

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Σχεδίαση και Υλοποίηση Λειτουργικού Μοντέλου Ανεμογεννήτριας

Του φοιτητή
Χρήστου Ηλιάδη
Αρ. Μητρώου: 514042

Επιβλέπων
Ιορδάνης Κιοσκερίδης
Καθηγητής

Ιούνιος 2022

Τίτλος Π.Ε.

Σχεδίαση και υλοποίηση λειτουργικού μοντέλου ανεμογεννήτριας

Κωδικός Π.Ε. 18177Μ

Ονοματεπώνυμο φοιτητή Χρήστος Ηλιάδης

Ονοματεπώνυμο εισηγητή Ιορδάνης Κιοσκερίδης

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 20/3/2018

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 22/05/2022

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένων, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή **Χρήστου Ηλιάδη** που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο «Σχεδίαση και Υλοποίηση Λειτουργικού Μοντέλου Ανεμογεννήτριας» ξεκίνησε από μια πειραματική ιδέα για μια απλή εργασία σε ένα μάθημα της σχολής, ξεκινώντας αρχικά με την κατασκευή ενός αυτοσχέδιου 3D εκτυπωτή, ώστε να γίνει εφικτή η εκτύπωση των επιμέρους κομματιών από τα οποία θα κατασκευαζόταν η ανεμογεννήτρια.

Αργότερα, κατά τη διάρκεια υλοποίησης της εργασίας αυτής κατάλαβα πως θα μπορούσε να εξελιχθεί ως πτυχιακή εργασία.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν να κατασκευαστεί και να λειτουργεί, όπως μια πραγματική ανεμογεννήτρια.

Παρακάτω στα κεφάλαια αναφέρεται όλη η διαδικασία από την έρευνα, το σχέδιο και την κατασκευή της αναλυτικά, από το πρόγραμμα σχεδίασης μέχρι και την κατασκευή κάθε ειδικά σχεδιασμένου κομματιού, όπως τα εσωτερικά της ατράκτου και τα πτερύγια.

Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια, η αιολική ενέργεια έχει καταστεί μία από τις πιο οικονομικές τεχνολογίες ανανεώσιμης ενέργειας. Σήμερα, οι ηλεκτροπαραγωγικές ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν αποδεδειγμένη και δοκιμασμένη τεχνολογία και παρέχουν ασφαλή και βιώσιμο ενεργειακό εφοδιασμό. Σε καλές, αιολικές τοποθεσίες, η αιολική ενέργεια μπορεί ήδη να ανταγωνιστεί επιτυχώς τη συμβατική παραγωγή ενέργειας.

Για πολλά χρόνια, οι αναπτυσσόμενες χώρες και οι αναδυόμενες οικονομίες αντιμετωπίζουν την πρόκληση να καλύψουν τις πρόσθετες ενεργειακές ανάγκες για την κοινωνική και οικονομική τους ανάπτυξη με τις παρωχημένες δομές ενεργειακού εφοδιασμού. Η υπέρβαση της χρήσης ορυκτών καυσίμων με τη μορφή άνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου, τα οποία ξοδεύουν πολύτιμα αποθέματα σε ξένο νόμισμα θα οδηγήσει στην ανεξαρτησία από χώρες που είναι πλούσιες σε πετρέλαιο και οι οποίες ελέγχουν την τιμή τους. Ταυτόχρονα, αυξάνονται οι πιέσεις στις νεοεμφανιζόμενες νέες βιομηχανικές χώρες, ιδίως προκειμένου να καταπολεμήσουν την αλλαγή του κλίματος και να περιορίσουν τις εκπομπές ρύπων.

Ο σκοπός αυτής της εργασίας είναι να κατανοήσουμε καλύτερα τον τρόπο λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας, τον σχεδιασμό της, τα μέρη από τα οποία αποτελείται καθώς και το ρόλο, το σκοπό, τη χρησιμότητα και τη σπουδαιότητά τους στην επίτευξη της παραγωγής ενέργειας μέσω της αεροδυναμικής των πτερυγίων που δημιουργείται. Στόχος είναι να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε ένα πιστό αντίγραφο με όλες τις πραγματικές λειτουργίες μιας πραγματικής ανεμογεννήτριας. Γι' αυτό το λόγο, το μοντέλο που επιλέξαμε είναι μια ανεμογεννήτρια από την εταιρεία Vestas, και συγκεκριμένα το μοντέλο V112, που είναι μια ανεμογεννήτρια μεσαίας κατηγορίας.

Μια ανεμογεννήτρια αποτελείται από πολλά μέρη. Ορισμένα από τα μέρη που βλέπουμε σε μία πραγματική είναι ο Πύργος, η Άτρακτος, τα Πτερύγια και η Πλήμνη. Κάθε ένα από αυτά τα μέρη διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη λειτουργία της. Από αυτό το συγκεκριμένο μοντέλο ανεμογεννήτριας, τα σχεδιαγράμματα τα οποία βρήκαμε είναι το βασικό σχέδιο των πτερυγίων, τα ηλεκτρικά και τα μηχανικά σχέδιά της και το σχέδιο της πλήμνης καθώς και της ατράκτου, τα οποία βοήθησαν στην κατασκευή αυτού του πρωτότυπου μοντέλου.

Ο δρομέας της ανεμογεννήτριας Vestas V112 έχει διάμετρο 112 μέτρα. Με βάση αυτήν την πληροφορία σχεδιάστηκε η μικρογραφία της ανεμογεννήτριας και όλων των μερών από τα οποία αποτελείται με σμίκρυνση 1:52. Ο δρομέας της μικρογραφίας της ανεμογεννήτριας σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε δηλαδή στα 215,7 εκατοστά κι έτσι το μοντέλο αυτό αποτελεί μια πλήρως λειτουργική ανεμογεννήτρια με όλες τις λειτουργίες μιας πραγματικής.

Abstract

In recent years, wind energy has become one of the most economical technologies of renewable energy. Today, electricity generating wind turbines employ proven and tested technology, and provide a secure and sustainable energy supply. At good, windy sites, wind energy can already successfully compete with conventional energy production.

For many years now, developing countries and emerging economies have been faced with the challenge of meeting additional energy needs for their social and economic development with obsolete energy supply structures. Overcoming the use of fossil fuels in the form of coal, oil and gas that eats into valuable foreign currency reserves will lead to independence from oil-rich countries that controls the price of them. At the same time there is growing pressure on emerging newly industrialized countries in particular to make a contribution to combating climate change and limit their pollutant emissions.

A wind turbine consists of many parts. Some of these parts that we see in a real wind turbine is the tower, the nacelle, the blades and the hub. Each one of them has a unique role in making a wind turbine work. This specific model, the diagrams and the designs we found is the basic design of the blades, the main wiring and mechanical diagram as well as the design of the nacelle which helped in the making of this prototype.

The goal of this project is to understand better the designing and the working of a wind turbine, the main parts it consists of as well the role each of each one has to achieve for the production of energy via aerodynamics. The objective is to construct a true copy of this model with all the main functionality the real one has. For this prototype we choose a wind turbine from the company Vestas. The model of the wind turbine is the V112 which is a medium class wind turbine.

The rotor of the wind turbine Vestas V112 has a diameter of 112 meter. With this information, we designed a smaller version of this wind turbine and all the parts it consists of to 1:52. The rotor of the prototype has a diameter of 215.7 centimeters and all the main functions of a real one has.

Περιεχόμενα

Κατάλογος Διαγραμμάτων.....	9
Κεφάλαιο 1° : Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	2
1.3 Αιολική Ενέργεια.....	4
Κεφάλαιο 2° : Πρόγραμμα DS SolidWorks	6
2.1 Εισαγωγή.....	6
2.2 Εφαρμογές του Solidworks.....	7
2.3 Πως Λειτουργεί.....	8
2.4 Η Διαδικασία Σχεδίασης των Πτερυγίων.....	8
2.5 Τρόπος Σχεδίασης Βίδας στο Solid Works.....	10
Κεφάλαιο 3° : Πτερύγια (Blades).....	14
3.1 Εισαγωγή.....	14
3.2 Μελέτη των Πτερυγίων.....	15
3.2.1 Smart Blade Designs.....	17
3.2.2 Δομικά Μέρη Πτερυγίου	18
3.3 Αεροδυναμική και Αεροτομές	19
3.3.1 Αεροδυναμικό Φαινόμενο Stall.....	21
3.3.2 Αεροδυναμικό Φορτίο	22
3.3.3 Γωνία Στρέψης.....	23
3.4 Σχεδιασμός των Πτερυγίων	23
3.4.1 Σχεδιασμός Αεροτομών.....	24
3.5 Κατασκευή των Πτερυγίων.....	29
Κεφάλαιο 4° : Πλήμνη (Hub).....	33
4.1 Εισαγωγή.....	33
4.1.1 Σύνδεση Πτερυγίων στην Πλήμνη	34
4.1.2 Περιεχόμενα της Πλήμνης.....	36
4.1.3 Τρόπος λειτουργίας και Έλεγχος Γωνίας Κλίσης.....	39
4.2 Σχεδιασμός της Πλήμνης και των Περιεχομένων της.....	40
4.2.1 Προβλήματα Σχεδιασμού και Λύσεις.....	42

4.3 Κατασκευή της Πλήμνης και των Περιεχομένων της.....	44
Κεφάλαιο 5° : Ατρακτος (Nacelle).....	45
5.1 Εισαγωγή.....	45
5.1.1 Μοτέρ Περιστροφής.....	47
5.1.2 Γεννήτρια και Κιβώτιο Ταχυτήτων	52
5.1.3 Μοτέρ Ελέγχου Γωνίας Κλίσης.....	53
5.2 Σχεδιασμός της Ατρακτου	55
5.2.1 Περιεχόμενα Ατρακτου	56
5.3 Κατασκευή Ατρακτου	57
5.3.1 Κατασκευή βάσης Γεννήτριας και του Κιβωτίου Ταχυτήτων.....	58
5.3.2 Κατασκευή της Βάσης του Μοτέρ Ελέγχου Γωνίας Κλίσης.....	59
5.3.3 Τρόπος μετάδοσης κίνησης για έλεγχο γωνίας επίθεσης πτερυγίου.....	59
Κεφάλαιο 6° : Πύργος (Tower)	62
6.1 Εισαγωγή.....	62
6.1.1 Τύποι Πύργων.....	62
6.1.2 Τα Θεμέλια της Βάσης των Ανεμογεννητριών.....	65
6.2 Σχεδιασμός του Πύργου και της Βάσης.....	68
6.3 Κατασκευή Βάσης Πύργου.....	69
Κεφάλαιο 7° : Ηλεκτρονικές Διατάξεις Ελέγχου	70
7.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Αυτοματισμού μιας Ανεμογεννήτριας	70
7.2 Ανάλυση του κώδικα	73
7.2.1 Σχηματικό Πλακέτας (Schematic)	75
7.2.2 Σχεδιασμός Πίνακα Ελέγχου και Πλακέτας (PCB).....	78
7.3 Ανάλυση του Κώδικα	82
7.4 Πειράματα Ελέγχου ορθής Λειτουργίας της Ανεμογεννήτριας.....	85
7.5 Συμπεράσματα	87
Παράρτημα 1°: Ο Κώδικας.....	88
1.1 Main Code {}	88
1.2 Void Setup	90
1.3 VoidLoop{}	91
1.4 MainMenu{}	92
1.5 Power{}	93

1.6 RPM_MS {}.....	94
1.7 Button {}.....	95
1.8 MotorPosition {}.....	96
1.9 Counter{}	97
1.10 GetPos {}	98
1.11 Motor{}.....	99
1.12 MoveToPos {}	100
1.13 WindDirection {}	101
Παράρτημα 2°: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εξαρτημάτων Γεννήτριας.....	102
2.1 Κινητήρας Περιστροφής Ατράκτου.....	102
2.2 Γεννήτρια DC 120V.....	104
2.3 Βηματικός κινητήρας.....	105
Παράρτημα 3°: Η Ανεμογεννήτρια	106
3.1 3D Φωτογραφίες από το Solidworks.....	106
3.2 Φωτογραφίες Τελικής Ανεμογεννήτριας	107
Βιβλιογραφικές Αναφορές	109

Κατάλογος Διαγραμμάτων

Σχ.1.1 Διάγραμμα Παροχής Ενέργειας από Αιολική Ενέργεια.....	5
Σχ. 2.1 Κατανομή εφαρμογής του Solidworks ανά βιομηχανία.....	7
Σχ. 2.2 Η βίδα, το πρώτο σχέδιο στο Solidworks	8
Σχ. 2.3 Διάφορες προσπάθειες σχεδίασης πτερυγίων μέχρι το τελικό αποτέλεσμα.....	9
Σχ. 2.4 Αριστερά οι διάφορες αεροτομές του πτερυγίου, δεξιά το μοντέλο ανεμογεννήτριας	9
Σχ. 2.5 Αριστερά τα μεγέθη της βίδας, δεξιά το βασικό σχέδιο της βίδας.....	11
Σχ. 2.6 Αριστερά το σχέδιο με το εξάγωνο, δεξιά η τρύπα που θα δημιουργηθεί με το extruded cut	11
Σχ. 2.7 Αριστερά το σχέδιο για τις γωνίες της τρύπας, δεξιά οι γωνίες της τρύπας μετά το Extruded Cut	12
Σχ. 2.8 Το σχέδιο για τα σπειρώματα με βάση τα χαρακτηριστικά της βίδας.....	12
Σχ. 2.9 Το σχέδιο με το τρίγωνο για την γωνία των σπειρωμάτων	13
Σχ. 2.10 Το βασικό σχέδιο σπειρωμάτων με την επιλογή του swept cut	13
Σχ. 2.11 Το τελικό Σχέδιο της βίδας σε χρώμα μαύρο	13
Σχ. 3.1 Αριστερά άξονας, κιβώτιο ταχυτήτων & γεννήτρια, δεξιά οι δυνάμεις LIFT & DRAG	14
Σχ. 3.2 Καλούπι πτερυγίων τύπου HAWT.....	15
Σχ. 3.3 Αναλογία θορύβου σε σχέση με αύξηση ταχύτητας άκρων.	16
Σχ. 3.4 Διάφορες εφαρμογές των Smart Blades.....	18
Σχ. 3.5 Δομικά μέρη Πτερυγίου	19
Σχ. 3.6 Απεικόνιση των διάφορων αεροτομών σε ένα πτερύγιο	19
Σχ. 3.7 Επεξήγηση ψηφίων NACA	21
Σχ. 3.8 Αεροδυναμικές δυνάμεις που δημιουργούνται στα Πτερύγια.....	22
Σχ. 3.9 Αρχή πτερυγίου με εξόγκωμα για τα ρουλεμάν	23
Σχ. 3.10 Πτερύγιο σχεδιασμένο στο SolidWorks με τα μεγέθη του σε εκατοστά	24
Σχ. 3.11 Πτερύγιο με τις 17 διαφορετικές αεροτομές.	24
Σχ. 3.12 Αεροτομές που χρησιμοποιήθηκαν στη μέση απόσταση και μύτη	25
Σχ. 3.13 Αριστερά το σχέδιο εκτύπωσης κομματιού, Δεξιά ο 3D εκτυπωτής	29
Σχ. 3.14 Αριστερά μέθοδος συγκόλλησης τριβής, Δεξιά η συγκόλληση των κομματιών.....	30
Σχ. 3.15 3D Εκτυπωτής εκτυπώνει κομμάτια από το πτερύγιο.....	31
Σχ. 3.16 Αριστερά τα πτερύγια ολοκληρωμένα, δεξιά η βοηθητική ντίζα.....	32
Σχ. 4.1 Αριστερά οι τύποι Πλήμνης, δεξιά το εσωτερικό της Πλήμνης.....	34
Σχ. 4.2 Από αριστερά προς δεξιά. Σύνδεση με ατσάλινη φλάντζα, Σύνδεση Cross-Bolt, Σύνδεση με ελαφριές φλάντζες ή θήκες, Σύνδεση με βαρέων τύπου βίδες	35
Σχ. 4.3 Εσωτερικά υλικά μιας πλήμνης	36
Σχ. 4.4 Από Αριστερά προς τα δεξιά, το ρουλεμάν του πτερυγίου, το μοτέρ περιστροφής, υδραυλικός ενεργοποιητής	37
Σχ. 4.5 Τροφοδοτικό και σύστημα εκτάκτου ελέγχου γωνίας κλίσης.....	38
Σχ. 4.6 Σχέδιο Πλήμνης και Ατράκτου του μοντέλου V112 της εταιρίας VESTAS	40
Σχ. 4.7 Εξαρτήματα που περιέχονται στο τελικό σχέδιο της Πλήμνης	41
Σχ. 4.8 Συναρμολογημένη Πλήμνη με όλα τα περιεχόμενα εξαρτήματα.	41
Σχ. 4.9 Αριστερά πρωτότυπο πλήμνης με κεντρικό μοτέρ, Δεξιά γρανάζια διαφορικού.....	42

Σχ. 4.10 Αριστερά πρωτότυπο πλήμνης με βηματικά μοτέρ για κάθε πτερύγιο,	43
Σχ. 4.11 Βηματικό μοτέρ με γραμμικό ενεργοποιητή	43
Σχ. 4.12 Αριστερά οι μακριές βίδες στην πλήμνη, δεξιά η εκτύπωση της πλήμνης	44
Σχ. 4.13 Το εξωτερικό και εσωτερικό ρουλεμάν της πλήμνης	44
Σχ. 5.1 Το εσωτερικό της ατράκτου.....	46
Σχ. 5.2 Ηλεκτρικά Μοτέρ Περιστροφής με το κιβώτιο γραναζιών	47
Σχ. 5.3 Το ρουλεμάν της ατράκτου, αξονικό ρουλεμάν, ηλεκτρικό μοτέρ περιστροφής και υδραυλικό μοτέρ περιστροφής	48
Σχ. 5.4 Φρένο της ατράκτου.....	49
Σχ. 5.5 Φρένα της ατράκτου	51
Σχ. 5.6 Αριστερά Παθητικό Σύστημα περιστροφής ατράκτου, δεξιά το σύστημα περιστροφής της ανεμογεννήτριας.....	51
Σχ. 5.7 Πλανητικό Κιβώτιο ταχυτήτων της ατράκτου	53
Σχ. 5.8 Στοιχεία ελέγχου πτερυγίων ελικοπτέρου	54
Σχ. 5.9 Στοιχεία ελέγχου πτερυγίων της ανεμογεννήτριας	54
Σχ. 5.10 Σχέδιο της ατράκτου στο Solid Works.....	55
Σχ. 5.11 Το εσωτερικό της υπό κατασκευής ατράκτου.....	56
Σχ. 5.12 Σχέδιο της βάσης Ατράκτου στο Solid Works.....	57
Σχ. 5.13 Η κατασκευή της βάσης από λαμαρίνα.....	58
Σχ. 5.14 Αριστερά το σχέδιο της βάσης της γεννήτριας, δεξιά η συναρμολογημένη γεννήτρια με κιβώτιο ταχυτήτων.	58
Σχ. 5.15 Συναρμολογημένη γεννήτρια με κιβώτιο ταχυτήτων στη βάση.....	59
Σχ. 5.16 Εσωτερικά Εξαρτήματα Γεννήτριας	60
Σχ. 5.17 Το βηματικό μοτέρ με τον ενεργοποιητή στο πρόγραμμα Solid Works	61
Σχ. 5.18 Το βηματικό μοτέρ με τον ενεργοποιητή	61
Σχ. 6.1 Ανεμογεννήτριες με πύργο πλέγματος.....	63
Σχ. 6.2 Ανεμογεννήτριες με πύργο από τσιμέντο	64
Σχ. 6.3 Αριστερά ανεμογεννήτρια με πύργο από χάλυβα, δεξιά ανεμογεννήτρια με υβριδικό πύργο	64
Σχ. 6.4 Χερσαία Αιολικά Πάρκα.....	66
Σχ. 6.5 Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα	66
Σχ. 6.6 Από αριστερά προς τα δεξιά, θεμέλια βαρύτητας, θεμέλια τρίποδα και θεμέλια Jacket	67
Σχ. 6.7 Η κατασκευή και διαμόρφωση του πύργου στον τόρνο.....	68
Σχ. 6.8 Ο πύργος με τη βάση στο Solid Works.....	69
Σχ. 7.1 Μπλοκ Διάγραμμα Ηλεκτρονικών Κυκλωμάτων	71
Σχ. 7.2 Πίνακας Λειτουργίας Ανεμογεννήτριας.....	72
Σχ. 7.3 Αισθητήρες Ανέμου στο πίσω μέρος της ατράκτου.....	73
Σχ. 7.4 Διάγραμμα ροής του Κώδικα	74
Σχ. 7.5 Αριστερά το Arduino mega pro, δεξιά ο ελεγκτής του βηματικού μοτέρ	75
Σχ. 7.6 Λειτουργικό διάγραμμα της ανεμογεννήτριας	76
Σχ. 7.7 Το Ηλεκτρονικό Σχηματικό	77
Σχ. 7.8 Προστινέ όψη του πίνακα ελέγχου	78
Σχ. 7.9 Πίνακας ελέγχου με το καπάκι.....	78
Σχ. 7.10 Σχεδιάγραμμα της Πλακέτας	80
Σχ. 7.11 3D σχήμα της πλακέτας στο πρόγραμμα Proteus	80
Σχ. 7.12 τελικό αποτέλεσμα της πλακέτας.....	81

Σχ. 7.13 Συναρμοσμένη πλακέτα στο εσωτερικό του πίνακα ελέγχου.....	81
Σχ. 7.14 Οι παλμοί του Button.....	83
Σχ. 7.15 Τα ρελέ ελέγχου περιστροφής.....	84
Εικ.1. 1 Κινητήρας Περιστροφής Ατράκτου.....	102
Εικ.1. 2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κινητήρα Περιστροφής Ατράκτου	103
Εικ.1. 3 Γεννήτρια DC 120V	104
Εικ.1. 4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Βηματικού Κινητήρα.....	105

Κεφάλαιο 1^ο : Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές

1.1 Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι μια καθαρή και σχετικά ασφαλής προς το περιβάλλον μορφή ενέργειας, παρ' όλα αυτά, η παραγωγή και η μεταφορά της έχουν επιπτώσεις σε αυτό. Σχεδόν όλοι οι τύποι ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών έχουν επίδραση στο περιβάλλον, κάποιοι από αυτούς έχουν περισσότερη και άλλοι λιγότερη.

Όλες οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν φυσικό αποτύπωμα. Ορισμένες βρίσκονται στο εσωτερικό, μέσα, ή δίπλα σε ένα κτίριο, οπότε το αποτύπωμα είναι αρκετά μικρό.

Οι περισσότερες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας λόγω μεγέθους απαιτούν μεγάλη έκταση γης για την κατασκευή τους αλλά και δρόμους πρόσβασης, σιδηροδρομικές γραμμές και αγωγούς για την παροχή καυσίμων, γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και παροχή νερού ψύξης. Επιπλέον οι μονάδες παραγωγής ενέργειας που καίνε στερεά καύσιμα χρειάζονται εγκαταστάσεις αποθήκευσης των αποβλήτων καύσης. Για την εξασφάλιση του απαιτούμενου χώρου και των εγκαταστάσεων πρέπει να γίνει εκκαθάριση της γης, πράγμα το οποίο έχει μεγάλο αντίκτυπο στο περιβάλλον.

Ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί που χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα εκπέμπουν επιβλαβείς ουσίες προς το περιβάλλον και όλους τους ζωντανούς οργανισμούς στη γη. Εκτός από τα γνωστά αέρια που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα, δηλαδή το διοξείδιο CO_2 και μονοξείδιο CO του άνθρακα, εκπέμπονται και διοξείδιο του θείου SO_2 , οξείδια του αζώτου NO , αιωρούμενα σωματίδια και βαρέα μέταλλα όπως ο υδράργυρος. Άλλα μειονεκτήματα της χρήσης ορυκτών καυσίμων είναι ότι δεν αποτελούν πράσινη πηγή ενέργειας, είναι μη ανανεώσιμα, τυχόν ατυχήματα μπορεί να είναι καταστροφικά και τέλος χρειάζονται τεράστια ποσότητα αποθεμάτων.

Η ηλεκτρική ενέργεια έχει καταστεί απαραίτητη σε όλον τον κόσμο, καθώς προσφέρει πολλά οφέλη, ανέσεις και λειτουργίες που κάνουν την καθημερινότητα πιο εύκολη, εξοικονομώντας πολύτιμο χρόνο σε μια ραγδαία εξελισσόμενη κοινωνία. Όμως όλο και περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια απαιτείται για την ικανοποίηση των αναγκών μας που συνεχώς αυξάνονται. Η απουσία της είναι πλέον αδιανόητη και η έλλειψη της εγκυμονεί κίνδυνο αφανισμού του ανθρώπινου είδους, καθώς νοσοκομεία, η παροχή του νερού, πόλεις και χωριά εξαρτώνται από αυτή. Η ηλεκτρική ενέργεια ώθησε τους ανθρώπους να γίνουν δημιουργικοί, σχεδιάζοντας και βρίσκοντας διάφορους τρόπους να την παράγουν και να την εκμεταλλευτούν.

Καθώς, όμως, ο καιρός περνούσε, έγινε αντιληπτό ότι οι επιπτώσεις των ηλεκτροπαραγωγικών σταθμών στο περιβάλλον και στους ανθρώπους είναι τεράστιες. Η υπερθέρμανση του πλανήτη λόγω του φαινομένου του θερμοκηπίου αποτελεί τεράστια απειλή για την επιβίωση του πλανήτη μας και οφείλεται κυρίως στη χρήση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή της ενέργειας. Τα καυσαέρια που εκπέμπονται από τους ηλεκτροπαραγωγικούς σταθμούς δημιουργούν ένα είδος ασπίδας στην ατμόσφαιρα, έτσι όταν οι ηλιακές

ακτινοβολίες εισέρχονται στην ατμόσφαιρα της γης, ένα μέρος τους απορροφάται από αυτή, ενώ το υπόλοιπο που πρέπει να διαφύγει στο διάστημα εμποδίζεται και έτσι συγκρατείται στη γη μεγαλύτερο ποσοστό θερμότητας από τις ηλιακές ακτινοβολίες. Ως αποτέλεσμα, ενώ το φαινόμενο του θερμοκηπίου είναι ένα φυσικό φαινόμενο που καθιστά τη γη κατοικήσιμη, ενισχύεται από τους ανθρώπους και προκαλεί την υπερθέρμανση του πλανήτη. Αυτό οδήγησε στην αναζήτηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας που να μην εκπέμπουν αέρια επιβλαβή προς το περιβάλλον και τους ανθρώπους.

Υπάρχουν πλέον πολλοί τρόποι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που θα μειώσουν και θα υποκαταστήσουν τη χρήση ορυκτών καυσίμων, και αυτές είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Όλες οι πηγές ενέργειας έχουν κάποια επίδραση στο περιβάλλον. Τα ορυκτά καύσιμα όπως κάρβουνο, πετρέλαιο και φυσικό αέριο έχουν μεγαλύτερες επιδράσεις απ' ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στη ρύπανση του αέρα και των υδάτων, στη δημόσια υγεία, στην άγρια ζωή και στην απώλεια οικοτόπων, στη χρήση των υδάτων και της γης αλλά και στη θέρμανση του πλανήτη λόγω των εκπομπών αερίων. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μορφές ενέργειας που προκύπτουν από την εκμετάλλευση φυσικών φαινομένων, όπως ο άνεμος όπου προκύπτει η αιολική ενέργεια, ο ήλιος με τον οποίο προκύπτει ηλιακή, η γεωθερμική ενέργεια, η βιομάζα και η κυκλοφορία του νερού με την οποία έχουμε τη υδροηλεκτρική ενέργεια. Πολλά είναι τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά δεν τα αποκλείει να έχουν και τα μειονεκτήματά τους.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι φιλικές προς το περιβάλλον με σχεδόν μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα, υπάρχουν σε άφθονη ποσότητα σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα, μπορούν να βοηθήσουν στην ενεργειακή ανεξαρτησία των μικρών χωρών από τις χώρες με συγκριτικό πλεονέκτημα, είναι ευέλικτες και μπορούν να προσαρμοστούν να παράγουν ενέργεια ανάλογα με τις ανάγκες της περιοχής στην οποία βρίσκονται, η κατασκευή και η συντήρησή τους είναι απλή και έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και τέλος επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

Σε αντίθεση, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχουν μικρό συντελεστή απόδοσης, γι' αυτό και μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας. Επιπλέον είναι αδύνατο να παρέχουν την απαιτούμενη για τις ανάγκες ενέργεια σε μεγάλες αστικές πόλεις. Η παροχή και η απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και της ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από παράγοντες όπως την εποχή, το γεωγραφικό πλάτος αλλά και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.

Η αξιοποίηση της ισχύος του ανέμου είναι μια από τους πιο καθαρούς και βιώσιμους τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς δεν ρυπαίνει ή εκπέμπει επιβλαβή αέρια που οδηγούν στη υπερθέρμανση του πλανήτη. Ο άνεμος είναι επίσης άφθονος, ανεξάντλητος και προσιτός, γεγονός που το καθιστά μια βιώσιμη και ευρείας κλίμακας εναλλακτική λύση. Ένα από τα θέματα που προκύπτουν σχετικά με τις ανεμογεννήτριες είναι ότι είναι άκομψες από αισθητική άποψη, θορυβώδης και προκαλούν θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας και της μελέτης τους, η επιλογή των χώρων εγκαταστάσεων γίνεται πιο αυστηρή ώστε τα προβλήματα που προκύπτουν να λυθούν.

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές

Όπως η αιολική ενέργεια, έτσι και ο ήλιος αποτελεί μια τεράστια πηγή παραγωγής καθαρής και βιώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ηλιακή ενέργεια είναι ανεξάντλητη χωρίς περιορισμούς χώρου και χρόνου εκμετάλλευσης. Υπάρχουν τρία είδη συστήματα αξιοποίησης της ηλιακής ενέργειας. Τα θερμικά ηλιακά συστήματα όπως οι ηλιακοί θερμοσίφωνες, απορροφούν την ηλιακή ενέργεια και μεταφέρουν θερμότητα με την οποία θερμαίνουν το νερό. Η απορρόφηση της ηλιακής ενέργειας γίνεται με ηλιακούς συλλέκτες, οι οποίοι είναι σκουρόχρωμες επιφάνειες προσανατολισμένες στον ήλιο. Το νερό που ζεσταίνεται προορίζεται για οικιακή ή βιομηχανική χρήση και τελευταία ακόμη και για θέρμανση και ψύξη χώρων υπό κατάλληλες διατάξεις. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια για τον φωτισμό και τη ρύθμιση της θερμοκρασίας κτιρίων, μέσω κατάλληλων σχεδιασμένων και συνδεδεμένων δομικών στοιχείων που είναι ο Βιοκλιματικός Σχεδιασμός Κτιρίων. Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ηλεκτρική ενέργεια και χρησιμοποιούνται για την ηλεκτροδότηση μη συνδεδεμένων με το ηλεκτρικό δίκτυο εγκαταστάσεων, όπως δορυφόροι, φάροι και απομονωμένα σπίτια. Επίσης ένα πλεονέκτημά τους είναι ότι αποδίδουν τη μέγιστη ισχύ τους κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου και υπάρχει η μεγαλύτερη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο πιο αναπτυγμένος τύπος γεωθερμικής μονάδας παραγωγής ενέργειας, γνωστός ως υδροθερμικό εργοστάσιο, βρίσκεται κοντά σε γεωλογικά «καυτά γεωθερμικά σημεία» όπου η θερμή τετηγμένη πέτρα είναι κοντά στο φλοιό της γης και παράγει ζεστό νερό. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές, είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Σε άλλες περιοχές, τα ενισχυμένα γεωθερμικά συστήματα ή τα θερμά ξηρά γεωθερμικά πετρώματα, τα οποία περιλαμβάνουν γεώτρηση στην επιφάνεια της γης για την επίτευξη βαθύτερων γεωθερμικών πόρων, μπορούν να επιτρέψουν ευρύτερη πρόσβαση στη γεωθερμική ενέργεια. Οι γεωθερμικές εγκαταστάσεις διαφέρουν ως προς την τεχνολογία μετατροπής της γεωθερμίας σε ηλεκτρική ενέργεια και την τεχνολογία ψύξης που χρησιμοποιούν η οποία είναι είτε με νερό είτε με αέρα. Επιπλέον οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι ανάλογες των τεχνολογιών μετατροπής και ψύξης καθώς, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της περιεκτικότητας σε διάφορα χημικά συστατικά, το γεωθερμικό ρευστό πρέπει να υποστεί κάποια επεξεργασία και να μειωθεί η θερμοκρασία του.

Οι μονάδες παραγωγής ενέργειας από βιομάζα έχουν κάποιες ομοιότητες με τις μονάδες παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα. Και στις δύο διαδικασίες περιλαμβάνεται η καύση της πρώτης ύλης για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, εγείροντας παρόμοιες, αλλά όχι ταυτόσημες, ανησυχίες σχετικά με την ρύπανση του περιβάλλοντος. Ωστόσο, η πρώτη ύλη των μονάδων βιομάζας μπορεί να γίνει βιώσιμη, ενώ τα ορυκτά καύσιμα είναι μη ανανεώσιμα. Οι πηγές βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ποικίλουν. Βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς, όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, τα γεωργικά και κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για την παραγωγή ενέργειας. Η καύση της βιομάζας έχει μηδενικό αντίκτυπο στην αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη καθώς η εκπομπή διοξειδίου του άνθρακα δεσμεύεται πάλι από τα φυτά για τη δημιουργία της βιομάζας. Τόσο ο τύπος της πρώτης ύλης όσο και ο τρόπος με τον οποίο αναπτύσσεται και συγκομίζεται, έχει κάποια μειονεκτήματα, όπως το αυξημένο κόστος αξιοποίησης και το κόστος του εξοπλισμού που απαιτείται αλλά και η υγρασία που περιέχουν δυσκολεύουν την ενεργειακή τους αξιοποίηση.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια περιλαμβάνει μαζικά υδροηλεκτρικά φράγματα. Τα μεγάλα υδροηλεκτρικά φράγματα συνεχίζουν να κατασκευάζονται σε πολλά μέρη του κόσμου. Στο μέλλον η υδροηλεκτρική ενέργεια θα αυξήσει πιθανώς τη χωρητικότητά της στα σημερινά φράγματα. Τα υδροηλεκτρικά έργα ταξινομούνται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας και διαφέρουν σημαντικά σε ότι αφορά τις επιπτώσεις τους

Κεφάλαιο 1^ο

στο περιβάλλον. Οι μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με αποτέλεσμα να περιορίζει τη μετακίνηση των ψαριών, της άγριας ζωής και να επηρεάζει ολόκληρο το οικοσύστημα καθώς μεταβάλλει ριζικά τη μορφολογία της περιοχής. Αντίθετα, τα μικρής κλίμακας υδροηλεκτρικά εγκαθίστανται δίπλα σε ποτάμια ή κανάλια και η λειτουργία τους έχει πολύ μικρότερη περιβαλλοντική επιρροή. Παρ' όλα αυτά, αποτελεί μια καθαρή και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και υπάρχει η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, περιοχών αναψυχής και αθλητισμού.

Η υδροκινητική ενέργεια, η οποία περιλαμβάνει την ενέργεια των κυμάτων και της παλίρροιας, περιλαμβάνει μια σειρά ενεργειακών τεχνολογιών, πολλές από τις οποίες βρίσκονται ακόμη στα πειραματικά στάδια ή στα αρχικά στάδια ανάπτυξης. Ενώ δεν έχουν παρατηρηθεί πραγματικές επιπτώσεις, μπορεί να προβλεφθεί μια σειρά πιθανών επιπτώσεων.

1.3 Αιολική Ενέργεια

Αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου μέσω των ανεμογεννητριών. Ονομάζεται αιολική γιατί στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου. Αποτελεί μια εναλλακτική λύση στην καύση ορυκτών καυσίμων και είναι άφθονη, ανανεώσιμη, ευρέως καταναυμένη, καθαρή, δεν παράγει εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά τη λειτουργία της, δεν καταναλώνει νερό και χρησιμοποιεί μικρές εκτάσεις.

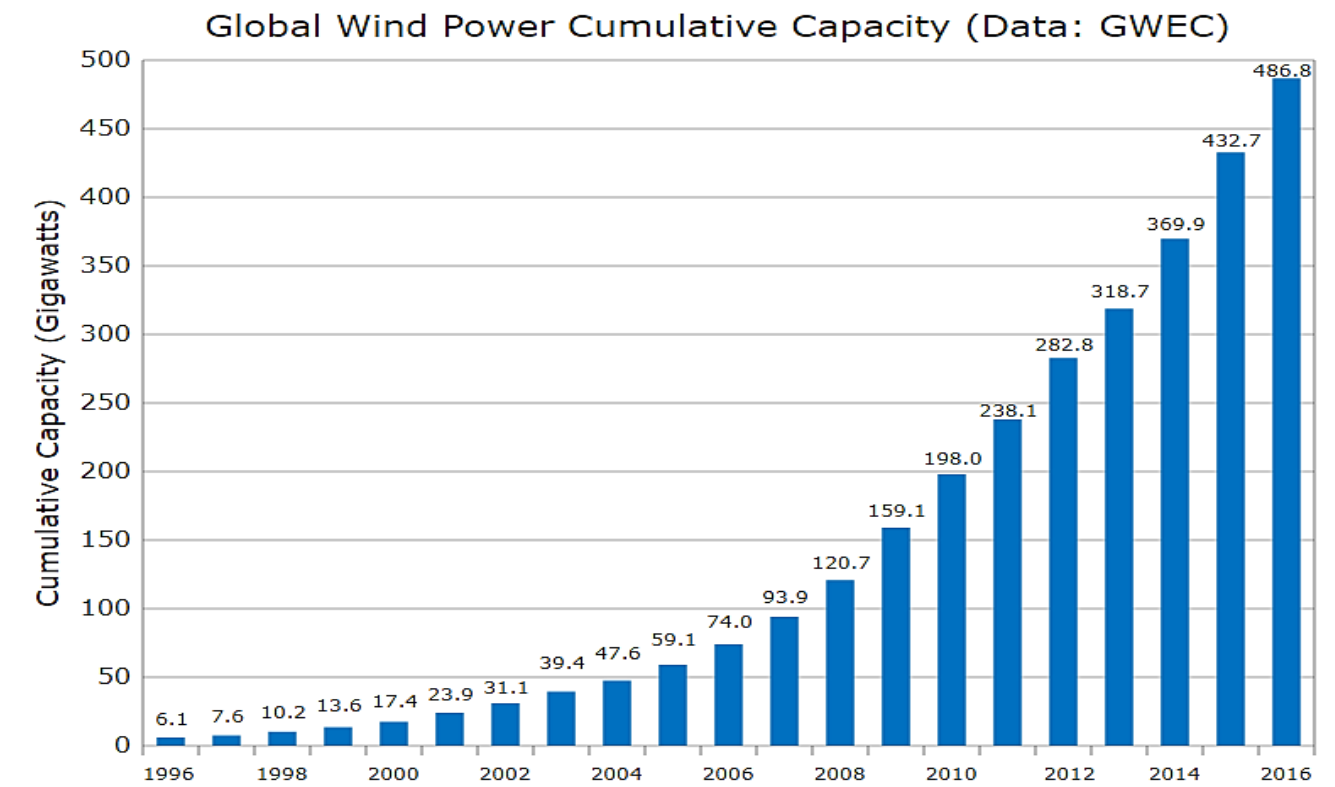
Με τη χρήση ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα με 2 ή 3 πτερύγια, μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Αυτό επιτυγχάνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ενέργεια περιστρέφοντας τα πτερύγια και στο δεύτερο στάδιο, με μια γεννήτρια μετατρέπεται η μηχανική σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η αιολική ενέργεια παρέχει μεταβλητή ισχύ, η οποία είναι συνεπής από έτος σε έτος, αλλά παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις σε βραχύτερες χρονικές κλίμακες. Συνεπώς χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας για την παροχή αξιόπιστης τροφοδοσίας. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγουν οι ανεμογεννήτριες είτε καταναλώνεται απευθείας, είτε διοχετεύεται για να καταναλωθεί αλλού. Όταν η παραγωγή είναι μεγαλύτερη από την κατανάλωση, αποθηκεύεται για να χρησιμοποιηθεί αργότερα.

Η εκμετάλλευση του υψηλού αιολικού δυναμικού σε περιοχές και η ανάπτυξη των τεχνολογιών των σύγχρονων ανεμογεννητριών, έχει μεγάλη σημασία για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την εξοικονόμηση πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Κάθε χρόνο η ισχύς που παράγεται από τα αιολικά πάρκα αυξάνεται σημαντικά.

Το 2017, η παγκόσμια δυναμικότητα αιολικής ενέργειας επεκτάθηκε κατά 10% στα 539 GW. Η ετήσια παραγωγή αιολικής ενέργειας αυξήθηκε κατά 17% φτάνοντας στο 4,4% της παγκόσμιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας και παρέχοντας το 11,6% της ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η Δανία είναι η χώρα με τη μεγαλύτερη διείσδυση της αιολικής ενέργειας, με το 43,4% της κατανάλωσής της από τον άνεμο το 2017. Τουλάχιστον 83 άλλες χώρες σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιούν αιολική ενέργεια για να τροφοδοτούν τα ηλεκτρικά τους δίκτυα.



Σχ.1.1 Διάγραμμα Παροχής Ενέργειας από Αιολική Ενέργεια

Κεφάλαιο 2^ο : Πρόγραμμα DS SolidWorks

2.1 Εισαγωγή

Το SolidWorks είναι γνωστό και ως DS SolidWorks (Dassault Systems). Η εταιρία SolidWorks δημιουργήθηκε το Δεκεμβρίου του 1993 από έναν απόφοιτο της σχολής Massachusetts Institute of Technology (MIT) και κυκλοφόρησε το πρώτο προϊόν το 1995.

Είναι ένα σχεδιαστικό πρόγραμμα που μας παρέχει τη δυνατότητα σχεδίασης και υλοποίησης ενός εξαρτήματος-αντικειμένου με μεγάλη ακρίβεια και σαφήνεια. Η σχεδίαση του αντικειμένου γίνεται σε 2D ή σε 3D κι έτσι ο χρήστης μπορεί να έχει μια εικόνα του σχεδίου που θέλει να δημιουργήσει. Χαρακτηριστικό του SolidWorks είναι η εύκολη και γρήγορη σχεδίαση και ότι προσφέρει πολλές λειτουργίες προς τους χρήστες. Σκοπός ήταν να δημιουργηθεί ένα πρόγραμμα σχεδίασης, το οποίο να λειτουργεί στα Microsoft Windows, να είναι εύκολο στη λειτουργία του αλλά και φθινό.

Μερικά από τα πλεονεκτήματά του είναι:

Ταυτόχρονη μηχανική - Η μηχανική και η κατασκευαστική διαδικασία ενεργοποιούνται ταυτόχρονα από τα κοινά δεδομένα του Solidworks.

Υψηλότερη ποιότητα - Λόγω της αυξημένης αποτελεσματικότητας που προκύπτει από την ικανότητα εξερεύνησης μεγαλύτερου αριθμού επαναλήψεων σχεδιασμού κατά την ανάπτυξη του προϊόντος.

Χαμηλότερο κόστος μονάδας - Λόγω μειωμένων εξόδων ανάπτυξης και πρωτοτύπων.

Τα πρωτότυπα Rapid (RP) - Τα μοντέλα Solidworks μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή πρωτοτύπων από τη Στερεολιθογραφία και άλλες τεχνολογίες RP.

Ανάπτυξη προσωπικού - Η τεχνολογία Solidworks αποτελεί ένα δύσκολο περιβάλλον για τους εργαζόμενους.

Προώθηση του προσωπικού - Διατίθενται διάφορες θέσεις σχετικά με τη διαχείριση και την επίβλεψη των Solidworks για την προώθηση της σταδιοδρομίας των εργαζομένων.

Προσδιορισμός και εξάλειψη των αναποτελεσματικών - Η Solidworks αναπτύσσει ευκαιρίες για την εξάλειψη των εγγενών ανεπαρκειών στις υπάρχουσες ροές εργασίας ή / και πρακτικές.

Αυξημένη χωρητικότητα εργασίας - Η αποδοτική χρήση του Solidworks επιτρέπει την παραγωγή περισσότερων εργασιών, διατηρώντας ταυτόχρονα το τρέχον επίπεδο προσωπικού.

Μεγαλύτερη ανάδραση και έλεγχος των λειτουργιών παραγωγής - Το Solidworks επιτρέπει τη δημιουργία, ενημέρωση και επαλήθευση των διαδρομών εργαλείων NC με αυτόματη παρέμβαση.

Βελτιωμένες συνολικές επικοινωνίες - Τα εργαλεία Solidworks επιτρέπουν τη μετάβαση από το παραδοσιακό σχεδιασμό και το σύστημα παραγωγής σε χαρτί με ηλεκτρονικό χαρτί.

Αυξημένη ακρίβεια δεδομένων MRP - Τα αρχεία δεδομένων Solidworks μπορούν εύκολα να συνδεθούν και να διαχειριστούν από το λογισμικό MRP (Material Requirements Planning).

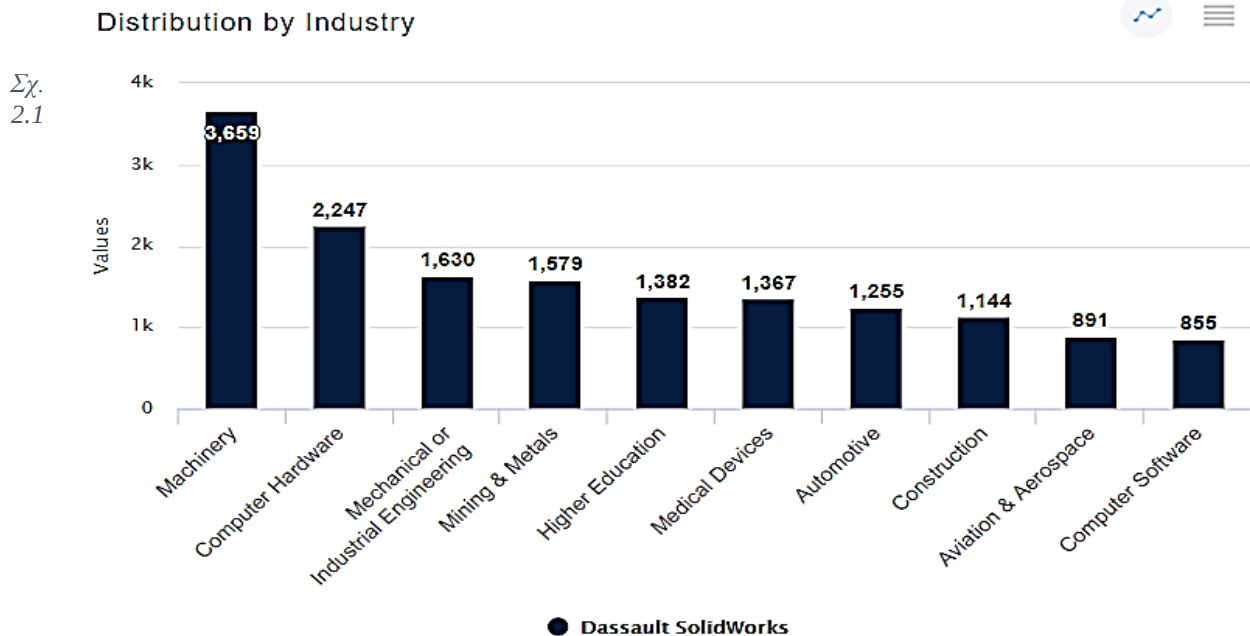
Αυξημένη ευελιξία σχεδίασης - το Solidworks προσφέρει ένα πιο ισχυρό σύνολο εργαλείων και μεθόδων για την τροποποίηση σχεδίων.

Αυξημένη ακεραιότητα δεδομένων σχεδιασμού - Με ένα ενιαίο μοντέλο Solidworks που υποστηρίζει όλες τις μεταγενέστερες διαδικασίες, οι αλλαγές αντικατοπτρίζονται γρήγορα και με ακρίβεια.

2.2 Εφαρμογές του Solidworks

Το SolidWorks προσφέρει πολλές και χρήσιμες λειτουργίες για διάφορους σκοπούς. Τα εργαλεία του Solidworks έχουν ευρύ φάσμα εφαρμογών σε βιομηχανίες όπως:

- Αεροδιαστημική
- Άμυνα
- Αυτοκινητοβιομηχανίες
- Μεταφορές
- Μηχανήματα
- Βαρύς εξοπλισμός
- Καταναλωτικά προϊόντα
- Καλούπια και εργαλεία σχεδιασμού
- Ηλεκτρονικά
- Φύλλα λαμαρίνας διάφορων μεγεθών
- Μονάδες επεξεργασίας σε εργοστάσια
- Ιατρικά εργαλεία
- Κατασκευές κτιρίων
- και σχεδιασμός προϊόντων και άλλες υπηρεσίες μηχανολογικών.



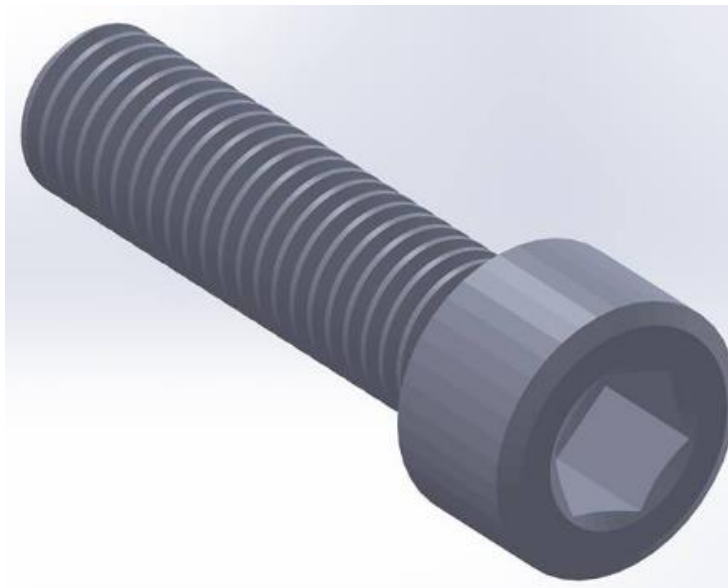
Κατανομή εφαρμογής του Solidworks ανά βιομηχανία.

2.3 Πως Λειτουργεί

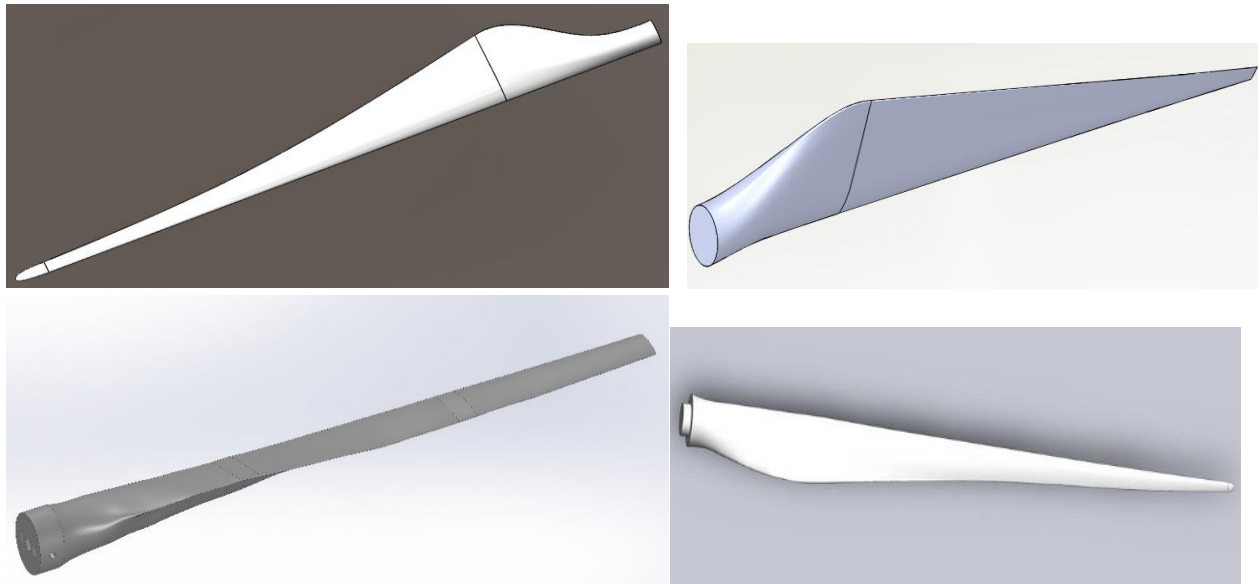
Η σχεδίαση ενός μοντέλου ξεκινάει συνήθως με ένα σκίτσο 2D. Πολύ βασική είναι γεωμετρία, καθώς το σκίτσο αποτελείται από σημεία, γραμμές, τόξα, κωνικά και σφήνες. Έπειτα επιλέγονται οι διαστάσεις του σκίτσου έτσι ώστε να προσδιοριστεί το μέγεθος και η θέση της γεωμετρίας και οι σχέσεις που καθορίζουν ιδιότητες, όπως η επαφή, ο παραλληλισμός, η καθετότητα και η ομοκεντρότητα. Οι διαστάσεις και οι σχέσεις αυτές είναι που καθορίζουν τη γεωμετρία και όχι το αντίστροφο. Οι διαστάσεις του σκίτσου μπορούν να ελεγχθούν ανεξάρτητα ή με σχέσεις, με άλλες παραμέτρους μέσα ή έξω από το σκίτσο. Επιπλέον διαθέτει προηγμένες λειτουργίες που επιτρέπουν σε μοντελοποιημένα συγκροτήματα γρναζιών να αναπαράγουν με ακρίβεια την περιστροφική κίνηση ενός πραγματικού μηχανισμού.

2.4 Η Διαδικασία Σχεδίασης των Πτερυγίων

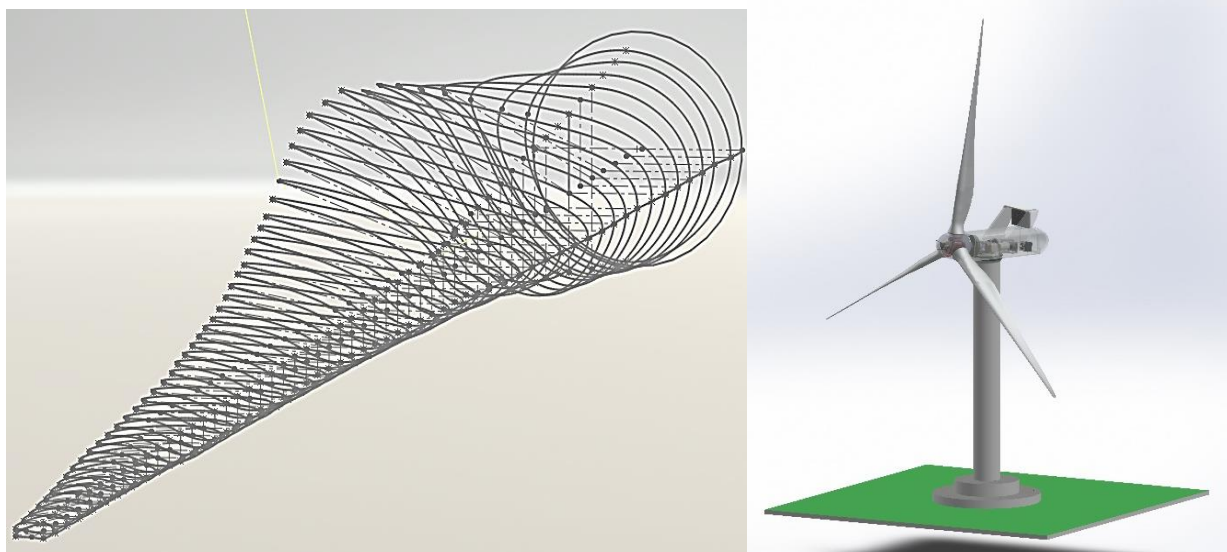
Αρχικά, για τη δημιουργία της ανεμογεννήτριας, χρειάστηκε να σχεδιαστεί πρόχειρα σε ένα χαρτί ένα σκίτσο με το πώς περίπου θα έπρεπε να είναι. Έπειτα έπρεπε να υπολογιστούν τα μεγέθη του κάθε κομματιού για να υπολογιστεί το συνολικό μέγεθος της ανεμογεννήτριας. Αφού σχεδιάστηκε στο χαρτί μια πρόχειρη ανεμογεννήτρια, έπρεπε να σχεδιαστεί και στο πρόγραμμα Solidworks, αφού πρώτα κατανοηθούν το περιβάλλον και οι λειτουργίες του σωστά. Για αρχή έγινε μία σχεδίαση μιας βίδας με το παξιμάδι της και έγινε η προσομοίωση ώστε να βιδώνει και να ξεβιδώνει, κι έτσι αφού κατανοήθηκε πως λειτουργεί το Solidworks άρχισε η σχεδίαση των πτερυγίων. Ήταν μια περίπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία καθώς, για να σχεδιαστεί ένα σωστό και αποτελεσματικό πτερύγιο και στο τέλος να σχεδιαστεί ένα πραγματικό και πλήρως λειτουργικό μοντέλο ανεμογεννήτριας, έπρεπε να γίνουν πολλές προσπάθειες σχεδίασης σχημάτων και αεροτομών. Έπειτα από πολλές προσπάθειες και λάθη σχεδίασης και υπολόγισης, σχεδιάστηκε το σωστό μοντέλο ανεμογεννήτριας με το μέγεθος και τις αεροτομές που απαιτούσε.



Σχ. 2.2 Η βίδα, το πρώτο σχέδιο στο Solidworks



Σχ. 2.3 Διάφορες προσπάθειες σχεδίασης πτερυγίων μέχρι το τελικό αποτέλεσμα



Σχ. 2.4 Αριστερά οι διάφορες αεροτομές του πτερυγίου, δεξιά το μοντέλο ανεμογεννήτριας

2.5 Τρόπος Σχεδίασης Βίδας στο Solid Works

Κατά την σχεδίαση της βίδας, τα βήματα που έγιναν ήταν εύκολα ώστε να κατανοηθούν οι βασικές λειτουργίες του Solid Works. Πρώτο βήμα είναι η σχεδίαση με απλές γραμμές της μισής βίδας και των διαστάσεών της. Αφού σχεδιαστεί αυτό, χρησιμοποιείται η λειτουργία Revolved Boss/Base και δημιουργείται το βασικό σχέδιο της βίδας.

Έπειτα πρέπει να δημιουργηθεί η τρυπά για το άλλεν. Για αυτό πρέπει να επιλεγθεί η μπροστινή όψη της βίδας και να σχεδιαστεί ένα εξάγωνο με τις διαστάσεις του άλλεν και μετά να χρησιμοποιηθεί η επιλογή Extruded Cut που θα δημιουργήσει την τρυπά σε σχήμα εξάγωνου.

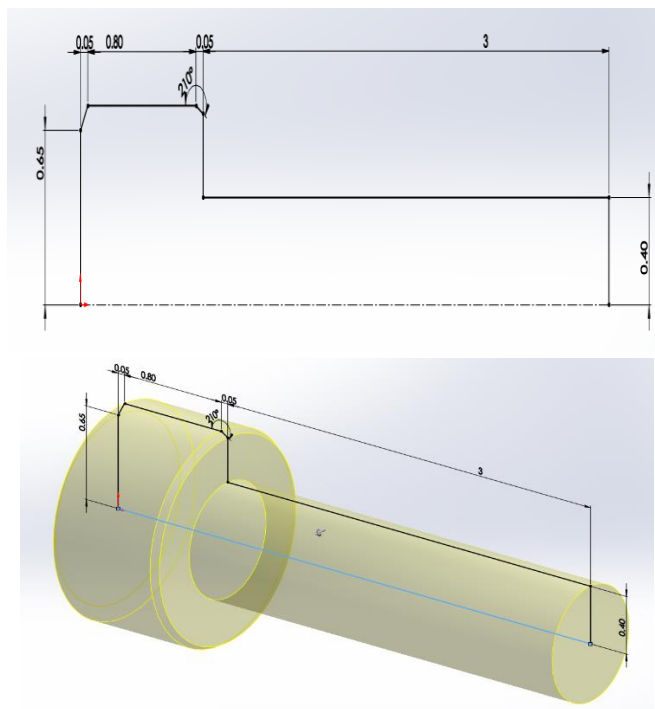
Επόμενο βήμα είναι να δημιουργηθούν οι γωνίες μέσα στην τρυπά που βοηθάνε στο να μπει εύκολα το κατσαβίδι. Αφού σχεδιαστούν οι γωνίες αυτές, δημιουργούνται με την επιλογή Extruded Cut και μετά δημιουργείται το βασικό σχέδιο για το σπειρώμα. Για να δημιουργηθεί αυτό, πρέπει να υπολογιστούν τα χαρακτηριστικά της βίδας που απαιτούνται για να σχεδιαστεί, όπως είναι τα σπειρώματα ανά εκατοστό. Γι' αυτήν την περίπτωση η απαιτούμενη βίδα είναι τύπου M8. Αφού βρεθούν αυτά τα χαρακτηριστικά επιλέγεται το Helix and Spiral με τα χαρακτηριστικά στον πίνακα στα αριστερά.

Στη συνέχεια, στην αρχή της βίδας σχεδιάζεται ένα τρίγωνο όπου η κορυφή θα ξεκινά στα σπειρώματα. Σε αυτό το τρίγωνο μπαίνει η γωνία για τα σπειρώματα, η οποία για τη συγκεκριμένη βίδα είναι 60 μοίρες.

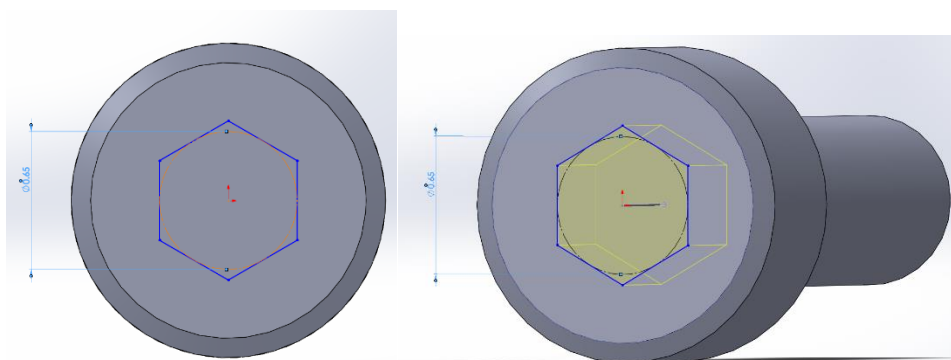
Αφού δημιουργηθεί το τρίγωνο με την σωστή γωνία. Επιλέγεται η κορυφή του τριγώνου και η αρχή της βίδας και με το Swept Cut δημιουργούνται τα αυλαία για τα σπειρώματα με βάση του τριγώνου.

Με αυτά τα βήματα έχει σχεδιαστεί μια βίδα τύπου M8 με μήκος 3 εκατοστά. Για να φαίνεται πιο όμορφη, επιλέγεται το χρώμα μαύρο, που είναι ένα συνηθισμένο χρώμα για αυτές τις βίδες.

Με όλα τα παραπάνω βήματα γίνεται το περιβάλλον και τα βασικά στοιχεία που περιλαμβάνει το πρόγραμμα Solid Works κατανοητό και εύκολο στη χρήση για τη δημιουργία οποιουδήποτε σχεδίου εξαρτήματος.

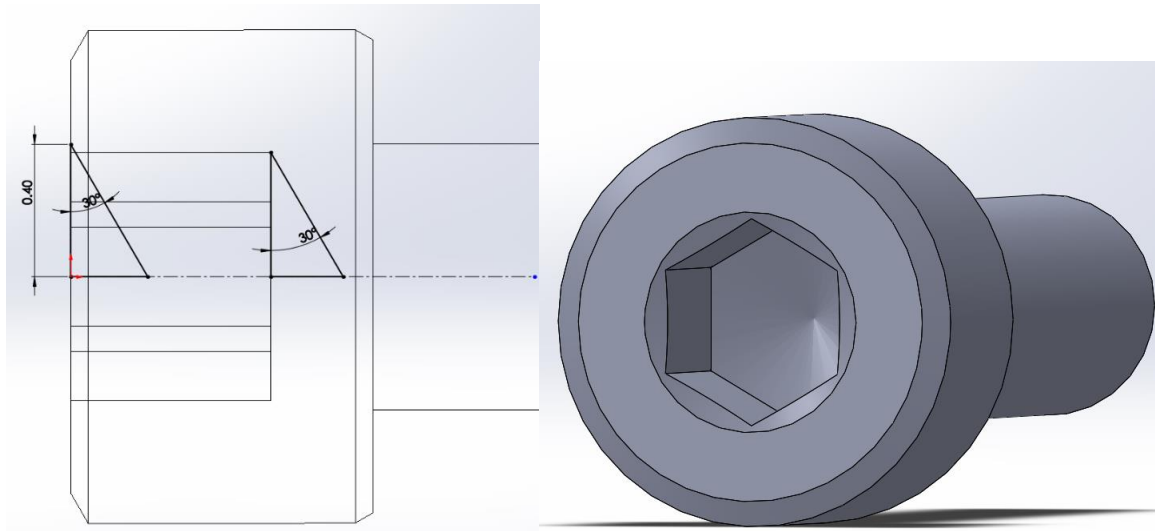


Σχ. 2.5 Αριστερά τα μεγέθη της βίδας, δεξιά το βασικό σχέδιο της βίδας

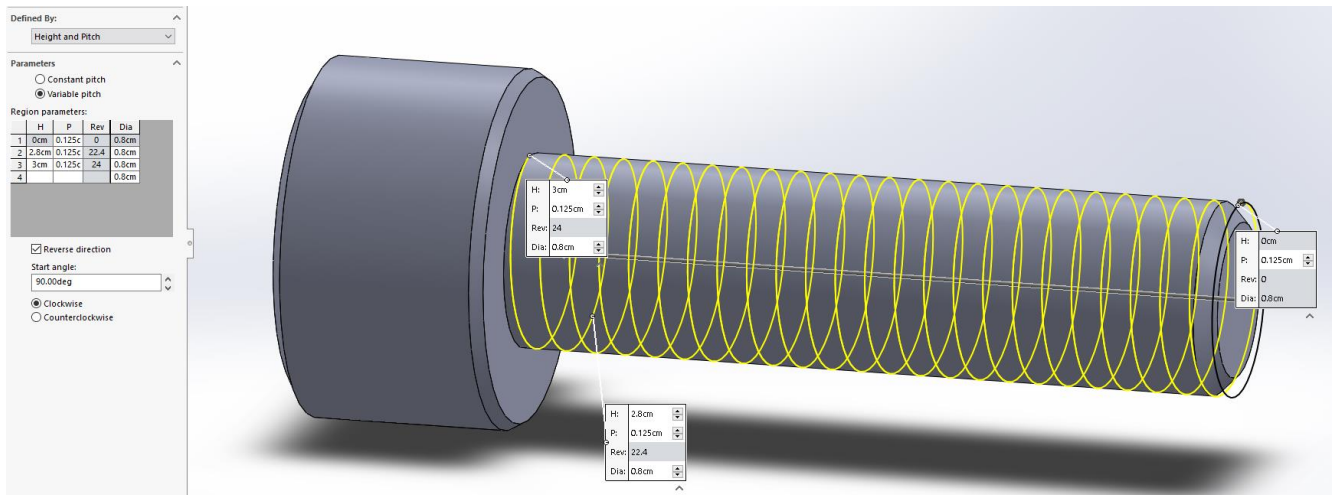


Σχ. 2.6 Αριστερά το σχέδιο με το εξάγωνο, δεξιά η τρύπα που θα δημιουργηθεί με το extruded cut

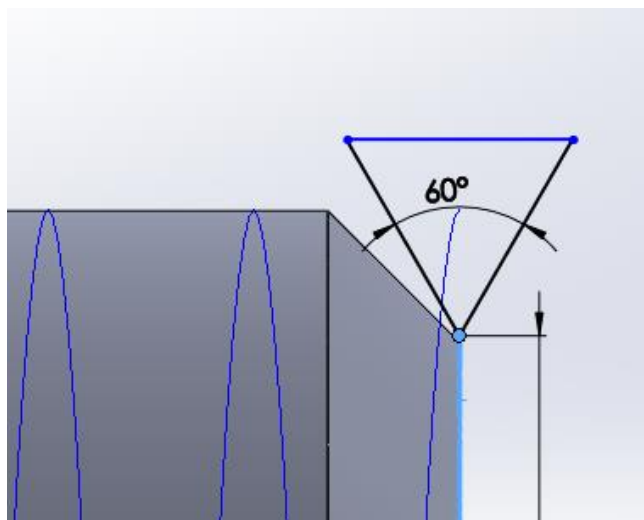
Κεφάλαιο 2^ο



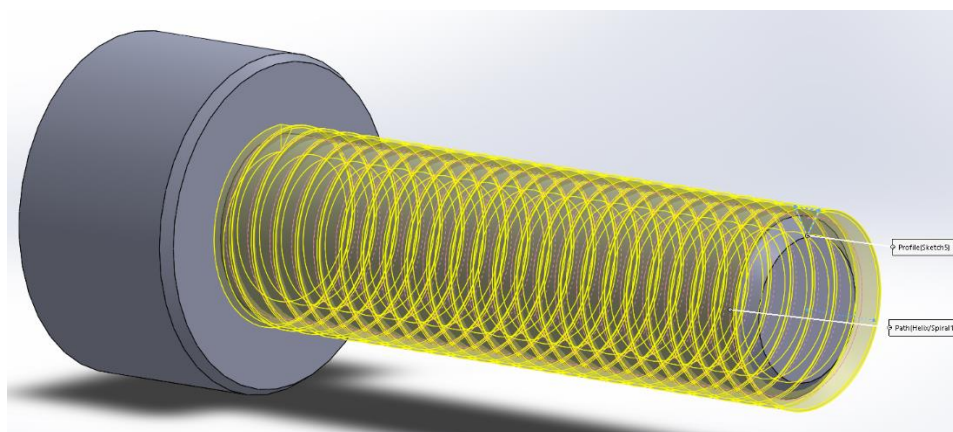
Σχ. 2.7 Αριστερά το σχέδιο για τις γωνίες της τρύπας, δεξιά οι γωνίες της τρύπας μετά το Extruded Cut



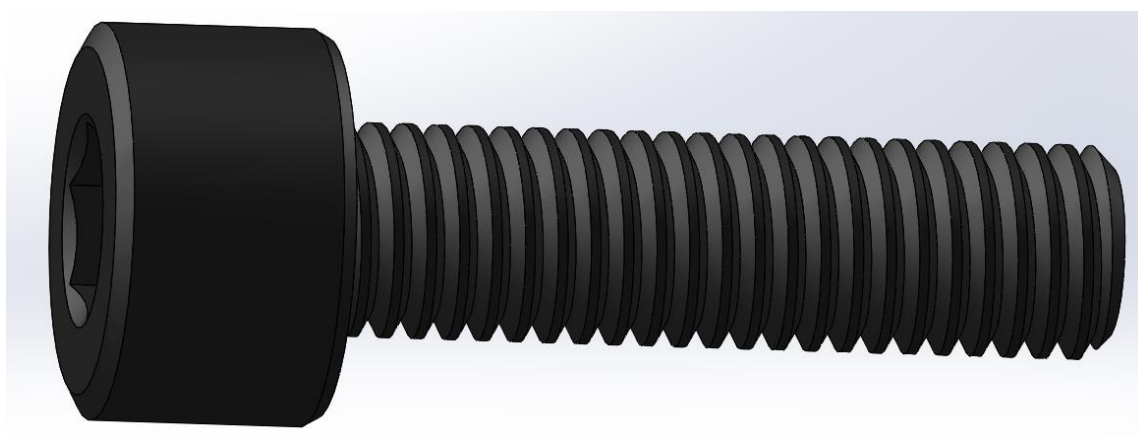
Σχ. 2.8 Το σχέδιο για τα σπειρώματα με βάση τα χαρακτηριστικά της βίδας



Σχ. 2.9 Το σχέδιο με το τρίγωνο για την γωνία των σπειρωμάτων



Σχ. 2.10 Το βασικό σχέδιο σπειρωμάτων με την επιλογή του swept cut



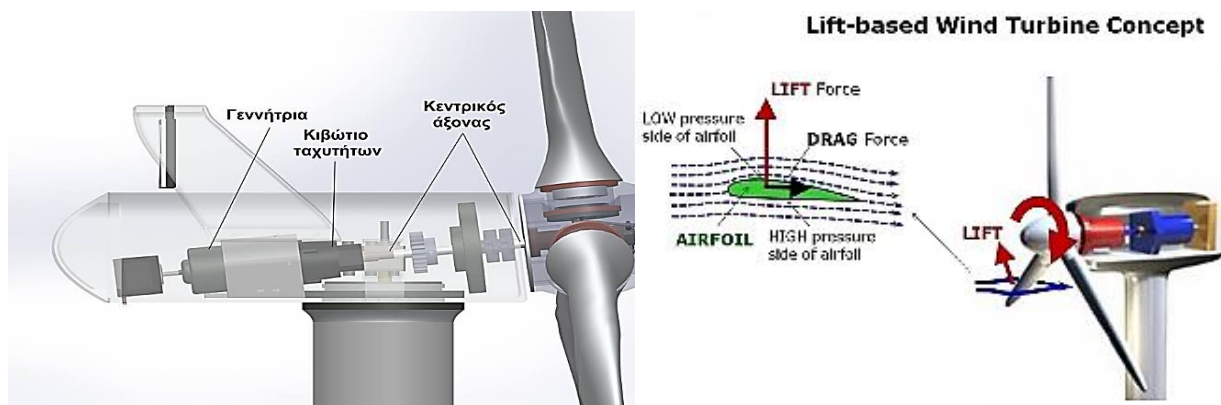
Σχ. 2.11 Το τελικό Σχέδιο της βίδας σε χρώμα μαύρο

Κεφάλαιο 3^ο : Πτερύγια (Blades)

3.1 Εισαγωγή

Ο άνθρωπος εκατοντάδες χρόνια τώρα εκμεταλλεύεται τη δύναμη του ανέμου, μέσω των ανεμόμυλων κατασκευασμένοι από ξύλο, ύφασμα και πέτρα, με σκοπό την άντληση νερού ή την άλεση του καλαμποκιού. Με την πάροδο του χρόνου οι μεγάλοι, βαριοί και αναποτελεσματικοί ανεμόμυλοι αντικαταστάθηκαν με κινητήρες ορυκτών καυσίμων και εγκαταστάθηκε το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Η πρόοδος της τεχνολογίας και η καλύτερη κατανόηση και μελέτη της αεροδυναμικής οδήγησε στην επανεμφάνιση της αιολικής ενέργειας. Ο προσανατολισμός του άξονα και ο άξονας περιστροφής καθορίζει το είδος της ανεμογεννήτριας. Μια ανεμογεννήτρια με άξονα τοποθετημένο οριζόντια, παράλληλα με το έδαφος είναι γνωστή ως ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα (**HAWT**). Μια ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα (**VAWT**) έχει τον άξονά της κανονικό στο έδαφος. Οι VAWT, όμως, λόγω της χαμηλής απόδοσης και δυσκολίας ελέγχου της ταχύτητας των πτερυγίων σταμάτησε να εξελίσσεται σε σχέση με τη HAWT, η οποία κυριαρχεί στους κατασκευαστές ανεμογεννητριών.

Η βασική λειτουργία των πτερυγίων είναι να δημιουργούν δυνάμεις άνωσης (*lift*) και οπισθέλκουσας (*drag*) χρησιμοποιώντας ειδικά σχεδιασμένη αεροτομή (*airfoil*), δοκιμασμένη και προσομοιωμένη πριν από την κατασκευή τους. Σκοπός είναι να δημιουργήσει όσο περισσότερη δύναμη μπορεί, έτσι ώστε ο κύριος άξονας, στον οποίο είναι συνδεδεμένα τα πτερύγια να κινηθεί με αποτέλεσμα να αυξηθεί η ταχύτητα περιστροφής μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων και έτσι η γεννήτρια να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Για να επιτευχθεί αυτό, η ανεμογεννήτρια τοποθετείται σε ένα συγκεκριμένο ύψος ή περιοχή όπου υπάρχουν ισχυροί άνεμοι. Όσο μεγαλύτερα είναι τα πτερύγια, τόσο περισσότερη δύναμη παράγεται. Συνήθως ο δρομέας περιστρέφεται 15 έως και 22 στροφές ανά λεπτό.



Σχ. 3.1 Αριστερά άξονας, κιβώτιο ταχυτήτων & γεννήτρια, δεξιά οι δυνάμεις LIFT & DRAG

3.2 Μελέτη των Πτερυγίων

Τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας θεωρούνται ως το πιο κρίσιμο κομμάτι της δομής της. Ο λόγος που επιλέγεται να υπάρχουν 3 πτερύγια με συγκεκριμένο μήκος και όχι 2 ή περισσότερα είναι ο εξής. Αν προστεθούν παραπάνω πτερύγια και αυξήσουμε το μήκος τους θα δημιουργήσουν περισσότερη ροπή, τη δύναμη που προκαλεί την περιστροφή. Το πτερύγιο της μεγαλύτερης ανεμογεννήτριας στον κόσμο ζυγίζει 33 τόνους και κοστίζει εκατοντάδες χιλιάδες να κατασκευαστεί. Προσθέτοντας ένα τέταρτο πτερύγιο δημιουργεί οριακή αύξηση της απόδοσης της, πράγμα που δεν δικαιολογεί το επιπλέον κόστος της και γι' αυτό το λόγο αποκλείεται η κατασκευή ανεμογεννητριών με περισσότερα πτερύγια. Μια ανεμογεννήτρια με 2 πτερύγια μπορεί να φτάσει την απόδοση μιας με 3 πτερύγια αυξάνοντας το μήκος των πτερυγίων κατά 50% χάνοντας όμως το πλεονέκτημα του μικρότερου κόστους ή αυξάνοντας την ταχύτητα περιστροφής κατά 22.5% κι έτσι θα περιστρέφονται γρηγορότερα στην ίδια ταχύτητα ανέμου, κάτι που είναι αρνητικό, καθώς θα δημιουργεί περισσότερο θόρυβο αλλά και επιπλέον βάρος λόγω της φυγοκεντρικής δύναμης. Για να αντέξει η ανεμογεννήτρια τις επιπλέον πιέσεις θα πρέπει όλη η κατασκευή της να γίνει πιο δυνατή, δηλαδή επιπλέον κόστος. Έτσι μια ανεμογεννήτρια με 3 πτερύγια μπορεί να παράγει περισσότερη ενέργεια με μικρότερη ταχύτητα περιστροφής σε σχέση με μια με 2 πτερύγια ίδιων διαστάσεων και είναι πιο οικονομική από μια με 4 πτερύγια και γι' αυτό την καθιστά την καλύτερη επιλογή.

Ο σχεδιασμός ενός πτερυγίου είναι πολύ περίπλοκος. Το πιο κρίσιμο είναι η κατασκευή των πολλών αεροτομών από τα οποία αποτελείται. Το σχήμα και οι διαστάσεις των πτερυγίων καθορίζονται από την αεροδυναμική απόδοση που απαιτείται για την αποτελεσματική παραγωγή ενέργειας από τον άνεμο. Ένας άλλος παράγοντας σχετικά με το σωστό σχεδιασμό είναι η δύναμη που απαιτείται ώστε να μπορεί να αντισταθεί στις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτό. Το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή ενός πτερυγίου είναι κυρίως πολυεστέρας και αλουμίνιο. Αυτά τα υλικά είναι ελαφριά, σε σύγκριση με άλλα υλικά όπως το σίδηρο. Τα πλεονεκτήματα της χρήσης αυτών των υλικών είναι ότι μπορούν να κατασκευαστούν εύκολα σε καλούπι. Όλα τα πτερύγια είναι κούφια στο εσωτερικό τους με τέτοια δομή ώστε να εμποδίζεται η κάμψη και η πίεση σε αυτά, πράγμα το οποίο προκαλεί την παραμόρφωση των αεροτομών. Επιπλέον η χρήση αυτών των υλικών επιτρέπει γρηγορότερη επιτάχυνση των πτερυγίων σε περίπτωση αύξησης των ανέμων.



Σχ. 3.2 Καλούπι πτερυγίων τύπου HAWT

Κεφάλαιο 3^ο

Οι ανεμογεννήτριες HAWT είναι πολύ ευαίσθητες στις αλλαγές του προφίλ των πτερυγίων και στο σχεδιασμό του.

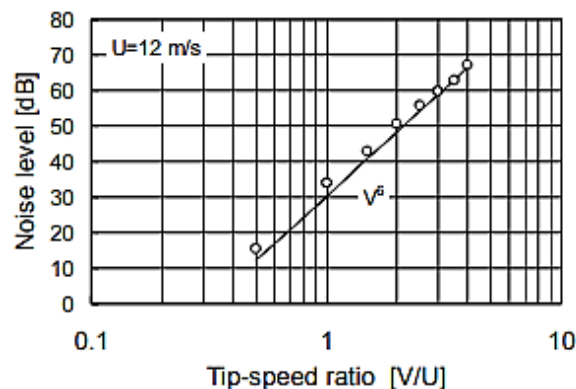
Ο λόγος μεταξύ της εφαπτομένης ταχύτητας των άκρων των πτερυγίων και της ταχύτητας του ανέμου ονομάζεται **Tip Speed Ratio (TSR)** και είναι η κύρια παράμετρος σχεδιασμού σύμφωνα με την οποία υπολογίζονται όλες οι βέλτιστες διαστάσεις του πτερυγίου. Οι ανεμογεννήτριες υψηλής απόδοσης έχουν συνήθως **TSR** 6 έως 7. Με τη χρήση αυτών των ελαφριών υλικών, οι πιο καινούριες ανεμογεννήτριες μπορούν να επιτύχουν αυτό το λόγο TPS ταχύτερα, παράγοντας έτσι περισσότερη ενέργεια με μικρότερο κόστος παραγωγής. Επιπλέον πρέπει να λαμβάνονται υπόψη πτυχές όπως η απόδοση, η ροπή, η μηχανική καταπόνηση, η αεροδυναμική και ο θόρυβος κατά την επιλογή της κατάλληλης ταχύτητας άκρου (Tip Speed).

$$\lambda = \frac{\Omega r}{V_w} \quad (1.1)$$

Όπου το λ είναι ο λόγος ταχύτητας άκρων/άνεμου (Tip speed ratio), το Ω η περιστροφική ταχύτητα Rotational velocity (rad/s), το r η ακτίνα (Radius) και το V_w η ταχύτητα ανέμου (Wind Speed)

Ο λόγος ταχύτητας άκρων προς άνεμο (λ) ισούται με το κλάσμα της ταχύτητας περιστροφής (Ω) επί την ακτίνα(r) προς την ταχύτητα του ανέμου (V_w).

Η αποτελεσματικότητα μιας ανεμογεννήτριας μπορεί να αυξηθεί με υψηλότερες ταχύτητες άκρων, αν και η αύξηση δεν είναι τόσο σημαντική όταν υπολογίζονται ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως αυξημένος θόρυβος, αεροδυναμική και φυγοκεντρική καταπόνηση. Μια υψηλότερη ταχύτητα άκρου απαιτεί μειωμένα πλάτη πτερυγίων, άρα και μειωμένη χρήση υλικών και χαμηλότερο κόστος παραγωγής. Όμως αυξημένες δυνάμεις σηματοδοτούν δυσκολίες διατήρησης της δομής της ανεμογεννήτριας και βλάβης των πτερυγίων. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα άκρων, η αεροδυναμική του σχεδιασμού των πτερυγίων γίνεται όλο και πιο κρίσιμη. Ένα πτερύγιο που έχει σχεδιαστεί για υψηλές σχετικές ταχύτητες ανέμου αναπτύσσει ελάχιστη ροπή σε χαμηλότερες ταχύτητες. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη μείωση της ταχύτητας και δυσκολία στην αυτόνομη εκκίνηση. Η αύξηση του θορύβου σχετίζεται επίσης με την αύξηση της ταχύτητας των κορυφών (Tip speeds) καθώς ο θόρυβος αυξάνεται περίπου αναλογικά. Τα μοντέλα HAWT χρησιμοποιούν γενικά μια αναλογία ταχύτητας άκρου (**TSR**) 9-10 για δύο πτερύγια και 6-9 για τρία πτερύγια. Αυτό παράγει αποτελεσματική μετατροπή της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια.



Σχ. 3.3 Αναλογία θορύβου σε σχέση με αύξηση ταχύτητας άκρων.

Πτερύγια (Blades)

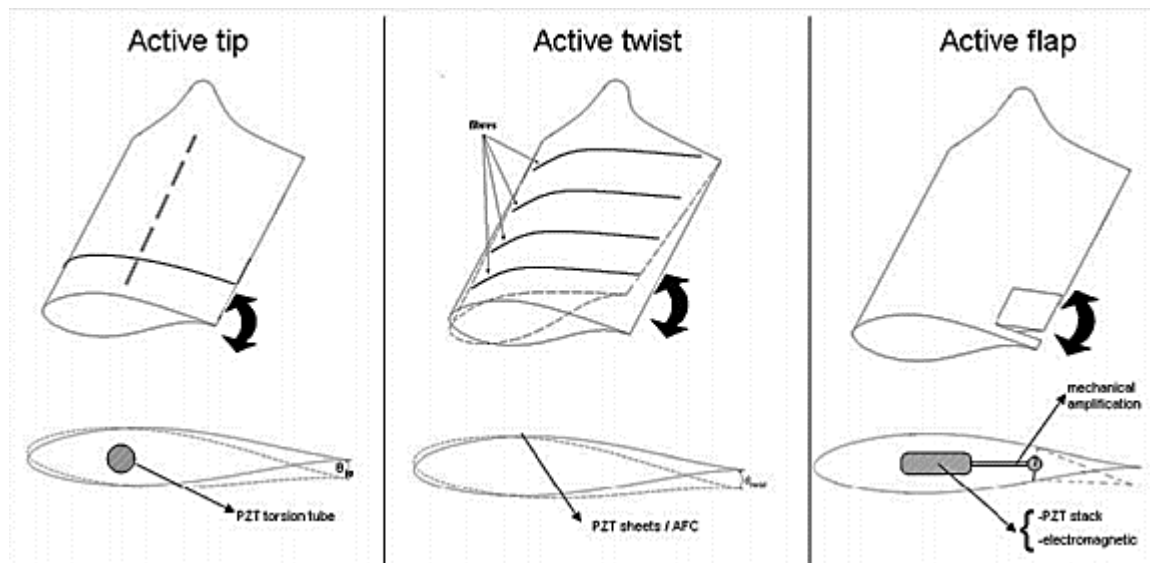
Το ιδανικό σχέδιο μιας πτερωτής HAWT ορίζεται με τη μέθοδο BEM (Blade Element Momentum), υπολογίζοντας το μήκος Chord σύμφωνα με το όριο Betz, τις τοπικές ταχύτητες αέρα και την άνωση της αεροτομής. Υπάρχουν πολλές θεωρίες για το βέλτιστο μήκος Chord οι οποίες διαφέρουν σε πολυπλοκότητα με τις απλούστερες θεωρίες βασισμένες στη θεωρία βελτιστοποίησης Betz. Για πτερύγια με TSR 6-9, που έχουν αεροτομές με αμελητέες απώλειες δυνάμεων, η θεωρία ορμής κίνησης του Betz δίνει μια καλή προσέγγιση. Αντιθέτως σε περιπτώσεις με χαμηλές ταχύτητες άκρων, υψηλών δυνάμεων οπισθέλκουσας των αεροτομών και τμημάτων πτερυγίων γύρω από την πλήμνη, η θεωρία δεν μπορεί να είναι ακριβής. Σε τέτοιες θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι απώλειες λόγω αλληλεπίδρασης (Wake effect) και οπισθέλκουσας (Drag). Η μέθοδος Betz δίνει το βασικό σχήμα στα σύγχρονα πτερύγια.

$$C_{opt} = \frac{2\pi r}{n} \frac{8U_{wd}}{9C_L \lambda V_r} \text{ όπου } V_r = \sqrt{V_W^2 + U^2} \quad (1.2)$$

Όπου το r είναι η ακτίνα (Radius (m)), το n είναι η Ποσότητα Πτερυγίων (Blade Quantity), το C_L είναι Συντελεστής Άνωσης (Lift Coefficient), το λ ο Τοπικός Λόγος ταχύτητας άκρων (Local tip speed Ratio), V_r η Τοπική Ταχύτητα αέρα (Local resultant air velocity (m/s)), το U_{wd} η Σχεδίαση Ταχύτητας ανέμου (Design windspeed (m/s)), το U η Ταχύτητα Ανεμου (Wind speed (m/s)) και το C_{opt} το Βέλτιστο Μήκος Chord (Optimum chord length).

3.2.1 Smart Blade Designs

Η τρέχουσα ερευνητική τάση σχεδίασης πτερυγίων ονομάζεται “Smart Blades” λόγω του ότι το σχήμα τους αλλάζει ανάλογα με τις συνθήκες ανέμου. Υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις για τη σχεδίαση τους που αφορούν είτε επιφάνειες αεροδυναμικού ελέγχου είτε έξυπνα υλικά ενεργοποίησης. Κύριος σκοπός της έρευνας είναι ο περιορισμός υπερβολικά φορτία και φορτία κόπωσης ή να αυξήσει τη δυναμική δέσμευση ενέργειας. Η έρευνα αυτή βασίζεται σε παρόμοιες σχετικά με τον έλεγχο ελικοπτέρων και διερευνάται από πολλά ινστιτούτα αεροδυναμικής ενέργειας. Έργα που σχετίζονται με τον έξυπνο έλεγχο είναι “Smart rotor blades and rotor control” στα πλαίσια της ΕΕ, το “Smart dynamic control of large offshore wind turbines” και το έργο της Δανίας “ADAPWING”. Στο πλαίσιο του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας, πραγματοποιήθηκαν δύο συναντήσεις εμπειρογνομόνων με θέμα “The application of smart structures for large wind turbine rotors”, από το Πανεπιστήμιο Delft και την Sandia National Labs, αντίστοιχα. Οι διαδικασίες παρουσιάζουν μια ποικιλία θεμάτων, μεθόδων και λύσεων, που αντικατοπτρίζουν τη εξελισσόμενη έρευνα. Η χρήση επιφανειών αεροδυναμικού ελέγχου περιλαμβάνει πτερύγια σε στυλ ελερόνης, τον έλεγχο καμπύλης, τον ενεργό έλεγχο περιστροφής και οριοθέτησης στρώματος. Τα έξυπνα υλικά ενεργοποίησης περιλαμβάνουν συμβατικούς ενεργοποιητές, ενεργοποιητές έξυπνων υλικών, κράματα μνήμης πιεζοηλεκτρικού και σχήματος. Οι παραδοσιακοί ενεργοποιητές δεν πληρούν τις ελάχιστες απαιτήσεις για τέτοιες ιδέες έργων. Επιπλέον, οι προτεινόμενες ιδέες επιφανειών αεροδυναμικού ελέγχου (καταναεμημένες κατά μήκος του διαστήματος των πτερυγίων) απαιτούν γρήγορη ενεργοποίηση χωρίς σύνθετα μηχανικά συστήματα και μεγάλες αναλογίες ενέργειας προς βάρος. Η υποσχόμενη λύση για το σκοπό αυτό είναι η χρήση συστημάτων ενεργοποιητών έξυπνων υλικών.



Σχ. 3.4 Διάφορες εφαρμογές των Smart Blades

Τα έξυπνα υλικά είναι υλικά που έχουν την ικανότητα να ανιχνεύουν και να ενεργοποιούνται με ελεγχόμενο τρόπο σε μεταβλητές ερεθισμάτων περιβάλλοντος. Κάποιοι τύποι έξυπνων υλικών είναι τα σιδηροηλεκτρικά υλικά (πιεζοηλεκτρικά, ηλεκτροσταλτικά και μαγνητοσταλτικά), τα μεταβλητά ρεολογικά υλικά (ήλεκτρορεολογικά και μαγνητορεολογικά ρευστά) και κράματα με μνήμης σχήματος. Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά και τα κράματα μνήμης σχήματος είναι τα πιο γνωστά έξυπνα υλικά που χρησιμοποιούνται στους ενεργοποιητές. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας τους έχει φθάσει σε αρκετά υψηλό επίπεδο και χρησιμοποιούνται ευρέως.

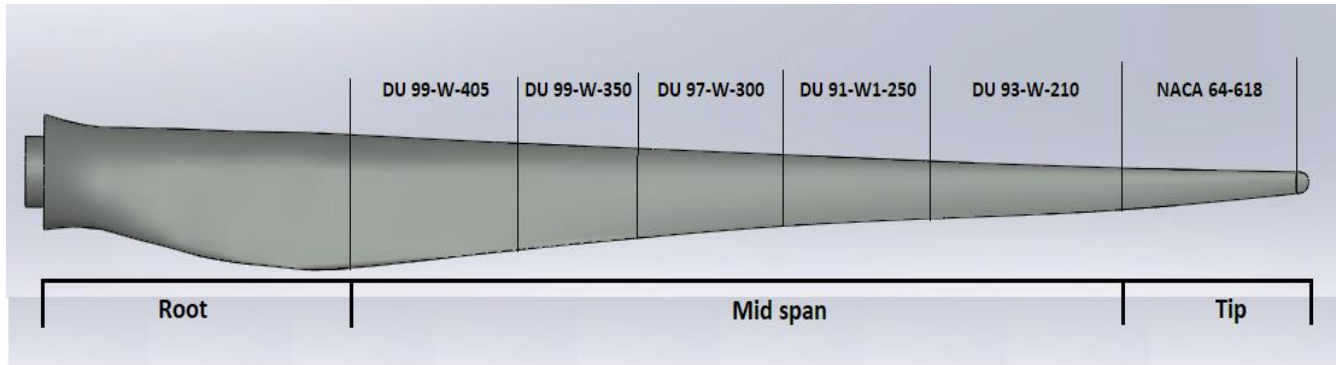
3.2.2 Δομικά Μέρη Πτερυγίου

Ένα σύγχρονο πτερύγιο μπορεί να χωριστεί σε τρεις κύριες περιοχές που ταξινομούνται ανάλογα με τη αεροδυναμική και δομική λειτουργία.

- Το *Root* του πτερυγίου. Η μετάβαση μεταξύ της κυκλικής βάσης και του πρώτου προφίλ αεροτομής είναι το κομμάτι που φέρει το βαρύτερο φορτίο. Η χαμηλή σχετική ταχύτητα του ανέμου οφείλεται στη σχετικά μικρή ακτίνα από την πλήμνη. Η χαμηλή ταχύτητα του ανέμου οδηγεί σε μειωμένη αεροδυναμική άνωση που οδηγεί σε μεγάλα μήκη Chord. Συνεπώς, το προφίλ του πτερυγίου γίνεται υπερβολικά μεγάλο κοντά στην πλήμνη. Λόγω της χαμηλής άνωσης πρέπει να χρησιμοποιηθούν υπερβολικά παχιά τμήματα αεροτομών για τη βελτίωση της δομικής ακεραιότητας στην περιοχή όπου ασκείται το μεγαλύτερο φορτίο σε βάρος. Συνεπώς, η περιοχή της αρχής της λεπίδας θα αποτελείται τυπικά από παχιά προφίλ αεροτομών με χαμηλή αεροδυναμική απόδοση.

- Το *Mid Span*. Είναι αεροδυναμικά σημαντικό. Ο λόγος άνωσης προς οπισθέλκουσα θα μεγιστοποιηθεί. Ως εκ τούτου, χρησιμοποιείται το λεπτότερο δυνατό τμήμα από τις αεροτομές με τα δυνατότερα κατασκευαστικά υλικά.

Πτερύγια (Blades)

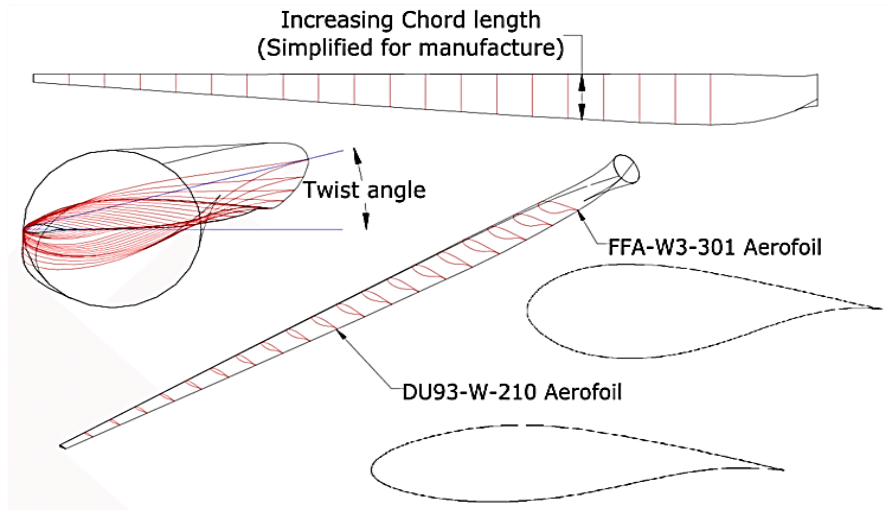


Σχ. 3.5 Δομικά μέρη Πτερυγίου

- Το *Tip*. Είναι αεροδυναμικώς κρίσιμο. Η αναλογία άνωσης (Lift) προς οπισθέλκουσα (Drag) θα μεγιστοποιηθεί. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται λεπτές αεροτομές και ειδικά σχεδιασμένες γεωμετρίες κορυφών για τη μείωση του θορύβου και των απωλειών. Τέτοιες γεωμετρίες κορυφής δεν έχουν ακόμη αποδειχθεί στο πεδίο, αλλά εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται από ορισμένους κατασκευαστές.

3.3 Αεροδυναμική και Αεροτομές

Η απόδοση του αεροδυναμικού συστήματος ενός πτερυγίου παίζει μεγάλο ρόλο για να αποκτήσει τη μέγιστη ροπή από την αιολική ενέργεια, η οποία είναι το κλειδί για την παραγωγή ενέργειας. Καθώς το μέγεθος της ανεμογεννήτριας αυξάνεται, είναι απαραίτητο να σχεδιαστούν τα κατάλληλα σχέδια των πτερυγίων. Για να επιτύχουμε τη βέλτιστη άνωση στα πτερύγια, πρέπει να λάβουμε υπόψη κάποιους παράγοντες, όπως την ταχύτητα και την πυκνότητα του ανέμου, την επιφάνεια και τον συντελεστή άνωσης. Ένα πτερύγιο από την αρχή του έως την άκρη του αποτελείται από διάφορες αεροτομές. Το γεωμετρικό σχήμα κάθε αεροτομής μελετάται προσεκτικά για να επιτευχθεί ο υψηλότερος λόγος οπισθέλκουσας (*drag*) προς άνωση (*lift*). Ένα από τα μεγέθη σε μια αεροτομή είναι το μήκος Chord (C_{opt}), όπου απαιτούνται οκτώ μεταβλητές για τον υπολογισμό του (1.2).



Σχ. 3.6 Απεικόνιση των διάφορων αεροτομών σε ένα πτερύγιο

Κεφάλαιο 3^ο

Οι αεροδυναμικές επιδόσεις είναι θεμελιώδεις για την αποτελεσματική σχεδίαση της πτερωτής. Η αεροδυναμική άνωση είναι η δύναμη που είναι υπεύθυνη για την απόδοση ισχύος που παράγεται από την γεννήτρια και είναι συνεπώς απαραίτητο να μεγιστοποιηθεί αυτή η δύναμη χρησιμοποιώντας το κατάλληλο σχέδιο. Μία ανθεκτική δύναμη οπισθέλκουσας που αντιτίθεται στην κίνηση των πτερύγιων παράγεται επίσης με τριβή, η οποία πρέπει να ελαχιστοποιείται. Είναι προφανές ότι για το σχεδιασμό των πτερύγιων μιας πτερωτής επιλέγεται ένα τμήμα αεροτομής με αναλογία άνωσης προς οπισθέλκουσα, τυπικά μεγαλύτερο από 30.

$$\text{Lift to Drag Ratio} = \frac{\text{Coefficient of lift}}{\text{Coefficient of drag}} = \frac{C_L}{C_D} \quad (1.3)$$

Η συν-αποδοτικότητα για την άνωση και οπισθέλκουσα των αεροτομών είναι δύσκολο να προβλεφθεί μαθηματικά, αν και υπάρχει διαθέσιμο λογισμικό, όπως το XFoil, που προβλέπει με ακρίβεια, με εξαίρεση το post stall, τις υπερβολικές γωνίες κλίσης και τις συνθήκες πάχους αεροτομής. Οι αεροτομές δοκιμάζονται πειραματικά με πίνακες που συσχετίζουν την άνωση και την οπισθέλκουσα δύναμη σε δεδομένες γωνίες κλίσης και αριθμούς Reynolds. Ιστορικά σχέδια αεροτομών των ανεμογεννητριών έχουν χρησιμοποιηθεί από τεχνολογίες αεροσκαφών με παρόμοιους αριθμούς Reynolds και πάχη διατομής που είναι κατάλληλα για τις συνθήκες στην άκρη του πτερυγίου. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη η σχεδίαση των προφίλ των αεροτομών λόγω των διαφορών στις συνθήκες λειτουργίας και των μηχανικών φορτίων.

$$R_e = \frac{\rho V L}{\mu} = \frac{V L}{\nu} \quad (1.4)$$

Όπου ρ είναι η πυκνότητα του υλικού, L είναι ένα χαρακτηριστικό μήκος του σώματος συνήθως το μήκος Chord της αεροτομής, V η ταχύτητα της ροής, μ το ιξώδες και ν το κινηματικό ιξώδες.

Επειδή τα αεροσκάφη πετούν σε υψόμετρα όπου τα έντομα και άλλα σωματίδια είναι αμελητέα δεν προκύπτει θέμα μείωσης της αεροδυναμικής τους. Οι ανεμογεννήτριες επειδή λειτουργούν σε επίπεδο εδάφους, όπου η ύπαρξη σωματιδίων από έντομα και σκόνης δημιουργεί πρόβλημα λόγω της συσσώρευσης τους στα πτερύγια, μπορεί να έχει επιπτώσεις στην παραγόμενη δύναμη άνωσης. Επομένως, λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των πτερυγίων η αντιμετώπιση της "ρύπανσης" αυτής. Οι δομικές απαιτήσεις των ανεμογεννητριών χρειάζονται αεροτομές με υψηλό λόγο πάχους Chord στην αρχή των πτερυγίων (Root). Τέτοιες αεροτομές σπάνια χρησιμοποιούνται στην αεροδιαστημική βιομηχανία. Οι χονδροειδείς αεροτομές έχουν γενικά χαμηλότερη αναλογία άνωσης προς οπισθέλκουσα. Επομένως, δίνεται ιδιαίτερη προσοχή για την αύξηση της άνωσης αυτών των αεροτομών για χρήση τους σε σχέδια πτερυγίων ανεμογεννητριών.

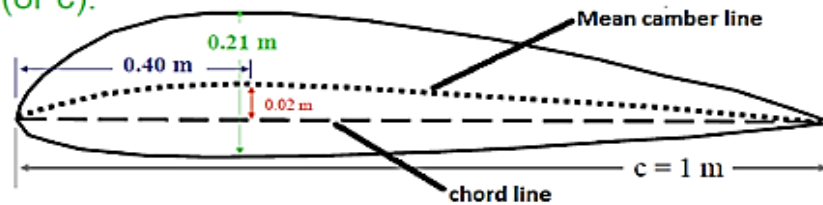
Οι εθνικές συμβουλευτικές επιτροπές αεροναυτικής (NACA) τεσσάρων και πενταψηφίων σχεδίων έχουν χρησιμοποιήσουν σχέδια με 4 και 5 ψηφία για σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Η ταξινόμηση δείχνει το γεωμετρικό προφίλ μιας αεροτομής NACA, όπου το 1ο ψηφίο αναφέρεται στη μέγιστη αναλογία θαλάμου προς Chord, το 2ο ψηφίο είναι η θέση καμπύλης στα δέκατα του Chord και το 3ο και 4ο ψηφίο είναι η μέγιστη αναλογία πάχους προς Chord σε ποσοστά.

NACA

1st Digit: Maximum camber is 2% of 2D airfoil chord length, c (or 3D wing mean chord length, $\bar{c}$).

2nd Digit: Location of maximum camber is at 4/10ths (or 40%) of the chord line, from the LE.

3rd & 4th Digits: Maximum thickness is 21% of c (or $\bar{c}$).



Σχ. 3.7 Επεξήγηση ψηφίων NACA

Η εμφάνιση ειδικών αεροτομών για ανεμογεννήτριες, όπως του Πανεπιστημίου Delft, το LS, το SERI-NREL και το FFA και το RISO παρέχουν τώρα εναλλακτικές λύσεις ειδικά προσαρμοσμένες στις ανάγκες της βιομηχανίας ανεμογεννητριών. Η γωνία κλίσης είναι η γωνία της εισερχόμενης ροής σε σχέση με τη γραμμή των Chord και όλες οι τιμές για CL και CD αναφέρονται σε σχέση με αυτή τη γωνία. Η χρήση μιας αεροτομής για ολόκληρο το μήκος των πτερυγίων θα είχε ως αποτέλεσμα τον ανεπαρκή σχεδιασμό τους. Κάθε τμήμα του πτερυγίου έχει διαφορετική σχετική ταχύτητα αέρα και δομική απαίτηση και ως εκ τούτου θα πρέπει να αεροτομή ανάλογα προσαρμοσμένη. Στην αρχή του πτερυγίου, τα τμήματα του για να αντέξουν τα έντονα φορτία και τις πιέσεις έχουν μεγάλο ελάχιστο πάχος και άρα παχιά προφίλ. Τα τμήματα κοντά στις άκρες των πτερυγίων σχεδιάζονται λεπτότερα με μειωμένο φορτίο, υψηλότερη γραμμική ταχύτητα και αυξανόμενη κρίσιμη αεροδυναμική απόδοση. Ανάλογα με την περιοχή του πτερυγίου υπάρχουν και διαφορετικές απαιτήσεις σχεδίασης της αεροτομής όσον αφορά τις ταχύτητες ροής αέρα και τα δομικά φορτία.

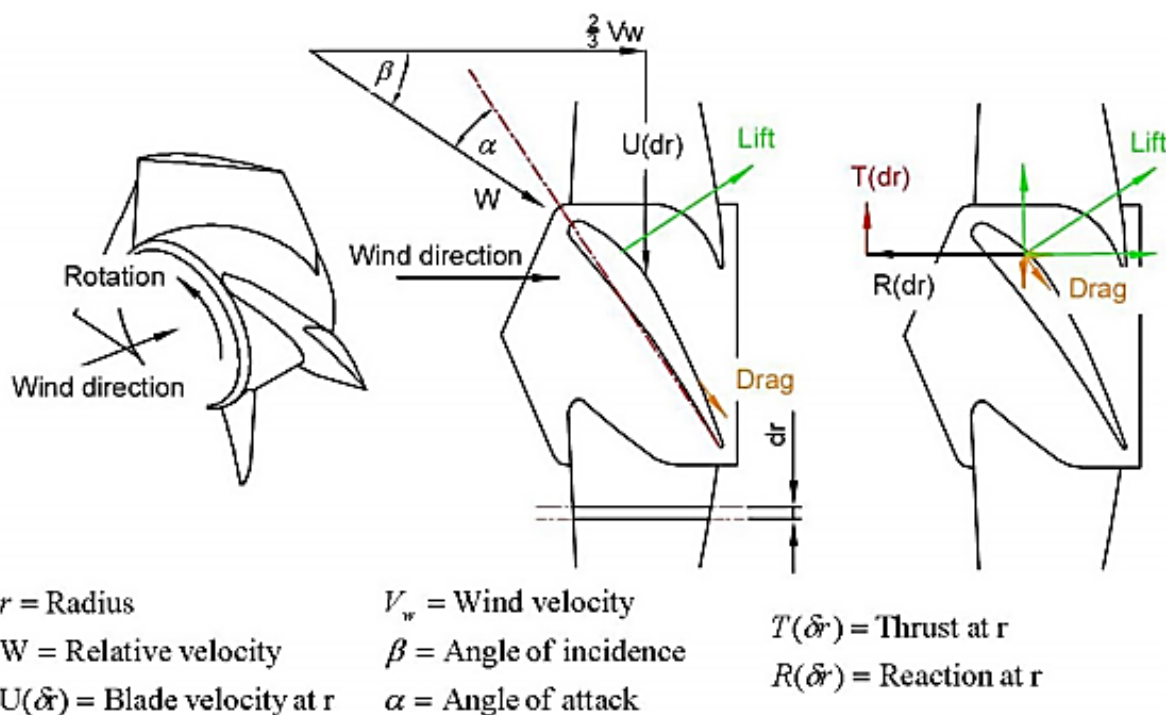
3.3.1 Αεροδυναμικό Φαινόμενο Stall

Ένα αεροδυναμικό φαινόμενο γνωστό ως *Stall* θα πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά για το σχεδιασμό των πτερυγίων. Το φαινόμενο αυτό εμφανίζεται συνήθως σε μεγάλες γωνίες κλίσης, ανάλογα με το σχεδιασμό της κάθε αεροτομής και θεωρείται επικίνδυνο στην αεροπορία γι' αυτό και αποφεύγεται. Ωστόσο, για τις ανεμογεννήτριες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιορίσει τη μέγιστη δύναμη που δημιουργείται για να αποτρέψει την υπερφόρτιση της γεννήτριας και τις υπερβολικές δυνάμεις που ασκούνται στα πτερύγια σε ακραίες ταχύτητες ανέμου για την αποφυγή απότομης εκκίνησης περιστροφής τους. Επομένως, η έναρξη της λειτουργίας του φαινομένου *Stall* δεν πρέπει να είναι απότομη για τις αεροτομές, καθώς αυτό θα δημιουργούσε υπερβολικές δυναμικές δυνάμεις και δονήσεις. Η ευαισθησία των πτερυγίων στη "ρύπανση", εκτός των συνθηκών σχεδιασμού, συμπεριλαμβανομένων του φαινομένου *Stall* και των παχών διατομών για δομικές εφαρμογές, είναι οι κύριες κινητήριες δυνάμεις για την ανάπτυξη των προφίλ των αεροτομών. Η χρήση σύγχρονων υλικών με ανώτερες μηχανικές ιδιότητες μπορεί να επιτρέψει τη δημιουργία λεπτότερων δομικών τμημάτων με αυξημένες σχέσεις άνωσης προς οπισθέλκουσα στις αρχές των πτερυγίων. Λεπτότερα τμήματα προσφέρουν αύξηση της απόδοσης μειώνοντας την οπισθέλκουσα δύναμη.

Οι υψηλότεροι συντελεστές άνωσης των λεπτότερων τμημάτων των αεροτομών θα οδηγήσουν με τη σειρά τους σε μειωμένη χρήση των υλικών μειώνοντας τα μήκη Chord.

3.3.2 Αεροδυναμικό Φορτίο

Το αεροδυναμικό φορτίο δημιουργείται από τις δυνάμεις άνωσης και οπισθέλκουσας του πτερυγίου στα τμήματα των αεροτομών, οι οποίες εξαρτώνται από την ταχύτητα του ανέμου (VW), την ταχύτητα του πτερυγίου (U), την επιφάνεια, τη γωνία κλίσης (α) και την στροφική οριζόντια κίνηση. Η γωνία κλίσης εξαρτάται από τη συστροφή του πτερυγίου και την κλίση. Η αεροδυναμική άνωση και η οπισθέλκουσα δημιουργούν μια ωφέλιμη ώθηση (T) προς την κατεύθυνση περιστροφής και απορροφάται από τη γεννήτρια και τις δυνάμεις αντίδρασης (R). Είναι φανερό ότι το πτερύγιο πρέπει να αντέχει τις δυνάμεις αντίδρασης με όσο το δυνατόν λιγότερη πρόκληση παραμόρφωσης. Για τον υπολογισμό των αεροδυναμικών δυνάμεων του πτερυγίου εφαρμόζεται η θεωρία της ορμής των πτερυγίων (BEM). Μελετώντας κατά μήκος την ακτίνα των πτερυγίων, τα μικρά στοιχεία (δr) και το άθροισμα των αεροδυναμικών δυνάμεων μπορούν να υπολογιστούν για να δώσουν τη συνολική αντίδραση του πτερυγίου και τα ωστικά φορτία.



Σχ. 3.8 Αεροδυναμικές δυνάμεις που δημιουργούνται στα Πτερύγια

3.3.3 Γωνία Στρέψης

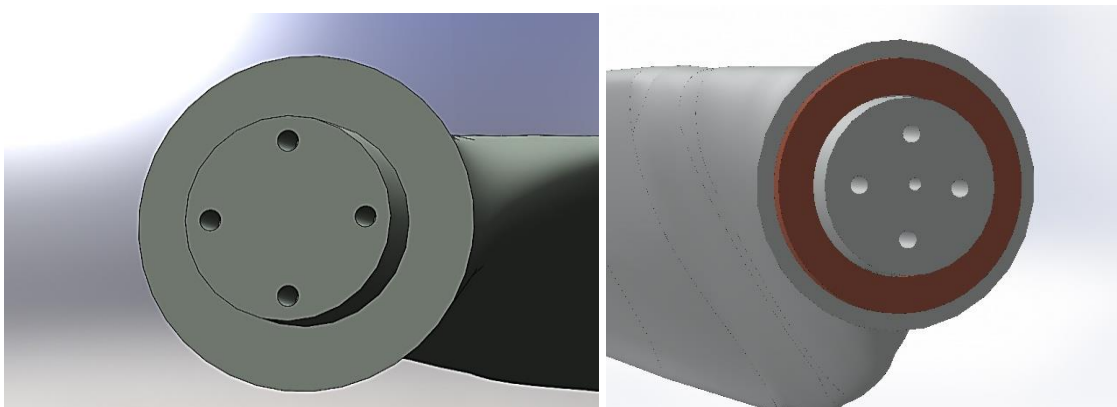
Η άνωση που παράγεται από ένα τμήμα της αεροτομής είναι συνάρτηση της γωνίας κλίσης με τον εισερχόμενο αέρα. Η γωνία εισροής του ρεύματος του αέρα εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής και την ταχύτητα του ανέμου σε συγκεκριμένη ακτίνα. Η γωνία περιστροφής που απαιτείται εξαρτάται από την αναλογία ταχύτητας κορυφής (TIP) και την επιθυμητή γωνία κλίσης της αεροτομής. Γενικά, το τμήμα της αεροτομής της πλήμνης κάνει γωνία προς τον άνεμο λόγω της υψηλής αναλογίας ταχύτητας ανέμου προς την ταχύτητα ακτίνας του πτερυγίου, σε αντίθεση με την άκρη του πτερυγίου. Η ολική γωνία συστολής σε ένα πτερύγιο μπορεί να μειωθεί απλοποιώντας το σχήμα του για να μειώσει το κόστος κατασκευής. Αυτό όμως μπορεί να οδηγήσει τις αεροτομές να λειτουργούν λιγότερο από τις βέλτιστες γωνίες κλίσης, όπου ο λόγος άνωσης προς οπισθέλκουσα μειώνεται. Τέτοιες απλοποιήσεις πρέπει να μελετώνται επαρκώς δεδομένου της απώλειας στη συνολική απόδοση της ανεμογεννήτριας.

3.4 Σχεδιασμός των Πτερυγίων

Για την σχεδίαση των πτερυγίων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα **SolidWorks**.

Σκοπός με τη βοήθεια του προγράμματος ήταν να σχεδιάσουμε αποτελεσματικά ένα πτερύγιο το οποίο να έχει τις δυνατότητες να δημιουργεί αεροδυναμικές δυνάμεις. Με την χρήση του τύπου (1.2) καταλήξαμε πως το φάρδος στη βάση του πτερυγίου δηλαδή το μήκος Chord θα πρέπει να είναι 10,28 cm με βάση το μέγεθος του πτερυγίου. Αφού υπολογίστηκε το μήκος Chord και το μέγεθος του πτερυγίου, έπρεπε να βρούμε έναν τρόπο με τον οποίο το πτερύγιο θα στηρίζεται στην πλήμνη.

Ο τρόπος αυτός ήταν να δημιουργήσουμε χώρο στην πλήμνη όπου θα έμπαιναν δύο ρουλεμάν ώσης, τα οποία θα βοηθούσαν στο στήριγμα αλλά και στο να περιστρέφονται τα πτερύγια ελεύθερα. Λόγω, όμως, του όγκου των ρουλεμάν, έπρεπε να δημιουργηθεί ένα εξόγκωμα στην αρχή του πτερυγίου (βλ. Σχ. 3.9 & 3.10) το οποίο θα κλείδωνε ακριβώς μέσα στα ρουλεμάν και θα ασφαλιζόταν με βίδες στην πλήμνη με τη βοήθεια 4 τρυπών. Επειδή, όμως, το πτερύγιο δεν θα μπορούσε να αντέξει σε δυνατές δυνάμεις του αέρα, έπρεπε με κάποιον τρόπο να το ενισχύσουμε. Αυτό επιτεύχθηκε βάζοντας μια ντίζα στο κέντρο του πτερυγίου σε μέγεθος M3.

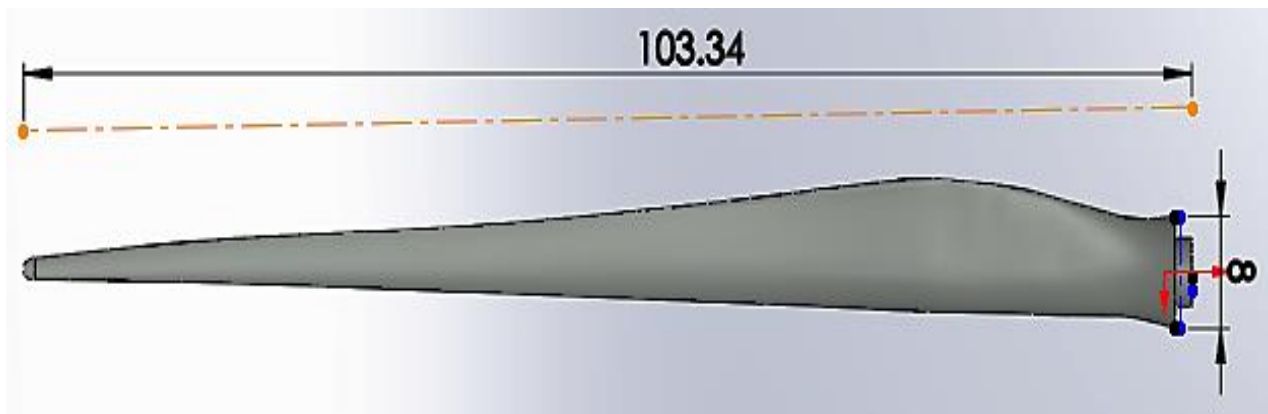


Σχ. 3.9 Αρχή πτερυγίου με εξόγκωμα για τα ρουλεμάν

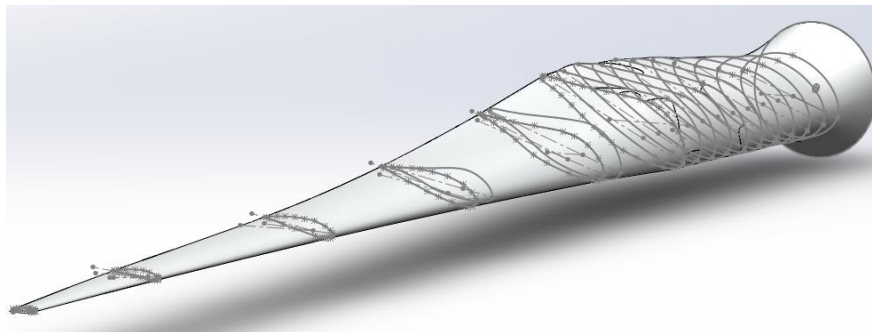
3.4.1 Σχεδιασμός Αεροτομών

Ο τρόπος κατασκευής του πτερυγίου ήταν να χρησιμοποιηθούν διάφορες αεροτομές σε διαφορά σημεία των πτερύγιων όπως το Σχ. 3.2. Χρησιμοποιήθηκαν 6 διαφορετικές αεροτομές για το πτερύγιο, και 11 απλές για την δημιουργία της αρχής (βάσης) του. Αφού σχεδιάστηκαν οι αεροτομές ώστε να έχουν όλες μαζί συνολικά μήκος ενός μέτρου, χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία **Boundary Boss/Base** του προγράμματος **SolidWorks** για να δημιουργηθεί ένα ολοκληρωμένο πτερύγιο αποτελούμενο από τις 17 διαφορετικές αεροτομές.

Για τη δημιουργία των αεροτομών χρησιμοποιήθηκαν πρότυπα τα οποία αναπτύχθηκαν από την NACA και από το Deft University. Οι αεροτομές αυτές έρχονται σε μορφή αρχείου .Dat, το οποίο παρέχει τα δεδομένα για τη δημιουργία τους. Αφού δημιουργήθηκαν οι αεροτομές στο πρόγραμμα Solidworks, ελέγχθηκαν με δυνάμεις ταχύτητας ανέμου (Wind Velocity) στα 5 m/s στο Flow Simulation με κλήσης 0, 45 και 90 μοίρες για να ελεγχθεί εάν δημιουργείτε πίεση στα πτερύγια.

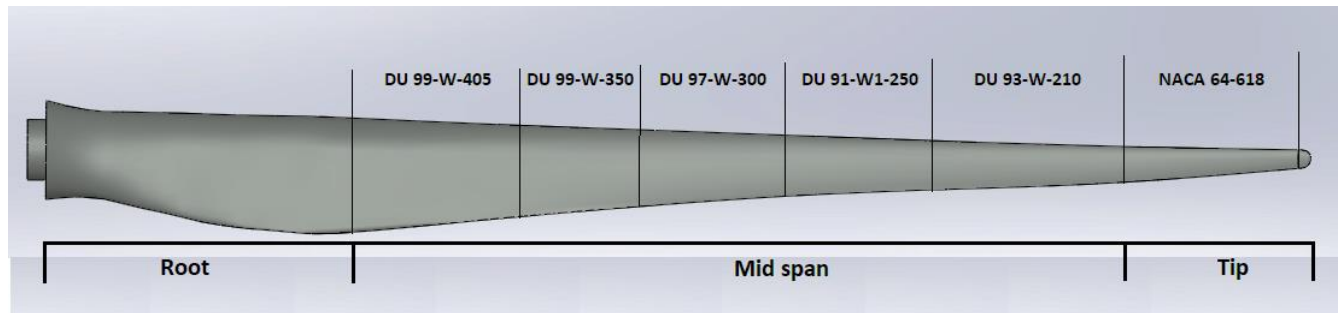


Σχ. 3.10 Πτερύγιο σχεδιασμένο στο SolidWorks με τα μεγέθη του σε εκατοστά



Σχ. 3.11 Πτερύγιο με τις 17 διαφορετικές αεροτομές.

Πτερύγια (Blades)



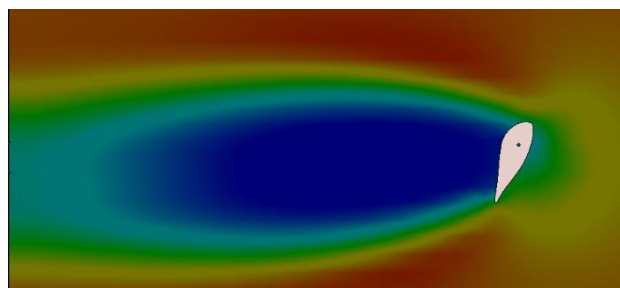
Σχ. 3.12 Αεροτομές που χρησιμοποιήθηκαν στη μέση απόσταση και μύτη

Στις 0 μοίρες, που είναι η αρχική κατάσταση των πτερύγιων βλέπουμε πως όλη η ταχύτητα του ανέμου ασκείται στο μπροστινό μέρος του πτερυγίου και στο πίσω μέρος πέφτει η ταχύτητα, αυτό σημαίνει πως το πτερύγιο απορροφά την περισσότερη δύναμη του ανέμου που δημιουργείται.

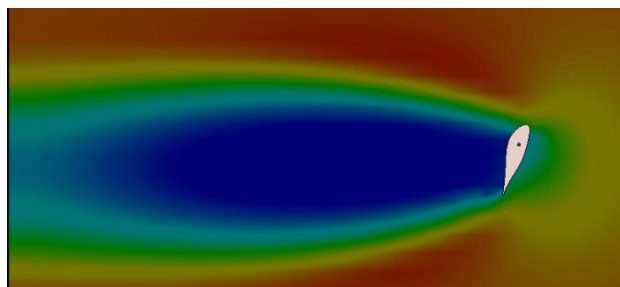
Στις 45 μοίρες βλέπουμε πως η ταχύτητα του ανέμου αρχίζει και αυξάνεται στο πίσω μέρος του πτερυγίου που σημαίνει ότι δημιουργείται μια άνωση όπως είναι σχεδιασμένες οι αεροτομές, δηλαδή υψηλή πίεση στο κάτω μέρος της αεροτομής και χαμηλή στο πάνω μέρος και στις 90 μοίρες βλέπουμε πως γίνεται ακριβώς το αντίθετο, δηλαδή χαμηλή πίεση στο κάτω μέρος και υψηλή στο πάνω μέρος όπου δημιουργείτε το φαινόμενο Stall.

Στις μέτρησις, οι μοίρες για την κάθε αεροτομή είναι διαφορετικές. Οι κλίσεις 0, 45 και 90 μετρήθηκαν από την βάση του πτερυγίου. Κάθε αεροτομή για 0, 45 και 90 μοίρες έχει διαφορετική κλίση. Μετρήθηκαν με αυτόν τον τρόπο επειδή δημιουργήθηκε το simulation για ολόκληρο το πτερύγιο και όχι για κάθε αεροτομή. Οι εικόνες είναι παρμένες από στιγμιότυπο κομμένο στις αεροτομές όπου επιλέχθηκαν. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να δούμε ποιες αεροτομές λειτουργούν σωστά για την ανάλογη ταχύτητα του ανέμου.

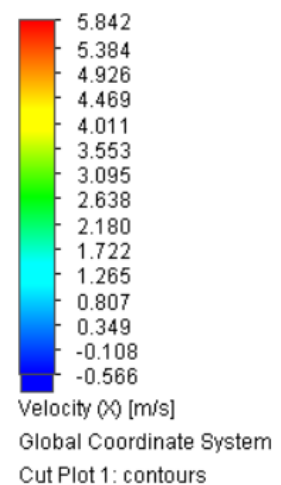
0 μοίρες



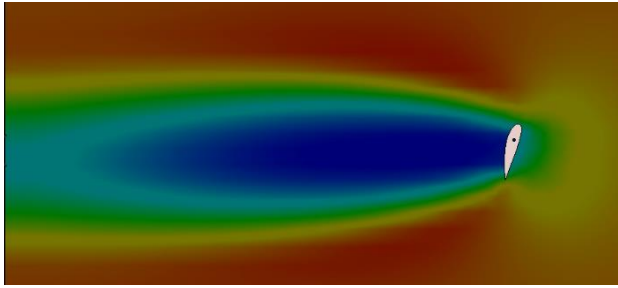
DU 99-W-405



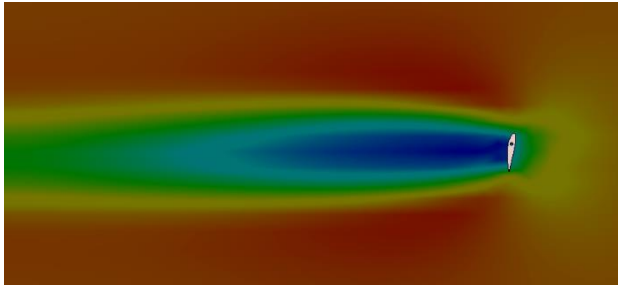
DU 99-W-350



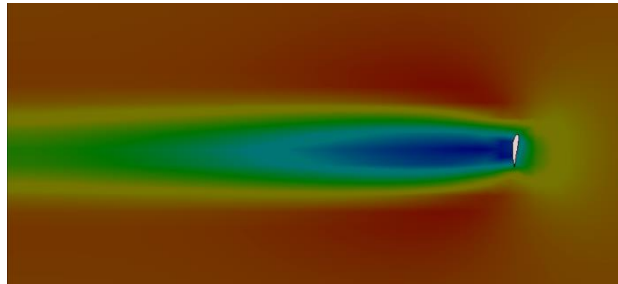
Κεφάλαιο 3°



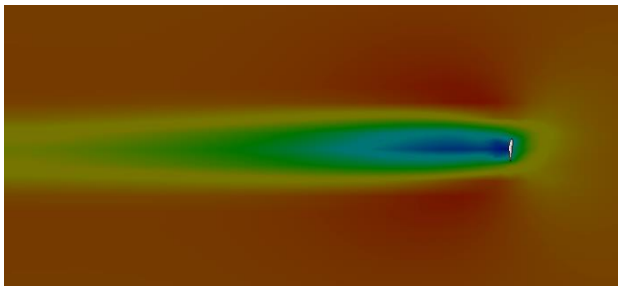
DU 97-W-300



DU 91-W1-250



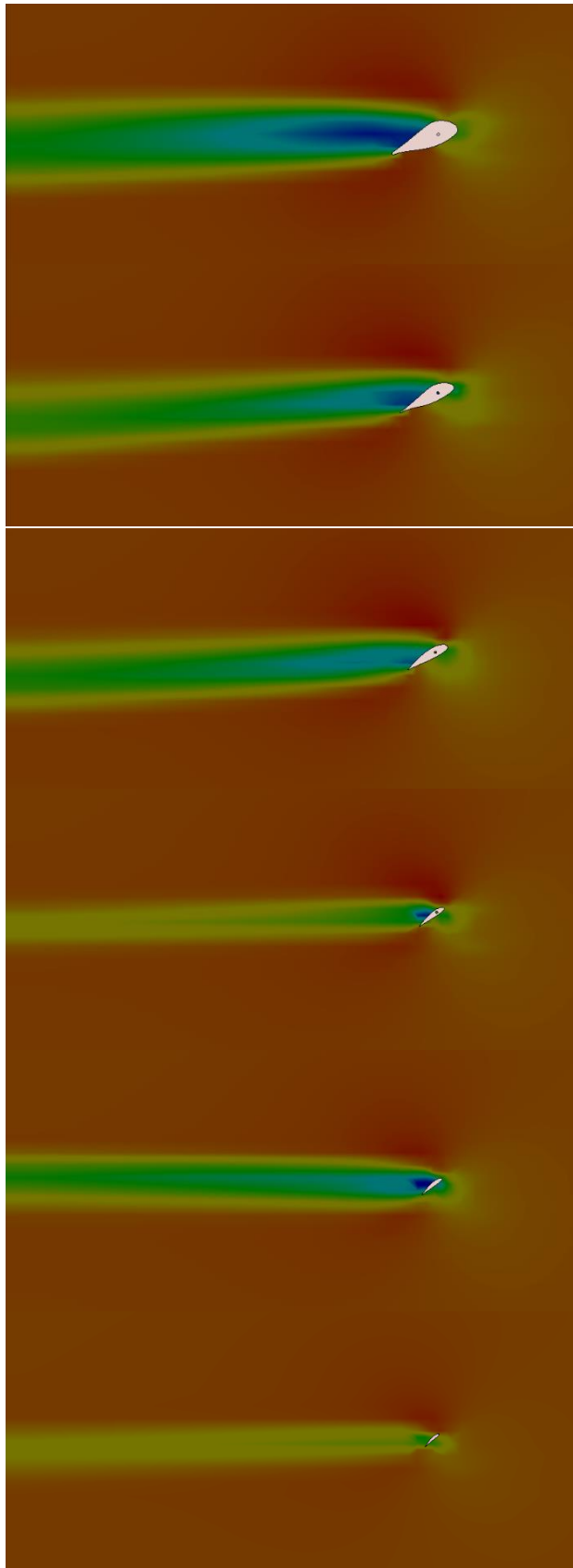
DU 93-W-210



NACA 64-618

Πτερύγια (Blades)

45 μοίρες



DU 99-W-405

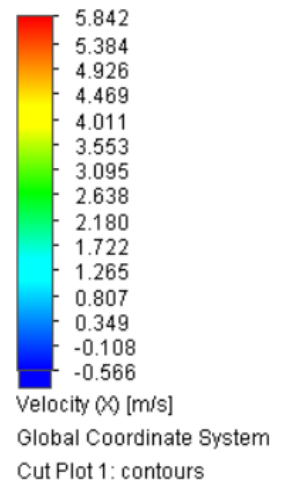
DU 99-W-350

DU 97-W-300

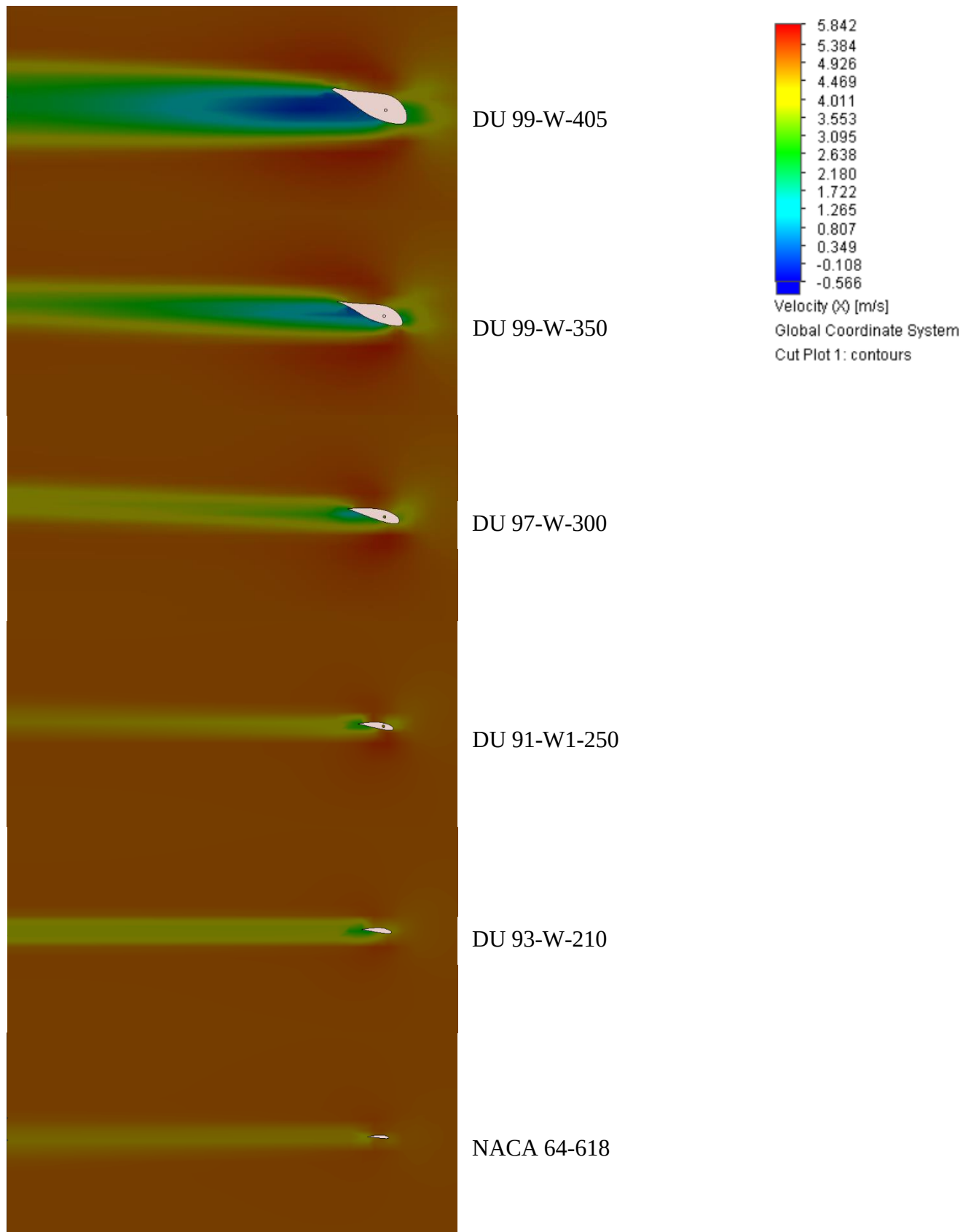
DU 91-W1-250

DU 93-W-210

NACA 64-618

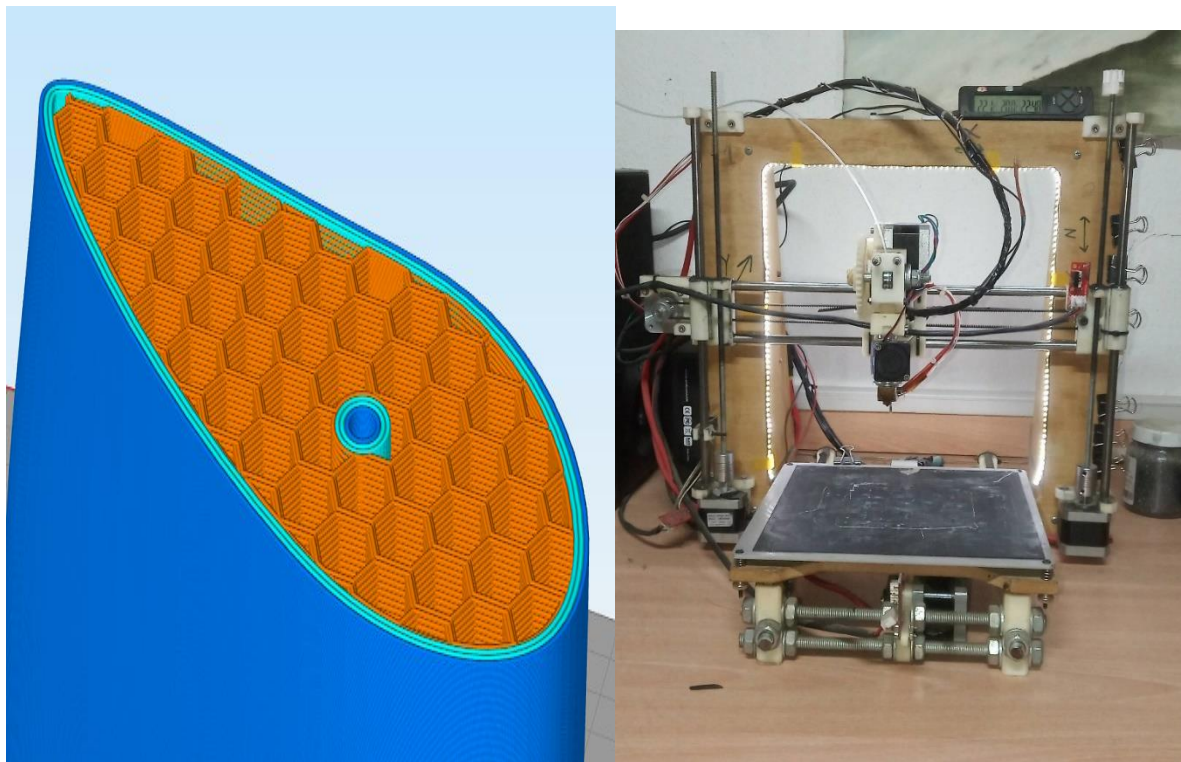


90 μοίρες



3.5 Κατασκευή των Πτερυγίων

Η κατασκευή των πτερυγίων υλοποιήθηκε με **3D Printer**. Επειδή ο εκτυπωτής αυτός μπορεί μόνο να εκτυπώσει μεγέθη 20*20*30 εκατοστά (φάρδος, πλάτος, ύψος), έπρεπε το πτερύγιο να χωριστεί σε 10 κομμάτια έως και 11 εκατοστά το καθένα. Το πρόγραμμα, το οποίο ελέγχει τον εκτυπωτή έχει πολλές επιλογές ως προς το πώς να τα εκτυπώσει. Μια επιλογή είναι και το γέμισμα του εσωτερικού των πτερυγίων, για την οποία χρησιμοποιήθηκε η Full Honeycomb και το ποσοστό γεμίσματος για το κάθε κομμάτι πτερυγίου είναι διαφορετικό επειδή θέλουμε όλα τα κομμάτια να έχουν ένα συγκεκριμένο βάρος, ώστε να πέτυχουμε το κέντρο βάρους περίπου στο 1/3 του πτερυγίου. Επειδή, Όμως, από παράλειψη δεν υπολογίστηκε ότι θα μπει και η ντίζα μέσα στο πτερύγιο, το κέντρο βάρους του βγήκε στα 21.08 εκατοστά από την αρχή του πτερυγίου αντί στα 34.8 εκατοστά που θα έπρεπε κανονικά. Το κέντρο βάρους υπολογίστηκε από το πρόγραμμα Solidworks με την χρήση Evaluate Mass.

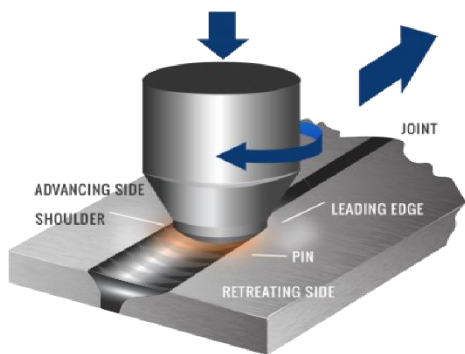


Σχ. 3.13 Αριστερά το σχέδιο εκτύπωσης κομματιού, Δεξιά ο 3D εκτυπωτής

Κεφάλαιο 3^ο

Οι εκτυπώσεις για τα πτερύγια διήρκησαν έξι ημέρες περίπου.

Αφού εκτυπώθηκαν όλα τα κομμάτια που αποτελούν το πτερύγιο, με τη βοήθεια της τρύπας που σχεδιάστηκε στη μέση του πτερυγίου και της ντίζας, τα κομμάτια ενώθηκαν και κολλήθηκαν με τη μέθοδο της τριβής (βλ. Σχ. 3.13). Το τελευταίο κομμάτι της άκρης του πτερυγίου, δηλαδή η τελευταία αεροτομή DU 93-W-210 μέχρι την οποία έφτανε η ντίζα, κολλήθηκε καλά σε εκείνο το σημείο, ώστε στο πρώτο κομμάτι (Root) του πτερυγίου που προεξείχε εκεί η ντίζα να βιδωθεί ένα παξιμάδι με το βίδωμα του οποίου καταφέραμε να συμπιεστούν όλα τα κομμάτια που αποτελούν το πτερύγιο, από το πρώτο μέχρι και το τελευταίο. Έτσι δημιουργούμε ένα πτερύγιο το οποίο δεν λυγίζει εύκολα λόγω της συμπίεσης που δημιουργήσαμε και μπορούμε άνετα να τα κολλήσουμε με την μέθοδο της τριβής. Για αυτήν την μέθοδο χρησιμοποίησα ένα πολυεργαλείο (Dremel) όπου φτάνει μέχρι 33000 rpm και τοποθετώντας πλαστικό στην άκρη της μύτης του εργαλείου καταφέρνει με τις στροφές που φτάνει να λιώνει το πλαστικό κι έτσι να ενώσει τα ενδιάμεσα κομμάτια του πτερυγίου. Έτσι δημιουργούμε ένα ενιαίο κομμάτι όπου το ποσοστό να σπάσει στην ένωση είναι υπερβολικά μικρό.

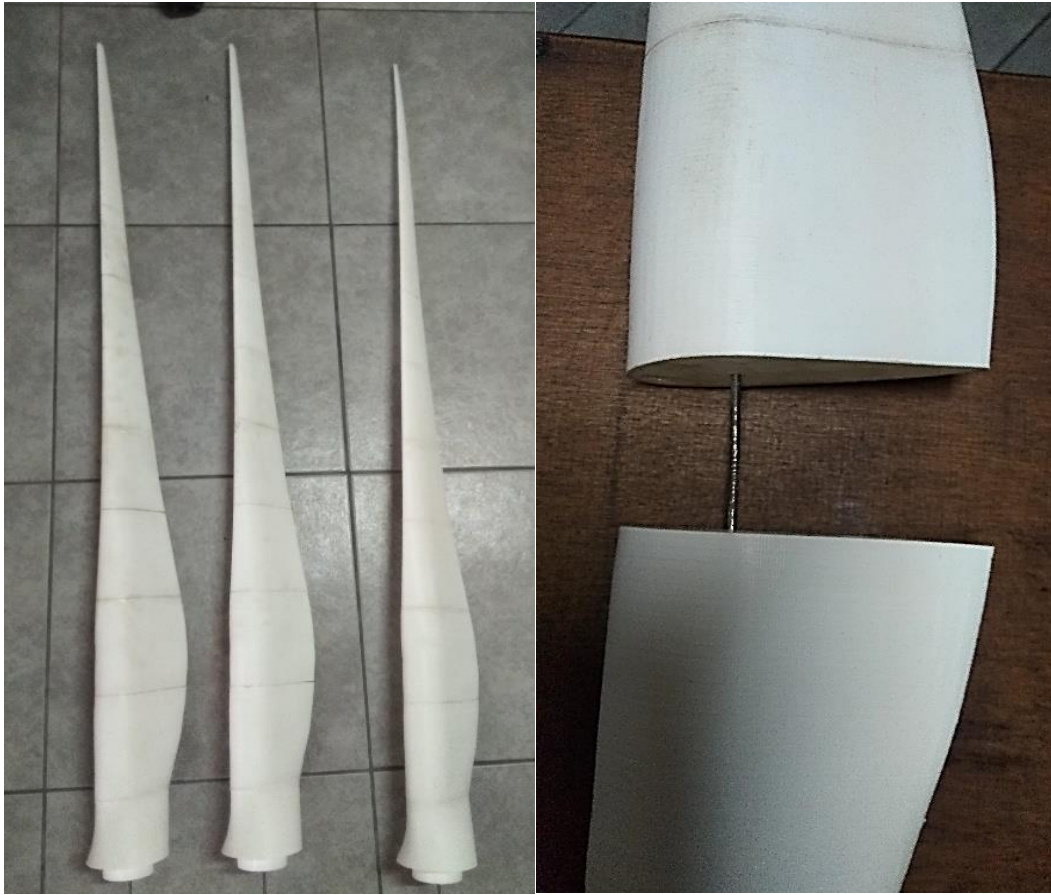


Σχ. 3.14 Αριστερά μέθοδος συγκόλλησης τριβής, Δεξιά η συγκόλληση των κομματιών

Πτερύγια (Blades)



Σχ. 3.15 3D Εκτυπωτής εκτυπώνει κομμάτια από το πτερύγιο



Σχ. 3.16 Αριστερά τα πτερύγια ολοκληρωμένα, δεξιά η βοηθητική ντίζα

Κεφάλαιο 4^ο : Πλήμνη (Hub)

4.1 Εισαγωγή

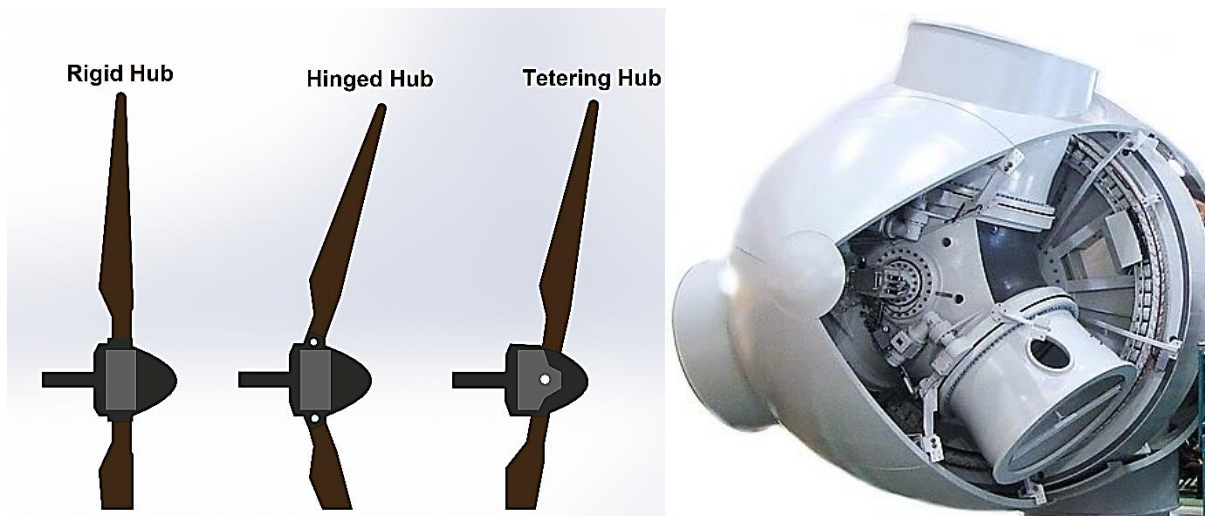
Η πλήμνη είναι ένα κομμάτι της ανεμογεννήτριας με την οποία συνδέονται τα πτερύγια στον κεντρικό άξονα. Αυτό το κομμάτι της ανεμογεννήτριας δέχεται το μεγαλύτερο φορτίο λόγω του βάρους και της δύναμης που ασκούνται στα πτερύγια, γι' αυτό και η δομή κατασκευής της είναι τέτοια, ώστε να υπάρχουν διάφορα σχέδια για την κατασκευή της. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι κατασκευής, η Άκαμπτη Πλήμνη, η Ταλαντευόμενη Πλήμνη και η Αρθρωτή Πλήμνη.

Μια άκαμπτη πλήμνη έχει σχεδιαστεί για να διατηρεί όλα τα κύρια μέρη σε σταθερή θέση σε σχέση με τον κύριο άξονα. Ο όρος άκαμπτη πλήμνη δεν αποκλείει τις πλήμνες στις οποίες η κλίση του πτερυγίου μπορεί να ποικίλει, αλλά κάθε άλλη κίνηση ου πτερυγίου δεν επιτρέπεται. Μια άκαμπτη πλήμνη πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτική ώστε να αντέχει όλα τα φορτία που μπορεί να προκύψουν από τυχόν αεροδυναμικά φορτία στα πτερύγια καθώς και δυναμικά επαγόμενα φορτία, όπως αυτά που οφείλονται στην περιστροφή και την εκτροπή.

Οι ταλαντευόμενες πλήμνες χρησιμοποιούνται σε σχεδόν όλες τις ανεμογεννήτριες με δύο πτερύγια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η πλήμνη μπορεί να μειώσει τα φορτία λόγω αεροδυναμικών ανισοροπιών ή φορτίων λόγω δυναμικών επιδράσεων από την περιστροφή της πτερωτής ή την στροφή της ανεμογεννήτριας. Οι ταλαντευόμενες πλήμνες είναι πολύ πιο πολύπλοκες από ό,τι οι άκαμπτες πλήμνες. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, η πλήμνη θα μετακινείται μόνο μερικές μοίρες προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Κατά τη διάρκεια υψηλών ανέμων, απότομο ξεκίνημα και σταμάτημα ή υψηλοί ρυθμοί εκτροπής μπορεί να προκύψουν μεγαλύτερες ταλαντώσεις. Για να αποφευχθεί η ζημιά κάτω από αυτές τις συνθήκες, τοποθετούνται εμπόδια στην αρχή του πτερυγίου για να περιορίζουν τις κινήσεις αυτές.

Μια αρθρωτή πλήμνη είναι κατά κάποιον τρόπο μια διασταύρωση της ταλαντευόμενης και της άκαμπτης πλήμνης. Είναι βασικά μια άκαμπτη πλήμνη με «μεντεσέδες» στα πτερύγια. Ωστόσο, οι ταλαντευόμενες πλήμνες έχουν κάποια πολυπλοκότητα. Οι ταλαντευόμενες πλήμνες έχουν το πλεονέκτημα ότι τα δύο πτερύγια έχουν την τάση να ισορροπούν το ένα με το άλλο, οπότε η έλλειψη φυγοκεντρικής ακαμψίας κατά τη λειτουργία χαμηλών στροφών δεν αποτελεί μεγάλο πρόβλημα. Δεν υπάρχει όμως τέτοιο αντιστάθμισμα σε πτερύγια όπου συγκρατούνται με μεντεσέδες, οπότε πρέπει να προβλεφθεί κάποιος μηχανισμός για να διατηρηθούν τα πτερύγια κατά την πτώση κατά τη διάρκεια χαμηλής περιστροφικής ταχύτητας

Ο τύπος της πλήμνης που κατασκευάστηκε στο μοντέλο αυτό, είναι μια άκαμπτη πλήμνη με κυκλικό μηχανισμό ελέγχου (*Cyclic pitch control*).



Σχ. 4.1 Αριστερά οι τύποι Πλήμνης, δεξιά το εσωτερικό της Πλήμνης

4.1.1 Σύνδεση Πτερυγίων στην Πλήμνη

Η ποιότητα και το βάρος των πτερυγίων της πτερωτής καθορίζεται ουσιαστικά από την σχεδίαση της σύνδεσης πτερυγίων με την πλήμνη. Η σχεδίαση της σύνδεσης των πτερυγίων με την πλήμνη είναι μία από τις πιο απαιτητικές μελέτες στη διαδικασία σχεδιασμού του πτερυγίου. Η μεταφορά δυνάμεων από πολυεστέρα σε μεταλλικά υλικά είναι δύσκολη, λόγω των διαφορετικών ιδιοτήτων του κάθε υλικού. Ένα άλλο πρόβλημα με τις ανεμογεννήτριες είναι ότι οι δυνάμεις της πτερωτής είναι συγκεντρωμένες στην αρχή του πτερυγίου και την πλήμνη και ταυτόχρονα, ο δρομέας υπόκειται σε εξαιρετικά υψηλά φορτία.

Τα πτερύγια του δρομέα εμφανίζουν τις ακόλουθες βασικές έννοιες για το σχεδιασμό της σύνδεσης πτερυγίου στην πλήμνη:

Σύνδεση με ατσάλινη φλάντζα

Σε παλαιότερα πτερύγια κατασκευασμένα από πολυεστερικό καλούπι, ήταν συνηθισμένες οι διπλές ατσάλινες φλάντζες. Η αρχή του πτερυγίου σφίγγεται με μια εσωτερική και μια εξωτερική φλάντζα και οι φλάντζες αυτές βιδώνονται μαζί. Η σύνδεση με την πλήμνη του δρομέα γίνεται μέσω εξωτερικού δακτυλίου φλάντζας με βίδες υψηλής αντοχής. Οι φλάντζες αυτού του σχεδιασμού συχνά αποτελούν το ένα τρίτο του συνολικού βάρους του πτερυγίου. Το ποσοστό της μεταποίησης κόστους του πτερυγίου είναι αντίστοιχα υψηλό.

Σύνδεση Cross-Bolt

Η εισαγωγή της λεγόμενης σύνδεσης Cross-Bolt σε πτερύγια ήταν ένα αποφασιστικό βήμα για τη μείωση του βάρους του πτερυγίου στον δρομέα, αλλά και τη μείωση του κόστους κατασκευής.

Αυτός ο σχεδιασμός υπήρξε κοινή πρακτική σε δρομείς ελικοπτέρων για μεγάλο χρονικό διάστημα. Αυτό το σχέδιο έχει εισαχθεί στην εμπορική παραγωγή πτερυγίων, με προϋπόθεση τη χρήση σύνθετου υλικού

Πλήμνη (Hub)

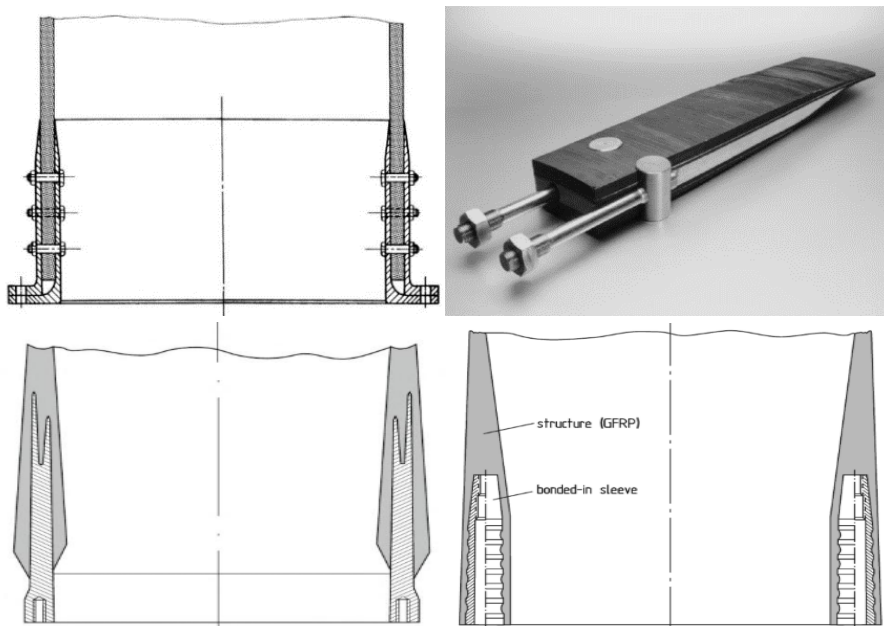
εποξειδική ρητίνη, διότι ο πολυεστέρας είναι επιρρεπής σε πλαστική παραμόρφωση όταν ένα μεγάλο φορτίο συγκεντρώνεται σε ένα σημείο. Ένας γνωστός κατασκευαστής επίπλων της Σκανδιναβίας χρησιμοποιεί μια παρόμοια διαδικασία σύνδεσης για τα φθηνά αυτοσυναρμολογούμενα έπιπλα, γι' αυτό η τεχνική αυτή σύνδεσης είναι γνωστή και ως "IKEA Joint".

Σύνδεση με ελαφριές φλάντζες ή θήκες

Μια εναλλακτική λύση για τη σύνδεση με σταυροειδή μπουλόνια είναι η σύνδεση πτερυγίου με συνδεδεμένες φλάντζες αλουμινίου που αναπτύχθηκαν αρχικά από την Vestas. Τα πτερύγια του στροφέα των μεγαλύτερων στροβίλων Vestas έχουν εξαιρετικά ελαφριές φλάντζες πτερυγίων κατασκευασμένες από αλουμίνιο υψηλής αντοχής, οι οποίες είναι συνδεδεμένες στην δομή ρίζας του πτερυγίου. Στα πτερύγια στροφέου του Vestas V-39, με διάμετρο δρομέα 39 m, η φλάντζα ζυγίζει λιγότερο από 50 kg. Το συνολικό βάρος του πτερυγίου του δρομέα είναι περίπου 1100 kg. Μία άλλη παραλλαγή είναι η σύνδεση λεπίδας που αναπτύσσεται από την LM, η οποία έχει συνδεδεμένα μεταλλικές θήκες μέσα στα οποία βιδώνονται οι βίδες στερέωσης. Παρόμοια με τις σύνδεση με φλάντζες είναι διαμορφωμένη η επιφάνεια των θήκων κατά τέτοιο τρόπο ώστε να υπάρχει μια συγκεκριμένη σύνδεση.

Σύνδεση με βαρέων τύπου βίδες

Η απλούστερη λύση από την άποψη του σχεδιασμού, η οποία εξοικονομεί βάρος, είναι η σύνδεση των συνδετικών μπουλονιών κατευθείαν στη δομή της ρίζας του πτερυγίου, χωρίς περαιτέρω τοποθέτηση όπως το Cross-Bolt. Ωστόσο, αυτό το είδος κατασκευής θεωρείται να είναι επικίνδυνο. Μπορεί να γίνει βελτίωση αυτού του σχεδιασμού στο μέλλον, έτσι ώστε, να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη μαζική παραγωγή.



Σχ. 4.2 Από αριστερά προς δεξιά. Σύνδεση με ατσάλινη φλάντζα, Σύνδεση Cross-Bolt, Σύνδεση με ελαφριές φλάντζες ή θήκες, Σύνδεση με βαρέων τύπου βίδες

4.1.2 Περιεχόμενα της Πλήμνης

Μια πλήμνη, η οποία περιέχει μηχανισμό με τον οποίο ελέγχει την γωνία κλίσης των πτερυγίων αποτελείται από πολλά μηχανικά και ηλεκτρικά μέρη. Τα μηχανικά μέρη είναι, ηλεκτρικά ή υδραυλικά μοτέρ, με τα οποία παρέχει τη δύναμη για να στρέφει τα πτερύγια, αξονικά ρουλεμάν για την ελεύθερη κίνηση των πτερυγίων και τη μείωση της τριβής στη βάση τους, τροφοδοτικό σύστημα για τα ηλεκτρικά κυκλώματα και συστήματα, σύστημα ψύξης για τα μοτέρ λόγω του ότι δεν σταματούν ποτέ να είναι σε λειτουργία, σύστημα εκτάκτου ελέγχου γωνίας κλίσης, ηλεκτρικά κυκλώματα που βοηθούν στον εντοπισμό ταρακουνήσεων και σύστημα με το οποίο ελέγχει τη θερμοκρασία των πτερυγίων μέσω θερμικών αντιστάσεων.



Σχ. 4.3 Εσωτερικά υλικά μιας πλήμνης

Κάποια από τα βασικά μέρη της πλήμνης είναι :

Rotor blade bearings (αξονικά ρουλεμάν πτερυγίων)

Προϋπόθεση για να υπάρχει κλίση στα πτερύγια είναι η δυνατότητα των πτερυγίων να περιστρέφονται γύρω από τον άξονα τους. Αν και η απαραίτητη γωνία αλλά και οι ταχύτητες περιστροφής είναι σχετικά μικρές, τα πτερύγια υποστηρίζονται σχεδόν ολοκληρωτικά από το κυλινδρικό ρουλεμάν στην αρχή τους.

Πλήμνη (Hub)

Blade pitching drive (Μοτέρ ελέγχου γωνίας κλίσης)

Ο σχεδιασμός του μηχανισμού ελέγχου κλίσης εξαρτάται από την επιλογή του οδηγού κίνησης. Οι υδραυλικοί κινητήρες εξακολουθούν να είναι στην πλειοψηφία τους σε παλαιότερες ανεμογεννήτριες αλλά μια εναλλακτική λύση είναι οι ηλεκτροκινητήρες και αυτοί βρίσκονται όλο και περισσότερο σε πιο πρόσφατες ανεμογεννήτριες λόγω των διευρυμένων δυνατοτήτων ελέγχου, της ακρίβειας των νεότερων ηλεκτρονικών ελεγχόμενων κινητήρων ελέγχου γωνίας κλίσης και της αποφυγής των προβλημάτων διαρροής που υφίστανται οι υδραυλικές μονάδες.

Actuator elements (στοιχεία ενεργοποιητών)

Ο σχεδιασμός των στοιχείων ενεργοποίησης εξαρτάται από τις επιλεγμένες μονάδες οδήγησης αλλά και από τη διάταξη της κίνησης του βήματος του πτερυγίου στο χώρο της πλήμνης ή της ατράκτου. Οι υδραυλικοί ενεργοποιητές που ελέγχουν άμεσα τα πτερύγια είναι η απλούστερη λύση, αν είναι ταυτόχρονα μονάδες κίνησης και στοιχεία ενεργοποίησης. Εάν χρησιμοποιηθεί ένας κινητήρας εκτός από το να λειτουργεί σαν ένας ενεργοποιητής, θα πρέπει, για την κίνηση των πτερυγίων να συνοδεύεται και από έναν μηχανισμό, όπως άξονες ανύψωσης, γρανάζια ή άλλον μηχανισμό με τον οποίο να εκτελεί την κίνηση των πτερυγίων



Σχ. 4.4 Από Αριστερά προς τα δεξιά, το ρουλεμάν του πτερυγίου, το μοτέρ περιστροφής, υδραυλικός ενεργοποιητής

Power supply (τροφοδοτικό σύστημα)

Ο οδηγός ελέγχου γωνίας κλίσης πρέπει να τροφοδοτείται με ρεύμα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, το σύστημα τροφοδοσίας βρίσκεται μέσα στην άτρακτο. Στην περίπτωση όπου ο μηχανισμός κίνησης των πτερυγίων είναι με ηλεκτροκινητήρες και ηλεκτροκίνητους ενεργοποιητές, το σύστημα τροφοδοσίας πρέπει να περιέχεται μέσα στην πλήμνη, το οποίο πρέπει με έναν τρόπο να τροφοδοτείται με ρεύμα από την άτρακτο. Ο τρόπος παροχής τροφοδοσίας από την άτρακτο στην πλήμνη γίνεται μέσω των περιστρεφόμενων συνδέσμων (Slip-Rings), ενώ τα υδραυλικά χρειάζονται έναν περιστρεφόμενο υδραυλικό σύνδεσμο για την παροχή τους.

Emergency blade pitching system (σύστημα εκτάκτου ελέγχου γωνίας κλίσης)

Οι ανεμογεννήτριες με σύστημα ελέγχου γωνίας κλίσης, μπορούν να σταματήσουν την ταχύτητα περιστροφής της πλήμνης με το να περιστρέψουν τα πτερύγια στο σημείο Stall. Αν η ανεμογεννήτρια χάσει απότομα την τροφοδοσία της, για παράδειγμα η γεννήτρια βγει εκτός συγχρονισμού, το σύστημα ελέγχου για την γωνία κλίσης πρέπει να στρέψει τα πτερύγια στο σημείο stall πολύ γρήγορα για αποφυγή τυχόν καταστροφής λόγω των υψηλών ταχυτήτων ανέμου και στροφών. Έτσι, οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν ένα πρόσθετο σύστημα κίνησης έκτακτης ανάγκης για τον έλεγχο που λειτουργεί ανεξάρτητα από το κανονικό σύστημα.



Σχ. 4.5 Τροφοδοτικό και σύστημα εκτάκτου ελέγχου γωνίας κλίσης

4.1.3 Τρόπος λειτουργίας και Έλεγχος Γωνίας Κλίσης

Η πλήμνη αποτελεί το πρώτο στοιχείο της μηχανικής κίνησης και συνδέεται στενά με αυτή ως προς τη δομή και τη λειτουργία. Σε ανεμογεννήτριες με ελεγχόμενη γωνία κλίσης, η πλήμνη περιλαμβάνει τους μηχανισμούς ελέγχου γωνίας κλίσης των πτερυγίων και σε ανεμογεννήτριες με δύο πτερύγια περιλαμβάνει συχνά έναν γάντζο ή ένα μηχανισμό ταλάντωσης για να αντισταθμίζονται οι πιέσεις που δέχεται. Γι' αυτό το λόγο αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα και ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του τεχνικού σχεδιασμού της ανεμογεννήτριας.

Η πλήμνη, επειδή είναι ένα από τα εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας που δέχεται την περισσότερη πίεση, καθώς όλες οι δυνάμεις του δρομέα συγκεντρώνονται σχεδόν σε ένα σημείο πάνω σε αυτήν, τα υλικά από τα οποία κατασκευάζεται θα πρέπει να επιλέγονται προσεκτικά, ώστε να είναι ανθεκτικά ως προς τις πιέσεις που δέχεται καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Αυτό προϋποθέτει εξαιρετικά λεπτομερή μελέτη για τους υπολογισμούς των δυνάμεων και των διαστάσεων προκειμένου να αποφευχθούν πιέσεις συγκεντρωμένες μόνο σε ένα σημείο της πλήμνης. Υπάρχουν τρεις πιθανές λύσεις σχετικά με την επιλογή των υλικών για το σχεδιασμό και την κατασκευή, το συγκολλημένο φύλλο χάλυβα, ο χυτός χάλυβας και ο σφυρήλατος χάλυβας με τον χυτοχάλυβα το πλέον αποδεκτό υλικό κατασκευής πλήμνης.

Ένα από τα πλεονεκτήματα των συγκολλημένων σχεδίων είναι ότι μπορούν να παραχθούν με μικρό κόστος, γι' αυτό και προτιμώνται για την παραγωγή μικρών ποσοτήτων. Το μειονέκτημά τους, όμως, είναι ότι οι συγκολλήσεις πρέπει να ελέγχονται ιδιαίτερα προσεκτικά και για λόγους ασφαλείας οι τιμές πίεσης που δέχονται πρέπει να είναι πολύ χαμηλές. Κατά συνέπεια, το βάρος και το κόστος μαζικής παραγωγής τους είναι υψηλό και γι' αυτό οι συγκολλημένες πλήμνες βρίσκονται πλέον μόνο σε μικρές, παλαιότερες ανεμογεννήτριες.

Οι πλήμνες από σφυρήλατο χάλυβα έχουν τις υψηλότερες παραμέτρους αντοχής και από αυτήν την άποψη αποτελούν την ιδανική λύση, καθώς κατά τη διαδικασία σφυρηλασίας το υλικό συμπιέζεται και ενισχύεται αλλά και τεντώνεται προς την κατεύθυνση της πίεσης που ασκείται. Αυτά τα πλεονεκτήματα, ωστόσο, αντισταθμίζονται από το υψηλό κόστος.

Το υλικό που προτιμάται είναι ο χυτοχάλυβας, ο οποίος χρησιμοποιείται για εξαρτήματα υψηλής πίεσης όπως οι τροχοί στροβίλων σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς, και έτσι αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται στην κατασκευή ανεμογεννητριών. Η τεχνολογία χύτευσης αυτών των εξαρτημάτων είναι πιο απαιτητική από ό, τι για τα συνήθη προϊόντα χύτευσης. Διάφορα χυτήρια έχουν εξειδικευτεί σε αυτή την τεχνολογία και παρέχουν υψηλής ποιότητας πλήμνες και όλο και περισσότερα άλλα εξαρτήματα για ανεμογεννήτριες.

Οι πλήμνες από χυτό χάλυβα μπορούν να διαμορφωθούν με απαλά περιγράμματα σύμφωνα με τις πιέσεις που δέχονται, έτσι πιέσεις συγκεντρωμένες σε ένα σημείο αποφεύγονται. Το κόστος για τα απαραίτητα καλούπια χύτευσης είναι, φυσικά, μειονέκτημα, το οποίο όμως μπορεί να δικαιολογηθεί εάν παράγονται μεγάλες ποσότητες.

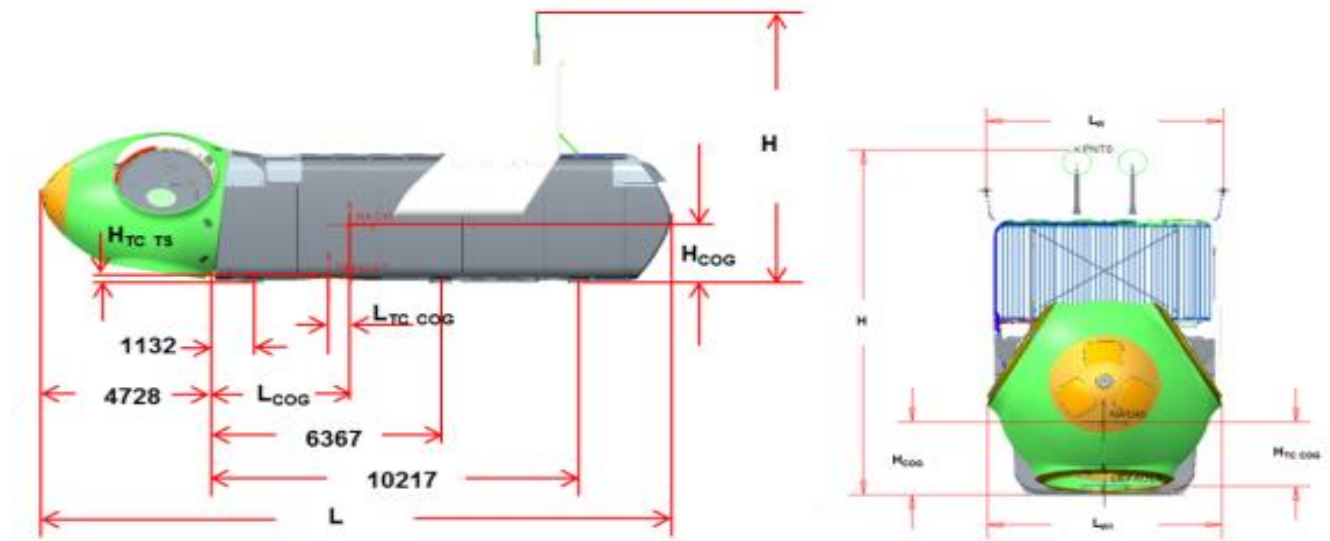
Οι μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες διαθέτουν πλήμνες εφοδιασμένες με έλεγχο γωνίας κλίσης και ο μηχανισμός που απαιτείται γι' αυτό πρέπει να εκπληρώνει δύο λειτουργίες. Η κύρια λειτουργία είναι να ρυθμίζει τη γωνία κλίσης της κλίσης του πτερυγίου για τον έλεγχο της ισχύος και της ταχύτητας του δρομέα.

Το εύρος της κλίσης που είναι αποδεκτό για το σκοπό αυτό είναι 20 έως 25 μοίρες. Η δεύτερη λειτουργία που παίζει σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό του μηχανισμού γωνίας κλίσης είναι να εξομαλύνει τις μεταβολές στις πιέσεις και στη ροπή στρέψης. Για να φρενάρει ο δρομέας αεροδυναμικά, πρέπει να είναι δυνατή η ανύψωση των πτερυγίων της πλήμνης στη θέση Stall. Αυτό αυξάνει το εύρος κλίσης σε περίπου 90°.

4.2 Σχεδιασμός της Πλήμνης και των Περιεχομένων της

Στο μοντέλο που κατασκευάστηκε, τα μέρη από τα οποία αποτελείται η πλήμη του είναι, δύο αξονικά ρουλεμάν για κάθε πτερύγιο, M5 βίδες για τη σταθερότητα των πτερυγίων, άκρες ράβδου, ντίζες, και τον κεντρικό άξονα μαζί με τον δεύτερο άξονα με τον οποίο γίνεται ο έλεγχος της γωνίας.

Στην σχεδίαση της πλήμνης χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Solidworks και ως βασικό σχέδιο από την ίδια την ανεμογεννήτρια. Κατά την σχεδίαση έπρεπε να υπολογιστούν και τα εξαρτήματα όπου θα περιέχει η πλήμη όπως το κεντρικό στήριγμα της πλήμνης, το κεντρικό στήριγμα του άξονα ελέγχου γωνίας κλίσης, τα εσωτερικά αξονικά ρουλεμάν του πτερυγίου, το swash plate για την σύνδεση του άξονα ελέγχου με τα πτερύγια, οι ράβδοι με τα οποία συνοδεύονται ανάμεσα στον δίσκο ρύθμισης (swash plate) τα πτερύγια και τα End Rods. Κατά την διάρκεια της σχεδίασης έπρεπε με έναν τρόπο την φωτογραφία του αρχικού σχεδίου να το μετατρέψω σε 3D το οποίο ήταν δύσκολο προς το πώς θα το κάνω να είναι ίδιο, και με έναν τρόπο να το κάνω να είναι εύκολο προς την συναρμολόγηση και στην συντήρηση του. Ο τρόπος με τον οποίο κατέληξα ήταν να κάνω την μύτη της πλήμνης σαν καπάκι η οποία θα κουμπώνει με μαγνήτες.

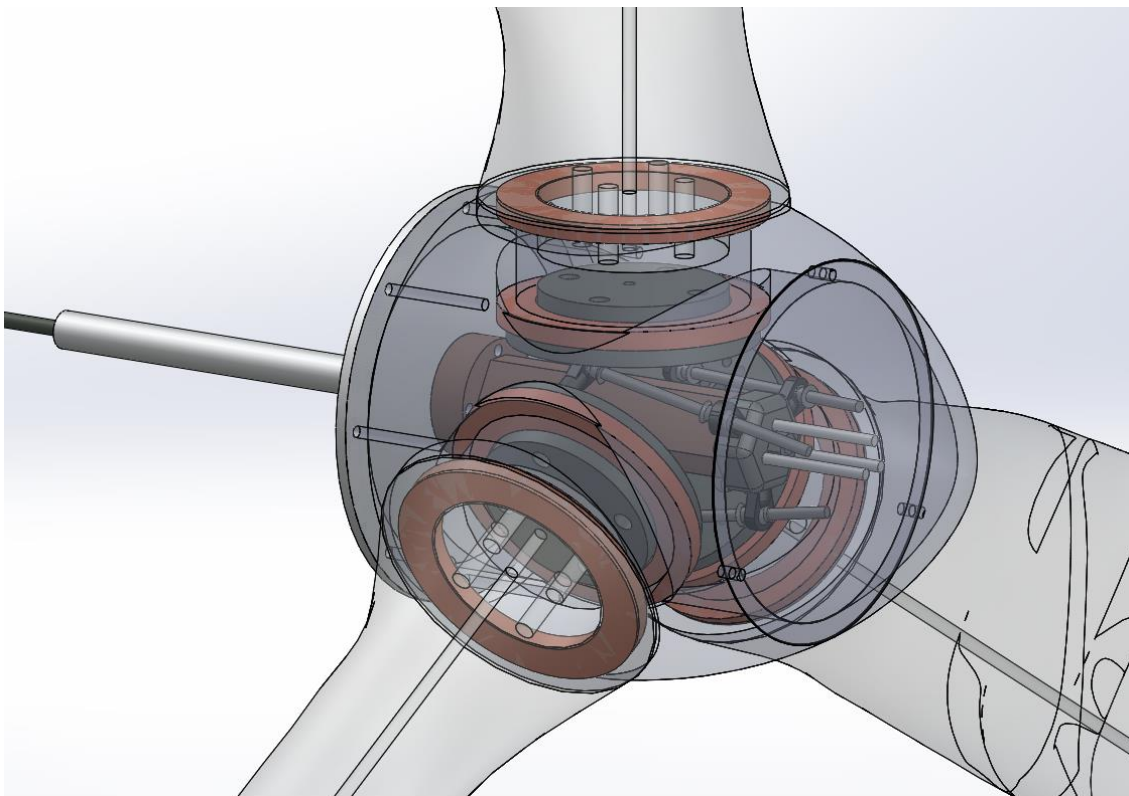


Σχ. 4.6 Σχέδιο Πλήμνης και Ατράκτου του μοντέλου V112 της εταιρίας VESTAS

Πλήμνη (Hub)



Σχ. 4.7 Εξαρτήματα που περιέχονται στο τελικό σχέδιο της Πλήμνης



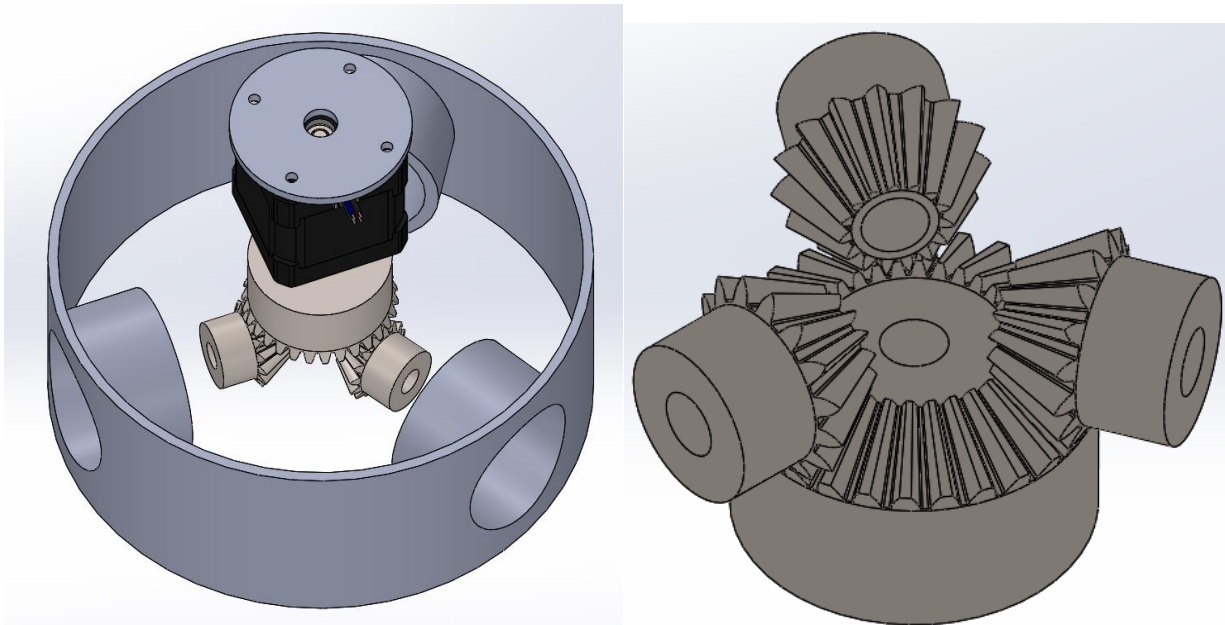
Σχ. 4.8 Συναρμολογημένη Πλήμνη με όλα τα περιεχόμενα εξαρτήματα.

4.2.1 Προβλήματα Σχεδιασμού και Λύσεις

Ο αρχικός στόχος για τον έλεγχο των πτερύγιων ήταν να ελέγχονται με γρανάζια. Δηλαδή να δουλεύουν σαν ένα διαφορικό οχημάτων. Αφού σχεδιάστηκε και λειτούργησε στο Solidworks, εκτυπώθηκαν τα γρανάζια και η πλήμνη για δοκιμή, αλλά το βηματικό μοτέρ δεν είχε την δύναμη να τα περιστρέψει. Επειδή δεν γινόταν με αυτόν τον τρόπο, σκέφτηκα να μπει σε κάθε πτερύγιο ένα βηματικό μοτέρ το οποίο θα έδινε την κλίση κατευθείαν στα πτερύγια, αλλά εξαιτίας του βάρους των πτερυγίων, μετά από κάθε διακοπή του ρεύματος, τα μοτέρ θα γυρνούσαν από μόνα τους και θα έχαναν την αρχική θέση.

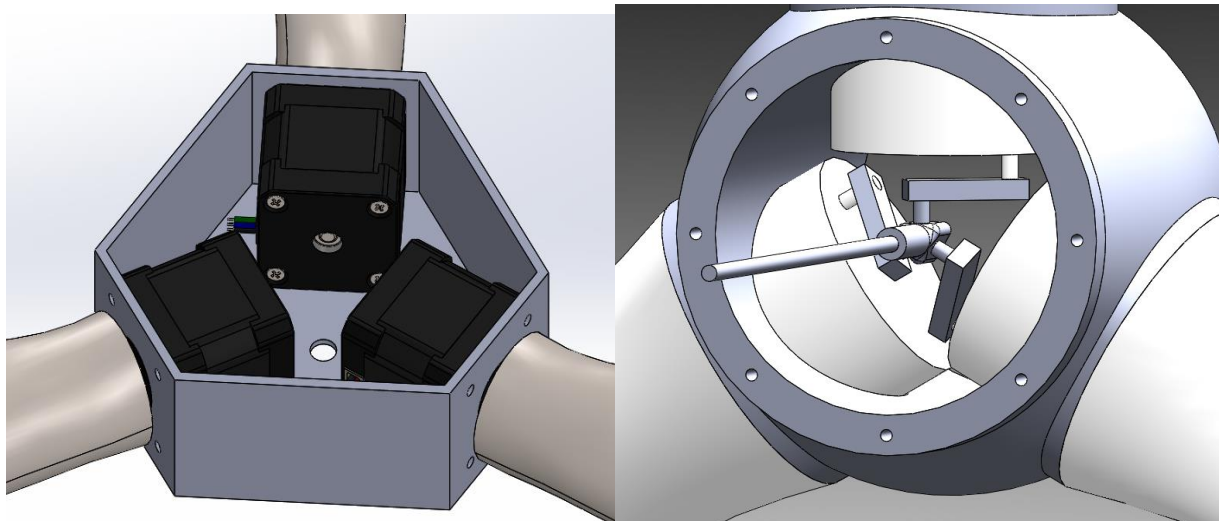
Έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος, με τον οποίο ένα μοτέρ θα μετακινούσε όλα τα πτερύγια χωρίς να ζορίζεται και να μην χάνουν την αρχική τους θέση σε τυχόν διακοπή ρεύματος.

Μετά από πολύ σκέψη κατέληξα σε έναν τρόπο, με τον οποίο τα ελικόπτερα ελέγχουν τα πτερύγια τους. Ο τρόπος αυτός λέγεται Έλεγχος κλίσης έλικων (Cyclic Control). Ο σκοπός του cyclic control είναι να αλλάζει την κλίση κάθε έλικας ξεχωριστά καθώς αυτή περιστρέφεται στο επίπεδο που ορίζεται από τη διαδρομή που ακολουθούν τα πτερύγια, αλλά επειδή αυτός ο τρόπος ελέγχει την κλίση ενός πτερυγίου σε κάθε στροφή, έπρεπε ο δίσκος ρύθμισης (Swash Plate) να είναι σταθερός. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε και ελέγχουμε την κλίση σε όλα τα πτερύγια με μια κίνηση. Για το μοτέρ, το οποίο θα έκανε αυτήν την κίνηση, σχεδίασα έναν γραμμικό ενεργοποιητή (linear actuator) με ένα βηματικό μοτέρ που είναι υπερβολικά δυνατό για την δουλειά που θα κάνει (έσπασε λόγω πίεσης).

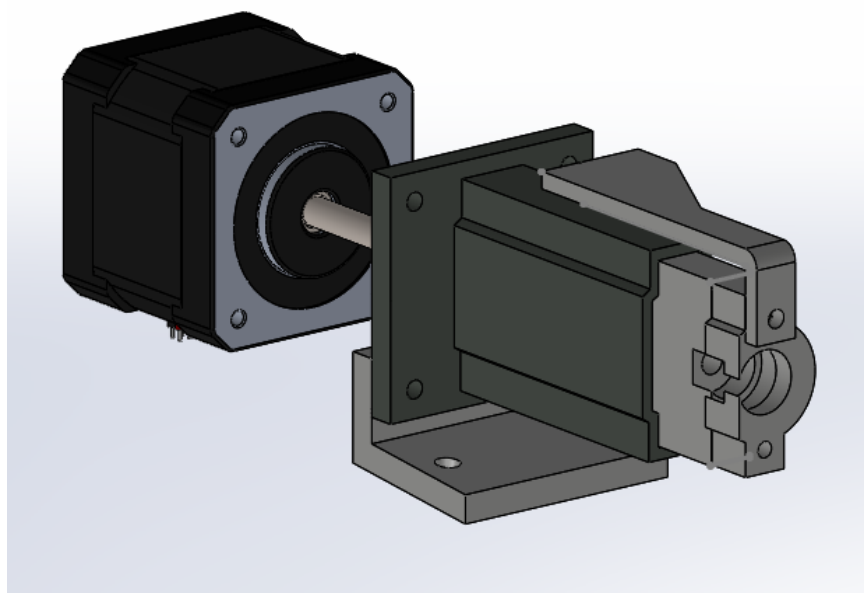


Σχ. 4.9 Αριστερά πρωτότυπο πλήμνης με κεντρικό μοτέρ, Δεξιά γρανάζια διαφορικού

Πλήμνη (Hub)



Σχ. 4.10 Αριστερά πρωτότυπο πλήμνης με βηματικά μοτέρ για κάθε πτερύγιο, Δεξιά τελική πλήμνη με πρωτότυπο Cyclic Control



Σχ. 4.11 Βηματικό μοτέρ με γραμμικό ενεργοποιητή

4.3 Κατασκευή της Πλήμνης και των Περιεχομένων της

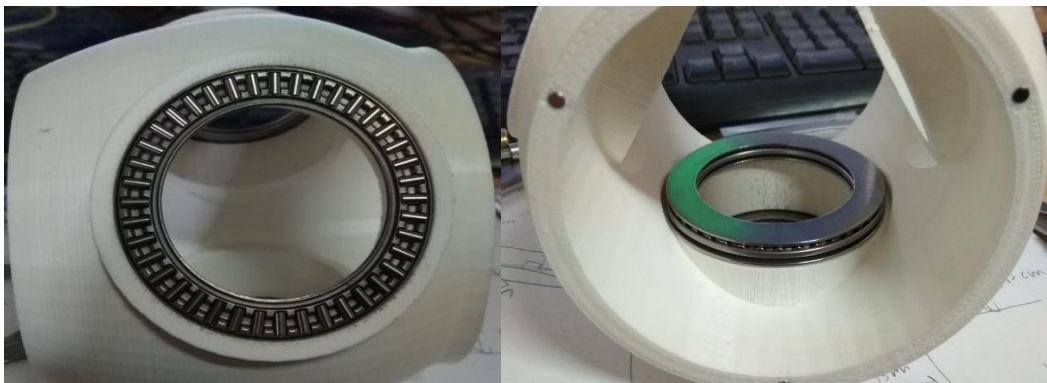
Η κατασκευή της πλήμνης διήρκησε περίπου 2 εβδομάδες λόγω του διαφορετικού τρόπου λειτουργίας. Η εκτύπωση, μόνο για την πλήμνη διήρκησε 16 ώρες και εκτυπώθηκαν 2 κομμάτια με διαφορές μεταξύ τους. Ο λόγος που εκτυπώθηκαν δυο κομμάτια ήταν επειδή σχεδιασθήκαν διαφορετικά συστήματα για τον έλεγχο των πτερυγίων. Επίσης εκτυπώθηκαν διάφορα κομμάτια για το εσωτερικό της πλήμνης για την λειτουργία της. Τα περιεχόμενα που σχεδιάστηκαν και εκτυπώθηκαν διήρκησαν τον περισσότερο χρόνο της κατασκευής της πλήμνης.

Αλλά με κάθε λάθος σχεδιαζόταν και κάτι καλύτερο μέχρι το τελικό αποτέλεσμα, το οποίο ήταν το πιο σωστό και το πιο δυνατό για τις κινήσεις και δυνάμεις που θα δεχόταν. Κατά την σχεδίαση της πλήμνης σχεδιάστηκε και ο τρόπος με τον οποίο θα εφαπτόταν με την άτρακτο μέσω της βάσης από σίδηρο. Δημιουργήθηκαν 8 τρύπες μεγάλες στην βάση της πλήμνης για να μπορεί η κεντρική βάση από σίδηρο να απορροφά το περισσότερο βάρος στο κέντρο της πλήμνης και όχι στην άκρη.

Επίσης σχεδιάστηκαν και θήκες για τα αξονικά ρουλεμάν για να μην προεξέχουν και είναι ασταθές. Με αυτόν τον τρόπο, τα ρουλεμάν στερεοποιήθηκαν και με την εφαρμογή των πτερυγίων, δεν φαίνονται όπου τα προστατεύει από σκόνες και άλλα υλικά όπου μπορούν να τα κάνουν να δυσλειτουργούν. Κατά την σχεδίαση της πλήμνης, στα σημεία όπου μπαίνουν τα πτερύγια, σχεδιάστηκε να είναι σχετικά χοντρά για να μπορεί η πλήμνη να αντέξει στα φορτία που θα ασκούνται σε αυτήν.



Σχ. 4.12 Αριστερά οι μακριές βίδες στην πλήμνη, δεξιά η εκτύπωση της πλήμνης



Σχ. 4.13 Το εξωτερικό και εσωτερικό ρουλεμάν της πλήμνης

Κεφάλαιο 5^ο : Άτρακτος (Nacelle)

5.1 Εισαγωγή

Η άτρακτος είναι το μέρος της ανεμογεννήτριας που περιλαμβάνει τα στοιχεία που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ενέργεια ώστε η γεννήτρια που περιλαμβάνεται να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η άτρακτος μπορεί να φαίνεται εντυπωσιακή από απόσταση, τοποθετημένη πάνω στο ψηλό πύργο της ανεμογεννήτριας, αλλά από κοντά καταλαβαίνει κανείς πως τα μηχανικά κομμάτια μέσα της είναι πραγματικά τεράστια. Οι άτρακτοι μπορούν να εκτείνονται σε μήκος άνω των 15 μέτρα και να ζυγίζουν έως 300 τόνους και περισσότερο ανάλογα με τον κατασκευαστή και την ισχύ.

Οι περισσότερες άτρακτοι έχουν κοινά στοιχεία μεταξύ τους, όπως είναι η πλήμνη, ο δρομέας, το κιβώτιο ταχυτήτων, η γεννήτρια, οι μετατροπείς, τα υδραυλικά και τα ρουλεμάν. Πάνω από 1.500 μικρά και μεγάλα εξαρτήματα και υποσυστήματα περιλαμβάνονται στην άτρακτο. Πριν την κατασκευή της, πρέπει να υποβληθεί σε αυστηρό κύκλο ανάπτυξης προϊόντος. Ο OEM (Original Equipment Manufacturer) θα καλύπτει όλες τις απαιτήσεις του συστήματος, του υποσυστήματος και των εξαρτημάτων (λειτουργικό, αισθητικό και κανονιστικό) και θα σχεδιάσει ώστε να επιτευχθούν αυτές οι απαιτήσεις κατά την ανάπτυξη του προϊόντος. Τα μέρη και τα κατασκευαστικά στοιχεία σχεδιάζονται, υποβάλλονται σε πρωτότυπο, δοκιμάζονται, επικυρώνονται και πιστοποιούνται σε κατάλληλο επίπεδο και το αποτέλεσμα είναι ένα μοναδικό μοντέλο ανεμογεννήτριας διαφοροποιημένο από τα άλλα στην αγορά.

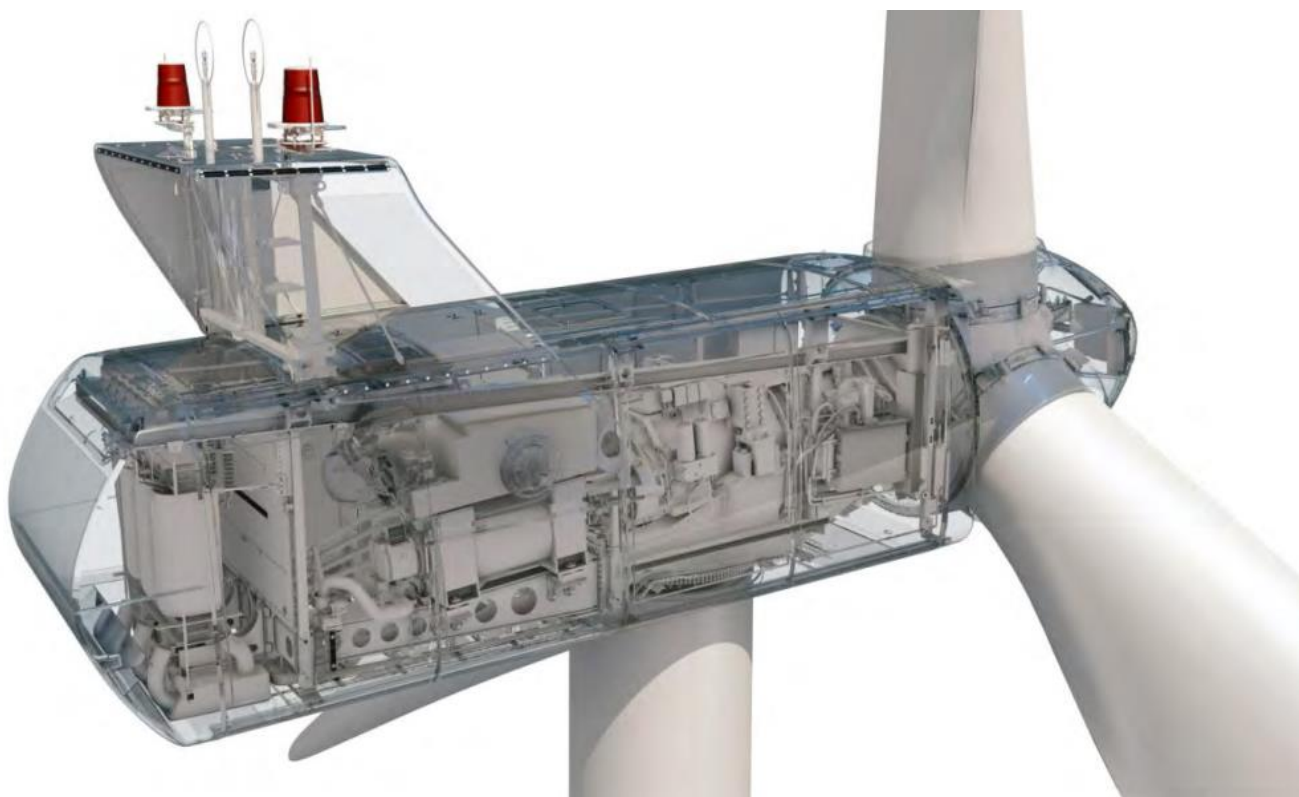
Μόλις καθοριστεί ένα μέρος της ατράκτου, ο OEM πρέπει να βρει έναν προμηθευτή και αφού γίνει αυτό συνεργάζονται για την παραγωγή του εξαρτήματος σύμφωνα με τις προδιαγραφές. Η συναρμολόγηση βασίζεται σε συμβατικές διαδικασίες παραγωγής. Ορισμένοι κατασκευαστές OEM χρησιμοποιούν μεμονωμένους σταθμούς εργασίας για να ολοκληρώσουν τα διάφορα στάδια συναρμολόγησης, ενώ άλλοι υιοθέτησαν τεχνικές κατασκευές που χρησιμοποιούν αυτοματοποιημένες κινητές γραμμές συναρμολόγησης αυτοκινήτου.

Στο τελικό στάδιο συναρμολόγησης η πλήμνη συνδέεται με το μπροστινό μέρος της ατράκτου που περιλαμβάνει το κανάλι που αποτελείται από κυλίνδρους, ρουλεμάν και ενεργοποιητές. Το σύστημα αυτό βοηθά τα πτερύγια για τη μεγιστοποίηση της αιχμαλώτισης του ανέμου, αλλά κάνει κάτι το αντίθετο, τοποθετεί τα πτερύγια στο σημείο stall για να σταματήσει αεροδυναμικά την ανεμογεννήτρια.

Οι πιο σημαντικές εσωτερικές λειτουργίες της ατράκτου βρίσκονται στο πίσω μέρος της πλήμνης. Αυτός ο εξοπλισμός περιλαμβάνει το σύστημα περιστροφής, τον κύριο άξονα, το κιβώτιο ταχυτήτων, τη γεννήτρια και τον ηλεκτρικό πίνακα ελέγχου. Αυτά τα εξαρτήματα τοποθετούνται στο δομικό πλαίσιο της ατράκτου. Το πλαίσιο αποτελείται από δύο κύρια μέρη. Το εμπρόσθιο ή κύριο πλαίσιο της ατράκτου είναι γενικά κατασκευασμένο από χυτό χάλυβα και συγκρατεί το σύστημα περιστροφής, το κιβώτιο ταχυτήτων και τον κύριο άξονα. Η γεννήτρια, ο μετασχηματιστής και τα ηλεκτρικά συστήματα στερεώνονται σε ένα οπίσθιο πλαίσιο κατασκευασμένο από μορφοποιημένο και συγκολλημένο χάλυβα. Μόλις το σύστημα περιστροφής περάσει τους ελέγχους και οι κινητήρες του είναι εγκατεστημένοι και περάσουν τους λειτουργικούς ελέγχους τους, τα δύο μισά του πλαισίου συνδέονται με βίδες και ελατήρια. Ολόκληρο το σύστημα

συνδέεται με βραχίονες στο κάτω μισό της άτρακτου. Στη συνέχεια, ο κύριος άξονας και το κιβώτιο ταχυτήτων μαζί με το σύστημα γεννήτριας τοποθετούνται στην άτρακτο χρησιμοποιώντας έναν γερανό. Ορισμένοι κατασκευαστές OEM εγκαθιστούν το μετασχηματιστή στο εσωτερικό της άτρακτου σε αυτό το σημείο συναρμολόγησης, αλλά οι περισσότεροι τον εγκαθιστούν στη βάση του πύργου.

Όταν όλα βρίσκονται στη θέση τους, η άτρακτος περνά από έναν ολοκληρωμένο τελικό έλεγχο και έπειτα οι τεχνικοί συναρμολογούν το άνω περίβλημα πολυστέρα και το τοποθετούν για να καλύψουν και να προστατεύσουν τα εξαρτήματα. Ο ποιοτικός έλεγχος στη συνέχεια δίνει στην άτρακτο τον τελικό έλεγχο. Η ολοκληρωμένη άτρακτος μεταφέρονται από το εργοστάσιο με φορτηγό ή τρένο στο αιολικό πάρκο για να τοποθετηθούν πάνω σε έναν πύργο.



Σχ. 5.1 Το εσωτερικό της άτρακτου

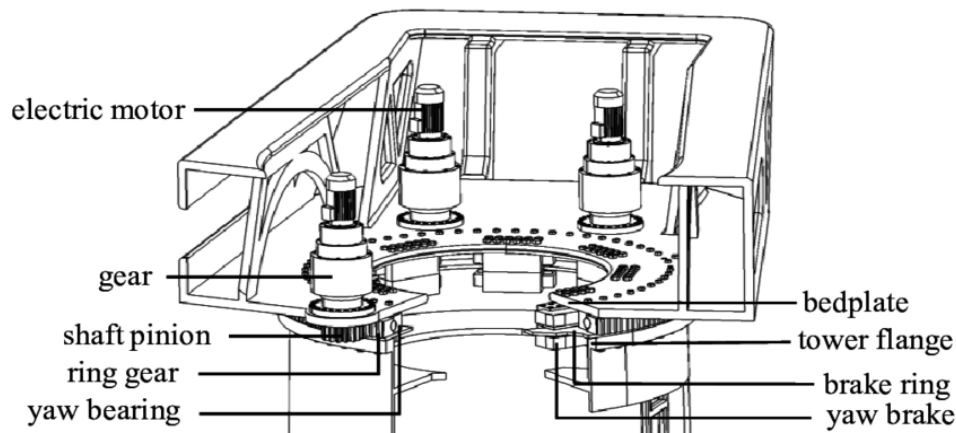
5.1.1 Μοτέρ Περιστροφής

Ο προσανατολισμός του δρομέα στον άνεμο αποτελούσε ένα περίπλοκο θέμα ήδη από παλιά με τους ιστορικούς ανεμόμυλους. Οι πρώτοι ανεμόμυλοι που μπορούσαν να περιστρέφονται προς τον άνεμο εμφανίστηκαν στα μέσα του 18ου αιώνα. Οι περιστρεφόμενες άτρακτοί τους τοποθετήθηκαν στην κύρια δομή του ανεμόμυλου και χρησιμοποιούσαν πρωτόγονα ξύλινα ρουλεμάν και η ολίσθηση τους γινόταν με λιπαντικά από ζωικό λίπος. Η απαραίτητη ροπή στρέψης δημιουργούνταν με τη βοήθεια ζώων, ανθρώπων αλλά και με την αιολική ενέργεια μέσω ενός βοηθητικού στροφέα.

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (VAWT) δεν χρειάζονται σύστημα περιστροφής, καθώς οι κάθετοι δρομείς τους μπορούν να στρέφονται προς τον άνεμο από οποιαδήποτε κατεύθυνση και μόνο η περιστροφή τους δίνει στα πτερύγια την κατεύθυνση της ροής του αέρα. Ωστόσο, οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα πρέπει να προσανατολίσουν τους δρομείς τους προς και από τον άνεμο και αυτό επιτυγχάνεται μέσω παθητικών ή ενεργών συστημάτων περιστροφής. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα χρησιμοποιούν κάποιο σύστημα περιστροφής που μπορεί να είναι παθητικό ή ενεργό. Και τα δύο συστήματα έχουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και δοκιμάζονται διάφορες λύσεις σχεδίασης προκειμένου να βρεθεί ο βέλτιστος σχεδιασμός για κάθε ανεμογεννήτρια ανάλογα με το μέγεθος, το κόστος και το σκοπό της λειτουργίας.

Ενεργά Συστήματα Περιστροφής

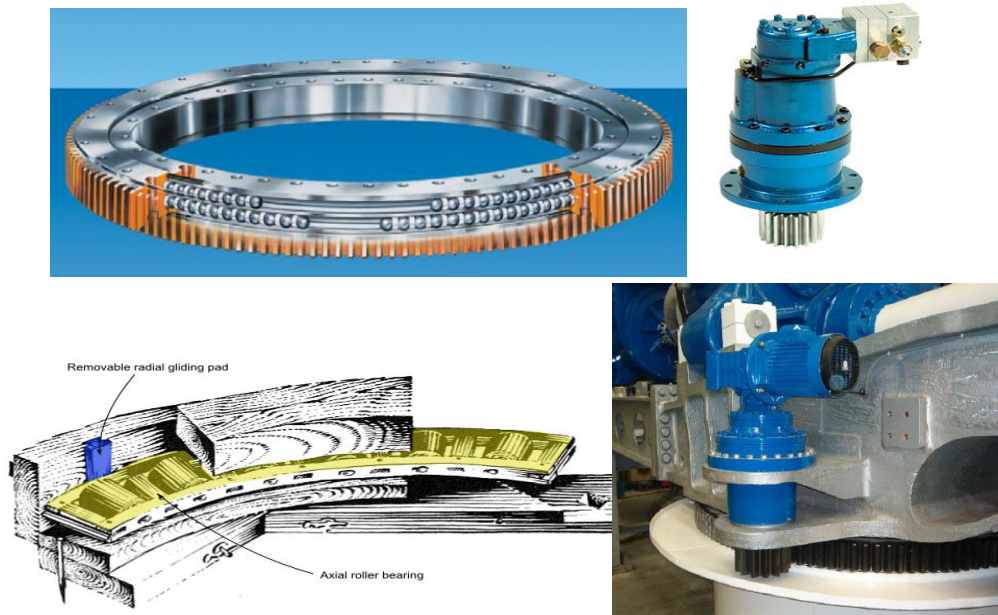
Τα ενεργά συστήματα περιστροφής έχουν μια συσκευή που δημιουργεί ροπή ώστε να περιστρέφεται η άτρακτος ανάλογα με τα σήματα που λαμβάνει από του αισθητήρες κατεύθυνσης του ανέμου ή χειροκίνητα. Αποτελούν τελευταία τεχνολογία για τις σύγχρονες μεσαίες και μεγάλες σε μέγεθος ανεμογεννήτριες με μερικές εξαιρέσεις όπως για παράδειγμα η Vergnet. Τα διάφορα εξαρτήματα των σύγχρονων ανεμογεννητριών διαφέρουν ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού τους αλλά όλα τα ενεργά συστήματα περιστροφής διαθέτουν ένα μέσο περιστρεφόμενης σύνδεσης της ατράκτου με τον πύργο (yaw bearing), ένα μέσο ενεργητικής μεταβολής του προσανατολισμού του δρομέα (yaw drive), ένα μέσο περιορισμού της περιστροφής της ατράκτου (yaw brake) και ένα σύστημα ελέγχου που επεξεργάζεται τα σήματα από τους αισθητήρες κατεύθυνσης του ανέμου και δίνει τις κατάλληλες εντολές στους μηχανισμούς ενεργοποίησης.



Σχ. 5.2 Ηλεκτρικά Μοτέρ Περιστροφής με το κιβώτιο γραναζιών

Οι πιο συνηθισμένοι τύποι ενεργών συστημάτων περιστροφής είναι:

- *Roller yaw bearing - Electric yaw drive - Brake.* Η άτρακτος είναι τοποθετημένη σε ένα ρουλεμάν και η περιστροφή του αζιμούθιου επιτυγχάνεται μέσω ενός πλήθους ισχυρών ηλεκτρικών κινητήρων. Ένα υδραυλικό ή ηλεκτρικό φρένο διορθώνει τη θέση της άτρακτου μετά την ολοκλήρωση του προσανατολισμού για να αποφευχθεί η φθορά και τα υψηλά φορτία κόπωσης στα εξαρτήματα ανεμογεννητριών λόγω της αντίδρασης. Τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται από τους περισσότερους κατασκευαστές ανεμογεννητριών και θεωρούνται αξιόπιστα και αποτελεσματικά αλλά και αρκετά ογκώδη και ακριβά.
- *Roller yaw bearing - Hydraulic yaw drive.* Η άτρακτος είναι τοποθετημένη σε ένα ρουλεμάν και η περιστροφή του αζιμούθιου επιτυγχάνεται μέσω ενός πλήθους ισχυρών υδραυλικών κινητήρων ή υδραυλικών κυλίνδρων. Το πλεονέκτημα του συστήματος περιστροφής με υδραυλικούς κινητήρες σχετίζεται με τα πλεονεκτήματα των υδραυλικών συστημάτων, όπως η υψηλή σχέση ισχύος προς το βάρος και η υψηλή αξιοπιστία. Σε αντίθεση όμως, τα υδραυλικά συστήματα είναι πάντα προβληματικά λόγω διαρροών υδραυλικού υγρού και απόφραξης των υδραυλικών βαλβίδων υψηλής πίεσης. Τα συστήματα υδραυλικής περιστροφής συχνά, ανάλογα με το σχεδιασμό του συστήματος, επιτρέπουν την απομάκρυνση του μηχανισμού επιβράδυνσης και την αντικατάστασή τους με βαλβίδες αποκοπής.
- *Gliding yaw bearing - Electric yaw drive.* Η άτρακτος είναι τοποθετημένη σε μια βάση με ρουλεμάν ολίσθησης και η περιστροφή του αζιμούθιου επιτυγχάνεται μέσω ενός πλήθους ισχυρών ηλεκτρικών κινητήρων. Η ανάγκη για φρένο επιβράδυνσης εξαλείφεται και ανάλογα με το μέγεθος του συστήματος περιστροφής η έννοια του κυλινδρικού ρουλεμάν μπορεί να οδηγήσει σε σημαντική εξοικονόμηση κόστους.
- *Gliding yaw bearing - Hydraulic yaw drive.* Η άτρακτος είναι τοποθετημένη σε μια βάση με ρουλεμάν ολίσθησης και η περιστροφή του αζιμούθιου επιτυγχάνεται μέσω ενός πλήθους ισχυρών υδραυλικών κινητήρων ή υδραυλικών κυλίνδρων. Το σύστημα αυτό συνδυάζει τα χαρακτηριστικά των προαναφερθέντων κυλίνδρων ολίσθησης και υδραυλικών κινητήρων.



Σχ. 5.3 Το ρουλεμάν της άτρακτου, αζονικό ρουλεμάν, ηλεκτρικό μοτέρ περιστροφής και υδραυλικό μοτέρ περιστροφής

Άτρακτος (Nacelle)

Παθητικά Συστήματα Περιστροφής

Τα παθητικά συστήματα περιστροφής χρησιμοποιούν τη δύναμη του ανέμου για να ρυθμίσουν τον προσανατολισμό του δρομέα στον άνεμο. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μια απλή σύνδεση ρουλεμάν μεταξύ του πύργου και της ατράκτου και ένα πτερύγιο "ουρά" το οποίο είναι τοποθετημένο στην άλλη άκρη της ατράκτου και έχει σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο ώστε να στρέφει την ανεμογεννήτρια προς τον άνεμο ασκώντας μια "διορθωτική" ροπή στην άτρακτο. Έτσι, η ισχύς του ανέμου είναι υπεύθυνη για την περιστροφή της ατράκτου και τον προσανατολισμό του δρομέα.

Το πτερύγιο ουρά ή ανεμοδείκτης χρησιμοποιείται συνήθως για μικρές ανεμογεννήτριες, καθώς προσφέρει μια χαμηλού κόστους και αξιόπιστη λύση. Ωστόσο, δεν μπορεί να ανταπεξέλθει στις υψηλές δυνάμεις που απαιτούνται για την περιστροφή της ατράκτου μιας μεγάλης ανεμογεννήτριας. Ο γαλλικός κατασκευαστής ανεμογεννητριών Vergnet διαθέτει αρκετές μεσαίες και μεγάλες ανεμογεννήτριες με αυτοπροσανατολισμό στην παραγωγή του. Τα παθητικά συστήματα περιστροφής πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να μην περιστρέφονται απότομα με μια ξαφνική αλλαγή στην κατεύθυνση του, για να αποφεύγονται τα υψηλά γυροσκοπικά φορτία. Επιπλέον, τα συστήματα παθητικής περιστροφής με χαμηλή τριβή υπόκεινται σε ισχυρά δυναμικά φορτία λόγω της περιοδικής περιστροφής που προκαλείται από τη μεταβολή κατά τη διάρκεια της περιστροφής του δρομέα. Αυτό το φαινόμενο γίνεται πιο σοβαρό με τη μείωση του αριθμού των πτερυγίων.

Τα πιο συνηθισμένα παθητικά συστήματα περιστροφής είναι:

- *Roller Bearing (free system)*. Η άτρακτος είναι τοποθετημένη σε ρουλεμάν και περιστρέφεται ελεύθερα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Η απαραίτητη περιστροφή προέρχεται από ένα πτερύγιο ουράς ή από τον ανεμοδείκτη (ανεμογεννήτριες με κατεύθυνση προς τα κάτω)
- *Roller Bearing - Brake (Semi-active system)*. Η άτρακτος είναι τοποθετημένη σε ένα ρουλεμάν και περιστρέφεται ελεύθερα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, αλλά όταν επιτευχθεί ο απαραίτητος προσανατολισμός, ένα ενεργό φρένο συγκρατεί την άτρακτο. Αυτό αποτρέπει την ανεξέλεγκτη δόνηση και μειώνει τα γυροσκοπικά φορτία και τα φορτία κόπωσης.
- *Gliding Bearing/Brake (Passive system)*. Η άτρακτος είναι τοποθετημένη σε ένα ρουλεμάν ολίσθησης και περιστρέφεται ελεύθερα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Η έμφυτη τριβή του κυλίνδρου ολίσθησης επιτυγχάνει έναν ομαλό τρόπο λειτουργίας.



Σχ. 5.4 Φρένο της ατράκτου

Κεφάλαιο 5°

Yaw bearing

Αποτελεί ένα από τα κύρια μέρη του συστήματος περιστροφής. Είναι κυλινδρικό ή ολισθηρό και χρησιμοποιείται ως περιστρεφόμενη σύνδεση μεταξύ του πύργου και της ατράκτου. Πρέπει να είναι σε θέση να χειρίζεται πολύ υψηλά φορτία όπως το βάρος της ατράκτου και του δρομέα αλλά και στιγμές κάμψης που προκαλούνται από τον δρομέα κατά την κινητική ενέργεια του ανέμου.

Yaw drives

Υπάρχουν μόνο στα συστήματα ενεργούς περιστροφής και αποτελούν το μέσο περιστροφής της ατράκτου. Αποτελείται από ισχυρό ηλεκτρικό κινητήρα, συνήθως A/C με ηλεκτρική κίνηση και μεγάλο κιβώτιο ταχυτήτων, που αυξάνει τη ροπή. Η μέγιστη στατική ροπή των μεγαλύτερων κινητήριων μηχανισμών περιστροφής κυμαίνεται από 200.000 Nm με αναλογίες μείωσης του κιβωτίου ταχυτήτων σε κλίμακα 2000:1. Κατά συνέπεια, η στροφή των μεγάλων σύγχρονων ανεμογεννητριών είναι σχετικά αργή, με περιστροφή 360 ° που διαρκεί αρκετά λεπτά.

Yaw brake

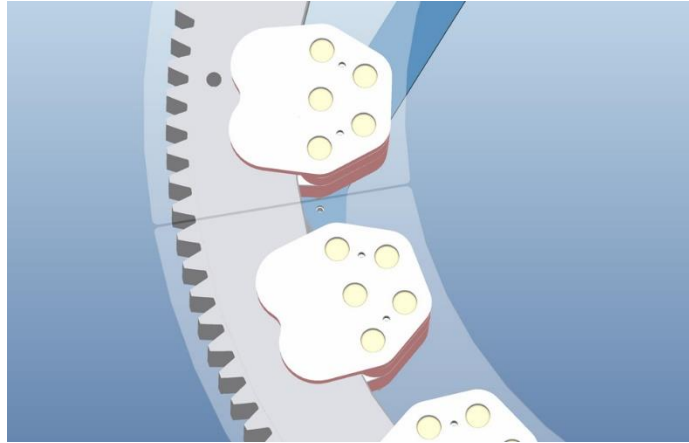
Ένα μέσο επιβράδυνσης είναι απαραίτητο ώστε να σταθεροποιείται το μέσο περιστρεφόμενης σύνδεσης (*Yaw bearing*) κατά την περιστροφή. Ο πιο απλός τρόπος είναι να εφαρμοστεί μια σταθερή μικρή αντίθετη ροπή στρέψης στους κινητήρες, για να εξαλειφθεί η οπισθοδρόμηση μεταξύ των γραναζιών και της περιστροφής και να αποτραπεί η ταλάντωση της ατράκτου λόγω της περιστροφής του δρομέα. Αυτή η λειτουργία όμως μειώνει σημαντικά την αξιοπιστία των ηλεκτροκίνητων μηχανισμών κίνησης γι' αυτό η πιο κοινή λύση είναι η υλοποίηση ενός υδραυλικά ενεργοποιημένου δίσκου επιβράδυνσης.

Το δισκόφρενο απαιτεί έναν επίπεδο στρογγυλό δίσκο και ένα πλήθος φρένων με υδραυλικά έμβολα και τακάκια. Τα υδραυλικά φρένα επιβράδυνσης επαναφέρουν την άτρακτο στη θέση της, χωρίς να χρειαστεί να το κάνουν αυτό οι κινητήριοι μηχανισμοί περιστροφής (*yaw drives*). Ωστόσο, το κόστος του φρένου επιβράδυνσης σε συνδυασμό με την απαίτηση μιας υδραυλικής εγκατάστασης (αντλία, βαλβίδες, έμβολα) και η τοποθέτησή της κοντά σε τακάκια φρένων που είναι ευαίσθητα στα λύματα με λιπαντικά είναι συχνά ένα ζήτημα. Η χρήση ηλεκτρικών φρένων προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα καθώς αντικαθιστούν τον υδραυλικό μηχανισμό των συμβατικών φρένων και με ηλεκτρομηχανικά ενεργοποιημένα φρένα. Η χρήση ηλεκτρικών φρένων εξαλείφει την πολυπλοκότητα των υδραυλικών διαρροών και τα επακόλουθα προβλήματα που προκαλούν στη λειτουργία επιβράδυνσης.

Αρκετές εταιρίες σχεδιασμού και κατασκευής ανεμογεννητριών πειραματίζονται με εναλλακτικές μεθόδους επιβράδυνσης για να εξαλείψουν τα μειονεκτήματα των υφιστάμενων συστημάτων και να μειώσουν το κόστος του συστήματος. Μία από αυτές τις εναλλακτικές λύσεις περιλαμβάνει τη χρήση της πίεσης του αέρα προκειμένου να επιτευχθεί η απαραίτητη ροπή επιβράδυνσης. Σε αυτή την περίπτωση, χρησιμοποιείται μέρος της επιφάνειας ολίσθησης (συνήθως αξονική, λόγω της υψηλότερης διαθέσιμης επιφάνειας) προκειμένου να χωρέσουν τα τακάκια φρένων και ο μηχανισμός επιβράδυνσης με πεπιεσμένο αέρα. Μια τέτοια συσκευή μπορεί να ασκήσει πολύ υψηλές δυνάμεις επιβράδυνσης εξαιτίας της υψηλής ενεργούς επιφάνειας. Αυτό επιτυγχάνεται με ένα απλό βιομηχανικό σύστημα συμπίεσης αέρα (6-10 bar ή 600-1,000 kPa ή 87-145 psi) το οποίο αποτελεί μια αξιόπιστη και χαμηλού κόστους λύση. Επιπλέον, σε

Άτρακτος (Nacelle)

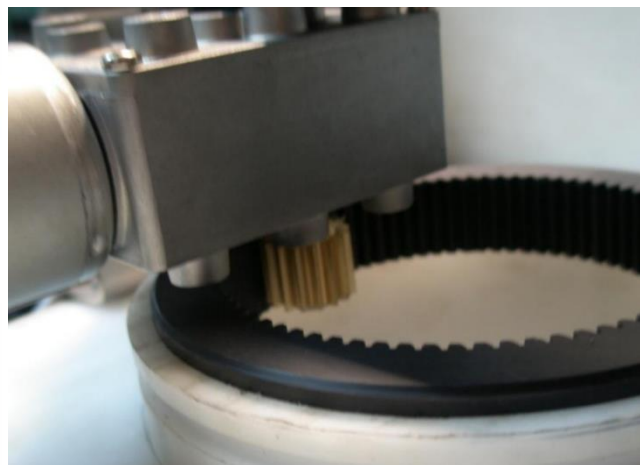
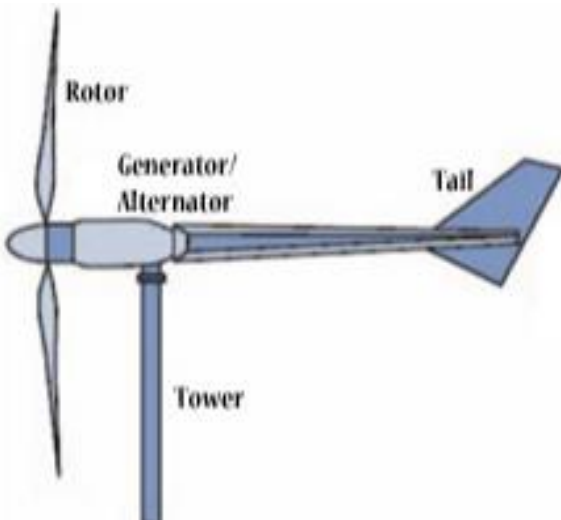
περίπτωση διαρροής, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι σχεδόν μηδενικές σε σύγκριση με τις διαρροές υδραυλικού λαδιού αλλά και οι ενεργοποιητές φρένων μπορούν να παραχθούν με πολύ χαμηλό κόστος από τα ελαφριά πλαστικά υλικά, μειώνοντας έτσι σημαντικά το συνολικό κόστος του συστήματος.



Σχ. 5.5 Φρένα της ατράκτου

Yaw vane (passive systems)

Το φτερωτό περύγιο ή το περύγιο ουράς είναι ένα στοιχείο του συστήματος περιστροφής που χρησιμοποιείται μόνο σε μικρές ανεμογεννήτριες με μηχανισμούς παθητικής εκτροπής. Είναι μια επίπεδη επιφάνεια που είναι τοποθετημένη στην άτρακτο με μια μακριά δέσμη. Ο συνδυασμός της μεγάλης επιφάνειας του περυγίου και του αυξημένου μήκους της δέσμης δημιουργούν ροπή που είναι ικανή να περιστρέφει την άτρακτο παρά τις σταθεροποιητικές γυροσκοπικές επιδράσεις της πλήμνης. Το απαιτούμενο εμβαδόν επιφάνειας για το περύγιο της ουράς ώστε να μπορεί να στρέψει μια μεγάλη ανεμογεννήτρια είναι τεράστιο, καθιστώντας έτσι τη χρήση μιας τέτοιας συσκευής μη οικονομική.



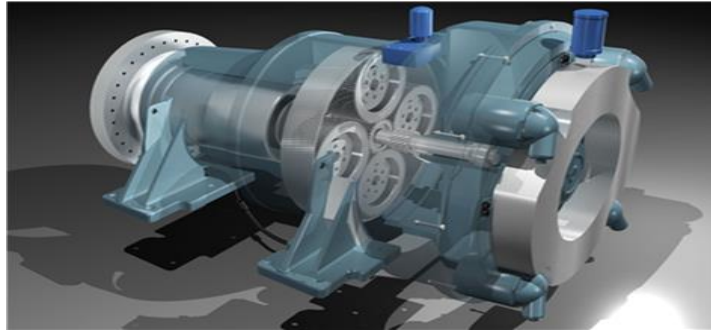
Σχ. 5.6 Αριστερά Παθητικό Σύστημα περιστροφής ατράκτου, δεξιά το σύστημα περιστροφής της ανεμογεννήτριας

5.1.2 Γεννήτρια και Κιβώτιο Ταχυτήτων

Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα από τα στοιχεία στην ανεμογεννήτρια που είναι πιο επιρρεπή σε επιπλοκές. Το κόστος συντήρησης και αντικατάστασης των κιβωτίων ταχυτήτων, μαζί με το κόστος που προκαλείται από τις απώλειες παραγωγής λόγω μη λειτουργικών κιβωτίων ταχυτήτων, αποτελούν μεγάλο μέρος των δαπανών λειτουργίας των αιολικών σταθμών. Ένα κιβώτιο ταχυτήτων χρησιμοποιείται για να αυξήσει την ταχύτητα περιστροφής από έναν άξονα χαμηλής ταχύτητας σε μια ηλεκτρογεννήτρια μεγαλύτερης ταχύτητας. Ένας κοινός λόγος είναι περίπου 90: 1, με ρυθμό 16,7 rpm εισόδου από τον δρομέα σε έξοδο 1500 στροφών ανά λεπτό για τη γεννήτρια. Μερικές ανεμογεννήτριες πολλών μεγεθών έχουν διανεμηθεί με κιβώτιο ταχυτήτων. Σε αυτές τις αποκαλούμενες μηχανές άμεσης κίνησης, ο άξονας της γεννήτριας στρέφεται με την ίδια ταχύτητα όπως ο άξονας της πλήμνης. Αυτό απαιτεί μια μεγάλη και ακριβή γεννήτρια. Άλλες ανεμογεννήτριες στην αγορά έχουν αναλογίες κιβωτίου ταχυτήτων περίπου 30:1, διανέμοντας το υψηλότερο στάδιο ταχύτητας σε ένα τυπικό κιβώτιο ταχυτήτων.

Ο σχεδιασμός ενός κιβωτίου ταχυτήτων είναι περίπλοκος λόγω του φορτίου και των συνθηκών του περιβάλλοντος στο οποίο πρέπει να λειτουργεί. Η ροπή από τον άξονα παράγει ενέργεια, αλλά ο άξονας της πλήμνης προκαλεί επίσης μεγάλες ροπές και δυνάμεις στο σύστημα κίνησης της ανεμογεννήτριας. Είναι σημαντικό να διασφαλίζεται ότι το σύστημα μετάδοσης κίνησης απομονώνει αποτελεσματικά το κιβώτιο ταχυτήτων ή ότι το κιβώτιο ταχυτήτων έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίξει αυτά τα φορτία, αλλιώς τα εσωτερικά εξαρτήματα του κιβωτίου ταχυτήτων ενδέχεται να παρουσιάσουν σοβαρή κακή ευθυγράμμιση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε πίεσης συγκεντρωμένες σε σημεία και αποτυχίες.

Οι ανεμογεννήτριες υποβάλλονται σε παροδικά φορτία κατά την εκκίνηση, σε τερματισμούς, σε επειγόντων τερματισμών και στη διάρκεια βλάβης στο δίκτυο. Σε περίπτωση που δέχονται ένα φορτίο το οποίο δεν είναι σχεδιασμένο για αυτό, έχει ως αποτέλεσμα την ζημιά στα ρουλεμάν, καθώς τα κυλιόμενα σώματα (μπίλιες) μπορούν να γλιστράνε και όχι να κυλούνε στο ξαφνικό φορτίο που δέχονται. Οι τσιμούχες και το σύστημα λίπανσης πρέπει να λειτουργεί σωστά σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασίας για την αποφυγή από τα γρέζια, βρωμιές και υγρασία, επίσης και στην σωστή λειτουργία για όλες της ταχύτητες που δέχεται μέσα στο κιβώτιο ταχυτήτων. Οι προδιαγραφές για την κόπωση των γραναζιών και των ρουλεμάν δίνονται από την AGMA και ISO, όπως το ISO 6336 όπου δίνει της προδιαγραφές για την μέθοδο να υπολογίσεις στην αντίσταση που δημιουργείται στις επιφάνειες των γραναζιών και στην αποτυχία των δοντιών στο σημείο της ρίζας. Αλλά αυτά δεν είναι μόνο τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ένα κιβώτιο ταχυτήτων. Κατασκευαστικά λάθη είναι τα κυριότερα προβλήματα, όπως τα πάχη των αξόνων, κακής τοποθέτησης των γραναζιών, λάθος επιλογή υλικού για της τσιμούχες, φθορά στα γρανάζια λόγω τριβής και κακή μετάδοση λιπαντικού στα κρίσιμα σημεία του κιβωτίου ταχυτήτων. Όλα αυτά τα προβλήματα είναι ένα καλό σημάδι για το κόστος και ενέργεια παραγωγής στις επόμενες γενιές ανεμογεννητριών.



Σχ. 5 7 Πλανητικό Κιβώτιο ταχυτήτων της ατράκτου

5.1.3 Μοτέρ Ελέγχου Γωνίας Κλίσης

Σε μια ανεμογεννήτρια με μοτέρ ελέγχου γωνίας κλίσης, ελέγχεται η ισχύς που παράγεται αρκετές φορές ανά δευτερόλεπτο. Όταν η ισχύς γίνει πολύ υψηλή, στέλνεται μια εντολή στον μηχανισμό των πτερυγίων, που αμέσως στρέφει τα πτερύγια του δρομέα ελαφρώς έξω από τον άνεμο. Όταν η ταχύτητα του ανέμου μειωθεί, τα πτερύγια στρέφονται προς τον άνεμο ξανά.

Στο σχεδιασμό μιας ελεγχόμενης ανεμογεννήτριας απαιτείται ένας έξυπνος μηχανισμός για να εξακριβωθεί ότι τα πτερύγια του δρομέα βάζουν ακριβώς την απαιτούμενη ποσότητα. Σε μια ανεμογεννήτρια, ο υπολογιστής γενικά θα γυρνάει τα πτερύγια μερικούς βαθμούς κάθε φορά που αλλάζει ο άνεμος προκειμένου να έχουν τα πτερύγια στη βέλτιστη γωνία, ώστε να μεγιστοποιείται η απόδοση για όλες τις ταχύτητες ανέμου. Αυτό το μοντέλο χρησιμοποιεί πολύ παρόμοιο έλεγχο που χρησιμοποιείται στην αεροπορία, κυρίως σε ελικόπτερα.

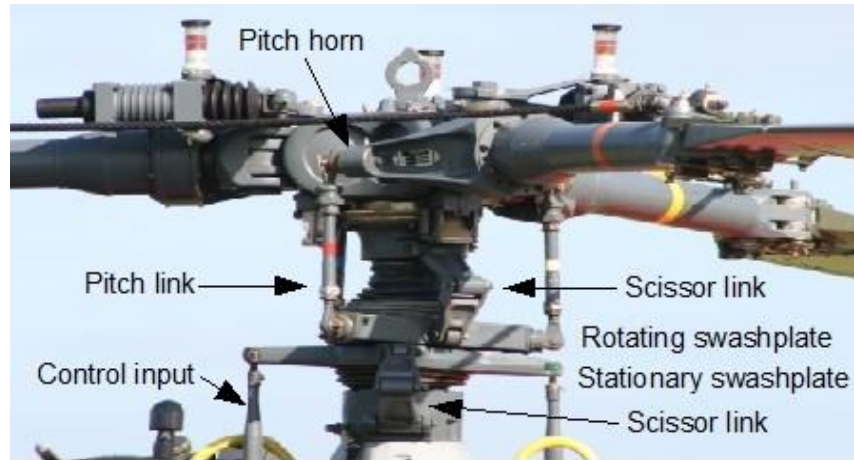
Swashplate Design

Ο έλεγχος γωνίας κλίσης επιτυγχάνεται με το σύστημα swashplate, το οποίο αποτελείται από 2 περιστρεφόμενους δίσκους όπου μεταφέρουν την κίνηση στα πτερύγια. Το σύστημα ελέγχου συνδέεται με τον κάτω δίσκο, ενώ ο άνω δίσκος συνδέεται μέσα στην πλήμνη στα περιστρεφόμενα πτερύγια. Ο κάτω δίσκος ονομάζεται επίσης σταθμευμένος δίσκος, επειδή δεν περιστρέφεται, ενώ ο άνω δίσκος περιστρέφεται μαζί με τα πτερύγια. Οι 2 δίσκοι συνδέονται μέσω ρουλεμάν. Ο κάτω δίσκος μπορεί να γέρνει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση μέσω ενός σφαιρικού ρουλεμάν. Ένα ζευγάρι ράβδων όπου συνδέονται σε σχήμα ψαλιδιού (scissor links) συνδέεται στο σύστημα. Το ένα από αυτά χρησιμοποιείται για να αποτρέψει την περιστροφή του σταθερού δίσκου με τον πάνω, ενώ το άλλο συνδέει τον άνω δίσκο με τον περιστρεφόμενο άξονα. Με αυτό τον τρόπο, ο άνω δίσκος θα περιστραφεί με την ίδια γωνιακή ταχύτητα με τα πτερύγια. Χρησιμοποιούνται σύνδεσμοι ψαλιδιού επειδή το σύστημα περιστροφής της πλάκας πρέπει να μπορεί να ολισθαίνει κατά μήκος του άξονα.

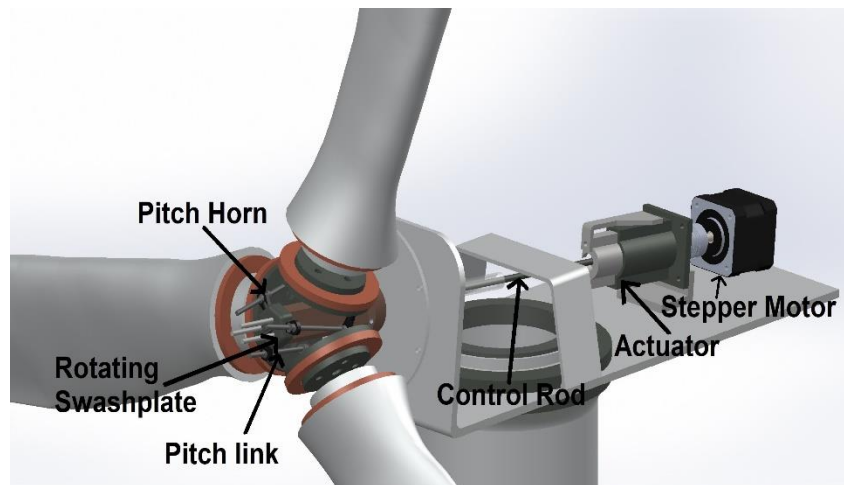
Ο συλλογικός έλεγχος λειτουργεί με την ολίσθηση της πλακέτας πάνω και κάτω. Αυτή η κίνηση θα αλλάξει την κλίση όλων των πτερυγίων ταυτόχρονα και κατά την ίδια ποσότητα. Οι είσοδοι ελέγχου συνδέονται μέσω ενός μηχανικού αναμείκτη στην πλακέτα. Αυτός ο αναμεικτήρας επιτρέπει την ανύψωση και πτώση της πλάκας (συλλογικός έλεγχος).

Κεφάλαιο 5°

Η ράβδος που ελέγχει την κίνηση της πλατφόρμας βρίσκεται στην άτρακτο. Για να το επιτύχουμε αυτό, ένας βηματικός κινητήρας με ένα σύστημα που δημιουργεί την περιστροφή σε γραμμική κίνηση (ως ενεργοποιητής) δημιουργεί την κίνηση που απαιτείται για να ελέγξουμε τη ράβδο που ελέγχει τον έλεγχο των πτερυγίων.



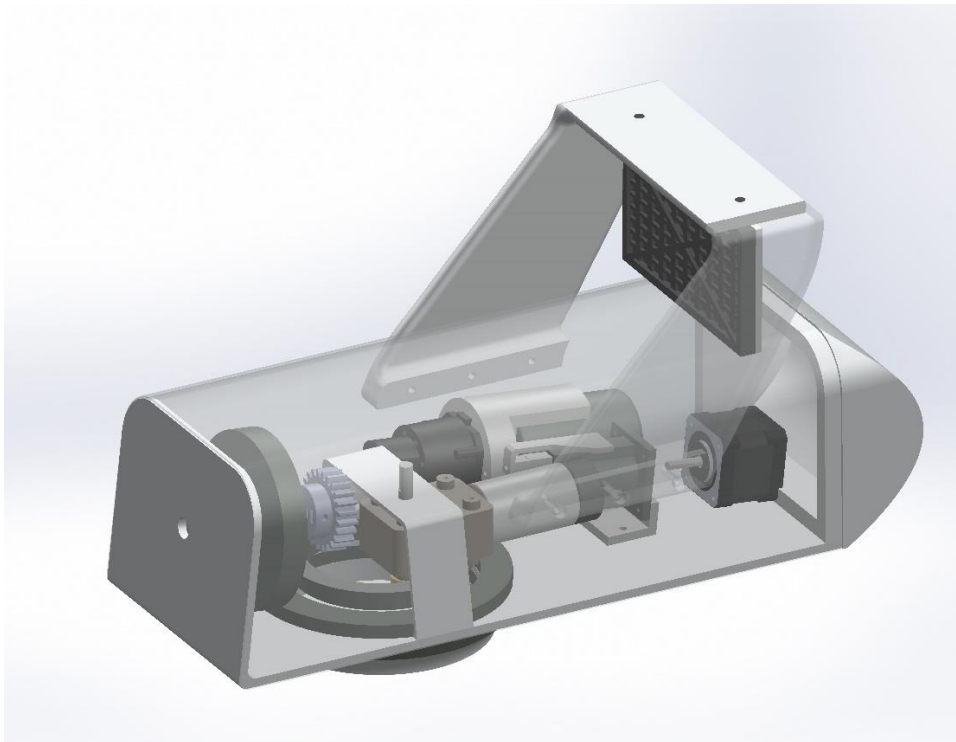
Σχ. 5.8 Στοιχεία ελέγχου πτερυγίων ελικοπτέρου



Σχ. 5.9 Στοιχεία ελέγχου πτερυγίων της ανεμογεννήτριας

5.2 Σχεδιασμός της Ατράκτου

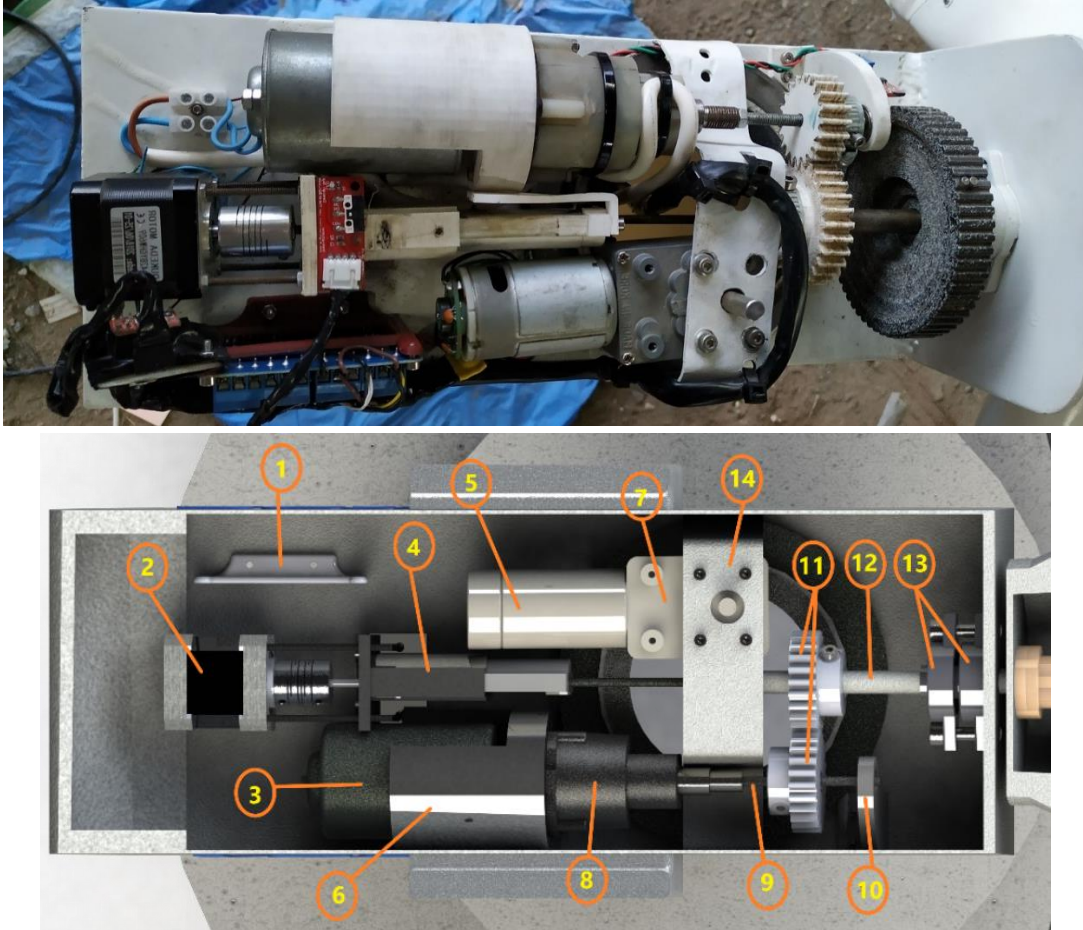
Η κατασκευή της ατράκτου, έπρεπε να σχεδιαστεί στο Solidworks με όλα τα στοιχεία που την αποτελούν για να υπάρχει μια εικόνα για να υπολογιστούν σωστά οι διαστάσεις και τέλος να κατασκευαστεί. Πρώτα έπρεπε να επιλεχθεί η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων, έτσι ώστε να υπολογιστούν οι διαστάσεις αυτών διότι καλύπτουν πολύ χώρο σε σχέση με περιορισμένο χώρο που υπήρχε. Μετά την επιλογή του κατάλληλου κιβωτίου ταχυτήτων και της γεννήτριας, έπρεπε να σχεδιαστεί ο ενεργοποιητής για τον έλεγχο των πτερυγίων όσο το δυνατόν μικρότερος, επειδή ο χώρος περιοριζόταν στα 4 cm μεταξύ της γεννήτριας και του μοτέρ περιστροφής. Μετά τη διαμόρφωση των εξαρτημάτων και των διαστάσεων που απαιτούνταν για την τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων στην άτρακτο, άρχισα να κατασκευάζω την βάση για την άτρακτο. Επιλέχθηκε ένα φύλλο λαμαρίνας 5mm για τη βάση της και ένα φύλλο 1mm για το κάλυμμα. Τα 5mm για τη βάση είναι για τη δύναμη και για το ζύγισμα. Ο σκοπός του βάρους είναι να μιμείται το φορτίο που χειρίζεται ο πύργος και την ομαλή κίνηση στη περιστροφή. Απέναντι από την τρύπα που συνδέεται ο πύργος με τη βάση υπάρχει ένα φύλλο χάλυβα 2mm που λειτουργεί ως γέφυρα, παρέχοντας τις οπές στερέωσης για την βάση από το μοτέρ περιστροφής. Για το κάλυμμα της ατράκτου, έπρεπε να λυγιστεί η λαμαρίνα με τέτοιο τρόπο ώστε να δημιουργήσει ομοιόμορφες καμπύλες και να εφάπτεται στην λαμαρίνα της βάσης. Το πίσω μέρος της ατράκτου έγινε με 3D printer. Με τη χρήση του 3D εκτυπωτή, δημιουργήθηκε έτσι ώστε να ταιριάζει με τη βάση των 5mm και έτσι θα μπορούσε να λειτουργήσει σαν ένα καπάκι. Αυτό εξασφάλισε ότι το κάλυμμα δεν θα κουνιόταν ελεύθερα και θα έπεφτε από τη θέση του. Χρησιμοποιώντας και πάλι τον 3D εκτυπωτή, εκτυπώθηκε το ψυγείο στην κορυφή της για να φαίνεται σαν πραγματική και τοποθετήθηκαν 2 LED πάνω από το ψυγείο για να φανεί πιο ρεαλιστικό.



Σχ. 5.10 Σχέδιο της ατράκτου στο Solid Works

5.2.1 Περιεχόμενα Ατράκτου

Σε μια ανεμογεννήτρια, η άτρακτος περιέχει όλα τα συστήματα με τα οποία λειτουργεί αυτή. Τα βασικά που χαρακτηρίζουν μια άτρακτο είναι η γεννήτρια, το κιβώτιο ταχυτήτων, ο πίνακας ελέγχου και τα ηλεκτρικά μοτέρ περιστροφής. Στο μοντέλο που φτιάξαμε, τα περιεχόμενα στην άτρακτο είναι η γεννήτρια, το βηματικό μοτέρ για τον έλεγχο των περυγίων, ένας ενεργοποιητής, το μοτέρ περιστροφής, το κιβώτιο ταχυτήτων, γρανάζια για μετάδοση πλήμνη σε γεννήτρια, ο σφόνδυλος και μια πλακέτα με ρελέ για τον έλεγχο περιστροφής.

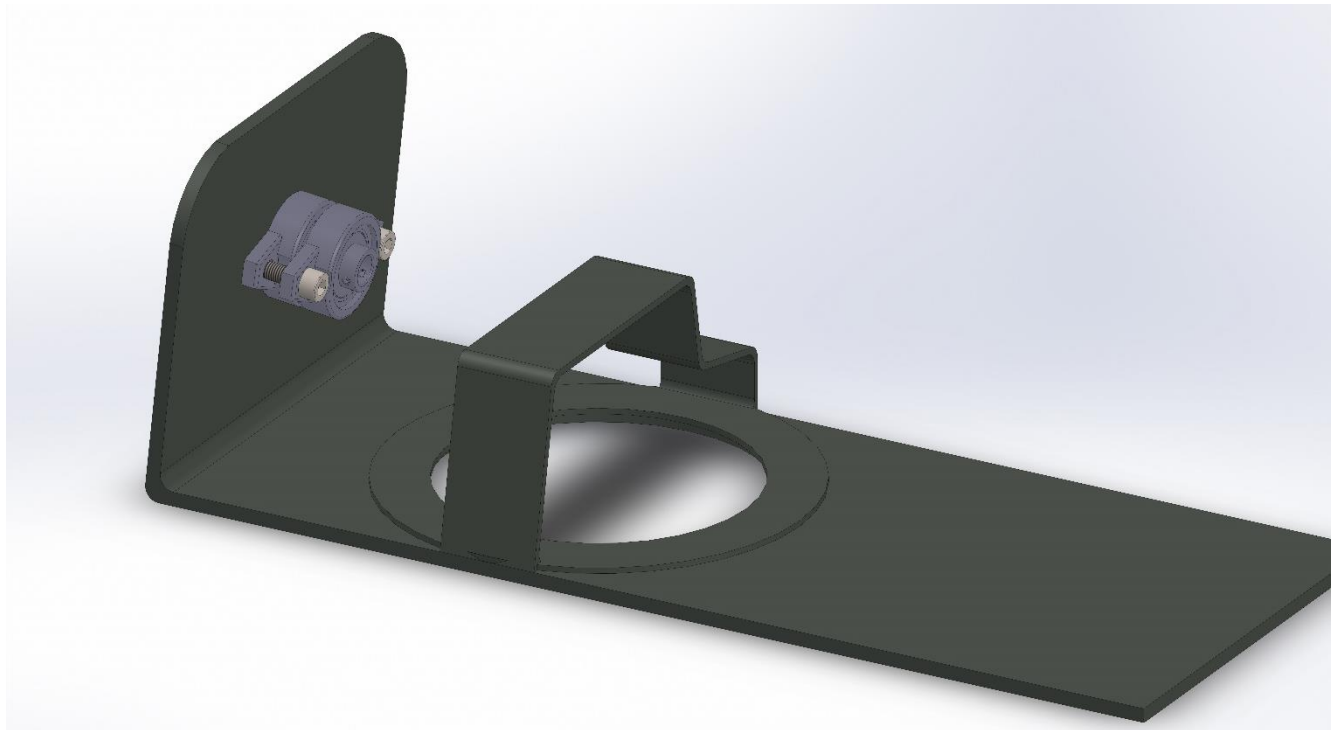


Σχ. 5.11 Το εσωτερικό της υπό κατασκευής άτρακτου

No.1	Βάση για ρελέ περιστροφής Ατράκτου	No.8	Πλανητικός Μειωτήρας Γεννήτριας
No.2	Βηματικός κινητήρας	No.9	Άξονας Πλανητικού μειωτήρα
No.3	Γεννήτρια 110VDC 50W	No.10	Στήριγμα για άξονα Πλανητικού μειωτήρα
No.4	Γραμμικός ενεργοποιητής	No.11	Γρανάζια μεταφοράς ενέργειας προς γεννήτρια
No.5	Κινητήρας Περιστροφής Ατράκτου	No.12	Κεντρικός άξονας μετάδοσης κίνησης
No.6	Βάση Γεννήτριας	No.13	Έδρανα τύπου οβάλ
No.7	Μειωτήρας Περιστροφής Ατράκτου	No.14	Βάση Μειωτήρα Περιστροφής Ατράκτου

5.3 Κατασκευή Ατράκτου

Για την κατασκευή της ατράκτου, χρησιμοποιήθηκε ένα φύλλο λαμαρίνας με πάχος 5 χιλιοστά, μήκος 48 εκατοστά και φάρδος 15 εκατοστά. Σε αυτήν την λαμαρίνα, 11.5 εκατοστά από μπροστά την λύγισα για να έρθει σε μια κλήση 96 μοιρών. Επειδή είναι 5 χιλιοστά η λαμαρίνα, για να την λυγήσω έπρεπε να τροχίσω ένα αυλάκι στα 11.5 εκατοστά ώστε να λυγήσει εύκολα και ομοιόμορφα. Για το λύγισμα έπρεπε εκείνο το σημείο να θερμανθεί. Αυτό το έκανα με ένα φλόγιστρο ώστε να μαλακώσει το μέταλλο. Αφού λύγισε στις 96 μοίρες, μέτρησα σε τι απόσταση θα πρέπει να γίνει η τρυπά για τα ρουλεμάν και τον κεντρικό άξονα για την πλήμνη. Επίσης έπρεπε να βρω και την απόσταση στην οποία κουμπώνει ο πύργος. Αυτήν την απόσταση τη μέτρησα από τα αρχικά σχέδια της πραγματικής ανεμογεννήτριας όπου στην κατασκευή αυτή είναι στα 24.5 εκατοστά από το πίσω μέρος της ατράκτου. Η τρυπά που μπαίνει ο πύργος έχει διάμετρο 11 εκατοστά. Αλλά επειδή έπρεπε να αφήσω λίγο κενό για να μπαίνει ο πύργος, έκανα την τρυπά με διάμετρο 12 εκατοστά. Ο μόνος τρόπος για να γίνει αυτή η τρυπά ήταν να χρησιμοποιήσω μια σέγα. Αφού κόπηκε η τρυπά. Συγκόλλησα μια ροδέλα με εσωτερική διάμετρο 11 εκατοστά ώστε να μπορούν τα αξονικά ρουλεμάν να πατάνε. Κατά την διάρκεια της κατασκευής, συγκόλλησα και μια λαμαρίνα πάνω από την τρυπά για τον πύργο όπου η χρήση της είναι να στηρίζονται το μοτέρ περιστροφής και το κιβώτιο ταχυτήτων. Για τα ρουλεμάν της πλήμνης, βιδωθήκαν από τη μέσα μεριά της ατράκτου. Αυτά τα ρουλεμάν έχουν βάση σε σχήμα οβάλ. Βιδωθήκαν και τα δυο μαζί ώστε να δημιουργήσω ένα μεγάλο κανάλι με το οποίο θα μπει ο κεντρικός άξονας. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγω της ταλάντωσης.



Σχ. 5.12 Σχέδιο της βάσης Ατράκτου στο Solid Works

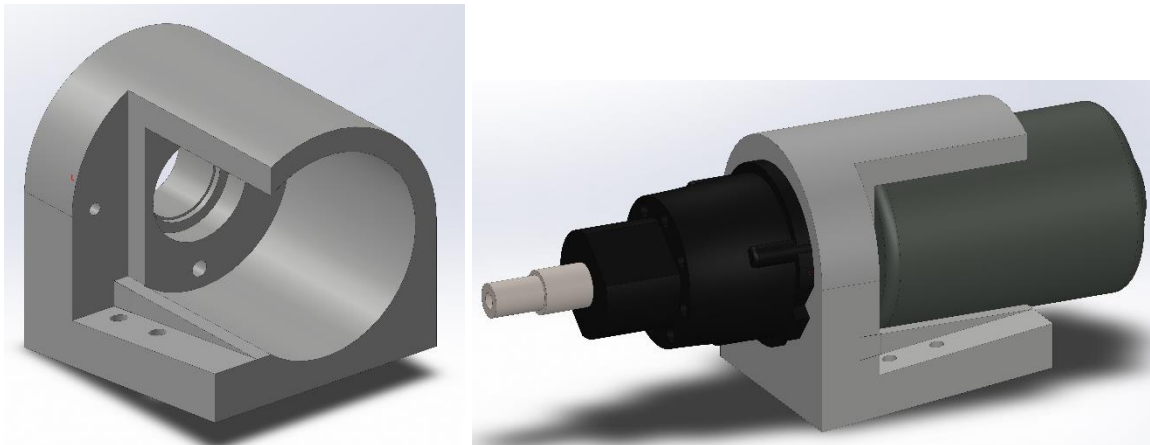


Σχ. 5.13 Η κατασκευή της βάσης από λαμαρίνα

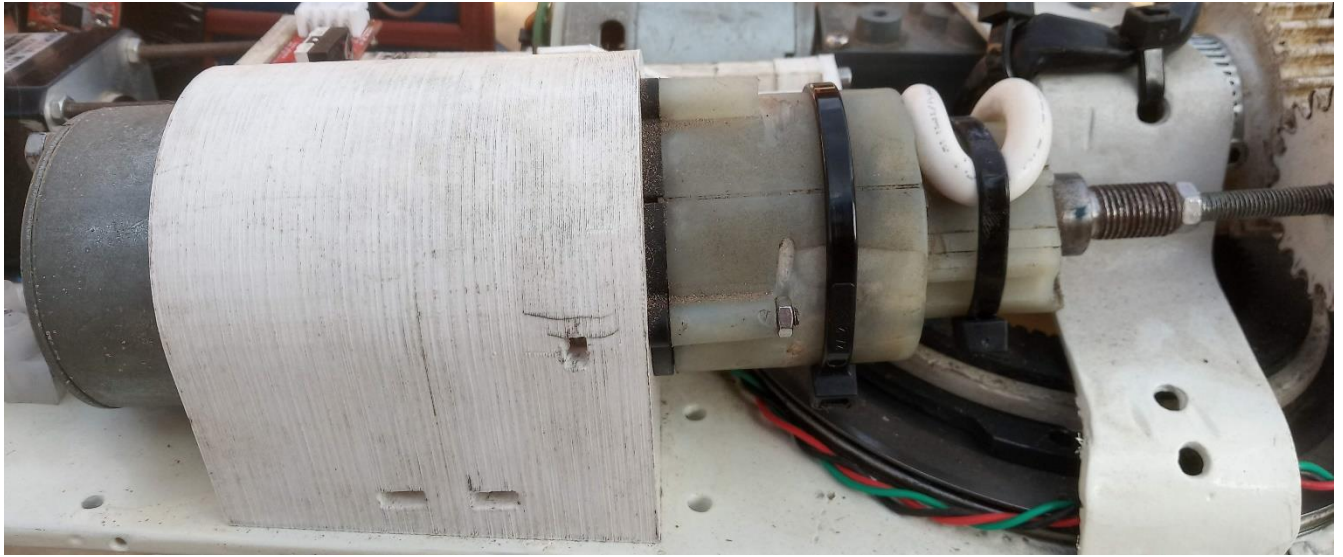
5.3.1 Κατασκευή βάσης Γεννήτριας και του Κιβωτίου Ταχυτήτων

Η κατασκευή της βάσης στην οποία έπρεπε η γεννήτρια να κουμπώνει και το κιβώτιο ταχυτήτων να στηρίζεται, σχεδιάστηκε στο Solid Works. Στη συνέχεια εκτυπώθηκε από τον 3D εκτυπωτή. Στην αρχή, σχεδιάστηκε μια βάση για το κιβώτιο ταχυτήτων στο οποίο θα στηριζόταν στη βάση όπου στηρίζεται και το μοτέρ περιστροφής. Αλλά επειδή δεν βόλεψε. Σχεδιάστηκε μια βάση με την οποία στηριζόντουσαν και τη γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων. Αυτή η βάση έπρεπε να έχει μια κλίση 6 μοίρες επειδή το μπροστινό μέρος της ατράκτου έχει αυτήν την κλίση. Ο λόγος που έχει αυτήν την κλίση είναι επειδή ο άνεμος που περνά τον δρομέα, εάν ήταν στις 90 μοίρες σε σχέση με την άτρακτο, βάση αεροδυναμικής θα τον έστελνε κάτω. Για αυτόν τον λόγο έχει μια κλίση που με αυτόν τον τρόπο, στέλνει τον άνεμο προς τα πάνω.

Η γεννήτρια που χρησιμοποίησα είναι μια DC γεννήτρια που για έξοδο παράγει 110 volt και 50 watt. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα πλανητικό κιβώτιο από έναν βιδολόγο που η στροφές είναι 1:12.



Σχ. 5.14 Αριστερά το σχέδιο της βάσης της γεννήτριας, δεξιά η συναρμολογημένη γεννήτρια με κιβώτιο ταχυτήτων.



Σχ. 5.15 Συναρμολογημένη γεννήτρια με κιβώτιο ταχυτήτων στη βάση

5.3.2 Κατασκευή της Βάσης του Μοτέρ Ελέγχου Γωνίας Κλίσης

Αφού τοποθετήθηκε το μοτέρ περιστροφής και η γεννήτρια. Ο χώρος για τον οποίο θα έμπαινε το βηματικό μοτέρ με τον ενεργοποιητή ήταν πολύ μικρός. Για αυτόν το λόγο έπρεπε να σχεδιάσω έναν ενεργοποιητή με τον οποίο θα έμπαινε ενδιάμεσα. Η απόσταση η οποία έπρεπε να χωρέσει ο ενεργοποίησής ήταν σχεδόν 5 εκατοστά.

Το σχέδιο του ενεργοποιητή είναι απλό. Το βασικό στοιχείο κατά την σχεδίαση ήταν η ράγες με της οποίες το κινητό μέρος του ενεργοποιητή θα γλιστρούσε και δεν θα περιστρεφόταν. Για την κίνηση του κινητού μέρος χρησιμοποίησα μια ντίζα M4 η οποία στην μια άκρη συνδέετε το βηματικό μοτέρ και στην άλλη άκρη, με ένα παξιμάδι στο κινητό μέρος. Με αυτόν τον τρόπο, όταν λειτουργεί το μοτέρ, ο ενεργοποιητής κινείται μπροστά και πίσω. Στην άκρη του κινητού μέρος, δημιουργήθηκε μια φώλια στην οποία φωλιάζει το ρουλεμάν το οποίο είναι συνδεδεμένο στην ράβδο που ελέγχει τα πτερύγια.

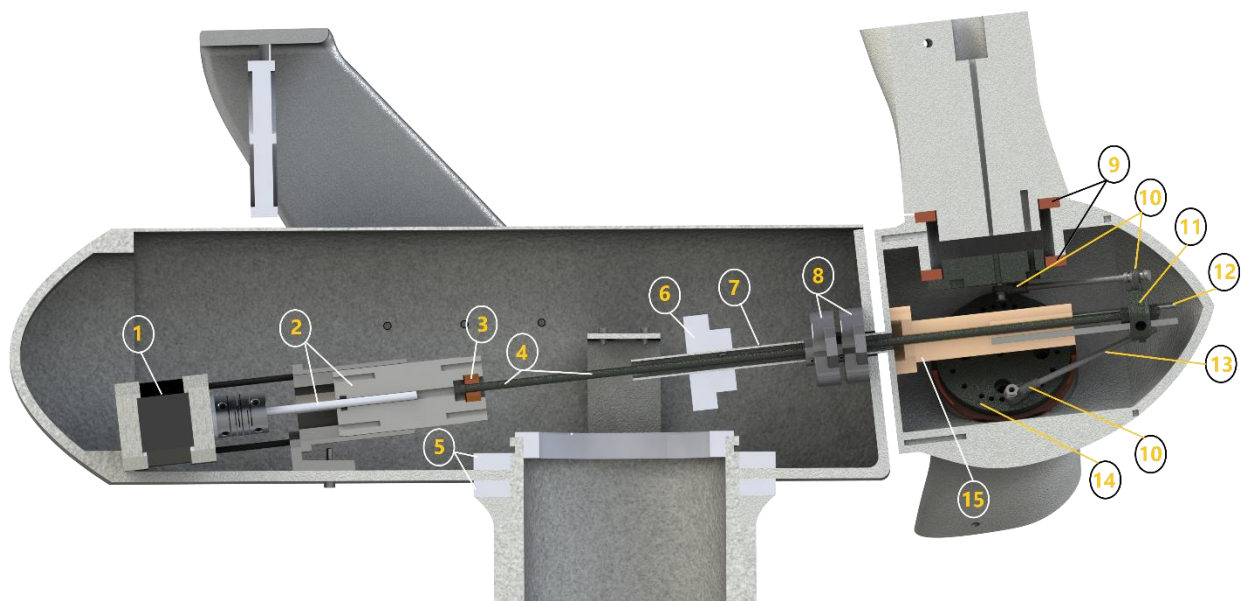
5.3.3 Τρόπος μετάδοσης κίνησης για έλεγχο γωνίας επίθεσης πτερυγίου

Ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η μετάδοση κίνησης για τον έλεγχο της γωνίας κλίσης στα πτερύγια είναι παρόμοια με τη μέθοδο με την οποία ένα ελικόπτερο ή ένα πλοίο ελέγχουν τα πτερύγια ή την προπέλα αντίστοιχα από μια μακρινή απόσταση. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει τη ρύθμιση και την περιστροφή των πτερυγίων κατά τη διάρκεια λειτουργίας της ανεμογεννήτριας χωρίς να προκαλεί καμία διακοπή προς αυτή. Η κίνηση αυτή είναι ευθύγραμμη προς τον κεντρικό άξονα αλλά ταυτόχρονα περιστρέφεται μαζί με αυτόν.

Στην ανεμογεννήτρια χρησιμοποιήθηκε ένας γραμμικός ενεργοποιητής, ο οποίος μεταδίδει την ευθύγραμμη κίνηση μέσα στον κεντρικό άξονα. Επειδή περιστρέφεται όμως, χρησιμοποιήθηκε ένα ρουλεμάν στο οποίο ο άξονας για τον έλεγχο της γωνίας κλίσης είναι σταθερός στην εσωτερική τρύπα του ρουλεμάν και το εξωτερικό σταθερό στο γραμμικό ενεργοποιητή. Με αυτόν τον τρόπο καταφέρνουμε και μεταφέρουμε την ευθύγραμμη κίνηση παράλληλα με τον κεντρικό άξονα μετάδοσης κίνησης χωρίς να επηρεάζεται ο

Κεφάλαιο 5°

γραμμικός ενεργοποιητής με την κυκλική περιστροφή που δημιουργεί ο κεντρικός άξονας μετάδοσης κίνησης στη γεννήτρια.

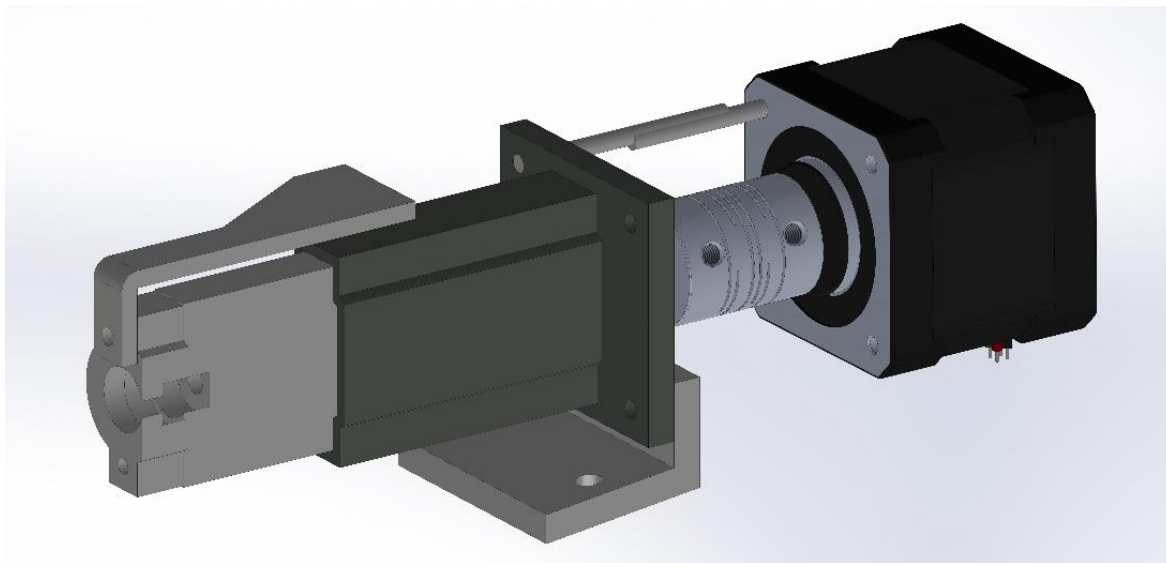


Σχ. 5.16 Εσωτερικά Εξαρτήματα Γεννήτριας

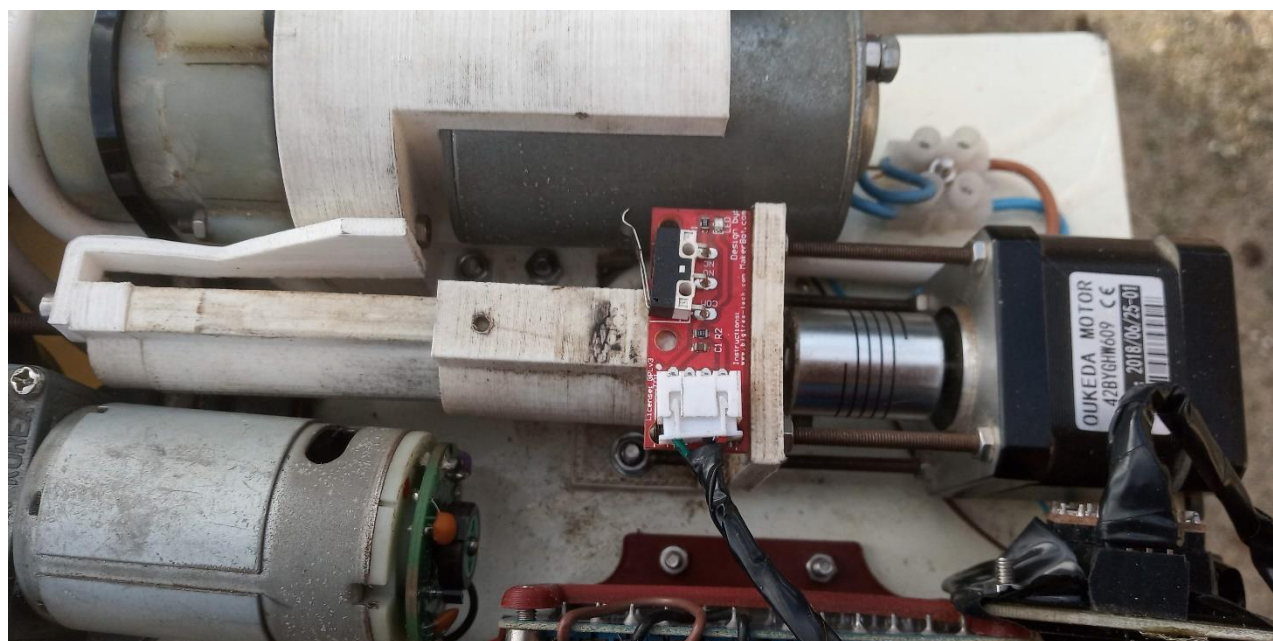
No.1	Βηματικός κινητήρας	No.9	Αξονικά Ρουλεμάν πτερυγίου
No.2	Γραμμικός ενεργοποιητής	No.10	Άκρα αξόνων
No.3	Ρουλεμάν	No.11	Τερματικό για άκρα αξόνων
No.4	Κεντρικός άξονας ενεργοποιητή	No.12	Βοηθητικοί άξονες για το τερματικό
No.5	Αξονικά Ρουλεμάν	No.13	Αξονας ρύθμισης πτερυγίου
No.6	Γρανάζι μετάδοσης για γεννήτρια	No.14	Βάση του πτερυγίου
No.7	Κεντρικός άξονας μετάδοσης κίνησης	No.15	Κεντρικό στήριγμα ρύθμισης πτερυγίου
No.8	Εδρανο τύπου οβάλ		

Για τη ρύθμιση της γωνίας κλίσης στα πτερύγια χρησιμοποιήθηκαν για κάθε πτερύγιο δυο άκρα αξόνων (No.10) και ένας άξονας ρύθμισης πτερυγίου (No.13). Ο κεντρικός άξονας (No.4) είναι συνδεδεμένος με τον γραμμικό ενεργοποιητή (No.2) και μεταδίδει μια ευθύγραμμη κίνηση, στην άκρη του οποίου είναι συνδεδεμένα τα άκρα αξόνων που αυτά με τη σειρά τους είναι συνδεδεμένα με τον άξονα που ρυθμίζει την περιστροφή των πτερυγίων. Το δεύτερο άκρο αξόνων είναι συνδεδεμένο έκκεντρα αλλά κοντά στην εξωτερική περίμετρο στη βάση του πτερυγίου (No.14) και ενωμένο στο άλλο άκρο του άξονα . Με αυτόν τον τρόπο, το πτερύγιο όταν περιστρέφεται δημιουργεί μια διαδρομή που είναι 65mm περιμετρικά. Αυτό το μήκος είναι που πρέπει να δημιουργήσει ο ευθύγραμμος ενεργοποιητής για να επιτευχθεί η ρύθμιση της γωνίας κλίσης στο κάθε πτερύγιο. Μπορούμε να συγκρίνουμε τη λειτουργία αυτή είναι παρόμοια με τον μηχανισμό εμβόλου-διωστήρα-στροφάλου.

Άτρακτος (Nacelle)



Σχ. 5.17 Το βηματικό μοτέρ με τον ενεργοποιητή στο πρόγραμμα Solid Works



Σχ. 5.18 Το βηματικό μοτέρ με τον ενεργοποιητή

Κεφάλαιο 6^ο : Πύργος (Tower)

6.1 Εισαγωγή

Η κατασκευή όλο και υψηλότερων πύργων έχει οδηγήσει στην αλλαγή των υλικών κατασκευής τους, ώστε να αντέχουν περισσότερο βάρος με το χαμηλότερο δυνατό κόστος. Τα πιο συνήθη υλικά για την κατασκευή των πύργων είναι ο χάλυβας και ο υβριδικός πύργος, δηλαδή ένα τμήμα του από τσιμέντο και ο υπόλοιπος από χάλυβα. Κάθε τύπος έχει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα, μεγαλύτερη ή μικρότερη δυσκολία συναρμολόγησης, κατασκευής και ανθεκτικότητας. Κατά τη διαδικασία προσδιορισμού του σχεδιασμού του πύργου, οι παράγοντες που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι πρώτον το ύψος του, καθώς όσο πιο ψηλός είναι, τόσο υψηλότερη η ταχύτητα του ανέμου και άρα τόσο πιο υψηλή η απόδοση ενέργειας. Όμως μια αύξηση στο ύψος σημαίνει αύξηση στα συστατικά του μέρη άρα και μεγαλύτερη δυσκολία εγκατάστασης. Ο προσδιορισμός του βέλτιστου ύψους είναι στο σημείο εκείνο που τέμνονται το κόστος και η απόδοση ενέργειας, όμως το σημείο αυτό δεν μπορεί να προσδιοριστεί ακόμα με κάποιο τύπο, οπότε η επιλογή του ύψους γίνεται με βάση τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από την αύξηση του. Δεύτερος παράγοντας στον προσδιορισμό σχεδιασμού του πύργου είναι η ακαμψία καθώς πρέπει να αντέχει τα φορτία ώσης που μεταδίδονται από τον δρομέα και τα φορτία που ασκούνται από τον άνεμο κατά μήκος του πύργου. Άλλος ένας παράγοντας για το σχεδιασμό του πύργου και σημαντικός για την επιλογή των υλικών είναι η συχνότητα. Πρέπει να ρυθμιστεί η φυσική συχνότητα κάμψης του πύργου έτσι ώστε σε μη σταθερή κατάσταση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας να μη διαταραχθεί η συχνότητα αυτή. Ο πύργος πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο ψηλός, άκαμπτος και οικονομικά αποδοτικός. Επίσης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η αισθητική για την εξωτερική εμφάνιση της ανεμογεννήτριας.

6.1.1 Τύποι Πύργων

Πύργος Πλέγματος

Ο πύργος πλέγματος είναι εύκολος στο να χτιστεί ένας ψηλός και άκαμπτος πύργος. Αποτελείται από έναν πύργο με μεταλλική κατασκευή, στην κορυφή του οποίου στηρίζεται η ατράκτους και τα μηχανικά του εξαρτήματα. Ήταν οι πρώτοι τύποι πύργων ανεμογεννητριών που δοκιμάστηκαν και είναι πολύ κοινός ο τύπος αυτός σε πύργους περίπου 30 μέτρων. Έχει το πλεονέκτημα του μειωμένου κόστους, αλλά και το μειονέκτημα της δύσκολης προσβασιμότητάς του καθιστώντας έτσι δύσκολη τη συντήρηση. Όσον αφορά τον οπτικό αντίκτυπο, σε κοντινές αποστάσεις είναι πολύ υψηλό αλλά σε μεγάλες αποστάσεις συγχέεται με τον ορίζοντα. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται συνήθως για ηλεκτρικούς πύργους.

Πύργος από Τσιμέντο

Η διαμόρφωση αυτών των πύργων μπορεί να γίνει με ενισχυμένο ή προεντεταμένο μπετό. Το προεντεταμένο μπετό είναι ακριβότερο αλλά έχει καλύτερα χαρακτηριστικά για πύργους με μεγάλη ακαμψία απ' ό,τι το ενισχυμένο μπετό και γι' αυτό το λόγο είναι μια ανταγωνιστική από οικονομική άποψη επιλογή σε σύγκριση με τους σωληνωτούς πύργους από χάλυβα όταν σχεδιάζονται με μεγάλη ακαμψία. Η κατασκευή αυτού του τύπου πραγματοποιείται με την προκατασκευή του πύργου σε 2-3 τμήματα.

Πύργος (Tower)

Πύργος από Χάλυβα

Αυτός ο τύπος πύργου ο πιο συνηθισμένος σήμερα. Έχουν μεγάλη δομική ακαμψία και σχεδιάστηκαν έτσι ώστε η φυσική συχνότητα κάμψης του πύργου να είναι μεγαλύτερη από τη συχνότητα περιστροφής περυγίου. Αυτό έγινε για να μειωθεί η πιθανότητα διαταραχής αυτής της φυσικής συχνότητας του συστήματος, η οποία οδηγούσε στην κατασκευή υπερβολικά βαριών και δαπανηρών σχεδίων. Το κριτήριο κατασκευής των σωληνοειδών πύργων είναι η ένωση πολλών τμημάτων, όπως και στους πύργους κατασκευασμένους από μπετό. Στους υψηλότερους πύργους ο πύργος είναι συνήθως κωνικός-κορμός με το πάχος να μειώνεται κατά το ύψος για να εξοικονομηθεί βάρος αλλά και υλικό.

Υβριδικός Πύργος

Υβριδικοί είναι οι πύργοι που αποτελούνται από τσιμέντο στον πυθμένα και χάλυβα στην κορυφή, στόχος των οποίων είναι να μειωθεί το κόστος σε σχέση με τους πύργους από τσιμέντο, το οποίο, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, είναι πολύ ακριβό. Το πρόβλημα είναι στη συναρμολόγηση του τμήματος του τσιμέντου, καθώς πρέπει να γίνει επί τόπου, αυξάνοντας έτσι το κόστος. Το τμήμα από αυτό δημιουργεί περισσότερη ακαμψία στον πύργο, ώστε να μπορεί να γίνει υψηλότερος. Όπως όλοι οι τύποι πύργων και αυτός έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά του. Τα πλεονεκτήματα είναι η αυξημένη του ακαμψία, είναι επαρκής για να εξασφαλίσει περιορισμούς συχνότητας υπό όλους τους τύπους γεωτεχνικών συνθηκών και υψών, η εξοικονόμηση πόρων στις μεταφορές, το γεγονός ότι δεν απαιτείται επιθεώρηση και συντήρηση εφόσον εξασφαλίζεται καλός σχεδιασμός όσον αφορά την ανθεκτικότητα και η τελική κατάσταση ορίου κόπωσης μπορεί να ελέγχεται με την αύξηση της χαρακτηριστικής αντοχής του τσιμέντου. Τα μειονεκτήματα είναι το υψηλότερο κόστος συναρμολόγησης λόγω του επιτόπου χαρακτήρα του και της ανάγκης για μηχανήματα, οι υψηλότερες αρχικές επενδύσεις και η ανάγκη για μελλοντική βελτίωση.



Σχ. 6.1 Ανεμογεννήτριες με πύργο πλέγματος



Σχ. 6.2 Ανεμογεννήτριες με πύργο από τσιμέντο



Σχ. 6.3 Αριστερά ανεμογεννήτρια με πύργο από χάλυβα, δεξιά ανεμογεννήτρια με υβριδικό πύργο

6.1.2 Τα Θεμέλια της Βάσης των Ανεμογεννητριών

Τα αιολικά πάρκα βρίσκονται είτε στην ξηρά, δηλαδή χερσαία αιολικά πάρκα, είτε στη θάλασσα, δηλαδή υπεράκτια αιολικά πάρκα. Ο υπολογισμός της βάσης εξαρτάται από τα φορτία που δημιουργούνται από τον πύργο, ανάλογα με το βάρος και τον άνεμο που δέχεται. Αφού γίνει η θεμελίωση, πρέπει να σιγουρευτεί ότι θα μπορέσει να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις. Πρέπει να διασφαλίζει σταθερότητα στην ανεμογεννήτρια, εμποδίζοντας την απόκλιση και ολίσθηση λόγω οριζόντιων ενεργειών και επιπλέον το έδαφος θα πρέπει, όταν μεταφέρονται σε αυτό τα φορτία, να κατανέμει την πίεση κάτω από το θεμέλιο, διότι προκαλεί τάσεις κάμψης και διατμήσεως στο τσιμέντο και γι' αυτό είναι απαραίτητο να τοποθετηθούν ράβδοι από χάλυβα.

Χερσαία Αιολικά Πάρκα

Στα χερσαία αιολικά πάρκα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η γεωλογία του εδάφους, για παράδειγμα εάν είναι αρκετά συμπαγές. Συνήθως χρησιμοποιείται το συμπαγές υπόβαθρο, στο οποίο είναι τοποθετημένος ένας σύνδεσμος που αργότερα θα προσαρτηθεί στην κάτω φλάντζα του πύργου. Οι τύποι των θεμελίων που χρησιμοποιούνται για την υποστήριξη των ανεμογεννητριών είναι επιφανειακά και με βάσεις στην επιφάνεια. Ανάλογα με τις συνθήκες του εδάφους επιλέγεται ο ένας ή ο άλλος τύπος θεμελίωσης.

Η επιφανειακή θεμελίωση χαρακτηρίζεται από μεγάλη επέκταση στο πάρκο και ανάλογα με τη μετάδοση των φορτίων που δέχεται και του ίδιου του βάρους στο έδαφος, οι γεωμετρίες είναι συνήθως κυκλικές ή πολυγωνικές και το υλικό που χρησιμοποιείται είναι οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα φορτία που μεταδίδονται στα θεμέλια από τη σύνδεση τους με τον πύργο είναι κυρίως το βάρος της δομής και η ώση του ανέμου. Τα φορτία αυτά πρέπει να μεταφέρονται στο έδαφος χωρίς να υπερβαίνουν την αντοχή του εδάφους, γι' αυτό και η επιφάνεια επαφής μεταξύ θεμελίων και εδάφους πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη. Όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια αυτή, τόσο μικρότερη είναι η πίεση που πρέπει να υποστηρίξει το έδαφος, αλλά τόσο υψηλότερο είναι και το οικονομικό κόστος της θεμελίωσης. Αυτός ο τύπος θεμελίωσης είναι κατάλληλος για άκαμπτα εδάφη, δηλαδή εδάφη με υψηλή γωνία εσωτερικής τριβής και όχι εδάφη με άργιλο, οργανικά εδάφη ή εδάφη με χαμηλό συντελεστή ελαστικότητας. Στην περίπτωση που το έδαφος δεν έχει επαρκή χαρακτηριστικά και ιδιότητες όπως ακαμψία, αντοχή, διαπερατότητα ή δεν είναι ομοιογενές, τότε αυτά μπορούν να επιλυθούν με διάφορες μεθόδους σταθεροποίησης του εδάφους. Τέτοιες μέθοδοι είναι η προφόρτιση, συμπύκνωση, η πτώση βαρών στο έδαφος από ορισμένο ύψος και η δόνηση του εδάφους που αναδιοργανώνει τα σωματίδια του. Μια άλλη κοινή μέθοδος είναι η έγχυση τσιμεντοκονιάματος με την οποία τροποποιείται η διαπερατότητα του εδάφους και κατά συνέπεια η ροή του νερού αλλά και η μέθοδος μέσω τζετ-γεφύρωσης με την οποία γίνεται διάτρηση μιας οπής στο έδαφος και πλήρωση της με ένα μίγμα τσιμεντοκονιάματος και χώματος σε στήλες. Μετά τη διάτρηση σε ένα ορισμένο βάθος, το στοιχείο γεώτρησης αφαιρείται κατά τη διάρκεια της έγχυσης του μείγματος, γεμίζοντας έτσι τους χώρους μεταξύ των σωματιδίων του εδάφους. Εάν οι ιδιότητες του εδάφους δεν επαρκούν για να εξασφαλιστεί η καλή στήριξη των θεμελίων, τότε μια μέθοδος είναι να εγκατασταθούν στήλες που οδηγούν τα φορτία σε ένα καλύτερο, βαθύτερο έδαφος, αλλά λόγω της μεγάλης ροπής κάμψης από τον άνεμο, οι στήλες ενδέχεται να εκτεθούν σε φορτία τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη.

Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα παρ' όλο που αναμένεται να έχουν μεγάλο μέλλον λόγω της παραγωγικής τους ικανότητας, η ανάγκη για υπεράκτιες πλατφόρμες και τα δύσκολα έργα και η συντήρηση, κάνουν τις επενδύσεις πολύ δαπανηρές αλλά και τα περιβαλλοντικά προβλήματα της παράκτιας καταπάτησης. Όσον αφορά την πολυπλοκότητα των κατασκευών τους, τα θεμέλιά τους, είναι συνήθως χτισμένα στη στεριά και μεταφέρονται με πλοίο στον προορισμό τους, διαδικασία η οποία δεν είναι εύκολη. Σε αντίθεση με τα χερσαία αιολικά πάρκα, οι κατασκευές των θεμελίων είναι πολύ διαφορετική και ανάλογα με το βάθος και τις ιδιότητες του εδάφους, επιλέγεται ο κατάλληλος τύπος θεμελίων, με το κόστος να αυξάνεται όσο πιο μακριά από την ακτή βρίσκεται το αιολικό πάρκο. Τα θεμέλια σχεδιάζονται έτσι ώστε να αντέχουν σε πρόσθετα φορτία από αυτά που αναφέρθηκαν για τα χερσαία αιολικά πάρκα, καθώς επηρεάζονται από το κύμα, την μεταβολή της πίεσης και την ύπαρξη αυξημένου κινδύνου αστάθειας λόγω της διάβρωσης του βυθισμένου χώματος. Οι διάφοροι τύποι υπεράκτιων θεμελίων είναι οι ακόλουθοι.



Σχ. 6.4 Χερσαία Αιολικά Πάρκα



Σχ. 6.5 Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα

Πύργος (Tower)

Θεμέλια Βαρύτητας

Αυτός ο τύπος θεμελίωσης βασίζεται στην ίδια αρχή με τη θεμελίωση χερσαίας επιφάνειας με διαφορά ότι οι διαστάσεις είναι συνήθως μεγαλύτερες. Είναι συνήθως κούφιο για να διευκολύνεται η μεταφορά με πλοίο και στη συνέχεια γεμίζεται με γη. Χρησιμοποιείται σε βάθη μικρότερα από 20 μέτρα. Σε περιοχές που είναι επιρρεπείς στον παγετό, συνήθως υπάρχει μια ευρύτερη περιοχή για την προστασία από τα παγόβουνα.

Θεμέλια σε σχήμα τρίποδου

Αυτός ο τύπος θεμελίωσης χρησιμοποιείται για βάθη 30 και 40 μ. Το τρίποδο αγκυρώνεται στον πυθμένα με τη βοήθεια χαλύβδινων πασσάλων και είναι ακριβότερο από τον προηγούμενο τύπο.

Jacket θεμέλια

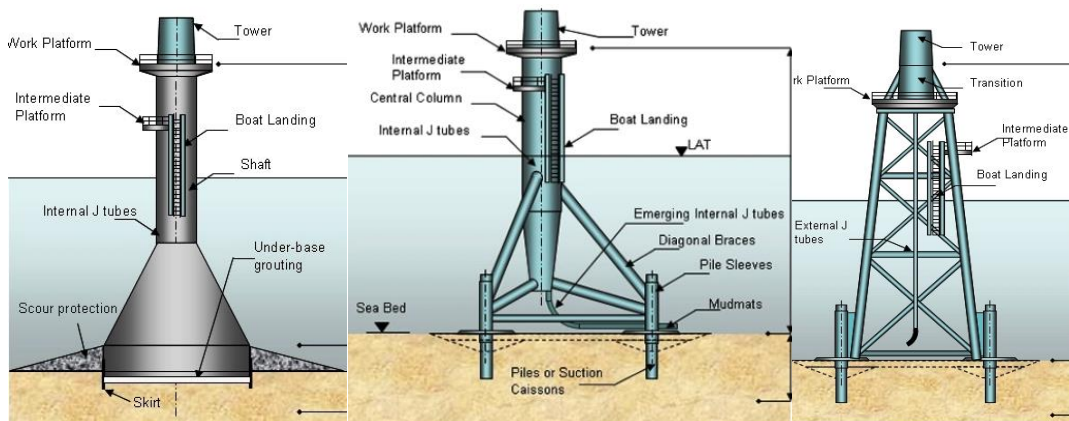
Αυτός ο τύπος προέρχεται από την υπεράκτια πετρελαϊκή βιομηχανία και χρησιμοποιείται μέχρι βάθη 60 μ. Αυτό το σύστημα είναι αγκυροβολημένο στον πυθμένα με στήλες και μεταφέρεται και εγκαθίσταται ολόκληρο με ειδικά σκάφη. Επίσης έχει υψηλό κόστος κατασκευής.

Θεμέλια κάδων αναρρόφησης

Σχέδιο παρόμοιο σε εμφάνιση με το θεμέλιο βαρύτητας. Το θεμέλιο (χάλυβα) εναποτίθεται στον πυθμένα και εφαρμόζεται αναρρόφηση στη βάση έτσι ώστε να εισχωρήσει στο έδαφος.

Θεμέλια πλωτών υποστήριξης

Αυτός ο τύπος είναι πολύ πρωτοποριακός. Για ενδιάμεσα βάθη το κόστος είναι παρόμοιο με εκείνο των σταθερών δομών. Προς όφελος της, η διαδικασία κατασκευής παίζει ρόλο στη μείωση του οπτικού αντίκτυπου και στην αύξηση της ευελιξίας του. Η πολυπλοκότητα του σχεδιασμού του είναι πολύ μεγαλύτερη από ό, τι για οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, καθώς είναι πρόκληση απαραίτητη για να μοντελοποιηθεί η συζευγμένη κίνηση της δομής στήριξης και του στροβίλου. Η υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας είναι επίσης νέα.



Σχ. 6.6 Από αριστερά προς τα δεξιά, θεμέλια βαρύτητας, θεμέλια τρίποδα και θεμέλια Jacket

6.2 Σχεδιασμός του Πύργου και της Βάσης

Ο πύργος της ανεμογεννήτριας για την κατασκευή της, χρησιμοποιήθηκε από μια άλλη πτυχιακή που είχε σαν θέμα την κατασκευή φυσικού μοντέλου ανεμογεννήτριας. Ο πυρός είναι από βιομηχανικό πλαστικό πολυεθλαίνιο (polyethylene).

Προμηθευτήκαμε ένα κυλινδρικό σωλήνα λευκού χρώματος ύψους 1070mm εσωτερικής διαμέτρου 96mm και εξωτερικής διαμέτρου 126mm. Τα 36mm της μίας άκρης του πύργου επεξεργασθήκαμε στον τόρνο έτσι ώστε η εξωτερική του διάμετρος να φθάσει στα 110mm προκειμένου να φωλιάσουν τα ρουλεμάν εδράσεως με τις ροδέλες τους και στη συνέχεια η άτρακτος.

Σε απόσταση 4mm από την κορυφή του πύργου έγινε θέση προκειμένου να φωλιάσει ασφάλεια άξονα A110. Επίσης έγιναν τέσσερις τρύπες στην άλλη πλευρά του πύργου, στο τοίχωμά του, με τη χρήση κολαούζου M8, ώστε να βιδωθεί και στερεωθεί η βάση του με τη βάση της μακέτας (νοβοπάν). Στην πλευρά που επεξεργασθήκαμε στον τόρνο τοποθετήθηκε και στερεώθηκε ειδική κατασκευή από εσωτερικό οδοντωτό γρανάζι module 1mm πλαστικού τύπου.

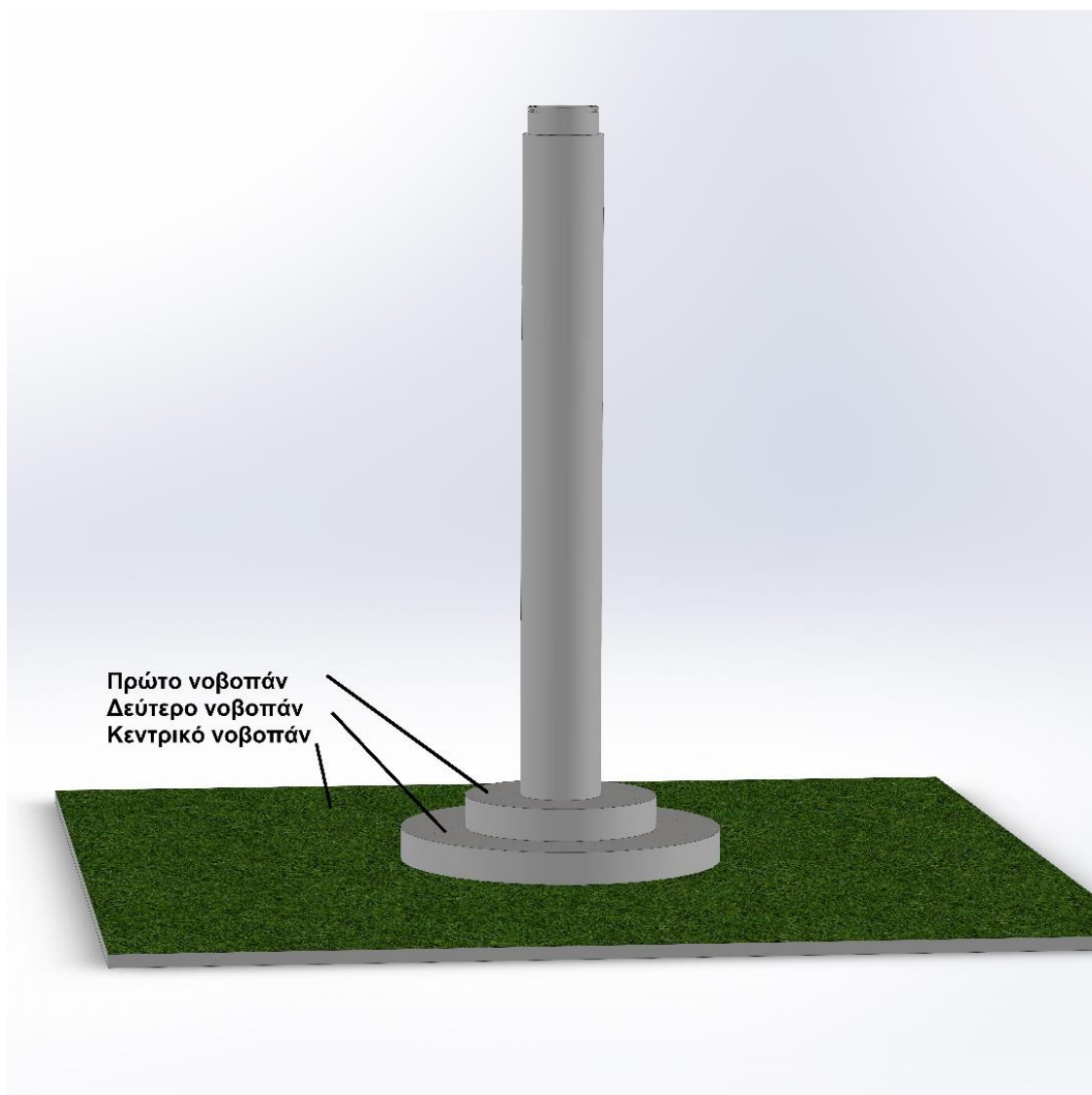


Σχ. 6.7 Η κατασκευή και διαμόρφωση του πύργου στον τόρνο

6.3 Κατασκευή Βάσης Πύργου

Λόγου του ύψους της ανεμογεννήτριας και επειδή ο πύργος ήταν έτυμος από άλλη πτυχιακή. Ο δρομέας δεν μπορούσε να κάνει έναν πλήρη κύκλο επειδή τα περύγιά χτυπούσαν στη βάση της ανεμογεννήτριας. Για να διορθωθεί αυτό το πρόβλημα. Έπρεπε να υψώσουμε τον πύργο. Ο τρόπος αυτός ήταν να κόψουμε δυο κυλινδρικά νοβοπάν χοντρά ύψους 5 εκατοστά. Συνολικά η ανεμογεννήτρια υψώθηκε 10 εκατοστά από την αρχική της βάση. Αυτό έλυσε το πρόβλημα και ο δρομέας μπορεί να στέφεται χωρίς να βρίσκει κανένα εμπόδιο.

Το δεύτερο νοβοπάν έχει διάμετρο 45 εκατοστά και το πρώτο έχει 30 εκατοστά. Ο τρόπος στερέωσης του πύργου άλλαξε αλλά βιδώνετε με τον ίδιο τρόπο. Αντί να βιδώνετε από το κεντρικό νοβοπάν, βιδώνεται στο πρώτο κυλινδρικό νοβοπάν με της ίδιες βίδες. Το δεύτερο κυλινδρικό νοβοπάν βιδώνετε στο πρώτο και το δεύτερο βιδώνετε στο κεντρικό νοβοπάν.



Σχ. 6.8 Ο πύργος με τη βάση στο Solid Works

Κεφάλαιο 7^ο : Ηλεκτρονικές Διατάξεις Ελέγχου

7.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Αυτοματισμού μιας Ανεμογεννήτριας

Η βασική λειτουργία του συστήματος ελέγχου και του ελεγκτή ακολουθίας είναι να εξασφαλίζει την πλήρως αυτόματη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας. Οποιαδήποτε άλλη προσέγγιση που απαιτεί κάποια χειροκίνητη παρέμβαση κατά την κανονική λειτουργία θα ήταν εντελώς απαράδεκτη από οικονομική άποψη. Επιπλέον, απαιτούνται οικονομικές εκτιμήσεις για τα συστήματα ελέγχου να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση σε κάθε σημείο λειτουργίας.

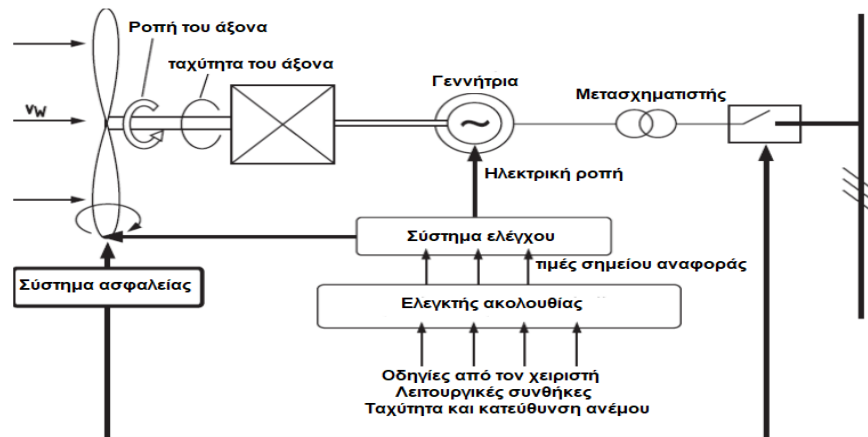
Αυτό δεν συμβαίνει από μόνο του αλλά απαιτεί "ευφυή" συστήματα ελέγχου. Εκτός από αυτές τις απαιτήσεις, υπάρχουν και άλλα καθήκοντα που πρέπει να εκπληρωθούν από το σύστημα ελέγχου και από τον ελεγκτή ακολουθίας. Μεταξύ αυτών, η ασφαλή λειτουργία έχει την υψηλότερη προτεραιότητα. Πρέπει να αναγνωρίζονται τεχνικές βλάβες και οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι και πρέπει να ενεργοποιούνται οι μηχανισμοί ασφαλείας.

Επιπλέον, το σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο να συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση των δομικών φορτίων στην ανεμογεννήτρια. Τέλος, το σύστημα ελέγχου αναμένεται να είναι αρκετά εύελκτο, ώστε να προσαρμόζει τις επιδόσεις της ανεμογεννήτριας σε ποικίλες συνθήκες λειτουργίας χωρίς εκτεταμένες τεχνικές τροποποιήσεις. Μια τέτοια προσαρμογή μπορεί να επιτευχθεί με σύγχρονη τεχνολογία ψηφιακού ελέγχου μέσω μιας απλής αλλαγής στο λογισμικό.

Ο ελεγκτής ακολουθίας λαμβάνει εξωτερικές εισόδους σύμφωνα με τις συνθήκες λειτουργίας και κυρίως τις συνθήκες ανέμου και μερικές φορές και τις προθέσεις του χειριστή. Αυτές οι πληροφορίες θα καθορίσουν τις τιμές του σημείου αναφοράς για το σύστημα ελέγχου. Με αυτό τον τρόπο ο ελεγκτής λαμβάνει αποφάσεις σχετικά με τον τρόπο λειτουργίας και με βάση τα λογικά συμπεράσματα, εφαρμόζονται σε έναν υπολογιστή που είναι μέρος του κεντρικού υπολογιστή της ανεμογεννήτριας.

Το σύστημα ελέγχου φροντίζει για τις διαδικασίες στο εσωτερικού ελέγχου της ανεμογεννήτριας. Με έναν τρόπο, αντιπροσωπεύει τη σύνδεση μεταξύ του ελεγκτή ακολουθίας και των μηχανικών και ηλεκτρικών εξαρτημάτων της ανεμογεννήτριας. Επομένως, το σύστημα ελέγχου πρέπει να ταιριάζει με τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και τα όρια δομικής αντοχής της ανεμογεννήτριας.

Σε ανεμογεννήτριες με έλεγχο περυγίων, το σύστημα ελέγχου ελέγχει τέσσερα λειτουργικά συστήματα: την περιστροφή της πλήμνης, την κλήση των περυγίων, την ταχύτητα και έλεγχο ισχύος και λειτουργική ακολουθία. Οι μικρότερες ανεμογεννήτριες, οι οποίες συχνά δεν διαθέτουν έλεγχο περυγίων, δεν έχουν επίσης ενεργό έλεγχο ταχύτητας και ισχύος.



Σχ. 7.1 Μπλοκ Διάγραμμα Ηλεκτρονικών Κυκλωμάτων

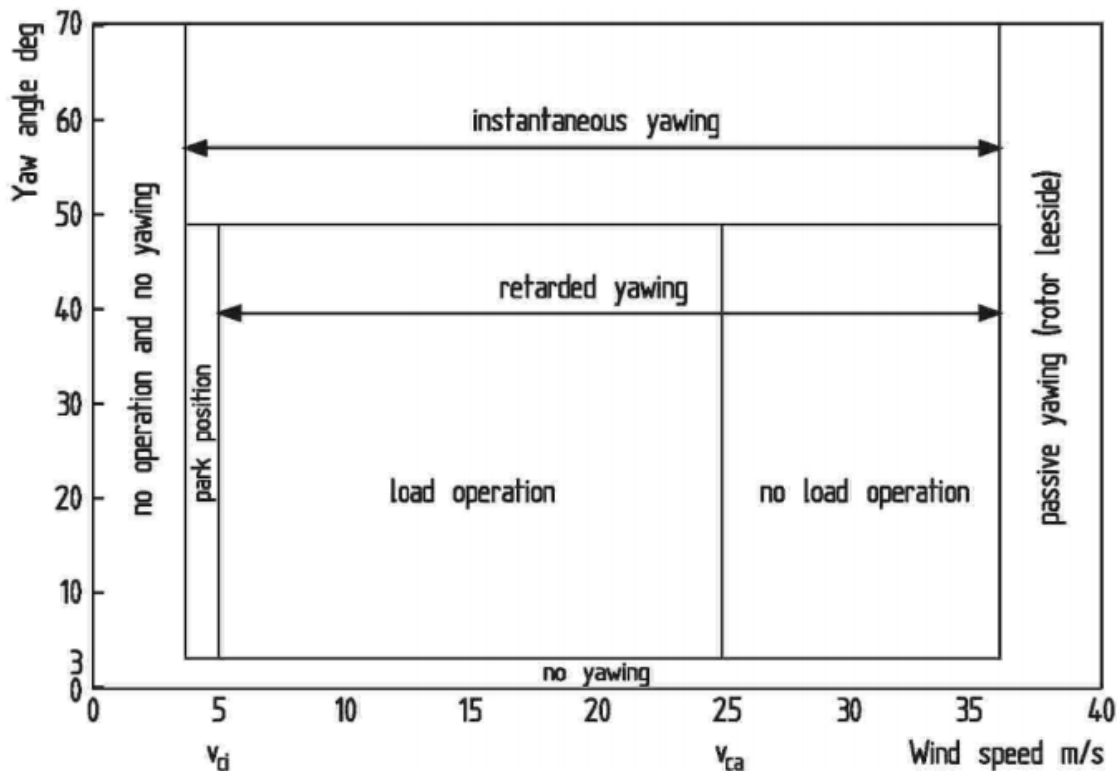
Μέτρηση δεδομένων εισόδου

Τα καθήκοντα του συστήματος ελέγχου και του ελέγχου ακολουθίας μιας ανεμογεννήτριας απαιτούν ορισμένα σήματα εισόδου, η απόκτηση των οποίων, μαζί με την επακόλουθη επεξεργασία των τιμών μέτρησης, έχει σημαντική επίδραση στην ποιότητα των λειτουργιών ελέγχου. Η βασική είσοδος για το σύστημα ελέγχου ακολουθίας είναι η ταχύτητα του ανέμου. Ωστόσο, ορισμένες διατάξεις από το ηλεκτρικό κομμάτι θα αλληλοεπιδρούν επίσης με το σύστημα ελέγχου ακολουθίας.

Ο έλεγχος ισχύος βασίζεται στην άμεση μέτρηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος και δεν χρειάζεται την ταχύτητα του ανέμου ως σήμα εισόδου. Η ταχύτητα της πλήρους σε λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας και μερικές φορές η μεταβολή της ταχύτητας κατά την εκκίνηση και τη διακοπή του δρομέα ελέγχονται με μεταβολή της ηλεκτρικής ροπής της γεννήτριας. Αυτό απαιτεί μετατροπέα συχνότητας στο ηλεκτρικό σύστημα. Το σύστημα ασφαλείας θα ανιχνεύσει έναν ολόκληρο αριθμό μεταβλητών κατάστασης, των οποίων στα κατώτατα όρια μπορούν να προκαλέσουν διακοπή ασφαλείας της ανεμογεννήτριας.

Yaw Control

Η μετακίνηση της ατράκτου προς την κατεύθυνση του ανέμου γίνεται μέσω του αισθητήρα Wind Vane Sensor. Το σύστημα ελέγχου ακολουθίας δέχεται τις τιμές του αισθητήρα και το μεταδίδει στο σύστημα ελέγχου, το οποίο ενεργοποιεί τους ηλεκτροκινητήρες για την κίνηση της ατράκτου. Επειδή, όμως, η κατεύθυνση του ανέμου δεν είναι πάντα σταθερή και οι τιμές που μεταδίδει ο αισθητήρας συνεχώς αλλάζει, κάθε ανεμογεννήτρια έχει τον δικό της τρόπο για την κίνηση της ατράκτου. Κάποιες ανεμογεννήτριες μαζεύουν τιμές για 10 δευτερόλεπτα και τα συγκρίνουν με την προηγούμενη θέση, εάν η θέση αυτή έχει διαφορά κάτω από 3 μοίρες, το σύστημα δεν θα ενεργοποιηθεί. Εάν όμως έχει πάνω από 3 μοίρες, το σύστημα θα ενεργοποιηθεί και θα μετακινηθεί ανάλογα στην κατεύθυνση. Εάν η διαφορά είναι μικρή, για παράδειγμα 10 μοίρες, το Σύστημα θα λειτουργήσει για 60 δευτερά με μικρή ταχύτητα, εάν όμως είναι μεγάλη η διαφορά για παράδειγμα 20 μοίρες, το σύστημα θα ενεργοποιηθεί για 20 δευτερόλεπτα με μεγάλη ταχύτητα. Εάν η διαφορά είναι πάνω από 50 μοίρες, η ανεμογεννήτρια θα αλλάξει κατεύθυνση κατευθείαν. Οι ταχύτητες κίνησης που κάνουν οι ανεμογεννήτριες είναι ανάλογες σε κάθε εταιρεία.



Σχ. 7.2 Πίνακας Λειτουργίας Ανεμογεννήτριας

Σύστημα μέτρησης ταχύτητας ανέμου

Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου είναι απαραίτητη για τον έλεγχο της ακολουθίας λειτουργίας, προκειμένου να γίνει εναλλαγή μεταξύ των διαφορετικών τρόπων λειτουργίας. Η τοποθεσία του αισθητήρα ανέμου πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά. Αν τοποθετηθεί κοντά στη πλήμνη, η ροή του αέρα επηρεάζει σημαντικά την λειτουργία του αισθητήρα λόγω της παραμόρφωσης στην ροή αυτή. Αυτό σημαίνει ότι η αληθής τιμή μετριέται από τον αισθητήρα κοντά στην πλήμνη, μόνο όταν είναι σταματημένη. Αν η πλήμνη ξεκινήσει νωρίς βάση του σήματος του αισθητήρα, η τιμή που θα μετρήσει μετά θα είναι λάθος λόγω της περιστροφής της πλήμνης που δημιουργεί ταλαντώσεις στον αέρα, και αυτό θα απενεργοποιήσει την ανεμογεννήτρια αν η τιμή είναι ελάχιστα πάνω από το όριο. Αν η ταχύτητα του ανέμου είναι ελάχιστα πάνω από το όριο αυτό, η ανεμογεννήτρια θα ενεργοποιηθεί και θα απενεργοποιηθεί άφθονες φορές.

Οι μετρήσεις της ταχύτητας και κατεύθυνση του ανέμου δεν πρέπει να επηρεάζεται από την πλήμνη. Ένα σημείο το οποίο δεν θα το επηρέαζε θα ήταν 10 φορές τη διάμετρο της πλήμνης μακριά. Αλλά αυτό δεν σημαίνει πως θα δεχόταν μια ακριβές τιμή γιατί, η απόσταση αυτή δεν θα εκπροσωπούσε την ταχύτητα και κατεύθυνση του ανέμου στην περιοχή της ανεμογεννήτριας.

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, οι μετρήσεις του ανέμου παρά τις λάθος τιμές, ο αισθητήρας τοποθετείται στο πίσω μέρος της ανεμογεννήτριας. Σε παλιές ανεμογεννήτριες, ο αισθητήρας τοποθετιόταν στον πύργο, κάτω από τα πτερύγια. Σε οποιοδήποτε σημείο και αν μπει ο αισθητήρας, θα δίνει πάντα τις λάθος τιμές. Αλλά, για την λειτουργία της ανεμογεννήτριας, δεν χρειάζεται να είναι ακριβές οι τιμές που δίνει ο αισθητήρας, αρκεί η απόκλιση των τιμών να είναι γνωστές.



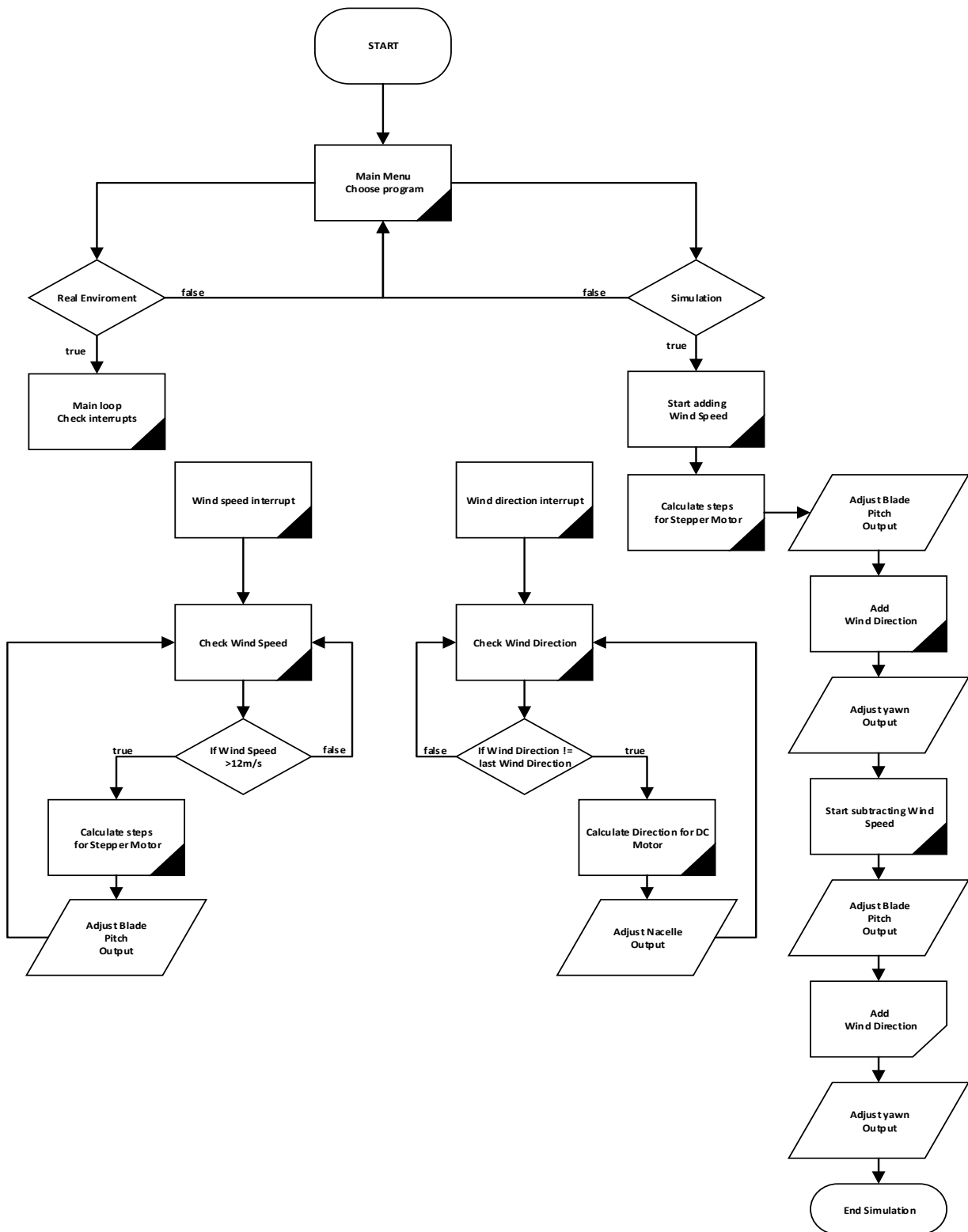
Σχ. 7.3 Αισθητήρες Ανέμου στο πίσω μέρος της απρόακτου

7.2 Ανάλυση του κώδικα

Για τον έλεγχο της ανεμογεννήτριας, χρησιμοποιήθηκε ένα Arduino Mega. Η βασική λειτουργία της ανεμογεννήτριας είναι να ελέγχει την κλίση στα πτερύγια και την κατεύθυνση της προς τον άνεμο ανάλογα με τις τιμές που δίνουν οι δυο αισθητήρες. Ο σκοπός είναι να μπορεί να διαβάσει ταυτόχρονα τα σήματα, αλλά επειδή αυτό δεν γίνεται, χρησιμοποιήθηκαν δυο υπορουτίνες που ανά ένα χρονικό διάστημα ο ελεγκτής διαβάσει τις τιμές από τους αισθητήρες. Επίσης δημιουργήθηκαν άλλες δυο υπορουτίνες που ανάλογα με τις τιμές εισόδου, ελέγχουν τις εξόδους, δηλαδή το βηματικό μοτέρ για την κλίση πτερυγίων και ένα για το μοτέρ περιστροφής της πλήμνης.

Με την δημιουργία υπορουτίνων, επιτυγχάνεται η λειτουργία της ανεμογεννήτριας σαν να έχει ξεχωριστούς ελεγκτές για την κάθε διαδικασία και να δουλεύουν ταυτόχρονα. Επίσης στο πρόγραμμα προστέθηκαν και άλλες υπορουτίνες που διαβάζουν την τάση εξόδου της γεννήτριας, τα Watt και το ρεύμα. Για τις μετρήσεις αυτές χρησιμοποιήθηκαν διάφορα Modules.

Κάποια από αυτά είναι το ανεμόμετρο για την ταχύτητα ανέμου, ο ανεμοδείκτης για την κατεύθυνση του ανέμου, ένας κωδικοποιητής για το μοτέρ περιστροφής, ένας μετρητής ισχύος και ένας ελεγκτής για το βηματικό μοτέρ. Επειδή δεν υπήρχε ανεμοδείκτης για την ανεμογεννήτρια έπρεπε να αγοραστεί ένας αλλά ήταν ακριβός και γι' αυτό το λόγο φτιάχτηκε ένας με τον 3D εκτυπωτή.



Σχ. 7.4 Διάγραμμα ροής του Κώδικα

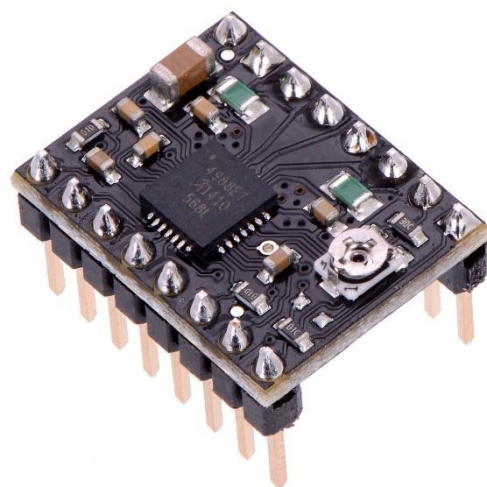
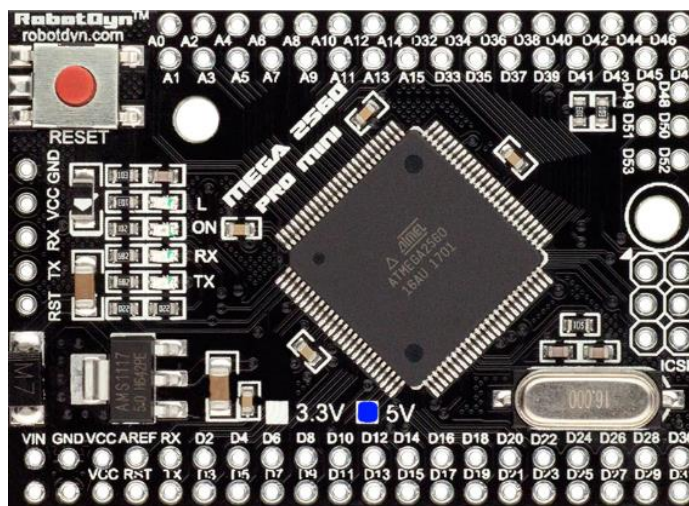
7.2.1 Σχηματικό Πλακέτας (Schematic)

Το σχηματικό της πλακέτας είναι ένα απλό κύκλωμα που η μόνη λειτουργία του είναι οι συνδέσεις με τα διάφορα ηλεκτρονικά εξαρτήματα στον ελεγκτή. Για την σχεδίαση του σχηματικού χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα της Lab Center, το Proteus που παρέχει το ARES και ISIS. Το ISIS είναι το σχηματικό πρόγραμμα και το ARES είναι το σχεδιαστικό που παρέχει διάφορες επιλογές για την κατασκευή της πλακέτας. Κατά την σχεδίαση του σχηματικού έπρεπε να γνωστά τι υλικά θα χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία του. Κάποια από τα υλικά δεν τα παρέχει η βιβλιοθήκη του Proteus όπως το Arduino και τον ελεγκτή για το βηματικό μοτέρ, το A4998. Λόγω της μη ύπαρξης των υλικών αυτών, έπρεπε να τα δημιουργήσω εγώ.

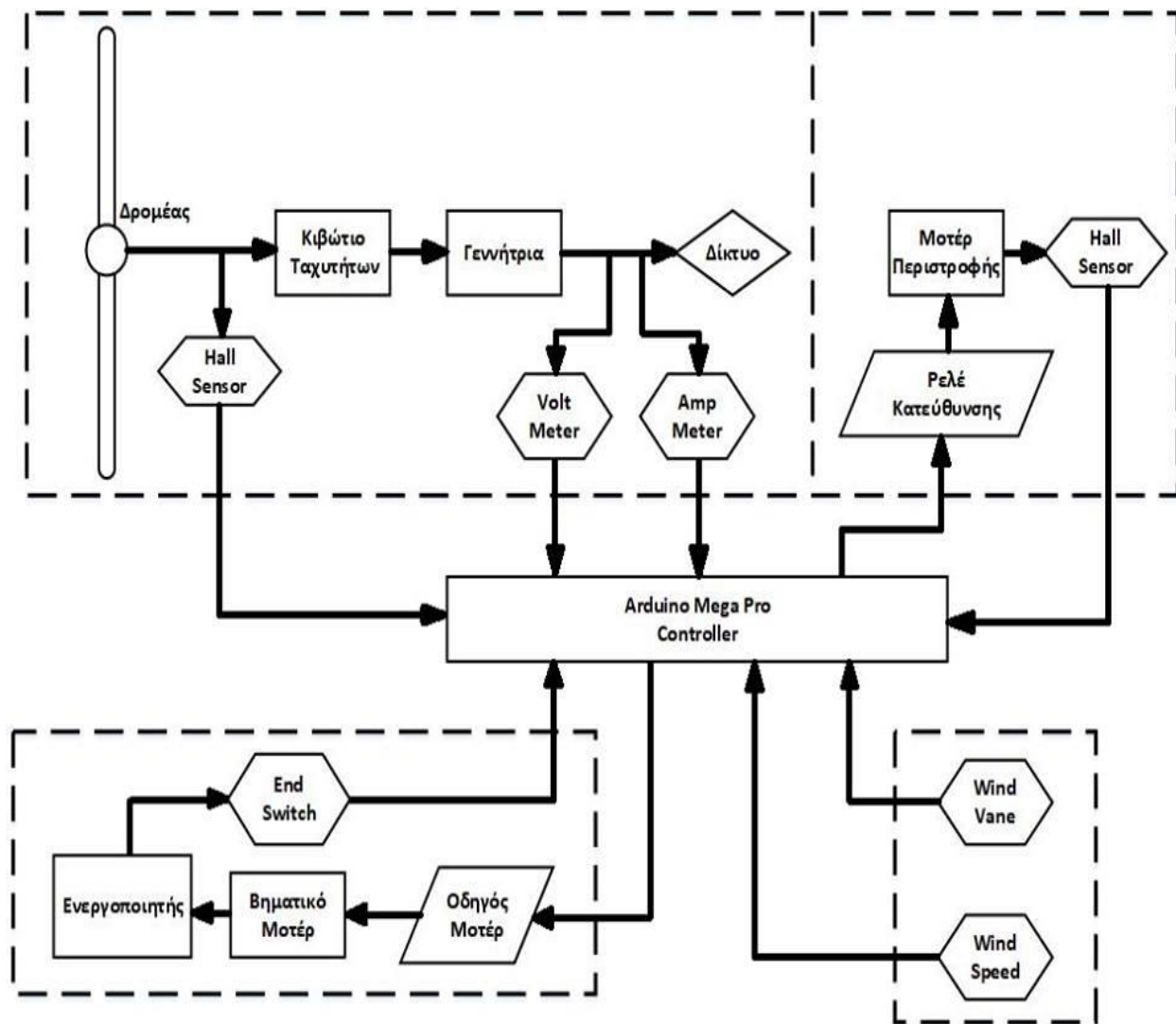
Ο τρόπος για την δημιουργία υλικών στο proteus είναι εύκολος. Το πρόγραμμα αυτό σε παρέχει όλα τα εξαρτήματα για την κατασκευή ενός υλικού. Η διαδικασία είναι απλή. Στην αρχή σχεδιάζεις το υλικό που θες, μετά προσθέτεις τα ποδαράκια και αφού το σχεδιάσεις, επιλέγεις όλο το σχέδιο, μπαίνεις στις ρυθμίσεις και προσθέτεις τα χαρακτηριστικά ανάλογα με το εξάρτημα.

Για την κατασκευή του Arduino [1-2] και του A4988 [3] δεν χρειάστηκε να προσθέσω τα χαρακτηριστικά, αλλά μόνο το σχέδιο διότι αυτά τα υλικά ήταν είδη σε πλακέτα και τα χρειαζόμουν μόνο για να κάνω τις συνδέσεις με τα υπόλοιπα υλικά. Κατά την σχεδίαση του σχισματικού, πρόσθεσα και έναν σταθεροποιητή τάσεως για την σταθερή τάση στους αισθητήρες διότι, εάν δεν έχουν μια σταθερή τάση παράγουν λάθος τιμές. Το σχηματικό αυτό θα λειτουργεί σαν μια γέφυρα μεταξύ του Arduino και των άλλων υλικών. Γι' αυτό τον λόγο χρησιμοποίησα πολλές πινοσειρές για την σύνδεση αυτών των υλικών.

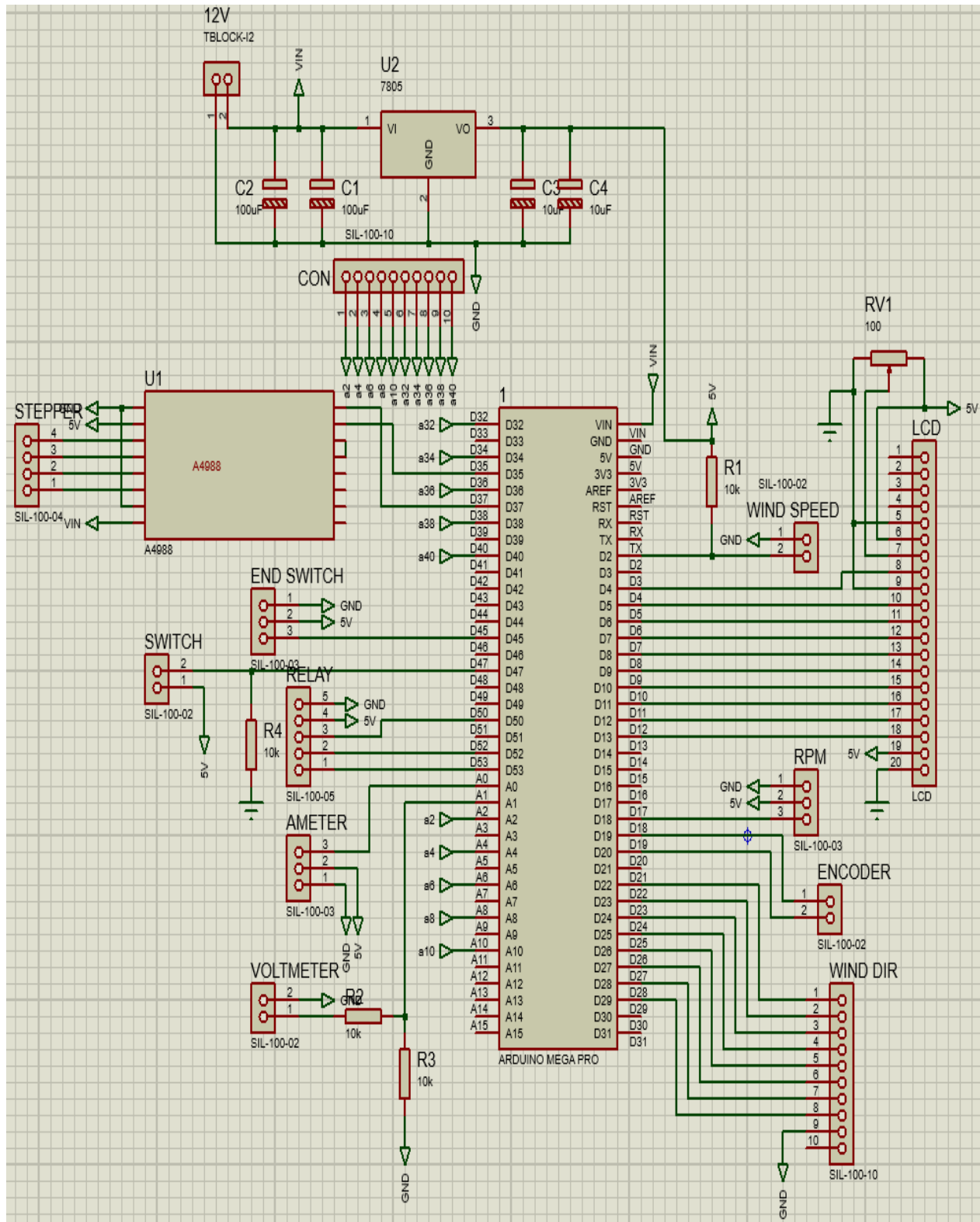
Οι αισθητήρες για τις συνδέσεις στον ελεγκτή είναι ο αισθητήρας ταχύτητας και κατεύθυνσης ανέμου, ο αισθητήρας για τις στροφές του δρομέα, ο αισθητήρας για το ρεύμα και της τάσης και ο κωδικοποιητής για το μοτέρ περιστροφής. Επίσης έχει και άλλες συνδέσεις όπως είναι η σύνδεση για την οθόνη, τα ρελέ, τα κουμπιά πλοήγησης στο μενού και ένας τερματικός διακόπτης.



Σχ. 7.5 Αριστερά το Arduino mega pro, δεξιά ο ελεγκτής του βηματικού μοτέρ



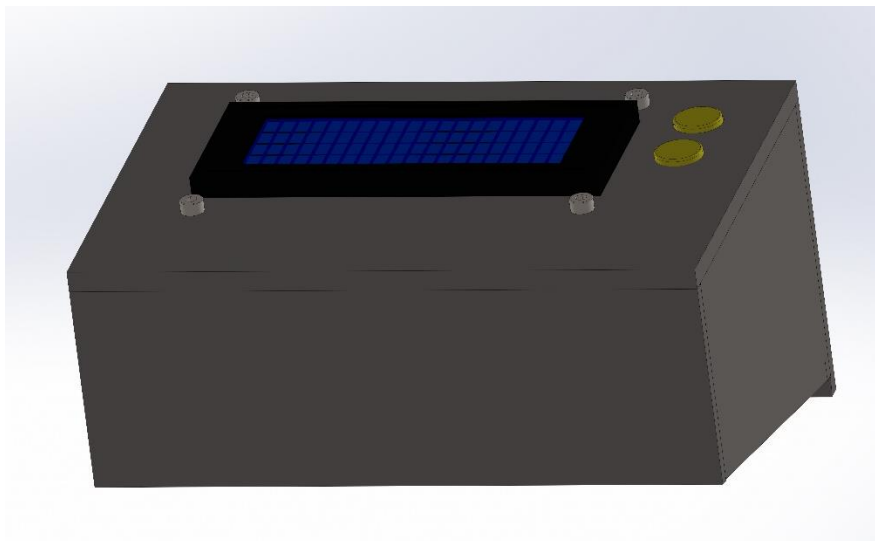
Σχ. 7. 6 Λειτουργικό διάγραμμα της ανεμογεννήτριας



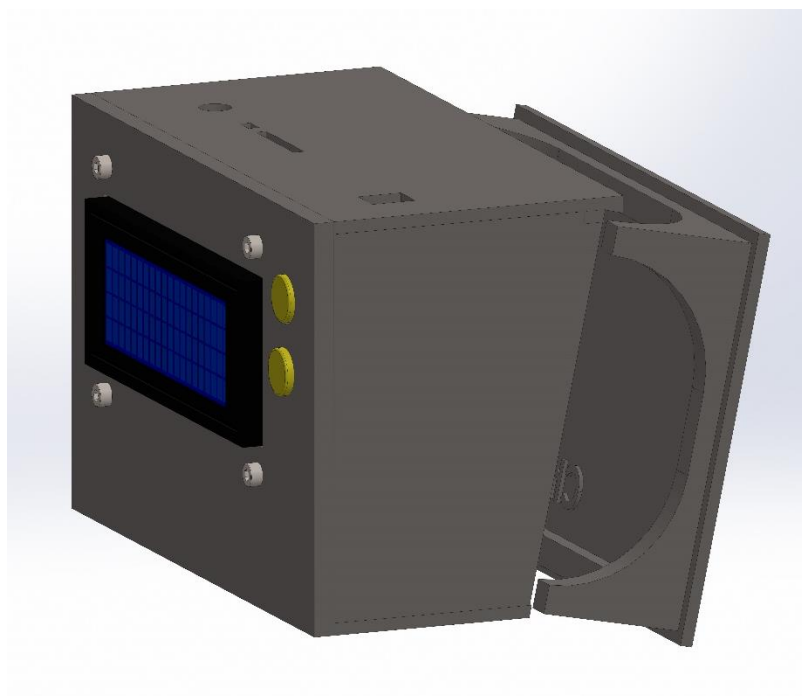
Σχ. 7.7 Το Ηλεκτρονικό Σχηματικό

7.2.2 Σχεδιασμός Πίνακα Ελέγχου και Πλακέτας (PCB)

Για την σχεδίαση του πίνακα ελέγχου, χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα solidworks. Στη σχεδίαση του πίνακα, έπρεπε να σχεδιαστεί ένα πρωτότυπο με το πώς θα φαίνεται. Το τελικό σχέδιο βγήκε ένα ορθογώνιο κουτί, το οποίο έχει μια κλίση στη μπροστινή πλευρά για εύκολη χρήση, στην οποία μπήκε η οθόνη με τα μπουτόν. Στην πίσω πλευρά έγιναν κάποιες τρύπες στις οποίες έγιναν οι συνδέσεις με τους αισθητήρες και για την τροφοδοσία. Το σχήμα είναι απλό και λειτουργικό. Σχεδιάστηκε έτσι ώστε να μπορεί κάποιος να το ανοίξει σαν ένα κουτί και να έχει εύκολη πρόσβαση στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.



Σχ. 7.8 Μπροστινή όψη του πίνακα ελέγχου



Σχ. 7.9 Πίνακας ελέγχου με το καπάκι

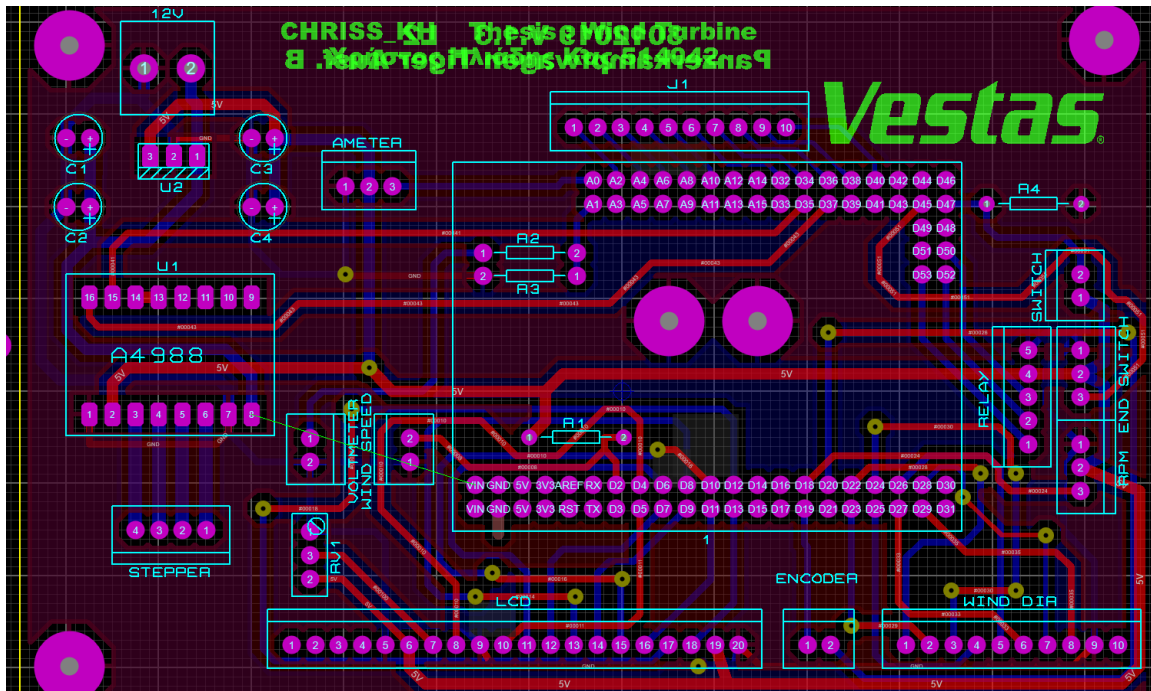
Αφού σχεδιάστηκε το σχηματικό με τα εξαρτήματα, καταλήξαμε στο ότι το κύκλωμα θα τυπωθεί σε πλακέτα. Για να γίνει αυτό πρέπει να το σχεδιάσουμε στο πρόγραμμα Proteus ARES. Για τη σχεδίαση έπρεπε πρώτα να ορίσουμε το μέγεθος της πλακέτας. Επειδή, όμως, ο πίνακας ελέγχου είναι μικρός και μέσα σε αυτόν πρέπει να χωρέσουν όλα τα εξωτερικά εξαρτήματα όπως η οθόνη, τα μπουτόν, το βύσμα για την τροφοδοσία και τα βύσματα σύνδεσης των αισθητήρων, η πλακέτα έπρεπε να γίνει μικρή. Οι διαστάσεις της πλακέτας με βάση το χώρο μέσα στον πίνακα ελέγχου βγήκε 12.2*7.7 εκατοστά.

Αφού ορίσαμε τις διαστάσεις της πλακέτας, προσθέσαμε τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα, όπως τον ελεγκτή, τις πινοσειρές και όλα τα υπόλοιπα εξαρτήματα με έναν τρόπο ώστε οι αποστάσεις από τις ενώσεις, να μην απέχουν μακριά από τον ελεγκτή. Με αυτόν τον τρόπο, ευκολύνουμε τη σχεδίαση και προσφέρουμε καλύτερη επικοινωνία μεταξύ των αισθητήρων και του ελεγκτή.

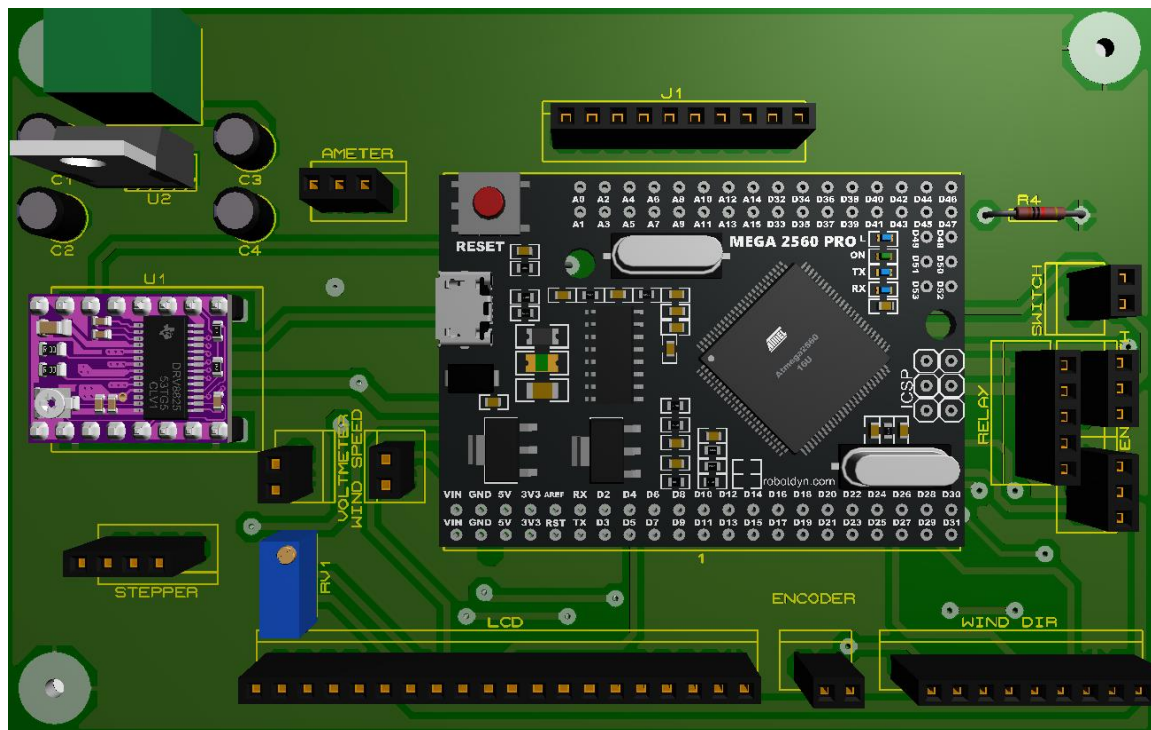
Έπειτα, αφού ταξινομηθούν όλα τα εξαρτήματα σχετικά κοντά στον ελεγκτή και σε ένα σημείο εύκολο για τη πρόσβαση και για την συναρμολόγηση τους δημιουργούμε τους αγωγούς επικοινωνίας. Γι' αυτήν τη διαδικασία υπάρχουν δυο τρόποι. Ο ένας είναι το πρόγραμμα να το κάνει αυτόματα και ο άλλος είναι χειροκίνητα. Εάν το πρόγραμμα το κάνει αυτόματα, δεν υπολογίζει εάν ο αγωγός είναι σημαντικός. Δηλαδή εάν κουβαλά σήμα που είναι ευαίσθητο σε γωνίες 90 μοιρών, και κάνει όλες τις συνδέσεις χάλια. Γι' αυτόν τον λόγο, το καλύτερο είναι χειροκίνητα που ελέγχεις όλους τους αγωγούς ο ίδιος.

Επειδή η πλακέτα ήταν μικρή και τα υλικά σχετικά πολλά με δίπλες πινοσειρές, έπρεπε να γίνει με διπλής όψης πλακέτα όπου είναι πιο δύσκολη σε σχέση με τη μονής όψεως διότι πρέπει κατά την κατασκευή της πλακέτας να κεντραριθούν οι δυο πλευρές. Κατά τη σχεδίαση καλύψαμε όλη την πλακέτα, και στις δυο όψεις, δημιουργώντας έναν ενιαίο αγωγό που το ορίσαμε για την γείωση. Με αυτόν τον τρόπο γλιτώνουμε έναν αγωγό που έπρεπε να συνδέει όλα τα εξαρτήματα και ελαττώνουμε τους αγωγούς και δημιουργούμε μια ασπίδα προς τους αγωγούς οι οποίοι μεταφέρουν σήματα.

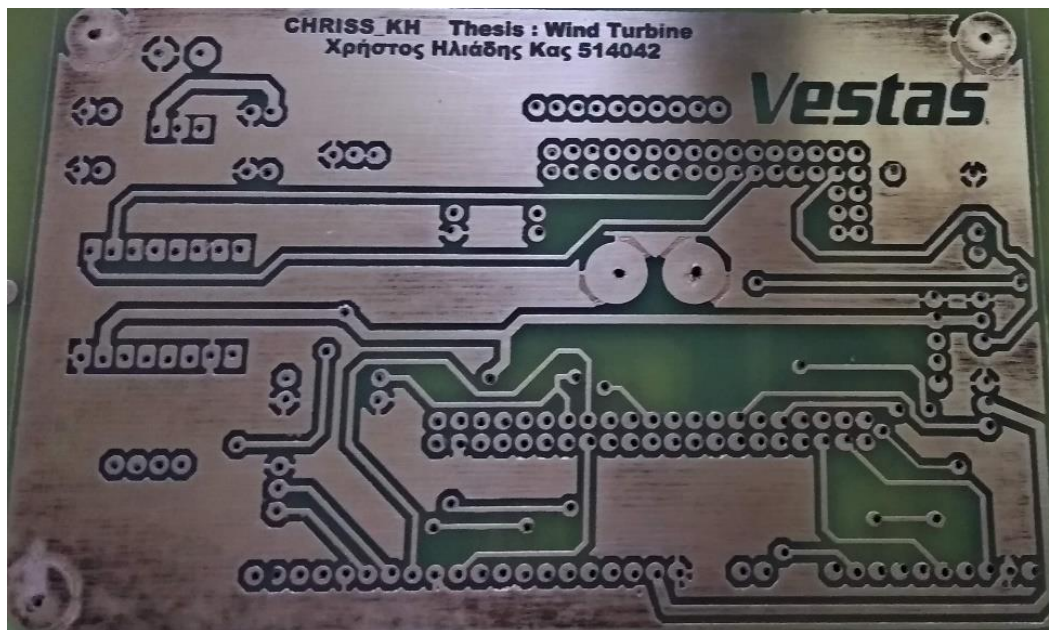
Η κατασκευή της πλακέτας έγινε με τη μέθοδο σιδερώματος (toner transfer) στην οποία σιδερώνεις το εκτυπωμένο κύκλωμα πάνω στην πλακέτα. Αυτό λιώνει το μελάνι από την εκτύπωση και έτσι μεταφέρουμε το τυπωμένο σχέδιο στην πλακέτα. Έπειτα την αποχαλκώνουμε και εμφανίζεται το κύκλωμα στην πλακέτα. Αφού τελειώσει η αποχάλκωση, δημιουργούμε τις τρύπες, τοποθετούμε τα εξαρτήματα και τα κολλάμε.



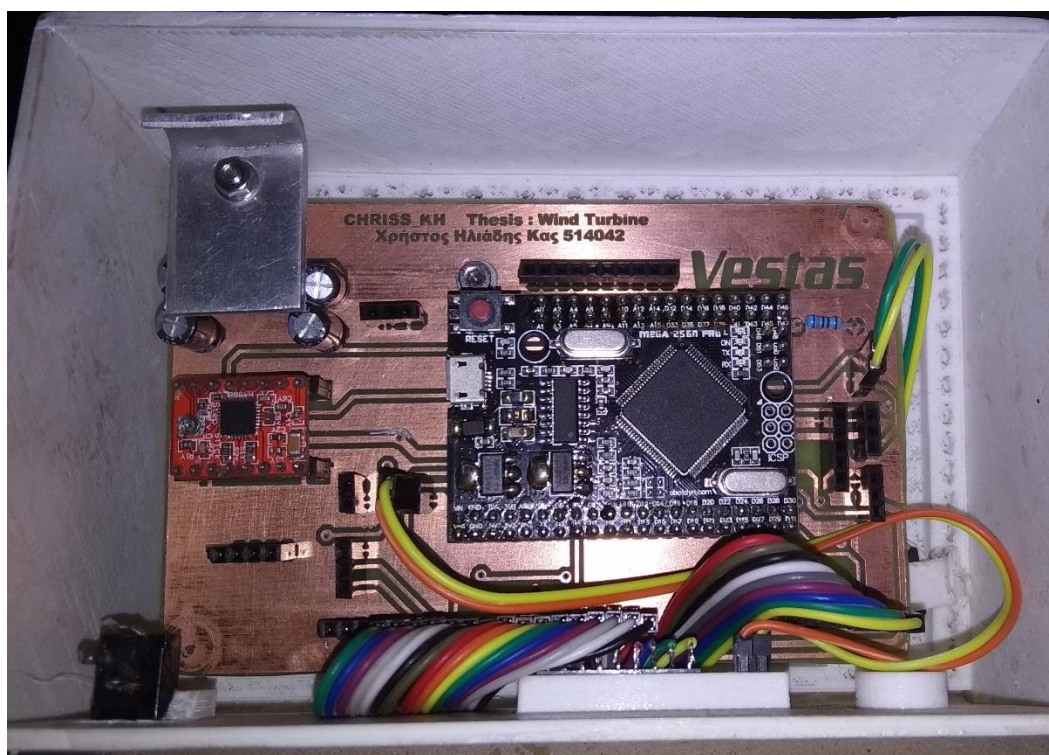
Σχ. 7.10 Σχεδιάγραμμα της Πλακέτας



Σχ. 7.11 3D σχήμα της πλακέτας στο πρόγραμμα Proteus



Σχ. 7.12 τελικό αποτέλεσμα της πλακέτας



Σχ. 7.13 Συναρμολογημένη πλακέτα στο εσωτερικό του πίνακα ελέγχου

7.3 Ανάλυση του Κώδικα

Για τη δημιουργία του κώδικα ξεκίνησα να σκέφτομαι αρχικά τον τρόπο λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Αφού κατέληξα σε έναν τρόπο, ο οποίος δεν θα με δυσκόλευε στο γράψιμο του προγράμματος, σχεδίασα ένα πρόχειρο διάγραμμα ροής. Βάση του διαγράμματος αυτού, ξεκίνησα και έγραφα τον κώδικα βήμα-βήμα. Επειδή, αυτή η ανεμογεννήτρια έχει πολλά ηλεκτρονικά εξαρτήματα, τα οποία πρέπει να επικοινωνούν με τον ελεγκτή, έπρεπε να γράψω ξεχωριστά τον κώδικα για το κάθε κομμάτι. Γι' αυτόν τον λόγο, μοίρασα τον κώδικα σε διάφορα κομμάτια, και αφού είδα ότι δουλεύουν, τα ένωσα στο κεντρικό πρόγραμμα. Για την εύκολη χρήση και πλοήγηση του κώδικα, μοίρασα τον κώδικα σε διάφορες ρουτίνες οι οποίες είναι :

- Main Code
- VoidSetup
- VoidLoop
- MainMenu
- Power
- RPM_MS
- Button
- MotorPosition
- Counter
- GetPos
- Motor
- MoveToPos
- WindDirection
- MotorPosition2
- Simulation

Η **Main Code** είναι η ρουτίνα η οποία περιέχει όλες της βιβλιοθήκες, όλες τις εισόδους και εξόδους και όλους τους ακέραιους αριθμούς.

Η **VoidSetup** είναι η ρουτίνα που διορίζει τι θα είναι έξοδος και τι θα είναι είσοδος. Επίσης αρχικοποιεί την οθόνη και διαβάζει την τελευταία κατάσταση της EEPROM στην οποία αποθηκεύεται το σημείο που βρίσκεται η άτρακτος.

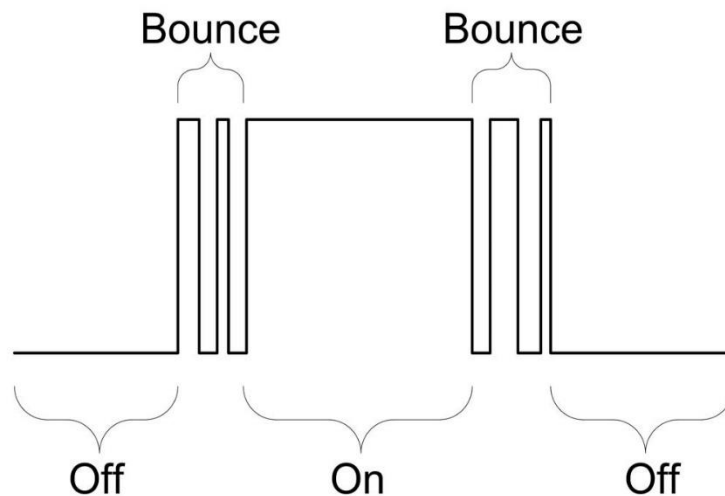
Η **VoidLoop** είναι το κεντρικό πρόγραμμα το οποίο συλλέγει πληροφορίες από όλες τις ρουτίνες και τις τρέχει εκεί μέσα σε έναν βρόχο επανάληψης.

Η ρουτίνα **MainMenu** είναι το αρχικό μενού του πίνακα ελέγχου. Σε αυτήν την ρουτίνα αρχικοποιείται το μοτέρ για τον έλεγχο των πτερυγίων. Επίσης εμφανίζει στην οθόνη τα βασικά στοιχεία της ανεμογεννήτριας κατά την περίοδο που δεν λειτουργεί.

Η ρουτίνα **Power** είναι η ρουτίνα η οποία μετράει την τάση εξόδου από την γεννήτρια, τα watt και το ρεύμα.

Η **RPM_MS** είναι η ρουτίνα που διαβάζει την ταχύτητα του ανέμου και τις στροφές του δρομέα. Ο τρόπος λειτουργίας της είναι με interrupts. Κάθε 5 δευτερόλεπτα στέλνει την τιμή της ταχύτητας του ανέμου και τις στροφές του δρομέα στο πρόγραμμα. Ο τρόπος λειτουργίας της είναι να συλλέγει παλμούς για 15 milliseconds από το ανεμόμετρο και μετά να τα στέλνει στον τύπο που υπολογίζει τον χρόνο μεταξύ δυο παλμών, τα οποία τα μετατρέπει σε μια απόσταση η οποία είναι η διάμετρος που δημιουργεί το ανεμόμετρο. Αυτό το πρόγραμμα υπολογίζει το χρόνο που χρειάστηκε το ανεμόμετρο να κάνει 2 πλήρεις κούκλους. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζουμε με ακρίβεια την ταχύτητα του ανέμου. Για τις στροφές του δρομέα, σαν αισθητήρας χρησιμοποιείται ένας Hall Sensor [4] ο οποίος στέλνει έναν παλμό για κάθε στροφή με τον οποίο μπορούμε να υπολογίζουμε τις στροφές ανά λεπτό (RPM).

Η ρουτίνα **Button**, το μόνο που κάνει είναι να διορθώνει το πάτημα των κουμπιών/μπουτόν. Τα μπουτόν όταν πατιούνται δημιουργούν όχι έναν παλμό αλλά πάρα πολλούς πολύ γρήγορα. Αυτό είναι ένα πρόβλημα διότι ο ελεγκτής προλαβαίνει και τους διαβάζει. Αυτό το πρόγραμμα διορθώνει αυτούς τους παλμούς ορίζοντας έναν χρόνο από τον πρώτο παλμό μέχρι τον τελευταίο που δημιουργείται. Αυτό αποκλείει τους ενδιάμεσους παλμούς και κρατάει τον πρώτο.



Σχ. 7.14 Οι παλμοί του Button

Το **MotorPosition** είναι η ρουτίνα η οποία υπολογίζει σε ποια θέση πρέπει να βρίσκονται τα πτερύγια. Αυτό το υπολογίζει βάση της ταχύτητας του ανέμου. Για αρχή, εάν ο άνεμος είναι πάνω από 20 m/s το ορίζει ως 20. Βάση με αυτό, δημιουργεί μια απόσταση η οποία επιτρέπει στο μοτέρ να δέχεται βήματα από 12m/s μέχρι 20 m/s. Για κάθε κίνηση που κάνει το μοτέρ, τα βήματα τα αποθηκεύει σε έναν πίνακα (array) με τον οποίο για κάθε νέα κίνηση που θα κάνει το μοτέρ, αφαιρεί τα καινούρια με τα παλιά βήματα ώστε ποτέ να μην βγουν εκτός ορίου. Για παράδειγμα εάν η ταχύτητα του ανέμου είναι 18 m/s και η προηγούμενη ήταν 13m/s, τα βήματα της παλιάς ταχύτητας είναι 13650. Ο τύπος είναι

$$\frac{m/s}{20} * 21000 = steps \quad (1.5)$$

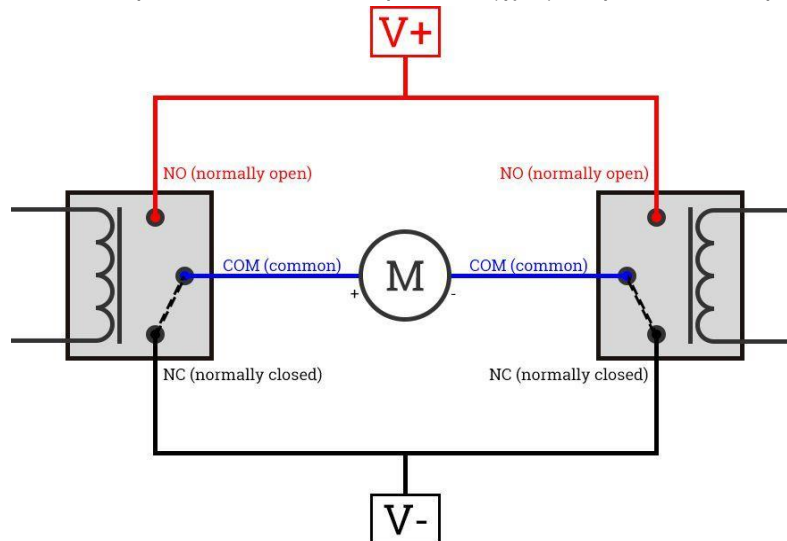
Έτσι στο παράδειγμα αυτό τα καινούρια βήματα είναι 18900. Αφαιρούμε τα νέα βήματα με τα παλιά το οποίο βγαίνει 5250 και βρίσκουμε πόσα βήματα πρέπει να κάνει για να φτάσει στην απόσταση που πρέπει

να πάει. Δηλαδή με αυτόν τον τρόπο υπολογίζουμε ποσά βήματα θέλει το μοτέρ να κάνει ακόμα για να πάει στην καινούρια θέση του. Το ίδιο θα συμβεί εάν γίνει το αντίθετο. Αντί για θετικά βήματα, θα υπολογίσει αρνητικά.

Η ρουτίνα **Counter** υπολογίζει τους παλμούς που δέχεται από τον κωδικοποιητή του μοτέρ περιστροφής της πλήμνης. Ο σκοπός του είναι να προσθέτει ή να αφαιρεί τους παλμούς που δέχεται. Ο τρόπος που καταλαβαίνει εάν γύρισε αριστερά ή δεξιά η πλήμνη είναι από τα δυο hall sensors που έχει. Εάν δώσει παλμό πρώτα ο πρώτος αισθητήρας και μετά ο δεύτερος, σημαίνει πως γύρισε αριστερά και προσθέτει τους παλμούς. Εάν δεχθεί πρώτα ο δεύτερος και μετά ο πρώτος, σημαίνει πως γύρισε δεξιά και αφαιρεί παλμούς. Για κάθε καινούρια κίνηση που κάνει αποθηκεύει το αποτέλεσμα των παλμών σε μια EEPROM, την οποία την καλεί για κάθε καινούρια κίνηση που θα κάνει. Με αυτόν τον τόπο, σε κάθε διακοπή της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, η τοποθεσία της ατράκτου είναι πάντα γνωστή.

Η **GetPos** ρουτίνα είναι ο κώδικας με τον οποίο ελέγχεται η περιστροφή της ατράκτου. Με αυτόν τον κώδικα υπολογίζει ποια είναι η πιο κοντινή απόσταση που πρέπει να διανύσει από το ένα σημείο στο άλλο. Δηλαδή εάν πρέπει από της 0 μοίρες να πάει στις 270, το πρόγραμμα υπολογίζει την απόσταση που πρέπει να κάνει από τα δεξιά και από τα αριστερά. Όποια απόσταση είναι μικρότερη, διαλέγει αυτήν και την εκτελεί. Επίσης, το πρόγραμμα αυτό υπολογίζει και τις στροφές που έχει κάνει γύρω από αυτήν. Για παράδειγμα, επειδή έχει ένα κεντρικό καλώδιο στο οποίο μεταφέρει τα σήματα και τα ρεύματα, εάν η ανεμογεννήτρια κάνει πολλούς κύκλους γύρω από αυτό, θα δημιουργήσει ζημία στο καλώδιο. Για αυτόν τον λόγο, ο κώδικας αυτός υπολογίζει αυτές τις στροφές και αφού φτάσει στην 3^η στροφή, στρέφεται προς την αντίθετη κατεύθυνση και ξετυλίγει το καλώδιο. Μετά από το ξετύλιγμα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση.

Η ρουτίνα **Motor** είναι ο κώδικας με τον οποίο έχουμε κάνει με ένα γράμμα L ή R να περιστρέφει το μοτέρ της ατράκτου, αριστερά ή δεξιά. Ο κώδικας αυτός ενεργοποιεί δυο ρελέ με τα οποία, ανάλογα με την εντολή, ανοίγει και κλείνει τα ρελέ. Με αυτόν τον τρόπο ελέγχουμε την κατεύθυνση της ατράκτου.



Σχ. 7.15 Τα ρελέ ελέγχου περιστροφής

Ο κώδικας **MoveToPos** είναι το πρόγραμμα το οποίο δέχεται πόσους παλμούς πρέπει να διανύσει το μοτέρ περιστροφής και ανάλογα ορίζει την έξοδο για τα ρελέ. Για παράδειγμα, εάν δεχθεί να διανύσει 1500 παλμούς, θα πρέπει να στέψει δεξιά και όσο στρέφεται δεξιά, αφαιρεί τους παλμούς αυτούς μέχρι να φτάσει το αποτέλεσμα 0. Εάν φτάσει το αποτέλεσμα 0, δίνει εντολή να σταματήσει το μοτέρ. Η βασική λειτουργία του κώδικα αυτού είναι να διορθώνει πάντα τους παλμούς στο 0 είτε στρέφοντας δεξιά είτε αριστερά. Προσπαθεί πάντα να έχει ένα αποτέλεσμα 0.

Η ρουτίνα **WindDirection** είναι ο κώδικας με τον οποίο ορίζουμε το αποτέλεσμα του αισθητήρα κατεύθυνσης. Ο αισθητήρας αυτός για έξοδο έχει 8 καλώδια. Οι κατευθύνσεις είναι North, North East, East, South East, South, South West, West και North West και ανάλογα την κατεύθυνση ενεργοποιεί ένα καλώδιο που ο ελεγκτής το δέχεται και αναλόγως την είσοδο που θα δεχθεί, ορίζει και την κατεύθυνση στον κώδικα. Ο κώδικας αυτός, αφού δεχθεί την κατεύθυνση, δημιουργεί μια πυξίδα και την στέλνει στην ρουτίνα GetPos.

Οι ρουτίνες **MotorPosition2** και **Simulation** είναι για την προσομοίωση της ανεμογεννήτριας. Η ρουτίνα MotorPosition2 κάνει ακριβώς την ίδια δουλειά όπως ο κώδικας στην ρουτίνα MotorPosition. Το Simulation ακολουθεί κάποιες απλές εντολές που κάνει την ανεμογεννήτρια να δουλεύει από μόνη της. Δηλαδή, προσθέτει την ταχύτητα ανέμου και ανάλογα περιστρέφει τα πτερύγια. Επίσης εκτελεί και μια άλλη εντολή που στέφει την άτρακτο σε ένα σημείο και μετά από ένα χρονικό διάστημα στρέφεται πάλι στο αρχικό της σημείο.

7.4 Πειράματα Ελέγχου ορθής Λειτουργίας της Ανεμογεννήτριας

Η σχεδίαση της ανεμογεννήτριας στο πρόγραμμα solidworks, απαιτούσε πολλές προσπάθειες σχεδίασης των επιμέρους κομματιών της, καθώς το κάθε κομμάτι θα έπρεπε να σχεδιαστεί με τέτοια λεπτομέρεια ώστε όλα μαζί συναρμολογημένα να λειτουργούν πλήρως και αποτελεσματικά. Το πρόγραμμα παρέχει την ιδιότητα προσομοίωσης και ανάλυσης της αντοχής του κάθε κομματιού στη δύναμη που ασκείται σε αυτό, αλλά επειδή τα κομμάτια είναι εκτυπωμένα από πλαστικό και σε στρώσεις 0,2 mm από το 3D εκτυπωτή, υπήρξαν αποκλίσεις και σφάλματα. Για παράδειγμα για τη σχεδίαση των γραναζιών, κατασκευάστηκαν 12 διαφορετικά γρανάζια με διαφορετική διάμετρο, πάχος και δόντια μέχρι να βρεθεί το σωστό και να μην σπάει από τις δυνάμεις που του ασκούσαν.

Το πρόγραμμα ήταν χρήσιμο και αποτελεσματικό για την καλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας όσον αφορά την αεροδυναμική επάνω στα πτερύγια, στο σύνολο της κατασκευής και στις σωστές διαστάσεις σχεδίασης και τοποθέτησης των εξαρτημάτων της.

Με τη διαδικασία πειραματισμού και σφάλματος (trial and error) κατασκευάστηκαν όλα τα κομμάτια που αποτελούν το τελικό προϊόν. Συνολικά χρησιμοποιήθηκαν περίπου 9,8kg πλαστικού, από τα οποία τα 4,2kg είναι πλαστικά εξαρτήματα τα οποία απέτυχαν τις δοκιμές για τη σωστή λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Δοκιμές σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας, έγιναν ελάχιστες καθώς το σημείο κατασκευής της ανεμογεννήτριας δεν ήταν κατάλληλο. Πιο συγκεκριμένα δεν υπήρχε άνεμος συνεχόμενος και μεταβαλλόμενος. Οι κατάλληλες συνθήκες στις οποίες πρέπει να δοκιμαστεί ώστε να διαπιστωθεί η καλή της λειτουργία είναι σε αεροδυναμική σήραγγα στην οποία είναι εφικτό να γίνει μια πλήρως μελέτη για όλες τις δυνάμεις που ασκούνται στα πτερύγια και στο σύνολο της κατασκευής, καθώς και να εκτιμηθεί η ανάλυση νεκρού σημείου (Break-even).

Για την επίλυση του προβλήματος κατάλληλων συνθηκών, μετατράπηκε η γεννήτρια σε DC μοτέρ ώστε να δοκιμαστούν να περιστρέφονται τα πτερύγια και η πλήμνη με στροφές μέχρι και 110 rpm, οι οποίες είναι υπερβολικές για μια ανεμογεννήτρια. Με αυτό το πείραμα βρέθηκαν τα σημεία δόνησης και τα όρια των γραναζιών για την μεταφορά ενέργειας στο κιβώτιο ταχυτήτων αλλά και στην επίλυσή τους.

Κατά τη δοκιμή περιστροφής της πλήμνης έπρεπε να υπολογιστεί η σωστή ταχύτητα περιστροφής ώστε να είναι ομαλή και χωρίς κραδασμούς. Τα πειράματα αυτά έγιναν στον κώδικα λειτουργίας της ανεμογεννήτριας με το σκεπτικό να λειτουργήσει ως ένα DC-DC inverter. Βέβαια το πρόβλημα που προέκυπτε ήταν ότι δημιουργούσε πολλά παράσιτα και επηρέαζε τον ευαίσθητο αισθητήρα κίνησης μαγνητικού πεδίου (Hall effect sensor), το οποίο λύθηκε με την αλλαγή στο εσωτερικό γρανάξι με λιγότερα δόντια. Έτσι η πλήμνη έπαψε να περιστρέφεται γρήγορα και απότομα με μια σταθερή τάση των 12V.

Για την καλή λειτουργία του κινητήρα και τον έλεγχο γωνίας κλίσης των πτερυγίων, σχεδιάστηκε ένας γραμμικός ενεργοποιητής, ο οποίος μελετήθηκε με ακρίβεια στις δυνάμεις που ασκούνται σε αυτόν. Συγκεκριμένα τα πλαστικά μέρη του γραμμικού ενεργοποιητή, σχεδιάστηκαν ώστε να μην τους επηρεάζουν οι καταπονήσεις σε μορφή κάμψης και διάτμησης, παρά μόνο η θλίψη και ο εφελκυσμός. Για το μηχανισμό μέσα στην πλήμνη σχεδιάστηκαν πολλά εξαρτήματα ώστε να περιστρέφονται αποτελεσματικά τα πτερύγια. Η πιο αποτελεσματική μέθοδος ήταν να τοποθετηθούν ρουλεμάν ώθησης (Thrust bearings) τα οποία, όμως, δεν υπήρχαν στην Ελλάδα και προμηθεύτηκαν από το εξωτερικό.

Το αρχικό πείραμα λειτουργίας του μηχανισμού ήταν ένα σύστημα διαφορικού μπλοκέ με πλαστικά γρανάζια το οποίο όμως απέτυχε λόγω της αστάθειας των γραναζιών στο κέντρο του κάθε πτερυγίου. Ο τελικός τρόπος ήταν με διπλό σύστημα παράλληλων αξόνων, οι οποίοι με την ευθύγραμμη κίνηση μπορούν να περιστρέφουν τα πτερύγια χωρίς την καταπόνηση του συστήματος. Η σωστή λειτουργία του τρόπου αυτού δοκιμάστηκε δημιουργώντας έναν κώδικα που θα έκανε την ευθύγραμμη κίνηση σε έναν επαναληπτικό έλεγχο εκτέλεσης για πολλές ώρες.

Με τα παραπάνω πειράματα, τις διορθώσεις που έγιναν καθώς και τον προγραμματισμό με βάση τον κώδικα στον ελεγκτή, επιτεύχθηκε η ομαλή λειτουργία των επιμέρους εξαρτημάτων της ανεμογεννήτριας, με τη βοήθεια του αυτοματισμού για την αποτροπή της καταστροφής της.

7.5 Συμπεράσματα

Ξεκινώντας από την αρχή την κατασκευή ενός μοντέλου ανεμογεννήτριας μικρότερης κλίμακας, ανακαλύπτεις τις δυνατότητες τις οποίες έχει, αλλά και τις προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν ώστε να κατασκευαστεί και να λειτουργήσει αποτελεσματικά. Επίσης η κατασκευή τέτοιου μέγεθους θέλει χρόνο και δημιουργικότητα. Με την υλοποίηση της κατασκευής, μαθαίνεις πράγματα, τα οποία δεν τα γνώριζες., όπως για παράδειγμα τα μηχανικά μέρη, τα προγράμματα σχεδίασης και η μελέτη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.

Συμπερασματικά, μια ανεμογεννήτρια για να παράγει ενέργεια, πρέπει όλα τα μέρη από τα οποία αποτελείται, να είναι συγχρονισμένα. Για να επιτευχθεί αυτό, θέλει πολλή μελέτη ως προς την κατασκευή της και μέχρι να επιτευχθεί το τελικό αποτέλεσμα χρειάστηκε πολύς χρόνος, καθώς πραγματοποιήθηκαν πολλές δοκιμές, αλλαγές και λάθη. Με κάθε αποτυχημένη δοκιμή ο τρόπος σκέψης άλλαζε και γινόταν ολοένα και πιο δημιουργικός καταλήγοντας έτσι στο τελικό αποτέλεσμα με την ανεμογεννήτρια και όλα τα μέρη της να είναι λειτουργικά όπως μια πραγματική.

Αναφορικά με τις βελτιώσεις που μπορούν να γίνουν στην κατασκευή αυτής της ανεμογεννήτριας είναι στο κομμάτι του αυτοματισμού, στο φρένο στον κεντρικό περιστρεφόμενο άξονα και στα πτερύγια ώστε να γίνουν ενιαία και όχι σε κομμάτια.

Ο αυτοματισμός θα μπορούσε να γραφτεί σε Verilog, το οποίο είναι γλώσσα για FPGA όπου με αυτόν τον τρόπο θα μπορεί να εκτελεί και να δέχεται όλες τις εντολές ταυτόχρονα χωρίς να υπάρχει καθυστέρηση όπως ένας μικροελεγκτής.

Για το φρένο στον κεντρικό περιστρεφόμενο άξονα πρέπει να μπει ένα σύστημα το οποίο να το φρενάρει αργά. Λόγω μεγέθους, όμως, η προσπάθεια εφεύρεσης ενός τέτοιου συστήματος δεν ήταν δυνατή, καθώς το σταματούσε απότομα με αποτέλεσμα να ζορίζονται όλα τα πτερύγια και τα γρανάζια.

Όσον αφορά τη βελτίωση των πτερυγίων, εφόσον υπήρχε ένα πατρών, θα μπορούσαν να κατασκευαστούν μονοκόμματα σε καλούπι από υαλοβάμβακα όπου θα έβγαιναν περίπου ίδιο βάρος και πιο δυνατά στην κατασκευή.

Παράρτημα 1°: Ο Κώδικας

1.1 Main Code {}

```
#include <A4988.h>
#include <BasicStepperDriver.h>
#include <DRV8825.h>
#include <DRV8834.h>
#include <DRV8880.h>
#include <EEPROM.h>
#include <MultiDriver.h>
#include <SyncDriver.h>
#include <Wire.h>
#include <math.h>
#include <LiquidCrystal.h>
#define RPM_MILLIS 5000
LiquidCrystal lcd(4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13);

/////Sensors/////
#define RotationPin (18)//Rotor RPM
#define WindSensorPin (2)//Wind speed

/////Motors/////
#define DIR 37
#define STEP 35
#define MOTOR_STEPS 200
#define STOPPER_PIN 45
A4988 stepper(MOTOR_STEPS, DIR, STEP);

/////Sensors/////RPM_MS
volatile unsigned long ContactBounceTime;// Timer to avoid contact bounce in interrupt routine : for Anemometer
volatile unsigned long ContactBounceTime1;// Timer to avoid contact bounce in interrupt routine : for Hall sensor
volatile unsigned long Rpm=0;// Hall sensor counter used in interrupt routine
volatile unsigned long Rotations;// cup rotation counter used in interrupt routine
float ms;// Wind speed - meter per second
unsigned long rpmStart; //using this for millis

/////Stepper Positioning/////
int degree=0;//steps to be made
int prevpos=0;//
int pos=0;
int dir;
boolean poss = false;
int degreeA[20];
int i=0;
int j=0;

/////Button/////
const int buttonPin = 47; // the number of the pushbutton pin
int buttonState; // the current reading from the input pin
int lastButtonState = LOW; // the previous reading from the input pin
int powerState = HIGH;
unsigned long lastDebounceTime = 0;
unsigned long debounceDelay = 1500;

/////Home Switch/////
const int sensPin = 45;

/////360Motor
int result;
int encoderA = 19;
int encoderB = 20;
int pulsesChanged = 0;
int pulses=0;
```


Ο Κώδικας

```
const int A1A = 52; //360Motor direction, Pin on arduino
const int A1B = 53; //360Motor direction, Pin on arduino

char* compass[] = {"N ", "NE ", "E ", "SE ", "S ", "SW ", "W ", "NW "}; //compass
byte pointer = 0;
byte direct = 0;
boolean check = true;

long int point; //map of pointerWD

int target; //new target of WD
int current; //current target of WD
int steps=0;
int Pos=0;
int newPos=0;

volatile unsigned long ContactBounceTime3; //
volatile unsigned long ContactBounceTime4; //
volatile unsigned long ContactBounceTime5; //
volatile unsigned long ContactBounceTime6; //
volatile unsigned long ContactBounceTime7; //

boolean turns=false;
boolean turns1=false;
int pulse;

int solenoid = 50;

////POWER
int input_voltage = 0.0;
float temp=0.0;
float r1=1000;
float r2=47;
int watt=0;
```

1.2 Void Setup

```
void setup() {  
  pinMode( 22, INPUT_PULLUP); //angle ==  0 degrees  
  pinMode( 23, INPUT_PULLUP); //angle == 45 degrees  
  pinMode( 24, INPUT_PULLUP); //angle == 90 degrees  
  pinMode( 25, INPUT_PULLUP); //angle == 135 degrees  
  pinMode( 26, INPUT_PULLUP); //angle == 180 degrees  
  pinMode( 27, INPUT_PULLUP); //angle == 225 degrees  
  pinMode(28, INPUT_PULLUP); //angle == 270 degrees  
  pinMode(29, INPUT_PULLUP); //angle == 315 degrees  
  pinMode(STOPPER_PIN, INPUT);  
  pinMode(WindSensorPin, INPUT);  
  pinMode(RotationPin, INPUT); //Hall sensor pin  
  pinMode(buttonPin, INPUT); //Start/Stop Button  
  pinMode(sensPin, INPUT_PULLUP);  
  pinMode(encoderA, INPUT_PULLUP);  
  pinMode(encoderB, INPUT_PULLUP);  
  pinMode(A1A, OUTPUT); //360Motor direction  
  pinMode(A1B, OUTPUT); //360Motor direction  
  pinMode(solenoid, OUTPUT);  
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(WindSensorPin), isr_rotation, FALLING);  
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(RotationPin), isr_hall, RISING);  
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(encoderA), A_CHANGE, CHANGE);  
  
  EEPROM.get(1, current);  
  stepper.begin(120, 1);  
  lcd.begin(20, 4);  
  lcd.clear();  
  Serial.begin(9600);  
  rpmStart = millis();  
}
```

1.3 VoidLoop{

```
void loop() {  
  Button();  
  
  if(powerState==HIGH)  
  {  
  
    MainMenu(); //calls rpm , main menu & setting wind turbine to default state :OFF  
  
  }  
  else  
  {  
    motorpos();//show m/s and move stepper  
    WDPos();  
    WindDirection();  
    MoveToPos();  
    Power();  
  
    //Power();//show power  
  }  
}  
/*  
 *   lcd.setCursor(0,1);  
   lcd.print("Wind Direction: ");  
   lcd.setCursor(16,1);  
   lcd.print(compass[pointer]);  
  
*/
```

1.4 MainMenu{}

```
void MainMenu()
{
  WindDirection();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Brakes: OFF   ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Pitch Angle: 90\337  ");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("Rotor Speed:" );
  lcd.setCursor(17,2);
  lcd.print("RPM" );
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("Wind Direction: ");
  lcd.setCursor(16,3);
  lcd.print(compass[pointer]);

  if (millis() - rpmStart >= RPM_MILLIS)
  {

    lcd.setCursor(10,2);
    lcd.print("  ");//clearing display for rpm
    cli();

    //Serial.println(Rpm*6);
    lcd.setCursor(13,2);
    lcd.print(Rpm*6);

    Rpm=0;
    Rotations = 0;

    sei();
    if (Rpm==0){
      solenoid=HIGH;
    }
    rpmStart = millis();
  }

  while (digitalRead(sensPin)) //main program for auto home motor PITCH
  {
    stepper.rotate(360);
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("Pitch Angle: Homing");
  }
}
```

1.5 Power{}

```
void Power()
{

    if ((millis() - ContactBounceTime6) > 50 ) // debounce the switch contact.
    {

        unsigned int x=0;
        float AcsValue=0.0,Samples=0.0,AvgAcs=0.0,AcsValueF=0.0;

        for (int x = 0; x < 150; x++){ //Get 150 samples
            AcsValue = analogRead(A0); //Read current sensor values
            Samples = Samples + AcsValue; //Add samples together
            delay (3); // let ADC settle before next sample 3ms
        }
        AvgAcs=Samples/150.0;//Taking Average of Samples

        AcsValueF = (2.5 - (AvgAcs * (5.0 / 1024.0)))/0.110;

        int analog_value = analogRead(A1);
        temp = (analog_value * 5) / 1024.0;
        input_voltage = temp / (r2/(r1+r2));

        if (input_voltage < 0.1)
        {
            input_voltage=0.0;
        }

        watt=input_voltage*AcsValueF;

        lcd.setCursor(0,3);
        lcd.print("Wh:");
        lcd.setCursor(8,3);
        lcd.print("V:");
        lcd.setCursor(13,3);
        lcd.print("A:");
        lcd.setCursor(4,3);
        lcd.print(watt);
        lcd.setCursor(16,3);
        lcd.print(AcsValueF);
        lcd.setCursor(10,3);
        lcd.print(input_voltage);

        ContactBounceTime6 = millis();
    }
}
```

1.6 RPM_MS {}

```
void RPM_MS()
{WindDirection();
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Wind Direction: ");
  lcd.setCursor(16,1);
  lcd.print(compass[pointer]);
  //Serial.println(ms);
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Wind Speed:");
  lcd.setCursor(17,0);
  lcd.print("m/s");
  lcd.print("Rotor Speed:");
  lcd.setCursor(17,2);
  lcd.print("RPM" );

  if (millis() - rpmStart >= RPM_MILLIS)
  {
    lcd.setCursor(10,2);
    lcd.print(" "); //clearing display for rpm
    cli();
    lcd.setCursor(13,2);
    lcd.print(Rpm*6);
    ms=((0.09*Rotations*3.1415)/2); //WindSpeed = Rotations * 0.75;
    lcd.setCursor(11,0);
    lcd.print(ms);
    Rotations = 0;
    Rpm=0;
    sei();
    rpmStart = millis();

  }
}

void isr_rotation ()
{
  if ((millis() - ContactBounceTime) > 15 ) // debounce the switch contact.
  {
    Rotations++;
    ContactBounceTime = millis();
  }
}

void isr_hall ()
{
  if ((millis() - ContactBounceTime1) > 15 ) // debounce the switch contact.
  {
    Rpm++;
    ContactBounceTime1 = millis();
  }
}
```

1.7 Button {}

```
void Button()
{
  int reading = digitalRead(buttonPin);

  if (reading != lastButtonState) {
    lastDebounceTime = millis();
  }

  if ((millis() - lastDebounceTime) > debounceDelay) {

    if (reading != buttonState) {
      buttonState = reading;

      if (buttonState == HIGH) {
        powerState = !powerState;

        if (ms >= 0 && ms <= 3)
        {
          prevpos = 16500;
          lcd.clear();
        }
      }
    }
  }

  lastButtonState = reading;
}
```


1.8 MotorPosition {}

```
void motorpos()
{
move_pos();
unsigned wait_time_micros = stepper.nextAction();
if (wait_time_micros <= 0) {
    stepper.disable();

    // comment out to keep motor powered
    RPM_MS();
}
// (optional) execute other code if we have enough time
if (wait_time_micros > 100){
    RPM_MS();
}
}

void move_pos()
{
//stepper.rotate(-10000);
//pos=map(ms,0,12,0,18000);
if (ms>12){
    ms=12;
}

if ((ms/12)*16500 > 4500 || (ms/12)*16500 <= 0){
    pos = (ms/12)*16500;
} else {
    pos = 0;
}
if(pos-prevpos != 0){
    degreeA[i] = pos-prevpos;
    Serial.println("");
    Serial.println(degreeA[0]);
    Serial.println(degreeA[1]);
    Serial.println(degreeA[2]);
    Serial.println(degreeA[3]);
    Serial.println(degreeA[4]);
    Serial.println("");

    i++;
}

if (degreeA[j]!=0 && stepper.nextAction() == 0){
    Serial.println("running");
    Serial.println(degreeA[j]);
    stepper.startRotate(degreeA[j]);
    j++;
}
if (j == 19 && stepper.nextAction() == 0){
    memset(degreeA, 0, sizeof(degreeA));
    j=0;
    i=0;
    Serial.println("Array clear");
    Serial.println(degreeA[0]);
    Serial.println(degreeA[1]);
    Serial.println(degreeA[2]);
    Serial.println(degreeA[3]);
    Serial.println(degreeA[4]);
    Serial.println("");
}
prevpos=pos;
}
```

1.9 Counter{}

```
void A_CHANGE()
{
  if ((millis() - ContactBounceTime3) > 25 ) // debounce the switch contact.
  {
    //Interrupt function to read the x2 pulses of the encoder.
    if ( digitalRead(encoderB) == 0 ) {
      if ( digitalRead(encoderA) == 0 ) {
        // A fell, B is low
        pulses--; // Moving forward
      } else {
        // A rose, B is high
        pulses++; // Moving reverse
      }
    } else {
      if ( digitalRead(encoderA) == 0 ) {

        pulses++; // Moving reverse
      } else {
        // A rose, B is low
        pulses--; // Moving forward
      }
    }
    pulsesChanged = 1;
    Serial.print("pulses : ");
    Serial.println(pulses);

    ContactBounceTime3 = millis();
  }
}
```

Παράρτημα 1°

1.10 GetPos {}

```
void WDPos()
{

    if ((millis() - ContactBounceTime5) > 5000 ) { // debounce the switch contact.

        WindDirection();
        //A_CHANGE();

        point=map(pointer,0,7,1,8);//map WD from N - NW To 1 - 8
        //Serial.println(point);

        target = point;
        result = target-current;
        if (result <=-4 )
        {
            result=result + 8;
        }
        if (result >=4)
        {
            result=result-8;
        }
        Serial.print("Result : ");
        Serial.println(result);

        current = target;
        EEPROM.put(1,current);

        steps = result*35; // 60 is 1/8 of pulses for full Big turn
        newPos=Pos+steps;
        check=true;

        if (newPos>=280){
            turns=true;
            turns1=false;
        }
        if (newPos<=-280){
            turns=false;
            turns1= true;
        }

        //pulses=newPos;
        //EEPROM.put(0, pulses);
        ContactBounceTime5 = millis(); }

}
```

1.11 Motor{}

```
void motor(char d)// using this to make life simpler
{
    if(d == 'R')
    {
        digitalWrite(A1A,LOW);//(if) makes the motor rotate Right
        digitalWrite(A1B,HIGH);
    }
    else if (d == 'L')
    {
        digitalWrite(A1A,HIGH);//(else if) makes motor rotate to the Left
        digitalWrite(A1B,LOW);
    }
    else
    {
        digitalWrite(A1A,LOW);//(else) makes the motor stop
        digitalWrite(A1B,LOW);
    }
}
```

1.12 MoveToPos {}

```
void MoveToPos(){
  while ( turns == false && turns1== false ){
    Pos=pulses;
    if(result<0 ) {
      Serial.println("Motor :RIGHT");
      Serial.print("Motor Steps : ");
      Serial.println(steps);
      Serial.print("Pos : ");
      Serial.println(pulses);
      Serial.print("newPos : ");
      Serial.println(newPos);
      motor('R');
    }
    while(pulses <= newPos && check== true ){
      Serial.println("loop : ");
      Serial.println(check);
      motor('o');
      check = false;
      result = 0;
    }
  }
  if (result>0){
    Serial.println("Motor : LEFT");
    Serial.print("Motor Steps : ");
    Serial.println(steps);
    Serial.print("Pos : ");
    Serial.println(pulses);
    Serial.print("newPos : ");
    Serial.println(newPos);
    motor('L');
  }
  while(pulses >= newPos && check== true){
    Serial.print("loop :");
    Serial.println(check);
    motor('o');
    check = false;
    result = 0;
  }
}
if (result == 0){
  motor('O'); }
break;
}
pulse=pulses;
if (turns==true && turns1 == false){
  if ((millis() - ContactBounceTime7) > 25 ) // debounce the switch contact.
  {
    motor('R');
    ContactBounceTime7 = millis(); }
  if (pulse == 0 ){
    motor('O');
    turns = false;
  }
}
if (turns==false && turns1 == true){
  if ((millis() - ContactBounceTime7) > 25 ) // debounce the switch contact.
  {
    motor('L');
    ContactBounceTime7 = millis(); }
  if (pulse == 0 ){
    motor('O');
    turns1 = false;
  }
}
}
```

1.13 WindDirection {}

```
void WindDirection()
{
if ((millis() - ContactBounceTime4) > 1000 ) //
{
direct = PINA ^ B11111111;
for (int i = 0; i<8;i++){
//Serial.print(bitRead(PINA ^ B11111111, i));
}
switch (direct) {
case 1:
pointer = 7;
break;
case 3:
pointer = 7;
break;
case 2:
pointer = 6;
break;
case 6:
pointer = 6;
break;
case 4:
pointer = 5;
break;
case 12:
pointer = 5;
break;
case 8:
pointer = 4;
break;
case 24:
pointer = 4;
break;
case 16:
pointer = 3;
break;
case 48:
pointer = 3;
break;
case 32:
pointer = 2;
break;
case 96:
pointer = 2;
break;
case 64:
pointer = 1;
break;
case 192:
pointer = 1;
break;
case 128:
pointer = 0;
break;
case 129:
pointer = 0;
break;
}

ContactBounceTime4 = millis();
}
}
```

Παράρτημα 2°: Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εξαρτημάτων Γεννήτριας

2.1 Κινητήρας Περιστροφής Ατράκτου

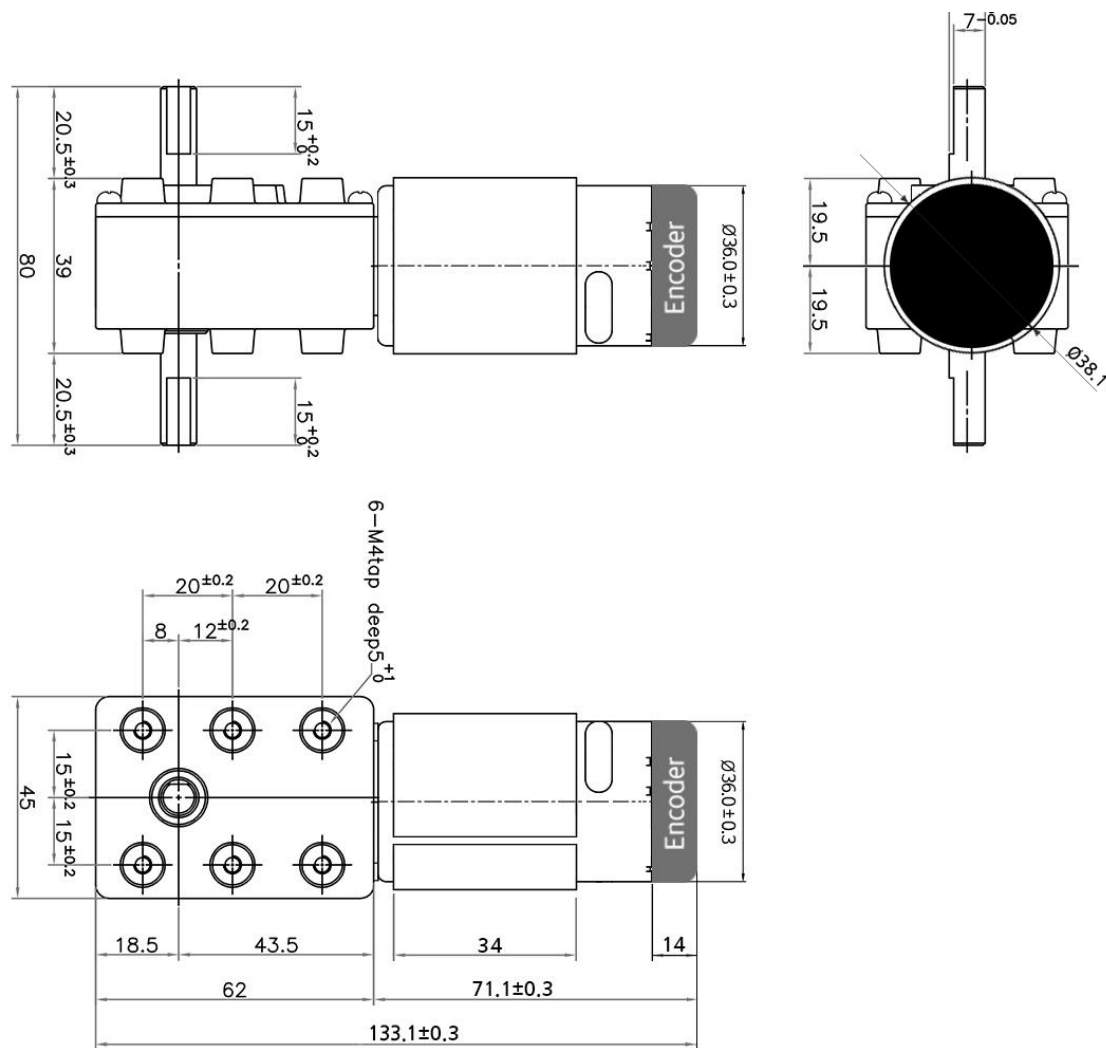
Μοτέρ 12V με μειωτήρα σε γωνία 90ο για την περιστροφή της νασέλας.

12V DC Worm Gear Motor with Encoder/30RPM/17.3W/Bronze Gear/ DC Motor D&J WITH DWG-4562-12-198-B-EN

- Gear material: BRONZE
- Voltage: 12V
- Reduction of ratio: 1/198
- Rated torque: 37kgf-cm
- Rated speed: 27RPM
- No load speed: 30.3RPM
- Rated output: 17.3W
- Weight: 554g
- Encoder spec: 26Pulses(13Pulses*2ch)
- Install Motor: DC12V/6,000 rpm /17.3 W



Εικ.1. 1 Κινητήρας Περιστροφής Ατράκτου



Εικ.1. 2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κινητήρα Περιστροφής Ατράκτου

2.2 Γεννήτρια DC 120V

DC120V 2500RPM High Power Permanent Magnet DC Brush Motor Wind Turbine Generator

- Speed: 2500 rpm
- Weight: 600 grams
- Power: 50W
- Bearing: 2x608ZZ (8mm bore ID, 22mm OD)
- Shaft material: Hard chromed plated shaft
- Body material: Stainless steel 304 AISI
- Magnet type: 3xPermanent ferrite magnet
- Windings: 10 windings, 5 pairs
- Magnet wire: 24AWG insulated copper magnet wire

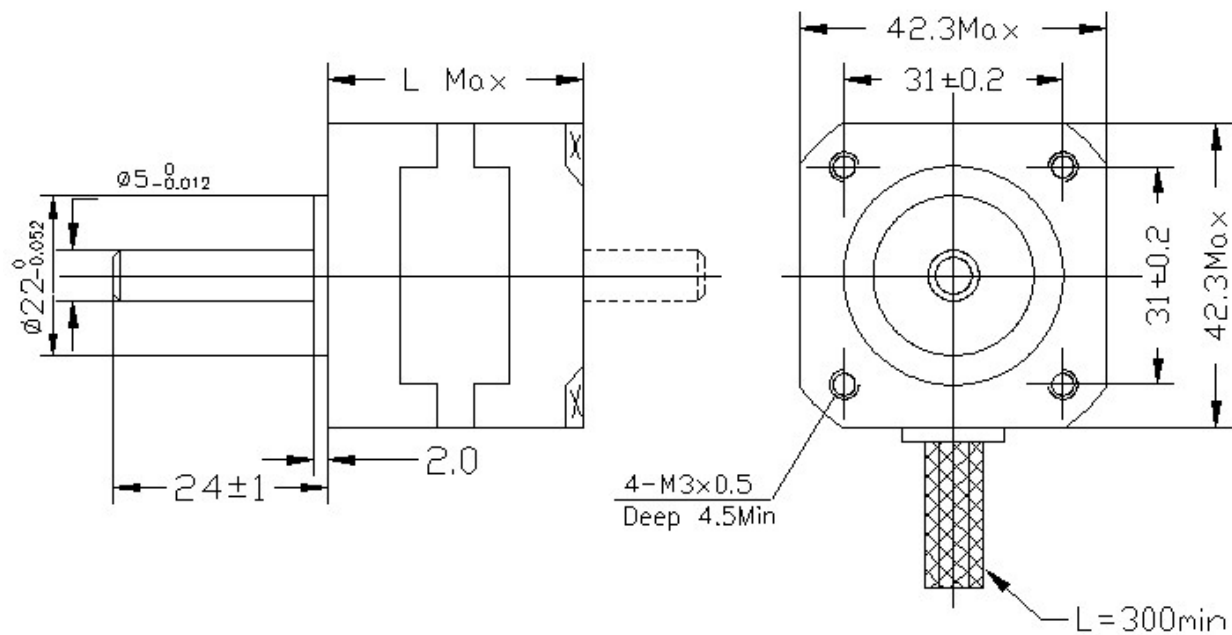
Speed (rpm)	Voltage (V)
1000 rpm	50V
2000 rpm	100V
3000 rpm	150V



Εικ.1. 3 Γεννήτρια DC 120V

2.3 Βηματικός κινητήρας

- Oukeda Motor 42BYGHW609 (Nema17)
- Step Angle: 1.8°
- Motor Length L: 40mm
- Rate Voltage : 3.4V
- Rate Current : 1.7A
- Phase Resistance : 2Ω
- Phase Inductance : 3mH
- Holding Torque: 4000g.cm
- Lead Wire: 4 NO.
- Rotor Inertia: 54g. cm²
- Detent Torque: 220g.cm
- Motor Weight: 0.24kg



Εικ.1. 4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Βηματικού Κινητήρα

Παράρτημα 3°: Η Ανεμογεννήτρια

3.1 3D Φωτογραφίες από το Solidworks



3.2 Φωτογραφίες Τελικής Ανεμογεννήτριας



Παράρτημα 3°



Βιβλιογραφικές Αναφορές

- Αιολική Ενέργεια. (χ.η.). Ανακτήθηκε 11 Φεβρουαρίου, 2019, από <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=287>
- Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. (χ.η.). Ανακτήθηκε 4 Μαΐου, 2017, από https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B1%CE%BD%CE%B5%CF%8E%CF%83%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%82_%CF%80%CE%B7%CE%B3%CE%AD%CF%82_%CE%B5%CE%BD%CE%AD%CF%81%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CF%82
- Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά. Ανακτήθηκε 27 Ιανουαρίου, 2019, από <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=286>
- Kerrigan, S. (2018). The Scientific Reason Why Wind Turbines Have 3 Blades. Ανακτήθηκε 28 Μαρτίου, 2018, από <https://interestingengineering.com/the-scientific-reason-why-wind-turbines-have-3-blades>
- Schubel, P. & Crossley, R. (2012). Wind Turbine Blade Design. *Energies*, 5, pp. 3425-3449; doi: 10.3390/en5093425, Ανακτήθηκε 23 Απριλίου, 2012, από <https://www.mdpi.com/1996-1073/5/9/3425/pdf>
- Wind Turbine Blade Design, Flat or Curved. (χ.η.). Ανακτήθηκε 16 Ιανουαρίου, 2013, από <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/wind-turbine-blade-design.html>
- Wind Turbine Design. (χ.η.). Ανακτήθηκε 7 Δεκεμβρίου, 2006, από https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine_design
- Design and Analysis of a Wind Turbine Blade with Dimples to Enhance the Efficiency through CFD with ANSYS R16.0. Ανακτήθηκε 10 Μαΐου, 2018, από https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/pdf/2018/66/mateconf_icmmpm2018_02004.pdf
- Weather Vane Sensor. Ανακτήθηκε 12 Μαρτίου, 2006, από https://en.wikipedia.org/wiki/Weather_vane
- DIY Anemometer and Windvane for Standalone Weather Station. Ανακτήθηκε 14 Ιουνίου, 2016, από <https://www.instructables.com/DIY-Anemometer-and-Windvane-for-Standalone-Weather/>
- Build your own weather station. Ανακτήθηκε 5 Σεπτεμβρίου, 2014, από <https://projects.raspberrypi.org/en/projects/build-your-own-weather-station/7>
- A true 3D printed weather station. Ανακτήθηκε 5 Απριλίου, 2018, από <https://hackaday.com/tag/wind-vane/>
- Arduino Measure Wind Speed. Ανακτήθηκε 29 Σεπτεμβρίου, 2020, από <https://www.aeq-web.com/arduino-anemometer-wind-sensor/?lang=en>
- Replacement Anemometer Assembly. Ανακτήθηκε 29 Σεπτεμβρίου, 2020, από https://www.argentdata.com/catalog/product_info.php?products_id=175&osCsid=CtF9x1dPIIf_IRydHfMLH2
- Wind speed and direction sensors. Ανακτήθηκε 29 Σεπτεμβρίου, 2017, από <http://www.arunet.co.uk/tkboyd/ec/ec1WindSpeDirMapl.htm>

- Kerrigan, S. (2018). The Scientific Reason Why Wind Turbines Have 3 Blades.
Available: <https://interestingengineering.com/the-scientific-reason-why-wind-turbines-have-3-blades>
- Schubel, P. & Crossley, R. (2012). Wind Turbine Blade Design. *Energies*
Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/5/9/3425/pdf>

Data Sheet

[1] Arduino Mega 2560

Available: <http://eprints.polsri.ac.id/4598/8/File%20VIII%20%28Lampiran%29.pdf>

[2] Arduino Mega 2560 Pro

Available: <https://robotdyn.com/pub/media/0G-00005641==MEGA-PRO-CH340GATmega2560/DOCS/PINOUT==0G-00005641==MEGA-PRO-CH340GATmega2560.pdf>

[3] Pololu A4988

Available: https://www.pololu.com/file/0J450/a4988_DMOS_microstepping_driver_with_translator.pdf

[4] Hall Sensor A3141

Available: <https://www.elecrow.com/download/A3141-2-3-4-Datasheet.pdf>

[5] Nema 17

Available: <https://www.openimpulse.com/blog/wp-content/uploads/wp-content/uploads/wpsc/downloadables/42BYGHW609-Stepper-Motor-Datasheet1.pdf>

[6] Weather Sensor Assembly

Available: https://www.argentdata.com/files/80422_datasheet.pdf

[7] Worm Encoder Motor

Available: http://mobile--shop2.motorplus1.cafe24.com/product/worm-encoder-motor-dwg-4562-12-b-en-single-shaft/356/?cate_no=28&display_group=1

[8] Έδρανα KFL000

Available: <https://grobotronics.com/pillow-block-flanged-10mm-kfl000.html?sl=en>