



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός 1763

"Λειτουργία και Έλεγχος των Αιολικών Μηχανών"

"Operation and Control of Wind Machines"

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΣ (6810)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2020

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όπως έχει γίνει πλέον γνωστό, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής είναι η ολοένα αυξανόμενη εξάντληση των φυσικών ορυκτών πόρων. Έτσι, έγινε επιτακτική η ανάγκη για παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, επιφέροντας πλεονεκτήματα τόσο στον άνθρωπο, όσο και στο περιβάλλον.

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια του ανέμου που προέρχεται από τη μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας. Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της. Η κινητική ενέργεια των ανέμων είναι τόση που, με βάση τη σημερινή τεχνολογία εκμετάλλευσής της, θα μπορούσε να καλύψει πάνω από δύο φορές τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Στην παρούσα εργασία μελετάται η ηλεκτρομηχανολογική λειτουργία και ο έλεγχος των σύγχρονων αιολικών μηχανών δηλαδή των ανεμογεννητριών. Καταγράφονται και αξιολογούνται οι μηχανικές και ηλεκτρικές βλάβες που μπορούν να εμφανιστούν κατά την διάρκεια λειτουργίας καθώς και η απαιτούμενη συντήρηση των αιολικών μηχανών. Σημαντικό ρόλο επίσης παίζουν οι αυτοματισμοί και ο έλεγχος των μηχανών αυτών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1.1. Γενικά εισαγωγικά στοιχεία	4
1.2. Αιολική ενέργεια και εφαρμογές αυτής	12
1.3. Εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας-εφαρμογές ανεμοκινητήρων	14
1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης αιολικής ενέργειας	18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1. Ανεμογεννήτριες	20
2.2. Δομή μιας ανεμογεννήτριας	20
2.3. Κατηγορίες ανεμογεννητριών	27
2.4 Χρησιμοποιούμενοι τύποι γεννητριών	36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΈΛΕΓΧΟΣ Α/Γ ΤΥΠΟΥ VESTAS

3.1 Βασικά χαρακτηριστικά.....	44
3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά.....	48
3.3 Σύστημα έλεγχου	70
3.4 Έλεγχος θερμοκρασίας	81

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

4.1 Λίστα εργαλείων με τον κώδικα και τις δυνατότητες τους	87
4.2 Τρίμηνη συντήρηση στα μηχανικά μέρη	93
4.3 Εξάμηνη συντήρηση στα μηχανικά μέρη	94
4.4 Δωδεκάμηνη συντήρηση στα μηχανικά μέρη	97
4.5 Κόστος λειτουργίας και συντήρησης	97

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	100
--------------------	-----

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	101
--------------------	-----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

1.1 Γενικά εισαγωγικά στοιχεία

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια του ανέμου που προέρχεται από τη μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας.

Οι μετακινήσεις του αέρα, οι άνεμοι, προέρχονται από τις μεταβολές και τις διαφορετικές από τόπο σε τόπο τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι διαφορετικές αυτές τιμές της πίεσης οφείλονται στη διαφορετική θέρμανση (απορρόφηση ενέργειας) της ατμόσφαιρας κάθε τόπου από τον Ήλιο.

Ο άνθρωπος από πολύ παλιά κατάλαβε πόσο σημαντική μπορεί να αποδειχθεί η ενέργεια που μας δίνει ο άνεμος όταν φυσάει και αξιοποίησε τη δύναμη των ανέμων σε διάφορες χρήσεις.

Αυτή η ενέργεια, η αιολική (υπενθυμίζεται ότι ο Αίολος ήταν ο “διαχειριστής” των ανέμων, κατά τους αρχαίους Έλληνες), αξιοποιείται στις μέρες μας ολοένα και περισσότερο, σε περιοχές όπου συχνά φυσούν ισχυροί άνεμοι.

Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε σήμερα τις ανεμογεννήτριες, με τις οποίες μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με συστηματικό τρόπο άρχισε παγκοσμίως στις αρχές της δεκαετίας του '80, όταν προκλήθηκε η πρώτη πετρελαϊκή κρίση και αυξήθηκε πολύ τα τελευταία χρόνια.

Η αιολική ενέργεια και ανεξάντλητη ως ανανεώσιμη είναι (αφού ο καλός μας ήλιος θα φροντίζει πάντα να υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των διάφορων περιοχών της γης, ώστε να προκαλούνται οι άνεμοι), και καθαρή, “φιλική” προς το περιβάλλον (αφού η μετατροπή της σε ηλεκτρική δεν το επιβαρύνει).

Σήμερα, στη γενική τους μορφή οι ανεμοκινητήρες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε άλλες πιο χρήσιμες μορφές ενέργειας, όπως θερμική, ηλεκτρική και φυσικά μηχανική.

Ο άνεμος, όμως, είναι μια ανεξέλεγκτη και χρονικά μεταβαλλόμενη σε όλες της τις παραμέτρους πηγή ενέργειας. Η δέσμευση και χρησιμοποίηση της ενέργειας αυτής, είναι ως εκ τούτου μια πολύ δαπανηρή διαδικασία. Η σχεδίαση και η κατασκευή μιας αποδοτικής και παράλληλα οικονομικής ανεμομηχανής δεν είναι εύκολη δουλειά.

Παρόλα αυτά, οι σύγχρονες ανεμομηχανές (που η επιστημονική ονομασία τους είναι “συστήματα μετατροπής” της αιολικής ενέργειας, ή πιο απλά “ανεμοκινητήρες”, ή όταν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια “ανεμογεννήτριες”, χρησιμοποιώντας τα πρόσφατα επιτεύγματα στην τεχνολογία των υλικών, στη μηχανολογία, στην ηλεκτρονική και στην αεροδυναμική, έχουν ανεβάσει σε υψηλά επίπεδα την απόδοση τους, μειώνοντας συνεχώς το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

Η μελέτη ενός συστήματος ανεμογεννήτριας (Α/Γ), περιλαμβάνει την αεροδυναμική σχεδίαση και τη μελέτη εφαρμογής, στην οποία περιλαμβάνονται η μηχανολογική μελέτη και σχεδίαση, η μελέτη του ηλεκτρολογικού συστήματος και τα ηλεκτρολογικά συστήματα ελέγχου και ασφαλείας. Η αεροδυναμική σχεδίαση αποτελεί προϋπόθεση για τον σχεδιασμό ενός συστήματος δέσμευσης και μετατροπής της ενέργειας του ανέμου, ενώ η ηλεκτρομηχανολογική μελέτη είναι το αμέσως επόμενο και αναγκαίο στάδιο για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος, κατά τον αποδοτικότερο και πλέον συμφέροντα τεχνοοικονομικό τρόπο.

Προέλευση του ανέμου

Η έμφαση του ανέμου πάνω στην επιφάνεια της γης οφείλεται σε δύο παράγοντες:

- Την ηλιακή ακτινοβολία.
- Την περιστροφική κίνηση της γης.

Η ανομοιόμορφη θέρμανση της γήινης ατμόσφαιρας, προκαλεί διαφορές στη θερμοκρασία και την ατμοσφαιρική πίεση. Σε περιοχές κοντά στον ισημερινό, όπου οι ακτίνες του ηλίου προσπίπτουν σχεδόν κάθετα, η θερμοκρασία της ατμόσφαιρας είναι υψηλότερη από ότι στους πόλους, όπου οι ακτίνες του προσπίπτουν πλάγια. Το αντίθετο συμβαίνει με την ατμοσφαιρική πίεση, η οποία είναι μεγαλύτερη στους πόλους από ότι στον ισημερινό.

Η διαφορά αυτή στην ατμοσφαιρική πίεση προκαλεί την κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα από ζώνες υψηλότερης πίεσης προς ζώνες χαμηλότερης πίεσης, με αποτέλεσμα τη δημιουργία των ανέμων. Τα κρύα επιφανειακά στρώματα αέρα κινούνται από τους πόλους προς τον ισημερινό, ενώ στην υψηλότερη ατμόσφαιρα, τα ανερχόμενα ζεστά επιφανειακά στρώματα αέρα του ισημερινού ψύχονται και κινούνται προς τους πόλους.

Από την άλλη πλευρά, λόγω της περιστροφικής κίνησης της γης, οι αδρανειακές δυνάμεις τείνουν να μετατοπίσουν τις επιφανειακές μάζες αέρα προς τα δυτικά και τις θερμότερες στην υψηλότερη ατμόσφαιρα προς τα ανατολικά.

Η συνδυασμένη κίνηση του αέρα, λόγω της ηλιακής ακτινοβολίας και της περιστροφικής κίνησης της γης, αποτελεί την γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας. Στο βόρειο ημισφαίριο αυτή η κίνηση γίνεται με φορά αντίθετη των δεικτών του ωρολογίου, ενώ στο νότιο με τη φορά των δεικτών του ρολογιού.

Ο τρόπος δημιουργίας των ανέμων έχει σαν αποτέλεσμα την ετήσια, αλλά και ημερήσια διακύμανση της έντασης και της διεύθυνσης αυτών. Επιπλέον, η τοπική μορφολογία του εδάφους και οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό το μέτρο και τη διεύθυνση της ταχύτητας των ανέμων.

Αιολική ενέργεια και περιβάλλον

Όπως είναι ευρέως γνωστό, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται ως επί το πλείστον, σε σταθμούς παραγωγής με χρήση ορυκτών καυσίμων η οποία επιφέρει εκπομπές βλαβερών ρύπων, οι οποίοι με τη σειρά τους μολύνουν την ατμόσφαιρα και υποβαθμίζουν το περιβάλλον. Επιπλέον απαιτεί χρήση των φυσικών ενεργειακών πόρων όπως γαιάνθρακα, πετρέλαιο και φυσικό αέριο, καταναλώνοντας σιγά σιγά τα αποθέματά τους.

Στον αντίποδα βρίσκονται οι ΑΠΕ οι οποίες δεν επιβαρύνουν τόσο έντονα το περιβάλλον. Συγκεκριμένα, έχουν μηδενική παραγωγή CO₂ SO₂ NO_x και κάθε είδους ρυπογόνων σωματιδίων αλλά και δεν συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή και ανανεώσιμη μορφή ενέργειας η οποία δε συνεισφέρει στην υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Υπάρχουν όμως, μερικές αναφορές όπου η αιολική ενέργεια μπορεί κατά ένα μικρό ποσοστό να προκαλέσει κάποιου είδους επιβάρυνση για το περιβάλλον.

Με βάση επιστημονικές έρευνες, έχει υπολογισθεί ότι η ετήσια παραγωγή ενός μόνο Α/Κ ισχύος 55kW υποκαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση 2700 βαρελιών πετρελαίου στο ίδιο διάστημα. Αυτό συνεπάγεται ότι αποτρέπεται η εκπομπή στην ατμόσφαιρα περίπου 735 τόνων CO₂ ετησίως, καθώς και περίπου 2 τόνων διαφόρων ρύπων. Για το λόγο αυτό επιπρόσθετα προτείνεται η θεσμική και

οικονομική ενίσχυση οποιουδήποτε επενδυτή στον τομέα αξιοποίησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.).

Ιστορική αναδρομή

Η αιολική ενέργεια, μια από τις παλαιότερες μορφές φυσικής ενέργειας, αξιοποιήθηκε από πολύ νωρίς για την παραγωγή μηχανικού έργου και έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας. Η σημασία της ενέργειας του ανέμου φαίνεται από τα αρχαία χρόνια όπου χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την μετακίνηση των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων γεγονός που συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη της ναυτιλίας.

Η πρώτες μηχανές αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας ήταν οι ανεμόμυλοι. Παρόλο που φαίνεται ότι οι αρχαίοι λαοί της Ανατολής χρησιμοποιούσαν ανεμόμυλους, η πρώτη αναφορά για τέτοιες μηχανές εμφανίζεται σε έργα Αράβων συγγραφέων του 9ου μΧ. αιώνα. Ο ανεμόμυλος έφτασε στην Ευρώπη από τους Άραβες και χρησιμοποιήθηκε σε χώρες όπως η Γαλλία και η Αγγλία σε έργα με τη μορφή υδραυλικού τροχού.

Σήμερα πλέον έχει αυξηθεί πολύ η ηλεκτροπαραγωγή μέσω Α/Κ κυρίως λόγω της τεχνολογίας που επιτρέπει την ολοένα και αποτελεσματικότερη, τεχνική και οικονομική εκμετάλλευση των ανέμων.

Συμπερασματικά, κατά την τελευταία 20ετία και συγκεκριμένα μετά τις διαδοχικές ενεργειακές κρίσεις, και λαμβάνοντας υπόψη τις ραγδαίες περιβαλλοντικές επιπτώσεις των συμβατικών ηλεκτροπαραγωγών μέσων, ο άνθρωπος έδειξε ιδιαίτερο ενδιαφέρον στη βέλτιστη δυνατή αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.

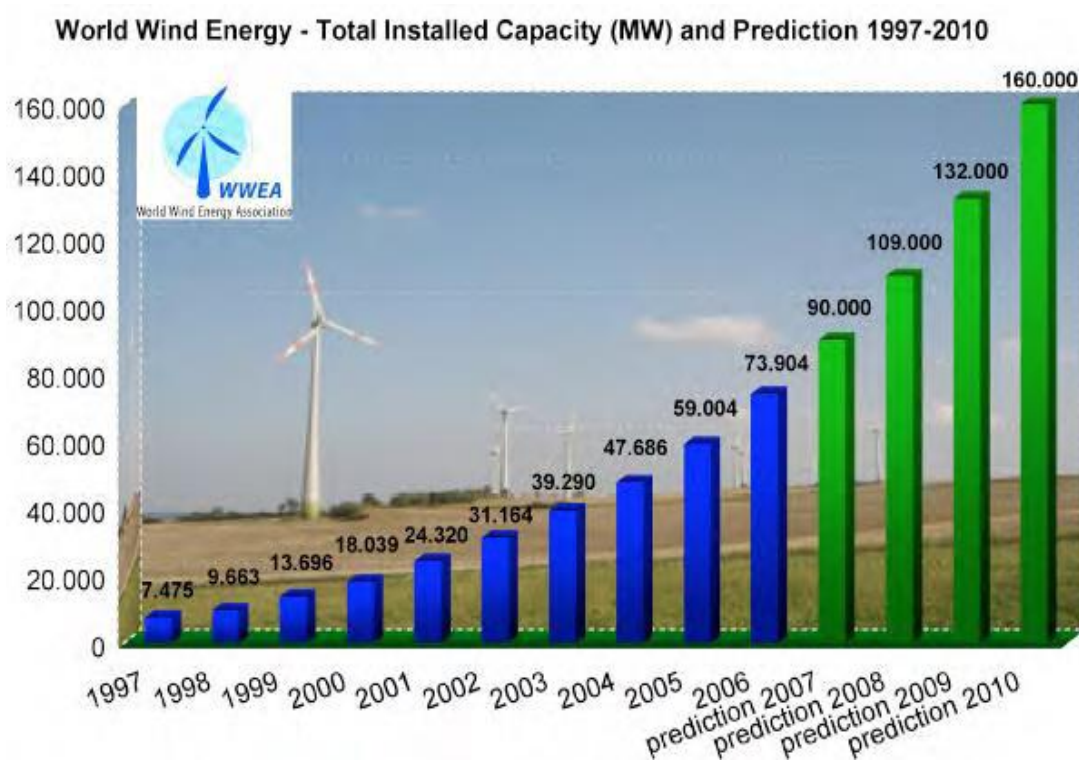
Σήμερα, μετά από πολλές και επίμονες προσπάθειες, έχει επιτευχθεί αρκετά ανταγωνιστική τιμή της αιολικά παραγόμενης kWh σε τέτοιο σημείο μάλιστα που να ανταγωνίζεται το κόστος της συμβατικά παραγόμενης kWh. Αυτό αποτελεί και έναν από τους σημαντικότερους λόγους για το ότι τα τελευταία χρόνια υπάρχει έντονη κινητικότητα όσον αφορά τον τομέα των επενδύσεων, από ιδιωτικούς αλλά και δημόσιους φορείς σε παγκόσμια αλλά και σε τοπική κλίμακα.

Ο Πίνακας 1.1 μας δείχνει αναλυτικά για τα Δεκέμβριο του 2003 τις μεγαλύτερες αιολικά ηλεκτροπαραγωγές, οι οποίες συνολικά αντιστοιχούν στο 95% σε παγκόσμια κλίμακα.

Χώρα	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)	Χώρα	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)
Γερμανία	14,609	Ιταλία	904
Η.Π.Α.	6,374	Ιαπωνία	686
Ισπανία	6,202	Αγγλία	649
Δανία	3,110	Κίνα	568
Ινδία	2,110	Ελλάδα	426
Ολλανδία	912		

Πίνακας 1.1: Μεγαλύτερες ηλεκτροπαραγωγές χώρες με χρήση αιολικής ενέργειας. [15]

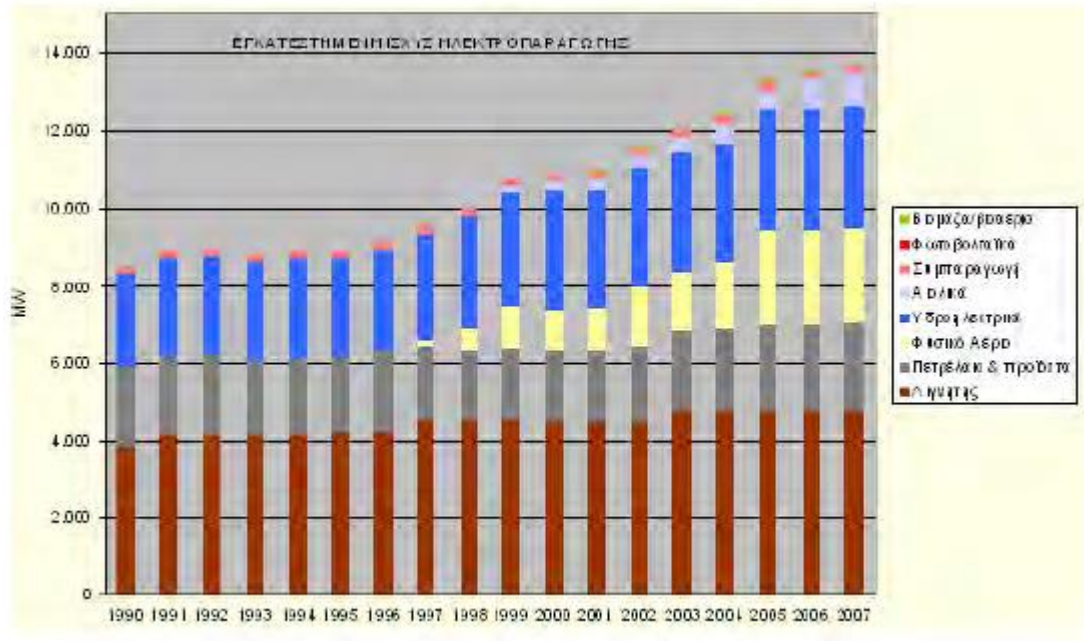
Καλύτερη εικόνα για αυτό αποκομίζει κανείς από το διάγραμμα του σχήματος 1.1 όπου απεικονίζονται τα απόλυτα μεγέθη της ανά έτος εγκατεστημένης αιολικής ισχύος με μια πρόβλεψη για το έτος 2007-2010:



Σχήμα 1.1: Συνολική εγκατεστημένη αιολική ενέργεια σε MW. [15]

Παρατηρούμε ότι οι ρυθμοί αύξησης της αιολικής ισχύος είναι συνεχώς αυξητικοί σε παγκόσμιο επίπεδο.

Στην Ελλάδα, χώρα με πλούσιο αιολικό δυναμικό, η παραγωγή σημαντικών ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικές εγκαταστάσεις αποτελεί ρεαλιστική ενεργειακή προοπτική. Αυτό φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 1.2: Συνολική εγκαταστημένη ισχύς ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα. [11]

Από το τελευταίο αυτό διάγραμμα γίνεται φανερό ότι τα τελευταία χρόνια η αιολική ενέργεια αρχίζει να καταλαμβάνει χώρο στην συνολική ηλεκτροπαραγωγή στη χώρα μας.

Ανανεώσιμες Πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Το μεγάλο ενεργειακό πρόβλημα που σε συνδυασμό με την ολοένα και μεγαλύτερη εξάντληση των φυσικών ενεργειακών αποθεμάτων, δημιούργησαν την ανάγκη για την αξιοποίηση των ήπιων ή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως για παράδειγμα:

- Αιολική ενέργεια
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Γεωθερμική ενέργεια
- Βιομάζα
- Θαλάσσια ενέργεια

Η **Αιολική ενέργεια** όπως αναφέρθηκε εκτενέστερα είναι η εκμετάλλευση της ενέργειας των ανέμων για παραγωγή ενέργειας.

Η **Υδροηλεκτρική Ενέργεια (Υ/Ε)** είναι η ενέργεια η οποία στηρίζεται στην εκμετάλλευση και τη μετατροπή της δυναμικής ενέργειας του νερού των λιμνών και της κινητικής ενέργειας του νερού των ποταμών σε ηλεκτρική ενέργεια. Η μετατροπή αυτή γίνεται σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, μέσω της περωτής του στροβίλου, έχουμε την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του νερού σε μηχανική ενέργεια με την μορφή περιστροφής του άξονα της περωτής και στο δεύτερο στάδιο, μέσω της γεννήτριας, επιτυγχάνουμε τη μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Το σύνολο των έργων και εξοπλισμού μέσω των οποίων γίνεται η μετατροπή της υδραυλικής ενέργειας σε ηλεκτρική, ονομάζεται Υδροηλεκτρικό Έργο (ΥΗΕ).

Η δέσμευση/αποθήκευση ποσοτήτων ύδατος σε φυσικές ή τεχνητές λίμνες, για ένα Υδροηλεκτρικό Σταθμό, ισοδυναμεί πρακτικά με αποταμίευση Υδροηλεκτρικής Ενέργειας. Η προγραμματισμένη αποδέσμευση αυτών των ποσοτήτων ύδατος και η εκτόνωσή τους στους υδροστροβίλους οδηγεί στην ελεγχόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Με δεδομένη την ύπαρξη κατάλληλων υδάτινων πόρων και τον επαρκή εφοδιασμό τους με τις απαραίτητες βροχοπτώσεις, η Υ/Ε καθίσταται μια σημαντικότερη εναλλακτική πηγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Με το όρο **Ηλιακή Ενέργεια** χαρακτηρίζουμε το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Το φως και η θερμότητα που ακτινοβολούνται, απορροφούνται από στοιχεία και ενώσεις στη Γη και μετατρέπονται σε άλλες μορφές ενέργειας. Η τεχνολογία σήμερα αξιοποιεί ένα μηδαμινό ποσοστό της καταφθάνουσας στην επιφάνεια του πλανήτη μας ηλιακής ενέργειας με τριών ειδών συστήματα: τα θερμικά ηλιακά, τα παθητικά ηλιακά και τα φωτοβολταϊκά συστήματα.

Η **γεωθερμία** είναι μια ήπια και πρακτικά ανεξάντλητη ενεργειακή πηγή, που μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να καλύψει ανάγκες θέρμανσης και ψύξης, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις να παράγει ηλεκτρική ενέργεια. Η γεωθερμία προσφέρει ενέργεια χαμηλού κόστους, ενώ δεν επιβαρύνει το περιβάλλον με εκπομπές βλαβερών ρύπων.

Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού, ποικίλει από περιοχή σε περιοχή, ενώ συνήθως κυμαίνεται από 25°C μέχρι 360°C. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150°C), η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κυριότερη θερμική χρήση της γεωθερμικής ενέργειας παγκοσμίως αφορά στη θέρμανση

θερμοκηπίων. Χρησιμοποιείται ακόμα στις υδατοκαλλιέργειες, όπου εκτρέφονται υδρόβιοι οργανισμοί αλλά και για τηλεθέρμανση, δηλαδή θέρμανση συνόλου κτιρίων, οικισμών, χωριών ή και πόλεων. Σήμερα στην Ελλάδα, η εκμετάλλευση της γεωθερμίας γίνεται αποκλειστικά για χρήση της σε θερμικές εφαρμογές, οι οποίες είναι εξίσου σημαντικές με την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Ακόμα, λόγω του πλούσιου σε γεωθερμική ενέργεια υπεδάφους της χώρας μας, κυρίως κατά μήκος του ηφαιστειακού τόξου.

Βιομάζα είναι το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των προϊόντων, αποβλήτων και υπολειμμάτων που προέρχονται από τη γεωργία, (συμπεριλαμβανομένων των φυτικών και των ζωικών ουσιών), τη δασοκομία και τις συναφείς βιομηχανίες, καθώς και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των βιομηχανικών και αστικών αποβλήτων.

Ως βιομάζα ορίζεται η ύλη που έχει βιολογική (οργανική) προέλευση. Πρακτικά περιλαμβάνεται σε αυτήν οποιοδήποτε υλικό προέρχεται άμεσα ή έμμεσα από τον φυτικό κόσμο. Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (καυσόξυλα, κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων, της αγροτικής βιομηχανίας και το βιοαποικοδομήσιμο κλάσμα των αστικών απορριμμάτων.

Η βιομάζα χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα μπορεί να αξιοποιηθεί για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών (θέρμανσης, ψύξης, ηλεκτρισμού κ.λπ.) και ακόμα για την παραγωγή υγρών βιοκαυσίμων (βιοαιθανόλη, βιοντίζελ κ.λπ.).

Οι **ωκεανοί**, που καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του πλανήτη μας, είναι μια τεράστια αποθήκη ενέργειας. Υπάρχει μηχανική ενέργεια στα παλιρροιακά κύματα, στα κύματα και στα θαλάσσια ρεύματα. Υπάρχει επίσης τεράστιο απόθεμα θερμικής ενέργειας, στη θερμότητα του νερού των ωκεανών. Το πρόβλημα είναι ότι αυτές οι μεγάλες ποσότητες ενέργειας είναι αρκετά διασκορπισμένες. Η ενέργεια των θαλάσσιων ρευμάτων, των κυμάτων και των ωκεανών προέρχεται από τον ήλιο. Η ενέργεια των παλιρροιακών κυμάτων όμως προέρχεται από την έλξη που ασκούν το φεγγάρι και ο ήλιος στα νερά των ωκεανών. Η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί είναι ικανή να καλύψει τις ανάγκες μιας πόλης μέχρι και 240 χιλιάδων

κατοίκων. Ο πρώτος παλιρροϊκός σταθμός κατασκευάστηκε στον ποταμό La Rance στις ακτές της Βορειοδυτικής Γαλλίας το 1962 και οι υδροστρόβιλοί του μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια καθώς το νερό κινείται κατά τη μια ή την άλλη κατεύθυνση. Άλλοι τέτοιοι σταθμοί λειτουργούν στη Ρωσία, στη θάλασσα Barents και στον κόλπο Fuhdy της Νέας Σκοτίας.

Η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί επίσης να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η διαφορά αυτή πρέπει να είναι τουλάχιστον 3,5°C. Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της ενέργειας των ωκεανών, εκτός από "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά ευεργετήματα, είναι το σχετικά μικρό κόστος κατασκευής των απαιτούμενων εγκαταστάσεων, η μεγάλη απόδοση (40-70 KW ανά μέτρο μετώπων κύματος) και η δυνατότητα παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση από το άφθονο θαλασσινό νερό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο. Στα μειονεκτήματα αναφέρεται το κόστος μεταφοράς της ενέργειας στη στεριά.

1.2 Αιολική ενέργεια και εφαρμογές αυτής

Πλέον η μεγαλύτερη πρόκληση είναι η συνεχώς αυξανόμενη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας μιας και η δυνατότητες χρήσιμης ενέργειας που μπορεί να παρέχει για όλη την ανθρωπότητα είναι ανυπολόγιστες.

Η αιολική ενέργεια είναι πρώτα απ' όλα μια θυγατρική μορφή της ηλιακής ενέργειας αφού το 2% περίπου της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στη γη μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των αερίων μαζών. Πρόκειται για μηχανική ενέργεια υψηλής ποιότητας που προσφέρεται για μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια ή σε χρήσιμη μηχανική ενέργεια.

Αυτό το 2% της ηλιακής ενέργειας που μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των αερίων μαζών είναι πρακτικά άφθονη ενέργεια, είναι εκατοντάδες φορές μεγαλύτερη από τις ενεργειακές ανάγκες της ανθρωπότητας, αλλά βέβαια δεν είναι όλη χρησιμοποιήσιμη. Μικρό ποσοστό αυτής της ενέργειας αντιστοιχεί σε μεγάλης ταχύτητα ανέμους, όπου σε κατάλληλες θέσεις στην επιφάνεια της γης είναι άμεσα αξιοποιήσιμη. Αυτό όμως το ποσοστό σε απόλυτα νούμερα δεν είναι καθόλου αμελητέο.

Σαφώς η αιολική ενέργεια παρουσιάζει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Όπως όμως θα αναφερθούν σε επόμενη ενότητα, τα πλεονεκτήματα υπερτερούν των μειονεκτημάτων και αυτό σε συνδυασμό με το ενεργειακό αδιέξοδο στο οποίο οδεύουμε, κάνουν πλέον επιτακτική την άμεση εκμετάλλευσή της.

Ειδικότερα, στη χώρα μας, η οποία είναι περιοχή έντονου αιολικού δυναμικού, η ευρύτερη ανάπτυξη και χρήση της αιολικής ενέργειας αποτελεί μονόδρομο στη σταδιακή ανεξαρτησία μας από τους εξωτερικούς προμηθευτές συμβατικών ενεργειακών πόρων. Βέβαια, με την παρούσα τεχνολογική υποδομή δεν είναι δυνατόν να απορροφηθεί όλο το αιολικό δυναμικό σε ποσοστό 100% από τους διαθέσιμους Α/Κ.

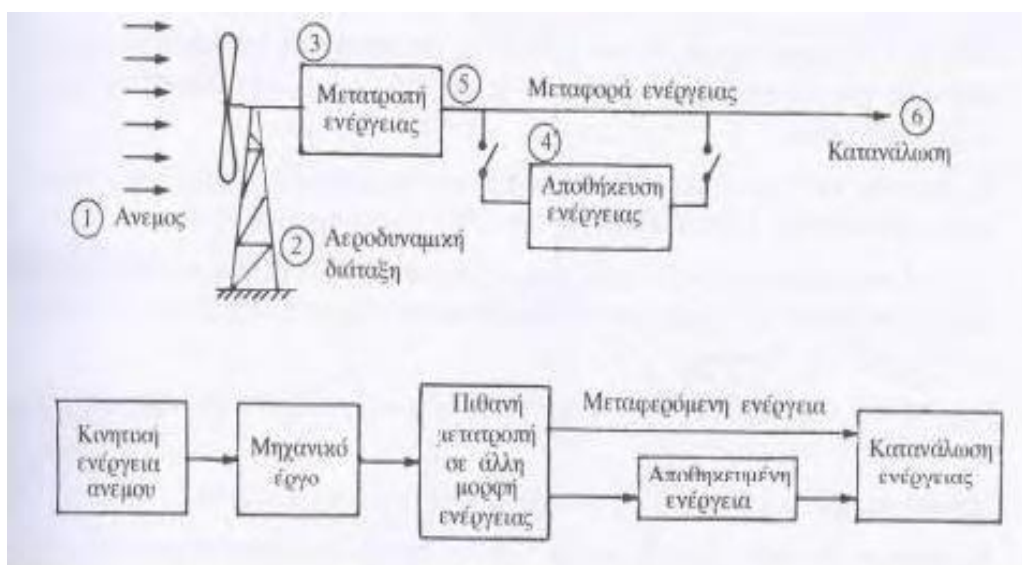
Ακόμα και η ΔΕΗ, η οποία είναι κατεξοχήν συντηρητική στις εκτιμήσεις της προβλέπει ότι το Ελληνικό αιολικό δυναμικό φθάνει τις 6,46 κιλοβατώρες το χρόνο, που σημαίνει 15% των ενεργειακών αναγκών της χώρας. Ένα μέρος αυτού του αιολικού δυναμικού που αντιστοιχεί περίπου σε 1200 μεγαβάτ εγκατεστημένα, μπορεί ήδη σήμερα να χρησιμοποιηθεί με όρους οικονομικά βιώσιμους, αν όχι συμφέροντες.

Βέβαια όμως η εγκατάσταση ενός πάρκου Α/Κ προκειμένου να αξιοποιηθεί το αιολικό δυναμικό της χώρας μας, έχει και πολλές δυσκολίες:

1. Πρέπει να γίνουν ακριβείς μετρήσεις και μελέτες για την σωστή επιλογή του μέρους του αιολικού πάρκου. Συνήθως επιλέγονται μέρη όπου ο άνεμοι πνέουν σε ταχύτητες 12-15m/s σχετικά σταθεροί, χωρίς να έχουν μεγάλες ριπές που είναι υπεύθυνες για τις φθορές και βλάβες των Α/Κ.
2. Το μεγάλο οικονομικό κόστος μιας τέτοιας επένδυσης είναι ένας παράγοντας που λαμβάνεται σοβαρά υπόψη. Μια διευκόλυνση θα ήταν οι επιδοτήσεις κατά ενός ποσοστού από το κράτος ή από ευρωπαϊκά προγράμματα ώστε να ρίξουν αρκετά το κόστος της επένδυσης.
3. Τα πάρκα αυτά προσφέρουν ηλεκτρική ενέργεια σε μια ευρύτερη γεωγραφικά περιοχή, έτσι πρέπει να είναι συνδεδεμένα με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο.

Κατά τη σύνδεση υπάρχουν πάντα δυσκολίες ευστάθειας του δικτύου, για παράδειγμα λόγω απρόβλεπτων καιρικών φαινομένων, υπερφόρτισης του δικτύου κ.α. Η σύνδεση γίνεται μέσω υποσταθμού, στον οποίο τοποθετούνται οι μετασχηματιστές ανυψώσεως τάσης και τα υπόλοιπα απαραίτητα στοιχεία της προστασίας όλης της εγκατάστασης. Παράλληλα όμως πρέπει να υπάρχουν συστοιχίες συσσωρευτών για την αποθήκευση

της πλεονάζουσας ενέργειας και χρήσης αυτής σε περιπτώσεις άπνοιας ή βλάβης των Α/Κ όπως φαίνεται χαρακτηριστικά στο σχήμα (1.3)



Σχήμα 1.3: Τοπική διάταξη μετατροπής αιολικής ενέργειας. [3]

4. Τέλος πολλοί είναι αυτοί οι μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί (Greenpeace, EWEA, CRES) οι οποίοι τονίζουν τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών (ως προς τα επίπεδα θορύβου των κινούμενων μερών, τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές που μπορεί να προκαλούν σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, τη μείωση στον πληθυσμό ορισμένων ειδών πουλιών και την προσβολή της αισθητικής του φυσικού τοπίου μιας περιοχής).

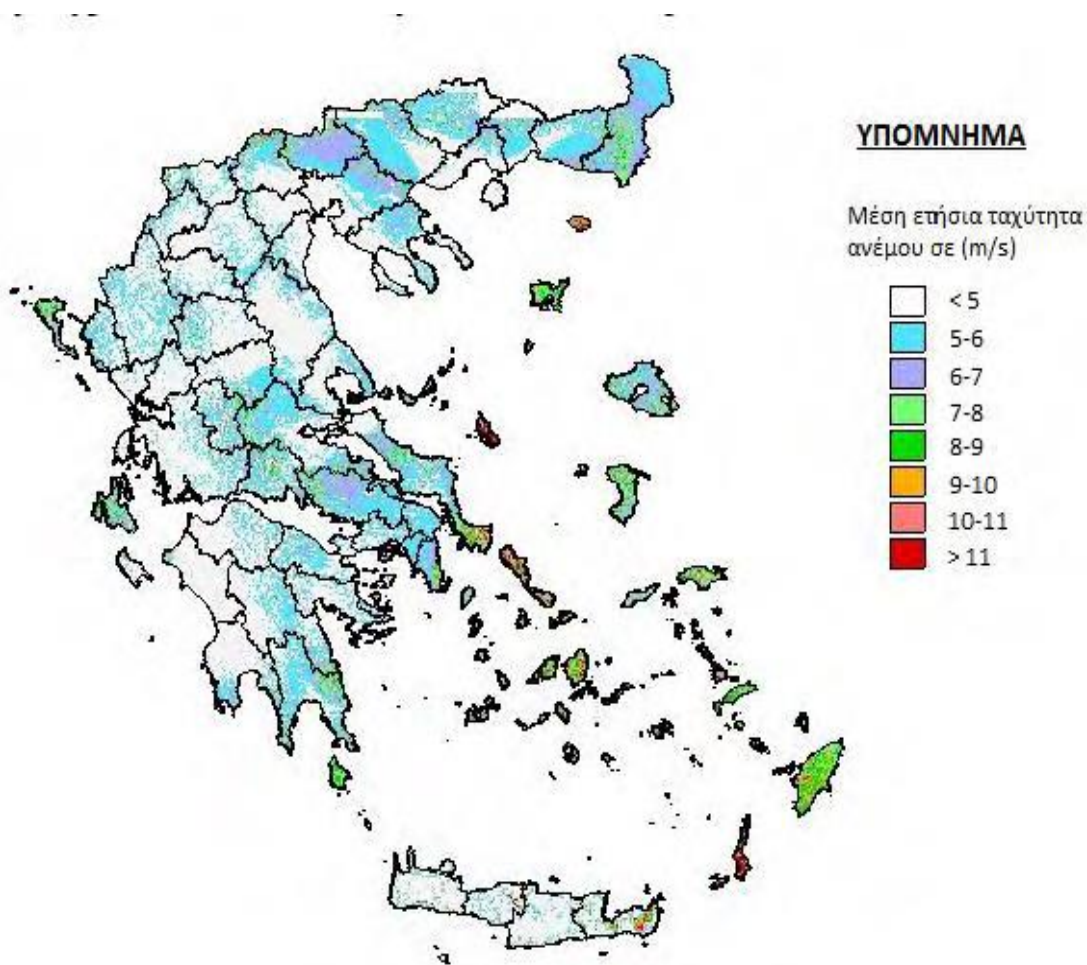
1.3 Εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας-εφαρμογές ανεμοκινητήρων

Παρούσα κατάσταση και προοπτικές εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα

Από γεωγραφικής άποψης, η χώρα μας βρίσκεται σε μια από τις καλύτερες θέσης παγκοσμίως για τη δυνατότητα εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού.

Ειδικότερα οι παράκτιες περιοχές και τα νησιά μας μπορούν να προσφέρουν σε μεγάλο βαθμό ενέργεια και να τροφοδοτήσουν ακόμα και ολόκληρη την χερσόνησο.

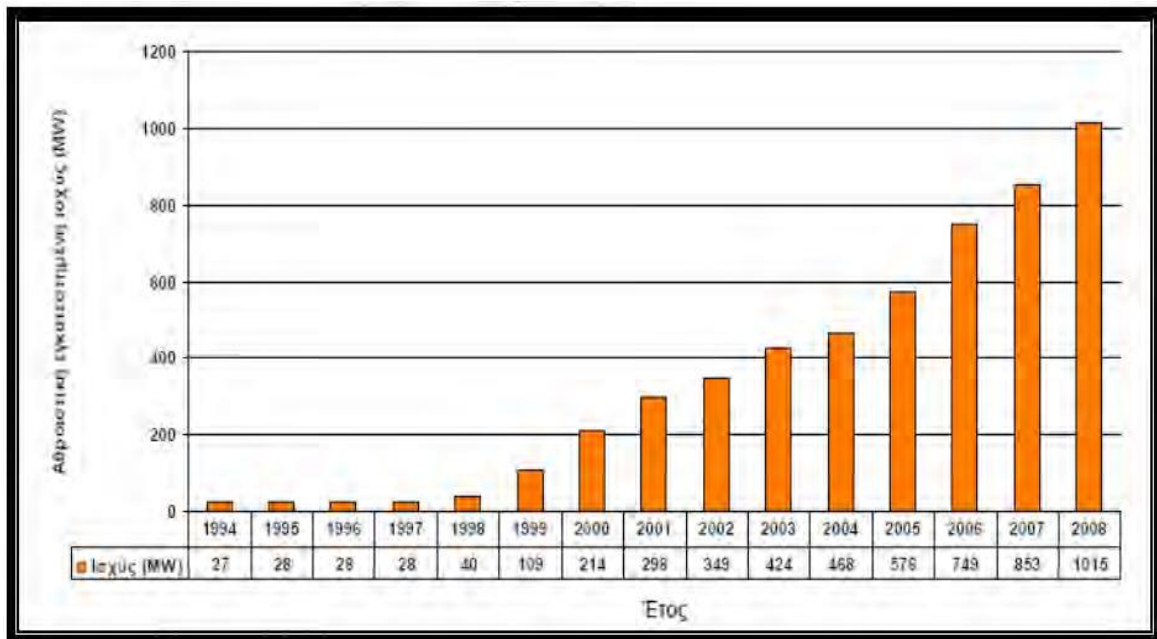
Μερικά από τα νησιά μας που είναι κοντά στην ηπειρωτική πλευρά έχουν συνδεθεί και τροφοδοτούνται από κεντρικά δίκτυα ενώ οι ανάγκες των υπολοίπων σε ενέργεια καλύπτονται από τους αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ένας αριθμός νησιών έχουν συνδεθεί μεταξύ τους και τροφοδοτούνται από κεντρικούς αυτόνομους σταθμούς. Για πολλά χρόνια προβλέπεται ότι τα νησιά που είναι απομακρυσμένα από την ηπειρωτική Ελλάδα, θα στηρίξουν την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών στην αυτόνομη παραγωγή και θα παραμένουν ανεξάρτητα από το εθνικό δίκτυο.



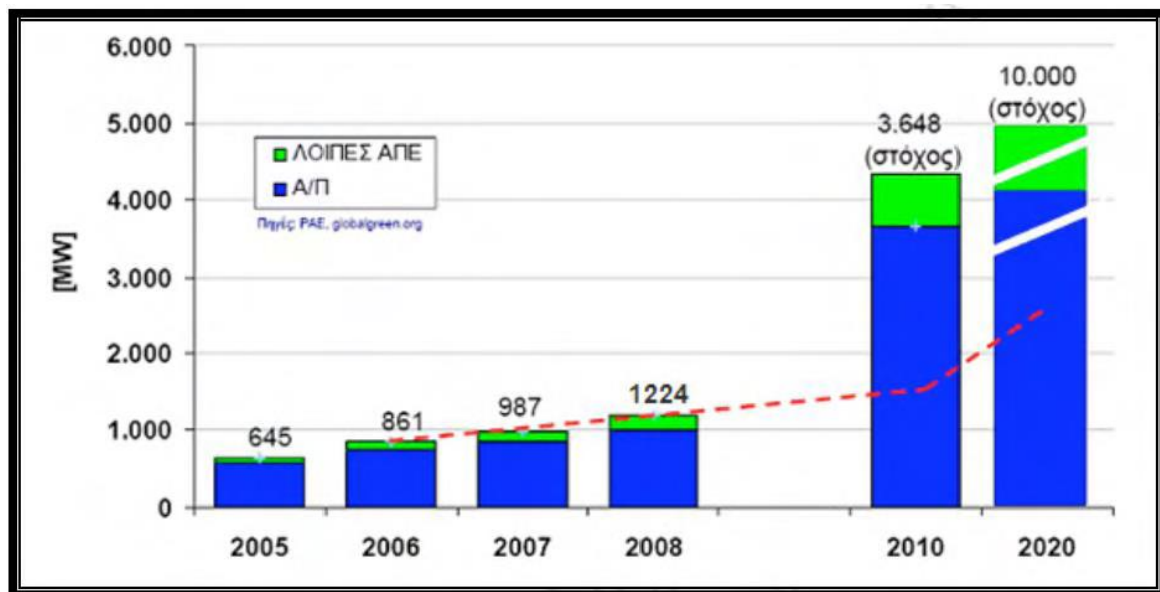
Σχήμα 1.4: Χάρτης αιολικού δυναμικού Ελλάδας. [14]

Όπως παρατηρεί κανείς και από τον παραπάνω χάρτη, οι νησιωτικές περιοχές έχουν έντονο ενδιαφέρον. Οι ταχύτητες ανέμου σε αυτές είναι από 7-9 m/s, χωρίς έντονα καιρικά φαινόμενα όπως ανεμοθύελλες, καθιστώντας την εκμετάλλευσή τους ιδανική. Οι πρώτες δραστηριότητες για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα άρχισαν το 1975, με τη λήψη ανεμολογικών στοιχείων σε πολλές περιοχές της χώρας, για λογαριασμό της Δ.Ε.Η. Η κίνηση αυτή ήταν ενδεδειγμένη, δεδομένου ότι η

ύπαρξη καλών ανεμολογικών στοιχείων σε μια σειρά πιθανών περιοχών εγκατάστασης, είναι βασικός παράγοντας για την ορθή επιλογή της θέσης των Α/Π.



Σχήμα 1.5: Εγκαταστημένη αιολική ισχύς στην Ελλάδα. [11]



Σχήμα 1.6: Προοπτικές εκμετάλλευσης ΑΠΕ μέχρι το 2020. [11]

Σύγχρονες εφαρμογές των ανεμοκινητήρων

Μια πρώτη κατηγοριοποίηση των Α/Κ μπορεί να γίνει με βάση την ισχύ απόδοσής τους, οπότε έχουμε:

- Ανεμοκινητήρες μικρής ισχύος μέχρι 20 kW.

- Ανεμοκινητήρες μέσης ισχύος 20-250 kW.
- Ανεμοκινητήρες μεγάλης ισχύος >250 kW.

Η πρώτη κατηγορία των ανεμοκινητήρων μικρής ισχύος χρησιμοποιούνται σε απομονωμένες περιοχές για κάλυψη αγροτικών ή κτηνοτροφικών αναγκών, ιδιαίτερα για άντληση και θέρμανση νερού, θέρμανση κατοικίας, φωτισμό και άλλες μικροεφαρμογές. Τις περισσότερες φορές η λύση αυτή είναι η οικονομικότερη. Οι ανεμοκινητήρες του τύπου αυτού είναι ανεξάρτητοι, μη συνδυσμένοι με δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιούν γεννήτρια συνεχούς ρεύματος που φορτίζει συσσωρευτές.

Οι ανεμοκινητήρες των κατηγοριών της μέσης και μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούνται για εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας σε συνεργασία με δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Εφαρμογή των Α/Κ στην Ελλάδα

Ενέργειες για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας έχουν γίνει σε ολόκληρη τη χώρα, ενώ στο γεγονός αυτό έχει συμβάλει και η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ΑΠΕ, η οποία ενθαρρύνει και επιδοτεί επενδύσεις στις Ήπιες μορφές ενέργειας. Αλλά και σε εθνική κλίμακα, ο νέος αναπτυξιακός νόμος 3299/04, σε συνδυασμό με το νόμο για της ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 3468/06, παρέχει ισχυρότητα κίνητρα ακόμα και για επενδύσεις μικρής κλίμακας.

Η περιφέρεια της Δυτικής Ελλάδας αν και έχει μικρότερο αιολικό δυναμικό σε σύγκριση με άλλες περιοχές, διαθέτει ένα ισχυρό ηλεκτρικό δίκτυο και το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη ανεμωδών «νησίδων» (λόφοι, υψώματα κλπ. με εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό) την καθιστούν ενδιαφέρουσα για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων.

Αιολικά πάρκα υπάρχουν και σε πλήθος νησιών, όπως το Αιολικό Πάρκο «Μανολάτη - Ξερολίμπα» του Δ.Δ. Διλινάτων Δήμου Αργοστολίου στην Κεφαλονιά. Στο ίδιο νησί έχουν ήδη δημιουργηθεί δύο ακόμη αιολικά πάρκα: το Αιολικό Πάρκο "Αγία Δυνατή" του Δήμου Πυλαρέων, και το Αιολικό Πάρκο "Ημεροβίγλι" στα διοικητικά όρια των Δήμων Αργοστολίου και Πυλαρέων. Με τη λειτουργία των τριών αιολικών πάρκων ο Νομός Κεφαλληνίας τροφοδοτεί το δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας με

σύνολο 75,6 MW ηλεκτρικής ισχύος. Επιπλέον, σε διαδικασία αδειοδότησης βρίσκονται πέντε ακόμη μονάδες. Οι ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια και σε περίοδο αιχμής (Αύγουστος) ανέρχονται σε 50MW. Η αντιστοιχία μεταξύ της ισχύος που αποδίδει η Κεφαλονιά στο δίκτυο και της ισχύος που καταναλώνει είναι εξαιρετικά ενθαρρυντική για την εξάπλωση της αιολικής ενέργειας και σε πολλά ακόμη νησιά της επικράτειας.

1.4 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα χρήσης αιολικής ενέργειας

Πλεονεκτήματα

- Η αιολική ενέργεια σαν ΑΠΕ δεν εξαντλείται ποτέ, ενώ αντίθετα οι συμβατικές μορφές ενέργειας έχουν πεπερασμένο χρόνο ζωής.
- Είναι φιλική με το περιβάλλον μιας αι έχει μηδενική εκπομπή επιβλαβών ρύπων.
- Η χώρα μας διαθέτει από τους υψηλότερους δείκτες αιολικού δυναμικού σε παγκόσμια κλίμακα.
- Με εφαρμογή αιολικών εγκαταστάσεων σε όλη σχεδόν την επικράτεια θα καταφέρουμε να αποκτήσουμε ενεργειακή αυτονομία κατά ένα μεγάλο ποσοστό η οποία συνεπάγεται άμεση οικονομική ανάπτυξη.
- Με την ενεργή δραστηριοποίηση στον τομέα των αιολικών εγκαταστάσεων σε ολόκληρη τη χώρα θα δοθεί παράλληλα η δυνατότητα αποκεντρωμένης ανάπτυξης και οικονομικής ενίσχυσης των περιφερειακών-τοπικών κοινωνιών.

Μειονεκτήματα

- Η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας χαμηλής πυκνότητας. Από αυτό συνεπάγεται ότι μόνο ένα χαμηλό ποσοστό της κινητικής ενέργειας του ανέμου αξιοποιείται. Έτσι για να λάβουμε τα επιθυμητά ποσά ισχύος, είναι αναγκαία είτε η χρησιμοποίηση πολλών Α/Κ ή η κατασκευή μεγάλης ισχύος Α/Κ.
- Επειδή η αιολική ενέργεια δεν είναι προβλέψιμη, η μη ακριβής δηλαδή πρόβλεψη της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου αποτελούν σημαντικό μειονέκτημα της αιολικής ηλεκτροπαραγωγής. Έτσι είναι αναγκαίο να μην

δεχτούμε τις Α/Κ ως βασική πηγή ενέργειας, αλλά ως εφεδρική σε κάποιο υβριδικό σταθμό παραγωγής ενέργειας.

- Σε περίπτωση διασύνδεσης των Α/Κ με το υπόλοιπο δίκτυο της περιοχής, τίθεται θέμα ευστάθειας της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και του δικτύου, πρόβλημα το ποίο ξεπερνιέται μ χρήση αυτοματισμών (ηλεκτρικά ισχύος) οι οποίοι βέβαια έχουν μεγάλο κόστος και επιβαρύνουν τους καταναλωτές.
- Επίσης τις περισσότερες φορές είναι αναγκαία η εγκατάσταση συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των φορτίων σε μη ευνοϊκές περιπτώσεις.
- Τελικά αξίζει να σημειωθεί το υψηλό κόστος της αρχικής εγκατάστασης ενός Α/Κ μιας και αποτελεί διάταξη υψηλής τεχνολογίας.

Συμπερασματικά συγκρίνοντας εκτενέστερα τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης της αιολικής ενέργειας, μπορούμε να πούμε ότι τα πρώτα είναι σαφέστατα πιο σημαντικά, γεγονός που συνηγορεί υπέρ της εγκατάστασης Α/Κ σε επιλεγμένες περιοχές για την βέλτιστη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.

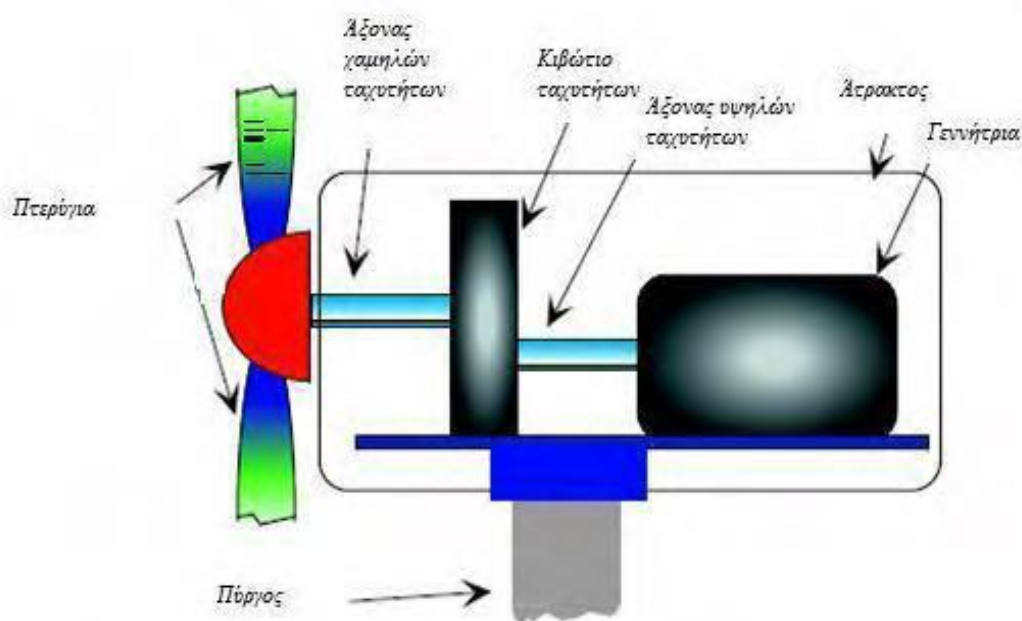
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 Ανεμογεννήτριες

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια, η κατηγοριοποίησή τους καθώς και οι χρησιμοποιούμενοι τύποι γεννητριών στις ανεμογεννήτριες.

2.2 Δομή μιας ανεμογεννήτριας

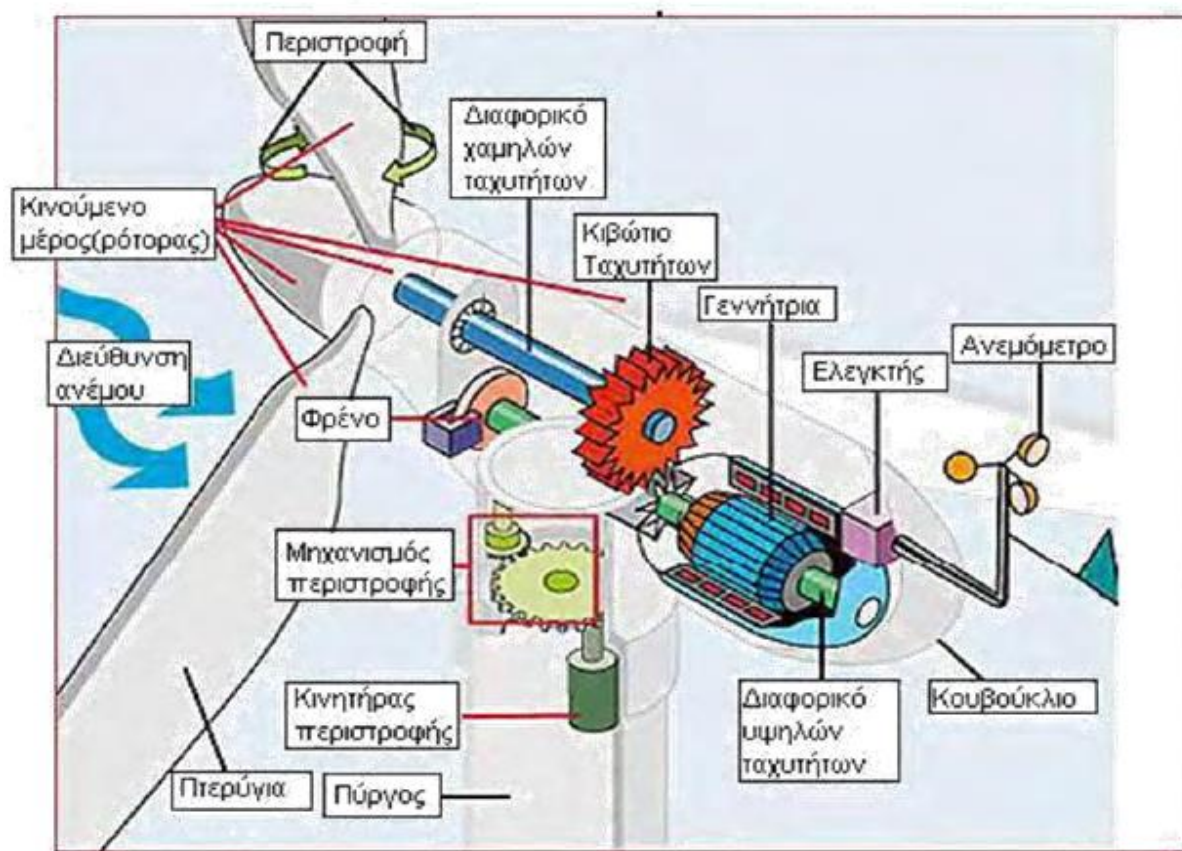
Η συνηθισμένη ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιείται σήμερα είναι οριζόντιου άξονα και αποτελείται από την άτρακτο στην οποία είναι τοποθετημένη μια γεννήτρια, ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης (κιβώτιο ταχυτήτων, άξονας υψηλών ταχυτήτων και άξονας υψηλών ταχυτήτων), τρία πτερύγια και έναν πύργο που βρίσκεται πίσω από τα πτερύγια έτσι ώστε ο άνεμος να έρχεται από το εμπρόσθιο μέρος.



Σχήμα 2.1: Τομή της ατράκτου μιας ανεμογεννήτριας. [3]

Ο άνεμος δεσμεύεται στα πτερύγια και μέσω ενός άξονα μεταφέρεται η κίνηση στο κιβώτιο ταχυτήτων. Από εκεί ένας άλλος άξονας μεταφέρει την κίνηση στη γεννήτρια. Δουλειά του κιβωτίου ταχύτητας είναι να πολλαπλασιάζει την τιμή της ταχύτητας του ανέμου που φτάνει σε αυτό από τα πτερύγια. Στη συνέχεια, η γεννήτρια με τη σειρά της είναι συνδεδεμένη με έναν μετασχηματιστή προκειμένου

να δίνεται σε τελικό στάδιο η επιθυμητή τάση στο σημείο σύνδεσης με το εκάστοτε τοπικό δίκτυο. Στη συνέχεια αναλύονται τα δομικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 2.2: Λεπτομερής δομή του εσωτερικού της ανεμογεννήτριας. [3]

Πύργος (Tower)

Είναι κυλινδρικής μορφής κατασκευασμένος από ατσάλι, ή από ατσάλι σε καφασωτή μορφή, σαν πλέγμα και σπανιότερα από σκυρόδεμα και συνήθως αποτελείται από δύο ή τρία συνδεδεμένα τμήματα. Αυτή η δομή του εξυπηρετεί στην αύξηση της αντοχής και την εξοικονόμηση υλικών. Είναι παρόμοιας κατασκευής με τους πύργους που στηρίζουν τα φώτα σε γήπεδα και εθνικούς δρόμους. Η διάμετρος του πύργου αυξάνει όσο πλησιάζουμε τη βάση και η θεμελίωση γίνεται με οπλισμένο σκυρόδεμα πάνω στο οποίο τοποθετείται με βίδες ο πύργος.

Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος, οι ψηλότεροι πύργοι δίνουν τη δυνατότητα στις τουρμπίνες να «αιχμαλωτίσουν» περισσότερη ενέργεια και να παράγουν περισσότερο ηλεκτρισμό. Για παράδειγμα, μια σύγχρονη ανεμογεννήτρια 1.000kW θα έχει ένα πύργο μεταξύ 50 και 80 μέτρων. Μεγάλης σημασίας είναι η

γείωση που πρέπει να έχει η μεταλλική κατασκευή της ανεμογεννήτριας. Πρόσβαση στο εσωτερικό της ανεμογεννήτριας επιτρέπεται μέσω του πύργου.

Άτρακτος (Nacelle)

Η άτρακτος βρίσκεται στην κορυφή του πύργου και περιέχει όλα τα βασικά στοιχεία της ανεμογεννήτριας, όπως το κιβώτιο ταχυτήτων, την ηλεκτρική γεννήτρια, τους άξονες χαμηλής και υψηλής ταχύτητας, τον ελεγκτή και το φρένο. Μερικές άτρακτοι είναι τόσο μεγάλοι, ώστε ακόμη και ένα ελικόπτερο να μπορεί να προσγειωθεί πάνω τους.

Πλήμνη (Hub)

Η πλήμνη είναι το μηχανικό εξάρτημα στο οποίο προσαρμόζονται τα πτερύγια. Η πλήμνη συνδέεται με τον άξονα χαμηλών στροφών.

Πτερύγια (Blades)

Τα πτερύγια έχουν αεροδυναμικό σχήμα το οποίο έχει προέλθει από αντίστοιχα πτερύγια αεροπορικών κινητήρων (π.χ. αεροτομές τύπου NACA) και είναι κατασκευασμένα συνήθως από ελαφρά κράματα μετάλλων, ενισχυμένο πολυεστέρα, αλλά και από ξύλο σε συνδυασμό με ειδικές ρητίνες, έτσι ώστε να είναι ανθεκτικά σε μεγάλες καταπονήσεις. Μπορεί να είναι ενιαία ή να διαθέτουν ακροπτερύγια και καλύπτουν ένα μικρό ποσοστό (2% έως 10%) του εμβαδού της περιφέρειας που διαγράφουν.

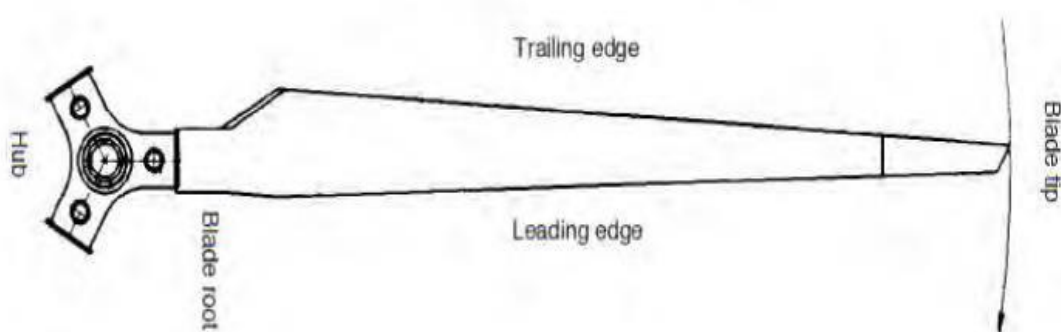
Τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά (αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους, επιλογή αεροτομής, συστροφή) προκύπτουν από τη βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής σχεδίασης. Η επιλογή του πλήθους των πτερυγίων σχετίζεται με την αεροδυναμική φόρτιση των πτερυγίων, με το βαθμό απόδοσής τους, με το κόστος κατασκευής της ανεμογεννήτριας καθώς και με θέματα αντοχής και συντονισμού λόγω ταλαντώσεων (προβλήματα ιδιοσυχνοτήτων).

Επιπλέον, θέματα που συνεκτιμώνται είναι η κυκλική μεταβολή της ροπής της μηχανής λόγω της καθ' ύψος μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου, καθώς και τα θέματα ζυγοστάθμισης των πτερυγίων. Για τον περιορισμό της κυκλικής μεταβολής του φορτίου των πτερυγίων δίνεται μια μικρή κλίση (έως και 10°) του άξονα περιστροφής ως προς το οριζόντιο. Τέλος, για λόγους περιορισμού των καμπτικών

τάσεων πάνω στα πτερύγια, επιβάλλεται συνήθως μια μικρή κωνικότητα αυτών που δεν ξεπερνά τις 10°. Επιπλέον, για λόγους ασφάλειας της ανεμογεννήτριας, τα πτερύγια είναι συνήθως εφοδιασμένα με συστήματα αεροδυναμικής πέδησης (αερόφρενα), τα οποία διακόπτουν τη λειτουργία της μηχανής σε έκτακτες περιπτώσεις.

Σε ειδικές κατασκευές εκτός από την παρουσία των αερόφρενων (π.χ. επίπεδες πλάκες κάθετες στην επιφάνεια του πτερυγίου) χρησιμοποιούνται και μικρά αλεξίπτωτα, που απελευθερώνονται φυγοκεντρικά μετά από κάποιο όριο στροφών και επιβραδύνουν την ανεμογεννήτρια. Για παράδειγμα, σε μια μοντέρνα ανεμογεννήτρια 1.000kW κάθε πτερύγιο έχει μήκος 27m και είναι σχεδιασμένο περίπου όπως ένα φτερό αεροπλάνου. Τα πτερύγια είναι προσδεμένα στην πλήμνη, είτε σταθερά είτε με δυνατότητα περιστροφής γύρω από το διαμήκη άξονά τους, ώστε να μεταβάλλεται το βήμα πτερύγωσης. Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες διαθέτουν δύο ή τρία πτερύγια. Είναι αυτά που με την περιστροφή τους, «συλλαμβάνουν» τον αέρα και μεταφέρουν την ισχύ του στην κεφαλή του ρότορα.

Τα πτερύγια σε μεγάλες ανεμογεννήτριες περιστρέφονται κατά μήκος του άξονά τους και δέχονται τον άνεμο κατά μήκος τους υπό διαφορετικές γωνίες. Η γωνία πρόσπτωσης αυξάνεται προς τη βάση του πτερυγίου. Οι πολύ μεγάλες γωνίες δεν έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα. Προκειμένου να υπάρχει ενιαία γωνία πρόσπτωσης κατά μήκος του πτερυγίου, το πτερύγιο έχει μορφή περιστροφική.



Σχήμα 2.3: Ανατομία ενός πτερυγίου ανεμογεννήτριας. [3]

Ανεμόμετρο & Ανεμοδείκτης (Anemometer & Wind Vane)

Χρησιμοποιούνται για να μετρούν την ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου και μεταφέρουν τα δεδομένα των μετρήσεών τους στον ελεγκτή. Τα ηλεκτρικά σήματα

του ανεμομέτρου χρησιμοποιούνται από τον ηλεκτρονικό ελεγκτή της ανεμογεννήτρια για να αρχίσει τη λειτουργία της όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει μια ελάχιστη τιμή. Ο υπολογιστής σταματά τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας αυτόματα αν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί ένα ανώτατο όριο προκειμένου να προστατεύσει την ανεμογεννήτρια και το περιβάλλον αυτής. Τα σήματα του ανεμοδείκτη που αποτελεί ένα μετεωρολογικό όργανο, χρησιμοποιούνται από τον ηλεκτρονικό ελεγκτή της ανεμογεννήτριας για να προσανατολιστεί η ανεμογεννήτρια σωστά απέναντι στον άνεμο, μέσω του μηχανισμού για την αποφυγή εκτροπής.

Κιβώτιο ταχυτήτων (Gear box)

Το κιβώτιο ταχυτήτων ενισχύει την ενεργειακή έξοδο του δρομέα. Είναι τοποθετημένο ακριβώς μεταξύ του δρομέα και της γεννήτριας και τα γρανάζια συνδέουν τον άξονα χαμηλών στροφών που βρίσκεται στα αριστερά, με τον άξονα υψηλών στροφών που βρίσκεται στα δεξιά αυξάνοντας τις ταχύτητες περιστροφής κατά 50 περίπου φορές, από 30 έως 60rpm (στροφές ανά λεπτό) σε 1.000 έως 1.800rpm, που είναι η ταχύτητα περιστροφής που οι περισσότερες ανεμογεννήτριες απαιτούν ώστε να παράγουν ηλεκτρισμό. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα ακριβό και βαρύ εξάρτημα της ανεμογεννήτριας, γι' αυτό και γίνονται προσπάθειες για την κατασκευή ανεμογεννητριών «άμεσης ώθησης» (direct-drive), οι οποίες λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και δεν χρειάζονται κιβώτιο ταχυτήτων.

Άξονας υψηλών ταχυτήτων (High – speed shaft)

Περιστρέφεται με περίπου 1.000 έως 1.800 rpm (στροφές ανά λεπτό) και θέτει σε κίνηση την γεννήτρια. Ο άξονας υψηλής ταχύτητας είναι εξοπλισμένος με το δισκόφρενο το οποίο σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης ή περιπτώσεις που το αεροδυναμικό φρένο υποστεί βλάβη ή η ανεμογεννήτρια επισκευάζεται, τίθεται σε λειτουργία.

Άξονας χαμηλών ταχυτήτων (Low – speed shaft)

Συνδέει την πλήμνη με το κιβώτιο ταχυτήτων και περιέχει σωλήνες για το υδραυλικό σύστημα ώστε να μπορεί να λειτουργήσει το αεροδυναμικό φρένο. Ο ρότορας

στρέφει τον άξονα χαμηλών ταχυτήτων με ταχύτητες περίπου 30 έως 60 στροφές ανά λεπτό (rpm).

Οδηγός για την αποφυγή εκτροπής (Yaw drive)

Χρησιμοποιείται για να στρέφει τις ανεμογεννήτριες προς τον άνεμο καθώς αυτός μεταβάλλεται. Οι ανεμογεννήτριες που λειτουργούν με πνοή ανέμου προς τα πάνω (upwind), είναι στραμμένες προς τον άνεμο. Ο οδηγός για την αποφυγή εκτροπής χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι ο δρομέας θα είναι στραμμένος προς τον άνεμο, καθώς ο άνεμος αλλάζει κατεύθυνση. Οι ανεμογεννήτριες που είναι σχεδιασμένες για να λειτουργούν με πνοή ανέμου προς τα κάτω (downwind), δε χρειάζονται αυτό τον οδηγό για την αποφυγή εκτροπής, διότι ο άνεμος φυσά και στρέφει το δρομέα προς τα κάτω.

Κινητήρας του οδηγού για την αποφυγή εκτροπής (Yaw motor)

Είναι ο κινητήρας που δίνει ενέργεια στον οδηγό για την αποφυγή εκτροπών.

Δρομέας (Rotor)

Ο δρομέας αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα τμήματα της ανεμογεννήτριας. Αποτελείται από τα κινούμενα τμήματα της ανεμογεννήτριας την πλήμνη, τα πτερύγια, τον άξονα χαμηλών ταχυτήτων, των άξονα υψηλών ταχυτήτων και το κιβώτιο ταχυτήτων. Ο δρομέας περιστρέφει τη γεννήτρια, και μέσω αυτού μεταφέρεται η μηχανική ισχύς ώστε να μετατραπεί σε ηλεκτρική μέσω της επαγωγής μέσα στη γεννήτρια.

Είναι σχεδιασμένος αεροδυναμικά, για να συλλάβει τη μέγιστη περιοχή επιφάνειας του αέρα, προκειμένου να περιστρέφεται όσο το δυνατόν πιο εργονομικά. Η κατασκευή του δρομέα περιλαμβάνει το 20% περίπου του συνολικού κόστους της ανεμογεννήτριας, συμπεριλαμβανομένου των πτερυγίων, για τη μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε χαμηλής ταχύτητας περιστροφική ενέργεια.

Γεννήτρια (Generator)

Είναι μια σύγχρονη ή ασύγχρονη γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια από την περιστροφή του δρομέα. Συνήθως προτιμώνται οι ασύγχρονες γεννήτριες λόγω της απλότητας της κατασκευής τους, αν και οι σύγχρονες έχουν καλύτερη συμπεριφορά

σε αδύνατα δίκτυα. Η κατασκευή της περιλαμβάνει το 34% περίπου του συνολικού κόστους της ανεμογεννήτριας.

Φρένο (Brake)

Είναι ένα δισκόφρενο, το οποίο μπορεί να λειτουργεί μηχανικά, ηλεκτρικά ή υδραυλικά και σταματά το δρομέα σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης.

Μηχανισμός Περιστροφής

Ο μηχανισμός περιστροφής χρησιμοποιεί ηλεκτρικές μηχανές για να στρέφει την άτρακτο απέναντι στον άνεμο. Ελέγχεται από τον ελεγκτή ο οποίος αντιλαμβάνεται τη διεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του ανεμοδείκτη.

Ελεγκτής (Controller)

Ξεκινά τη μηχανή σε ταχύτητες ανέμου περίπου 4m/s – 7m/s και κλείνει τη μηχανή περίπου στα 25m/s. Οι ανεμογεννήτριες δε μπορούν να δουλεύουν σε ταχύτητες ανέμου πάνω απ' τα 25m/s γιατί οι γεννήτριές τους μπορούν να υπερθερμανθούν ή/και τα πτερύγιά τους να σπάσουν. Ο ελεγκτής περιέχει ακόμα έναν υπολογιστή που παρακολουθεί διαρκώς την κατάσταση της ανεμογεννήτριας και ελέγχει το μηχανισμό περιστροφής. Σε κάθε περίπτωση επιλοκής, π.χ. υπερθέρμανση του κιβωτίου ταχυτήτων ή της γεννήτριας, σταματά αυτόματα την ανεμογεννήτρια και καλεί τον υπολογιστή του ελεγκτή της ανεμογεννήτριας.

Στροφή πτερυγίων (Pitch)

Τα πτερύγια έχουν τη δυνατότητα να στρίβουν γύρω από τον διαμήκη άξονά τους, ανεξάρτητα από τον άνεμο, ώστε να μειώνουν τα αεροδυναμικά φορτία πάνω στην πτερύγωση στις μεγάλες ταχύτητες του ανέμου και να τα μειώνουν στις μικρές ταχύτητες. Ελέγχουν δηλαδή την ταχύτητα του δρομέα και τον εμποδίζουν από το να στρίβει σε ανέμους οι οποίοι είναι υπερβολικά ισχυροί ή υπερβολικά ασθενείς για να παράγουν ηλεκτρισμό.

Τέλος, σημαντικό δομικό στοιχείο της ανεμογεννήτριας, αποτελεί ο μετασχηματιστής ο οποίος προσαρμόζει κατάλληλα τη χαμηλή τάση της ανεμογεννήτριας, σε μέση τάση, προκειμένου να μπορεί να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια από το εκάστοτε δίκτυο.

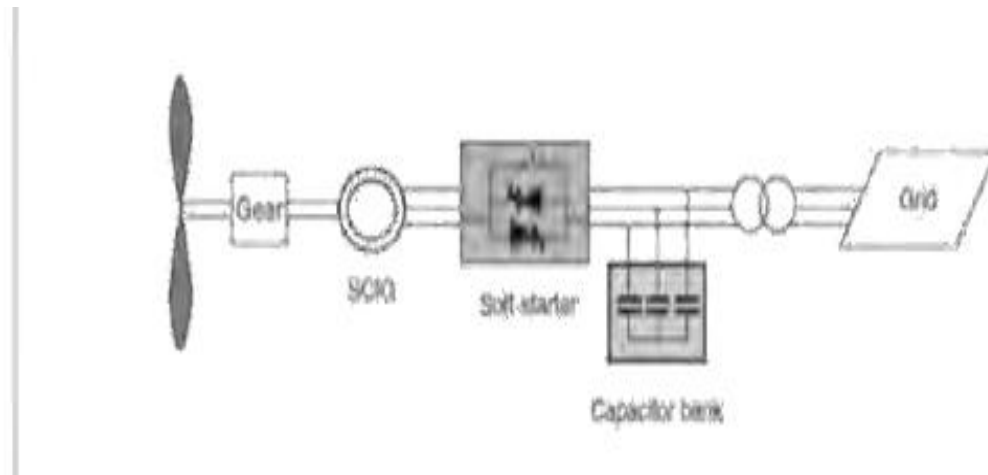
2.3 Κατηγορίες Ανεμογεννητριών

Δύο είναι οι βασικές κατηγορίες στις οποίες χωρίζονται οι ανεμογεννήτριες. Ο διαχωρισμός αυτός έχει να κάνει με την ταχύτητα περιστροφής. Οπότε έχουμε τη μια κατηγορία, ιστορικά παλαιότερη, η οποία περιλαμβάνει τις ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας και μια δεύτερη, νεότερη, η οποία περιλαμβάνει τις ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας. Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών μεταβλητής ταχύτητας αποτελεί πλέον την αποκλειστική τεχνολογία στα αιολικά συστήματα και ως εκ τούτου είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος τόσο σε θεωρητικό επίπεδο όσο και στο πεδίο της εφαρμογής.

Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας (Fixed Speed Wind Turbines – FSWT)

Οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας χρησιμοποιήθηκαν στα πρώτα στάδια ανάπτυξης των ανεμογεννητριών στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ταχύτητα του δρομέα δεν προσαρμόζεται σύμφωνα με την ταχύτητα του ανέμου, αλλά καθορίζεται από τη συχνότητα του δικτύου, την αναλογία του κιβωτίου ταχυτήτων, και το σχεδιασμό της γεννήτριας (αριθμός πόλων, τύπο μηχανής κλπ.). Η ολίσθηση των γεννητριών αυτής της κατηγορίας ποικίλλει ανάλογα με την παραγόμενη ενεργό ισχύ, έτσι η ταχύτητα δεν είναι πραγματικά σταθερή, εντούτοις δεδομένου ότι οι μεταβολές της ταχύτητας είναι πολύ μικρές (1% - 2%), θεωρούνται αμελητέες.

Αντιπροσωπευτικότερη τοπολογία ανεμογεννήτριας σταθερής ταχύτητας είναι αυτή που χρησιμοποιεί μια ασύγχρονη γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού (SCIG). Η γεννήτρια στην τοπολογία αυτή, συνδέεται απευθείας με το δίκτυο μέσω ενός μετασχηματιστή. Επιπλέον, χρησιμοποιείται μια συστοιχία πυκνωτών για την αντιστάθμιση αέργου ισχύος, αφού η επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού καταναλώνει πάντα άεργο ισχύ. Για την επίτευξη ομαλής εκκίνησης και σύνδεσης με το δίκτυο, χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρονικά ελεγχόμενος προοδευτικός εκκινητής (soft starter).



Σχήμα 2.4: Ανεμογεννήτρια σταθερής ταχύτητας με επαγωγική μηχανή βραχυκυκλωμένου κλωβού. [3]

Αυτού του είδους οι ανεμογεννήτριες είναι έτσι σχεδιασμένες ούτως ώστε να επιτυγχάνεται μέγιστη απόδοση σε κάποια συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου. Η ονομαστική ισχύς επιτυγχάνεται σε επίπεδα ταχύτητας από 12m/s έως 15m/s. Η ταχύτητα του ανέμου στην οποία επιτυγχάνεται η ονομαστική ισχύς, ονομάζεται ονομαστική ταχύτητα του ανέμου. Σε τιμές ταχύτητας μικρότερες των 3m/s περίπου, η αιολική ενέργεια που είναι διαθέσιμη είναι αρκετά περιορισμένη και οι ανεμογεννήτριες σταματούν τη λειτουργία τους.

Σε τιμές του ανέμου μεγαλύτερες από την ονομαστική, η ανεμογεννήτρια θα πρέπει να περιορίσει την εισερχόμενη ενέργεια στο επίπεδο της ονομαστικής. Αυτό μπορεί να γίνει με μεταβολή της θέσης των πτερυγίων. Δύο είναι οι κύριες μέθοδοι για να γίνει αυτό. Είτε τα πτερύγια είναι σχεδιασμένα με τρόπο ώστε στις μεγάλες ταχύτητες να αλλάζει η ροή του αέρα πάνω τους δημιουργώντας τυρβώδη ροή με αποτέλεσμα να μειώνουν των απόδοσή τους λόγω απώλειας στήριξης. Είτε τα πτερύγια στρέφονται εκτός της φοράς του ανέμου, οπότε έχουμε έλεγχο γωνίας βήματος. Για να επιτευχθεί μια μερική προσαρμογή στη βέλτιστη ταχύτητα περιστροφής και μεγαλύτερη παραγωγή ενέργειας, οι γεννήτριες σταθερής ταχύτητας κατασκευάζονται σήμερα με διπλά τυλίγματα στάτη. Το ένα χρησιμοποιείται σε μικρές ταχύτητες ανέμου (έχει συνήθως 8 πόλους) και το άλλο σε μέσες και υψηλές ταχύτητες ανέμου (έχει συνήθως 4-6 πόλους).

Μερικοί κατασκευαστές προσαρμόζουν στις ανεμογεννήτριές τους δύο επαγωγικές γεννήτριες, μια μικρή για τις περιόδους που υπάρχουν χαμηλές ταχύτητες αέρα και μια μεγαλύτερη για τις περιόδους με υψηλότερες τιμές ταχύτητας αέρα. Ένας άλλος σχεδιασμός είναι οι επαγωγικές γεννήτριες με μεταβαλλόμενους πόλους, δηλαδή

γεννήτριες που μπορούν να λειτουργούν με διαφορετικό αριθμό πόλων επομένως και με διαφορετική περιστροφική ταχύτητα. Αυτός ο σχεδιασμός συνεχίζεται να θεωρείται ότι ανήκει στην κατηγορία της γεννήτριας σταθερής ταχύτητας όσον αφορά στα μηχανικά φορτία και την αλληλεπίδρασή της με το δίκτυο. Το αν έχει αξία να χρησιμοποιηθούν δύο γεννήτριες ή ένας μεγαλύτερος αριθμός πόλων για χαμηλές ταχύτητες, εξαρτάται από τη μορφή των ανέμων στη συγκεκριμένη περιοχή και το επιπλέον κόστος της γεννήτριας μεταβλητών πόλων σε σύγκριση με το όφελος από την παραγόμενη ενέργεια και την αύξηση στην αεροδυναμική απόδοση. Ακόμα ένα πλεονέκτημα είναι ότι το επίπεδο του θορύβου από τα πτερύγια μειώνεται στις χαμηλότερες ταχύτητες του ρότορα.

Η χρήση των ανεμογεννητριών σταθερής ταχύτητας εμφανίζει κάποια πλεονεκτήματα και κάποια μειονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματα είναι:

- Η κατασκευή τους είναι σχετικά απλή.
- Έχουν χαμηλό κόστος και μηδενικές ανάγκες συντήρησης.
- Είναι σθεναρές μηχανές.
- Είναι αρκετά αξιόπιστες και δεν απαιτούν έλεγχο ταχύτητας, αφού η ταχύτητα είναι σταθερή.

Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνονται:

- Το γεγονός ότι δεν μπορεί να γίνει έλεγχος για τη βελτίωση της ποιότητας της παραγόμενης ενέργειας ή την κατανάλωση αέργου ισχύος.
- Μεγάλες μηχανικές καταπονήσεις στις απότομες αλλαγές του ανέμου. Όλες οι αναταράξεις του αέρα μεταφέρονται σαν διαταραχές στη μηχανική ροπή, την παραγόμενη ισχύ και εν τέλει μεταφέρονται σαν διαταραχές στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το γεγονός αυτό μπορεί να δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα στην περίπτωση που έχουμε ασθενές δίκτυο, αφού οι διαταραχές στην ενέργεια μπορεί να οδηγήσουν σε μεγάλες διαταραχές της τάσης, με αποτέλεσμα αυξημένες απώλειες στις γραμμές.
- Η μηχανική κατασκευή πρέπει να είναι τέτοια ώστε να είναι σε θέση να αντέχει υψηλές μηχανικές καταπονήσεις.

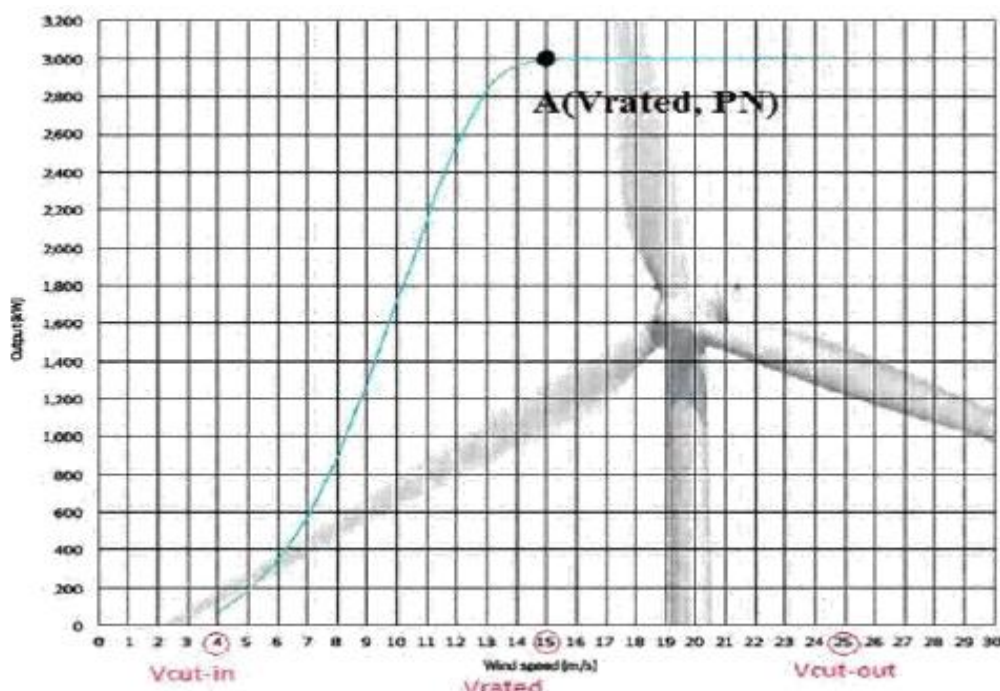
Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας (Variable Speed Wind Turbines – VSWT)

Τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία των ανεμογεννητριών μεταβλητής ταχύτητας, είναι η κυρίαρχη στο χώρο της παραγωγής αιολικής ενέργειας. Όπως είναι προφανές και

από την ονομασία τους, οι μηχανές αυτού του τύπου μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα μεγάλο εύρος διαφορετικών τιμών ταχύτητας του ανέμου ούτως ώστε να έχουμε τη μέγιστη αεροδυναμική απόδοση. Μια μηχανή μεταβλητής ταχύτητας, χρησιμοποιεί διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος προκειμένου να μεταβάλλει την ταχύτητά της, ανάλογα με τις αεροδυναμικές συνθήκες, ενώ συνδέει τη γεννήτρια στη σταθερή συχνότητα του δικτύου.

Με βάση τον τρόπο λειτουργίας των μηχανών μεταβλητής ταχύτητας, έχει γίνει δυνατή η προσαρμογή της περιστροφικής ταχύτητας του δρομέα της μηχανής ανάλογα προς την ταχύτητα v του αέρα. Έτσι, ο λόγος ταχύτητας των ακροπερυγίων λ μπορεί να διατηρηθεί σταθερός σε μια προκαθορισμένη τιμή, τη βέλτιστη λ_{opt} , η οποία αντιστοιχεί στο μέγιστο συντελεστή αεροδυναμικής απόδοσης C_{optmax} .

Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς μιας ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητας, εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου. Αυτό μπορεί να απεικονισθεί σε ένα διάγραμμα, χαρακτηριστικό για κάθε ανεμογεννήτρια, το οποίο ονομάζεται χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρικής ισχύος – ταχύτητας ανέμου.



Σχήμα 2.5: Χαρακτηριστική καμπύλη ηλεκτρικής ισχύος – ταχύτητας ανέμου, μιας ανεμογεννήτριας 3MW. [3]

Στο διάγραμμα αυτό διακρίνουμε την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας PN, που αντιστοιχεί στην ονομαστική ταχύτητα του ανέμου v_{rated} , την ταχύτητα αποσύζευξης $v_{cut-off}$, και την ταχύτητα έναρξης v_{cut-in} .

Ταχύτητα έναρξης vcut-in: Η ελάχιστη ταχύτητα ανέμου για την οποία μία ανεμογεννήτρια αρχίζει να αποδίδει ωφέλιμη ισχύ. Σε ταχύτητες μικρότερες της vcut-in οι μηχανικές απώλειες είναι απαγορευτικές για την απόδοση ωφέλιμης ισχύος. Στην περιοχή πριν από το vcut-in οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν μηχανική πέδηση ώστε να μην υπάρχει άσκοπη λειτουργία και μηχανικές φθορές.

Ονομαστική ταχύτητα του ανέμου vrated: Η ταχύτητα του ανέμου κατά την οποία η ανεμογεννήτρια λειτουργεί στα ονομαστικά της μεγέθη και παράγει την ονομαστική της ισχύ.

Ταχύτητα αποσύζευξης vcut-off: Η ταχύτητα κατά την οποία η ανεμογεννήτρια σταματάει να λειτουργεί για λόγους ασφαλείας και για την αποφυγή μεγάλης καταπόνησης των υδραυλικών της κομματιών και κυρίως των πτερυγίων.

Η ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων στο δρομέα μπορεί να γίνει ανεξέλεγκτη, με κίνδυνο καταστροφής της γεννήτριας, εφόσον είναι δυνατόν να παραχθούν μεγάλα ρεύματα σε σχέση με τα μέγιστα της γεννήτριας, αλλά και κίνδυνο αποκόλλησης της φτερωτής κι άλλων μηχανικών κομματιών της με οδυνηρές συνέπειες για ότι βρίσκεται σε ακτίνα πολλών μέτρων (αναλόγως της διαμέτρου της έλικας και του ύψους ανύψωσης του δρομέα). Για το λόγο αυτό, στην ταχύτητα vcut-off η ανεμογεννήτρια φρενάρεται μέσω συστημάτων πέδησης ή μέσω της απομάκρυνσης των πτερυγίων από την κατεύθυνση του πνέοντος ανέμου.

Η περιοχή μεταξύ vcut-in και vrated είναι κύριου ενδιαφέροντος για τη λειτουργία μεταβλητών στροφών, αφού εκεί επενεργεί ο κατάλληλος έλεγχος για την προσαρμογή της ταχύτητας περιστροφής της ανεμογεννήτριας έτσι ώστε να έχουμε την μέγιστη απομάστευση ισχύος.

Στην περιοχή μεταξύ vrated και vcut-off η ανεμογεννήτρια δουλεύει με σταθερή ταχύτητα, όση η ονομαστική (ρυθμίζεται με έλεγχο γωνίας βήματος) ώστε η μηχανή να μην ξεπερνά τις ονομαστικές τιμές λειτουργίας της. Στην περιοχή αυτή έχουμε προφανώς απόρριψη σημαντικής ισχύος αλλά προέχει η ασφαλής λειτουργία στο μέγιστο επιτρεπτό όριο.

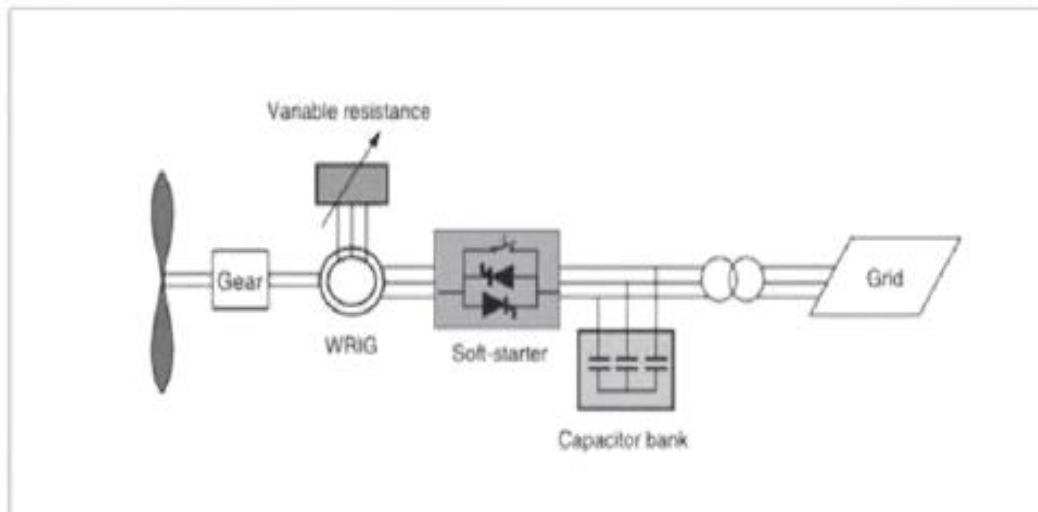
Ένας σημαντικός λόγος για να λειτουργεί μια μηχανή εν μέρει τουλάχιστον με μεταβλητή ταχύτητα είναι όταν αυτό γίνεται σε συνδυασμό με τη λειτουργία του ελέγχου γωνίας βήματος σε επαγωγικές γεννήτριες. Είναι γνωστό ότι ο έλεγχος γωνίας βήματος είναι μια μηχανική διαδικασία. Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος αντίδρασης του μηχανισμού του ελέγχου γωνίας βήματος έχει κάποια όρια και γενικά

είναι μεγάλος. Ωστόσο, αν χρησιμοποιηθεί μια γεννήτρια με μεταβλητή ταχύτητα, η ολίσθηση θα είναι παράμετρος του ελέγχου. Όταν υπάρξουν ριπές ανέμου, ο μηχανισμός ελέγχου δίνει σήμα να αυξηθεί η ολίσθηση της γεννήτριας, προκειμένου να επιτρέψει στο ρότορα να κινηθεί λίγο πιο γρήγορα ενώ ο μηχανισμός του ελέγχου γωνίας βήματος αρχίζει να ανταπεξέρχεται στην κατάσταση στρέφοντας τα πτερύγια περισσότερο εκτός της πορείας του ανέμου. Μόλις ο μηχανισμός του ελέγχου γωνίας βήματος έχει κάνει τη δουλειά του, η ολίσθηση μειώνεται και πάλι. Σε περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου μειωθεί ξαφνικά, η διαδικασία που προαναφέρθηκε γίνεται αντίστροφα. Οπότε, το μηχανικό σύστημα του ελέγχου της γωνίας βήματος συμβάλλει πιο ενεργά στη ρύθμιση της ταχύτητας της μηχανής και το ηλεκτρικό σύστημα ελέγχει τη ροπή.

Το να λειτουργεί μια γεννήτρια σε υψηλές τιμές ολίσθησης παράλληλα σημαίνει μεγαλύτερες απώλειες (μεγαλύτερα ποσά θερμότητας) και κατ' επέκταση μικρότερη απόδοση. Αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα από μόνο του, μιας και η μόνη εναλλακτική λύση είναι να σπαταληθεί η περίσσεια ενέργεια στρέφοντας τα πτερύγια της μηχανής εκτός της πορείας του αέρα. Ένα από τα μεγαλύτερα οφέλη αυτής της στρατηγικής ελέγχου που αναφέρθηκε παραπάνω είναι η καλύτερη ποιότητα παραγόμενης ενέργειας.

Οι διακυμάνσεις στην παραγόμενη ενέργεια μειώνονται μέσω της μεταβολής της ολίσθησης της γεννήτριας και με το να αποθηκεύεται ή να ελευθερώνεται μέρος της ενέργειας σαν κινητική ενέργεια πάνω στο ρότορα της ανεμογεννήτριας. Η ολίσθηση σε μια επαγωγική μηχανή είναι συνήθως πολύ μικρή για λόγους καλύτερης απόδοσης, οπότε η περιστροφική ταχύτητα ποικίλει 1% – 3% μεταξύ της λειτουργίας εν κενώ αλλά και υπό πλήρες φορτίο. Η ολίσθηση ωστόσο, εξαρτάται από την αντίσταση στα τυλίγματα του ρότορα της γεννήτριας. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ολίσθηση.

Στις επαγωγικές γεννήτριες ένας τρόπος να μεταβληθεί η ολίσθηση και κατ' επέκταση η ταχύτητα είναι να μεταβληθεί η αντίσταση στο δρομέα, όπως στο παρακάτω σχήμα, το οποίο αποτελεί την τοπολογία περιορισμένης μεταβλητής ταχύτητας.

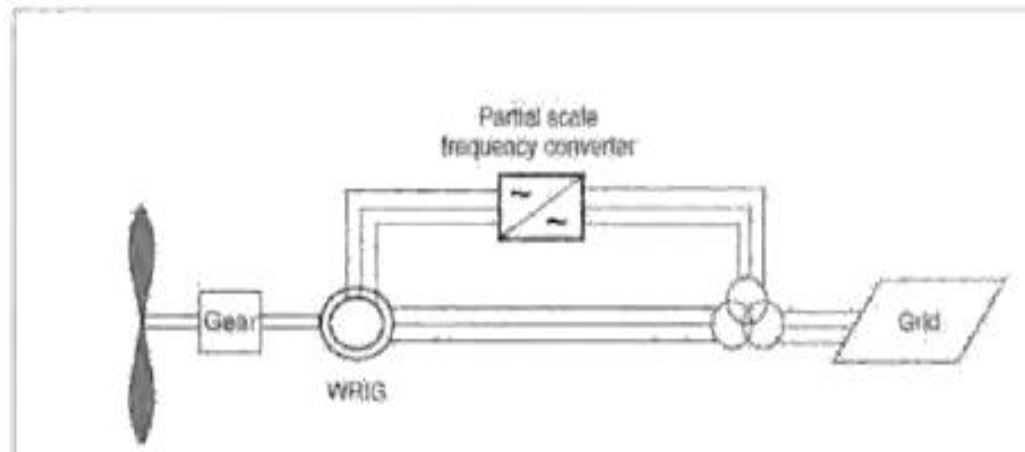


Σχήμα 2.6: Τοπολογία περιορισμένης μεταβλητής ταχύτητας με ασύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα. [3]

Πρόκειται για ανεμογεννήτρια μειωμένης μεταβλητής ταχύτητας με μια ασύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (WRIG). Η γεννήτρια στην τοπολογία αυτή, συνδέεται απευθείας με το δίκτυο μέσω ενός ηλεκτρικού μετασχηματιστή ισχύος. Επιπλέον, χρησιμοποιείται μια συστοιχία πυκνωτών για την αντιστάθμιση αέργου ισχύος, αφού η επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού καταναλώνει πάντα άεργο ισχύ. Για την επίτευξη ομαλής εκκίνησης και σύνδεσης με το δίκτυο, χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρονικά ελεγχόμενος προοδευτικός εκκινητής (soft starter). Τέλος, χρησιμοποιείται μια εξωτερικά οπτικά ελεγχόμενη μεταβλητή αντίσταση στο δρομέα, (προστίθεται στην ήδη υπάρχουσα αντίσταση του δρομέα) και δίνει τη δυνατότητα μεταβολής της ολίσθησης.

Με αυτό τον τρόπο, η ολίσθηση της γεννήτριας μπορεί να αυξηθεί περίπου κατά 10% έχοντας και αντίστοιχη μεταβολή στην ταχύτητα, γεγονός που οδηγεί στον έλεγχο της παραγόμενης ισχύος. Η λύση αυτή δίνει πολύ περιορισμένο εύρος ταχυτήτων. Η χρήση μηχανής δακτυλιοφόρου δρομέα, δηλαδή μέσω ενός δρομέα με χάλκινα τυλίγματα, τα οποία συνδέονται σε αστέρα και συνδέονται με εξωτερική μεταβλητή αντίσταση, η οποία ελέγχεται από ένα πρόσθετο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου για τις αντιστάσεις έχει το μειονέκτημα ότι η επιπλέον παραγόμενη ενέργεια καταναλώνεται ως θερμότητα στην αντίσταση. Η σύνδεση συνήθως γίνεται με ψήκτρες και δακτυλίους ολίσθησης, που αποτελεί ένα σαφές μειονέκτημα. Τα στοιχεία της σύνδεσης είναι στοιχεία που φθείρονται εύκολα, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτείται περισσότερη συντήρηση για τη γεννήτρια.

Ένας άλλος τρόπος για να λειτουργεί μια επαγωγική γεννήτρια σαν μηχανή μεταβλητής ταχύτητας είναι με την τεχνική που φαίνεται στη συνέχεια και αποτελεί την τοπολογία μεταβλητής ταχύτητας με μερικής κλίμακας ηλεκτρονικό μετατροπέα συχνότητας με επαγωγική γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα.

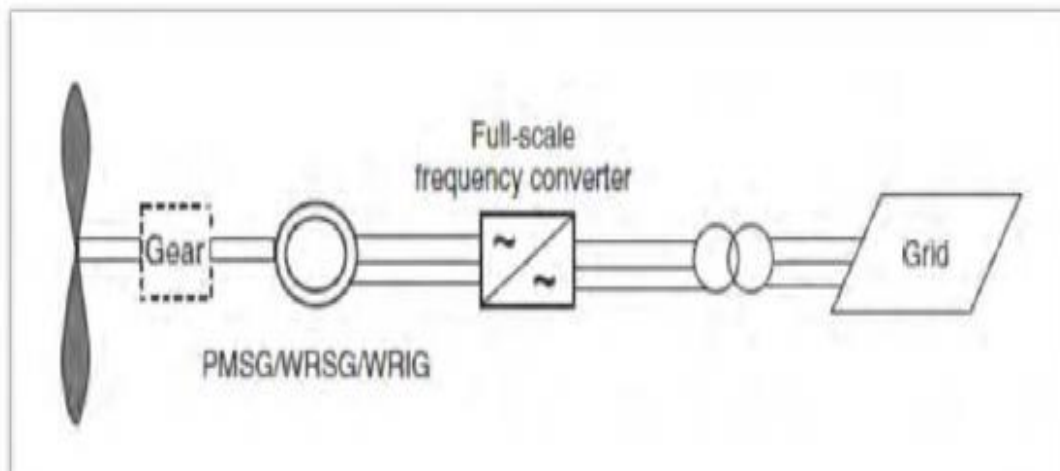


Σχήμα 2.7: Τοπολογία μεταβλητής ταχύτητας με μερικής κλίμακας ηλεκτρονικό μετατροπέα συχνότητας με επαγωγική γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα. [3]

Πρόκειται για ανεμογεννήτρια μεταβλητής ταχύτητας με μια ασύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (WRIG) και συγκεκριμένα με επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας (DFIG). Ο δρομέας της γεννήτριας συνδέεται σε ηλεκτρονικό μετατροπέα ισχύος μερικής κλίμακας (AC/DC/AC μετατροπέας ισχύος με μεταβλητή συχνότητα) και εξασφαλίζει την αντιστάθμιση αέργου ισχύος και την ομαλή σύνδεση της γεννήτριας με το δίκτυο.

Η κυκλική ταχύτητα είναι ανάλογη της διαφοράς της συχνότητας του στάτη (δίκτυο) και της συχνότητας του δρομέα (μετατροπέας). Το εύρος της ταχύτητας για μια μηχανή με την τεχνική αυτή είναι ανάλογη με το μέγεθος του μετατροπέα. Ένα σύνηθες μέγεθος μετατροπέα είναι στο 30% της ονομαστικής ισχύος της γεννήτριας που συνεπάγεται εύρος της ταχύτητας στο $\pm 30\%$. Το κύριο μειονέκτημα της διάταξης αυτής είναι το μεγάλο της κόστος. Το κόστος του ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος επιβαρύνει το συνολικό κόστος, βέβαια με τη χρήση μικρότερης κλίμακας μετατροπέων και με τη συνεχή μείωση των τιμών των διατάξεων αυτών, η τοπολογία αυτή έχει γίνει οικονομικά συμφέρουσα.

Μια άλλη τοπολογία στην τεχνική της μεταβλητής ταχύτητας θέλει τη γεννήτρια συνδεδεμένη με το δίκτυο μέσω ενός ανορθωτή σε σειρά με έναν αντιστροφέα, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα. Τότε η κυκλική ταχύτητα της μηχανής μπορεί να ελεγχθεί ανεξάρτητα της συχνότητας του δικτύου.



Σχήμα 2.8: Τοπολογία μεταβλητής ταχύτητας με πλήρους κλίμακας ηλεκτρονικό μετατροπέα συχνότητας. [3]

Πρόκειται για ανεμογεννήτρια μεταβλητής ταχύτητας με τη γεννήτρια να είναι απευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο μέσω ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος πλήρους κλίμακας. Η γεννήτρια που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι επαγωγική γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (WRIG), ή σύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (WRSR) ή σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη (PMSG). Ο ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος παρέχει την απαιτούμενη ενεργό ισχύ, εξασφαλίζει την πιο ομαλή σύνδεση της γεννήτριας με το δίκτυο και επιτυγχάνει ανεξάρτητο έλεγχο του συντελεστή ισχύος από την πλευρά της μηχανής και από την πλευρά του δικτύου. Σε μερικές ανεμογεννήτριες πλήρους μεταβλητής ταχύτητας, απουσιάζει το κιβώτιο ταχυτήτων.

Ένα πλεονέκτημα αυτής της συνδεσμολογίας, που λέγεται αλλιώς και συνδεσμολογία με DC διασύνδεση, είναι ότι οι ηλεκτρονικοί μετατροπέες μπορούν να ελέγξουν την άεργο ισχύ και να χρησιμοποιήσουν ενεργές τεχνικές φιλτραρίσματος για να βελτιώσουν την ποιότητα της ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το εύρος των ταχυτήτων είναι από 0 – 100% της ονομαστικής ταχύτητας, μιας και ο μετατροπέας μπορεί να χειριστεί το σύνολο της ενέργειας. Σ' αυτή την περίπτωση εκτός της επαγωγικής γεννήτριας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σύγχρονη γεννήτρια. Η συνήθης επιλογή τότε είναι σύγχρονη μηχανή με μόνιμους μαγνήτες. Η λύση αυτή πολλές φορές συνοδεύεται και από σχεδίαση μηχανής πολλών ζευγών πόλων έτσι ώστε να μη χρειάζεται κιβώτιο ταχυτήτων.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών μεταβλητής ταχύτητας είναι:

- Αυξημένη απόδοση ισχύος. Ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου προσαρμόζεται και η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η παραγόμενη ισχύς.
- Μπορεί να επιτραπούν ριπές ανέμου κι έτσι να στρέψουν το ρότορα γρηγορότερα ώστε η περίσσεια ενέργειας να αποθηκεύεται στη μηχανή σαν επιπλέον κινητική ενέργεια μέχρι να επανέλθει σε κανονική κατάσταση.
- Βελτιωμένη ποιότητας ενέργειας και δυνατότητα ρύθμισης της αέργου ισχύος. Οι συσκευές των ηλεκτρονικών ισχύος με τις οποίες είναι εφοδιασμένες αυτού του τύπου οι ανεμογεννήτριες, μπορούν να ελέγξουν την άεργο ισχύ προκειμένου να βελτιώσουν την ποιότητα της ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο, κάτι το οποίο είναι πολύ χρήσιμο ιδίως σε περιπτώσεις που οι ανεμογεννήτριες είναι συνδεδεμένες σε ένα αδύναμο δίκτυο.
- Η μεταβλητή ταχύτητα δίνει ένας σαφές πλεονέκτημα σε σχέση με την ετήσια παραγωγή, μιας και είναι δυνατόν να λειτουργεί η μηχανή στη βέλτιστη ταχύτητα περιστροφής σε σχέση με τον άνεμο. Από οικονομικής άποψης αυτό το πλεονέκτημα είναι το πιο σημαντικό, αφού με την πάροδο των χρόνων και την εξέλιξη της τεχνολογίας, οι διατάξεις των ηλεκτρονικών ισχύος κοστίζουν όλο και λιγότερα χρήματα.
- Μειωμένες μηχανικές καταπονήσεις στον ανεμοκινητήρα που συνεπάγεται μεγάλη διάρκεια ζωής του συστήματος.

Τα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών μεταβλητής ταχύτητας είναι:

- Αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω των ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος και του ελέγχου και η αντίστοιχη αύξηση του κόστους.
- Αυξημένες απώλειες που οφείλονται στην παρουσία των ηλεκτρονικών ισχύος.

2.4 Χρησιμοποιούμενοι τύποι γεννητριών

Αυτή τη στιγμή, οι περισσότεροι και μεγαλύτεροι παραγωγοί ανεμογεννητριών στον κόσμο κατασκευάζουν μεταβλητής ταχύτητας ανεμογεννήτριες με έλεγχο γωνίας βήματος πτερυγίων. Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος γεννήτριας είναι οι επαγωγικές γεννήτριες, ενώ σε πολύ μικρό ποσοστό που όμως τελευταία παρουσιάζει κάποιες τάσεις αύξησης χρησιμοποιούνται σύγχρονες γεννήτριες με μόνιμο μαγνήτη.

Κυρίαρχος τύπος ανεμογεννήτριας στην αγορά ανεμογεννητριών (σε ποσοστό που ξεπερνά το 70%) είναι αυτός με επαγωγική μηχανή διπλής τροφοδοσίας (DFIG), με μεταβλητή ταχύτητα και μεταβλητό έλεγχο γωνίας κλίσης των πτερυγίων. Για ισχύς της τάξης των MW, μια ανεμογεννήτρια μπορεί να εξοπλιστεί με οποιονδήποτε τύπο τριφασικής γεννήτριας. Οι γενικές κατηγορίες γεννητριών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ανεμογεννήτριες είναι οι εξής:

1. Σύγχρονες γεννήτριες

- Σύγχρονες γεννήτριες με μόνιμο μαγνήτη (PMSG)
- Σύγχρονες γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα (WRSG)

2. Ασύγχρονες ή επαγωγικές γεννήτριες

- Επαγωγικές γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού (SCIG)
- Επαγωγικές γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα (WRSG)

Οι οποίες χωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες:

I. Επαγωγικές γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα με ηλεκτρικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα (OSIG)

II. Επαγωγικές γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα διπλής τροφοδοσίας (DFIG)

Σύγχρονες γεννήτριες

Η σύγχρονη γεννήτρια είναι πολύ πιο ακριβή και μηχανολογικά πολύ πιο πολύπλοκη από μια επαγωγική γεννήτρια ανάλογου μεγέθους. Το πλεονέκτημά της όμως σε σύγκριση με την ασύγχρονη γεννήτρια, είναι ότι το ρεύμα μαγνήτισης δε δημιουργείται από το κύκλωμα του στάτη. Το μαγνητικό πεδίο στις σύγχρονες γεννήτριες μπορεί να δημιουργηθεί με τη χρήση μόνιμων μαγνητών ή συμβατικών τυλιγμάτων στο δρομέα. Αν η σύγχρονη γεννήτρια έχει ένα κατάλληλο, μεγάλο αριθμό πόλων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων.

Σαν σύγχρονη μηχανή, είναι καταλληλότερη για έλεγχο πλήρους ισχύος, μιας και συνδέεται στο δίκτυο μέσω ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος. Ο μετατροπέας αυτός αποσβένει τις διαταραχές ισχύος που οφείλονται στις ριπές ανέμου και τα μεταβατικά φαινόμενα που προέρχονται από το δίκτυο και ελέγχει τη μαγνήτιση έτσι ώστε η μηχανή να παραμένει συγχρονισμένη με τη συχνότητα του δικτύου, επιτρέποντας τη λειτουργία με μεταβλητή ταχύτητα στην ανεμογεννήτρια.

Οι δύο πιο συνηθισμένοι τύποι σύγχρονων γεννητριών που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία των ανεμογεννητριών είναι: η σύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (WRSG) και η σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη (PMSG).

Σύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (WRSG)

Η σύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα είναι ο βασικότερος τύπος σύγχρονης γεννήτριας που χρησιμοποιείται στη βιομηχανία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Χαρακτηριστικό της είναι ότι τα τυλίγματα του στάτη είναι συνδεδεμένα απευθείας στο δίκτυο με αποτέλεσμα η ταχύτητα περιστροφής να ρυθμίζεται από τη συχνότητα του δικτύου. Τα τυλίγματα του δρομέα διεγείρονται από συνεχές ρεύμα με τη χρήση δακτυλίων ολίσθησης και ψηκτρών ή μέσω ενός διεγέρτη χωρίς ψήκτρες με ένα στρεφόμενο ανορθωτή και είναι αυτά που παράγουν το πεδίο διέγερσης, το οποίο περιστρέφεται με σύγχρονη ταχύτητα. Το πλεονέκτημά της σε σχέση με τις επαγωγικές γεννήτριες, είναι ότι δε χρειάζεται περαιτέρω μέτρα αντιστάθμισης για τη ρύθμιση της αέργου ισχύος. Η ταχύτητα της σύγχρονης γεννήτριας καθορίζεται από τη συχνότητα του στρεφόμενου πεδίου και του αριθμού των πόλων.

Σύγχρονη γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη (PMSG)

Τα τελευταία χρόνια, οι σύγχρονες γεννήτριες μόνιμου μαγνήτη έχουν αποκτήσει πολλούς υποστηρικτές, κι αυτό γιατί έχουν το πλεονέκτημα ότι είναι αυτοδιεγείρομενες και λειτουργούν με υψηλό συντελεστή ισχύος και υψηλή απόδοση. Η απόδοσή τους είναι υψηλότερη από των επαγωγικών μηχανών, επειδή η διέγερσή τους παρέχεται χωρίς να υπάρχει επιπλέον παροχή ενέργειας (αυτοδιεγείρομενες).

Ωστόσο, θα πρέπει να αναφερθεί εδώ ότι τα υλικά με τα οποία κατασκευάζονται οι μόνιμοι μαγνήτες είναι πολύ ακριβά και δύσκολα στην επεξεργασία, γεγονός που αυξάνει το κόστος των σύγχρονων γεννητριών μόνιμου μαγνήτη. Επιπλέον, η χρήση τέτοιων γεννητριών απαιτεί τη χρήση ενός μετατροπέα ισχύος πλήρους κλίμακας (ο μετατροπέας που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση με το δίκτυο είναι AC/DC/AC) προκειμένου να γίνεται προσαρμογή της τάσης και της συχνότητας της γεννήτριας στην τάση και στη συχνότητα της γραμμής. Η χρήση αυτού του μετατροπέα ισχύος, αποτελεί ένα πρόσθετο κόστος. Το πλεονέκτημα όμως από τη χρήση τέτοιων γεννητριών είναι ότι μπορεί να παραχθεί ενέργεια σε κάθε ταχύτητα. Ο στάτης των σύγχρονων γεννητριών μόνιμου μαγνήτη αποτελείται από ένα συμβατικό τριφασικό

τύλιγμα και ο δρομέας αποτελείται από ένα σύστημα πόλων μόνιμου μαγνήτη, που μπορεί να είναι κυλινδρικοί ή έκτυποι. Οι έκτυποι πόλοι είναι πιο συνηθισμένοι σε μηχανές χαμηλής ταχύτητας και είναι πιο χρήσιμοι για εφαρμογές ανεμογεννητριών. Τα μειονεκτήματα που προκύπτουν από τη χρήση σύγχρονων μηχανών με μόνιμο μαγνήτη στη λειτουργία των ανεμογεννητριών είναι ότι μπορεί να δημιουργήσουν προβλήματα κατά την εκκίνηση, το συγχρονισμό και τη ρύθμιση της τάσης καθώς επίσης προκαλούν δύσκαμπτη συμπεριφορά σε περίπτωση που η ταχύτητα του αέρα δεν είναι σταθερή. Επιπλέον, τα μαγνητικά υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους είναι ευαίσθητα στις υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να απαιτείται κάποιο σύστημα ψύξης.

Ασύγχρονες γεννήτριες

Ο τύπος της γεννήτριας που χρησιμοποιείται κατά κόρων στις ανεμογεννήτριες, είναι η επαγωγική γεννήτρια. Έχουν σαφώς πλεονεκτήματα όπως: ευρωστία, απλότητα στο μηχανικό κομμάτι και χαμηλό κόστος αλλά το κύριο μειονέκτημα τους είναι ότι καταναλώνουν άεργο ισχύ. Η άεργος ισχύς μπορεί να παρέχεται από το δίκτυο ή από συστοιχίες πυκνωτών ή από ένα κατάλληλο σύστημα ηλεκτρονικών ισχύος, με αποτέλεσμα την αύξηση του αρχικού κόστους εγκατάστασης.

Η ασύγχρονη μηχανή σαν γεννήτρια διακρίνεται σε:

- βραχυκυκλωμένου κλωβού
- δακτυλιοφόρου δρομέα.

Στην επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού το μαγνητικό πεδίο του δρομέα δημιουργείται εξ επαγωγής μόνο όταν ο στάτης είναι συνδεδεμένος με το δίκτυο.

Στην περίπτωση της διέγερσης μιας ασύγχρονης επαγωγικής γεννήτριας με εναλλασσόμενο ρεύμα, το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται περιστρέφεται σε μια ταχύτητα η οποία καθορίζεται από τον αριθμό των πόλων και τη συχνότητα του ρεύματος, δηλαδή τη σύγχρονη ταχύτητα. Ο δρομέας μπορεί να περιστρέφεται με ταχύτητα μεγαλύτερη ή μικρότερη της σύγχρονης ταχύτητας. Τότε ένα ηλεκτρικό πεδίο επάγεται μεταξύ του δρομέα και του στρεφόμενου πεδίου του στάτη από τη σχετική κίνηση (ολίσθηση), γεγονός που προκαλεί ένα ρεύμα στα τυλίγματα του δρομέα. Η αλληλεπίδραση μεταξύ του μαγνητικού πεδίου του δρομέα με το πεδίο του στάτη έχουν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ροπής στο δρομέα.

Επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού (SCIG)

Η επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού (SCIG) χρησιμοποιήθηκε στην αρχή σε ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας διότι η ταχύτητα της μεταβάλλεται μόνο κατά ένα μικρό ποσοστό εξαιτίας της ολίσθησής της, οποία οφείλεται στις αλλαγές της ταχύτητας του ανέμου. Χαρακτηριστικό της είναι η μηχανική απλότητα, η υψηλή απόδοση αλλά και το ελάχιστο κόστος συντήρησης. Ωστόσο η επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού (SCIG) έχει απότομες αλλαγές στην ροπή της, εξαιτίας διαταραχών του ανέμου (η ολίσθηση δεν μπορεί να μεταβάλλει την τιμή τ της περισσότερο) με αποτέλεσμα οι διαταραχές αυτές να περνούν στο δίκτυο.

Το πιο σημαντικό της μειονέκτημα είναι η ανάγκη για παροχή από το δίκτυο ρεύματος μαγνήτισης στα τυλίγματα του στάτη, κάτι που οδηγεί το συντελεστή ισχύος υπό πλήρες φορτίο σε χαμηλές τιμές (μη αποδεκτές από τις εταιρίες ηλεκτρισμού). Επίσης σε υψηλές ταχύτητες ανέμου η ανεμογεννήτρια μπορεί να παρέχει περισσότερη ενεργό ισχύ μόνο με επιπλέον κατανάλωση αέργου ισχύος από το δίκτυο (γεγονός που επιδεινώνει το συντελεστή ισχύος τα ανεμογεννήτριας υπό πλήρες φορτίο και επίσης θέτει σε αστάθεια το ισχυρό δίκτυο που είναι διασυνδεδεμένη).

Έτσι, είναι απαραίτητη η παροχή αέργου ισχύος μέσω συστοιχιών πυκνωτών παράλληλων με τη γεννήτρια. Επίσης, με την χρήση πλήρως ελεγχόμενου back-to-back μετατροπέα ισχύος με IGBT είναι δυνατός ο έλεγχος ενεργού και αέργου ισχύος και η προσαρμογή τους στις εκάστοτε συνθήκες του ανέμου αλλά και στις απαιτήσεις του δικτύου. Συνεπώς τότε δίνεται η δυνατότητα η επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεταβλητής ταχύτητας ανεμογεννήτρια και να δώσει εξαιρετικά λειτουργικά χαρακτηριστικά.

Επαγωγική γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα (WRIG)

Στις επαγωγικές γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα, τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του δρομέα μπορούν να ελεγχθούν εξωτερικά από την τάση του δρομέα. Τα τυλίγματα του δρομέα συνδέονται εξωτερικά μέσω δακτυλίων ολίσθησης και ψηκτρών και με τη χρήση ηλεκτρονικών ισχύος, η ισχύς μπορεί να εξαχθεί ή και να εισαχθεί στο κύκλωμα του δρομέα και η γεννήτρια μπορεί να μαγνητιστεί είτε από το κύκλωμα του στάτη είτε από το κύκλωμα του δρομέα. Το μειονέκτημα της

επαγωγικής γεννήτριας δακτυλιοφόρου δρομέα είναι το σχετικά υψηλότερο κόστος σε σχέση με την αντίστοιχη βραχυκυκλωμένου κλωβού.

Οι συνήθεις τύποι ασύγχρονων γεννητριών δακτυλιοφόρου δρομέα που χρησιμοποιούνται είναι: με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα (OSIG) και η επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας (DFIG).

Επαγωγική γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα (OSIG)

Η επαγωγική γεννήτρια με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα εισήχθη στην αγορά προκειμένου να μειωθεί το φορτίο στην ανεμογεννήτρια εξαιτίας των ριπών ανέμων. Επιτρέπει στη γεννήτρια να έχει μεταβαλλόμενη, θετική ολίσθηση και να επιλέγει τη βέλτιστη τιμή ολίσθησης, έτσι ώστε να έχουμε μικρότερες διαταραχές στη ροπή και στην εξαγόμενη ενέργεια. Η μεταβλητή ολίσθηση είναι πολύ αξιόπιστη και εύκολη να επιτευχθεί και συμβάλλει στην αποτελεσματική μείωση των φορτίων σε σχέση σε άλλες πιο πολύπλοκες λύσεις.

Στην επαγωγική γεννήτρια με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα, η εξωτερική μεταβλητή αντίσταση προσαρμόζεται στα τυλίγματα του δρομέα. Η ολίσθηση της γεννήτριας αλλάζει με τη μεταβολή της συνολικής αντίστασης του δρομέα μέσω του μετατροπέα που είναι τοποθετημένος στον άξονα του δρομέα. Ο μετατροπέας ελέγχεται οπτικά, άρα οι δακτύλιοι ολίσθησης δεν είναι απαραίτητοι. Ο στάτης της γεννήτριας είναι συνδεδεμένος απευθείας στο δίκτυο.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου γεννήτριας είναι η απλή τοπολογία του κυκλώματος του δρομέα, χωρίς απαραίτητα να υπάρχουν δακτύλιοι ολίσθησης, το μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων που μπορεί να επιτευχθεί σε σχέση με την επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού, η ικανότητα της γεννήτριας να μειώσει μέχρι ενός σημείου τα μηχανικά φορτία και τις διαταραχές στην ενέργεια που οφείλονται στις ριπές ανέμου. Παρόλα αυτά, το σύστημα αντιστάθμισης αέργου ισχύος εξακολουθεί να είναι απαραίτητο. Τα μειονεκτήματά της είναι ότι το εύρος μεταβολής των ταχυτήτων κυμαίνεται μόνο μεταξύ 0-10%, μιας και εξαρτάται από το μέγεθος της μεταβλητής αντίστασης του δρομέα, η ενέργεια της ολίσθησης καταναλώνεται πάνω στη μεταβλητή αντίσταση του δρομέα σαν θερμότητα, επομένως έχουμε αυξημένες απώλειες και τέλος δεν μπορεί να γίνει πολύ αξιόλογος έλεγχος της ενεργού και της αέργου ισχύος.

Επαγωγική γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα διπλής τροφοδοσίας (DFIG)

Η επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας είναι η εξέλιξη της επαγωγικής γεννήτριας δακτυλιοφόρου δρομέα με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση, με την έννοια ότι η μεταβλητή αντίσταση στο δρομέα έχει αντικατασταθεί από έναν back-to-back IGBT μετατροπέα πηγής τάσης συνδεδεμένο στο δίκτυο, και κερδίζει συνεχώς όλο και μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς. Τα τυλίγματα του στάτη είναι απευθείας συνδεδεμένα στο τριφασικό δίκτυο.

Αυτό το σύστημα επιτρέπει να υπάρχει λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας με ένα αρκετά μεγάλο εύρος. Ο μετατροπέας αντισταθμίζει τη διαφορά μεταξύ της μηχανικής και ηλεκτρικής συχνότητας, εγχύοντας ένα ρεύμα μεταβλητής συχνότητας στον δρομέα. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας αλλά και σε περίπτωση σφαλμάτων, η συμπεριφορά της γεννήτριας καθορίζεται από το μετατροπέα και τους ελεγκτές του.

Όσον αφορά τον έλεγχο, ο μετατροπέας στην πλευρά του δρομέα ελέγχει την ενεργό και άεργο ισχύ της μηχανής μέσω ελέγχου του ρεύματος του δρομέα, ενώ ο μετατροπέας στην πλευρά του δικτύου ελέγχει την τάση στη DC διασύνδεση και διασφαλίζει λειτουργία με μοναδιαίο συντελεστή ισχύος.

Ανάλογα με τη λειτουργία, η ισχύς του δρομέα μπορεί να μεταφερθεί και προς τις δύο κατευθύνσεις. Σε περίπτωση υπερσύγχρονης λειτουργίας (θετική ολίσθηση), έχουμε ροή ισχύος από το δρομέα μέσω του μετατροπέα στο δίκτυο, ενώ σε περίπτωση υποσύγχρονης λειτουργίας (αρνητική ολίσθηση), η ροή ισχύος είναι αντίθετη ενώ και στις δύο περιπτώσεις ο στάτης παρέχει ενέργεια στο δίκτυο. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της επαγωγικής γεννήτριας διπλής τροφοδοσίας σε σχέση με την επαγωγική γεννήτρια με ηλεκτρονικά μεταβαλλόμενη αντίσταση δρομέα, είναι ότι στην περίπτωση υποσύγχρονης λειτουργίας η αυξημένη ισχύς στο δρομέα οδηγείται στο δίκτυο αντί να χάνεται σε ωμικές αντιστάσεις.

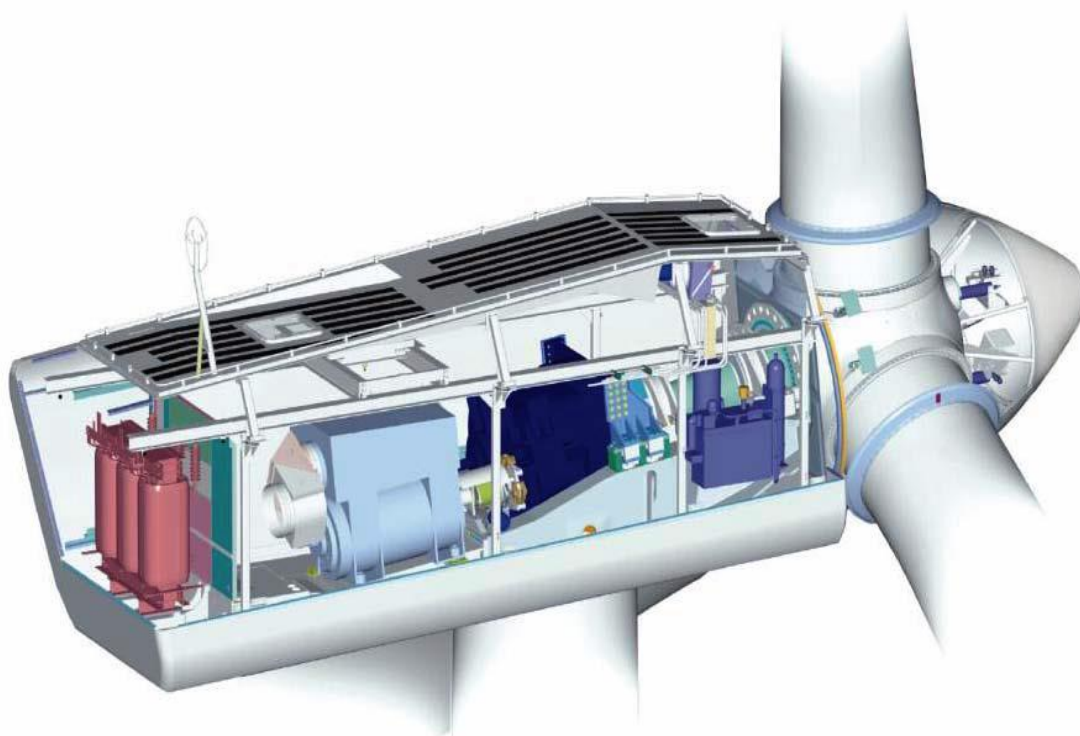
Η επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας δεν είναι απαραίτητο να μαγνητίζεται από το δίκτυο αλλά αυτό μπορεί να γίνει και από το κύκλωμα του δρομέα. Επίσης, είναι ικανή να παράγει άεργο ισχύ η οποία μπορεί να μεταφερθεί στο στάτη μέσω του μετατροπέα στην πλευρά του δικτύου. Ο μετατροπέας στην πλευρά του δικτύου διορθώνει συνολικά το συντελεστή ισχύος και έτσι εμπλέκεται εμμέσως στην ανταλλαγή αέργου ισχύος μεταξύ του στάτη και του δικτύου. Σε περίπτωση που υπάρχει ένα αδύναμο δίκτυο, όπου υπάρχουν διαταραχές στην τάση, μπορεί να

ζητηθεί από την επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας να παράγει προς το δίκτυο ή να απορροφήσει κάποιο ποσό αέργου ισχύος από το δίκτυο, προκειμένου να υπάρξει έλεγχος της τάσης.

Το μέγεθος του μετατροπέα δεν σχετίζεται με τη συνολική ισχύ της γεννήτριας αλλά με το επιλεγμένο εύρος ρύθμισης της ταχύτητας. Έτσι, ότι κερδίζουμε σε κόστος, το χάνουμε σε δυνατότητα εύρους της μεταβλητής ταχύτητας.

Τέλος, μειονέκτημα αυτού του τύπου της γεννήτριας είναι ότι οι δακτύλιοι ολίσθησης είναι απαραίτητοι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΈΛΕΓΧΟΣ Α/Γ ΤΥΠΟΥ VESTAS



3.1 Βασικά χαρακτηριστικά

Η ανεμογεννήτρια V90 (2MW) χρησιμοποιεί την τεχνική μεταβλητού βήματος αντίθετη στον άνεμο, με σύστημα αυτοματισμού για τον προσανατολισμού του ρότορα στη διεύθυνση πνοής του ανέμου και ο ρότορας έχει τρία φτερά. Η διάμετρος του ρότορα είναι 90 μέτρα και λειτουργεί χρησιμοποιώντας το σύστημα OptiSpeed™. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα επιτρέπει στο ρότορα να λειτουργεί με μεταβλητή ταχύτητα (rpm). Είναι εξοπλισμένη με το ειδικό σύστημα της VESTAS OptiTip®, το οποίο ρυθμίζει το βήμα των φτερών. Με το OptiTip®, η γωνία των φτερών είναι συνεχώς ρυθμισμένη έτσι ώστε τα φτερά να βρίσκονται πάντα στη βέλτιστη γωνία σε σχέση με τον αέρα. Αυτό βελτιστοποιεί την παραγωγή ισχύος και τα επίπεδα θορύβου.

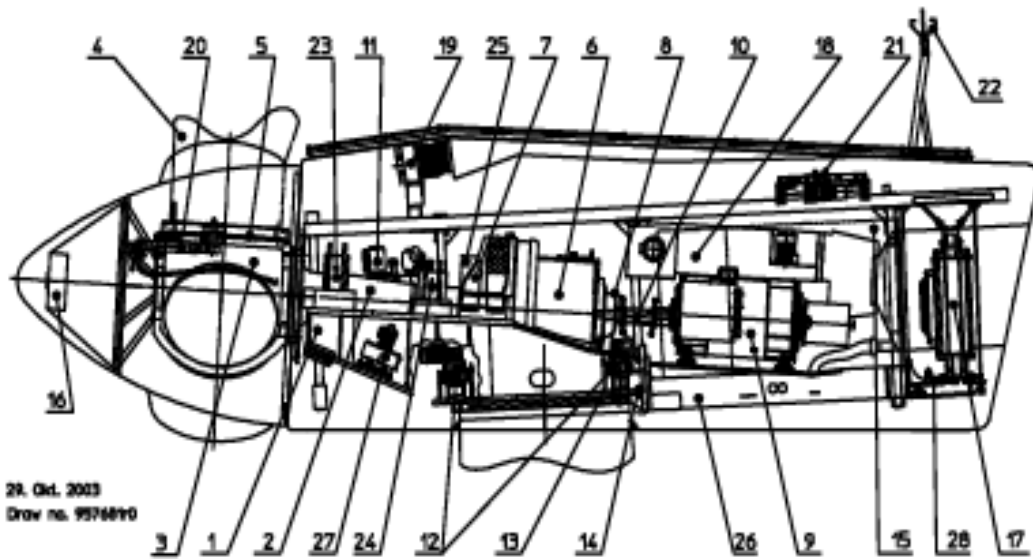
Ο κύριος άξονας (main shaft) μεταβιβάζει την ενέργεια στη γεννήτρια μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα συνδυασμένο πλανητικό και ελικοειδές κιβώτιο ταχυτήτων. Από το κιβώτιο ταχυτήτων η ενέργεια μεταβιβάζεται στη γεννήτρια μέσω ενός συνδέσμου (composite) φτιαγμένο από συνθετικά υλικά. Η γεννήτρια είναι μια ειδική ασύγχρονη γεννήτρια 4-πόλων. Στις υψηλές ταχύτητες

αέρα το OptiSpeed™ και το ρυθμιζόμενο σύστημα του βήματος OptiTip® των φτερών κρατούν την ισχύ στο ονομαστικό, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία και την πυκνότητα του αέρα. Στις χαμηλότερες ταχύτητες αέρα το σύστημα OptiTip® και το OptiSpeed™ βελτιστοποιούν την παραγωγή ισχύος με την επιλογή των βέλτιστων στροφών και της γωνίας του βήματος των φτερών.

Ένα υδραυλικό σύστημα δισκοφρένου είναι τοποθετημένο στον άξονα της υψηλής ταχύτητας του κιβωτίου ταχυτήτων. Όλες οι λειτουργίες της ανεμογεννήτριας επιτηρούνται και ελέγχονται από διάφορες μονάδες ελέγχου βασισμένες σε μικροεπεξεργαστές. Αυτό το σύστημα ελέγχου τοποθετείται στη nacelle. Οι αλλαγές στο βήμα του φτερού πραγματοποιείται από ένα υδραυλικό σύστημα, το οποίο επιτρέπει στα φτερά να περιστραφούν κατά 95°. Αυτό το σύστημα (υδραυλικό) παρέχει επίσης την πίεση για το σύστημα φρένων. Δύο ηλεκτρικά συγκροτήματα γραναζιών (yaw gear) περιστρέφονται ταυτόχρονα σε ένα μεγάλο οδοντωτό δαχτυλίδι (yaw ring) το οποίο είναι τοποθετημένο στην κορυφή του πύργου με αποτέλεσμα να περιστρέφεται η άτρακτος.

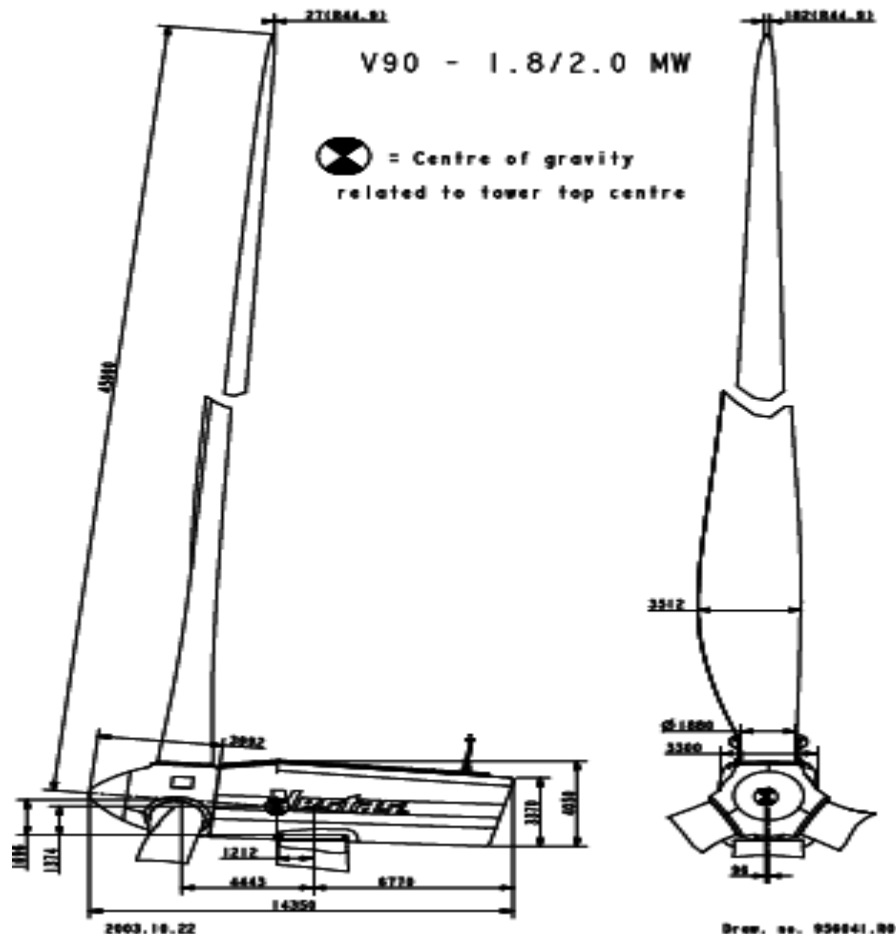
Το κέλυφος της ατράκτου (nacelle) είναι φτιαγμένη από ενισχυμένο υλικό το οποίο προστατεύει όλα τα συστατικά στη nacelle από τη βροχή, χιόνι, σκόνη, κ.λ.π. Η πρόσβαση στη nacelle γίνεται από τον πύργο μέσω ενός κεντρικού ανοίγματος. Μέσα στη nacelle υπάρχει ένας γερανός ανυψωτικής δύναμης 250 κιλά. Ο πύργος είναι σωληνοειδής, από χάλυβα, χρωματισμένος.

V90 - 1.8/2.0 MW



- | | |
|--------------------------------|-------------------------------|
| 1. Front main beam | 2. Main shaft |
| 3. Blade hub | 4. Blade |
| 5. Blade bearing | 6. Gearbox |
| 7. Torque arm | 8. Disc brake |
| 9. Generator | 10. High speed coupling |
| 11. Hydraulic pump unit | 12. Yaw gear unit |
| 13. Yaw ring | 14. Yaw sensor |
| 15. Nacelle controller unit | 16. Hub controller unit |
| 17. Transformer | 18. Generator cooler |
| 19. Oil cooler | 20. Hydraulic pitch cylinder |
| 21. Service crane | 22. Ultrasonic wind sensor |
| 23. Front main bearing housing | 24. Rear main bearing housing |
| 25. Shrink disc | 26. Rear machinery foundation |
| 27. Converter cooler | 28. Trafo foundation |

Σχήμα 3.1 .Τα κύρια μέρη μιας μηχανής VESTAS V90 2MW,απεικόνιση από τα πλαγιά της. [9]



Σχήμα 3.2 Κάλυμμα κελύφους της άτρακτο και των πτερωτών, Γενικές διαστάσεις. [9]

Σύνδεση δικτύου

Οι διακοπόμενες ή γρήγορες διακυμάνσεις της συχνότητας του δικτύου μπορούν να προκαλέσουν σοβαρή ζημία στην Α/Γ. Οι ανοχές για τη συχνότητα είναι $\pm 1/-3$ Hz (50 Hz), και για την τάση είναι $\pm 10\%$ του ονομαστικού. Η αντίσταση της γείωσης δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 10 Ohm.

Όροι εδάφους

Για την τοποθέτηση μίας Α/Γ πρέπει οι κλίσεις του εδάφους να συμφωνούν με τους παρακάτω κανόνες:

- Μια μέγιστη κλίση 10° μέσα σε μια ακτίνα 100 μέτρων από την Α/Γ.
- Μια μέγιστη κλίση 15° μέσα σε μια ακτίνα 100 έως 500 μέτρων από την Α/Γ.
- Μια μέγιστη κλίση 20° έξω από μια ακτίνα 500 μέτρων από την Α/Γ.

Οι Α/Γ μπορούν να τοποθετηθούν στο αιολικό πάρκο με μια απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον 5 φορές τη διάμετρο του ρότορα ($5 \times 90 = 450\text{m}$). Εάν οι Α/Γ τοποθετούνται σε μια σειρά, κάθετη στην κυρίαρχη κατεύθυνση αέρα, η απόσταση

μεταξύ των Α/Γ πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 φορές τη διάμετρο του ρότορα ($4 \times 90 = 360\text{m}$).

Κλιματολογικοί όροι

Η Vestas V90-2MW είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να λειτουργεί σε περιβαλλοντικές θερμοκρασίες οι οποίες κυμαίνονται από -20°C μέχρι και $+40^{\circ}\text{C}$. Σε ορισμένους συνδυασμούς υψηλού αέρα, υψηλής θερμοκρασίας, χαμηλής πυκνότητας αέρα ή και χαμηλής τάσης, μπορεί να εμφανιστεί μια λανθασμένη εκτίμηση της παραγόμενης ισχύος. Αυτό συμβαίνει προκειμένου να διατηρηθούν μέσα στα θερμοκρασιακά όρια τα κύρια συστατικά όπως το κιβώτιο ταχυτήτων, η γεννήτρια κ.λπ. Γενικά συνιστάται η τάση δικτύου να είναι κοντά στο ονομαστικό. Όταν υπάρχει διακοπή ρεύματος από το δίκτυο και πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, για να ξεκινήσει ξανά η ανεμογεννήτρια θα πρέπει να περάσει ένας ορισμένος χρόνος για τη θέρμανση των επεξεργαστών ελέγχου.

Εάν η ανεμογεννήτρια τοποθετείται σε υψόμετρο πάνω από 1000 μ. από το επίπεδο της θάλασσας, λόγω της πυκνότητας του αέρα μια αύξηση θερμοκρασίας από τη συνηθισμένη μπορεί να εμφανιστεί στη γεννήτρια, στο μετασχηματιστή και σε άλλα ηλεκτρικά συστατικά. Σε αυτήν την περίπτωση μια περιοδική μείωση της εκτιμημένης παραγωγής μπορεί να εμφανιστεί, ακόμα κι αν η περιβαλλοντική θερμοκρασία είναι μέσα στα όρια.

Επιπλέον, επίσης στους τόπους με υψόμετρο πάνω από 1000 μ. από τη στάθμη της θάλασσας, θα υπάρξει ένας αυξανόμενος κίνδυνος από το παγωμένο περιβάλλον. Η σχετική υγρασία μπορεί να είναι 100% (μέγιστο 10% εγκαίρως).

3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

Γεννήτρια

- **Τύπος:** Ασύγχρονη με διέγερση στον ρότορα από το Vestas Converter System.
- **Ονομαστική ισχύς:** 2MW
- **Τάση:** 690 VAC
- **Συχνότητα:** 50Hz
- **Αριθμός πόλων:** 4
- **Βαθμός προστασίας:** IP 54
- **Ονομαστική ταχύτητα:** 1680 RPM (50Hz)

- **Ονομαστικό ρεύμα:** 1709 A
- **Συντελεστής ισχύος:** $\cos\phi=1.0$
- **Κατασκευαστής:** ABB, Leroy Somer, Weier.

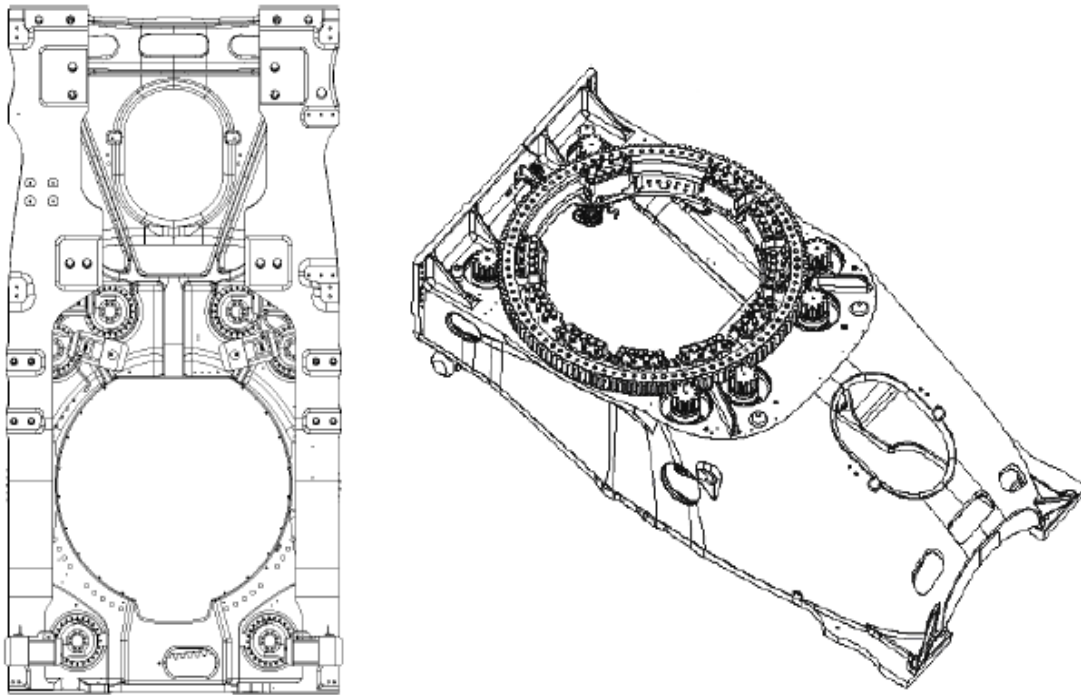
Ένα σημαντικό μέρος της Α/Γ είναι η ασύγχρονη γεννήτρια. Μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια από το κιβώτιο ταχυτήτων σε ηλεκτρική ενέργεια. Η γεννήτρια συνδέεται με το δίκτυο άμεσα, το οποίο μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στον καταναλωτή. Αν και ασύγχρονη γεννήτρια λειτουργεί με μεταβλητές στροφές. Το σύστημα του Vestas Converter.System ρυθμίζει την διέγερση του ρότορα έτσι ώστε η τάση στην έξοδο της γεννήτριας να είναι σταθερή.

Τα τυλίγματα του στάτη μπορούν να συνδεθούν σε αστέρα ή τρίγωνο ανάλογα την ταχύτητα του αέρα. Η ονομαστική περιστροφική ταχύτητα της γεννήτριας εξαρτάται από τη συχνότητα του δικτύου. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι αυτό που καθορίζει τις στροφές της γεννήτριας.

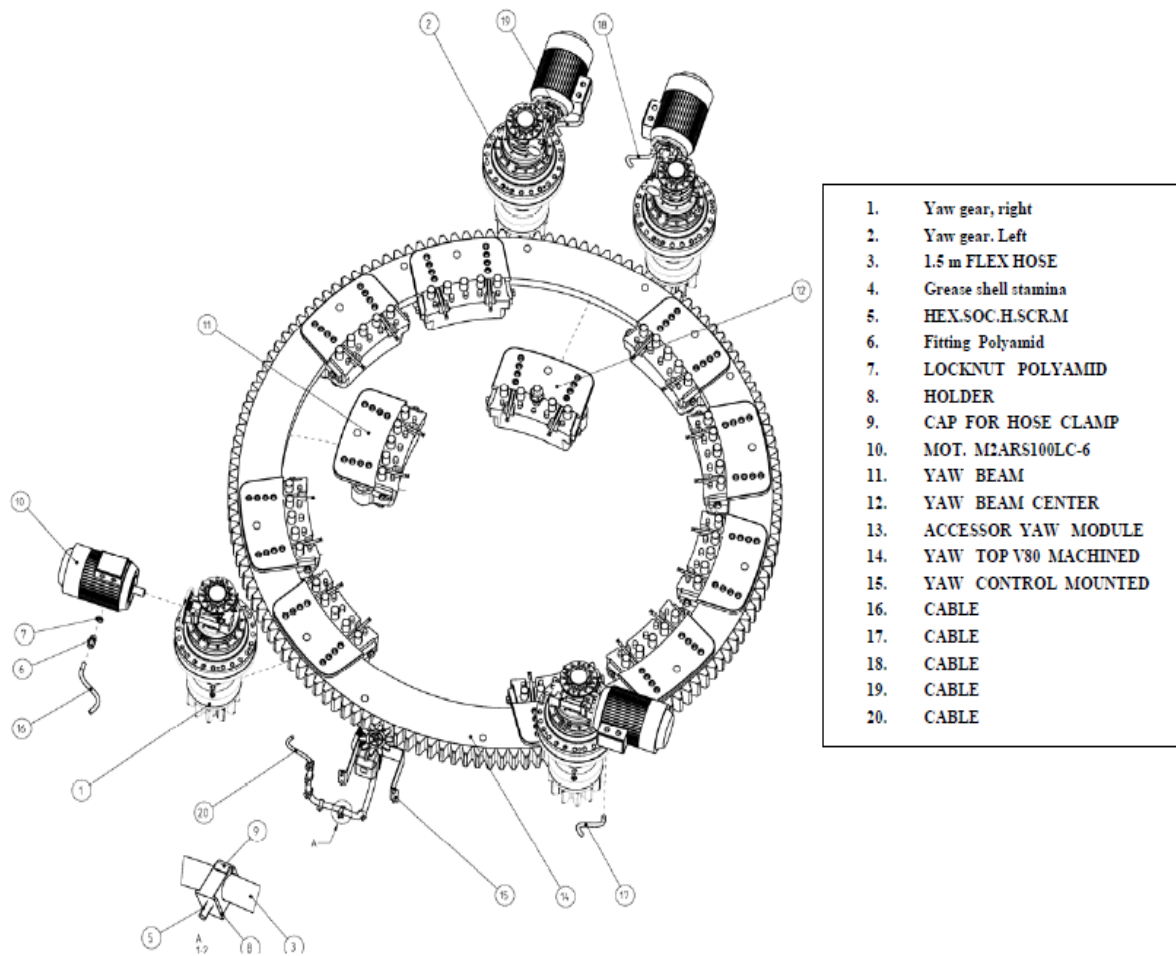
Σύστημα Προσανατολισμού (yaw system)

Το yaw system έχει τρεις λειτουργίες:

1. Κρατά το ατρακτίδιο της ανεμογεννήτριας σε θέση πάνω από τον πύργο.
2. Επιτρέπει στο ατρακτίδιο της ανεμογεννήτριας να περιστραφεί στον πύργο.
3. Διαβιβάζει τις δυνάμεις από το στρόβιλο στον πύργο.

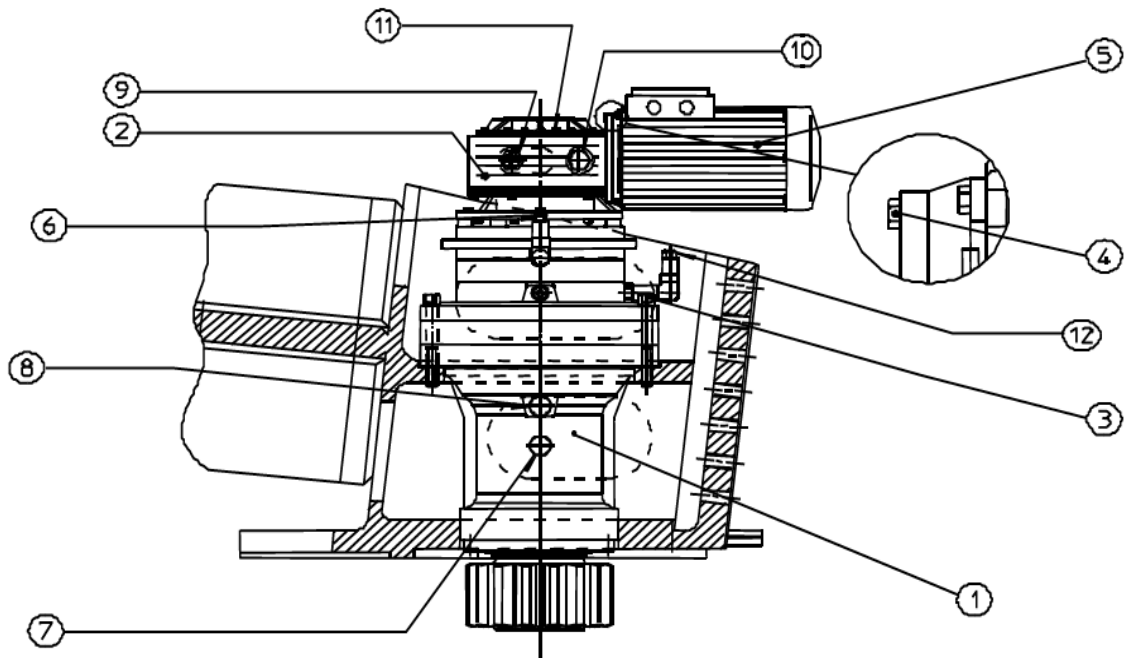


Σχήμα 3.3 Σύστημα προσανατολισμού. [9]



Σχήμα 3.4 Απεικόνιση του συστήματος Προσανατολισμού μαζί με τα μοτέρ. [9]

Η άτρακτος (nacelle) τοποθετείται πάνω σε μια πλάκα σαν δακτυλίδι η οποία σφίγγεται στον πύργο.



Σχήμα 3.5 YAW GEAR. [9]

Τα yaw gear χρησιμοποιούνται για τον αυτόματο προσανατολισμό της άτρακτου στον άνεμο τα οποία και συγκρατούν την άτρακτο με τα ηλεκτρικά φρένα που έχουν οι ηλεκτροκινητήρες έτσι ώστε να μην περιστραφεί η άτρακτος. Οι ηλεκτροκινητήρες είναι ασύγχρονοι, οδηγούνται από δύο ρελέ και το καθένα έχει και από ένα βοηθητικό ρελέ.

Το ένα ρελέ είναι για δεξιά παρέκκλιση και το άλλο για αριστερά. Ο κάθε ηλεκτροκινητήρας προστατεύεται από ένα θερμικό και είναι εξοπλισμένος με φρένο. Ο ελεγκτής παίρνει τις πληροφορίες της διεύθυνσης του ανέμου από το ανεμόμετρο και γίνε την εντολή στους ηλεκτροκινητήρες μέσω του βοηθητικού ρελέ. Ο αυτόματος προσανατολισμός απενεργοποιείται όταν η ταχύτητα του αέρα είναι μικρότερη από 2,5 m/sec.

Τεχνικά χαρακτηριστικά Yaw Gear

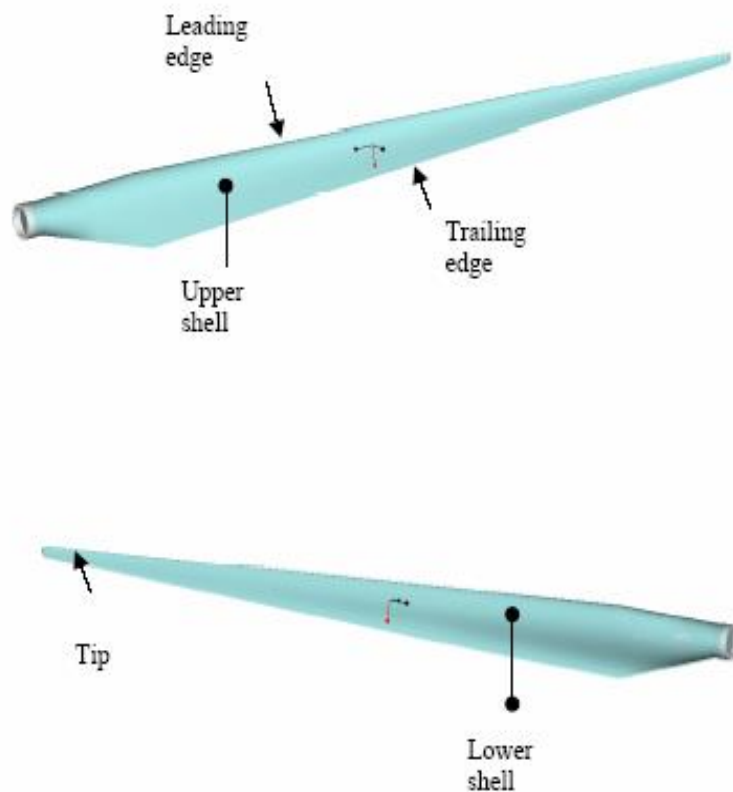
- **Τύπος Yaw System :** Σύστημα ρουλεμάν ολίσθησης με ενσωματωμένο τριβέα
- **Υλικό δακτυλιδιού :** 34CrNiMo6 Q+T alt. 42CrMo4 Q+T / EN10083
- **Ρουλεμάν ολίσθησης :** PETP

- **Ταχύτητα παρέκκλιση:** $< 0.5^\circ/\text{sec}$.
- **Τύπος yaw gear:** Τρία βηματικά πλανητικά γρανάζια και ένα ατέρμονο.
- **Ηλεκτροκινητήρας:** 2,2 kW, 6 πόλοι ασύγχρονος με ηλεκτρικό φρένο.

Επίσης, υπάρχει στο σύστημα παρέκκλισης και ένα αισθητήρας όπου επιβλέπει και μετράει το στρίψιμο των καλωδίων στον πύργο.

Ροτορας , πτερωτή και σημείο διασύνδεσης HUB

Τα φτερά αποτελούνται από ίνες γυαλιού που ενισχύεται με εποξική κόλλα. Κάθε φτερό αποτελείται από δύο κομμάτια σαν κοχύλια, που συνδέονται ακτινικά με μια ενισχυτική κόλλα. Υπάρχουν ειδικά χαλύβδινα δακτυλίδια στην άκρη τα οποία συνδέουν το φτερό με το ρουλεμάν του φτερού. Το ρουλεμάν φτερών είναι ένας ένσφαιρος τριβέας τεσσάρων σημείων που βιδώνεται στην πλήμνη των φτερών.

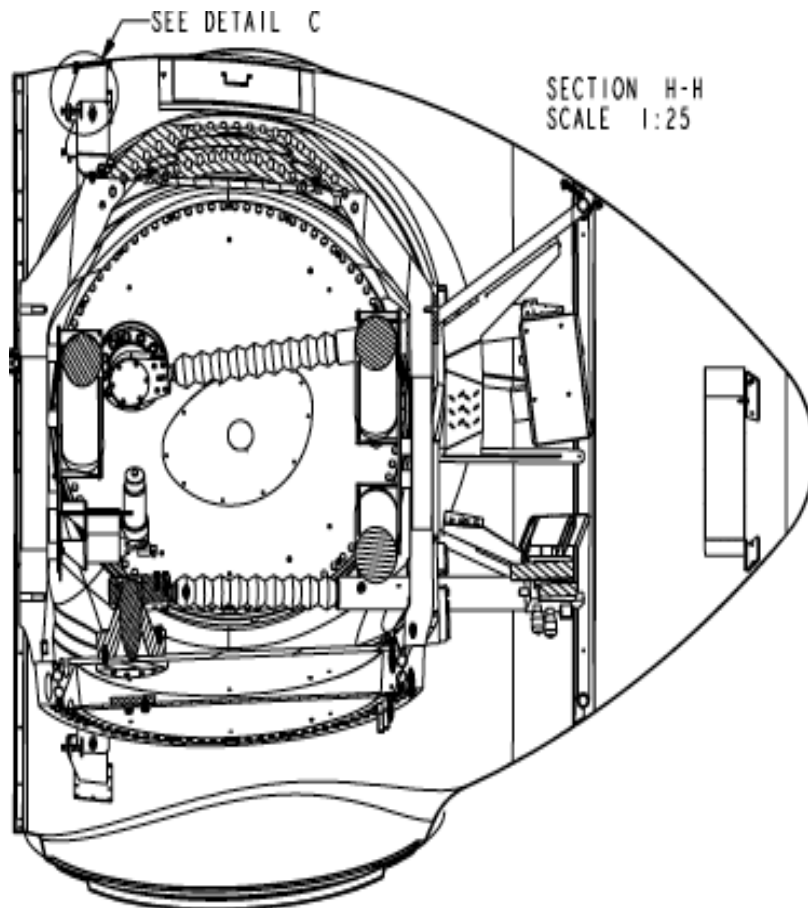


Σχήμα 3.6 Πτερωτές. [9]

Τεχνικά χαρακτηριστικά Πτερωτής (blade)

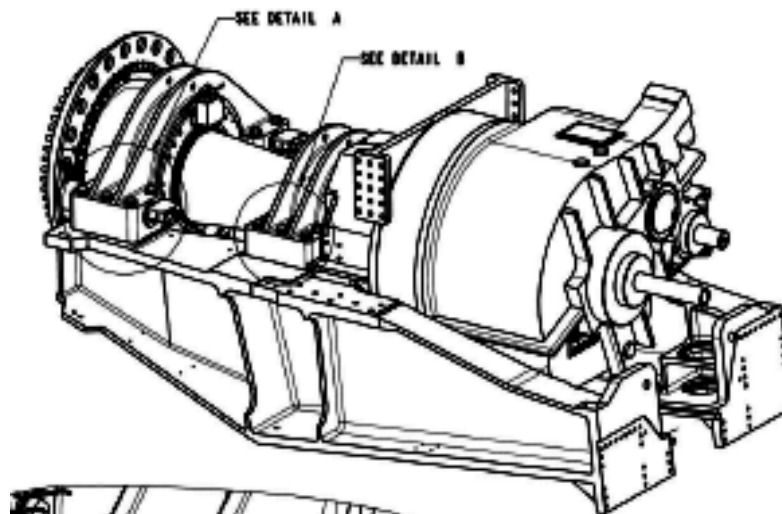
- **Διάμετρος ρότορα:** 90 meter
- **Επιφάνεια σάρωσης:** 6358 m
- **Ταχύτητα ρότορα:** 14.85 RPM

- **Περιοχή λειτουργίας ρότορα:** μεγιστο 17.8 RPM
- **Διεύθυνση περιστροφής:** Δεξιόστροφα (Μπροστινή όψη)
- **Προσανατολισμός:** Ανάντη
- **Κλίση:** 6°
- **Κωνική γωνία φτερών:** 3°
- **Αριθμός φτερών:** 3
- **Αεροδυναμικά φρένα:** Πλήρης σύμπραξη των φτερών
- **Αρχή κατασκευής φτερών:** Κοχύλια που συνδέονται με την υποστήριξη της ακτίνας
- **Υλικό κατασκευής φτερών:** Ίνες γυαλιού με εποξικές ρητίνες
- **Σύνδεση φτερού με ρουλεμάν:** Ένωση με νήμα χάλυβα και μπουλόνια
- **Προφίλ φτερού:** NACA63 και FFA-W3
- **Μήκος φτερών:** 45 m
- **Χορδή φτερού (πλάτος) άκρη /τέλος:** 2.3 m/0.33 m
- **Βάρος φτερού:** Περίπου 7000 κιλά
- **Ρουλεμάν φτερού:** Ρουλεμάν σφαιρικό τεσσάρων σημείων
- **Υλικό hub :** EN-GJS-400-18U-LT / EN1563



Σχήμα 3.7 (Hub) Διασυνδεδετικό εξάρτημα φτερών.[9]

Κύριος Άξονας (Main shaft)



Σχήμα 3.8 Hub, Κύριος άξονας.[9]

Σασμάν

- **Τύπος:** 1 πλανητικό γρανάζι και 2 ελικοειδές γρανάζια
- **Λόγος:** 1:113.5 για 50 Hz

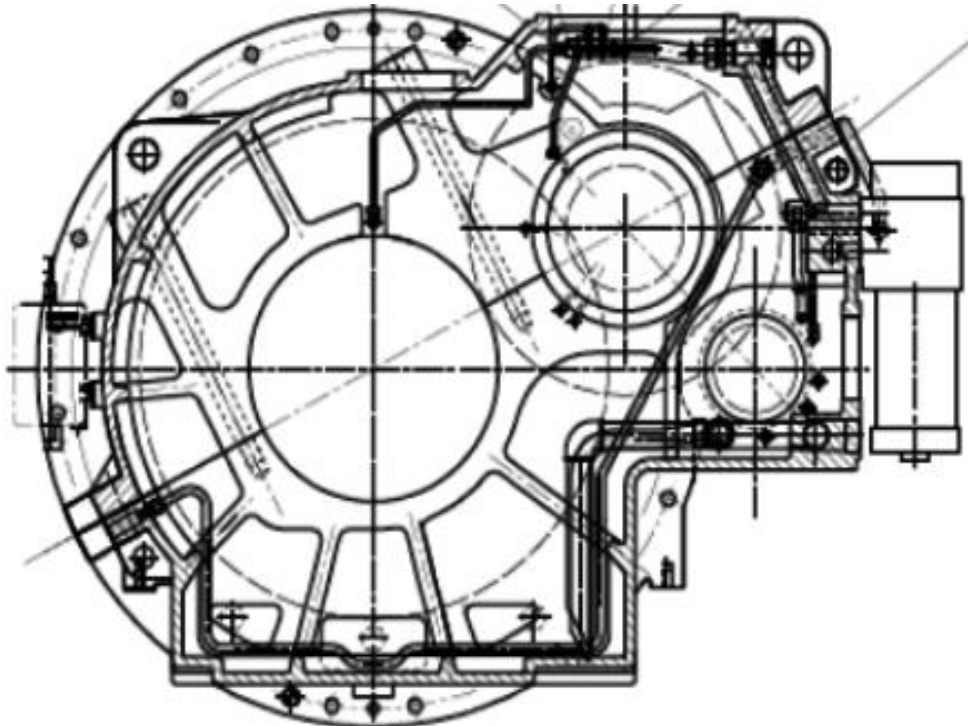
- **Ψύξη:** Αντλία λαδιού ηλεκτρική και μηχανική με ψυγείο λαδιού.
- **Θέρμανση λαδιού:** Με αντίσταση 1.5 ohm.
- **Κατασκευαστής:** Η Vestas προμηθεύεται τα σασμάν από διάφορους κατασκευαστές οι οποίοι τα κατασκευάζουν σύμφωνα με τις οδηγίες της εταιρίας.

Το σασμάν είναι ένας πολλαπλασιαστής στροφών. Στη V90-2MW ο λόγος πολλαπλασιασμού είναι 1 προς 113.5 στρόφες. Συνδέεται από την μία μεριά με τον κύριο άξονα του ρότορα με ένα κωνικό υδραυλικό δίσκο και από την άλλη πλευρά της υψηλής ταχύτητας με την γεννήτρια μέσω ενός συνδέσμου φτιαγμένος από πολυεστέρα υψηλής αντοχής και ελαστικότητας.

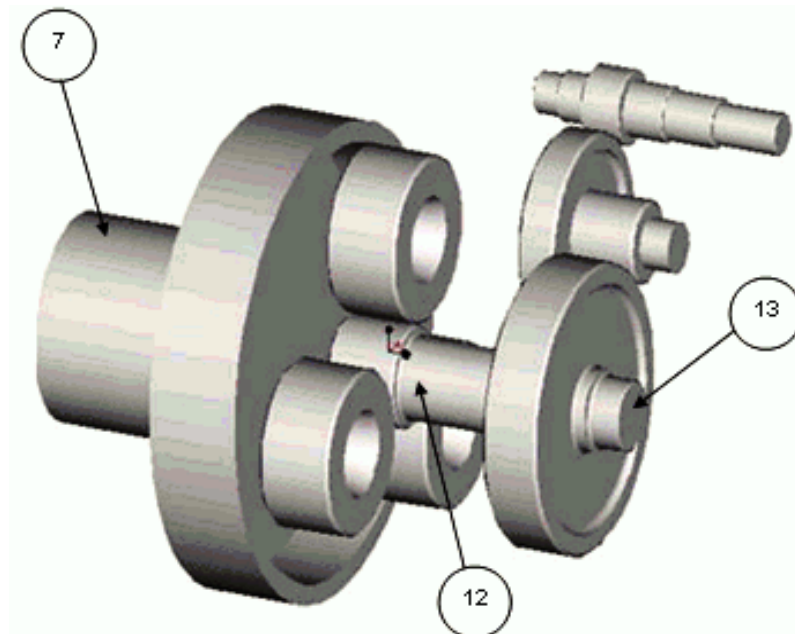
Στο σασμάν πάνω στην πλευρά της υψηλής ταχύτητας είναι τοποθετημένο και το μηχανικό φρένο. Ο καθαρισμός του σασμάν γίνεται από δύο φίλτρα. Το ένα είναι τοποθετημένο στο κύκλωμα ψύξης και το άλλο είναι ανεξάρτητο και το οποίο λειτουργεί ανάλογα με τη θερμοκρασία του λαδιού. Εκτός από τα φίλτρα και το σύστημα ψύξης έχει και αντίσταση για την θέρμανση του λαδιού η οποία λειτουργεί όταν έχουμε χαμηλές θερμοκρασίες στο λάδι. Υπάρχει και ένας πιεσοστάτης ο οποίος επιβλέπει την πίεση στο κύκλωμα ψύξης. Μέσα από το σασμάν περνάει και ο άξονας του pitch.



Σχήμα 3.9 Φωτογραφία του κιβώτιου ταχυτήτων του κύριου άξονα και του συστήματος φρένων. [15]



Σχήμα 3.10 Βασικό μηχανολογικό σχέδιο του κιβώτιου ταχυτήτων. [9]



Σχήμα 3.11 Σύστημα γραναζιών στο εσωτερικό του κιβώτιου ταχυτήτων. [9]

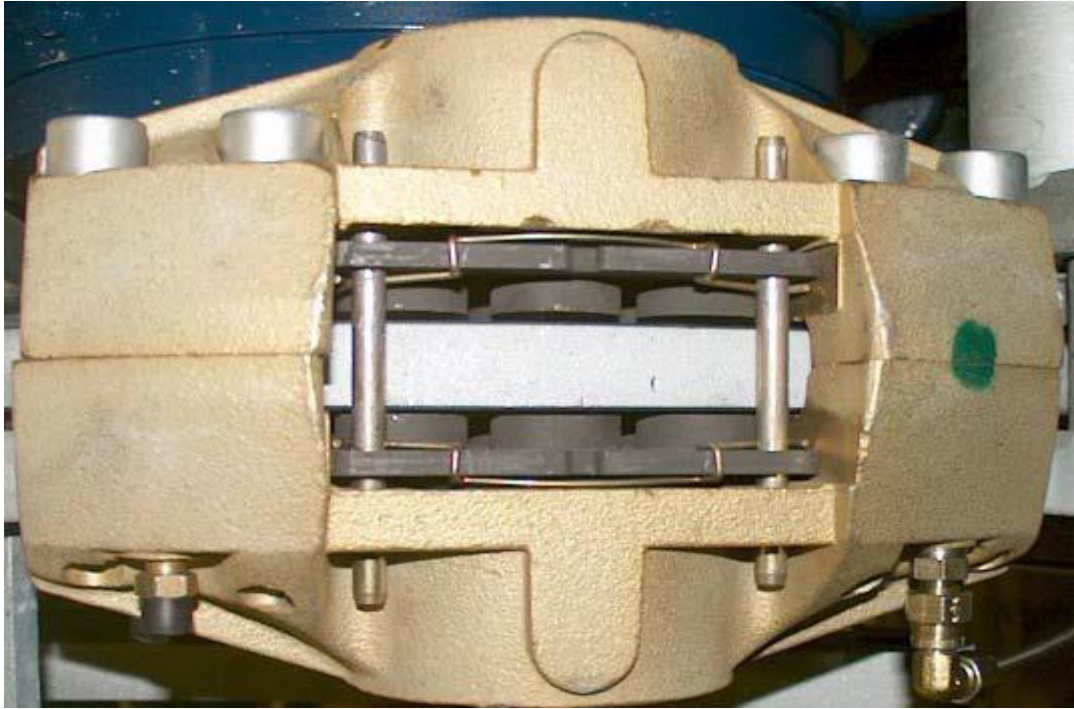
Mechanical Brake

Τύπος: Υδραυλικό δισκόφρενο

Calipers:3

Διάμετρος δισκοφρένου: 600mm

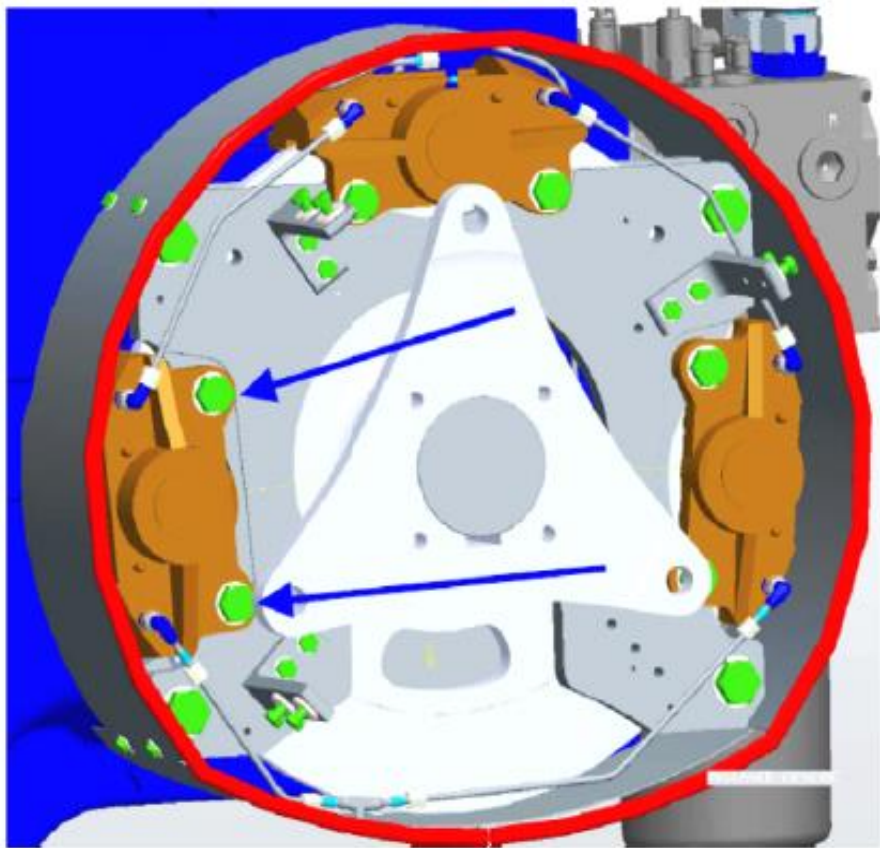
Υλικό δισκοφρένου: VWS-GJV-300-2U-D



Σχήμα 3.12 Φωτογραφία της μιας δαγκάνας του μηχανικού φρένου.[15]



Σχήμα 3.13 Φωτογραφία ολοκλήρου του συστήματος φρένου, τοποθετημένο στον άξονα σύνδεσης της γεννήτριας. [15]



Σχήμα 3.14 3D Σχέδιο ολοκλήρου του συστήματος φρένου, τοποθετημένο στον άξονα σύνδεσης της γεννήτριας. [9]

Υδραυλικό σύστημα

Το υδραυλικό σύστημα εξυπηρετεί δύο λειτουργίες:

1. Ρίψη των φτερών γύρω από τον άξονα τους (κίνηση του βήματος από 90° μέχρι -5°.
2. Να ενεργοποιήσει το φρένο στον άξονα της υψηλής ταχύτητας του σασμάν. Το σύστημα αποτελείται από μια μονάδα ισχύος που βρίσκεται στη δεξιά πλευρά της ατράκτου και τους συνδετικούς σωλήνες που συνδέουν την υδραυλική με το έμβολο του βήματος και τα φρένα.

- **Παροχή αντλίας:** 8.7 l/.min
- **Μέγιστη πίεση λειτουργίας:** 200 bar
- **Πίεση φρένων:** 44 bar
- **Ποσότητα λαδιού:** 60 L
- **Ηλεκτροκινητήρας:** 4 kW-50/60 Hz

Σύστημα υδραυλικής αντλίας

Η υδραυλική είναι εξοπλισμένη με μια αντλία, η οποία είναι κοινή για το φρένο και για τη γωνία του βήματος. Η αντλία αυτή είναι μέσα στη δεξαμενή του λαδιού και η οποία παίρνει κίνηση από ένα ηλεκτροκινητήρα 4 kW ο οποίος βρίσκεται πάνω από την δεξαμενή του λαδιού. Η παροχή λαδιού εξαρτάται από τη φόρτιση και κυμαίνεται από 8,4 μέχρι 8,6 /min.

Η λειτουργία της αντλίας ελέγχεται από τον πάνω controller ο οποίος παίρνει το σήμα από ένα πρεσοστάτη ο οποίος βρίσκεται πάνω στο μπλοκ της υδραυλικής. Η αντλία σταματάει να λειτουργεί όταν φτάσει η πίεση φτάσει στα 200 bar και ξεκινάει ξανά όταν πέσει στα 180 bar.

Ενώ η αντλία σταματάει παρέχεται στο σύστημα πίεση από τον συσσωρευτή ο οποίος έχει μια φούσκα με άζωτο και μια μόνιμη πίεση στα 80 bar έστω και αν το υδραυλικό σύστημα είναι άδειο και η αντλία δεν λειτουργεί. Σε κατάσταση RUN , PAUSE και STOP η αντλία λειτουργεί αυτόματα. Σε κατάσταση EMERGENCY STOP η αντλία δεν λειτουργεί. Το λάδι στέλνεται από την αντλία στον συσσωρευτή μέσω ενός φίλτρου και δύο βαλβίδων αντεπιστροφής. Το φίλτρο είναι εξοπλισμένο με μια βαλβίδα παράκαμψης, οπτικό και ηλεκτρικό δείκτη μόλυνσης ο οποίος ενεργοποιείται πριν από την βαλβίδα και ανοίγει σε περίπτωση πτώσης πίεσης στο φίλτρο.

Υπάρχει μια βαλβίδα ασφαλείας η οποία ανοίγει στα 250 bar σε περίπτωση λάθους στον έλεγχο της αντλίας Για τυχόν διαρροή λαδιού υπάρχει ένας αισθητήρας όπου ελέγχει τη στάθμη του λαδιού.



Σχήμα 3.15 Φωτογραφίες της αντλίας λαδιού τοποθετημένη στην ανεμογεννήτρια.[15]

Σύστημα βήματος

Το έμβολο του βήματος γυρίζει τα φτερά γύρο από τον άξονα τους από 90° μέχρι -5° και αυτό ρυθμίζεται από μια αναλογική βαλβίδα με τρεις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες και με δύο βαλβίδες αντεπιστροφής.

Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης (διακοπή ρεύματος ή από κάποιο σφάλμα στην Α/Γ) η αντλία δεν λειτουργεί αλλά το έμβολο έχει πίεση από τον συσσωρευτή.

Σύστημα φρενών

Το σύστημα του φρένου τροφοδοτείται από το σύστημα της υδραυλικής μέσω μιας βαλβίδας η οποία ρυθμίζει την πίεση στα 44 bar. Υπάρχει ένας δεύτερος μικρότερος συσσωρευτής ο οποίος είναι για την πίεση στα φρένα. Όταν εμφανίζεται κάποιο σφάλμα το φρένο ενεργοποιείται μετά από ένα λεπτό, έτσι ώστε να προλάβουν τα φτερά να γυρίσουν στις 87° και οι στροφές στο ρότορα να μειωθούν.

Σημεία μέτρησης

Στη μονάδα της αντλίας είναι τοποθετημένες δέκα σημεία ελέγχου που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της πίεσης στις διαφορετικές θέσεις στο σύστημα σχετικά με την περιοδική λειτουργία ή την ανίχνευση βλαβών στο υδραυλικό σύστημα. Όλες οι μετρήσεις πίεσης στη συντήρηση ή στην ανίχνευση βλαβών γίνονται με ψηφιακό μετρητή ο οποίος συνδέεται στα σημεία ελέγχου.

Αισθητήρας μέτρησης διεύθυνσης και ταχύτητας αέρα

Στην V90 χρησιμοποιείται ένας συνδυασμένος αισθητήρας αέρα που μετρά την ταχύτητα και την διεύθυνση του αέρα. Η διεύθυνση του αέρα είναι μέτρο σχετικό με τη θέση της nacelle. Ο αισθητήρας είναι χωρίς κινούμενα μέρη και η μέτρηση είναι βασισμένη στις υπερηχητικές αρχές.

Το Ultrasonic Anemometer 2D έχει ως σκοπό να μετρήσει την διεύθυνση και την ταχύτητα του αέρα σε δύο διαστάσεις. Έχει την ικανότητα να παίρνει τιμές πάρα πολύ γρήγορα με αποτέλεσμα να μπορεί να μετράει και τα κάστ. Το ανεμόμετρο αυτό είναι εξοπλισμένο με μια αντίσταση θέρμανσης έτσι ώστε το όργανο να μην επηρεάζεται από έντονα καιρικά φαινόμενα όπως χιόνια, πάγος, έντονη βροχή.

Τρόπος λειτουργίας

Το ανεμόμετρο αποτελείται από 4 υπερηχητικούς μετασχηματιστές ανά δυο ζευγάρια οι οποίοι ο ένας είναι απέναντι από τον άλλο σε μια απόσταση 200 χιλιοστών. Έτσι διαμορφώνονται δύο πορείες μέτρησης κάθετες μεταξύ τους. Οι μετασχηματιστές ενεργούν και οι δύο ανά ζευγάρι σαν ακουστικές συσκευές αλλά και σαν ακουστικοί δέκτες.

Οι αντίστοιχες πορείες μέτρησης και η κατεύθυνση μέτρησης τους επιλέγονται μέσω του ηλεκτρονικού ελέγχου. Όταν ξεκινάει μια μέτρηση πραγματοποιείται μια ακολουθία μετρήσεων μέσα σε 20 msec σε 20 °C. Η ακολουθία αυτή αποτελείται από 8 μεμονωμένες μετρήσεις και στις 4 κατευθύνσεις οι οποίες περιστρέφονται δεξιόστροφα:

- A) Από τη δύση στην Ανατολή
- B) Από τον Βορρά στο Νότο και
- Γ) Από την Ανατολή στη Δύση.

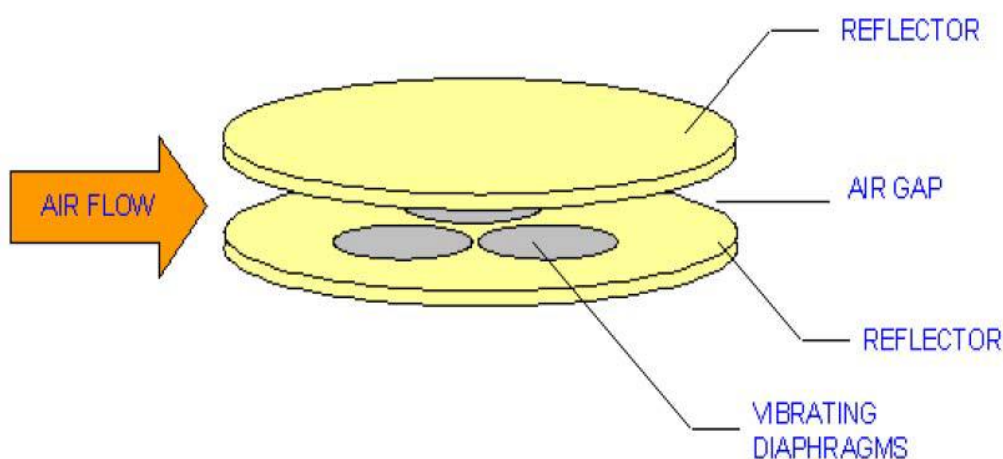
FT Wind Sensor

Το FT702LT είναι ένας στερεάς κατάστασης μετεωρολογικός αισθητήρας, ο οποίος χρησιμοποιεί την κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ακουστική τεχνική

αντίληψης ροών αέρος αντήχησης για να μετρηθεί ακριβώς και η ταχύτητα ανέμου και η κατεύθυνση.

Το FT702LT έχει σχεδιαστεί συγκεκριμένα για τις εφαρμογές ελέγχου ανεμογεννητριών. Δεν χρειάζεται καμία κανονική συντήρηση, και είναι ικανός να λειτουργήσει σε δύσκολες συνθήκες περιβάλλοντος όπως στις παράκτιες και επιρρεπείς στον πάγο περιοχές, το FT702LT παρέχει τους κατασκευαστές ανεμογεννητριών και τους χειριστές με μια τέτοια εγκατάσταση να ξεχνούν τα προβλήματα που αφορούν την αντίληψη του αέρα.

Χωρίς τα κινούμενα μέρη που υποβιβάζουν την λειτουργία, μειώνονται οι δαπανηρές επισκέψεις για συντήρηση καθώς και χρόνος διακοπής της λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Το FT702LT έχει εγκαθιστάμενο ένα ιδιαίτερα αποτελεσματικό θερμοστατικά ελεγχόμενο full-body σύστημα θέρμανσης. Μια θερμάστρα τριών στοιχείων (ένα στοιχείο που βρίσκεται στην κορυφή του αισθητήρα και δύο στο κατώτατο σημείο) χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι η θέρμανση κατανέμεται ομοιόμορφα την ολόκληρη περιοχή επιφάνειας.

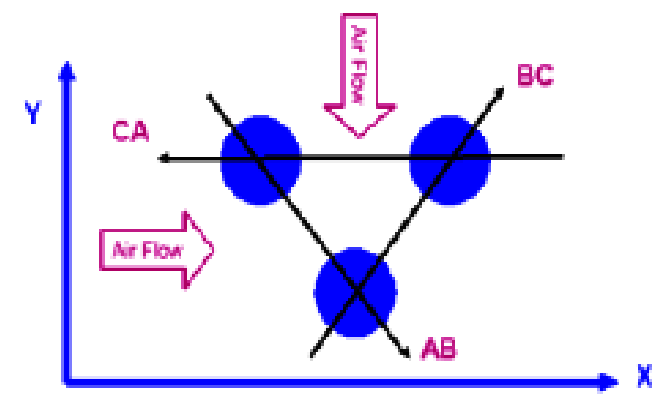


Σχήμα 3.16 Βασική ακουστική ρύθμιση αντίληψης ροών αέρος αντήχησης. [1]

Το σχήμα 3.16 παρουσιάζει βασική ακουστική ρύθμιση αντίληψης ροών αέρος αντήχησης. Με πιο βασική μορφή της, η συσκευή αποτελείται από ένα ζευγάρι των μικρών παράλληλων πιάτων, που καλείται τους ανώτερους και χαμηλότερους ανακλαστήρες. Στο οριζόντιο επίπεδο, η δομή είναι απεριόριστες και ροές αέρα ελεύθερα μεταξύ των πιάτων. Στην κάθετη κατεύθυνση είναι οριακό από τους

ανακλαστήρες και τη μέση ταχύτητα αέρα δεδομένου ότι η κατεύθυνση είναι αμελητέα.

Τα ακουστικά (υπερηχητικά) κύματα παράγονται και παραλαμβάνονται τριών δομένως διαφραγμάτων που συνδέονται με τη βοήθεια με έναν ίσο αριθμό πιεζοηλεκτρικών στοιχείων. Τα διαφράγματα τακτοποιούνται σε έναν τριγωνικό σχηματισμό όπως φαίνεται στο διάγραμμα.



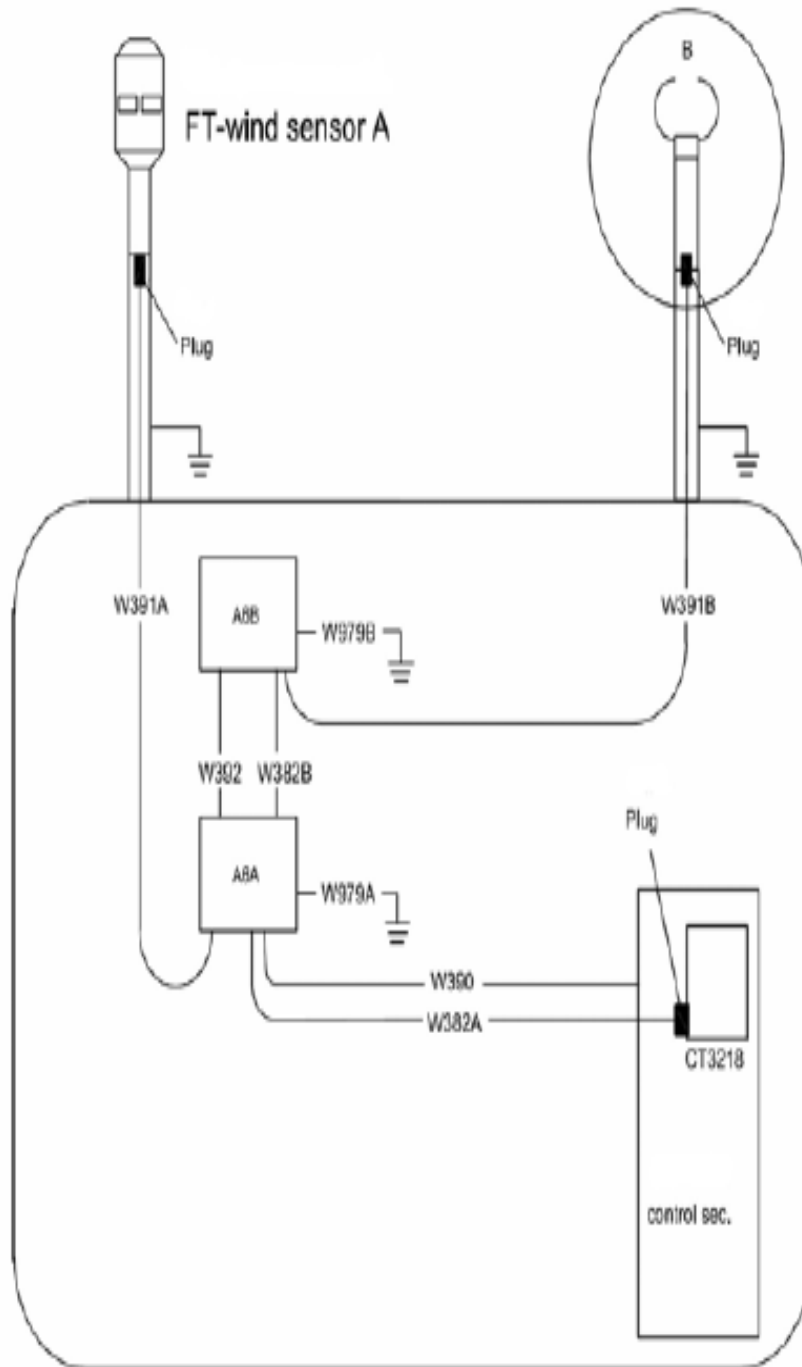
Σχήμα 3.17. [1]

Η μέτρηση ροών αέρος είναι βασισμένη στη με τρέχοντα κύματα συμπεριφορά:

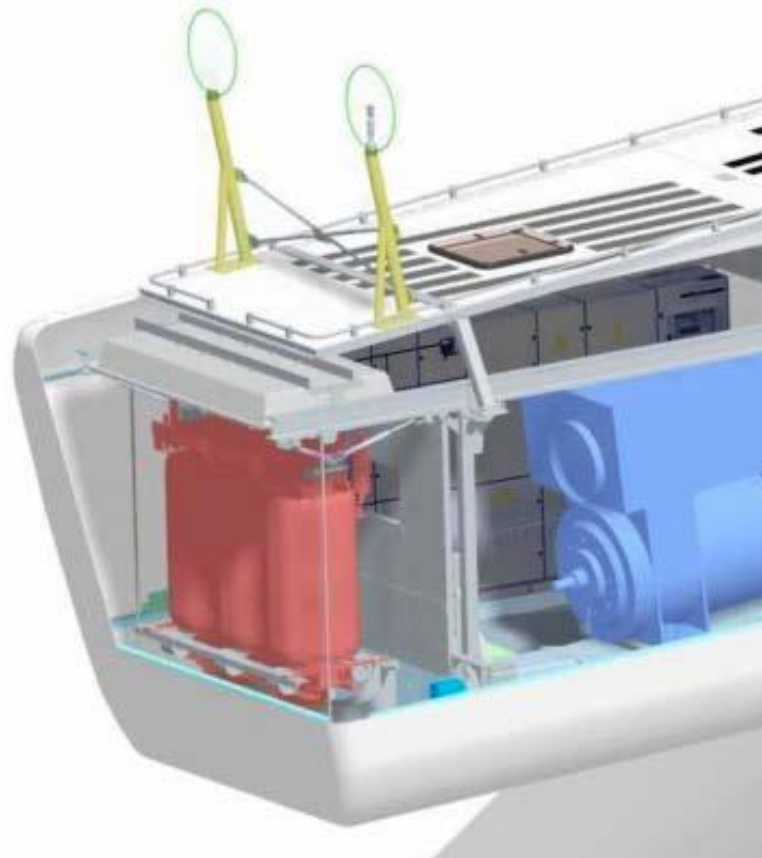
Η καθαρή φάση μεταξύ οποιουδήποτε ζευγαριού διαφραγμάτων είναι ενδεικτική της ροής αέρος κατά μήκος του άξονα του ζευγαριού. Και με τα τρία ζευγάρια διαφραγμάτων που μετριοούνται, τα συστατικά διανύσματα της ροής αέρος κατά μήκος των πλευρών του τριγώνου (που διαμορφώνεται από τα διαφράγματα) καθορίζονται. Αυτά τα διανύσματα συνδυάζονται για να δώσουν τη γενικές ταχύτητα και την κατεύθυνση.

Η αυτόματη αποζημίωση είναι βασισμένη στη μόνιμη συμπεριφορά κυμάτων:

Είναι γνωστό ότι η ταχύτητα του ήχου στον αέρα ποικίλλει ως λειτουργία της θερμοκρασίας, και σε μια μικρότερες έκταση, μια υγρασία και μια πίεση. Το όργανο είναι σε θέση την αυτόματη αποζημίωση για αυτήν την ανεπιθύμητη επίδραση χωρίς την ανάγκη για τους πρόσθετους αισθητήρες. Σε λειτουργία η ηλεκτρονική ρυθμίζει τη συχνότητα για να μεγιστοποιήσει την απάντηση και να διατηρήσει την αντήχηση. Υπό αυτούς τους όρους η ένδειξη του οργάνου γίνεται ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ήχου.



Σχήμα 3.18 Διάγραμμα σύνδεσης του αισθητήρα FT με την μονάδα έλεγχου. [9]



Σχήμα 3.19 3d γράφημα τοποθέτησης αισθητήρα FT και Ultrasonic Anemometer 2D στην ατράκτου της ανεμογεννήτριας.[9]

Μονάδα έλεγχου (Control Unit)

Τροφοδοσία:

Τάση: 3 x 690 VAC - 50/60 Hz

Lockable circuit breaker: 800 A

Power supply for lightning –Standard: 1x10 A – 230 VAC – 50/60 Hz

Power supply for outlets – Standard: 1x13 A – 230 VAC – 50/60 Hz

Other voltages can be supplied on request.

Computer:

Communication: Arc Net

Program memory: EPROM (flash)

Programming language: C++

Configuration: Modular

Operation: Numeric keyboard + Function keys pad

Display: 4 x 40 characters

Information:

Operating data Production

Operation log

Alarm log

Run/Pause

Commands:

Man. Yaw start/stop

Maintenance routines

Σύστημα ασφάλειας

Η ανεμογεννήτρια V90-2MW είναι εξοπλισμένη και με μηχανικά και αεροδυναμικά φρένα που θα ενεργοποιηθούν σε περίπτωση κατάστασης έκτακτης ανάγκης. Ο στρόβιλος επιπλέον έχει ένα ανεξάρτητο ηλεκτρικό κύκλωμα έκτακτης ανάγκης που θα ενεργοποιηθεί από μια κατάσταση υπερβολικής επιτάχυνσης.

Γείωση τις Ανεμογεννήτριας V90

Το σύστημα γείωσης της ανεμογεννήτριας συνδέεται με το σύστημα γείωσης του μετασχηματιστή. Αυτό το σύστημα γείωσης γίνεται με βάση τους κανονισμούς IEC 364 312.2.1, 413.1.3.2 και 413.1.3.3.

Αυτά τα συστήματα γείωσης έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα. Δίνουν μια καλή προστασία από τις πρόσκαιρες υπερτάσεις της μέσης και υψηλής τάσης του δικτύου. Εάν υπάρχει κάποια διαρροή ως προς γη το σύστημα γείωσης θα προκαλέσει μια μεγάλη μείωση της σύνθετης αντίστασης στο κύκλωμα βραχυκυκλώματος και ο διακόπτης θα αποσυνδεθεί. Ο ισοδυναμικός αγωγός σύνδεσης μπορεί να είναι ο ουδέτερος αγωγός του δικτύου. Εάν είναι απαραίτητο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας χωριστός γυμνός αγωγός από χαλκό 35mm² ή 50mm² ανάλογο του ρεύματος βραχυκύκλωσης .

Αυτό έχει το πλεονέκτημα ότι θα βελτιώσει το σύστημα γείωσης .Ο εξοπλισμός της γείωσης έχει προσαρμοστεί στον τοπικό τύπο εδάφους. Το σύστημα γείωσης εκτελείται κανονικά ως περιμετρική γείωση που συμπληρώνεται με τις ράβδους (βάθος-ηλεκτρόδια).

Αυτό δίνει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

1. Προσωπική ασφάλεια.

Η περιμετρική γείωση περιορίζει τη βηματική τάση που προκαλείται από κεραυνό και έτσι μπορεί να προστατέψει κάποια άτομα που μπορεί να βρίσκονται κοντά στη βάση του πύργου, εάν η ανεμογεννήτρια χτυπηθεί από κεραυνό.

2. Ασφάλεια λειτουργίας.

Οι ράβδοι εξασφαλίζουν μια σταθερή και χαμηλή αντίσταση μετάβασης στην γη για ολόκληρο το σύστημα γείωσης.

Το σύστημα γείωσης εκτελείται με τον ακόλουθο τρόπο:

1. Η περιμετρική γείωση τοποθετείται σε μια απόσταση 1 μ από το θεμέλιο της ανεμογεννήτριας.

2. Η περιμετρική γείωση συμπληρώνεται με δύο ράβδους χαλκού. Το ηλεκτρόδιο γείωσης τοποθετείται 180° μεταξύ τους.

3. Η περιμετρική γείωση συνδέεται σε δύο σημεία στον πύργο αντίθετα.

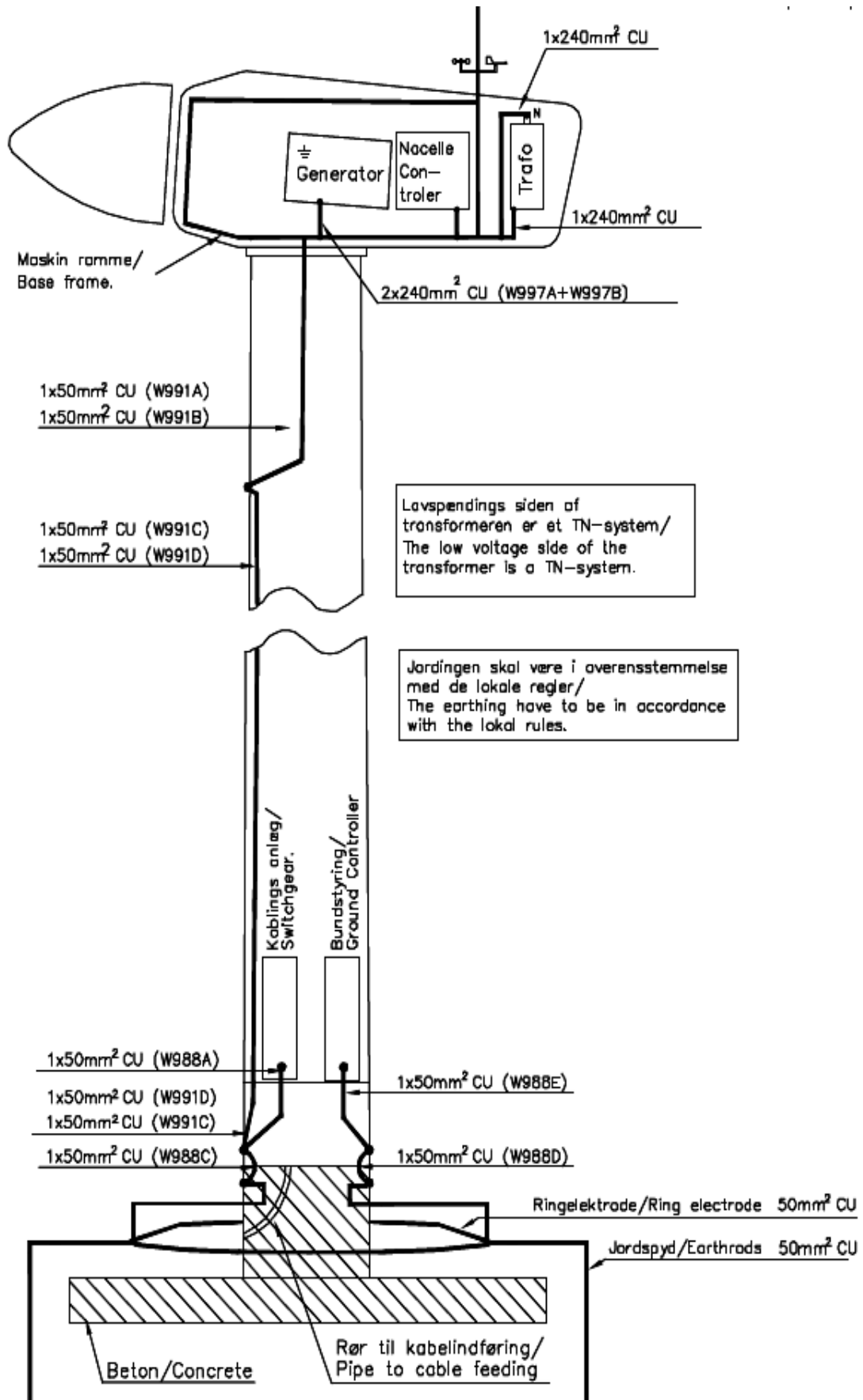
Εάν η γήινη σύνθετη αντίσταση δεν είναι αρκετά χαμηλή, κατόπιν το σύστημα γείωσης μπορεί να βελτιωθεί.

1. Οι δύο ράβδοι μπορούν να επεκταθούν σε 10 μ.

2. Δύο πρόσθετες γήινες ράβδοι σε 10 μ μπορούν να προστεθούν (90° μεταξύ των 4 ράβδων).

Η αντικεραυνική προστασία της V90 συμπεριλαμβάνει προστασία επίσης και για τα φτερά πράγμα το οποίο πολλοί κατασκευαστές δεν προσφέρουν ακόμα αλλά αποτελεί πολύ σημαντικό κριτήριο. Σε οποιαδήποτε από τα φτερά είναι σε κορυφαία θέση και η άκρη του είναι στο υψηλότερο σημείο, άρα παρέχεται προστασία στο υψηλότερο σημείο της ανεμογεννήτριας.

Στο παρακάτω σχήμα θα δούμε την ακριβείς σύνδεση των συστημάτων αντικεραυνικής προστασίας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρίας vestas.



Σχήμα 3.20 Σχέδιο που αναπαριστά την αντικεραμική σύνδεση σε μια ανεμογεννήτρια vestas V90. [9]

Χαρακτηριστική ισχύος

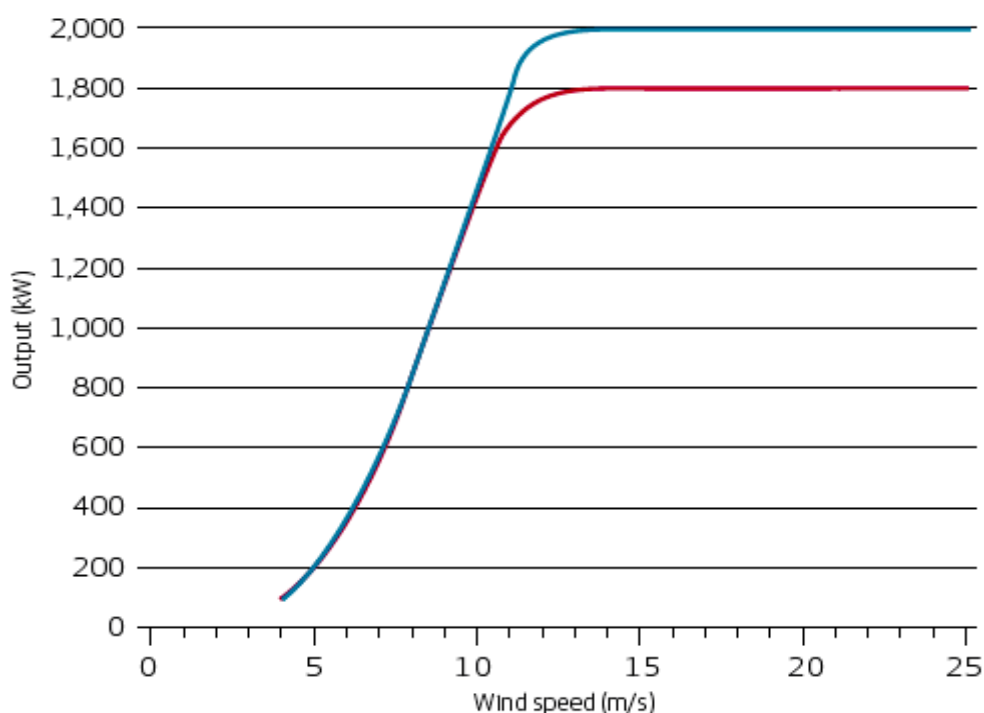
Οι πίνακες και οι καμπύλες ισχύος υπολογίζονται με βάση την NACA63 και FF-W3 για τα φτερά. Οι παράμετροι για τον υπολογισμό της χαρακτηριστικής ισχύος είναι οι ακόλουθες

- **Συχνότητα** : 50/60 Hz
- **Δίμετρος Ρότορα** : 90 meters
- **Γωνία κλίσης πτερωτών** : Pitch regulated
- **Συχνότητα –ευαισθησία προβλημάτων** : 10 %

Ταχύτητα αέρα που υπολογίζεται ως μέση τιμή 10 λεπτών στο ύψος του κέντρου του ρότορα και κάθετος σ' αυτόν.

Η καμπύλη ισχύος μετριέται στον επίγειο ελεγκτή στη χαμηλή τάση του μετασχηματιστή. Επομένως οι απώλειες στο μετασχηματιστή και στα καλώδια μέσης ή υψηλής τάσης δεν συμπεριλαμβάνονται στις μετρήσεις.

Προκειμένου να ικανοποιηθούν συγκεκριμένες απαιτήσεις της περιοχής για το χαμηλό θόρυβο, είναι δυνατό να προγραμματιστούν τα επίπεδα εκπομπής θορύβου. Το χαμηλό επίπεδο εκπομπής θορύβου, θα επηρεάσει αρνητικά την παραγωγή ενέργειας έναντι της τυποποιημένης ρύθμισης 104,2 dB (A)



Σχήμα 3.21 Χαρακτηριστική ισχύος V90 σε σχέση την στάθμη θορύβου και με πυκνότητα αέρα 1,225 kg/m³ σε ύψος 10 μέτρων. [9]

3.3 Σύστημα έλεγχου

Έλεγχος ανεμογεννήτριας

Ο έλεγχος της Α/Γ γίνεται από τον Vestas Multi Processor Controller (VMP). Ο συγκεκριμένος controller επιτηρεί και ελέγχει όλες τις λειτουργίες στην ανεμογεννήτριας, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι η απόδοση του στροβίλου είναι η βέλτιστη με οποιαδήποτε ταχύτητα αέρα. Έχει την δυνατότητα να σταματά την λειτουργία της μηχανής εάν ανιχνεύσει κάποιο σφάλμα.

Πρόκειται ουσιαστικά για το σύνολο τριών controller οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους, ανατάσσοντας πληροφορίες μέσω οπτικής ίνας.

Ground controller, ο οποίος βρίσκεται στο κάτω μέρος του πύργου, και ελέγχει τους κύριους διακόπτες. Από αυτόν ένας χειριστής μπορεί να λειτουργήσει την Α/Γ και να δει όλα τα στοιχεία της (σφάλματα, προειδοποιήσεις λειτουργία, σήματα αισθητήρων, κατάσταση κύριων και βοηθητικών συστατικών κλπ.).

Converter controller ο οποίος βρίσκεται στην nacelle φροντίζει την παρέμβαση και τη διακοπή της γεννήτριας, τη μέτρηση του ρεύματος, της τάσης και τον έλεγχο του μετατροπέα.

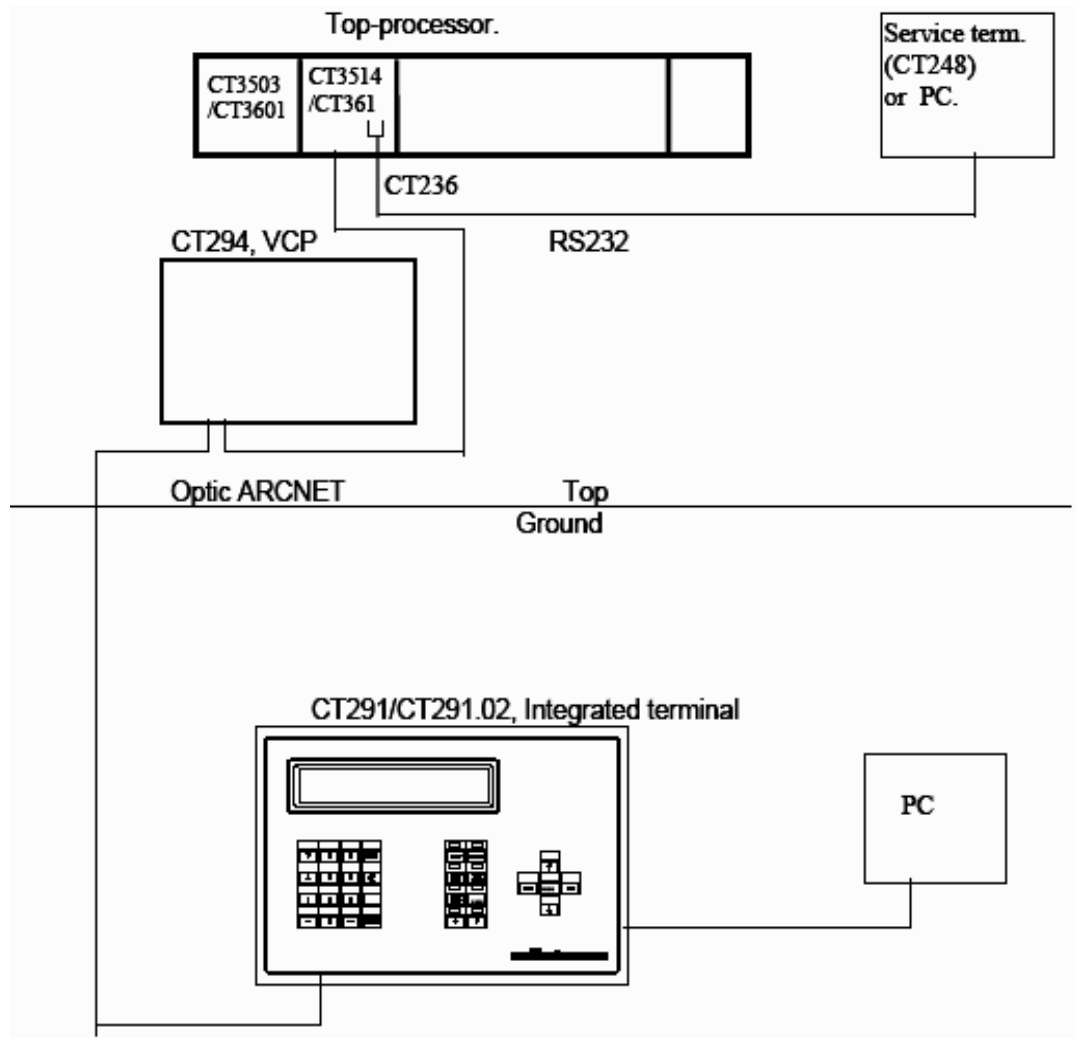
Top Controller ο οποίος βρίσκεται στην nacelle και φροντίζει τη λειτουργία της μηχανής π.χ. θερμοκρασίες, έλεγχος του βήματος και της ταχύτητας, έλεγχος της παρέκκλισης από την διεύθυνση του αέρα κλπ. Μπορεί να συνδεθεί με ένα φορητό controller με display και μπορεί να ελέγχεται η Α/Γ από κάποιον όταν βρίσκεται στη nacelle δηλ. όταν ένας χειριστής θέλει να εξετάσει τα στοιχεία από την Α/Γ, ή θέλει να ξεκινήσει ή να σταματήσει την Α/Γ ενώ βρίσκεται μέσα στην άτρακτο.

Συλλογή δεδομένων

Vestas Multi Processor Controller (VMP) συλλέγει πληροφορίες για την απόδοση της ανεμογεννήτριας και στοιχεία που έχουν να κάνουν με:

- Ταχύτητα ρότορα και γεννήτριας
- Ταχύτητα και διεύθυνση αέρα
- Υδραυλική πίεση
- Θερμοκρασίες
- Παραγωγή ενέργειας
- Βήμα κλπ.

Όλες οι πληροφορίες για τα παραπάνω στοιχεία αποθηκεύονται σε αρχεία καταγραφής καταγραφής από τα οποία μπορούμε να δούμε και να αναλύσουμε τα λάθη στην Α/Γ και να τα επιλύσουμε.



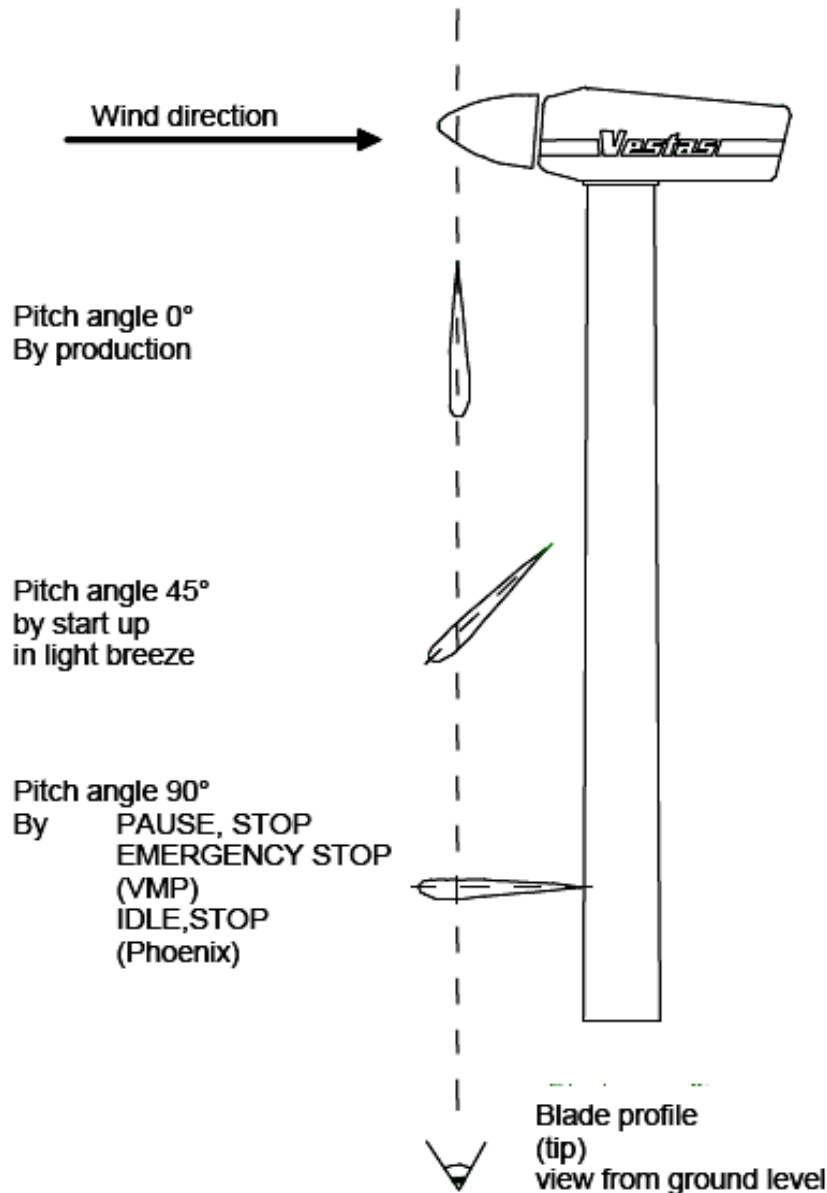
Σχήμα 3.22 Σχέδιο που αναπαριστά την επικοινωνία μεταξύ του top και ground controller. [9]

Σύστημα Παραμέτρων

Το λογισμικό στο σύστημα Vestas Multi Processor Controller (VMP) είναι φτιαγμένο έτσι ώστε όλες οι μεταβλητές μπορούν να τεθούν χωριστά με διάφορες παραμέτρους. Οι παράμετροι αυτοί καθορίζουν τα όρια όπως τιμές βαθμολόγησης για το ανεμόμετρο, για την υδραυλική πίεση, τον συγχρονισμό της Α/Γ με το δίκτυο κ.λπ.

Έλεγχος της ανεμογεννήτριας με OptiTip

Όταν η Α/Γ είναι σε κατάσταση Pause, Stop, ή Emergency stop τα φτερά είναι σε μια θέση 90° από τον αέρα. Όταν η Α/Γ είναι σε κατάσταση Run η Α/Γ είναι σε παραγωγή και τα φτερά είναι σε μια θέση κοντά στο 0 η οποία μεταβάλλεται ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα και αυτό ελέγχεται από τα συστήματα ελέγχου OptiTip και OptiSpeed από τον VMP controller.

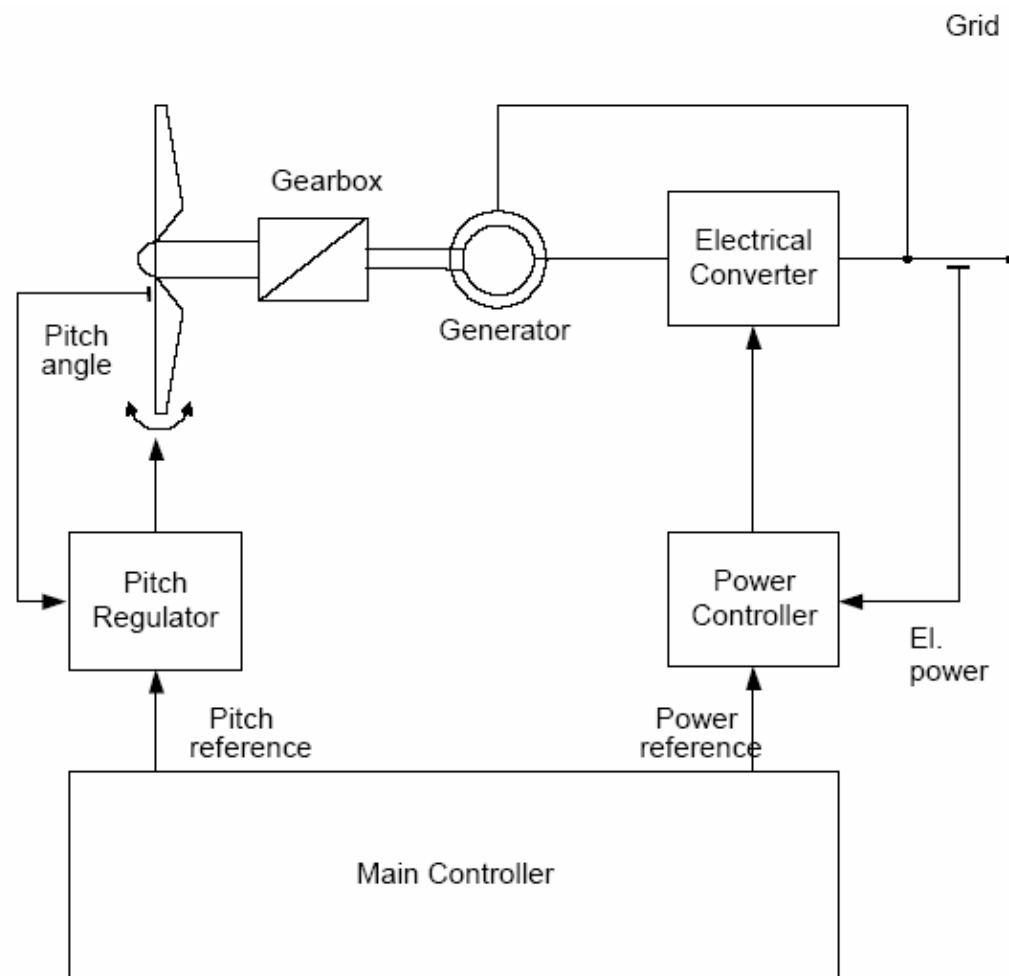


Σχήμα 3.23: Η θέση του βήματος στις διαφορετικές καταστάσεις λειτουργία.[9]

Γενική διαμόρφωση έλεγχου

Στο σχήμα 3.24 παρουσιάζεται το θεωρητικό σύστημα ελέγχου. Οι λειτουργίες ελέγχου διαιρούνται σε 3 μπλοκ:

1. Κύριο ελεγκτή (main controller) Διαχειρίζεται τις γενικές λειτουργίες ελέγχου και παράγει τις τιμές αναφοράς για την γωνία του βήματος, και για την παραχθήσα ηλεκτρική ισχύς.
2. Ρυθμιστής βήματος (Pitch Regulator). Ρυθμίζει την γωνία του βήματος σύμφωνα με την τιμή αναφοράς που έχει πάρει από τον κύριο ελεγκτή.
3. Ελεγκτής ισχύος (Power Controller). Ρυθμίζει την παραχθήσα ηλεκτρική ισχύ που παραδίδεται στο δίκτυο σύμφωνα με την τιμή αναφοράς έχει πάρει από τον κύριο ελεγκτή.



Σχήμα 3.24: Γενική διαμόρφωση ελέγχου. [9]

Κύριος ελεγκτής

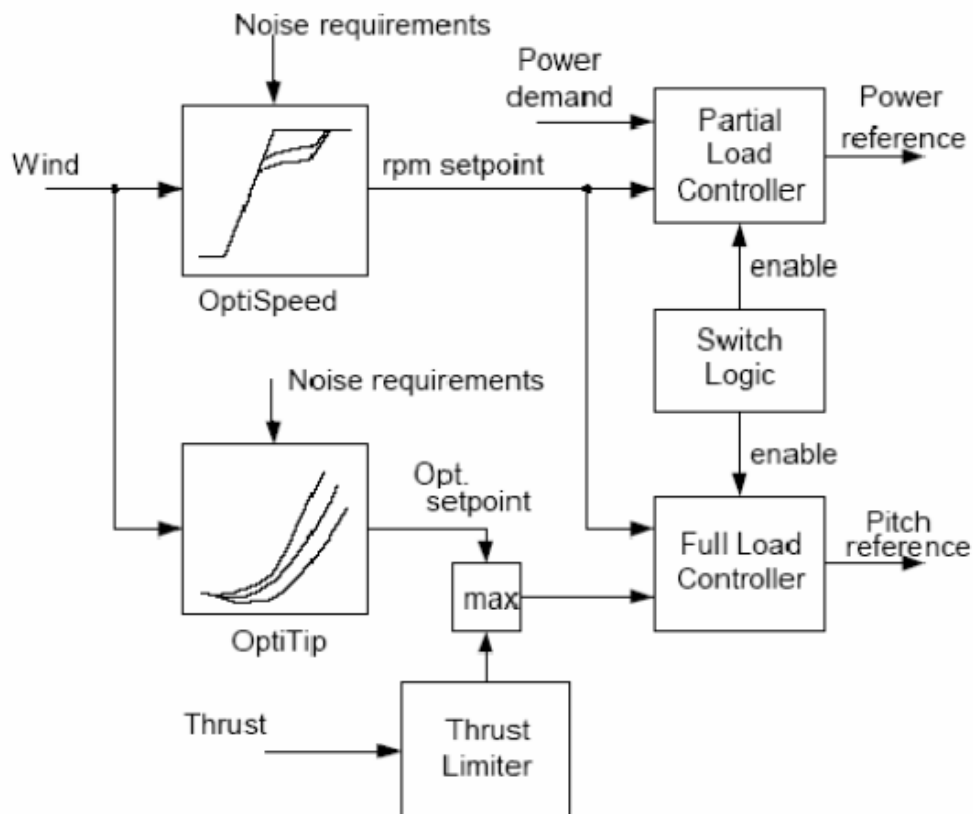
Ο κύριος ελεγκτής περιέχει τους γενικούς βρόγχους ελέγχου και τους περισσότερους από τους αλγόριθμους επίβλεψης. Ο στόχος του είναι να εξασφαλίσει ότι ο στρόβιλος ικανοποιεί οποιαδήποτε στιγμή τις ακόλουθες απαιτήσεις απόδοσης:

- Μεγιστοποίηση της παραχθήσας ενέργειας.
- Περιορισμός των μηχανικών φορτίων.

- Περιορισμός του ακουστικού θορύβου.
- Διατήρηση της ποιότητας ισχύος.

Το σχήμα 3.25 παρουσιάζει το μπλοκ διάγραμμα του κύριου ελεγκτή και πιο πολύ ουσιαστικές λειτουργίες. Στην αριστερή πλευρά υπάρχουν δύο μπλοκ αποκαλούμενα OptiSpeed και OptiTip που χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν τη βέλτιστη περιστροφή ανά λεπτό και τη γωνία του βήματος τα οποία εξαρτώνται από την ταχύτητα του αέρα.

Το βέλτιστο set point ορίζεται ως το λειτουργικό σημείο όπου ο στρόβιλος παράγει μέγιστη ηλεκτρική ισχύς, ακόμα που κρατά το θόρυβο κάτω από το επιτρεπόμενο επίπεδο.



Σχήμα 3.25: Κύρια δομή του κύριου ελεγκτή. [9]

Τα μπλοκ δεξιά είναι αρμόδια για τον έλεγχο της Α/Γ στον καθορισμένο set point εξασφαλίζοντας ότι η ηλεκτρική ισχύς περιορίζεται στην απαιτούμενη ισχύ. Εάν η ταχύτητα του αέρα αυξηθεί επάνω από ένα ορισμένο επίπεδο η γωνία του βήματος θα αυξηθεί πάνω από το βέλτιστο set point. Στην περίπτωση που όταν η απαιτούμενη

ισχύς είναι ίση με την εκτιμημένη ισχύς αυτή η ταχύτητα του αέρα ονομάζεται 'εκτιμημένη ταχύτητα αέρα'.

Με ταχύτητα αέρα κάτω από την εκτιμημένη ταχύτητα αέρα η A/Γ δεν είναι ικανή να παράγει την εκτιμημένη ισχύ. Σε αυτήν την περίπτωση οι λογικοί διακόπτες θα ενεργοποιήσουν τον ελεγκτή φορτίων, και η A/Γ θα παράγει ηλεκτρική ενέργεια με την βέλτιστη αποδοτικότητα. Εάν η ταχύτητα αέρα είναι επάνω από τη εκτιμημένη ταχύτητα αέρα ο ελεγκτής φορτίων ενεργοποιείται και περιορίζει την ισχύ στην εκτιμημένη ισχύ.

Σύνδεση αστέρα –τρίγωνο

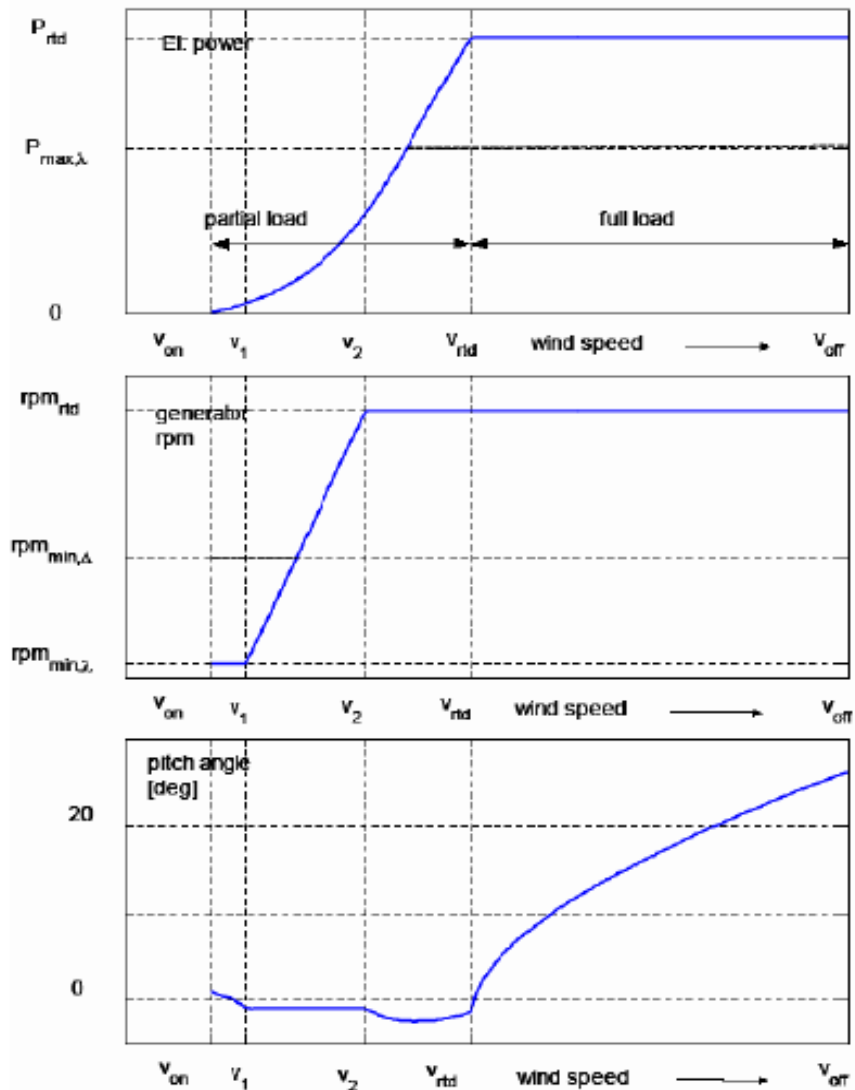
Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η αποδοτικότητα της γεννήτριας ο στάτης μπορεί να συνδεθεί σε δύο διαφορετικές συνδέσεις:

1. Σύνδεση Αστέρα (Y)
2. Σύνδεση Τριγώνου (Δ)

Στη σύνδεση αστέρα οι στρόφες της γεννήτριας μπορούν να καλύψουν ολόκληρη την περιοχή από το rpm min στο rpm rtd ενώ η ισχύς της γεννήτριας περιορίζεται σε Pmax

Στη σύνδεση τριγώνου η ισχύς είναι απεριόριστη ενώ οι στρόφες περιορίζονται έτσι ώστε να μην υπερβούν από το rpm min, Δ . Το σύστημα ελέγχου επιλέγει τη σύνδεση του στάτη αν είναι σε αστέρα ή τρίγωνο και εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα.

Για την αλλαγή από αστέρα σε τρίγωνο και το αντίθετο η παραγωγή μηδενίζεται και ξανασυγχρονίζεται η γεννήτρια και μπαίνει ξανά σε παραγωγή.



Σχήμα 3.26: Καμπύλες σε κατάσταση λειτουργίας, για την ισχύ, τις στροφές, της γεννήτριας και τη γωνία του βήματος εξαρτώμενες από την ταχύτητα του αέρα. Υποτίθεται ότι η Α/Γ λειτουργεί με την μέγιστη απαιτητή ισχύος και χωρίς μείωση θορύβου. [9]

Εξωτερικός έλεγχος ισχύος

Είναι δυνατό να ελεγχθεί η παραγωγή ισχύος μέσω Remote control system ή με τη ρύθμιση μιας παραμέτρου. Σε αυτήν την περίπτωση, το σύστημα ελέγχου θα ερμηνεύσει τη δεδομένη απαίτηση ισχύος δεδομένου ότι «πλήρες φορτίο», δηλ. ο ελεγκτής θα μετατραπεί σε πλήρη λειτουργία φορτίων εάν η απαιτούμενη ισχύς επιτυγχάνεται.

Περιοριστής ώθησης

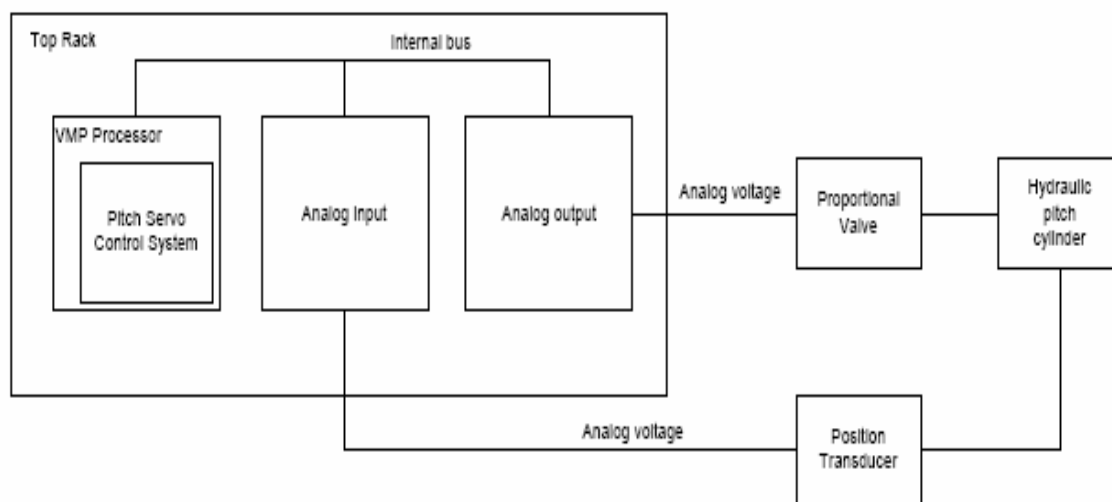
Η λειτουργία του περιοριστή ώθησης είναι να περιοριστεί η αεροδυναμική ώθηση σε μια σταθερή μέγιστη αξία. Σε αυτόν τον σκοπό, ο ελεγκτής υπολογίζει την ώθηση του

ρότορα από τις μετρήσεις της ισχύος, τις στροφές της γεννήτριας και της γωνίας του βήματος και υπολογίζει μια γωνία βήματος που εξασφαλίζει ότι η ώθηση είναι κάτω από το διευκρινισμένο όριο. Ο περιοριστής ώθησης ενεργοποιείται κυρίως στην υψηλή αναταραχή προκειμένου να αποφευχθούν τα μέγιστα φορτία στα φτερά και τον πύργο.

Ρυθμιστής Βήματος

Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν ένα σύστημα ελέγχου και ρύθμισης του βήματος με σερβομηχανισμό. Το σύστημα ρύθμισης του βήματος είναι ένας βρόγχος που ελέγχει το βήμα για να ακολουθήσει μια δεδομένη αναφορά όσο το δυνατόν γρηγορότερα διατηρώντας την ικανοποιητική απόσβεση.

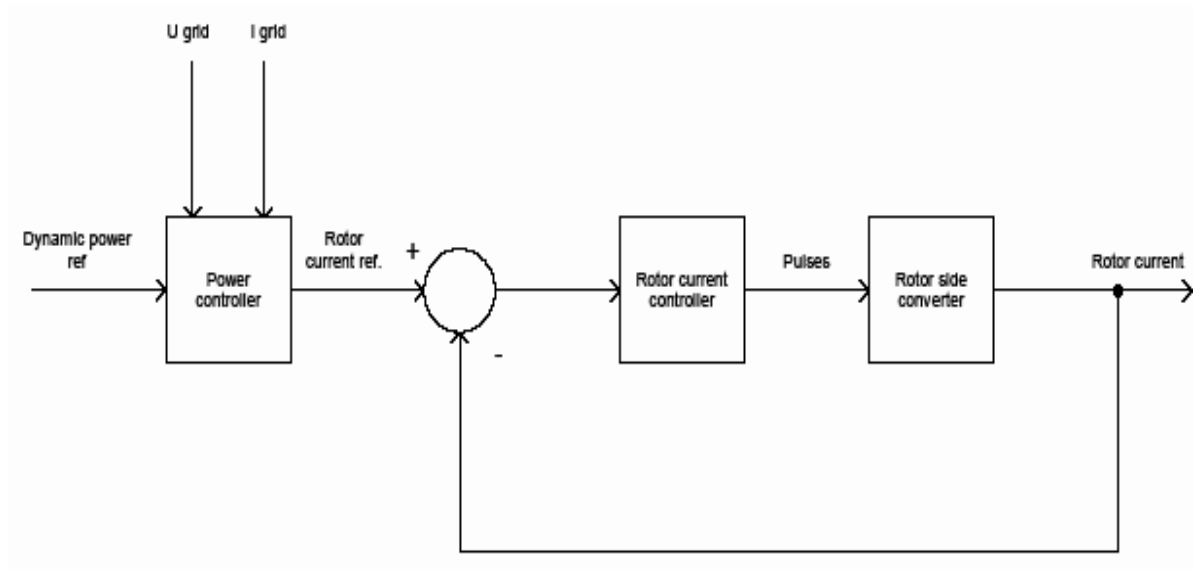
Ο ρυθμιστής βήματος είναι μη γραμμικός controller αντισταθμίζοντας τη νεκρή ζώνη και οι περιορισμοί στην αναλογική βαλβίδα. Η μετατροπή της θέσης του εμβόλου επιτυγχάνεται από τον VMP controller κοντά στη γραμμική προσέγγιση.



Σχήμα 3.27: Σύστημα ρύθμισης βήματος. [9]

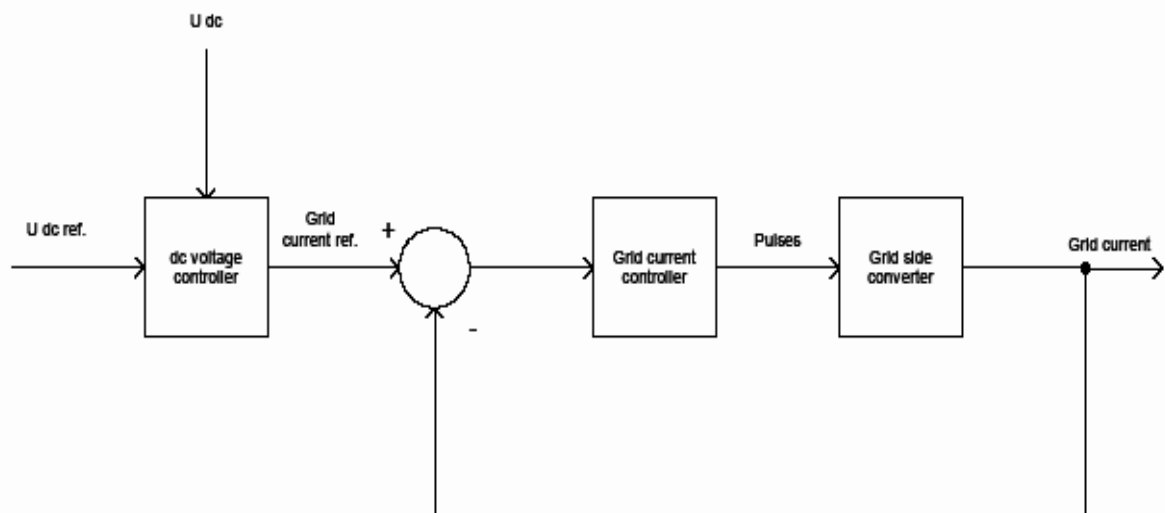
Έλεγχος ισχύος και μετατροπές ισχύος

Ο ελεγκτής ισχύος βασίζεται σε έναν μετατροπέα συχνότητας στο κύκλωμα του ρότορα της γεννήτριας επιτρέποντας στην ανεμογεννήτρια να μεταβάλλονται οι στροφές της γεννήτριας από + 30% μέχρι και - 50% γύρω από τη σύγχρονη ταχύτητα, χωρίς επιρροή στην ποιότητα ισχύος. Ο ελεγκτής ισχύος στο μετατροπέα συχνότητας λαμβάνει μια αναφορά ισχύος από τον ελεγκτή VMP και διατηρεί αυτό το επίπεδο ισχύος με τη βοήθεια ενός γρήγορου βρόχου ελέγχου ρεύματος.



Σχήμα 3.28: Ελεγκτής ισχύος / μετατροπέας ρότορα. [9]

Ο μετατροπέας συχνότητας αποτελείται από έναν μετατροπέα στον ρότορα και έναν δευτερεύοντα μετατροπέα δικτύου. Ο δευτερεύων μετατροπέας δικτύου δεν είναι, εντούτοις, ένα μέρος του συστήματος ελέγχου ισχύος δεδομένου ότι ο κύριος στόχος του είναι να διατηρήσει μια σταθερή τάση στο dc link.



Σχήμα 3.29: Το σύστημα μέσα από το οποίο βρίσκεται ο μετατροπέας δικτύου. [9]

Μείωση της παράγωγης που προκαλείτε από υψηλές θερμοκρασίες

Μείωση της παραγωγής μπορεί να προκληθεί από υψηλές θερμοκρασίας σε ένα από τα ακόλουθα συστατικά:

- Γεννήτρια

- Λάδι σασμάν
- Ρουλεμάν σασμάν
- Κορυφαίος ελεγκτής
- Αντιψυκτικό υγρό (IGBT)
- Θερμοκρασία μετασχηματιστών

Vestas Converter System (VCS)

Το σύστημα VCS είναι αυτό που επιτρέπει στην γεννήτρια να λειτουργεί με μεταβλητές στροφές και να συμπεριφέρεται σαν σύγχρονη γεννήτρια. Η γεννήτρια συνδέεται με το δίκτυο 690 V στο στάτη και ο ρότορας τροφοδοτείται με το ρεύμα διέγερσης από τον μετατροπέα μέσω των δακτυλιδιών ολίσθησης.

Η γεννήτρια μπορεί να συνδεθεί σε αστέρα ή σε τρίγωνο. Συνδέεται σε αστέρα εάν η συνολική ισχύς είναι χαμηλή δηλ. σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου, και σε τρίγωνο σε υψηλή συνολική ισχύς δηλ. υψηλές ταχύτητες ανέμου. Το πλεονέκτημα στη σύνδεση σε αστέρα είναι ότι οι απώλειες στον μετατροπέα και στην γεννήτρια μειώνονται.

Ο μετατροπέας συχνότητας συνδέεται με το δίκτυο στα 690 V μέσω μιας ασφάλειας, αλλά τα ηλεκτρονικά ισχύος του μετατροπέα δεν είναι σχεδιασμένα για 690 V, επομένως υπάρχει ένας αυτομετασχηματιστής (T550) από 690V σε 480V ο οποίος έχει ενσωματωμένο τσόκ.

Ο μετατροπέας είναι ένας μετατροπέας 4 τεταρτημορίων ο οποίος έχει την δυνατότητα να παρέχει ρεύμα σε οποιαδήποτε κατεύθυνση και τη συχνότητα από την πλευρά του δικτύου (grid inverter) και από την πλευρά του ρότορα (rotor inverter) οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με πυκνωτές (DC Link C561).

Όλα τα ηλεκτρονικά ισχύος στον μετατροπέα συχνότητας (VCS) ελέγχονται από την VCP (Vestas Converter Processor).

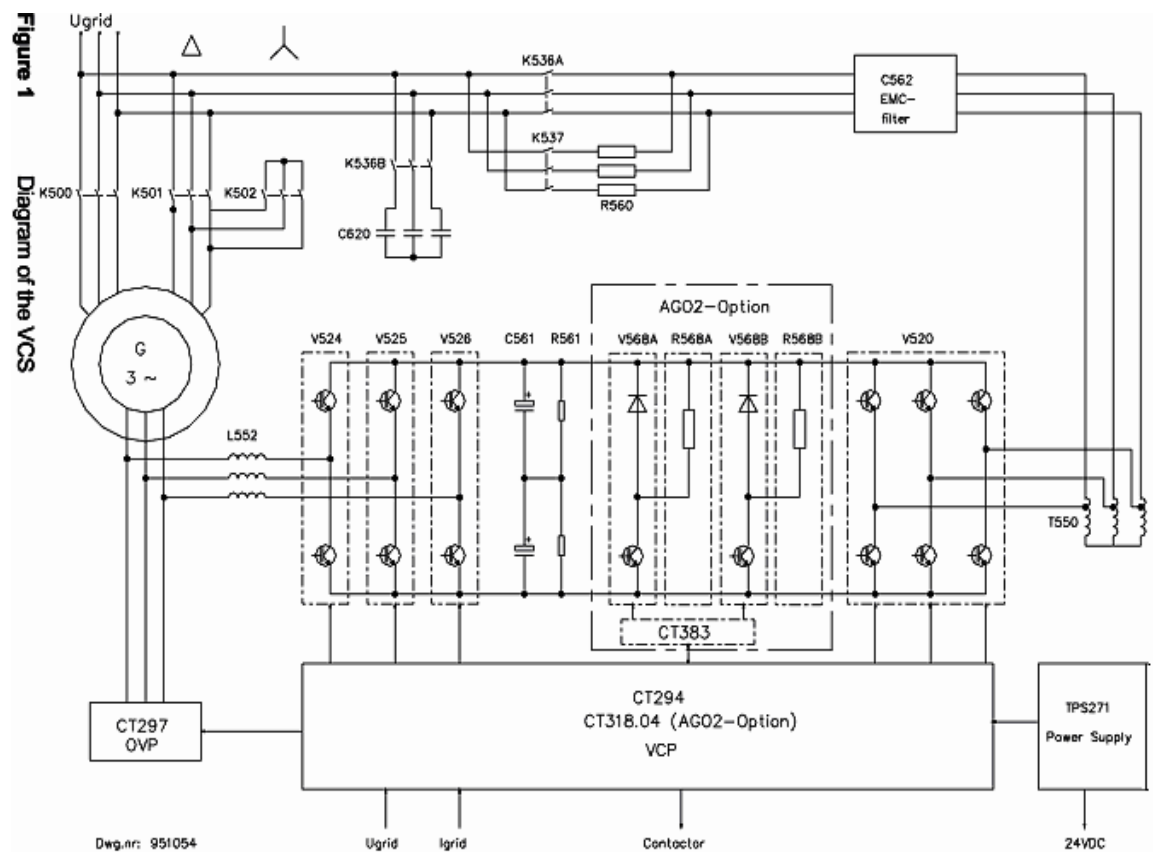
Όταν ξεκινάει η διαδικασία συγχρονισμού φορτίζονται οι πυκνωτές του DC-LINK μέσω του κλειστού ρελέ K537 και των αντιστάσεων R560. όταν η τάση φθάσει στο 90% της τελικής τιμής το K537 ανοίγει και ταυτόχρονα κλείνουν τα ρελέ K537A και K537B οπότε ενεργοποιείται grid inverter V520 και η τάση στους πυκνωτές του DC-Link προσαρμόζεται στα 800 V DC.

Τα συστατικά V520 και V524-V526 είναι ιδιαίτερα ηλεκτρονικά ισχύος και ονομάζονται Skippack τα οποία περιέχουν τα IGBTs τους οδηγούς τα μετρητικά της

θερμοκρασίας της τάσης και του ρεύματος στο DC-Link. Τα Skirpack μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και το αντίστροφο.

Ο μετατροπέας παράγει αρμονικές στο δίκτυο γι' αυτό υπάρχουν οι πυκνωτές C620 όπου κόβουν τις αρμονικές από το δίκτυο. Για την μείωση των ρευμάτων υψηλής συχνότητας υπάρχει το φίλτρο C562.

Προκειμένου να συνδεθεί η γεννήτρια με το δίκτυο πρέπει πρώτα ο ρότορας να μαγνητιστεί. Αυτό το φροντίζει η VCP μέσω των inverters η οποία ελέγχει τους όρους συγχρονισμού της γεννήτριας με το δίκτυο και όταν αυτοί ικανοποιούνται κλείνουν τα κεντρικά ρελλέ και συνδέεται η γεννήτρια με το δίκτυο. Το ρεύμα στον ρότορα της γεννήτριας μπορεί να είναι ανεξάρτητο από τους όρους του δικτύου επομένως μπορεί να επιλεγθεί μια επιθυμητή γωνία φάσεων και έτσι να έχουμε και παραγωγή άεργης ισχύος.



Σχήμα 3.30 Γράφημα του συστήματος Vestas Converter System. [9]

Με αύξηση του ρεύματος στο ρότορα έχουμε αντιστάθμιση ενώ με μείωση έχουμε χωρητικά φορτία από την γεννήτρια. Στο ρότορα τοποθετείται μια προστασία από

υπερτάσεις όπου προστατεύει τον μετατροπέα από τις υψηλές τάσεις που μπορεί να δημιουργηθούν από τον ρότορα.

Σε περίπτωση υπέρτασης στο ρότορα η γεννήτρια και ο μετατροπέας αποσυνδέονται από το δίκτυο. Η OVP (Over Voltage Protection) μπορεί να ενεργοποιηθεί είτε από εντολή της VCP είτε από εσωτερική μέτρηση της τάσης. Η VCP ελέγχει περισσότερο τον μετατροπέα. Μετράει την τάση και το ρεύμα δικτύου, τη συνολική ισχύς, και επικοινωνεί με τους controller.

3.4 Έλεγχος Θερμοκρασίας

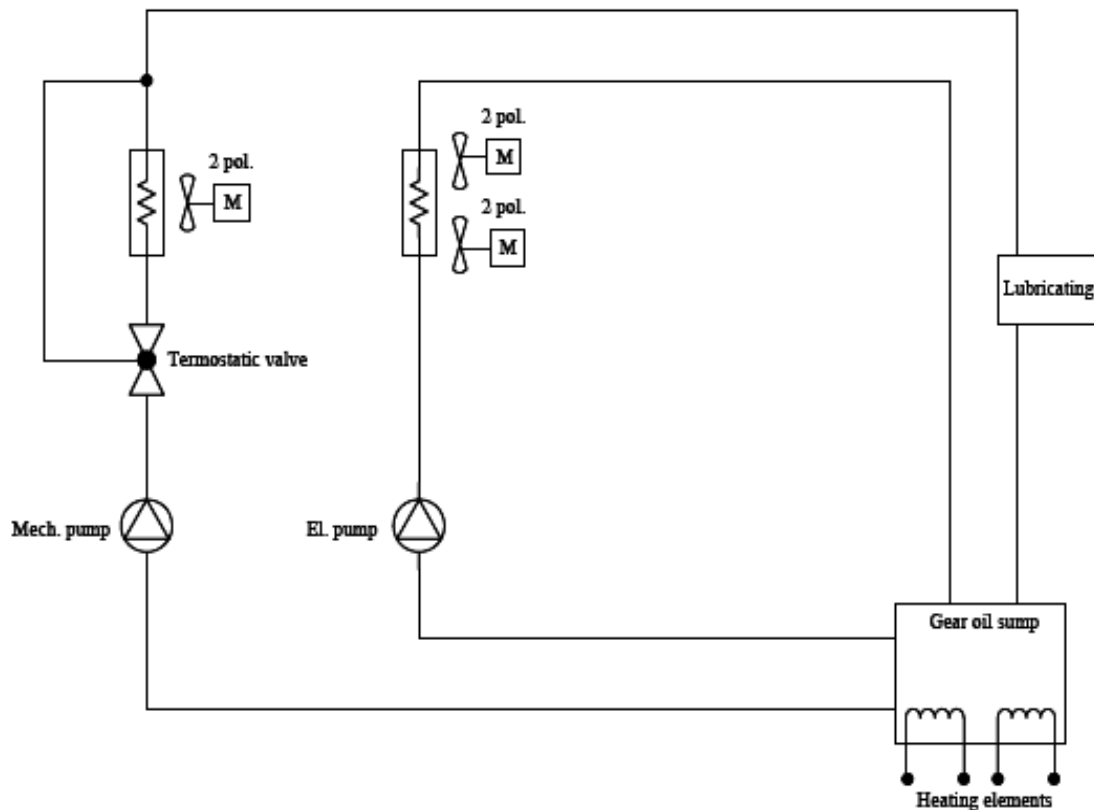
Έλεγχος θερμοκρασίας λαδιού σασμάν

Ψύξη λαδιού

Για την ψύξη του λαδιού του σασμάν υπάρχει ένα ψυγείο με δύο ανεμιστήρες (χαμηλή και υψηλή ταχύτητα).

Όταν η θερμοκρασία λαδιού υπερβαίνει τους 45 °C η θερμοστατική βαλβίδα ανοίγει σταδιακά μέχρι τους 60 °C όπου και είναι πλήρως ανοικτή και είναι κλειστή η παράκαμψη από το ψυγείο και το λάδι οδηγείται όλο στο ψυγείο. Η ηλεκτρική αντλία αναλαμβάνει στους 59 °C και σταματάει τη λειτουργία της στους 55 °C. Ο πρώτος ανεμιστήρας ξεκινάει στους 60 °C και σταματάει στους 55 °C. Ο δεύτερος ξεκινάει στους 70 °C και σταματάει στους 65 °C.

Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 80 °C η ανεμογεννήτρια θα μπει σε κατάσταση και θα στείλει ένα σφάλμα για την υψηλή θερμοκρασία στο λάδι του σασμάν.



Σχήμα 3.31 Διαγραμμα συστήματος ψύξης και θέρμανσης λαδιού σασμάν. [7]

Θέρμανση λαδιού σασμάν

Εάν η θερμοκρασία στο λάδι του σασμάν πέσει κάτω από τους $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ τότε το λάδι ζεσταίνεται με την λειτουργία αντιστάσεων οι οποίες είναι τοποθετημένες μέσα στο σασμάν. Οι αντιστάσεις θα σταματήσουν τη λειτουργία τους όταν το λάδι φτάσει στους $8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Off line φίλτρο

Στο σασμάν υπάρχει ένα επιπλέον φίλτρο εξωτερικό το οποίο ξεκινάει να φιλτράρει το λάδι σε θερμοκρασία $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ και σταματάει στους $35\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ψύξη γεννήτριας

Η γεννήτρια ψύχεται από ένα εξωτερικό ανεμιστήρα δύο ταχυτήτων, ο οποίος ίδιος ανεμιστήρας ψύχει και το εσωτερικό της Nacelle οδηγώντας τον αέρα από το εσωτερικό της nacelle προς το περιβάλλον.

A. Ο ανεμιστήρας θα ξεκινήσει στη 1η (χαμηλή) ταχύτητα εάν ένας από τους παρακάτω όρους είναι αληθής:

- Θερμοκρασία τυλιγμάτων γεννήτριας μεγαλύτερη από **70 °C**
- Θερμοκρασία ρουλεμάν γεννήτριας μεγαλύτερη από **80 °C**
- Θερμοκρασία Nacelle μεγαλύτερη από **35 °C**

B. Η αλλαγή στην 2η (υψηλή) ταχύτητα θα γίνει εάν ένας από τους παρακάτω όρους είναι αληθής:

- Θερμοκρασία τυλιγμάτων γεννήτριας μεγαλύτερη από **95 °C**
- Θερμοκρασία Nacelle μεγαλύτερη από **40 °C**
- Εάν η θερμοκρασία στην γεννήτρια υπερβεί τους **135 °C** η ανεμογεννήτρια θα στείλει σφάλμα και θα μπει σε κατάσταση pause.

Έλεγχος θερμοκρασίας δαχτυλιδιών ολίσθησης της γεννήτριας

Στο slip ring του ρότορα της γεννήτριας υπάρχει ένας ανεμιστήρας ο οποίος στέλνει αέρα στον χώρο. Επιπλέον υπάρχει ένας αισθητήρας θερμοκρασίας (PT 100) και μία αντίσταση όπου θερμαίνει το χώρο όταν χρειάζεται. Το ανώτατο όριο θερμοκρασίας είναι 70 °C.

Ο ανεμιστήρας ενεργοποιείται όταν η ταχύτητα της γεννήτριας περάσει τις 150 rpm. Ενεργοποιείται επίσης όταν υπάρχει υψηλή θερμοκρασία έστω και αν είναι σε κατάσταση pause.

Για να εξασφαλιστεί η σωστή λειτουργία της ανεμογεννήτριας ο χώρος πρέπει να έχει τη σωστή θερμοκρασία, και να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος ύπαρξης υδρατμών, γι' αυτό το λόγο πριν ξεκινήσει η ανεμογεννήτριας και μπει στην παραγωγή η αντίσταση θερμαίνει το χώρο και ο ανεμιστήρας λειτουργεί. Αυτή η διαδικασία μπορεί και να διαρκέσει 1 ώρα.

Η εντατική θέρμανση του slip ring εκτελείται, εάν η θερμοκρασία του χώρου είναι κάτω από 0°C. Η αντίσταση είναι ενεργή για 30 λεπτά ανά διαφορά θερμοκρασίας 10°C μεταξύ της θερμοκρασίας του slip ring και της θερμοκρασίας της nacelle συν ένα περιθώριο 5°C. Ο χρόνος προθέρμανσης περιορίζεται σε ένα μέγιστο 1 ώρας, αλλά ελάχιστα 5 λεπτά.

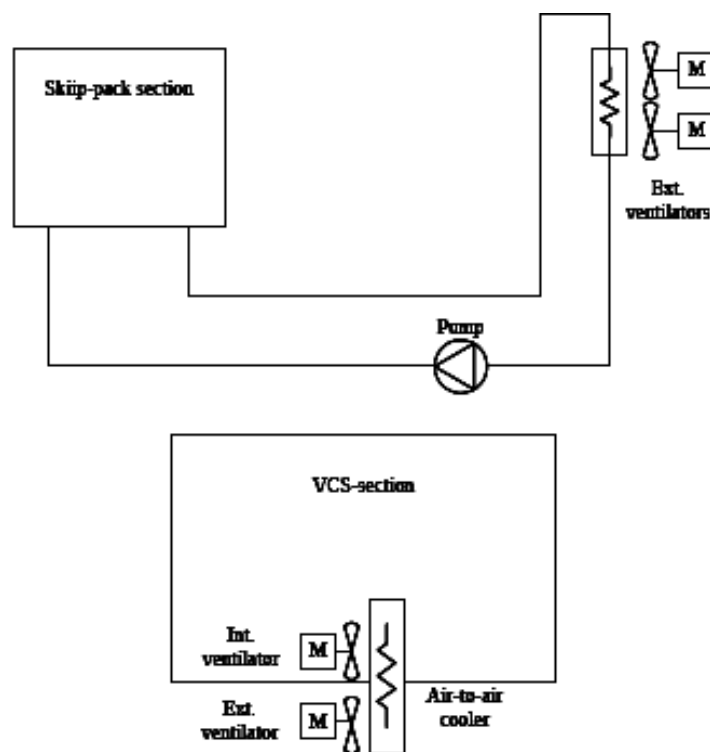
Για να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος της θέρμανσης και εξαερισμού συμπύκνωσης εκτελείται για ένα πρόσθετο λεπτό. Ο κίνδυνος για τη συμπύκνωση αποφεύγεται από τη θέρμανση και τον εξαερισμό του χώρου, εάν η θερμοκρασία του χώρου είναι επάνω από 0°C. Η μονάδα θέρμανσης χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του slip ring

και ο ανεμιστήρας χρησιμοποιείται για την αφαίρεση του υγρού αέρα από την αίθουσα.

Η μονάδα θέρμανσης και ο ανεμιστήρας είναι ενεργοί για 1 λεπτό ανά διαφορά θερμοκρασίας 1°C μεταξύ της θερμοκρασίας του χώρου του slip ring και της θερμοκρασίας της nacelle συν το περιθώριο 5°C. Ο χρόνος θέρμανσης και εξαερισμού περιορίζεται σε ένα μέγιστο 1 ώρας, αλλά ελάχιστο 1 λεπτό.

Ψύξη VCS και Skiip Pack

Το κύκλωμα ψύξης για τη VCS και τα Skiip Pack αποτελείται από το ίδιο ψυγείο και τους ίδιους ανεμιστήρες με το σύστημα ψύξης του σασμάν και η κυκλοφορία του ψυκτικού υγρού γίνεται από έναν κυκλοφορητή, ακόμα υπάρχει επιπλέον και ένα εσωτερικό ψυγείο με ανεμιστήρα.



Σχήμα 3.32 Κύκλωμα ψύξης VCS και Skiip Pack. [7]

Ο κυκλοφορητής ξεκινάει όταν η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού είναι πάνω από 20°C.

Ο εσωτερικός ανεμιστήρας ξεκινάει εάν ένας από τους παρακάτω όρους ισχύει:

- Η θερμοκρασία στην VCP είναι πάνω από 25 °C
- Εάν η παραγωγή της ισχύς είναι πάνω από 500 kW

Τα όρια όπου η Α/Γ θα στείλει σφάλμα και θα μπει σε κατάσταση pause είναι τα παρακάτω:

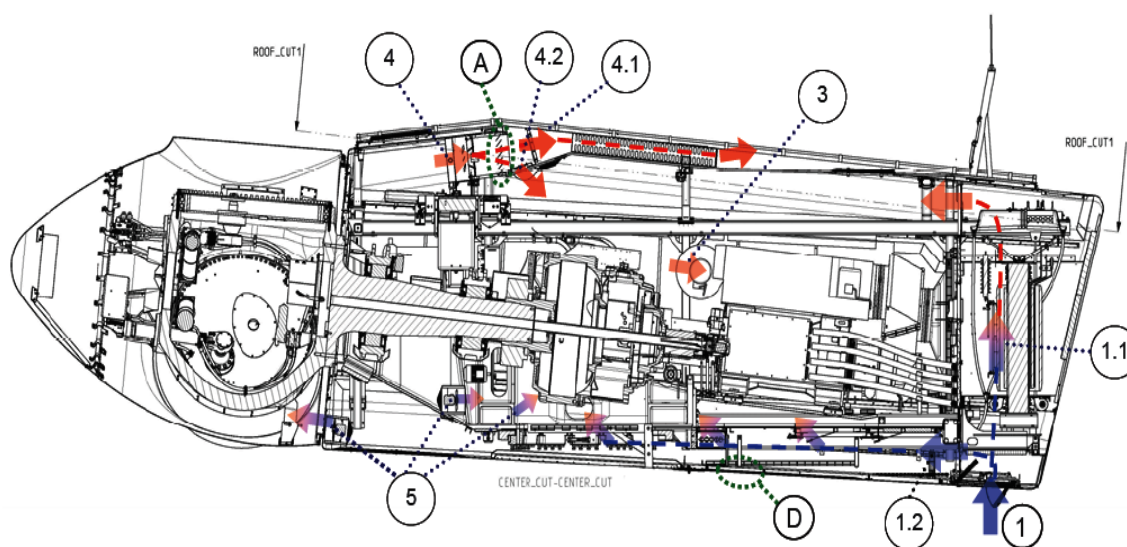
- Θερμοκρασία VCP 58 °C
- Θερμοκρασία Skippack 55 °C
- Θερμοκρασία ψυκτικού υγρού 56 °C
- Θερμοκρασία επεξεργαστή 58°C

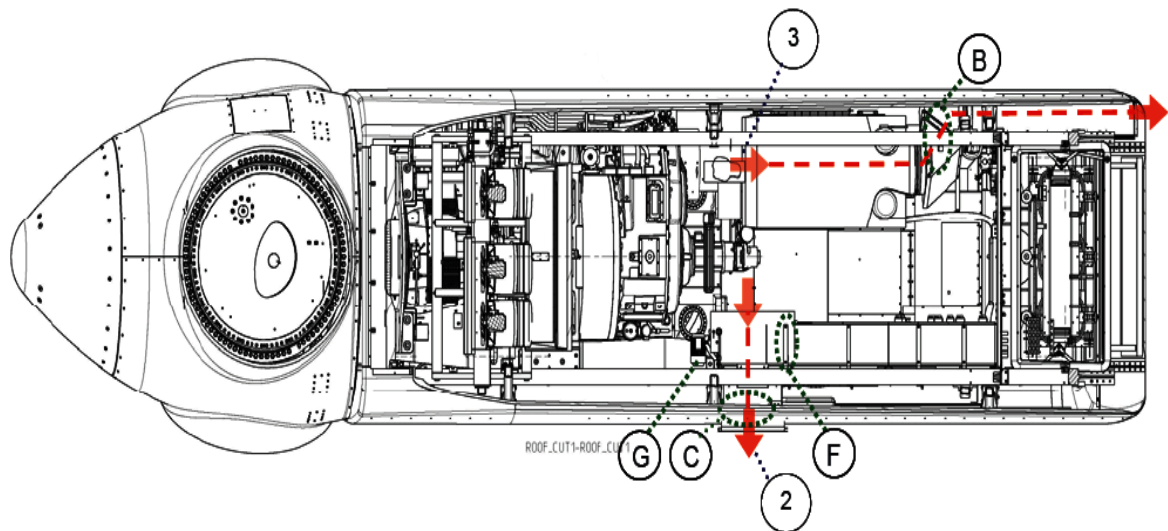
Έλεγχος θερμοκρασιών ελεγκτών

Για την σωστή λειτουργία των επεξεργαστών και τον σωστό υπολογισμό, θα πρέπει η θερμοκρασία στους υπολογιστές να είναι πάντα πάνω από τους 0 °C. Γι' αυτό το λόγο υπάρχουν αντιστάσεις θέρμανσης στους ελεγκτές όπου κρατούν τη θερμοκρασία στα επιθυμητά όρια. Οι αντιστάσεις θερμαίνουν το χώρο μέχρι τους 10 °C και έπειτα σβήνουν.

Αισθητήρας θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος μετρείται με ένα PT-100 το οποίο είναι τοποθετημένο πάνω στην άτρακτο. Εάν η θερμοκρασία πέσει κάτω από -20 °C για περισσότερο από 20 sec η ανεμογεννήτρια μπαίνει σε κατάσταση αναμονής.





Σχήμα 3.33 Η κυρία ροή του αερα, οι ανησμησρες, οι βαλβίδες και θέσεις των αισθησρηων. [7]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ



Στη συντήρηση γίνεται έλεγχος και αντικατάσταση κάποιων υλικών στα ηλεκτρικά και μηχανολογικά μέρη της ανεμογεννήτριας. Τα προγράμματα συντήρησης είναι τα παρακάτω τέσσερα:

1. Τρίμηνη συντήρηση (Γίνεται τρεις μήνες μετά την παράδοση της Α/Γ και αφορά έλεγχο στα ηλεκτρικά μέρη και έλεγχο στις βίδες).
2. Εξάμηνη συντήρηση (Η πρώτη εξάμηνη συντήρηση γίνεται έξι μήνες μετά την παράδοση της Α/Γ και επαναλαμβάνεται μετά από ένα χρόνο. Αφορά έλεγχο στα ηλεκτρικά μέρη και στα μηχανικά μέρη γρασάρισμα στα ρουλεμάν έλεγχο στην πίεση της υδραυλικής).
3. Δωδεκάμηνη συντήρηση (Γίνεται ένα χρόνο μετά την παράδοση της Α/Γ ή έξι μήνες μετά την εξάμηνη συντήρηση. Επαναλαμβάνονται οι εργασίες που γίνονται στην εξάμηνη και επιπλέον γίνεται αλλαγή κάποιων υλικών όπως φίλτρα και ελέγχονται όλοι οι πιεσοστάτες).
4. Συντήρηση 4 ετών (Γίνεται τέσσερα χρόνια μετά την παράδοση της Α/Γ και περιλαμβάνει την τρίμηνη και την ετήσια συντήρηση μαζί).

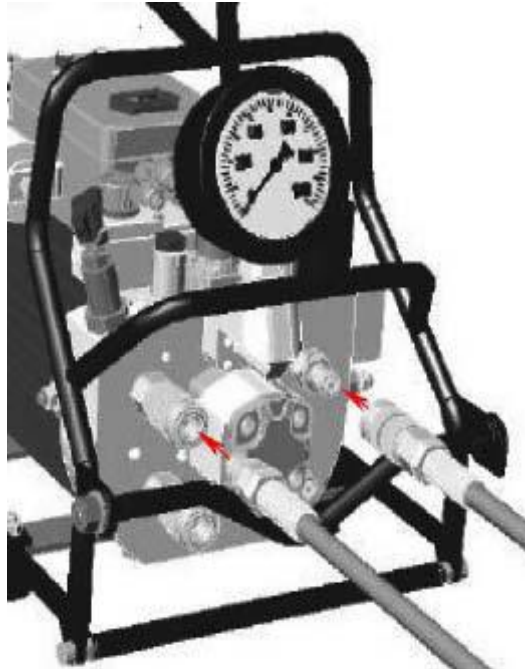
Ειδικά εργαλεία που απαιτούνται σε αυτήν την επιθεώρηση:



Σχήμα 4.1 Φωτογραφία που απεικονίζει τον σύνολο των εργαλείων για τις βασικές εργασίες συντήρησης. [15]



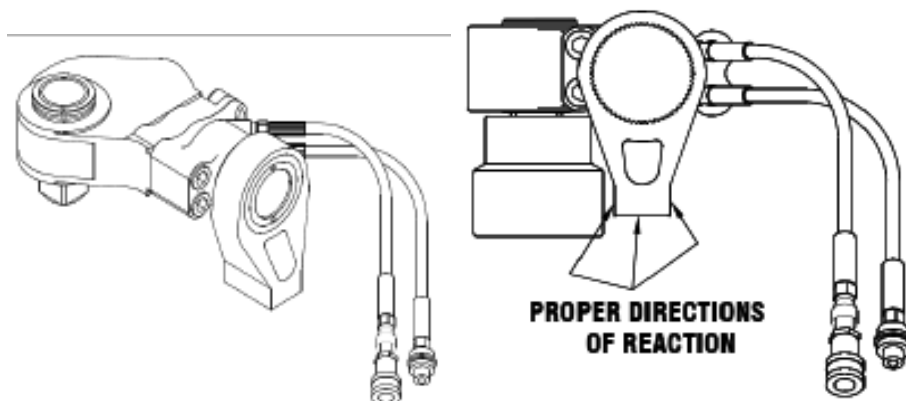
Σχήμα 4.2 3d Απεικόνιση της Αντλία υδραυλικής πίεσης μαζί με το χειριστήριο της. [7]



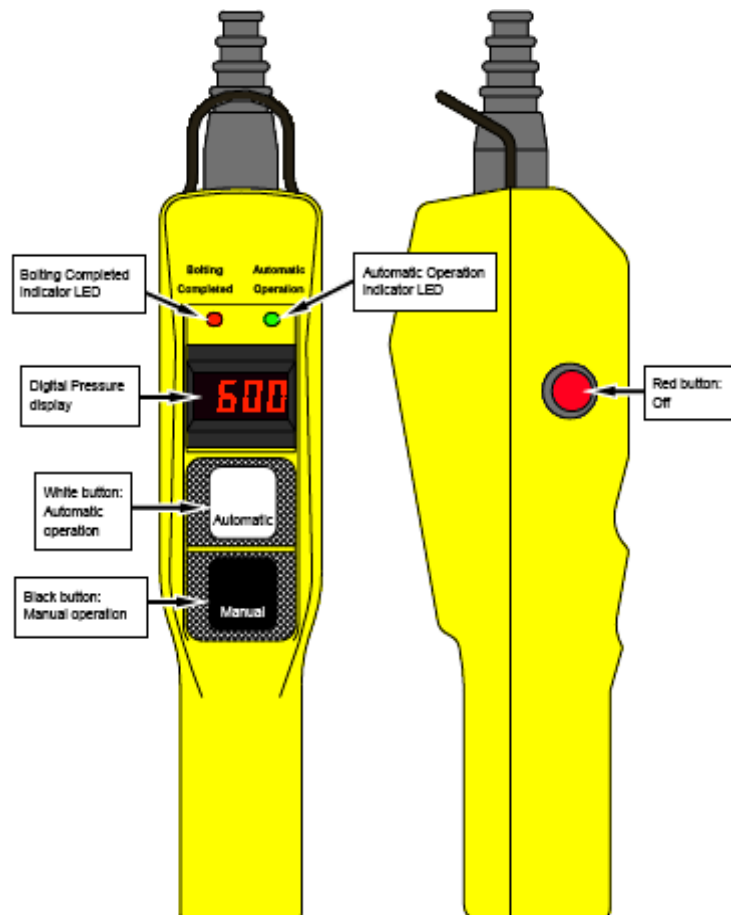
Σχήμα 4.3 3d Απεικόνιση εισόδου εξόδου της αντλίας. [7]



Σχήμα 4.4 3d Απεικόνιση σύνδεσης. [7]



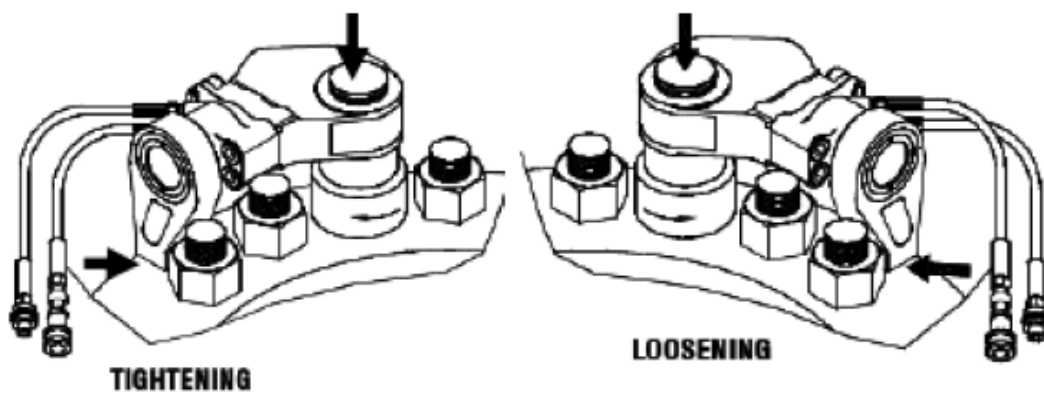
Σχήμα 4.5 Σχέδια Υδραυλικού δυναμόκλειδου. [7]



Σχήμα 4.6 . Απεικόνιση του χειριστηρίου της αντλίας. [7]



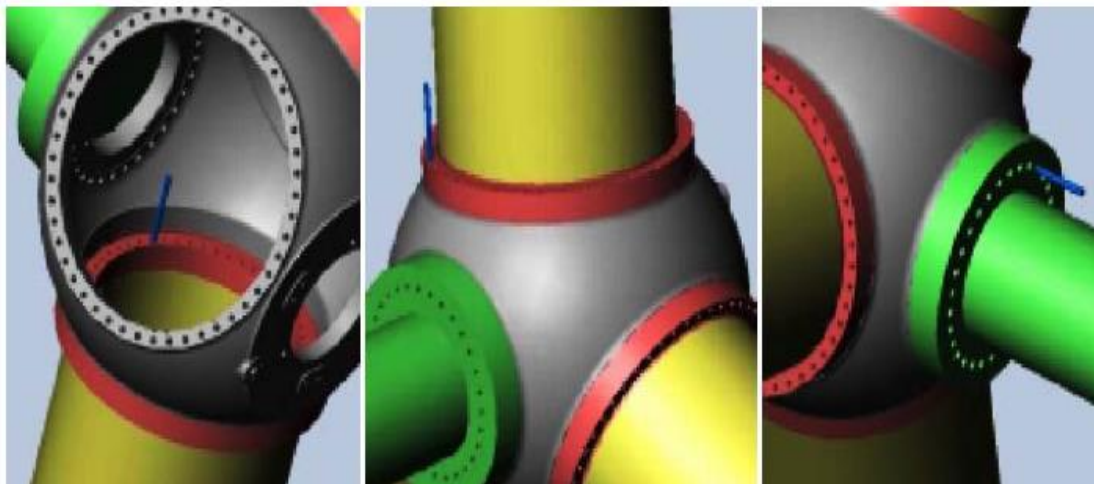
Σχήμα 4.7 Τα πιο συνηθισμένα μπουλόνια που χρησιμοποιούνται.[15]



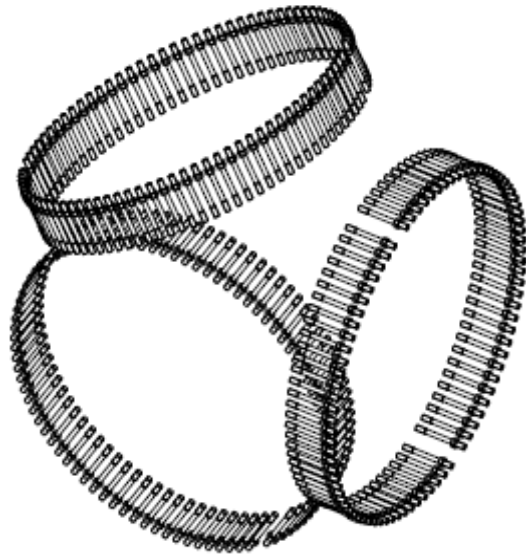
Σχήμα 4.8 Τρόπος χειρισμού του δυναμοκλειδου ανάλογα με το εάν θέλουμε να σφίξουμε η να λύσουμε ένα παξιμάδι. [7]



Σχήμα 4.9 Φωτογραφίες κατά την διάρκεια χρήσης του δυναμοκλειδου σε σημεία της ανεμογεννήτριας.[15]



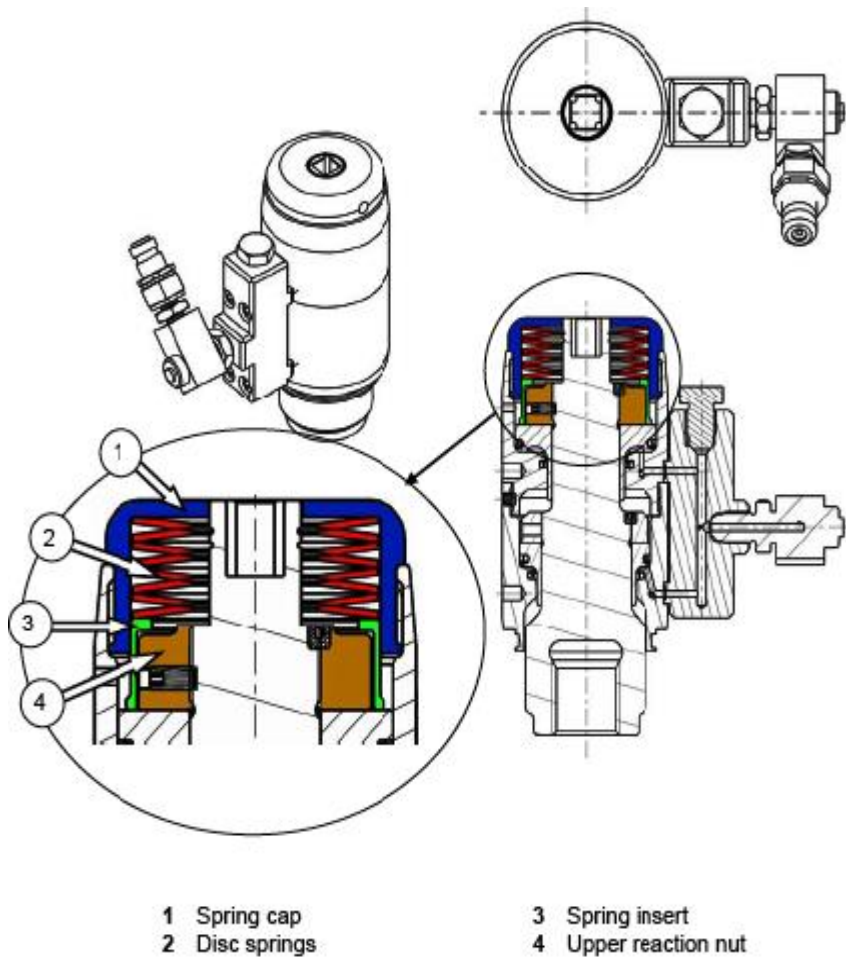
Σχήμα 4.10.3d Απεικόνιση των κυριότερων σημείων συνδέσεις σε μια ανεμογεννήτρια αυτού του τύπου.[15]



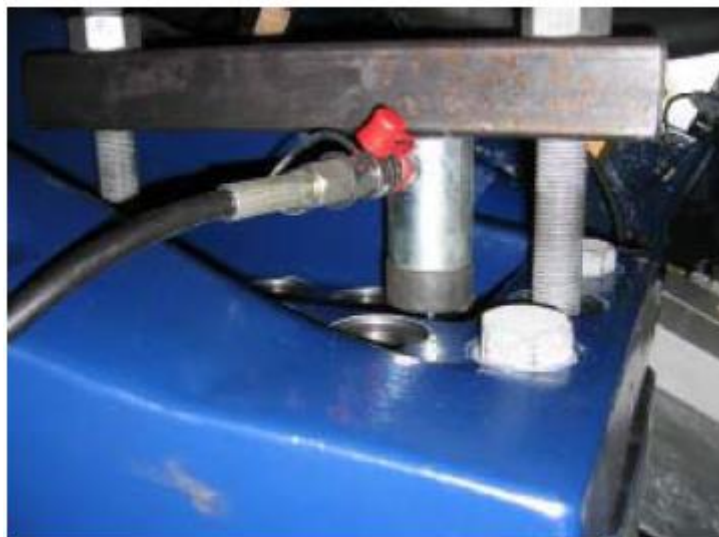
Σχήμα 4.11. Σχηματική απεικόνιση των συνδετικών στοιχείων στην μύτη την ανεμογεννήτριας. [7]



Σχήμα 4.12. Φωτογραφίες από σημεία σύνδεσης. [15]



Σχήμα 4.13.Βασικό μηχανολογικό σχέδιο και σημεία του εργαλείου tensioner. [7]



Σχήμα 4.14.Φωτοαγραφία στην οποία φαίνεται η χρήση του tensioner. [15]

4.1 Λίστα εργαλείων με τον κώδικα και τις δυνατότητες τους

- VT 187113, torque wrench 40-200Nm

- VT 187177, torque wrench 80-400Nm.
- Hydraulic pressure pump
- VT 730440 hydraulic tensioning tool
- VT 189666 Hydraulic pressure station
- VT 730398 RSL tightening tool
- 238473, 46mm socket, 11/2" drive
- 238474, 50mm socket, 11/2" drive
- 238475, 55mm socket, 11/2" drive
- 238477, 65mm socket, 11/2" drive
- 238478, 70mm socket or 238493 machined 70mm socket, 11/2" drive
- 238434, 80mm socket, 11/2" drive
- 299016, adaptor 1-11/2" drive
- 242876, 10mm Allen top, 1/2" drive
- VT 187010 Torque wrench

4.2 Τρίμηνη συντήρηση στα μηχανικά μέρη

Έλεγχος και συσφίξεις στη HUB. Γίνεται στα μπουλόνια που συγκρατεί την πλήμνη πάνω στο HUB με δυναμόκλειδο. Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο για χαλαρά μπουλόνια που ενώνει τα κομμάτια της μύτης.

Έλεγχος στην αντικεραυνική προστασία. Γίνεται σε όλα τα καλώδια και τις συνδέσεις της αντικεραυνικής προστασίας.

Έλεγχος στα φτερά. Το κάθε φτερό συνδέεται με το ρουλεμάν με 52 μπουλόνια όπου ελέγχονται το 1/3 από αυτά, με ειδικό δυναμόκλειδολόγο του περιορισμένου χώρου και των μεγάλων δυνάμεων που χρησιμοποιούνται. Εάν βρεθεί ένα χαλαρό μπουλόνι στο φτερό ελέγχονται όλα. Έλεγχος στα φτερά για ρωγμές ή τυχόν χτύπημα από κεραυνό. Έλεγχος της αντικεραυνικής προστασίας των φτερών.

Έλεγχος και συσφίξεις στα ρουλεμάν των φτερών με το HUB. Το ρουλεμάν του φτερού συνδέεται με το HUB με 52 μπουλόνια εκ των οποίων ελέγχονται το 1/3 από αυτά, με ειδικό δυναμόκλειδο λόγω του περιορισμένου χώρου και των μεγάλων δυνάμεων που χρησιμοποιούνται. Εάν βρεθεί ένα χαλαρό μπουλόνι στο φτερό ελέγχονται όλα.

Έλεγχος και συσφίξεις στο ρουλεμάν της τραβέρσας. 10 Άλεν βίδες M12 ελέγχονται με δυναμόκλειδο.

Έλεγχος και συσφίξεις στον κύριο άξονα. Γίνεται στα μπουλόνια που ενώνει το HUB με τον κύριο άξονα, με ειδικό δυναμόκλειδο . Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο στα μπουλόνια συγκράτησης των ρουλεμάν του κυρίου άξονα με την βάση της **nacelle** με ειδικό δυναμόκλειδο.

Έλεγχος στο σύστημα συγκράτησης του σασμάν. Γίνεται στα 8 από τα 16 μπουλόνια M24 στους βραχίονες συγκράτησης του σασμάν με ειδικό δυναμόκλειδο Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο στα 4 μπουλόνια M36 στη βάση των βραχιόνων, με ειδικό δυναμόκλειδο.

Έλεγχος στο σασμάν. Έλεγχος στη στάθμη λαδιού του σασμάν Έλεγχος στο φίλτρο αέρα του σασμάν.

Σύνδεσμος γεννήτριας σασμάν. Γίνεται οπτικός έλεγχος για ρωγμές Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο με δυναμόκλειδο στις βίδες σύνδεσης.

Έλεγχος της γεννήτριας. Γίνεται πάνω στα κιβώτια σύνδεσης των καλωδίων στην γεννήτρια, στο κιβώτιο σύνδεσης στην κορυφή του πύργου, στο κιβώτιο στη μέση του πύργου, και στο κιβώτιο όπου είναι ο κεντρικός διακόπτης Q8. Οι συνδέσεις ελέγχονται με δυναμόκλειδο. Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο στα ρουλεμάν της γεννήτριας. Γίνεται έλεγχος στις βούρτσες και στο τύμπανο ολίσθησης ο καθαρισμός γίνεται με οινόπνευμα, για να φύγει η σκόνη που προκαλείται από τις βούρτσες.

Έλεγχος στο σύστημα της υδραυλικής αντλίας. Γίνεται έλεγχος της στάθμης λαδιού για τυχόν διαρροές, έλεγχος του πρεσοστάτη ένδειξης πίεσης, έλεγχος για την σωστή λειτουργία της αντλίας Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο πίεσης στον μικρό και μεγάλο συσσωρευτή και γίνεται συμπλήρωμα αζώτου εάν χρειαστεί. Τέλος έλεγχος της βαλβίδας ασφαλείας.

Έλεγχος στα YAW και στο σύστημα του YAW .Γίνεται με δυναμόκλειδο στα μπουλόνια συγκράτησης του yaw gear. Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο με δυναμόκλειδο στα μπουλόνια σύνδεσης του πύργου με το σύστημα βάσης yaw.

Έλεγχος στην nacelle: Έλεγχος στις εξωτερικές και στις εσωτερικές ράγες.

Έλεγχος και συσφίξεις στον πύργο. Γίνεται με ειδικό δυναμόκλειδο στα μπουλόνια της κάτω φλάντζας ένωσης του πύργου με το θεμέλιο. Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο με ειδικό δυναμόκλειδο στα μπουλόνια της μεσαίας φλάντζας ένωσης του κάτω με τον πάνω πύργο. Έλεγχος στη σκάλα του πύργου.

4.3 Εξάμηνη συντήρηση στα μηχανικά μέρη

Πλήμνη: Γίνεται έλεγχος στα μπουλόνια που συγκρατεί την πλήμνη πάνω στο HUB. Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο για χαλαρά μπουλόνια που ενώνει τα κομμάτια της μύτης. Οπτικός έλεγχος για ρωγμές.

Αντικεραυνική προστασία: Γίνεται σε όλα τα καλώδια και τις συνδέσεις της αντικεραυνικής προστασίας.

Φτερά: Γίνεται στα φτερά για ρωγμές ή τυχόν χτύπημα από κεραυνό. Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο της αντικεραυνικής προστασίας των φτερών.

Ρουλεμάν των φτερών με το HUB: Γίνεται γρασάρισμα των ρουλεμάν. Το κάθε ρουλεμάν παίρνει 520 γρ. γράσου. Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο διαρροής γράσου από τα λάστιχα των ρουλεμάν και έλεγχος τζόγου μεταξύ φτερού και ρουλεμάν.

Τραβέρσα και συνδετική ράβδος: Έλεγχος και λάδωμα του άξονα της τραβέρσας. Γρασάρισμα των ρουλεμάν του άξονα.

Κύριος άξονας: Γρασάρισμα των ρουλεμάν. Επίσης περιλαμβάνει ακουστικό έλεγχο των ρουλεμάν.

Έλεγχος στο σασμάν: Γίνεται έλεγχος στη στάθμη λαδιού του σασμάν. Έλεγχος στο φίλτρο αέρα του σασμάν. Παίρνουμε δείγμα λαδιού για ανάλυση. Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο για ρινίσματα μετάλλου στο εσωτερικό του σασμάν και έλεγχος για διαρροή λαδιού.

Σύνδεσμος γεννήτριας – σασμάν: Γίνεται οπτικός έλεγχος για ρωγμές.

Σύστημα ψυκτικού υγρού: Γίνεται συμπλήρωση ψυκτικού υγρού εάν χρειάζεται.

Γεννήτρια: Έλεγχος στα ρουλεμάν της γεννήτριας. Γρασάρισμα των ρουλεμάν. Έλεγχος στις βούρτσες και στο τύμπανο ολίσθησης και καθαρισμός με οινόπνευμα από την σκόνη που προκαλείται από τις βούρτσες σε όλο το χώρο. Αλλαγή στις βούρτσες εάν αυτό χρειάζεται.

Έλεγχος στο σύστημα της υδραυλικής αντλίας. Έλεγχος της στάθμης λαδιού. Έλεγχος για τυχόν διαρροές. Έλεγχος του πρεσοστάτη ένδειξης πίεσης. Έλεγχος ορίων λειτουργίας της υδραυλικής. Έλεγχος πίεσης στον μικρό και μεγάλο συσσωρευτή και συμπλήρωμα αζώτου εάν χρειαστεί. Έλεγχος της βαλβίδας ασφαλείας.

Έλεγχος στα συστήματα του YAW. Γίνεται έλεγχος του yaw gear για τζόγους στον άξονα και για περίεργους θορύβους. Έλεγχος για διαρροή λαδιού. Επίσης

περιλαμβάνει έλεγχο και ρύθμιση των ελατηρίων στο σύστημα του yaw. Γρασάρισμα της επιφάνειας τριβής και στα γρανάζια..

Έλεγχος στην nacelle. Έλεγχος στις εξωτερικές και στις εσωτερικές ράγες.

4.4 Δωδεκάμηνη συντήρηση στα μηχανικά μέρη

- Αλλαγή του on line φίλτρου του σασμάν.
- Αλλαγή του off line φίλτρου του σασμάν.
- Αλλαγή του φίλτρου αέρα του σασμάν.
- Αλλαγή του φίλτρου λαδιού της υδραυλικής.
- Αλλαγή του φίλτρου αέρα της υδραυλικής.
- Παίρνουμε δείγμα λαδιού της υδραυλικής για ανάλυση.
- Έλεγχος και ρύθμιση εάν χρειάζεται δύο πιεσοστατών της υδραυλικής.
- Μέτρηση του τζόγου στα ρουλεμάν μεταξύ της συνδετικής ράβδου και της τραβέρσας για κάθε φτερό ξεχωριστά.
- Μέτρηση του τζόγου στα ρουλεμάν μεταξύ της συνδετικής ράβδου και του torque arm του φτερού.
- Μέτρηση τζόγου στα στο σύστημα συγκράτησης του σασμάν.
- Εξαέρωση του φρένου.
- Μέτρηση του πάχους στα τακάκια του φρένου και αλλαγή.

4.5 Κόστος λειτουργίας και συντήρησης

Κατά την επένδυση μιας εταιρίας ενεργειακού κλάδου στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ειδικά στις ανεμογεννήτριες υπάρχουν κάποιοι όροι τους οποίους δίνει και διαπραγματεύεται ξεχωριστά κάθε κατασκευάστρια εταιρία.

Οι όροι αυτοί θέτουν την σχέση του πελάτη (E.E.K) με την κατασκευάστρια εταιρία (VESTAS,ENERCON,GAMESA,ACCIONA) και έχουν να κάνουν κυρίως με την παροχή υπηρεσιών μετά την παράδοση των μηχανών στον πελάτη. Είναι πολύ σημαντικό να τονίσουμε πως οι σχέσεις αυτές ποικίλουν και διαφέρουν κατά πολύ μεταξύ των κατασκευαστριών εταιριών αλλά ακόμη και μεταξύ των προσφορών που δίνονται σε διαφορετικούς πελάτες από την ίδια κατασκευαστική.

Έτσι λοιπόν είναι σχεδόν αδύνατον να δώσουμε μια αντικειμενική παρουσίαση του κόστους συντήρησης μιας ανεμογεννήτριας καθώς είναι σχετική για τους παραπάνω λόγους. Ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα να γίνει μια αναφορά για τα βασικό κόστος αλλά και για τον τρόπο και τους κανόνες που ισχύουν στον τομέα της συντήρησης. Με την παράδοση της ανεμογεννήτριας έχει ολοκληρωθεί ο πρώτος κύκλος σχέσης που περιλαμβάνει τα παρακάτω:

- Την μετασκευή της ανεμογεννήτριας (PROJECT).
- Τον πλήρη έλεγχο και προγραμματισμό της (COMISIONIG).
- Την παρακολούθηση της ανεμογεννήτριας για ένα διάστημα 10 ημερών.

Εφόσον ολοκληρωθεί ο κύκλος αυτός το έργο περνά στα χέρια του πελάτη και από εκεί και πέρα ξεκινά ο επομένως κύκλος που αφορά την συντήρηση της ανεμογεννήτριας. Σε αυτό το κομμάτι κάθε καινούργια ανεμογεννήτρια διαθέτει μια εγγύηση που φορά την πλήρη συντήρηση και λειτουργία της ανεμογεννήτριας από προσωπικό της κατασκευάστριας εταιρίας.

Η εγγύηση αυτή δύνεται από όλες τις κατασκευάστριες εταιρίες αλλά διαφέρει περισσότερο στον χρόνο διάρκειας και στην τιμή. Κάτι το οποίο είναι λογικό διότι ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιεί η κάθε κατασκευάστρια εταιρία, υπάρχουν τα επιμέρους πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα.

Επομένως παρατηρούμε πως η ENERCON παρέχει 12 χρόνια εγγύησης και λειτουργίας ενώ η VESTAS (και οι υπόλοιπες παρεμφερής τεχνολογίας GAMESA, ACCIONA) μόνο 5 χρόνια. Αυτό οφείλετε στα εξής δεδομένα:

1. Η ανεμογεννήτριες τεχνολογίας ENERCON, είναι ιδιαίτερα αξιόπιστες καθώς δεν διαθέτουν gear box και επομένως οι βλάβες είναι πολύ λιγότερες ενώ το κόστος συντήρησης είναι λογικό.
2. Αντίθετα η VESTAS και το ιδιαίτερα πολύπλοκο σύστημα του gear box, καθιστούν την τεχνολογία αυτή ιδιαίτερα αποδοτική αλλά και παράλληλα ιδιαίτερα επιρρεπή στις βλάβες. Έτσι λοιπόν το κόστος συντήρησης είναι ανεβασμένο.

Η VESTAS είναι υποχρεωμένη να παρέχει μια διαθεσιμότητα πάνω από 98% για το αιολικό πάρκο ετησίως. Η συντήρηση των μηχανών, η επίλυση των βλαβών και οτιδήποτε άλλο χρειάζεται η αιολική μηχανή για την λειτουργία της παρέχεται από την VESTAS με 50.000 ευρώ ανά αιολική μηχανή το έτος.

Ο επενδυτής έχει το κόστος συντήρησης των υποσταθμών, τον έλεγχο των επικοινωνιών και την συλλογή στατιστικών στοιχείων από τις μηχανές την

επεξεργασία τους και την αποστολή μηνιαίων αναφορών στη ΡΑΕ (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) και σε διάφορους φορείς. Επίσης το κόστος, η συντήρηση του οδικού δικτύου στις περιοχές όπου είναι τοποθετημένες οι μηχανές είναι αποκλειστική ευθύνη του πελάτη και εάν για κάποιο λόγο η πρόσβαση δεν είναι εφικτή, η VESTAS δεν μπορεί να παρέχει καμιά υπηρεσία συντήρησης και καμιά απώλεια παράγωγης δεν είναι πρόκειται να αποζημιωθεί.

Οι οικονομική αυτή επιβάρυνση του επενδυτή δεν είναι η μόνη καθώς υποχρεωμένος να παρέχει εργασία από δύο άτομα για σαράντα ώρες την εβδομάδα ανεξαρτήτου ώρας και ημέρας εάν αυτό ζητηθεί από τους τεχνικούς της VESTAS. Το ελάχιστο προσωπικό που μπορεί να διαταθεί από την VESTAS είναι μια ομάδα δυο τεχνικών και αυτό ισχύει από μια μέχρι και δέκα ανεμογεννήτριες καθώς για λόγους ασφάλειας είναι απαραίτητο να υπάρχουν δυο άτομα.

Ο εξοπλισμός που περιλαμβάνει από κατάλληλο ρουχισμό υπολογιστές μέσα μεταφοράς συστήματα ασφαλείας και εργαλεία και έχει ένα κόστος που κυμαίνεται κοντά στα 130.000 ευρώ για την συντήρηση από 1 μέχρι 10 ανεμογεννήτριες VESTAS V90. Ενώ το κόστος των αντιστοιχών ανταλλακτικών που πρέπει να αποθηκευμένα έτσι ώστε να είναι άμεσα διαθέσιμα ,ανέρχεται σε περίπου αλλά τόσα χρήματα.

Έτσι μπορούμε να αναληφθούμε πως τα έξοδα είναι ιδιαίτερα πολλά ωστόσο το μεγαλύτερο μέρος του καλύπτεται από την μεριά την κατασκευάστριας με την τιμή πώλησης και από την μεριά του πελάτη με τη ιδιαίτερα ευνοϊκή πώλησης του ρεύματος στο δίκτυο της χώρας. Αξίζει να αναφέρουμε πως ένα σημαντικό κέρδος που έχουν όλες οι κατασκευάστριες εταιρείες από την παροχή υπηρεσιών κατά την διάρκεια της εγγύησης είναι οι πληροφορίες-τεχνογνωσία-εμπειρία που αποκτάνε και φυσικά χρησιμοποιούν ιδιαίτερα στην εξέλιξη της τεχνολογίας αυτής.

Με την πρώτη ματιά βλέπει κάποιος ότι λειτουργία και η συντήρηση των αιολικών μηχανών είναι ασύμφορη ακόμα και για την κατασκευάστρια εταιρεία αλλά αυτά είναι υπολογισμένα από όταν γίνεται η πώληση των μηχανών και η κατασκευάστρια εταιρεία έχει προσθέσει το κόστος αυτό στην αξία της ανεμογεννήτριας.

Η ανεμογεννήτρια για τον επενδυτή-πελάτη έχει πολύ λίγα ετήσια λειτουργικά έξοδα καθώς και έξοδα συντήρησης. Σε σχέση και με τα έσοδα που έχει ένα αιολικό πάρκο τα έξοδα λειτουργίας και συντήρησης μπορείς και να μην υπολογίζονται σχεδόν καθόλου αφού τείνουν να μηδενιστούν.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με άφθονες τοποθεσίες για εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων διότι διαθέτει και από τη μία πλούσιο ορεινό τοπίο και πάρα πολλές ακτές που θα εξυπηρετούσαν τη δημιουργία υπεράκτιων αιολικών πάρκων και από την άλλη δέχεται διαρκώς δυνατούς ανέμους ιδιαίτερα στα πελάγη.

Έτσι τα μεγέθη της ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία προκύπτει λόγω της αιολικής, που μπορούν να παραχθούν στη χώρα μας μπορούν να φτάσουν πολύ μεγάλο βαθμό, άρα είναι πολύ σημαντικό να εκμεταλλευτούμε αυτή τη δυνατότητα τόσο για το περιβάλλον (μείωση καύσης βοξίτη κτλ) όσο και για πρακτικούς λόγους.

Ο αυτοματισμός είναι η εξέλιξη της ηλεκτρονικής και της ηλεκτρολογίας και πλέον έχει μπει για τα καλά στη ζωή μας ακόμη και στις πιο απλές καθημερινές μας δραστηριότητες. Η εφαρμογή του αυτόματου ελέγχου σε συστήματα ανεμογεννητριών όπως και η διασφάλιση της προστασίας των συστημάτων αυτών σε ακραίες καιρικές συνθήκες και ακαριαίες βλάβες επιφέρει την αποτελεσματικότερη απόδοση τους και έχει άμεση έκβαση στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας άρα επιφέρει και οικονομικό κέρδος για μία χώρα.

Επομένως είναι επιτακτική ανάγκη να εξοπλίζονται τα συστήματα αυτά με τους κατάλληλους ελεγκτές και τα απαραίτητα ηλεκτρονικά στοιχεία έτσι ώστε να διασφαλίζεται η αυτόματη λειτουργία και προστασία τους αντίστοιχα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]Ackermann T., Wind Power in Power Systems, Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden 2000.
- [2]Ζερβός Α., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2005.
- [3]Μάργαρης Δ., Συστήματα Αιολικής Ενέργειας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2012.
- [4]Αλεξανδρίδης Α., Τεχνολογίες Ελέγχου στα Αιολικά Συστήματα, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2017.
- [5]Γεωργαλός Χ., Αιολική ενέργεια και εφαρμογές αυτής, Πανεπιστημίο Πατρών, 2015.
- [6]Τσακίρη Χ., Ακαντζιώλης Σ., Σχεδιασμός και κατασκευή Ανεμογεννητριών, Καβάλα, 2018.
- [7]Δημόπουλος Α., Αλεξάκης Μ., Ανάπτυξη συστήματος αυτομάτου ελέγχου ανεμογεννήτριας, Ηράκλειο Κρήτης, 2008.
- [8]Γωνιακάκης Γ., Συντήρηση αιολικού πάρκου και ανεμογεννήτριας, Ηράκλειο Κρήτης, 2017.
- [9] www.vestas.com
- [10] www.enercon.de
- [11] www.rae.gr
- [12] www.ewea.org
- [13] www.gamesacorp.com
- [14] www.gwec.net
- [15] <https://el.wikipedia.org>