



**ΑΝΩΤΑΤΟ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

Πτυχιακή Εργασία

**Του Σπουδαστή
Γεώργιου Μείμάρη
Του Εμμανουήλ
ΑΜ: 5891**

**Επιβλέπων καθηγητής: Χρηστάκης
Δημήτριος**

**Θέμα
Σχεδιασμός Μελέτη και Επίβλεψη
Κατασκευής Μικρής Ανεμογεννήτριας 1000
Watt**

Ηράκλειο 2016

Πίνακας περιεχομένων

1. Στοιχεία Σπουδαστή	5
2. Περίληψη.....	6
2.1 Πρόλογος.....	7
3. Εισαγωγή	8
3.1 Η αύξηση πωλήσεων στις μικρές ανεμογεννήτριες.....	8
3.2 Κατασκευαστές μικρών ανεμογεννητριών.....	9
3.3 Παράγοντες Παραγωγής Μικρών Ανεμογεννητριών	10
4. Βασικοί στόχοι του κατασκευαστικού σχεδιασμού μιας μικρής ανεμογεννήτριας.....	10
4.1 Κόστος.....	10
4.2 Αξιοπιστία και Αντοχή	11
4.3 Επισκευασιμότητα.....	11
4.4 Ασφάλεια λειτουργίας.....	12
5. Επίτευξη των στόχων	13
5.1 Κόστος.....	13
5.2 Αξιοπιστία και αντοχή	15
5.3 Επισκευσιμότητα.....	15
5.4 Ασφάλεια λειτουργίας.....	15
6. Παρουσίαση Ανεμογεννήτριας 1000 Watt	17
6.1 Οργάνωση των σχεδίων	17
6.2 Βάση (1100).....	17
6.2.1 Φλάντζα Βάσης (1101).....	20
6.2.2 Κάτω Έδρανο (1102).....	21
6.2.3 Κινητό Σώμα Βάσης (1103).....	21
6.2.4 Σταθερό Σώμα Βάσης (1104)	22
6.2.5 Πάνω Έδρανο (1105).....	22
6.2.6 Κινούμενη Βάση (1106).....	23
6.2.7 Βάση Έδρας Καλωδίου (1107).....	24
6.2.8 Στηρίγματα Άξονα (1108,1109)	24
6.2.9 Κύριος Άξονας (1110)	25
6.2.10 Έδρα Καλωδίου (1111)	25
6.2.11 Μελέτη ως προς τις Τάσεις.....	26
6.3 Μηχανισμός Φρένου (1200).....	27
6.3.1 Κινητήρας εμπορίου 12 volt, DC, 200 RPM (1201)	28
6.3.2 Βάση κινητήρα (1202)	29
6.3.4 Ιδανικός κοχλίας κίνησης (1203)	29
6.3.5 Κοχλιωτό έμβολο επενεργητή (1204)	30
6.3.6 Έδρα εμβόλου επενεργητή (1205)	30
6.3.7 Βάση Αρπάγων Φρένου (1206).....	32
6.3.8 Αρπάγες φρένου (1207).....	33
6.3.9 Δισκόπλακα (1208)	34
6.3.10 Αποστάτες δισκόπλακας (1209).....	35
6.3.11 Κεντρικός αποστάτης δισκόπλακας (1210)	36
6.3.12 Έμβολο φρένου (1211)	36
6.3.13 Πείρος στήριξης εμβόλου φρένου (1212)	37

6.4 Ουρά (1300).....	37
6.4.1 Βραχίονας ουράς (1301)	38
6.4.2 Αποστάτες ουράς (1302).....	39
6.4.3 Πτερύγια ουράς (1303).....	39
6.4.4 Μελέτη ως προς τις τάσεις	40
6.5 Μηχανισμός ελέγχου (1400)	41
6.5.1 Φλάντζα μπροστά (1401).....	43
6.5.2 Φλάντζα πίσω (1402).....	44
6.5.3 Έδρανο (1403)	44
6.5.4 Έδρανο συγχρονιστήρα (1404)	45
6.5.5 Πίσω έδρανο άξονα (1405)	45
6.5.6 Μπροστά έδρανο άξονα (1406).....	46
6.5.7 Συγχρονιστήρας Α (1407).....	46
6.5.8 Συγχρονιστήρας Β (1408).....	47
6.5.9 Στοπ συγχρονιστήρα (1409).....	47
6.5.10 Άκρο ελατηρίου (1410).....	48
6.5.11 Οδηγός ελατηρίου (1411).....	48
6.5.12 Οδηγός ελατηρίου (1412).....	49
6.5.13 Έδρανο φτερού (1413).....	49
6.5.14 Σφαιρικό Έδρανο (1414,1415)	50
6.5.15 Ακροαρθρώσεις (1416,1417)	50
6.5.16 Σώμα διωστήρα (1418)	51
6.5.17 Βάκτρο (1419)	52
6.5.18 Άξονας φτερού (1420).....	52
6.5.19 Πείρος βάκτρου (1421).....	53
6.5.20 Έδρανο κύλισης (1422).....	53
6.5.21 Ασφάλεια κατά DIN 7435 (1423)	54
6.5.22 Ελατήριο (1424)	54
6.5.23 Αποστάτης άξονα φτερού (1425)	55
6.6 Γεννήτρια (1500).....	55
6.6.1 Βάση Μαγνητών (1501).....	58
6.6.2 Αποστάτης Στάτη (1502)	58
6.6.3 Μαγνήτες (1503)	59
6.6.4 Στάτης (1504,1505).....	59
6.6.5 Βάση Στάτη (1506).....	60
6.6.6 Αποστάτες Φλαντζών (1507).....	60
6.6.7 Βάση Μαγνητών (1508).....	61
6.7 Φτερό (1600)	61
6.7.1 Σωλήνας Έδρασης Φτερού (1601).....	63
6.7.2 Συνδετήρας Φτερού (1602)	63
6.7.3 Κολιέ Συνδετήρα (1603)	64
6.7.4 Φτερό (1604).....	64
6.7.5 Πείρος Θέσης Φτερού (1605).....	65
6.8 Συναρμολογημένο σύνολο	66
7. Γεννήτρια – Δοκιμές Γεννήτριας	68
7.1 Ανάλυση Γεννήτριας (θεωρητικό μέρος)	68
7.1 Δοκιμές Γεννήτριας (Πειραματικό μέρος)	69
8. Μελλοντικές προοπτικές αυτού του έργου.....	72
9. Ευχαριστίες	73
10. Βιβλιογραφία.....	74

1. Στοιχεία Σπουδαστή

Σπουδαστής (Πλήρες Ονοματεπώνυμο)	Αριθμός Μητρώου	Ηλεκτρονική Διεύθυνση
Μειμάρης Γιώργος	5891	geomeimar@hotmail.gr

Επιβλέπων καθηγητής: Χρηστάκης Δημήτριος

2. Περίληψη

Μετά τον σχεδιασμό σε σειρά σκαριφημάτων και των υπολογισμό της αντοχής των κομματιών της Ανεμογεννήτριας, προχώρησα στον σχεδιασμό των κομματιών σε περιβάλλον SolidWorks. Μετά τα κομμάτια συνετέθησαν σε συναρμολογημένα σύνολα και τελικά ο σχεδιασμός ολοκληρώθηκε με την ολοκληρωμένη παρουσίαση της ΑΓ.

Ο επόμενος στόχος ήταν η βελτιστοποίηση και η κατασκευή αυτής της ανεμογεννήτριας. Η βελτιστοποίηση επετεύχθη με την αλλαγή της γεωμετρίας των περισσότερων εξαρτημάτων διότι δεν μπορούσαν με τα μηχανήματα που έχουμε στο εργαστήριο να κατασκευαστούν, αλλά και κύριος παράγοντας της βελτιστοποίησης αυτής είναι το κόστος το οποίο στον αρχικό σχεδιασμό ήταν πολύ μεγαλύτερο.

Η ανεμογεννήτρια σχεδιάστηκε συνολικά και αποτελείται από έξη σύνολα, την βάση, την ουρά, τον μηχανισμό ελέγχου, την πτερύγωση, το φρένο και την γεννήτρια. Τα σύνολα αυτά σχεδιάστηκαν ως λειτουργικές ενότητες. ;Ολος σχεδιασμός έγινε σε επίπεδο εργαστηριακού πρωτοτύπου με δυνατότητες να εξελιχτεί σε βιομηχανικό πρωτότυπο σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς.

Summary

A 1kW small wind turbine (sWT) was designed and constructed. Following an existing concept, and the strength calculation of the main parts, the sWT was drawn in the Solid Works environment. The parts were assembled and presented in the frame of this graduate thesis.

Next target after the first drawing was the optimization and the construction of the parts. Most of the parts were changed and their geometry redesigned to fit both cost and strength criteria. The parts were constructed in the Wind Energy lab.

The sWT is composed of six assemblies, the nacelle, the brake, the tail, the passive control mechanism, the blades and the generator. The assemblies were designed as integrated functional entities suitable to be redesigned as industrial product according to the international norms.

2.1 Πρόλογος

Σχεδιάστηκε μια Ανεμογεννήτρια 1,00 kW. Η κατασκευαστική σύνθεση της Α/Γ είχε προηγηθεί από τον καθ. κ. Χρηστάκη Δημήτρη.

Την μελέτη της γεννήτριας την έκανε η Μαρία Μητροπούλου φοιτήτρια του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πάτρας για την διεκπεραίωση της πτυχιακής της εργασίας. Οι δοκιμές της γεννήτριας πραγματοποιήθηκαν από τον Adrien Prevost φοιτητή του τμήματος ηλεκτρολόγων μηχανικών του πανεπιστημίου IUT Lyon 1 – Departement GEii και από τον Alexandre Gadois φοιτητής του τμήματος ηλεκτρολόγων μηχανικών του πανεπιστημίου ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE L'UNIVERSITE FRANÇOIS RABELAIS DE TOURS Spécialité Electronique et systèmes de l'énergie électrique.

Έπειτα το φτερό και το καλούπι του, μελετήθηκε αλλά και σχεδιάστηκε από τον Νικήτα Παπακώστα φοιτητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΤΕΙ Ηρακλείου, την περίοδο της πρακτικής του άσκησης. Στην πορεία κατασκευάστηκε από τον κ. Αγαπητό Ατζολετάκη στην ΒΙ.ΠΕ Ηρακλείου, όπου με την βοήθεια του, την βοήθεια του εργαστήριου αιολικής ενέργειας αλλά και την βοήθεια του εργαστηρίου ρομποτικής και CNC, επιτεύχθηκε η κατασκευή της ανεμογεννήτριας.

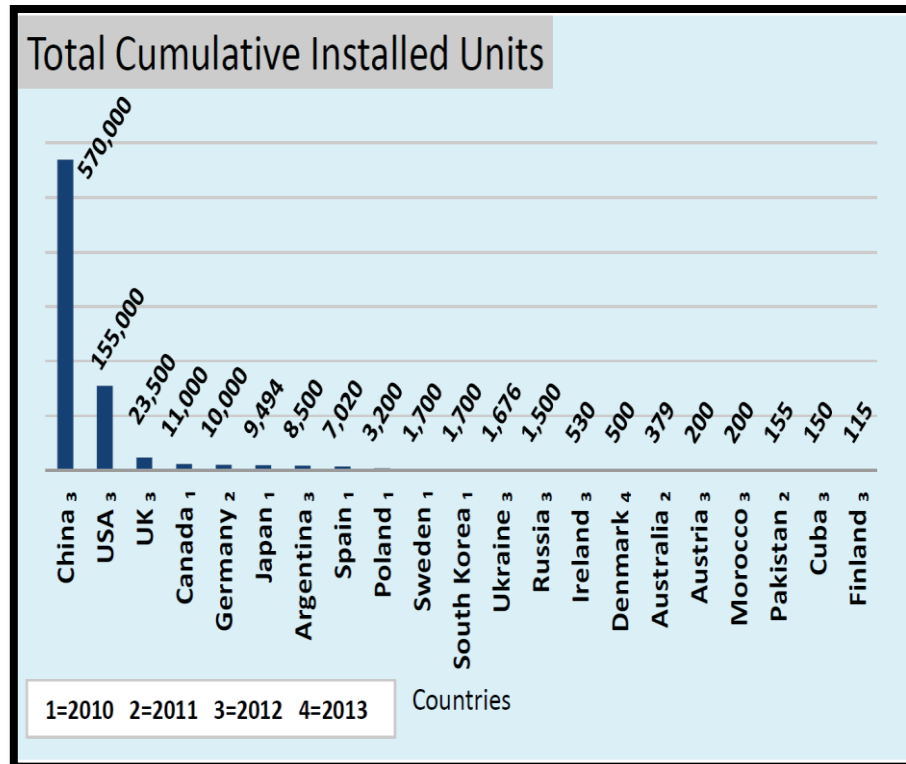
3. Εισαγωγή

3.1 Η αύξηση πωλήσεων στις μικρές ανεμογεννήτριες

Η παγκόσμια αγορά για τις μικρές ανεμογεννήτριες όλο και αυξάνεται. Μέχρι το τέλος του 2012 ο αριθμός των μικρών ανεμογεννητριών που εγκαταστάθηκαν παγκοσμίως έφτασε τις 806.000. Πρόκειται για μια αύξηση του 10% σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος. Το μεγαλύτερο μέρος της αύξησης οφείλεται κυρίως σε τρεις χώρες:

- A) Κίνα
- B) ΗΠΑ
- Γ) Ηνωμένο Βασίλειο

Η κατάσταση αυτή αποτελεί σαφή ένδειξη ότι η παγκόσμια αγορά για τις μικρές ανεμογεννήτριες είναι ακόμα σε νηπιακό στάδιο. Στις υπόλοιπες χώρες το νούμερο των εγκατεστημένων ανεμογεννητριών απέχει πολύ από το μέγεθος της αγοράς που θα επιτρέψει στις εταιρείες μια μαζική παραγωγή. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η παραγωγή μικρών ανεμογεννητριών ανά χώρα



Διάγραμμα 3.1.1

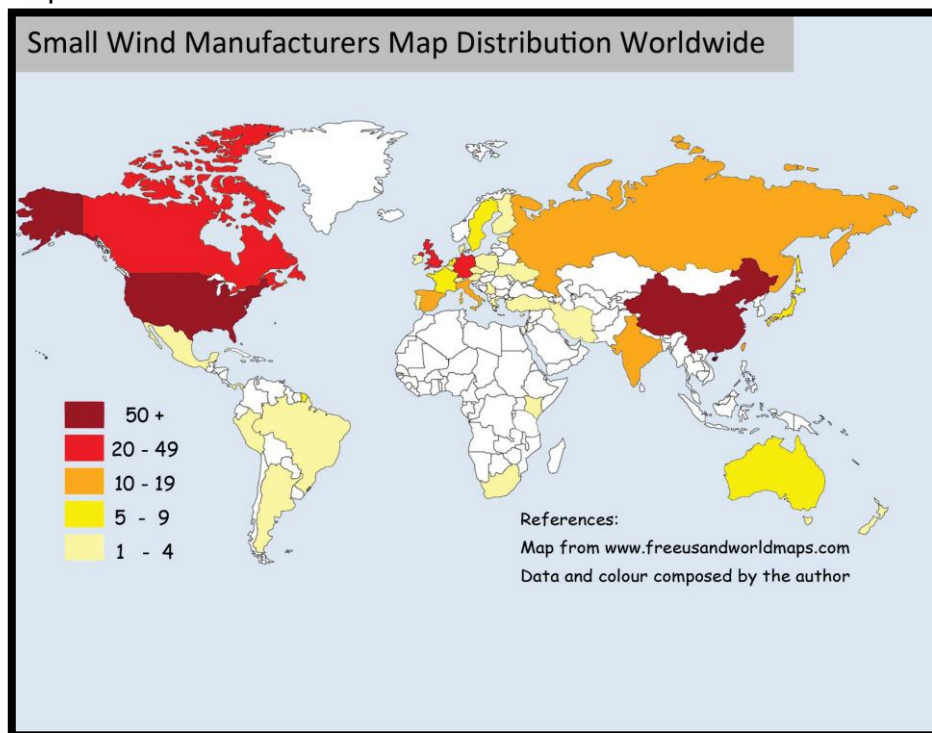
Η Κίνα είναι η μακράν μεγαλύτερη πωλήτρια μικρών ανεμογεννητριών παγκοσμίως. Μέχρι το τέλος του 2012 ο αριθμός των μικρών ανεμογεννητριών από 70.000 ανέβηκε σε 570.000 εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες. Η δεύτερη μεγαλύτερη πωλήτρια μετά την Κίνα είναι η Αμερική με 155.000 εγκατεστημένες μικρές ανεμογεννήτριες και έπειτα είναι το Ηνωμένο Βασίλειο, ο Καναδάς, η Γερμανία, η Ιαπωνία και η Αργεντινή όπου ο συνολικός τους αριθμός ανέρχεται μεταξύ 7.000 και 23.500 μονάδες.

3.2 Κατασκευαστές μικρών ανεμογεννητριών

Πέντε χώρες (Καναδάς, Κίνα, Γερμανία και ΗΠΑ) αντιπροσωπεύουν πάνω του 50 % των κατασκευαστών των μικρών ανεμογεννητριών. Μέχρι το τέλος του 2011 υπάρχουν πάνω από 300 κατασκευαστές που έχουν εντοπιστεί στον κόσμο και προσφέρουν πλήρες συστήματα παραγωγής στο εμπόριο. Επίσης πάνω από 300 επιπλέον επιχειρήσεις προμηθεύουν ανταλλακτικά και την τεχνολογία.

Με βάση την παγκόσμια διανομή των κατασκευαστών, η παραγωγή των μικρών ανεμογεννητριών παραμένει συγκεντρωμένη σε μερικές περιοχές του κόσμου: Στην Κίνα, στην Βόρειο Αμερική και σε αρκετές ευρωπαϊκές χώρες. Οι αναπτυσσόμενες χώρες εξακολουθούν να έχουν δευτερεύοντα ρόλο στην κατασκευή μικρών ανεμογεννητριών. Συγκεκριμένα περιοχές στην Αφρική, Νοτιοανατολική Ασία και Λατινική Αμερική είναι ιδανικές για την εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών αλλά δεν έχουν αξιοποιηθεί μέχρι τώρα.

Παρόλα αυτά, σε γενικές γραμμές, η μικρή αιολική βιομηχανία έχει επιδείξει αξιοσημείωτη ανάπτυξη κατά την τελευταία δεκαετία, καθώς το ενδιαφέρον των καταναλωτών είναι μεγάλο και πολλές νέες εταιρείες έχουν εισέλθει στον τομέα.



Χάρτης 3.2.1: Κατασκευαστές μικρών ανεμογεννητριών

Περισσότεροι από 120 νέοι κατασκευαστές μικρών ανεμογεννητριών ιδρύθηκαν μεταξύ του 2000 και του 2010 σε όλο τον κόσμο. Η Κίνα έχει από μόνη της μια εξαιρετική δυναμικότητα παραγωγής άνω των 180.000 μονάδων ετησίως από το 2011.

3.3 Παράγοντες Παραγωγής Μικρών Ανεμογεννητριών

Κύριοι παράγοντες στην παραγωγή μικρών ανεμογεννητριών όπου εξαρτάται και το μέλλον της μικρής βιομηχανίας αιολικής ενέργειας είναι οι εξής:

- A) Κόστος τεχνολογίας
- B) Ψήφιση υποστηρικτικών πολιτικών και οικονομικών κινήτρων
- Γ) Οι τιμές των ορυκτών καυσίμων
- Δ) Το ενδιαφέρον των επενδυτών
- Ε) Την ευαισθητοποίηση των καταναλωτών
- ΣΤ) Πιστοποίηση και διασφάλιση της ποιότητας
- Z) Εργαλεία αξιολόγησης ανέμου

Το κόστος είναι ο ένας από τους κύριους παράγοντες όσον αφορά την διάδοση των μικρών ανεμογεννητριών σε όλο τον κόσμο.

Στις ΗΠΑ, οι εκτιμήσεις για το κόστος των πρώτων δέκα εγκατεστημένων μικρών ανεμογεννητριών το 2011 κυμάνθηκε μεταξύ 2.300 \$ ανά kW και 10.000 \$ ανά kW. Επίσης το μέσο κόστος της εγκατάστασης όλων των μικρών ανεμογεννητριών ήταν 6.040 \$ ανά kW. Η κινέζικη μικρή αιολική βιομηχανία απέδωσε ένα σημαντικά χαμηλότερο μέσο όρο των 12.000 Yuan ανά kW (1.900 USD – 1.500 EUR)

4. Βασικοί στόχοι του κατασκευαστικού σχεδιασμού μιας μικρής ανεμογεννήτριας

4.1 Κόστος

Βασικό ρόλο για τον σχεδιασμό και την κατασκευή μιας μικρής ανεμογεννήτριας παίζει το κόστος. Γενικότερα σε όλες τις κατασκευές, ένας καταξιωμένος κατασκευαστής είναι υποχρεωμένος να κατασκευάσει ένα προϊόν το οποίο να είναι αξιόπιστο και να έχει όσο το δυνατότερο πιο χαμηλό κόστος.

Το πόσο μπορεί να κατέβει το κόστος επιτυγχάνεται από έρευνες αγοράς. Ένα από τα κύρια αποτελέσματα της έρευνας αγοράς είναι τα κόστη του προϊόντων των ανταγωνιστών. Βλέποντας αυτά τα κόστη ο κατασκευαστής γνωρίζει που περίπου κυμαίνεται το κόστος του προϊόντος του. Αν μπορέσει ο κατασκευαστής, με την ίδια αξιοπιστία, να κατεβάσει το κόστος σε σχέση με το κόστος των ανταγωνιστών τότε σίγουρα θα είναι ένα επιτυχημένο προϊόν. Από την άλλη πλευρά αν όμως το κόστος είναι πολύ μεγαλύτερο από το κόστος των ανταγωνιστών τότε θα αποτύχει.

Τα ίδια όσον αφορά το κόστος ισχύουν και στις μικρές ανεμογεννήτριες. Ο κατασκευαστής μικρών ανεμογεννητριών απευθύνεται σε πιο ευρύ κοινό απ' ότι ένας κατασκευαστής ανεμογεννητριών μεγάλης ισχύος διότι το κόστος είναι πολύ μικρότερο και επίσης μπορούν να τοποθετηθούν εύκολα και γρήγορα παντού. Υπάρχουν πολλοί πελάτες οι οποίοι αγοράζουν μικρές ανεμογεννήτριες και τις τοποθετούν σε σπίτια, σε σκάφη κ.τ.λ.

Το επόμενο βήμα είναι οι κατασκευαστές να ρίξουν ακόμα περισσότερο το κόστος των μικρών ανεμογεννητριών ώστε να έχει την δυνατότητα το κάθε σπίτι να παρέχει την δική του ενέργεια.

4.2 Αξιοπιστία και Αντοχή

Ένας απλός πελάτης όταν επιθυμεί να αγοράσει ένα προϊόν, δυο πράγματα τον ενδιαφέρουν, η αξιοπιστία του προϊόντος και το κόστος του.

Η αξιοπιστία και η αντοχή είναι δύο σημαντικοί στόχοι του κατασκευαστή. Στη φάση του σχεδιασμού ενός προϊόντος, για την αξιοπιστία και την αντοχή του προϊόντος είναι υπεύθυνος ο σχεδιαστής.

Για να σχεδιαστή ένα προϊόν ο σχεδιαστής είναι υποχρεωμένος να μελετήσει το προϊόν και όλα τα μέρη τα οποία αποτελείται ως προς την αντοχή τους. Αυτές οι μελέτες γίνονται με μεγάλη ακρίβεια και με σειρά πολλών επαναλήψεων ώστε να αποφευχθεί το λάθος. Αν υπάρξει λάθος τότε θα φέρει συνέπειες οι οποίες φέρουν κακό στην εταιρεία αλλά και στον ίδιο τον σχεδιαστή.



Εικόνα 4.2.1

4.3 Επισκευασιμότητα

Οι κατασκευαστές των ανεμογεννητριών γνωρίζουν ότι μετά από κάποιο χρόνο λειτουργίας της μηχανής, η ανεμογεννήτρια πρέπει να αποσυναρμολογηθεί είτε για κάποια βλάβη που έχει προκύψει είτε για μια απλή συντήρηση. Σε αυτό το σημείο ο κατασκευαστής αντιλαμβάνεται την χρησιμότητα της έννοιας της επισκευασιμότητας.

Στο στάδιο του σχεδιασμού, ένας άλλος ρόλος του σχεδιαστή είναι να σχεδιάσει το προϊόν έτσι ώστε να συναρμολογείται και να αποσυναρμολογείται γρήγορα και απλά χρησιμοποιώντας κυρίως απλά εργαλεία που θα μπορούν να βρεθούν σε κάθε σπίτι ώστε σε περίπτωση μιας

πολύ μικρής βλάβης να μπορεί ο αγοραστής με τα εργαλεία του και με την βοήθεια του κατασκευαστή να την επιλύσει.

Με αυτό τον τρόπο οι τεχνικοί συντηρήσεων κερδίζουν πολύτιμο χρόνο όσον αφορά τις βλάβες και τις συντηρήσεις των μικρών ανεμογεννητριών.



Εικόνα 4.3.1: [3]

4.4 Ασφάλεια λειτουργίας

Στις μικρές ανεμογεννήτριες όπου απευθύνονται σε ευρύ κοινό και υπάρχουν ακόμα και σε σπίτια, δεν επιτρέπονται λάθη όσον αφορά την αντοχή και την αξιοπιστία των εξαρτημάτων της, διότι το λάθος αυτό μπορεί να κοστίσει ακόμη και ανθρώπινη ζωή. Γι' αυτό το λόγο οι κατασκευαστές δίνουν μεγάλη έμφαση στην αντοχή και στην αξιοπιστία μιας μικρής ανεμογεννήτριας.

Με λίγα λόγια η ασφαλής λειτουργία μιας οποιαδήποτε μηχανής κατά μεγάλο ποσοστό εξαρτάται από τον κατασκευαστή, αλλά εξαρτάται επίσης και από τον αγοραστή της μηχανής διότι όσο και αν είναι καλή και αξιόπιστη, αν δεν πραγματοποιηθεί η κατάλληλη συντήρηση θα υπάρξουν βλάβες.



Εικόνα 4.4.1: [3]

5. Επίτευξη των στόχων

5.1 Κόστος

Όταν ολοκληρώθηκε ο αρχικός σχεδιασμός, επόμενος στόχος ήταν η βελτιστοποίηση της ανεμογεννήτριας και η μείωση του κόστους κατασκευής της. Η μείωση του κόστους επετεύχθη κυρίως με αλλαγές στην γεωμετρία των περισσότερων εξαρτημάτων κατεβάζοντας με αυτό τον τρόπο κατακόρυφα το κόστος σε σχέση με τον αρχικό σχεδιασμό.

Αριθμός	Υλικό	Μήκος(mm)	Τεμάχια	Σύνολο Τιμές + ΦΠΑ (€)
1	Άξονας στρέψεως Φ50	330	1	28,11
2	Άξονας στρέψεως Φ20	195	3	7,1

Σχεδιασμός Μελέτη και Επίβλεψη Κατασκευής Μικρής Ανεμογεννήτριας 1000 W

3	Άξονας Μολυβδούχος Φ15	45	6	1,1
4	Άξονας Μολυβδούχος Φ16	95	3	2,38
5	Άξονας Μολυβδούχος Φ25	110	3	9,92
6	Άξονας Μολυβδούχος Φ30	35	5	2,99
7	Άξονας Μολυβδούχος Φ50	292	3	2,09
8	Άξονας Μολυβδούχος Φ50	15	1	0,88
9	Άξονας Μολυβδούχος Φ70	46	3	2,74
10	Άξονας Μολυβδούχος Φ70	8	1	0,98
11	Τετράγωνο Μολυβδούχο 10X10	90	6	30,38
12	Τετράγωνο Μολυβδούχο 20X20	97	3	6,22
13	Άξονας Μαύρος Φ250 (Κατασκευών)	10	1	8,54
14	Άξονας Αλουμινίου Φ80	22	1	16,16
15	Μπρούτζινος Διάτρητος Φ82/Φ46	25	2	40,73
16	Μπρούτζινος Διάτρητος Φ82/Φ46	23	2	11,24
17	Διάτρητο Μαύρο Φ120/Φ60	90	1	11,47
18	Διάτρητο Μαύρο Φ65/Φ45	128	1	3,69
19	Διάτρητο Μαύρο Φ80/Φ55	130	1	4,47
20	Σωλήνα Μαύρη Φ50 με 5mm	45	1	9,5448
21	Σωλήνα Μαύρη Φ40 με 5mm	168	3	12,54
22	Ανοξείδωτη Λαμαρίνα Φ250	10	1	27,06
23	Λαμαρίνα για Φλάντζα		1	7,38
24	Λάμα 10mm		2	7,38
25	Λαμαρίνα 8 mm	50x50	2	50
26	Στρατζαριστό 60x30	5000	1	10
27	Ρούλεμαν 63009-2RS1 45/75/23 (CH)		1	12,3
28	Ρούλεμαν 6208-2RS1 40/80/18		1	12,054
29	Ρούλεμαν 61812-2RS1 60/78/10 (CH)		3	36,9
30	Rod end (Δ)		4	14,76
31	Rod end (Α)		6	22,14
32	Μαγνήτες		36	700
33	Σύρμα για πηνία Φ0,5		1	48
34	Σύρμα για πηνία Φ1,2		1	59,2
35	Διάφορα άλλα			50

Σύνολο	1270,45
---------------	----------------

Πίνακας 5.1.1

Στο πίνακα 4.1.1 παρουσιάζονται οι τιμές των υλικών χωρίς τις κατεργασίες τους. Το μεγαλύτερο ποσοστό των εξαρτημάτων της ανεμογεννήτριας αυτής κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο αιολικής ενέργειας του ΤΕΙ Ηρακλείου γι' αυτό τον λόγο δεν υπάρχουν τιμές από τις κατεργασίες των εξαρτημάτων. Επίσης κάποια ακόμα εξαρτήματα κατασκευάστηκαν από το εργαστήριο ρομποτικής και CNC επίσης του ΤΕΙ Ηρακλείου και ένα πολύ μικρό ποσοστό εξαρτημάτων κατασκευάστηκαν από ιδιώτες κατασκευαστές.

5.2 Αξιοπιστία και αντοχή

Η εξασφάλιση της αντοχής και της αξιοπιστίας είναι από τους πιο σημαντικούς στόχους του κάθε κατασκευαστή. Όλα τα εξαρτήματα έχουν μελετηθεί ένα προς ένα ως προς την αντοχή τους με απλούς υπολογισμούς, αλλά και κάποια άλλα πιο σύνθετα εξαρτήματα έχουν μελετηθεί με πεπερασμένα στοιχεία.

Σύμφωνα με αυτές τις μελέτες ως προς την αντοχή η ανεμογεννήτρια αυτή είναι μεγάλης αντοχής με ένα συντελεστή ασφαλείας ικανοποιητικό.

Ως προς την αξιοπιστία της μηχανής θα πρέπει να περάσει μια σειρά δοκιμών σε πραγματικές συνθήκες ώστε να βγουν τα τελικά συμπεράσματα.

5.3 Επισκευσιμότητα

Στη φάση του σχεδιασμού της μηχανής σκοπός ήταν να ληφθεί υπόψη η έννοια της επισκευσιμότητας. Στόχος ήταν η μηχανή να συναρμολογείται και να αποσυναρμολογείται εύκολα και από τον καθένα.

Κάθε εξάρτημα της μηχανής είναι ανεξάρτητο από τα άλλα και με λίγα λόγια σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης ο τεχνικός συντήρησης δεν χρειάζεται να αποσυναρμολογήσει όλα τα εξαρτήματα παρά μόνο αυτό που υπέστη βλάβη εκτός βέβαια και αν η βλάβη είναι τέτοια ώστε να χρειάζονται αποσυναρμολόγηση όλα τα εξαρτήματα.

Επιπλέον όλη η ανεμογεννήτρια συνδέεται με λίγες και άπλες βίδες που σημαίνει ότι ο αγοραστής σε περίπτωση μιας μικρής βλάβης μπορεί με εργαλεία που υπάρχουν σε κάθε σπίτι να εντοπίσει την βλάβη και σε επικοινωνία με τον τεχνικό να την λύση.

5.4 Ασφάλεια λειτουργίας

Εφόσον η ανεμογεννήτρια, αν βγει στην αγορά, προορίζεται κυρίως για σπίτια, μεγάλος στόχος είναι η ασφαλής λειτουργία της. Η ασφαλής λειτουργία εξασφαλίστηκε από πολλές μελέτες ως προς την αντοχή των εξαρτημάτων.

Επίσης ορισμένα εξαρτήματα που συγκεντρώνουν μεγαλύτερες τάσεις από 'τι άλλα είναι έτσι σχεδιασμένα ώστε οι τάσεις να συγκεντρώνονται

ομοιόμορφα σε όλη την επιφάνεια του εξαρτήματος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το εξάρτημα να έχει μεγαλύτερη αντοχή και αξιοπιστία. Αντιθέτως όταν ένα εξάρτημα έχει συγκέντρωση τάσεων μόνο σε ένα σημείο αυτό συνεπάγεται στην δημιουργία ρωγμής στο σημείο αυτό και την καταστροφή του εξαρτήματος.

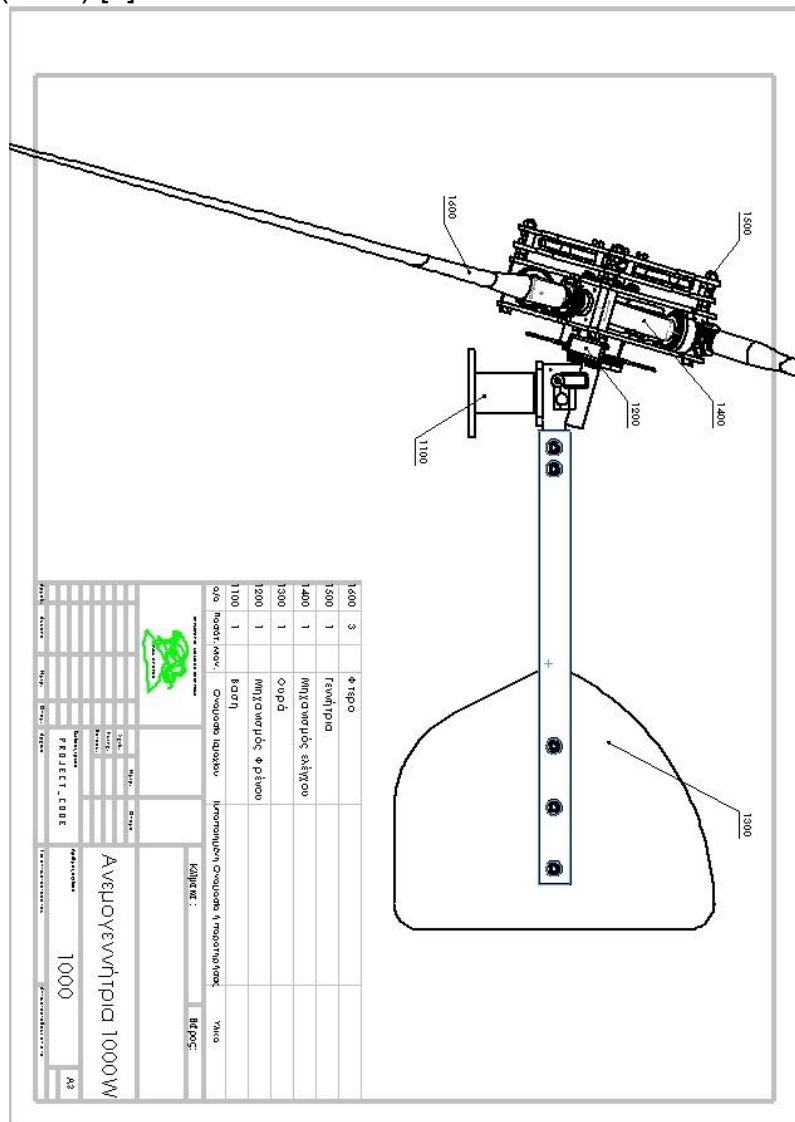
Για παράδειγμα τα φτερά [1] της ανεμογεννήτριας είναι μελετημένα και σχεδιασμένα ώστε οι τάσεις που συγκεντρώνονται από την δύναμη του αέρα να είναι ομοιόμορφες σε όλη την επιφάνεια του φτερού και δεν υπάρχει η προδιάθεση της δημιουργίας ρωγμής.

6. Παρουσίαση Ανεμογεννήτριας 1000 Watt

6.1 Οργάνωση των σχεδίων

Η ανεμογεννήτρια αυτή είναι χωρισμένη σε έξι μέρη:

- A) Βάση (1100)
- B) Μηχανισμός Φρένου (1200)
- Γ) Ουρά (1300)
- Δ) Μηχανισμός Ελέγχου (1400)
- Ε) Γεννήτρια (1500)
- ΣΤ) Φτερό (1600) [1]



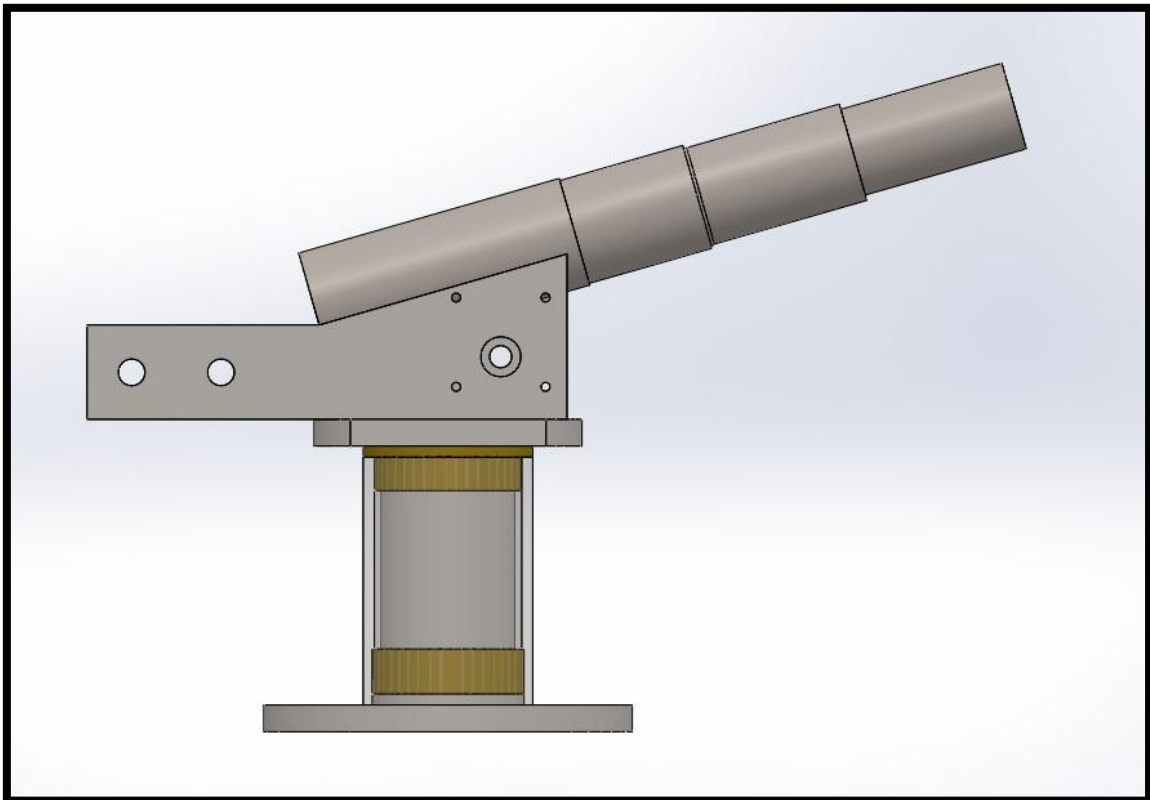
Σχέδιο 6.1.1: Μέρη Ανεμογεννήτριας

Το κάθε μέρος ξεχωριστά αποτελείται από εξαρτήματα.

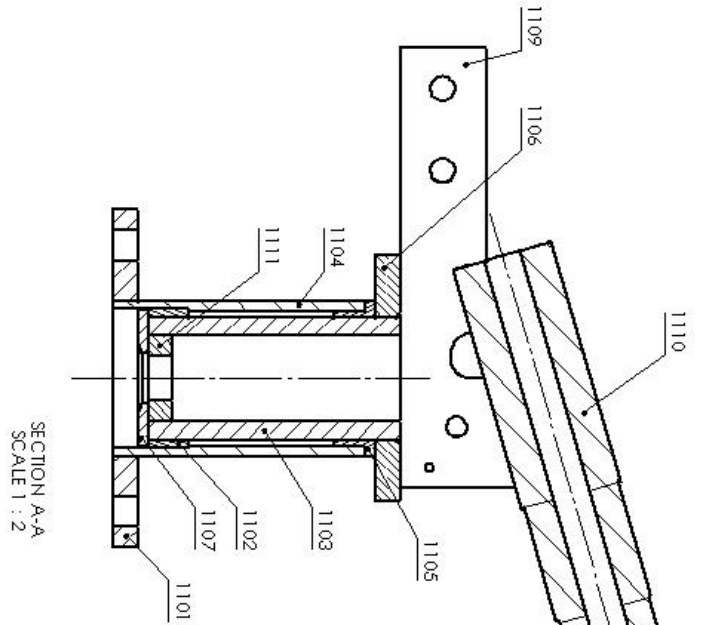
6.2 Βάση (1100)

Η βάση αποτελείται από δέκα εξαρτήματα τα οποία είναι:

- 1) Φλάντζα Βάσης (1101)
- 2) Κάτω έδρανο (1102)
- 3) Κινητό σώμα Βάσης (1103)
- 4) Σταθερό σώμα βάσης (1104)
- 5) Πάνω έδρανο (1105)
- 6) Κινούμενη βάση (1106)
- 7) Βάση έδρας καλωδίου (1107)
- 8) Στήριγμα άξονα (1108)
- 9) Στήριγμα άξονα (1109)
- 10) Κύριος άξονας (1110)
- 11) Έδρα καλωδίου (1111)



Εικόνα 6.2.1: Βάση



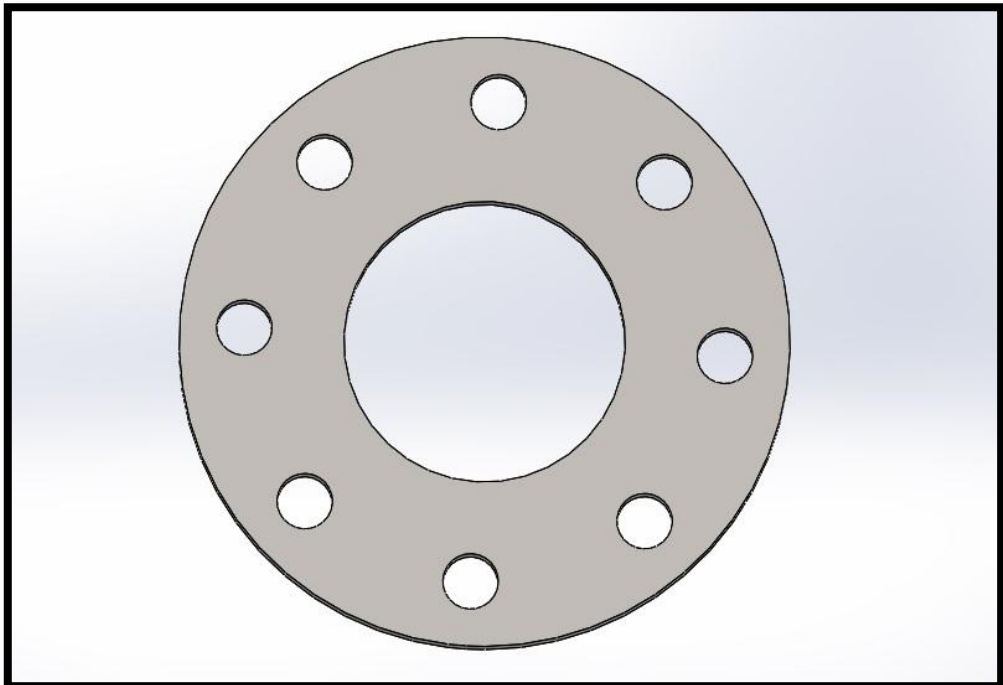
1111	1	TMX Έδρα κακωδίου		Χάλυβας
1110	1	TMX Κύριος άξονας		Χάλυβας
1109	1	TMX Σπηρίγματα άξονα	1108,1109	Χάλυβας
1107	1	TMX Βάση έδρας κακωδίου		Χάλυβας
1106	1	TMX Κινούμενη βάση		Χάλυβας
1105	1	TMX Πάνο έδρανο		Μπροντζος
1104	1	TMX Σταθερό σώμα βάσης		Χάλυβας
1103	1	TMX Κινητό σώμα βάσης		Χάλυβας
1102	1	TMX Έδρανο κάτω		Μπροντζος
1101	1	TMX Φάλατσα βάσης		Χάλυβας
ο/α	Ποσότητα	Ονομασία τμήματος	Τοποσημείωση ονομασία ή παρατηρήσεις	Υλικό
			Κλίμακα : 1:2	Βέρος: 3,6 kg
		Εταιρεία	Πρόσ.	Διεύθ.
		Επίβλ.		
		Επιστ.		
		Κατάστ.		
		Επιμέλεια		
		Κωδικός έργου	Κωδικός σχέδου	
		PROJECT_CODE	1100	A3
		Βάση		

Σχέδιο 6.2.1: Τομή Βάσης

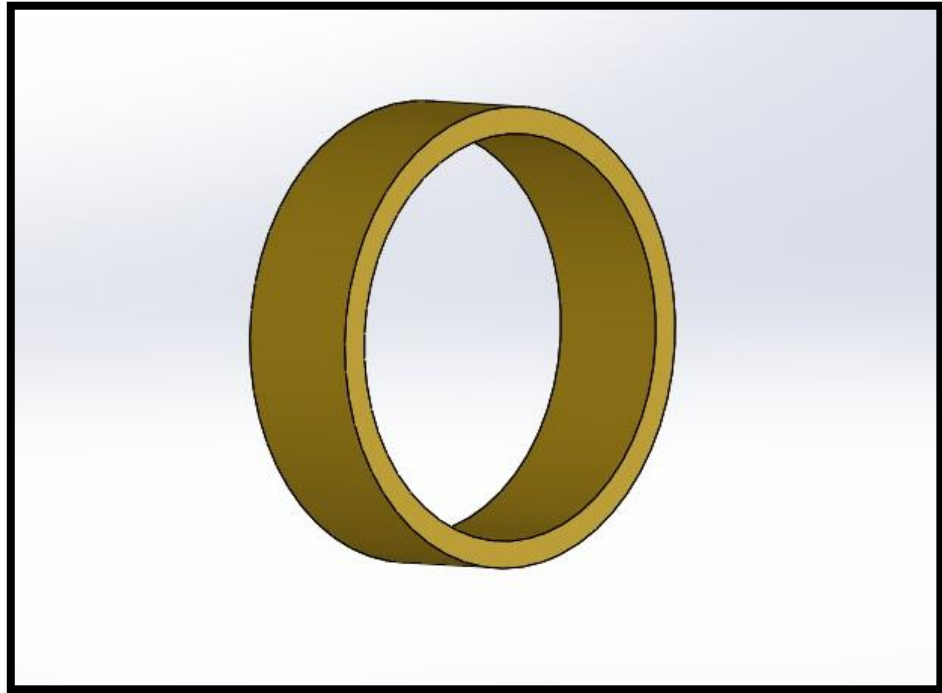


Εικόνα 6.2.2: Βάση

6.2.1 Φλάντζα Βάσης (1101)

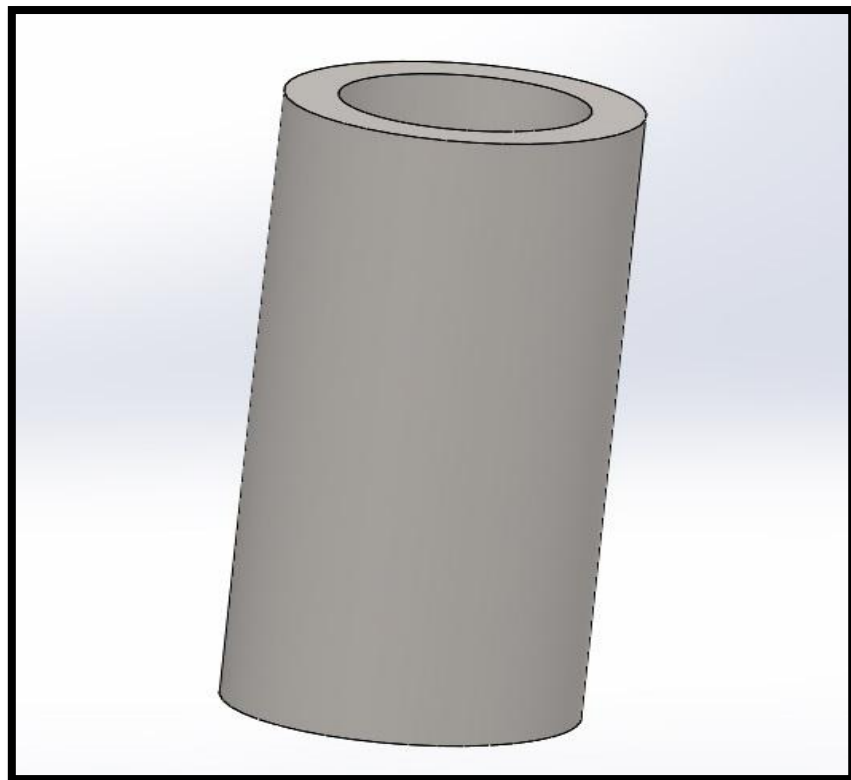


6.2.2 Κάτω Έδρανο (1102)



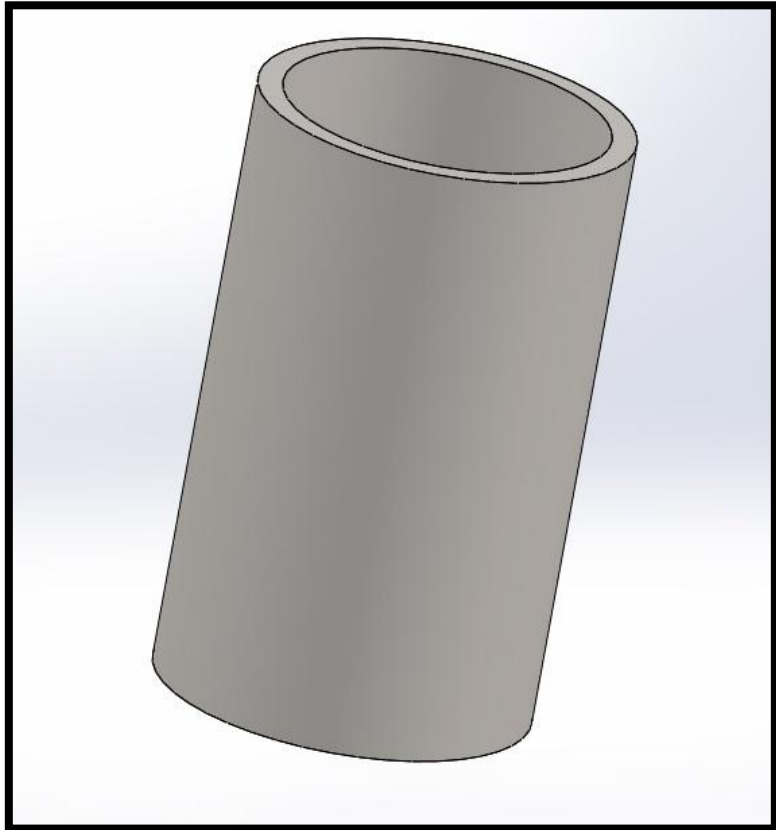
Εικόνα 6.2.2.1

6.2.3 Κινητό Σώμα Βάσης (1103)



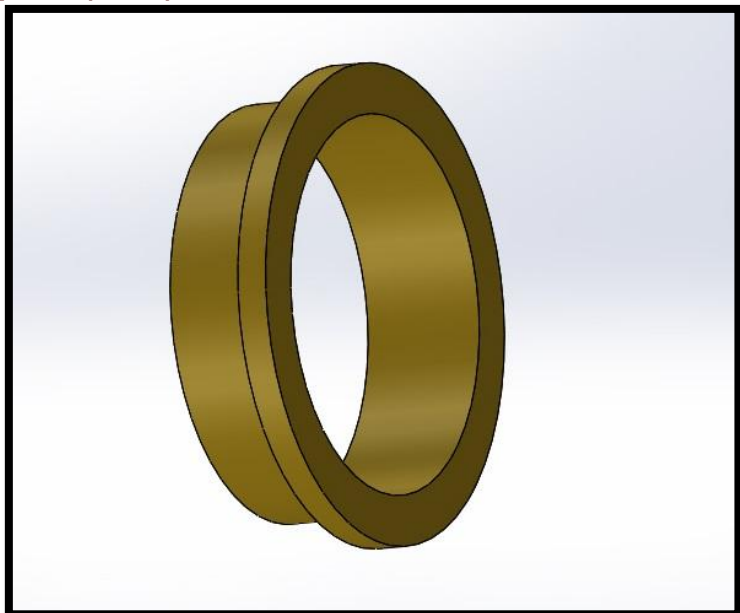
Εικόνα 6.2.3.1

6.2.4 Σταθερό Σώμα Βάσης (1104)



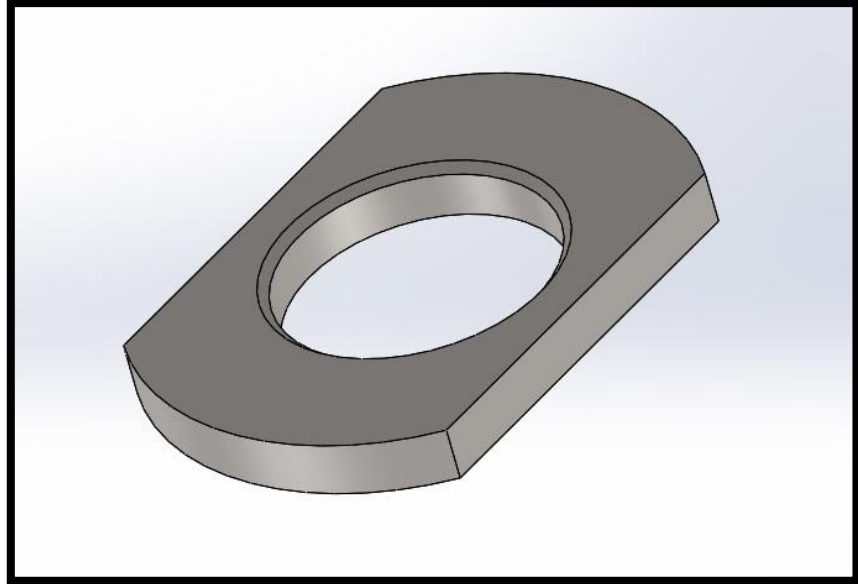
Εικόνα 6.2.4.1

6.2.5 Πάνω Έδρανο (1105)

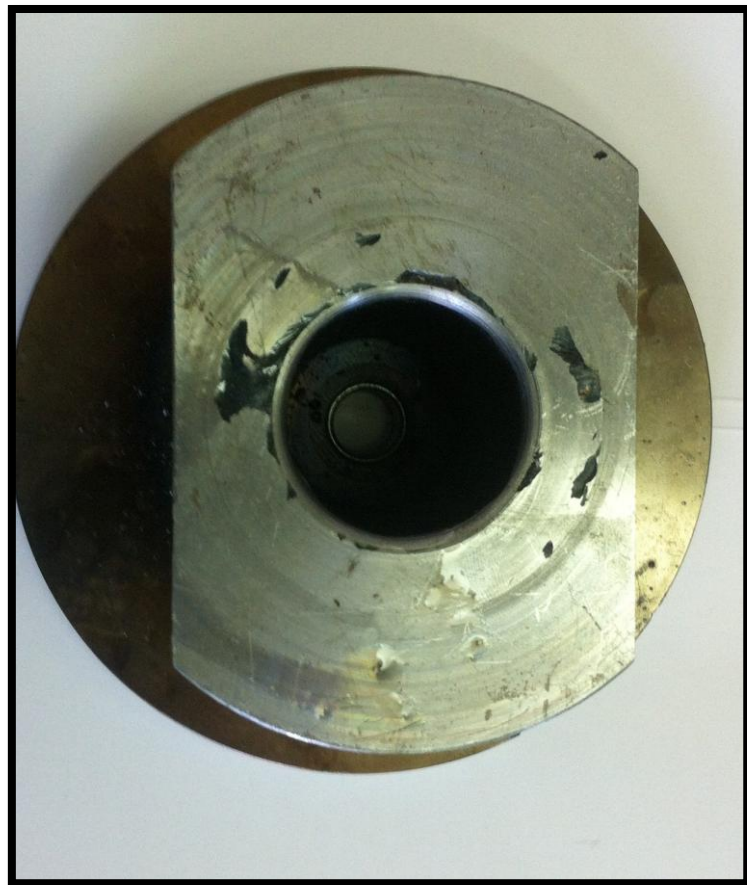


Εικόνα 6.2.5.1

6.2.6 Κινούμενη Βάση (1106)

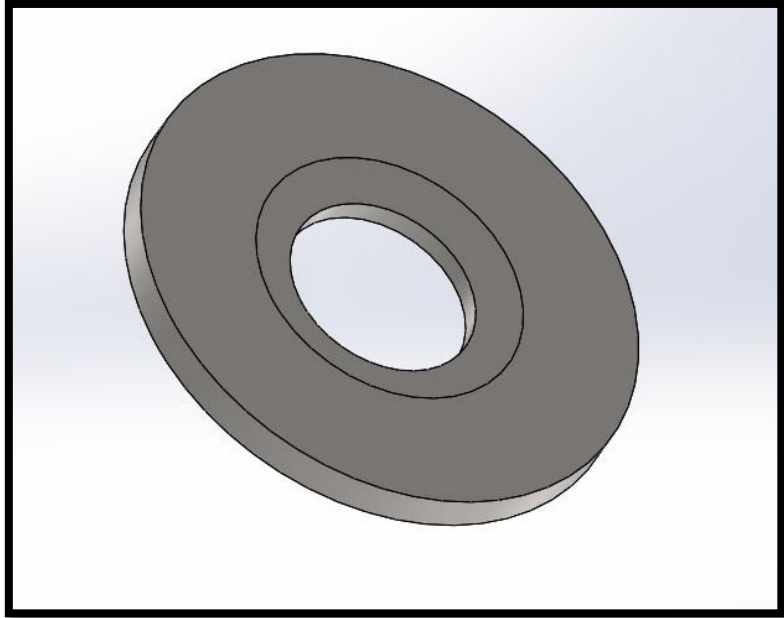


Εικόνα 6.2.6.1



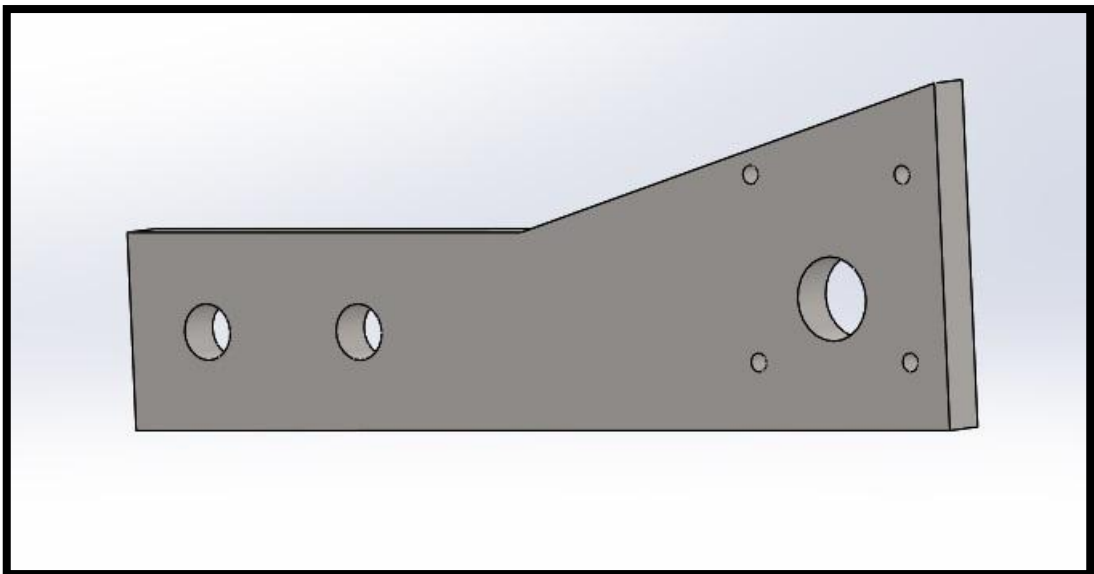
Εικόνα 6.2.6.2

6.2.7 Βάση Έδρας Καλωδίου (1107)

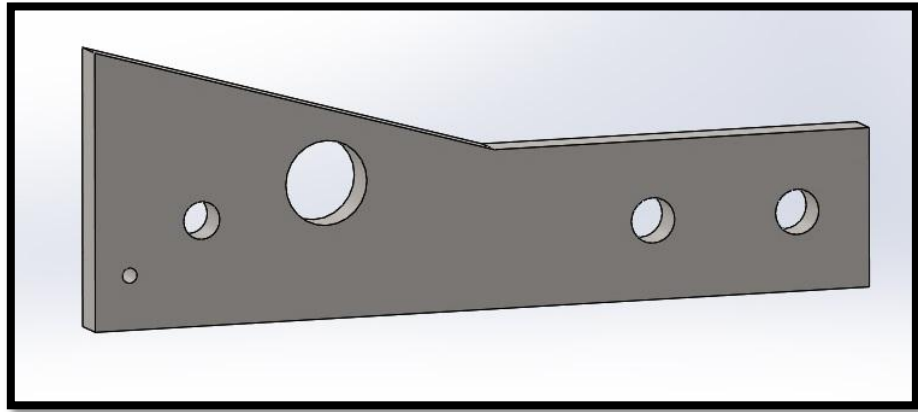


Εικόνα 6.2.7.1

6.2.8 Στηρίγματα Άξονα (1108,1109)

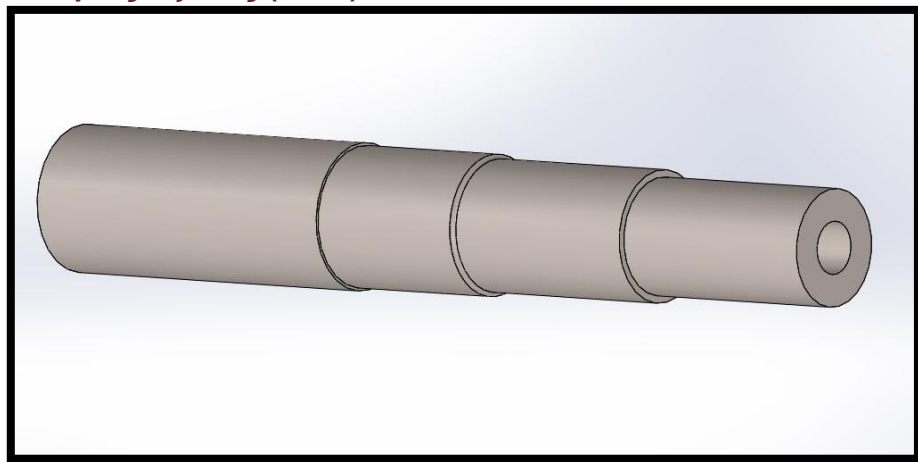


Εικόνα 6.2.8.1



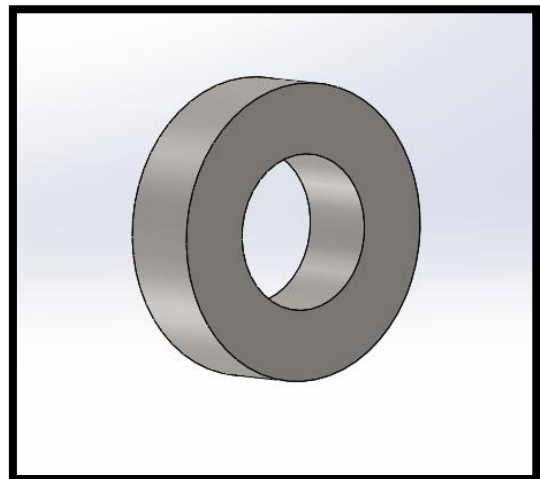
Εικόνα 6.2.8.2

6.2.9 Κύριος Άξονας (1110)



Εικόνα 6.2.9.1

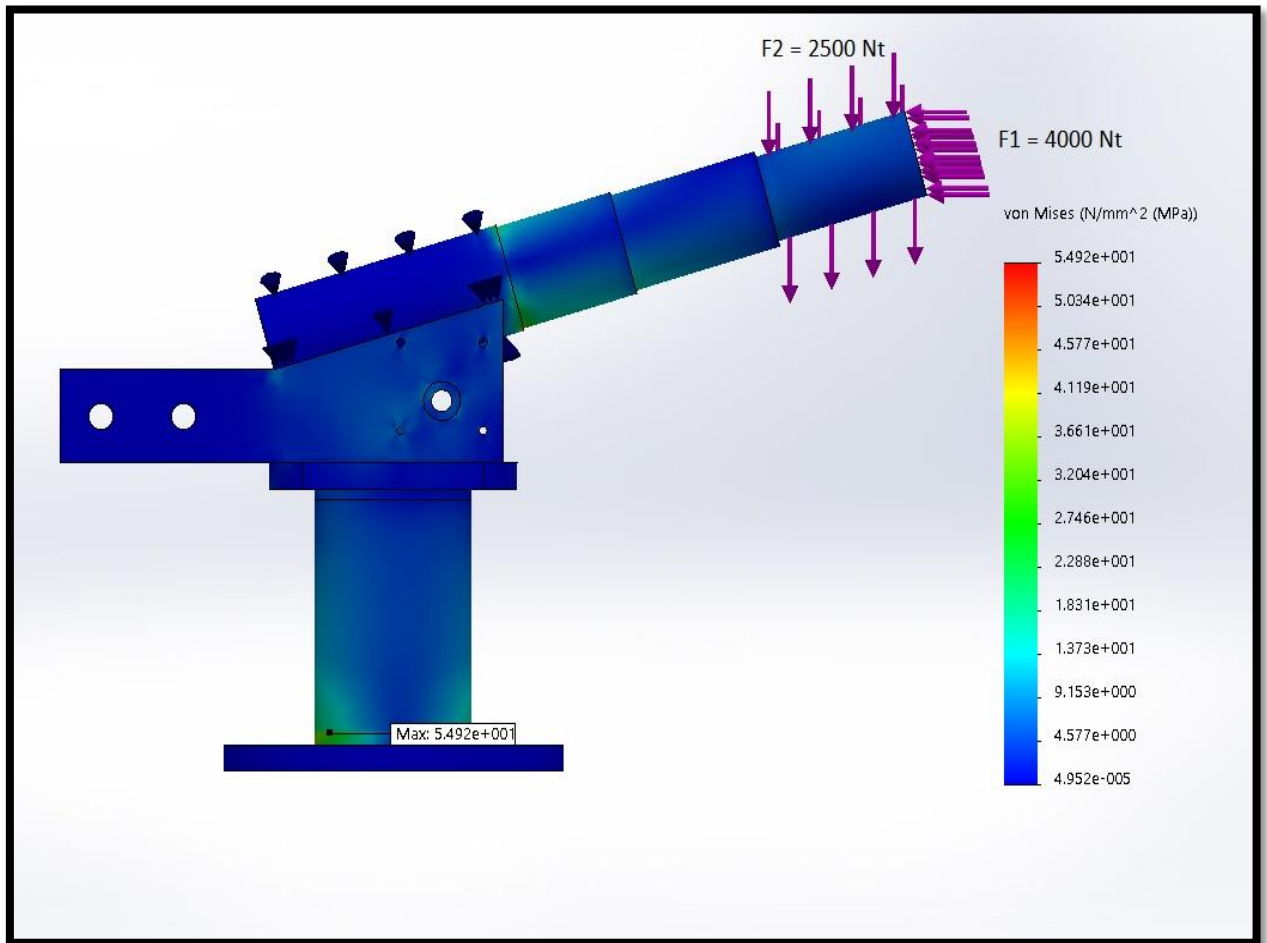
6.2.10 Έδρα Καλωδίου (1111)



Εικόνα 6.2.10.1

6.2.11 Μελέτη ως προς τις Τάσεις

Η μελέτη της βάσης ως προς τις τάσεις έγινε με πεπερασμένα στοιχεία.



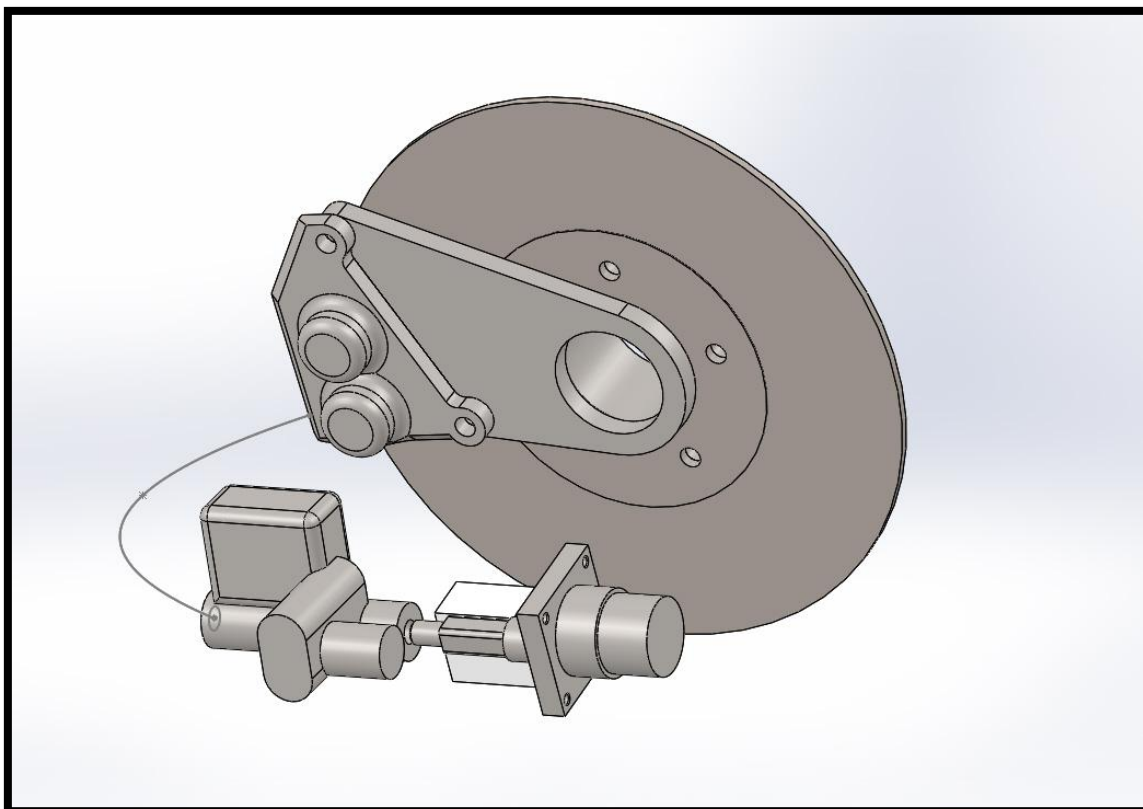
Εικόνα 6.2.11.1: Μελέτη τάσεων βάσης

Από την εικόνα 6.2.11.1 βλέπουμε την μελέτη ως προς τις τάσεις της βάσης. Η φλάντζα κάτω αριστερά της εικόνας είναι πακτωμένη και φορτίζονται δυο δυνάμεις μια καμπτική δύναμη ($F_2=2500\text{Nt}$) και μια θλιπτική ($F_1=4000\text{Nt}$). Όπως είναι λογικό η μέγιστη τάση είναι στο σημείο max της εικόνας με τιμή 54,9 MPa, η οποία τιμή είναι πολύ μικρή άρα η βάση είναι μεγάλης αντοχής.

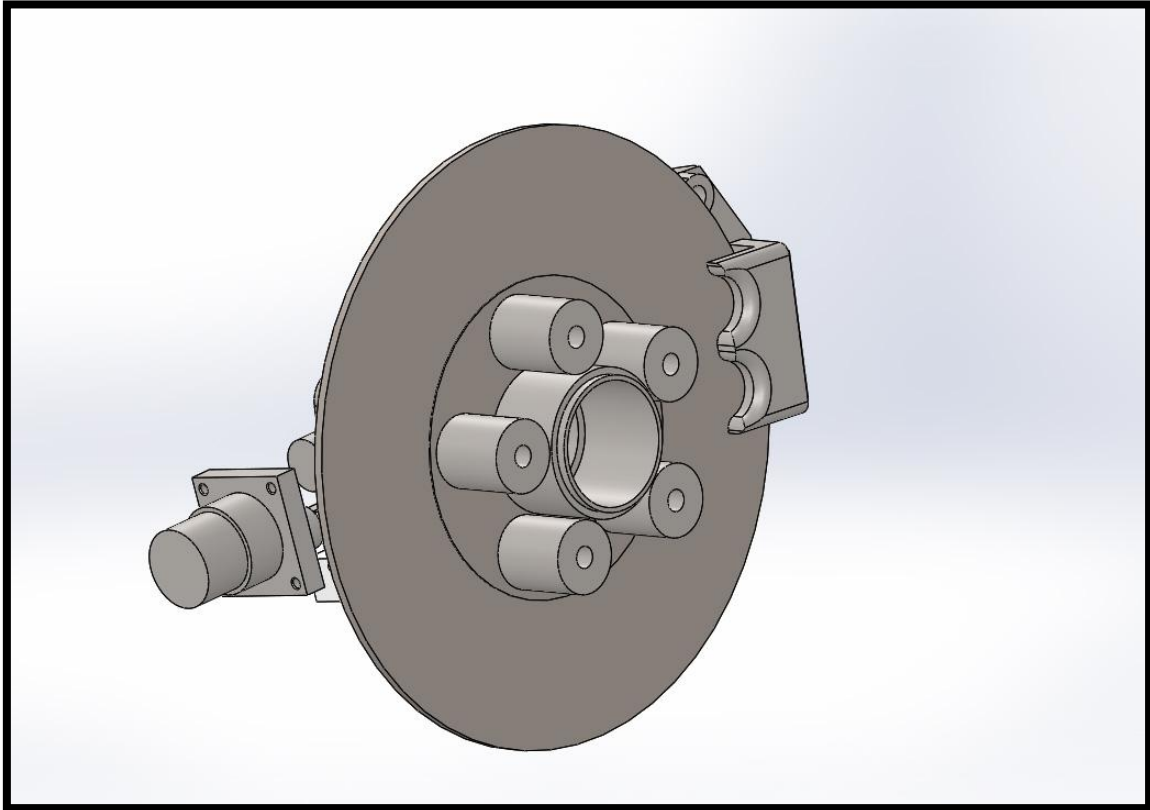
6.3 Μηχανισμός Φρένου (1200)

Ο μηχανισμός του φρένου αποτελείται από δώδεκα εξαρτήματα τα οποία είναι :

- 1) Κινητήρας εμπορίου 12 volt, DC, 200 RPM (1201)
- 2) Βάση κινητήρα (1202)
- 3) Ίδανικός κοχλίας κίνησης (1203)
- 4) Κοχλιωτό έμβολο επενεργητή (1204)
- 5) Έδρα εμβόλου επενεργητή (1205)
- 6) Βάση Αρπάγων Φρένου (1206)
- 7) Αρπάγες φρένου (1207)
- 8) Δισκόπλακα (1208)
- 9) Αποστάτες δισκόπλακας (1209)
- 10) Κεντρικός αποστάτης δισκόπλακας (1210)
- 11) Έμβολο φρένου (1211)
- 12) Πείρος στήριξης εμβόλου φρένου (1212)



Εικόνα 6.3.1: Μηχανισμός Φρένου



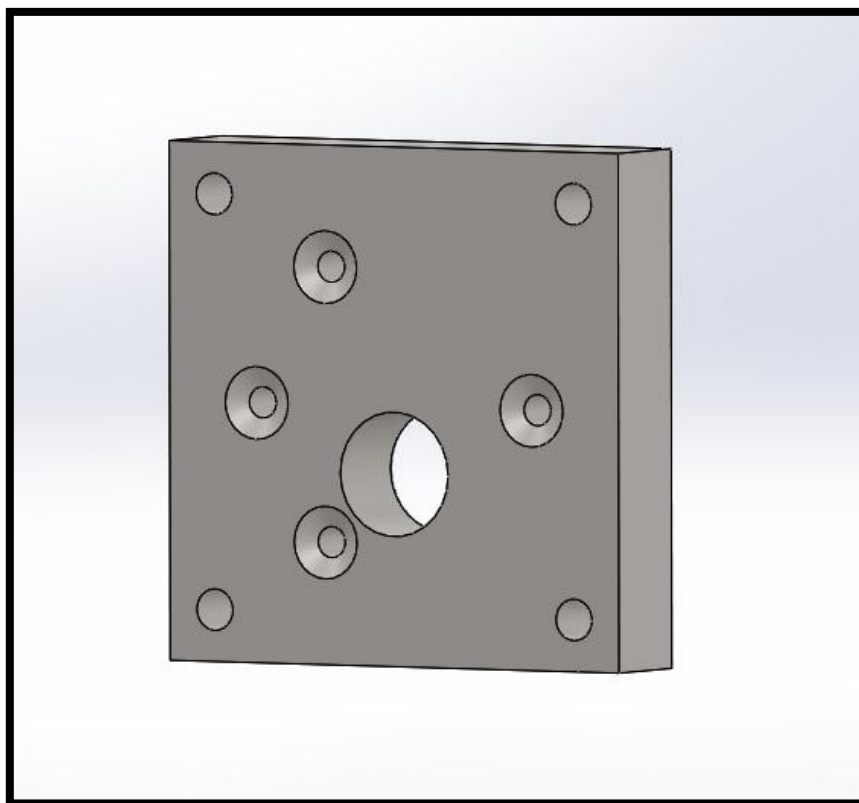
Εικόνα 6.3.2: Μηχανισμός Φρένου

6.3.1 Κινητήρας εμπορίου 12 volt, DC, 200 RPM (1201)



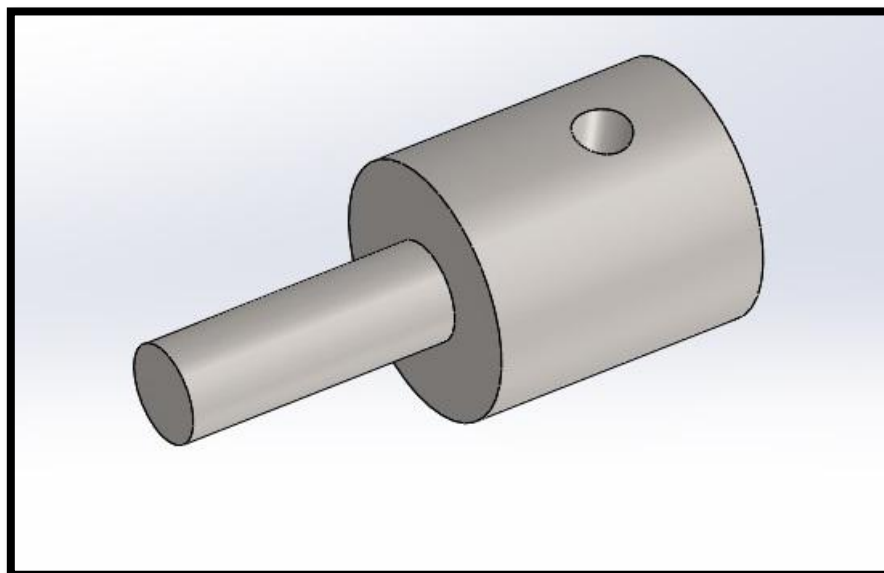
Εικόνα 6.3.1.1

6.3.2 Βάση κινητήρα (1202)



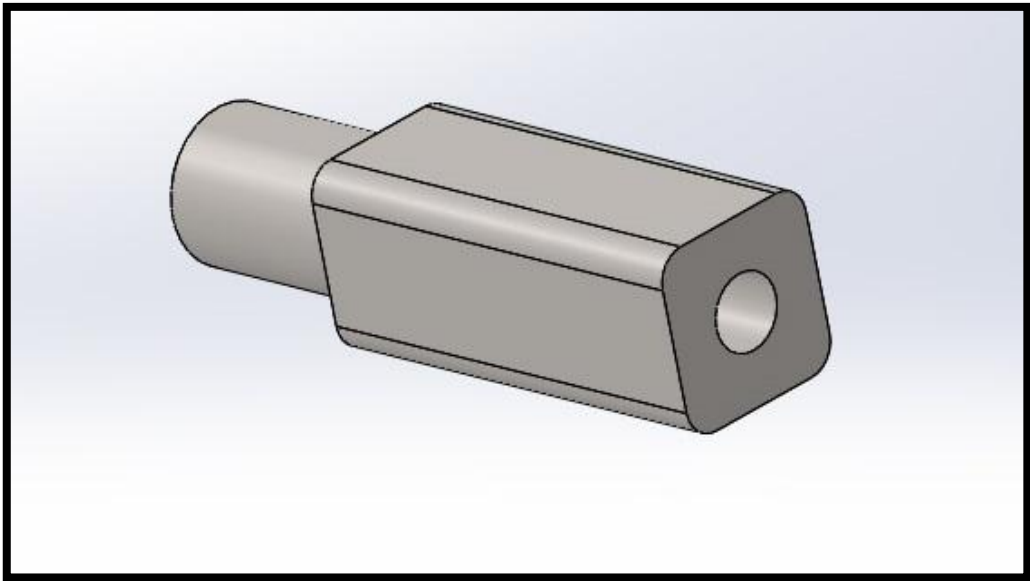
Εικόνα 6.3.2.1

6.3.4 Ιδανικός κοχλίας κίνησης (1203)



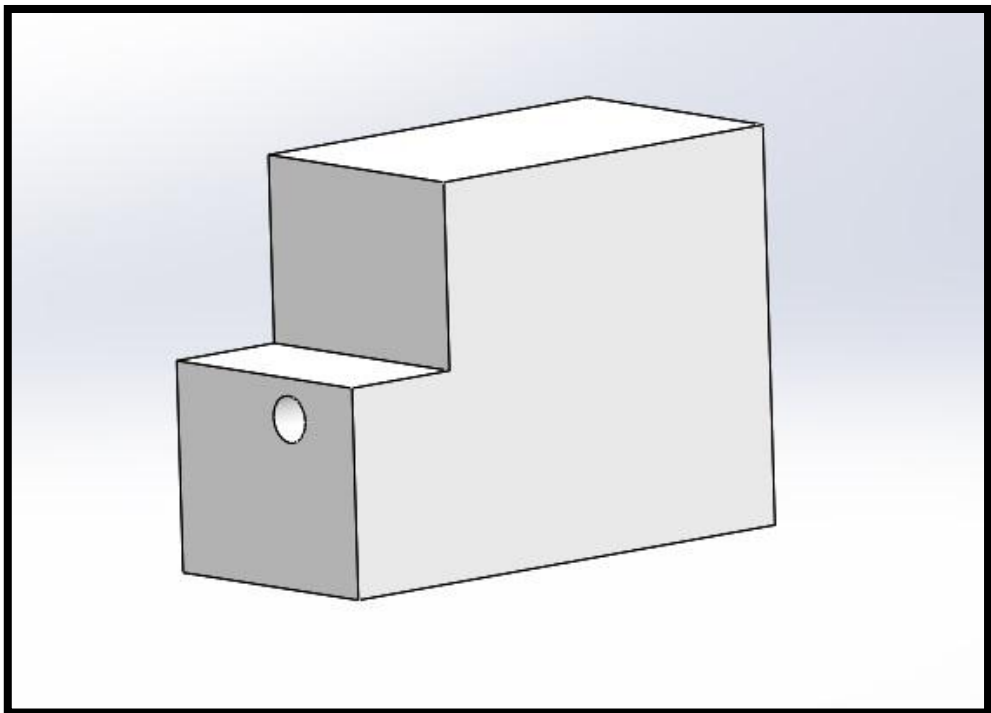
Εικόνα 6.3.4.1

6.3.5 Κοχλιωτό έμβολο επενεργητή (1204)



Εικόνα 6.3.5.1

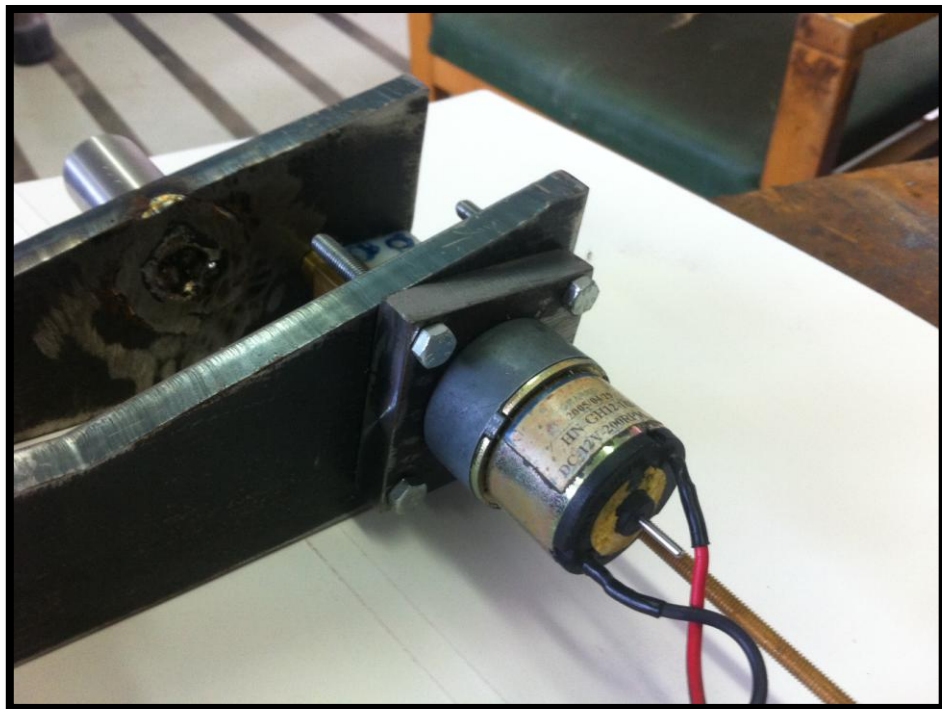
6.3.6 Έδρα εμβόλου επενεργητή (1205)



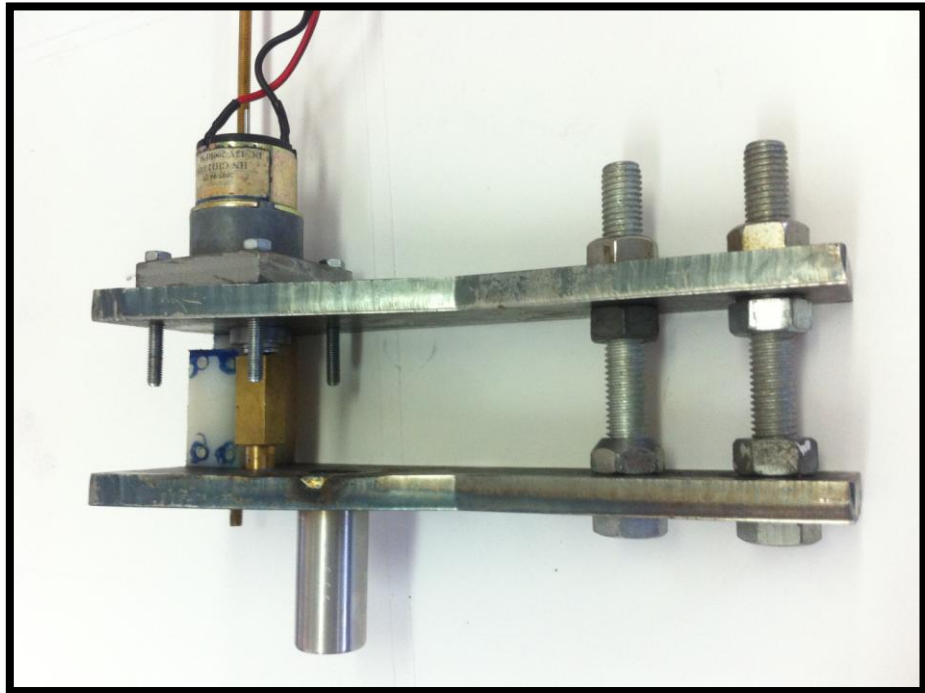
Εικόνα 6.3.6.1



Εικόνα 6.3.6.2

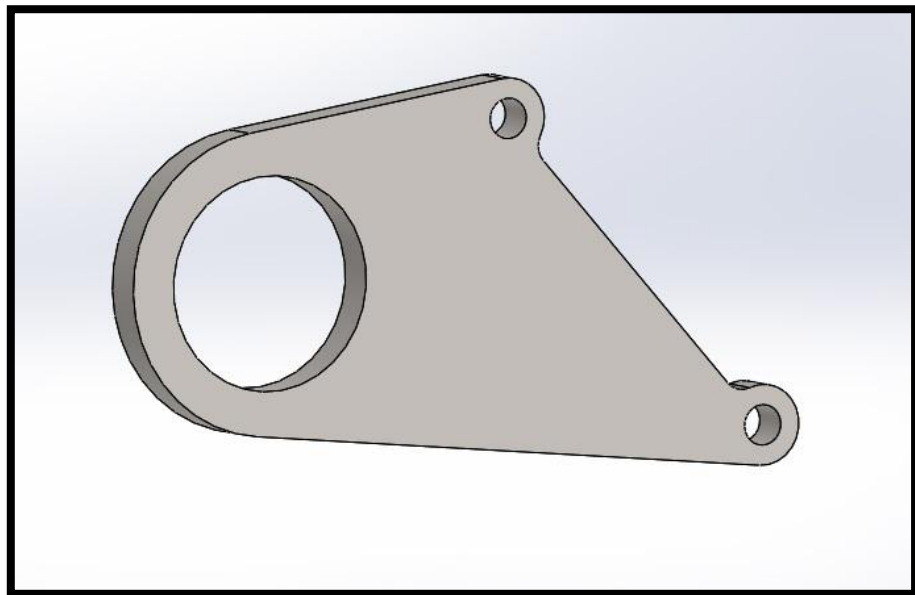


Εικόνα 6.3.6.3



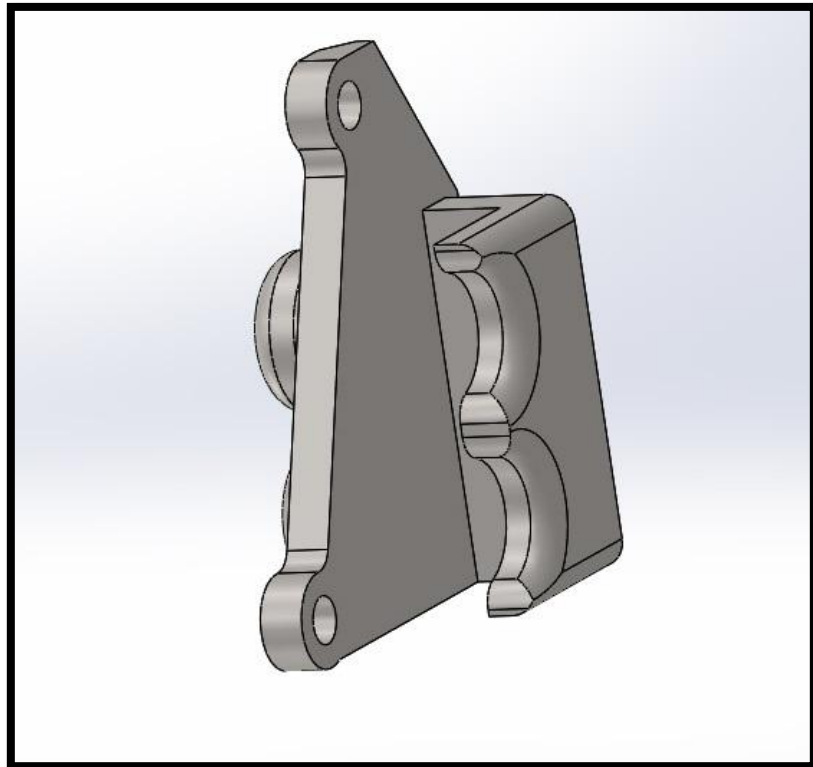
Εικόνα 6.3.6.4

6.3.7 Βάση Αρπάγων Φρένου (1206)



Εικόνα 6.3.7.1

6.3.8 Αρπάγες φρένου (1207)

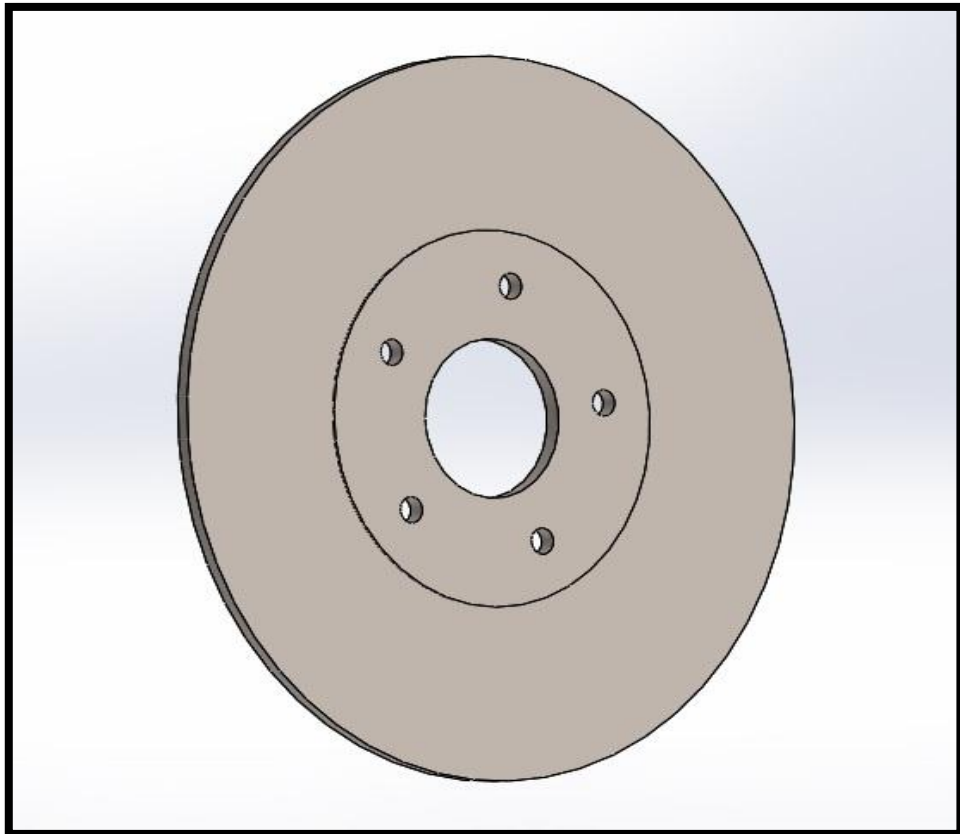


Εικόνα 6.3.8.1



Εικόνα 6.3.8.2

6.3.9 Δισκόπλακα (1208)

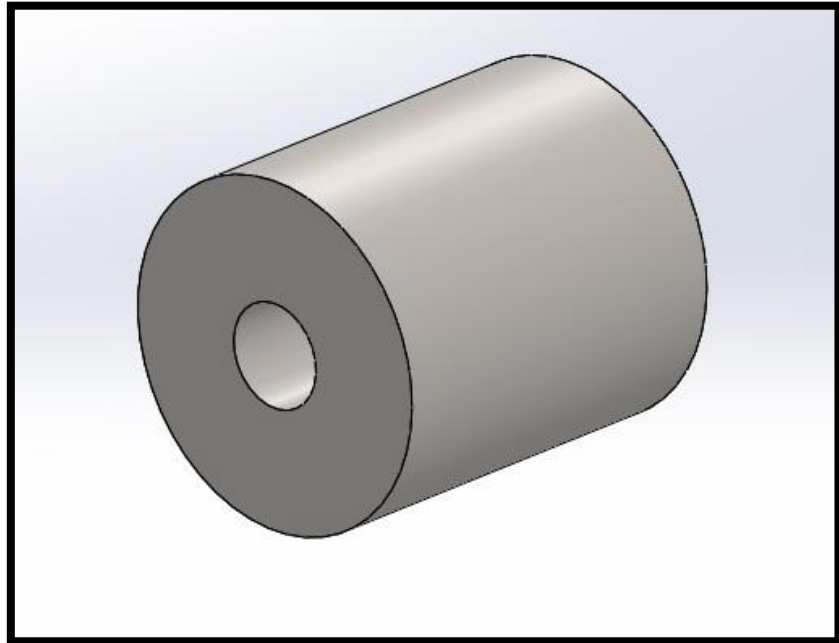


Εικόνα 6.3.9.1



Εικόνα 6.3.9.2

6.3.10 Αποστάτες δισκόπλακας (1209)

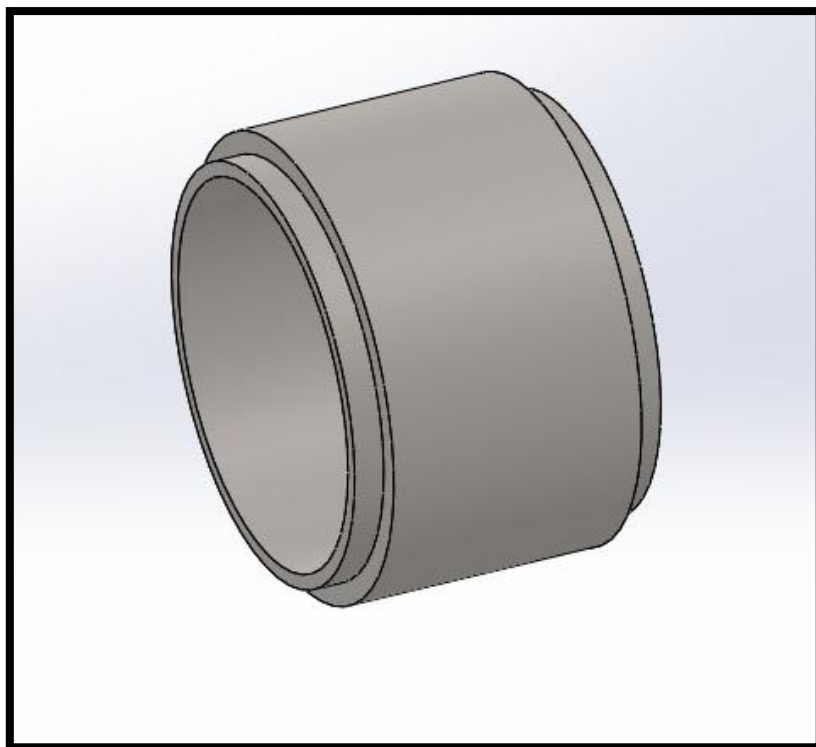


Εικόνα 6.3.10.1



Εικόνα 6.3.10.2

6.3.11 Κεντρικός αποστάτης δισκόπλακας (1210)



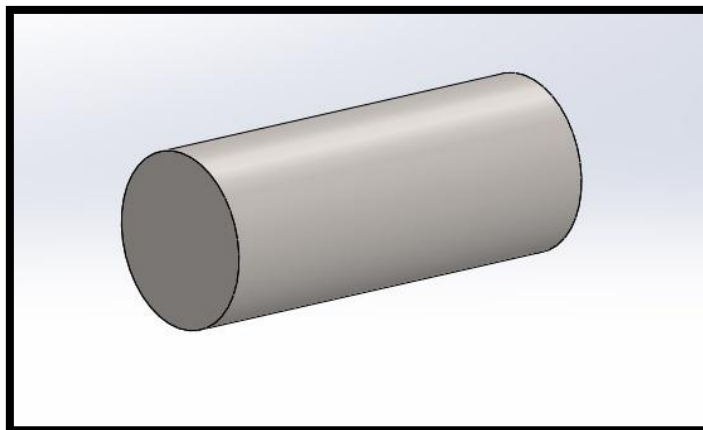
Εικόνα 6.3.11.1

6.3.12 Έμβολο φρένου (1211)



Εικόνα 6.3.12.1

6.3.13 Πείρος στήριξης εμβόλου φρένου (1212)



Εικόνα 6.3.13.1

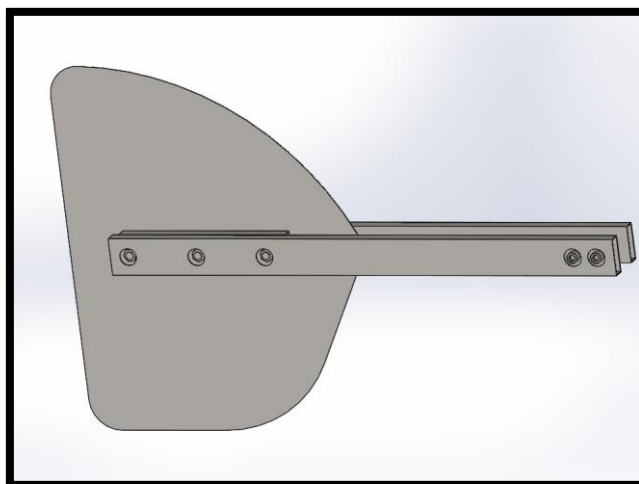
6.4 Ουρά (1300)

Η ουρά αποτελείται από 3 εξαρτήματα τα οποία είναι :

- 1) Βραχίονας ουράς (1301)
- 2) Αποστάτες ουράς (1302)
- 3) Πτερύγια ουράς (1303)

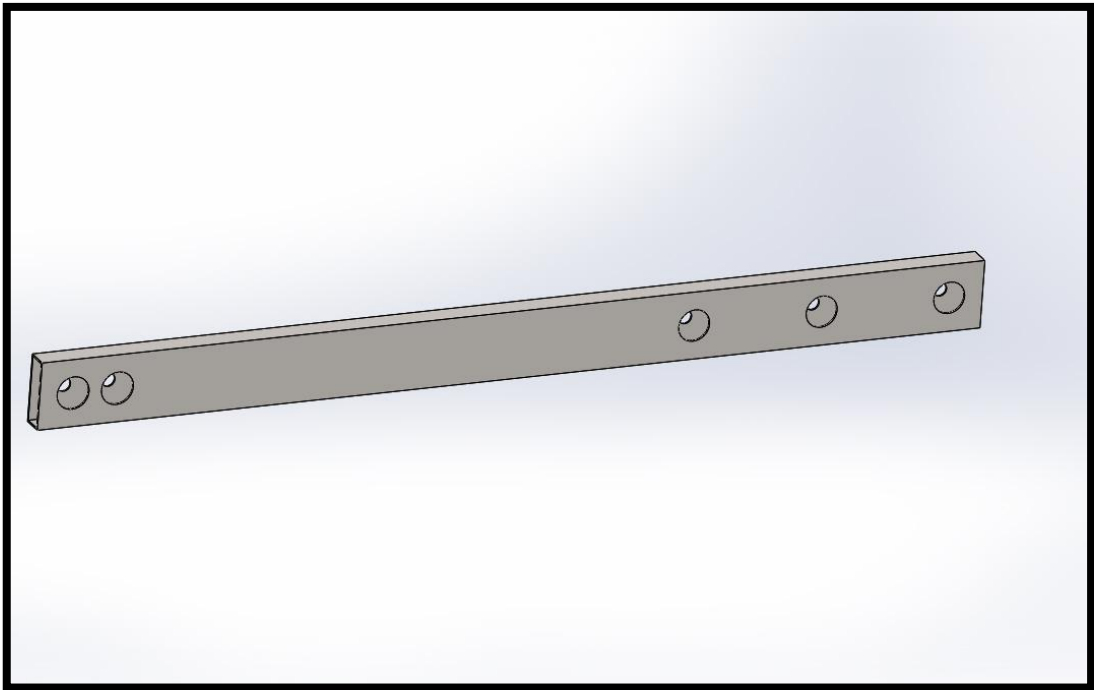
Για την συναρμογή τους θα χρησιμοποιήσουμε:

- 1) Τέσσερις κοχλίες Άλεν M12 x 25 mm
- 2) Τρεις κοχλίες Άλεν M12 x 60 mm
- 3) Επτά περικόχλια M12



Εικόνα 6.4.1: Ουρά

6.4.1 Βραχίονας ουράς (1301)

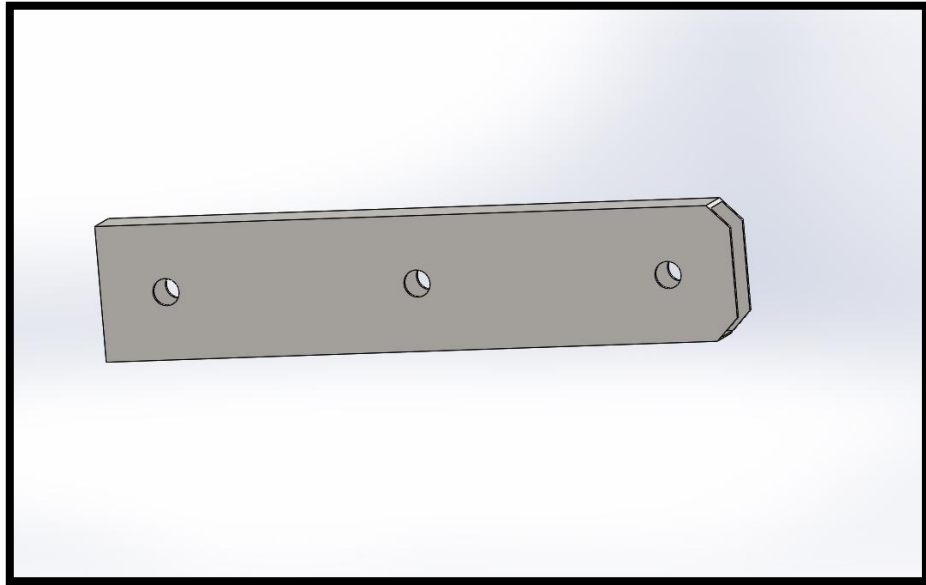


Εικόνα 6.4.1.1



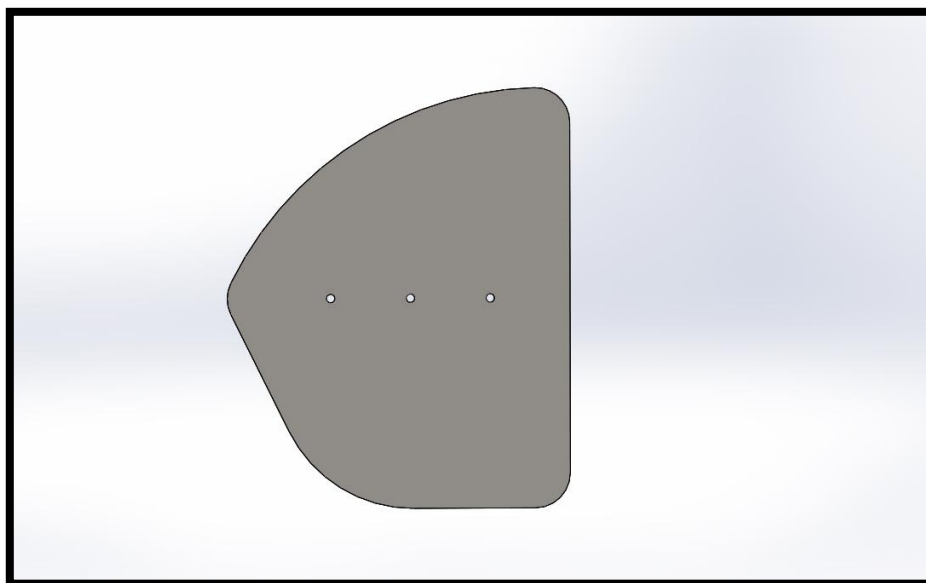
Εικόνα 6.4.1.2

6.4.2 Αποστάτες ουράς (1302)



Εικόνα 6.4.2.1

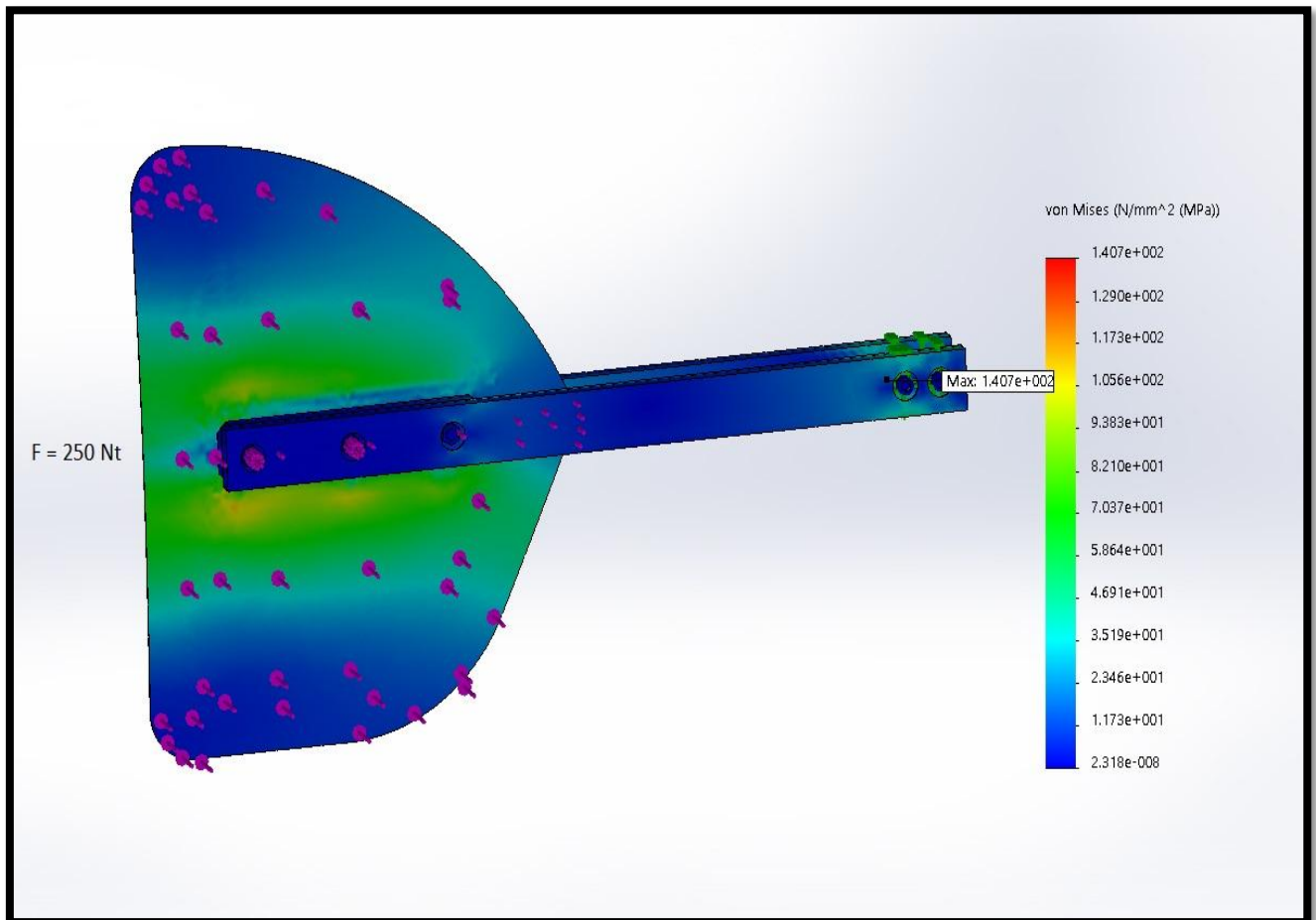
6.4.3 Πτερύγια ουράς (1303)



Εικόνα 6.4.3.1

6.4.4 Μελέτη ως προς τις τάσεις

Η μελέτη της βάσης ως προς τις τάσεις έγινε με πεπερασμένα στοιχεία.



Εικόνα 6.4.4.1: Μελέτη τάσεων ουράς

Από την εικόνα 6.4.4.1 τις τάσεις που αναπτύσσονται στο πτερύγιο και στους βραχίονες της ουράς. Η δύναμη F αντιπροσωπεύει την δύναμη από τον αέρα. Η δύο βίδες δεξιά της εικόνας 6.4.4.1 είναι πακτωμένες. Η μέγιστη τάση βρίσκεται στην περιοχή των πακτωμένων βιδών με τιμή $140,7 \text{ MPa}$.

6.5 Μηχανισμός ελέγχου (1400)

Ο μηχανισμός ελέγχου αποτελείται από εικοσιπέντε εξαρτήματα τα οποία είναι:

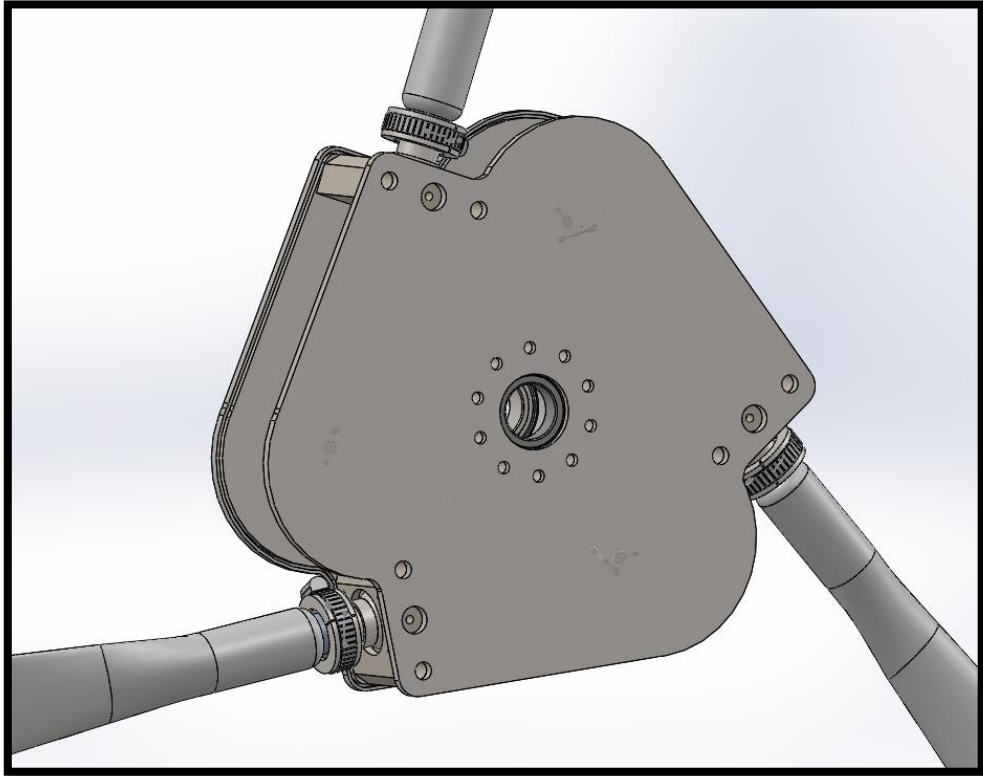
- 1) Φλάντζα μπροστά (1401)
- 2) Φλάντζα πίσω (1402)
- 3) Έδρανο (1403)
- 4) Έδρανο συγχρονιστήρα (1404)
- 5) Πίσω έδρανο άξονα (1405)
- 6) Μπροστά έδρανο άξονα (1406)
- 7) Συγχρονιστήρας Α (1407)
- 8) Συγχρονιστήρας Β (1408)
- 9) Στοπ συγχρονιστήρα (1409)
- 10) Άκρο ελατηρίου (1410)
- 11) Οδηγός ελατηρίου (1411)
- 12) Οδηγός ελατηρίου (1412)
- 13) Έδρανο φτερού (1413)
- 14) Σφαιρικό Έδρανο (1414,1415)
- 15) Ακροαρθρώσεις (1416,1417)
- 16) Σώμα διωστήρα (1418)
- 17) Βάκτρο (1419)
- 18) Άξονας φτερού (1420)
- 19) Πείρος βάκτρο (1421)
- 20) Έδρανο κύλισης (1422)
- 21) Ασφάλεια κατά DIN 7435 (1423)
- 22) Ελατήριο (1424)
- 23) Αποστάτης άξονα φτερού (1425)

Για την συναρμολόγηση του μηχανισμού ελέγχου θα χρησιμοποιήσουμε

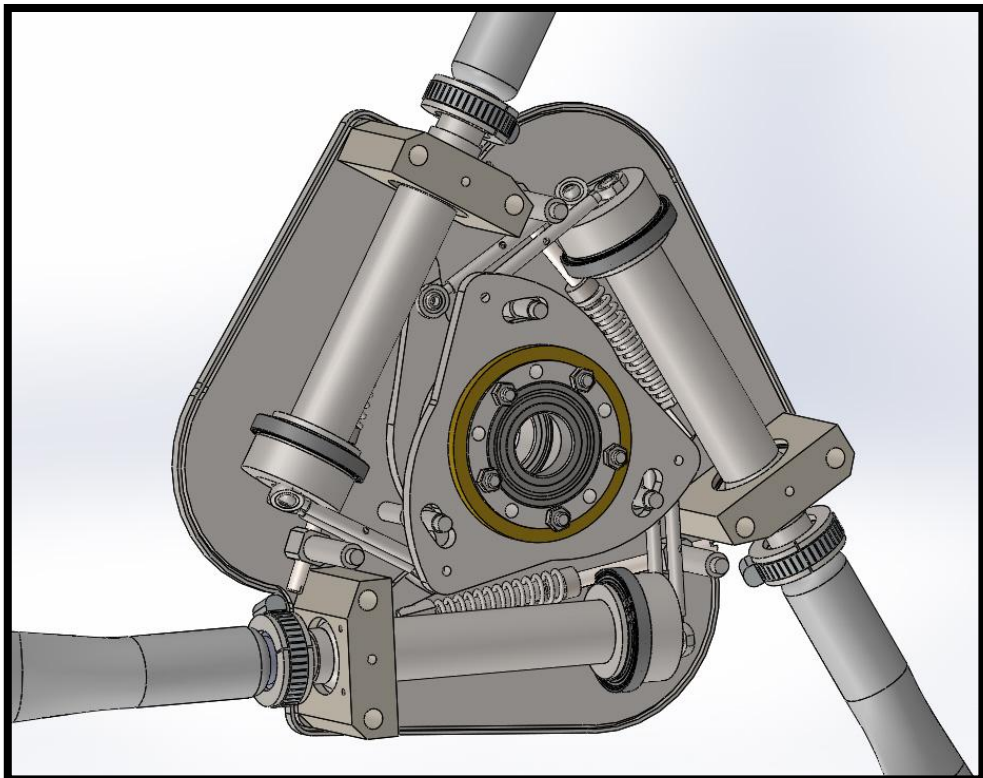
- A) 3 εξαγωνικές βίδες M8 x 20
- B) 5 εξαγωνικές βίδες M8 x 105
- Γ) 6 εξαγωνικές βίδες M6 x 30
- Δ) 6 εξαγωνικές βίδες M6 x 15

Για την συναρμολόγηση του μηχανισμού ελέγχου με την βάση θα χρησιμοποιήσουμε:

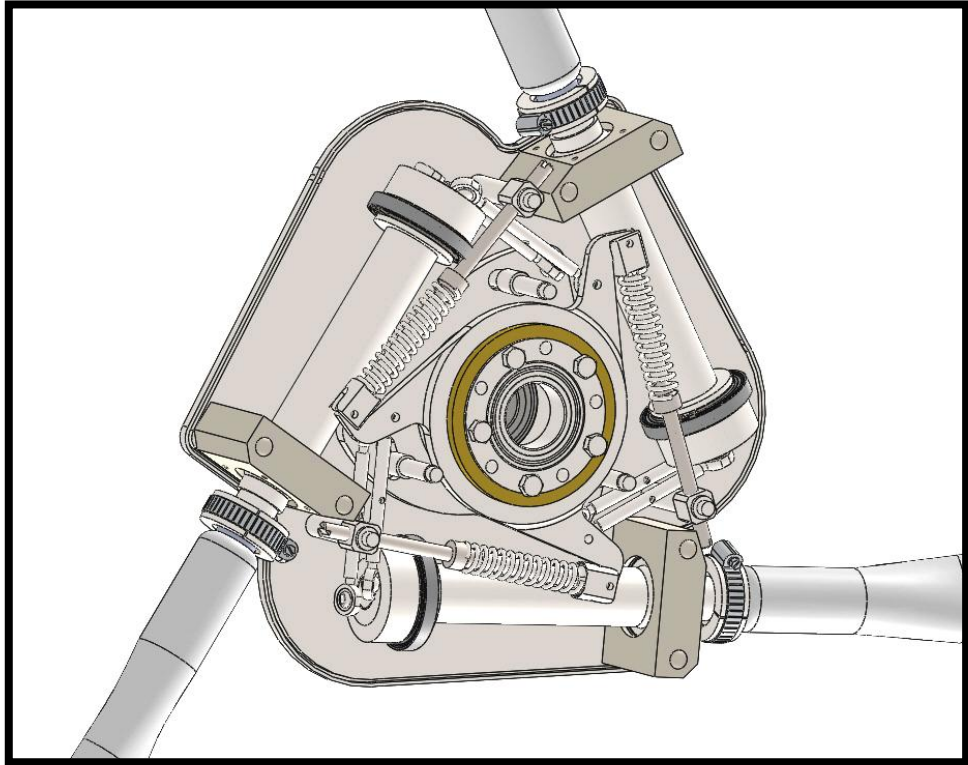
- A) 5 εξαγωνικές M8 x 105



Εικόνα 6.5.1: Μηχανισμός Ελέγχου

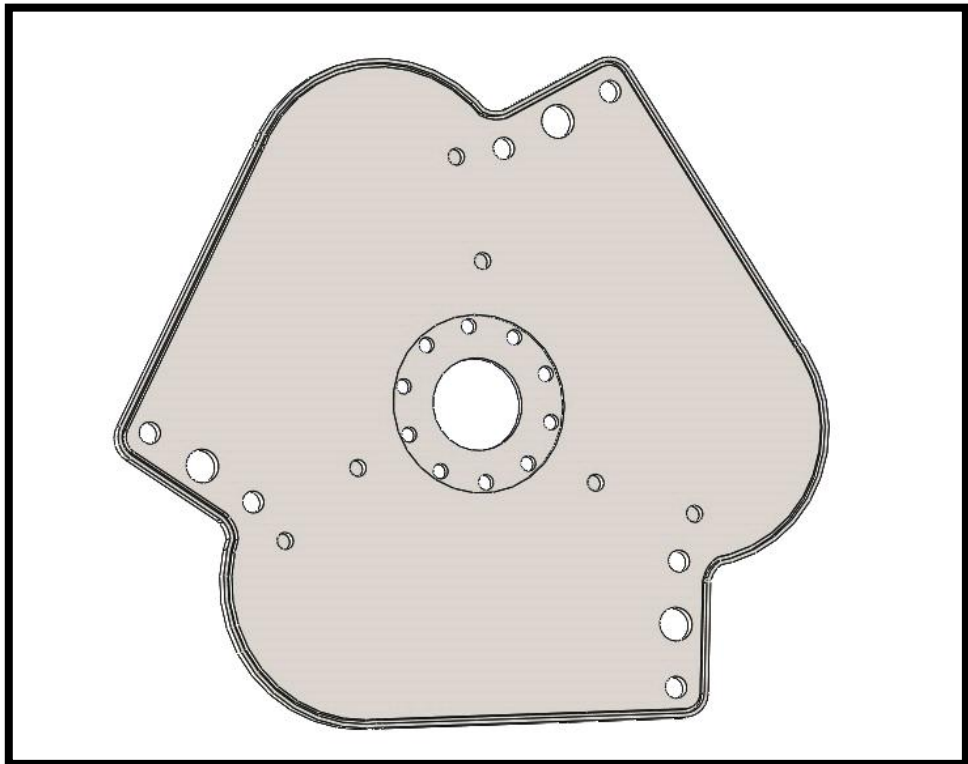


Εικόνα 6.5.2: Μηχανισμός Ελέγχου



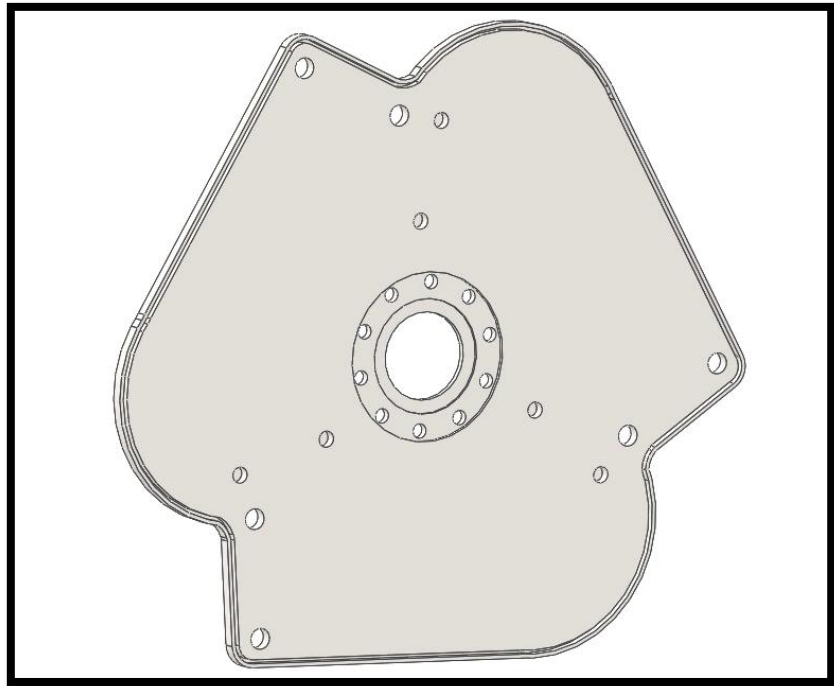
Εικόνα 6.5.3: Μηχανισμός Ελέγχου

6.5.1 Φλάντζα μπροστά (1401)



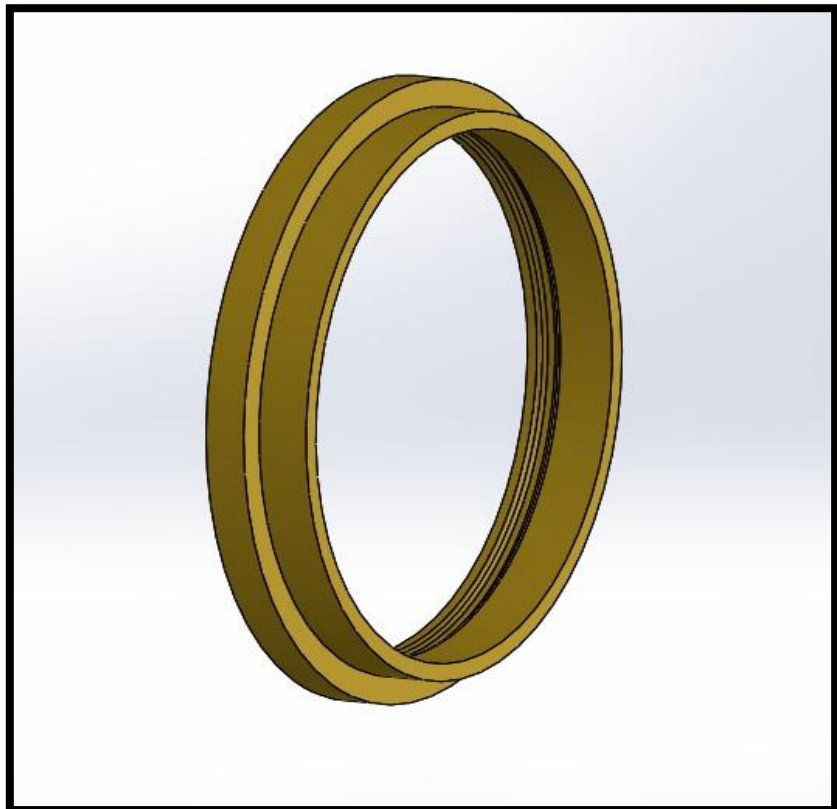
Εικόνα 6.5.1.1

6.5.2 Φλάντζα πίσω (1402)



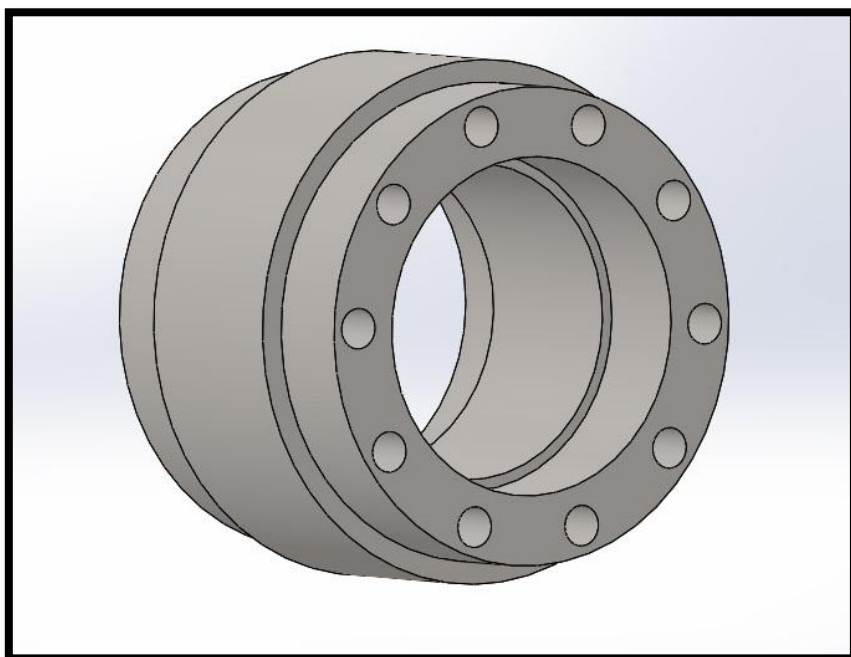
Εικόνα 6.5.2.1

6.5.3 Έδρανο (1403)



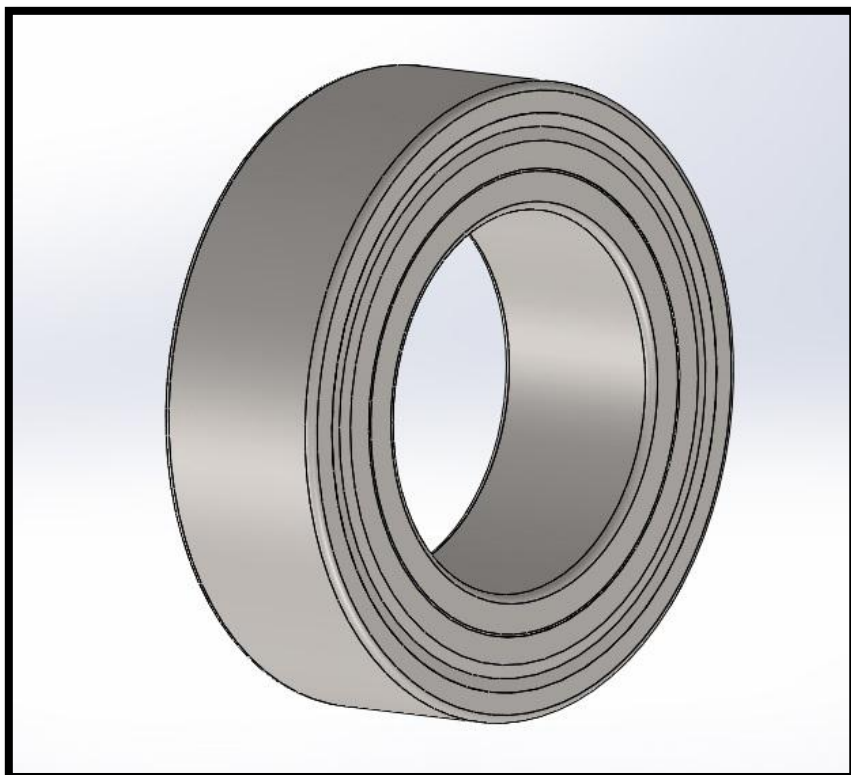
Εικόνα 6.5.3.1

6.5.4 Έδρανο συγχρονιστήρα (1404)



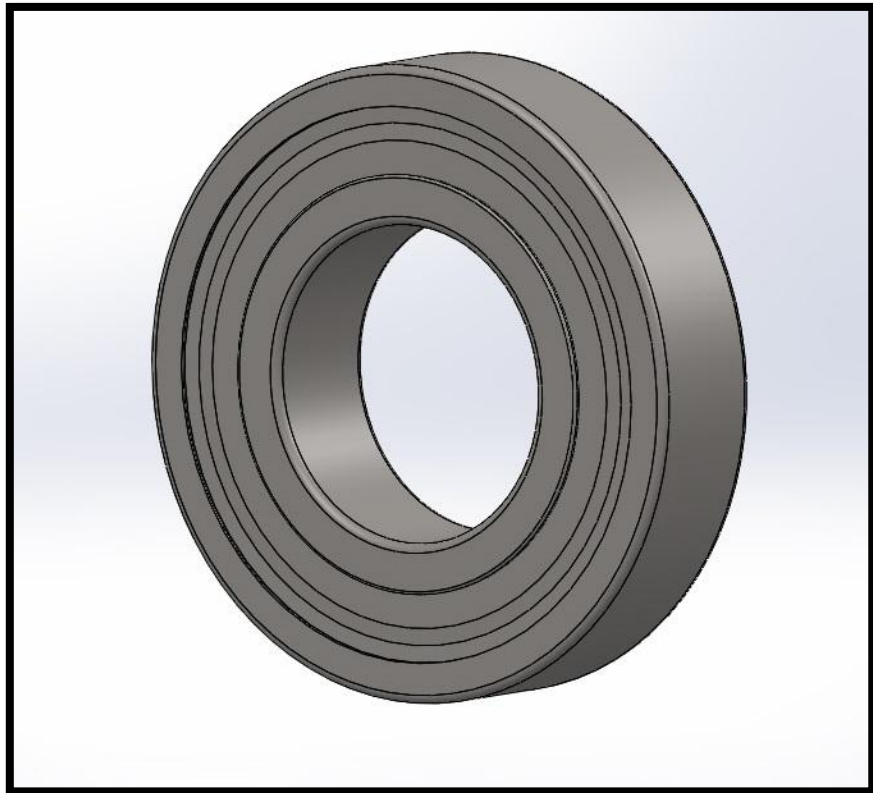
Εικόνα 6.5.4.1

6.5.5 Πίσω έδρανο άξονα (1405)



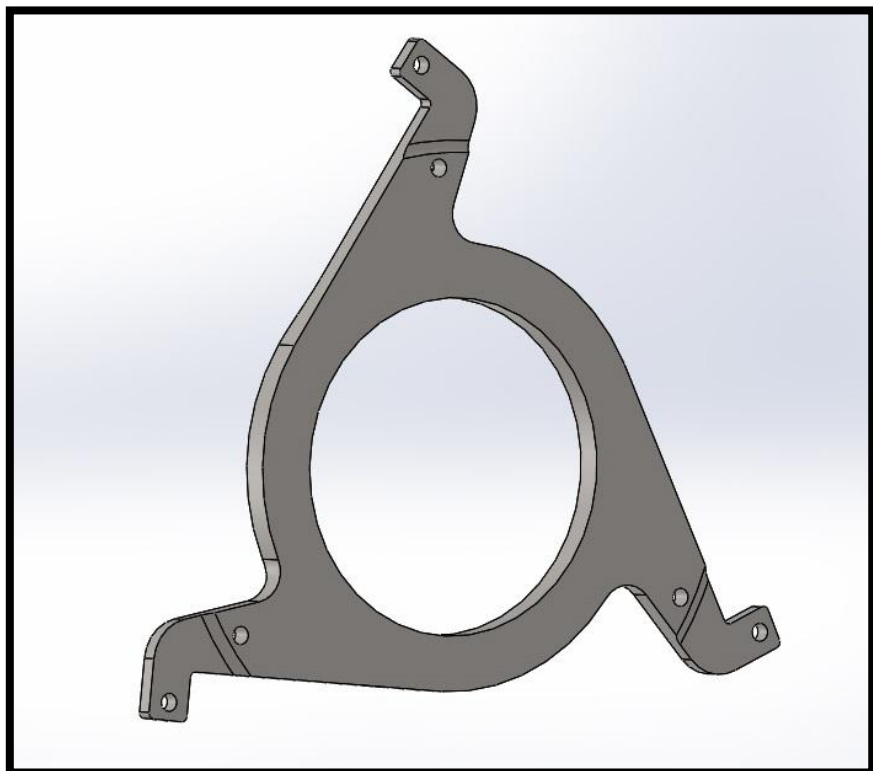
Εικόνα 6.5.5.1

6.5.6 Μπροστά έδρανο άξονα (1406)



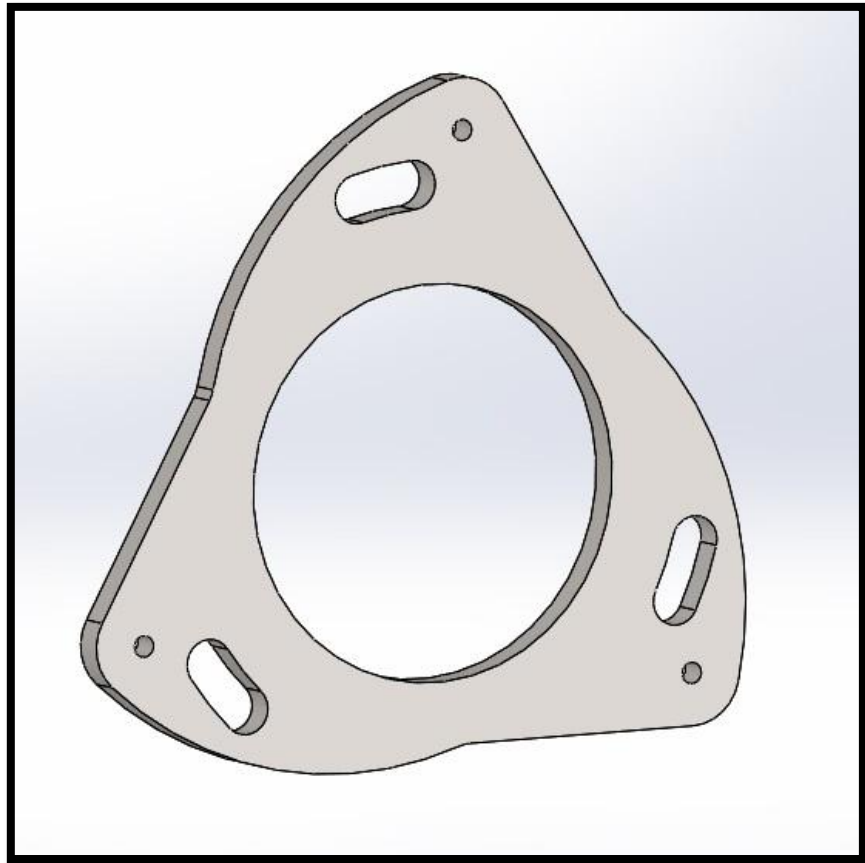
Εικόνα 6.5.6.1

6.5.7 Συγχρονιστήρας A (1407)



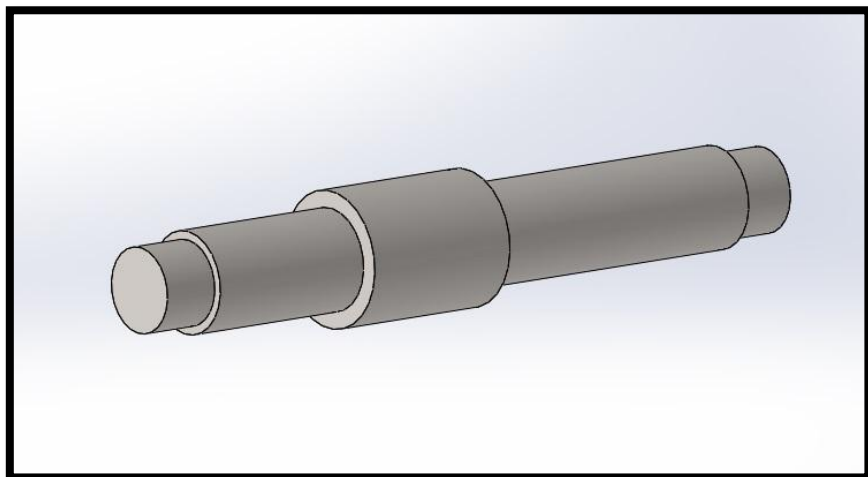
Εικόνα 6.5.7.1

6.5.8 Συγχρονιστήρας Β (1408)



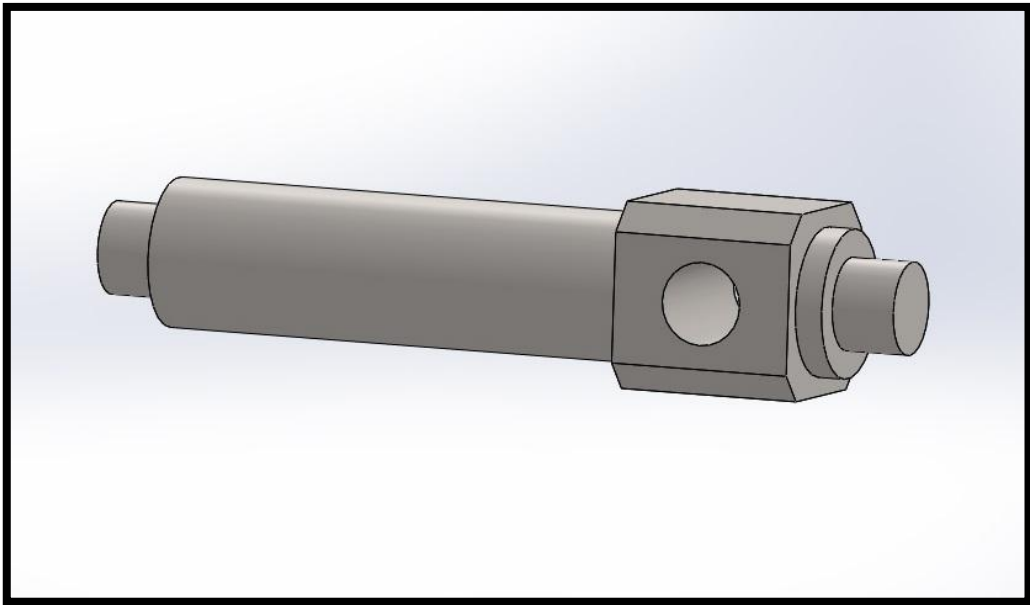
Εικόνα 6.5.8.1

6.5.9 Στοπ συγχρονιστήρα (1409)



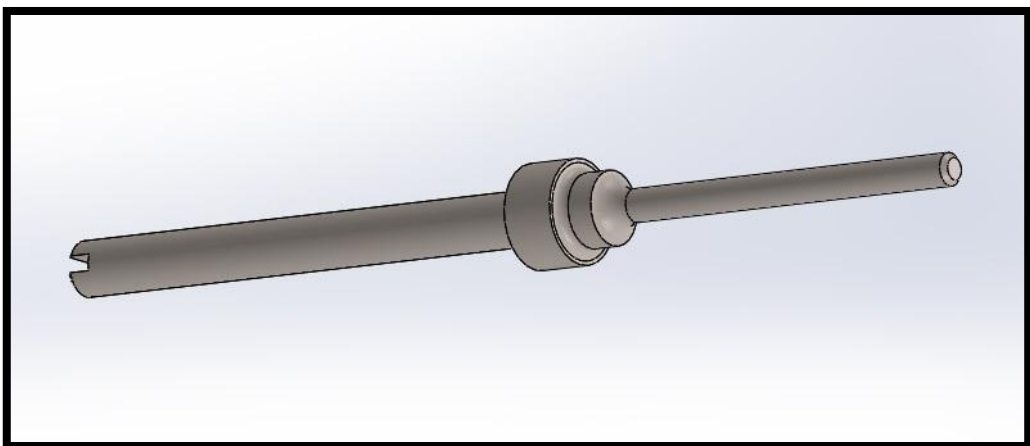
Εικόνα 6.5.9.1

6.5.10 Άκρο ελατηρίου (1410)



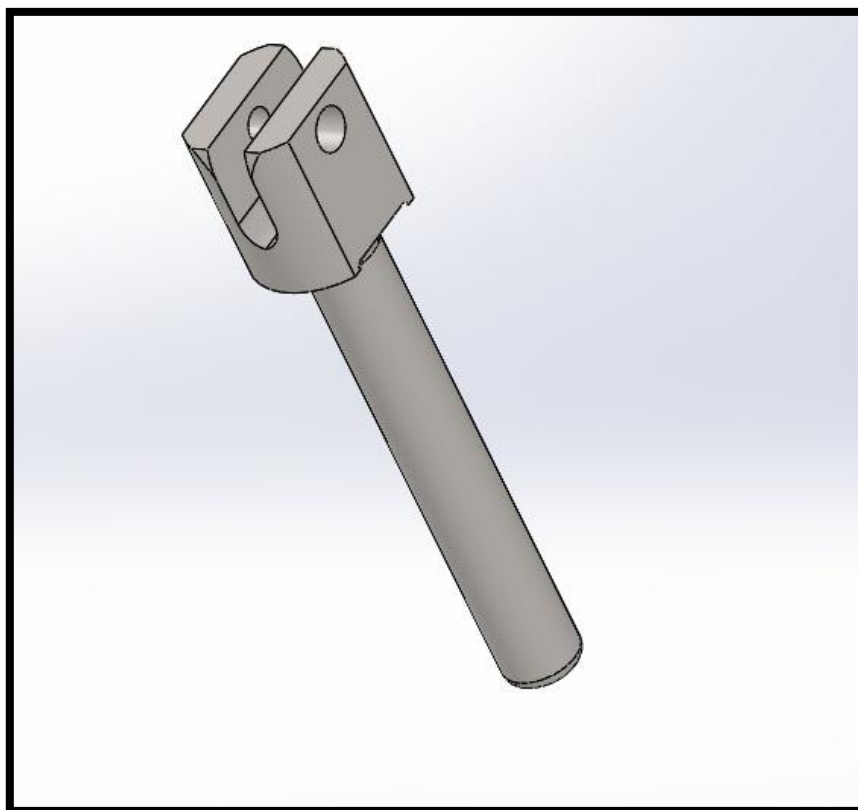
Εικόνα 6.5.10.1

6.5.11 Οδηγός ελατηρίου (1411)



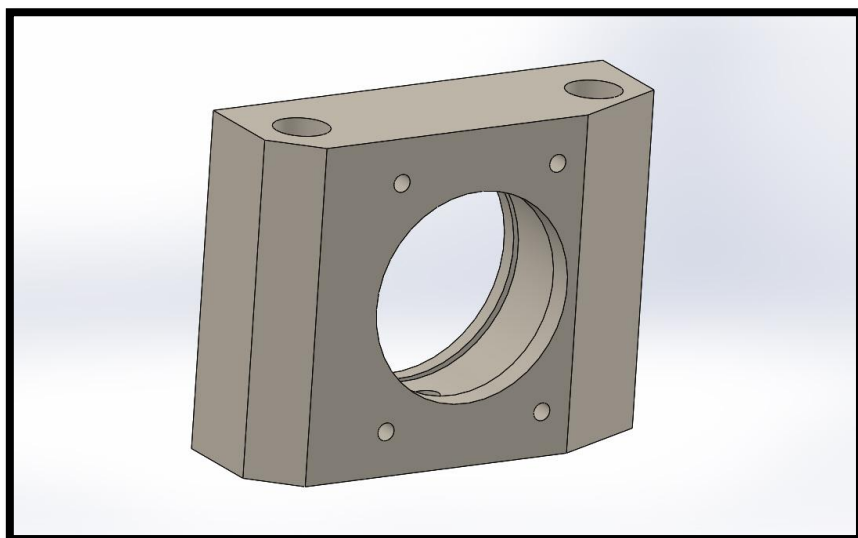
Εικόνα 6.5.11.1

6.5.12 Οδηγός ελατηρίου (1412)



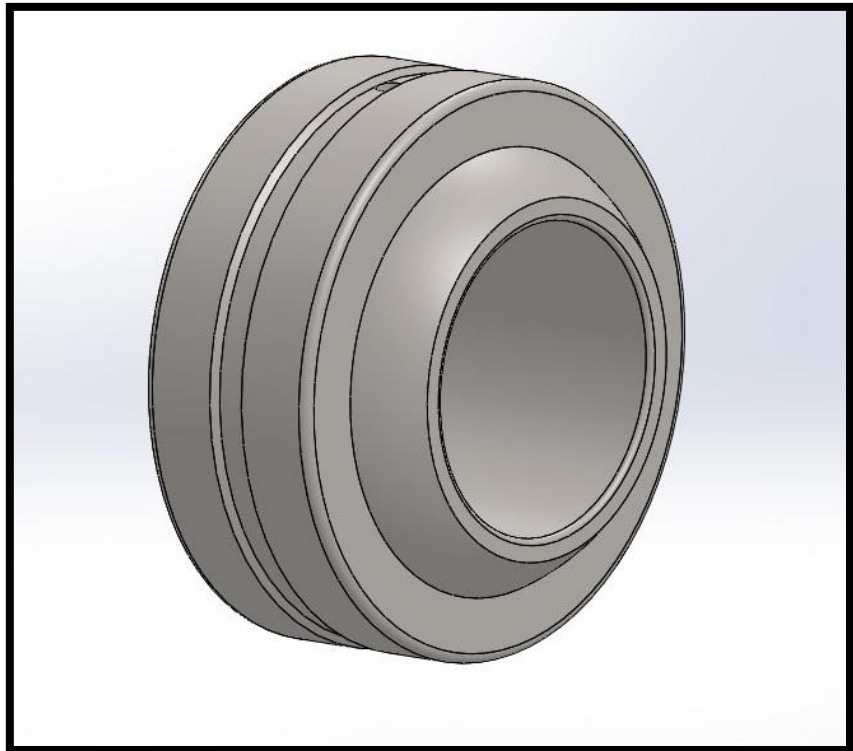
Εικόνα 6.5.12.1

6.5.13 Έδρανο φτερού (1413)



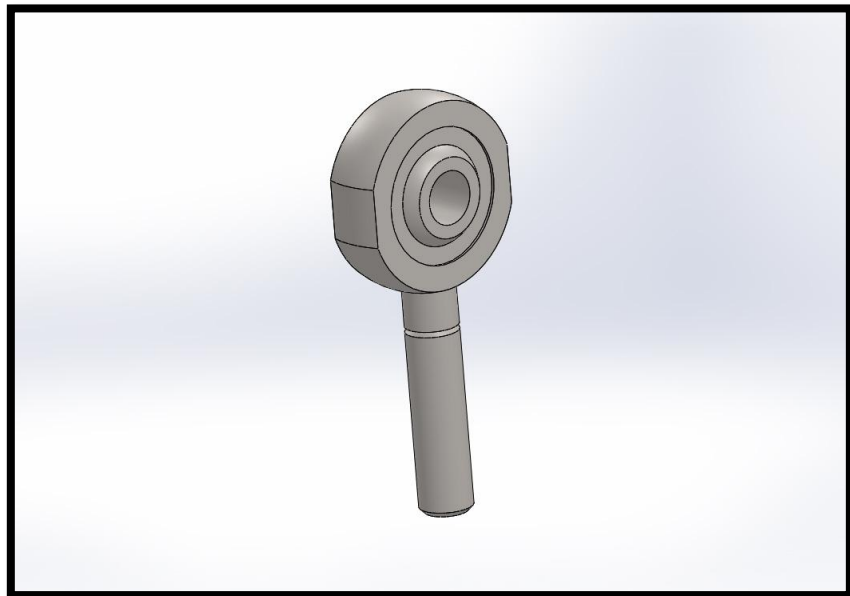
Εικόνα 6.5.13.1

6.5.14 Σφαιρικό Έδρανο (1414,1415)



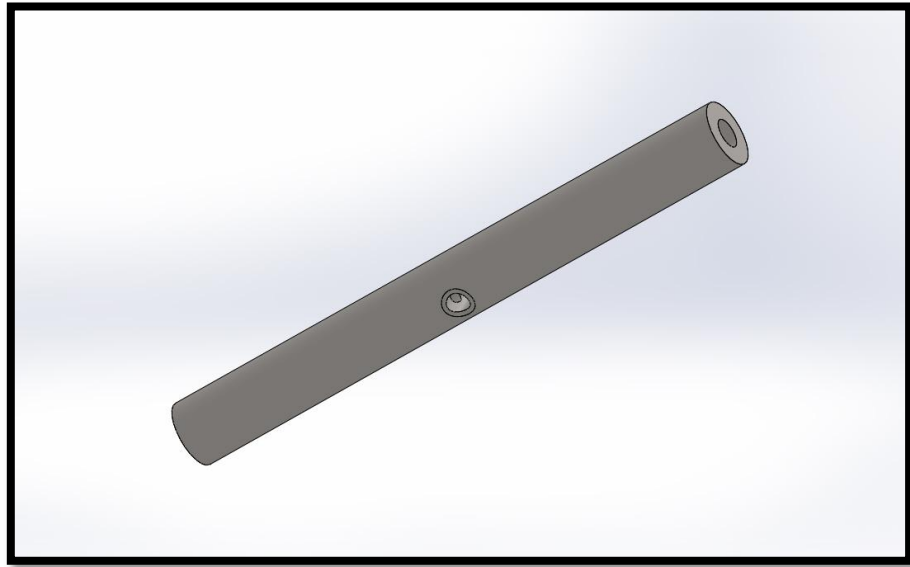
Εικόνα 6.5.14.1

6.5.15 Ακροαρθρώσεις (1416,1417)

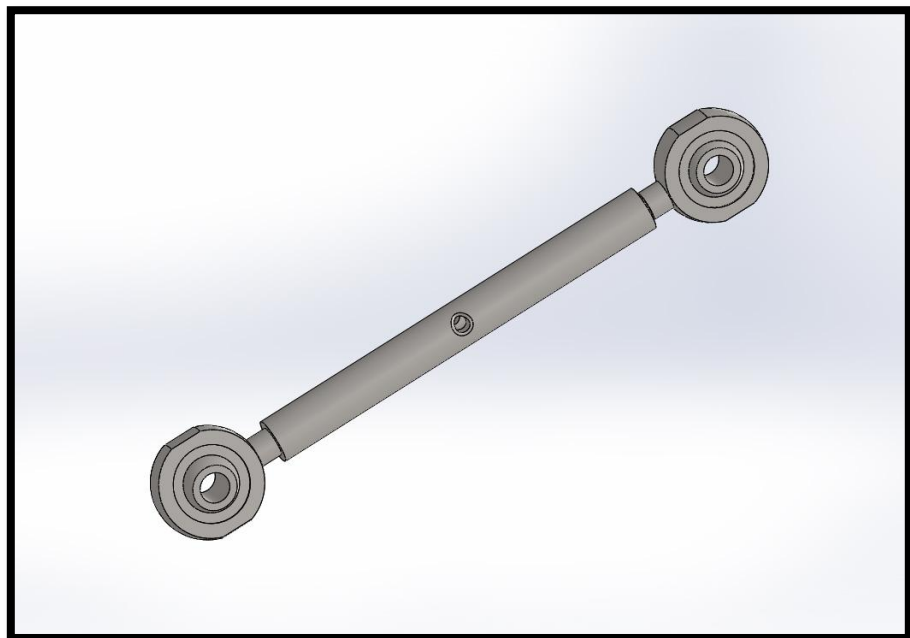


Εικόνα 6.5.15.1

6.5.16 Σώμα διωστήρα (1418)

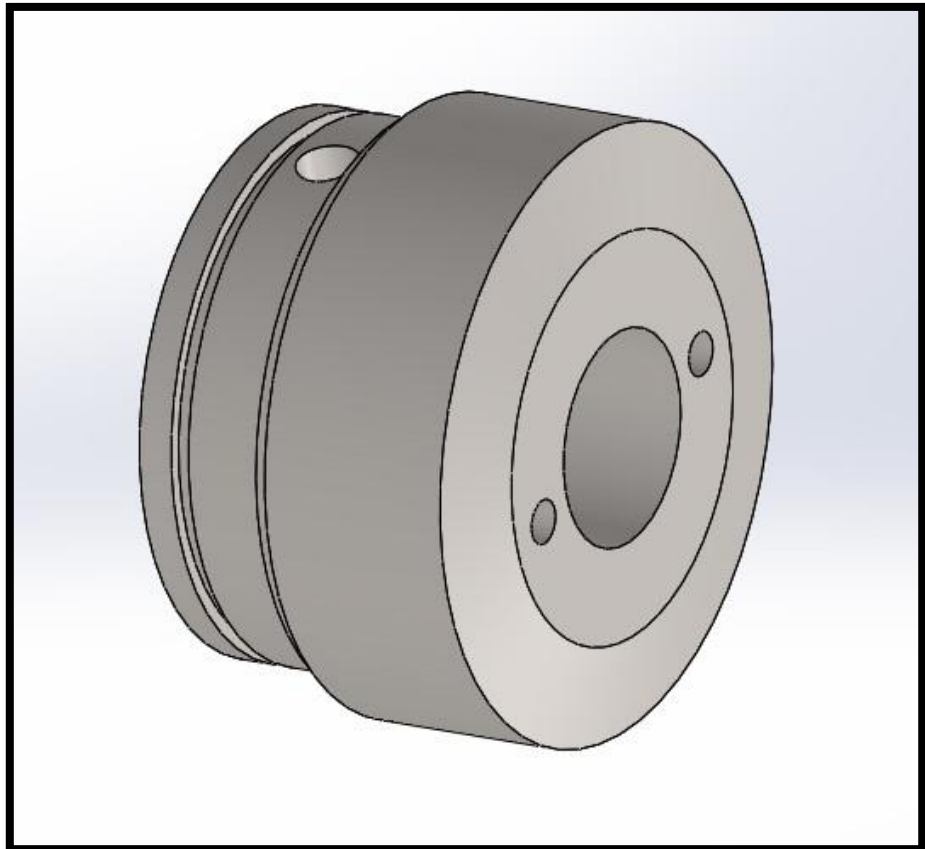


Εικόνα 6.5.16.1



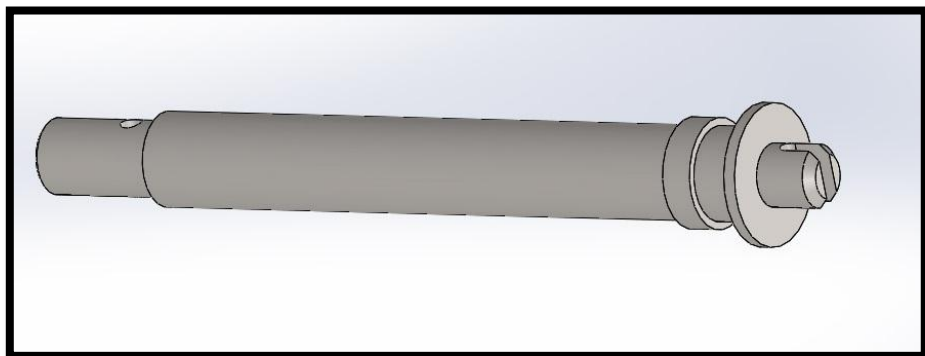
Εικόνα 6.5.16.2

6.5.17 Βάκτρο (1419)



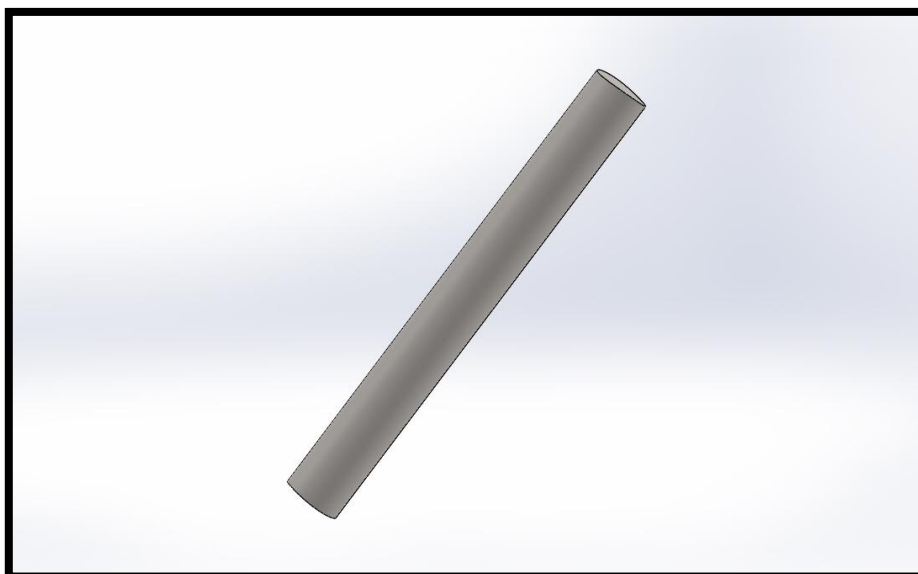
Εικόνα 6.5.17.1

6.5.18 Άξονας φτερού (1420)



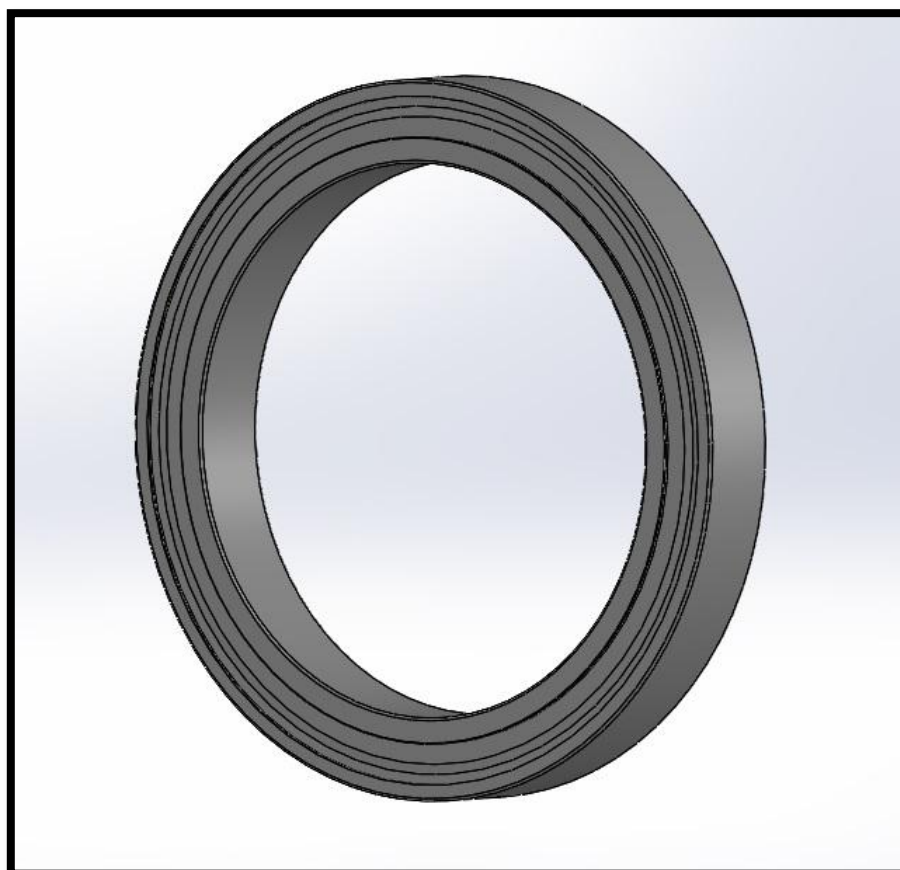
Εικόνα 6.5.18.1

6.5.19 Πείρος βάκτρου (1421)



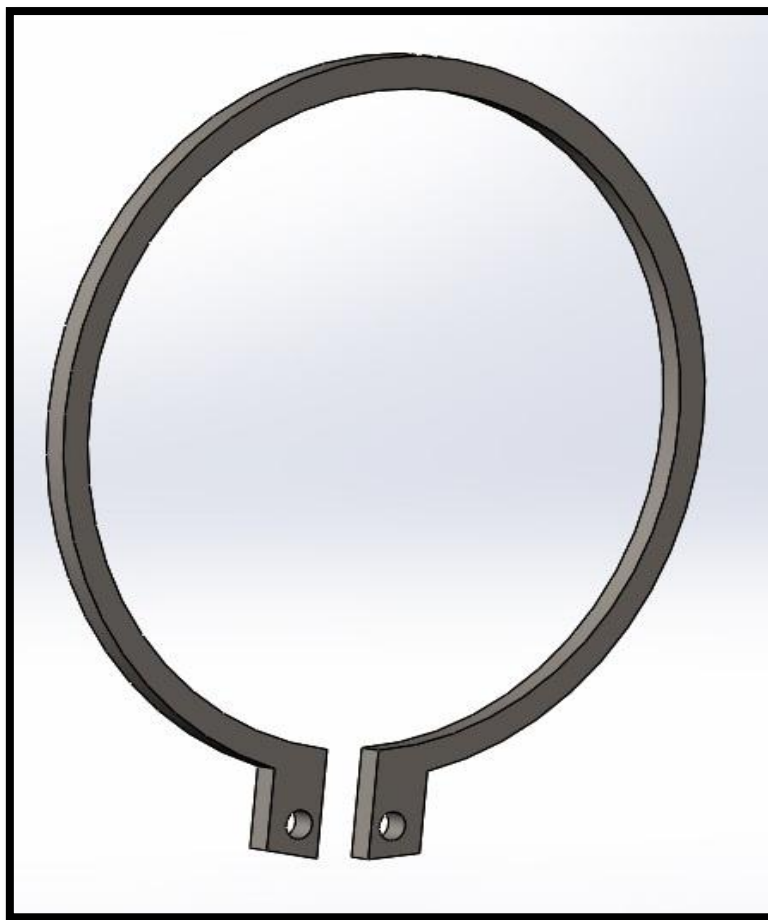
Εικόνα 6.5.19.1

6.5.20 Έδρανο κύλισης (1422)



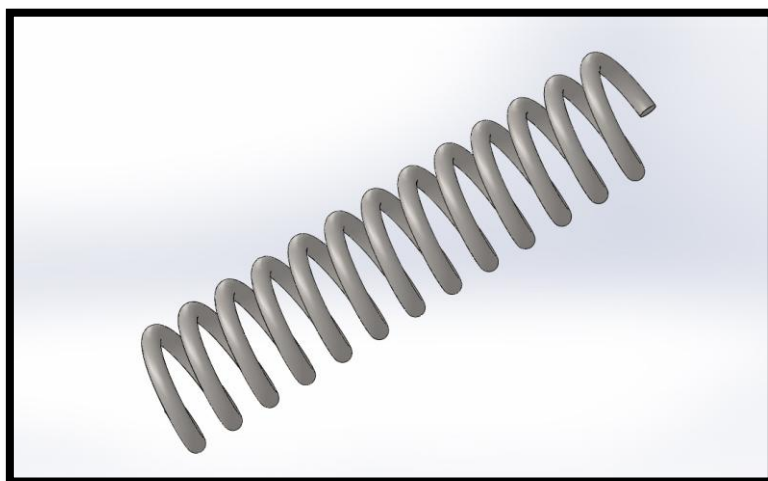
Εικόνα 6.5.20.1

6.5.21 Ασφάλεια κατά DIN 7435 (1423)



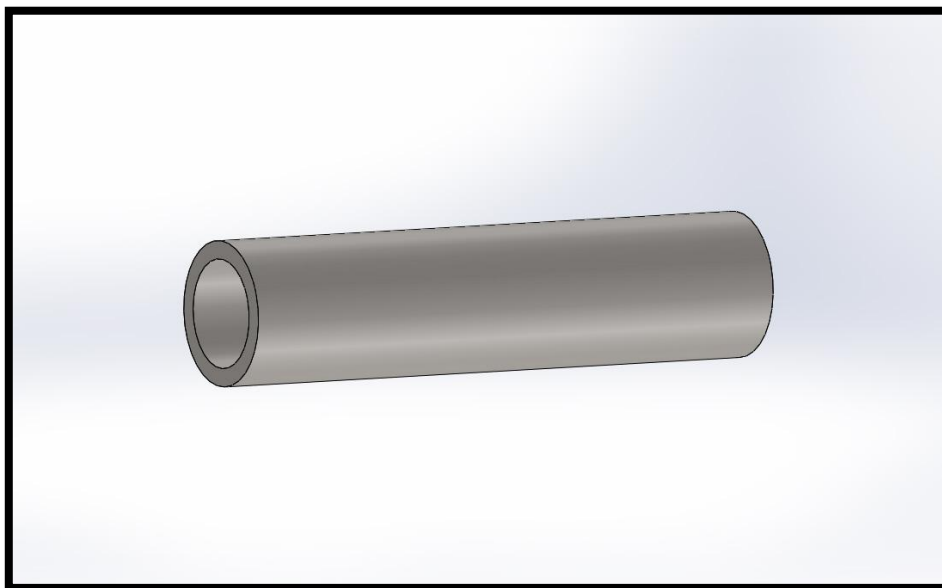
Εικόνα 6.5.21.1

6.5.22 Ελατήριο (1424)



Εικόνα 6.5.22.1

6.5.23 Αποστάτης άξονα φτερού (1425)



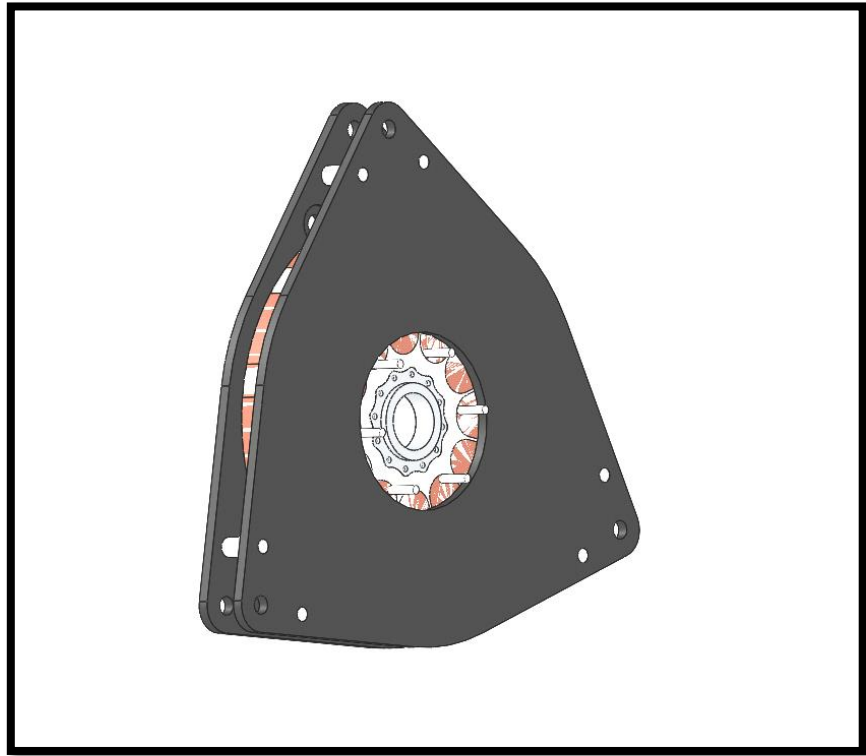
Εικόνα 6.5.23.1

6.6 Γεννήτρια (1500)

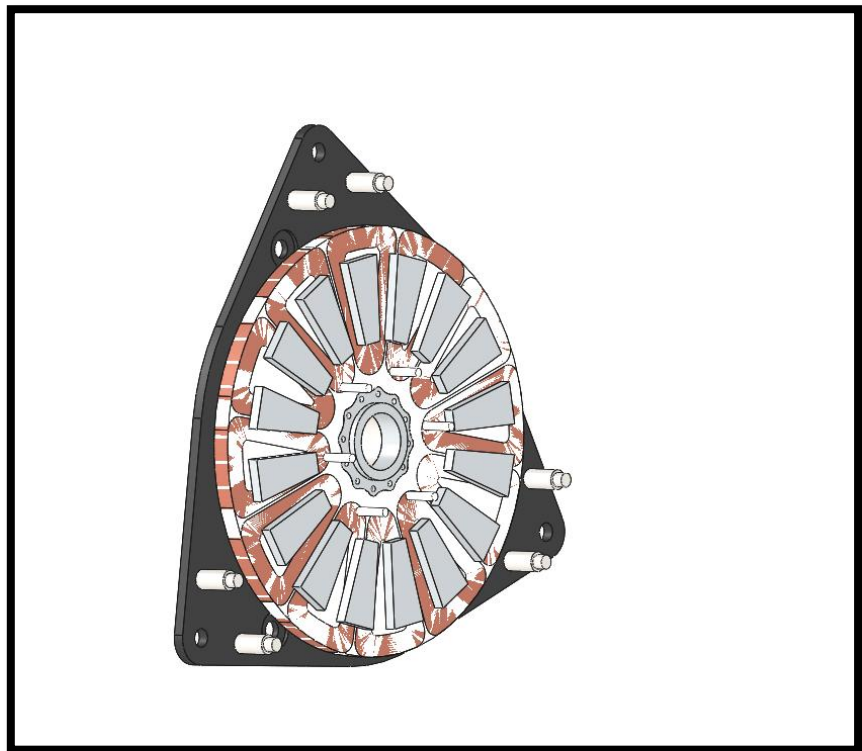
Η γεννήτρια αποτελείται από επτά εξαρτήματα τα οποία είναι :

- 1) Βάση Μαγνητών (1501)
- 2) Αποστάτης Στάτη (1502)
- 3) Μαγνήτες (1503)
- 4) Στάτης (1504,1505)
- 5) Βάση Στάτη (1506)
- 6) Αποστάτες Φλαντζών (1507)
- 7) Βάση Μαγνητών (1508)

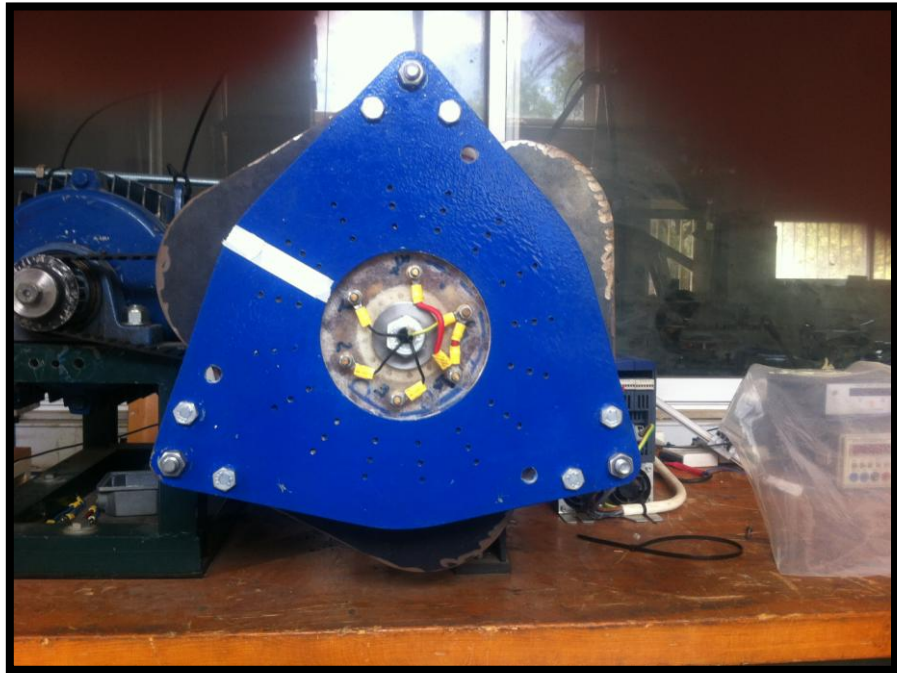
Για την συναρμολόγηση της γεννήτριας με τον μηχανισμό ελέγχου θα χρησιμοποιήσουμε τρεις βίδες με εξαγωνικό κεφάλι M12 x 170mm και δεκαπέντε περικόχλια M12. Επιπλέον μια βίδα εξαγωνικής κεφαλής M20 x 50mm διαμπερές.



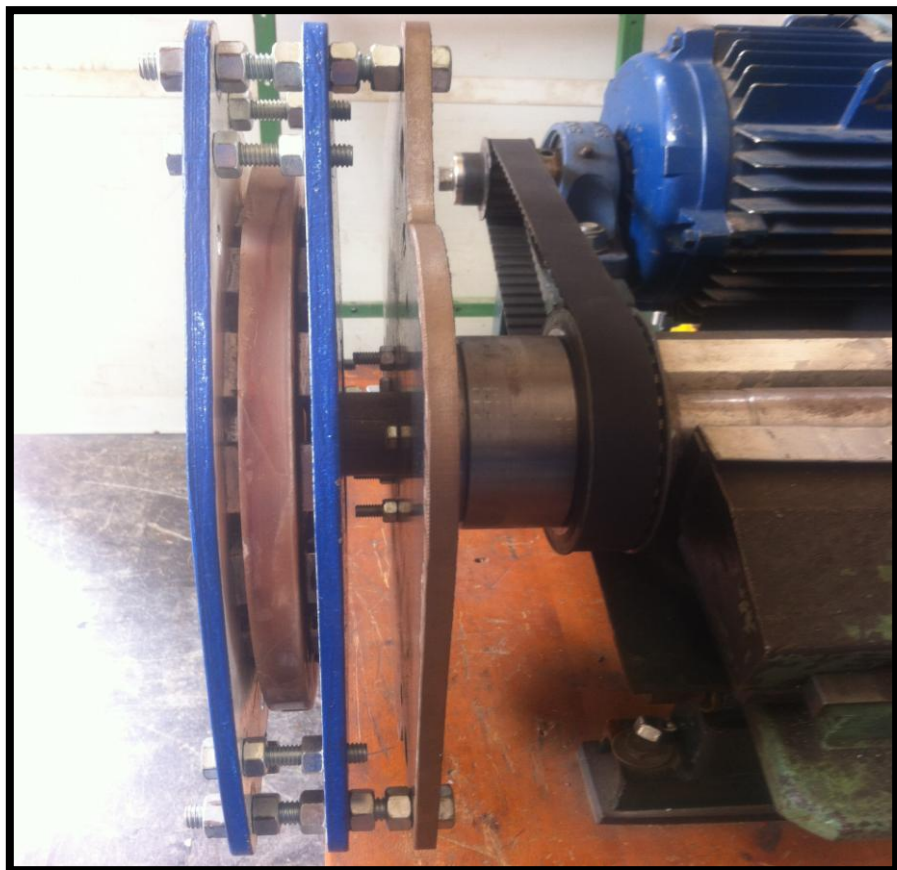
Εικόνα 6.6.1: Γεννήτρια



Εικόνα 6.6.2: Γεννήτρια

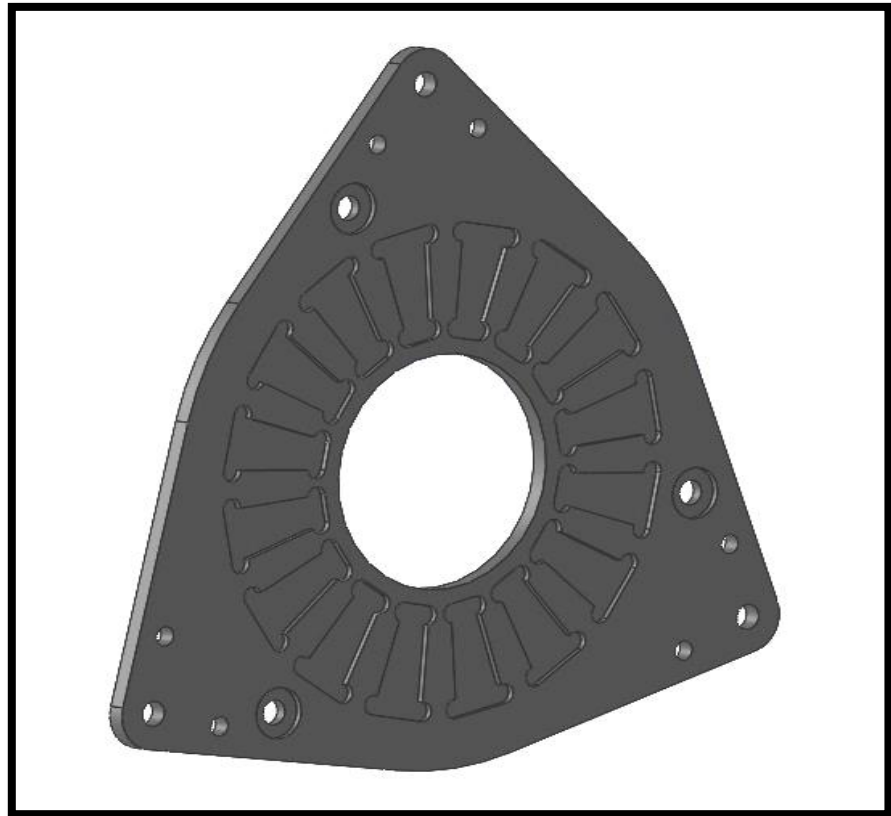


Εικόνα 6.6.3: Γεννήτρια



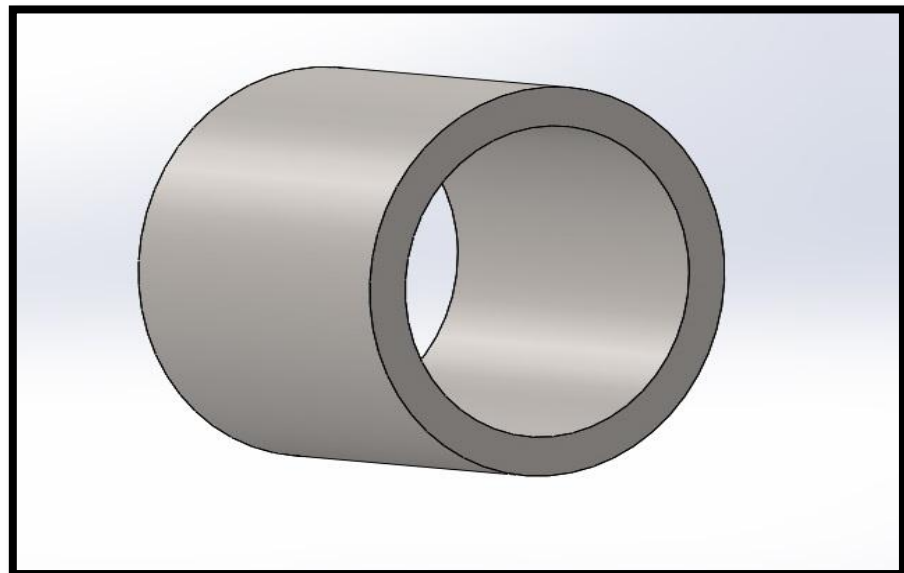
Εικόνα 6.6.1: Γεννήτρια

6.6.1 Βάση Μαγνητών (1501)



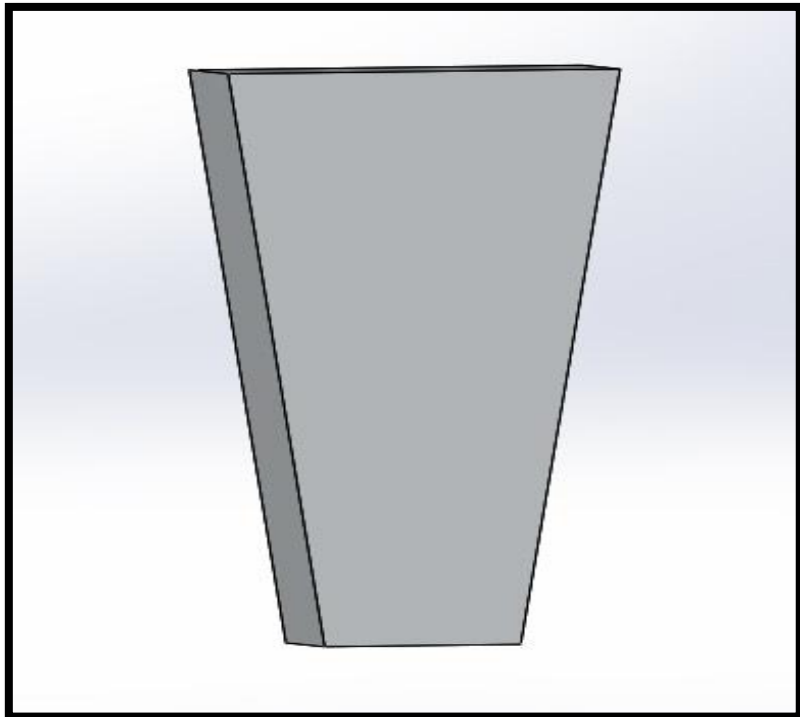
Εικόνα 6.6.1.1

6.6.2 Αποστάτης Στάτη (1502)



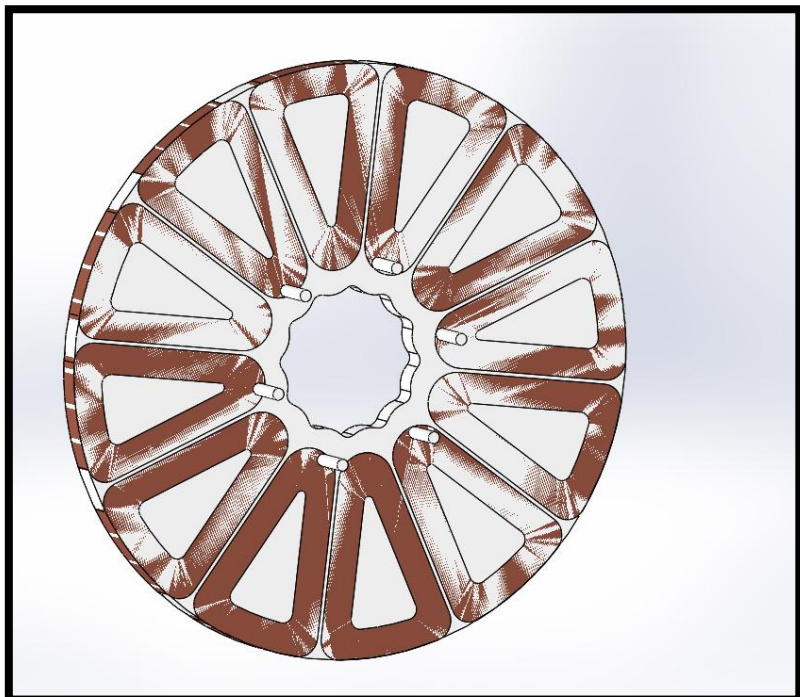
Εικόνα 6.6.2.1

6.6.3 Μαγνήτες (1503)



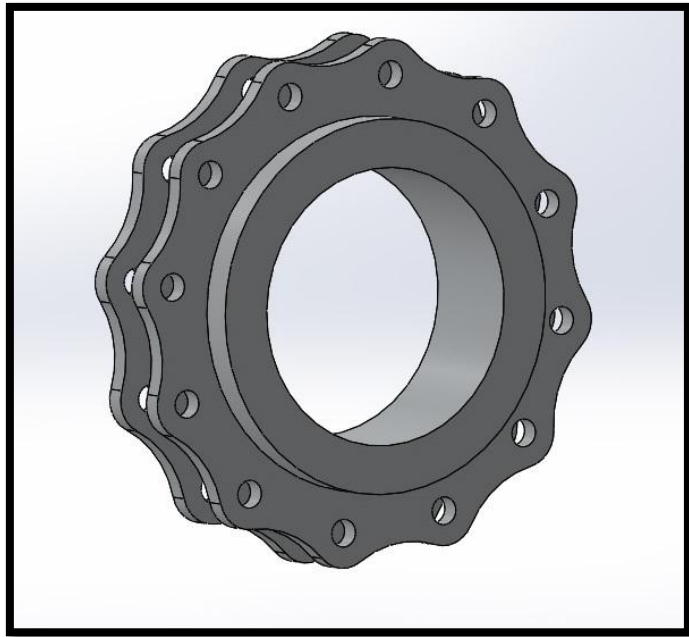
Εικόνα 6.6.3.1

6.6.4 Στάτης (1504,1505)



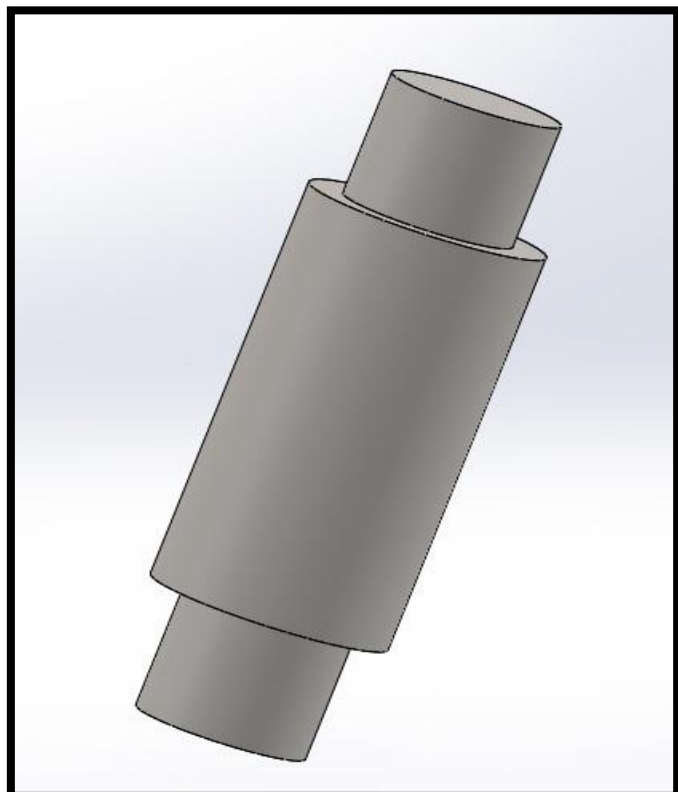
Εικόνα 6.6.4.1

6.6.5 Βάση Στάτη (1506)



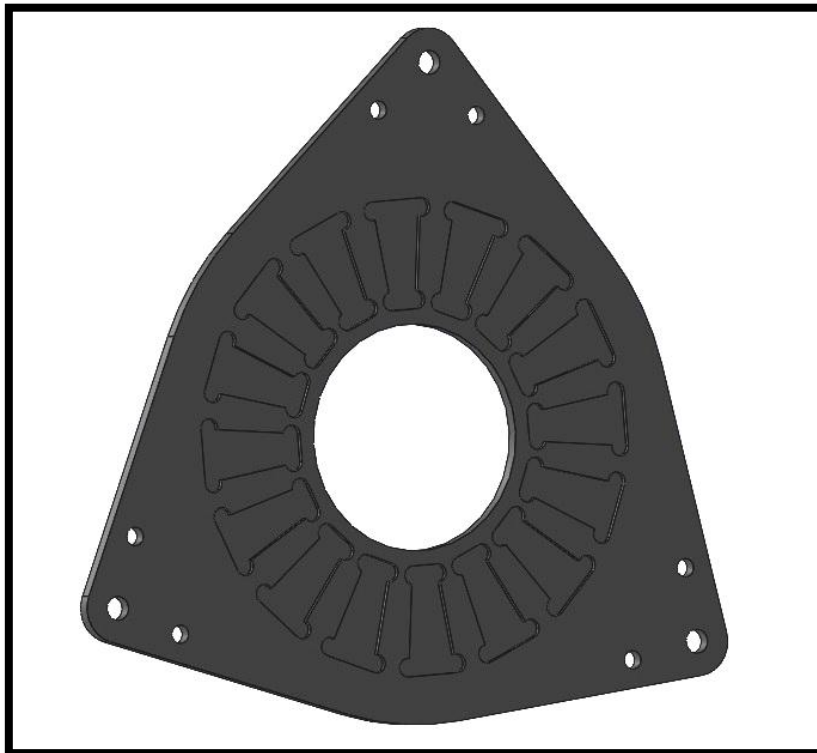
Εικόνα 6.6.5.1

6.6.6 Αποστάτες Φλαντζών (1507)



Εικόνα 6.6.6.1

6.6.7 Βάση Μαγνητών (1508)



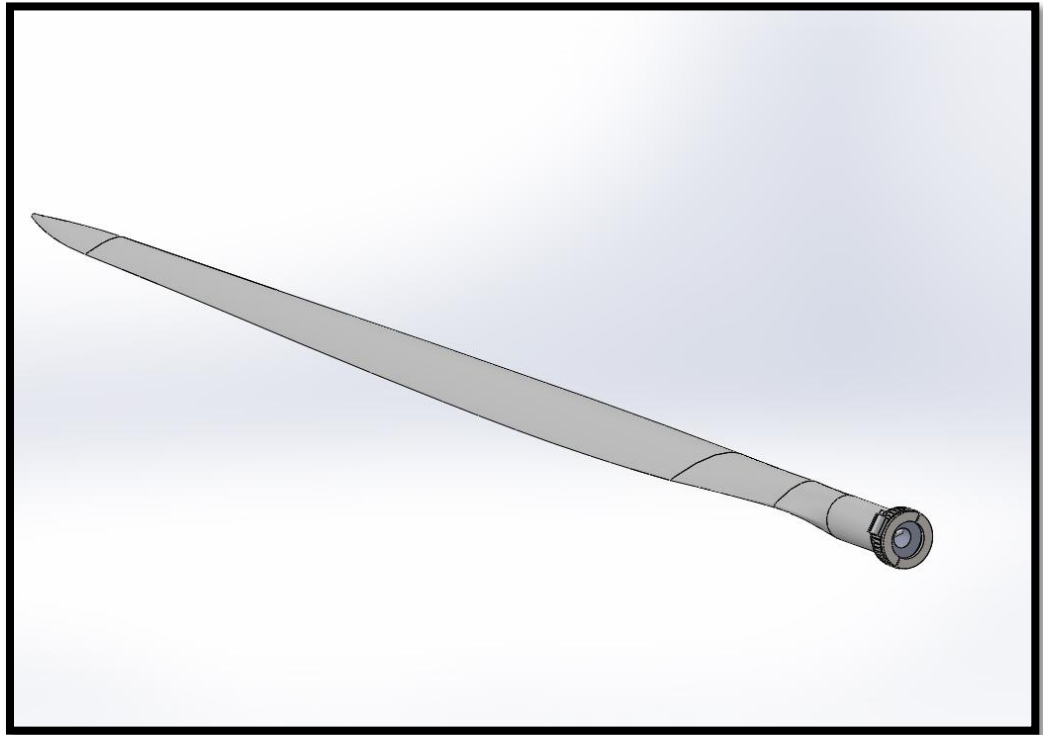
Εικόνα 6.6.7.1

6.7 Φτερό (1600)

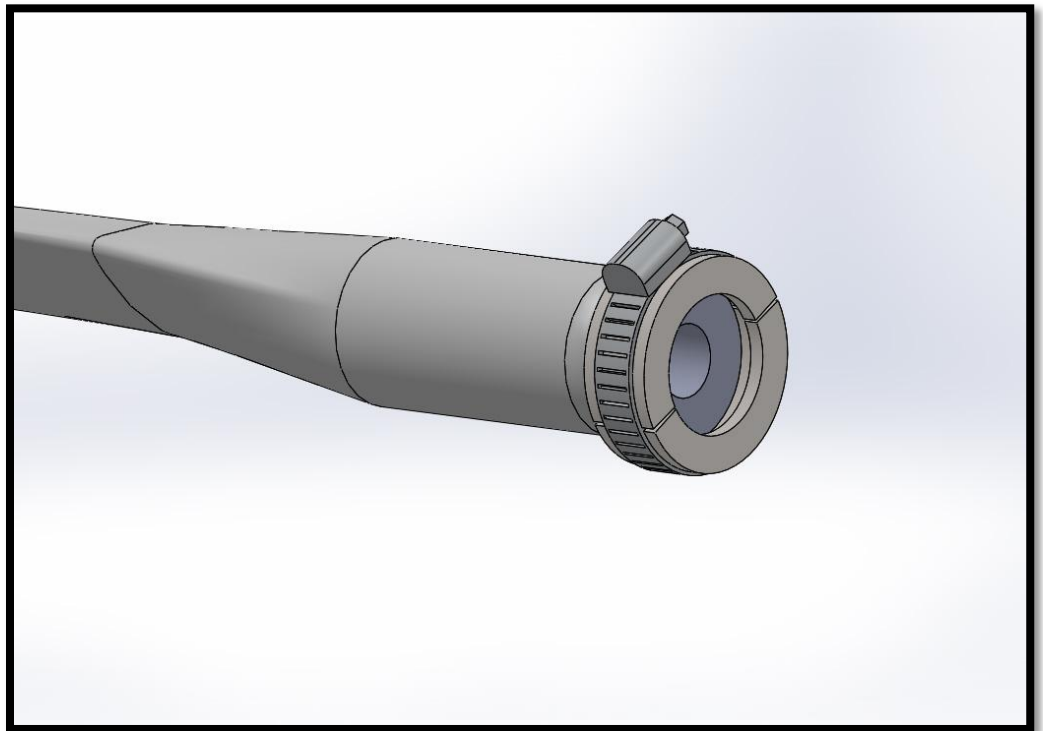
Το φτερό [1] αποτελείται από πέντε εξαρτήματα τα οποία είναι :

- 1) Σωλήνας Έδρασης Φτερού (1601)
- 2) Συνδετήρας Φτερού (1602)
- 3) Κολιέ Συνδετήρα (1603)
- 4) Φτερό (1604)
- 5) Πείρος Θέσης Φτερού (1605)

Για την σύνδεση των φτερών χρησιμοποιείται το κολιέ.

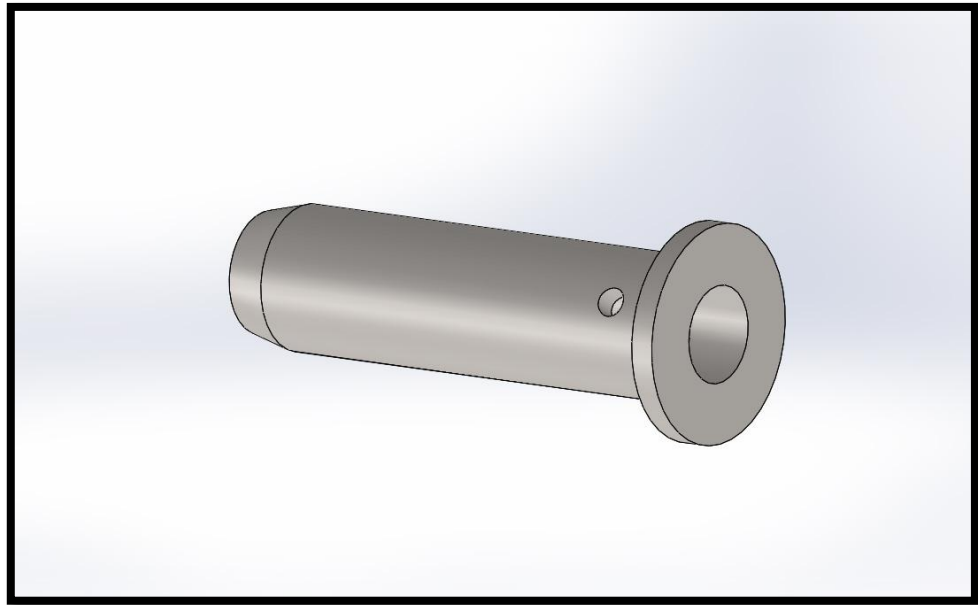


Εικόνα 6.7.1: Φτερό:[1]



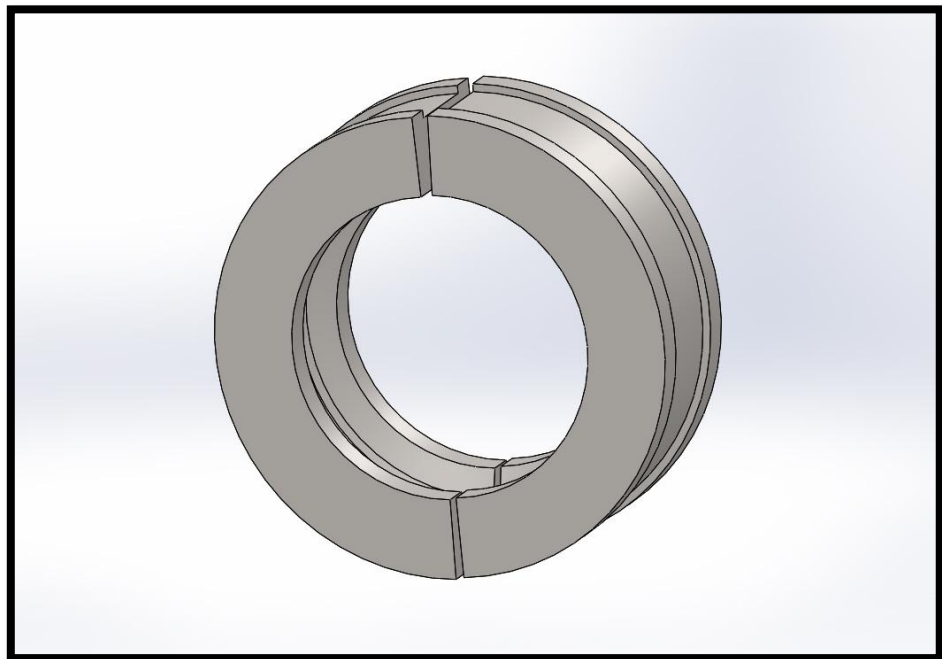
Εικόνα 6.7.2: Φτερό[1]

6.7.1 Σωλήνας Έδρασης Φτερού (1601)



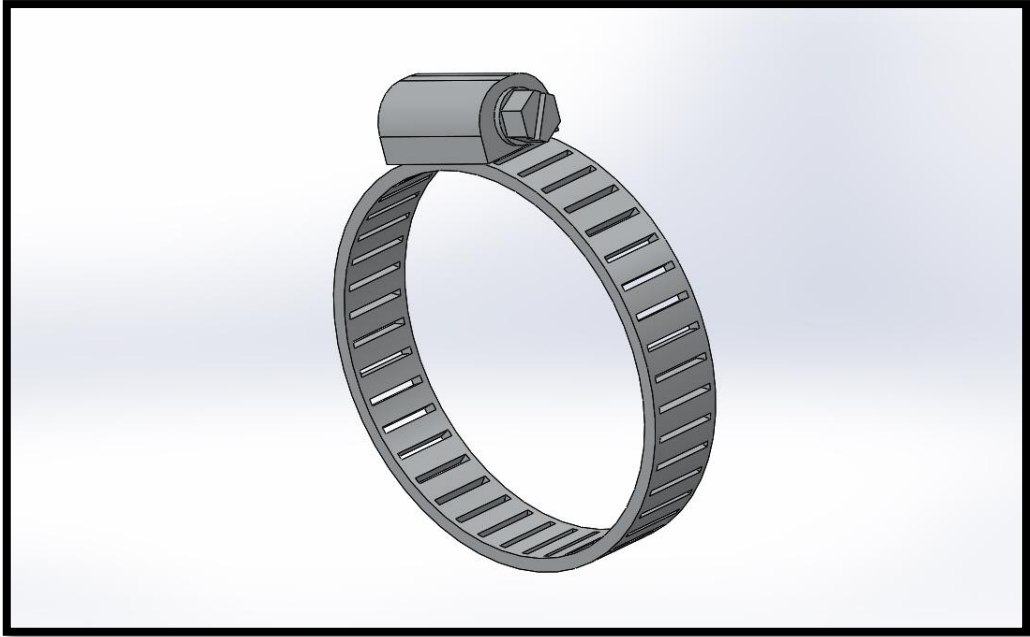
Εικόνα 6.7.1.1:[1]

6.7.2 Συνδετήρας Φτερού (1602)



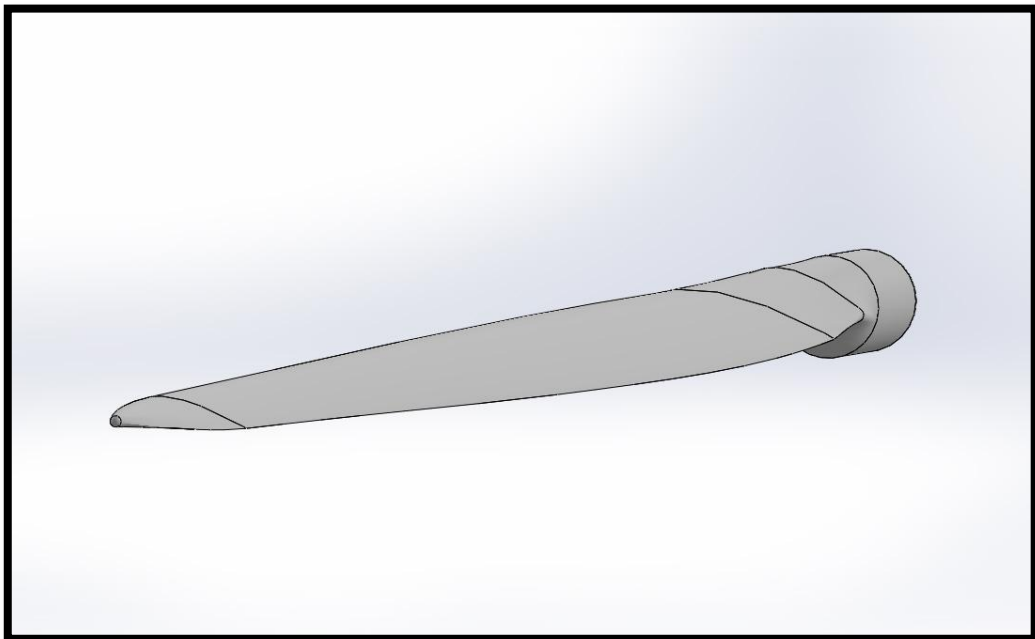
Εικόνα 6.7.2.1:[1]

6.7.3 Κολιέ Συνδετήρα (1603)

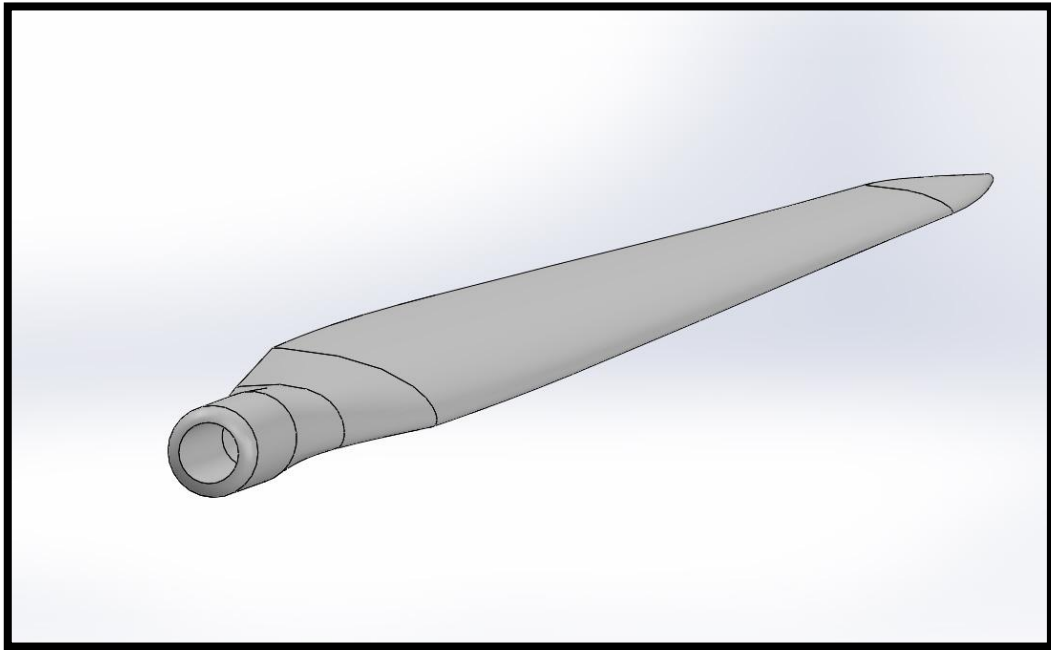


Εικόνα 6.7.3.1:[1]

6.7.4 Φτερό (1604)

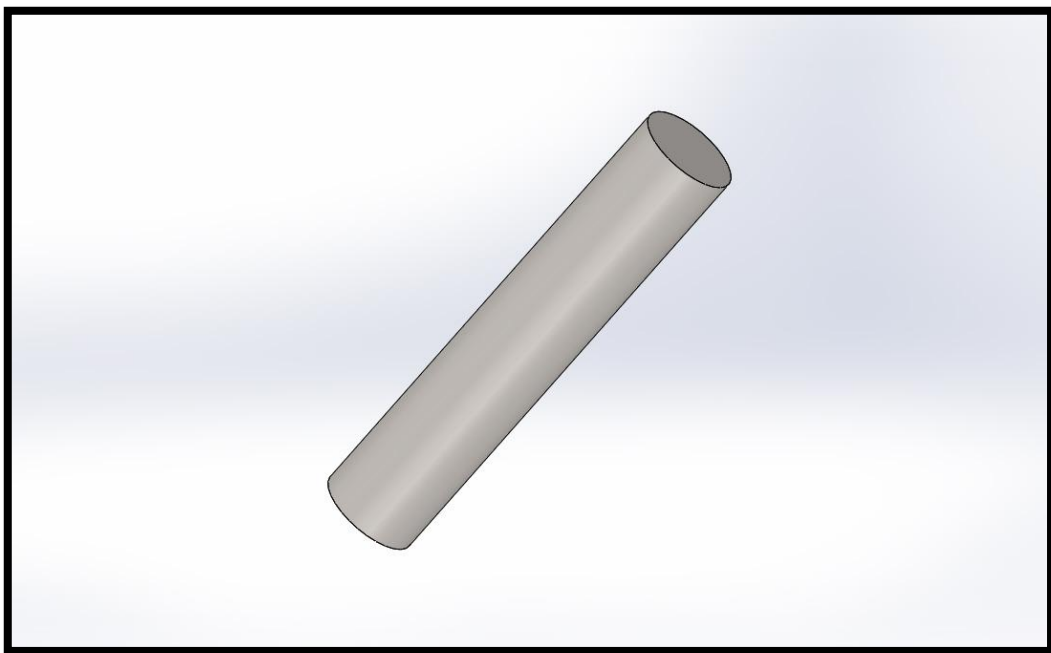


Εικόνα 6.7.4.1: [1]



Εικόνα 6.7.4.2: [1]

6.7.5 Πείρος Θέσης Φτερού (1605)

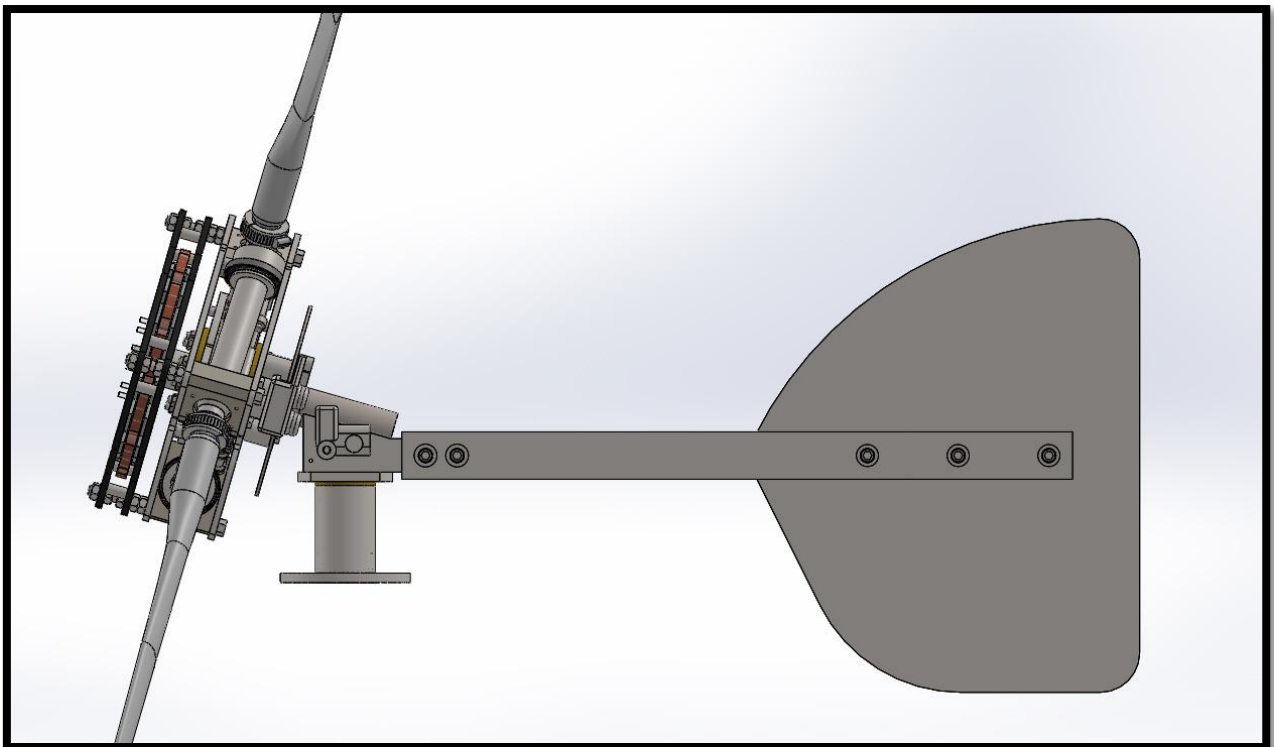


Εικόνα 6.7.5.1: [1]

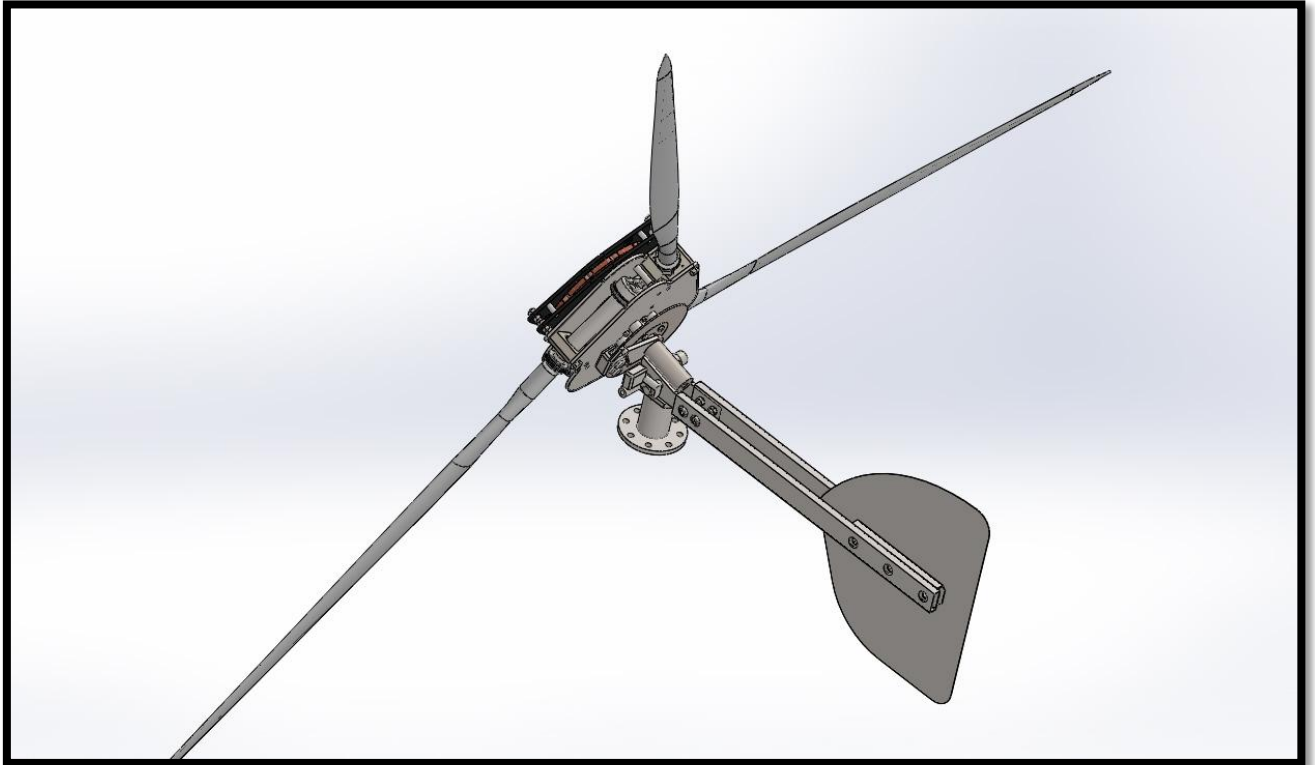
6.8 Συναρμολογημένο σύνολο



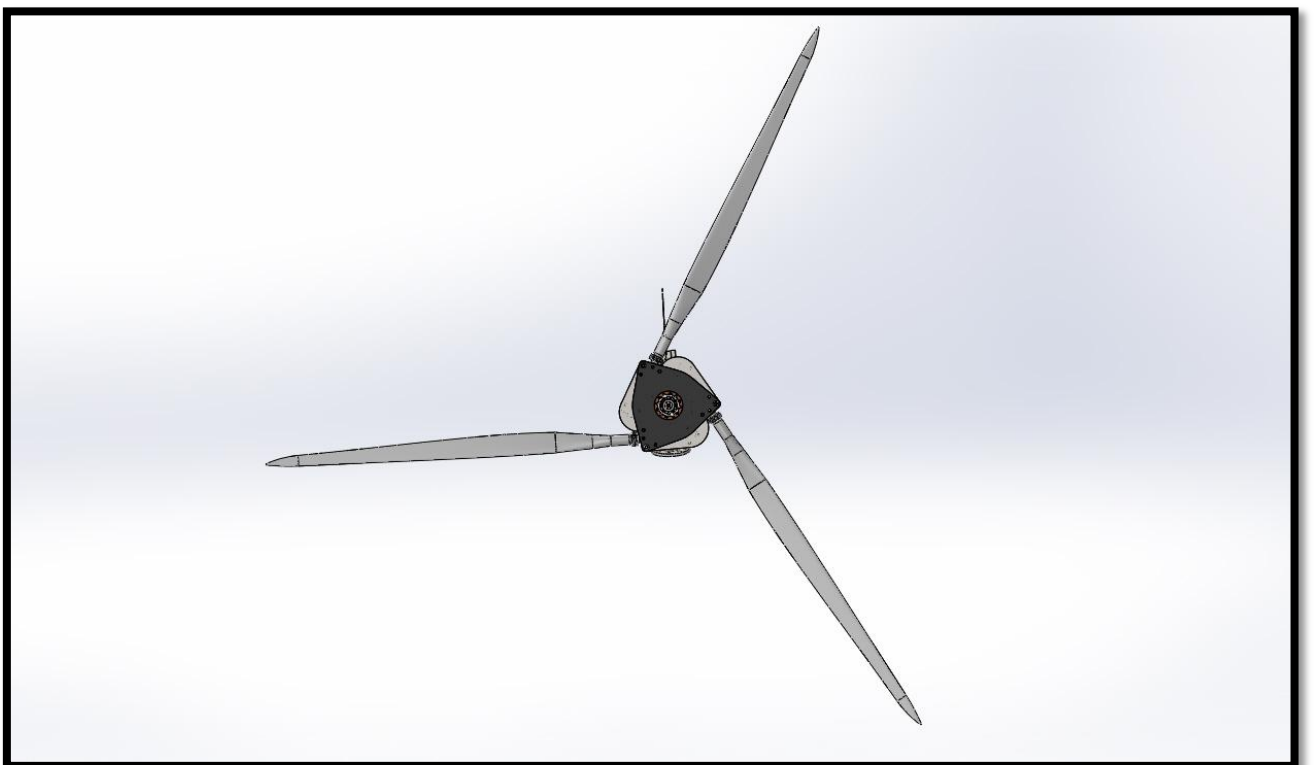
Εικόνα 6.8.1: Συναρμολογημένη Α/Γ 1000W



Εικόνα 6.8.2: Συναρμολογημένη Α/Γ 1000W



Εικόνα 6.8.3: Συναρμολογημένη Α/Γ 1000W



Εικόνα 6.8.4: Συναρμολογημένη Α/Γ 1000W

7. Γεννήτρια – Δοκιμές Γεννήτριας

7.1 Ανάλυση Γεννήτριας (θεωρητικό μέρος)

[2] Ως προς τον τύπου της είναι μια γεννήτρια μόνιμων μαγνητών αξονικής ροής χωρίς σίδηρο στο στάτη με συγκεντρωμένο μη επικαλυπτόμενο τύλιγμα. Το τύλιγμα είναι τραπεζοειδείς και οι μαγνήτες επίσης τραπεζοειδής.

Η γεννήτρια έχει ισχύς εξόδου 1,00 kW και ο βαθμός απόδοσης της υπολογίστηκε 0,9. Επιπλέον ονομαστική συχνότητα επιλέξαμε 50 Hz και αριθμό πόλων $p=16$. Με βάση τα παραπάνω νούμερα η γεννήτρια θα παράγει την ονομαστική ισχύ στις:

$$n_s = \frac{120fs}{p} = \frac{120*50}{16} = 375 \text{ RPM}$$

Η ταχύτητα στην οποία η ανεμογεννήτρια θα γυρίζει με $n_s = 375$ RPM θα είναι:

$$u = \frac{2R_{nom}}{60\lambda} = 8,5 \frac{m}{sec}$$

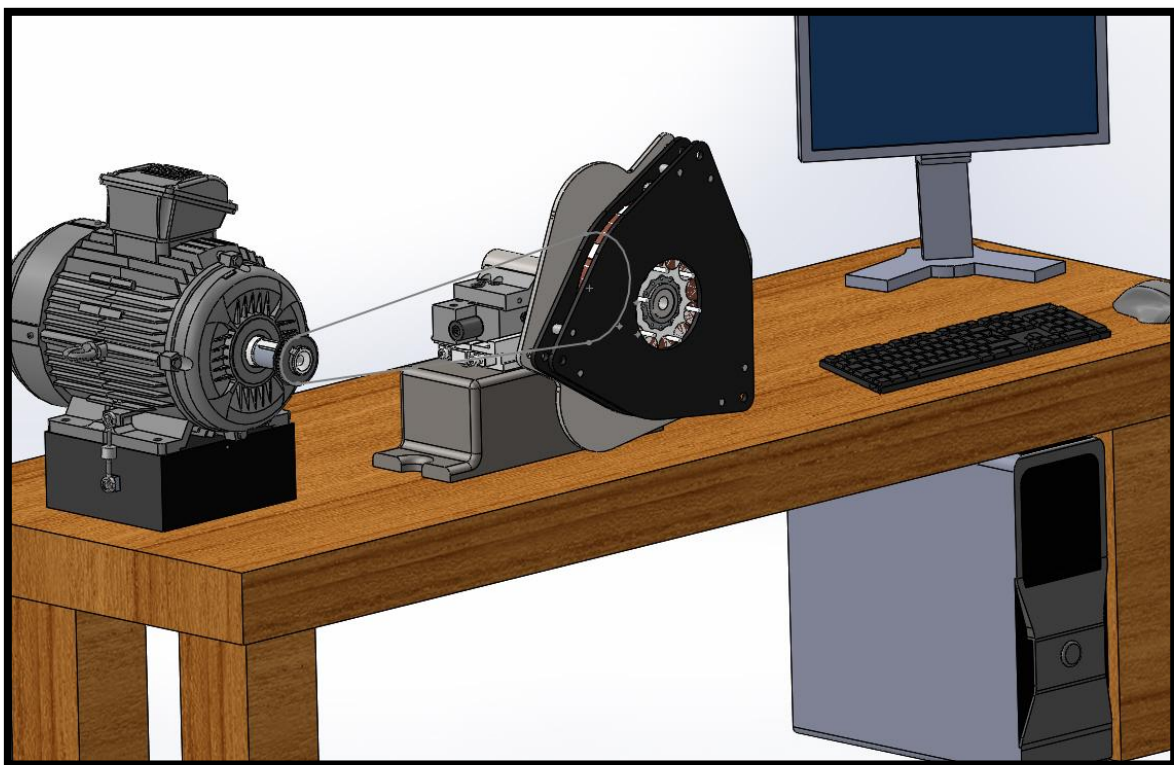
Επιπλέον η ροπή της θα είναι :

$$Td = \frac{P_{μηχ}}{\omega_{mec h}} = \frac{P_{out} * 60 * 1.1}{2p * n_{nom} * \pi} = 31.12 \text{ Nm}$$

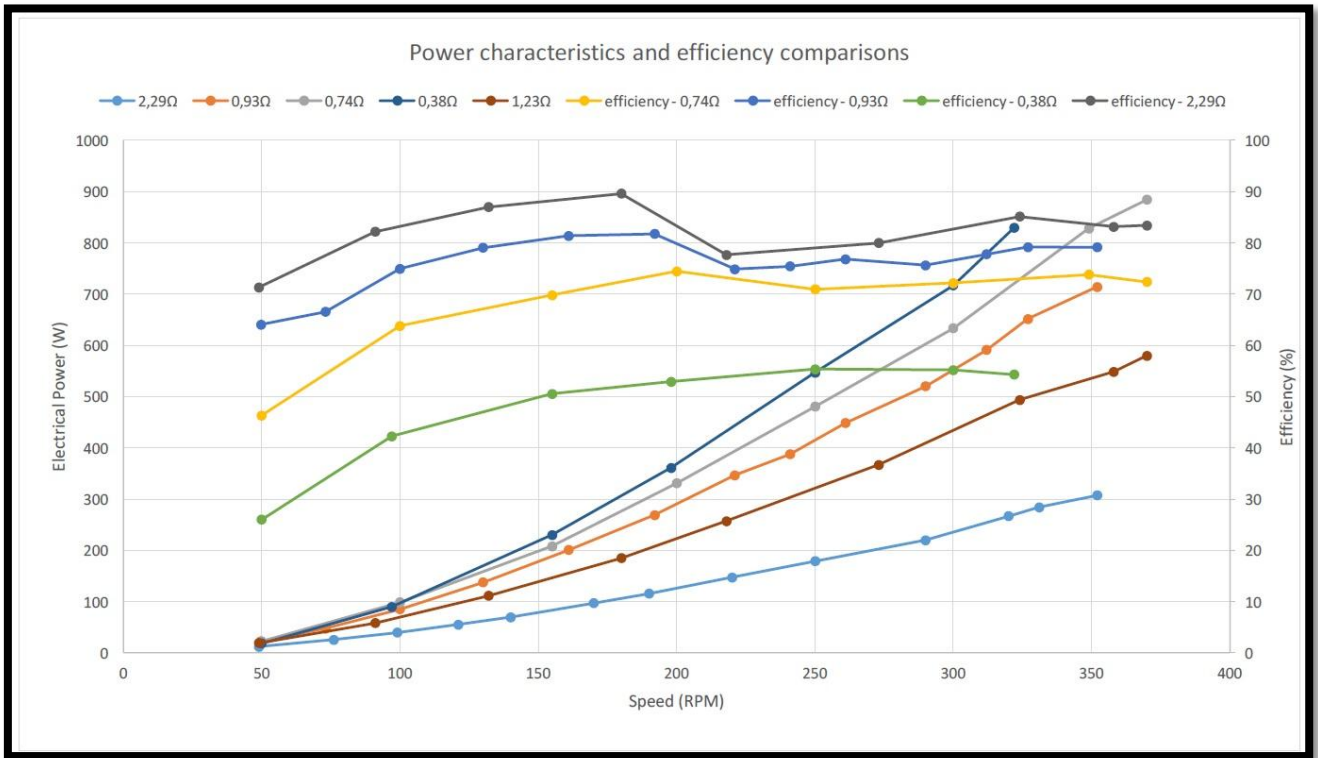
Σύμφωνα με τις μελέτες της γεννήτριας ο αριθμός των πηνίων είναι δώδεκα δηλαδή τέσσερα πηνία ανά φάση, πάχος πλευράς 15.33 mm και διάμετρος χάλκινου αγωγού 0,5 mm. Επιπλέον η γεννήτρια αποτελείται από τριάντα δύο μαγνήτες, δεκαέξι από κάθε πλευρά του στάτη.

7.1 Δοκιμές Γεννήτριας (Πειραματικό μέρος)

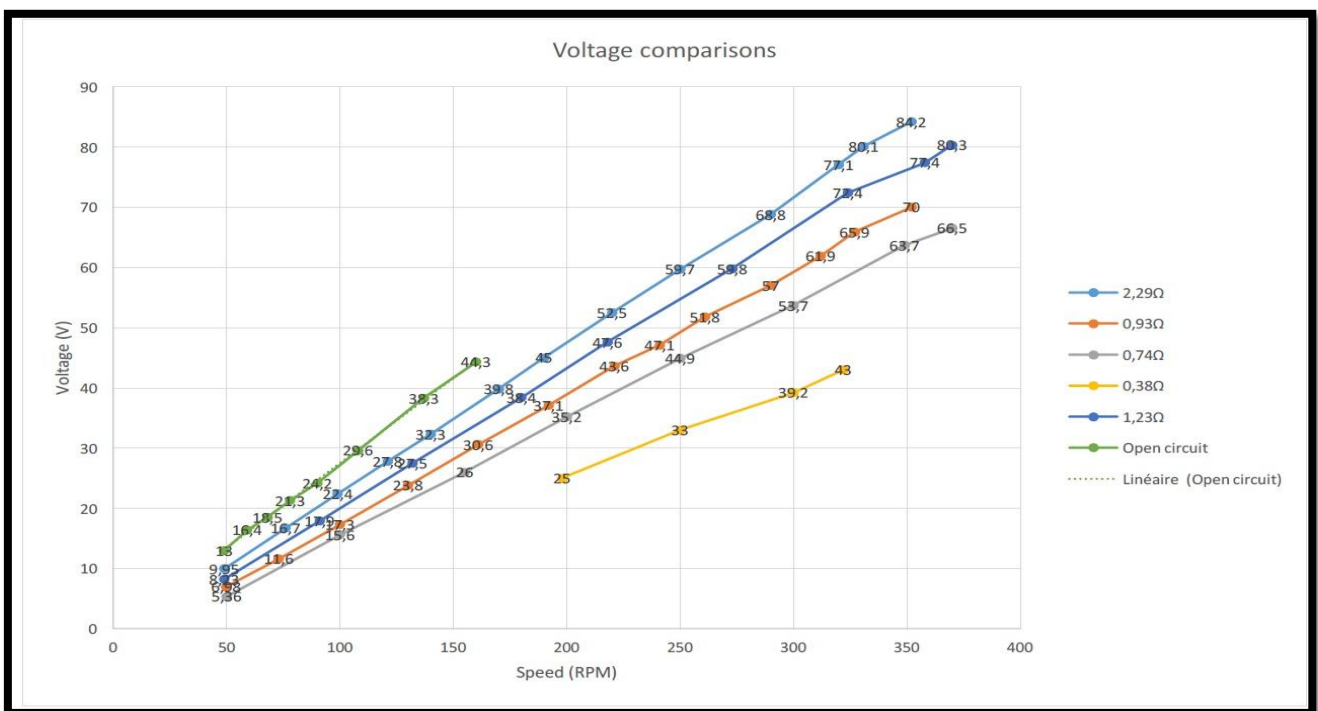
Οι δοκιμές της γεννήτριας [4] πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο αιολικής ενέργειας. Για τις δοκιμές χρειάστηκαν ένας τριφασικός κινητήρας ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με την γεννήτρια μέσω ενός ιμάντα και τις μετρήσεις τις πήραμε μέσω υπολογιστή. Η σχέση μετάδοσης των γραναζιών του κινητήρα με την γεννήτρια είναι 3:1. Επιπλέον για φορτίο χρησιμοποιήσαμε λαμπτήρες 12 volt με ισχύ 100 wattt η κάθε μια. Δηλαδή αν θέλαμε φορτίο 1000 watt, ανάβαμε 10 λαμπτήρες.



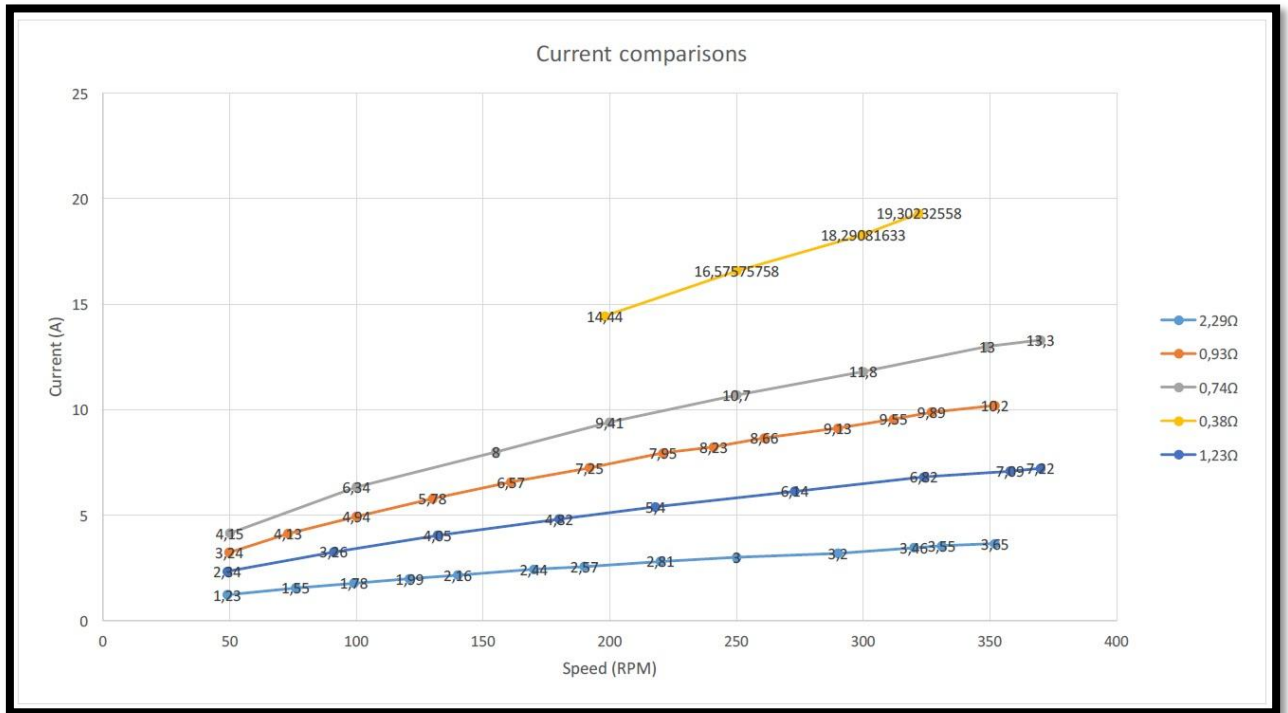
Εικόνα 7.1.1: Δοκιμαστήριο



Διάγραμμα 7.1.1: [4]Καμπύλες ισχύος και ποσοστού απόδοσης με διαφορετικό φορτίο



Διάγραμμα 7.1.2: [4]Διάγραμμα Τάσης- Στροφές με διαφορετικό φορτίο



Διάγραμμα 7.1.3: [4]Διάγραμμα Ρεύμα- Στροφές με διαφορετικό φορτίο

Από το διάγραμμα 7.1.1, με ωμικό φορτίο 2,29 Ω στις 325 RPM η γεννήτρια παράγει ισχύ 850 watt και μέγιστο βαθμό απόδοσης 90%. Άρα στις 375 RPM θα παράγει ισχύ περίπου 1,00 kW. Ως αποτέλεσμα οι θεωρητικές τιμές με τις πειραματικές μετρήσεις είναι σχεδόν ίδιες.

8. Μελλοντικές προοπτικές αυτού του έργου

Η ανάπτυξη της Ανεμογεννήτριας αυτής μπορεί να εξελιχθεί με τα επόμενα βήματα:

- 1) Την πειραματική δοκιμή και την δοκιμή διάρκειας. Η πειραματική δοκιμή περιλαμβάνει:
 - Την μέτρηση της καμπύλης ισχύος και την δοκιμή της συνολικής λειτουργικότητάς της.
 - Την δοκιμή σε ακραίες συνθήκες του ηλεκτρικού μέρους της.
 - Την δοκιμή σε ακραίες συνθήκες της μηχανικής συμπεριφοράς και της αντοχής
 - Την δοκιμή σε ακραίες συνθήκες των αλληλεπιδράσεων μηχανικών και ηλεκτρικών μερών.
 - Η δοκιμή διάρκειας περιλαμβάνει την έκθεση της Α/Γ σε καιρικές συνθήκες μεγάλου εύρους για χρόνο τόσο όσο απαιτεί ο κανονισμός IEC 61400_2.

- 2) Τον ανασχεδιασμό της Α/Γ σε βιομηχανικό περιβάλλον με στόχο την τυποποίηση και την παραγωγή σε μεγάλους αριθμούς εξαρτημάτων. Η αγορά θα πρέπει να διερευνηθεί ως προς όλους τους συντελεστές της που είναι:
 - Η αγορά των υλικών και η κατασκευή των κομματιών που δεν υπάρχουν στο εμπόριο.
 - Η αγορά των κομματιών και εξαρτημάτων που υπάρχουν έτοιμα ή κατασκευάζονται από τρίτους.
 - Η αγορά εργασίας και υπηρεσιών.
 - Η οργάνωση της παραγωγής και της διακίνησης των Ανεμογεννητριών.

9. Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστώ θερμά τον καθηγητή μου κ. Χρηστάκη Δημήτρη, ο οποίος όλο αυτό τον καιρό ήταν ο κύριος συντελεστής για να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία αλλά και την κατασκευή της και επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω ιδιαίτερα για όλες τις γνώσεις τις οποίες μου έδωσε κατά την περίοδο της πρακτικής μου άσκησης στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης θερμά τον κ. Γιώργο Χαριστάκη, ο οποίος μας κατασκεύασε σχεδόν όλα τα εξαρτήματα αυτής της Α/Γ και χωρίς αυτόν δεν θα κατασκευαζόταν. Επίσης τον ευχαριστώ για τις μηχανουργικές γνώσεις που μου έδωσε και για όλες τις ωραίες στιγμές που περάσαμε στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας.

Ευχαριστώ τον κ. Κώστα Κονταξάκη ο οποίος μας βοήθησε κυρίως στις δοκιμές της Α/Γ αλλά και σε άλλα διάφορα σχετικά με την Α/Γ.

Ευχαριστώ τον κ. Γιάννη Κουτσαυτάκη ο οποίος μας κατασκεύασε κάποια εξαρτήματα και βοήθησε στην συναρμολόγηση της Α/Γ και γενικώς ήταν πάντα εκεί σε ότι και αν τον χρειαζόμασταν.

Ευχαριστώ την κα. Ειρήνη Δακανάλη η οποία μας βοηθούσε όπου την χρειαζόμασταν και ήταν εκείνη που κρατούσε όλο το κοστολόγιο της Α/Γ.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τον Νικήτα Παπακώστα ο οποίος μελέτησε και σχεδίασε το πτερύγιο αυτής της Α/Γ.

Ευχαριστώ τον Adrien Prevost και τον Alexandre Gadois για της δοκιμές της γεννήτριας.

Γενικώς ευχαριστώ όλο το εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας για της γνώσεις που μου άφησαν και για τις ωραίες στιγμές που περάσαμε.

Ευχαριστώ τον κ. Βιδάκη Νεκτάριο και τον κ. Μάρκο Πετούση για την παραχώρηση των μηχανών CNC, του εργαστηρίου ρομποτικής και CNC, για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.

Ευχαριστώ τον Γιώργο Κόντε ο οποίος μας κατασκεύασε διάφορα εξαρτήματα στις CNC μηχανές.

Ευχαριστώ τον Πέτρο Τσακουμακόπουλο ο οποίος είχε ξεκινήσει τον αρχικό σχεδιασμό.

Ευχαριστώ τον κ. Γιάννη Σαριδάκη με τον οποίο βγήκαμε μαζί στην αγορά για να αγοράσουμε τα εξαρτήματα της μηχανής.

Ευχαριστώ την Μαρία Μητροπούλου για την μελέτη της γεννήτριας.

Ευχαριστώ τον κύριο Γιάννη Μηναδάκη οποίος έφτιαξε το δοκιμαστήριο για τις δοκιμές της γεννήτριας.

Ευχαριστώ τον κ. Αγαπητό Ατζολετάκη για την κατασκευή των πτερυγίων.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με έστειλαν εδώ να σπουδάσω και τέσσερα χρόνια μου παρέιχαν τα πάντα παρά τις δυσκολίες των καιρών. Σας ευχαριστώ.

10. Βιβλιογραφία

- [1] «Σχεδίαση μελέτη και επίβλεψη κατασκευής πτερυγίου μικρής ανεμογεννήτριας», Παπακώστας Νικήτας
- [2] «Γεννήτρια αξονικής ροής Ισχύος 1,00 kW», Μητροπούλου Μαρία
- [3] «Υποστήριξη μικρής Ανεμογεννήτριας μετά την πώληση», Φαίδων Χρηστοφίδης
- [4] «Instrumentation d'un banc de test de generatrices synchrones pour eoliennes», Andrien Prevost
- [5] «Small wind world report 2014», http://small-wind.org/wp-content/uploads/2014/03/2014_SWWR_summary_web.pdf