



ΑΝΩΤΑΤΟ  
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

## Πτυχιακή Εργασία

**Θέμα**  
**Σχεδιασμός Μελέτη και επίβλεψη**  
**κατασκευής μικρής ανεμογεννήτριας 1000 W**

Στοιχεία Σπουδαστή

Σπουδαστής (Πλήρες Ονοματεπώνυμο)	Αριθμός Μητρώου	Ηλεκτρονική Διεύθυνση
Τσίχλας Δημήτρης	5439	comedo@windowslive.com

Επιβλέπων καθηγητής: Χρηστάκης Δημήτριος

## Πρόλογος

Μετά από 30 χρονιά εμπειρίας στην μελέτη και κατασκευή μικρών ανεμογεννητριών στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων κατασκευάστηκε ένα εργαστηριακό πρωτότυπο ανεμογεννήτριας ισχύος 1KW με την ονομασία Φίληρις η οποία λειτούργησε κανονικά.

Ο καθ. Δ. Χρηστάκης μου πρότεινε να κατασκευάσουμε μια καινούρια ανεμογεννήτρια ώστε ο επόμενος στόχος να είναι η κατασκευαστική βελτιστοποίηση του εργαστηριακού πρωτοτύπου και η κατασκευή αυτής της ανεμογεννήτριας με κύριο κριτήριο το κόστος και το μέγεθος. Με καθοδήγηση από τον καθ Δ. Χρηστάκη ανάλαβα τον σχεδιασμό της μηχανής σε περιβάλλον Solid Work. Ο σχεδιασμός της Φίληρις 2 ολοκληρώθηκε με πολύ καλά αποτελέσματα ως προς τους στόχους μας. Χαμηλό κόστος και αρκετά πιο μικρή σε μέγεθος. Λόγο έλλειψη χρήματων του εργαστήριου ήταν αδύνατη η κατασκευή της και έτσι σχεδιάσαμε τη Φίληρις 1'. Ο σχεδιασμός αφορούσε το μηχανισμό ελέγχου, προσαρμόσαμε την ιδέα της Φίληρις 2 ' στην Φίληρις 1 ώστε να δοκιμάσουμε την λειτουργία του.

Ο σχεδιασμός ολοκληρώθηκε με πολύ καλά αποτελέσματα με αλλαγή στην γεωμετρία των περισσοτέρων εξαρτημάτων. Η κατασκευή του μηχανισμού ελέγχου ολοκληρώθηκε από τα μηχανήματα του εργαστήριου και την Veta S.A. Η ανεμογεννήτρια αποτελείται από έξη υποσύνολα, την βάση, την ουρά, τον μηχανισμό ελέγχου, την πτερύγωση, το φρένο και την γεννήτρια. Τα σύνολα αυτά σχεδιάστηκαν ως λειτουργικές ενότητες. Όλος σχεδιασμός έγινε σε επίπεδο εργαστηριακού πρωτοτύπου με δυνατότητες να εξελιχτεί σε βιομηχανικό πρωτότυπο σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς.

## Περιεχόμενα

1. Περίληψη .....	5
2. Εισαγωγή.....	6
2.1 Μικρές ανεμογεννήτριες .....	6
2.2 Χώρος εγκατάστασης μικρών Α/Γ.....	6
2.3 Απόδοση μικρών ανεμογεννητριών .....	6
2.4 Η αύξηση πωλήσεων στις μικρές ανεμογεννήτριες .....	7
2.5 Κατασκευαστές μικρών ανεμογεννητριών .....	8
2.6 Παράγοντες Παραγωγής Μικρών Ανεμογεννητριών .....	10
3. Βασικοί στόχοι του κατασκευαστικού σχεδιασμού μιας μικρής ανεμογεννήτριας .....	11
3.1 Κόστος.....	11
3.2 Αξιοπιστία και Αντοχή.....	12
3.3 Επισκευασιμότητα .....	12
3.4 Ασφάλεια λειτουργίας.....	13
4. Επίτευξη των στόχων .....	14
4.1 Κόστος και Όγκος.....	14
4.2 Αξιοπιστία και αντοχή.....	17
4.2.1 Φίληρις 2' .....	17
4.2.2 Φίληρις 1' .....	20
4.2.3 Υπολογισμός ελατήριου επαναφοράς μαλακού συγχρονιστή.....	20
4.2.4 Υπολογισμός ροπής φτερού .....	21
4.3 Επισκευασιμότητα .....	23
4.4 Ασφάλεια λειτουργίας.....	24
5. Παρουσίαση της Ανεμογεννήτριας 1000 Watt.....	25
5.1.1 Ολοκληρωμένη συνδεσμολογία Φίληρις 2 .....	25
5.1.2 Μηχανισμός φτερού .....	26
5.1.3 Γεννήτρια μαγνήτες .....	27
5.1.4 κινηματικός μηχανισμός.....	27
5.2 Οργάνωση των σχεδίων.....	29
5.3 Βάση .....	30
5.4 Μηχανισμός Φρένου .....	32
5.5 Ουρά .....	34
5.6 Μηχανισμός ελέγχου .....	35

5.6.1	Φλάντζα μπροστά .....	37
5.6.2	Φλάντζα πίσω .....	38
6.6.3	Έδρανο συγχρονιστή .....	39
5.6.4	Μαλακός συγχρονιστής .....	40
5.6.5	Σκληρός συγχρονιστής .....	41
5.6.6	Άξονας φτερού .....	43
5.6.7	Έδρανο άξονα φτερού .....	44
5.6.8	Ασφάλεια φτερού .....	45
5.6.9	Μαστός ρουλεμάν/έδρανο φτερού .....	47
5.6.10	Φωλιά ρουλεμάν .....	48
5.6.11	Αέροελατήριο .....	49
5.6.12	Ακροαθρώσεις (SIKAC M6) .....	50
5.6.13	Σώμα διωστήρα .....	50
5.6.14	Αποστάτης συγχρονιστή .....	51
5.7	Γεννήτρια .....	51
5.8	Φτερό .....	53

## 1. Περίληψη

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 με την καθοδήγηση της καθ. Τζόγιας Καππάτου του πανεπιστημίου Πατρών.

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

Το φτερό και το καλούπι του, μελετήθηκαν αλλά και σχεδιάστηκαν 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 και του εργαστηρίου λεπτομηχανικής και CNC σε 4 κομμάτια της μηχανής την Veta SA. Για την κατασκευή του καλουπιού εργάστηκαν ο σπουδαστές Γιώργος Κόντος και Νίκος Μουντάκης.

### **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. Εισαγωγή

### 2.1 Μικρές ανεμογεννήτριες

Οι μικρές ανεμογεννήτριες, όπως και οι μεγάλες, εκμεταλλεύονται την ενέργεια του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Γενικά ανεμογεννήτριες με διάμετρο μικρότερη από 20m και ισχύ εξόδου κάτω από 50kW ανήκουν στην κατηγορία των μικρών.

Ωστόσο οι περισσότερες μικρές ανεμογεννήτριες έχουν διάμετρο 7 m, ή και λιγότερο, και παραγόμενη ισχύ μεταξύ 1kW και 10kW. Για τις πολύ μικρές εγκαταστάσεις, όπως για παράδειγμα σε απομακρυσμένες περιοχές, οι ανεμογεννήτριες έχουν διάμετρο μικρότερη από 2m και ισχύ λιγότερο από 1kW. Στην Ελλάδα μέχρι πρότινος, αυτού του τύπου ανεμογεννήτριες παρέμεναν άγνωστες κυρίως διότι δεν υπήρχε ένα συγκεκριμένο νομοθετικό πλαίσιο ενώ δεν είχαν θεσπιστεί ούτε οικονομικά κίνητρα για την εγκατάστασή τους. Ωστόσο, η τεχνολογία εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας από τις μικρές ανεμογεννήτριες είναι σε άλλες χώρες πολύ δημοφιλής και διαδεδομένη.

### 2.2 Χώρος εγκατάστασης μικρών Α/Γ

Οι απαιτήσεις χώρου για τις μικρές ανεμογεννήτριες δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλες. Αρκεί να αναφέρουμε ότι μια μικρή ανεμογεννήτρια 50kW , μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα χώρο (χωράφι, οικόπεδο, βουνοκορφή, κ.τ.λ.) που έχει τουλάχιστον 15×15m διαθέσιμα για την ανέγερσή της.

Βέβαια, είναι φυσικό, υπάρχουν κάποιοι περιορισμοί αναφορικά με την εγκατάσταση των μικρών ανεμογεννητριών. Για παράδειγμα, είναι καλύτερα η εγκατάσταση να μη γίνεται σε απόσταση μικρότερη των 35m από πολυσύχναστους δρόμους (κυρίως για λόγους ασφαλείας), όπως και σε απόσταση μικρότερη των 150m από την κοντινότερη κατοικημένη οικία (κυρίως για λόγους οπτικής / ακουστικής όχλησης σε μικρότερες αποστάσεις). Οι παραπάνω αποστάσεις μπορούν να μειωθούν για αγροτικές οδούς και άλλου είδους κτήρια αντίστοιχα

### 2.3 Απόδοση μικρών ανεμογεννητριών

Βασικό στοιχείο για να κρίνουμε εάν η επένδυση σε μια μικρή ανεμογεννήτρια είναι οικονομικά συμφέρουσα είναι να υπολογίσουμε πόση περίπου ισχύ

θα παράγει, και κατ' επέκταση πόσα έσοδα θα μας αποφέρει.

Οι κρίσιμοι παράγοντες που επηρεάζουν την ενεργειακή παραγωγή:

- Η γνώση του Αιολικού δυναμικού της περιοχής.
- Η επιλογή της Ανεμογεννήτριας
- Η ύπαρξη αξιόπιστης καμπύλης ισχύος του κατασκευαστή
- Το ύψος του πύργου
- Το απόλυτο υψόμετρο της θέσης εγκατάστασης και κατά συνέπεια η πυκνότητα του αέρα

### Τύπος υπολογισμού

Κι επειδή τα πάντα είναι μαθηματικά, οι παραπάνω παράγοντες καθορίζουν την παραγωγή της ανεμογεννήτριας διότι η θεωρητική παραγόμενη ισχύς υπολογίζεται από τον τύπο:

$$P = c_p * \eta * \frac{\rho}{2} v_1^3 * A$$

Όπου:

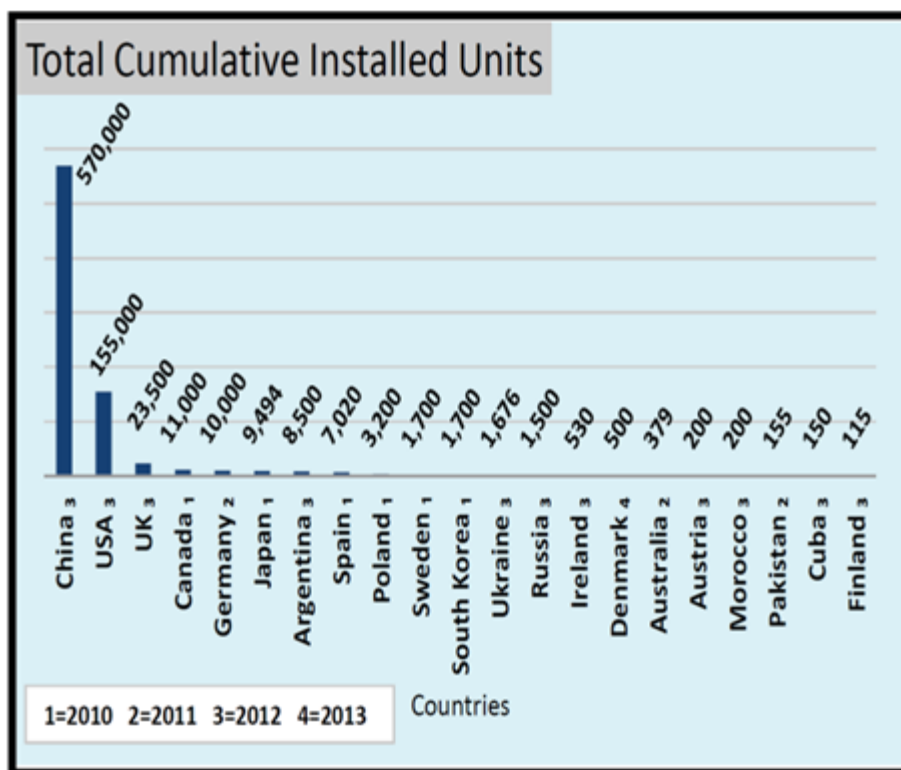
- $\rho$  η πυκνότητα του αέρα ( $\rho$ )
- $A$  η επιφάνεια σάρωσης ( $A = \pi \cdot D^2/4$ )
- $V_1$  η ταχύτητα του ανέμου
- $C_p$  η απόδοση της ανεμογεννήτριας

### 2.4 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



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.

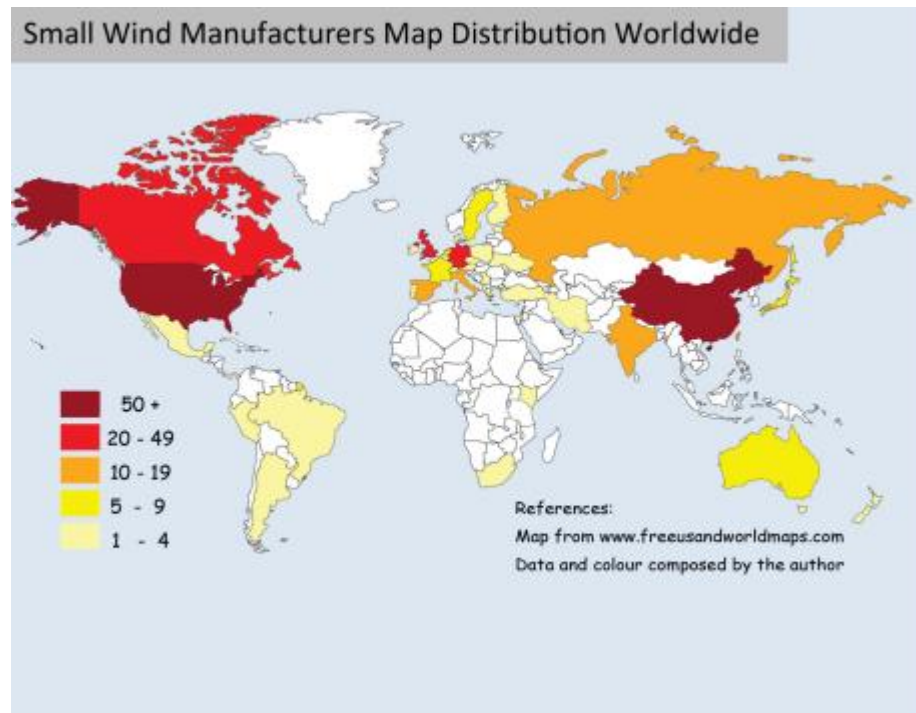
## 2.5 Κατασκευαστές μικρών ανεμογεννητριών

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.



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.

## 2.6 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
- E) 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)

### 3. Βασικοί στόχοι του κατασκευαστικού σχεδιασμού μιας μικρής ανεμογεννήτριας

#### 3.1 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.

### 3.2 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 σχεδιασθή 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.

### 3.3 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.



### 3.4 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.

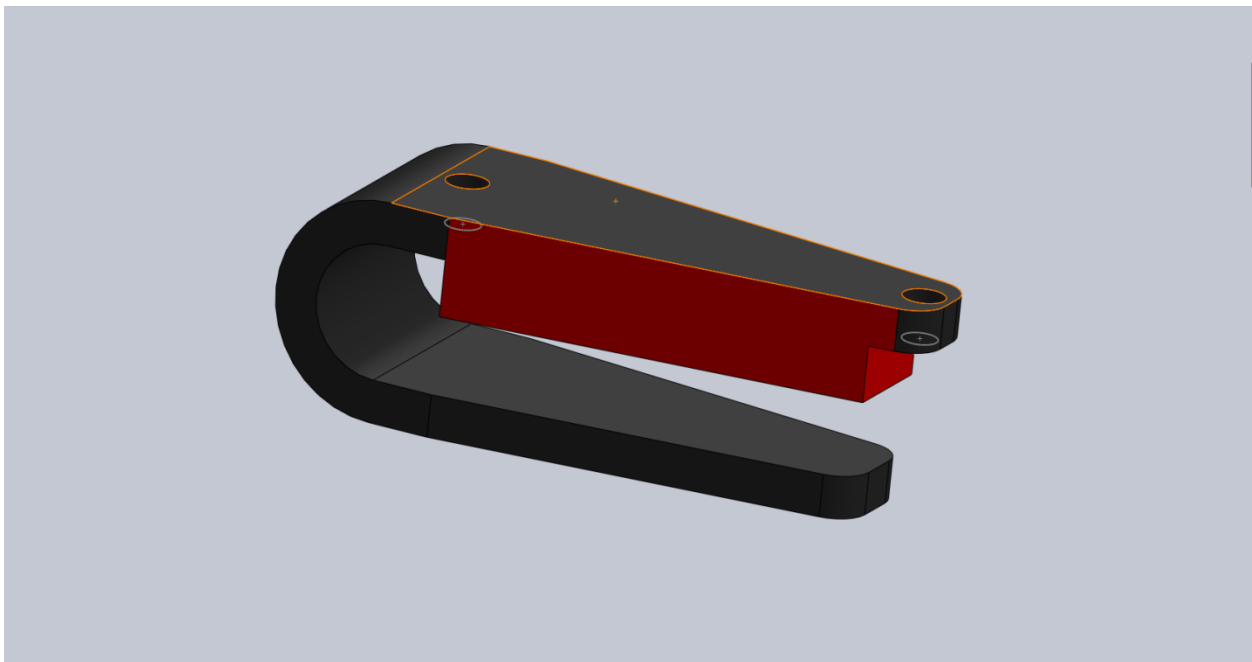
Με λίγα λόγια η ασφαλής λειτουργία μιας οποιαδήποτε μηχανής κατά μεγάλο ποσοστό εξαρτάται από τον κατασκευαστή, αλλά εξαρτάται επίσης και από τον αγοραστή της μηχανής διότι όσο και αν είναι καλή και αξιόπιστη, αν δεν πραγματοποιηθεί η κατάλληλη συντήρηση θα υπάρξουν βλάβες.

## 4. Επίτευξη των στόχων

### 4.1 Κόστος και Όγκος

Η ιδέα για την Filirida 2 ήταν μια ανεμογεννήτρια ως βασικός στόχος της να έχει κατά το δυνατό χαμηλότερο κόστος ώστε να είναι συμφέρουσα προς ένα κοινό καταναλωτή για οικιακό σκοπό. Με τον καθ. Δ. Χρηστάκη πήραμε το σχεδιασμό της Filiridas 1 και το πήγαμε ένα βήμα παρακάτω.

Για αρχή πειραματιστήκαμε να μειώσουμε τους μαγνήτες από 36 σε 18 με μια καινούρια κατασκευή σε σχήμα ύψιλον οπου θα είναι κολλημένος πάνω ένας μαγνήτης και θα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο με το σίδηρο που θα ήταν ακριβός απέναντι.



Τα αποτελέσματα του πειράματος έδειξαν ότι ανάδοση από την διάταξη δυο μαγνήτες ο ένας απέναντί από των άλλων και την δεύτερης ένας μαγνήτης απέναντί από σίδηρο ότι η απόδοση έπεφτε 30%.



Αρά με βάση αυτή την ιδέα, θυσιάζοντας ένα 30% απόδοσης κερδίζουμε τα μισά λεφτά από την αγορά των μαγνητών και με το σχεδιασμό του, βιδώνετε πάνω στη πλακά του μηχανισμού ελέγχου γλυτώνομε και το κόστος και 2 επιπλέον πλακών και το όγκο/βάρος τους.

Ολοκληρώνοντας το σχεδιασμό της Filiridas 2 καταφέραμε την βελτιστοποίηση της και την μείωση του κόστους από την Filirida 1 αλαζόντα την γεωμετρία όλων των εξαρτημάτων του μηχανισμού ελέγχου. Έτσι καταφέραμε να πέσει το κόστος και ο όγκος της μηχανής κατακόρυφα.

Όμως ακόμα και έτσι το εργαστήριο δεν είχε την οικονομική δυνατότητα να στηρίξει την κατασκευή της Filiridas 2 και έτσι καταφύγαμε στο σχεδιασμό της Filiridas 1'. Μια ιδέα να συνδυάσουμε την Filirida 1 και την 2. Έτσι προσαρμόσαμε των μηχανισμό ελέγχου της 2 στην 1, αυτό υλοποιήθηκε τροποποιώντας την γεωμετρία κάποιον εξαρτημάτων ώστε να κρατήσουμε την βασική ιδέα προς δοκιμή και να την προσαρμόσουμε σε ότι ήδη έχουμε. Ο στόχος επιτευχθεί η Φίληρις 1' έχει μικρότερο βάρος και όγκο στα εξαρτήματα του και αρκετά πιο χαμηλό κόστος από την Filirida 1. Αλλά κρατώντας την ιδέα του μηχανισμού για να δούμε αν η ιδέα λειτουργεί.



Το μεγαλύτερο ποσοστό των εξαρτημάτων κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο αιολικής ενέργειας του ΤΕΙ κάτω από την δική μου επίβλεψη και την βοήθεια του προσωπικού του εργαστηρίου γι' αυτό οι τιμές της κατασκευής των εξαρτημάτων υπολογίστηκαν στο περίπου. Συνεργαστήκαμε με την Veta S.A. της Αθήνας στέλνοντας σχέδια τεσσάρων εξαρτημάτων για να γίνει η κοπή τους με laser.



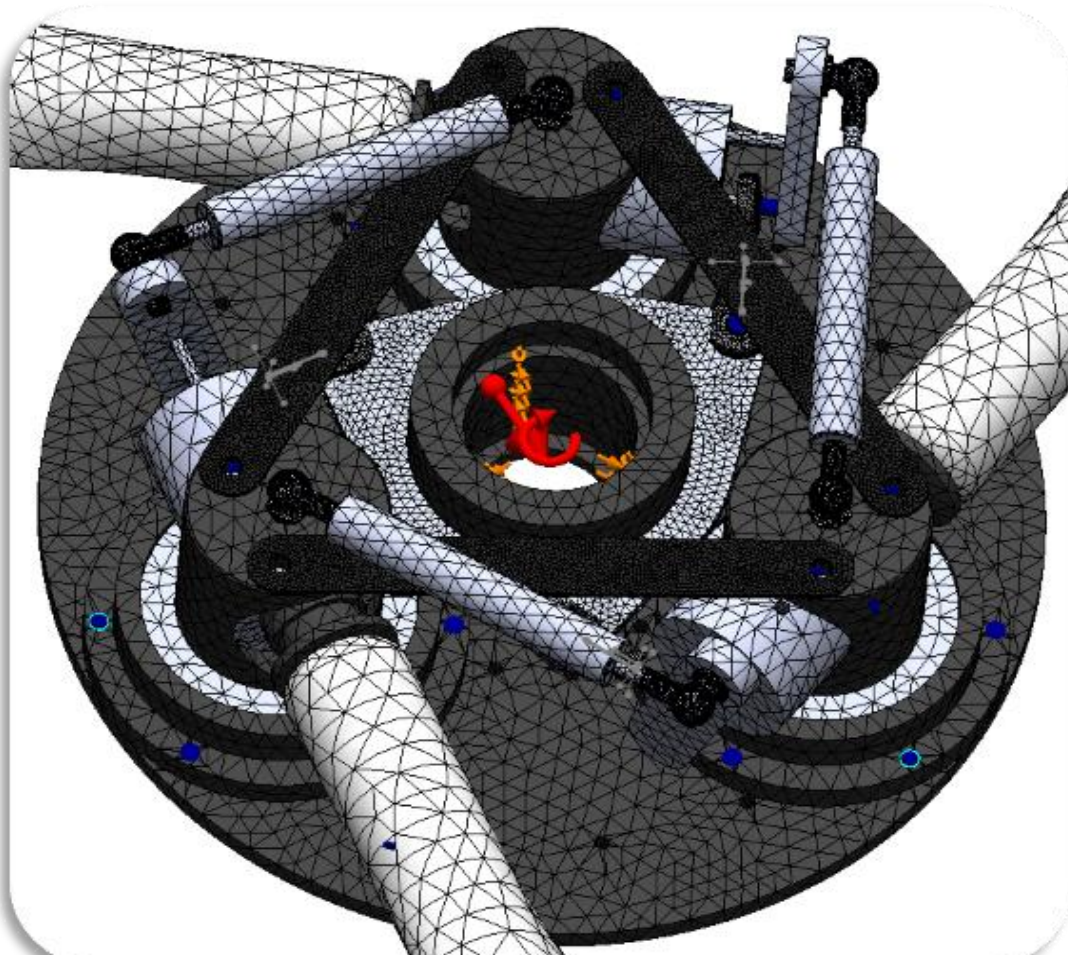


## 4.2 Αξιοπιστία και αντοχή

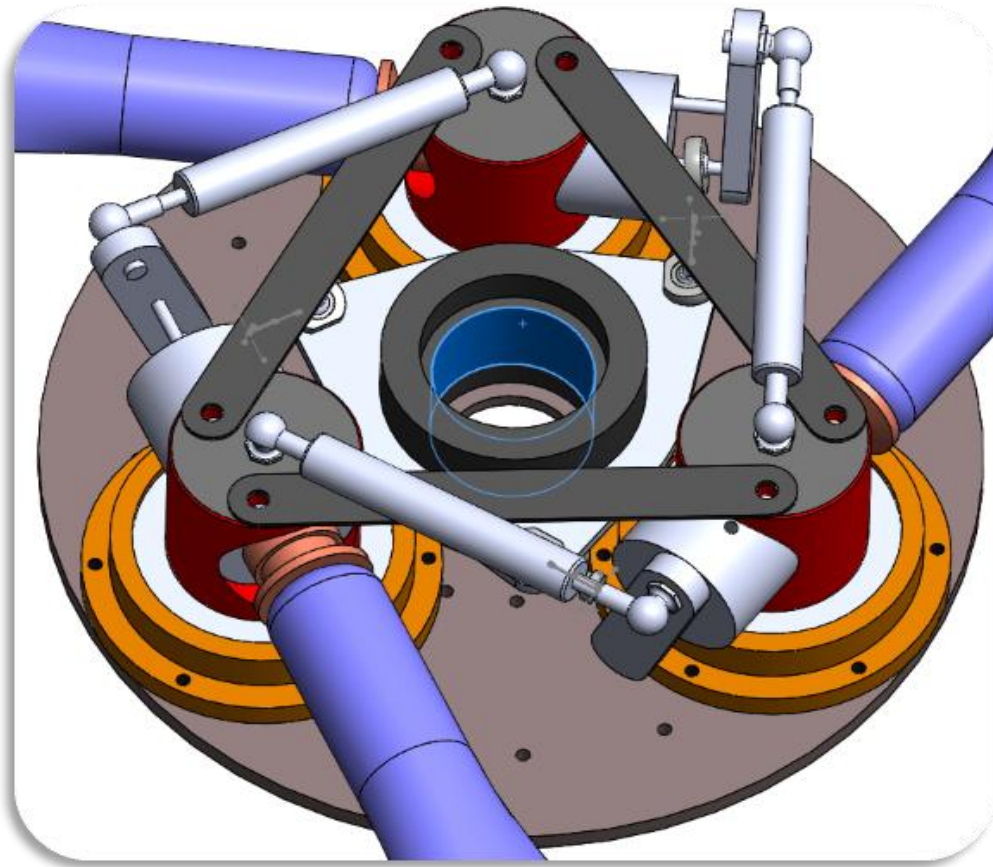
### 4.2.1 Φίληρις 2'

Η εξασφάλιση της αντοχής και της αξιοπιστίας είναι από τους πιο σημαντικούς στόχους για σχεδιασμό μιας ανεμογεννήτριας. Αν και ρίχνοντας κατά πολύ το κόστος και τον όγκο για το σχεδιασμό της Filiridas 2 όλα τα εξαρτήματα έχουν μελετηθεί προς την αντοχή τους ένα προς ένα σε περιβάλλον solid works simulation.

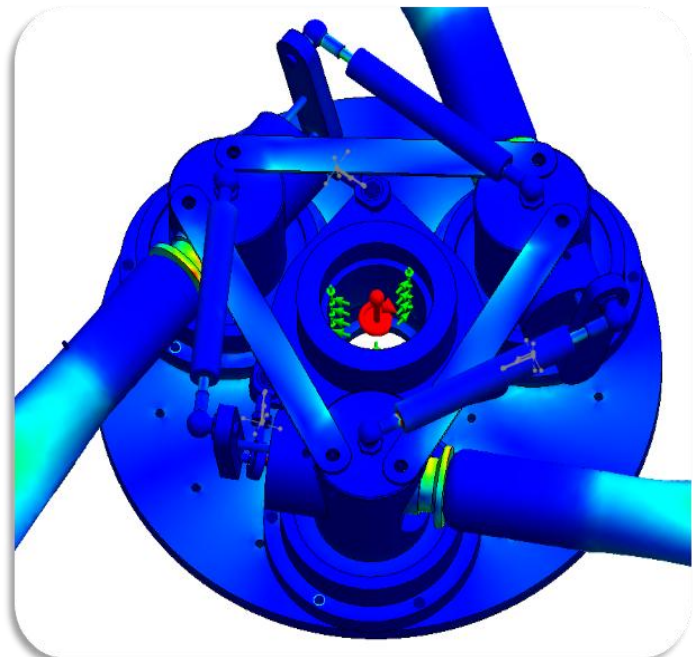
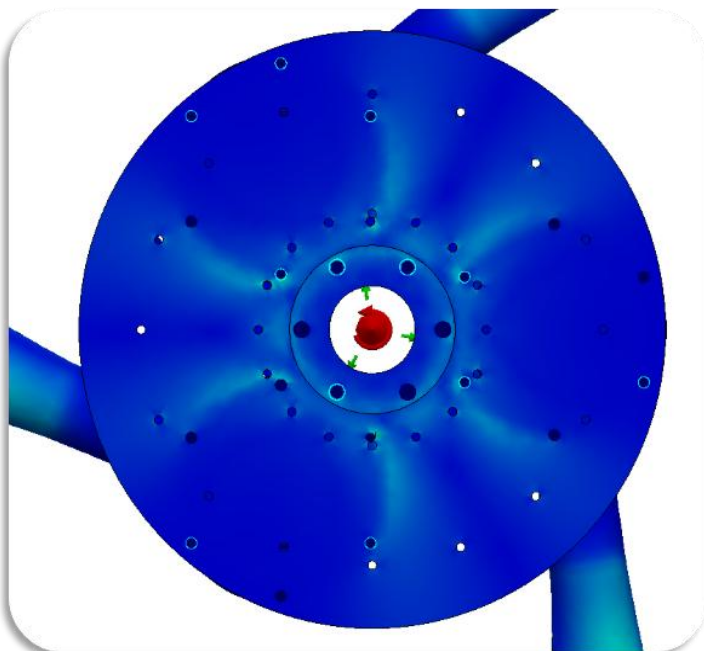
Το ολοκληρωμένο σχέδιο της ανεμογεννήτριας μελετήθηκε με πεπερασμένα στοιχεία σε περιβάλλον solid works simulation από το Γάλλο σπουδαστή Alexis Carrilero και την βοήθεια μου. Αν και ήταν μια περιπλοκή και χρονοβόρα διαδικασία μας αντάμειψε ως προς το αποτέλεσμα. Η Filirida 2 είχε την αντοχή και την αξιοπιστία που θέλαμε σε μεγάλη καταπόνηση, με ένα συντελεστή ασφάλειας ικανοποιητικό αλλά μεταβλητό από κομμάτι σε κομμάτι.

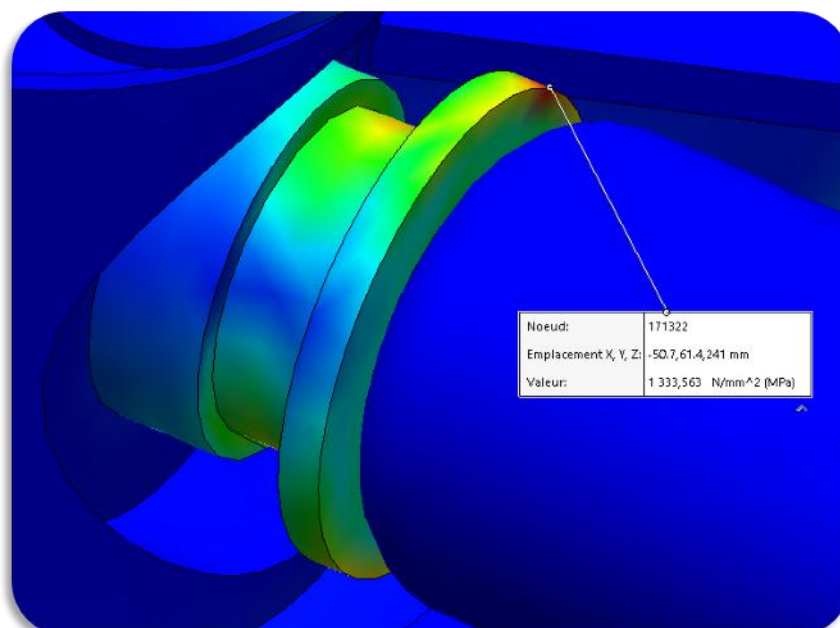
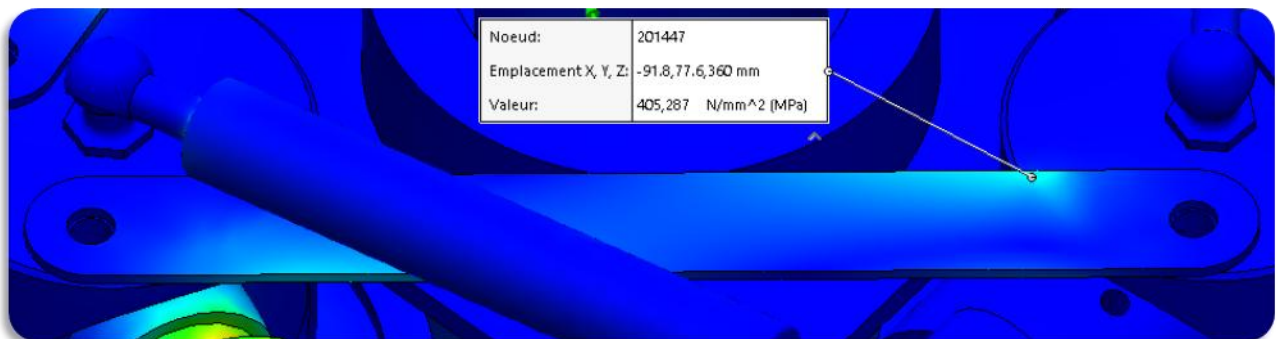
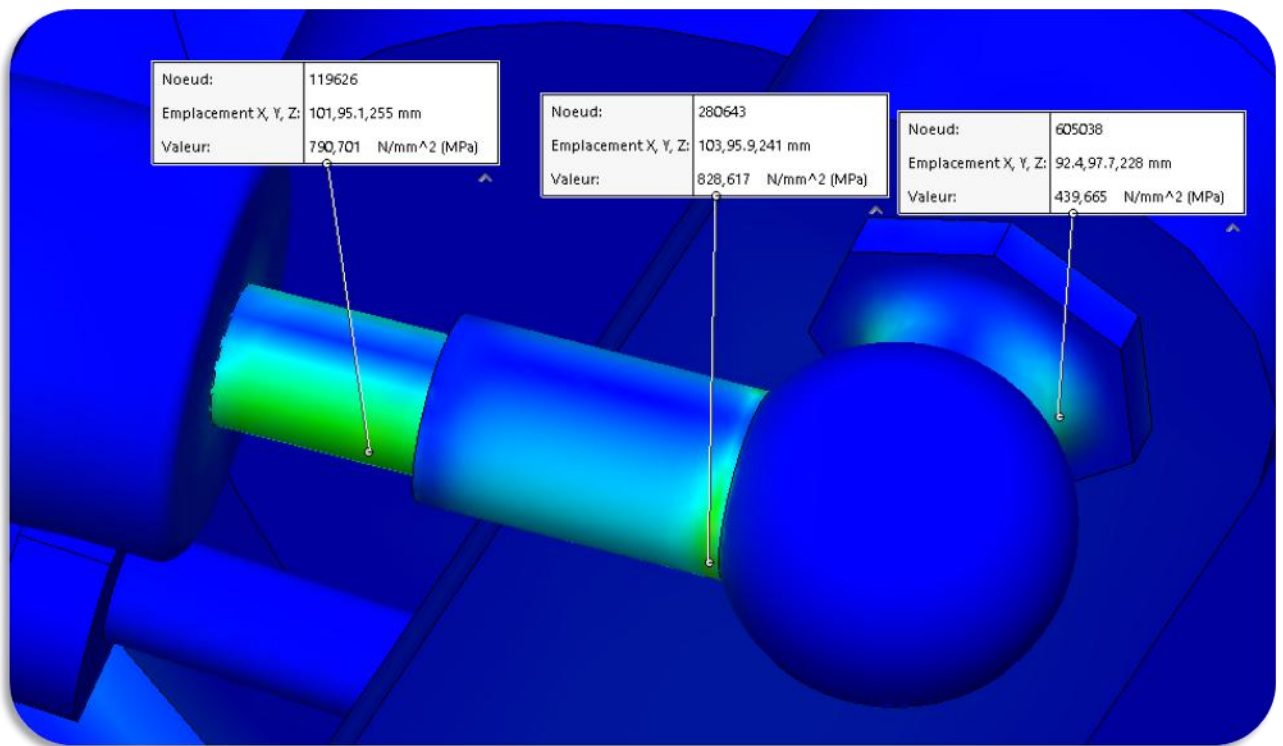


Εικόνα 1 Meshing assembly. Filirida 2



Εικόνα 2 Assembly Filirida 2.





Ο συντελεστής ασφαλείας θα πρέπει, σε περίπτωση μελέτης βιομηχανικού πρωτοτύπου, να μεταβάλλεται σε πολύ στενά όρια και να είναι χαρακτηριστικός για όλα τα εξαρτήματα.

#### 4.2.2 Φίληρις 1'

Επειδή όπως προ ανέφερα δεν υπήρχε δυνατότητα κατασκευής της Filiridas 2 σχεδιάσαμε το μηχανισμό ελέγχου ξανά ώστε να μπορούμε να το υλοποιήσουμε με ότι έχουμε ήδη προς αξιοποίηση στο εργαστήριο.

Η Φίληρις 1' για να σχεδιαστεί σαν πρώτο βήμα βρέθηκαν τα απαραίτητα ρουλεμάν ως προς την αντοχή για να γίνει μια τέτοια ανεμογεννήτρια χωρίς κίνδυνο αστοχίας και μετά ως προς το μέγεθος που θα ήταν όσο το δυνατό πιο μικρά.

Έτσι η διαστασιολόγηση των περισσότερων εξαρτημάτων έγινε με βάση τα ρουλεμάν που θα χρησιμοποιούσαμε με στόχο όμως να μείνουμε στους ίδιους κινηματικούς μηχανισμούς της Φίληρις 2' 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.

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

#### 4.2.3 Υπολογισμός ελατήριου επαναφοράς μαλακού συγχρονιστή

Για να μπορεί ο μαλακός συγχρονιστής να επανέρχεται στην αρχική του θέση κατασκευάσαμε μια διάταξη κάτω φλάντζα με ένα ατσαλόσυρμα που θα νικάει τις τριβές των ρουλεμάν όπου είναι σχεδόν αμελητέες.

$$y = \frac{Px^2 * (3l - x)}{6EI}$$

Όπου:

y: μετατόπιση που κάνει το ελατήριο 15mm

L: μήκος ελατήριου 80mm

E: μετρό ελαστικότητας χάλυβα 200Gpa

$$I: \frac{\pi D^4}{64} = 0.24\text{mm}^4$$

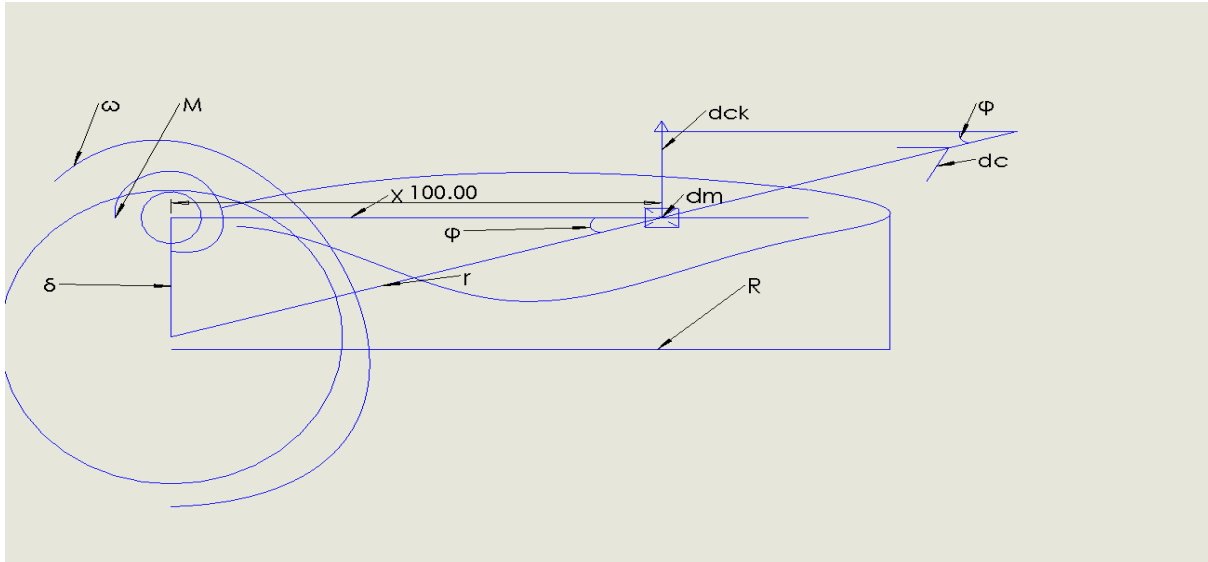
D: διάμετρος σύρμα 1.5mm

X=L

$$\text{Αρά: } P = \frac{3E \cdot I \cdot y}{L^3} = 4.36 \text{ Nt}$$

Εμπειρικά υποθέσαμε ότι το σύρμα του 1,5 mm θα είναι το ιδανικό για να μας επαναφέρει το συγχρονιστεί στην θέση του χωρίς να φέρνει μεγάλη αντίσταση κατά την εκκίνηση της ανεμογεννήτριας. Και όντως αποδειχτικό και πειραματικά ότι το σύρμα του 1.5mm ήταν το ιδανικό για το ελατήριο της μηχανής.

#### 4.2.4 Υπολογισμός ροπής φτερού



Θέλουμε να υπολογίσουμε τη ροπή που θα αναπτυχθεί από το φτερό στο έδρανο του φτερού ώστε να δούμε αν το ελατήριο που θα χρησιμοποιήσουμε θα μας δώσει το παθητικό φρένο ώστε μετρά από ένα αριθμό στροφών να σταματάει η μηχανή.

Έτσι κόβουμε το φτερό στο ένα μέτρο απόσταση από το κέντρο της μηχανής για να δούμε τι συμβαίνει σε ένα συγκεκριμένο κομμάτι του φτερού ( $dm$ ) αν το περιστρέψουμε.

$$\frac{dc}{r} = \frac{dck}{\delta} \quad , \quad \chi = r * \cos\varphi \quad , \quad \varphi = \sin^{-1} \frac{\delta}{r}$$

$dc = dm * r * \omega^2$  , όπου η μάζα του κομματιού του φτερού που εξετάζουμε βρίσκεται από την σχέση  $dm = A(x) * dx * \rho$

Αρά η ροπή που ασκείται στο έδρανο του φτερού είναι:

$$M = \int_0^R x * \frac{\delta}{r} * dc = \int_0^R x * \frac{\delta}{r} * r * dm * \omega^2$$

Οπού η ροπή αδράνειας του φτερού που χρησιμοποιούμε για αυτή την μηχανή έχει υπολογιστή :  $\Theta = \int_0^R \rho * \chi * A(\chi) dx = 1.7 \text{ kg*m}$

Έτσι καταλήγουμε:

$$\underline{M = \omega^2 * \Theta * \delta}$$

$\omega$ : 45 rad/sec

$\delta$ : 0.11 m

$\Theta$ : 1,7 kg\*m

$$\mathbf{M= 380 \text{ Ntm}}$$

### 4.3 Επισκευασιμότητα

Από την αρχική φάση του σχεδιασμού της μηχανής είχαμε στο νου μας και την εύκολη συναρμολόγηση της και κατά συνεπεία και την επισκευασιμότητα. Ο στόχος ήταν δηλαδή η μηχανή να μπορεί συναρμολογείτε από τον καθένα.

Κάθε εξάρτημα της μηχανής είναι ανεξάρτητο από τα άλλα και έτσι κατά την συντήρηση δεν θα χρειάζεται η πλήρης αποσυναρμολόγηση εκτός και αν κάποια βλάβη είναι τέτοια που δεν γίνεται αλλιώς.

Σαν ιδεώδης στόχο οπού η Φίληρις 2' θα γίνει βιομηχανικό προϊόν, να μπορεί ο αγοραστής μιας οικίας με τα κοινά εργαλεία που ευκολά βρίσκονται σε κάθε σπίτι, ευκολά να συναρμολόγηση με την βοήθεια μόνο ενός εγχειρίδιου με οδηγίες για την συναρμολόγηση.

Αυτός ο στόχος από την Φίληρις 2' με τον ανασχεδιασμό για να γίνει η Filirida 2 το κάναμε ακόμα πιο εφικτό. Σε αυτό έπαιξε μεγάλο ρολό που καταφέραμε να φτιάξουμε μια μικρή ανεμογεννήτρια σε μια μόνο πλακά. Αν και δίστιχος δεν μπορούμε να το διαπιστώσουμε έμπρακτα λόγω δυσκολία κατασκευής είμαι σίγουρος ότι ο στόχος έχει επιτευχθεί.

Στην προκείμενη περίπτωση της Φίληρις 1' η επισκευασιμότητα είναι στο επίπεδο της Filiridas 1. Συναρμολογείτε και αποσυναρμολογείται σχετικά ευκολά που κάνει την συντήρηση της βατή. Επιπλέον όλη η ανεμογεννήτρια συνδέεται με λίγες και απλές 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.

#### 4.4 Ασφάλεια λειτουργίας

Τέλος και πιο σημαντικό για ένα προϊόν που ο στόχος του εργαστήριου Αιολικής ενέργειας είναι να βγει στην αγορά και να προορίζεται για σπίτια, είναι η ασφάλεια λειτουργίας. Η ασφαλής λειτουργία εξασφαλίζεται με την μελέτη της αντοχής των εξαρτημάτων.

Στο σχεδιασμό της Φίληρις 2' μετρά το πέρας της συναρμολόγησης σε περιβάλλον solid works και την μελέτη του κάθε αμαρτήματος ξεχωριστά ως προς την αντοχή του στο solid works simulation. Δοκιμάσαμε και ολόκληρη την μηχανή σε πολύ δυσμενής συνθήκες στο solid works simulation για να είμαστε σίγουρη για την ασφάλεια λειτουργία της.

Επειδή η Φίληρις 1' είναι ένα εργαστηριακό πρότυπο που το σχεδιάσαμε για να δοκιμάσουμε το κινηματικό μηχανισμό της Φίληρις 2' όλες οι μελέτες έγιναν με υψηλό δείκτη ασφαλείας. 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.

Για παράδειγμα τα φτερά που είναι το σημαντικότερο μέρος στην ανεμογεννήτρια αλλά και το πιο επίφοβο μέρος ως προς την ασφάλεια λειτουργίας της, είναι μελετημένα και σχεδιασμένα ώστε οι τάσεις που αναπτύσσονται από την δύναμη του αέρα να είναι ομοιόμορφες σε όλη την επιφάνεια του φτερού και δεν υπάρχει η προδιάθεση της δημιουργίας ρωγμής λόγω συγκέντρωσης των τάσεων.

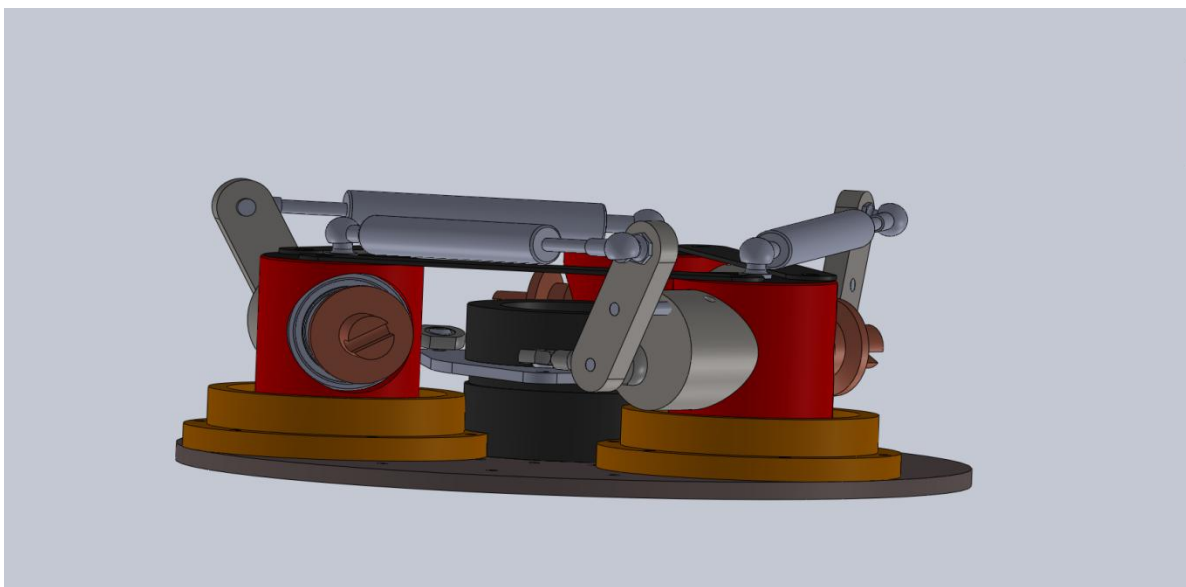
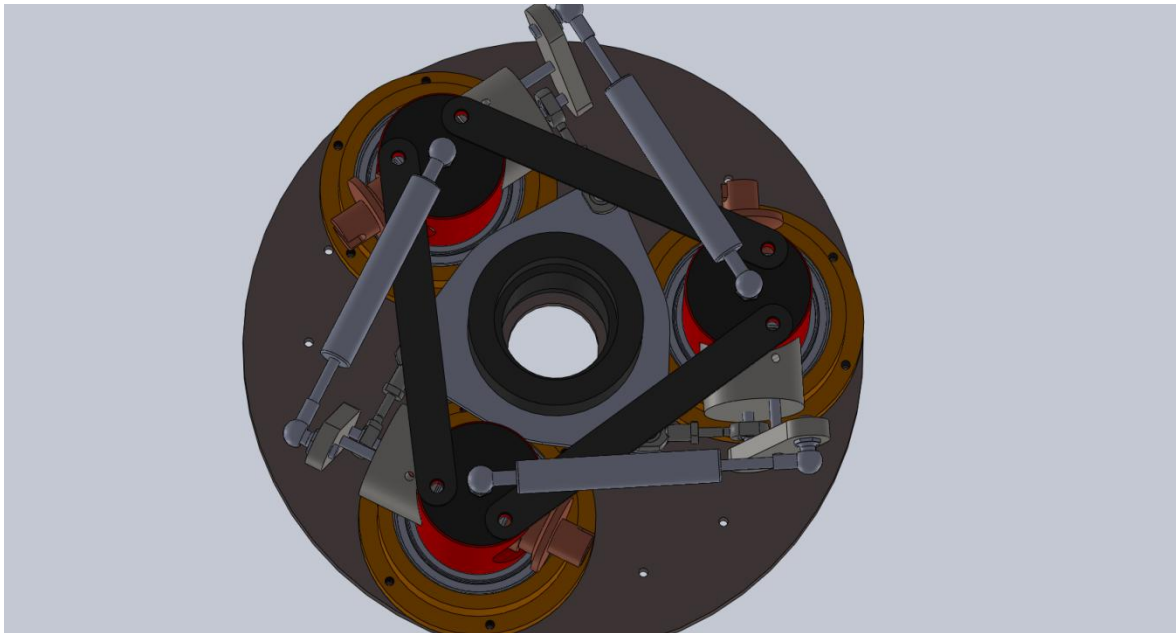


## 5. Παρουσίαση της Ανεμογεννήτριας 1000 Watt

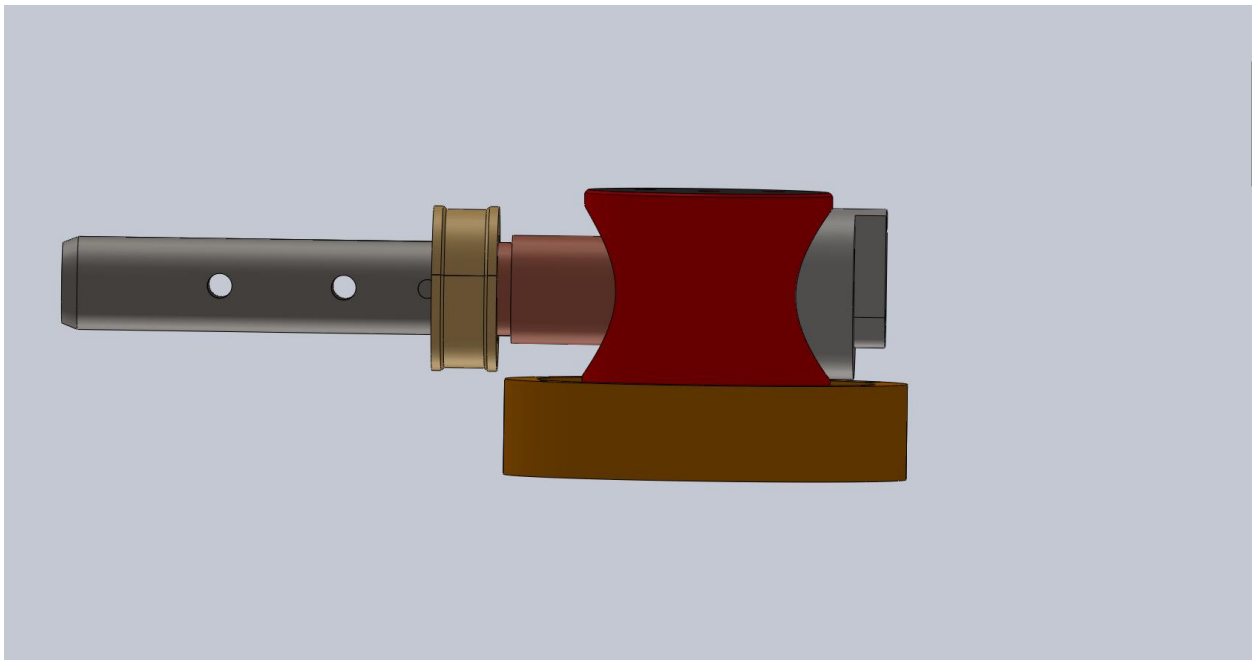
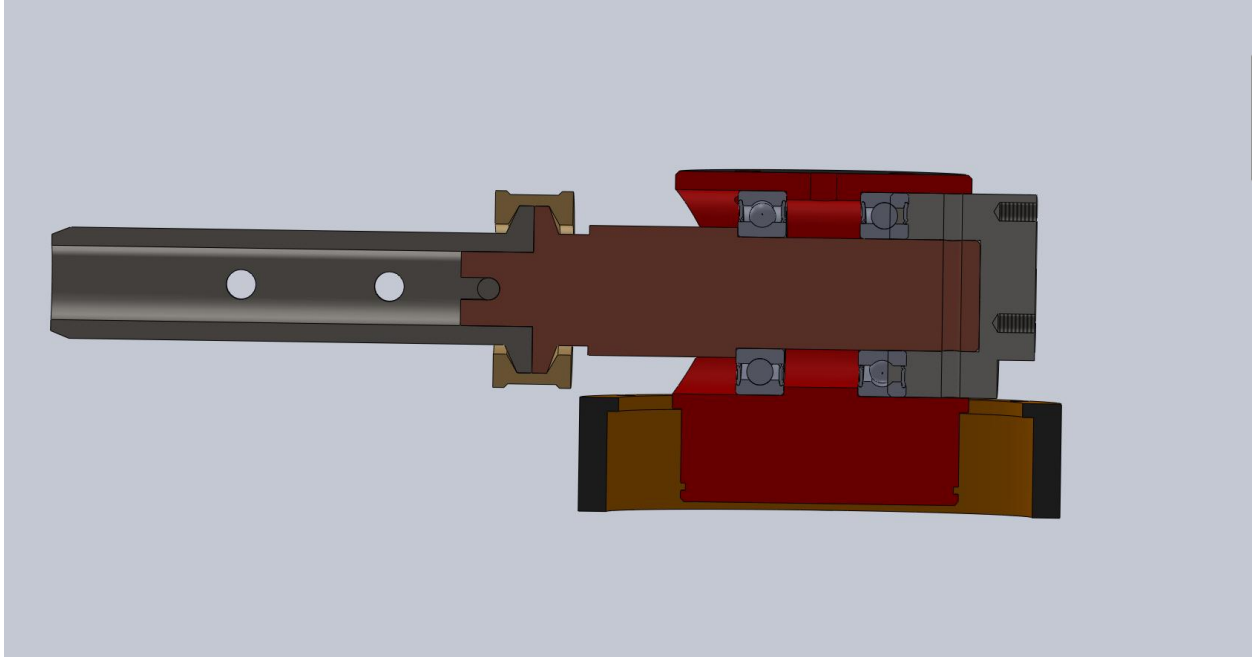
Παρουσιάζονται παρακάτω τα σχέδια των υποσυνόλων της Α/Γ σύμφωνα με τα οποία έγινε η οργάνωση των σχεδίων. Τα σχέδια αυτά είναι σχέδια εργαστηριακού πρωτοτύπου. Το βιομηχανικό πρωτότυπο θα απαιτήσει λεπτομερέστερο σχεδιασμό και ανασχεδιασμό των κομματιών έτσι ώστε να επιτευχθεί η μαζική παραγωγή.

Για αρχή θα παρουσιάσω σύντομα την ιδέα μας για την Filirida 2 που εύχομαι σύντομα να αναλάβει κάποιος σπουδαστής την κατασκευή της. Στην συνέχεια θα γίνει λεπτομερής παρουσίαση της Φίλιρις 1' όπου και κατασκευάστηκε.

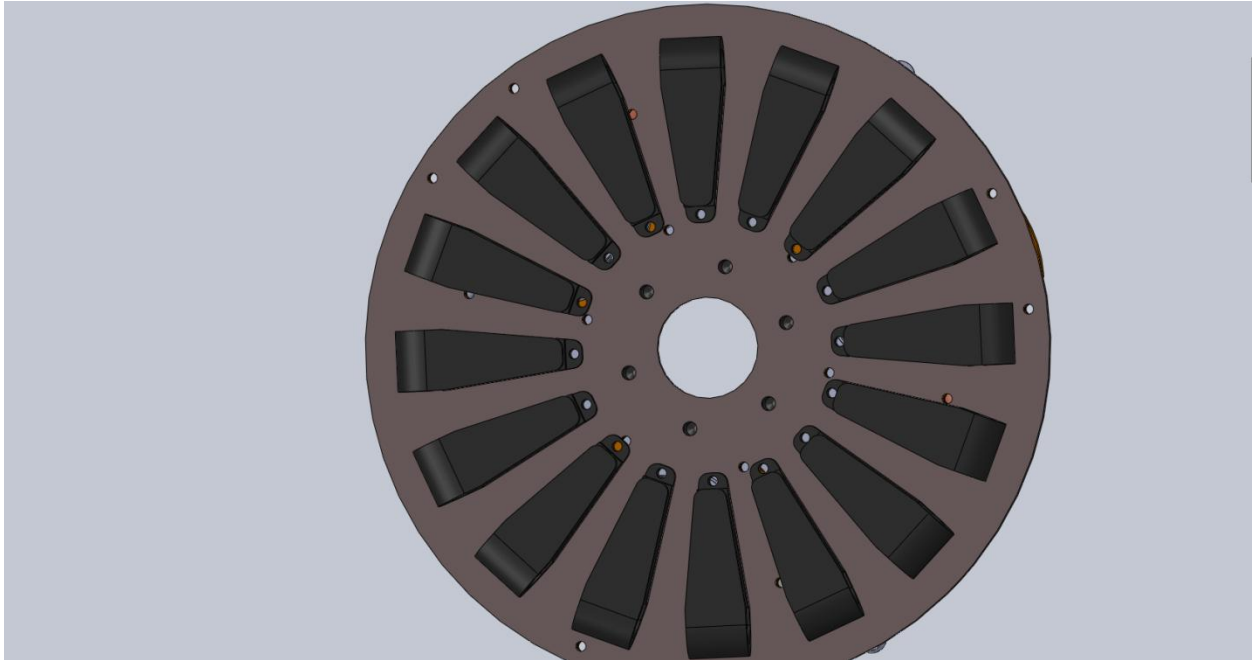
### 5.1.1 Ολοκληρωμένη συνδεσμολογία Φιλίρις 2



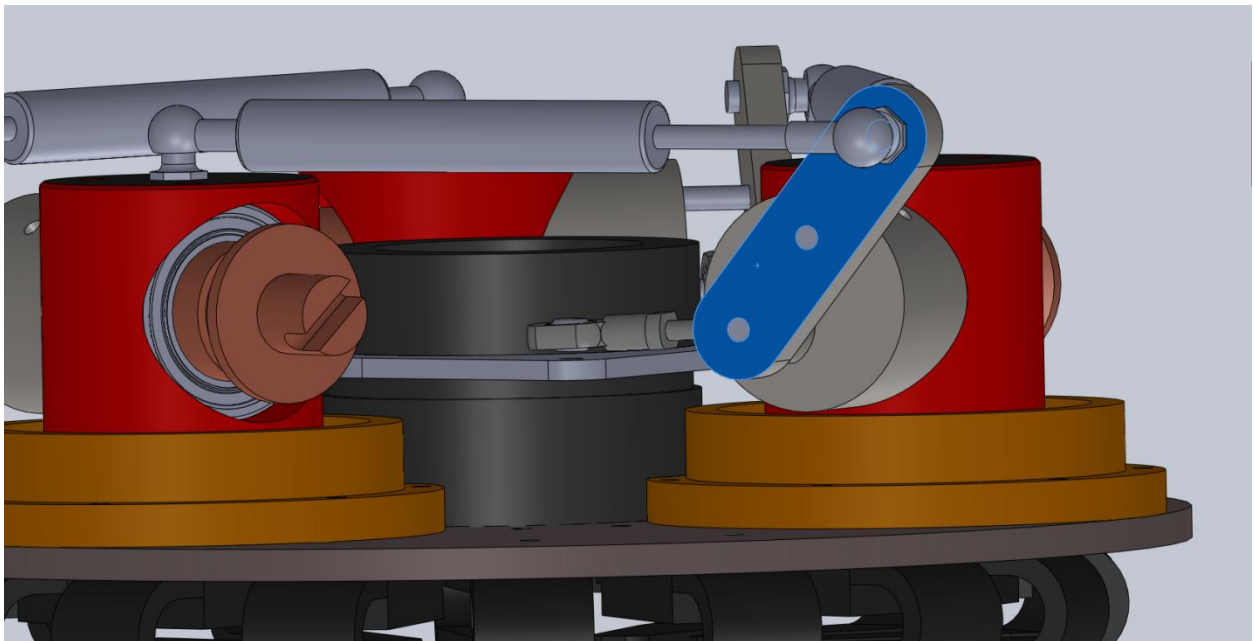
### 5.1.2 Μηχανισμός φτερού

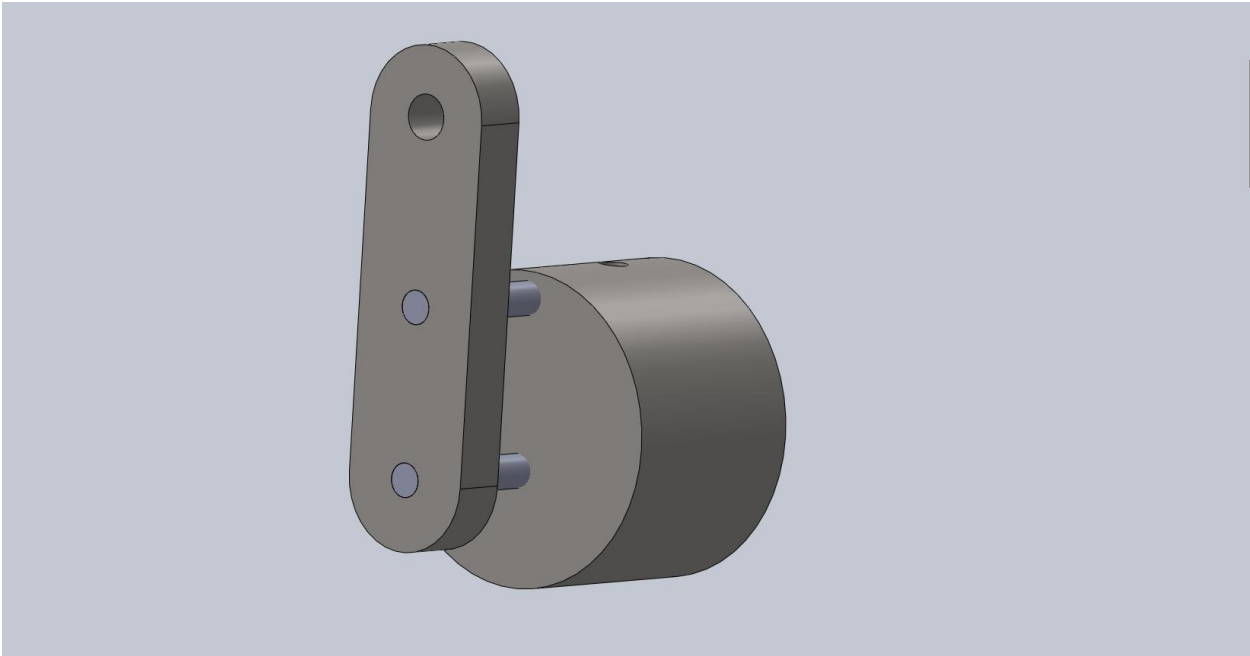
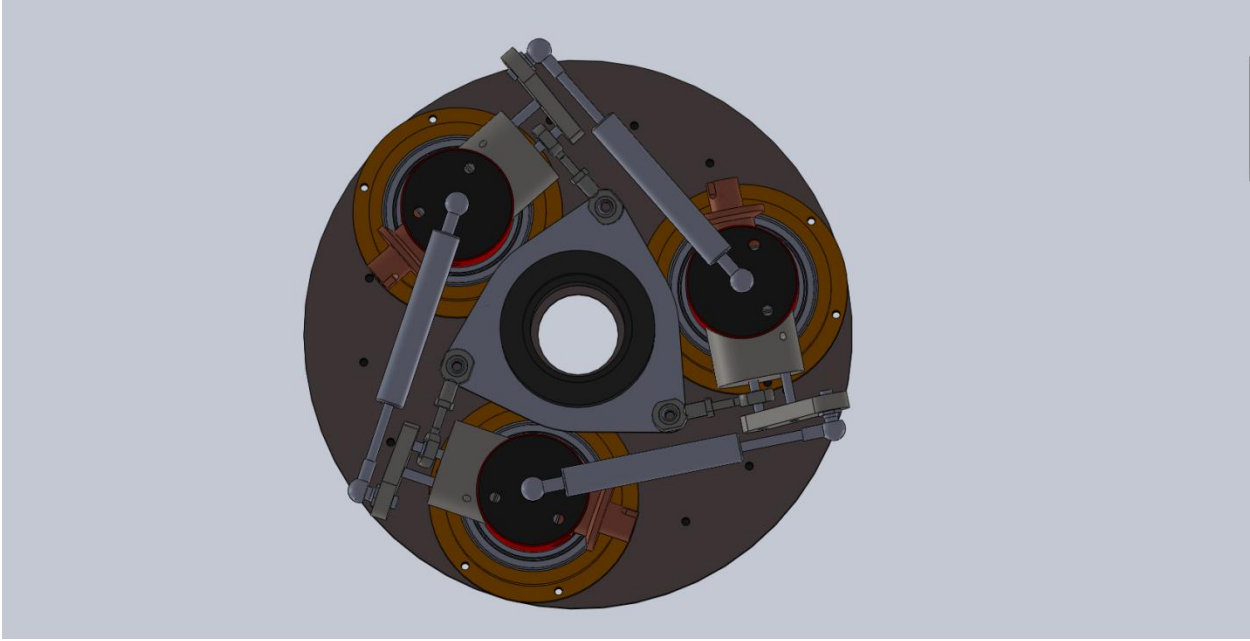


### 5.1.3 Γεννήτρια μαγνήτες



### 5.1.4 κινηματικός μηχανισμός

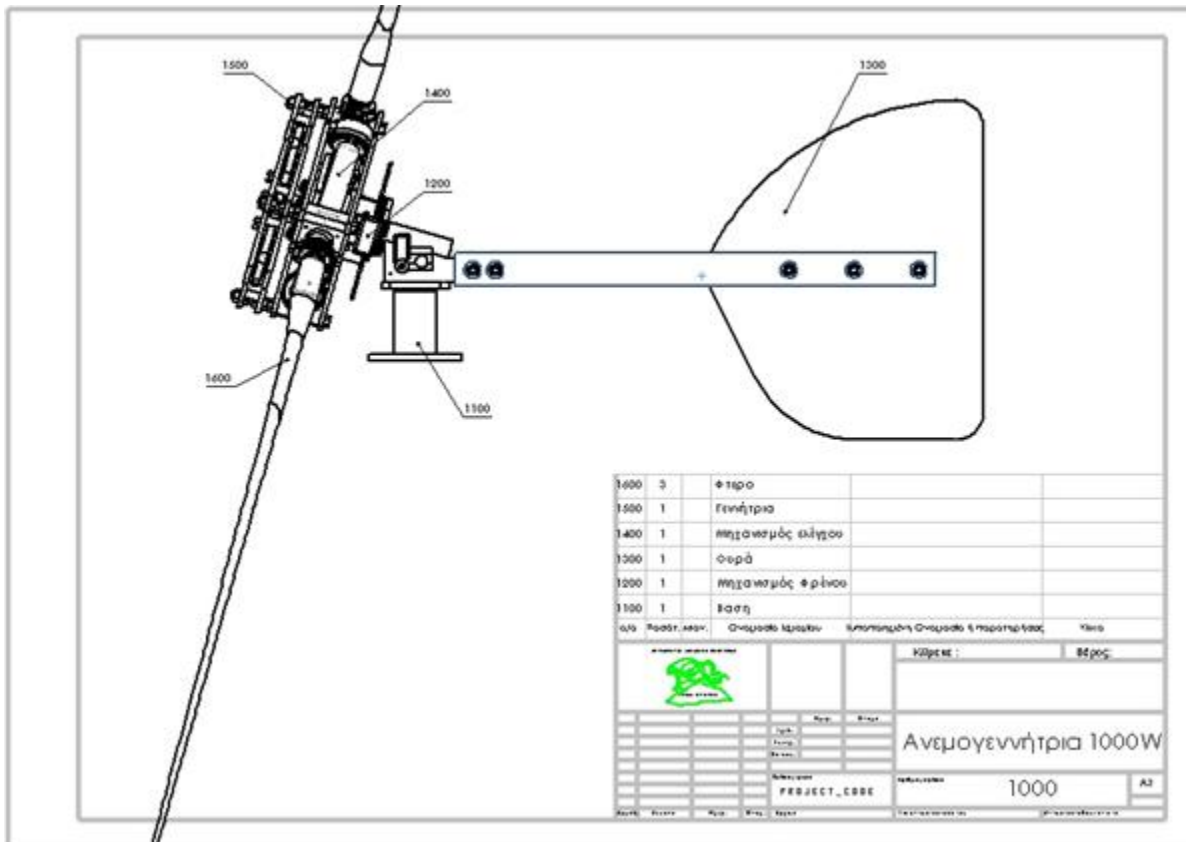




## 5.2 Οργάνωση των σχεδίων

Η ανεμογεννήτρια αυτή είναι χωρισμένη σε έξι μέρη:

- A) Βάση
- B) Μηχανισμός Φρένου
- Γ) Ουρά
- Δ) Μηχανισμός Ελέγχου
- Ε) Γεννήτρια
- ΣΤ) Φτερό

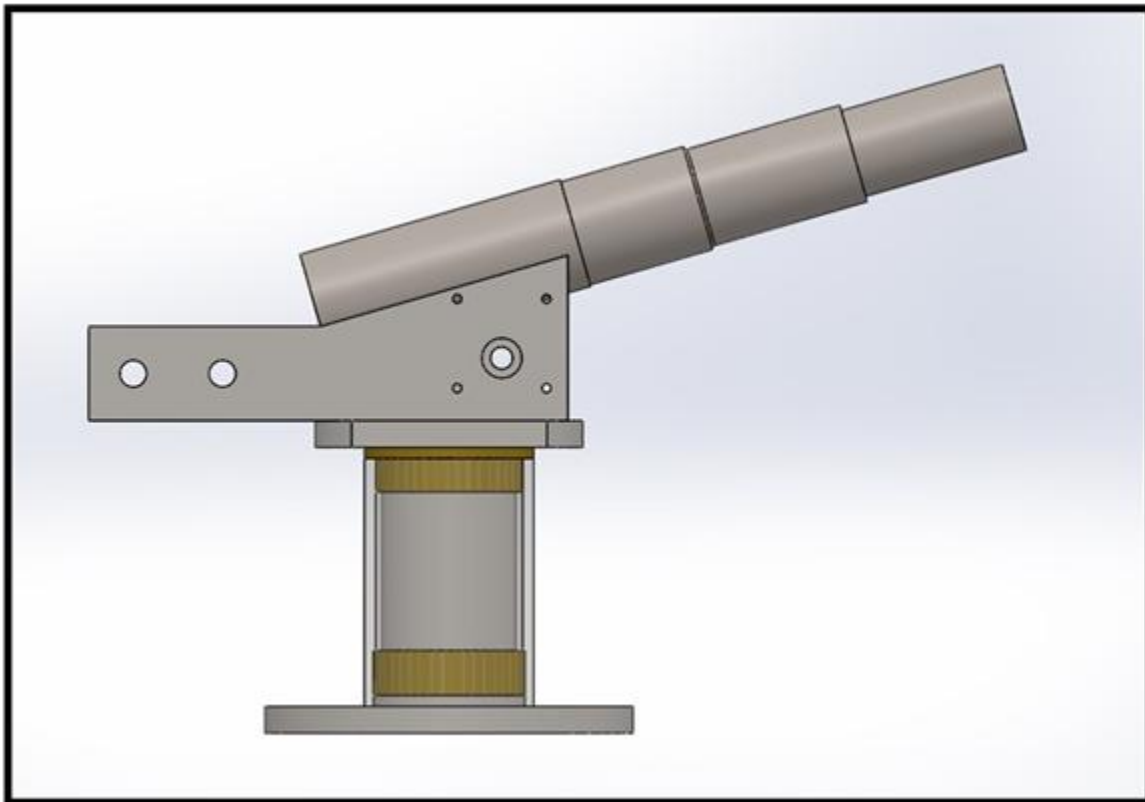


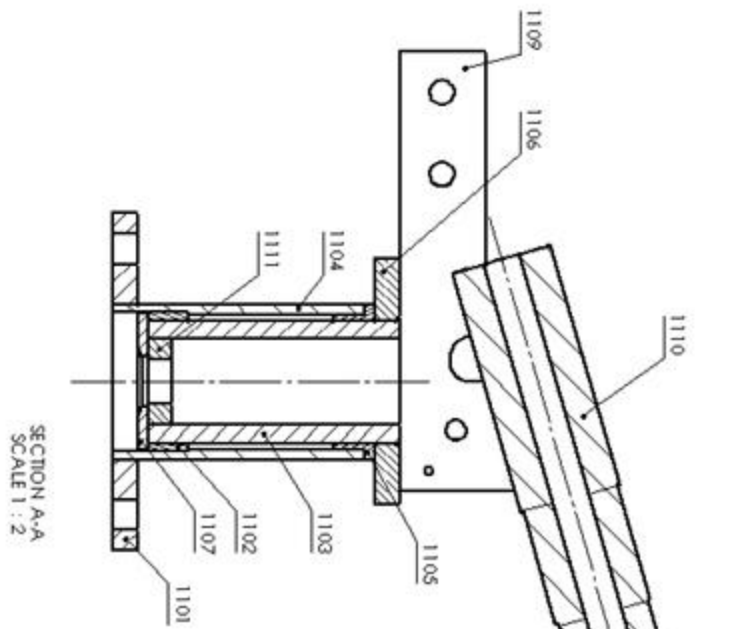
Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχέδια όλων των κομματιών και των εξαρτημάτων της Ανεμογεννήτριας. Ο σχεδιασμός έγινε σε επίπεδο εργαστηριακού πρωτοτύπου και οι ανοχές επελέγησαν εμπειρικά με στόχο την επίτευξη του βέλτιστου λειτουργικού αποτελέσματος. Κατασκευαστικά σχέδια θα μπορούσαν να παρουσιαστούν μετά την αξιολόγηση της Α/Γ αυτής και την συλλογή της απαραίτητης εμπειρίας.

### 5.3 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)





SECTION A-A  
SCALE 1 : 2

1111	1	TMX Έργα καλωδίου		Κάλυβας
1110	1	TMX Κόπριος άξονας		Κάλυβας
1109	1	TMX Έπιπλυμα άξονα	1108,1109	Κάλυβας
1107	1	TMX Βάση έργας καλωδίου		Κάλυβας
1106	1	TMX Κινούμενη βάση		Κάλυβας
1105	1	TMX Πάνα έργαο		Μηρούτσο
1104	1	TMX Σταθμό σώμα βάσης		Κάλυβας
1103	1	TMX Κινητό σώμα βάσης		Κάλυβας
1102	1	TMX Έργαο κάτω		Μηρούτσο
1101	1	TMX Φάδιτσα βάσης		Κάλυβας
ο/α	Μοδρ. Μοδ.	Οικιακή Τηλεόραση	Τεχνολογική Οικιακή ή επαγγελματική	Υλικο

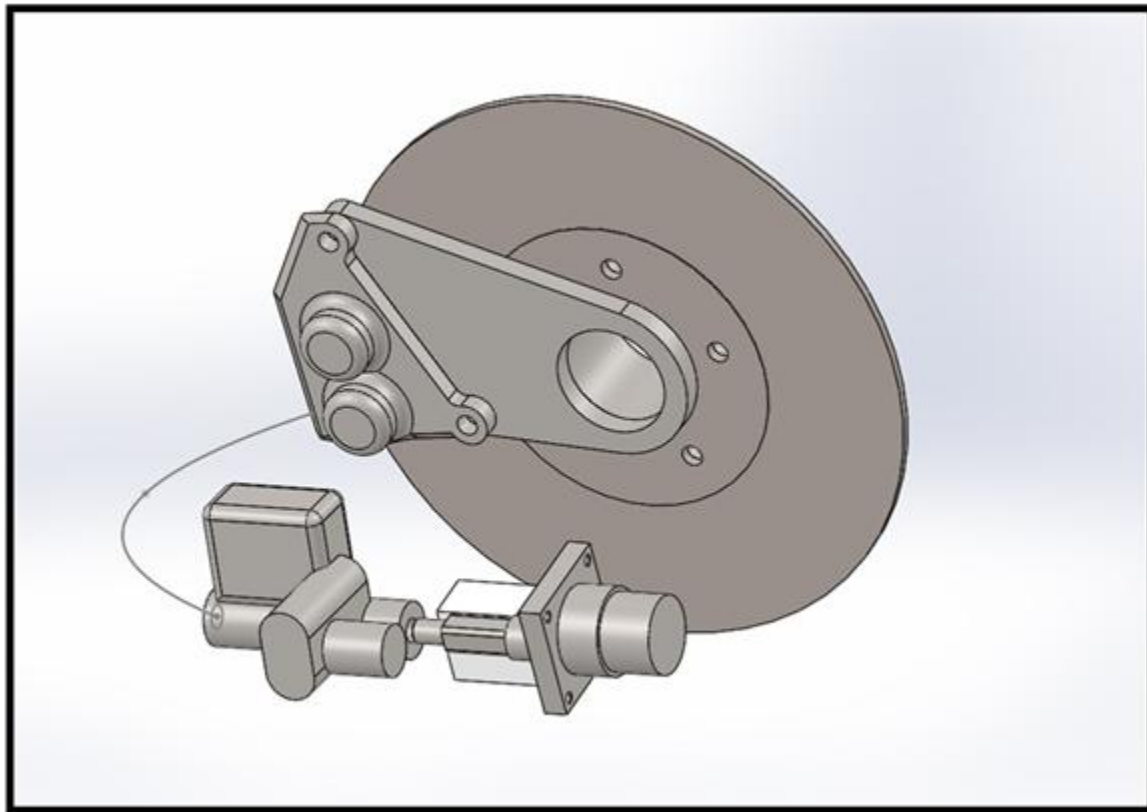
Κλίμακα : 1:2 Βέρτος: 3,0 kg

		<p>Κατάσταση: <b>Βάση</b></p>	
<p>ΤΥΠΟΣ: <b>Βάση</b></p> <p>ΕΤΟΣ: <b>2014</b></p> <p>ΣΕΡΙΑ: <b>1100</b></p>	<p>Κατάσταση: <b>1100</b></p>	<p>Αριθμός: <b>1100</b></p>	<p>Α3</p>
<p>PROJECT_CODE</p>		<p>Αριθμός: <b>1100</b></p>	

## 5.4 Μηχανισμός Φρένου

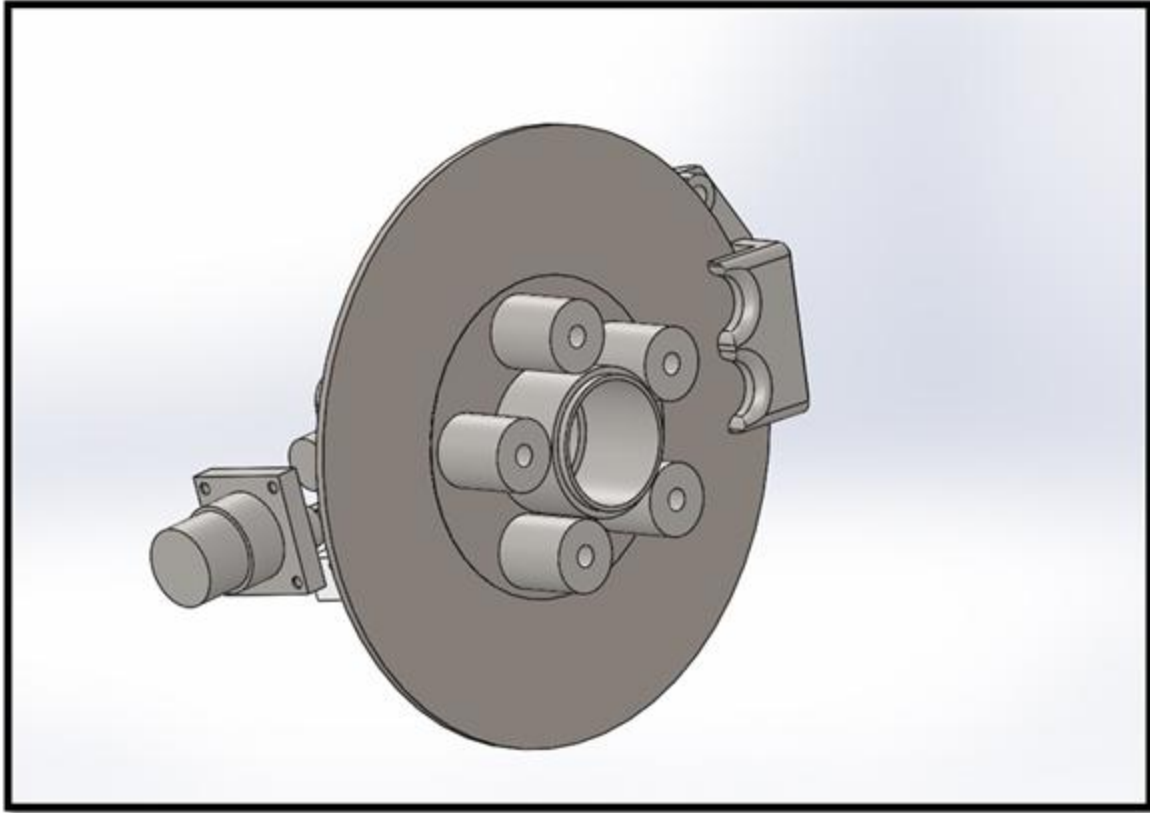
Ο μηχανισμός του φρένου αποτελείται από δώδεκα εξαρτήματα τα οποία είναι :

- 1) Κινητήρας εμπορίου 12 volt, DC, 200 RPM (1201)
- 2) Βάση κινητήρα
- 3) Ιδανικός κοχλίας κίνησης
- 4) Κοχλιωτό έμβολο επενεργητή
- 5) Έδρα εμβόλου επενεργητή
- 6) Βάση Αρπάγων Φρένου
- 7) Αρπάγες φρένου
- 8) Δισκόπλακα
- 9) Αποστάτες δισκόπλακας
- 10) Κεντρικός αποστάτης δισκόπλακας
- 11) Έμβολο φρένου
- 12) Πείρος στήριξης εμβόλου φρένου



*μηχανισμός φρένου 1*





*μηχανισμός φρένου 2*

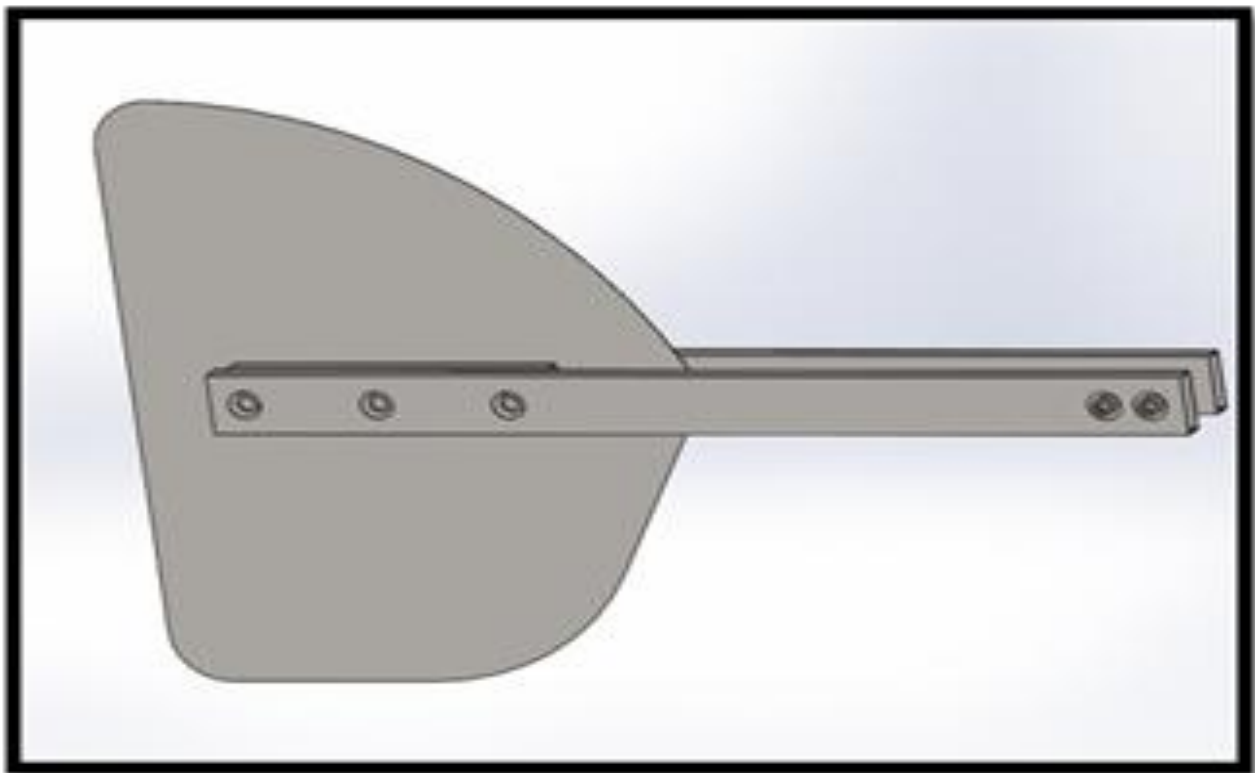
## 5.5 Ουρά

Η ουρά αποτελείται από 3 εξαρτήματα τα οποία είναι :

- 1) Βραχίονας ουράς
- 2) Αποστάτες ουράς
- 3) Πτερύγια ουράς

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



## 5.6 Μηχανισμός ελέγχου

Ο μηχανισμός ελέγχου αποτελείται από δεκατέσσερα εξαρτήματα τα οποία είναι :

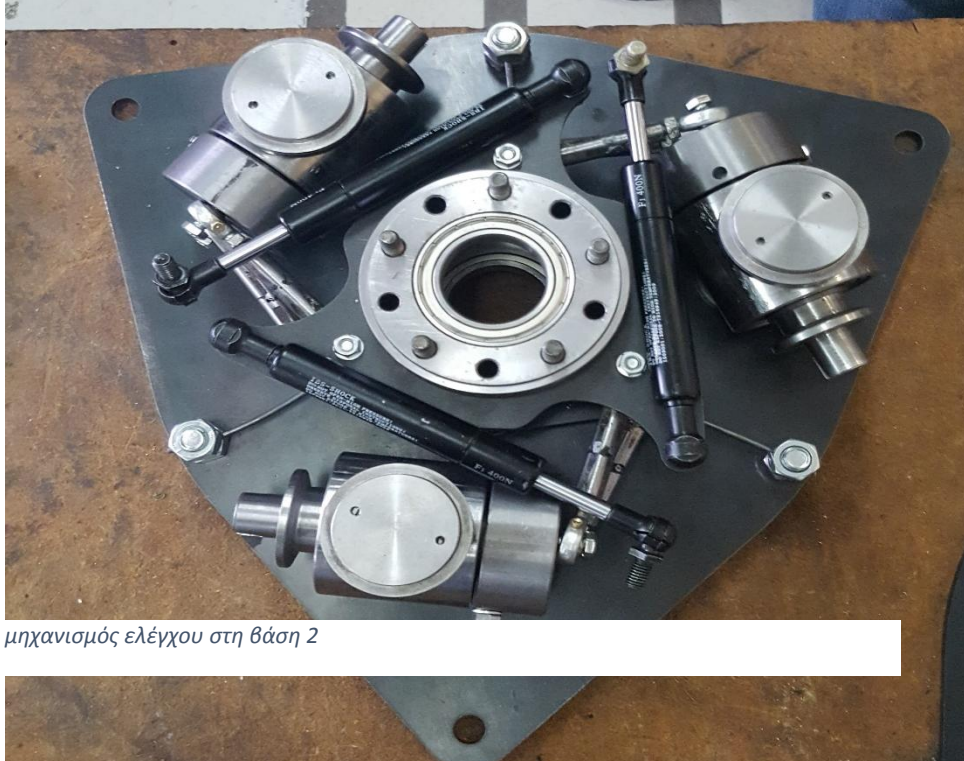
1. Φλάντζα μπροστά
2. Φλάντζα πίσω
3. Έδρανο συγχρονιστή
4. Σκληρός συγχρονιστής
5. Μαλακός συγχρονιστής
6. Σώμα διωστήρα
7. Ακροαθρώσεις
8. Σώμα διωστήρα
9. Άξονας φτερού
10. Ασφάλεια φτερού
11. Φωλιά ρουλεμάν
12. Μαστός ρουλεμάν/έδρανο φτερού
13. Κυκλικό έδρανο φτερού
14. Αεροελατήριο

Για την συναρμολόγηση του μηχανισμού ελέγχου θα χρησιμοποιήσουμε :

1. 6 εξαγωνικές βίδες M8 x 20
2. 5 εξαγωνικές βίδες M8 x 105
3. 12 εξαγωνικές βίδες M6 x 30
4. 3 εξαγωνικές βίδες M6 x 15
5. 6 ρουλεμάν 6301-2Z
6. 1 ρουλεμάν 61908-2RZ
7. 6 ρουλεμάν 6006-2RZ
8. 3 ρουλεμάν 626-2RSL
9. 1 ρουλεμάν 61909-2RZ



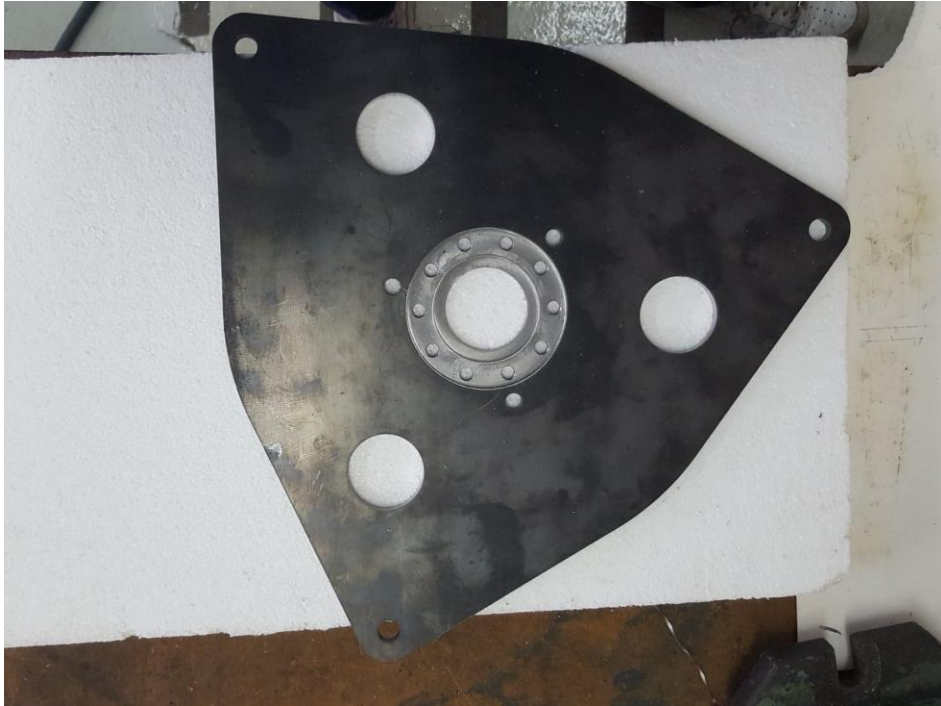
μηχανισμός ελέγχου στη βάση 1



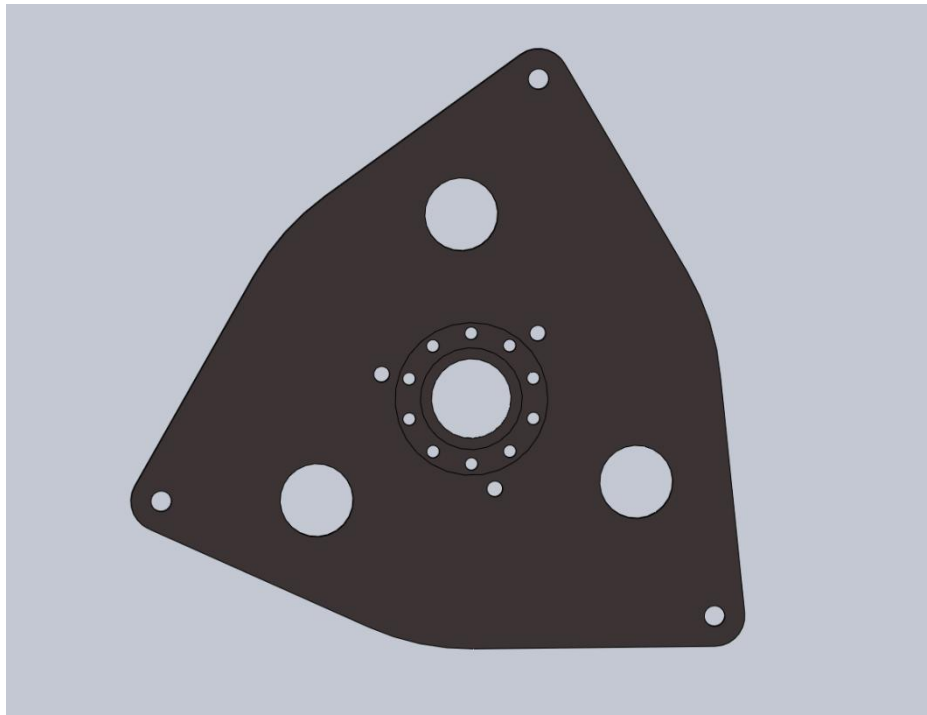
μηχανισμός ελέγχου στη βάση 2

μηχανισμός ελέγχου κάτω πλευρά 1

5.6.1 Φλάντζα μπροστά

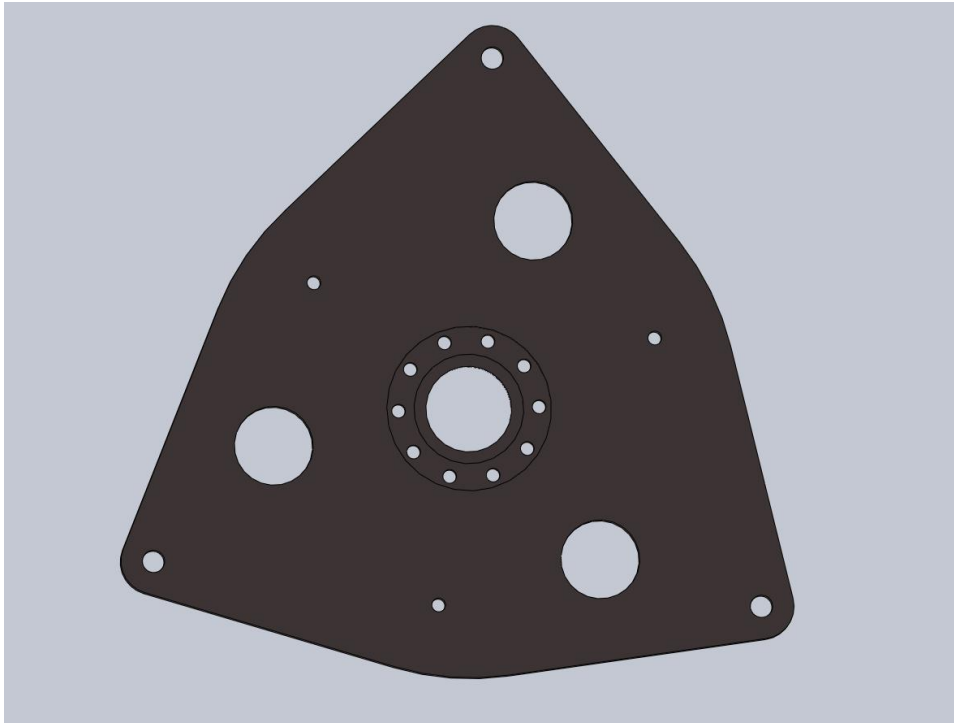


Εικόνα1 6.6.1



Εικόνα2 6.6.1

### 5.6.2 Φλάντζα πίσω

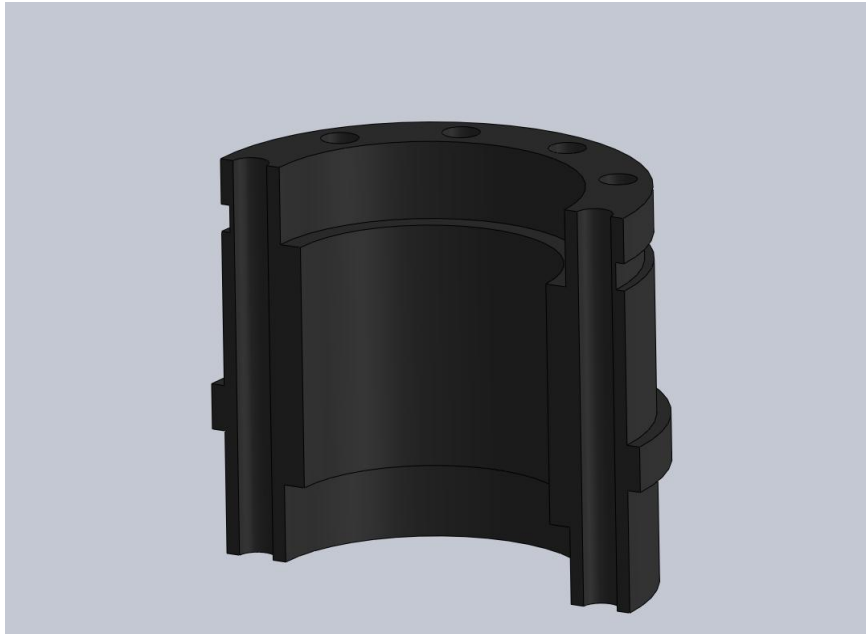


Εικόνα1 5.6.2

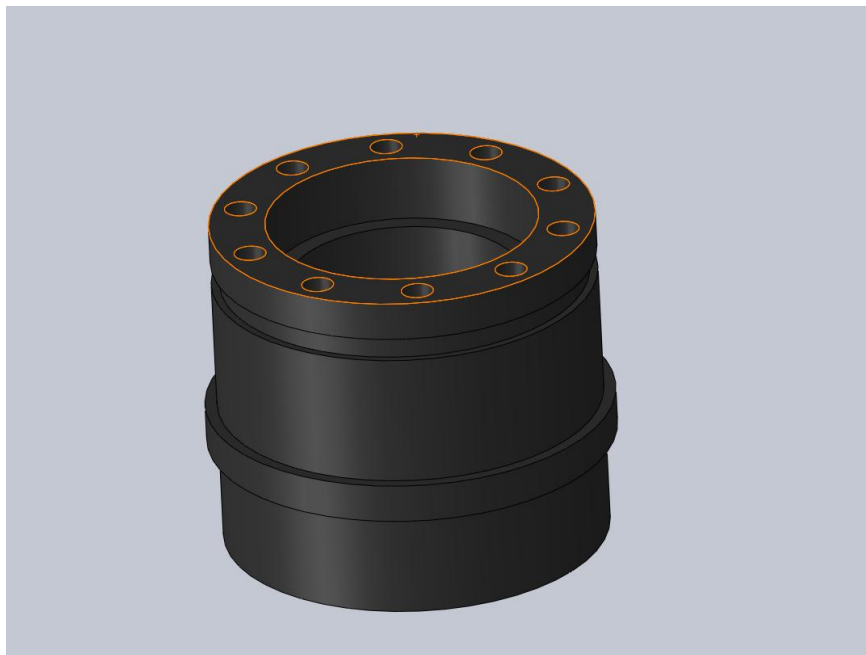


Εικόνα2 5.6.2

### 6.6.3 Έδρανο συγχρονιστή



Εικόνα1 5.6.3

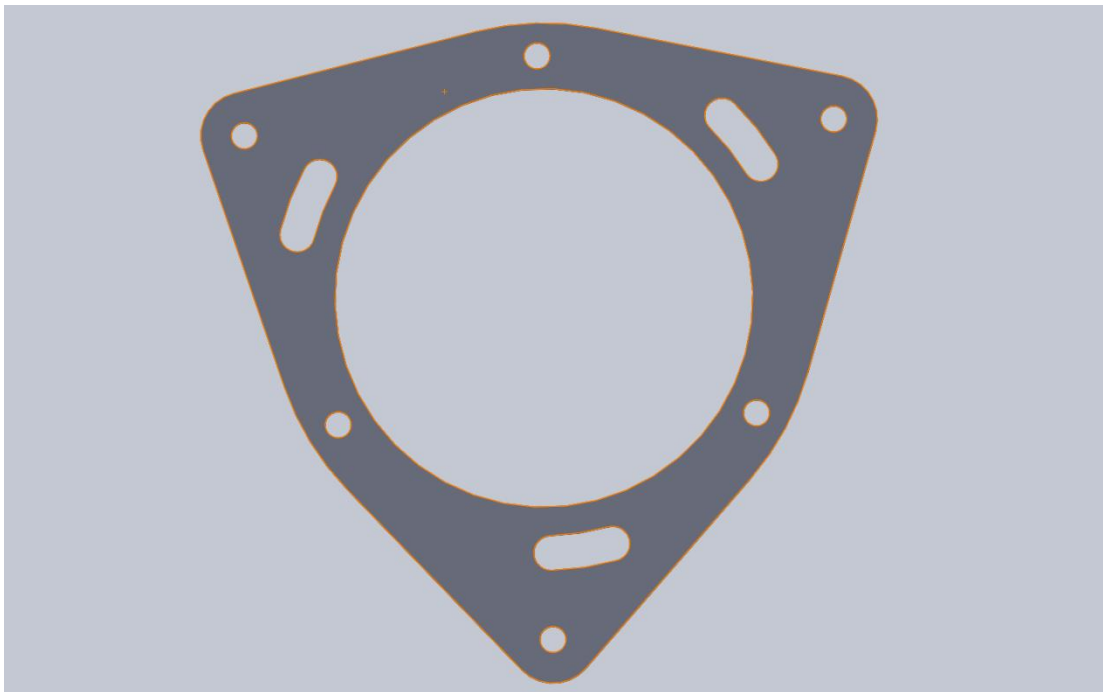


Εικόνα2 5.6.3



Εικόνα3 5.6.3

#### 5.6.4 Μαλακός συγχρονιστής



Εικόνα1 5.6.4





Εικόνα2 5.6.4

#### 5.6.5 Σκληρός συγχρονιστής

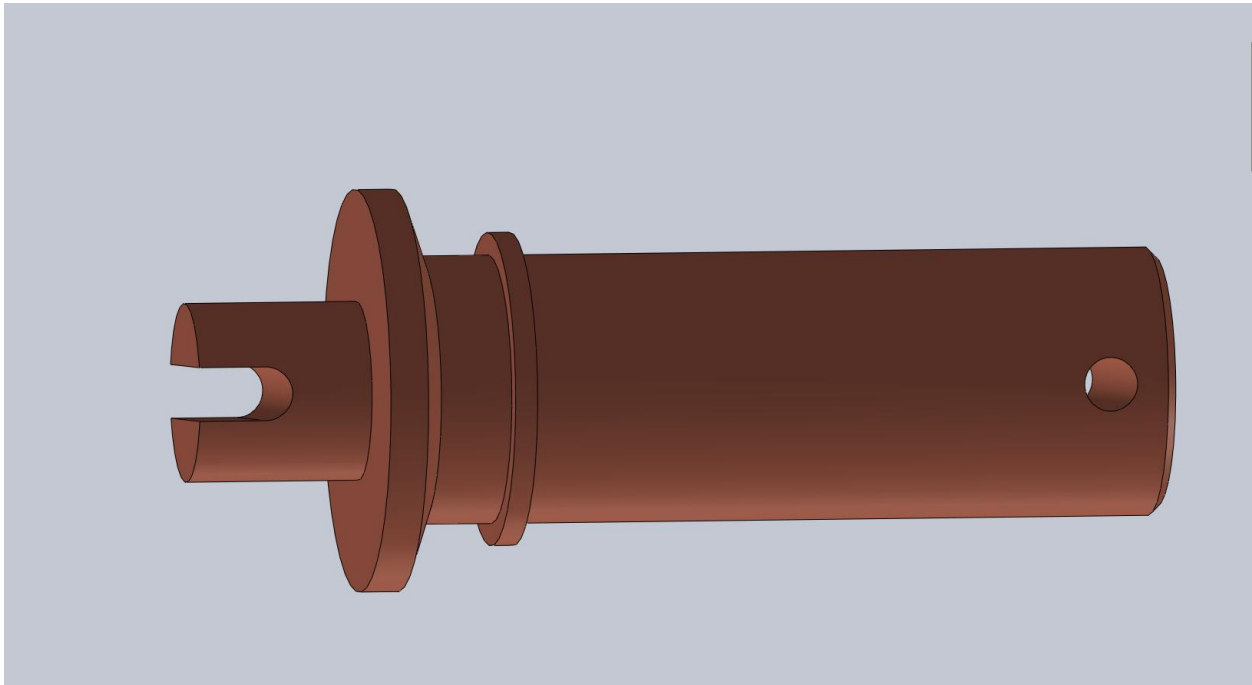


Εικόνα1 5.6.5

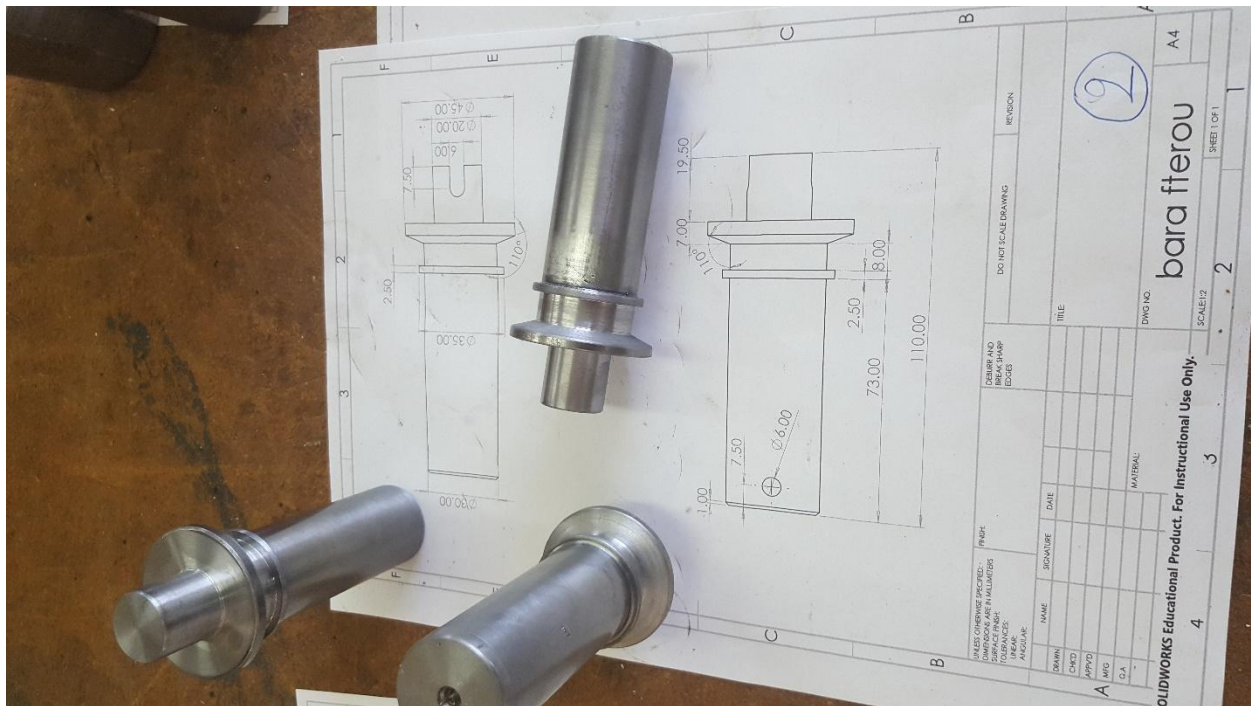


Εικόνα2 5.6.5

### 5.6.6 Άξονας φτερού

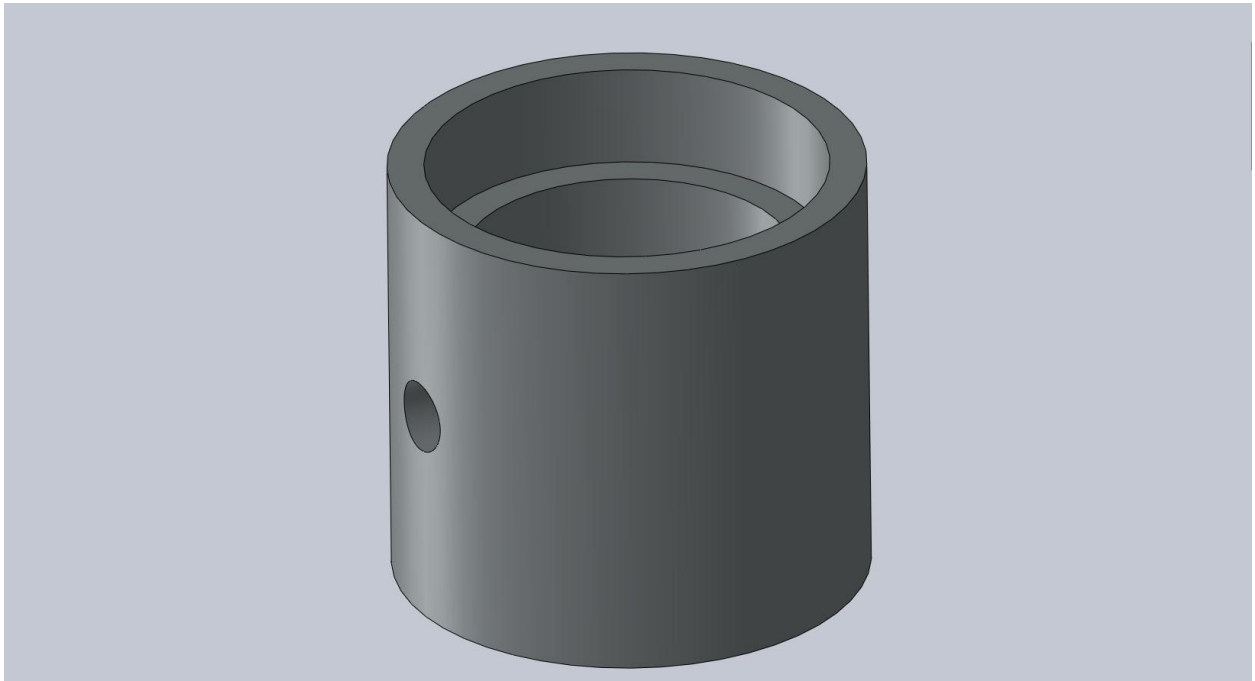


Εικόνα1 5.6.6

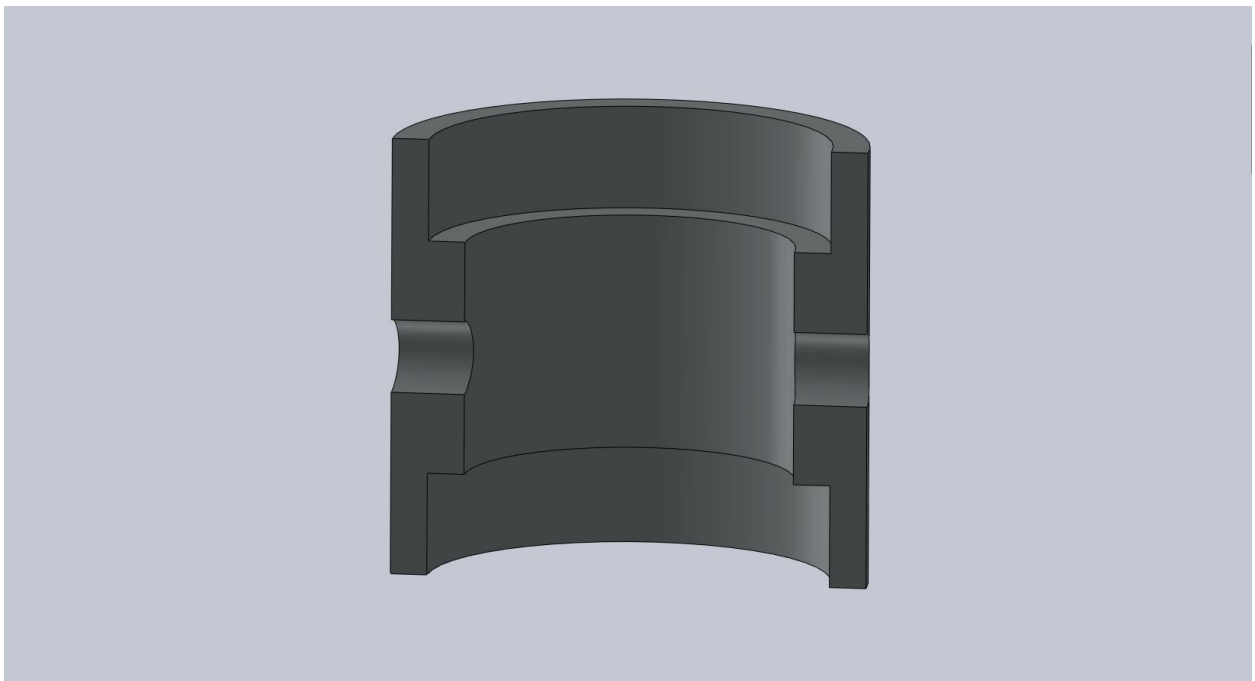


Εικόνα2 5.6.6

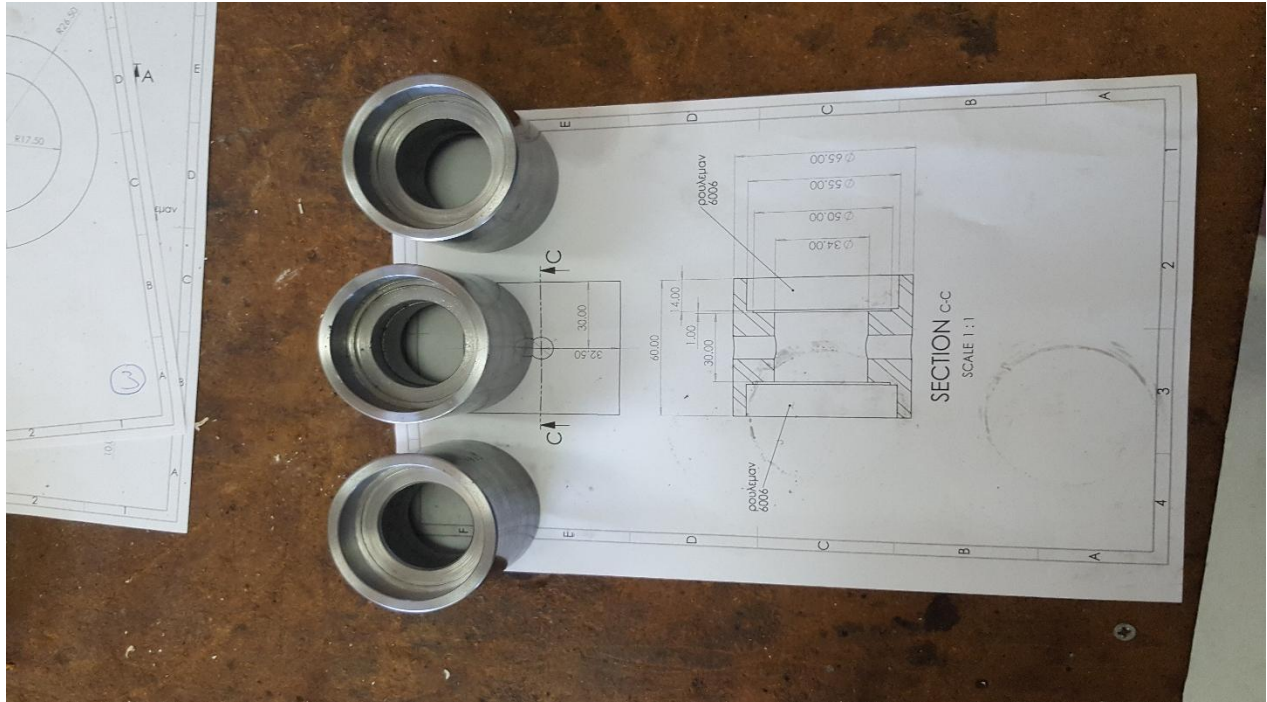
### 5.6.7 Έδρανο άξονα φτερού



Εικόνα1 5.6.7

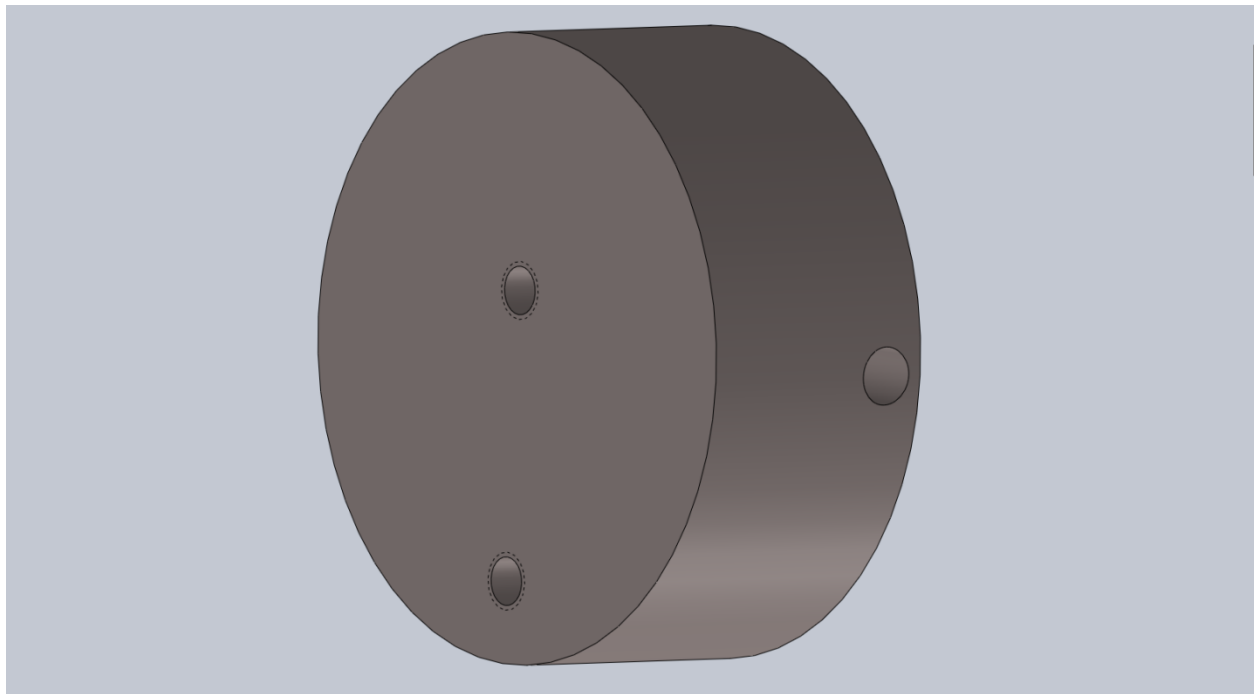


Εικόνα2 5.6.7

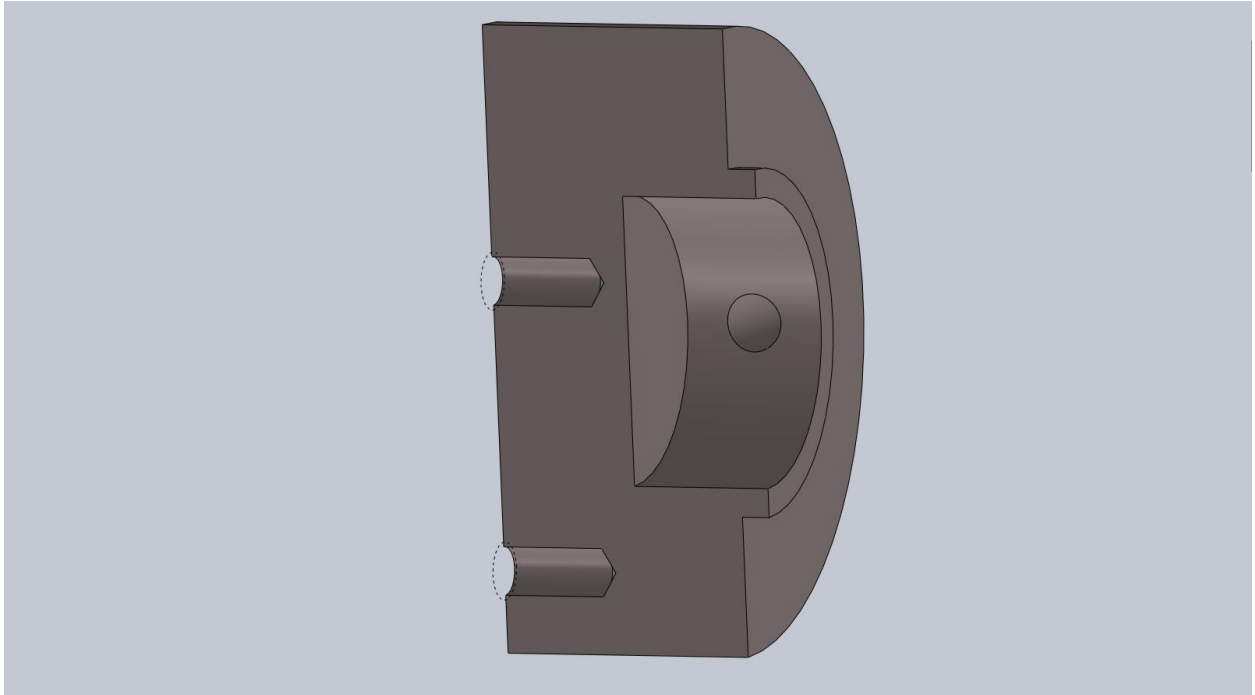


Εικόνα3 5.6.7

### 5.6.8 Ασφάλεια φτερού



Εικόνα1 5.6.8

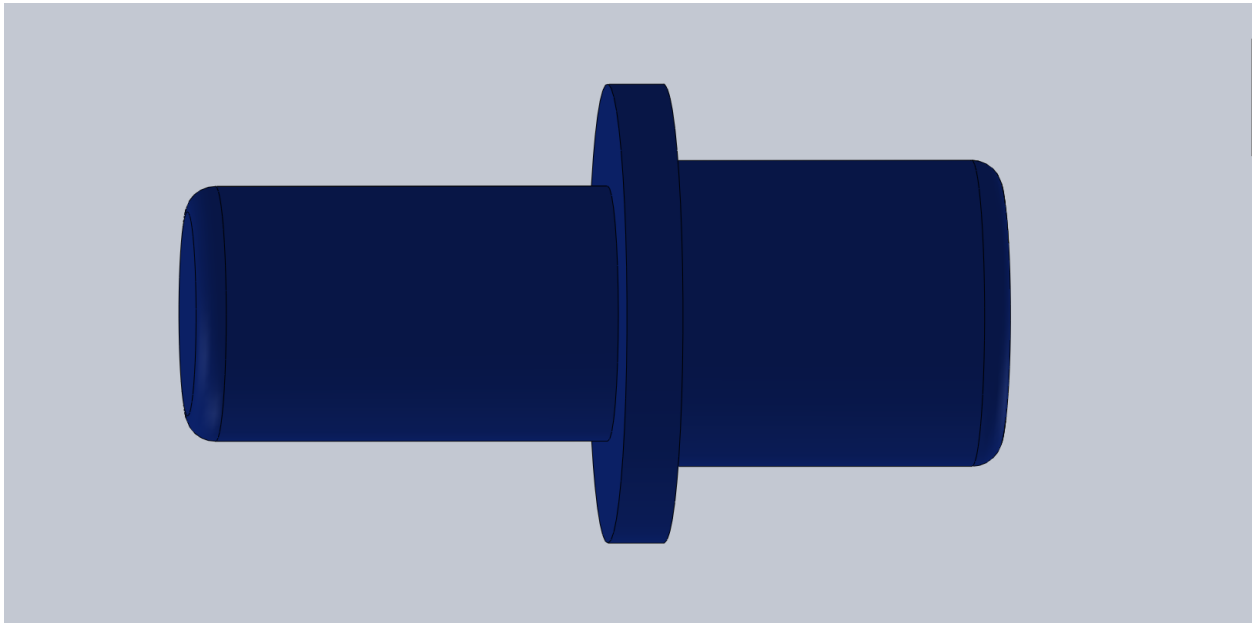


Εικόνα2 5.6.8

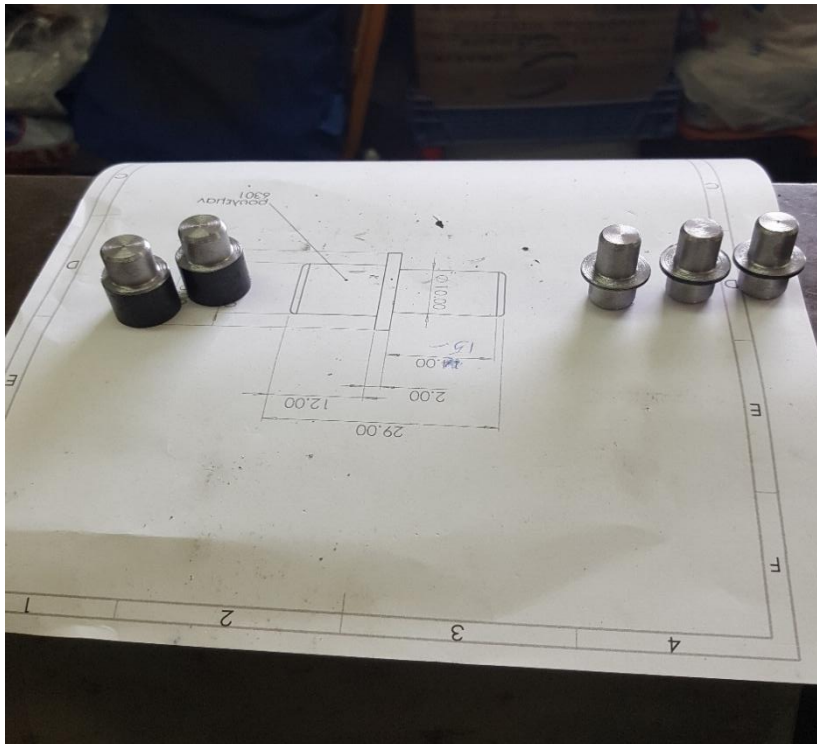


Εικόνα3 5.6.8

### 5.6.9 Μαστός ρουλεμάν/έδρανο φτερού

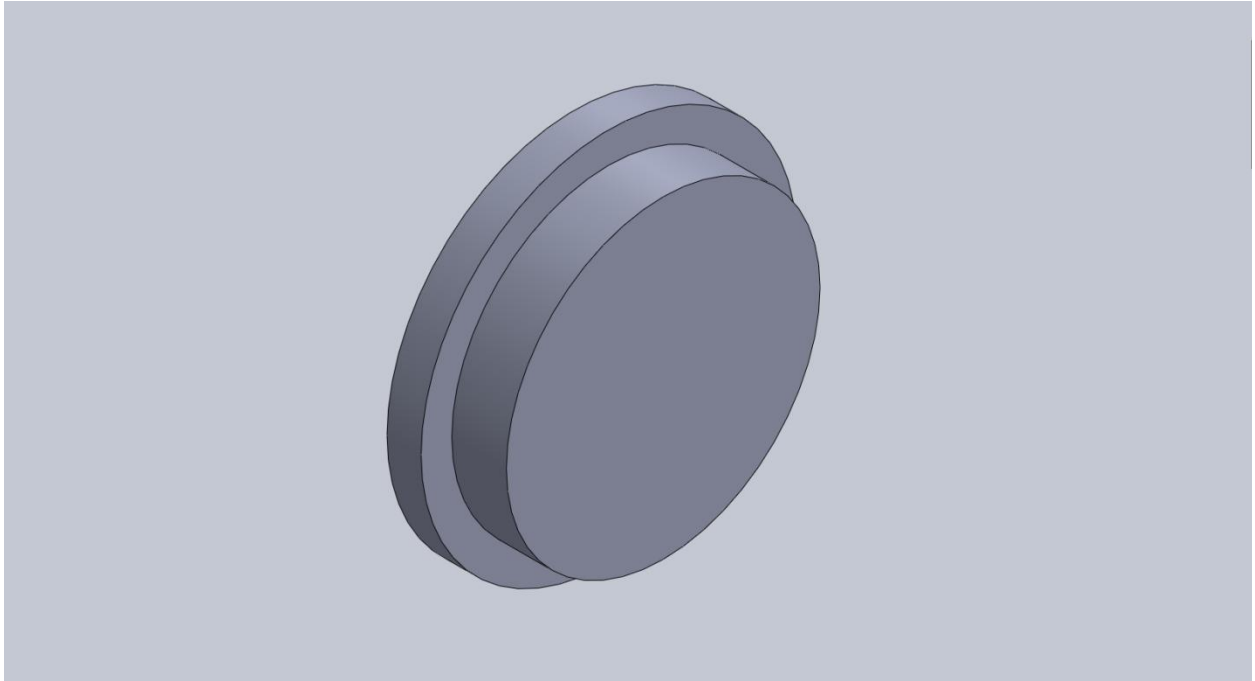


Εικόνα1 5.6.9

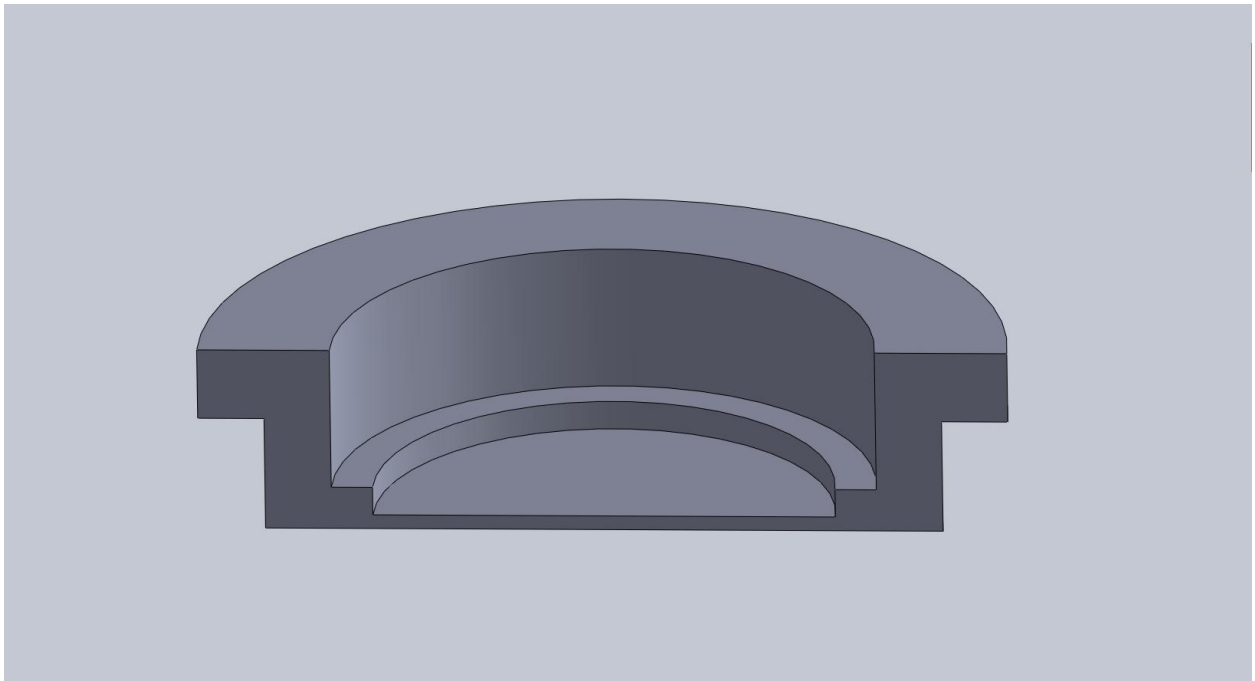


Εικόνα2 5.6.9

### 5.6.10 Φωλιά ρουλεμάν



Εικόνα1 5.6.10



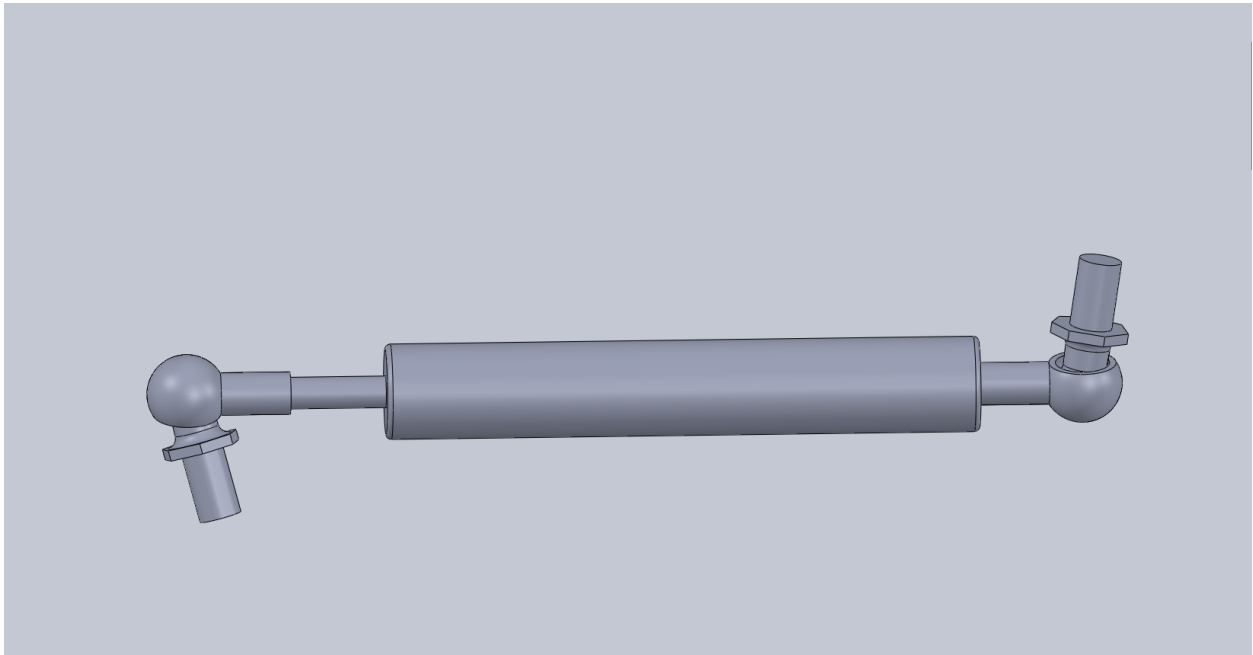
Εικόνα2 5.6.10



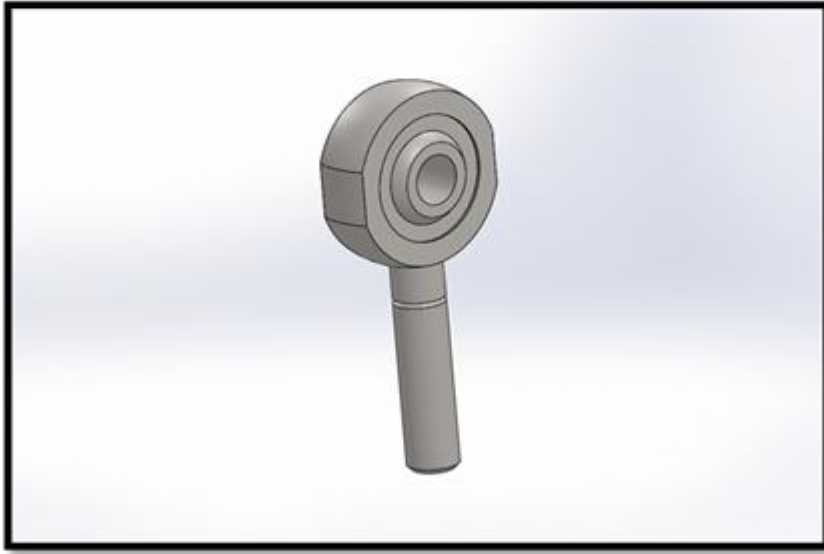


Εικόνα3 5.6.10

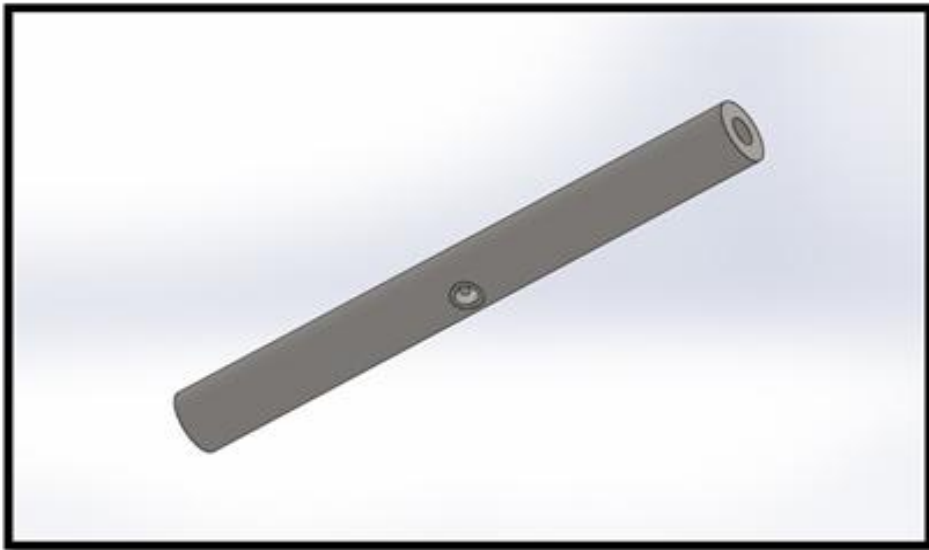
### 5.6.11 Αέροελατήριο



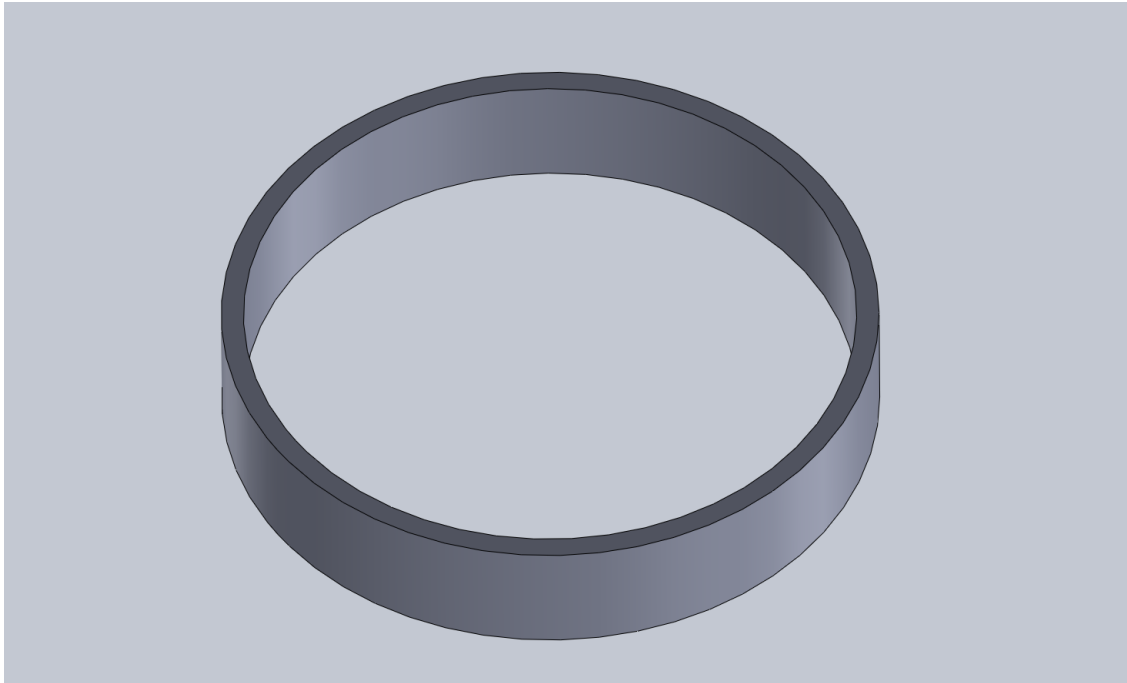
5.6.12 Ακροαθρώσεις (SIKAC M6)



5.6.13 Σώμα διωστήρα



#### 5.6.14 Αποστάτης συγχρονιστή

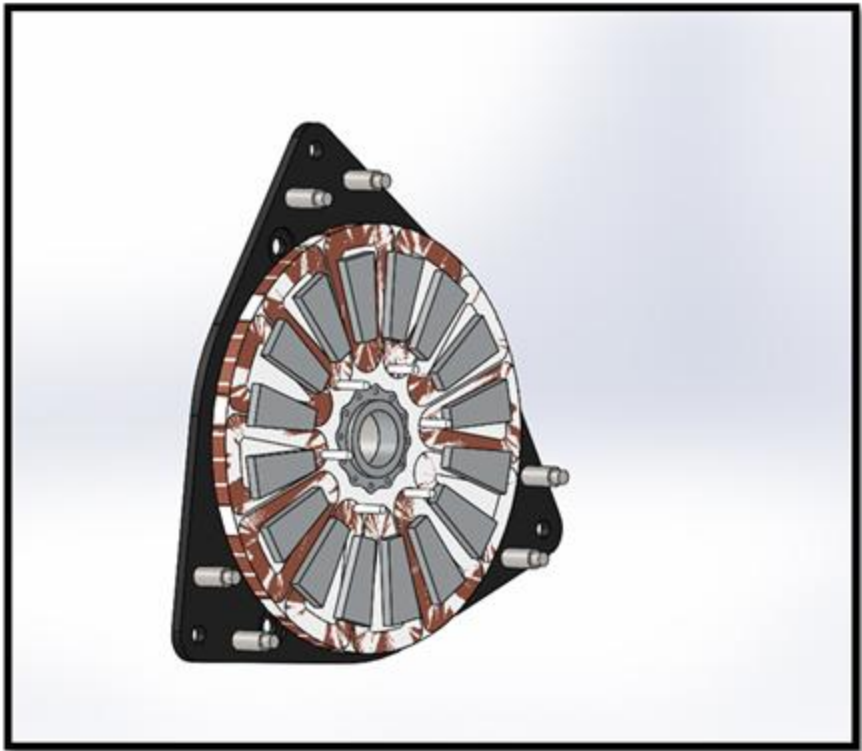
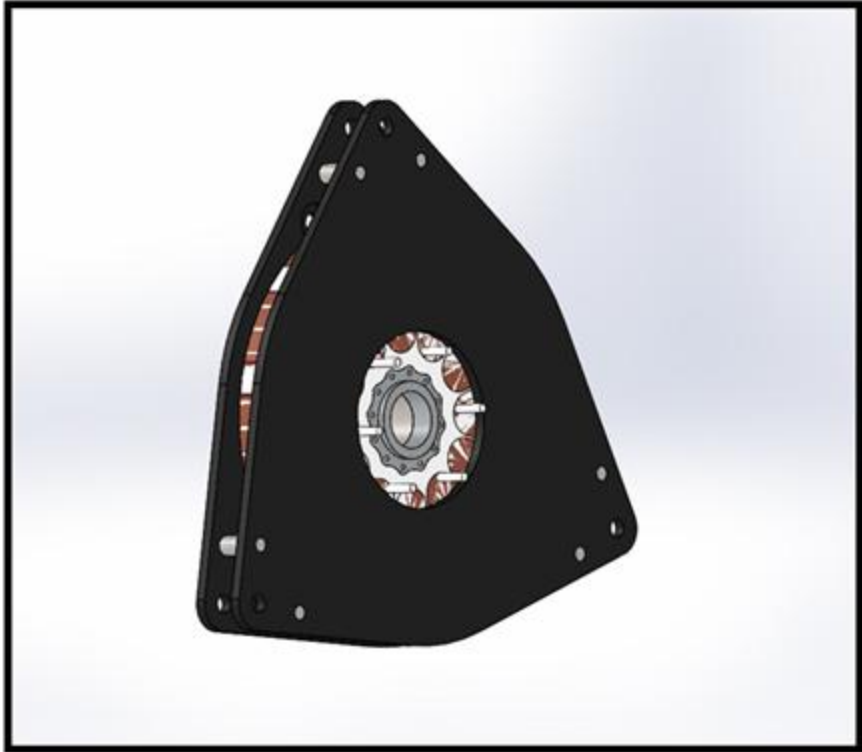


#### 5.7 Γεννήτρια

Η γεννήτρια αποτελείται από επτά εξαρτήματα τα οποία είναι :

- 1) Βάση Μαγνητών
- 2) Αποστάτης Στάτη
- 3) Μαγνήτες
- 4) Στάτης
- 5) Βάση Στάτη
- 6) Αποστάτες Φλαντζών
- 7) Βάση Μαγνητών

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.

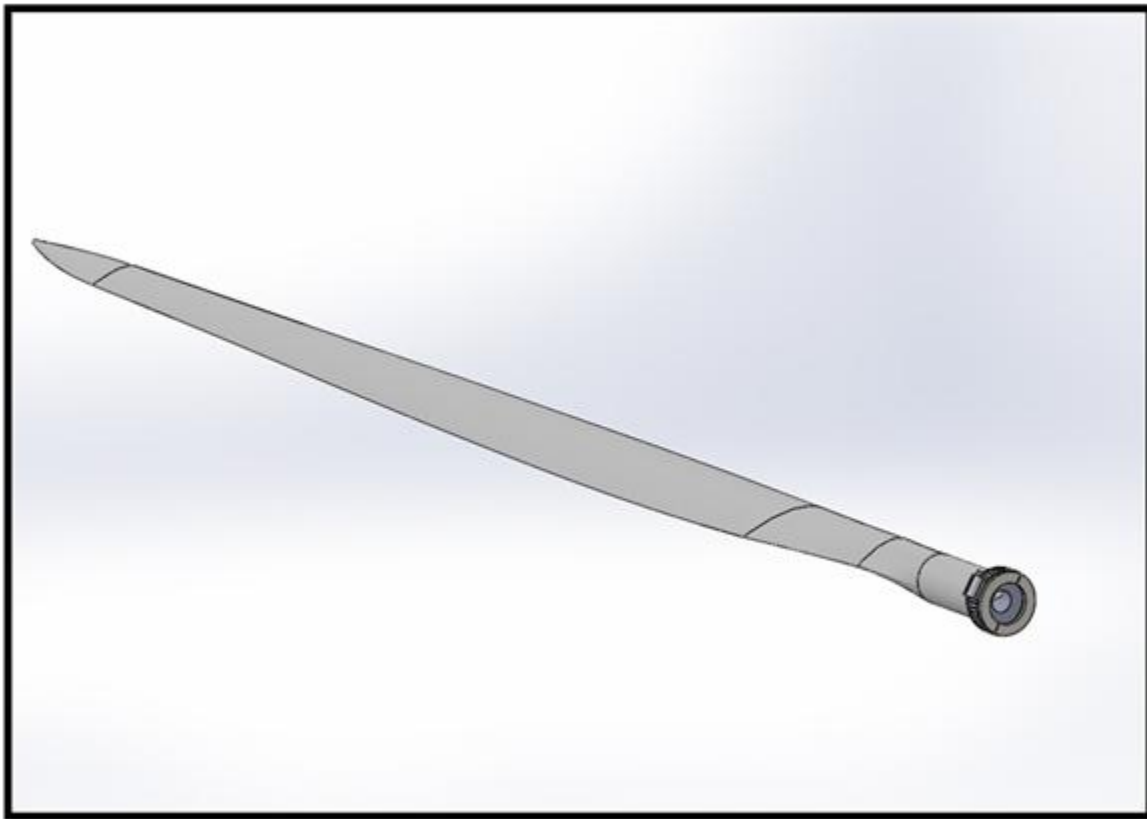


## 5.8 Φτερό

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

- 1) Σωλήνας Έδρασης Φτερού
- 2) Συνδετήρας Φτερού
- 3) Κολιέ Συνδετήρα
- 4) Φτερό
- 5) Πείρος Θέσης Φτερού

Για την σύνδεση των φτερών χρησιμοποιείται το κολιέ.



## 6. Βιβλιογραφία

1. Πτυχιακή εργασία Μειμάρης Γιώργος « Σχεδίαση μελέτη και επίβλεψη κατασκευής Α/Γ 1000 Watt »
2. «Υποστήριξη μικρής Ανεμογεννήτριας μετά την πώληση», Πτυχιακή εργασία του σπουδαστή: Φαίδωνα Χρηστοφίδη, ΤΕΙ Κρήτης Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας.
3. «Small wind world report 2014», WWEA
4. General catalogue SKF 6000 EN