διαδοχικά, ξεκινώντας από τη βάση του, στη συνέχεια στο μέσο τμήμα του και καταλήγοντας στο άνω μέρος του που ουσιαστικά αποτελεί την κεφαλή της εργαλειομηχανής. Τροποποιώντας τις διαστάσεις του μοντέλου με κατάλληλο τρόπο, έγινε μία προσπάθεια έτσι ώστε να υπάρξει μία σχετική ομοιομορφία στο τρόπο κατανομής αύξησης σε κάθε περίπτωση που περιγράφηκε.

Για κάθε αλλαγή που έγινε σε κάθε μοντέλο, έγινε εκ νέου επεξεργασία στο πρόγραμμα Pro\Engineering, πραγματοποιώντας τις μεταβολές του εκάστοτε τμήματος του μοντέλου ξεχωριστά και στην συνέχεια έγινε από την αρχή συναρμολόγηση με τα μέρη που είχαν υποστεί νέα διαστασιολόγηση. Στην επόμενη ενότητα περιγράφονται αναλυτικά οι διαστάσεις και τροποποιήσεις των μοντέλων.

4.3 ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΩΝ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

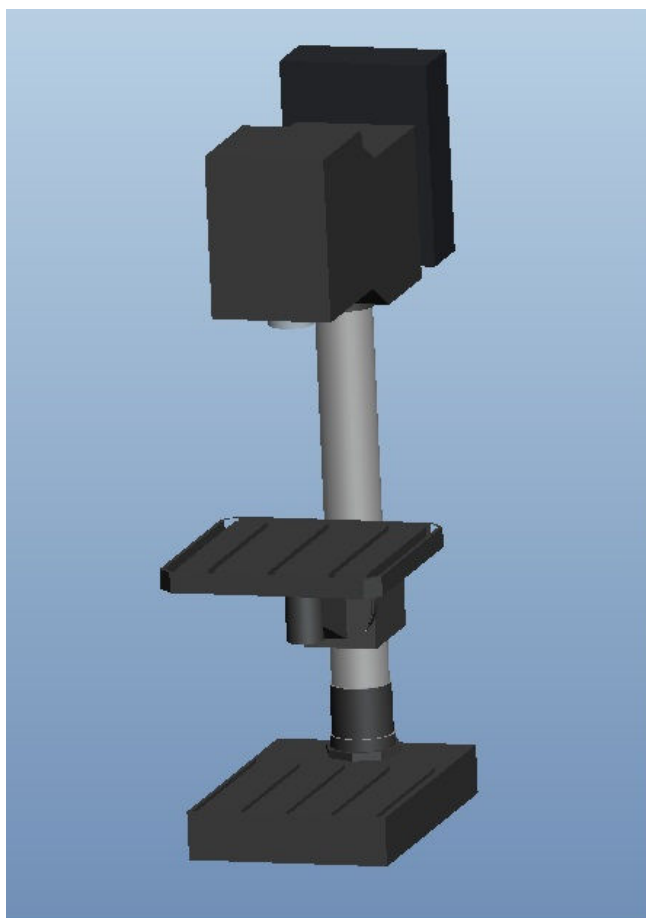
ΜΟΝΤΕΛΟ 1 (ΑΡΧΙΚΟ)

Το αρχικό πρότυπο μοντέλο που περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα αποτελεί πιστή απεικόνιση της πραγματικής εργαλειομηχανής, όσον αφορά τα εξωτερικά χαρακτηριστικά της

Η γεωμετρική πολυπλοκότητα του μοντέλου όμως δεν επέτρεψε την επεξεργασία του μοντέλου ως έχει από το COMSOL Multiphysics. Το λογισμικό αναγνώριζε το μοντέλο, αλλά δεν επέτρεπε καμία επεξεργασία. Ο πιθανότερος λόγος για αυτό το πρόβλημα ήταν η μεγάλη πολυπλοκότητα του παραγόμενου πλέγματος και ο τεράστιος υπολογιστικός φόρτος που συνεπάγεται, ειδικά σε απλούς Η/Υ. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα, το μοντέλο εισήχθη εκ νέου στο σχεδιαστικό πρόγραμμα και με διαδοχικές αλλαγές και απλοποιήσεις δημιουργήθηκε μία απλουστευμένη γεωμετρικά εκδοχή του πρότυπου μοντέλου χωρίς όμως να γίνει κάποια αλλαγή στη διαστασιολόγηση και στην γενική γεωμετρία. Οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν, εξάλειψαν το μεγάλο υπολογιστικό φόρτο, χωρίς όμως να επηρεάζουν σε σημαντικό βαθμό τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η τελική του εκδοχή.

Αναλυτικότερα, στην απλουστευμένη εκδοχή του μοντέλου, αφαιρέθηκαν όλες οι γεωμετρικές λεπτομέρειες όπως ακμές, εγκοπές, κενά και άλλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αρχικού μοντέλου που ήταν υπεύθυνα για τη μεγάλη πολυπλοκότητα, χωρίς όμως να είναι σημαντικά για την συνολική συμπεριφορά του μοντέλου κατά την προσομοίωση της κατεργασίας. Τα μεγέθη του μοντέλου παρέμειναν ως έχουν.

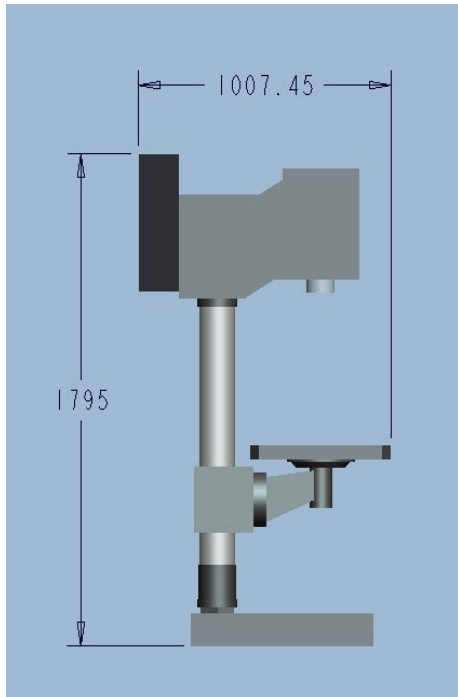
Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται το αποτέλεσμα της διάταξης πάνω στο οποίο θα βασιστούν όλα τα υπόλοιπα μοντέλα που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια.



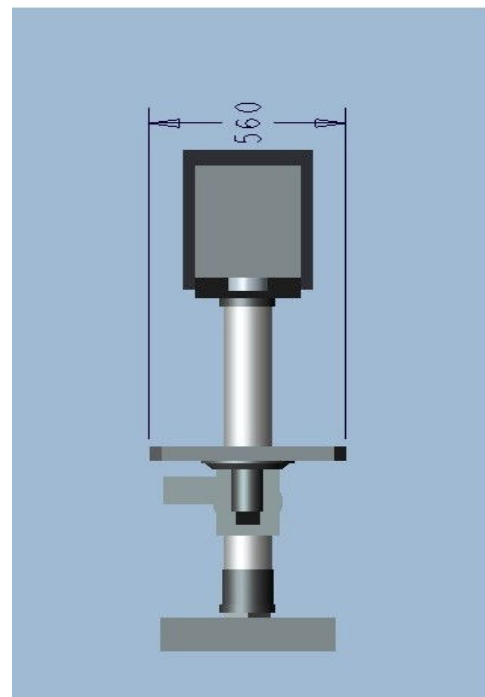
Εικόνα 4.3.1 **Πρώτο μοντέλο (αρχικό)**

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι διαστάσεις (χιλιοστά) του μοντέλου ξεχωριστά για να υπάρχει μια συνολική εικόνα της γεωμετρίας του. Αρχικά παρουσιάζεται συνολικά το μοντέλο προσδιορίζοντας το μέγιστο μήκος, το μέγιστο μήκος και το μέγιστο ύψος για να γίνουν αντιληπτές οι τιμές της μετατόπισης που προκύπτουν από τα αποτελέσματα που θα ακολουθήσουν από την ανάλυση και στη συνέχεια δίνονται οι διαστάσεις του κάθε μέρους ξεχωριστά. Σημειώνεται ότι οι παρακάτω διαστασιολογήσεις δεν τηρούν τις αυστηρές προδιαγραφές των μηχανολογικών σχεδίων, αλλά παρουσιάζονται για να υπάρχει μία αντίληψη της γεωμετρίας του μοντέλου.

- Το ολικό μοντέλο



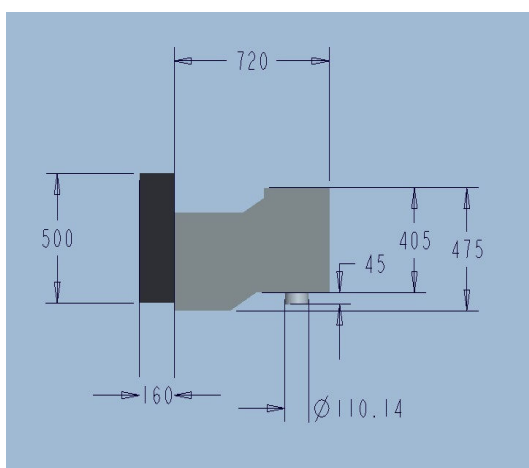
Εικόνα 4.3.2 Μέγιστο μήκος και ύψος



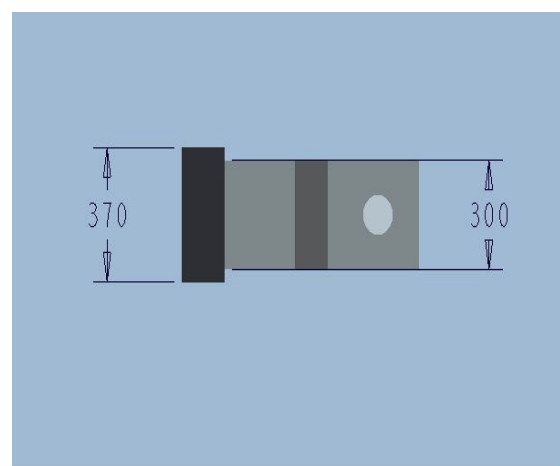
Εικόνα 4.3.3 Μέγιστο πλάτος

Το μέγιστο μήκος του μοντέλου έχει τιμή 1007,45 mm, το μέγιστο πλάτος του 560 mm και το μέγιστο ύψος φτάνει την τιμή των 1795 mm.

- Κεφαλή

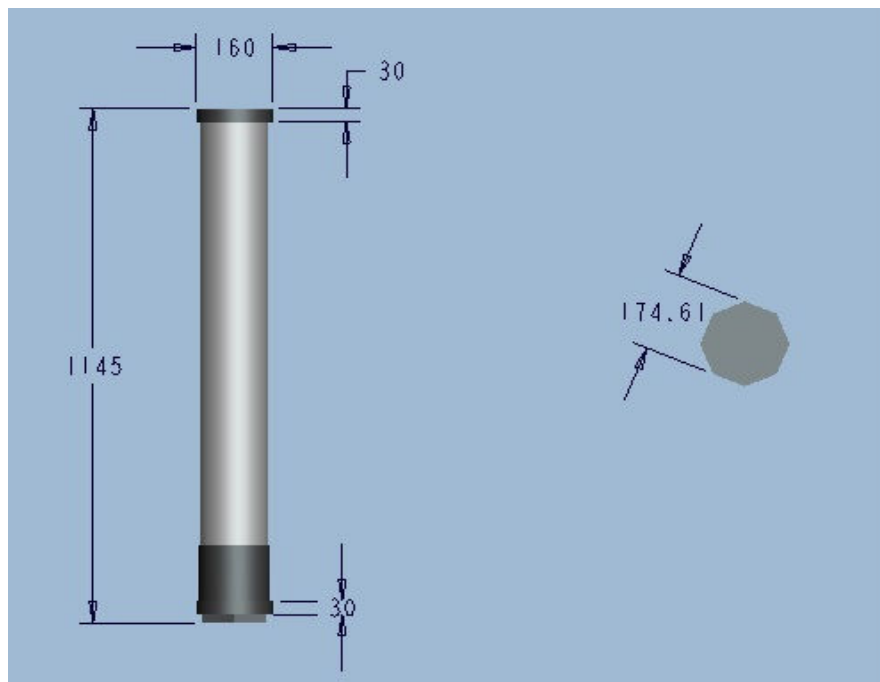


Εικόνα 4.3.4 Διαστάσεις κεφαλής



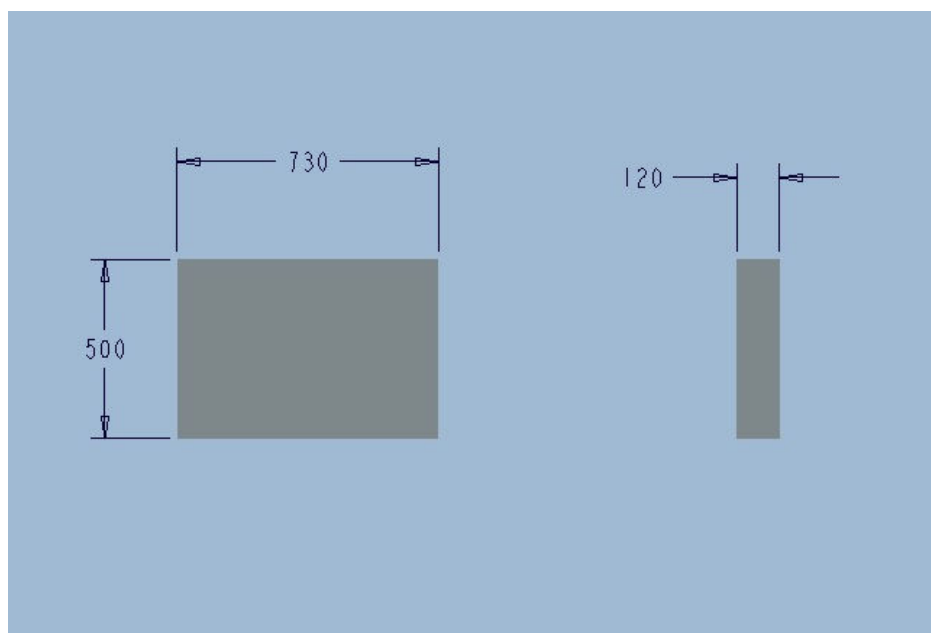
Εικόνα 4.3.5 Διαστάσεις κεφαλής

- Ορθοστάτης



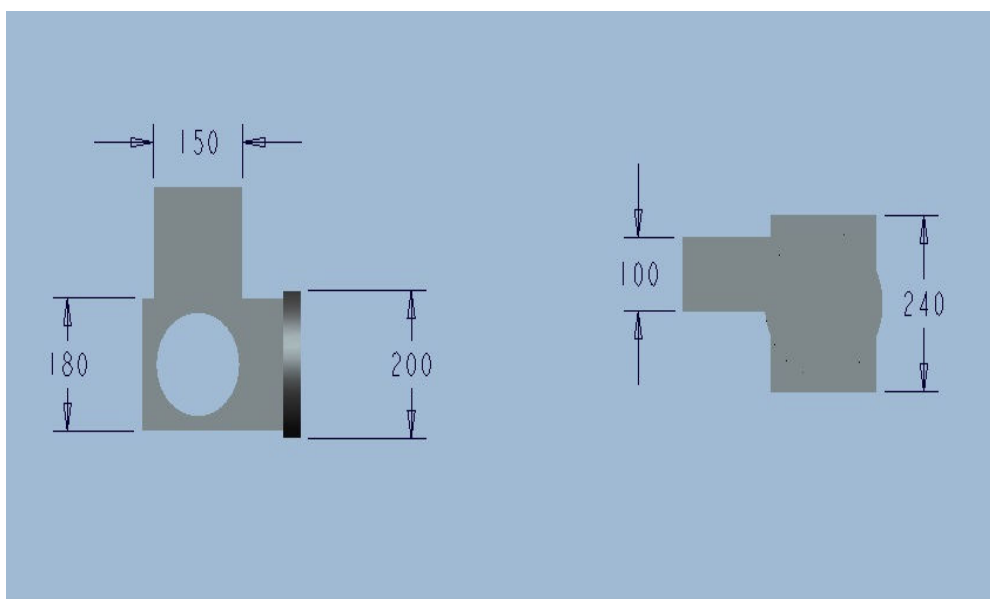
Εικόνα 1.3.6 Διαστάσεις ορθοστάτη

- Βάση



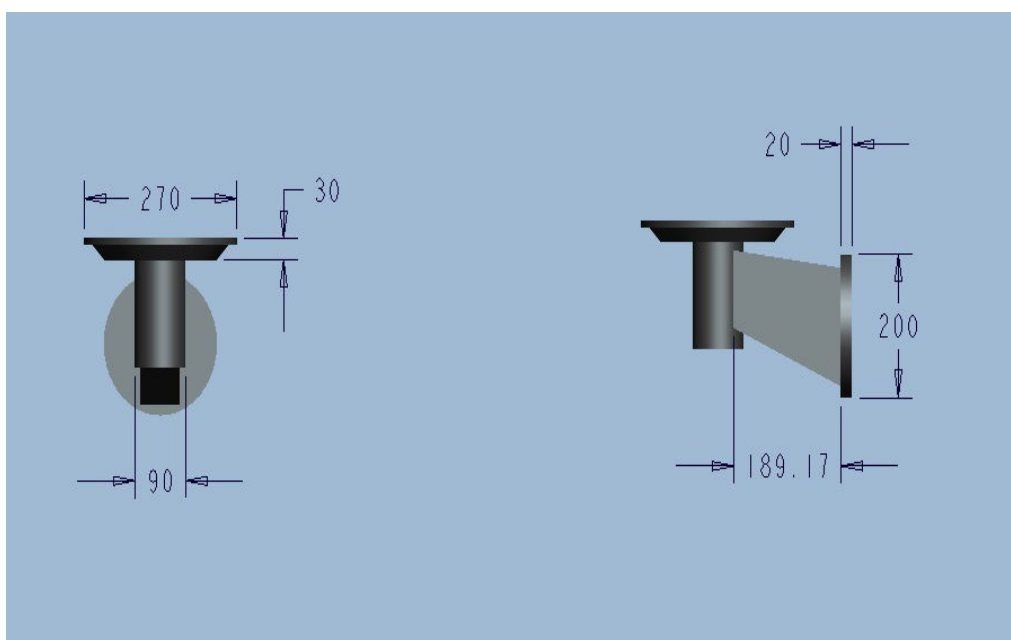
Εικόνα 4.3.7 Διαστάσεις βάσης

- Σύνδεσμος της τράπεζας



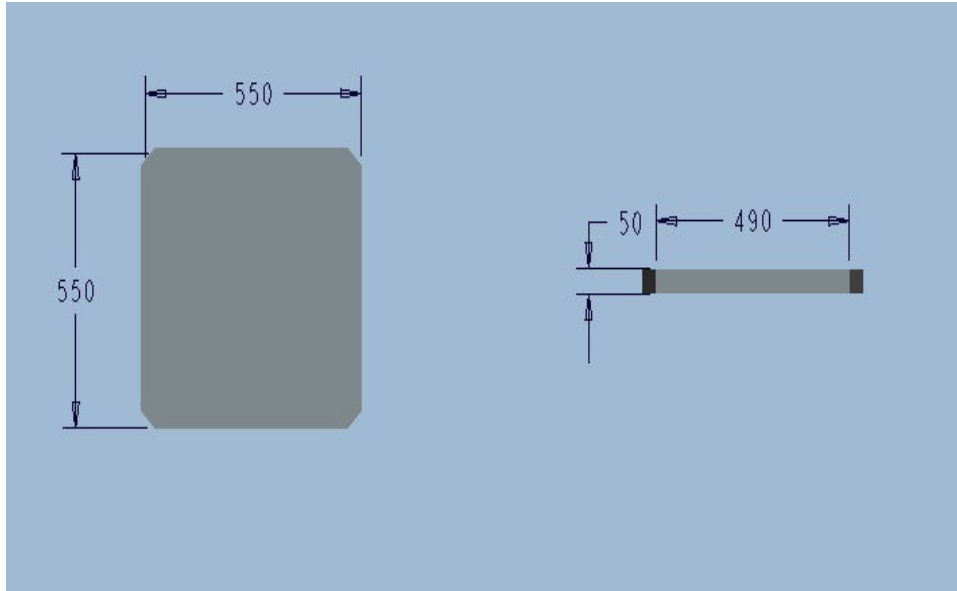
Εικόνα 4.3.8 Διαστάσεις συνδέσμου της τράπεζας με τον ορθοστάτη

- Βάση της τράπεζας



Εικόνα 4.3.9 Διαστάσεις βάσης της τράπεζας

- Τράπεζα

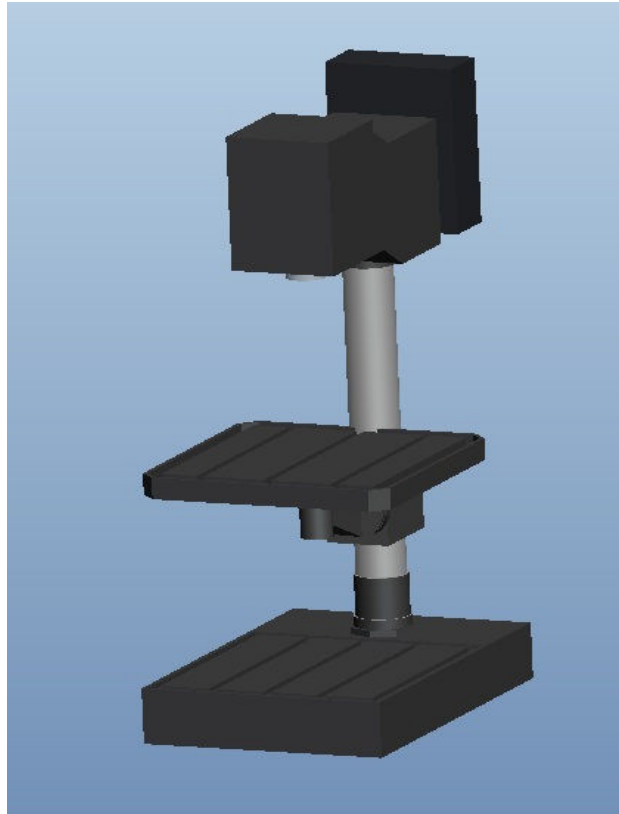


Εικόνα 4.3.10

Διαστάσεις τράπεζας

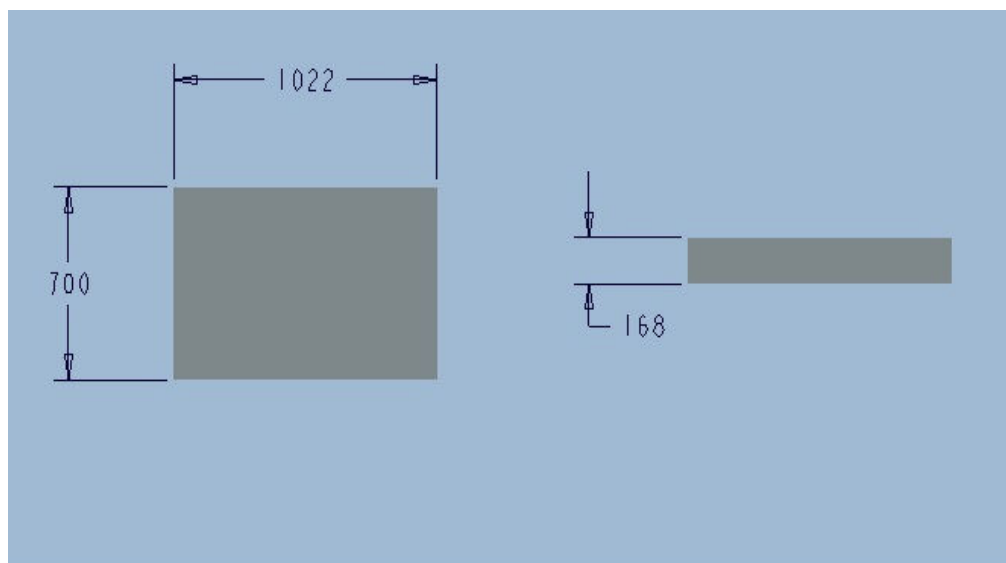
ΜΟΝΤΕΛΟ 2

Στο δεύτερο μοντέλο πραγματοποιήθηκε τροποποίηση στις διαστάσεις της βάσης και της τράπεζας. Οι διαστάσεις της βάσης αυξήθηκαν στο σύνολο τους κατά 40 τις εκατό και οι διαστάσεις της τράπεζας αυξήθηκαν κατά 30 τις εκατό. Δηλαδή αυξήθηκε η κλίμακα του κάθε μέρους κατά 1.4 και 1.3 αντίστοιχα. Οι διαστάσεις των υπόλοιπων μερών του μοντέλου παρέμειναν οι ίδιες. Ακολουθεί η παρουσίαση του δεύτερου μοντέλου μετά τις συγκεκριμένες αλλαγές.

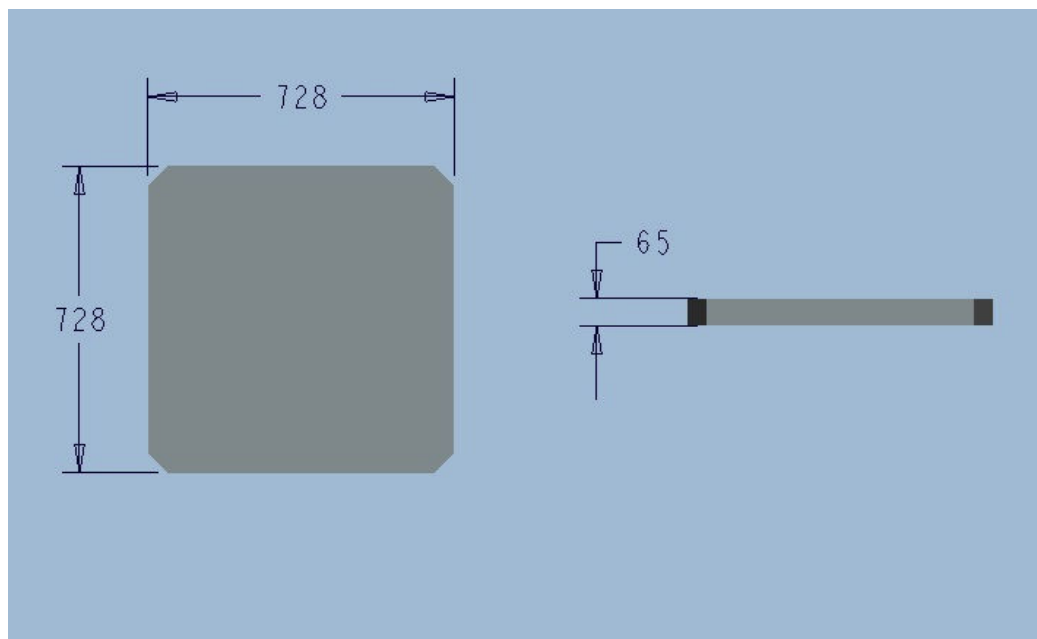


Εικόνα 4.3.11 **Δεύτερο μοντέλο**
(Τροποποίηση στο κάτω μέρος)

Οι διαστάσεις της βάσης και της τράπεζας μετά τις τροποποιήσεις που πραγματοποιήθηκαν.



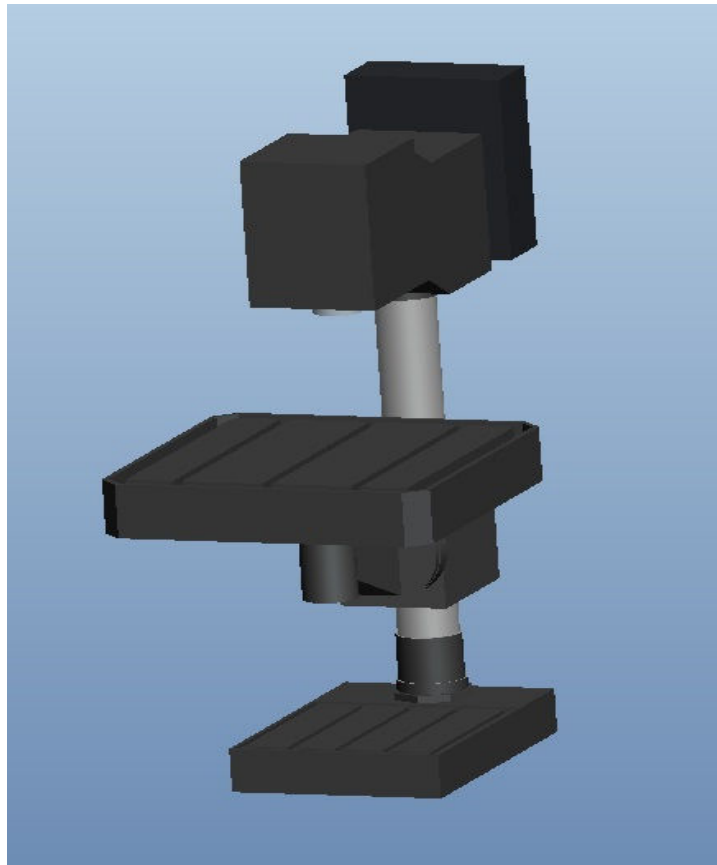
Εικόνα 4.3.12 **Τροποποιημένες διαστάσεις της βάσης**



Εικόνα 4.3.13 Τροποποιημένες διαστάσεις της τράπεζας στο δεύτερο μοντέλο

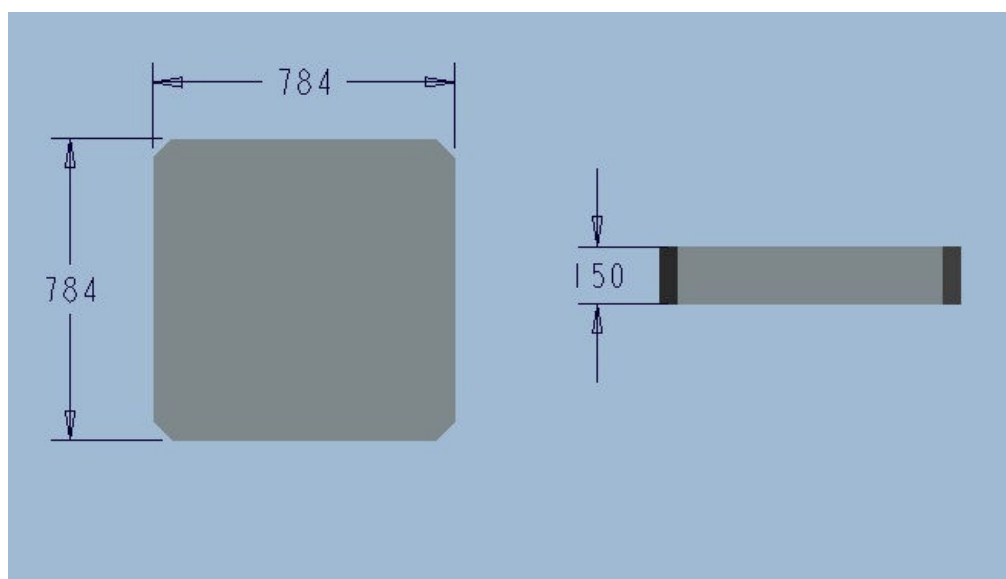
ΜΟΝΤΕΛΟ 3

Στο τρίτο μοντέλο πραγματοποιήθηκε τροποποίηση των διαστάσεων στο μέσο τμήμα του σώματος. Αναλυτικά έγιναν αλλαγές στις διαστάσεις της τράπεζας, της βάσης της τράπεζας και του συνδέσμου του τραπεζιού. Στη τράπεζα αυξήθηκε κατά 4^α τις εκατό το μήκος και το πλάτος της ενώ αυξήθηκε κατά 200 τις εκατό το ύψος της. Όσον αφορά τα υπόλοιπα δύο μέρη, το σύνδεσμο και τη βάση, πραγματοποιήθηκε αύξηση της συνολικής γεωμετρίας του κατά 40 τις εκατό, δηλαδή αυξήθηκε η κλίμακα τους κατά 1.4. Τα υπόλοιπα μέρη παρέμειναν ως έχουν. Ακολουθεί το μοντέλο όπως προέκυψε από τις μεταβολές που ειπώθηκαν.

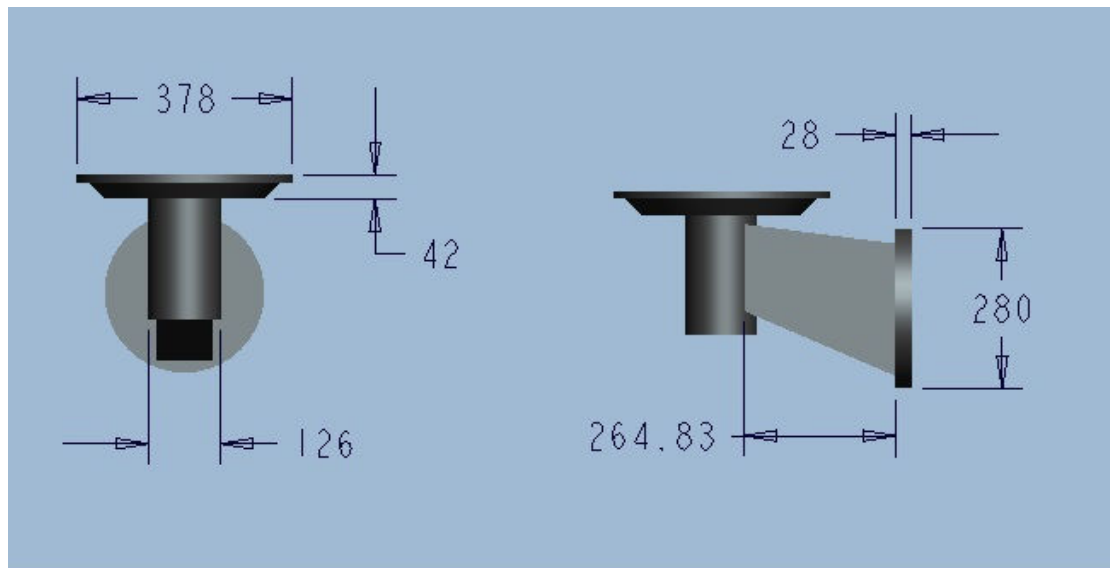


Εικόνα 4.3.14 Τρίτο μοντέλο (Τροποποίηση στο μέσο τμήμα)

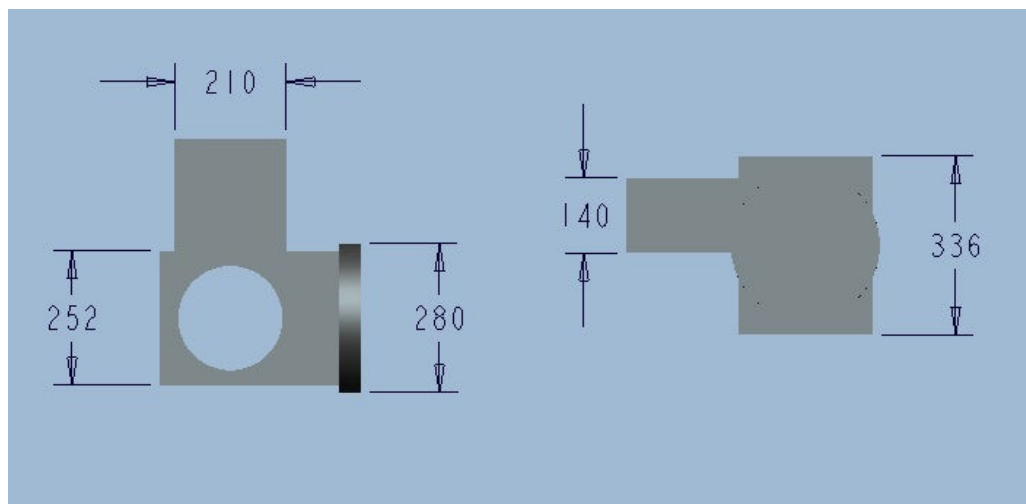
Παρουσιάζονται επίσης οι διαστάσεις της τράπεζας, του συνδέσμου και της βάσης της τράπεζας όπως αυτές προέκυψαν.



Εικόνα 2.3.15 Τροποποιημένες διαστάσεις της τράπεζας στο τρίτο μοντέλο



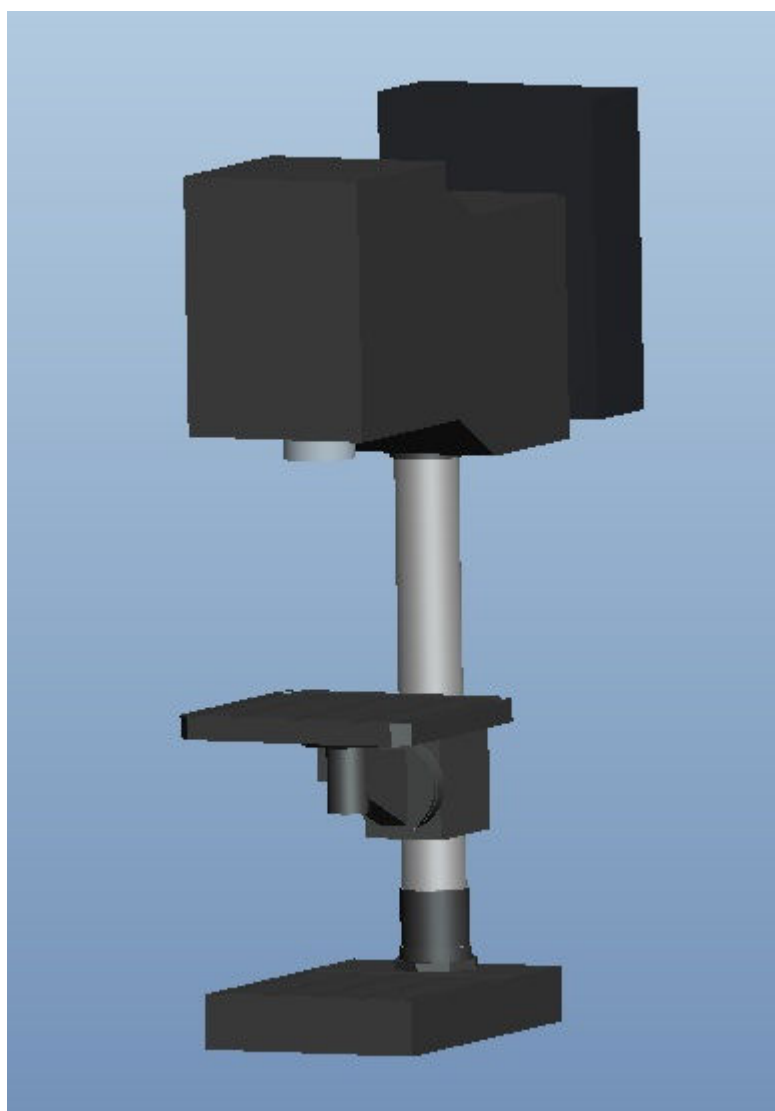
Εικόνα 4.3.16 Τροποποιημένες διαστάσεις της βάσης της τράπεζας



Εικόνα 4.3.17 Τροποποιημένες διαστάσεις του συνδέσμου της τράπεζας

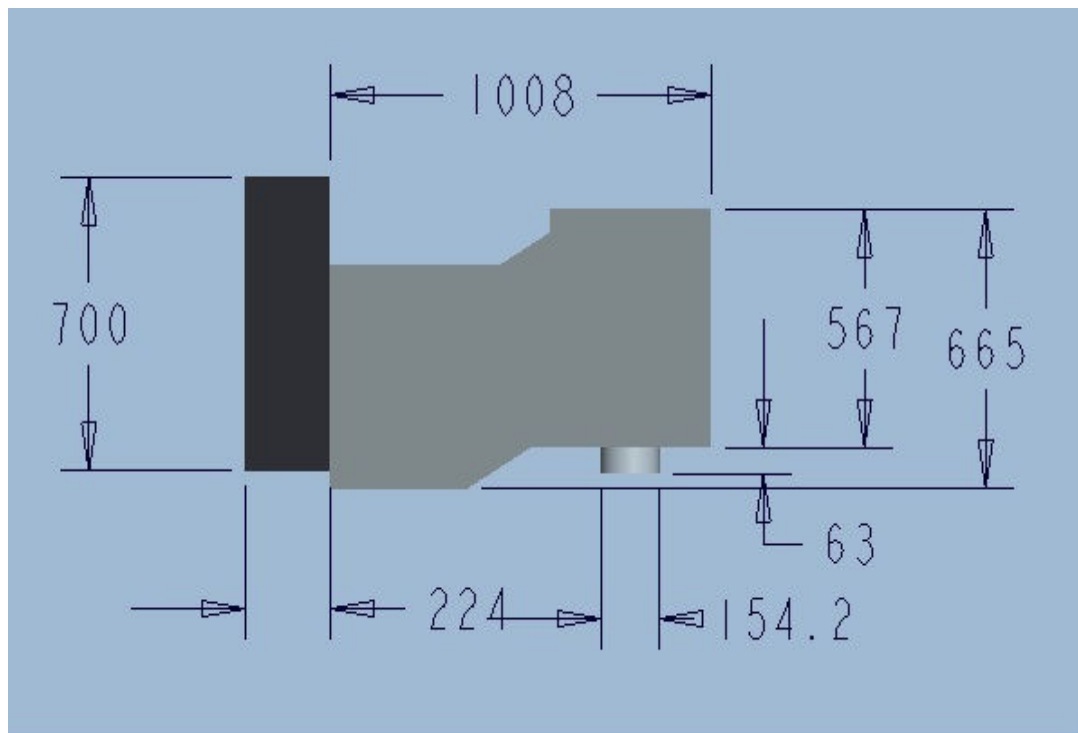
ΜΟΝΤΕΛΟ 4

Τέλος, στο τέταρτο μοντέλο πραγματοποιήθηκε τροποποίηση των διαστάσεων στο άνω μέρος του. Το τμήμα πάνω στο οποίο έγιναν αλλαγές αποτελεί το κυρίως σώμα του. Οι διαστάσεις του αυξήθηκαν συνολικά κατά 40 τις εκατό που αυτό μεταφράζεται όπως και στα προηγούμενα μοντέλα αύξηση της κλίμακας του κατά 1.4. Τα υπόλοιπα μέρη του μοντέλου παρέμεινα άθικτα. Το αποτέλεσμα του τέταρτου και τελευταίου μοντέλου παρουσιάζεται από κάτω.



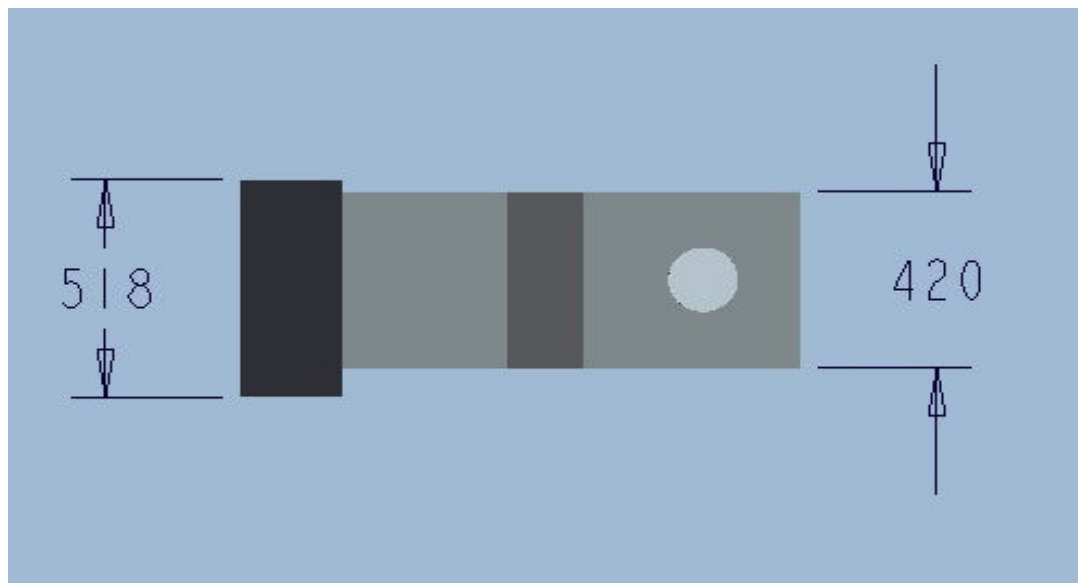
Εικόνα 4.3.18 Τέταρτο μοντέλο (Τροποποίηση στο άνω τμήμα)

Οι διαστάσεις του κυρίως σώματος όπως προέκυψαν από τις τελευταίες μεταβολές.



Εικόνα 4.3.19

Τροποποιημένες διαστάσεις της κεφαλής



Εικόνα 4.3.20

Τροποποιημένες διαστάσεις της κεφαλής

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΤΑΔΙΑ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΤΟ COMSOL MULTIPHYSICS

COMSOL Multiphysics®



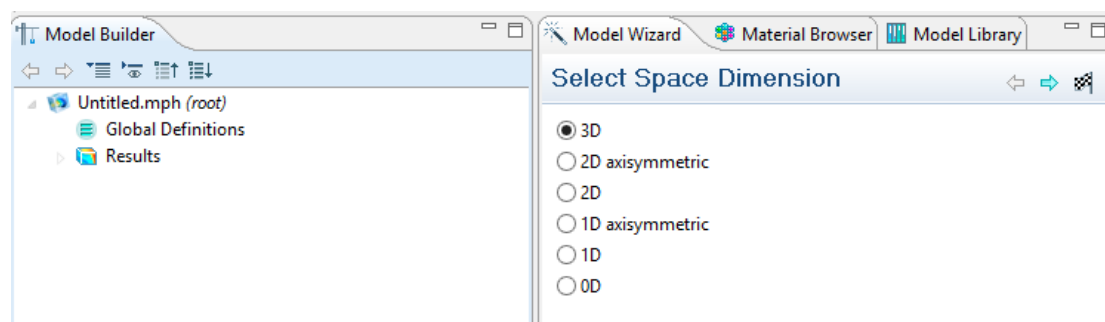
Σε αυτό το στάδιο θα παρουσιαστούν τα στάδια που απαιτούνται για την μοντελοποίηση στο πρόγραμμα Comsol Multiphysics, για το οποίο έγινε αναφορά στο εισαγωγικό κεφάλαιο. Η περιγραφή που θα ακολουθήσει αφορά όλα τα μοντέλα που παρουσιάστηκαν και η διαδικασία της επεξεργασίας τους είναι επίσης κοινή. Τα βήματα τα οποία ακολουθήθηκαν για την πραγματοποίηση της ανάλυσης είναι:

- 1. Καθορισμός περιβάλλοντος**
- 2. Προσδιορισμός τύπου ανάλυσης**
- 3. Εισαγωγή του μοντέλου**
- 4. Προσδιορισμός υλικών, των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς του μοντέλου**
- 5. Πλεγματοποίηση (Meshing)**
- 6. Επίλυση**
- 7. Συλλογή αποτελεσμάτων**

Για καθένα από τα παραπάνω στάδια ακολουθεί μια μικρή περιγραφή, δίνοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα για τον τρόπο που λειτουργεί το συγκεκριμένο πρόγραμμα.

1. Καθορισμός περιβάλλοντος

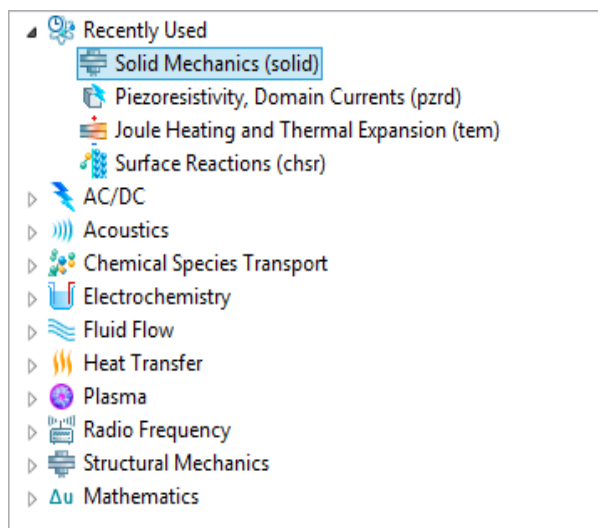
Με την εκκίνηση του προγράμματος Comsol, ανοίγει το αρχικό περιβάλλον του και οι πρώτες επιλογές που εμφανίζονται είναι σε πιο περιβάλλον ορίζεται για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση. Οι επιλογές μπορεί να είναι σε τρισδιάστατο περιβάλλον σε δισδιάστατο αξονοσυμμετρικό, σε δισδιάστατο, σε μονοδιάστατο αξονοσυμμετρικό και σε μονοδιάστατο. Το περιβάλλον που μας αφορά είναι το τρισδιάστατο οπότε και γίνεται η επιλογή.



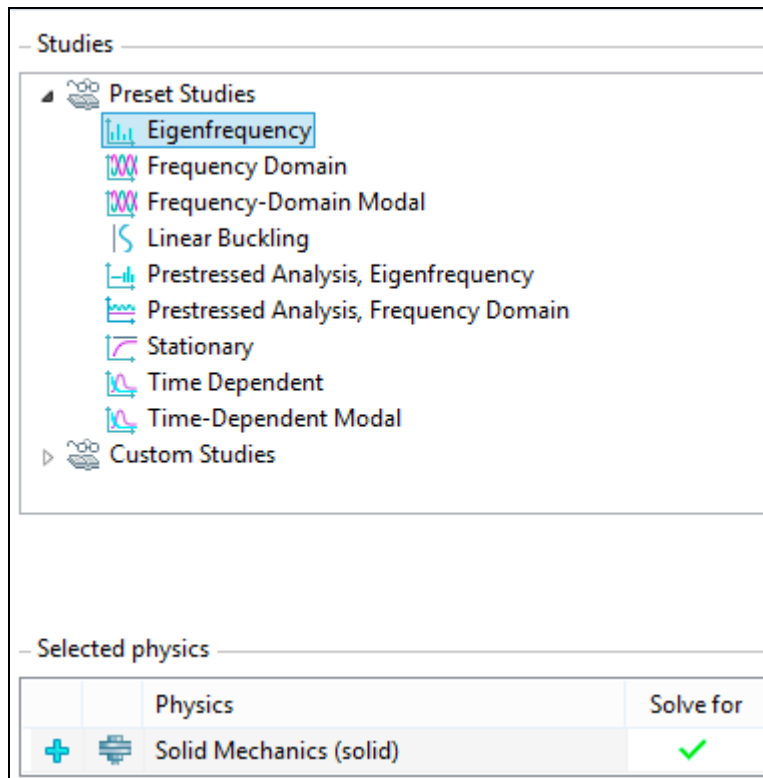
Εικόνα 5.1 Καθορισμός τρισδιάστατου περιβάλλοντος

2. Προσδιορισμός τύπου ανάλυσης

Στην συνέχεια ζητείται από το πρόγραμμα να επιλεγεί ο τύπος της ανάλυσης. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες ανάλυσης, για τις οποίες έγινε λόγος στην εισαγωγή. Ωστόσο η ανάλυση που πρόκειται εμείς να πραγματοποιήσουμε είναι η ιδιομορφική. Επιλέγουμε κατ επέκταση την επιλογή Structural



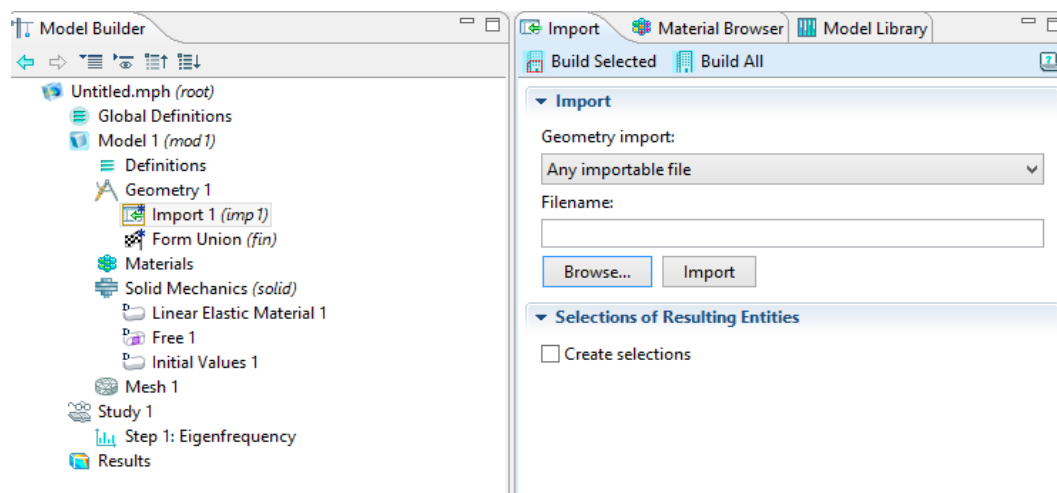
Mechanics και στην συνέχεια την ιδιομορφική ανάλυση που είναι και το αντικείμενο της εργασίας (Eigenfrequency)



Εικόνα 5.3 Επιλογή ιδιομορφικής ανάλυσης

3. Εισαγωγή του μοντέλου

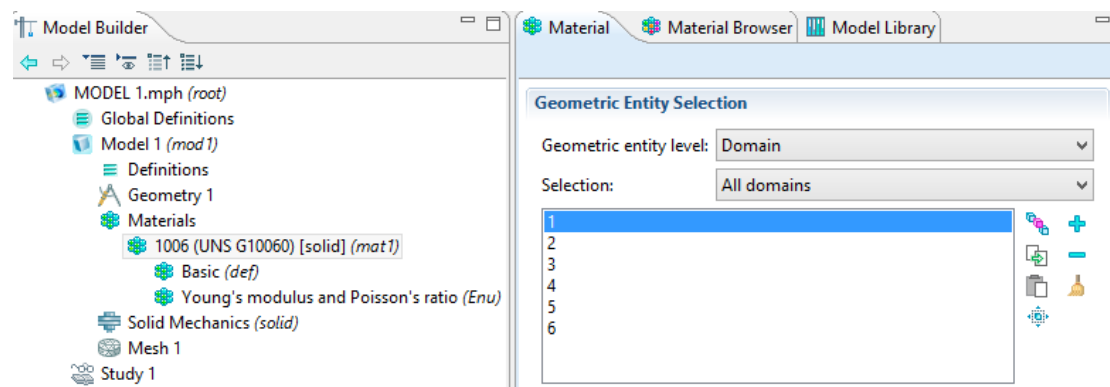
Αφού έχει προετοιμαστεί το μοντέλου προς επεξεργασία στο περιβάλλον του Pro/Engineering, το επόμενο στάδιο είναι η εισαγωγή του στο Comsol. Δίνεται επίσης η επιλογή να σχεδιαστεί η διάταξη στο περιβάλλον του Comsol. Ωστόσο αυτό αποτελεί ένα υποτυπώδες σχεδιαστικό περιβάλλον, ακατάλληλο για τη σχεδίαση περίπλοκων διατάξεων. Για το λόγο αυτό έγινε και η χρήση του προγράμματος του Pro/Engineering. Από το Model Builder, το δέντρο πάνω στο οποίο γίνονται όλες οι επιλογές της διάταξης, πηγαίνουμε στον κόμβο της γεωμετρίας (Geometry) για να προχωρήσουμε στην συνέχεια στην εισαγωγή του σχεδίου.



Εικόνα 5.4 Εισαγωγή σχεδίου στο περιβάλλον του Comsol

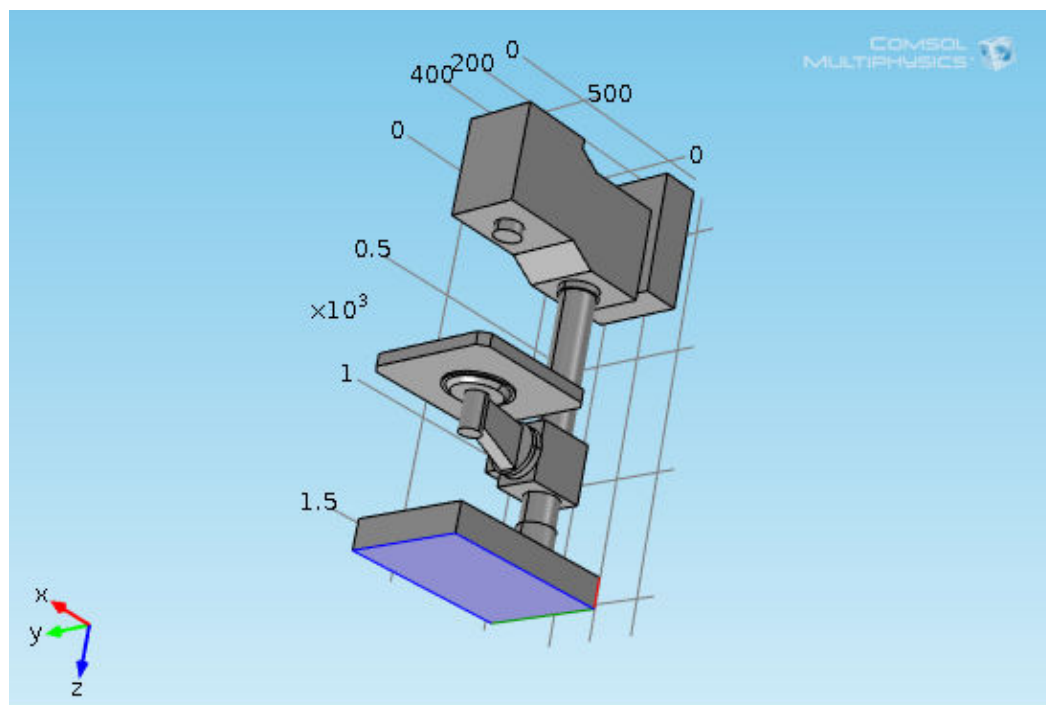
4. Προσδιορισμός υλικών, των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς του Μοντέλου

Το αμέσως επόμενο βήμα περιλαμβάνει την επιλογή του υλικού της διάταξης. Το πρόγραμμα Comsol Multiphysics διαθέτει μια πλούσια βιβλιοθήκη με υλικά όλων πολλών ειδών, μέσα από την οποία μπορούμε να επιλέξουμε το υλικό που μας ενδιαφέρει. Το υλικό που θα εισάγουμε στην διάταξη είναι κράμα σιδήρου τύπου 1006 (UNS G 10060). Το συγκεκριμένο υλικό αποτελείται από 1% του άνθρακα, 0,6% χαλκό, μαγγάνιο 1,65%, 0,4% φωσφόρο, πυρίτιο 0,6%, και 0,05% θείο. Το τυπικό μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα άνθρακα σε θερμοκρασία δωματίου (25 ° C) κυμαίνεται στα 190-210 GPa και η τυπική πυκνότητα του είναι περίπου 7,85 g/cm³. Η χαρακτηριστική αντοχή σε εφελκυσμό κυμαίνεται μεταξύ 276 και 1882 MPa. Τέλος η αναλογία Poisson είναι 0,27. Αυτό το είδος χάλυβα θα αποτελέσει το υλικό για όλα τα μοντέλα που θα μελετηθούν και αποτελεί κοινή διαδικασία η εισαγωγή του υλικού με τις ιδιότητες του. Οπότε από το δέντρο μοντελοποίησης του προγράμματος εισάγουμε στην διάταξη το συγκεκριμένο είδος υλικού και μετά το εισάγουμε σε κάθε ένα από τα μέρη της διάταξης ξεχωριστά.



Εικόνα 5.5 Προσθήκη υλικού στην διάταξη

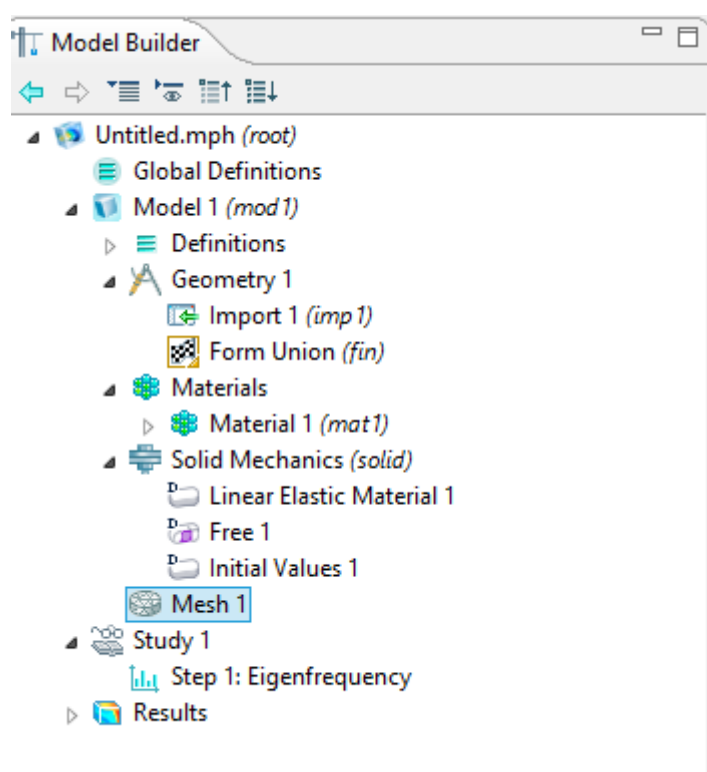
Στο ίδιο στάδιο πρέπει επίσης να οριστούν οι μηχανικές οριακές συνθήκες. Στο πρώτο μέρος της ανάλυσης πραγματοποιείται η επεξεργασία σε ελεύθερο μοντέλο. Στο δεύτερο όμως μέρος της ανάλυσης η επεξεργασία γίνεται στο μοντέλο με πάκτωση στη βάση. Οπότε από το δέντρο μοντελοποίησης του προγράμματος, όσον αφορά το δεύτερο μέρος της ανάλυσης εισάγουμε σε κάθε μοντέλο κάθε φορά αυτήν την επιλογή.



Εικόνα 1.6 Πάκτωση της βάσης

5. Πλεγματοποίηση (Meshing)

Στο στάδιο αυτό το πρόγραμμα δημιουργεί αυτόματα τα στοιχεία του πλέγματος που θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των συναρτήσεων που χρησιμοποιεί η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων για να παράγει τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Για κάθε μοντέλο που εισάγεται στο Comsol, πραγματοποιείται πλεγματοποίηση, των οποίων τα αποτελέσματα θα παρουσιαστούν στο επόμενο κεφάλαιο. Από το πρόγραμμα πατάμε την επιλογή mesh για να προχωρήσουμε στην δημιουργία του πλέγματος.



Εικόνα 5.7 Επιλογή για την πλεγματοποίηση

6. Επίλυση

Αφού έχει ολοκληρωθεί η ρύθμιση των παραμέτρων, το επόμενο στάδιο είναι η επίλυση του προβλήματος από το πρόγραμμα. Αυτό πρέπει να κάνουμε είναι να προχωρήσουμε στην επίλυση μέσω της επιλογής Study που μας δίνεται από το δέντρο μοντελοποίησης του προγράμματος.

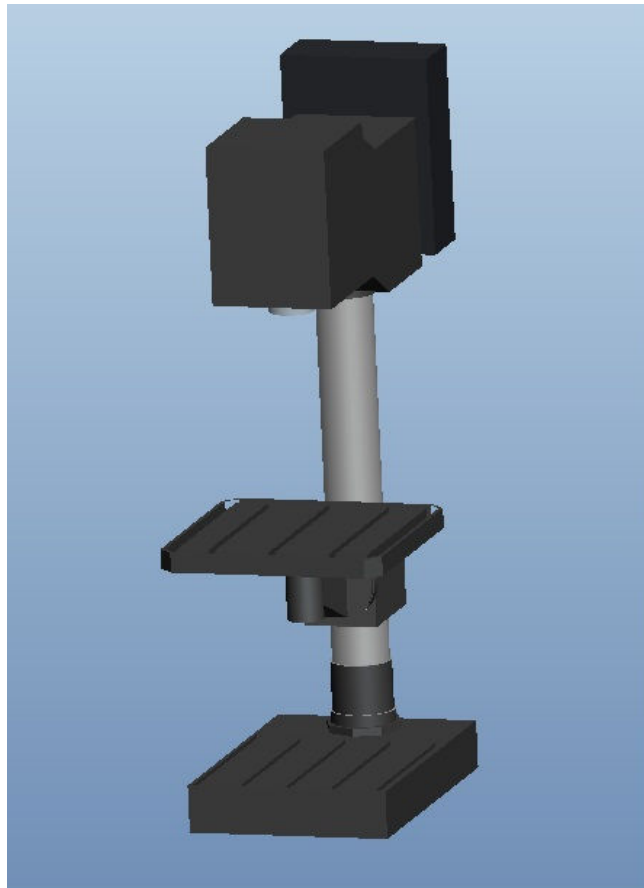
7. Συλλογή αποτελεσμάτων

Αφού το πρόγραμμα τελικά επιλύσει το πρόβλημα, μας δίνεται η δυνατότητα να κάνουμε την συλλογή των αποτελεσμάτων. Από το δέντρο μοντελοποίησης του προγράμματος μπορούμε να αναζητήσουμε τις τιμές που μας ενδιαφέρει. Οι δυνατότητες επεξεργασίας των αποτελεσμάτων είναι πάρα πολλές. Μπορούμε να επεξεργαστούμε τρισδιάστατες εικόνες των αποτελεσμάτων, να τις μετατρέψουμε σε δισδιάστατη μορφή, όπως και να δημιουργήσουμε διαγράμματα από τις τιμές των αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 **ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ**

6.1. ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΕΛΕΥΘΕΡΟ ΜΟΝΟΤΕΛΟ

ΜΟΝΤΕΛΟ 1



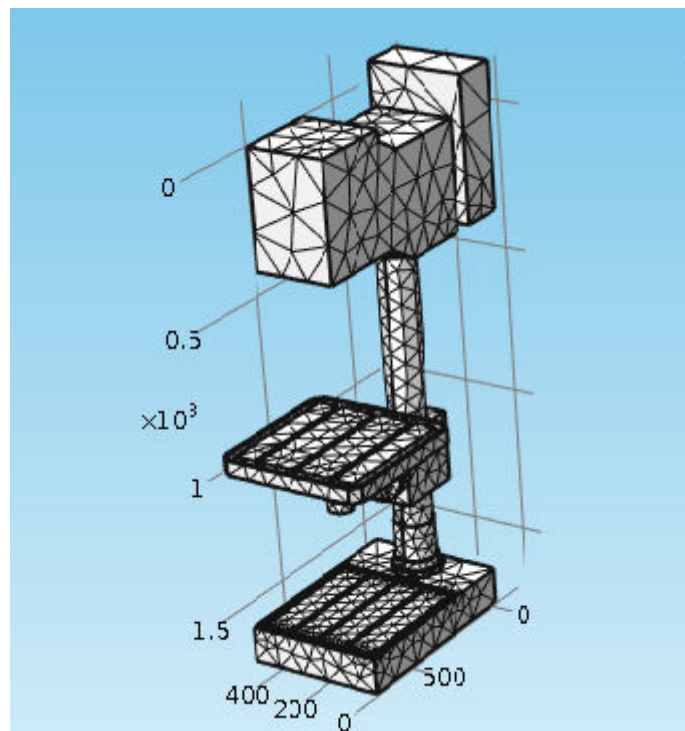
Εικόνα 6.1.1 Αρχικό μοντέλο

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, για να εφαρμόσει το Comsol Multiphysics την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων στο υπό μελέτη μοντέλο και να επιλύσει το πρόβλημα, είναι απαραίτητη η πλεγματοποίηση. Στο σύνολο της μελέτης πραγματοποιήθηκε πλεγματοποίηση σε ένα μόνο επίπεδο, καθώς η δεύτερη πλεγματοποίηση θα αύξανε σε σημαντικό βαθμό τον υπολογιστικό φόρτο έτσι ώστε η επίλυση από ένα κοινό υπολογιστή θα γινότανε χρονοβόρα έως και αδύνατη. Τα αποτελέσματα της πλεγματοποίησης του συγκεκριμένου μοντέλου δίνονται στο πίνακα.

Αποτελέσματα της πλεγματοποίησης του πρώτου μοντέλου

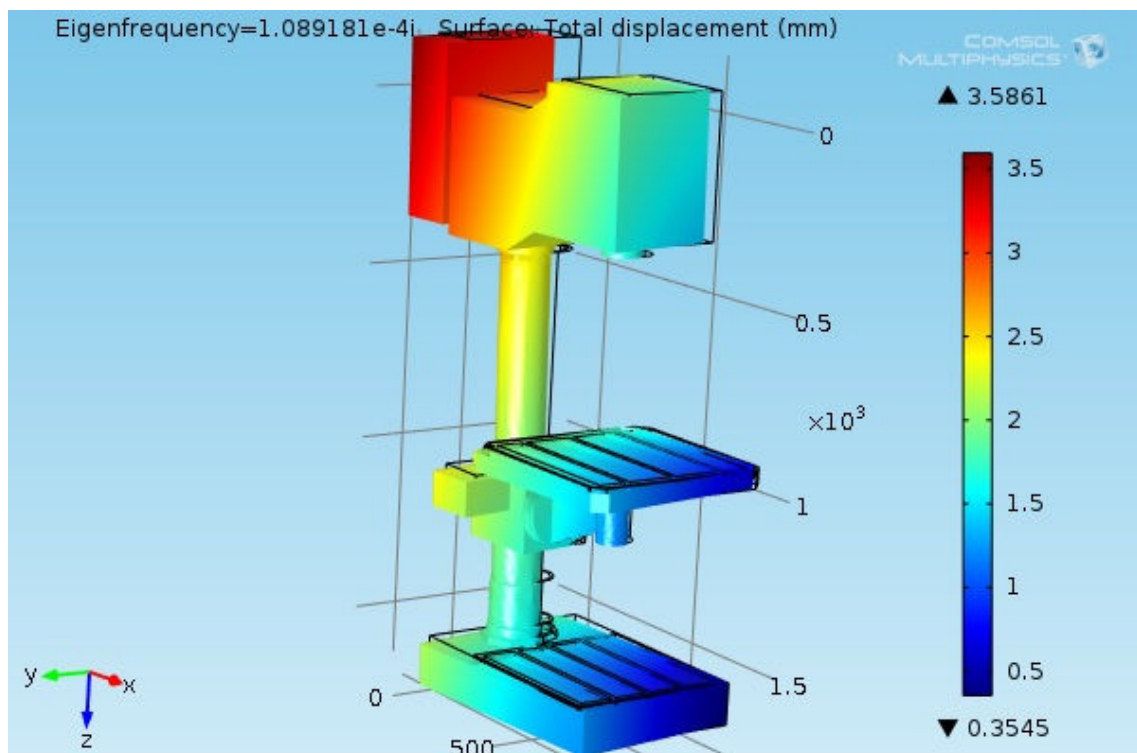
Τετραεδρικά στοιχεία	5332
Τριγωνικά στοιχεία	2980
Στοιχεία ακμών	1102
Στοιχεία κορυφών	226

Το αποτέλεσμα της πλεγματοποίησης φαίνονται παρακάτω



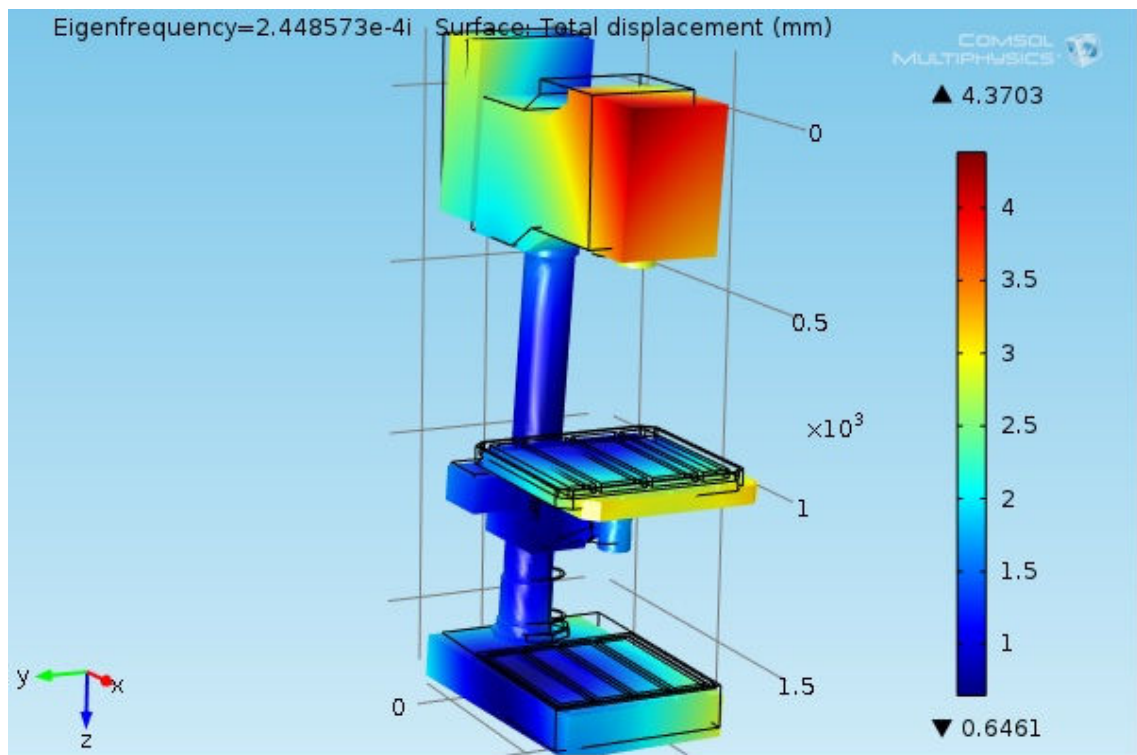
Εικόνα 6.1.2 Πλεγματοποίηση του πρώτου μοντέλου

Αφού πραγματοποιηθεί η ανάλυση, προσφέρεται η δυνατότητα να καταγραφούν τόσο αριθμητικά όσο και παραστατικά τα αποτελέσματα. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ιδιόμορφες και οι τάσεις Von Mises που αναπτύσσονται, σε εικόνες που προσφέρονται από το πρόγραμμα. Με τα συγκεκριμένα αποτελέσματα δίνεται μια πλήρη εικόνα της συμπεριφοράς του μοντέλου, καθώς παρατηρώντας τα, μπορούμε να δούμε από το χρώμα την τιμή κάθε μεταβλητής στα διάφορα σημεία του.



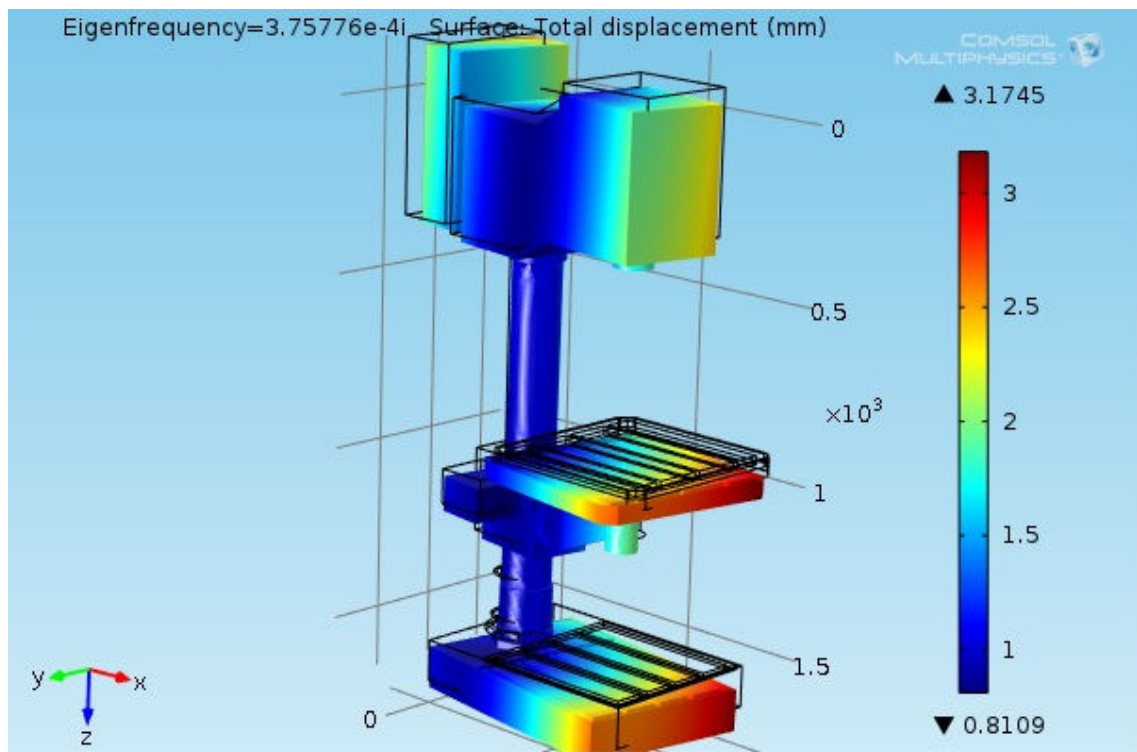
Εικόνα 6.1.3 Πρώτη ιδιομορφή

Ιδιοσυχνότητα 1,089181e-4i

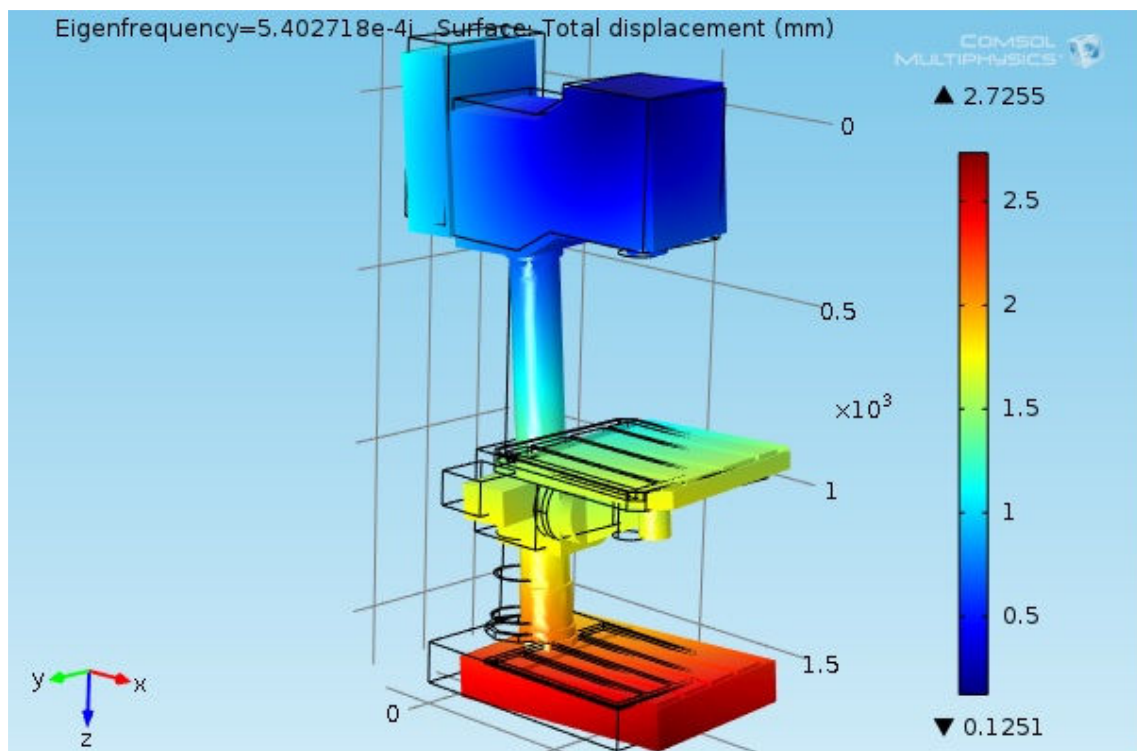


Εικόνα 6.1.4 Δεύτερη ιδιομορφή

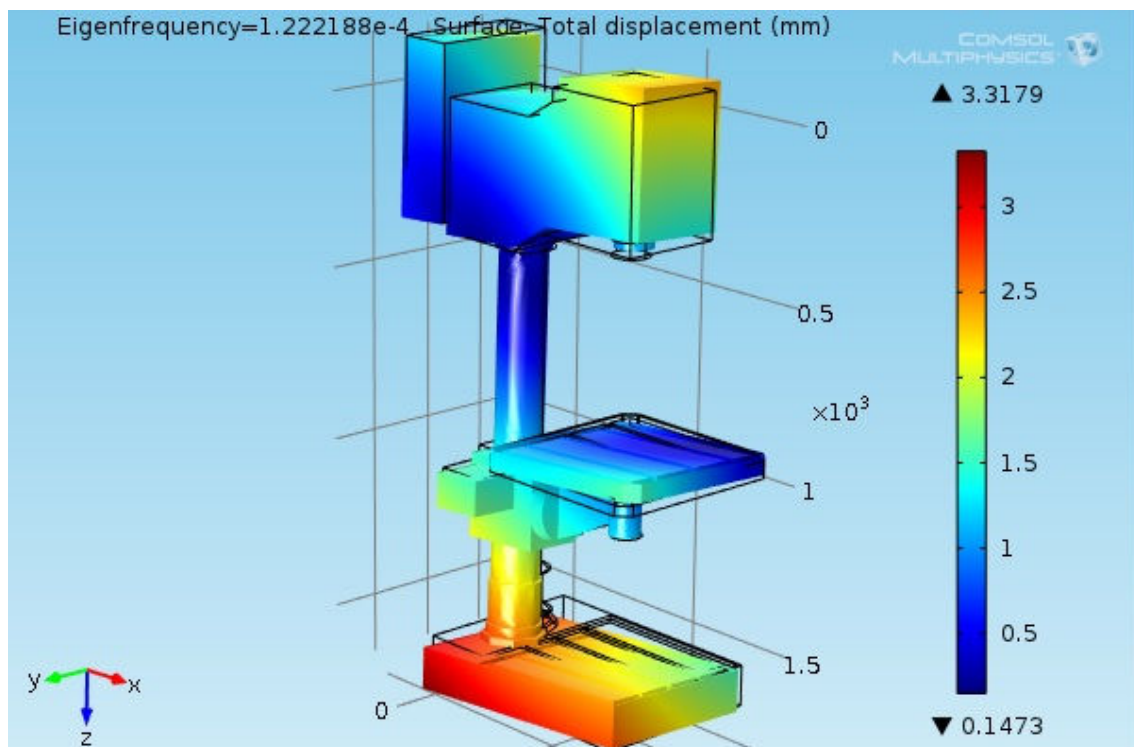
Ιδιοσυχνότητα 2,44857e-4i



Εικόνα 6.1.5 Τρίτη Ιδιομορφή Ιδιοσυχνότητα 3,75776e-4i

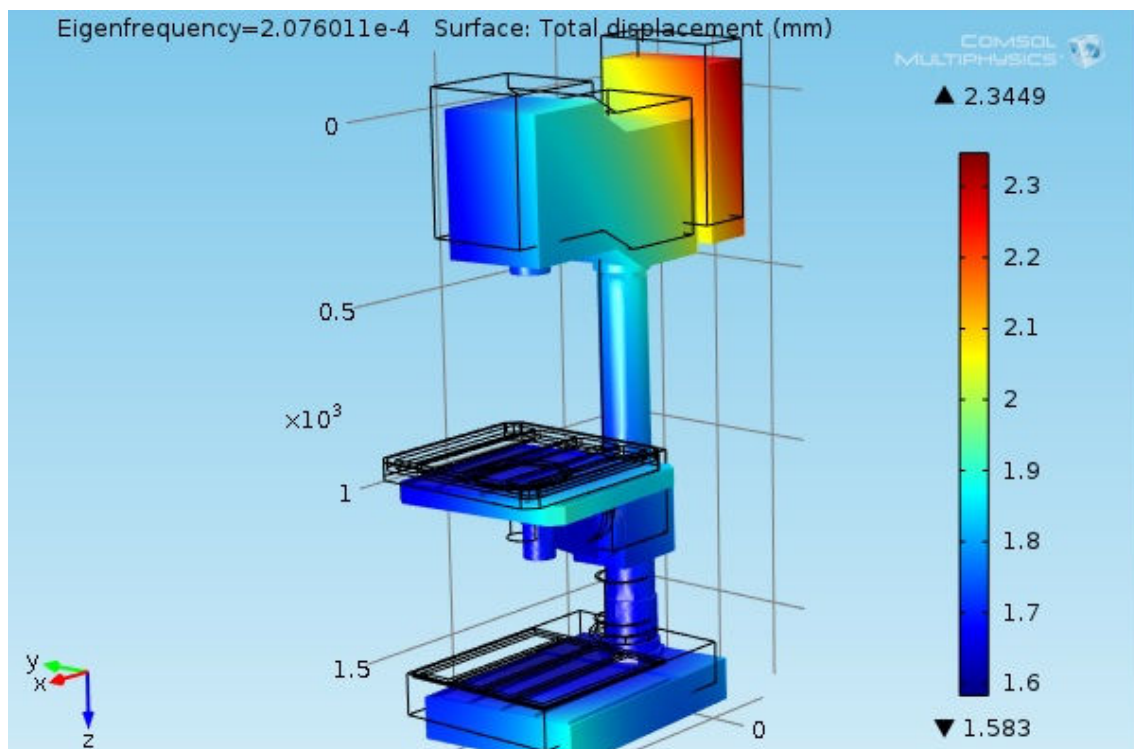


Εικόνα 6.1.6 Τέταρτη Ιδιομορφή Ιδιοσυχνότητα 5,402718e-4i



Εικόνα 6.1.7 Πέμπτη Ιδιομορφή

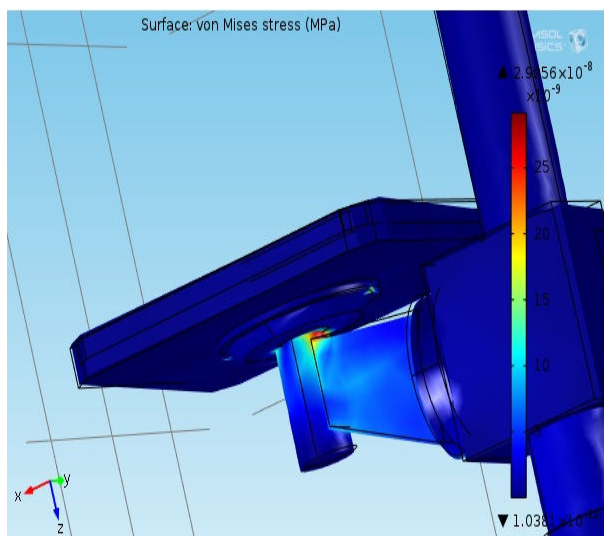
Ιδιοσυχνότητα 1,222188e-4



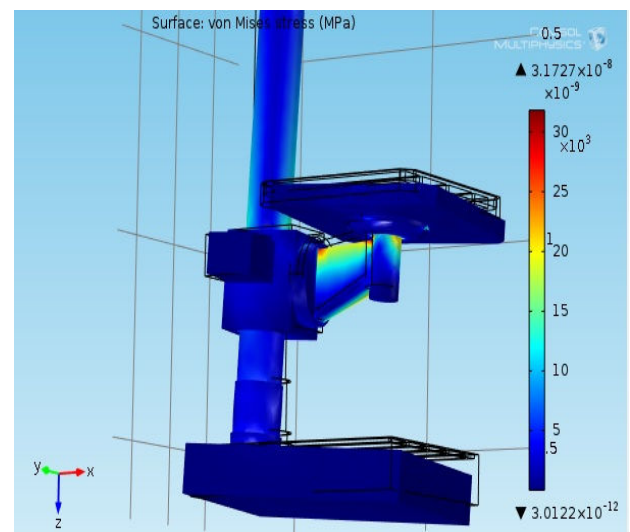
Εικόνα 6.1.8 Έκτη Ιδιομορφή

Ιδιοσυχνότητα 2,076011e-4

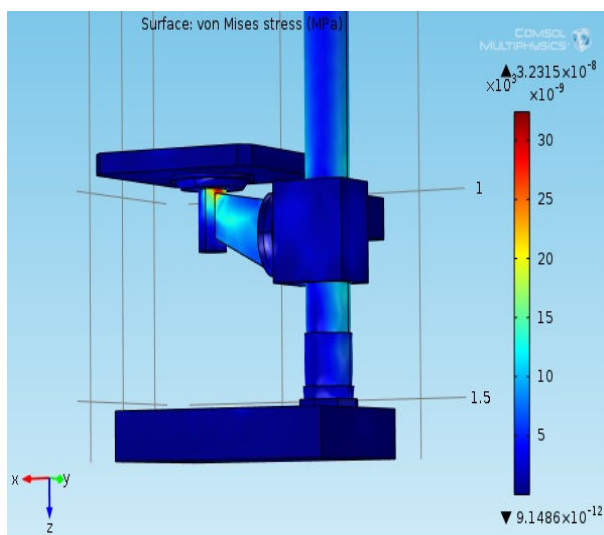
Ακολουθούν τα αποτελέσματα από την κατανομή των τάσεων Von Misses



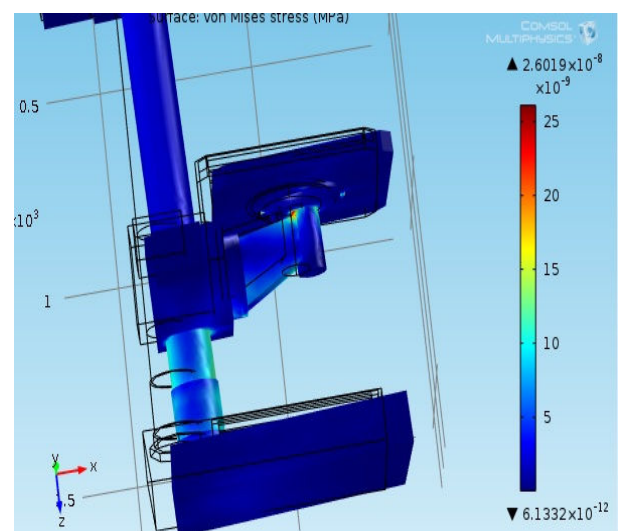
Ιδιοσυχνότητα 1,089181e-4i



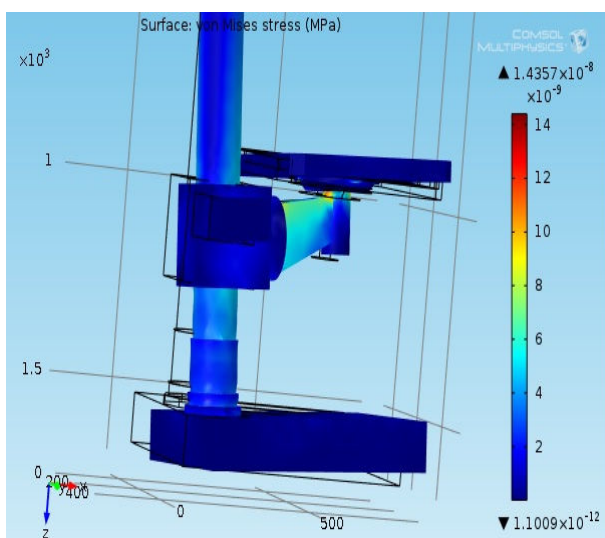
Ιδιοσυχνότητα 2,44857e-4i



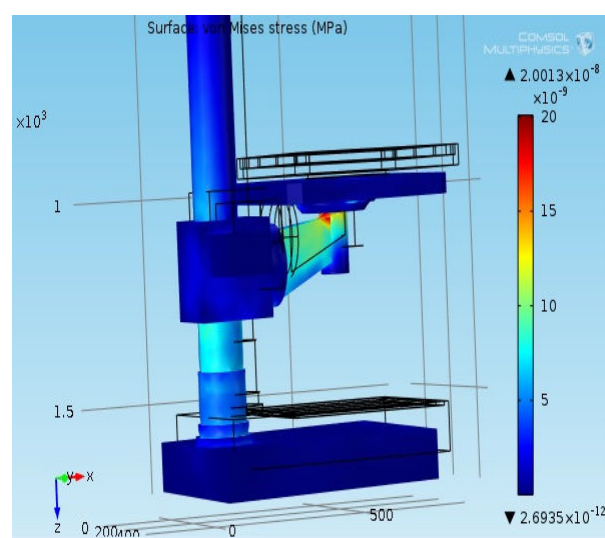
Ιδιοσυχνότητα 3,75776e-4i



Ιδιοσυχνότητα 5,402718e-4i



Εικόνα 6.1.13 Ιδιοσυχνότητα 1,2222188e-4



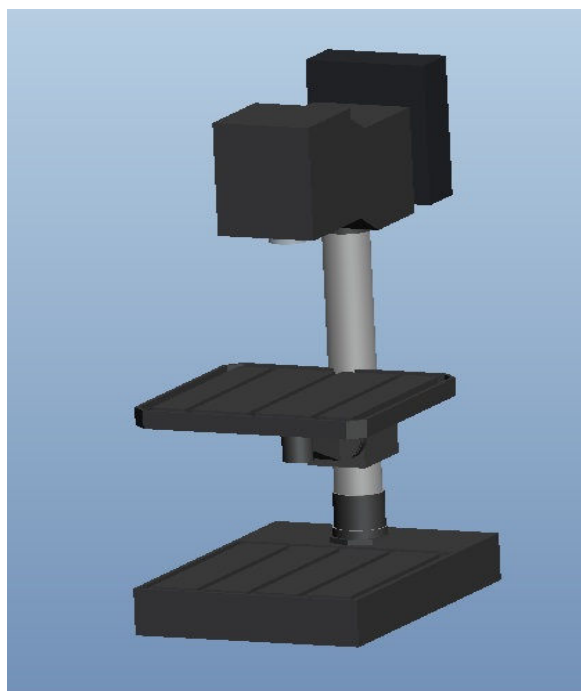
Εικόνα 6.1.14 Ιδιοσυχνότητα 2,076011e-4

Ο συγκεντρωτικός πίνακας που ακολουθεί περιέχει στη πρώτη στήλη τις ιδιοσυχνότητες που προέκυψαν από την ανάλυση και στις επόμενες ακολουθούν οι τιμές της μέγιστης μετατόπισης, των τάσεων Von Misses που αναπτύσσονται στο μοντέλο και η τιμή της παραμόρφωσης που προκύπτει.

Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Μέγιστη μετατόπιση (mm)	Von Misses MPa * 10(-8)	Παραμόρφωση * 10 (-14)
1.08918e-4i	3.58609	2.9056	6.4808
2.44857e-4i	4.37026	3.1727	12,75
3.75776e-4i	3.17447	3.2315	7.5957
5.40272e-4i	2.72547	2.6019	9.9223
1.22219e-4	3.31787	1.4357	2.8017
2.07601e-4	2.34495	2.0013	6.8021

- Μετά από την επεξεργασία του πρώτου μοντέλου και την διεξαγωγή των αποτελεσμάτων, μπορούμε να παρατηρήσουμε τις έξι ιδιοσυχνότητες που προέκυψαν. Η μικρότερη τιμή είναι $1.08918e-4$ Hz ενώ η μεγαλύτερη φτάνει έως τα $2.07601e-4$ Hz. Σημειώνεται ότι αυτές αποτελούν κατ επιλογήν τις πρώτες έξι ιδιοσυχνότητες του μοντέλου. Για να παρατηρηθούν οι υπόλοιπες ιδιοσυχνότητες, αρκεί να αλλάξουμε τις παραμέτρους στο στάδιο μοντελοποίησης του προγράμματος. Η μελέτη της εργασίας θα περιοριστεί σε αυτόν τον αριθμό των ιδιοσυχνοτήτων.
- Η μέγιστη τιμή της μετατόπισης συναντάται στην δεύτερη ιδιοσυχνότητα ($2.44857e-4$ Hz) με τιμή 4.37026 mm και σύμφωνα με την ιδιομορφή που εξάγεται παρατηρούμε ότι εμφανίζεται στο μέρος της τράπεζας του μοντέλου. Ωστόσο μεγάλες τιμές μετατόπισης στην συγκεκριμένη ιδιομορφή εμφανίζεται συνολικά στο μοντέλο δηλαδή στην κεφαλή και στη βάση του. Την μικρότερη μέγιστη τιμή την συναντάμε στην τελευταία ιδιοσυχνότητα ($2.07601e-4$ Hz) με τιμή στα 2.34495 mm.
- Όσον αφορά τις τάσεις Von Misses λαμβάνουν σχετικά μικρές τιμές. Τη μέγιστη τη συναντάμε στην τρίτη ιδιοσυχνότητα ($3.75776e-4$ Hz) όπου η αντίστοιχη μετατόπιση έχει μία μέση τιμή σε σχέση με τις υπόλοιπες και εμφανίζεται στη βάση της τράπεζας φτάνοντας τα $3.2315 \cdot 10^{-3}$ MPa . Σε όλες τις ιδιοσυχνότητες παρατηρείται ότι οι υψηλές τιμές των τάσεων Von Misses εμφανίζονται σε παρόμοια σημεία του μοντέλου και σε μερικές περιπτώσεις επεκτείνονται στον ορθοστάτη. Από όλες τις ιδιοσυχνότητες την χαμηλότερη τιμή $1.4357 \cdot 10^{-3}$ MPa κατέχει η τέταρτη ιδιοσυχνότητα ($1.22219e-4$ Hz).
- Η Παραμόρφωση δείχνει ότι έχει μεγάλη τιμή στην δεύτερη ιδιοσυχνότητα ($2.44857e-4$ Hz) που τυχαίνει να συναντάμε και την μεγαλύτερη τιμή της μέγιστης μετατόπισης. Η μικρότερη τιμή 2.8017 λαμβάνει χώρο στη πέμπτη ιδιοσυχνότητα (3.31787 Hz) στην οποία συναντάμε μία μέση τιμή στη μέγιστη μετατόπιση και μεγαλύτερη τιμή στις τάσεις Von Misses.

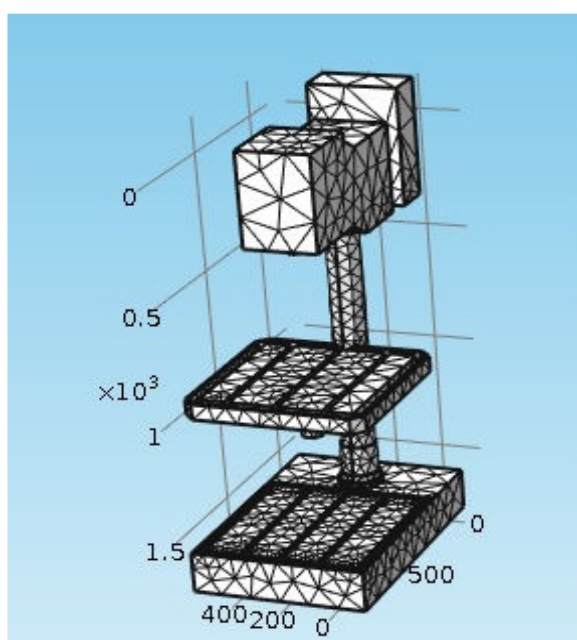
ΜΟΝΤΕΛΟ 2



Εικόνα 6.1.15 Τροποποίηση στη βάση

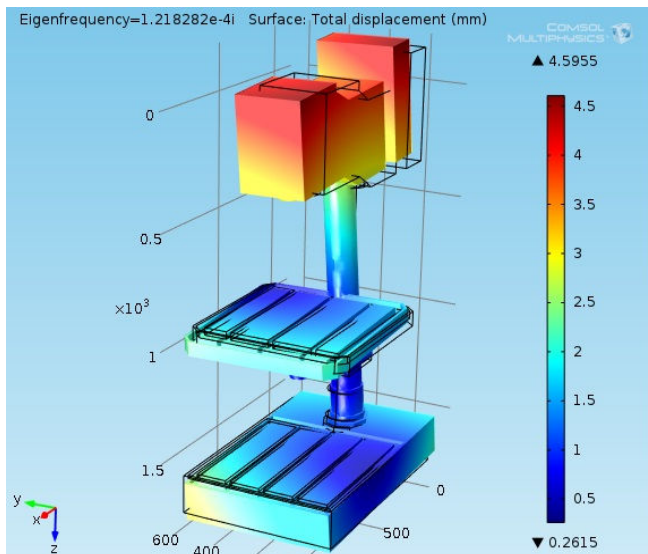
Τα αποτελέσματα της πλεγματοποίησης όπως προκύπτουν στο δεύτερο μοντέλο

Τετραεδρικά στοιχεία	6583
Τριγωνικά στοιχεία	3452
Στοιχεία ακμών	1238
Στοιχεία κορυφών	236

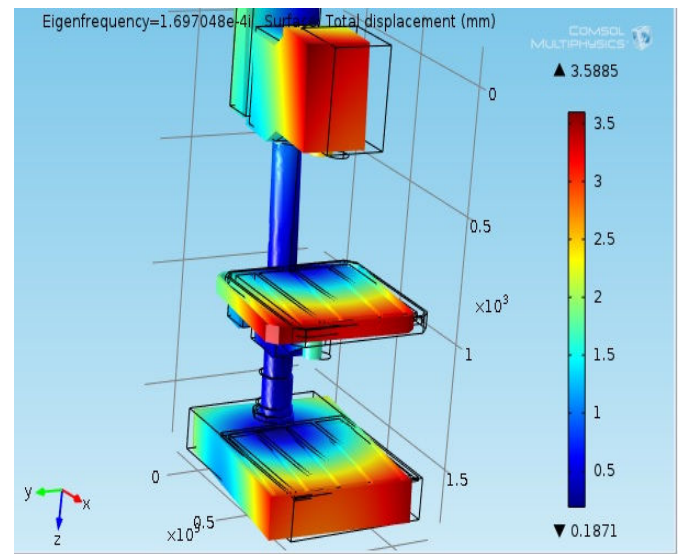


Εικόνα 6.1.16 Πλεγματοποίηση δεύτερου μοντέλου

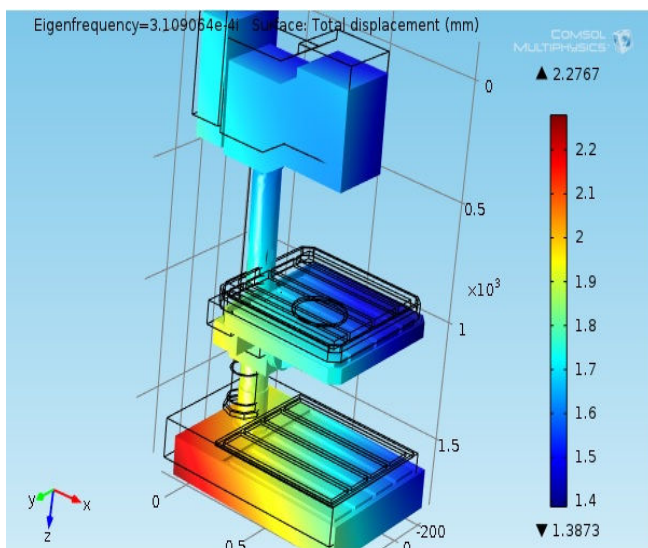
Ακολουθούν τα αποτελέσματα των ιδιομορφών και οι τιμές των μετατοπίσεων



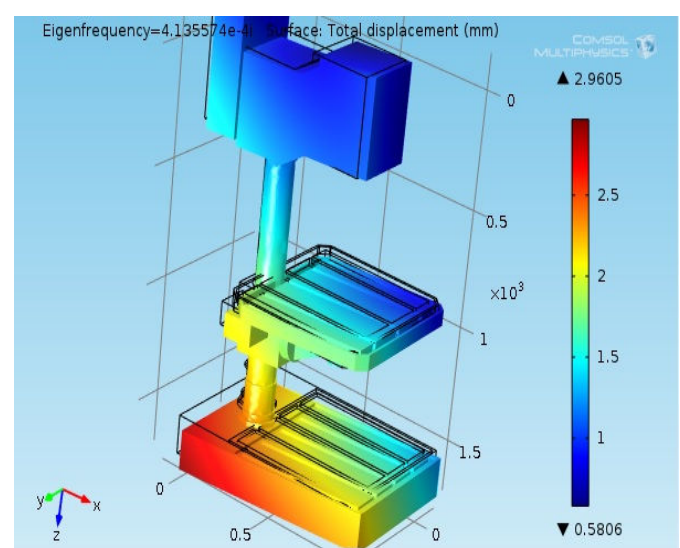
Εικόνα 6.1.17 **Πρώτη Ιδιομορφή**
Ιδιοσυχνότητα 1,21828e-4i



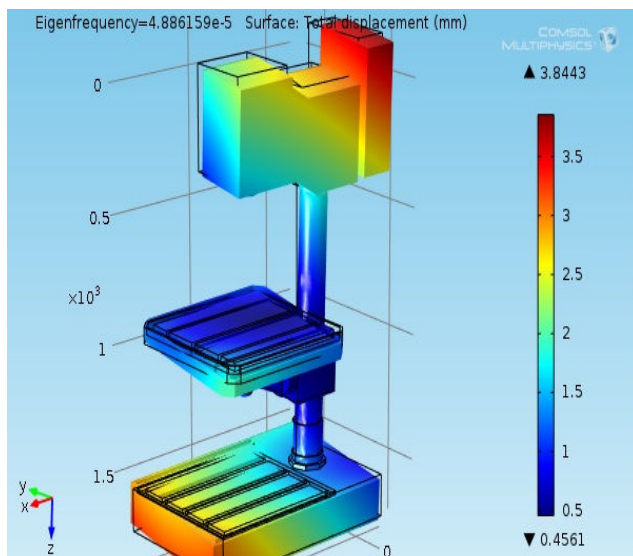
Εικόνα 6.1.18 **Δεύτερη Ιδιομορφή**
Ιδιοσυχνότητα 1,69705e-4i



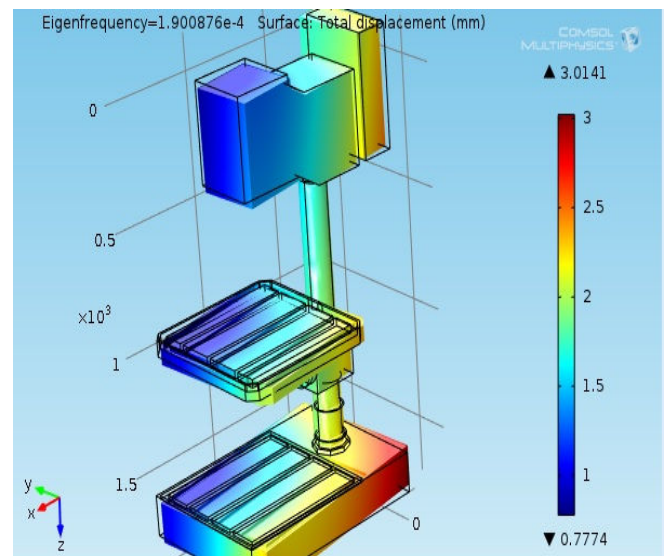
Εικόνα 6.1.19 **Τρίτη Ιδιομορφή**
Ιδιοσυχνότητα 3,10906e-4i



Εικόνα 6.1.20 **Τέταρτη Ιδιομορφή**
Ιδιοσυχνότητα 4,13557e-4i

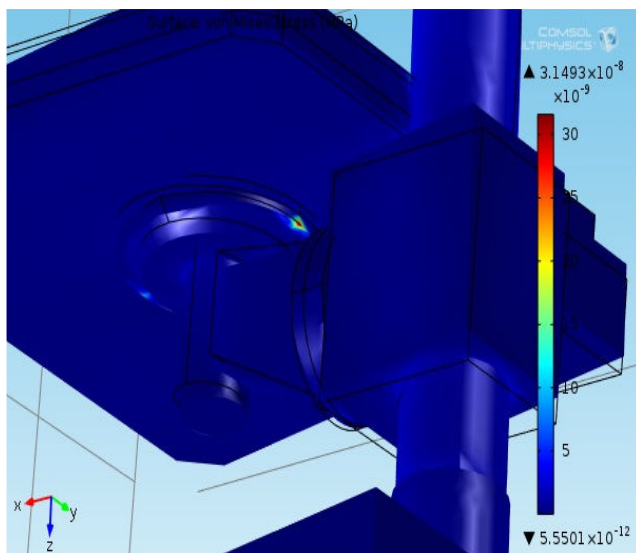


Εικόνα 6.1.21 Πέμπτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα $4,8861e-5$

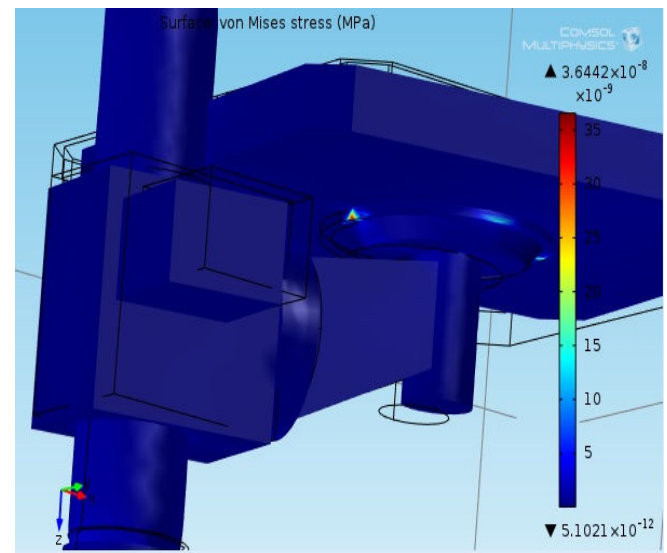


Εικόνα 6.1.22 Έκτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα $1,90088e-4$

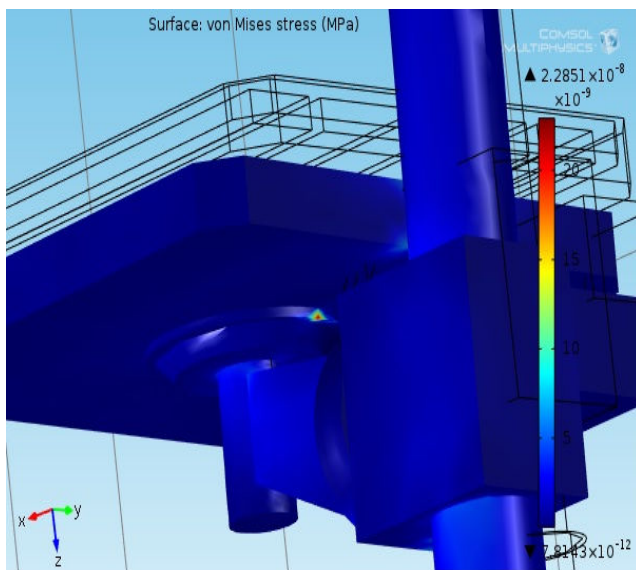
Ακολουθούν τα αποτελέσματα από την κατανομή των τάσεων Von Misses



Εικόνα 6.1.23 Ιδιοσυχνότητα $1,21828e-4i$

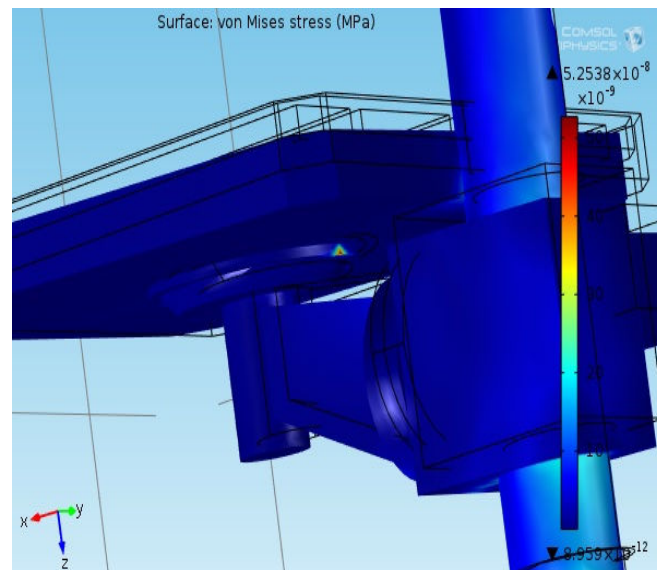


Εικόνα 6.1.24 Ιδιοσυχνότητα $1,69705e-4i$



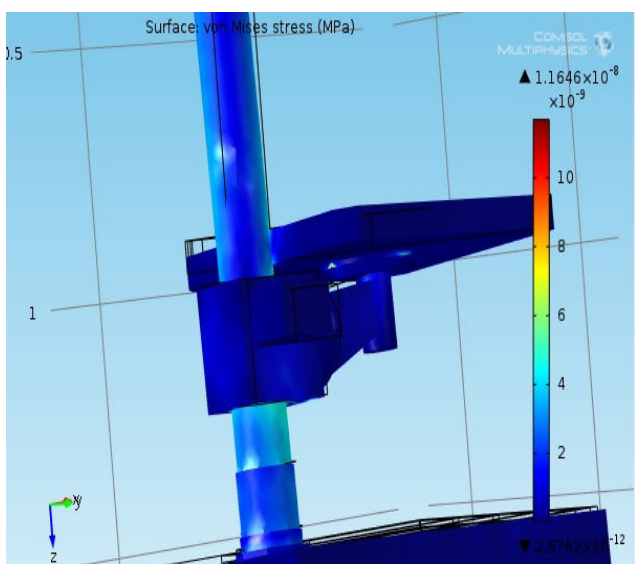
Εικόνα 6.1.25

Ιδιοσυχνότητα $3,10906e-4i$



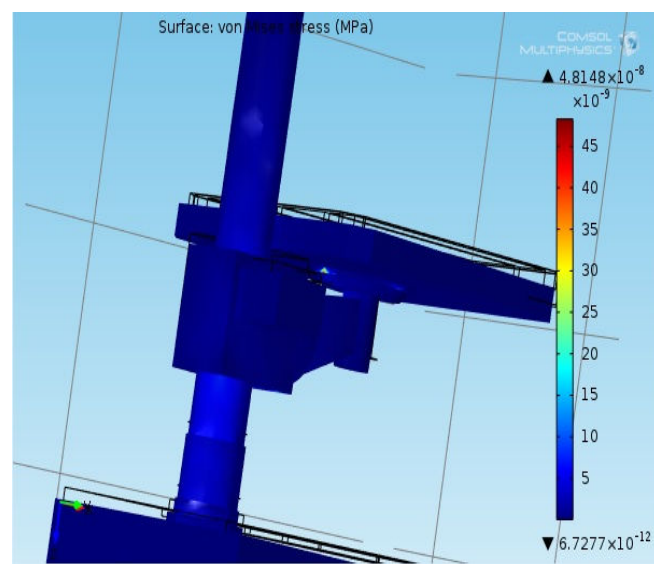
Εικόνα 6.1.26

Ιδιοσυχνότητα $4,13557e-4i$



Εικόνα 6.1.27

Ιδιοσυχνότητα $4,8861e-5$



Εικόνα 6.1.28

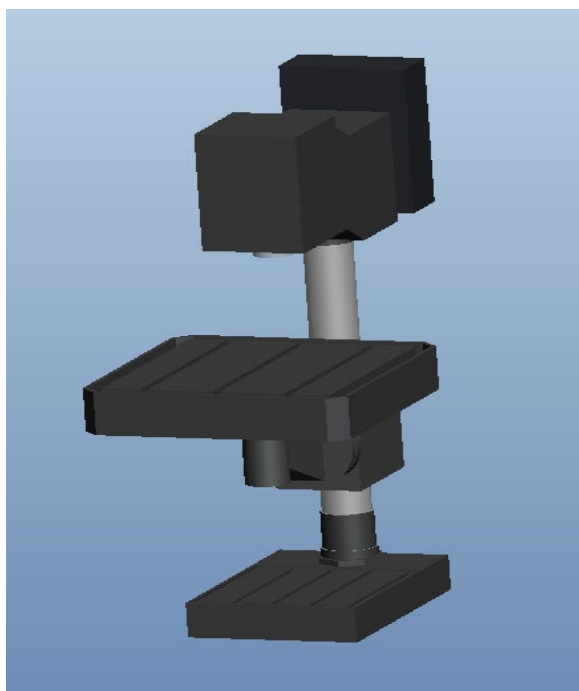
Ιδιοσυχνότητα $1,90088e$

Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων

Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Μέγιστη μετατόπιση (mm)	Von Misses MPa * 10 (-8)	Παραμόρφωση * 10 (-14)
1.21828e-4i	4.59546	3.1493	8.9167
1.69705e-4i	3.58851	3.6442	7.5612
3.10906e-4i	2.27671	2.2851	2.7375
4.13557e-4i	2.96054	5.2538	14.983
4.88616e-5	3.84435	1.1646	3.2723
1.90088e-4	3.01407	4.8148	13.423

- Στο δεύτερο μοντέλο οι ιδιοσυχνότητες κυμαίνονται σε ένα φάσμα ανάμεσα σε 1.21828e-4i Hz και 1.90088e-4 Hz που αποτελούν τη μέγιστη και την ελάχιστη αντίστοιχα.
- Η τιμή της μέγιστης μετατόπισης εντοπίζεται στην πρώτη ιδιοσυχνότητα (1.21828e-4i Hz) που φτάνει τα 4.59546 mm, ενώ η ελάχιστη μετατόπιση εντοπίζεται στην τρίτη ιδιοσυχνότητα (3.10906e-4i Hz) με 2.27671 mm. Οι υπόλοιπες τιμές των μετατοπίσεων είναι κοντινή απόσταση μεταξύ τους.
- Η μεγαλύτερη τάση Von Misses ανήκει στη τέταρτη ιδιοσυχνότητα (4.13557e-4i Hz) που συναντάμε αρκετά χαμηλή τιμή μέγιστης μετατόπισης, ενώ η χαμηλότερη μέγιστη τάση τη συναντάμε στη τρίτη ιδιοσυχνότητα (4.88616e-5 Hz) όπου η μέγιστη μετατόπιση έχει μία μέση τιμή σε σχέση με τις υπόλοιπες.
- Η παραμόρφωση διατηρεί μεγάλη τιμή στην τέταρτη ιδιοσυχνότητα (4.13557e-4i Hz) που ταυτίζεται με την εμφάνιση της μέγιστης αντίστοιχης τάσης και η μικρότερη στην τρίτη ιδιοσυχνότητα (3.10906e-4i Hz) στην οποία έχουμε αντίστοιχα μικρή μετατόπιση και τάση εξίσου.

ΜΟΝΤΕΛΟ 3

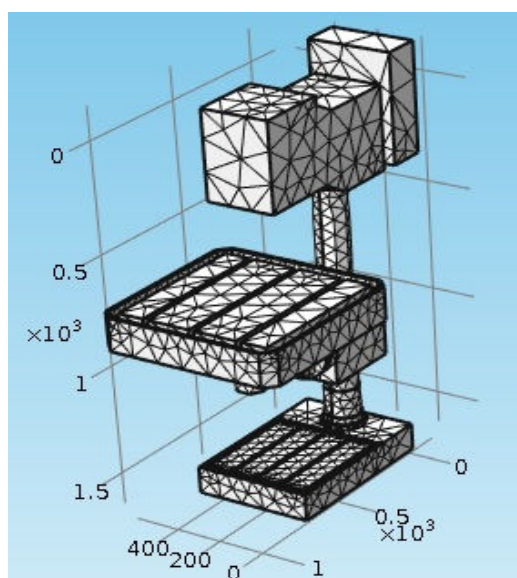


Εικόνα 10.1.29

Τροποποίηση στο μέσο τμήμα

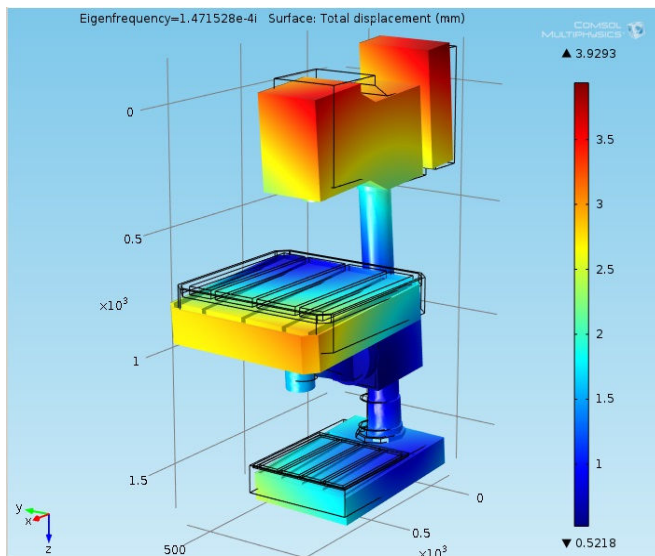
Τα αποτελέσματα της πλεγματοποίησης όπως προκύπτουν στο τρίτο μοντέλο

Τετραεδρικά στοιχεία	6796
Τριγωνικά στοιχεία	3428
Στοιχεία ακμών	1204
Στοιχεία κορυφών	226

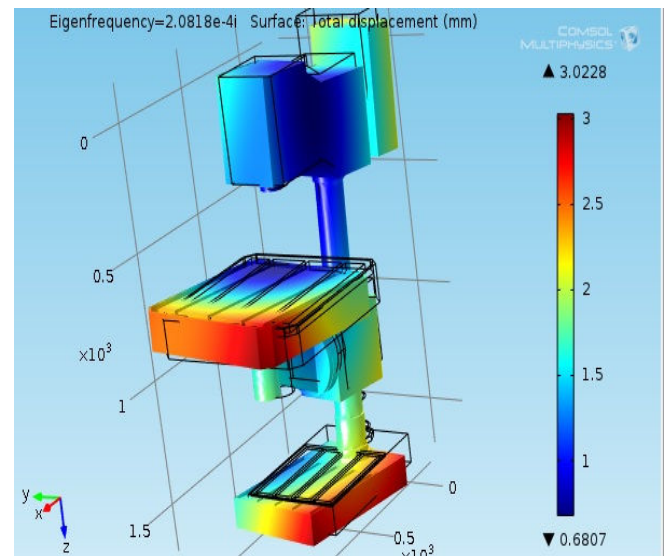


Εικόνα 6.1.30 Πλεγματοποίηση τρίτου μοντέλου

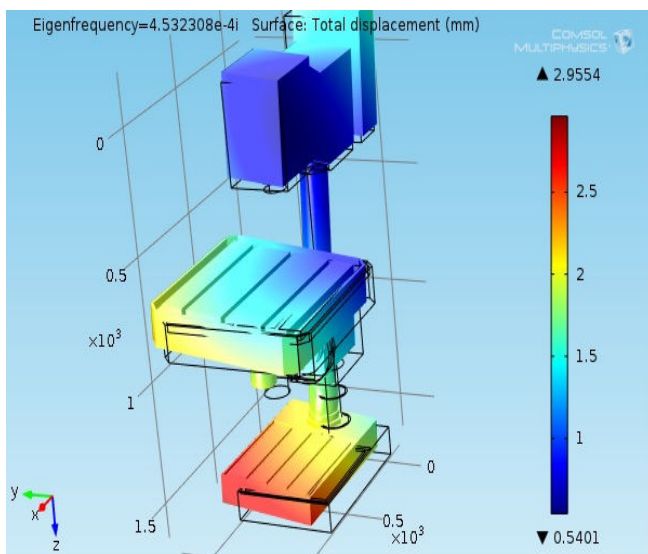
Ακολουθούν τα αποτελέσματα των ιδιομορφών και οι τιμές των μετατοπίσεων



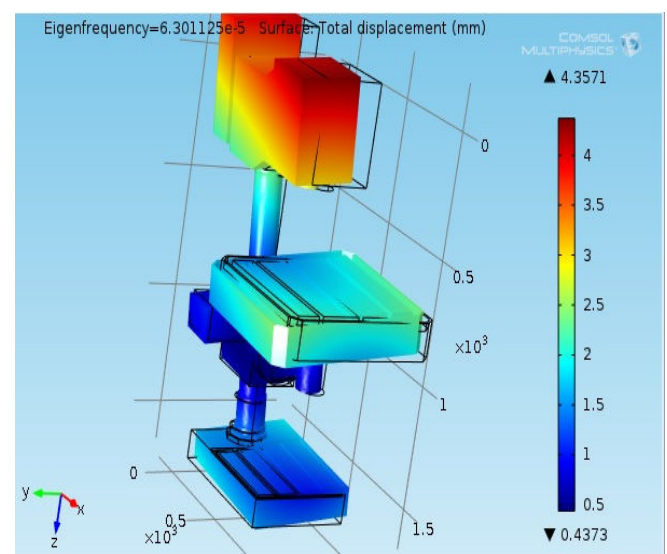
Εικόνα 6.1.31 **Πρώτη Ιδιομορφή**
Ιδιοσυχνότητα 1,47453e-4i



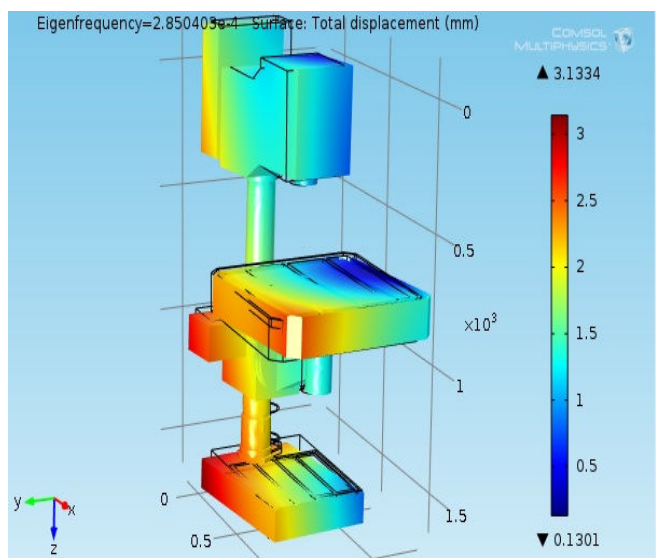
Εικόνα 6.1.32 **Δεύτερη Ιδιομορφή**
Ιδιοσυχνότητα 2,0818e-4i



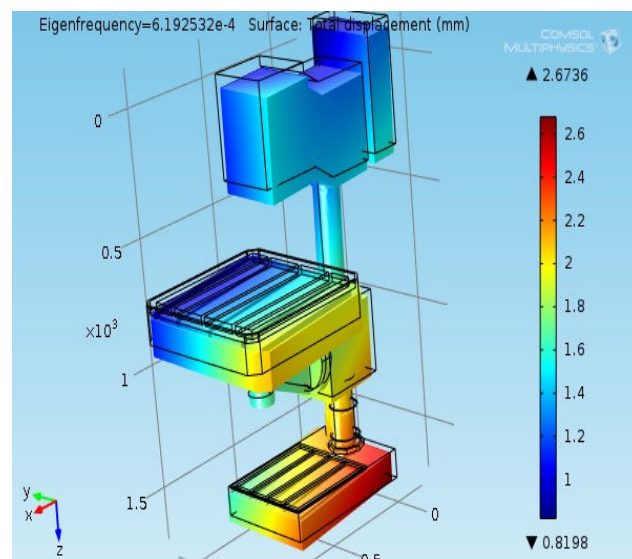
Εικόνα 6.1.33 **Τρίτη Ιδιομορφή**
Ιδιοσυχνότητα 4.53231e-4i



Εικόνα 6.1.34 **Τέταρτη Ιδιομορφή**
Ιδιοσυχνότητα 6,03112e-5

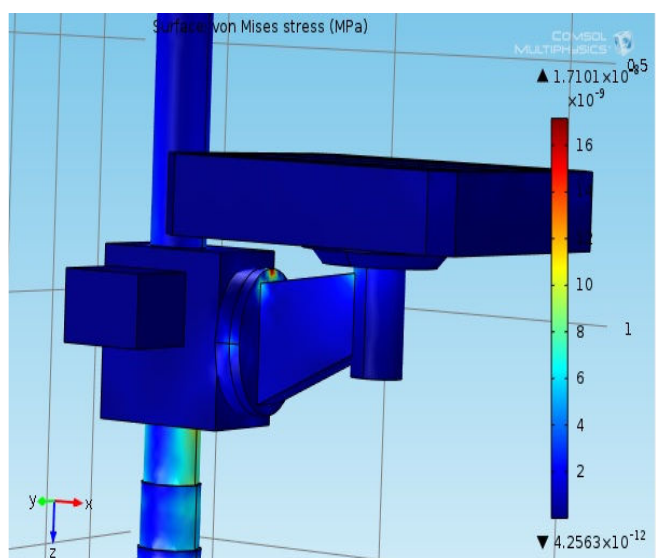


Εικόνα 6.1.35 Πέμπτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα $2,8504\text{e-}4$

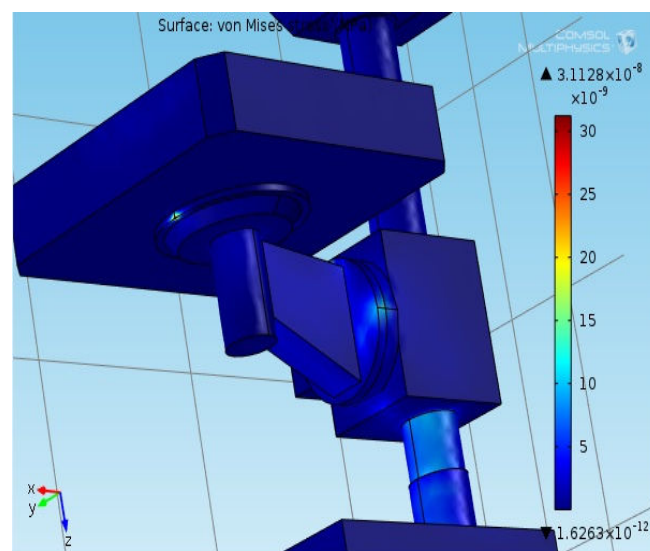


Εικόνα 6.1.36 Έκτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα $6,19253\text{e-}4$

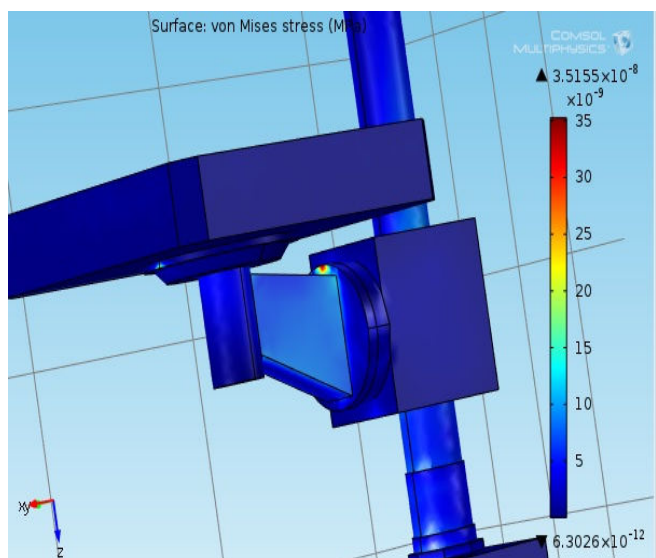
Ακολουθούν τα αποτελέσματα από την κατανομή των τάσεων Von Mises



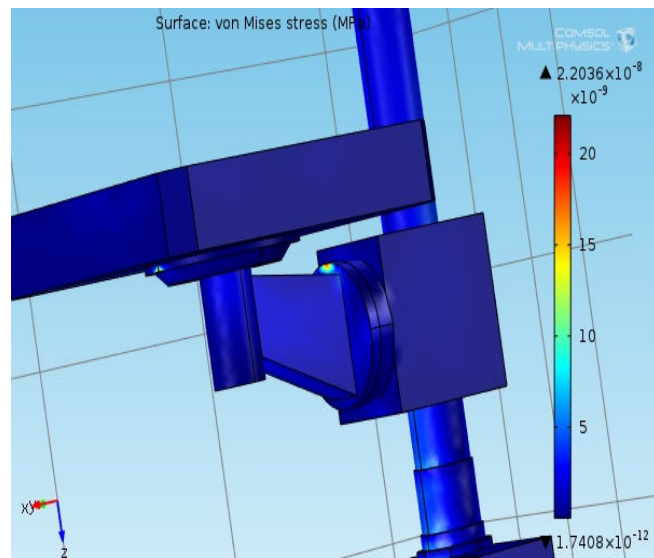
Εικόνα 6.1.37 Ιδιοσυχνότητα $1,47453\text{e-}4$



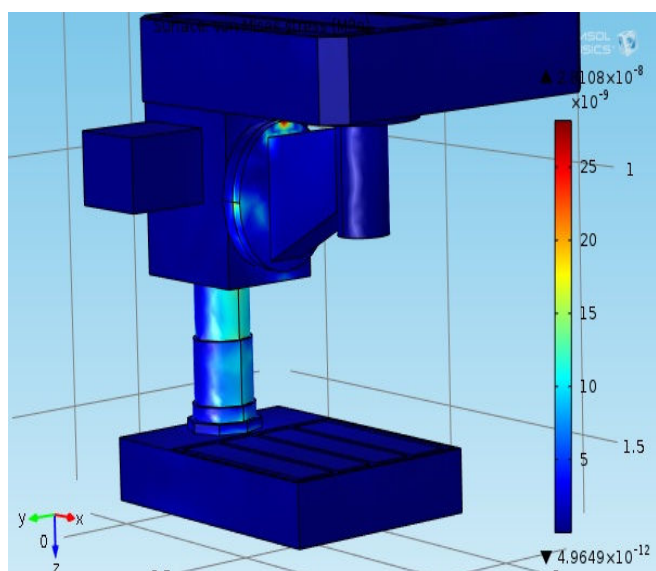
Εικόνα 6.1.38 Ιδιοσυχνότητα $2,0818\text{e-}4$



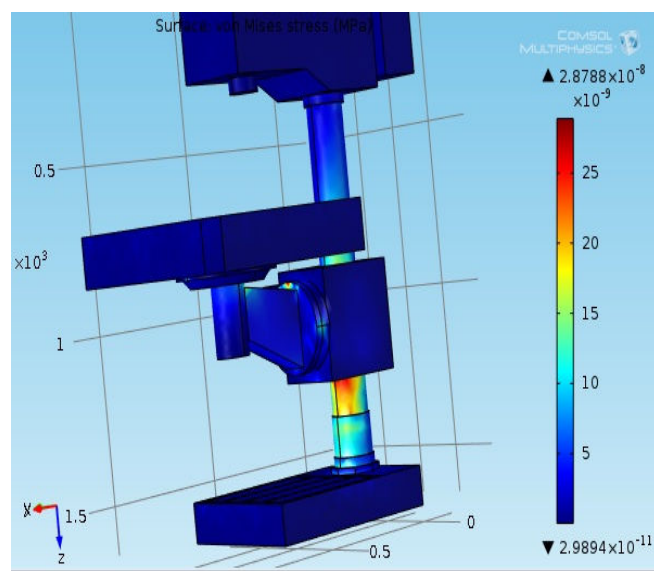
Εικόνα 6.1.39 Ιδιοσυχνότητα $4.53231e-4i$



Εικόνα 6.1.40 Ιδιοσυχνότητα $6.03112e-5$



Εικόνα 6.1.41 Ιδιοσυχνότητα $2.8504e-4$



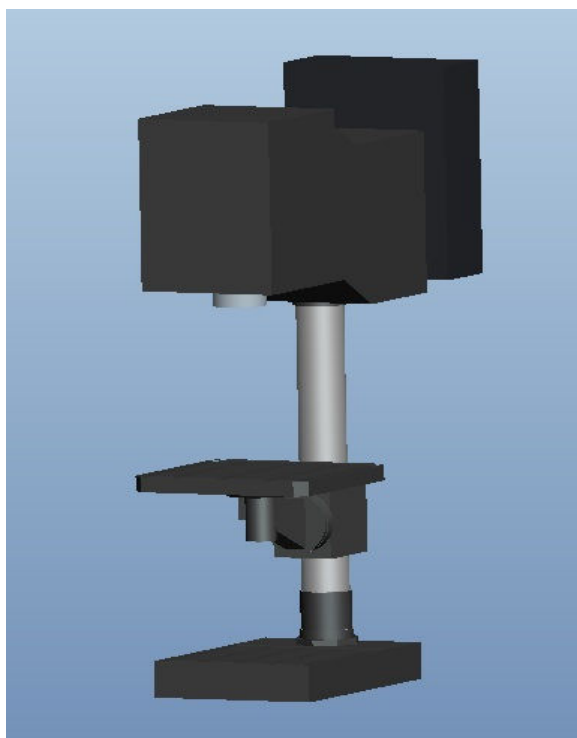
Εικόνα 6.1.42 Ιδιοσυχνότητα $6.19253e-4$

Συγκεντρωτικός πίνακας των αποτελεσμάτων

Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Μέγιστη μετατόπιση (mm)	Von Misses MPa * 10 ⁽⁻⁸⁾	Παραμόρφωση * 10 ⁽⁻¹⁴⁾
1.47153e-4i	3.92926	1.7101	4.3979
2.0818e-4i	3.02278	3.1128	2.9511
4.53231e-4i	2.95539	3.5155	4.2537
6,03112e-5	4.35706	2.236	3.1018
2.8504e-4	3.13335	2.8108	5.9894
6.19253e-4	2.67358	2.8788	11.391

- Στο τρίτο μοντέλο η πρώτη ιδιοσυχνότητα λαμβάνει την τιμή 1.47153e-4i Hz και η τελευταία ιδιοσυχνότητα είναι στα 6.19253e-4 Hz. Όλες οι υπόλοιπες τιμές κυμαίνονται ανάμεσα σε αυτό το εύρος.
- Η μεγαλύτερη τιμή της μέγιστης μετατόπισης εμφανίζεται στην τέταρτη ιδιοσυχνότητα (6,03112e-5 Hz) στα 4.35706 mm λαμβάνοντας χώρο στο κυρίως σώμα, ενώ η μικρότερη τιμή εμφανίζεται στην έκτη ιδιοσυχνότητα (6.19253e-4 Hz) στα 2.67358 mm και λαμβάνει χώρο σύμφωνα με την ιδιομορφή στην βάση του μοντέλου
- Σχετικά με τις τάσεις Von Misses, συναντάμε τη μεγαλύτερη στην Τρίτη ιδιοσυχνότητα (4.53231e-4i Hz) με τιμή 3.5155 * 10⁽⁻³⁾ MPa και αναπτύσσεται στον σύνδεσμο της βάσης, ενώ η μικρότερη τιμή 1.7101* 10⁽⁻³⁾ τη συναντάμε στην πρώτη ιδιοσυχνότητα (1.47153e-4i Hz) και εμφανίζεται επίσης στον σύνδεσμο της βάσης.
- Η μεγαλύτερη παραμόρφωση 4.3979 που συνοδεύεται από μία αντίστοιχη μεγάλη μετατόπιση και η μικρότερη είναι 2.9511

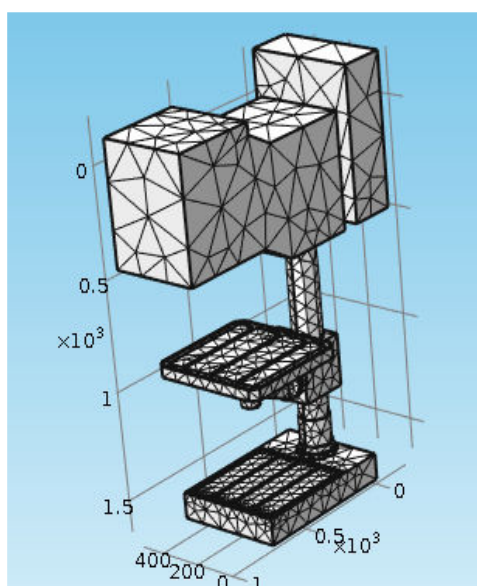
ΜΟΝΤΕΛΟ 4



Εικόνα 6.1.43 Τροποποίηση στο άνω τμήμα

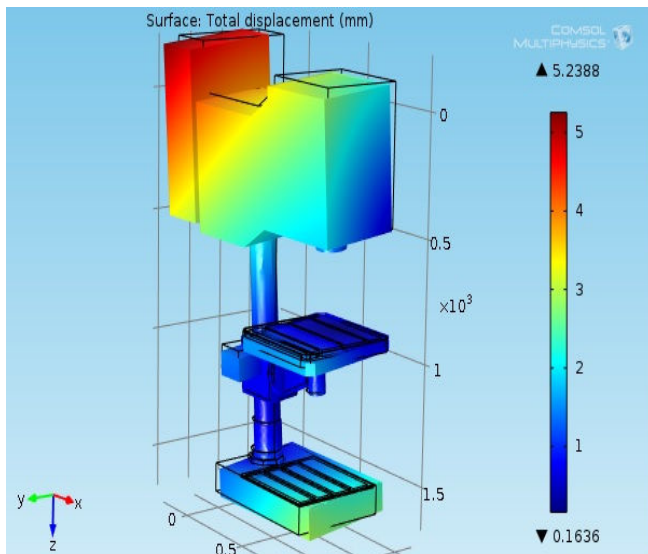
Τα αποτελέσματα της πλεγματοποίησης όπως προκύπτουν από το τρίτο μοντέλο

Τετραεδρικά στοιχεία	5837
Τριγωνικά στοιχεία	3040
Στοιχεία ακμών	1110
Στοιχεία κορυφών	228

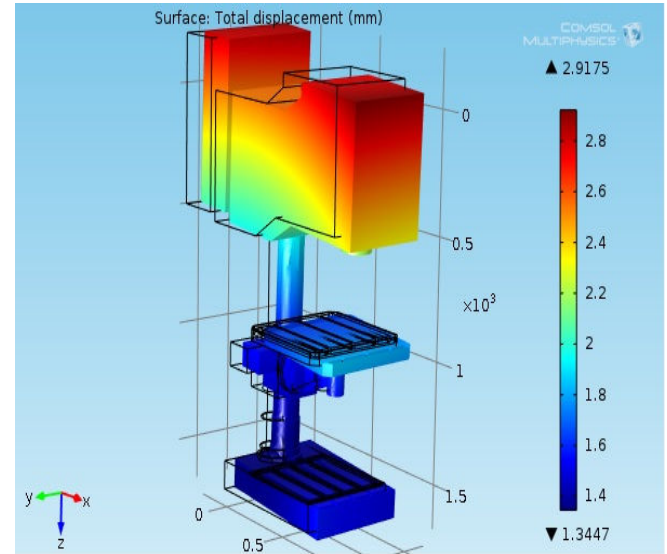


Εικόνα 6.1.44 Πλεγματοποίηση τέταρτου μοντέλου

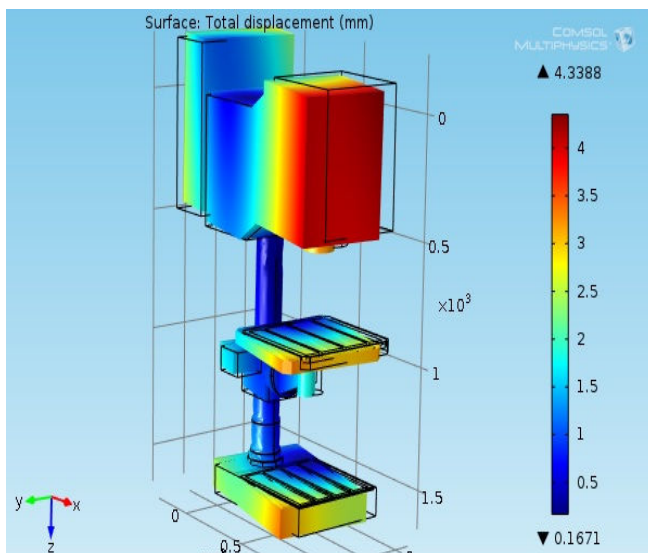
Ακολουθούν τα αποτελέσματα των ιδιομορφών και οι τιμές των μετατοπίσεων



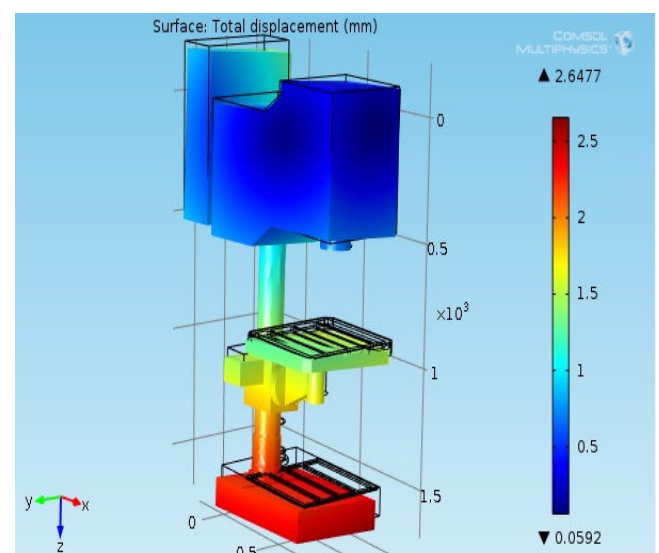
Εικόνα 6.1.45 Πρώτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα $2.65156e-5i$



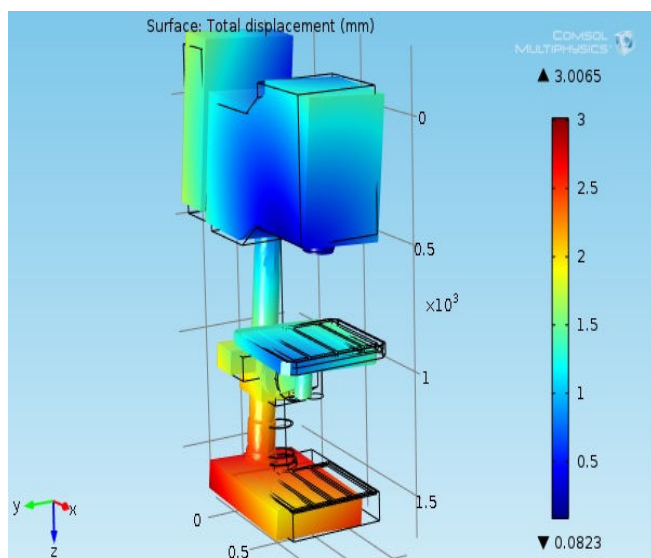
Εικόνα 6.1.46 Δεύτερη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα $9.63154e-5i$



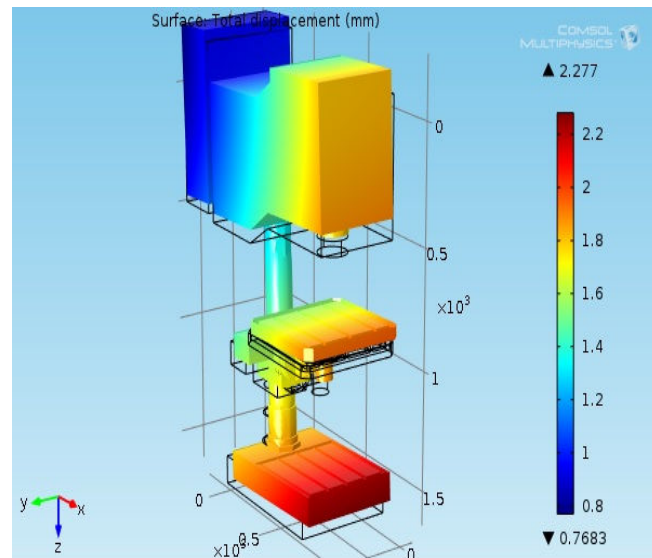
Εικόνα 6.1.47 Τρίτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα $1.6237e-4i$



Εικόνα 6.1.48 Τέταρτη ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα $5.01976e-4i$

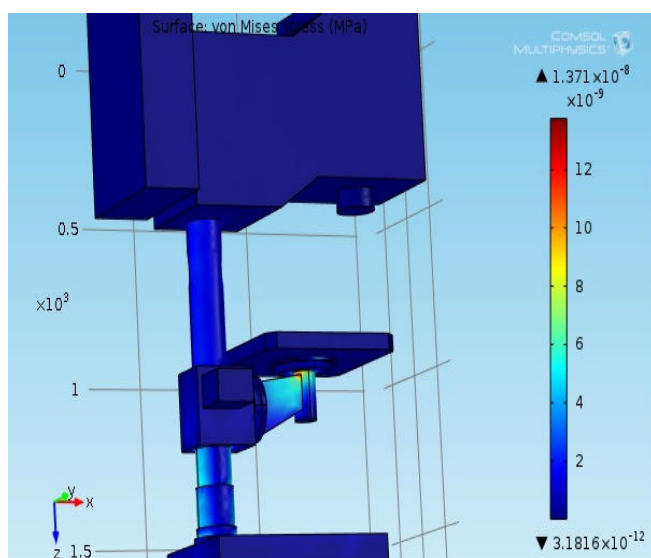


Εικόνα 6.1.49 Πέμπτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα $1.27238e-4$

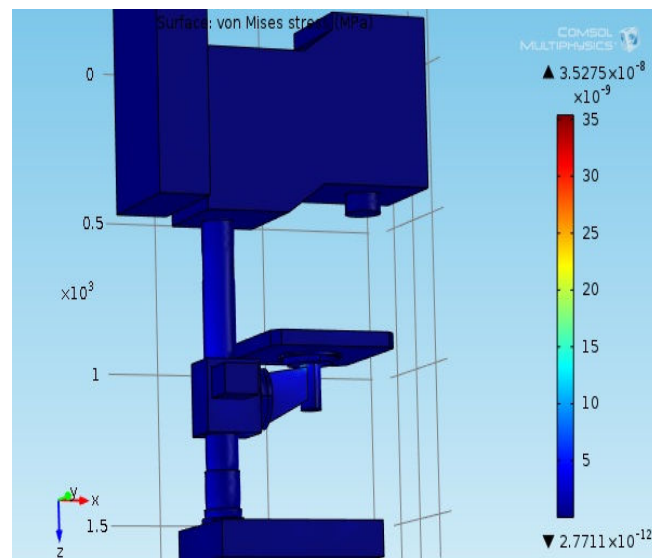


Εικόνα 6.1.50 Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα $2.18876e-4$

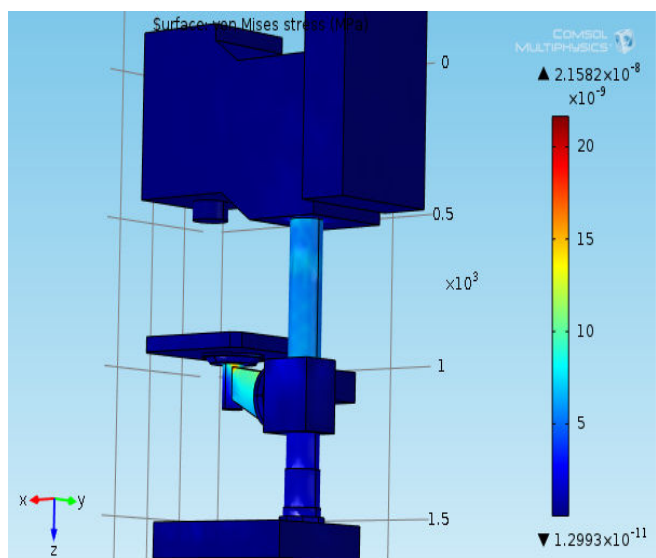
Ακολουθούν τα αποτελέσματα από την κατανομή των τάσεων Von Misses



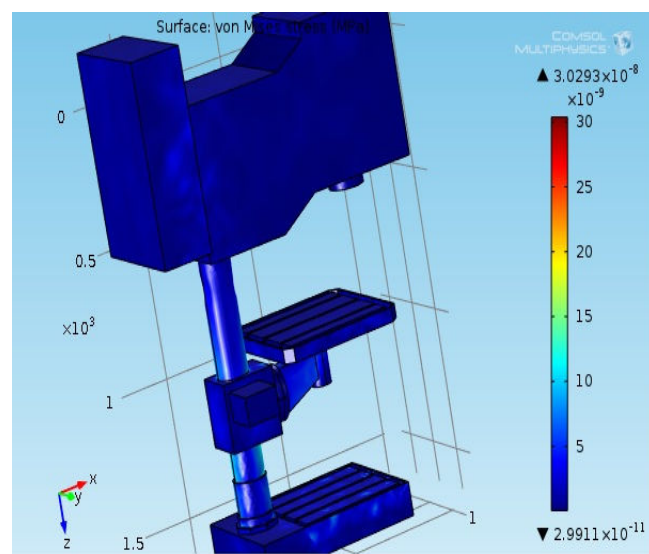
Εικόνα 6.1.51 Ιδιοσυχνότητα $2.65156e-5i$



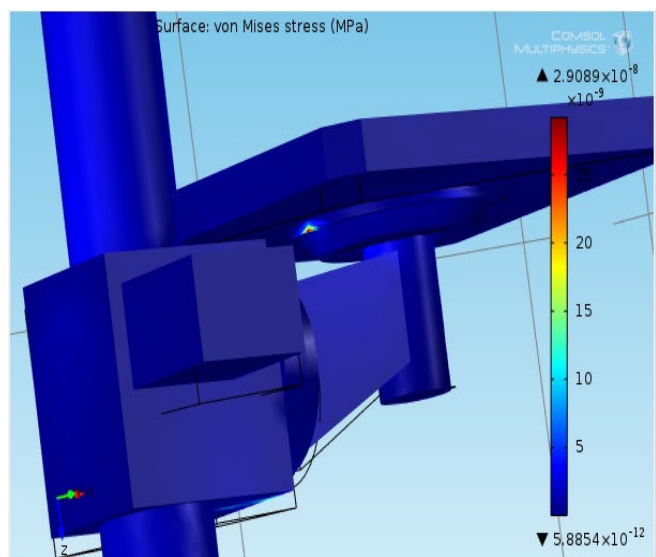
Εικόνα 6.1.52 Ιδιοσυχνότητα $9.63154e-5i$



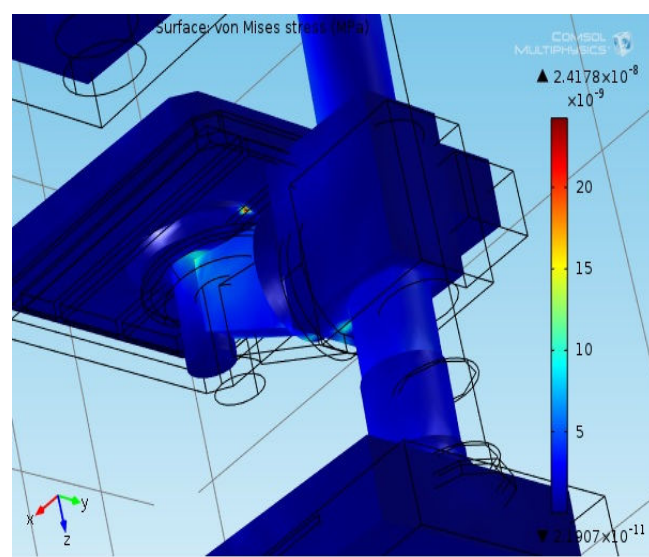
Εικόνα 6.1.53 Ιδιοσυχνότητα $1.6237e-4i$



Εικόνα 6.1.54 Ιδιοσυχνότητα $5.01976e-4i$



Εικόνα 6.1.55 Ιδιοσυχνότητα $1.27238e-4$



Εικόνα 6.1.56 Ιδιοσυχνότητα $2.18876e-4$

Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

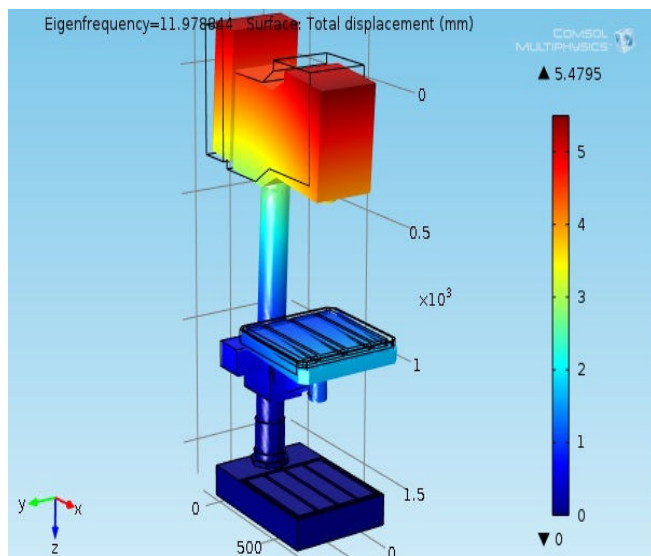
Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Μέγιστη μετατόπιση (mm)	Von Misses MPa * 10 (-8)	Παραμόρφωση * 10 (-14)
2.65156e-5i	5.23878	1.371	1.9962
9.63154e-5i	2.91751	3.5275	3.4466
1.6237e-4i	4.33878	2.1582	5.2494
5.01976e-4i	2.6477	3.0293	9.302
1.27238e-4	3.00653	2.9089	5.6029
2.18876e-4	2.27695	2.4178	5.4723

- Η επεξεργασία του τέταρτου και τελευταίου μοντέλου δίνει ένα αποτέλεσμα ιδιοσυχνοτήτων με εύρος από 2.65156e-5i Hz έως 2.18876e-4 Hz. Η πρώτη τιμή αντιστοιχεί στην μικρότερη ιδιοσυχνότητα ενώ η δεύτερη αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη.
- Τα αποτελέσματα της μέγιστης μετατόπισης δίνουν ένα εύρος τιμών από 2.27695 mm έως και 5.23878 mm. Η μικρότερη τιμή αντιστοιχεί στην έκτη ιδιοσυχνότητα (2.18876e-4 Hz) και η μεγαλύτερη τιμή αντιστοιχεί στην πρώτη ιδιοσυχνότητα (2.65156e-5i Hz)
- Τα άκρα των τιμών των τάσεων Von Misses αναπτύσσονται στις πρώτες δύο ιδιοσυχνότητες. Η μικρότερη αντιστοιχεί στην πρώτη ιδιοσυχνότητα (2.18876e-4 Hz) ενώ η μεγαλύτερη αντιστοιχεί στη δεύτερη ιδιοσυχνότητα (9.63154e-5i Hz) Οι τιμές είναι $2.91751 \cdot 10^{-3}$ MPa και $5.23878 \cdot 10^{-3}$ MPa αντίστοιχα.
- Η μεγαλύτερη παραμόρφωση εμφανίζεται στην πέμπτη ιδιοσυχνότητα (1.27238e-4Hz) με τιμή 5.6029 και η μικρότερη στην πρώτη ιδιοσυχνότητα (2.65156e-5i Hz) με τιμή 1.9962

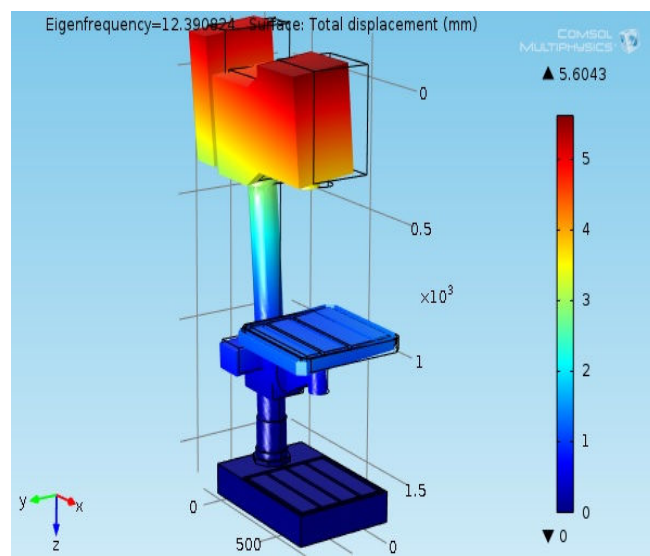
10.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΜΕ ΠΑΚΤΩΣΗ ΣΤΗ ΒΑΣΗ

ΜΟΝΤΕΛΟ 1

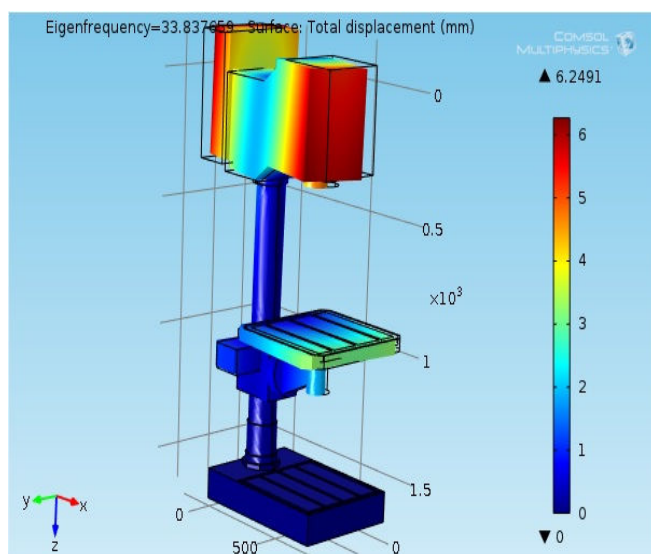
Ακολουθούν τα αποτελέσματα των ιδιομορφών και οι τιμές των μετατοπίσεων



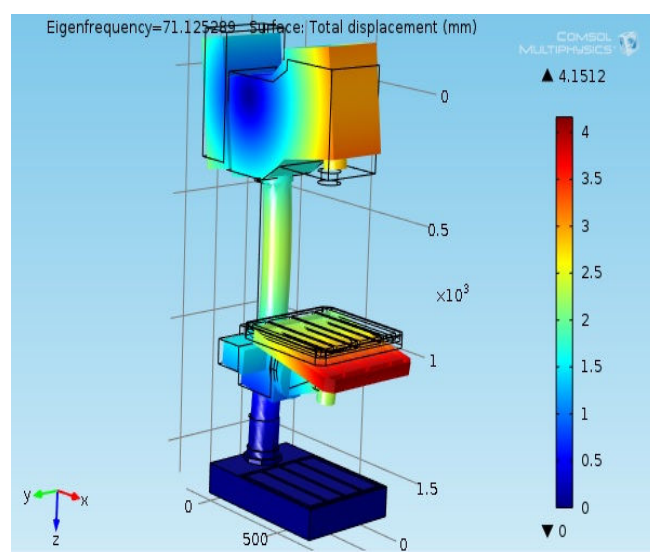
Εικόνα 6.2.1 Πρώτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 11,978844



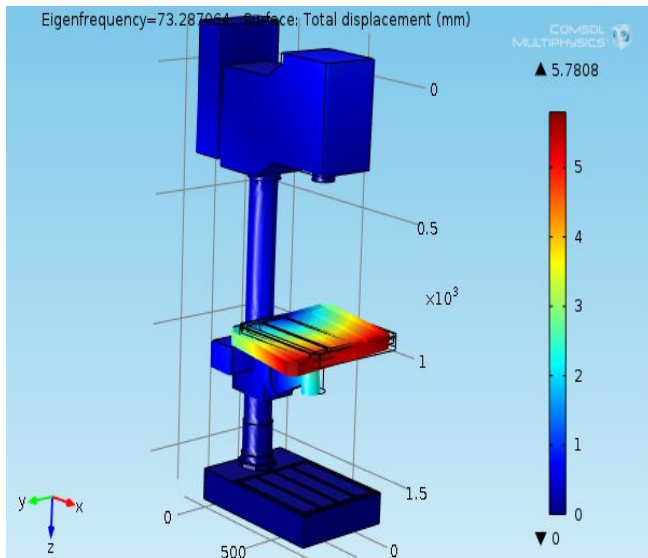
Εικόνα 6.2.2 Δεύτερη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 12,390824



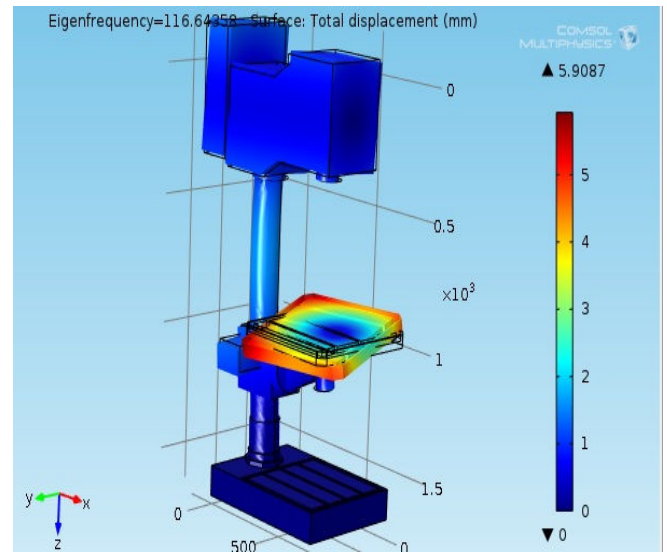
Εικόνα 6.2.3 Τρίτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 33,837659



Εικόνα 6.2.4 Τέταρτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 71,125289

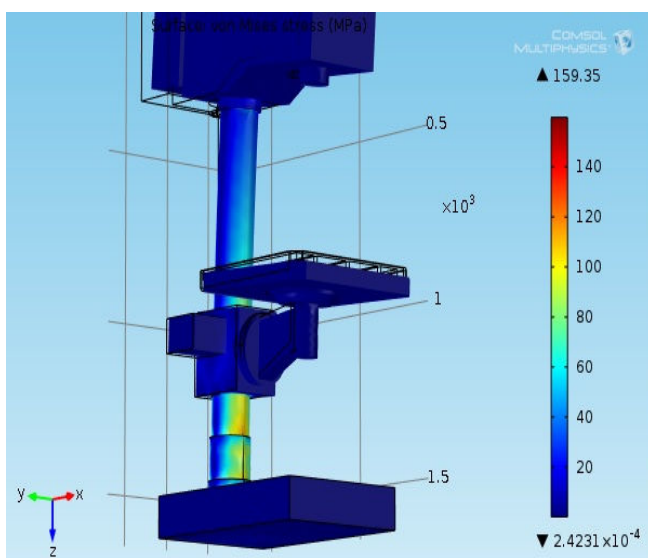


Εικόνα 6.2.5 Πέμπτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 73,287064

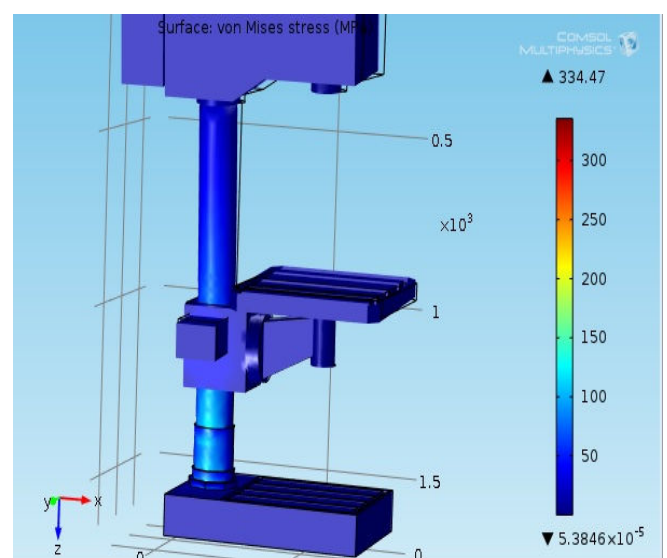


Εικόνα 6.2.6 Έκτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 116,64358

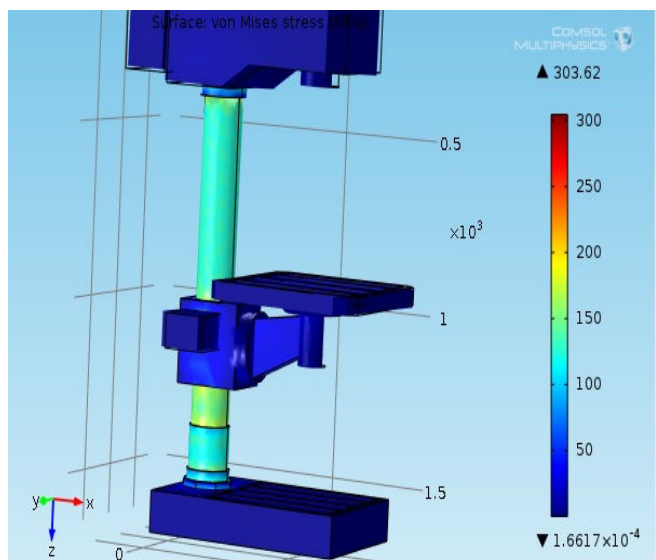
Ακολουθούν τα αποτελέσματα από την κατανομή των τάσεων Von Mises



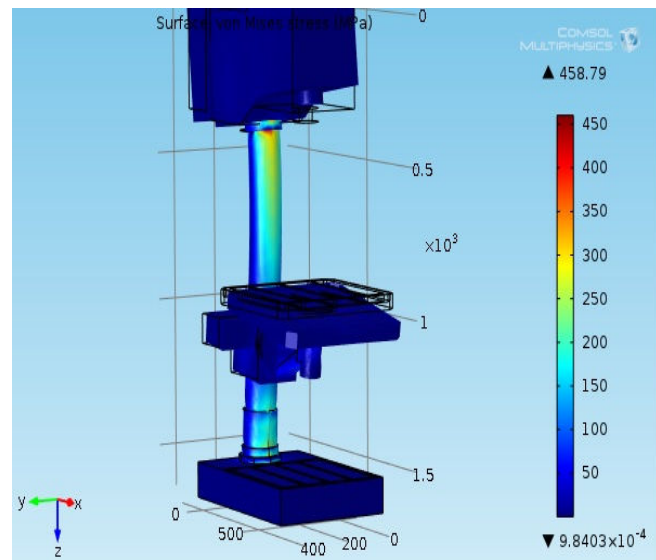
Εικόνα 6.2.7 Ιδιοσυχνότητα 11,978844



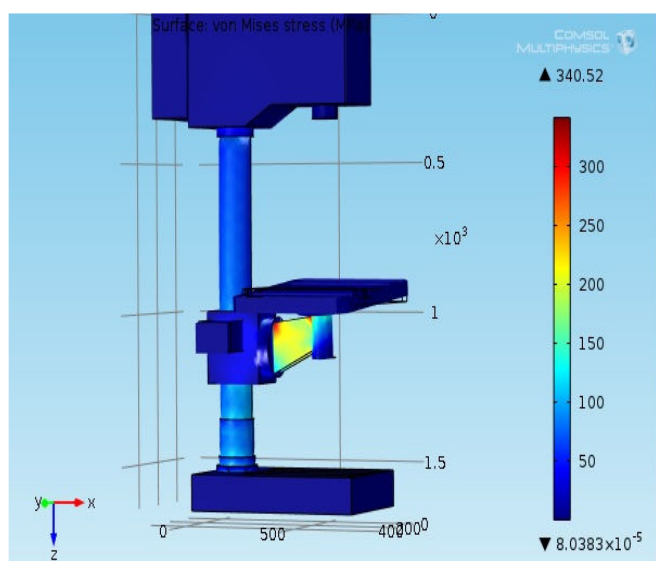
Εικόνα 6.2.8 Ιδιοσυχνότητα 12,390824



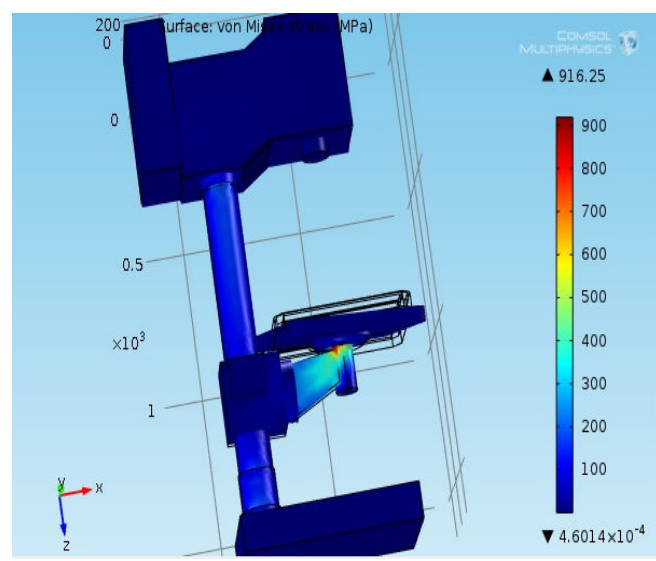
Εικόνα 6.2.9 Ιδιοσυχνότητα 33,837659



Εικόνα 6.2.10 Ιδιοσυχνότητα 71,125289



Εικόνα 6.2.11 Ιδιοσυχνότητα 73,287064



Εικόνα 6.2.12 Ιδιοσυχνότητα 116,64358

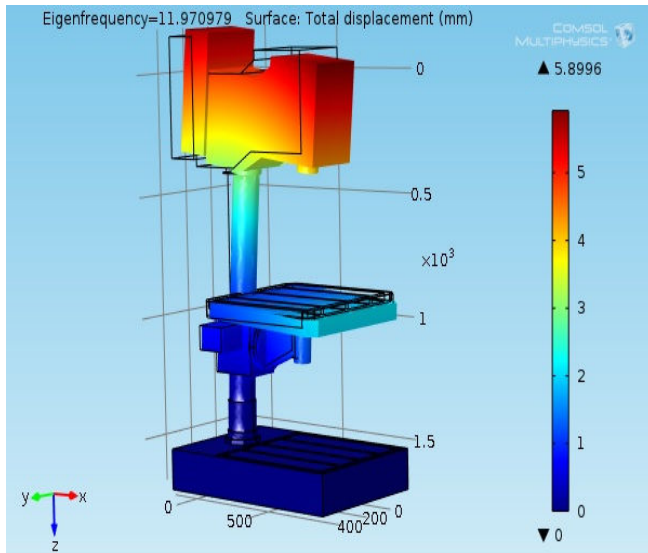
Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Μέγιστη μετατόπιση (mm)	Von Misses MPa	Παραμόρφωση * 10 ⁽⁻³⁾
11,978844	5.47946	159.35	0.49089
12,390824	5.60422	334.4	0.60293
33,837659	6.24909	303.62	0.25934
71,125289	4.15121	458.79	1.5687
73,287064	5.78082	340.52	1.1223
116,64358	5.90866	916.25	1.1987

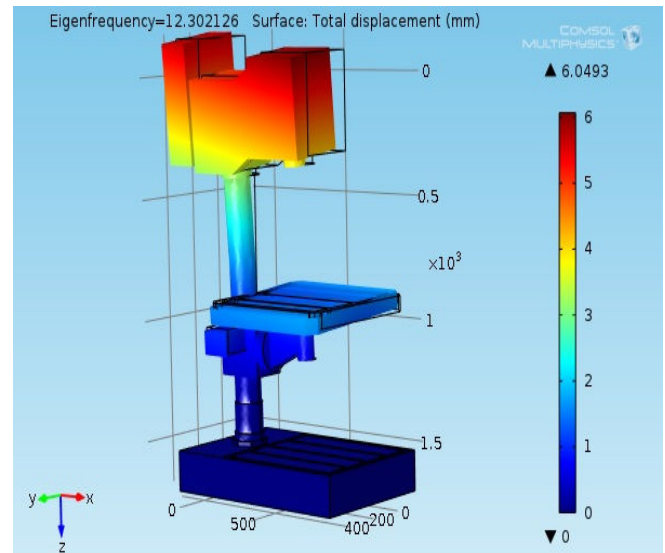
- Η διεξαγωγή των αποτελεσμάτων από την επεξεργασία του πρώτου μοντέλου με πάκτωση στη βάση μας δίνει τη δυνατότητα να παρατηρήσουμε τις έξι ιδιοσυχνότητες που προέκυψαν. Το φάσμα τους κυμαίνεται από 11,978844 Hz έως 116,64358 Hz.
- Η μέγιστη τιμή της μετατόπισης εμφανίζεται στη τρίτη ιδιοσυχνότητα (33,837659Hz) και έχει τιμή 6.24909 mm. Από την εικόνα της ιδιομορφής παρατηρούμε ότι εκδηλώνεται στο πάνω μέρος της διάταξης του μοντέλου, που αφορά την κεφαλή. Η μικρότερη τιμή της μέγιστης μετατόπισης εμφανίζεται στην τέταρτη ιδιοσυχνότητα (71,125289 Hz) με τιμή 4.15121 mm και εκδηλώνεται στο μπροστινό τμήμα της τράπεζας..
- Οι τάσεις Von Misses παρουσιάζουν αρκετά μεγάλες τιμές, με την μέγιστη να εντοπίζεται στην έκτη ιδιοσυχνότητα (116,64358 Hz) και να αγγίζει την τιμή των 916.25 Mpa. Η μικρότερη τιμή της τάσης όμως εμφανίζεται στην πρώτη ιδιοσυχνότητα (11,978844 Hz) με τιμή 159.35 Mpa. Επίσης σχετικά μεγάλη τιμή συναντάται και στην τρίτη ιδιοσυχνότητα (71,125289 Hz) φτάνοντας τα 458.79 Mpa, όπου συνοδεύεται από τη μικρότερη τιμή της μέγιστης μετατόπισης.
- Η παραμόρφωση δείχνει ότι έχει μεγάλη τιμή στην τέταρτη ιδιοσυχνότητα όπου αποτελεί και την μέγιστη 1.5687* 10⁽⁻³⁰⁾, ενώ η μικρότερη αντιστοιχεί στην πρώτη (11,978844 Hz) με τιμή 11,978844 * 10⁽⁻³⁰⁾.

ΜΟΝΤΕΛΟ 2

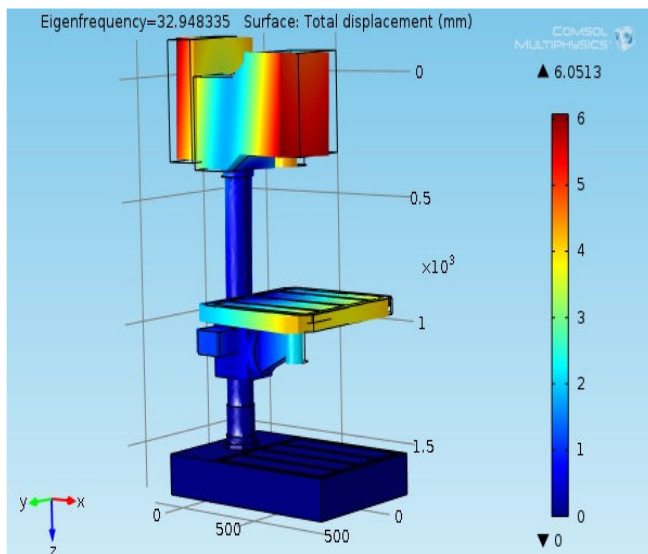
Ακολουθούν τα αποτελέσματα της συνολικής μετατόπισης



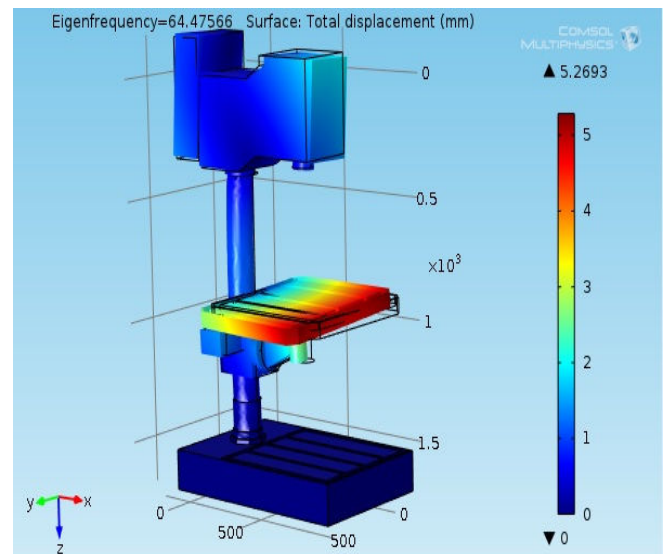
Εικόνα 6.2.13 Πρώτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 11,970979



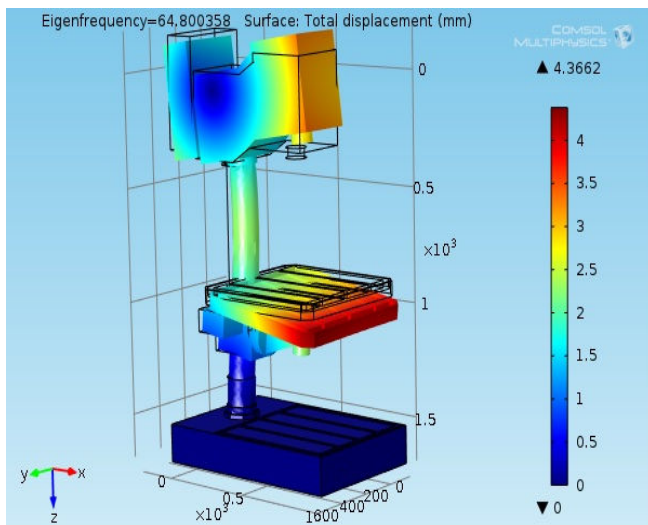
Εικόνα 6.2.14 Δεύτερη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 12,302126



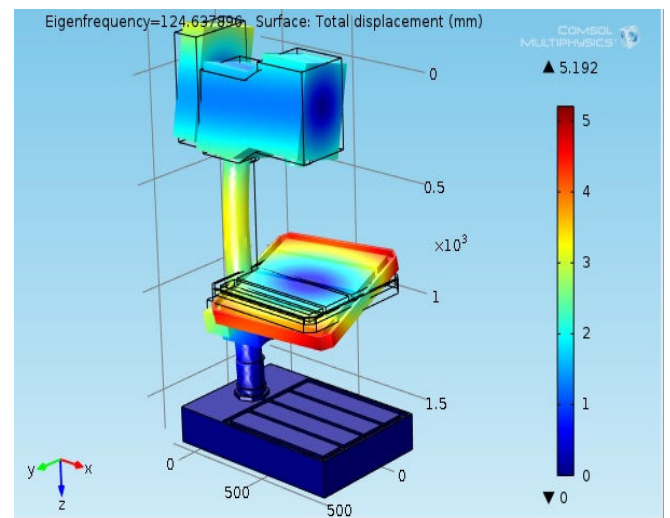
Εικόνα 6.2.15 Τρίτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 32,948335



Εικόνα 6.2.16 Τέταρτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 64,47566

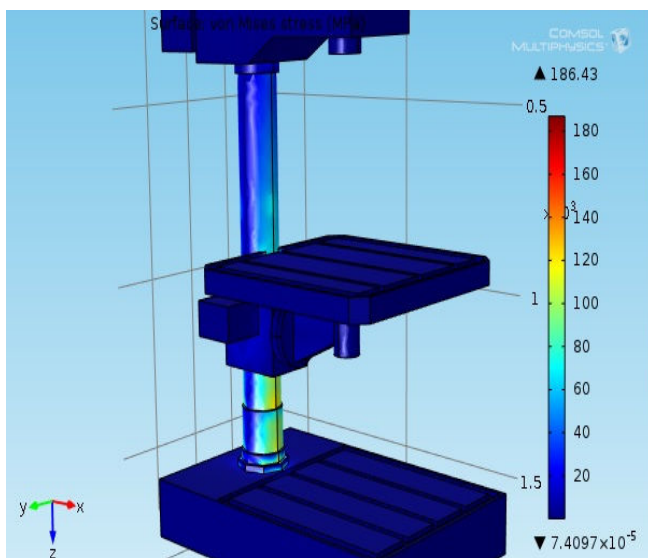


Εικόνα 6.2.17 **Πέμπτη Ιδιομορφή**
Ιδιοσυχνότητα 64,800358

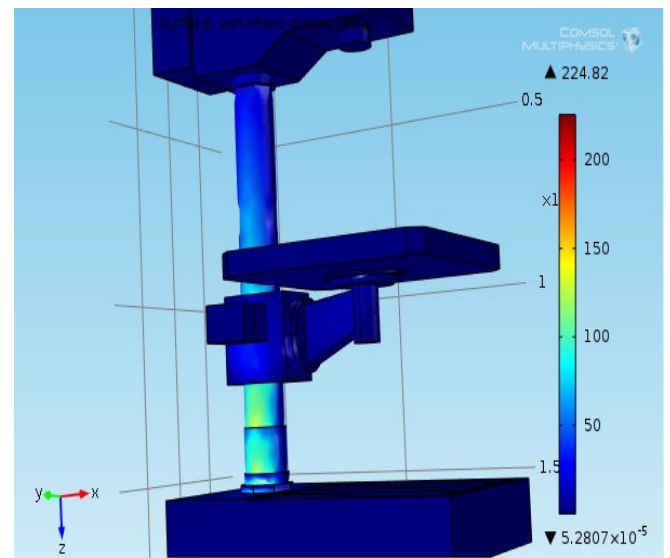


Εικόνα 6.2.18 **Έκτη Ιδιομορφή**
Ιδιοσυχνότητα 124,637896

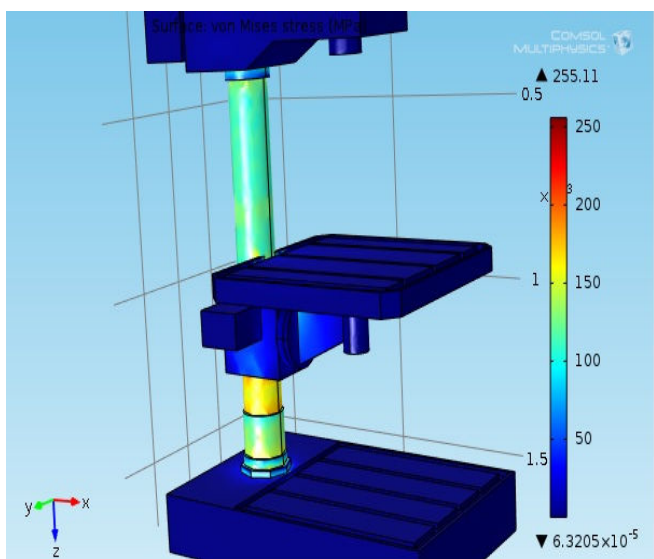
Ακολουθούν τα αποτελέσματα από την κατανομή των τάσεων Von Mises



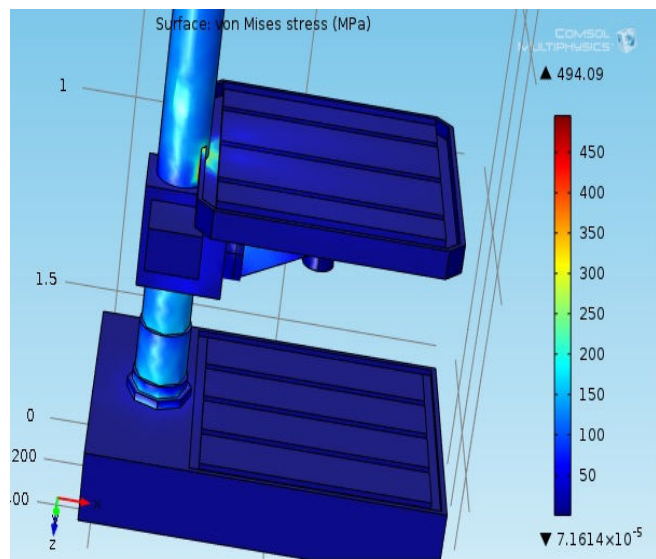
Εικόνα 6.2.19 **Ιδιοσυχνότητα 11,970979**



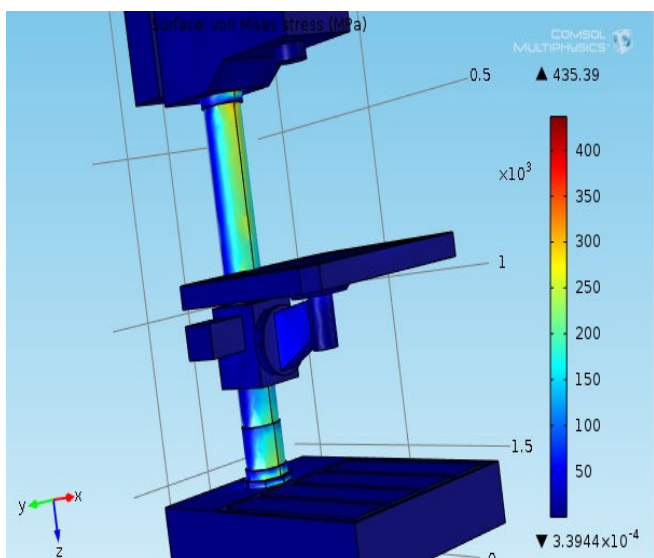
Εικόνα 6.2.20 **Ιδιοσυχνότητα 12,302126**



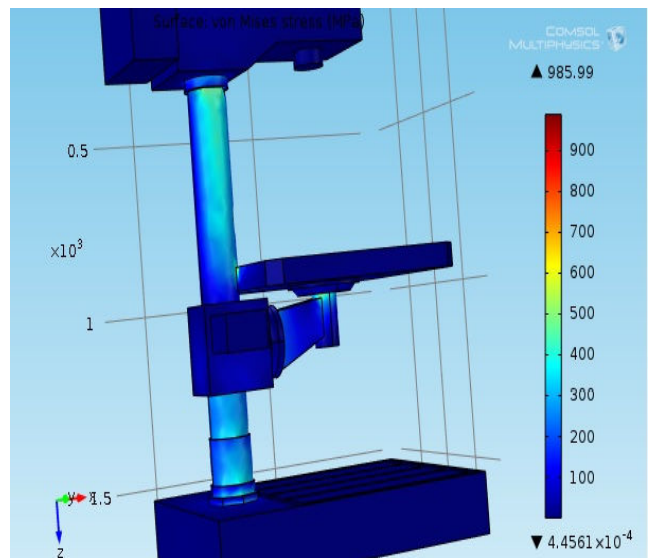
Εικόνα 6.2.21 Ιδιοσυχνότητα 32,948335



Εικόνα 6.2.22 Ιδιοσυχνότητα 64,47566



Εικόνα 6.2.23 Ιδιοσυχνότητα 64,800358



Εικόνα 6.2.24 Ιδιοσυχνότητα 124,637896

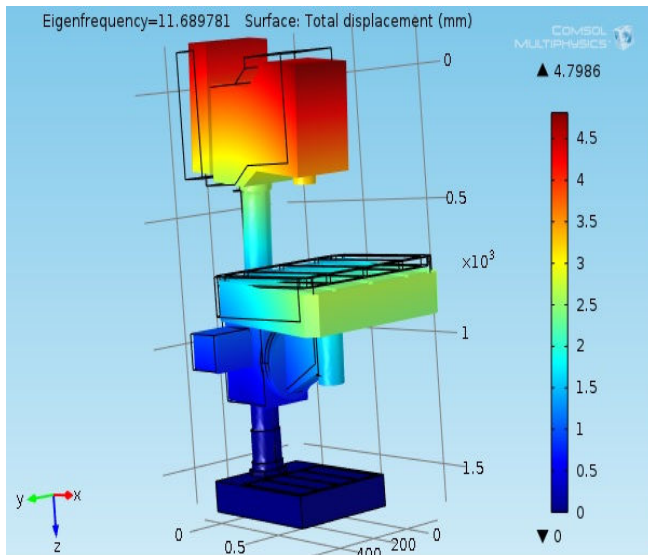
Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Μέγιστη μετατόπιση (mm)	Von Misses MPa	Παραμόρφωση * 10 ⁽⁻³⁾
11,970979	5.89964	186.43	0.57811
12,302126	6.04932	224.82	0.64365
32,948335	6.05133	255.11	0.37205
64,47566	5.26931	494.09	2.1917
64,800358	4.36615	435.39	1.4437
124,637896	5.19196	985.99	2.1062

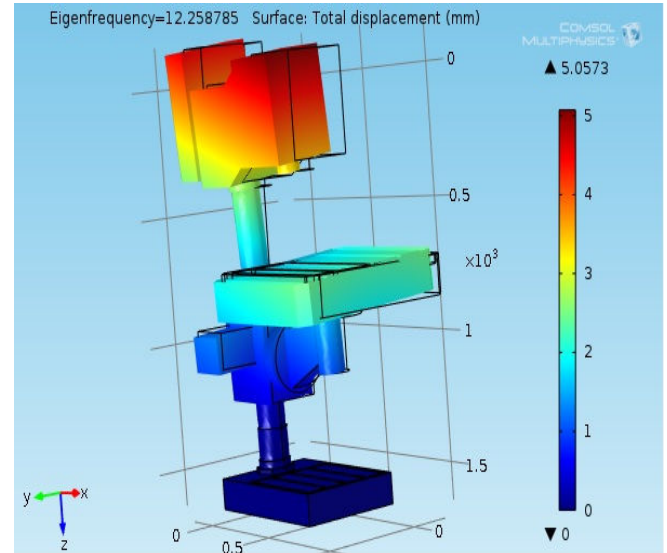
- Στο δεύτερο μοντέλο με πάκτωση στη βάση το φάσμα των ιδιοσυχνοτήτων από 11,970979 Hz έως και 124,637896 Hz.
- Η μεγαλύτερη τιμή της μέγιστης μετατόπισης αντιστοιχεί στη τρίτη ιδιοσυχνότητα (32,948335 Hz) με 6.05133 mm και ακολουθεί η δεύτερη ιδιοσυχνότητα (12,302126 Hz) με αρκετά κοντινή τιμή στα 6.049326 mm Η ελάχιστη μέγιστη μετατόπιση αντιστοιχεί στη πέμπτη ιδιοσυχνότητα (64,800358 Hz) με τιμή 4.36615 mm.
- Οι τάσεις Von Misses παρουσιάζουν ελάχιστη και μέγιστη τιμή στην πρώτη και στην τελευταία ιδιοσυχνότητα αντίστοιχα με τιμές 186.43 MPa και 985.99 MPa.
- Οι παραμορφώσεις κυμαίνονται σε ένα φάσμα από 0.32516 * 10⁽⁻³⁾ έως και 0.97177 * 10⁽⁻³⁾. Η μικρότερη τιμή αντιστοιχεί στην τρίτη ιδιοσυχνότητα ενώ η μεγαλύτερη στην έκτη.

ΜΟΝΤΕΛΟ 3

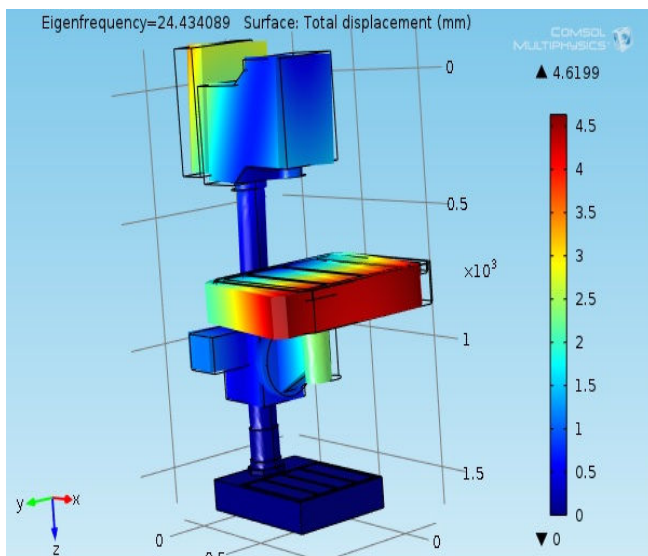
Ακολουθούν τα αποτελέσματα της συνολικής μετατόπισης



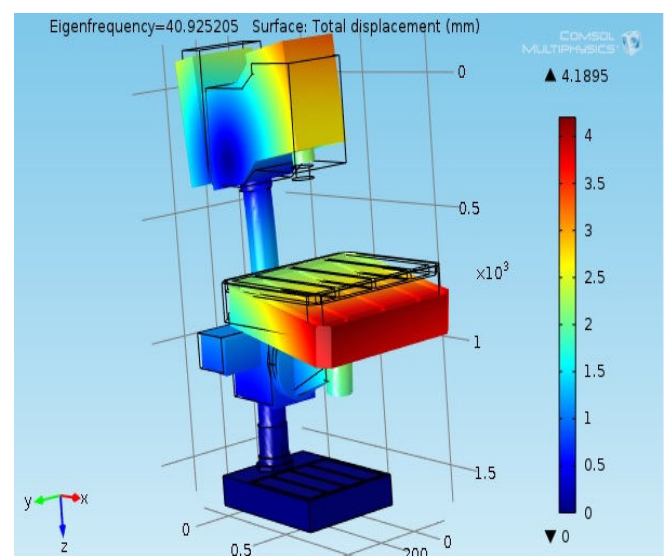
Εικόνα 6.2.25 Πρώτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 11,689781



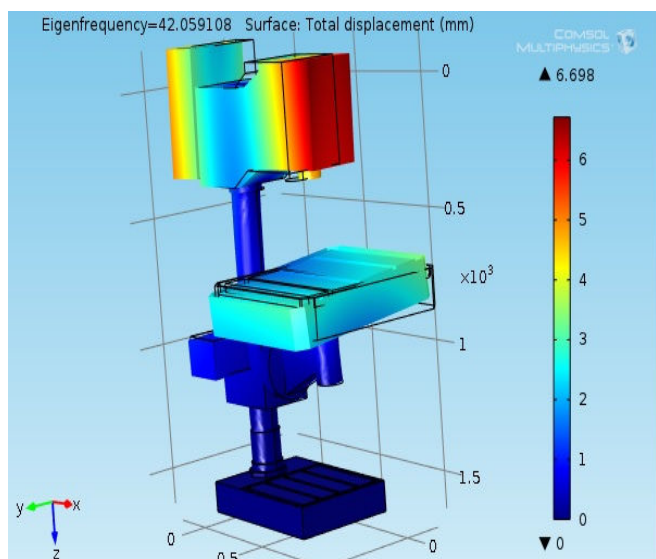
Εικόνα 6.2.26 Δεύτερη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 12,258785



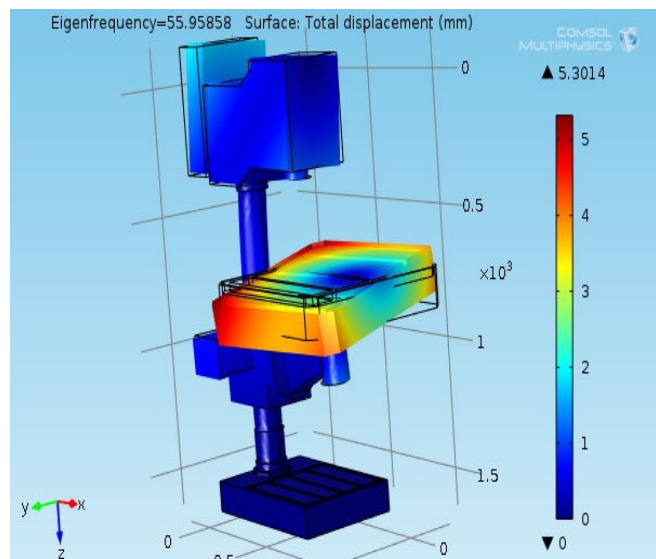
Εικόνα 6.2.27 Τρίτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 24,434089



Εικόνα 6.2.28 Τέταρτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 40,925205

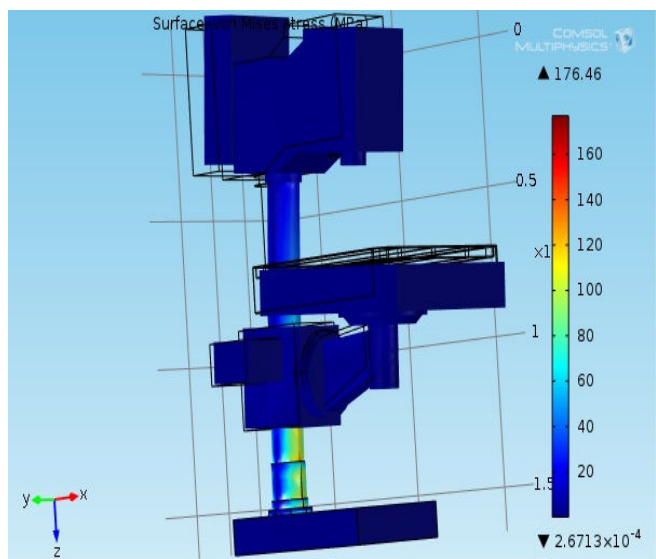


Εικόνα 6.2.29 Πέμπτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 42,059108

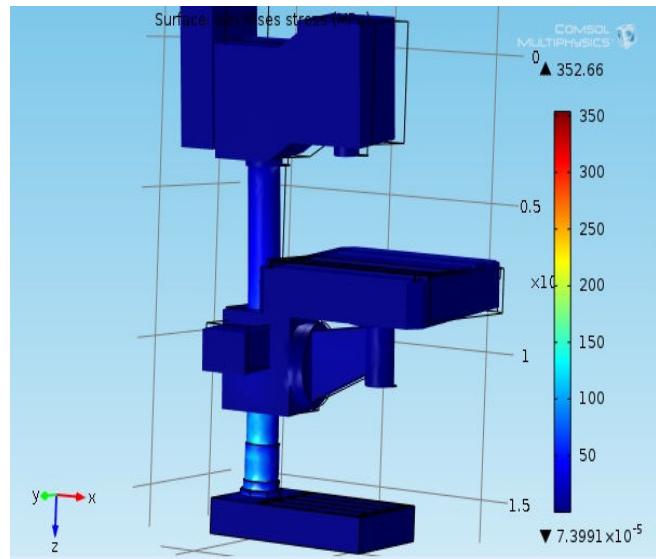


Εικόνα 6.2.30 Έκτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 55,95858

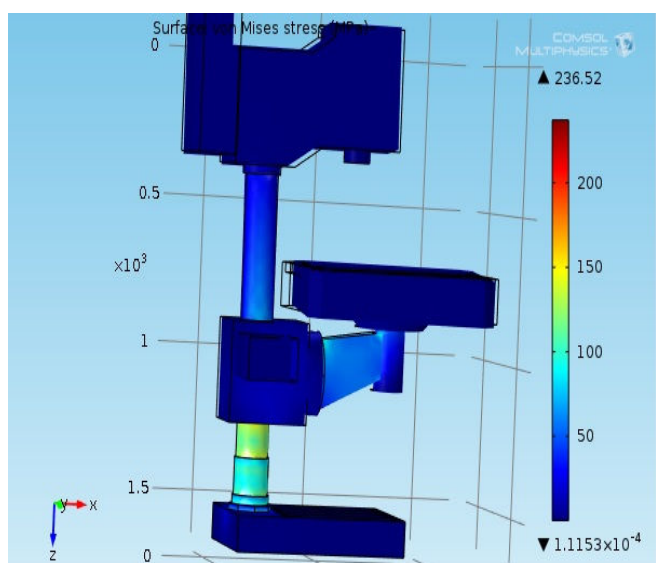
Ακολουθούν τα αποτελέσματα από την κατανομή των τάσεων Von Mises



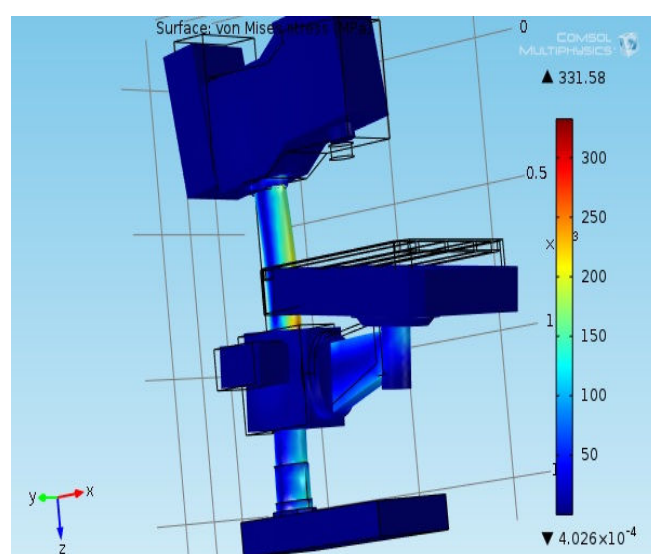
Εικόνα 6.2.31 Ιδιοσυχνότητα 11,689781



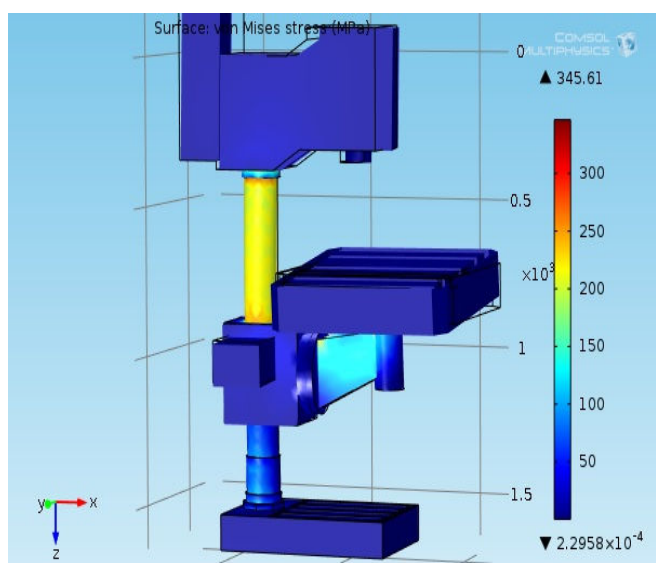
Εικόνα 6.2.32 Ιδιοσυχνότητα 12,258785



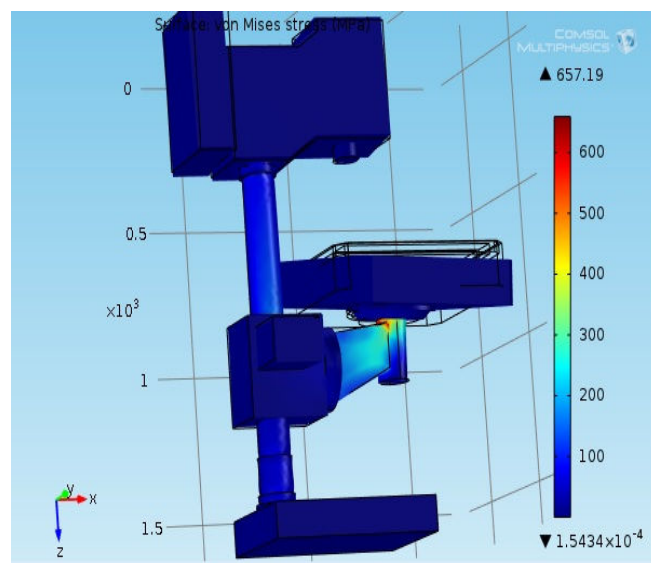
Εικόνα 6.2.33 Ιδιοσυχνότητα 24,434089



Εικόνα 6.2.34 Ιδιοσυχνότητα 40,925205



Εικόνα 6.2.35 Ιδιοσυχνότητα 42,059108



Εικόνα 6.2.36 Ιδιοσυχνότητα 55,95858

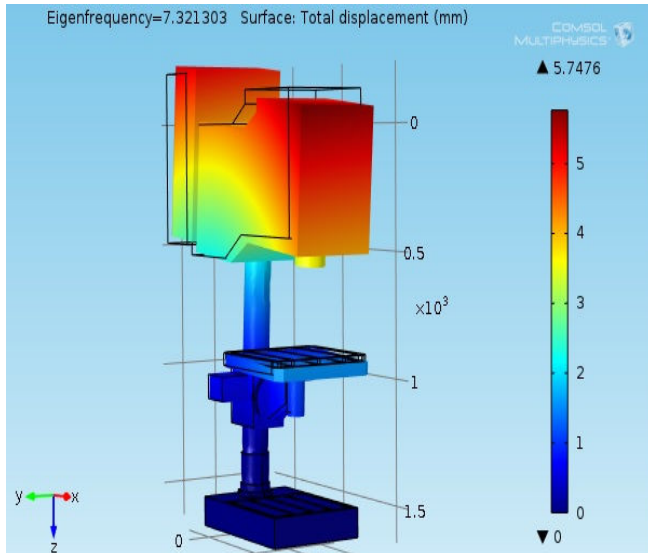
Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Μέγιστη μετατόπιση (mm)	Von Misses MPa	Παραμόρφωση *10 (-3)
11,689781	4.79856	176.46	0.52072
12,258785	5.05725	352.66	0.6294
24,434089	4.61985	236.52	0.32516
40,925205	4.18948	331.58	0.91564
42,059108	6.69801	345.61	0.6399
55,95858	5.30144	657.19	0.97177

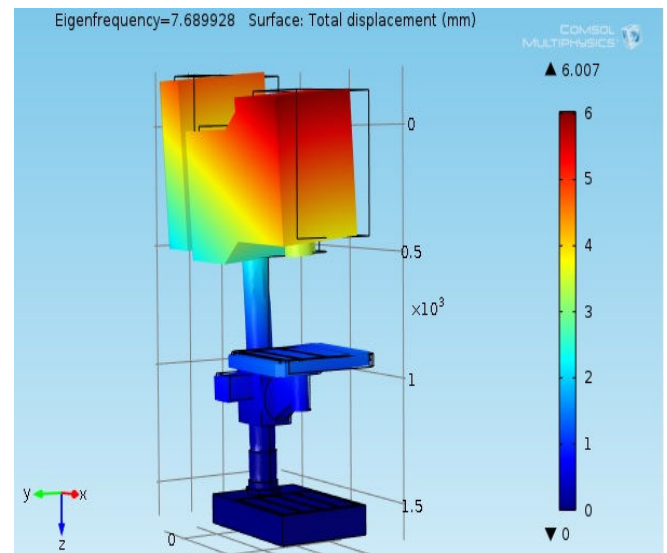
- Για το τρίτο μοντέλο με πάκτωση στη βάση διακρίνεται το φάσμα των ιδιοσυχνοτήτων από 11,689781 Hz έως και 55,95858 Hz.
- Η μεγαλύτερη τιμή της μέγιστης μετατόπισης φαίνεται να αντιστοιχεί στη Πέμπτη ιδιοσυχνότητα (42,059108 Hz) με 6.69801 mm και η μικρότερη στην τέταρτη ιδιοσυχνότητα με τιμή 4.18948 mm. Η μέγιστη μετατόπιση σύμφωνα με τις ιδιομορφές εκδηλώνεται στην τράπεζα του μοντέλου, ενώ η μικρότερη στο κυρίως σώμα.
- Οι τάσεις Von Misses παρατηρούμε ότι παρουσιάζουν ελάχιστη και μέγιστη τιμή στην πρώτη και στην τελευταία ιδιοσυχνότητα αντίστοιχα με τιμές 176.46 MPa και 657.19 MPa. Από τις εικόνες της κατανομής των τάσεων βλέπουμε ότι οι τάσεις εκδηλώνονται έντονα στην βάση της τράπεζα του μοντέλου και σε αρκετά μεγάλα κομμάτια του τμήματος του ορθοστάτη
- Οι τιμές των παραμορφώσεων είναι αρκετά κοντά μεταξύ τους με μέγιστη τιμή την 0.97177 και ελάχιστη την 0.32516.

ΜΟΝΤΕΛΟ 4

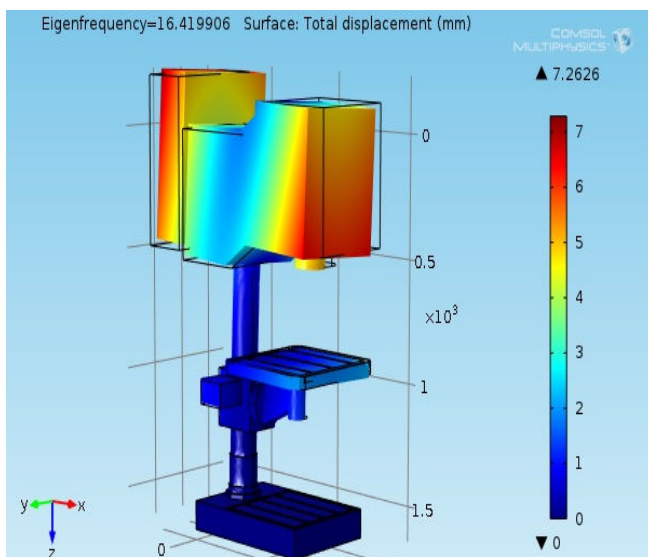
Ακολουθούν τα αποτελέσματα της συνολικής μετατόπισης



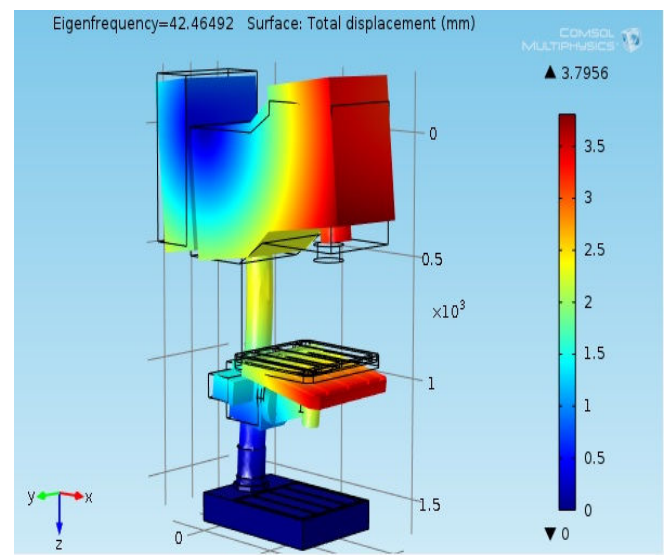
Εικόνα 6.2.37 Πρώτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 7,321303



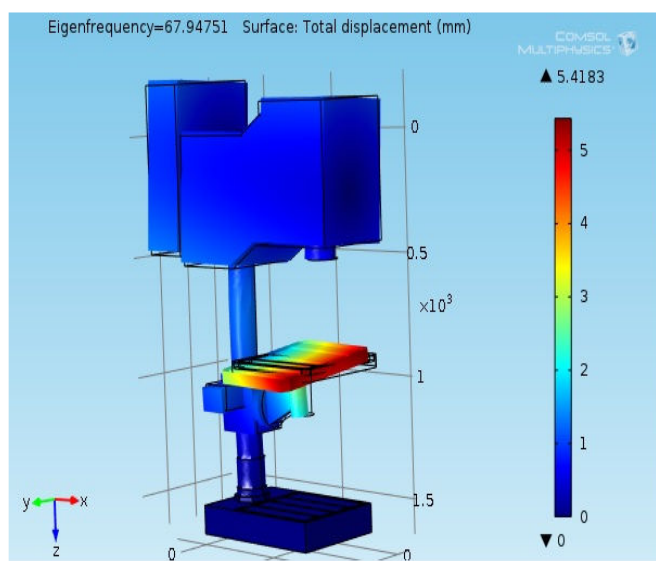
Εικόνα 6.2.38 Δεύτερη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 7,659928



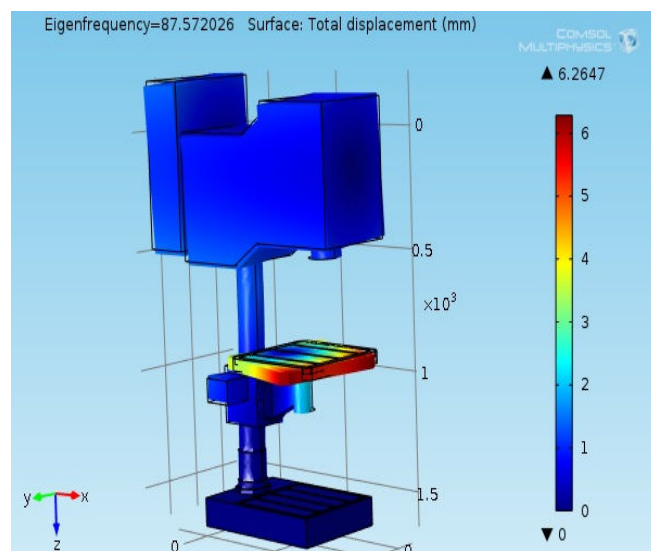
Εικόνα 6.2.39 Τρίτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 16,419906



Εικόνα 6.2.40 Τέταρτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 42,46492

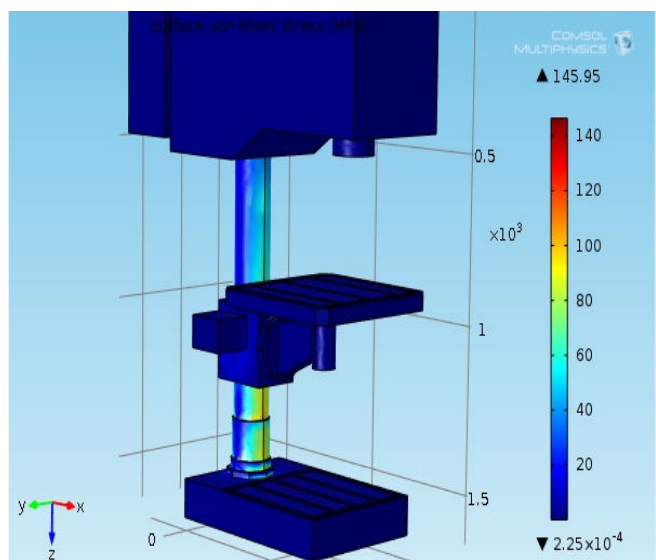


Εικόνα 6.2.41 Πέμπτη Ιδιομορφή
Ιδιοσυχνότητα 67,94751

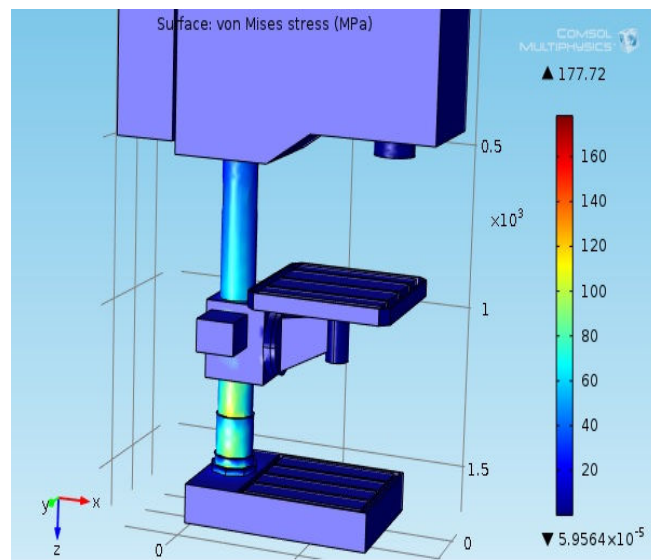


Εικόνα 6.2.42 Έκτη Ιδιομορφή
Ιδιομορφή 87,572026

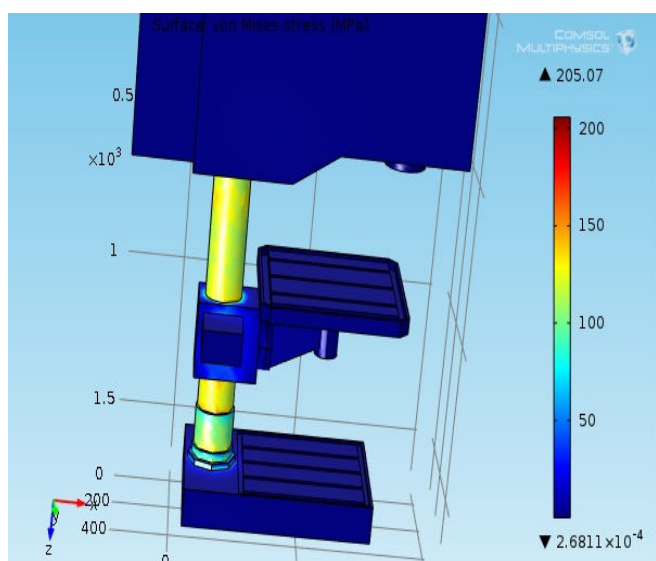
Ακολουθούν τα αποτελέσματα από την κατανομή των τάσεων Von Misses



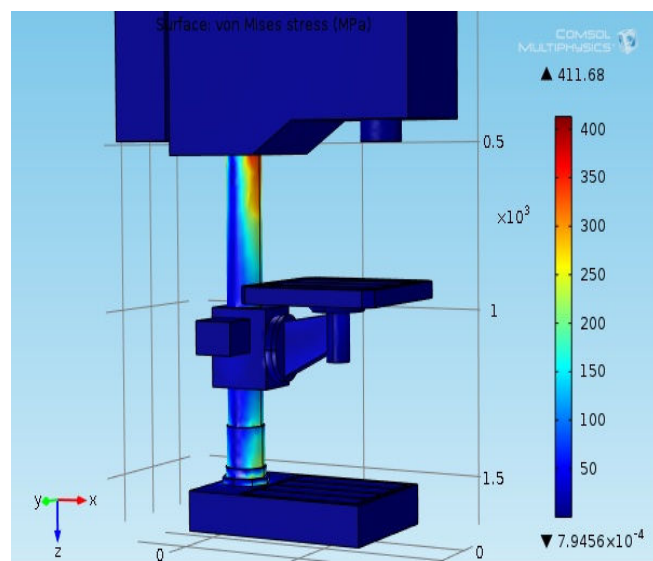
Εικόνα 6.2.43 **Ιδιοσυχνότητα** 7,321303



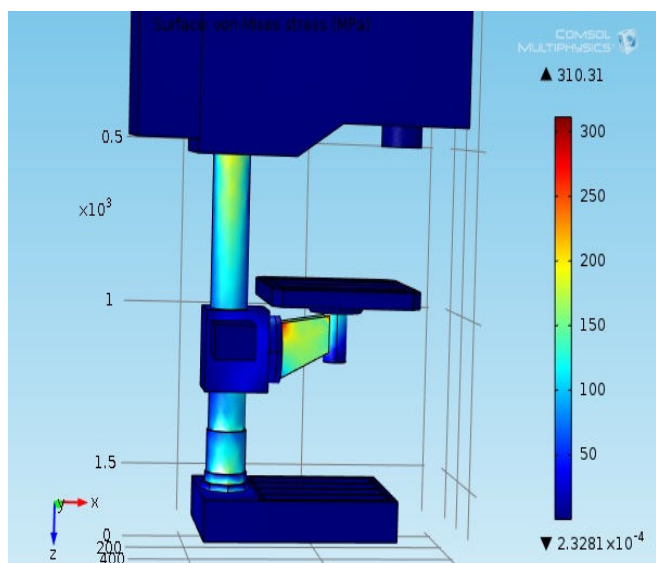
Εικόνα 6.2.44	Ιδιοσυχνότητα	7,659928
---------------	---------------	----------



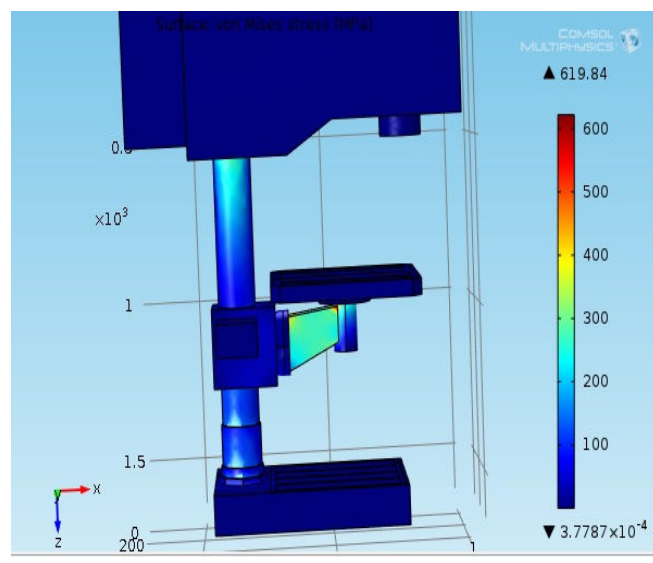
Εικόνα 6.2.45 Ιδιοσυχνότητα 16,419906



Εικόνα 6.2.46 Ιδιοσυχνότητα 42,46492



Εικόνα 6.2.47 Ιδιοσυχνότητα 67,94751



Εικόνα 6.2.48 Ιδιοσυχνότητα 87,572026

Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων

Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Μέγιστη μετατόπιση (mm)	Von Misses MPa	Παραμόρφωση * 10 (-3)
7,321303	5.74755	145.95	0.25085
7,659928	6.00697	177.72	0.30566
16,419906	7.26262	205.07	0.38962
42,46492	3.79557	411.68	1.5255
67,94751	5.41833	310.31	0.87768
87,572026	6.26472	619.84	1.5349

- Η επεξεργασία του τέταρτου και τελευταίου μοντέλου δίνει ένα αποτέλεσμα ιδιοσυχνοτήτων με εύρος από 7,321303 Hz έως 87,572026 Hz. Η πρώτη τιμή αντιστοιχεί στην μικρότερη ιδιοσυχνότητα ενώ η δεύτερη αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη.
- Τα αποτελέσματα της μέγιστης μετατόπισης δίνουν ένα φάσμα τιμών από 3.79557 mm έως και 7.26262 mm. Η μικρότερη τιμή αντιστοιχεί στην τέταρτη ιδιοσυχνότητα (7,659928 Hz) και η μεγαλύτερη τιμή αντιστοιχεί στην τρίτη ιδιοσυχνότητα (16,419906 Hz)
- Τα άκρα των τιμών των τάσεων Von Misses αναπτύσσονται στην πρώτη και στην τελευταία ιδιοσυχνότητα. Η μικρότερη που αντιστοιχεί στην πρώτη ιδιοσυχνότητα (7,321303 Hz) έχει τιμή 145.95 MPa ενώ η μεγαλύτερη που αντιστοιχεί στη τελευταία ιδιοσυχνότητα (87,572026 Hz).
- Η μεγαλύτερη παραμόρφωση εμφανίζεται στην έκτη ιδιοσυχνότητα (87,572026 Hz) με τιμή $1.5349 \cdot 10^{-3}$ και η μικρότερη στην πρώτη ιδιοσυχνότητα (7,321303 Hz) με τιμή $0.25085 \cdot 10^{-3}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ

7.1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Ακολουθούν οι πίνακες των αποτελεσμάτων σε πιο συγκεντρωτική μορφή

Οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων σε κάθε μοντέλο

(Hz)	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Ιδιοσυχνότητα 1	1.08918e-4i	1.21828e-4i	1.47153e-4i	2.65156e-5i
Ιδιοσυχνότητα 2	2.44857e-4i	1.69705e-4i	2.0818e-4i	9.63154e-5i
Ιδιοσυχνότητα 3	3.75776e-4i	3.10906e-4i	4.53231e-4i	1.6237e-4i
Ιδιοσυχνότητα 4	5.40272e-4i	4.13557e-4i	6.30112e-5	5.01976e-4i
Ιδιοσυχνότητα 5	1.22219e-4	4.88616e-5	2.8504e-4	1.27238e-4
Ιδιοσυχνότητα 6	2.07601e-4	1.90088e-4	6.19253e-4	2.18876e-4

Οι τιμές της μέγιστης μετατόπισης

(mm)	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Ιδιοσυχνότητα 1	3.58609	4.59546	3.92926	5.23878
Ιδιοσυχνότητα 2	4.37026	3.58851	3.02278	2.91751
Ιδιοσυχνότητα 3	3.17447	2.27671	2.95539	4.33878
Ιδιοσυχνότητα 4	2.72547	2.96054	4.35706	2.6477
Ιδιοσυχνότητα 5	3.31787	3.84435	3.13335	3.00653
Ιδιοσυχνότητα 6	2.34495	3.01407	2.67358	2.27695

Οι τιμές των τάσεων Von Misses

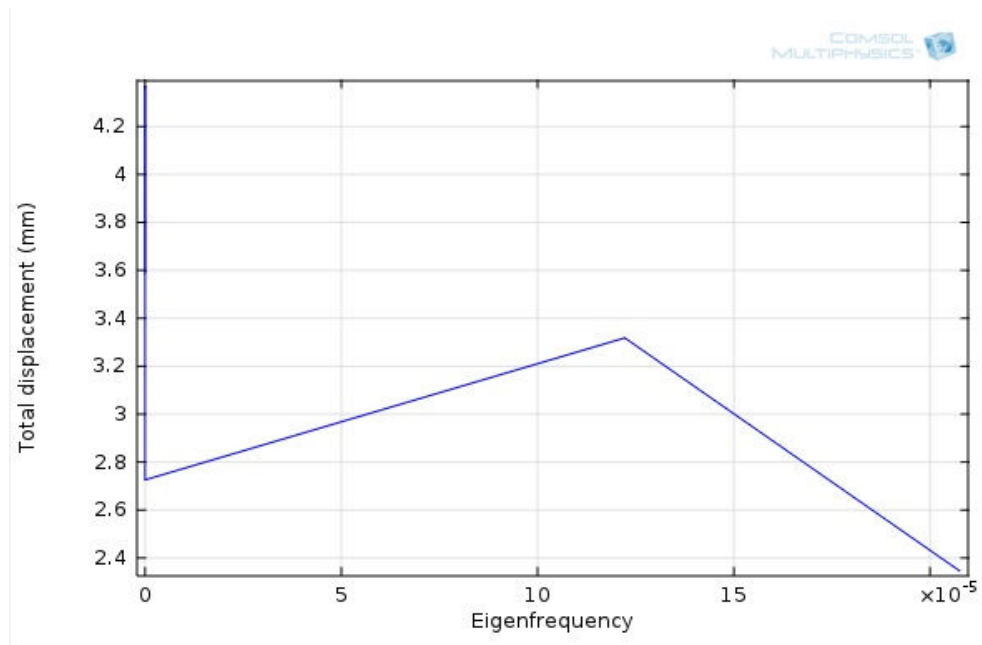
MPa * 10(-8)	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Ιδιοσυχνότητα 1	2.9056	3.1493	1.7101	1.371
Ιδιοσυχνότητα 2	3.1727	3.6442	3.1128	3.5275
Ιδιοσυχνότητα 3	3.2315	2.2851	3.5155	2.1582
Ιδιοσυχνότητα 4	2.6019	5.2538	2.236	3.0293
Ιδιοσυχνότητα 5	1.4357	1.1646	2.8108	2.9089
Ιδιοσυχνότητα 6	2.0013	4.8148	2.8788	2.4178

Οι τιμές της παραμόρφωσης

* 10 (-14)	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Ιδιοσυχνότητα 1	6.4808	8.9167	4.3979	1.9962
Ιδιοσυχνότητα 2	12,75	7.5612	2.9511	3.4466
Ιδιοσυχνότητα 3	7.5957	2.7375	4.2537	5.2494
Ιδιοσυχνότητα 4	9.9223	14.983	3.1018	9.302
Ιδιοσυχνότητα 5	2.8017	3.2723	5.9894	5.6029
Ιδιοσυχνότητα 6	6.8021	13.423	11.391	5.4723

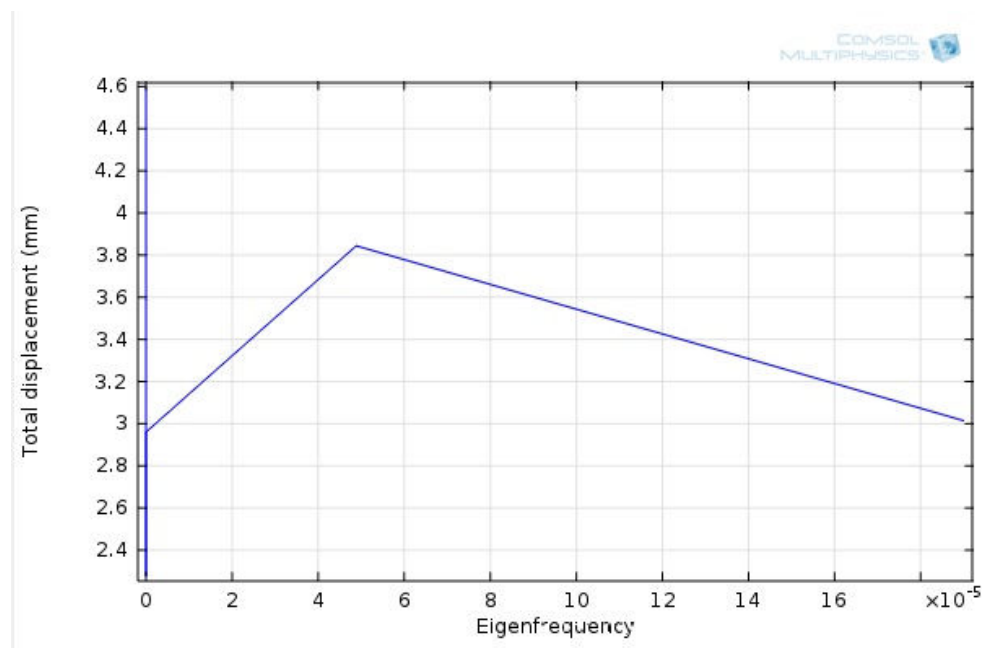
Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα των μοντέλων που αφορούν τη μέγιστη μετατόπιση σε κάθε ιδιοσυχνότητα

Μοντέλο 1



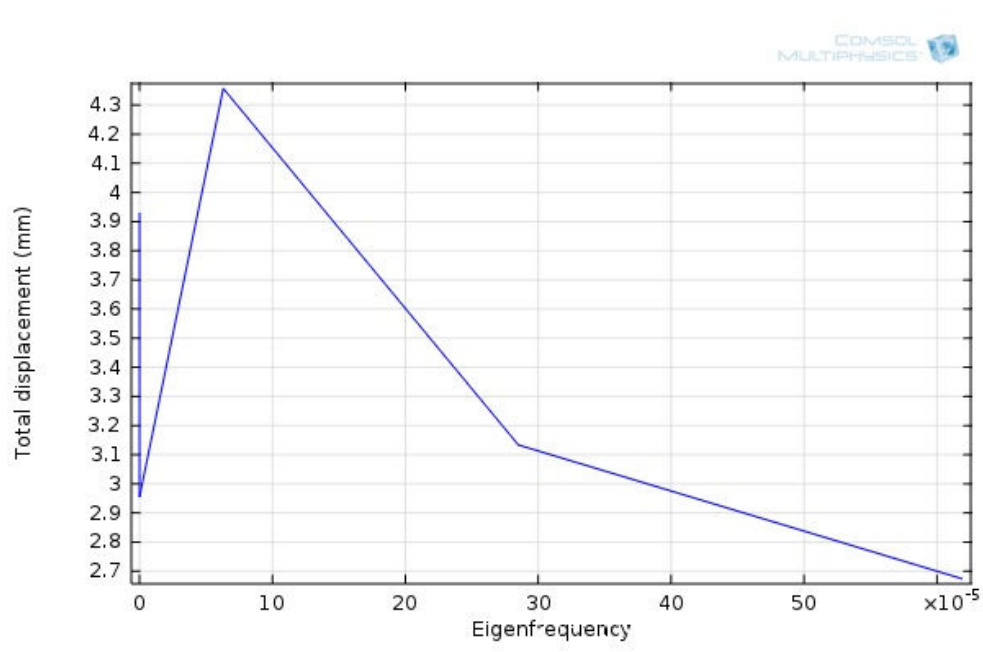
Διάγραμμα 7.1.1

Μοντέλο 2



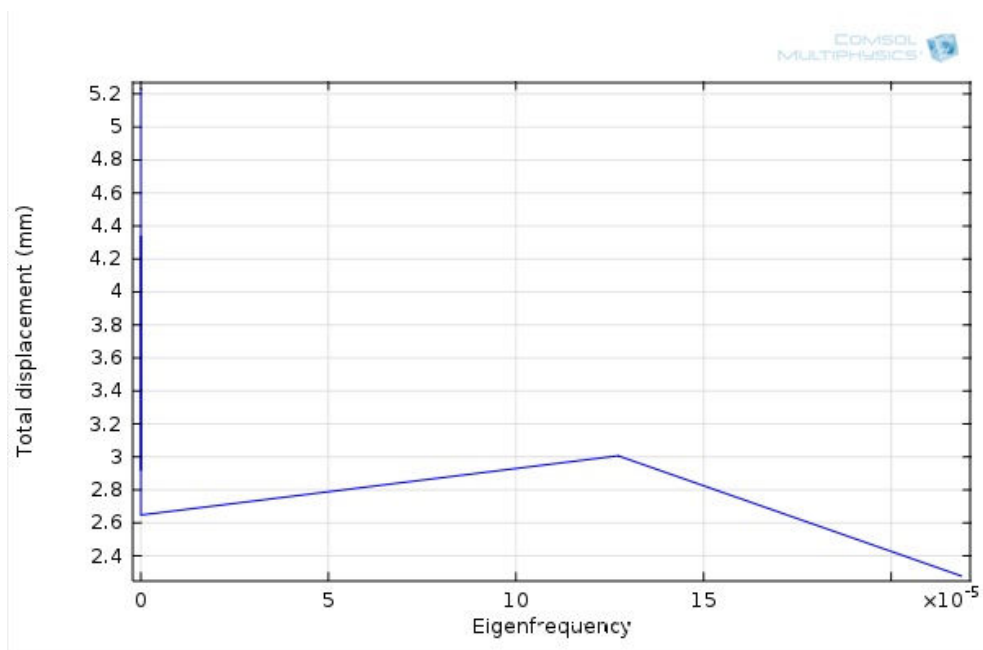
Διάγραμμα 7.1.2

Μοντέλο 3



Διάγραμμα 7.1.3

Μοντέλο 4

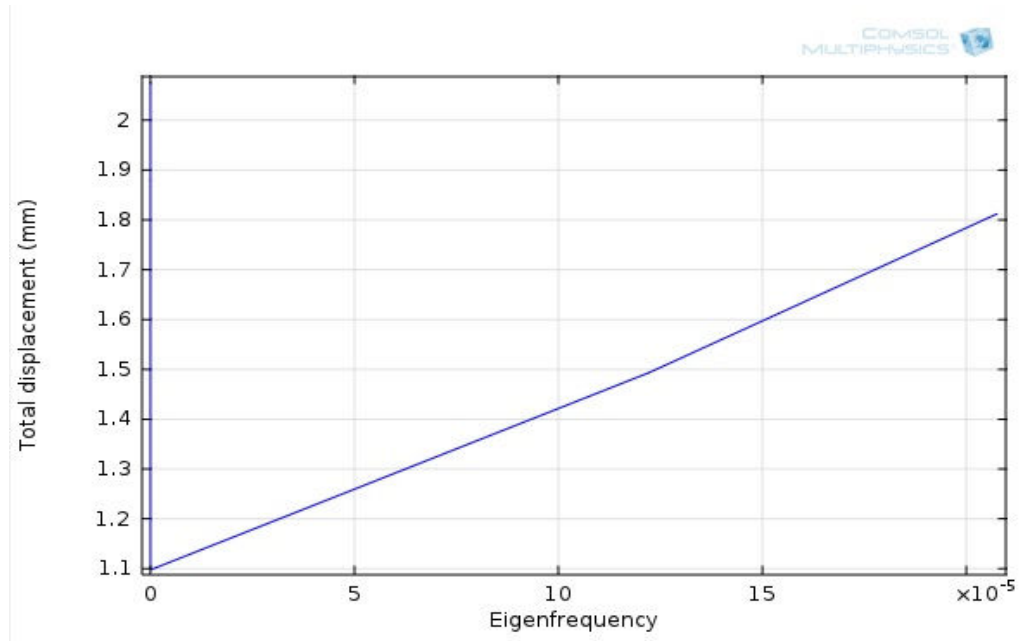


Διάγραμμα 7.1.4

- Σύμφωνα με τα παραπάνω διαγράμματα βλέπουμε ότι και τα τέσσερα μοντέλα παρουσιάζουν τις πρώτες ιδιομορφές σε ένα μικρό φάσμα ιδιοσυχνοτήτων και σχετικά συνυφασμένα μεταξύ τους. Το φάσμα των ιδιοσυχνοτήτων είναι από $1.08918e-4$ Hz έως $6.19253e-4$ Hz. Η πρώτη ιδιοσυχνότητα είναι η μικρότερη που συναντάμε και αντιστοιχεί στο πρώτο μοντέλο, ενώ η δεύτερη ιδιοσυχνότητα αποτελεί την μέγιστη και αντιστοιχεί στο τρίτο μοντέλο.
- Και στα τέσσερα μοντέλα παρατηρούμε μια κοινή ακολουθία αποτελεσμάτων, καθώς παρουσιάζουν την μέγιστη μετατόπιση. τη μέγιστη τιμή της μετατόπισης στις πρώτες τιμές των ιδιοσυχνοτήτων και στη συνέχεια ακολουθούν μια πτωτική τάση όσο αυξάνεται η ανάλογη τιμή της ιδιοσυχνότητας. Ωστόσο μία μικρή απόκλιση παρουσιάζει το τρίτο μοντέλο στο οποίο εντοπίζεται η μεγαλύτερη τιμή της μέγιστης μετατόπισης στην τέταρτη ιδιοσυχνότητα ακολουθώντας όμως επίσης μικρές τιμές μετατόπισης.
- Στην συνέχεια παρατηρούμε ότι ανάλογη ακολουθία αποτελεσμάτων, σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, δίνουν και τα διαγράμματα μέσου όρου μετατόπισης για τα τέσσερα μοντέλα που αυτό δικαιολογεί το γεγονός ότι οι μέγιστες μετατοπίσεις δεν αποτελούν ακραίες εκδηλώσεις της συμπεριφοράς των μοντέλων. Αυτό σημαίνει ότι οι μετατοπίσεις εκδηλώνονται ομοιόμορφα σε όλη τη διάταξη του μοντέλου. Αυτό αναδεικνύεται και από τα διαγράμματα του μέσου όρου μετατόπισης που ακολουθούν.
- Οι τάσεις Von Misses δεν παρουσιάζουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ των τεσσάρων μοντέλων. Κυμαίνονται σε ένα εύρος ανάλογο και παρουσιάζονται σε αντίστοιχα σημεία σε κάθε διαφορετική περίπτωση. Η μεγαλύτερη τάση εμφανίζεται στο τέταρτο μοντέλο με τιμή 5.2538 MPa που αντιστοιχεί στην τελευταία ιδιοσυχνότητα, το οποίο εμφανίζει και τις μεγαλύτερες τάσεις και στις υπόλοιπες ιδιοσυχνότητες συγκριτικά με τα υπόλοιπα
- Στην παραμόρφωση παρουσιάζεται σχετικά μεγαλύτερη ανομοιομορφία σε σχέση με τα προηγούμενα αποτελέσματα. Στο τρίτο μοντέλο εμφανίζονται συνολικά οι μεγαλύτερες τιμές, με μέγιστη την 14.983 , το αμέσως επόμενο αποτελεί το πρώτο μοντέλο που εμφανίζει επίσης μεγάλες τιμές και ακολουθούν το τρίτο και το τέταρτο μοντέλο, στου οποίου το τελευταίο παρουσιάζει την μικρότερη παραμόρφωση με τιμή 1.9962 .

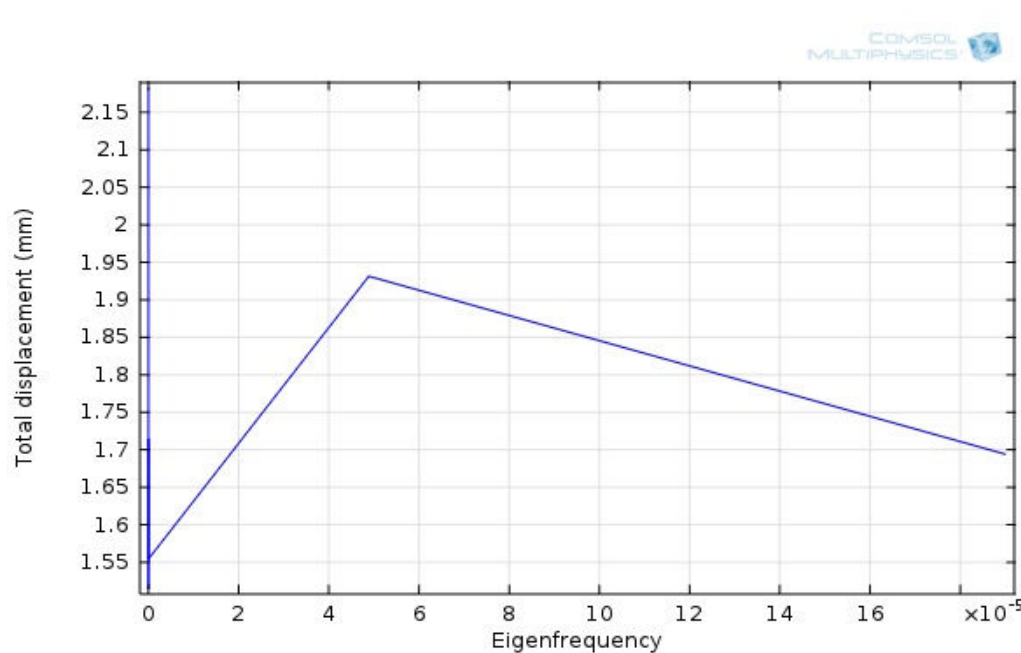
Ακολουθούν τα διαγράμματα μέσου όρου μετατόπισης συνολικά στα μοντέλα

ΜΟΝΤΕΛΟ 1



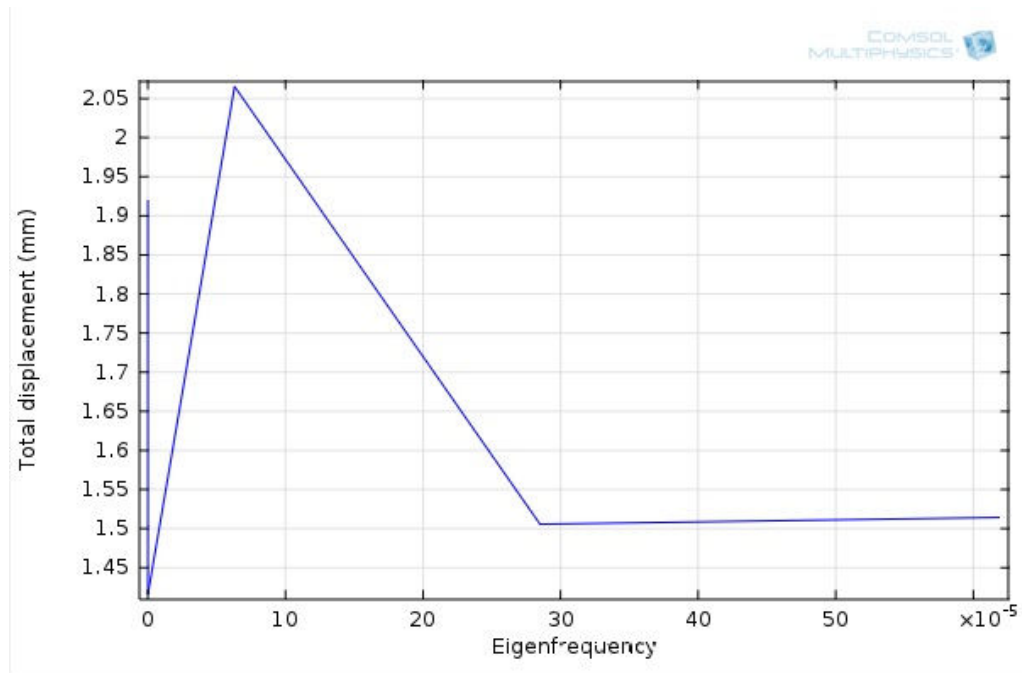
Διάγραμμα 7.1.5

ΜΟΝΤΕΛΟ 2



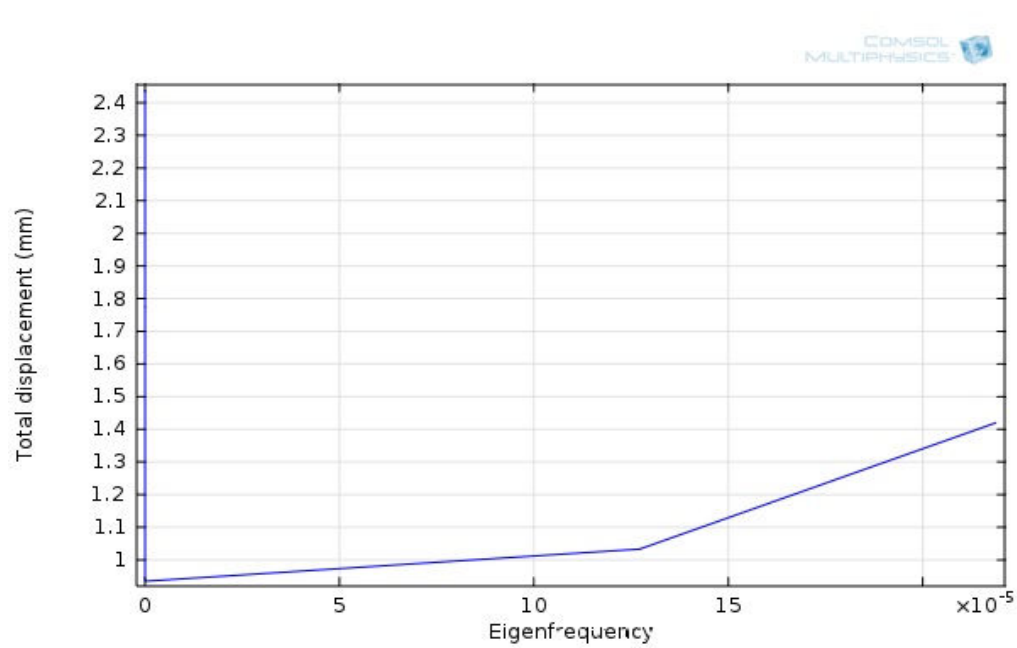
Διάγραμμα 7.1.6

ΜΟΝΤΕΛΟ 3



Διάγραμμα 7.1.7

ΜΟΝΤΕΛΟ 4

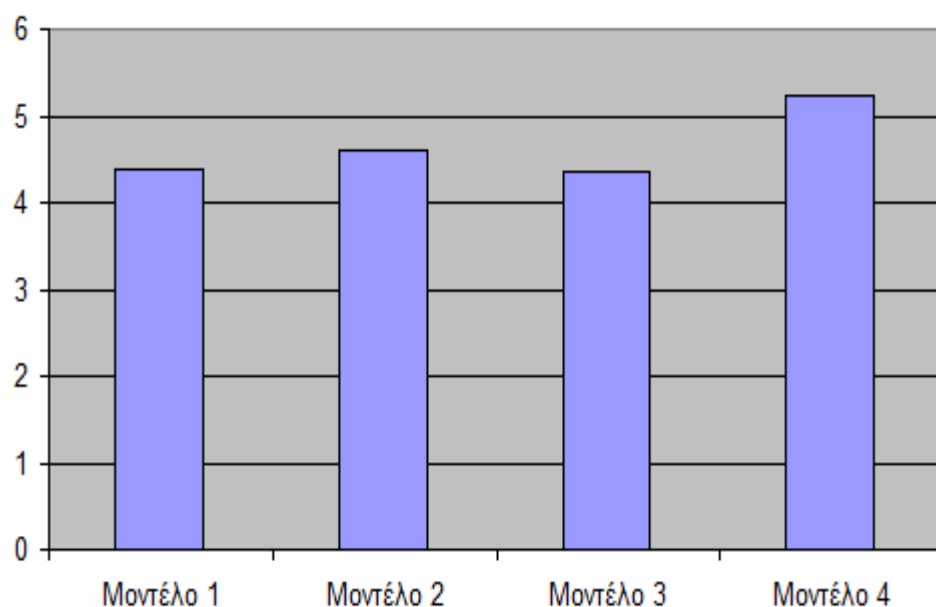


Διάγραμμα 7.1.8

- Ενδιαφέρον παρουσιάζει η πορεία η πορεία της εμφάνισης της maximum τιμής της μέγιστης μετατόπισης όπως καθορίζεται διαδοχικά από τα τέσσερα μοντέλα. Η προσθήκη μάζας με την αύξηση διαστάσεων βελτιστοποιεί το αποτέλεσμα στο τρίτο μοντέλο σε σχέση με το αρχικό, όπου έχει γίνει προσθήκη στο μεσαίο τμήμα, αλλά παρατηρούμε ότι οι υπόλοιπες δύο τροποποιήσεις που αφορούν τα άκρα του μοντέλου παρουσιάζουν μεγαλύτερες τιμές με τη μέγιστη να εμφανίζεται στο τέταρτο μοντέλο που αφορά το πάνω τμήμα της διάταξης. Το διάγραμμα και ο πίνακας που ακολουθεί αναδεικνύουν το αποτέλεσμα.

(mm)	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Maximum				
Μέγιστη Μετατόπιση	4.37026	4.59546	4.35706	5.23878

Διάγραμμα maximum τιμών μέγιστης μετατόπισης (mm)



7.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ ΜΕ ΠΑΚΤΩΣΗ ΣΤΗ ΒΑΣΗ

Ακολουθούν οι πίνακες των αποτελεσμάτων σε επίσης συγκεντρωτική μορφή

Οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων σε κάθε μοντέλο

(Hz)	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Ιδιοσυχνότητα 1	11,978844	11,970979	11,689781	7,321303
Ιδιοσυχνότητα 2	12,390824	12,302126	12,258785	7,659928
Ιδιοσυχνότητα 3	33,837659	32,948335	24,434089	16,419906
Ιδιοσυχνότητα 4	71,125289	64,47566	40,925205	42,46492
Ιδιοσυχνότητα 5	73,287064	64,800358	42,059108	67,94751
Ιδιοσυχνότητα 6	116,64358	124,637896	55,95858	87,572026

Οι τιμές της μέγιστης μετατόπισης

(mm)	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Ιδιοσυχνότητα 1	5.47946	5.89964	4.79856	5.74755
Ιδιοσυχνότητα 2	5.60422	6.04932	5.05725	6.00697
Ιδιοσυχνότητα 3	6.24909	6.05133	4.61985	7.26262
Ιδιοσυχνότητα 4	4.15121	5.26931	4.18948	3.79557
Ιδιοσυχνότητα 5	5.78082	4.36615	6.69801	5.41833
Ιδιοσυχνότητα 6	5.90866	5.19196	5.30144	6.26472

Οι τιμές των τάσεων Von Misses

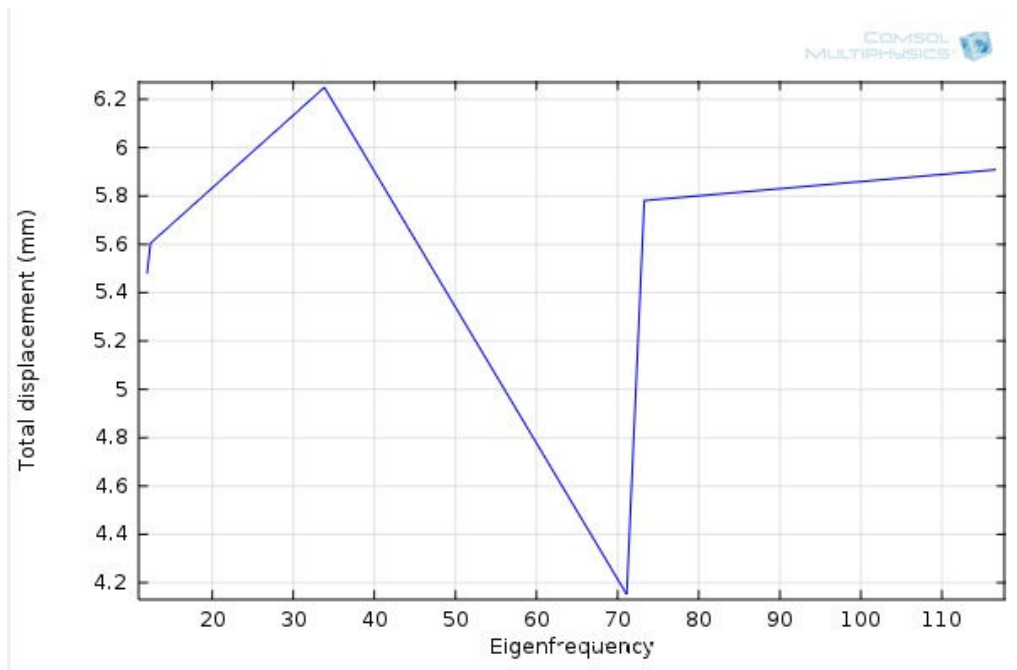
MPa * 10(-8)	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Ιδιοσυχνότητα 1	159.35	186.43	176.46	145.95
Ιδιοσυχνότητα 2	334.4	224.82	352.66	177.72
Ιδιοσυχνότητα 3	303.62	255.11	236.52	205.07
Ιδιοσυχνότητα 4	458.79	494.09	331.58	411.68
Ιδιοσυχνότητα 5	340.52	435.39	345.61	310.31
Ιδιοσυχνότητα 6	916.25	985.99	657.19	619.84

Οι τιμές της παραμόρφωσης

*10(-3)	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Ιδιοσυχνότητα 1	0.49089	0.57811	0.52072	0.25085
Ιδιοσυχνότητα 2	0.60293	0.64365	0.6294	0.30566
Ιδιοσυχνότητα 3	0.25934	0.37205	0.32516	0.38962
Ιδιοσυχνότητα 4	1.5687	2.1917	0.91564	1.5255
Ιδιοσυχνότητα 5	1.1223	1.4437	0.6399	0.87768
Ιδιοσυχνότητα 6	1.1987	2.1062	0.97177	1.5349

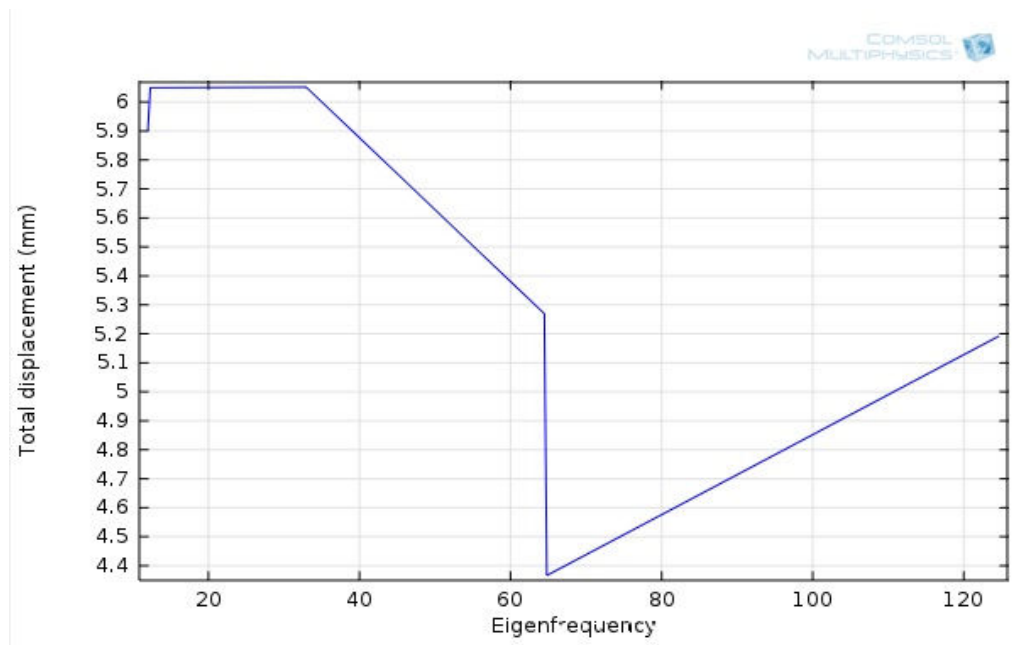
Δίνονται τα διαγράμματα των μοντέλων που αφορούν τη μέγιστη μετατόπιση

ΜΟΝΤΕΛΟ 1



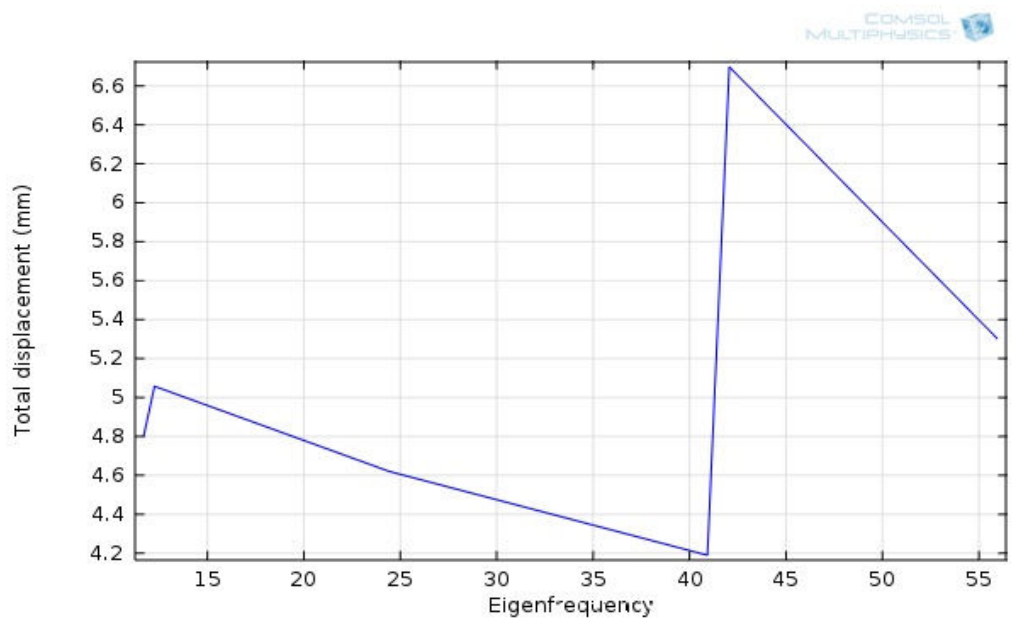
Διάγραμμα 7.2.1

ΜΟΝΤΕΛΟ 2



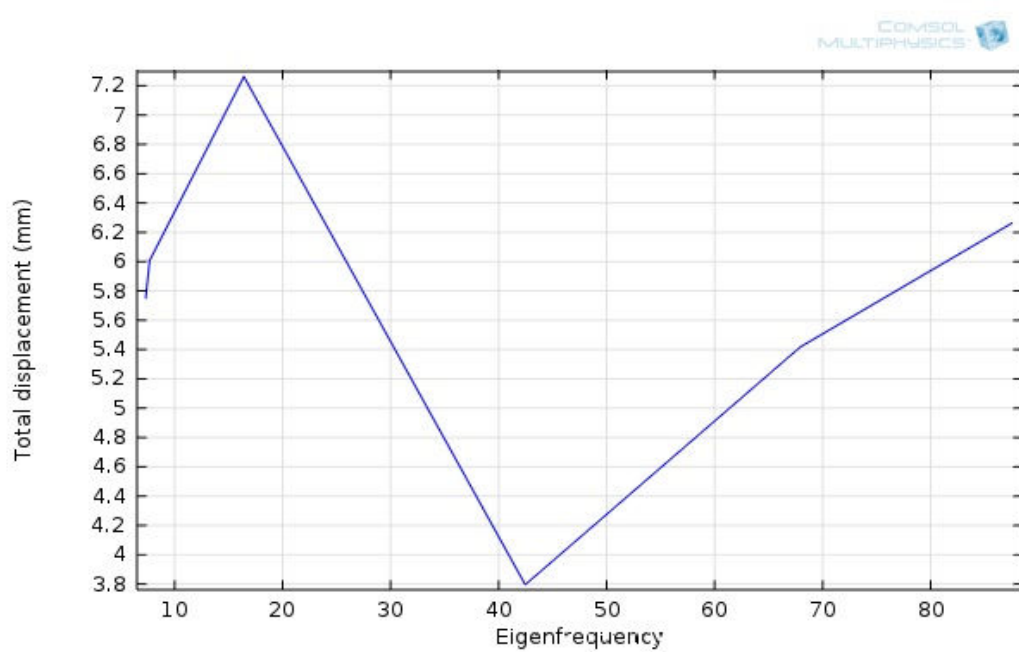
Διάγραμμα 7.2.2

ΜΟΝΤΕΛΟ 3



Διάγραμμα 7.2.3

ΜΟΝΤΕΛΟ 4

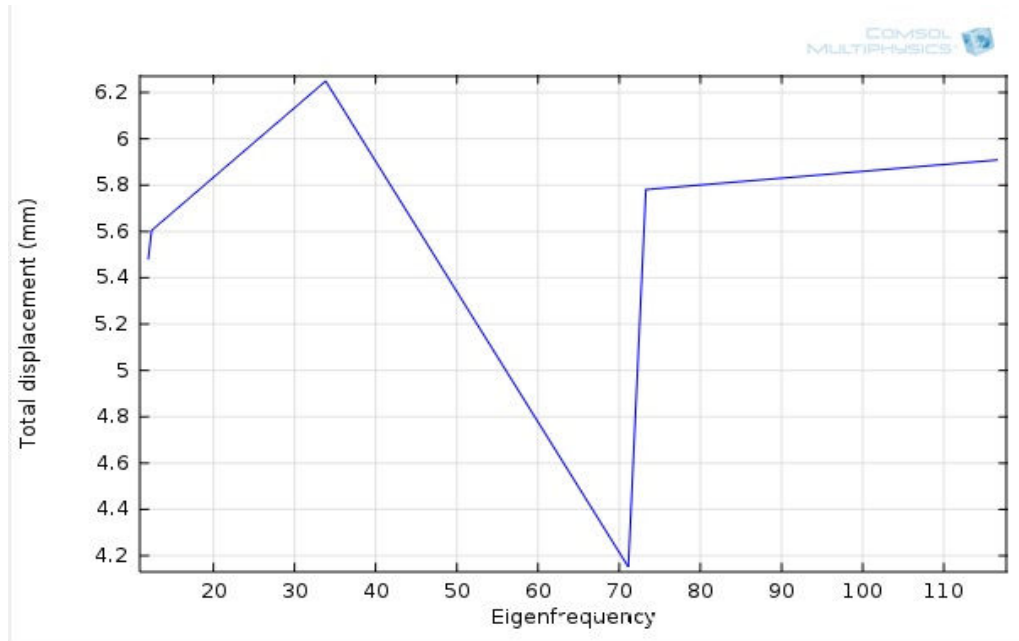


Διάγραμμα 7.2.4

- Η σύγκριση των αποτελεσμάτων μετά από την επεξεργασία και των τεσσάρων μοντέλων μας οδηγεί στην παρατήρηση το φάσμα της εμφάνισης των ιδιοσυχνοτήτων είναι παρεμφερές, χωρίς να επηρεάζεται ιδιαίτερα σε κάθε μοντέλο ξεχωριστά. Η μικρότερη ιδιοσυχνότητα που συναντάται έχει τιμή 7,321303 Hz και αντιστοιχεί στο τέταρτο μοντέλο και η μεγαλύτερη έχει τιμή 124,637896 Hz όπου αντιστοιχεί στο δεύτερο μοντέλο και παρουσιάζει το μεγαλύτερο εύρος. Το μικρότερο εύρος τιμών αντιστοιχεί στο τρίτο μοντέλο με μέγιστη τιμή ιδιοσυχνότητας τα 55,95858
- Η ακολουθία των αποτελεσμάτων των μέγιστων μετατοπίσεων είναι αρκετά συναφή για όλα τα μοντέλα, ξεκινώντας με μεγάλες τιμές μετατόπισης στις πρώτες ιδιοσυχνότητες, στη συνέχεια ακολουθεί μία πτωτική πορεία και ακολούθως να ανακάμπτει εκ νέου. Παρατηρούμε ότι τα δύο πρώτα μοντέλα συγκλίνουν στις τιμές των ιδιοσυχνοτήτων που παρουσιάζουν τις μέγιστες μετατοπίσεις, καθώς κυμαίνονται κιόλας στο ίδιο εύρος οι τιμές τους. Το τρίτο μοντέλο και το τέταρτο κατ'επέκταση είναι αυτά που παρουσιάζουν κοινές αντιστοιχίες. Η μεγαλύτερη μέγιστη μετατόπιση εμφανίζεται στο τέταρτο μοντέλο με τιμή 7.26262 mm ενώ η μικρότερη επίσης στο τέταρτο με τιμή 7.26262 mm.
- Το φάσμα τιμών στις τάσεις Von Misses κυμαίνεται από 1.1646 MPa έως 5.2538 MPa. Οι δύο αυτές τιμές αποτελούν δηλαδή την μικρότερη και τη μέγιστη που προκύπτουν από την ανάλυση και αντιστοιχούν και οι δύο στο δεύτερο μοντέλο γεγονός ότι παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις. Το τρίτο μοντέλο και το τέταρτο παρουσιάζουν σχεδόν ίδια πορεία στις αυξομειώσεις των τιμών ενώ το πρώτο και το δεύτερο συγκλίνουν περισσότερο μεταξύ τους. Σε όλα τα μοντέλα από την κατανομή των τάσεων παρατηρούμε ότι αναπτύσσονται έντονα στον ορθοστάτη και στην βάση της τράπεζας
- Στα αποτελέσματα της παραμόρφωσης υπάρχει και εδώ μια κοινή ακολουθία για τα τέσσερα μοντέλα. Το φάσμα τους κυμαίνεται από 0.25085 έως 2.1917, όπου η τιμή της μικρότερης εμφανίζεται στο τέταρτο μοντέλο, ενώ η τιμή της μεγαλύτερης εμφανίζεται στο δεύτερο. Το πρώτο και το τρίτο μοντέλο παρουσιάζουν μεγάλη ομοιομορφία στις διακυμάνσεις, με το πρώτο να εμφανίζει λίγο μεγαλύτερες τιμές. Το τέταρτο μοντέλο αποκλίνει λίγο από τα υπόλοιπα καθώς στις τελευταίες ιδιοσυχνότητες εκφράζει αρκετά μεγάλες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα.

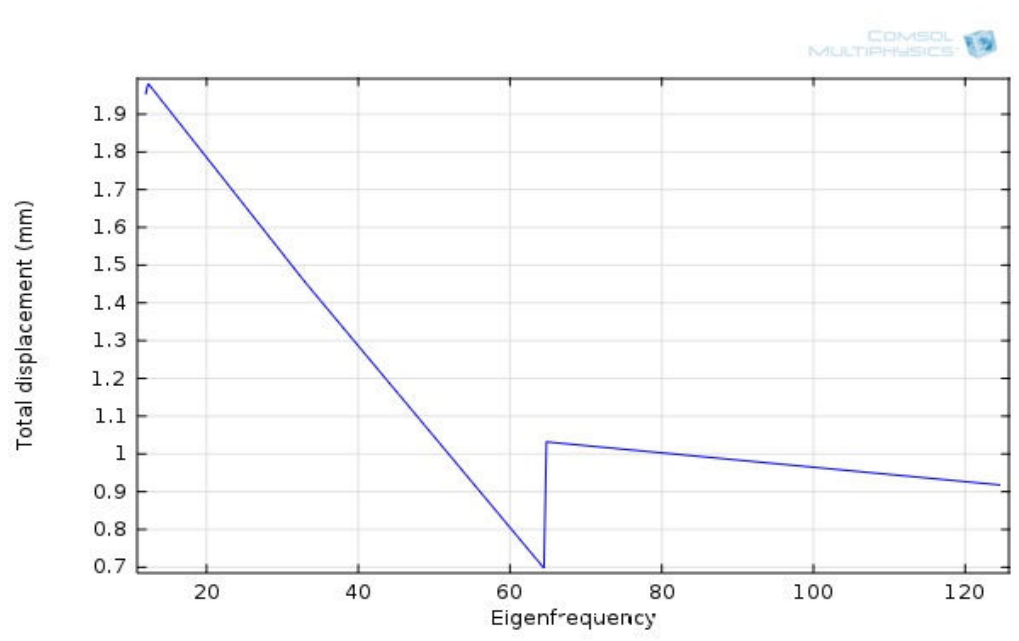
Ακολουθούν τα διαγράμματα του μέσου όρου μετατόπισης των μοντέλων

ΜΟΝΤΕΛΟ 1



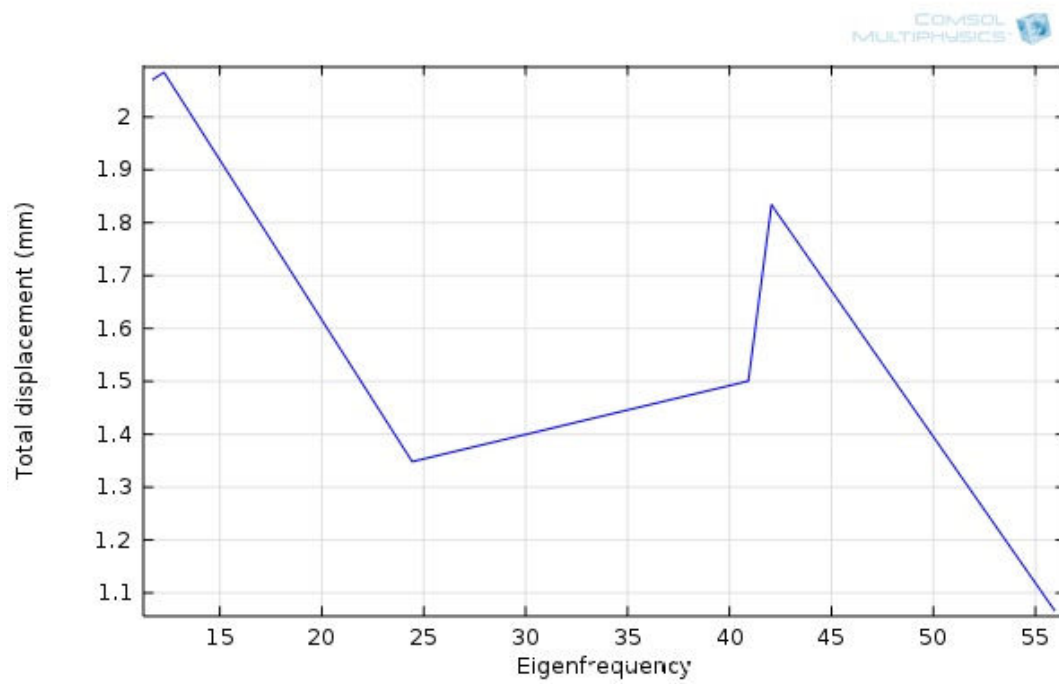
Διάγραμμα 7.2.5

ΜΟΝΤΕΛΟ 2



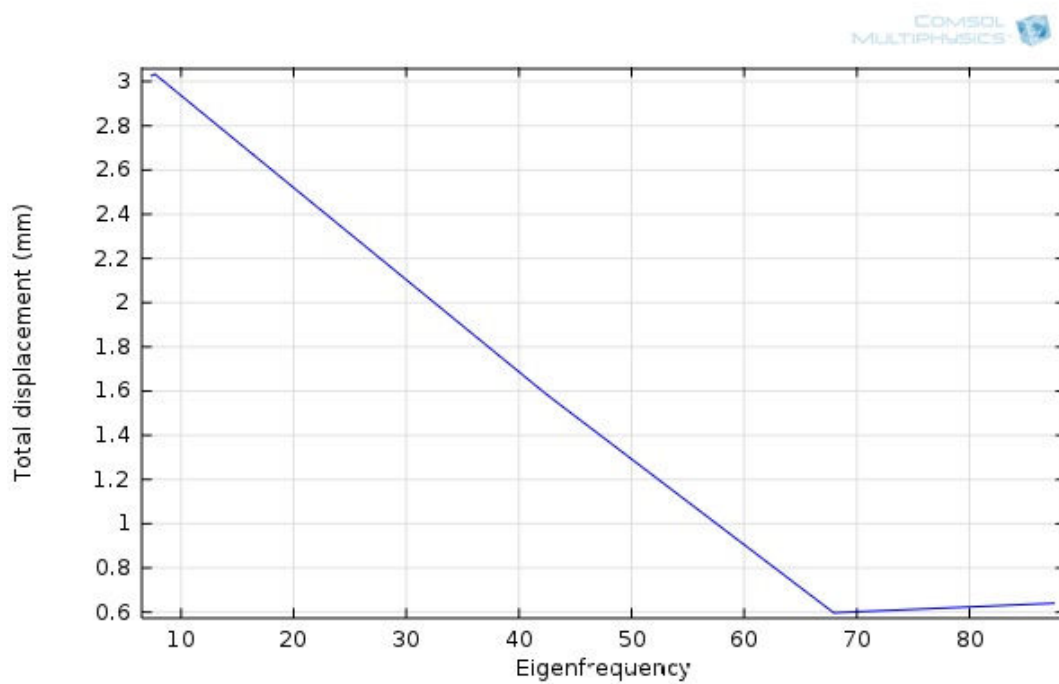
Διάγραμμα 7.2.6

ΜΟΝΤΕΛΟ 3



Διάγραμμα 7.2.7

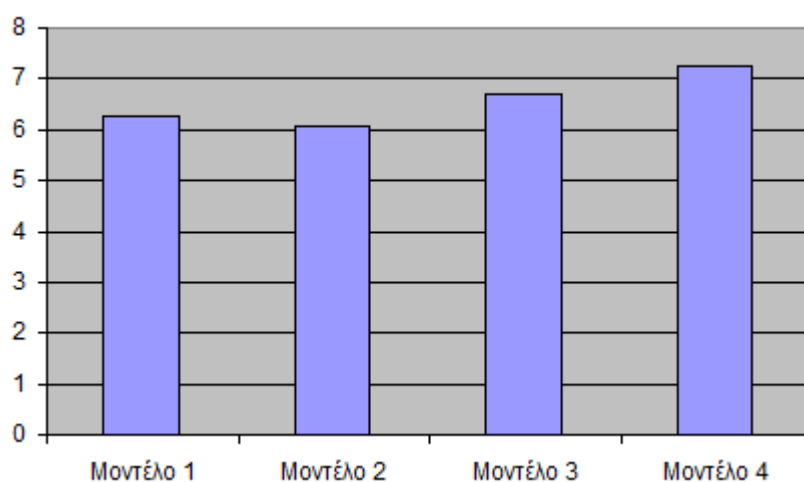
ΜΟΝΤΕΛΟ 4



Διάγραμμα 7.2.8

- Μελετώντας τα διαγράμματα της μέσης τιμής της μετατόπισης σε κάθε ιδιοσυχνότητα σε σύγκριση με τα διαγράμματα της μέγιστης μετατόπισης, παρατηρείται ότι σε πολλές ιδιομορφές των μοντέλων που μελετήθηκαν υπάρχουν μεγάλες τιμές μέγιστης μετατόπισης όπου αντιστοιχούν σε μικρές τιμές της μέσης μετατόπισης. Αυτό σημαίνει ότι στη συμπεριφορά των μοντέλων εκφράζονται ακραίες τιμές μετατόπισης σε μεμονωμένα μέρη της διάταξης, αφήνοντας σχεδόν ανεπηρέαστο το υπόλοιπο κομμάτι, γεγονός το οποίο φαίνεται και στις ιδιομορφές που προκύπτουν από τα αποτελέσματα της ανάλυσης. Η ίδια συμπεριφορά εκφράζεται και στα τέσσερα μοντέλα.
- Η πορεία της εμφάνισης της maximum τιμής της μέγιστης μετατόπισης όπως καθορίζεται διαδοχικά από τα τέσσερα μοντέλα, φαίνεται να ακολουθεί μια διαφορετική ακολουθία με την προηγούμενη ανάλυση. Παρατηρούμε ότι η προσθήκη μάζας βελτιστοποιεί τα αποτελέσματα των ακραίων μετατοπίσεων στο δεύτερο μοντέλο σε σχέση με το αρχικό, ενώ το τρίτο και το τέταρτο μοντέλο εκφράζουν μεγαλύτερες τιμές. Συμπερασματικά βλέπουμε ότι η μεταβολή της μάζας σε συνδυασμό στο σημείο στο οποίο πραγματοποιείται στη διάταξης επηρεάζει σημαντικά τη συμπεριφορά των μοντέλων. Το αποτέλεσμα φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί και στο διάγραμμα που τον εκφράζει.

(mm)	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Μέγιστη Μετατόπιση	6.24909	6.05133	6.69801	7.26262

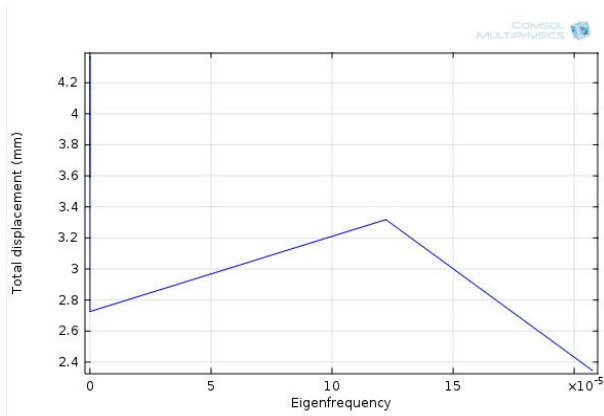


Maximum τιμών μέγιστης μετατόπιση

7.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΠΑΚΤΩΣΗ ΚΑΙ ΧΩΡΙΣ ΠΑΚΤΩΣΗ

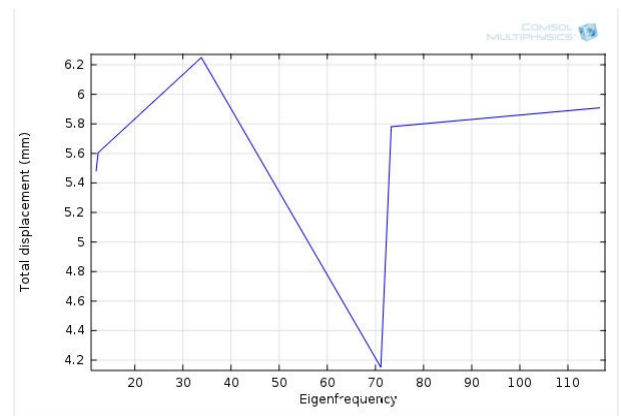
Διαγράμματα μέγιστης μετατόπισης

ΜΟΝΤΕΛΟ 1



Διάγραμμα 7.3.1

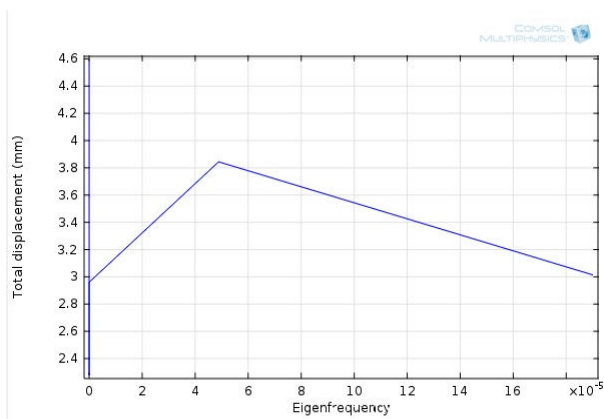
Χωρίς πάκτωση



Διάγραμμα 7.3.2

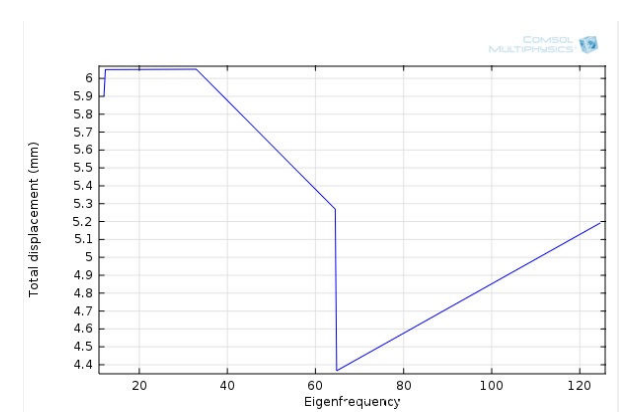
Με πάκτωση

ΜΟΝΤΕΛΟ 2



Διάγραμμα 7.3.3

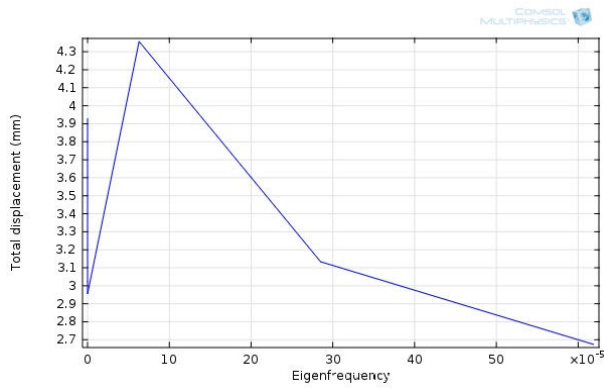
Χωρίς πάκτωση



Διάγραμμα 7.3.4

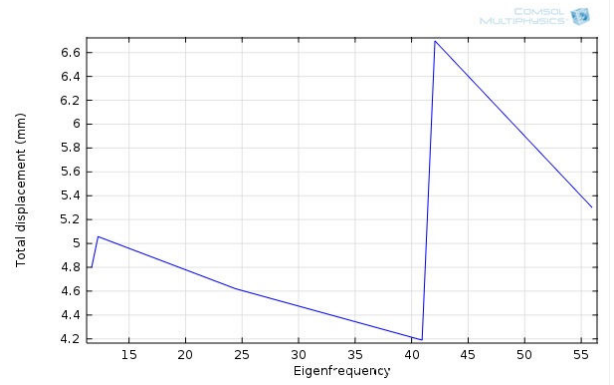
Με πάκτωση

ΜΟΝΤΕΛΟ 3



Διάγραμμα 7.3.5

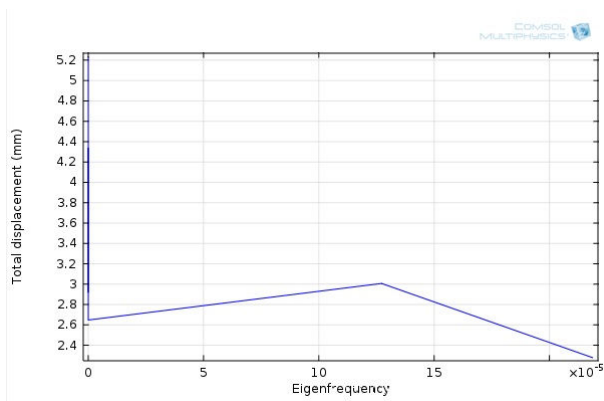
Χωρίς πάκτωση



Διάγραμμα 7.3.6

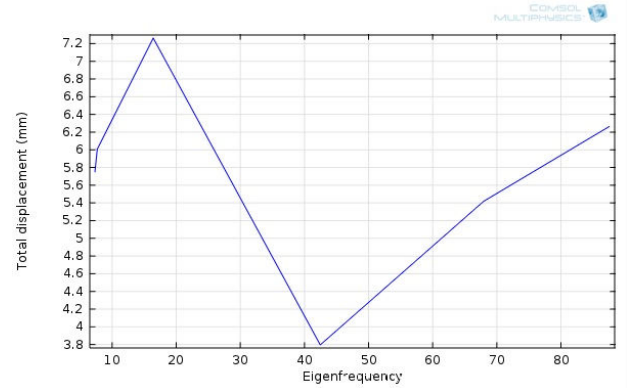
Με πάκτωση

ΜΟΝΤΕΛΟ 3



Διάγραμμα 7.3.7

Χωρίς πάκτωση



Διάγραμμα 7.3.8

Με πάκτωση

- Μετά από την σύγκριση που προκύπτουν από τα αποτελέσματα των δύο περιπτώσεων, παρατηρούμε ότι το εύρος των τιμών όπου εμφανίζονται οι πρώτες έξι ιδιοσυχνότητες στα ελεύθερα μοντέλα είναι κατά πολύ μικρότερο σε σχέση από τα μοντέλα με πάκτωση στη βάση. Στα ελεύθερα μοντέλα συναντάμε ένα φάσμα τιμών από 1.08918×10^{-4} Hz έως 6.19253×10^{-4} Hz, ενώ στα μοντέλα με πάκτωση στη βάση το φάσμα τιμών κυμαίνεται από 7,321303 Hz έως 124,637896 Hz αντίστοιχα. Αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι περεταίρω ανάλυση που έγινε στα ελεύθερα μοντέλα ανέδειξε το γεγονός ότι μετά από ένα σχετικά μεγάλο αριθμό ιδιοσυχνοτήτων κατάφεραν να προσεγγίσουν τις τιμές που συναντάμε στα μοντέλα με πάκτωση. Αυτό σημαίνει ότι τα ελεύθερα μοντέλα έχουν αρκετά περισσότερες και πιο χαμηλές τιμές διέγερσης σε σχέση με τα πακτωμένα μοντέλα
- Ωστόσο στο φάσμα των ιδιοσυχνοτήτων το οποίο έδωσαν τα αποτελέσματα της επεξεργασίας από το πρόγραμμα , στα ελεύθερα μοντέλα συναντάμε αρκετά πιο χαμηλές τιμές στις μέγιστες μετατοπίσεις. Η τιμή της μέγιστης μετατόπισης στα ελεύθερα φτάνουν μέχρι και 5.23878 mm, ενώ στα πακτωμένα αγγίζουν 7.26262 mm. Συνεπώς τα ελεύθερα διεγείρονται μεν σε μικρές τιμές ιδιοσυχνοτήτων αλλά παρουσιάζουν αισθητά μικρότερες τιμές.
- Όσον αφορά τις τάσεις Von Misses, παρατηρούμε ακόμα μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ τους. Το φάσμα στα ελεύθερα μοντέλα είναι 1.371×10^{-8} MPa έως 5.2538 MPa , ενώ στα πακτωμένα 145.95 MPa έως 985.99 MPa. Η κατανομή των τάσεων στα ελεύθερα εμφανίζεται σε πολύ συγκεκριμένα σημεία περιορισμένα στο μήκος της διάταξης σε σχέση με τα πακτωμένα που η κατανομή απλώνεται σε πολύ μεγαλύτερο μέρος του μοντέλου.
- Η παραμόρφωση επίσης στο φάσμα των ιδιοσυχνοτήτων που μελετήθηκαν, φαίνεται ότι τα ελεύθερα μοντέλα εμφανίζουν επίσης μικρότερες τιμές από τα μοντέλα με πάκτωση. Αυτό είναι φυσιολογικό καθώς οι τιμές της μέγιστης μετατόπισης κατανέμονται ομοιόμορφα στα ελεύθερα μοντέλα, ενώ στα πακτωμένα εκδηλώνονται ακραία σε διάφορα μέρη.
- Τέλος σημειώνεται ότι μια περεταίρω ανάλυση που έγινε στα ελεύθερα μοντέλα, προσεγγίζοντας τις τιμές των ιδιοσυχνοτήτων των πακτωμένων, έδειξε ότι επίσης για τις αντίστοιχες ιδιοσυχνότητες παρουσίασαν κατά γενική ακολουθία μικρότερες τιμές

7.4 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΣΕ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΑ ΜΕΡΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στην σύγκριση αποτελεσμάτων που ακολουθεί αφορά τα μοντέλα με πάκτωση στη βάση

1. ΤΡΑΠΕΖΑ

Ακολουθούν οι πίνακες των αποτελεσμάτων σε επίσης συγκεντρωτική μορφή

Οι τιμές της μέγιστης μετατόπισης

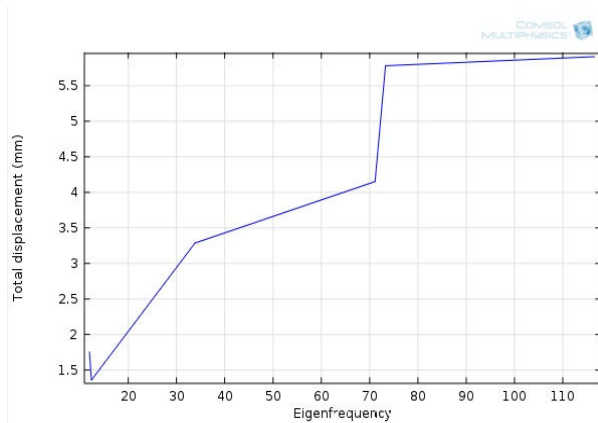
	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Ιδιοσυχνότητα 1	1.75562	2.12053	2.65085	1.58898
Ιδιοσυχνότητα 2	1.35756	1.74572	2.48306	1.39798
Ιδιοσυχνότητα 3	3.28671	4.15876	4.61985	2.18424
Ιδιοσυχνότητα 4	4.15121	5.26931	4.18948	3.60595
Ιδιοσυχνότητα 5	5.78082	4.36615	3.44882	5.41833
Ιδιοσυχνότητα 1	5.90866	5.19196	5.30144	6.26472

Οι τιμές του μέσου όρου της μετατόπισης

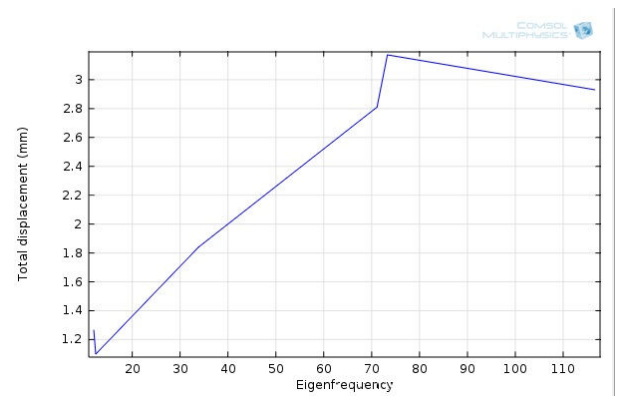
	Μοντέλο 1	Μοντέλο 1	Μοντέλο 1	Μοντέλο 1
Ιδιοσυχνότητα 1	1.26626	1.43868	1.86597	1.15451
Ιδιοσυχνότητα 1	1.09935	1.32557	1.85765	1.10466
Ιδιοσυχνότητα 1	1.83984	2.24047	2.53905	1.10003
Ιδιοσυχνότητα 1	2.81036	3.11923	2.62287	2.55758
Ιδιοσυχνότητα 1	3.17199	2.82089	1.98667	3.21637
Ιδιοσυχνότητα 1	2.93017	2.48539	2.57131	3.02068

Δίνονται τα διαγράμματα που εκφράζουν την μέγιστη μετατόπιση

ΜΟΝΤΕΛΟ 1

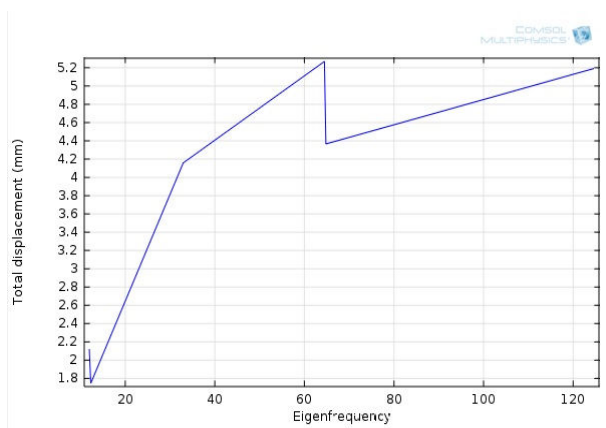


Διάγραμμα 7.4.1 Μέγιστη μετατόπιση

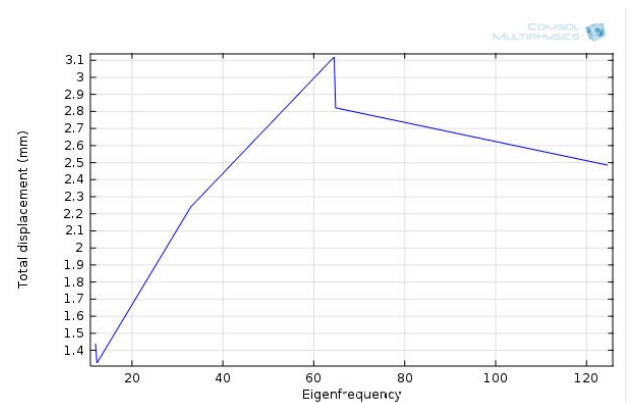


Διάγραμμα 7.4.2 Μέσος όρος μετατόπισης

ΜΟΝΤΕΛΟ 2

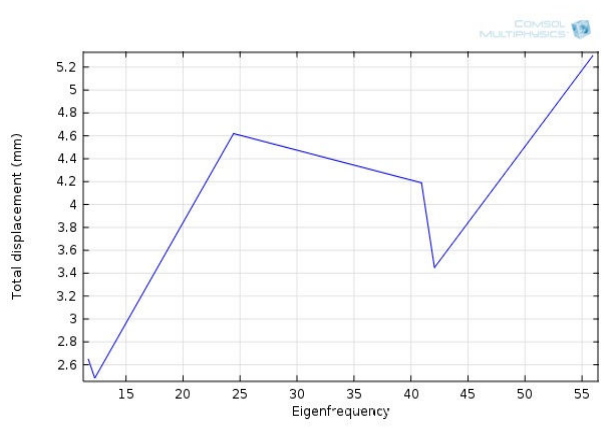


Διάγραμμα 7.4.3 Μέγιστη μετατόπιση

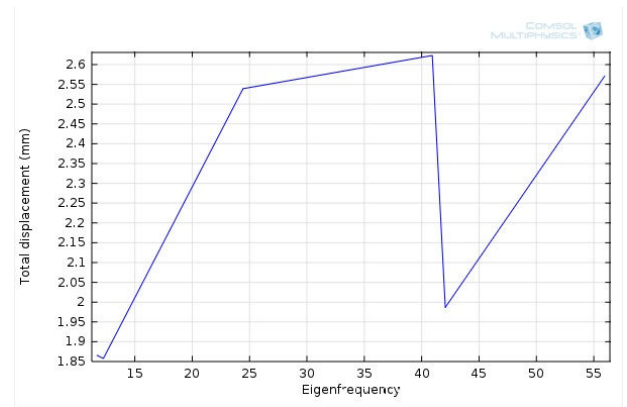


Διάγραμμα 7.4.4 Μέσος όρος μετατόπισης

ΜΟΝΤΕΛΟ 3

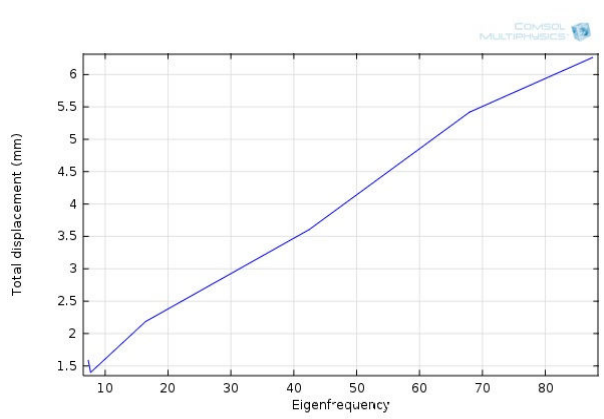


Διάγραμμα 7.4.5 Μέγιστη μετατόπιση

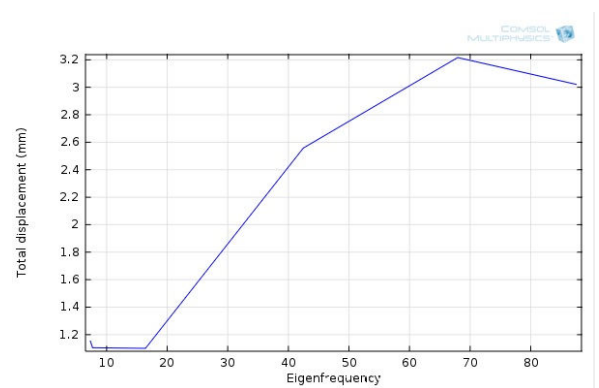


Διάγραμμα 7.4.6 Μέσος όρος μετατόπισης

ΜΟΝΤΕΛΟ 4



Διάγραμμα 7.4.7 Μέγιστη μετατόπιση



Διάγραμμα 7.4.8 Μέσος όρος μετατόπισης

2. ΚΕΦΑΛΗ

Ακολουθούν οι πίνακες των αποτελεσμάτων σε επίσης συγκεντρωτική μορφή

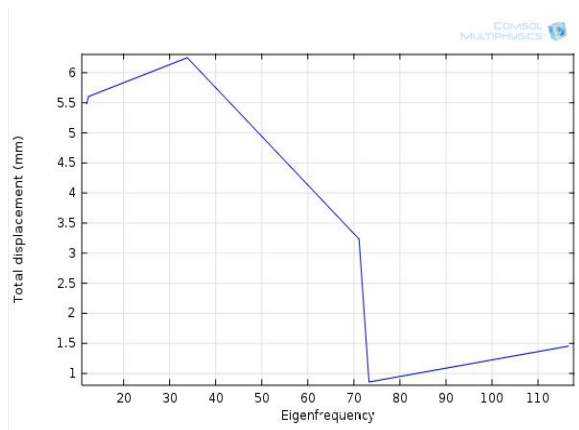
Οι τιμές της μέγιστης μετατόπισης

	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Ιδιοσυχνότητα 1	5.47946	5.89964	4.79856	5.74755
Ιδιοσυχνότητα 1	5.60428	6.04932	5.05725	6.00697
Ιδιοσυχνότητα 1	6.24909	6.05133	3.42271	7.26262
Ιδιοσυχνότητα 1	3.23425	1.97824	3.33194	3.79557
Ιδιοσυχνότητα 1	0.85828	3.38472	6.69801	1.33255
Ιδιοσυχνότητα 1	1.45504	3.25797	2.10001	1.4689

Οι τιμές του μέσου όρου της μετατόπισης

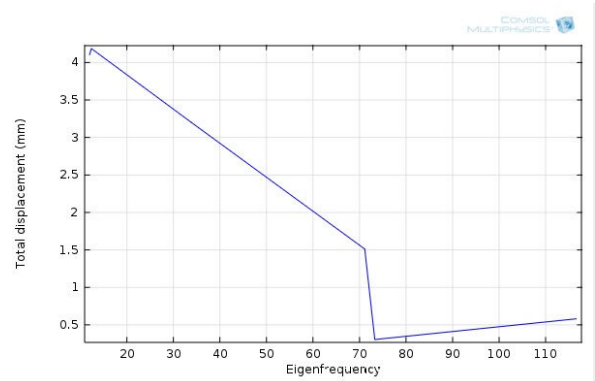
	Μοντέλο 1	Μοντέλο 2	Μοντέλο 3	Μοντέλο 4
Ιδιοσυχνότητα 1	4.1027	4.41724	3.64484	3.76457
Ιδιοσυχνότητα 1	4.1863	4.51338	3.68897	3.77496
Ιδιοσυχνότητα 1	3.20222	3.02409	1.33486	3.32874
Ιδιοσυχνότητα 1	1.51174	0.74086	1.51788	1.78362
Ιδιοσυχνότητα 1	0.30439	1.53463	3.10699	0.53292
Ιδιοσυχνότητα 1	0.58084	1.25991	0.68398	0.6162

ΜΟΝΕΛΟ 1



Διάγραμμα 7.4.9

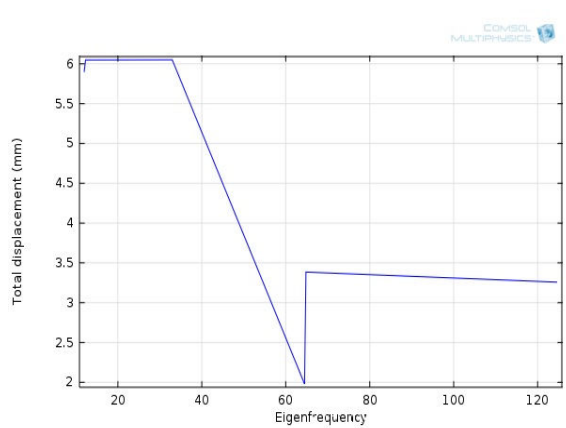
Μέγιστη μετατόπιση



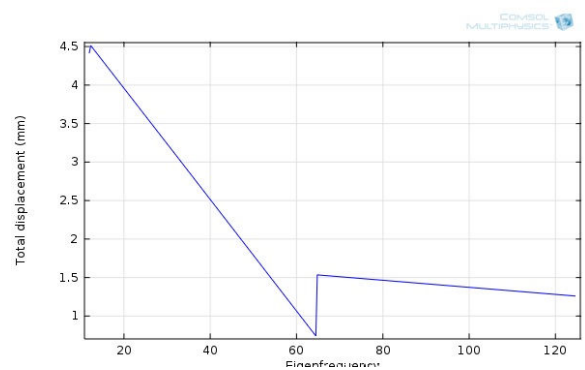
Διάγραμμα 7.4.10

M

ΜΟΝΤΕΛΟ 2

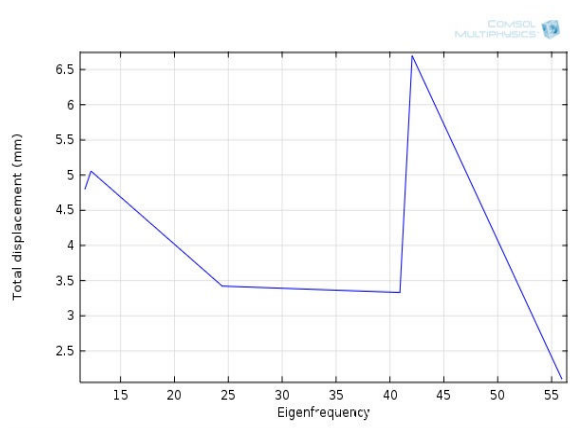


Διάγραμμα 7.4.11

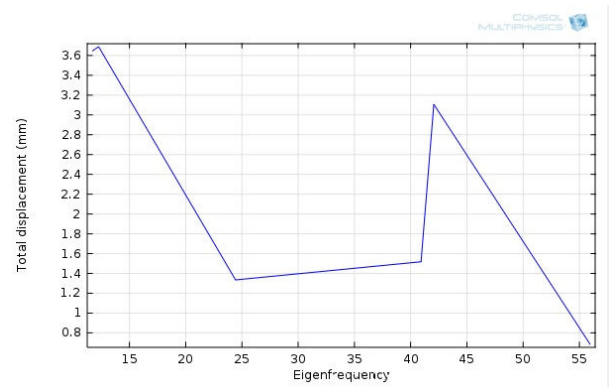


Διάγραμμα 7.4.12

ΜΟΝΤΕΛΟ 3

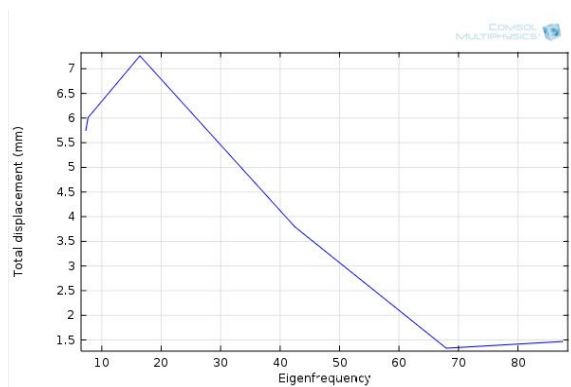


Διάγραμμα 7.4.13

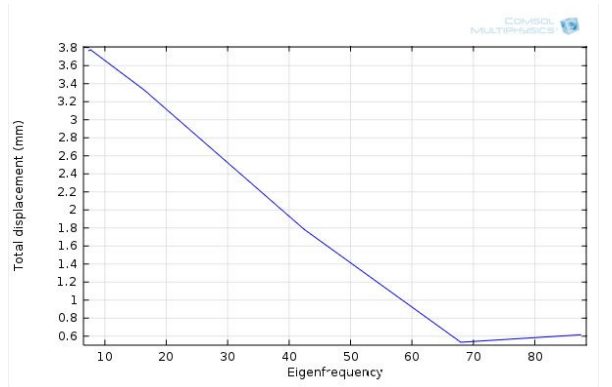


Διάγραμμα 7.4.14

ΜΟΝΤΕΛΟ 4



Διάγραμμα 7.4.15



Διάγραμμα 7.4.16

- Η ακολουθία των αποτελεσμάτων στην τράπεζα είναι παρεμφερής για όλα τα μοντέλα με μία μικρή απόκλιση στο τέταρτο. Σαν μία γενική εικόνα παρατηρούμε στην πρώτη ιδιοσυχνότητα μικρές τιμές της μέγιστης μετατόπισης, στην συνέχεια ακολουθείται μία ανοδική πορεία όπου λαμβάνει στις επόμενες μία σημαντική αύξηση. Στις μεσαίες ιδιοσυχνότητες υπάρχει μία μικρή πτώση για να κορυφωθεί στις τελευταίες, όπου σε αυτό το φάσμα εκφράζονται από κοινού και στα τέσσερα μοντέλα οι maximum τιμές της μετατόπισης αγγίζοντας την τιμή των 6.26472 mm. Στο τέταρτο μοντέλο, που αφορά την τροποποίηση της μάζας του στην κεφαλή παρατηρούμε μία συνεχόμενη άνοδο των τιμών χωρίς να υπάρχουν αυξομειώσεις στο ενδιάμεσο. Η συνολική εικόνα δείχνει ότι κατά γενική ομολογία η τράπεζα επηρεάζεται κυρίως στις δύο τελευταίες ιδιοσυχνότητες.
- Σε σύγκριση των διαγραμμάτων της μέγιστης μετατόπισης και του μέσου όρου βλέπουμε μια αντιστοιχία των τιμών στις μεγάλες τιμές που προκύπτουν. Αυτό σημαίνει ότι οι μετατοπίσεις στις αντίστοιχες ιδιοσυχνότητες αφορούν κυρίως την τράπεζα, χωρίς να επηρεάζεται ιδιαίτερα το υπόλοιπο κομμάτι του μοντέλου. Από τις εικόνες των ιδιομορφών είναι ακόμα πιο φανερό.
- Σχετικά με την κεφαλή τα αποτελέσματα επίσης εκφράζονται με μία αναλογία. Στις πρώτες δύο ιδιοσυχνότητες παρατηρούμε μεγάλες τιμές στις μετατοπίσεις με εξαίρεση το τρίτο μοντέλο που εμφανίζει τη μέγιστη τιμή στην τέταρτη ιδιοσυχνότητα. Στην συνέχεια όλα τα μοντέλα παρουσιάζουν μικρότερες τιμές για τις ιδιοσυχνότητες που ακολουθούν. Η μέγιστη τιμή αντιστοιχεί στο τέταρτο μοντέλο με την προσθήκη μάζας στο ίδιο το σώμα, γεγονός που το επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό ενώ την μικρότερη μέγιστη τιμή την εντοπίζουμε στο τρίτο μοντέλο. Συμπερασματικά η κεφαλή επηρεάζεται κυρίως από τις πρώτες ιδιοσυχνότητες.
- Τα διαγράμματα μέγιστης μετατόπισης και μέσο όρου για την κεφαλή παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά με αυτά της τράπεζας. Δηλαδή στις ιδιοσυχνότητες που έχουμε μεγάλες μετατοπίσεις στον μέσο όρο επηρεάζεται μόνο η κεφαλή, χωρίς να εκδηλώνονται ιδιαίτερα σε άλλα σημεία. Από τις εικόνες επίσης των ιδιομορφών γίνεται περισσότερο αντιληπτή η συμπεριφορά του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Οι δύο βασικοί τύποι ανάλυσης που πραγματοποιήθηκαν, στο ελεύθερο μοντέλο και στο μοντέλο με πάκτωση, χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς του σε διαφορετικές καταστάσεις. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και τη μελέτη που έγινε, παρατηρούμε ότι οι μεταβολές στη μάζα του επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά του. Η προσθήκη της μάζας δημιουργεί μεταβολές και στις τιμές των αποτελεσμάτων. Στις περισσότερες περιπτώσεις παρατηρείται σημαντική αύξηση. Ωστόσο σημαντικό ρόλο παίζει και το σημείο στο οποίο πραγματοποιείται η τροποποίηση της μάζας, καθώς υπάρχουν περιπτώσεις που μπορεί να προκύψει βελτιστοποίηση. Στις περιπτώσεις ξεχωριστά του ελεύθερου μοντέλου και του μοντέλου με πάκτωση, στη τροποποίηση του δεύτερου μοντέλου με προσθήκη μάζας παρατηρούμε μικρότερες μετατοπίσεις, κρίνοντας το πιο αποδοτικό από τα υπόλοιπα. Επίσης η μείωση των βαθμών ελευθερίας είναι ένα στοιχείο που επηρεάζει εξίσου τη γενική συμπεριφορά του μοντέλου. Η πάκτωση στη βάση αυξάνει τις τιμές των ιδιοσυχνοτήτων που διεγείρεται το μοντέλο αλλά προκαλεί αισθητά μεγαλύτερες μετατοπίσεις και τάσεις.

Μεγάλο ενδιαφέρον θα είχε η μοντελοποίηση του προβλήματος σε μια μαθηματική διατύπωση που θα αποσκοπούσε τη βελτιστοποίηση του μοντέλου. Αυτό θα απαιτούσε τη παραμετροποίηση της σχεδίασης ώστε να είναι δυνατό να πάρουμε τις εναλλακτικές της αλλάζοντας τις τιμές των παραμέτρων. Τα πιθανά εναλλακτικά αποτελέσματα θα παράγονταν με χρήση διαφορετικών συνόλων τιμών αυτών των παραμέτρων, δίνοντας με αυτό τον τρόπο ένα βέλτιστο δείκτη απόδοσης που έχει οριστεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Εργαλειομηχανές
Τσέας Γ.
2. Εισαγωγή στα πεπερασμένα στοιχεία για μηχανικούς.
Tirupathi R. Chandrupalta-Ashok D. Belegundu
- 3.. Στατική μηχανική του απαραμόρφωτου στερεού
Αναστασιος Χ. Χρυσάκης
4. Επιστήμη και τεχνολογία υλικών
William D. Callister,
5. Μελέτη και σχεδίαση με χρήση Η/Υ
Μπιλάλης Νικόλαος
6. Εγχειρίδιο Pro/Engineering
από το help desk του προγράμματος
7. Εγχειρίδιο του Comsol Multiphysics
Μέσω των εντολών βοήθειας του προγράμματος
8. Σημειώσεις μαθήματος Υπολογιστικής μηχανικής
Σταυρουλάκης Γ.Ε.

Χρήσιμα Site

1. www.michanikos.gr
2. www.comsol.com
3. www.wikipedia.org