

# ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΗΧ  
629

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Ανάλυση Συστήματος Μετάδοσης Ισχύος Ανεμογεννήτριας Μεγάλης  
Ισχύος



**Μελέτη**

Κόλλιας Ιωάννης

Ντούπης Γιώργος

**Επιβλέπων**

Τσολάκης Αντώνης

Απρίλιος 2012

ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ  
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

Copyright ©2011 Ντούπης Γιώργος, Κόλλιας Ιωάννης

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τους συγγραφείς και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του ΤΕΙ Πειραιά.

## Πρόλογος

Στα πλαίσια απόκτησης του τίτλου σπουδών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πειραιά οι σπουδαστές του ιδρύματος καλούνται να συντάξουν μια πτυχιακή μελέτη. Μέσα από αυτό το πόνημα μας δίνεται η δυνατότητα να εμβαθύνουμε τις γνώσεις μας σχετικά με εξειδικευμένα ζητήματα της επιστήμης του Μηχανολόγου Μηχανικού. Η παρούσα μελέτη πραγματεύεται το ζήτημα της μετάδοσης ισχύος ανεμογεννήτριας. Η μελέτη διήρκησε δώδεκα μήνες.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση της ανεμογεννήτριας V80 2,00MW της κατασκευάστριας εταιρείας Vestas όσον αφορά τη λειτουργία της αλλά και τα τεχνοοικονομικά χαρακτηριστικά τους. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στο μηχανολογικό και ηλεκτρολογικό κομμάτι της ανεμογεννήτριας, καθώς επίσης και στις εργασίες συντήρησης και ασφάλειας των εργασιών.

Για την υλοποίηση και την επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά, τον καθηγητή του τομέα Αντώνη Τσολάκη για την άριστη συνεργασία μας, την πολύτιμη καθοδήγησή του καθώς επίσης και για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και την ευκαιρία που μας έδωσε να ασχοληθούμε με ένα τόσο επίκαιρο και ενδιαφέρον θέμα.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας και τους φίλους μας για την ηθική και την υλική υποστήριξη που μας προσέφεραν καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μας.

Πειραιάς, 2012

Ντούπης Γιώργος

&

Κόλλιας Ιωάννης

## Περίληψη

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας πτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η ανάλυση του συστήματος μετάδοσης ισχύος ανεμογεννήτριας. Συγκεκριμένα αναλύθηκε το μοντέλο V80 (2MW) της εταιρείας Vestas. Άξονας ανάπτυξης της εργασίας αποτέλεσε η μεθοδολογία μεταβίβασης της ισχύς από τον ρότορα έως την γεννήτρια καθώς και η παρουσίαση των τεχνικών χαρακτηριστικών της εν λόγω ανεμογεννήτριας, (υλικά κατασκευής, πλανητικό κιβώτιο ταχυτήτων, σύστημα πέδησης). Επιπρόσθετα στην εργασία αναφέρονται οι εργασίες συντήρησης και τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται καθόλη την διάρκεια ζωής της κατασκευής.

Η ανάπτυξη της εργασίας γίνεται σε τέσσερα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο, θα παρουσιαστούν εισαγωγικές έννοιες για την τεχνολογία εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας και θα αναφερθούν στατιστικά στοιχεία. Στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται θεωρητική ανάλυση της δομής και λειτουργίας της ανεμογεννήτριας ώστε να αποσαφηνιστούν οι επιμέρους λειτουργίες της. Το τρίτο κεφάλαιο αποτελεί την τεχνική περιγραφή της υπό εξέταση ανεμογεννήτριας. Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο θα αναφερθούν οι εργασίες συντήρησης και τα μέτρα ασφαλείας όπως αυτά ορίζονται από τις σχετικές προδιαγραφές και την ισχύουσα νομοθεσία αντίστοιχα. Η εργασία ολοκληρώνεται με τα συμπεράσματα και στο παράρτημα της εργασίας επισυνάπτονται αναφορές σχετικές με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας Vestas V80 (2MW)

## **Abstract**

Object of study of this thesis will be the analysis of turbine propulsion system. It will analyze the model V80 (2MW) company Vestas. Axis development work will be the method of transferring power from the rotor to the generator and the presentation of the technical characteristics of the wind turbine (construction materials, planetary gearbox, braking system). Additional work will be reported to the maintenance and security measures to be taken throughout the life of the structure.

The development work will be done in four chapters. The first chapter, will feature introductory concepts for technology exploitation of wind energy will be reported and statistics. In the second chapter the theoretical analysis of the structure and operation of the turbine in order to clarify the various functions. The third chapter is the technical description of the wind turbine under consideration. Finally in the fourth chapter I will discuss the maintenance and security measures as defined by the relevant standards and legislation respectively. The work will be completed with the conclusions and the Annex will work episynaftoun reports related to the technical characteristics of wind turbine Vestas V80 (2MW)

## Περιεχόμενα

Πρόλογος .....	4
Περίληψη .....	5
Abstract .....	6
Εικόνες .....	11
Πίνακες .....	14
1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ .....	16
1.1 Αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .....	16
1.2 Προωθώντας τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	21
1.3 Η Αιολική Ενέργεια σαν Ανανεώσιμη Πηγή .....	24
2. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ .....	29
2.1 Αρχή Λειτουργίας Ανεμογεννήτριας .....	29
2.2 Μηχανικό Σύστημα Ανεμογεννήτριας .....	31
2.2.1 Ρότορας .....	31
2.2.2 Πτερύγια Ρότορα .....	32
2.2.3 Πλήμνη .....	33
2.2.4 Ηλεκτρική Γεννήτρια (Generator) .....	34
2.2.5 Σύστημα Προσανατολισμού .....	34
2.2.6 Πύργος Στήριξης (Tower) .....	36
2.2.7 Κιβώτιο Ταχυτήτων (Gear box) .....	38
2.2.8 Μείωση – Απόρριψη Ισχύος .....	39

2.2.9	Ανιχνευτής Ταλάντωσης.....	39
2.2.10	Σύστημα Πέδησης.....	39
2.2.10.1	Αεροπέδη.....	40
2.2.10.2	Μηχανικά φρένα.....	40
2.2.11	Σύστημα Ελέγχου Ανεμογεννήτριας.....	41
2.3	Ηλεκτρικό Σύστημα Ανεμογεννήτριας.....	43
2.3.1	Σύνδεση στο Ηλεκτρικό Δίκτυο.....	44
2.3.2	Αποθήκευση Παραγόμενης Ενέργειας.....	47
3.	ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ VESTAS V80 2MW.....	48
3.1	Κατασκευάστρια Εταιρεία Vestas.....	48
3.2	Τεχνικά χαρακτηριστικά Vestas V80(2MW).....	50
3.2.1	Ρότορας.....	52
3.2.2	Πτερωτή.....	54
3.2.3	Κύριος Άξονας.....	55
3.2.4	Κιβώτιο Ταχυτήτων.....	58
3.2.5	Γεννήτρια.....	57
3.2.6	Θάλαμος.....	60
3.3	Σύστημα Προσανατολισμού.....	60
3.4	Σύστημα OptiSpeed Ανεμογεννήτριας V80(2MW).....	63
3.5	Σύστημα Πέδησης.....	64
3.6	Υδραυλικό Σύστημα.....	65



3.6.1	Σύστημα Υδραυλικής Αντλίας .....	66
3.6.2	Σύστημα Βήματος.....	66
3.6.3	Σύστημα Φρενών .....	68
3.6.4	Σημεία Μέτρησης.....	68
3.7	Μονάδα Ελέγχου.....	68
3.8	Χαρακτηριστικά Ισχύος.....	69
3.9	Μείωση Θορύβου.....	72
3.10	Γείωση Ανεμογεννήτριας.....	73
3.11	Αντικεραυνική Προστασία.....	74
4.	ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ & ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ .....	76
4.1	Πρόγραμμα Συντήρησης.....	76
4.1.1	Πρόγραμμα Συντήρησης Πρώτου Έτους Λειτουργίας.....	76
4.1.2	Εβδομαδιαίος Έλεγχος .....	77
4.1.3	Μηνιαίος Έλεγχος.....	77
4.1.4	Τρίμηνη Συντήρηση.....	78
4.1.5	Εξαμηνιαία Συντήρηση .....	80
4.1.6	Δωδεκαμηνιαία Συντήρηση.....	82
3.12	Προδιαγραφές Λειτουργίας.....	82
4.2	Διάρκεια Ζωής Ανεμογεννήτριας .....	84
4.3	Όροι Εδάφους .....	85
4.4	Κλιματικές Συνθήκες .....	85

4.5 Ασφάλεια Εργαζομένων .....	85
Βιβλιογραφία .....	88

## Εικόνες

- Εικόνα 1 Η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας για το 2000, ήταν 424 exajoules, όπου οι Α.Π.Ε. κάλυπταν μόλις το 2,1% αυτής της παραγωγής. (United Nations, 2001) ..... 16
- Εικόνα 2 Όλες οι μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία συνολικά είναι 5,4 εκατομμύρια exajoules. Από αυτό το ποσό το 30% επιστρέφεται στο διάστημα ..... 17
- Εικόνα 3 Στον χάρτη φαίνονται οι άδειες για πάρκα αιολικής ενέργειας που είναι ήδη εγκατεστημένα στην Στερεά Ελλάδα καθώς και πάρκα των οποίων η κατασκευή γίνεται αυτήν την περίοδο ..... 21
- Εικόνα 4 Παγκόσμια ετήσια εγκατεστημένη αιολική ισχύς τη δεκαετία 1991-2007 .24
- Εικόνα 5 Οι μεγαλύτερες αγορές στον κόσμο στον τομέα της αιολικής ισχύος το έτος 2007 ..... 25
- Εικόνα 6 Εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων στην Ελλάδα και εκτίμηση της εξέλιξης έως το έτος 2010. Μετά το 1998 πραγματοποιείται μία ραγδαία αύξηση των εγκατεστημένων αιολικών πάρκων, ενώ η πρόβλεψη για την εξέλιξή τους είναι αρκετά ευοίωνη..... 26
- Εικόνα 7 Εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ευρώπη στα τέλη του έτους 2007 ..... 28
- Εικόνα 8 Απλοποιημένο μηχανικό και ηλεκτρικό σύστημα της ανεμογεννήτριας... 29
- Εικόνα 9 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα με τρία περύγια που λειτουργούν με πνοή ανέμου προς τα πάνω, “upwind”, και κατακόρυφου άξονα όπως το μοντέλο Darrieus, Ο σωληνωτός πύργος, αν και δαπανηρότερος του δικτυωτού, προτιμάται διότι προστατεύει κατά την άνοδο προς το θάλαμο για εργασίες συντήρησης..... 30
- Εικόνα 10 Σχεδιάγραμμα με όλα τα μηχανικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα..... 31
- Εικόνα 11 Εργασίες σύνδεσης ρότορα ανεμογεννήτριας V80 (2MW) Vestas ..... 33

Εικόνα 12 Πλήμνη ανεμογεννήτριας V80 (2MW).....	33
Εικόνα 13 Η παρεμβολή του πτερύγιου της ανεμογεννήτριας στην κίνηση του αέρα, δημιουργεί την διάσπαση του σε δύο κύματα που κινούνται με διαφορετική ταχύτητα. .....	35
Εικόνα 14 Α/Γ οριζόντιου άξονα.....	37
Εικόνα 15 Vestas V80 σύνδεση τμημάτων ανεμογεννήτριας .....	37
Εικόνα 16 Σύστημα γραναζιών που χρησιμοποιούνται σε ανεμογεννήτριες.....	38
Εικόνα 17 Το σύστημα ελέγχου ελέγχει όλες τις σχετικές παραμέτρους όπως η ταχύτητα, δύναμη, η θερμοκρασία γεννήτριας, και οι δονήσεις .....	41
Εικόνα 18 Ανάλυση του ηλεκτρικού συστήματος της ανεμογεννήτριας.....	43
Εικόνα 19 Διαδρομή ενέργειας από τα αιολικά πάρκα στο δίκτυο της ΔΕΗ.....	45
Εικόνα 20 Κατανομή της παγκόσμιας αγοράς το 2006 στη κατασκευή αιολικών πάρκων.....	48
Εικόνα 21 Σχηματική τομή τυπικής μορφής νασέλας ανεμογεννήτριας Vestas .....	49
Εικόνα 22 Χαρακτηριστικά των μοντέλων ανεμογεννητριών της εταιρείας Vestas...	50
Εικόνα 23 Βασικά στοιχεία της ανεμογεννήτριας Vestas V80 (2MW) .....	50
Εικόνα 24 Εργασίες εγκατάστασης ρότορα ανεμογεννήτριας Vestas V80 (2MW)....	52
Εικόνα 25 Σχηματική τομή του ρότορα.....	52
Εικόνα 26 Hub, Κύριος άξονας .....	55
Εικόνα 27 Η γεννήτρια είναι σχεδιασμένη αποκλειστικά για χρήση σε ανεμογεννήτριες, είναι ασύγχρονη και ψύχεται με σύστημα air-cooled fully enclosed (Vestas, 2007).....	57
Εικόνα 28 Ασύγχρονη με διέγερση στον ρότορα από το Vestas Converter System AMK 500L4A BAYH .....	57
Εικόνα 29 Σχηματική τομή του κιβώτιου ταχυτήτων (Vestas, 2007) .....	58

Εικόνα 30 Yaw system ανεμογεννήτριας Vestas V80 (2MW) (Σ. Ταουλαντ, 2010) .	61
Εικόνα 31 Σύστημα μετάδοσης ισχύος για την ανεμογεννήτρια Vestas V80 .....	64
Εικόνα 32 Καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας Vestas V80 (2MW) .....	71
Εικόνα 33 Ο στάθμη του ήχου μπορεί να ρυθμιστεί μεταβάλλοντας την ταχύτητα περιστροφής του στροβίλου όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Διακρίνεται πως τα χαμηλότερα ηχητικά επίπεδο επιτυγχάνονται όταν η κίνηση του αέρα είναι 4 μέτρα ανά δευτερόλεπτο .....	73
Εικόνα 34 Το διάγραμμα εμφανίζει τις διακυμάνσεις παράγωγης ενέργειας σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου (Vestas, 2007).....	83

## Πίνακες

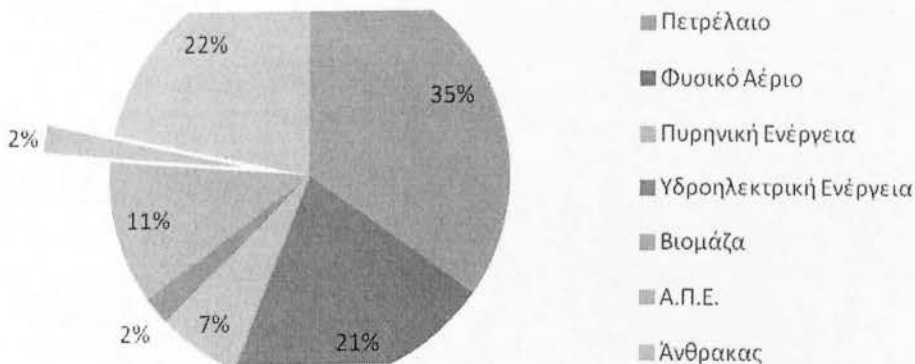
Πίνακας 1 Τα κύρια μέρη της ανεμογεννήτριας.....	31
Πίνακας 2 Τρόποι σύνδεσης στο δίκτυο βάση της συμφωνημένης ισχύς.....	44
Πίνακας 3 Στατιστικά στοιχεία των εγκαταστάσεων της εταιρείας σε m.....	49
Πίνακας 4 Σχηματική τομή με σήμανση των επιμέρους στοιχείων της ανεμογεννήτριας Vestas V80 (2MW).....	51
Πίνακας 5 Κατασκευαστικά στοιχεία ρότορα.....	53
Πίνακας 6 Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας.....	58
Πίνακας 7 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κιβωτίου Ταχυτήτων.....	59
<b>Πίνακας 8</b> Τεχνικά χαρακτηριστικά Yaw Gear.....	61
Πίνακας 9 Τεχνικά Χαρακτηριστικά συστήματος προσανατολισμού.....	62
Πίνακας 10 Χαρακτηριστικά συστήματος πέδησης ανεμογεννήτριας.....	65
Πίνακας 11 Χαρακτηριστικά του υδραυλικού συστήματος της ανεμογεννήτριας V80.....	65
Πίνακας 22 Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά Pitch System.....	67
Πίνακας 12 Χαρακτηριστικά ισχύος.....	69
Πίνακας 13 Δεδομένα καμπύλης ισχύος.....	70
Πίνακας 14 Η καμπύλη ισχύος διακόπτεται όταν η ταχύτητα του ανέμου γίνει ίση με 25m/sec.....	70
Πίνακας 15. Σε λειτουργία συχνότητας 50 Hz το μοντέλο επιτυγχάνει μέγιστη απόδοση 1.900 rpm.....	71
Πίνακας 16 Η μείωση παραγωγής από την γεννήτρια, σε περίπτωση ανάγκης υλοποιείται με την ρύθμιση της γωνίας προσβολής των πτερυγίων. Το εύρος τιμών που λαμβάνει το σύστημα pitch control κυμαίνεται από 10° έως 21°.....	72
Πίνακας 17 Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η ύπαρξη γείωσης.....	74

Πίνακας 18 Περιοδικότητα εργασιών συντήρησης της ανεμογεννήτριας Vestas v80 76	
Πίνακας 19 Εργασίες που εκτελούνται ανά περίοδο ενός μήνα.....	77
Πίνακας 20 Εργασίες που εκτελούνται ανά περίοδο τριών μηνών .....	78
Πίνακας 21 Εργασίες που εκτελούνται ανά περίοδο έξι μηνών.....	80

# 1. ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 1.1 Αξιοποίηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Οι Α.Π.Ε. παρουσιάζουν δυο βασικά χαρακτηριστικά. Πρώτον, για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά απλώς η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Αυτό το χαρακτηριστικό καθιστά τις Α.Π.Ε. ανεξάντλητες, γεγονός ιδιαίτερα σημαντικό, καθώς τα αποθέματα της ανθρωπότητας σε ορυκτά καύσιμα και ουράνιο έχουν αρχίσει να εξαντλούνται. Δεύτερον, πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεδμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα. (Α. Β. Γκίκα, 2008)

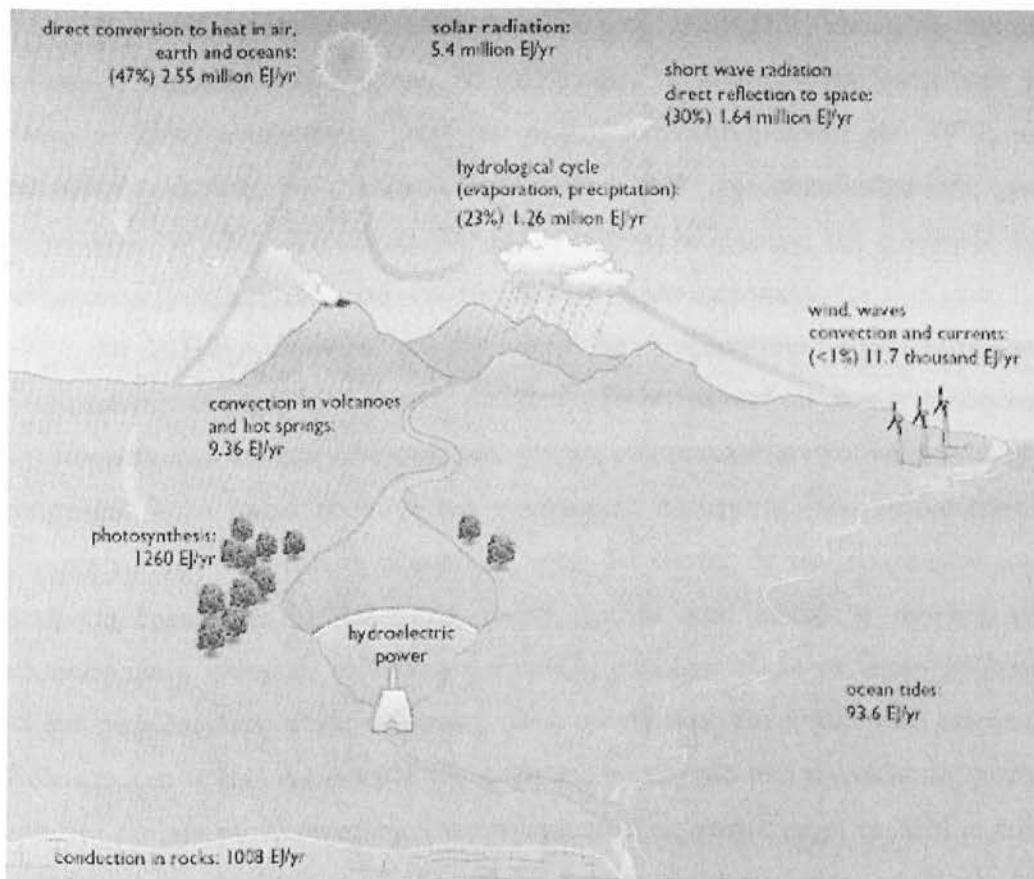


**Εικόνα 1** Η παγκόσμια παραγωγή ενέργειας για το 2000, ήταν 424 exajoules<sup>1</sup>, όπου οι Α.Π.Ε. κάλυπταν μόλις το 2,1% αυτής της παραγωγής. (United Nations, 2001)

<sup>1</sup> Exajoules = 3\*million joules



Οι Α.Π.Ε. βασίζονται ουσιαστικά στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες, η οποία εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Έτσι, η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική ενέργεια εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται από τη θέρμανση του αέρα, ενώ οι Α.Π.Ε. που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, αφού δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, συγκεκριμένα για 5 δισεκατομμύρια χρόνια ακόμα. (United Nations, 2001)



**Εικόνα 2** Όλες οι μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, εξαρτώνται από την ηλιακή ακτινοβολία, η οποία συνολικά είναι 5,4 εκατομμύρια exajoules. Από αυτό το ποσό το 30% επιστρέφεται στο διάστημα

Οι Α.Π.Ε. χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση), είτε μετατρέπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις Α.Π.Ε. είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης ενέργειας.

Το αυξημένο κόστος των νέων ενεργειακών εφαρμογών, τα τεχνικά-κατασκευαστικά προβλήματα εφαρμογής, καθώς τα συμφέροντα που θίγονται (οικονομικά και πολιτικά) από την εισαγωγή των νέων μεθόδων εμπόδισαν την ανάπτυξη του τομέα κατά ένα μέρος. Ειδικά στην Ελλάδα, που έχει μορφολογία και κλίμα κατάλληλο για νέες ενεργειακές εφαρμογές, η εκμετάλλευση αυτού του ενεργειακού δυναμικού θα συντελούσε σημαντικά στην ενεργειακή αυτονομία της χώρας. (Α.Ρόκκου & Σ. Τσιούτρα, 2010)

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των Α.Π.Ε., καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, ανακινήθηκε μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1979, και παγιώθηκε κυρίως την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων και της αλλοίωσης της ποιότητας της ανθρώπινης ζωής από τη χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας.

Οι Α.Π.Ε., ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν κατά βάση σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα, όμως, λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και προς το παρόν αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, πραγματοποιούνται βήματα για την εκτενέστερη αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών τους μειώνεται σταδιακά τα τελευταία είκοσι χρόνια και, ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται εξίσου παραδοσιακές πηγές ενέργειας, όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α., ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχει τεθεί ως στόχος μέχρι το 2020 το 60% της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα). (Α. Β. Γκίκα, 2008)

Εξάλλου, στην προώθηση των Α.Π.Ε. στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά συνέβαλε το γεγονός ότι μπορούν να συμβάλλουν στην ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, αποτελώντας την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου. Είναι προφανές ότι χώρες με μεγάλα αποθέματα στις πρωταρχικές μορφές ενέργειας έχουν συνήθως την τάση να χρησιμοποιούν αυτό το

πλεονέκτημα ως μέσο για πολιτικό και οικονομικό έλεγχο των υπολοίπων. Παράδειγμα τέτοιων συνεπειών είναι η πολιτική και οικονομική κατάσταση που έχει εδραιωθεί στη Μέση Ανατολή. Οι Α.Π.Ε., όμως, αποτελούν ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας παράλληλα την ανάγκη για τεράστιες μονάδες ενεργειακής παραγωγής, αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Ταυτόχρονα, υποβοηθείται η αποκέντρωση και η ανάπτυξη της τοπικής οικονομίας σε κάθε περιοχή όπου εγκαθίστανται τέτοιου είδους μονάδες. (Γ. Αργυρόπουλος, 1992)

Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα είναι ο απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση εξοπλισμός τους. Εξάλλου, το μηδενικό κόστος πρώτης ύλης, σε συνδυασμό με τις μικρές έως ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης που εμφανίζουν, συνεπάγεται περιορισμένο κόστος λειτουργίας. Έτσι, αντισταθμίζεται σε μεγάλο βαθμό το μέχρι σήμερα μειονέκτημα του αυξημένου κόστους που απαιτείται για την εγκατάσταση των μονάδων εκμετάλλευσής τους. (Γ. Παπανδρέου, 2011)

Παρόλα αυτά, οι Α.Π.Ε. παρουσιάζουν έναν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι απαιτείται ένα μεγάλο σύνολο εγκαταστάσεων και, άρα, ένα αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Εξαιτίας αυτού του γεγονότος, μέχρι τώρα, χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας και όχι για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των μεγάλων αστικών κέντρων

Εκτός από αυτό, η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτώνται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται. Για παράδειγμα, τα φωτοβολταϊκά πάνελ παρουσιάζουν αυξημένη ή μειωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με την ηλιοφάνεια που παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αντίθετα, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια όλης της ημέρας, αποτελεί, όμως, συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου. Για τις ανεμογεννήτριες υπάρχει επιπλέον η άποψη ότι επηρεάζουν το περιβάλλον από αισθητική άποψη και ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους, και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα), αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί. (Α. Β. Γκίκα, 2008)

Τέλος, μεγάλοι υδροηλεκτρικοί σταθμοί (ΥΗΣ) που μετατρέπουν τη δυναμική ενέργεια του τρεχούμενου νερού σε ηλεκτρική αποτελούν σημαντική εναλλακτική σε

σχέση με θερμικούς και πυρηνικούς σταθμούς, καθώς δεν παρουσιάζουν τα μειονεκτήματα των πεπερασμένων αποθεμάτων, εκπομπών ή αποβλήτων. Ωστόσο, είναι δύσκολο να ικανοποιηθεί η ζήτηση σε παγκόσμιο επίπεδο με μεγάλους ΥΗΣ, γιατί στις ανεπτυγμένες χώρες, ως επί το πλείστον, το υδραυλικό δυναμικό ήδη χρησιμοποιείται και προκειμένου να αυξηθεί το μερίδιο των ΥΗΣ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θα έπρεπε να κατασκευαστούν ΥΗΣ σε απόμακρες τοποθεσίες, οι οποίες στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δύσκολο να προσεγγιστούν. (Π. Πάτης, 2009)

Επιπλέον, η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται εξαιρετικά δύσκολη, αφενός γιατί το κόστος και η πολυπλοκότητα του συστήματος μεταφοράς αυξάνεται χάρη στις μεγάλες αποστάσεις, αφετέρου γιατί σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει να διασχιστούν πολιτικά ασταθείς περιοχές με ζωντανό τον κίνδυνο των σαμποτάζ των γραμμών μεταφοράς. Άλλωστε, η κατασκευή φραγμάτων και τεχνητών λιμνών για τους ΥΗΣ πολλές φορές προκαλεί την καταστροφή τοπικών οικοσυστημάτων, ενώ μπορεί να οδηγήσει σε αναγκαστική μετακίνηση κατοίκων. Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται, επίσης, ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό, κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Επομένως, τα μεγάλα υδροηλεκτρικά, αν και υπερέρχουν των θερμικών και πυρηνικών σταθμών ως προς το θέμα των εκπομπών και των αποθεμάτων, εν τούτοις έχουν άλλου είδους επιπλοκές, ιδιαίτερα στον περιβαλλοντικό τομέα. Αναλυτικά, τα είδη των Α.Π.Ε. είναι τα ακόλουθα:

- Αιολική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Βιομάζα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ενέργεια από παλίρροια
- Ενέργεια από θαλάσσια κύματα
- Ενέργεια από τους ωκεανούς (ακόμα στο στάδιο της έρευνας)

## 1.2 Προωθώντας τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Η κινητική ενέργεια του ανέμου ονομάζεται «αιολική ενέργεια». Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία αέριων μαζών με διαφορετικές θερμοκρασίες. Οι θερμές αέριες μάζες ως ελαφρύτερες από τις ψυχρές έχουν την τάση να απομακρύνονται από τη γη και να κατευθύνονται προς τα ανατολικά. Η μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μία περιοχή στην άλλη, δημιουργεί τους ανέμους. Η αιολική ενέργεια ανήκει στις ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεδομένου ότι αφ' ενός δε ρυπαίνει το περιβάλλον και αφ' ετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη. 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. (Δ. Μπαστάκη & Ε. Παπαδάκη, 2010)



**Εικόνα 3** Στον χάρτη φαίνονται οι άδειες για πάρκα αιολικής ενέργειας που είναι ήδη εγκατεστημένα στην Στερεά Ελλάδα καθώς και πάρκα των οποίων η κατασκευή γίνεται αυτήν την περίοδο

Στα νησιά του Αιγαίου, στην Κρήτη και στην Στερεά Ελλάδα οι μέσες ταχύτητες ανέμου είναι 6 - 7 m/sec, με αποτέλεσμα το κόστος της παραγόμενης ενέργειας να είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό, για αυτό παρατηρείται πληθώρα έργων εκμετάλλευσης στις περιοχές αυτές. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από τον άνεμο είναι σήμερα ελκυστική για πολλούς λόγους. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η πιο φτηνή απ' όλες τις υπάρχουσες ήπιες μορφές και είναι ανεξάντλητη. Η παραγωγή ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια κατά τα 20 χρόνια λειτουργίας της ισοδυναμεί με την 80πλάσια ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κατασκευή, λειτουργία και καταστροφή της όταν αυτή κριθεί ανενεργή. (Α.Ρόκκου & Σ. Τσιούτρα, 2010)

Η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου ξεκίνησε από τα πρώιμα ιστορικά χρόνια και έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας με την χρήση της τόσο στη ναυτιλία όσο και στην άρδευση, καθώς και στις αγροτικές καλλιέργειες. Κατά τη διάρκεια του 17ου αιώνα η ανακάλυψη των ατμοστρόβιλων άρχισε να αντικαθιστά τους ανεμόμυλους, οι οποίοι αποτέλεσαν τον πρόγονο της ανεμογεννήτριας, ενώ τον επόμενο αιώνα πραγματοποιήθηκε από τους Δανούς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο. (Δ. Μπαστάκη & Ε. Παπαδάκη, 2010)

Η ανταγωνιστική θέση των εφαρμογών της αιολικής ενέργειας έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας ενισχύεται και από τα οικονομικά στοιχεία για το κόστος παραγωγής ενέργειας. Το κόστος της αιολικής kWh υπολείπεται σημαντικά του κόστους των συμβατικών καυσίμων και επιπλέον το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει, κατά κάποιον τρόπο, μία «ύστερη» περίοδο ωριμότητας.

Συγκεκριμένα, η εκμετάλλευση της κινητικής ενεργείας του ανέμου γίνεται μέσω ανεμοκινητήρων που την μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια, και μέσω ανεμογεννητριών, ανεμοκινητήρων δηλαδή που διαθέτουν ηλεκτρογεννήτρια που την μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενεργεία. (Σ. Ταουλαντ, 2010)

Με βάση τα προαναφερθέντα, κύρια πλεονεκτήματα των συμβατικών μεθόδων παραγωγής είναι η τιμή του παραγόμενου ηλεκτρισμού, η ελεγχσιμότητα και η ευελιξία της εξόδου τους. Από την άλλη πλευρά, οι Α.Π.Ε. προέρχονται από πρωτογενείς πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος ή η βιομάζα, και συνοδεύονται από μικρότερες περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις. Παγκοσμίως, πολλές κυβερνήσεις έχουν την τάση να αξιολογούν καλύτερα τα οφέλη των Α.Π.Ε., υποστηρίζοντας την αύξηση του μεριδίου των τελευταίων στην κάλυψη της ζήτησης

με διάφορους τρόπους, οι οποίοι αποσκοπούν κυρίως στη μείωση του κόστους και την επίτευξη αυξημένης ελεγχιμότητας.

Το μειονέκτημα του κόστους περιορίζεται τις περισσότερες φορές με κάποια μορφή κρατικής επιχορήγησης, όπως για παράδειγμα η πίεση που ασκείται στις ηλεκτρικές εταιρείες να αγοράζουν από Α.Π.Ε. σε μία εγγυημένη τιμή που δε βασίζεται στην πραγματική τιμή της ενέργειας, αλλά η οποία υπολογίζεται έτσι ώστε η παραγωγική διαδικασία του σταθμού ανανεώσιμης πηγής ενέργειας να είναι κερδοφόρα. Διακανονισμοί σαν αυτόν θα οδηγήσουν σε μία γενική αύξηση της τιμής του ηλεκτρισμού, σαν αποτέλεσμα του οποίου όλοι οι καταναλωτές πληρώνουν το πρόσθετο κόστος του ηλεκτρισμού που παράγεται από Α.Π.Ε., εκτός εάν οι ηλεκτρικές εταιρείες είναι σε θέση να πουλήσουν αυτήν την ενέργεια σαν πράσινη ενέργεια σε μια έξτρα τιμή.<sup>2</sup> (Π. Κωνσταντέλου, 2009)

Το μειονέκτημα της μη ελεγχιμότητας αντιμετωπίζεται με την εξαίρεση αυτών των σταθμών παραγωγής από τη διαδικασία ελέγχου της ισορροπίας του συστήματος. Όλοι οι παραγωγοί που θέλουν να συνδεθούν στο δίκτυο πρέπει να πληρούν τα λεγόμενα «κριτήρια σύνδεσης» της εταιρείας που ελέγχει το δίκτυο. Αυτά περιλαμβάνουν απαιτήσεις σχετικά με την αλληλεπίδραση μεταξύ γεννήτριας και δικτύου. Για να εξασφαλιστεί η ισορροπία μεταξύ παραγωγής και ζήτησης, η οποία είναι απαραίτητη για την ισορροπία του συστήματος, μεταξύ άλλων στα παραπάνω κριτήρια περιλαμβάνεται και η δυνατότητα ελέγχου των γεννητριών. Παρ' όλα αυτά, κάποιες φορές οι Α.Π.Ε. εξαιρούνται από αυτόν τον περιορισμό που έχει να κάνει με τον έλεγχο της παραγόμενης ενέργειας.

Με αυτόν τον τρόπο, το μειονέκτημα της μη ελεγχιμότητας ακυρώνεται, τουλάχιστον από την πλευρά του παραγωγού, ο οποίος δεν είναι υποχρεωμένος να λάβει πρόσθετα μέτρα για τον έλεγχο της παραγωγής προκειμένου να συνδεθεί στο δίκτυο, π.χ. μέσω συστήματος αποθήκευσης ή εφεδρικής γεννήτριας. Στην πραγματικότητα, το πρόβλημα μεταφέρεται στους διαχειριστές των ελεγχόμενων μονάδων, καθώς η τεχνική προαπαιτία για ισορροπία μεταξύ ζήτησης και παραγωγής δεν επηρεάζεται από την αλλαγή των απαιτήσεων σύνδεσης.

---

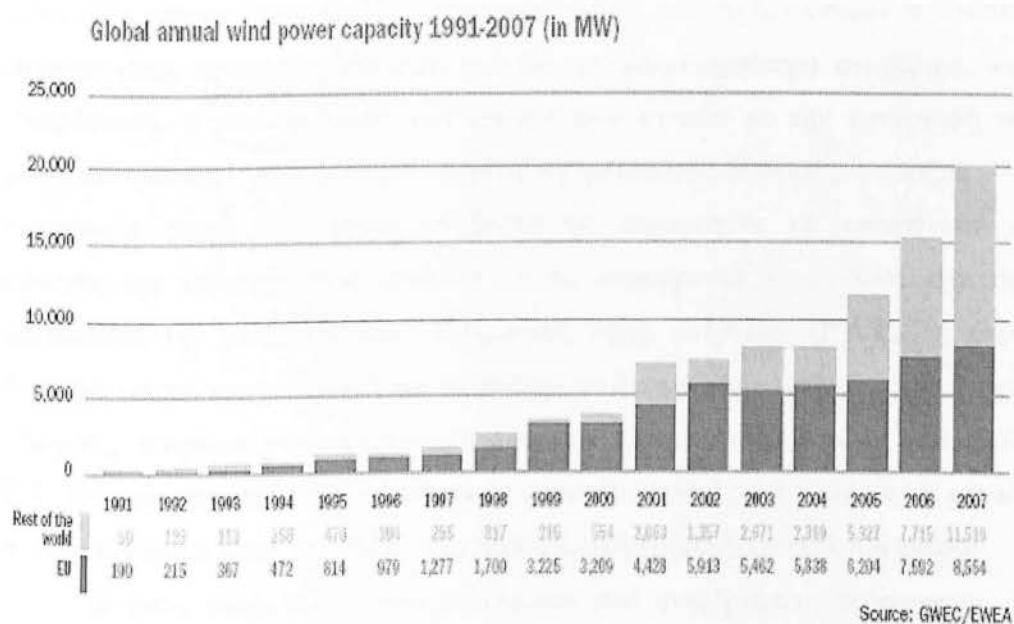
<sup>2</sup> Άλλο παράδειγμα είναι οι επιχορηγήσεις που δίνονται στους παραγωγούς, οι οποίες διαμοιράζουν την επιβάρυνση που σχετίζεται με τις Α.Π.Ε. σε όλους τους φορολογούμενους. Μια ακόμη προσέγγιση του προβλήματος αυτού είναι μέσω της αυξημένης φορολογίας των συμβατικών μεθόδων παραγωγής ηλεκτρισμού, αυξάνοντας έτσι το κόστος παραγωγής τους, και άρα κάνοντας πιο εύκολο το πεδίο ανταγωνισμού για τις Α.Π.Ε.

### 1.3 Η Αιολική Ενέργεια σαν Ανανεώσιμη Πηγή

Από όλες τις Α.Π.Ε., η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη, καθώς παρατηρείται μια συνεχής βελτίωση της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών, και επιπλέον, παράγεται ηλεκτρική ενέργεια σε τιμές συγκρίσιμες με αυτές των συμβατικών μονάδων και σε μεγάλες σχετικά ισχύεις. Για το λόγο αυτό, η προώθηση από πολλές κυβερνήσεις των Α.Π.Ε., οδήγησε σε μεγάλη αύξηση την παραγωγή από αιολική ενέργεια στην Ευρώπη και τον υπόλοιπο κόσμο.

Από τα μέσα της δεκαετίας του 1970, οπότε άρχισε η εγκατάσταση των πρώτων ανεμογεννητριών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μέχρι και τα τέλη του 2004, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σε όλο τον κόσμο προσέγγισε τα 50000 MW. Από αυτά, τα 34205 MW, βρίσκονταν στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

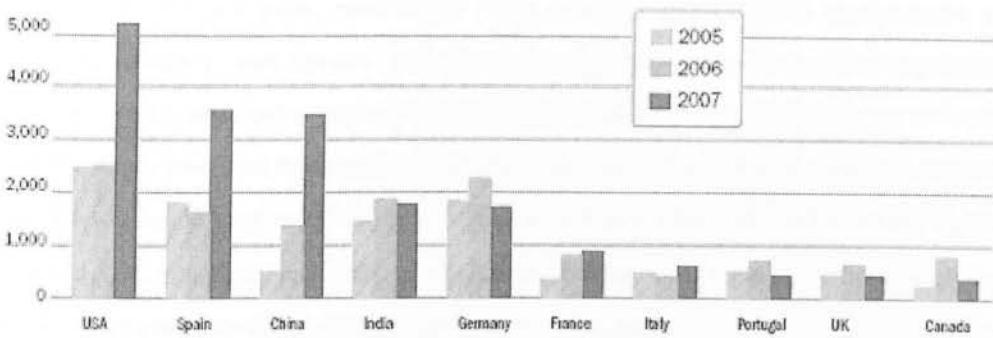
Το 1994, οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης ξεπέρασαν τις Η.Π.Α. σε συνολική εγκατεστημένη ισχύ, με πρωτοπόρες τη Δανία, την Ολλανδία και την Αγγλία. Η Γερμανία εισήλθε δυναμικά στο χώρο και, από 60 MW το 1990, έφθασε τα 16629 MW εγκατεστημένης ισχύος στα τέλη του 2004. Μεγάλη πρόοδο σημείωσε σταδιακά και η Ισπανία, η οποία κατόρθωσε να εγκαταστήσει 8263 MW μέχρι το τέλος του 2004. Στις Η.Π.Α. υπολογίζεται ότι μέχρι το 2005 είχαν εγκατασταθεί 6.8 GW αιολικής ισχύος, ενώ στην Αυστραλία η αιολική παραγωγή σχεδόν διπλασιάστηκε από τα 198 MW το 2003 στα 380 MW στο τέλος του 2004.



Εικόνα 4 Παγκόσμια ετήσια εγκατεστημένη αιολική ισχύς τη δεκαετία 1991-2007



Top 10 annual markets in the world (MW)



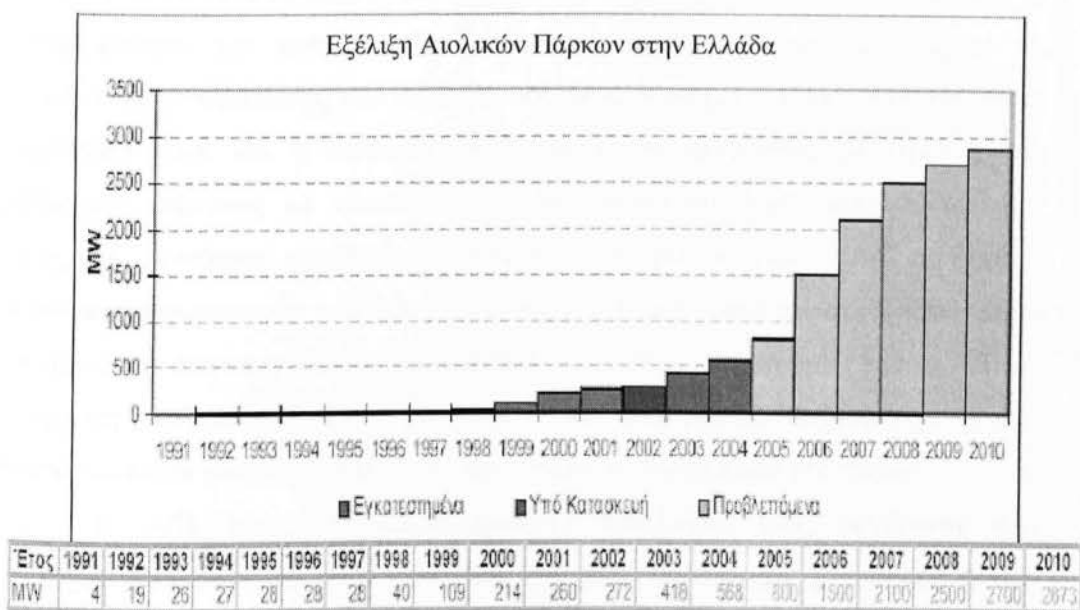
Source: EWEA/GWEC

**Εικόνα 5** Οι μεγαλύτερες αγορές στον κόσμο στον τομέα της αιολικής ισχύος το έτος 2007

Στην Ελλάδα, όπου λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού που διαθέτει η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει σημαντικό μοχλό για την ανάπτυξή της, η κατάσταση δεν είναι αρκετά ικανοποιητική. Παρά το μεγάλο αιολικό δυναμικό που έχει η χώρα μας, μόνο το 1.7% της συνολικής απαιτούμενης ενέργειας καλύφθηκε το 2003 από αιολική παραγωγή. Μετά την υπογραφή του Κιότο το Δεκέμβριο του 1997, η Ελλάδα, ως μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ακολουθεί πλέον την ευρωπαϊκή πολιτική όσον αφορά την εκπομπή αερίων που είναι υπεύθυνα για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Κύριος στόχος είναι η επίτευξη ποσοστού 20% διείσδυσης Α.Π.Ε. στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι και το 2010. Για το λόγο αυτό δίνεται πληθώρα κινήτρων στους ανεξάρτητους παραγωγούς, μεταξύ των οποίων επενδυτικές επιχορηγήσεις, εγγυημένη σύνδεση στο δίκτυο, μακροπρόθεσμα συμβόλαια, κτλ. Επιπρόσθετα, η απελευθέρωση των ενεργειακών αγορών με την κατάργηση του καθετοποιημένου συστήματος παραγωγής-μεταφοράς-διανομής παρέχει τη δυνατότητα στους υποψήφιους ανεξάρτητους παραγωγούς να επενδύσουν σε περιοχές της επιλογής τους ανάλογα με τα συμφέροντά τους. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την κατάθεση στην Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.), η οποία ιδρύθηκε για να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία ολόκληρης της αγοράς ενέργειας, αιτήσεων για εγκατάσταση αιολικών πάρκων, ισχύος πάνω από 13000 MW. Οι περισσότερες αιτήσεις από αυτές αφορούν περιοχές της Ελλάδας με μεγάλο αιολικό δυναμικό, όπως η Εύβοια, η νοτιοανατολική Πελοπόννησος και η Θράκη.

Ωστόσο, παρά το τεράστιο ενδιαφέρον από ανεξάρτητους παραγωγούς, το αιολικό δυναμικό της χώρας μας παραμένει σε μεγάλο βαθμό ανεκμετάλλευτο. Κύρια

εμπόδια αποτελούν αφενός οι χρονοβόρες και επίπονες διαδικασίες έκδοσης αδειών εγκατάστασης (που κυρίως οφείλονται στην έλλειψη χωροταξικού σχεδιασμού και στην μη επαρκή στελέχωση και εκπαίδευση των αρμόδιων περιφερειακών υπηρεσιών) και, αφετέρου, νομικά ζητήματα που οφείλονται σε αντιδράσεις πολιτών, οι οποίες πηγάζουν από την εν γένει ελλιπή ενημέρωσή τους. Από τεχνικής απόψεως, περιορισμοί διείσδυσης αιολικής ισχύος δημιουργούνται από τα όρια μεταφερόμενης ισχύος στην ενδοχώρα και από τα όρια διείσδυσης στα νησιά. Έτσι, η παρούσα συνολική αιολική διείσδυση είναι μικρή. (Α. Β. Γκίκα, 2008)



**Εικόνα 6** Εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων στην Ελλάδα και εκτίμηση της εξέλιξης έως το έτος 2010. Μετά το 1998 πραγματοποιείται μία ραγδαία αύξηση των εγκατεστημένων αιολικών πάρκων, ενώ η πρόβλεψη για την εξέλιξή τους είναι αρκετά ευοίωνη

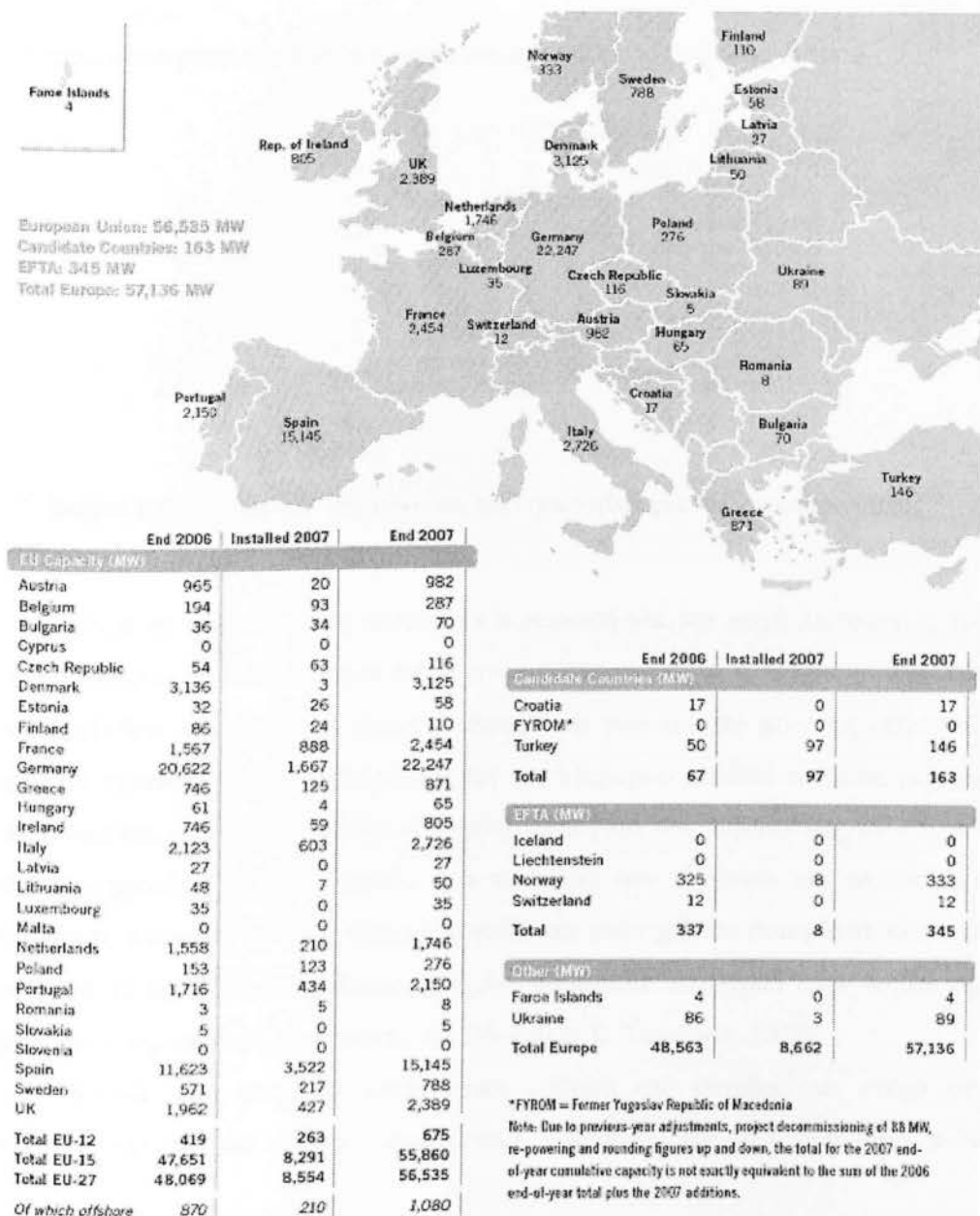
Η αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα (Α/Π) έχει οδηγήσει σε μερικές χώρες στην υψηλή διείσδυση της αιολικής ενέργειας στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Τέτοια υψηλή διείσδυση έχει παρατηρηθεί τα τελευταία 5 χρόνια σε χώρες, όπως η Γερμανία, η Δανία και η Ισπανία (χώρες με υψηλό αιολικό δυναμικό και μεγάλη ευαισθησία στην εκμετάλλευση των Α.Π.Ε.). Στο σχήμα (1.5) που ακολουθεί φαίνεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς σε κάθε ευρωπαϊκή χώρα το έτος 2007. Όσο οι διεισδύσεις αιολικής ισχύος στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας ήταν ακόμα χαμηλές, τα Α/Π αντιμετωπιζόνταν σαν αρνητικά

φορτία, χωρίς ουσιαστική επίδραση στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Στη σημερινή πραγματικότητα όμως, δίνεται περισσότερη προσοχή στην αλληλεπίδραση των Α/Π με τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό οφείλεται στις διαφορές που παρουσιάζουν τα Α/Π σε σχέση με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής.

Κύρια διαφοροποίηση των αιολικών πάρκων από τους συμβατικούς σταθμούς είναι ότι η πηγή ενέργειας, ο άνεμος, είναι μεταβαλλόμενη και δύσκολα προβλέψιμη. Έτσι, η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς είναι συνάρτηση της τυχαίας ταχύτητας του ανέμου. Αντίθετα, οι συμβατικοί σταθμοί μπορούν με ρυθμιστές στροφών να ελέγχουν τη ροή του καυσίμου, και άρα και την παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύος. Η μεταβλητότητα του ανέμου και η δυσκολία πρόβλεψής του επηρεάζουν τη δυνατότητα ενσωμάτωσης των Α/Π στα σημερινά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Σημαντική είναι και η διαφορά όσον αφορά την τεχνολογία μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Οι συμβατικοί σταθμοί αποτελούνται από σύγχρονες γεννήτριες απευθείας συνδεδεμένες στο δίκτυο, ενώ οι Α/Γ σε μεγάλο ποσοστό χρησιμοποιούν ασύγχρονες γεννήτριες που συνδέονται στο δίκτυο μέσω μετατροπέων αποτελούμενων από ηλεκτρονικά ισχύος. Ακόμη όμως και οι Α/Γ με σύγχρονη γεννήτρια συνδέονται στο δίκτυο μέσω ηλεκτρονικών ισχύος, γεγονός που διαφοροποιεί τα χαρακτηριστικά τους από αυτά των συμβατικών γεννητριών.

Τα Α/Π, λόγω της απομακρυσμένης τοπολογίας τους, συνδέονται στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας συνήθως με ασθενείς γραμμές μεταφοράς ή στο δίκτυο μέσης τάσης. Αυτό δημιουργεί επιπρόσθετες δυσκολίες στην διασύνδεση των Α/Π, καθώς έχει συνέπειες σε θέματα αστάθειας τάσης από άποψη αξιοπιστίας. Αξίζει να σημειωθεί, βέβαια, ότι τα μελλοντικά αιολικά πάρκα αναμένεται να τοποθετούνται κυρίως στη θάλασσα (off-shore wind farms). Το βασικό πλεονέκτημα των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, σε σχέση με τα συμβατικά που τοποθετούνται στην ξηρά, είναι ότι το αιολικό δυναμικό είναι εν γένει υψηλότερο, ενώ παράλληλα η τύρβη είναι χαμηλότερη. Η απόσταση ανάμεσα στο αιολικό πάρκο και το σημείο σύνδεσης στην ξηρά μπορεί να κυμαίνεται από λίγα χιλιόμετρα έως αρκετές δεκάδες χιλιόμετρα. Στην περίπτωση συνδέσεων με αγωγούς AC, η χωρητική φόρτιση λαμβάνει τόσο μεγάλες τιμές, ώστε αυτή η παράμετρος να περιορίζει το μήκος της σύνδεσης. Πρακτικά, αυτό σημαίνει ότι η μεταφορά ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις υποθαλάσσια, χωρίς τη δυνατότητα αντιστάθμισης ισχύος, είναι δυνατή μόνο με DC συνδέσεις. Συνεπώς, αφού η χρήση DC σύνδεσης είναι επιβεβλημένη για τέτοια συστήματα, η χρήση όσο το δυνατόν περισσότερων συσκευών DC στο σύστημα είναι

προτιμότερη, ως προς τις απώλειες, την πολυπλοκότητα και το κόστος. Αυτός ο τρόπος σύνδεσης επιτρέπει επιπλέον τον ανεξάρτητο έλεγχο της κάθε ανεμογεννήτριας με σκοπό, είτε την απόδοση μέγιστης ισχύος (Maximum Power Point Tracking), είτε την παροχή σταθερής ισχύος στο δίκτυο. Ακόμα, είναι δυνατή η ρύθμιση του συνολικού συντελεστή ισχύος του πάρκου, ιδιότητα ιδιαίτερα σημαντική, καθώς οι κανόνες διασύνδεσης απαιτούν τη δυνατότητα προσφοράς αέργου ισχύος ανάλογα με τη ζήτηση ισχύος και το επίπεδο της τάσης στο δίκτυο.

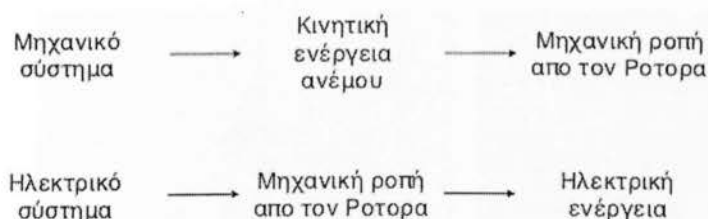


Εικόνα 7 Εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ευρώπη στα τέλη του έτους 2007

## 2. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

### 2.1 Αρχή Λειτουργίας Ανεμογεννήτριας

Η λειτουργία της Α/Γ βασίζεται σε δύο συστήματα μετατροπής ηλεκτρικής ενέργειας. Το μηχανικό σύστημα, το οποίο μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ροπή στον ρότορα. Το ηλεκτρικό σύστημα, στο οποίο η γεννήτρια μετατρέπει τη μηχανική ροπή του ρότορα σε ηλεκτρική ενέργεια.



**Εικόνα 8** Απλοποιημένο μηχανικό και ηλεκτρικό σύστημα της ανεμογεννήτριας

Παρά το γεγονός ότι η παραπάνω περιγραφή για την αρχή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας φαίνεται αρκετά απλή, στην πραγματικότητα η Α/Γ παραμένει ένα αρκετά σύνθετο σύστημα στο οποίο συνδυάζονται γνώσεις από πολλούς επιμέρους τομείς. Ο σχεδιασμός και η βελτιστοποίηση των πτερυγίων απαιτεί σύνθετες γνώσεις αεροδυναμικής: η δομή του άξονα οδήγησης καθώς και του πύργου της Α/Γ απαιτεί γνώσεις μηχανολογικές και δομικές, ενώ το τμήμα των ελεγκτών και το σύστημα προστασίας απαιτούν γνώσεις ηλεκτρολογικές και συστημάτων αυτομάτου ελέγχου. Δύο μεγάλες τεχνολογικές βελτιώσεις έχουν πρόσφατα επιτευχθεί στον τομέα της τεχνολογίας της αιολικής παραγωγής. (Α.Ρόκκου & Σ. Τσιούτρα, 2010)

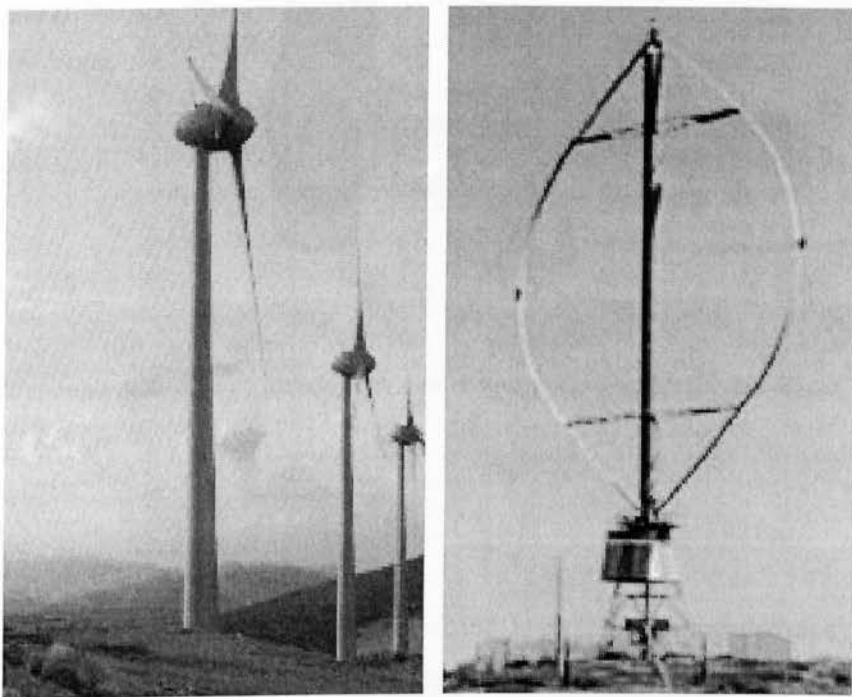
Αρχικά, έχει γίνει μία καθοριστική αύξηση στο μέγεθος<sup>3</sup> με στόχο την περαιτέρω μείωση του κόστους παραγωγής: ο δρομέας της Α/Γ έχει γίνει πολύ

<sup>3</sup> Η τάξη μεγέθους και γενικά της εγκατάστασης έχει ήδη αυξηθεί. Η τάση είναι να κατασκευάζονται αιολικά πάρκα, αντί για μεμονωμένες Α/Γ ή μικρές ομάδες Α/Γ. Μερικές φορές αυτά τα αιολικά πάρκα κατασκευάζονται όπως προαναφέρθηκε σε παράκτιες εγκαταστάσεις. Οι λόγοι που οι Α/Γ οργανώνονται σε αιολικά πάρκα είναι κατ' αρχάς γιατί έτσι χρησιμοποιούνται σε μεγάλο

μεγάλος και παράλληλα το τυπικό μέγεθος της κατασκευής. Για σύγχρονες Α/Γ της τάξης των MW, τόσο το ύψος του θαλάμου, όσο και η διάμετρος του δρομέα φτάνουν τα 120m.

Οι σύγχρονες τουρμπίνες αιολικής ενέργειας ταξινομούνται σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με την ροή του ανέμου, σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικας και στις οποίες ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται ώστε να βρίσκεται παράλληλα προς τον άνεμο
- Τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός



**Εικόνα 9** Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα με τρία πτερύγια που λειτουργούν με πνοή ανέμου προς τα πάνω, “upwind”, και κατακόρυφου άξονα όπως το μοντέλο Darrieus, Ο σωληνωτός πύργος, αν και δαπανηρότερος του δικτυωτού, προτιμάται διότι προστατεύει κατά την άνοδο προς το θάλαμο για εργασίες συντήρησης.

---

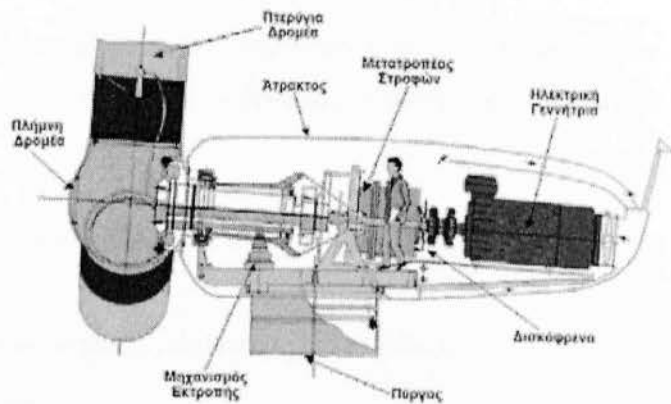
βαθμό τοποθεσίες με καλή αιολική συμπεριφορά και, επίσης, η οπτική ενόχληση από τις Α/Γ περιορίζεται σε συγκεκριμένες περιοχές. (Δ. Αλιπραντής, 1999)

## 2.2 Μηχανικό Σύστημα Ανεμογεννήτριας

Μια ανεμογεννήτρια αποτελείται από τα κύρια μέρη, όπως αυτά εμφανίζονται στον ακόλουθο πίνακα. Αναλυτικά παρουσιάζονται στις υποενότητες που ακολουθούν.

### Πίνακας 1 Τα κύρια μέρη της ανεμογεννήτριας

- i. Τον Πύργο
- ii. Τον Θάλαμο
- iii. Τα Ηλεκτρονικά Συστήματα Ελέγχου Ασφαλούς Λειτουργίας
- iv. Τη Γεννήτρια
- v. Το Ρότορα
- vi. Το Σύστημα Πέδησης
- vii. Το Κιβώτιο Ταχυτήτων
- viii. Τα Πτερύγια



Εικόνα 10 Σχεδιάγραμμα με όλα τα μηχανικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα

### 2.2.1 Ρότορας

Ο Ρότορας μπορεί να είναι μονόπτερος, δίπτερος, τρίπτερος (το συνηθέστερο) ή πολύπτερος<sup>4</sup>. Οι τρίπτερες ανεμογεννήτριες έχουν καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα από τις μονόπτερες και τις δίπτερες και υφίστανται σταθερότερη καταπόνηση. Σε σχέση με τις πολύπτερες αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες περιστροφής και υφίστανται μικρότερη ώση από τον άνεμο. (Α. Β. Γκίκα, 2008)

Ο άξονας της ανεμογεννήτριας κατασκευάζεται από ενισχυμένο χάλυβα, έτσι ώστε να μεταφέρει τις ισχυρές μη μόνιμες ροπές, ενώ η έδραση του γίνεται συνήθως

<sup>4</sup> Η περίπτωση του πολύπτερου εφαρμόζεται κυρίως σε ανεμοκινητήρες που χρησιμοποιούνται για άντληση από γεωτρήσεις όπου χρειάζεται μεγάλη ροπή με ήπιους ανέμους (μικρή ταχύτητα περιστροφής).

σε δύο έδρανα ικανά να αντέχουν τόσο το βάρος του άξονα όσο και τα εξασκούμενα φορτία από την κινητική ενέργεια που μεταδίδεται μέσω των πτερωτών.

Στα αεροδυναμικά πάρκα οι Α/Γ στρέφονται με ταχύτητα ακροπτερυγίου στην περιοχή 50-70 m/s. Σε αυτήν την ταχύτητα οι τρίπτερες δίνουν την καλύτερη απόδοση αν και οι δίπτερες έχουν μόλις 2% λιγότερη απόδοση. Άλλωστε στην περίπτωση του μικρότερου αριθμού πτερυγίων θα απαιτηθεί μεγαλύτερος ρυθμός περιστροφής, μεγαλύτερη ταχύτητα ακροπτερυγίου και επομένως περισσότερος θόρυβος και φθορά. Επίσης, οι τρίπτερες έχουν καλύτερο αισθητικό αποτέλεσμα ενώ και η καταπόνηση είναι σταθερότερη ώστε υπάρχουν και άλλοι λόγοι (κυρίως αξιοπιστίας) που συγκλίνουν προς την εφαρμογή τους. (Δ. Αλιπραντής, 1999)

Το πηλίκο της συνολικής επιφάνειας των πτερυγίων προς την επιφάνεια που σαρώνει κατά την περιστροφική του κίνηση ο δρομέας ορίζεται ως στερεότητα (solidity):

$$S = n \times A_{\pi\tau} / (\pi d^2/4)$$

όπου :

- S η στερεότητα (αδιάστατο μέγεθος, μικρότερο της μονάδας),
- n ο αριθμός των πτερυγίων,
- $A_{\pi\tau}$  η επιφάνεια κάθε πτερυγίου ( $m^2$ ) και
- d η διάμετρος του δρομέα (m).

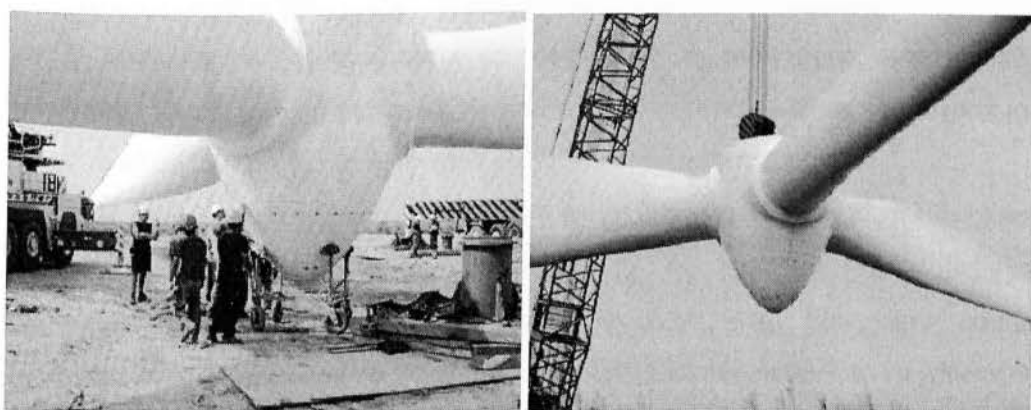
Στην ακραία περίπτωση όπου η στερεότητα προσεγγίζει τη μονάδα (περίπτωση περιστρεφόμενου δίσκου), τότε ασκείται η μέγιστη ώση στην ανεμογεννήτρια.

### 2.2.2 Πτερύγια Ρότορα

Τα πτερύγια κατασκευάζονται συνήθως από πλαστικό (πολυεστερική ρητίνη) ενισχυμένο με υαλονήματα (GRP), αν και έχουν επίσης εφαρμοσθεί ξύλο, CFRP (πλαστικό ενισχυμένο με ανθρακονήματα), χάλυβας και αλουμίνιο. Στο πτερύγιο μπορεί να ενσωματώνεται η αντικεραυνική προστασία. Το πτερύγιο μπορεί να επικαλύπτεται με ένα λείο στρώμα γέλης για προστασία σε υπεριώδη ακτινοβολία. Τα πτερύγια μπορούν να έχουν σταθερό βήμα, οπότε η πέδηση σε υψηλές ταχύτητες γίνεται αεροδυναμικά (βλ. παρακάτω), ή μεταβλητό βήμα ή τέλος μπορεί να



περιστρέφεται το ακροπτέρυγο (flap). Στις τελευταίες περιπτώσεις το πτερύγιο ή το ακροπτέρυγο μπορεί να στρέφει κατά + 6 έως -90 μοίρες έξω από το επίπεδο του δρομέα, και ελέγχεται από σύστημα σύνδεσης με υδραυλικό ενεργοποιητή (σερβομηχανισμός) που βρίσκεται στο θάλαμο. Με την τεχνική αυτή διατηρείται σταθερά η ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας, η βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής απόδοσης των πτερυγίων, ο έλεγχος της παραγόμενης ισχύος και ο περιορισμός των δυνάμεων που καταπονούν τα πτερύγια. Τα μεγέθη των πτερυγίων ποικίλλουν από 60 cm – 100,4 m, με ισχύ από 50 W έως 3 MW, ενώ η ταχύτητα περιστροφής κυμαίνεται από 50 m/s έως 100 m/s.



**Εικόνα 11** Εργασίες σύνδεσης ρότορα ανεμογεννήτριας V80 (2MW) Vestas

### 2.2.3 Πλήμνη

Η πλήμνη κατασκευάζεται συνήθως από χυτό όλκιμο σίδηρο και προσαρμόζει κατευθείαν στον άξονα του δρομέα. Τα μέτωπα επαφής των πτερυγίων κατασκευάζονται με κοιλώματα και οπές για τις βίδες, που μπορεί να είναι σε μορφή σχισμών ώστε να επιτρέπουν τη βελτιστοποίηση της γωνίας βήματος κατά τη συναρμολόγηση και κατά τις μετέπειτα εργασίες συντήρησης και επισκευής. Στις μεγάλες Α/Γ προβλέπεται η δυνατότητα πρόσβασης στο



**Εικόνα 12** Πλήμνη ανεμογεννήτριας V80 (2MW)

εσωτερικό της πλήμνης, για την εξέταση και συντήρηση της διασύνδεσης των ακροπτερυγίων και των κοχλίων στήριξης των πτερυγίων. (Vestas, 2007)

#### **2.2.4 Ηλεκτρική Γεννήτρια (Generator)**

Για την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιούνται κυρίως σύγχρονες και ασύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος και σπανίως ηλεκτρικές γεννήτριες συνεχούς ρεύματος. Η απλότητα στην κατασκευή και η ευκολία με την οποία συνδέεται στο δίκτυο η ασύγχρονη γεννήτρια, είναι το πλεονέκτημα της.

Μπορούν να χρησιμοποιούνται σύγχρονες ή ασύγχρονες (επαγωγικές) γεννήτριες. Οι σύγχρονες γεννήτριες είναι λίγο πιο αποδοτικές από τις επαγωγικές και έχουν το πλεονέκτημα της δυνατότητας ελέγχου της αέργου ισχύος τους.

Η θερμοκρασία της γεννήτριας ελέγχεται με αισθητήρες (στις περιελίξεις) που παρέχουν άμεση ανάγνωση της θερμοκρασίας στην οθόνη του ελεγκτή και βεβαίως ένα σήμα για αυτόματο κλείσιμο της ανεμογεννήτριας, όταν ξεπερνιέται κάποιο συγκεκριμένο όριο θερμοκρασίας, που μπορεί να έχει προκαθορισθεί από το χρήστη.

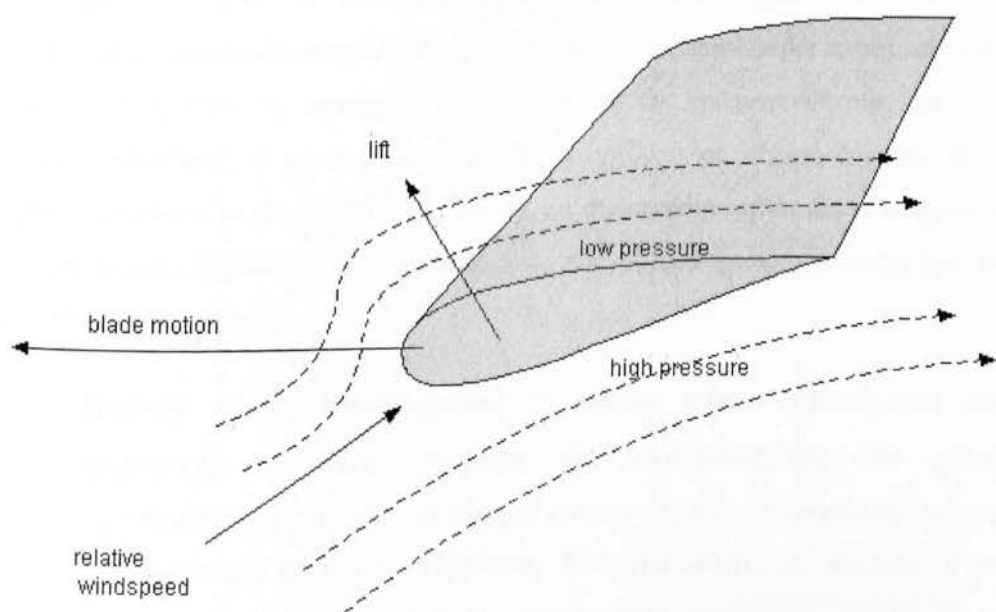
Η γεννήτρια ψύχεται με θερμοστατικά ελεγχόμενο ανεμιστήρα ο οποίος προμηθεύει αέρα περιβάλλοντος στο στέγαστρο της, όποτε απαιτείται. Ο αέρας ψύξης διοχετεύεται στον ανεμιστήρα της γεννήτριας μέσω αεραγωγών στο εμπρόσθιο τμήμα του θαλάμου. Τόσο στην είσοδο αέρα στο εμπρόσθιο τμήμα όσο και στην έξοδό του στο οπίσθιο τμήμα του θαλάμου, υπάρχουν συνήθως ανακλαστές για την απορρόφηση του θορύβου. Το σύστημα προσαγωγής / απαγωγής εμποδίζει τον αέρα ψύξης να ανακυκλοφορεί και επιπλέον μειώνει τη δια του αέρα μετάδοση του θορύβου που παράγεται από τη μηχανή. (Γ.Αργυρόπουλος, 1992)

#### **2.2.5 Σύστημα Προσανατολισμού**

Το σύστημα προσανεμισμού λειτουργεί ηλεκτρικά, και οδηγείται από τον ελεγκτή της ανεμογεννήτριας με βάση πληροφορίες που καταφθάνουν από τον ανεμοδείκτη που είναι εγκατεστημένος στην κορυφή του θαλάμου. Το σύστημα προσανεμισμού συνίσταται από το κατάστρωμα προσανεμισμού που είναι κατασκευασμένο από όλκιμο σίδηρο, έναν δακτύλιο περιστροφής με γρανάζι στο

εσωτερικό του, μία ή δύο ηλεκτρικές μονάδες οδήγησης του συστήματος προσανεμισμού και ένα ρυθμιζόμενο σύστημα τριβής για να αποσβένει τις περιττές κινήσεις προσανεμισμού. Το πλήρες σύστημα εφαρμόζει σε ένα κυλινδρικό κολάρο στην κορυφή του πύργου. Αν και φαίνεται απλό, το σύστημα προσανεμισμού αποδείχθηκε από τα δυσκολότερα τμήματα που πρέπει να σχεδιασθούν σε μια ανεμογεννήτρια, καθώς δεν μπορούν να προβλεφθούν με ακρίβεια τα φορτία του, ειδικότερα σε συνθήκες τυρβώδους ανέμου. (Δ. Αλιπραντής, 1999)

The lift force on an aerodynamic profile or wing



**Εικόνα 13** Η παρεμβολή του περύγιου της ανεμογεννήτριας στην κίνηση του αέρα, δημιουργεί την διάσπαση του σε δύο κύματα που κινούνται με διαφορετική ταχύτητα.

Ο προσανατολισμός του ρότορα κάθετου προς την μέση διεύθυνση του ανέμου είναι σημαντικός για δυο λόγους :

- i. Μεγιστοποιείται η παραγωγή ενέργειας
- ii. Ελαχιστοποιούνται τα φορτία στον ρότορα

Οι περισσότερες ανεμοτουρμπίνες οριζόντιου άξονα έχουν ενεργό έλεγχο εκτροπής. Η κατεύθυνση του ανέμου μετρείται και συγκρίνεται με τη θέση του ρότορα. Αν ο ρότορας δεν είναι κάθετος στην κατεύθυνση του ανέμου, το σύστημα ελέγχου δίνει σήμα στον κινητήρα εκτροπής να περιστρέψει το ατρακτίδιο.

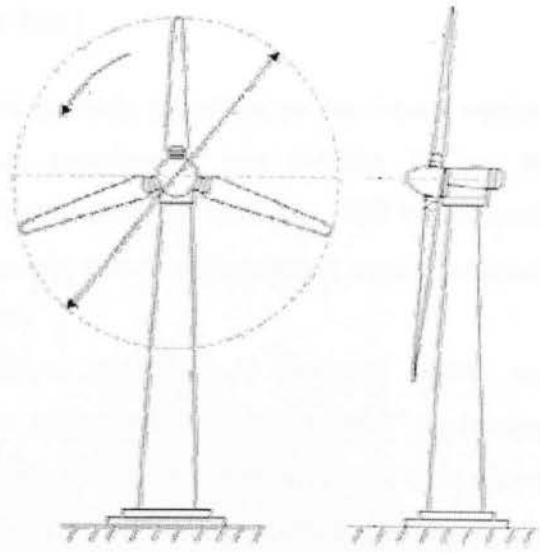
## 2.2.6 Πύργος Στήριξης (Tower)

Μπορεί να εφαρμόζεται είτε πύργος δικτύωματος ή πύργος σωληνωτού τύπου, ανάλογα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης και με τα εφαρμοζόμενα οικονομικά κριτήρια. Ο κάθε πύργος έχει τα πλεονεκτήματά του. Ο τύπου δικτύωματος είναι πλέον οικονομικός, ενώ ο σωληνωτός προσφέρει προστασία στους εργαζόμενους κατά τη συντήρηση και επισκευή της ανεμογεννήτριας σε κακές καιρικές συνθήκες. Ο πύργος θα πρέπει να στηρίζεται σε ισχυρή έδραση, και να σχεδιάζεται ώστε οι ιδιοσυχνότητες του να μη συμπίπτουν με αυτές που επάγονται από το δρομέα. Ως δύσκαμπος ορίζεται ένας πύργος που η ιδιοσυχνότητα του είναι πάνω από του πτερυγίου.

**Πύργος τύπου δικτύωματος** Ο πύργος τύπου δικτύωματος είναι συμβατικής τριγωνικής στήριξης και κατασκευάζεται από χάλυβα κατασκευών. Τα στοιχεία του πύργου είναι συνήθως γαλβανισμένα εν θερμώ για προστασία κατά της διάβρωσης. Κλίμακα οδηγεί σε πλατφόρμα που βρίσκεται ακριβώς κάτω από την κορυφή του πύργου, για συντήρηση και επισκευή του δακτύλιου περιστροφής και για εύκολη πρόσβαση στο στέγαστρο του θαλάμου.

**Πύργος σωληνωτού τύπου** Ο πύργος σωληνωτού τύπου μπορεί να κατασκευάζεται από τσιμέντο ή από χαλυβδόφυλλα σε ένα ή περισσότερα τμήματα. Στη δεύτερη περίπτωση εφαρμόζονται συγκολλήσεις σε αυτόματα ελεγχόμενες μηχανές συγκόλλησης, ενώ οι επιφάνειες υπόκεινται αμμοβολή και πολυστρωματική επικάλυψη για προστασία κατά της διάβρωσης. Η πρόσβαση στην ανεμογεννήτρια γίνεται μέσω χαλύβδινης θύρας που κλειδώνει και βρίσκεται στη βάση του πύργου και μιας εσωτερικής κλίμακας που οδηγεί στο στέγαστρο του θαλάμου. Συνήθως αποτελείται από δύο ή τρία συνδεδεμένα τμήματα.

Αυτός που έχει επικρατήσει είναι ο σωληνωτός πύργος στήριξης, καθώς στο εσωτερικό του πύργου γίνεται στέγαση μερικών οργάνων της ανεμογεννήτριας και βέβαια εκεί υπάρχει μια εσωτερική σκάλα ή και ασανσέρ πρόσβασης στο κουβούκλιο όπου και βρίσκεται η καρδιά της μηχανής.



**Εικόνα 14** Α/Γ οριζόντιου άξονα

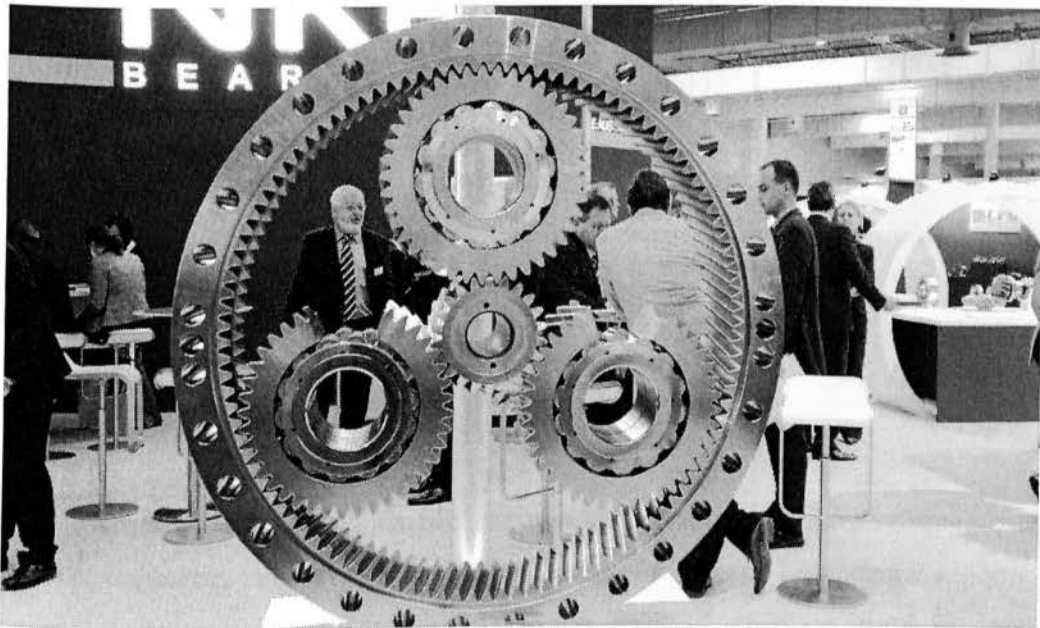


**Εικόνα 15** Vestas V80 σύνδεση τμημάτων ανεμογεννήτριας

## 2.2.7 Κιβώτιο Ταχυτήτων (Gear box)

Τα γρανάζια συνδέουν τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνουν τις ταχύτητες περιστροφής από περίπου 30 έως 60 περιστροφές το λεπτό (rpm: περιστροφή ανά λεπτό) σε 1000 έως 1800 περιστροφές το λεπτό, που είναι η ταχύτητα περιστροφής που οι περισσότερες ανεμογεννήτριες απαιτούν ώστε να παραγάγουν ηλεκτρισμό.

Το σύστημα κίνησης περιλαμβάνει υδραυλικό ή μηχανικό φρένο και ελαστικούς συνδέσμους απορρόφησης ταλαντώσεων. Στη συνήθης περίπτωση ύπαρξης μηχανικού φρένου της ανεμογεννήτριας αυτό τοποθετείται είτε στον άξονα υψηλής ταχύτητας περιστροφής οπότε απαιτείται μικρή σχετικά δύναμη ροπής πέδησης<sup>5</sup>, είτε στον άξονα χαμηλής ταχύτητας περιστροφής. Στην τελευταία περίπτωση λόγω της μεγάλης ροπής πέδησης απαιτείται φρένο αυξημένων διαστάσεων, βάρους και κόστους. Στην περίπτωση όμως αυτή προστατεύεται καλύτερα η πτερωτή και το κιβώτιο μετάδοσης, γι' αυτό και αποτελεί τη βέλτιστη τεχνικά λύση.



Εικόνα 16 Σύστημα γραναζιών που χρησιμοποιούνται σε ανεμογεννήτριες

<sup>5</sup> Στην περίπτωση αυτή δεν καλύπτεται η πτερωτή από απώλεια φορτίου ή θραύση του συστήματος μετάδοσης κίνησης.

Η εταιρεία κατασκευής ανεμογεννητριών Enercon πλεονεκτεί έναντι των άλλων εταιρειών διότι έχει αναπτύξει τεχνολογία στην οποία επιτυγχάνεται η απευθείας σύζευξη του ρότορα με τη γεννήτρια χωρίς την ύπαρξη κιβωτίου ταχυτήτων. Ως αποτέλεσμα επιτυγχάνεται 40 φορές μικρότερη ταχύτητα περιστροφής το οποίο συνεπάγεται μικρότερες καταπονήσεις για το σύστημα. Επιπρόσθετα μειώνεται ο συντελεστής τριβής, ο θόρυβος και οι εργασίες συντήρησης. (Σ. Παπαθανασίου, 1997)

### **2.2.8 Μείωση – Απόρριψη Ισχύος**

Η μείωση ή η απόρριψη παραγωγής από την γεννήτρια, υλοποιείται με την ρύθμιση της γωνίας προσβολής των πτερυγίων, μέσω του συστήματος αυτόματου ελέγχου και ρυθμίσεως. Η ρύθμιση βελτιστοποιεί την παραγωγή ισχύος και τα επίπεδα θορύβου. Η κατασκευάστρια εταιρεία Vestas εφοδιάζει τις ανεμογεννήτριες της με το ειδικό σύστημα της YE5TA5 OptiTip®, το οποίο ρυθμίζει το βήμα των φτερών. (Vestas, 2007)

### **2.2.9 Ανιχνευτής Ταλάντωσης**

Ο ανιχνευτής ταλάντωσης αναγνωρίζει μεγάλες ταλαντώσεις της ατράκτου και ενεργοποιεί τη διαδικασία άμεσης παύσης λειτουργίας με γρήγορη ρύθμιση της γωνίας των πτερυγίων. (M. Ντρέκο, 2009)

### **2.2.10 Σύστημα Πέδησης**

Το σύστημα πέδησης εφαρμόζεται για προστασία της ανεμογεννήτριας στις υψηλές ταχύτητες, για έλεγχο ή και για εργασίες συντήρησης. Το σύστημα πέδησης μπορεί να συμπεριλαμβάνει αεροδυναμικό και μηχανικό σύστημα ασφαλείας, που συνίστανται από : μερικό έλεγχο του ανοίγματος (πτερύγιο, μεταπτερύγιο) και ένα μηχανικό φρένο με δύο επίπεδα ροπών ρυθμιζόμενα από το σύστημα ελέγχου. Η αεροπέδη διατηρείται σε θέση λειτουργίας από ενεργή υδραυλική πίεση. Εάν παρατηρηθεί εντολή στάσης της ανεμογεννήτριας, ή εάν ανακύψει απώλεια ηλεκτρικής ισχύος από το δίκτυο, το υδραυλικό σύστημα αποσυμπιέζει γρήγορα,

ενεργοποιώντας έτσι την αεροπέδη και τα μηχανικά φρένα. Συγκεκριμένα, ανοίγουν όλες οι μαγνητικές βαλβίδες στην μονάδα της υδραυλικής αντλίας και ενεργοποιούνται τα ακροπερύγια όπως επίσης και το μηχανικό φρένο. Όταν επανεγκαθίσταται η παροχή ισχύος από το δίκτυο, ο ελεγκτής της ανεμογεννήτριας επαναθέτει αυτόματα και τα δύο φρένα και η ανεμογεννήτρια επανακινείται.

### **2.2.10.1 Αεροπέδη**

Τα περύγια είναι εξοπλισμένα με ένα κινητό περύγιο το οποίο, στην ενεργοποιημένη θέση, στρέφεται 90 μοίρες σε σχέση προς το επίπεδο του δρομέα, δρώντας έτσι ως μια αποτελεσματική αεροπέδη. Κατά τη συνήθη λειτουργία, το κινητό περύγιο διατηρείται σε θέση λειτουργίας με θετική υδραυλική πίεση που εφαρμόζεται μέσω ενός συστήματος διασύνδεσης. Το σύστημα διασύνδεσης ελέγχεται από υδραυλικό ενεργοποιητή πίσω από το κιβώτιο ταχυτήτων. Όταν απελευθερώνεται η υδραυλική πίεση, τα κινητά περύγια στρέφονται ταυτόχρονα στη θέση πέδησης, με υδραυλική πίεση από ένα υδραυλικό συσσωρευτή. Θέτοντας και πάλι σε εφαρμογή το υδραυλικό σύστημα, τα κινητά περύγια στρέφονται πίσω στη θέση λειτουργίας ενώ απελευθερώνονται και τα μηχανικά φρένα. (Α.Ρόκκου & Σ. Τσιούτρα, 2010)

### **2.2.10.2 Μηχανικά φρένα**

Τα μηχανικά φρένα είναι συνήθως ασφαλείας-αστοχίας (fail safe), δύο σταδίων, τριών δίσκων, με σύστημα ελατηρίου που ενεργοποιεί τη δύναμη πέδησης. Το πρώτο στάδιο προσφέρει τη μέση ροπή για στάσεις συντήρησης και το δεύτερο στάδιο προσφέρει υψηλή ροπή για στάσεις επείγουσας ανάγκης. Τα δισκόφρενα εφαρμόζονται στον υψηλόστροφο άξονα, για ακραία φορτία πέδησης. Αν και θα ήταν προτιμότερο να εφαρμόζονταν στον αργόστροφο άξονα (του δρομέα) ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία τους και σε περίπτωση βλάβης του πολλαπλασιαστή των στροφών, οι ροπές θα ήταν πολύ μεγάλες, ώστε αντί αυτού επιλέγεται ως οικονομικότερη η εφαρμογή στον υψηλόστροφο άξονα. Τα φρένα διατηρούνται στην ανοικτή θέση (λειτουργίας) με ενεργή υδραυλική πίεση. Τα τακάκια των φρένων



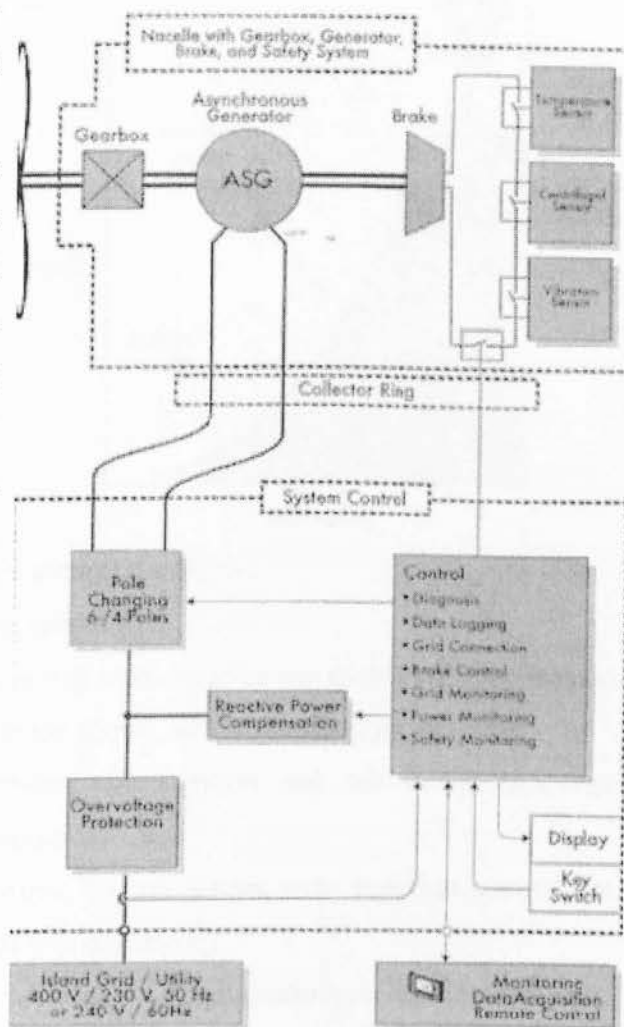
είναι συνήθως αυτορυθμιζόμενα, διατηρώντας δηλαδή σταθερή απόσταση μεταξύ αυτών και του δίσκου. Ένας αισθητήρας φθοράς, στον πίνακα ελέγχου της ανεμογεννήτριας, μπορεί να υποδεικνύει την ανάγκη για την αντικατάστασή τους.

### 2.2.11 Σύστημα Ελέγχου Ανεμογεννήτριας

Το σύστημα ελέγχου συνίσταται από πλήθος τοποθετημένων μικροελεγκτών στη ανεμογεννήτρια. Οι πολλαπλοί μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται για καθολική παρακολούθηση και έλεγχο του συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των ρυθμίσεων ισχύος και βήματος, την εφαρμογή πέδησης στον κύριο άξονα και το σύστημα προσανεμισμού, την εφαρμογή στους κινητήρες του συστήματος προσανεμισμού και των αντλιών και τέλος στον έλεγχο των συνδέσεων της γεννήτριας. Το σύστημα ελέγχου μπορεί να λειτουργεί σε ιδιαίτερα αντίξοες συνθήκες, όπως σε θερμοκρασίες μεταξύ  $-25$  και  $+70^{\circ}\text{C}$ , και υγρα-

σία από 0 έως 100 % σε συμπυκνούμενη ατμόσφαιρα. Η κύρια μονάδα επεξεργασίας επικοινωνεί με τους μικροελεγκτές, οι οποίοι είναι κατανεμημένοι στα διάφορα υποσυστήματα της ανεμογεννήτριας.

Το σύστημα ελέγχου συλλέγει και καταγράφει στατιστικές πληροφορίες σχετικές με την απόδοση της ανεμογεννήτριας, καταγραφή αστοχιών κλπ., για αναλύσεις απόδοσης και διαγνώσεις σφαλμάτων.



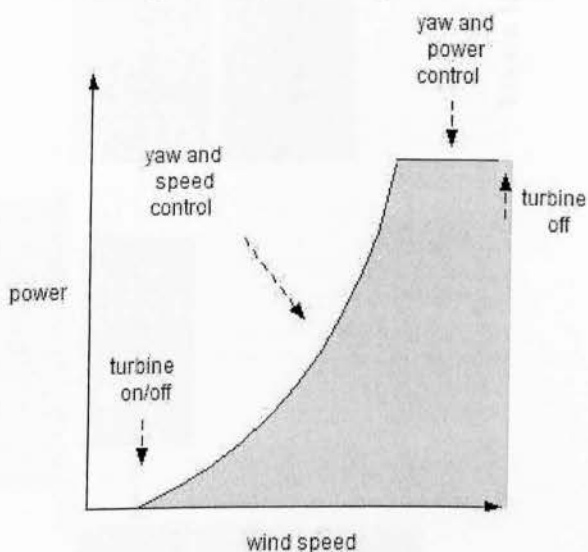
Εικόνα 17 Το σύστημα ελέγχου ελέγχει όλες τις σχετικές παραμέτρους όπως η ταχύτητα, δύναμη, η θερμοκρασία γεννήτριας, και οι δονήσεις

Συνήθως προσφέρει δυνατότητα εισαγωγής δεδομένων (μέσω interface) από το χειριστή, και άμεσης επικοινωνίας με τον κυρίως μικροεπεξεργαστή. Μπορεί να υπάρχει πρόβλεψη και για φορητό ασύρματο σύστημα επικοινωνίας, και άλλη έξοδος επικοινωνίας για από μακράν εποπτικό έλεγχο και απόκτηση δεδομένων (Supervisory Control And Data Acquisition = σύστημα SCADA). Το σύστημα ελέγχου ενεργοποιεί έναν εκκινήτη χαμηλής τάσεως (softstarter) ο οποίος φέρει βαθμιαία, την ασύγχρονη γεννήτρια σε γραμμή με το δίκτυο. Αυτός ο εκκινήτης χρησιμοποιεί ανορθωτές υψηλής ισχύος στερεάς καταστάσεως SCR (Silicon Controlled Rectifiers) οι οποίοι εξασφαλίζουν υψηλή απόδοση, και χαμηλή ροπή για την κύρια σύνδεση της γεννήτριας.

Το υποσύστημα για τη ρύθμιση του μεταβαλλόμενου βήματος και της ισχύος επικοινωνεί με τον κυρίως ελεγκτή μέσω μιας σειριακής θύρας υψηλής ταχύτητας, φροντίζοντας για αναλογική θέση πραγματικού χρόνου και για τη ρύθμιση της ισχύος εξόδου της ανεμογεννήτριας. Τέλος, ο ελεγκτής έχει διάφορους τύπους λειτουργίας, όπως Αυτόματος, Αναμονής, Διακοπής, Διακοπής Επείγουσας Ανάγκης, που μπορούν να προσδιορίζονται από το χειριστή, τον ίδιο τον ελεγκτή, ή μέσα από τη σύνδεση SCADA.

(B. Νώτη, 2002)

Control objectives for a variable speed wind turbine.



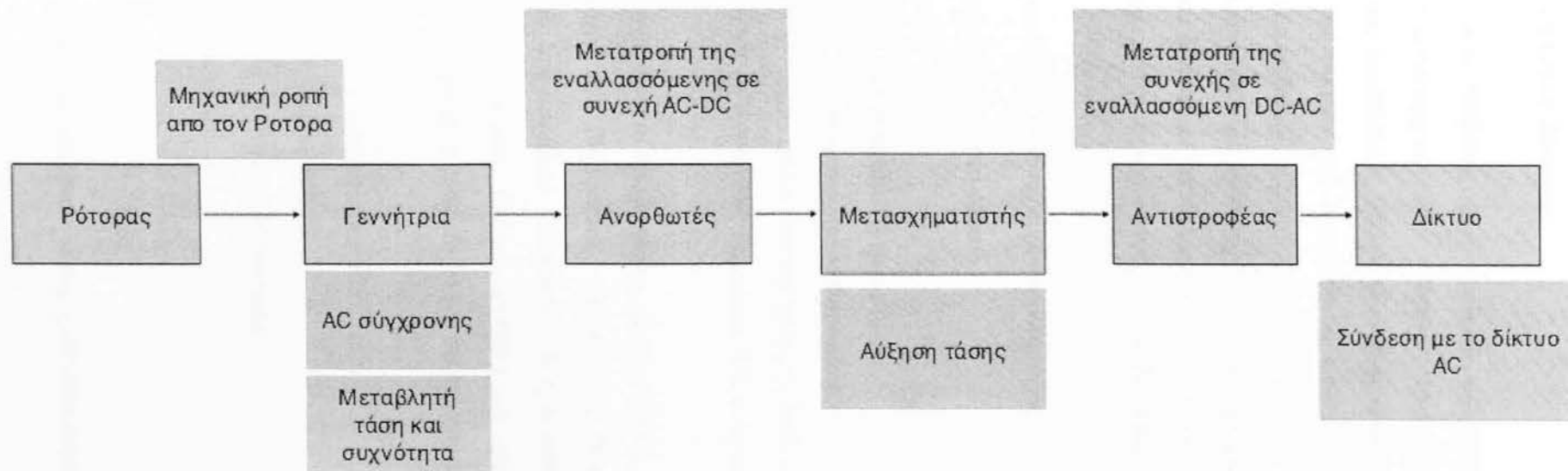
Ο έλεγχος της ανεμογεννήτριας έχει τέσσερεις στόχους:

- i. Το άνοιγμα και κλείσιμο της τουρμπίνας
- ii. Την ευθυγράμμιση του άξονα της τουρμπίνας με την κατεύθυνση του ανέμου (μόνο για τουρμπίνες οριζόντιου άξονα), που λέγεται έλεγχος εκτροπής
- iii. Τον περιορισμό της ενέργειας που εξάγεται από τον άνεμο προς την λειτουργική δύναμη της τουρμπίνας
- iv. Την προσαρμογή της ταχύτητας της τουρμπίνας στην ταχύτητα του ανέμου (μόνο για τουρμπίνες μεταβλητής ταχύτητας)

Για την πραγματοποίηση αυτών των στόχων χρησιμοποιούνται ένας υπολογιστής ελέγχου, εξοπλισμός μετρήσεων και μηχανισμοί κίνησης.

## 2.3 Ηλεκτρικό Σύστημα Ανεμογεννήτριας

Η μεταβλητή τάση και η μεταβλητή συχνότητα που παράγεται κατά την κίνηση του ρότορα, μετατρέπεται σε DC από ανορθωτές. Στη συνέχεια αυξάνεται με ένα chopper (μετασχηματιστής), και μέσω του αντιστροφέα μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο ρεύμα AC και έτσι προσαρμόζεται η τάση της ανεμογεννήτριας με την τάση του δικτύου



Εικόνα 18 Ανάλυση του ηλεκτρικού συστήματος της ανεμογεννήτριας

### 2.3.1 Σύνδεση στο Ηλεκτρικό Δίκτυο

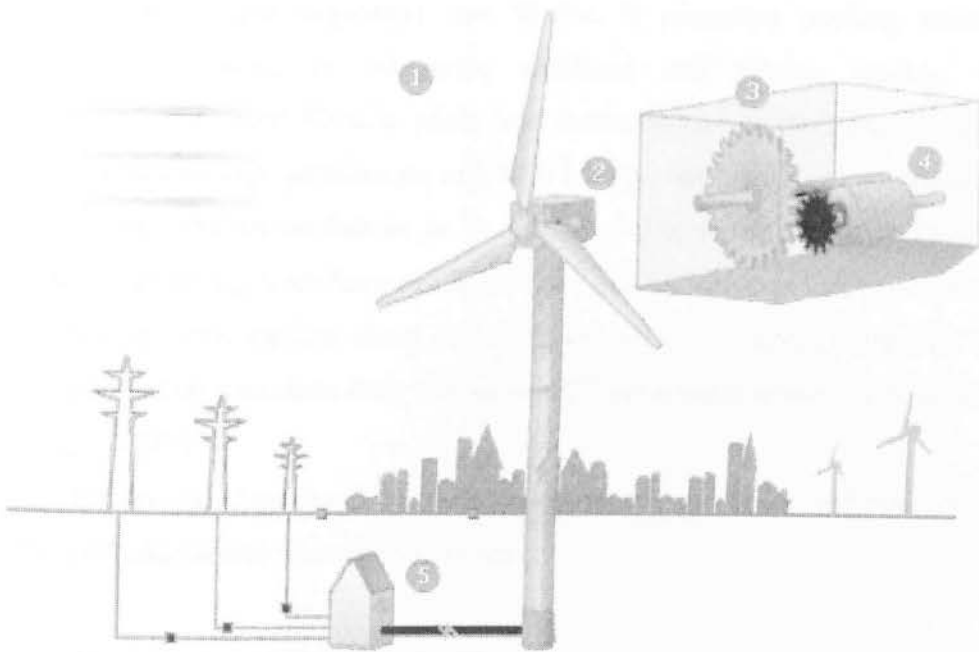
Η επιλογή του τρόπου σύνδεσης ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μια ανεμογεννήτρια στο δίκτυο αποτελεί αντικείμενο τεχνικοοικονομικής εξέτασης, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κεφαλαίου των έργων ενίσχυσης και επέκτασης του δικτύου και αφετέρου τις απώλειες ενέργειας κάθε τρόπου διασύνδεσης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, αλλά και άλλους παράγοντες (χρόνος και δυνατότητα κατασκευής των έργων, χρηματοδότησή τους κλπ.). Στον ακόλουθο πίνακα δίνεται, ενδεικτικά και μόνο, ο πιθανός (ή προτιμητέος) τρόπος διασύνδεσης, ανάλογα με την ισχύ του σταθμού. (Α. Β. Γκίκα, 2008)

**Πίνακας 2** Τρόποι σύνδεσης στο δίκτυο βάση της συμφωνημένης ισχύς

ισχύς (Mw)	Τρόπος Σύνδεσης στο Δίκτυο
Έως 0,1	Δίκτυο ΧΤ
Έως 4	Δίκτυο ΜΤ σε υφιστάμενη γραμμή
Έως 6	Δίκτυο ΜΤ μέσω αποκλειστικής γραμμής
Έως 20	Δίκτυο ΜΤ μέσω αποκλειστικής γραμμής διπλού κυκλώματος
Ανω των 20	Δίκτυο ΥΤ με κατασκευή ιδιαίτερου Υ/Σ ανύψωσης ΥΤ/ΜΤ

Η σύνδεση των παραγωγών στο δίκτυο μέσης τάσης (ΜΤ) ή χαμηλής τάσης (ΧΤ) έχει ως κοινό στόχο την διασφάλιση της ομαλής συνεργασίας των εγκαταστάσεων με το δίκτυο, την ασφάλεια προσώπων και εγκαταστάσεων και την εξασφάλιση αποδεκτής ποιότητας ισχύος. Βασικά κριτήρια και προϋποθέσεις που εξετάζονται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση νέων εγκαταστάσεων παραγωγής είναι τα ακόλουθα:

- Επάρκεια δικτύου (γραμμών, μετασχηματιστών κλπ.)
- Συμβολή στη στάθμη βραχυκύκλωσης
- Αργές μεταβολές της τάσης (μόνιμης κατάστασης)
- Ταχείες μεταβολές της τάσης
- Εκπομπές flicker
- Εκπομπές αρμονικών
- Διαμόρφωση των προστασιών της διασύνδεσης εγκαταστάσεων-δικτύου



**Εικόνα 19** Διαδρομή ενέργειας από τα αιολικά πάρκα στο δίκτυο της ΔΕΗ

Οι ενέργειες που αντιστοιχούν στους αριθμούς του παραπάνω σχήματος είναι οι εξής:

1. Ο άνεμος φυσάει προς τα πτερύγια και κάνει το στροφείο να κινείται.
2. Η κίνηση μεταφέρει την ενέργεια στο κιβώτιο
3. Το κιβώτιο είναι εφοδιασμένο με σύστημα μετάδοσης που προσαρμόζει την ταχύτητα δρομέα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του.
4. Η γεννήτρια μετατρέπει την περιστροφική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια των μαγνητικών πεδίων
5. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την γεννήτρια περνά σε ένα μετασχηματιστή που μετατρέπει τη χαμηλή τάση που παράγεται σε υψηλότερη κατάλληλα για το δίκτυο. (Σ. Ταουλαντ, 2010)

Το ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας καθώς και όλης της Ευρώπης λειτουργεί με τριφασικό ρεύμα στη συχνότητα των 50 Hz. Η μεταφορά μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας με ελάχιστες απώλειες στο δίκτυο υψηλής τάσης πραγματοποιείται στην Ελλάδα μέσω του διασυνδεδεμένου δικτύου. Τα μεγάλα αιολικά πάρκα με ισχύ μεγαλύτερη από 10 ή 15MW, όπως και αυτό που μελετούμε, οφείλουν κανονικά να συνδεθούν με το δίκτυο υψηλής τάσης (110 kV). Σε μερικές σπάνιες περιπτώσεις, η σύνδεση στο δίκτυο των 380 kV κρίνεται επίσης απαραίτητη. Σύνδεση στο δίκτυο υψηλής τάσης σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να σημαίνει ότι το αιολικό πάρκο θα απαιτήσει έναν νέο υποσταθμό μετασχηματιστών. (Α.Ρόκκου & Σ. Τσιούτρα, 2010)

Ο τεχνικός εξοπλισμός και μαζί με αυτόν, και το κόστος της σύνδεσης στο δίκτυο καθορίζεται από τέσσερις παράγοντες:

- Απόσταση των Α/Γ από το δίκτυο
- Τάση και ικανότητα μεταφοράς του δικτύου
- Έλεγχος ισχύος και ηλεκτρικός εξοπλισμός των Α/Γ
- Τεχνικές απαιτήσεις της χρησιμότητας για τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται παράλληλα με το δίκτυο.

Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν συνήθως σε ονομαστική τάση 0,4 - 0,7 kV. Για να γίνει η διασύνδεση της κάθε ανεμογεννήτριας με το δίκτυο της Μέσης Τάσης της ΔΕΗ χρησιμοποιούνται υποσταθμοί Χ.Τ./Μ.Τ., οι οποίοι εγκαθίστανται σε ειδικό και ανεξάρτητο χώρο στη βάση του πύργου κάθε ανεμογεννήτρια.

Από τον ελεγκτή της ανεμογεννήτριας στη βάση του πυλώνα, συνήθως υπάρχει καλώδιο ισχύος, το οποίο συνδέει την ανεμογεννήτριας με την πλευρά Χ.Τ. του υποσταθμού Χ.Τ/Μ.Τ. Το καλώδιο ισχύος Μ.Τ., δια μέσου σωλήνων PVC, οδεύει υπόγεια μέχρι την είσοδό του στον υποσταθμό Χ.Τ/Μ.Τ.

Όσον αφορά στο σύστημα γείωσης της Α/Γ, εγκαθίσταται στη βάση της, θεμελιακή γείωση, δηλαδή ταινία γείωσης ακτινικά και περιμετρικά από τη βάση. (Α.Ρόκκου & Σ. Τσιούτρα, 2010)

### 2.3.2 Αποθήκευση Παραγόμενης Ενέργειας

Το βασικότερο ίσως μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι η ασυνέχεια παραγωγής της, καθώς και η αδυναμία παραγωγής ενέργειας κατά βούληση με σκοπό την κάλυψη της στιγμιαίας ζήτησης. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την ανάγκη αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές μας ανάγκες σε περιόδους άπνοιας ή σε μία προσπάθεια καλύτερης προσαρμογής της ενεργειακής ζήτησης και προσφοράς. Βέβαια η χρήση συστημάτων αποθήκευσης αυξάνει σημαντικά το κόστος αρχικής εγκατάστασης, ενώ προσθέτει και επιπλέον απώλειες μετατροπής.

Ουσιαστική αύξηση της διείσδυσης της αιολικής ενέργειας μπορεί να προκύψει με την εγκατάσταση αποθήκευσης ενέργειας, ώστε η ενέργεια που δύναται να παραχθεί από τις Α/Γ, αλλά δεν μπορεί να απορροφηθεί από το σύστημα, να αποθηκεύεται αντί να απορρίπτεται. Η ενέργεια αυτή ακολούθως ανακτάται σε ώρες όπου η αιολική παραγωγή υπολείπεται της δυνατότητας απορρόφησης. Οι πλέον ώριμες, σήμερα, τεχνολογίες αποθήκευσης (κύκλος AC – AC) με αξιόλογες εφαρμογές στα ηλεκτρικά δίκτυα και με γνωστό κόστος είναι:

- οι αντλητικοί/υδροηλεκτρικοί σταθμοί ή αναστρέψιμοι ΥΗΣ (μηχανική αποθήκευση, στατική),
- συστοιχίες συσσωρευτών,
- συστήματα παραγωγής υδρογόνου,
- υδραυλο - πνευματική αποθήκευση ενέργειας μέσω συμπίεσης αερίων (με συμπιεσμένο αέριο, άζωτο σε υδραυλο-πνευματικούς συσσωρευτές),
- αποθήκευση ενέργειας σε σφόνδυλο
- υβριδικά συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (συνδυασμός των παραπάνω μέσων).

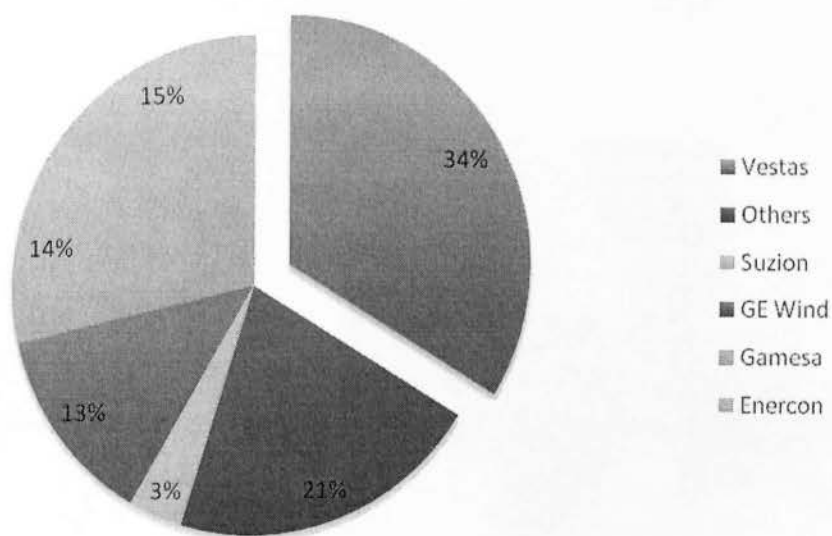
### 3. ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

#### VESTAS V80 2MW

##### 3.1 Κατασκευάστρια Εταιρεία Vestas

Η Vestas αποτελεί ηγέτιδα εταιρεία σε παγκόσμιο επίπεδο στον τομέα της αιολικής ενέργειας με μερίδιο αγοράς 23% το 2007, εγκαταστάσεις περισσότερων από 35.500 ανεμογεννητριών σε 63 χώρες στις πέντε ηπείρους και συνολική παραγωγή μεγαλύτερη από 60 εκατομμύρια MWh το 2007. Η εταιρεία συνεχίζει να επενδύει διαρκώς στην ανάπτυξη της τεχνολογίας, με αποτέλεσμα τα τελευταία 25 χρόνια, η απόδοση των ανεμογεννητριών της να έχει αυξηθεί κατά 100 φορές. (Vestas, 2007)

Συνολικά, η Vestas έχει εγκαταστήσει μέχρι σήμερα 43.000 ανεμογεννήτριες παγκοσμίως, σε 66 διαφορετικές χώρες και εγκαθιστά κατά μέσο όρο μια νέα ανεμογεννήτρια κάθε τρεις ώρες. Η εγκατεστημένη αιολική ισχύς της Vestas παράγει ενέργεια ίση με 90 εκατ. μεγαβατώρες κάθε χρόνο, ικανή να τροφοδοτήσει εκατομμύρια νοικοκυριά με αιεφόρο τρόπο.



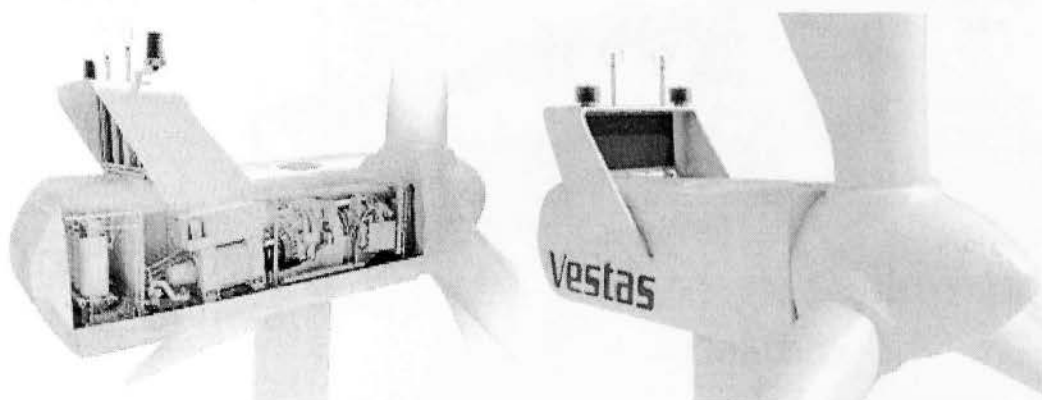
Εικόνα 20 Κατανομή της παγκόσμιας αγοράς το 2006 στη κατασκευή αιολικών πάρκων



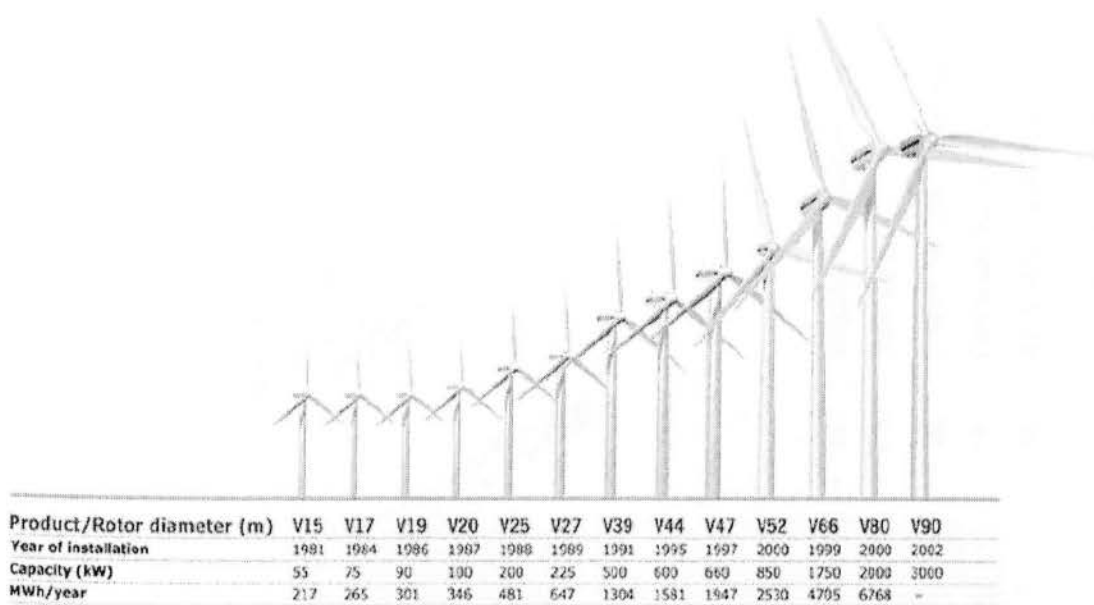
Η Vestas έχει παρουσία στην Ελλάδα από το 1985, ενώ ως Vestas Hellas S.A. δραστηριοποιείται από το 2000 και απασχολεί 105 εργαζομένους, από τους οποίους οι 60 απασχολούνται εκτός γραφείου στις διάφορες περιοχές των αιολικών πάρκων. Κατέχοντας ηγετική θέση στην Ελληνική αγορά με μερίδιο που διαμορφώνεται σε 56%, σύνολο εγκατεστημένης ισχύος 503,89MW από 463 ανεμογεννήτριες (έως τον Ιούνιο του 2008) και με πελάτες μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται οι μεγαλύτεροι επενδυτές στον κλάδο της ενέργειας, διεκδικεί τα μεγαλύτερα και σημαντικότερα έργα.

**Πίνακας 3** Στατιστικά στοιχεία των εγκαταστάσεων της εταιρείας σε m

Αριθμός (τμχ)	Μοντέλο	Ισχύς (MW)
26.033	other	13.558
1.816	V52-850	1.544
625	V80-1.8	1.125
1.578	V80-2.0	3.156
203	V82-1.5	305
730	V82-1.65	1.205
382	V90-2.0	764
202	V90-3.0	606
31.569		22.263



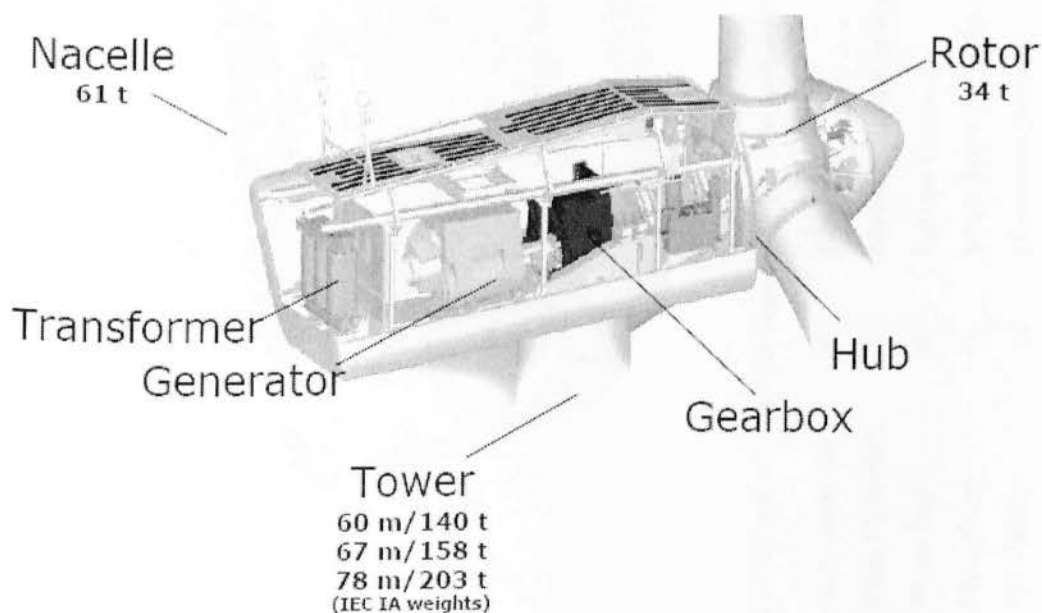
**Εικόνα 21** Σχηματική τομή τυπικής μορφής νασέλας ανεμογεννήτριας Vestas



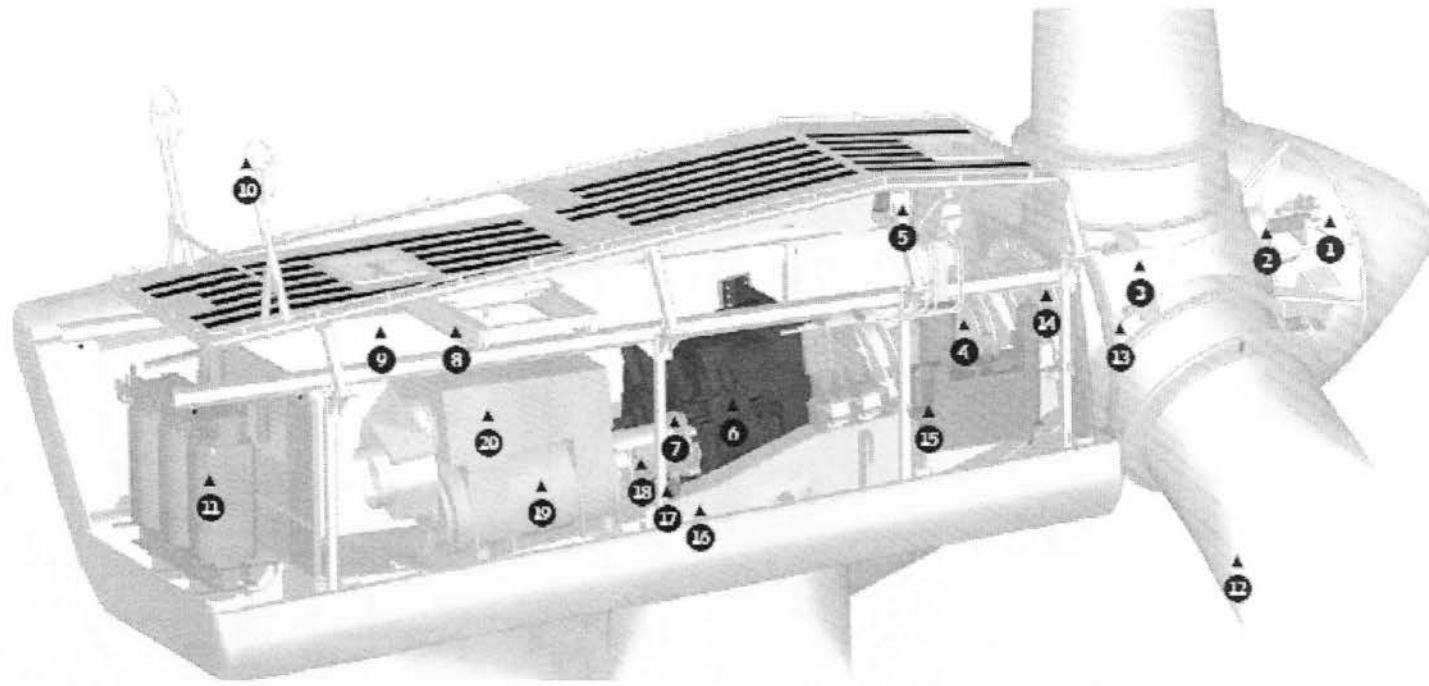
Εικόνα 22 Χαρακτηριστικά των μοντέλων ανεμογεννητριών της εταιρείας Vestas

### 3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά Vestas V80(2MW)

Η ανεμογεννήτρια V80(2MW) χρησιμοποιεί την τεχνική μεταβλητού βήματος αντίθετη στον άνεμο, με σύστημα αυτοματισμού για τον προσανατολισμού του ρότορα στη διεύθυνση πνοής του ανέμου. Η ανεμογεννήτρια είναι τρίπτερη. (Vestas, 2007)



Εικόνα 23 Βασικά στοιχεία της ανεμογεννήτριας Vestas V80 (2MW)



**Πίνακας 4** Σχηματική τομή με σήμανση των επιμέρους στοιχείων της ανεμογεννήτριας Vestas V80 (2MW)

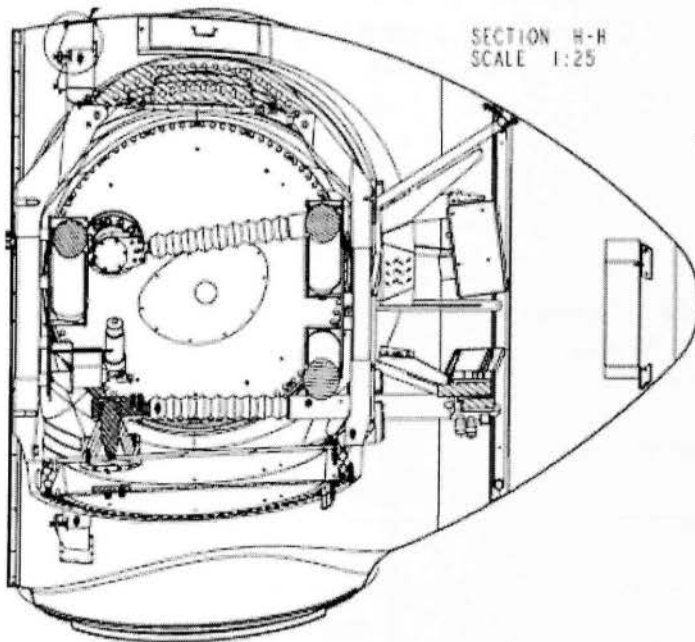
1.	Hub Contriller	6.	Gearbox	11.	High Voltage Transformer	16.	Machine Foundation
2.	Pitch Cylinders	7.	Mechanical disc brake	12.	Blade	17.	Yaw Gears
3.	Blade Hub	8.	Service Crane	13.	Bilade Bearing	18.	Composite Disc Coupling
4.	Main Shaft	9.	VMP-Top Controller with Converter	14.	Rotor Lock System	19.	OntiSpeed Generator
5.	Oil Cooler	10.	Ultrasonic Sensors	15.	Hydraulic Unit	20.	Air Cooler Generator

### 3.2.1 Ρότορας

Η διάμετρος του ρότορα είναι 80 μέτρα και λειτουργεί με το σύστημα OptiSpeed™<sup>6</sup>. Τα φτερά αποτελούνται από ίνες άνθρακα 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. (Vestas, 2007)



Εικόνα 24 Εργασίες εγκατάστασης ρότορα ανεμογεννήτριας Vestas V80 (2MW)



Εικόνα 25 Σχηματική τομή του ρότορα

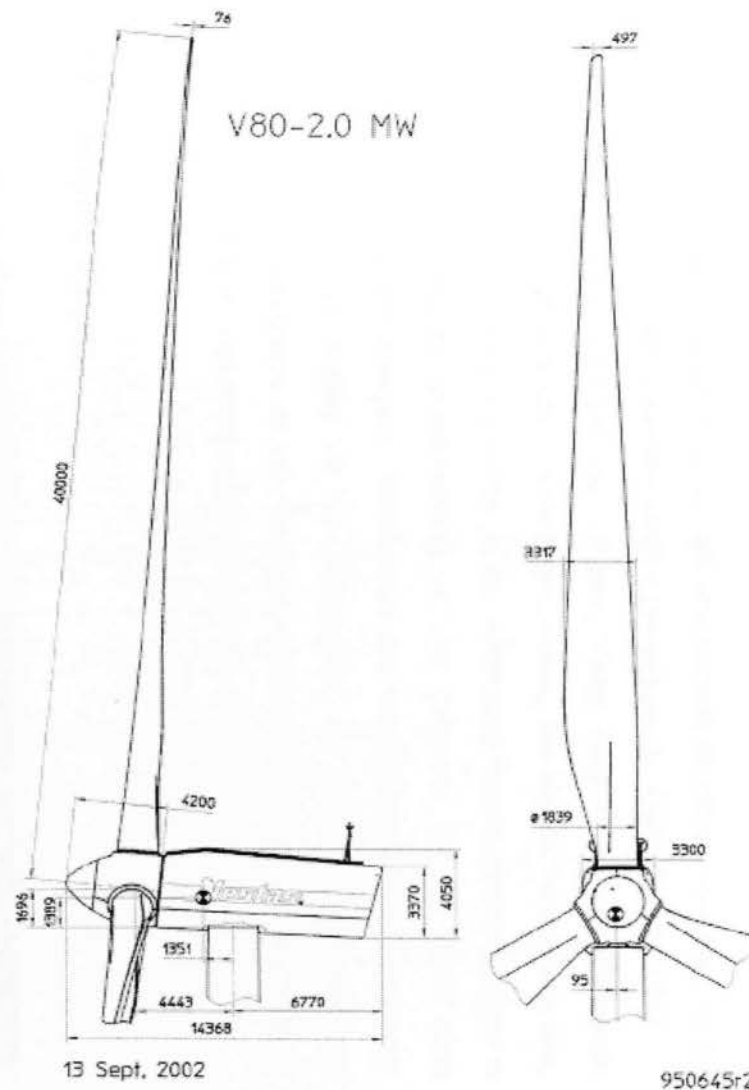
<sup>6</sup> Το σύστημα OptiSpeed™ παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.4

Πίνακας 5 Κατασκευαστικά στοιχεία ρότορα

<b>Blade</b>		
1	Κατασκευαστής	Vestas
2	Τύπος	VESTAS 39m
3	Υλικός	Glass fibre reinforced epoxy used in blade shells and blade spar - Stainless steel thread inserts
4	Επιφάνεια	Epoxy gelcoat
5	Χρώμα	RAL9010, 7035 and custom designed
6	Μήκος	39m
7	Μέγιστη Χορδή	3357mm
8	Βάρος	6500 kg
<b>Blade Bearing</b>		
1	Κατασκευαστής	ROLLIX/HOESCH ROETHE ERDE
2	Τύπος	Double row, 4 point contact ball bearing
3	Λύπανση	Grease: Aeroshell 14
4	Διαστάσεις	2120/1700 x 192mm
5	Βάρος	1475 kg
<b>Nose Cone</b>		
1	Κατασκευαστής	Vestas
2	Φόρμα	Length 4.14m, diameter 3,46m Glass fibre reinforced polyester coated with
3	Υλικό	Polyester gelcoat
4	Βάρος	Περίπου 600kg
<b>Blade Hub</b>		
1	Κατασκευαστής	Vestas
2	Υλικό	EN-GJSF400-18U-LT-D
3	Βάρος	8463 kg

### 3.2.2 Πτερωτή

Διάμετρος ρότορα	80 meter
Επιφάνεια σάρωσης	5027 m
Ταχύτητα ρότορα	16,7 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
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	39 m
Βάρος φτερού	6500 κιλά
Ρουλεμάν φτερού	Ρουλεμάν σφαιρικό τεσσάρων σημείων
Υλικό hub	EN-GJS-400-18U-LT / EN1563

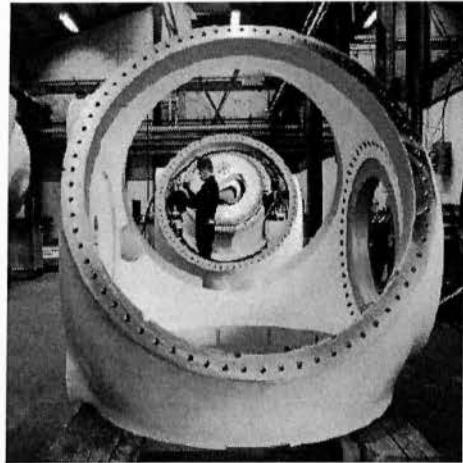


Το κάθε πτερύγιο αποτελείται από δύο κελύφη τα οποία ενώνονται σε ένα άξονα στήριξης και συνδέονται στην κεφαλή του ρότορα. (Γ. Παπανδρέου, 2011)

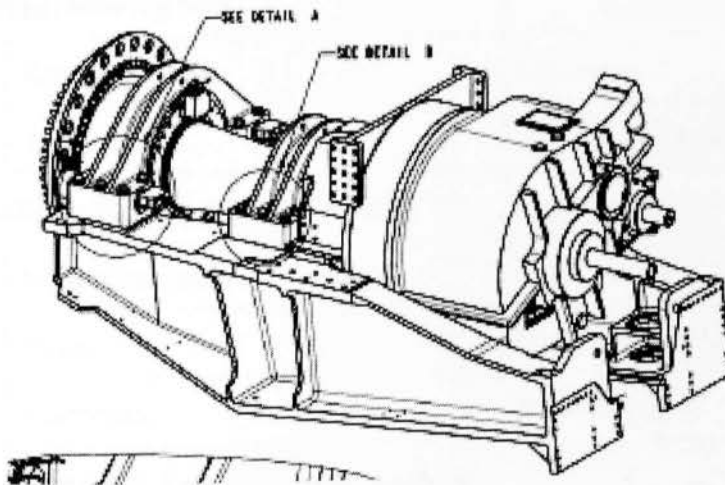
Η τελευταία καινοτομία της εταιρείας Vestas ήταν ο νέος αεροδυναμικός σχεδιασμός των πτερυγίων και ο επαναπροσδιορισμός των υλικών κατασκευής τους. Το υλικό που χρησιμοποιούσε η Vestas για την κατασκευή των πτερυγίων της ήταν οι ίνες γυαλιού τις οποίες αντικατέστησε με ίνες άνθρακα. Το νέο υλικό είναι ελαφρύτερο από το προηγούμενο. Αποτέλεσμα των επεμβάσεων είναι λεπτότερα και ελαφρύτερα πτερύγια, καθώς και πιο δύσκαμπτα. Ως λογικό επακόλουθο των σχετικών βελτιστοποιήσεων τα νέα πτερύγια παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα και 27% περισσότερη στρεπτική επιφάνεια. (Vestas, 2007).

### 3.2.3 Κύριος Άξονας

Ο κύριος άξονας μεταδίδει την ροπή στην γεννήτρια μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων. Εσωτερικά από τον κύριο άξονα περνάει ο άξονας του pitch. Ο κύριος άξονας στηρίζεται και περιστρέφεται σε δύο σφαιρικά κυλινδρικά ρουλεμάν. Το βάρος του είναι περίπου 8.500 κιλά.



Εικόνα 26 Hub, Κύριος άξονας



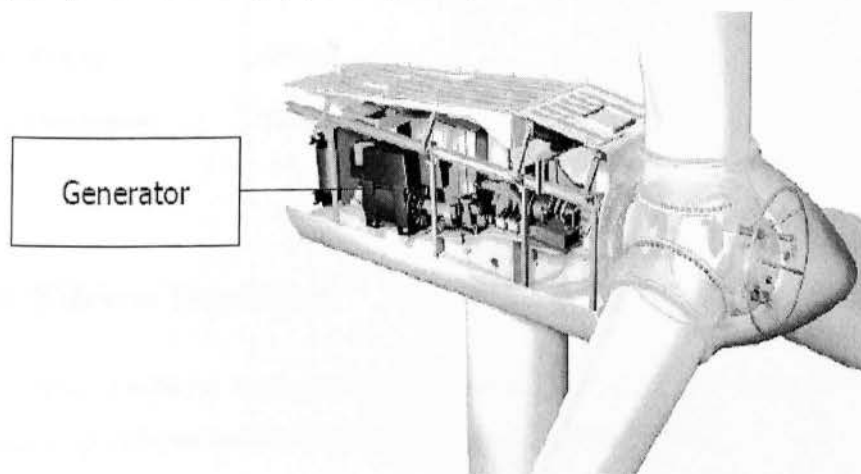
<b>Main Shaft</b>		
1	Κατασκευαστής	Vestas
2	Υλικό Κατασκευής	42CrMo4 / V / EN 10083
3	Διαστάσεις	630/flange 1500/length 2690mm
4	Βάρος	6078 kg
<b>Front Main Bearing (nearest to the rotor)</b>		
1	Κατασκευαστής	SKF/FAG/Koyo
2	Τύπος	230/630 CA/W33
3	Διαστάσεις	920 mm/630mm x 212mm
4	Βάρος	485 kg
<b>Rear Main Bearing (furthest from the rotor)</b>		
1	Κατασκευαστής	SKF/FAG/Koyo
2	Υλικό Κατασκευής	24188 CAW33
3	Διαστάσεις	720mm/440mm x 280mm
4	Βάρος	420kg
<b>Front Main Bearing Seal</b>		
1	Κατασκευαστής	Seal Pool
2	Τύπος	660/700 X 20mm GVP
<b>Rear Main Bearing Seal</b>		
1	Κατασκευαστής	Seal Pool
2	Τύπος	500/540 x 20mm CB
<b>Hydraulic Cylinder for Rotor Locking</b>		
1	Κατασκευαστής	LJM
2	Τύπος	SNH30 FD 63/30x60-360-G
3	Διαστάσεις	169 x 625 mm
<b>Manuel Hydraulic Pump for Rotor Locking</b>		



1	Κατασκευαστής	LJM
2	Τύπος	HANSA TMP/GLDE20/I
3	Διαστάσεις	

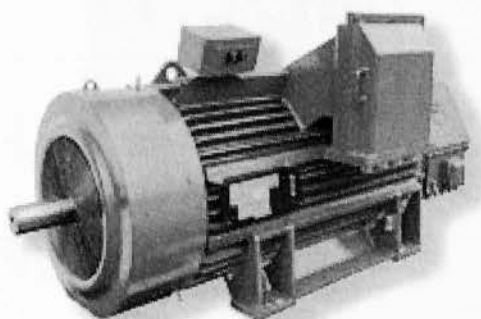
### 3.2.4 Γεννήτρια

Η ασύγχρονη<sup>7</sup> γεννήτρια που χρησιμοποιεί η εταιρεία Vestas 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. (Vestas, 2007)



**Εικόνα 27** Η γεννήτρια είναι σχεδιασμένη αποκλειστικά για χρήση σε ανεμογεννήτριες, είναι ασύγχρονη και ψύχεται με σύστημα air-cooled fully enclosed (Vestas, 2007)

**Εικόνα 28** Ασύγχρονη με διέγερση στον ρότορα από το Vestas Converter System AMK 500L4A BAYH



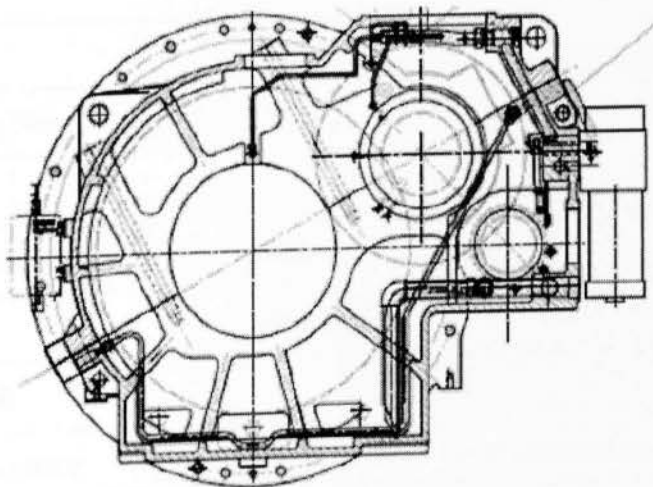
<sup>7</sup> Μετατροπή μηχανικής ενέργειας από το κιβώτιο ταχυτήτων σε ηλεκτρική ενέργεια.

## Πίνακας 6 Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας

Τύπος	Ασύγχρονη με διέγερση στον ρότορα από το Vestas Converter System AMK 500L4A BAYH
Ονομαστική ισχύς	2MW
Τάση	690 V AC
Συχνότητα	50Hz
Αριθμός πόλων	4
Βαθμός προστασίας	IP 55
Ονομαστική ταχύτητα	2900 RPM (50Hz)
Ονομαστικό ρεύμα	1709 A
Συντελεστής ισχύος	$\cos\phi 1.0$
Κατασκευαστής	ABB, Weier.
Βάρος Ψύκτη	430kg
Βάρος Γεννήτριας	5700kg

### 3.2.5 Κιβώτιο Ταχυτήτων

Από το κιβώτιο ταχυτήτων η ροπή μεταδίδεται στην γεννήτρια, η οποία είναι ασύγχρονη γεννήτρια τεσσάρων πόλων. (Γ. Παπανδρέου, 2011)



Εικόνα 29 Σχηματική τομή του κιβώτιου ταχυτήτων (Vestas, 2007)

**Πίνακας 7** Τεχνικά Χαρακτηριστικά Κιβωτίου Ταχυτήτων

<b>Gearbox</b>		
1	Κατασκευαστής	Lohmann & Stolterfoht
2	Τύπος	GPV 440
3	Συνολικό Μήκος	2689 mm
4	Βάρος	14500 kg
5	Ratio	50Hz : 1 : 100,845
<b>Shrink Disc</b>		
1	Κατασκευαστής	Stüwe
2	Τύπος	HSD 530-23
3	Διατάσεις	980/530 x 338mm
4	Βάρος	1200 kg
<b>Brake Clibre</b>		
1	Κατασκευαστής	BREMBO
2	Τύπος	PZ.I.4420.2802.10
3	Βάρος	16kg
4	Μέγιστη Πίεση	150bar
<b>Brake Pad</b>		
1	Κατασκευαστής	Micke
2	Τύπος	MPM 030
<b>Transmission Shaft</b>		
2	Κατασκευαστής	Vestas
3	Διαστάσεις	480 x 410mm
4	Βάρος	15kg

### 3.2.6 Θάλαμος

Ο θάλαμος της τουρμπίνας είναι κατασκευασμένος από fiber glass και προστατεύει όλα τα συστατικά μέρη της ανεμογεννήτριας που περιέχονται μέσα σε αυτόν, από τα καιρικά φαινόμενα. Η πρόσβαση εντός του θαλάμου γίνεται από τον πύργο στήριξης της ανεμογεννήτριας. Εντός του θαλάμου υπάρχει ένας γερανός για την συντήρηση, ο οποίος έχει δυνατότητα ανέλκυσης μέχρι και 6400 κιλά ώστε να καλύπτει την ανέλκυση των κύριων συστατικών μερών. (Γ. Παπανδρέου, 2011)

### 3.3 Σύστημα Προσανατολισμού

**3.4** Τα yaw gear χρησιμοποιούνται για τον αυτόματο προσανατολισμό της ατράκτου 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 ρελλέ και το καθένα έχει και από ένα βοηθητικό ρελλέ. (Δ. Μπαστάκη & Ε. Παπαδάκη, 2010) Το yaw system έχει τρεις λειτουργίες:

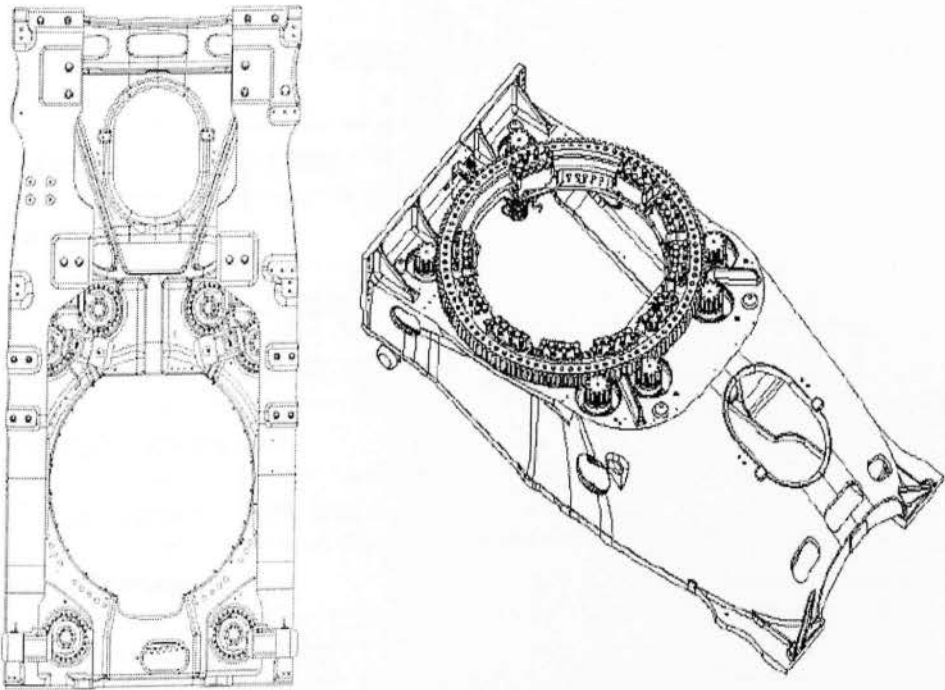
- Κρατά το ατρακτίδιο της ανεμογεννήτριας σε θέση πάνω από τον πύργο.
- Επιτρέπει στο ατρακτίδιο της ανεμογεννήτριας να περιστραφεί στον πύργο.
- Διαβιβάζει τις δυνάμεις από το στρόβιλο στον πύργο.

Το ένα ρελλέ 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 δίνει την εντολή στους ηλεκτροκινητήρες μέσω του βοηθητικού ρελλέ. Ο αυτόματος προσανατολισμός απενεργοποιείται όταν η ταχύτητα του αέρα είναι μικρότερη από 2,5 m/sec.

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

**Πίνακας 8** Τεχνικά χαρακτηριστικά Yaw Gear

<b>Τύπος Yaw System</b>	Σύστημα ρουλεμάν ολίσθησης με ενσωματωμένο τριβέα
<b>Ρουλεμάν ολίσθησης</b>	PETP
<b>Ταχύτητα παρέκκλιση</b>	$< 0.5^\circ/\text{sec}$ .
<b>Τύπος yaw gear</b>	Τρία βηματικά πλανητικά γρανάζια και ένα ατέρμονο.
<b>Ηλεκτροκινητήρας</b>	2,2 kW, 6 πόλοι ασύγχρονος με ηλεκτρικό φρένο.



**Εικόνα 30** Yaw system ανεμογεννήτριας Vestas V80 (2MW) (Σ. Ταουλαντ, 2010)

**Πίνακας 9** Τεχνικά Χαρακτηριστικά συστήματος προσανατολισμού

<b>Yaw Ring</b>		
1	Κατασκευαστής	Niebuhr Tandhjulsfabrik + Hoesch Rothe Erde
2	Υλικό	34CrNiMo 6 / V / 42CrMo 4 / V (EN 10083)
3	Δόντια	143
4	Πάχος Δοντιού	96 mm
5	Βάρος	767 kg
<b>Yaw Gear</b>		
	Κατασκευαστής	Bonfiglioli/Transmittal SOM
	Τύπος	709T2M
	Ηλεκτρικό Μοτέρ	2.2 kW/6 pole/690 V
	Βάρος	190kg
<b>Yaw Gear Pinion</b>		
	Κατασκευαστής	Bonfiglioli/SOM
	Υλικό	18NiCrMo5 (UNI 8550)
	Αριθμός Δοντών	11
	Πάχος Δοντών	100 mm
<b>Yawing Plain Bearings</b>		
	Κατασκευαστής	Vestas
	Υλικό	PETP

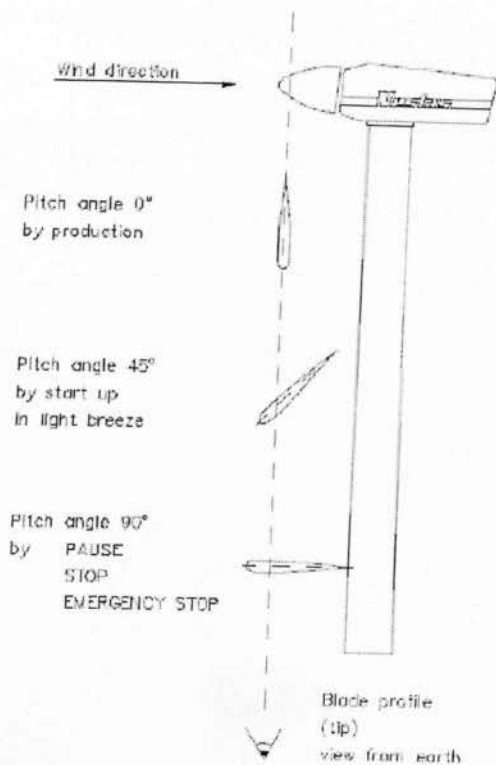
### 3.5 Σύστημα OptiSpeed Ανεμογεννήτριας V80(2MW)

Το σύστημα OptiSpeed<sup>TM</sup> επιτρέπει στο ρότορα να λειτουργεί με μεταβλητή ταχύτητα (rpm). Επιπρόσθετα η ανεμογεννήτρια είναι εξοπλισμένη με το ειδικό σύστημα της YE5TA5 OptiTip<sup>®</sup>, το οποίο ρυθμίζει το βήμα των φτερών.

Με το OptiTip<sup>®</sup>, η γωνία των φτερών είναι συνεχώς ρυθμισμένη έτσι ώστε τα φτερά να βρίσκονται πάντα στη βέλτιστη γωνία σε σχέση με τον αέρα. Η ρύθμιση βελτιστοποιεί την παραγωγή ισχύος και τα επίπεδα θορύβου.

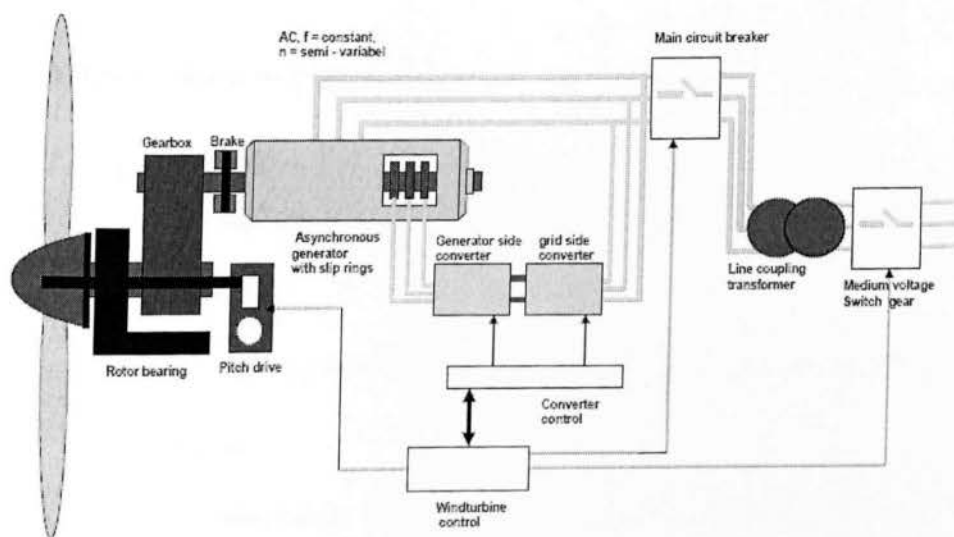
#### Ο κύριος άξονας (main shaft)

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<sup>TM</sup> και το ρυθμιζόμενο σύστημα του βήματος OptiTip<sup>®</sup> των φτερών κρατούν την ισχύ στο ονομαστικό, ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία και την πυκνότητα του αέρα. Στις χαμηλότερες ταχύτητες αέρα το σύστημα OptiTip<sup>®</sup> και το OptiSpeed<sup>TM</sup> 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



<sup>8</sup> ρύθμισης και παρακολούθησης της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Με το σύστημα OptiTip εξασφαλίζεται η συνεχής διευθέτηση και η διατήρηση αποτελεσματικής γωνίας σύμφωνα με την φορά και την ένταση του άνεμο που επικρατεί κάθε φορά. Το σύστημα OptiTip της Vestas αυξάνει την απόδοση των ανεμογεννητριών της. Ρυθμίζοντας το βήμα της πτερωτής η ανεμογεννήτρια μπορεί να εκμεταλλεύεται την πλήρη ισχύ από την ένταση της ριπής του ανέμου. Ακόμα το σύστημα OptiTip της Vestas βοηθάει να κρατηθούν τα επίπεδα θορύβου στα όρια που ορίζονται από τους τοπικούς κανονισμούς. Όλες οι ανεμογεννήτριες της Vestas είναι εξοπλισμένες με σύστημα OptiTip με την ικανότητα της απομακρυσμένης παρακολούθησης και ρύθμισης του συστήματος, και ελέγχου και έχουν την ικανότητα του απομακρυσμένου ελέγχου. (Vestas, 2007)

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 υδραυλικό σύστημα 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. Η πρόσβαση στη nacelle γίνεται από τον πύργο μέσω ενός κεντρικού ανοίγματος. Μέσα στη nacelle υπάρχει ένας γερανός ανυψωτικής δύναμης 250 κιλών



Εικόνα 31 Σύστημα μετάδοσης ισχύος για την ανεμογεννήτρια Vestas V80

### 3.6 Σύστημα Πέδησης

Η ανεμογεννήτρια V80-2MW 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. Ο δίσκος φρένου εφαρμόζεται μηχανικά, τοποθετείται στον άξονα περιστροφής υψηλής ταχύτητας γιατί απαιτείται σχετικά μικρή ροπή πέδησης. Το φρένο της τουρμπίνας βρίσκεται στον άξονα (διαφορικό) υψηλών ταχυτήτων της τουρμπίνας. Η τοποθέτηση του φρένου στο άξονα χαμηλής ταχύτητας απαιτεί ο δίσκος του φρένου να είναι



σημαντικά μεγαλύτερων διαστάσεων και βάρους λόγω της μεγάλης ροπής πέδησης.  
(Γ. Παπανδρέου, 2011)

**Πίνακας 10** Χαρακτηριστικά συστήματος πέδησης ανεμογεννήτριας

Τύπος	Υδραυλικό δισκόφρενο
Calipers	3
Διάμετρος δισκοφρένου	600mm
Υλικό δισκοφρένου	VWS-GJV-300-2U-D

### 3.7 Υδραυλικό Σύστημα

Το υδραυλικό σύστημα εξυπηρετεί δύο λειτουργίες:

- Ρίψη των φτερών γύρω από τον άξονα (κίνηση του βήματος από 90° μέχρι -5°C)
- 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. (Σ. Ταουλαντ, 2010)

**Πίνακας 11** Χαρακτηριστικά του υδραυλικού συστήματος της ανεμογεννήτριας V80

Παροχή αντλίας	8.7 l/.min
Μέγιστη πίεση λειτουργίας	200 bar
Πίεση φρένων	44 bar
Ποσότητα λαδιού	60 L
Ηλεκτροκινητήρας	<b>3.1</b> kW- 50/60 Hz

### 3.6.1 Σύστημα Υδραυλικής Αντλίας

Το υδραυλικό σύστημα είναι εξοπλισμένο 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 τυχών διαρροή λαδιού υπάρχει ένας αισθητήρας όπου ελέγχει τη στάθμη του λαδιού. (Σ. Ταουλαντ, 2010)

### 3.6.2 Σύστημα Βήματος

Το έμβολο του βήματος γυρίζει τα φτερά γύρω 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.

**Πίνακας 12** Κατασκευαστικά Χαρακτηριστικά Pitch System

<b>Hydraulic Cylinder</b>		
1	Κατασκευαστής	LJM
2	Τύπος	021VD 125/80 x 760 – 808 –g – T
3	Διαστάσεις	305 x 178 x 1352 mm
<b>Linear Transducer in Cylinder</b>		
1	Κατασκευαστής	Balluff
2	Τύπος	BTL5-A11-M0800-B-SA56-S32
<b>Hydraulic Power Unit</b>		
1	Κατασκευαστής	PMC Technology
2	Γεννήτρια	18.5kW, 690V, 50/60Hz and 4 poles
3	Βαλβίδες	NG10
4	Pump Flow	46.2-49l/min – 50Hz
5	Pressure Pitch System	40.8 – 44.9 l/min – 60Hz
6	Pressure Pitch System Return	180-200 bar
7	Pressure Brake System	Min. 6 bar Return 50Hz 40 bar 60Hz 34 bar
8	Μέγεθος reservoir λαδιου	300 I (gross volume)
9	Ποσότητα λαδιού	320 L
10	Βάρος χωρίς λάδι	475 kg
11	Βάρος με λάδι	525 kg
<b>Hydraulic Block on Cylinder</b>		
1	Κατασκευαστής	PMC Technology
<b>Plain Bearing on Cylinder</b>		
2	Κατασκευαστής	SKF
3	Τύπος	PWM 809060

4	Διαστάσεις	90-60 x 40mm
<b>Spherical Plain Bearing on Cylinder Rod</b>		
1	Κατασκευαστής	SKF
2	Τύπος	GE100TG 3A-2RS
3	Διαστάσεις	150/100 x 70 mm

### 3.6.3 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

### 3.6.4 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.

## 3.7 Μονάδα Ελέγχου

Τα δεδομένα για την μονάδα ελέγχου της υπο εξέτασης ανεμογεννήτριας δίνονται στον ακόλουθο πίνακα

<b>Τροφοδοσία</b>	
<b>Τάση</b>	3 x 690 VAC - 50/60 Hz
<b>Lockable circuit breaker</b>	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

### Computer

**Communication**

Arc Net

**Program memory**

EPROM (flash)

**Programming language**

C++

**Configuration**

Modular

**Operation**

Numeric keyboard + Function keys pad

**Display**

4 x 40 characters

## 3.8 Χαρακτηριστικά 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 καταγράφονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 13** Χαρακτηριστικά ισχύος

<b>Συχνότητα</b>	50/60 Hz
<b>Δίμετρος Ρότορα</b>	80 meters
<b>Γωνία κλίσης πτερωτών</b>	Ρυθμιζόμενη Αυτόματα
<b>Διακυμάνσεις Ανέμου</b>	10 %

Η ταχύτητα αέρα που υπολογίζεται ως μέση τιμή 10 λεπτών στο ύψος του κέντρου του ρότορα και κάθετος σ' αυτόν. Η καμπύλη ισχύος μετρίεται στον επίγειο ελεγκτή στη χαμηλή τάση του μετασχηματιστή. Επομένως οι απώλειες στο μετασχηματιστή και στα καλώδια μέσης ή υψηλής τάσης δεν συμπεριλαμβάνονται στις μετρήσεις.

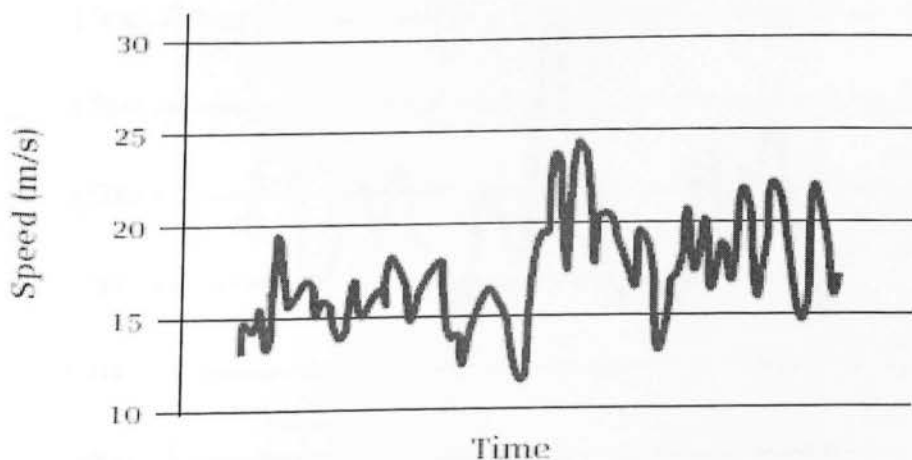
Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται η απόδοση ισχύος της ανεμογεννήτριας για διαφορετικές τιμές ανέμου, στο ύψος του κέντρου του ρότορα και για σταθερή τιμή πυκνότητας αέρα ( $1.225 \text{ kg/m}^3$ ). Οι μετρήσεις είναι για διεύθυνση ανέμου κάθετη στην επιφάνεια του ρότορα. (Γ. Παπανδρέου, 2011)

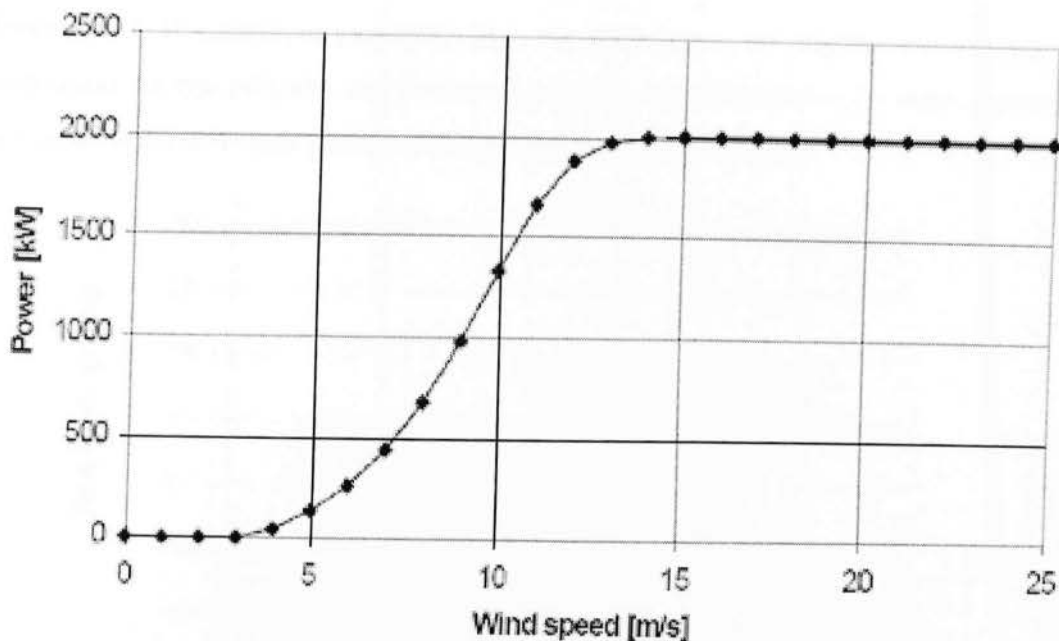
**Πίνακας 14** Δεδομένα καμπύλης ισχύος

V (m/s)	Ισχύς (KW)
4	66,6
5	154
6	282
7	460
8	696
9	996
10	1341
11	1661
12	1866
13	1958
14	1988
15	1997
16	1999
17	2000
18-25	2000

Από τα δεδομένα προκύπτει πως η ανεμογεννήτρια για ταχύτητες ανέμου μικρότερες από 4 m/s και μεγαλύτερες από 25m/s η ανεμογεννήτρια δεν παράγει ισχύ

**Πίνακας 15** Η καμπύλη ισχύος διακόπτεται όταν η ταχύτητα του ανέμου γίνει ίση με 25m/sec.

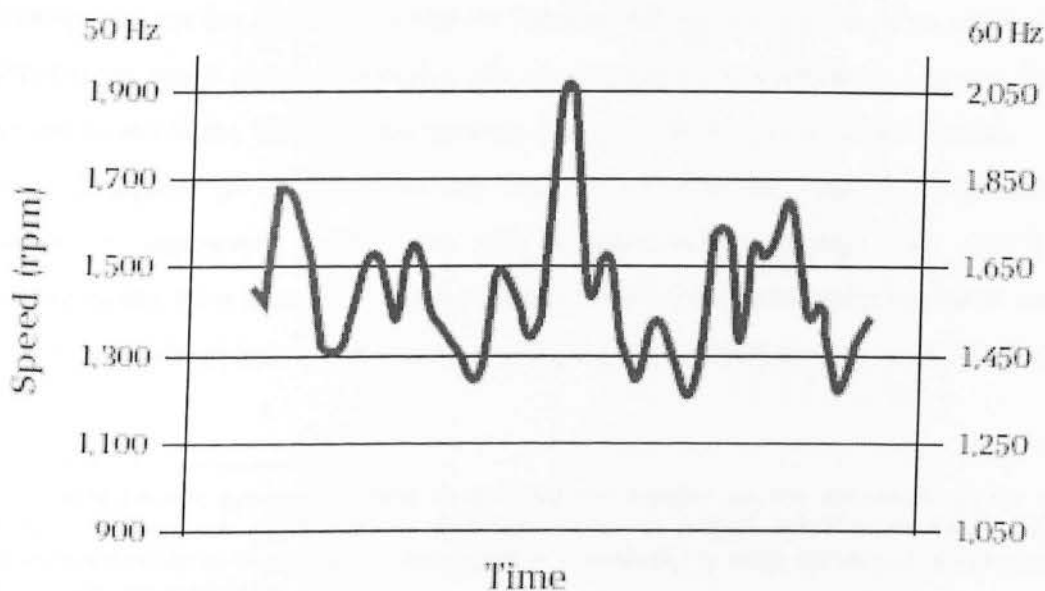




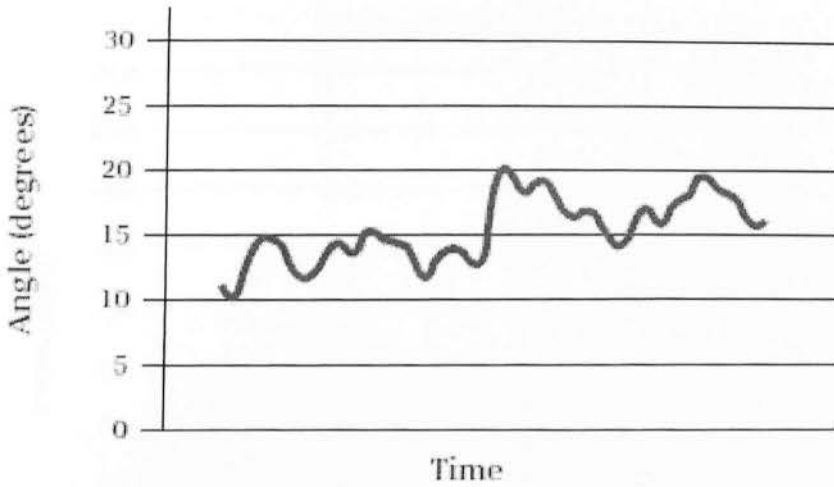
Εικόνα 32 Καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας Vestas V80 (2MW)

Το σύστημα OptiSpeed επιτρέπει στον ρότορα να κινείται με ταχύτητα από 1400 έως 3100 rpm ανάλογα τον άνεμο που επικρατεί την συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Για την αύξηση της εξόδου με την OptiSpeed ορίζεται ως ταχύτητα περιστροφής του ρότορα την μεγαλύτερη τιμή της αργής και μεταβλητής περιστροφής της, αποθηκεύοντας αποτελεσματικά με αυτό το τρόπο το πλεόνασμα της ενέργειας σε μορφή περιστροφής.

Πίνακας 16. Σε λειτουργία συχνότητας 50 Hz το μοντέλο επιτυγχάνει μέγιστη απόδοση 1.900 rpm



**Πίνακας 17** Η μείωση παραγωγής από την γεννήτρια, σε περίπτωση ανάγκης υλοποιείται με την ρύθμιση της γωνίας προσβολής των πτερυγίων. Το εύρος τιμών που λαμβάνει το σύστημα pitch control κυμαίνεται από  $10^{\circ}$  έως  $21^{\circ}$



### 3.9 Μείωση Θορύβου

Λόγω της ελεγχόμενης και αργής περιστροφής του ρότορα γίνεται δυνατό να περιορίζεται ο θόρυβος στα όρια που ορίζονται από τους τοπικούς κανονισμούς. Οι ανεμογεννήτριες με σύστημα OptiSpeed αποδίδουν καλύτερης ποιότητας ισχύ στο πλέγμα μαζί με γρήγορο συγχρονισμό ελαττώνοντας τις παραμορφώσεις και τους κραδασμούς, καθώς και τον θόρυβο σε σχέση με άλλες κατασκευάστριες εταιρείες.<sup>9</sup> (Vestas, 2007)

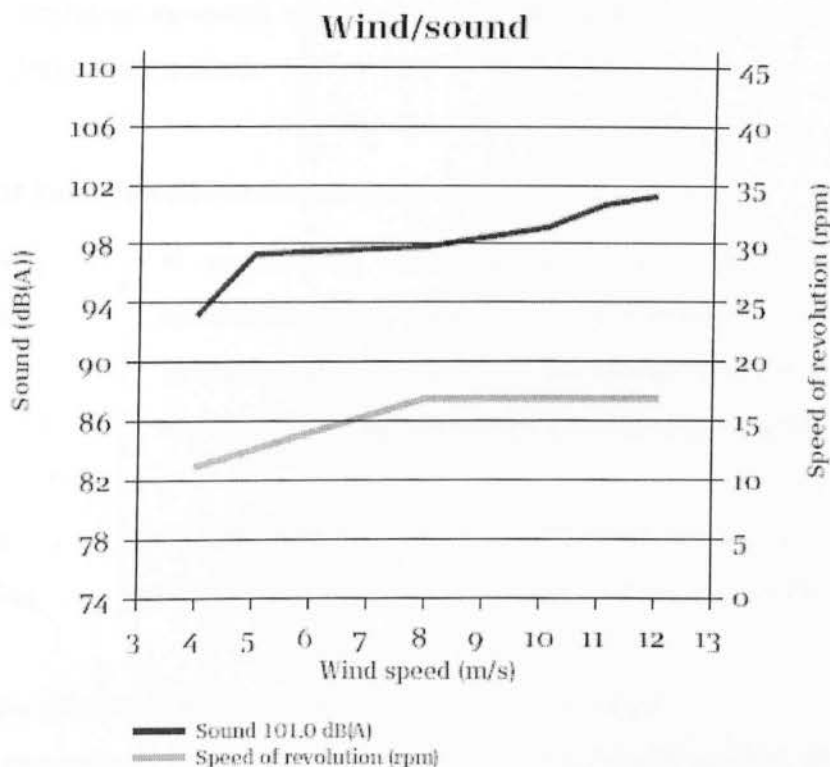
Ο θόρυβος της ανεμογεννήτριας μπορεί να γίνει αντιληπτός μόνο κάτω από προϋποθέσεις. Σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ανέμου οι ανεμογεννήτριες δεν λειτουργούν και δεν παράγεται καθόλου θόρυβος. Όταν πάλι ο άνεμος έχει ταχύτητα μεγαλύτερη των 8 m/sec, ο θόρυβος των ανεμογεννητριών καλύπτεται από τον ίδιο τον άνεμο και όλους τους προκαλούμενους ήχους από αυτό (φύλλα δέντρων, κλπ).

Σύμφωνα με τα δεδομένα που προκύπτουν από την καμπύλη ταχύτητας ανέμου – παραγωγής (KW) από την ανεμογεννήτρια Vestas V80 (2MW) διαπιστώνεται ότι η παραγωγή ισχύος ξεκινάει όταν η ταχύτητα ενάρξεως είναι ίση με 4m/sec. Η παραγόμενη ισχύ αυξάνεται μέχρι η ονομαστική τιμή της ταχύτητας να

<sup>9</sup> Η εταιρεία Enercon έχει αντιμετωπίσει το πρόβλημα του θορύβου και των κραδασμών με την απευθείας σύζευξη του ρότορα με τη γεννήτρια χωρίς την ύπαρξη κιβωτίου ταχυτήτων. Ως αποτέλεσμα αποδίδεται 40 φορές μικρότερη ταχύτητα περιστροφής το οποίο συνεπάγεται μικρότερες καταπονήσεις για το σύστημα



είναι ίση με 16m/sec. Η παραγωγή ισχύος διακόπτεται όταν η ταχύτητα του ανέμου γίνει ίση με 25m/sec



**Εικόνα 33** Ο στάθμη του ήχου μπορεί να ρυθμιστεί μεταβάλλοντας την ταχύτητα περιστροφής του στροβίλου όπως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα. Διακρίνεται πως τα χαμηλότερα ηχητικά επίπεδο επιτυγχάνονται όταν η κίνηση του αέρα είναι 4 μέτρα ανά δευτερόλεπτο

### 3.10 Γείωση Ανεμογεννήτριας

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 35mm<sup>2</sup> ή 50mm<sup>2</sup> 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).

**Πίνακας 18** Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η ύπαρξη γείωσης

<b>Προσωπική ασφάλεια</b>	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.
<b>Ασφάλεια λειτουργίας</b>	Οι ράβδοι εξασφαλίζουν μια σταθερή και χαμηλή αντίσταση μετάβασης στην γη για ολόκληρο το σύστημα γείωσης.

Το σύστημα γείωσης εκτελείται με τον ακόλουθη μεθοδολογία

- i. Η περιμετρική γείωση τοποθετείται σε μια απόσταση 1 μ από το θεμέλιο της ανεμογεννήτριας
- ii. Η περιμετρική γείωση συμπληρώνεται με δύο ράβδους χαλκού. Το ηλεκτρόδιο γείωσης τοποθετείται 180° μεταξύ τους
- iii. 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.

- i. Οι δύο ράβδοι μπορούν να επεκταθούν σε 10 μ.
- ii. Δύο πρόσθετες γήινες ράβδοι σε 10 μ μπορούν να προστεθούν (90° μεταξύ των 4 ράβδων)

### 3.11 Αντικεραυνική Προστασία

Η αντικεραυνική προστασία της V80 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.

Οι διακοπτόμενες 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 . Επιπλέον, συνιστάται η Α/Γ να συνδέεται με τύπο καλωδίου TN.

## 4. ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ & ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

### 4.1 Πρόγραμμα Συντήρησης

Το πρόγραμμα συντήρησης εκτελείται περιοδικά ανά τακτά χρονικά διαστήματα και διακρίνεται στην συντήρηση των μηχανολογικών μερών της ανεμογεννήτριας που φέρουν την μεγαλύτερη κόπωση και πιθανότητα αστοχίας και βλάβης και στη συντήρηση των ηλεκτρολογικών μερών

#### 4.1.1 Πρόγραμμα Συντήρησης Πρώτου Έτους Λειτουργίας

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει μια σειρά εργασιών, όπως αυτές αναλύονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 19** Περιοδικότητα εργασιών συντήρησης της ανεμογεννήτριας Vestas v80

<b>Τρίμηνη συντήρηση</b>	Γίνεται τρις μήνες μετά την παράδοση της Α/Γ και αφορά έλεγχο στα ηλεκτρικά μέρη και έλεγχο στις βίδες
<b>Εξάμηνη συντήρηση</b>	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
<b>Δωδεκάμηνη συντήρηση</b>	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

## 4.1.2 Εβδομαδιαίος Έλεγχος

Στις επισκευές περιλαμβάνονται οι αναλώσιμες εργασίες, οι επιδιορθώσεις βλαβών που οφείλονται σε μετεωρολογικές συνθήκες, όπως υγρασία, πάγος, υπερθέρμανση και σε φυσική φθορά ορισμένων τμημάτων του εξοπλισμού (σκουριά και διάβρωση) ή σε καταστροφές από πτώσεις κεραυνών, καταστροφές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού από ανωμαλίες δικτύου

## 4.1.3 Μηνιαίος Έλεγχος

Η συντήρηση πρέπει να γίνεται στο σύνολο του εξοπλισμού και να περιλαμβάνει συμπλήρωση ειδικής λίστας (check list) συντήρησης, σύσφιξη κοχλιών, επιθεώρηση, αντικατάσταση και λίπανση. Χαρακτηριστικά αναφέρονται οι κάτωθι εργασίες συντήρησης.

**Πίνακας 20** Εργασίες που εκτελούνται ανά περίοδο ενός μήνα

<b>Νασέλλα</b>	Θα πρέπει να γίνεται έλεγχος διάβρωσης της νασέλλας, του καπακιού της πλήμνης και των μηχανισμών κλειδώματος κάθε χρόνο.
<b>Σύστημα Περιστροφής</b>	Προβλέπεται η λίπανση του δακτυλίου περιστροφής, των πηνίων περιστροφής και του συστήματος πέδησης κάθε 6 μήνες. Για τις σιαγόνες των φρένων και για τους μειωτήρες προβλέπεται σύσφιξη των κοχλιών κάθε χρόνο.
<b>Πτερύγια</b>	Θα πρέπει να γίνεται σύσφιξη των κοχλιών των πτερυγίων με την πλήμνη κάθε χρόνο. Επίσης, θα πρέπει να γίνεται επιθεώρηση των ακροπτερυγίων για ζημιά από τους κεραυνούς και έλεγχος του υδραυλικού συστήματος ενεργοποίησής τους κάθε χρόνο.
<b>Πύργος</b>	Πρέπει να γίνεται σύσφιξη των κοχλιών βάσεως, σύνδεσης ενδιάμεσων τμημάτων του πύργου και κλιμάκων κάθε χρόνο ή κάθε 500 ώρες λειτουργίας. Κάθε χρόνο θα πρέπει να γίνεται επίσης έλεγχος για ρωγμές στις συγκολλήσεις, κατάσταση των θυρών.

#### 4.1.4 Τρίμηνη Συντήρηση

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει μια σειρά εργασιών, όπως αυτές αναλύονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 21** Εργασίες που εκτελούνται ανά περίοδο τριών μηνών

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 πουλόνια όπου 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 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	Άλεν βίδες M12 ελέγχονται με δυναμόκλειδο.
Έλεγχος και συσφίξεις στον	Γίνεται στα μπουλόνια που ενώνει το HUB με τον κύριο άξονα, με ειδικό δυναμόκλειδο . Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο

κύριο άξονα

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 και συσφίξεις στον πύργο

Έλεγχος στις εξωτερικές και στις εσωτερικές ράγες.

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.

#### 4.1.5 Εξαμηνιαία Συντήρηση

Το πρόγραμμα περιλαμβάνει μια σειρά εργασιών, όπως αυτές αναλύονται στον ακόλουθο πίνακα.

**Πίνακας 22** Εργασίες που εκτελούνται ανά περίοδο έξι μηνών

<b>Πλήμνη</b>	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
<b>Αντικεραυνική προστασία</b>	Γίνεται σε όλα τα καλώδια και τις συνδέσεις της αντικεραυνικής προστασίας.
<b>Φτερά</b>	Γίνεται στα φτερά για ρωγμές ή τυχόν χτύπημα από κεραυνό. Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο της αντικεραυνικής προστασίας των φτερών
<b>Ρουλεμάν των φτερών με το HUB</b>	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.
<b>Τραβέρσα και συνδετική</b>	Έλεγχος και λάδωμα του άξονα της τραβέρσας



ράβδος	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 Σύστημα ψυκτικού υγρού Γεννήτρια	Γίνεται οπτικός έλεγχος για ρωγμές.  Γίνεται συμπλήρωση ψυκτικού υγρού εάν χρειάζεται. 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 Έλεγχο 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 περιεργους θορύβους. Έλεγχος για διαρροή λαδιού. Επίσης περιλαμβάνει έλεγχο και ρύθμιση των ελατηρίων στο σύστημα του yaw Γρασάρισμα της επιφάνειας τριβής και στα γρανάζια.

#### 4.1.6 Δωδεκαμηναία Συντήρηση

Η συντήρηση των ΑΓ γίνεται με φορητό σύστημα διαγνωστικού – προληπτικού ελέγχου με ανίχνευση στις μηχανικής φθοράς στις κρίσιμες συνιστώσες ανεμογεννητριών. Ειδικό φορητό σύστημα μετρά, αποθηκεύει και αναλύει τη στάθμη κραδασμών και δονήσεων σε επιλεγμένα κρίσιμα σημεία ως δείκτη “υγιούς λειτουργικής κατάστασης”. Με ειδικό λογισμικό συγκρίνεται η τρέχουσα κατάσταση με τις προηγούμενες αποτυπώσεις και γίνεται προληπτική διάγνωση και εντοπισμός εξαρτημάτων που έχουν αρχίσει να φθείρονται και απαιτείται η αντικατάστασή τους ή η αποσύνδεσή τους. (Σ. Ταουλαντ, 2010)

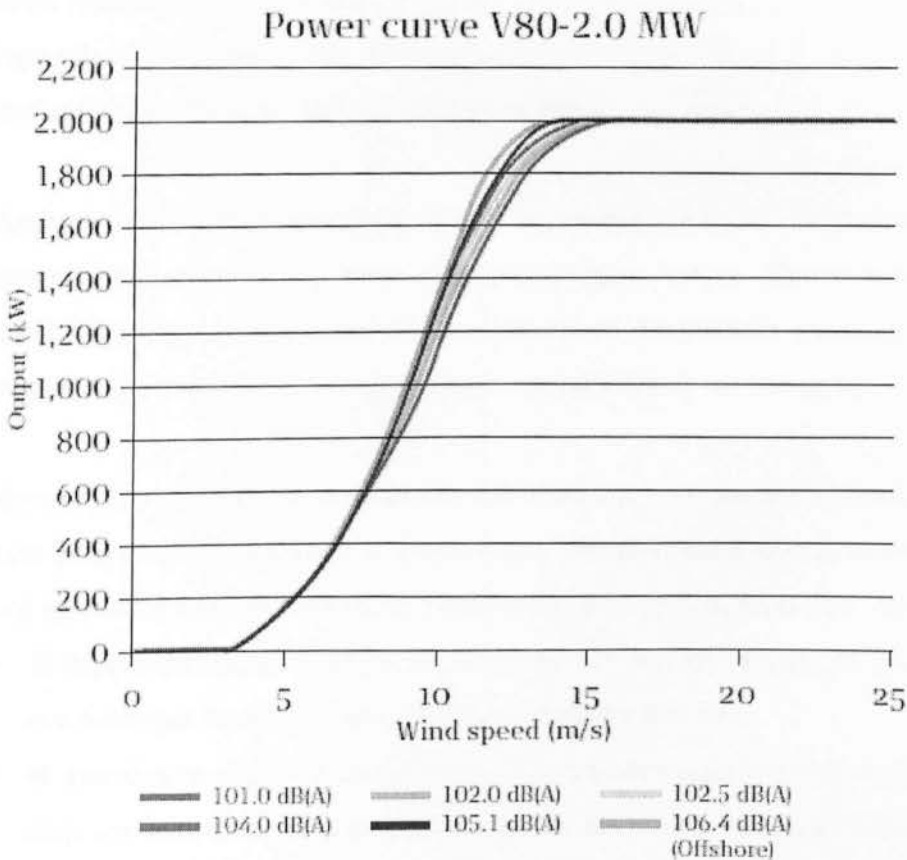
- i. Αλλαγή του **on line** φίλτρου του σασμάν
- ii. Αλλαγή του **off line** φίλτρου του σασμάν
- iii. Αλλαγή του **φίλτρου αέρα** του σασμάν
- iv. Αλλαγή του **φίλτρου λαδιού** της υδραυλικής
- v. Αλλαγή του **φίλτρου αέρα** της υδραυλικής
- vi. Παίρνουμε **δείγμα λαδιού** της υδραυλικής για ανάλυση
- vii. Έλεγχος και ρύθμιση εάν χρειάζεται δύο πιεσοστατών της υδραυλικής.
- viii. Μέτρηση του τζόγου στα ρουλεμάν μεταξύ της συνδετικής ράβδου και της
- ix. τραβέρσας για κάθε φτερό ξεχωριστά.
- x. Μέτρηση του τζόγου στα ρουλεμάν μεταξύ της συνδετικής ράβδου και του
- xi. torque arm του φτερού
- xii. Μέτρηση τζόγου στα στο σύστημα συγκράτησης του σασμάν
- xiii. Εξαέρωση του φρένου.
- xiv. Μέτρηση του πάχους στα τακάκια του φρένου και αλλαγή

#### 3.12 Προδιαγραφές Λειτουργίας

Η **Vestas V 80-2MW** είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να λειτουργεί σε περιβαλλοντικές θερμοκρασίες οι οποίες κυμαίνονται από  $-20^{\circ}\text{C}$  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. (Σ. Ταουλαντ, 2010)



**Εικόνα 34** Το διάγραμμα εμφανίζει τις διακυμάνσεις παράγωγης ενέργειας σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου (Vestas, 2007)

Επιπλέον, επίσης στους τόπους με υψόμετρο πάνω από 1000 μ. από τη στάθμη της θάλασσας, θα υπάρξει ένας αυξανόμενος κίνδυνος από το παγωμένο περιβάλλον.

## 4.2 Διάρκεια Ζωής Ανεμογεννήτριας

Ο κύκλος ζωής των ανεμογεννητριών περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

**Κατασκευή Μεταφορά.** Η διάρκεια κατασκευής και μεταφοράς του πάρκου κυμαίνεται σε 3-4 χρόνια στις έχουμε αναλύσει και παραπάνω.

**Λειτουργία.** Το στάδιο λειτουργίας είναι το βασικό στάδιο κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των αιολικών συστημάτων. Το στάδιο αυτό διαρκεί περίπου 25 χρόνια με ενδιάμεση συντήρηση κάθε 6 μήνες.

Από στις μετρήσεις του αιολικού δυναμικού στις περιοχής έχουμε καταγεγραμμένες στις τιμές των ταχυτήτων του ανέμου. Με τον στατιστικό νόμο των ακραίων τιμών εκτιμάται η μέγιστη ταχύτητα που αναμένεται να ξεπεραστεί κατά μέσο όρο μια φορά τουλάχιστον σ' ένα αριθμό ετών. Ο αριθμός των ετών καθορίζει και τον χρόνο ζωής στις αιολικής μηχανής κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας.

**Απόσυρση.** Η φθορά συσχετίζεται με τις επιταχύνσεις και ταλαντώσεις στο κιβώτιο της ανεμογεννήτριας, στην ηλεκτρογεννήτρια και το έδρανο του κύριου άξονα. Η λειτουργία του αιολικού πάρκου μπορεί να σταματήσει απότομα και από ακραίες καιρικές συνθήκες (πτώση κεραυνού, ανεμοθύελλα) και σεισμούς.

Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την λειτουργία επομένως και την διάρκεια ζωής είναι η θερμοκρασία, η πυκνότητα του αέρα και η ηλιακή ακτινοβολία. Σχετικά με αυτούς τους παράγοντες οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται έτσι ώστε:

- **Η θερμοκρασία.** Οι έλεγχοι της δύναμης και αντοχής πρέπει να καλύπτουν ένα διάστημα θερμοκρασιών -20 έως 50 βαθμών Κελσίου.
- **Η πυκνότητα αέρα.** Ο υπολογισμός των αεροδυναμικών φορτίων βασίζεται στην υπόθεση ότι η πυκνότητα του αέρα σε κανονικές συνθήκες στην στάθμη της θάλασσας είναι  $\rho = 1,225 \text{ kg /m}^3$
- **Η ηλιακή ακτινοβολία.** Η ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται ότι θα είναι  $1000 \text{ W/m}^2$

### 4.3 Όροι Εδάφους

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

- i. Μια μέγιστη κλίση  $10^\circ$  μέσα σε μια ακτίνα 100 μέτρων από την Α/Γ
- ii. Μια μέγιστη κλίση  $15^\circ$  μέσα σε μια ακτίνα 100 έως 500 μέτρων από την Α/Γ
- iii. Μια μέγιστη κλίση  $20^\circ$  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 (**5X80=400m**). Εάν οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε μια σειρά, κάθετη στην κυρίαρχη κατεύθυνση αέρα, η απόσταση μεταξύ των Α/Γ πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 φορές την διάμετρο του ρότορα. (**4X80=320m**) (Σ. Ταουλαντ, 2010)

### 4.4 Κλιματικές Συνθήκες

Η ανεμογεννήτρια έχει προδιαγραφεί για θερμοκρασίες περιβάλλοντος που κυμαίνονται μεταξύ  $-20$  και  $+30$  βαθμούς Κελσίου. Επιβάλλεται η εφαρμογή μέτρων προφύλαξης σε περίπτωση που η θερμοκρασία ξεπεράσει αυτό το εύρος των τιμών. Η ανεμογεννήτρια διαθέτει σχεδιασμό προστασίας από διάβρωση εφόρου ζωής σύμφωνα με τις προδιαγραφές ISO 12944-2. (Γ. Παπανδρέου, 2011)

### 4.5 Ασφάλεια Εργαζομένων

Πρώτη προτεραιότητα σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να είναι η σχολαστική τήρηση των κανόνων ασφαλείας της για την προστασία προσωπικού και εξοπλισμού. Δεδομένου ότι η εργασία ήταν σε ύψος και σε χώρο με εδαφικές ανωμαλίες όπου θα έπρεπε να μεταφερθούν και να συναρμολογηθούν μεγάλα φορτία. Έτσι σε όλη την διάρκεια των εργασιών η αρμόδια εταιρεία οφείλει να εφαρμόζει τα οριζόμενα στον Κανονισμό DIN 416. (Ν. Μάρκος & Α. Κιούσης, 2011)

## Συμπεράσματα

Σήμερα, ο τομέας κατασκευής ανεμογεννητριών χαρακτηρίζεται από τον έντονο ανταγωνισμό στα συστήματα βελτιστοποίησης της λειτουργίας των μοντέλων τους. Γεγονός είναι πως πλέον έχει επιτευχθεί ένα στάνταρ ποιότητας παραγωγής ενέργειας μέσω των ανεμογεννητριών και η εξελεγκτική τους πορεία έχει καθορίσει ποιες καινοτομίες υπερτερούν έναντι των άλλων. Για παράδειγμα πλέον χρησιμοποιούνται μόνο ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, έναντι αυτών του κάθετου άξονα καθώς οι μελετητές διέκριναν την υπεροχή της τεχνικής αυτής.

Καθώς λοιπόν έχουμε κατασταλάξει στο πως θα προδιαγράφεται μια ανεμογεννήτρια, η εκάστοτε εταιρεία αναβαθμίζει τα μοντέλα της με νέες τεχνικές. Πρωτοποριακό παράδειγμα αποτέλεσε η κατάργηση του κιβωτίου ταχυτήτων από τις ανεμογεννήτριες της εταιρείας Enercon, προσδίδοντας σημαντικά οφέλη στην λειτουργία των μοντέλων της (μείωση ανάγκης συντήρησης, μείωση θορύβου).

Εστιάζοντας στην εταιρεία Vestas, διαπιστώνεται πως ο όμιλος κάνει αντίστοιχα ενέργειες αναβάθμισης των μοντέλων του. Σπουδαιότερη καινοτομία του αποτελεί το σύστημα OptiSpeed™ το οποίο επιτρέπει στο ρότορα να λειτουργεί με μεταβλητή ταχύτητα (rpm). Επιπρόσθετα η εταιρεία εξοπλίζει τα μοντέλα της με το ειδικό σύστημα της YE5TA5 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. Η ρύθμιση βελτιστοποιεί την παραγωγή ισχύος και τα επίπεδα θορύβου.

Αναλύοντας τις τιμές παραγωγής ενέργειας του συγκεκριμένου μοντέλου Vestas V80 (2MW) οι αποδόσεις του είναι ανταγωνιστικές, και κυμαίνονται στις αποδόσεις των αντίστοιχων μοντέλων άλλων εταιρειών. Ως ιδανική ταχύτητα ανέμου δίνονται οι τιμές από 8 έως 25 μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Για τον Ελλαδικό χώρο οι τιμές αυτές συναντώνται κατά μέσο όρο στην περιοχή της Βοιωτίας, της Χαλκίδας και στα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη. Να τονιστεί βέβαια πως ανεμογεννήτριες με ρότορα άνω των 70 μέτρων δεν συναντάται συχνά στον Ελλαδικό χώρο.

Σχετικά με το κόστος της ανεμογεννήτριας αυτή προσεγγιστικά προσδιορίζεται στο ένα εκατομμύριο ευρώ ένα μεγαβατόρα παραγωγής. Βασιζόμενοι σε αυτή τη παραδοχή η υπό μελέτη ανεμογεννήτρια έχει προσεγγιστικό κόστος 2 εκατομμύρια ευρώ. Στατιστικά η παραγωγή κάθε νέου MW οδηγεί στη δημιουργία περίπου 50 νέων θέσεων εργασίας (20 στην κατασκευή φωτοβολταϊκών και 30 στην εμπορία, εγκατάσταση και στην παροχή των συναφών υπηρεσιών), ενώ καμία συμβατική ενεργειακή τεχνολογία δεν μπορεί να προσφέρει ανάλογα πλεονεκτήματα.

Η ανάπτυξη των ΑΠΕ ως τώρα αφορά σε μεγάλο βαθμό τα αιολικά πάρκα, με ελάχιστη ανάπτυξη των άλλων ενεργειακών τεχνολογιών από ΑΠΕ (κυρίως μικρά υδροηλεκτρικά και βιοαέριο), ενώ είναι σχεδόν ολοκληρωτική η απουσία εφαρμογών εμπορικής κλίμακας στα ηλιακά, στη γεωθερμία και στη παραγωγή ηλεκτρισμού από βιομάζα.

## Βιβλιογραφία

1. **Promoting Urban Sustainable Development in Local Authorities P**  
Leonardo da Vinci - Βιώσιμες Αστικές Κατασκευές [Βιβλίο]. - [s.l.] :  
Ajuntament de Sabadell, 2009.
2. **United Nations U** World Population Prospects, the 2000 Revision, [Βιβλίο]. -  
New York : UN Population Division, Department of Economic and Social  
Affair, 2001.
3. **Vestas V** V80-2.0MW [Βιβλίο]. - 2007.
4. **Α. Β. Γκίκα Α** Μοντελοποίηση Ηλεκτρονικών Μεταρτοπέων Ευρείας  
Χρησιμοποιούμενων σε Ανεμογεννήτριες Μεταβλητών Στροφών [Βιβλίο]. -  
Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο, 2008.
5. **Α.Ρόικου & Σ. Τσιούτρα** Σύγκριση Αιολικού Πάρκου & Πυρηνικού  
Σταθμού [Βιβλίο]. - Θεσσαλονίκη : Α.Π.Θ. Τμήμα Ηλεκτρολόγων &  
Μηχανικών Υπολογιστών, 2010.
6. **Β. Νώτη Β** Προγράμματα SCADA – Βελτιστοποίηση Λειτουργίας Α/Π  
[Βιβλίο]. - Αθήνας : Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ιδρυμα Αθήνας , 2002.
7. **Γ. Παπανδρέου Γ** Μελέτη Παραμέτρων Ανεμογεννήτριας και Εφαρμογή για  
Παράκτιο Αιολικό Πάρκο στη Λήμνο [Βιβλίο]. - Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο  
Πολυτεχνείο, 2011.
8. **Γ.Αργυρόπουλος** Κίνητρα για την εξάπλωση των ανανεώσιμων πηγών  
ενέργειας: Ανάλυση και προτάσεις [Βιβλίο]. - [s.l.] : Κέντρο Ανανεώσιμων  
Πηγών Ενέργειας, 1992.
9. **Δ. Αλιπραντής Δ** Μελέτη Συμπεριφοράς Ηλεκτρογεννήτριας - Μετατροπέων  
Ισχύος [Βιβλίο]. - Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 1999.



10. **Δ. Μπαστάκη & Ε. Παπαδάκη** Αξιολόγηση Αιολικού Χάρτη της Κρήτης με στοιχεία Ανέμου από Αιολικά Πάρκα σε λειτουργία [Βιβλίο]. - Κρήτη : Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2010.
11. **Μ. Ντρέκο Χ. Πάτσιος, Α. Χανιώτης, Α. Κλαδάς** , Ανάλυση Λειτουργίας και Έλεγχος Συστήματος Ανεμογεννήτριας Μεταβλητών Στροφών Διασυνδεδεμένης στο Δίκτυο [Βιβλίο]. - Αθήνα : Ελληνική επιτροπή CIGRE, 2009.
12. **Ν. Σιούτα & Α. Γιαννακούλης Ν** Περιβάλλον, Κατασκευή, ΣΠΔ και Βιώσιμη Κατασκευή, Πρώτη Εφαρμογή του EMAS στην Κατασκευή της Ελλάδας [Βιβλίο]. - Αθήνα : ΑΚΤΩΡ Κατασκευαστική, 2010.
13. **Π. Κωνσταντέλου Π** Χωροθέτηση Αιολικών Σταθμών στο Νομό Λακωνίας - Προβλήματα – Προοπτικές [Βιβλίο].- Αθήνα : Εθνικό Μετσόβειο Πολυτεχνείο , 2009.
14. **Π. Πάτης** Κατασκευή Λειτουργία & Συντήρηση Πάρκων Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα. [Βιβλίο]. - Κρήτη : ΤΕΙ Κρήτης , 2009.
15. **Σ. Παπαθανασίου Σ** Συμβολή στην ανάλυση ανεμογεννητριών μεταβλητών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια για την επιλογή του ηλεκτρικού σχήματος [Βιβλίο]. - Αθήνα : Διδακτορική Διατριβή, 1997.
16. **Σ. Ταουλαντ** Μελέτη Ανάπτυξης Αιολικού Πάρκου στη Κρήτη [Βιβλίο]. - Κρήτη : Τ.Ε.Ι. Κρήτης, 2010.