

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός 1192

**Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αιολικά
συστήματα (Ανεμογεννήτριες) διαφόρων τύπων.
Μελέτη του Αιολικού Πάρκου Παναχαϊκού.**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ :
ΚΑΡΑΠΑΤΑΚΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ
ΤΣΑΜΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ**

ΠΑΤΡΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το θέμα για την παρούσα πτυχιακή εργασία επιλέχθηκε καθώς οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι η λύση για το ενεργειακό πρόβλημα που υπάρχει στις μέρες μας. Τα αποθέματα των κλασικών ενεργειακών φορέων όπως το πετρέλαιο και ο λιγνίτης μειώνονται και έτσι έρχονται στην επιφάνεια όλο και περισσότερο οι εναλλακτικές μορφές ενέργειας. Από αυτές οι ΑΠΕ είναι οι πλέον συμφέρουσες καθώς είναι ανεξάντλητες και το πιο σημαντικό είναι ότι δεν μολύνουν το περιβάλλον.

Από τις ΑΠΕ αυτές που έχουν μεγαλύτερη εφαρμογή είναι η εκμετάλλευση της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας. Το γεωγραφικό ανάγλυφο της Ελλάδας επιτρέπει την χρήση και των δύο αυτών εναλλακτικών μορφών ενέργειας κάτι που μας ώθησε στην επιλογή του θέματος της παρούσας πτυχιακής.

Βέβαια το νομοθετικό καθεστώς δεν βοηθάει την ανάπτυξη τους αλλά ελπίζουμε στο μέλλον οι ΑΠΕ να είναι η βασική πηγή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας, πράγμα που θα βοηθήσει τόσο στην ανάπτυξη της οικονομίας όσο και στην βελτίωση του βιοτικού επιπέδου ζωής.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται σε μια εκ των πέντε βασικών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, την αιολική, και δίδεται ιδιαίτερη βαρύτητα στον τρόπο παραγωγής και εκμετάλλευσης της παραγόμενης ενέργειας από τα αιολικά πάρκα. Συγκεκριμένα γίνεται ανάλυση του αιολικού πάρκου στο όρος Παναχαϊκό.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη του τρόπου λειτουργίας των ανεμογεννητριών και η διαδικασία κατασκευής και παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ένα αιολικό πάρκο.

Αναλυτικότερα στο Κεφάλαιο 1, γίνεται εισαγωγή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αναφέρονται τα είδη, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους καθώς και ο ενεργειακός τους ρόλος τόσο στην Ευρώπη όσο και στην Ελλάδα.

Στο Κεφάλαιο 2, γίνεται μία πιο λεπτομερή αναφορά στην αιολική ενέργεια και τον ρόλο της στο Παγκόσμιο αλλά και το Ελληνικό ενεργειακό επίπεδο. Επίσης γίνεται μία σύντομη ιστορική αναδρομή και αναφέρονται και τα προβλήματα που προκύπτουν από την χρήση της. Τέλος, αναφερόμαστε στην μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου ανάλογα με το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους.

Στο Κεφάλαιο 3, γίνεται παρουσίαση των ανεμογεννητριών. Αναφέρονται οι βασικές αρχές λειτουργίας τους, οι τύποι ανεμογεννητριών που υπάρχουν και τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στις μέρες μας. Επίσης αναλύεται η αεροδυναμική μετατροπή τους και γίνεται μία αναφορά στους τύπους ανεμογεννητριών που κυκλοφορούν στο εμπόριο.

Στο Κεφάλαιο 4, αναφέρονται οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπ' όψη κατά την τοποθέτηση ανεμογεννητριών σε μία περιοχή.

Στο Κεφάλαιο 5, παρουσιάζεται η διεργασία για την μελέτη, το κόστος κατασκευής, την παραγόμενη ενέργεια σε MW και τον τρόπο μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο της ΔΕΗ του αιολικού πάρκου στη περιοχή του Παναχαϊκού.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	1
---------------	---

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
---------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)

1.1 Γενική αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	6
1.2 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα των ΑΠΕ.....	7
1.3 Μορφές ΑΠΕ.....	8
1.3.1 Ηλιακή ενέργεια.....	9
1.3.2 Αιολική ενέργεια.....	10
1.3.3 Ενέργεια από υδατοπτώσεις.....	11
1.3.4 Γεωθερμική ενέργεια.....	12
1.3.5 Ενέργεια από βιομάζα.....	13
1.3.6 Ενέργεια από παλίρροια.....	14
1.3.7 Ενέργεια ωκεανούς.....	15
1.3.8 Ενέργεια από κύματα.....	16
1.4 Η κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα.....	18
1.5 Ανακεφαλαίωση.....	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1 Γενικά για την αιολική ενέργεια.....	22
2.1.1 Ιστορική εξέλιξη	22
2.1.2 Χρησιμότητα αιολικής ενέργειας	25
2.1.3 Προβλήματα από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.....	26
2.2 Μέθοδοι αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας.....	27
2.3 Μέτρηση ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου.....	28
2.4 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψους πάνω από το έδαφος.....	33
2.5 Η αιολική ενέργεια σε παγκόσμιο επίπεδο.....	35
2.6 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα.....	38

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

3.1	Εισαγωγή.....	42
3.2	Βασικές αρχές λειτουργίας.....	42
3.3	Ενέργεια από ανεμογεννήτριες	48
3.4	Τύποι ανεμογεννητριών.....	49
3.4.1	Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.....	50
3.4.2	Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα.....	51
3.4.3	Σύγκριση ανεμογεννητριών οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα.....	52
3.5	Συστήματα ανεμογεννητριών (Α/Γ).....	53
3.6	Βασικά δομικά στοιχεία ανεμογεννητριών.....	56
3.7	Αεροδυναμικός έλεγχος ισχύος Α/Γ.....	58
3.8	Αεροδυναμική μετατροπή.....	59
3.9	Στροβιλισμός και αναταράξεις του αέρα.....	61

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΤΟΠΙΚΗ ΚΟΙΝΩΝΙΑ

4.1	Εισαγωγικά.....	63
4.2	Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή θέσεων.....	64
4.2.1	Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής.....	64
4.2.2	Η σταθερότητα του ανέμου.....	65
4.2.3	Η αξιοπιστία των αιολικών δεδομένων.....	66
4.2.4	Τα διάφορα φυσικά και μετεωρολογικά φαινόμενα.....	66
4.2.5	Η οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης.....	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (Α/Π) ΠΑΝΑΧΑΪΚΟΥ

5.1	Εισαγωγή.....	68
5.2	Κριτήρια επιλογής θέσης.....	69

5.3 Περιγραφή μηχανών παραγωγής.....	69
5.3.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Α/Γ VESTAS V52 & GAMESA G52.....	69
5.3.1.1 Κλιματολογικοί Όροι.....	71
5.3.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Α/Γ VESTAS V52 & GAMESA G52.....	71
5.3.2.1 Περιγραφή VCS, OptiSpeed™.....	71
5.3.2.2 Γεννήτρια.....	74
5.3.2.3 Χαρακτηριστική ισχύος Α/Γ.....	75
5.3.2.4 Σύστημα προσανατολισμού (yaw system).....	76
5.3.2.5 Φτερά - Σημείο διασύνδεσης (hub).....	76
5.3.2.6 Κύριος άξονας (Main Shaft).....	78
5.3.2.7 Σασμάν (Gearbox).....	79
5.3.2.8 Mechanical brake.....	79
5.3.2.9 Αισθητήρας μέτρησης διεύθυνσης και ταχύτητας αέρα.....	80
5.3.3 ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ Α/Γ VESTAS V52 & GAMESA G52.....	80
5.3.3.1 Έλεγχος των ανεμογεννητριών.....	80
5.3.3.2 Συλλογή δεδομένων.....	81
5.3.3.3 Έλεγχος της Α/Γ με OptiTip.....	82
5.3.3.4 Κύριος ελεγκτής.....	84
5.3.3.5 Τμηματική λειτουργία φορτίων.....	85
5.3.3.6 Πλήρεις λειτουργία φορτίων.....	87
5.3.3.7 Σύνδεση αστέρα – τρίγωνο.....	87
5.3.3.8 Ξεκίνημα και σταμάτημα.....	87
5.3.3.9 Έλεγχος ισχύος / μετατροπέας ισχύος.....	88
5.3.3.10 Άεργη ισχύς.....	89
5.4 Διασύνδεση ανεμογεννητριών με το δίκτυο της ΔΕΗ.....	89
5.4.1 Διασύνδεση Α/Γ με το Κέντρο Ελέγχου.....	89
5.4.2 Κτίριο Ελέγχου.....	94
5.4.3 Διασύνδεση του Κέντρου Ελέγχου με τον υποσταθμό του πάρκου και το δίκτυο της ΔΕΗ.....	103
5.5 Γείωση Ασφαλείας των Α/Γ VESTAS V52 & GAMESA G52 και Αντικεραυνική προστασία.....	104
5.6 Κόστος κατασκευή αιολικού πάρκου	108
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ.....	110

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)

1.1 Γενική αναφορά στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Σήμερα ένα από τα μεγαλύτερα θέματα για το μέλλον της ανθρωπότητας είναι και το θέμα του περιβάλλοντος. Οι παρεμβάσεις του ανθρώπου, ιδιαίτερα τους τελευταίους 1-2 αιώνες, δημιούργησαν προβλήματα και καταστροφικές προοπτικές για την ανθρωπότητα. Μια από τις παρεμβάσεις του ανθρώπου, που δημιουργούν τεράστια προβλήματα για το φυσικό περιβάλλον, είναι οι αναγκαίες σήμερα μεγάλες ποσότητες ενέργειας, που απαιτούνται στη σύγχρονη κοινωνία, θέρμανση, ηλεκτρισμός, μεταφορές είναι αναγκαία σε κάθε νοικοκυριό, ενώ και η παραγωγή αγαθών βασίζεται σήμερα στην ενέργεια (βιομηχανία, βιοτεχνία, γεωργία, ορυκτός πλούτος).

Για να περιοριστεί η ρύπανση του φυσικού περιβάλλοντος από την παραγωγή ενέργειας, γίνονται πολλές προτάσεις, μια από τις οποίες είναι οι ΑΠΕ. Καταρχήν πρέπει να τονίσουμε ότι και οι ΑΠΕ έχουν αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις, όμως σε μικρότερο βαθμό από την παραγωγή ενέργειας με καύσιμη πρώτη ύλη. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα που έχουν οι ΑΠΕ έναντι των συμβατικών μορφών ενέργειας είναι ότι δεν έχουν ημερομηνία λήξης, αφού έχουν διαρκή ανανέωση.

Αντίθετα τα οι συμβατικές μορφές ενέργειας, που σήμερα καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό σε ενέργεια, έχουν εξαντλήσιμα αποθέματα. Π.χ. τα υγρά καύσιμα και το φυσικό αέριο προβλέπεται ότι θα εξαντληθούν σε λιγότερο από 1 αιώνα. Στις ΑΠΕ υπάγονται (α) η ενέργεια του νερού (β) η ηλιακή ενέργεια (γ) η αιολική ενέργεια (δ) η γεωθερμία και (ε) η βιομάζα.

Μια πρώτη σημαντική μορφή ενέργειας είναι η ενέργεια του νερού όπου είναι δυνατόν να καλύπτουν μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών σε ώρες αιχμής, που το κόστος παραγωγής των σταθμών με καύσιμα είναι μεγαλύτερο, ενώ ταυτόχρονα προσφέρουν και άλλες υπηρεσίες, όπως άρδευση, ύδρευση, αλλά και τη διαχείριση του υδάτινου δυναμικού, που ιδιαίτερα στη χώρα μας είναι άμεση ανάγκη. Περιβαλλοντικά, με κατάλληλη μελέτη, όχι μόνο δεν δημιουργούν αρνητικές επιπτώσεις, αλλά είναι δυνατόν να έχουμε θετικά αποτελέσματα.

Σημειώνεται ότι στη χώρα μας, με ολοκληρωμένη ανάπτυξη των υδροηλεκτρικών, μπορούμε να καλύψουμε πάνω από 20% των ηλεκτροενεργειακών μας αναγκών. Σημειώνεται πάντως ότι, επειδή ο χρόνος ζωής των υδροηλεκτρικών είναι μακρύς (πάνω από 50 χρόνια) και αντίστοιχα μακρόχρονη η απόσβεση τους, κανένας κεφαλαιούχος δεν δείχνει προθυμία να τα προτιμήσει.

Η ηλιακή ενέργεια είναι μια δεύτερη σημαντική μορφή ΑΠΕ ιδιαίτερα στη χώρα μας, με τη μεγάλη ηλιοφάνεια. Για θερμικές χρήσεις έχει γίνει σχετική αξιοποίηση, όμως υπάρχουν ακόμα, με κατάλληλη πολιτική, σημαντικά περιθώρια ανάπτυξης της.

Μια τρίτη μορφή ΑΠΕ είναι η αιολική που παράγει ηλεκτρική ενέργεια (ανεμογεννήτριες). Το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού από αιολικά είναι μεγαλύτερο από το κόστος της ηλεκτρενέργειας, που παράγεται από λιγνίτη, όμως οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις είναι μικρότερες από την παραγωγή ηλεκτρισμού από καύσιμα. Στη χώρα μας συμφέρει οικονομικά η αξιοποίηση αιολικών πάρκων στα νησιά και στην Ηπειρωτική Ελλάδα όπου οι ταχύτητες του ανέμου είναι ικανοποιητικές για την παραγωγή ενέργειας.

Έχει νομοθετηθεί να χρηματοδοτείται, όποιος αξιοποιήσει αιολικούς σταθμούς, με πάνω από το 1/3 του αναγκαίου κεφαλαίου.

Η γεωθερμία είναι μία άλλη μορφή ΑΠΕ, που η δυνατότητα αξιοποίησης της εξαρτάται από τη γεωλογία κάθε περιοχής. Στη χώρα μας υπάρχουν ορισμένες δυνατότητες και για θερμική παραγωγή, αλλά και (λιγότερες) για ηλεκτρική παραγωγή.

Τέλος στις ΑΠΕ περιλαμβάνεται και η βιομάζα, που παράγεται είτε από ανάπτυξη ειδικής γεωργικής παραγωγής είτε από παραπροϊόντα ξύλου, απορριμμάτων, κ.λ.π. Οικονομικά είναι εξεταστέα κατά περίπτωση η αξιοποίησή της, ενώ περιβαλλοντικά έχει και αρνητικά (π.χ. καύση και ρύπανση ατμόσφαιρας), αλλά και θετικά (π.χ. απόρριψης σκουπιδιών).



1.2 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα των ΑΠΕ.

Η μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών μορφών ενέργειας και η αύξηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος λόγω της χρήσης τους αποτελούν το μεγαλύτερο πρόβλημα για την κοινωνία και τον άνθρωπο για την ενέργεια. Για αυτό τον λόγο οι ανανεώσιμες πηγές εναργείας (ΑΠΕ) καταλαμβάνουν συνεχώς αυξανόμενο μερίδιο στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής εναργείας. Η χρήση των ΑΠΕ έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας αλλά και ορισμένα μειονεκτήματα που περιγράφονται παρακάτω:

Πλεονεκτήματα :

- i. Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, έχοντας ουσιαστικά μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα.
- ii. Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ, σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα.
- iii. Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.

- iv. Είναι ευέλικτες εφαρμογές που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.
- v. Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- vi. Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις. Μπορούν να αποτελέσουν τον πυρήνα για την αναζωογόνηση, τόσο οικονομικά όσο και κοινωνικά, υποβαθμισμένων περιοχών. Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- vii. Έχουν χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα από τις τιμές των συμβατικών καυσίμων.
- viii. Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό αλλά και περιφερειακό επίπεδο.
- ix. Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.

Μειονεκτήματα :

- i. Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης.
- ii. Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- iii. Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- iv. Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι 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.
- v. Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.3 Μορφές ΑΠΕ.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως αναφέραμε και παραπάνω, χρησιμοποιούνται είτε άμεσα (κυρίως για θέρμανση) είτε μετατρεπόμενες σε άλλες μορφές ενέργειας (κυρίως ηλεκτρισμό ή μηχανική ενέργεια). Υπολογίζεται ότι το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο ενεργειακό δυναμικό απ' τις ήπιες μορφές ενέργειας είναι πολλαπλάσιο της παγκόσμιας συνολικής κατανάλωσης εναργείας. Οι κυρίες μορφές ΑΠΕ είναι:

1.3.1 Ηλιακή ενέργεια.

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας.

Η ηλιακή ενέργεια στο σύνολό της είναι πρακτικά ανεξάντλητη, αφού προέρχεται από τον ήλιο, και ως εκ τούτου δεν υπάρχουν περιορισμοί χώρου και χρόνου για την εκμετάλλευσή της.

Όσον αφορά την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, θα μπορούσαμε να πούμε ότι χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες εφαρμογών: τα παθητικά ηλιακά συστήματα, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, και τα φωτοβολταϊκά συστήματα. Τα παθητικά και τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα που εκπέμπεται μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπίνων (εικόνα 1.1), ενώ τα φωτοβολταϊκά συστήματα στηρίζονται στη μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών (εικόνα 1.2). Η έρρημος δέχεται περίπου το διπλάσιο ποσό ηλιακής ενέργειας από άλλες περιοχές καθώς η καλή τοποθέτηση εξαρτάται κυρίως από τη γεωγραφική θέση, την ημέρα, την εποχή και τη νεφοκάλυψη.



Εικόνα 1.1 Σταθμός παραγωγής ενέργειας 10 MW Barstow California.



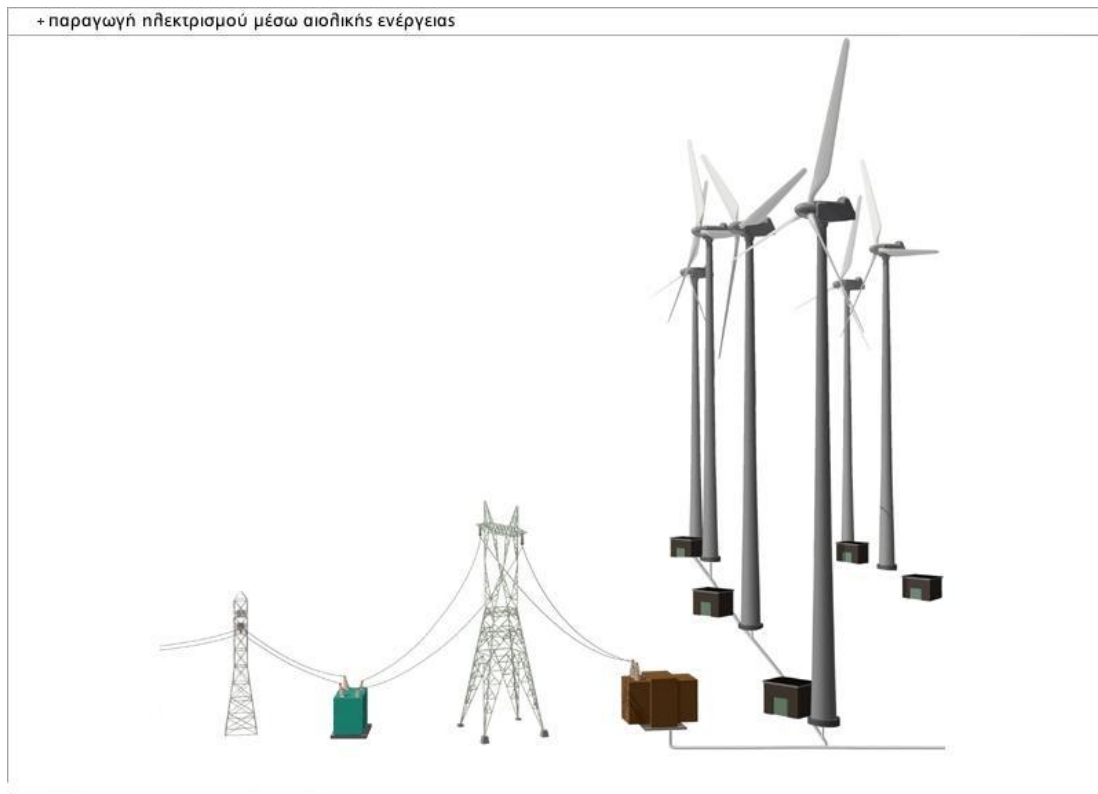
Εικόνα 1.2 Φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 97,2KW στην Κοζάνη.

1.3.2 Αιολική ενέργεια.

Γενικά αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου που δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τούς ανέμους. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά. Ονομάζεται αιολική γιατί στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

Υπολογίζεται ότι στο 25 % της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1 m/sec, σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα. Στην πράξη ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, τα οποία με τη σειρά τους περιστρέφουν μια ηλεκτρική μηχανή η οποία λειτουργώντας ως γεννήτρια παράγει ρεύμα. Το ρεύμα αυτό μπορεί να διοχετευτεί κατ' ευθείαν στο κεντρικό δίκτυο της Δ.Ε.Η. (σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3 Παραγωγή ηλεκτρισμού μέσω αιολικής ενέργειας.

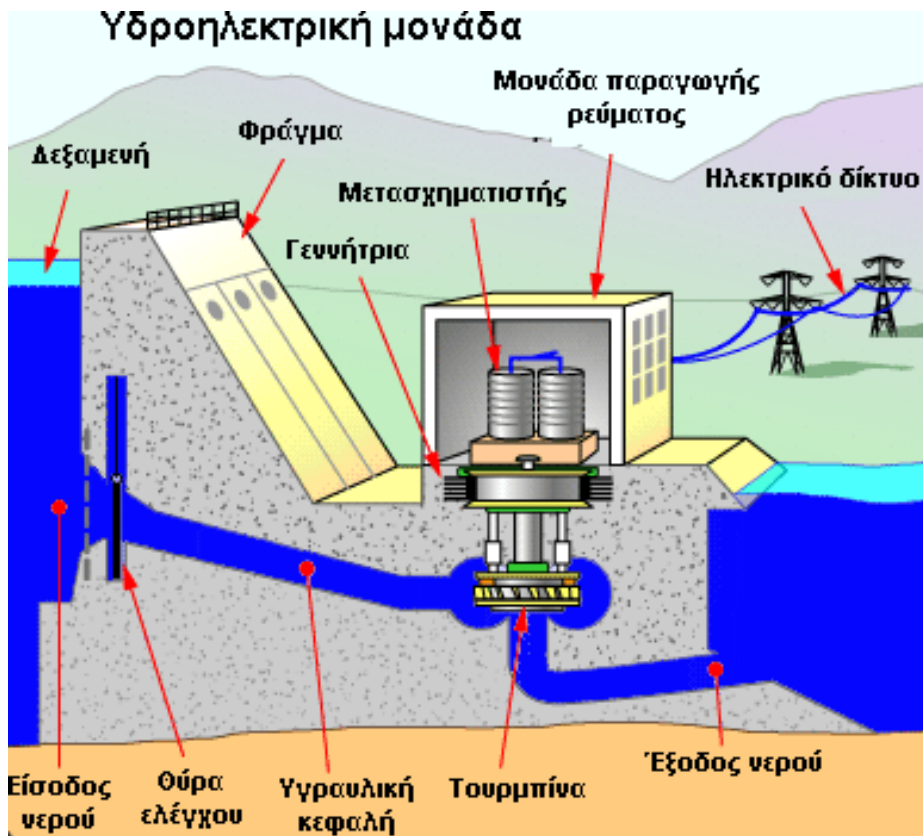
1.3.3 Ενέργεια από υδατόπτωση.

Η μετατροπή ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδραυλικών τουρμπίνων παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια (σχήμα 1.4) και ταξινομείται σε μεγάλης και μικρής κλίμακας.

Η μικρής κλίμακας υδροηλεκτρική ενέργεια δεν επιφέρει τόσο μεγάλες επιπτώσεις στο περιβάλλον όσο η μεγάλης κλίμακας. Η μεγάλης κλίμακας υδροηλεκτρικές μονάδες απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Τα μικρής κλίμακας συστήματα τοποθετούνται δίπλα σε ποτάμια και κανάλια και έχουν λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Το φαινόμενο αυτό εκμεταλλεύεται το γρήγορα κινούμενο νερό που οδηγείται μέσα από τούνελ για να περιστρέψει τουρμπίνες, δημιουργώντας έτσι μηχανική ενέργεια. Μια γεννήτρια μετατρέπει αυτή την ενέργεια σε ηλεκτρική. Το νερό δεν αχρηστεύεται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους σκοπούς.

Οι υδατοπτώσεις (υδραυλική ενέργεια) μπορεί να χρησιμοποιηθούν ακόμα σε νερόμυλους, υδροτριβεία, πριονιστήρια, κλωστοϋφαντουργεία και το σημαντικότερο που προαναφέραμε για παραγωγή ρεύματος για κάλυψη προσωπικών αναγκών ή για πώληση σε άλλους καταναλωτές μέσω απευθείας σύνδεσης στο δίκτυο της Δ.Ε.Η.

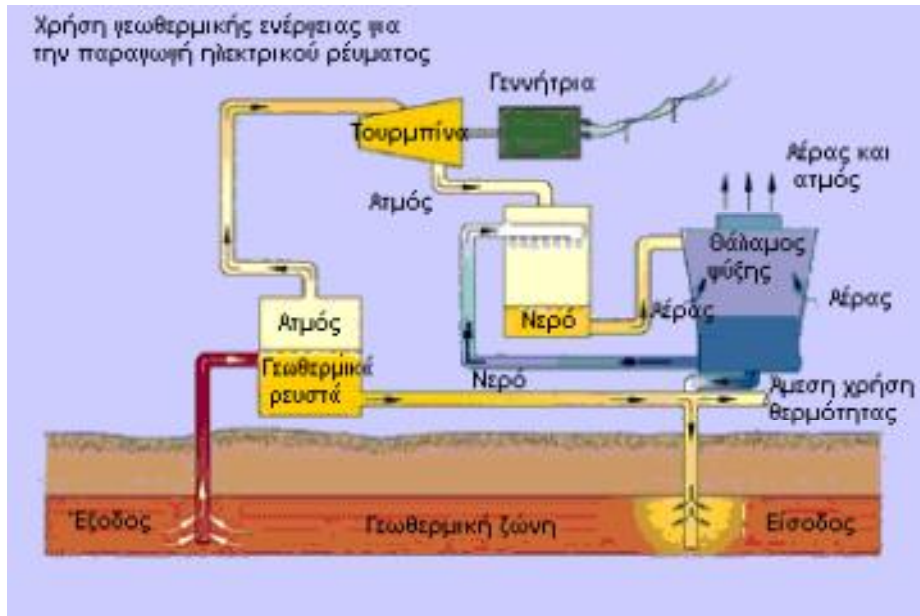


Σχήμα 1.4 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από υδροηλεκτρικό σταθμό.

1.3.4 Γεωθερμική ενέργεια.

Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από το εσωτερικό της γης είτε μέσω ηφαιστειακών εκροών είτε μέσω ρηγμάτων του υπεδάφους, που αναβλύζουν ατμούς και θερμό νερό. Ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών που ανέρχονται στην επιφάνεια, η γεωθερμική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως υψηλής ενθαλπίας (για θερμοκρασίες πάνω από 150 °C), μέσης ενθαλπίας (για θερμοκρασίες 100 - 150 °C), και χαμηλής ενθαλπίας (για θερμοκρασίες μικρότερες από 100 °C). Η γεωθερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρισμού σ' όλο τον κόσμο (σχήμα 1.5).

Οι γεωθερμικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος είναι πολύ οικονομικές και έχουν πολύ μικρή αρνητική επίδραση στο περιβάλλον καθώς παράγουν μόνο το 1/6 του διοξειδίου του άνθρακα από ότι θα παρήγαγε μια μονάδα που λειτουργεί με φυσικό αέριο.



Σχήμα 1.5 Χρήση γεωθερμικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

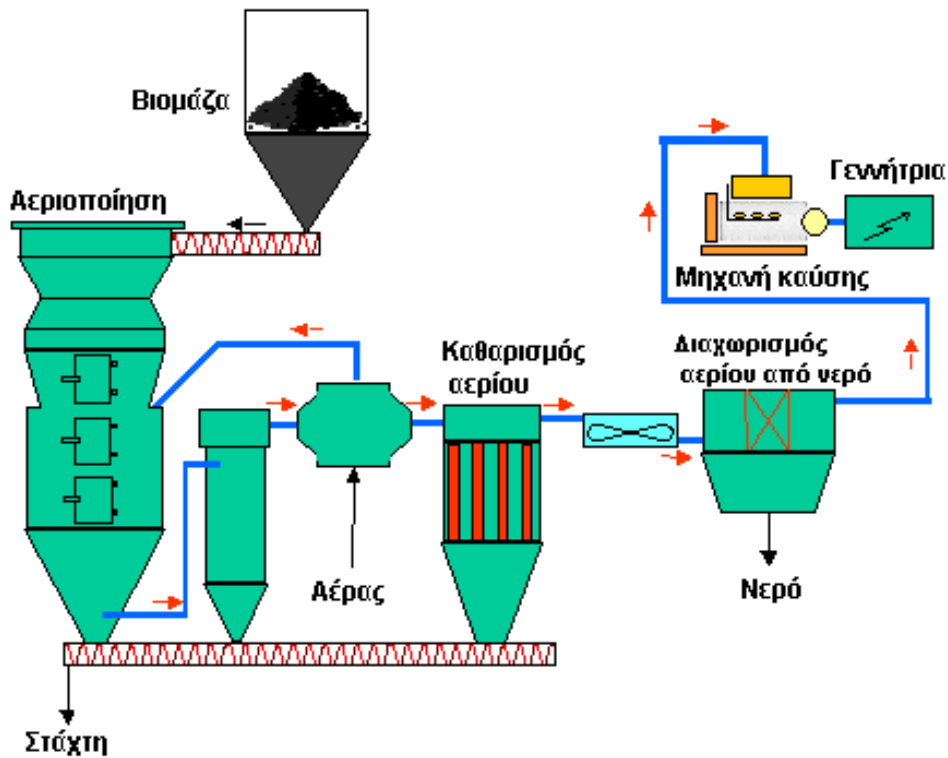
1.3.5 Ενέργεια από τη βιομάζα.

Η Βιομάζα ως καύσιμο αναφέρεται στη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και την αξιοποίηση βιομηχανικών, αγροτικών (φυτικών και ζωικών) και αστικών αποβλήτων ούτως ώστε να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια (σχήμα 1.6). Εφόσον τα αποθέματα της βιομάζας μπορούν ευκόλως να αναπληρωθούν μέσω της οργανικής ανάπτυξης, θεωρούνται ως ανανεώσιμο καύσιμο. Η ενέργεια που παράγεται απ' τη βιομάζα ονομάζεται βιοενέργεια.

Το συνολικό ποσοστό καυσίμων από βιομάζα επί της παγκόσμιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας είναι 10.6 %, υψηλότερο από το αντίστοιχο οποιασδήποτε άλλης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Επιπλέον, παρατηρείται εκτεταμένη χρήση καυσόξυλου, κάτι που δεν καταγράφεται στις στατιστικές, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες.

Η βιομάζα είναι μια πηγή ενέργειας που μπορεί να αντικαταστήσει ή να συμπληρώσει σχεδόν οποιοδήποτε είδος καυσίμου: ο άνθρακας από το ξύλο, το φυσικό αέριο από το βιοαέριο, η βενζίνη από την αιθανόλη, το πετρέλαιο από πετρέλαιο βιολογικής προέλευσης.

Αντίθετα με τα ορυκτά καύσιμα, η βιομάζα δεν συμβάλει στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ούτε στην περιβαλλοντική υποβάθμιση εφόσον η κατανάλωση οργανικού υλικού αντικαθίσταται από την ανάπτυξη νέων οργανισμών. Αυτό συμβαίνει, επειδή η ανάπτυξη της βιομάζας βασίζεται στην απορρόφηση του διοξειδίου του άνθρακα απ' την ατμόσφαιρα. Καθώς απορροφούνται και απελευθερώνονται ίσα ποσά διοξειδίου του άνθρακα κατά την κυκλική αυτή διαδικασία, δεν υπάρχει επιπλέον επιβάρυνση στην ατμόσφαιρα.



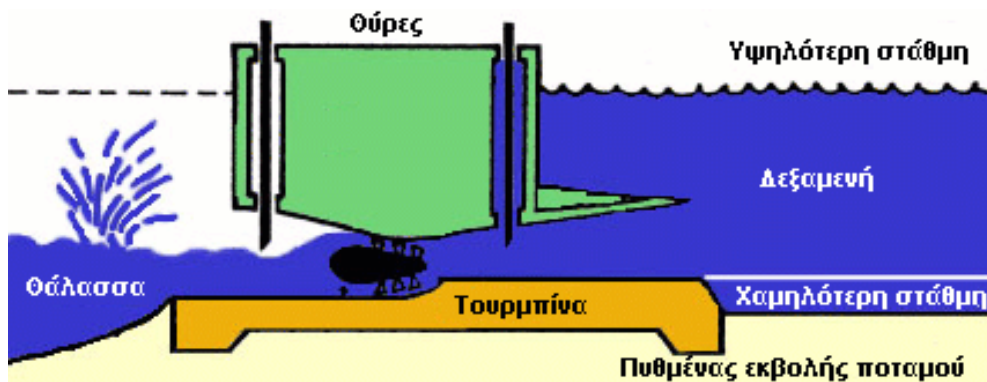
Σχήμα 1.6 Χρήση βιομάζας για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

1.3.6 Ενέργεια από παλίρροιες.

Ενέργεια από παλίρροιες ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται κατά την διάρκεια της παλίρροιας, με αποδοτικότητα που μπορεί να φτάσει σε ποσοστό 80% της ενέργειας του νερού σε ηλεκτρική.

Το φαινόμενο της παλίρροιας είναι οι οριζόντιες μετατοπίσεις της θαλάσσιας μάζας, έχοντας ως αποτέλεσμα τις αυξομειώσεις της θαλάσσιας στάθμης. Αρχικά η θάλασσα αποσύρεται και η κίνηση αυτή ονομάζεται άμπωτη, έπειτα η θάλασσα επανέρχεται και η κίνηση αυτή ονομάζεται πλημμυρίδα. Τα εισερχόμενα νερά της παλίρροιας στην ακτή κατά την πλημμυρίδα μπορούν να παγιδευτούν σε φράγματα (σχήμα 1.7).

Το φαινόμενο αυτό δημιουργείται κυρίως λόγω της έλξης και της κλίσης της σελήνης, της περιστροφής της γης, της έλξης του ηλίου και τέλος των μετεωρολογικών συνθηκών.



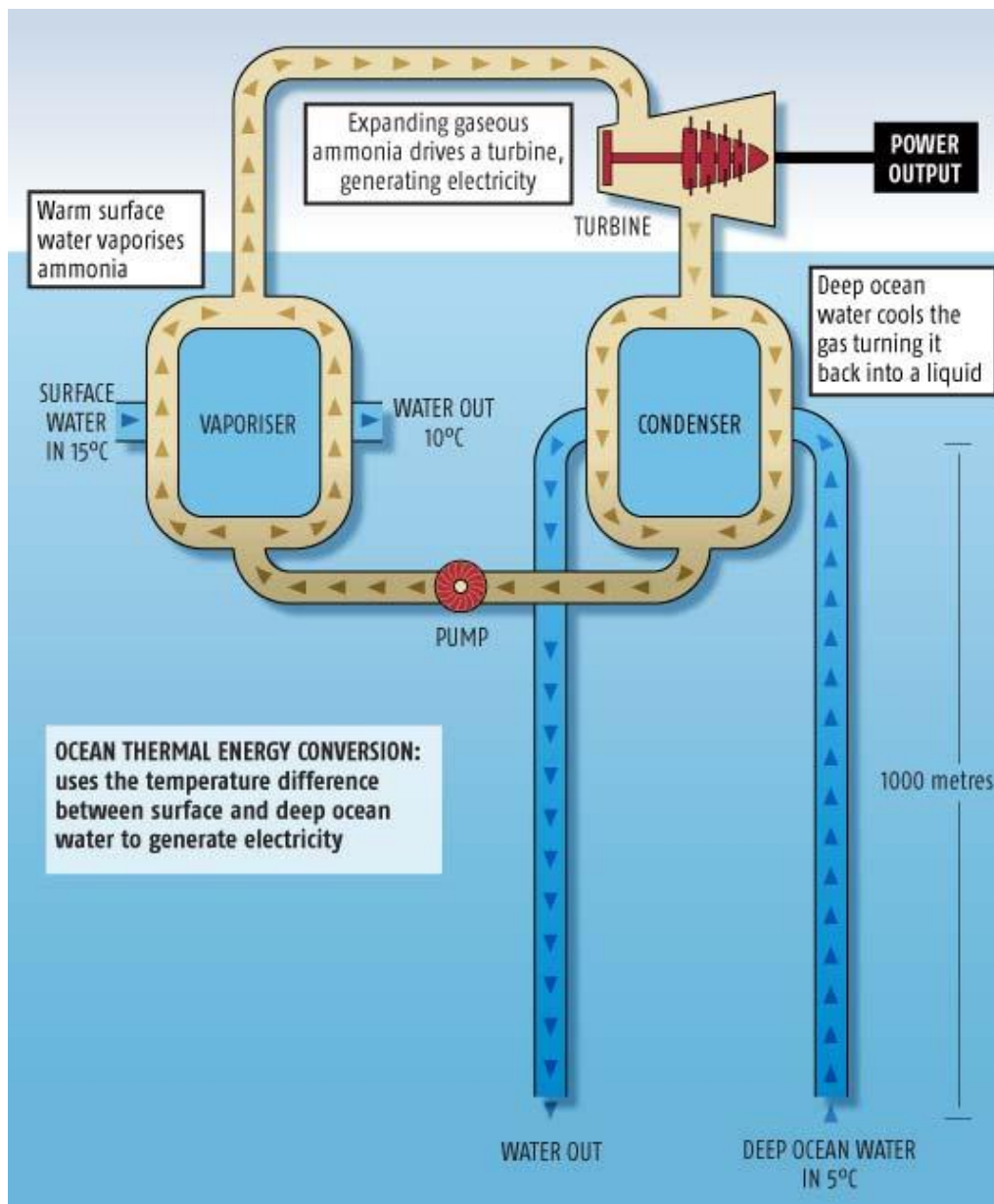
Σχήμα 1.7 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από παλίρροιες

1.3.7 Ενέργεια από ωκεανούς.

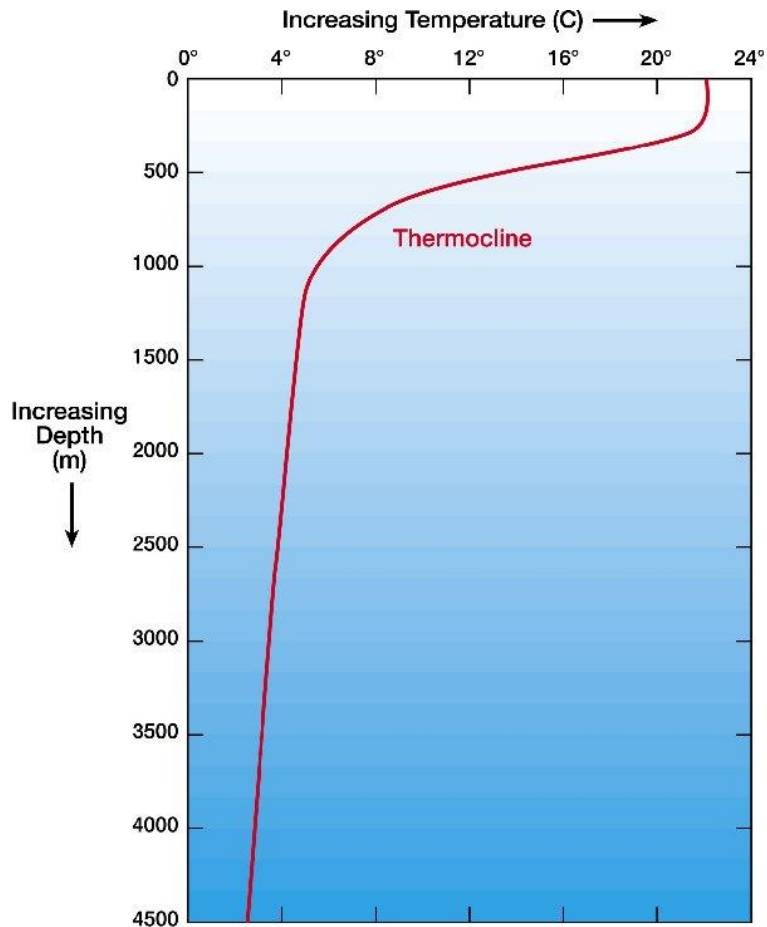
Οι ωκεανοί καλύπτουν το 70% της επιφάνειας της γης. Λόγω της επιφάνειάς τους και του όγκου τους είναι οι μεγαλύτεροι συλλέκτες ηλιακού φωτός. Αλλά και η πυκνότητά τους σημαίνει ότι περικλείουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας.

Η θερμότητα των ωκεανών μπορεί να αξιοποιηθεί για την παραγωγή ενέργειας γιατί η ακτινοβολία του ήλιου απορροφάται από τα επιφανειακά στρώματα αλλά δε φτάνει μέχρι τα κατώτερα (σχήμα 1.8). Η πυκνότητα του νερού σημαίνει ότι η κίνησή του μπορεί να μας δώσει μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας από άλλες πηγές (π.χ. αέρας που έχει 800 φορές μικρότερη πυκνότητα).

Η διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα (θερμοκλίνη) γίνεται εκμεταλλεύσιμη από τη μετατροπή της ωκεάνιας θερμικής ενέργειας (OTEC - Ocean Thermal Energy Conversion). Για να είναι εκμεταλλεύσιμη πρέπει να υπάρχει θερμοκρασιακή διαφορά τουλάχιστον $3,5^{\circ}\text{C}$ (σχήμα 1.9).



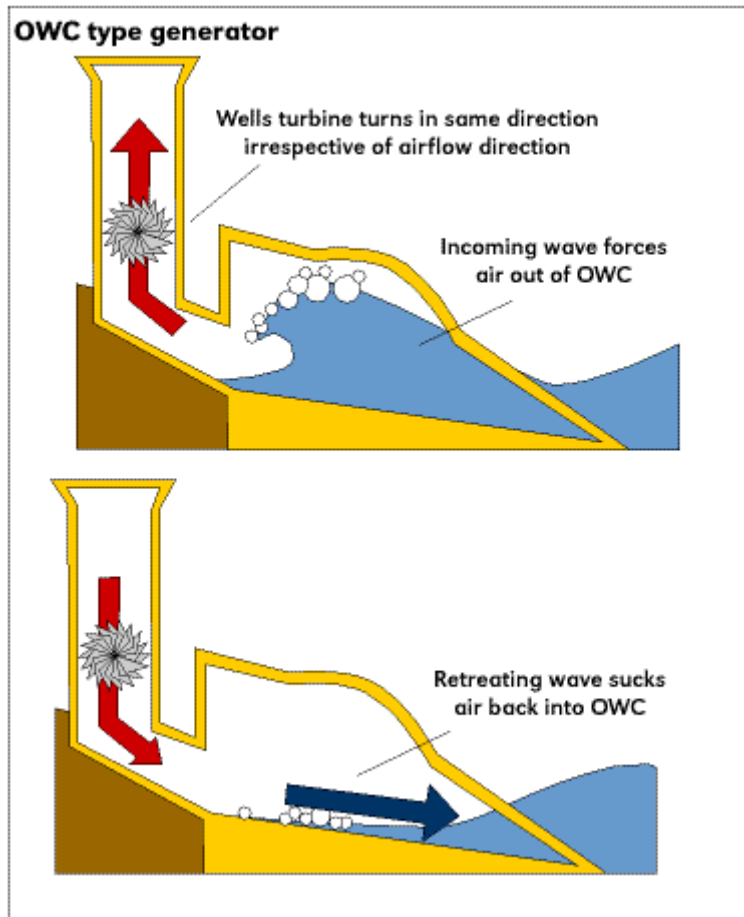
Σχήμα 1.8 Μονάδα εκμετάλλευσης θαλάσσιας θερμικής ενέργειας.



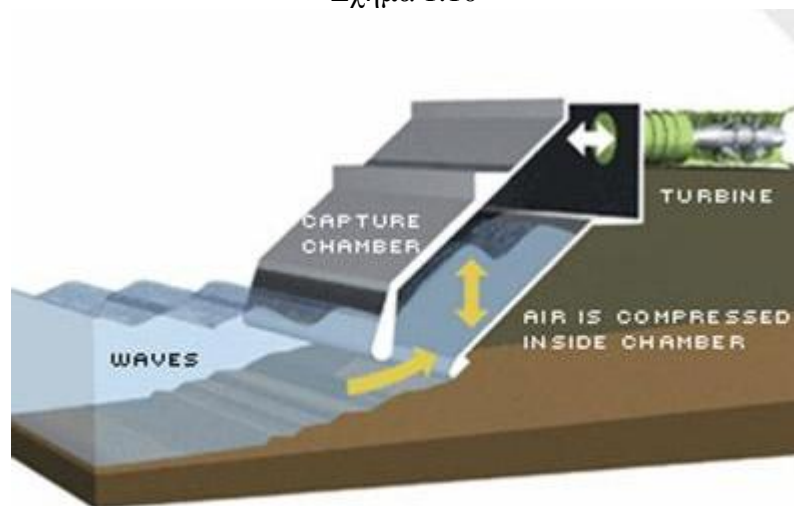
Σχήμα 1.9 Γενική κατανομή θαλάσσιας θερμικής ζώνης.

1.3.8 Ενέργεια από κύματα.

Εκμεταλλευόμαστε την ορμή των κυμάτων. Η άφιξη των κυμάτων προκαλεί άνοδο και πτώση του νερού εντός του θαλάμου του σταθμού, το οποίο προκαλεί τον αέρα να κινείται μέσα και έξω από μια τρύπα στην κορυφή του θαλάμου. Σε αυτή τη τρύπα τοποθετούμαι μία τουρμπίνα, η οποία γυρίζει με την κίνηση του αέρα μέσα-έξω, με αποτέλεσμα η τουρμπίνα να λειτουργεί ως γεννήτρια. Με την περιστροφή των τουρμπινών μπορούμε να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια (σχήματα 1.10, 1.11) . Αυτός είναι ένας μόνο τύπος εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων.



Σχήμα 1.10



Σχήμα 1.11 Σχηματική διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον κυματισμό της θάλασσας.

1.4 Η κατάσταση των ΑΠΕ στην Ελλάδα.

Η ηλεκτροπαραγωγή από ΑΠΕ στην Ελλάδα παρουσιάζει μεγάλη αύξηση τα τελευταία χρόνια και το 2008 αντιστοιχούσε στο 10,30% της ακαθάριστης εγχώριας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Στην αύξηση αυτή συμβάλλουν κυρίως τα αιολικά και τα μικρά υδροηλεκτρικά συστήματα και σε μικρότερο βαθμό η βιομάζα ενώ ήδη γίνεται πολύ αισθητή και η συνεισφορά των φωτοβολταϊκών συστημάτων.

Χωρίς την συμμετοχή των αντλητικών και μεγάλων υδροηλεκτρικών συστημάτων η συμμετοχή των ΑΠΕ στην Ακαθάριστη Κατανάλωση Ηλεκτρικής Ενέργειας αγγίζει μόλις το ποσοστό του 4,3%. Η παραγωγή θερμικής ενέργειας από ΑΠΕ προέρχεται κυρίως από τις θερμικές χρήσεις της βιομάζας, τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα και τις γεωθερμικές αντλίες θερμότητας.

Η Ελλάδα βρίσκεται στη δεύτερη θέση σε Ευρωπαϊκό επίπεδο σε εγκατεστημένη επιφάνεια συλλεκτών. Η κύρια παραγωγή θερμότητας από βιομάζα προέρχεται είτε από καύση βιομάζας στον οικιακό τομέα, είτε από υπολείμματα βιομάζας σε βιομηχανικές μονάδες κατεργασίας ξύλου, τροφίμων, βάμβακας, κ.λπ. όπου και χρησιμοποιείται για ίδιες ανάγκες. Η χρήση των βιοκαυσίμων στην Ελλάδα είναι επίσης σε φάση εκκίνησης και σύμφωνα με την 4η Εθνική Έκθεση της Ελλάδας για τα βιοκαύσιμα στο τέλος του 2008 λειτουργούσαν 14 εταιρείες παραγωγής βιοντήζελ με δυναμικότητα 575.000 τόνους. Η παραγωγή βιοντήζελ για το 2008 69.356 τόνοι. Στον πίνακα 1.4.1 παρουσιάζεται η Ισχύς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ για το χρονικό διάστημα 2000 - 2010.

Ισχύς Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας από ΑΠΕ σε (MW) για την περίοδο 2000-2010						
Τεχνολογία ΑΠΕ	2000	2002	2004	2006	2008	2010
Υδροηλεκτρική Ενέργεια	3.072	3.078	3.099	3.124	3.176	3.325
Γεωθερμία	0	0	0	0	0	0
Φωτοβολταϊκά	0	1	1	5	12	85
Αιολική Ενέργεια	226	287	472	749	1.022	1.005,89
Βιοαέριο	1	22	24	24	40	40,8
Σύνολο	3.299	3.388	3.597	3.902	4.250	4.456,69

Πίνακας 1.4.1 Ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ

Συμπεραίνουμε ότι η εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ήταν 4.250 MW στο τέλος του 2008 με σταθερά αυξανόμενη εξέλιξη να έχουν τα αιολικά, τα υδροηλεκτρικά και η βιομάζα. Στο τέλος του 2008 λειτουργούσαν Αιολικά Πάρκα συνολικής ισχύος 1.022 MW. Καθώς επίσης αύξηση παρουσιάζει το βιοαέριο αλλά πολύ μικρότερη από τις υπόλοιπες ΑΠΕ.

Η μικτή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το έτος 2008 έφτασε περίπου τις 6,6 TWh περίπου και προήλθε κατά 63% από υδροηλεκτρικούς σταθμούς (4149 GWh) κατά 34% από

αιολικά πάρκα (2242 GWh) από βιοαέριο 3% (191 GWh) και μικρή παραγωγή υπήρχε από τους φωτοβολταϊκούς σταθμούς (πίνακας 1.4.2).

Μικτή Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας σε (GWh) για το έτος 2008	
Τεχνολογία ΑΠΕ	2008
Υδροηλεκτρική Ενέργεια	4.149
Φωτοβολταϊκά	5
Αιολική Ενέργεια	2.242
Βιοαέριο	191
Σύνολο	6.586

Πίνακας 1.4.2 Μικτή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το έτος 2008

Όμως ο στόχος που υπήρχε για το 2010, δηλαδή το 20,1% της ηλεκτροπαραγωγής να προέρχεται από ΑΠΕ (μικτή παραγωγή ενέργειας 13,7 TWh) δεν επιτεύχθηκε και οι επιδόσεις παραμένουν σχεδόν ίδιες. Σύμφωνα με τα στοιχεία του ΔΕΣΜΗΕ (Διαχειριστή Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας), η εγκατεστημένη ισχύς των ΑΠΕ για το πρώτο επτάμηνο του 2010 ανήλθε στα 4.457 MW περίπου. Από την αρχή του έτους προστέθηκαν συνολικά μόλις 73 MW κυρίως λόγω των φωτοβολταϊκών φτάνοντας στο σύνολο τα 85 MW και 149 MW από υδροηλεκτρικά φτάνοντας τα 3.325 MW. Σύμφωνα με τον ΔΕΣΜΗΕ η συμμετοχή των ΑΠΕ στην καθαρή παραγωγή ενέργειας ανήλθε περίπου στο 4% το πρώτο οκτάμηνο του 2010.

Το ενδιαφέρον για επενδύσεις στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για το έτος 2011, παρά τη δύσκολη οικονομική συγκυρία, παραμένει αναλλοίωτο αυξάνοντας τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ στη χώρα μας κατά 477 MW (27,5%) σε σχέση με τα στοιχεία του τέλους του 2010 και κατά 192 MW (9,5%) σε σχέση με τον Ιούνιο του 2011. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από σταθμούς ΑΠΕ στη χώρα μας ενισχύθηκε κατά 28% περίπου τους πρώτους εννέα μήνες του 2011, φτάνοντας συνολικά τα 2213,75 W.

Η αιολική ενέργεια παραμένει η κύρια μορφή ανανεώσιμης ενέργειας με συνολική ισχύ 1,5 GW και ακολουθούν τα φωτοβολταϊκά με 460,4 MW, τα μικρά υδροηλεκτρικά με 206 MW και η βιομάζα με 44,5 MW. Οι υπόλοιπες μορφές ΑΠΕ (γεωθερμία, ηλιοθερμικά, υβριδικά) δεν έχουν ακόμα έργα σε λειτουργία. Η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος, σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση του 2010, για τα αιολικά είναι 4000 MW το 2014 και 7500 MW για το 2020.

Για τα φωτοβολταϊκά, τον Σεπτέμβριο με σύμβαση αγοραπωλησίας βρίσκονται 1982,57 MW (300% αύξηση σε σχέση με το τέλος του 2010), που αν προστεθούν στην ισχύ που βρίσκεται σήμερα σε λειτουργία επιτυγχάνουν το στόχο του 2020, που είναι η εγκατάσταση 1450 MW. Όσον αφορά τα μικρά υδροηλεκτρικά (15 MW), με σύμβαση αγοραπωλησίας βρίσκονται 25,7 MW, με άδεια εγκατάστασης 66,75 MW, με προσφορά σύνδεσης 142,5 MW και άδεια παραγωγής 949 MW. Η επιδιωκόμενη αναλογία εγκατεστημένης ισχύος, για την συγκεκριμένη τεχνολογία είναι 300 MW για το 2014 και 350 MW για το 2020.

Για τη βιομάζα, έχει αυξηθεί σε σχέση με το τέλος του 2010 4462% η ισχύς με σύμβαση αγοραπωλησίας (4,5 MW) αλλά για την επίτευξη των στόχων του 2014 και του 2020, που είναι 200 MW και 350 MW αντίστοιχα. Τα ηλιοθερμικά με άδεια παραγωγής είναι 379,6 MW (αύξηση κατά 18,6% σε σχέση με τον Ιούνιο του 2010) με στόχο τα 120 MW για το 2014 και 250 MW για το 2020. Σχετικά με τα υβριδικά 80 KW βρίσκονται με άδεια εγκατάστασης και 446,6 MW με άδεια παραγωγής.

Το ΥΠΕΚΑ δίνει ιδιαίτερη έμφαση στην προώθηση του προγράμματος για την ανάπτυξη φωτοβολταϊκών συστημάτων στις κτιριακές εγκαταστάσεις (<10kW), που απευθύνεται τόσο στους καταναλωτές, όσο και στις επιχειρήσεις. Έχουν υλοποιηθεί έως

30/09/2011 6495 αιτήματα, που εγγέουν στο σύστημα ισχύ 57,56MW από μόλις 5,2MW το 2010. Με προσφορά σύνδεσης βρίσκονται 8363 αιτήματα (αντιστοιχούν σε 73,35MW), ενώ τα νέα αιτήματα για σύνδεση στη ΔΕΗ φτάνουν τις 3025 (25,6MW) σημειώνοντας μικρή πτώση.

Για τα αγροτικά φωτοβολταϊκά (100 kW), αναφέρεται ότι από τις 373 αιτήσεις που είχαν προσφορά σύνδεσης το 2010, έφτασαν τον Σεπτέμβριο του 2011 τις 4.879 (481MW). Τα αιτήματα για σύνδεση στη ΔΕΗ έως τις 30/09/2011 φτάνουν τα 1487, τα οποία αντιστοιχούν σε 147MW. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής συνεχίζει σταθερά την πολιτική στήριξης των έργων Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, καθώς δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας, τονώνουν την εγχώρια βιομηχανία και προσφέρουν καθαρή ενέργεια στους καταναλωτές και τους παραγωγικούς φορείς.

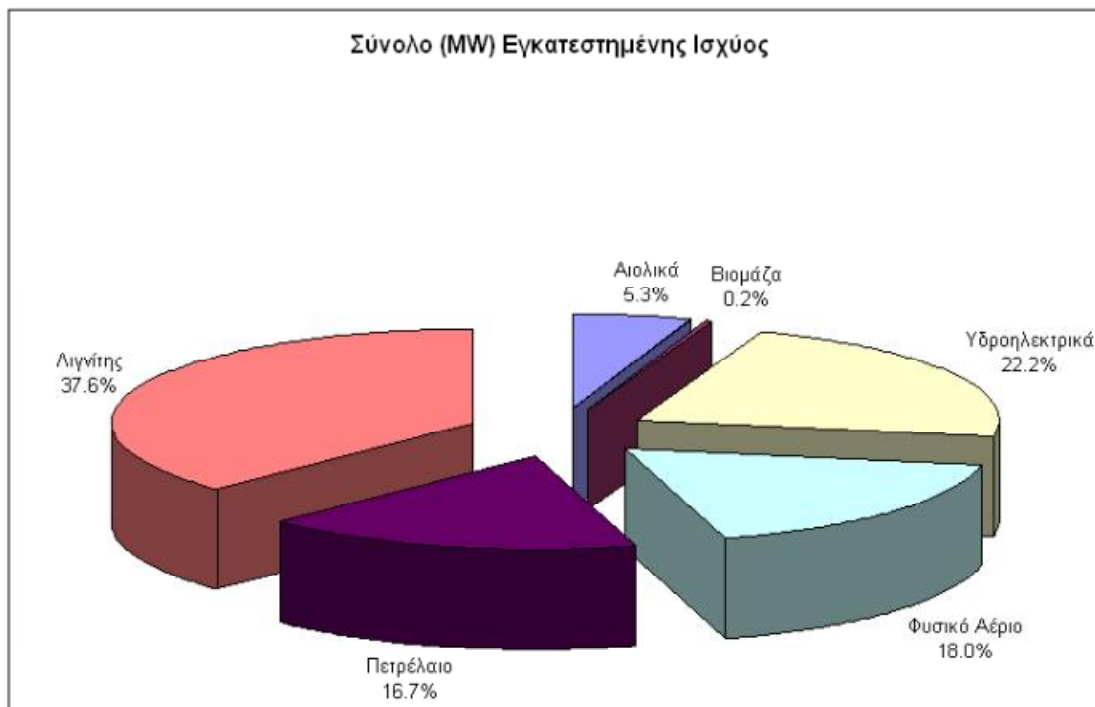
1.5 Ανακεφαλαίωση.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απανωτών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ηπίων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2010 το 25% της ενέργειας κα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα).

Στην Ελλάδα παρ' όλες τις φαινομενικά ευνοϊκές ρυθμίσεις είναι κοινά αποδεκτό ότι η ανάπτυξη των ΑΠΕ, είναι μεν σημαντική αλλά θα μπορούσε να είναι ταχύτερη. Στο σχήμα 1.12 μπορούμε να δούμε από που προέρχεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην χώρα μας.

Οι κύριοι λόγοι που οδηγούν σε καθυστέρηση της ανάπτυξης είναι πολιτικής, κοινωνικής, τεχνικής και οικονομικής φύσης. Συγκεκριμένα, σε πολλές περιπτώσεις η αδειοδοτική διαδικασία εξακολουθεί να είναι μακροσκελής, ενώ η ταυτόχρονη εμπλοκή πολλών φορέων και η σύγχυση αρμοδιοτήτων καθυστερούν σημαντικά την πρόοδο της αδειοδότησης.

Επίσης υπάρχουν περιπτώσεις που το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης δεν επαρκεί για την ανάπτυξη επιπλέον έργων ΑΠΕ. Τέλος, ζητήματα χωροθέτησης και κοινωνικών αντιδράσεων έχουν επίσης καθυστερήσει έναν μεγάλο αριθμό έργων.



Σχήμα 1.12 Τρόποι παραγωγής της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς της Ελλάδας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1 Γενικά για την αιολική ενέργεια.

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη, γι' αυτό και είναι ανανεώσιμη. Αν υπήρχε η δυνατότητα, με την σημερινή τεχνολογία, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες τις ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα. Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1m/sec, σε ύψος 10m πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα.

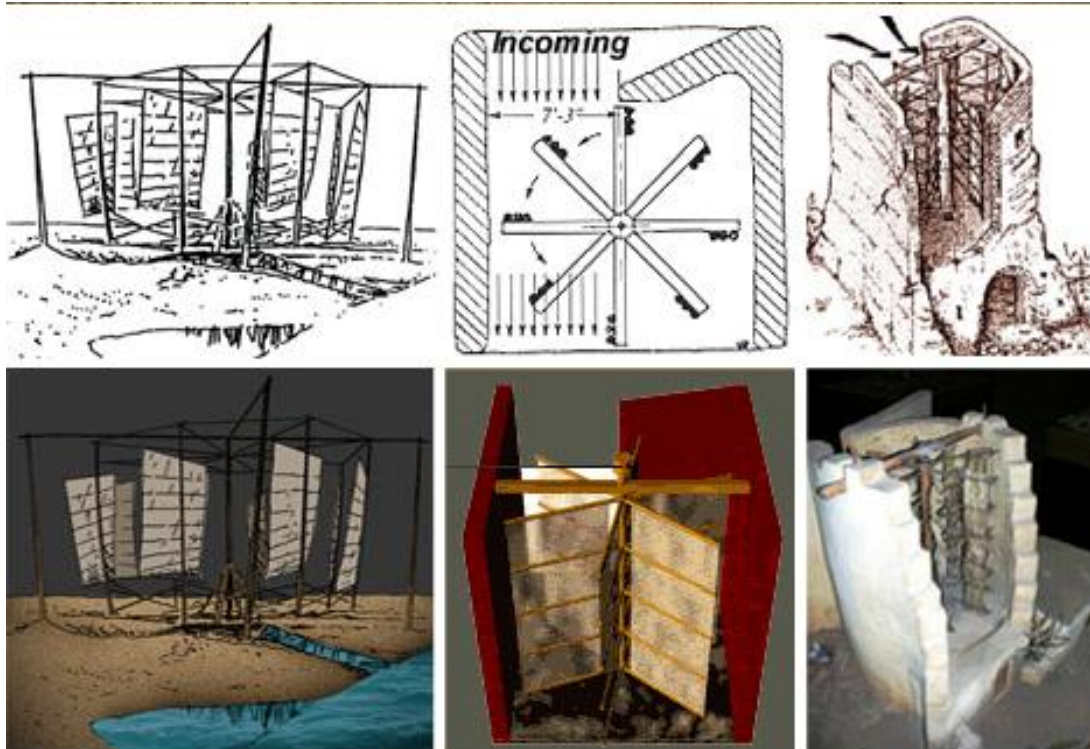
Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μία πρακτική που βρίσκει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας είναι τα ιστιοφόρα και οι ανεμόμυλοι. Οι ανεμόμυλοι έδιναν κάποτε κίνηση στις τεράστιες μολόπετρες, που άλεθαν το σιτάρι μετατρέποντάς το σε αλεύρι. Επίσης μικρές αντλίες χρησιμοποιούσαν τη δύναμη του ανέμου για να ανεβάσουν το νερό από τα πηγάδια.

2.1.1 Ιστορική εξέλιξη.

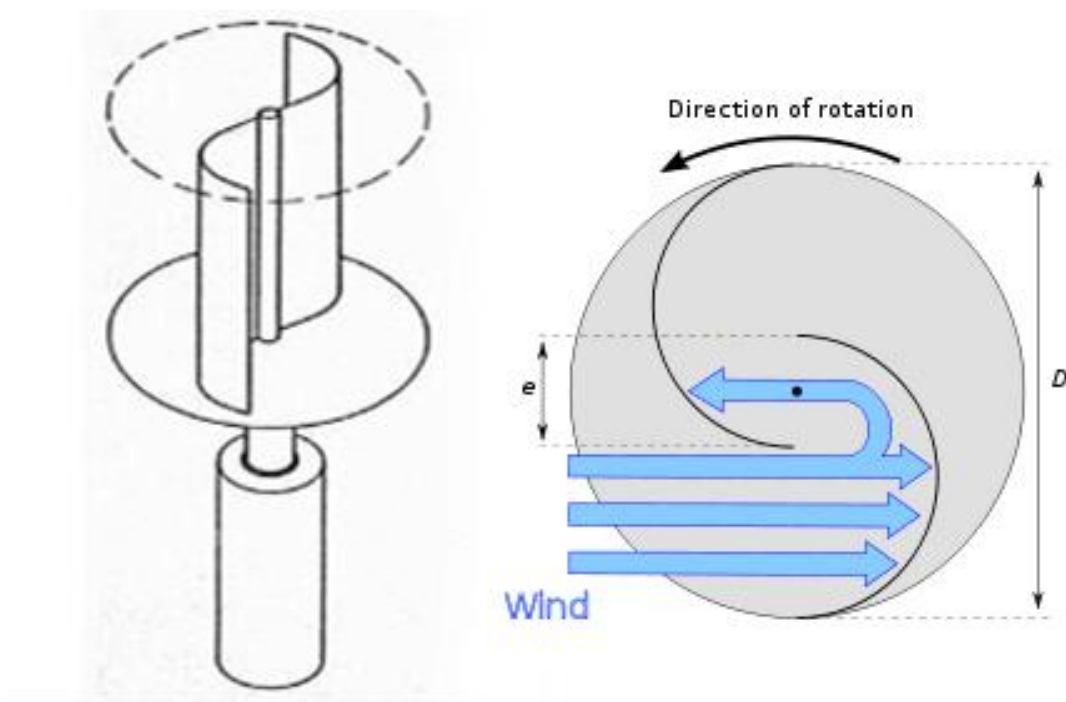
Οι ανεμογεννήτριες είναι η εξέλιξη των ανεμόμυλων. Ο ανεμόμυλος είναι μια διάταξη που χρησιμοποιεί ως κινητήρια δύναμη την κινητική ενέργεια του ανέμου (αιολική ενέργεια). Χρησιμοποιείται για την άλεση σιτηρών, την άντληση νερού και σε άλλες εργασίες.

Η πρώτη αναφορά σε ανεμόμυλο εμφανίζεται σε έργα Αράβων συγγραφέων του 9ου μ.Χ. αιώνα. Πρόκειται για ένα συγκρότημα ανεμόμυλων στο Σειστάν, στα σύνορα της Περσίας και του Αφγανιστάν και ήταν “οριζόντιου τύπου” δηλαδή με ιστία (φετερά) τοποθετημένα ακτινικά σε έναν “κατακόρυφο άξονα” (εικόνα 2.1). Ο άξονας αυτός στηριζόταν σε ένα μόνιμο κτίσμα με ανοίγματα σε αντιδιαμετρικά σημεία για την είσοδο και την έξοδο του αέρα. Κάθε μύλος έδινε απευθείας κίνηση σε ένα μόνο ζεύγος μολόπετρες. Οι πρώτοι μύλοι είχαν τα ιστία κάτω από της μολόπετρες, όπως δηλαδή συμβαίνει και στους οριζόντιους νερόμυλους από τους οποίους φαίνεται ότι προέρχονταν. Σε μετρικούς από τους μύλους που σώζονται σήμερα τα ιστία τοποθετούνται πάνω από τις μολόπετρες. Τον 13ο αιώνα οι μύλοι αυτού του τύπου ήταν γνωστοί στην Βόρεια Κίνα, όπου μέχρι και τον 16ο αιώνα τους χρησιμοποιούσαν για εξάτμιση του θαλασσινού νερού στην παραγωγή αλατιού.

Τον τύπο αυτό του μύλου χρησιμοποιούσαν επίσης στην Κριμαία, στις περισσότερες χώρες της Δυτικής Ευρώπης και στις ΗΠΑ, μόνο που λίγοι από αυτούς διασώζονται σήμερα. Ο πιο αντιπροσωπευτικός από όλους αυτούς τους τύπους των ανεμόμυλων είναι ο τύπος με το “στροφέιο σχήματος S” (S-Rotor, εφευρέτης ο Φιλανδός S.J. Savonius) που ακόμη και σήμερα χρησιμοποιείτε σε απομονωμένες περιοχές λόγω της φτύνει και εύκολης κατασκευής του (σχήμα 2.2).



Εικόνα 2.1 Ανεμόμυλος αρχαίων χρόνων με κατακόρυφο τον άξονα περιστροφής.



Σχήμα 2.2 Ανεμόμυλος με στροφέιο S (savonius).

Ο ανεμόμυλος έφτασε στη Ευρώπη από τους Άραβες, χρησιμοποιήθηκε δε στον τύπο του κατακόρυφου ρωμαϊκού υδραυλικού τροχού, με τη διαφορά ότι ο ανεμόμυλος είχε στη θέση του τροχού κατακόρυφα φτερά που μετέδιδαν την κίνηση στις μύλοπετρες με ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών. Οι πρώτοι τέτοιοι περιστρεφόμενοι μύλοι εμφανίστηκαν στη

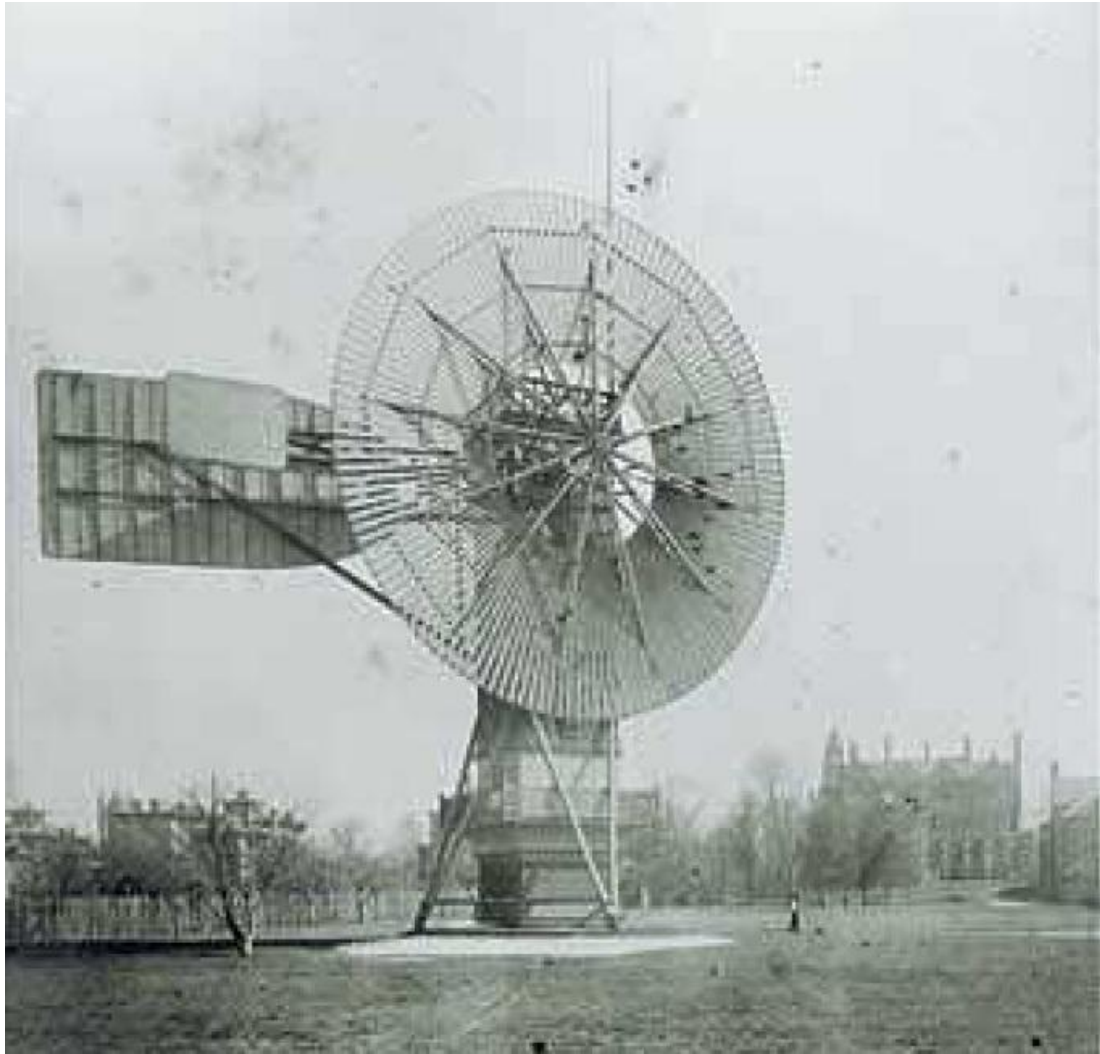
Γαλλία το 1180 και στη Συρία την εποχή των σταυροφοριών (1191). Στις αρχές του 14^{ου} αιώνα αναπτύχθηκε στη Γαλλία ο ανεμόμυλος σε σχήμα πύργου. Σε αυτόν τον τύπο ανεμόμυλου οι μυλόπετρες και οι οδοντωτοί τροχοί ήταν τοποθετημένοι σε ένα σταθερό πύργο με κινητή οροφή ή “κάλυμμα”, στην οποία στηριζόταν τα ιστία και η οποία μπορούσε να στραφεί επάνω σε ειδική τροχιά, στην κορυφή του πύργου.

Ο ανεμόμυλος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως ανεμογεννήτρια το 1890 όταν εγκαταστάθηκε πάνω σε χαλύβδινο πύργο ο ανεμόμυλος του Π. Λα Κουρ στη Δανία, με ισχία σχισμές και διπλά πτερύγια αυτόματης μετάπτωσης προς τη διεύθυνση του ανέμου, για την παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης (εικόνα 2.3). Μετά τον Α΄ Παγκόσμιο πόλεμο, έγιναν πειράματα με ανεμόμυλους που είχαν ισχία αεροτομής, δηλαδή όμοια με πτερύγια αεροπορικής έλικας. Το 1931 μια τέτοια ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε στην Κριμαία και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διοχετεύονταν στο τμήμα χαμηλής τάσης του τοπικού δικτύου. Πραγματικές ανεμογεννήτριες με δυο πτερύγια λειτούργησαν στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1940, στην Αγγλία τη δεκαετία του 1950 καθώς και στη Γαλλία. Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στη Δανία από τον J. Juul με τρία πτερύγια αλληλοσυνδεδεμένα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Στην Ολλανδία εκτελέστηκαν πειράματα από τον F. G. Pigeayd με αντικείμενο τη κατασκευή των παλαιών ανεμόμυλων άλεσης δημητριακών, έτσι ώστε η πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή. Χρησιμοποιήθηκε ένας ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο (σε περίπτωση άπνοιας) ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια, όταν φυσούμε.

Ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης περιλάμβανε συμπλέκτη παράκαμψης με σκοπό ο ηλεκτροκινητήρας να μην κινεί τα ιστία παρά μόνο να εκτελεί χρήσιμο έργο. Η οροφή στρεφόταν με τη βοήθεια σερβοκινητήρα που ελεγχόταν από έναν ανεμοδείκτη.

Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο πολλοί περίμεναν ότι η αιολική ενέργεια θα συνέβαλε σημαντικά στην παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά οι προσπάθειες ανάπτυξης ανεμογεννητριών ατόνησαν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Οι προσπάθειες αυτές ξανάρχισαν πιο έντονες μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση (1973) και στηρίχθηκαν κατά μεγάλο μέρος στη σύγχρονη αεροδιαστημική τεχνολογία. Έτσι αναπτύχθηκαν διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 διατίθονταν στο εμπόριο συγκροτήματα μικρής ισχύος (20-25 kW) ενώ είχαν κατασκευαστεί και ανεμογεννήτριες μεγαλύτερης ισχύος (3-4 MW). Οι ανεμογεννήτριες προηγούμενης τεχνολογίας που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι κυρίως δυο τύπων:

Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα με πτερύγια και ανεμογεννήτριες Νοτάριε με κατακόρυφο άξονα (από τον Γάλλο G. J. M. Darrieus που τις έφερε το 1925).



Εικόνα 2.3 Η πρώτη ανεμογεννήτρια από τον Poul La Cour.

2.1.2 Χρησιμότητα αιολικής ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια όπως έχουμε ήδη αναφέρει είναι ανανεώσιμη - ανεξάντλητη, αφού ο ήλιος πάντα θα φροντίζει να υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ των διαφόρων περιοχών της γης, ώστε να προκαλούνται οι άνεμοι αλλά και καθαρή, «φιλική» προς το περιβάλλον αφού η μετατροπή της σε ηλεκτρική δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Η συστηματική εκμετάλλευση του πολύ αξιόλογου αιολικού δυναμικού της χώρας μας θα συμβάλει:

- i. Στην αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ταυτόχρονη εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων, γεγονός που συνεπάγεται συναλλαγματικά οφέλη.
- ii. Σε σημαντικό περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος, αφού έχει υπολογιστεί ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού μιας μόνο ανεμογεννήτριας ισχύος 550 KW σε ένα χρόνο, υποκαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση 2.700 βαρελιών πετρελαίου, δηλαδή αποτροπή της εκπομπής 735 περίπου τόνων CO₂ ετησίως καθώς και 2 τόνων άλλων ρύπων.

- iii. Στη δημιουργία πολλών νέων θέσεων εργασίας, αφού εκτιμάται ότι για κάθε νέο Μεγαβάτ αιολικής ενέργειας δημιουργούνται 14 νέες θέσεις εργασίας.

2.1.3 Προβλήματα από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.

A. Προκαλούν προβλήματα θορύβου :

Αυτό είναι το μόνο ουσιαστικό πρόβλημα, αλλά συγχρόνως και το ευκολότερο να ελεγχθεί και να προληφθεί. Στις ανεμογεννήτριες ο εκπεμπόμενος θόρυβος μπορεί να υπαχθεί σε δύο κατηγορίες, μηχανικός και αεροδυναμικός.

1. Ο πρώτος προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα κλπ.)
2. Ο δεύτερος προέρχεται από την περιστροφή των πτερυγίων.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι μηχανές πολύ ήσυχες συγκριτικά με την ισχύ τους και με συνεχείς βελτιώσεις από τους κατασκευαστές γίνονται όλο και πιο αθόρυβες. Οι μηχανικοί θόρυβοι έχουν ελαχιστοποιηθεί με εξαρχής σχεδίαση (γρανάζια πλάγιας οδόντωσης), ή με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Επίσης ο μηχανικός θόρυβος αντιμετωπίζεται στη διαδρομή του με ηχομονωτικά πετάσματα και αντικραδασμικά πέλματα στήριξης. Αντίστοιχα ο αεροδυναμικός θόρυβος αντιμετωπίζεται με προσεκτική σχεδίαση των πτερυγίων από τους κατασκευαστές, που δίνουν άμεση προτεραιότητα στην ελάττωση του.

Άρα η τεχνολογική εξέλιξη των κατασκευαστικών εταιριών σε συνδυασμό με τη θέση των περιοχών που συνήθως εγκαθίστανται τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα για να έχουν καλύτερη απόδοση, μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι τα αιολικά πάρκα δεν προκαλούν:

1. αύξηση της υπάρχουσας στάθμης θορύβου εκτός των ορίων τους και ακόμη περισσότερο σε κατοικημένες περιοχές
2. έκθεση ανθρώπων σε υψηλή στάθμη θορύβου.

B. Δημιουργούν προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών :

Είναι γεγονός ότι , η διάδοση των εκπομπών στις συχνότητες της τηλεόρασης ή και του ραδιοφώνου (κυρίως στις συχνότητες εκπομπών FM) επηρεάζεται από εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη. Το κυριότερο πρόβλημα από τις ανεμογεννήτριες προέρχεται από τα κινούμενα πτερύγια που μπορούν να προκαλέσουν αυξομείωση σήματος λόγω αντανάκλασεων. Αυτό ήταν πολύ εντονότερο στην πρώτη γενιά ανεμογεννητριών που έφερε μεταλλικά πτερύγια. Τα πτερύγια των σύγχρονων ανεμογεννητριών κατασκευάζονται αποκλειστικά από συνθετικά υλικά, τα οποία έχουν ελάχιστη επίπτωση στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η Ελληνική νομοθεσία προβλέπει την προώθηση αδειοδότησης ενός αιολικού πάρκου μόνον εφόσον τηρούνται κάποιες ελάχιστες αποστάσεις από τηλεπικοινωνιακούς ή ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς.

Γ. Δημιουργούν αισθητικά προβλήματα και προσβολή του φυσικού τοπίου :

Η οπτική ακαισθησία είναι κάτι υποκειμενικό και δύσκολα μπορούν να τεθούν κοινά αποδεκτοί κανόνες. Από έρευνες σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης προκύπτει ότι κάποιος που είναι ευνοϊκά διατεθειμένος απέναντι στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, αποδέχεται τις ανεμογεννήτριες και οπτικά πολύ πιο εύκολα από κάποιον που είναι αρνητικός εξ αρχής. Από τις ίδιες μελέτες, προκύπτει ότι τα αιολικά πάρκα είναι πιο αποδεκτά από αισθητικής άποψης σε ανθρώπους που είναι ενημερωμένοι για τα οφέλη που προέρχονται από την χρήση τους. Αν κάνουμε μια απλή σύγκριση μεταξύ ενός θερμικού σταθμού παραγωγής (π.χ. λιγνιτικού), και ενός αιολικού πάρκου είναι φανερό ότι η οπτική όχληση που προκύπτει από το πρώτο είναι εμφανώς και αντικειμενικά πολύ μεγαλύτερη.

Δ. Έχουν επιπτώσεις στον πληθυσμό των πουλιών :

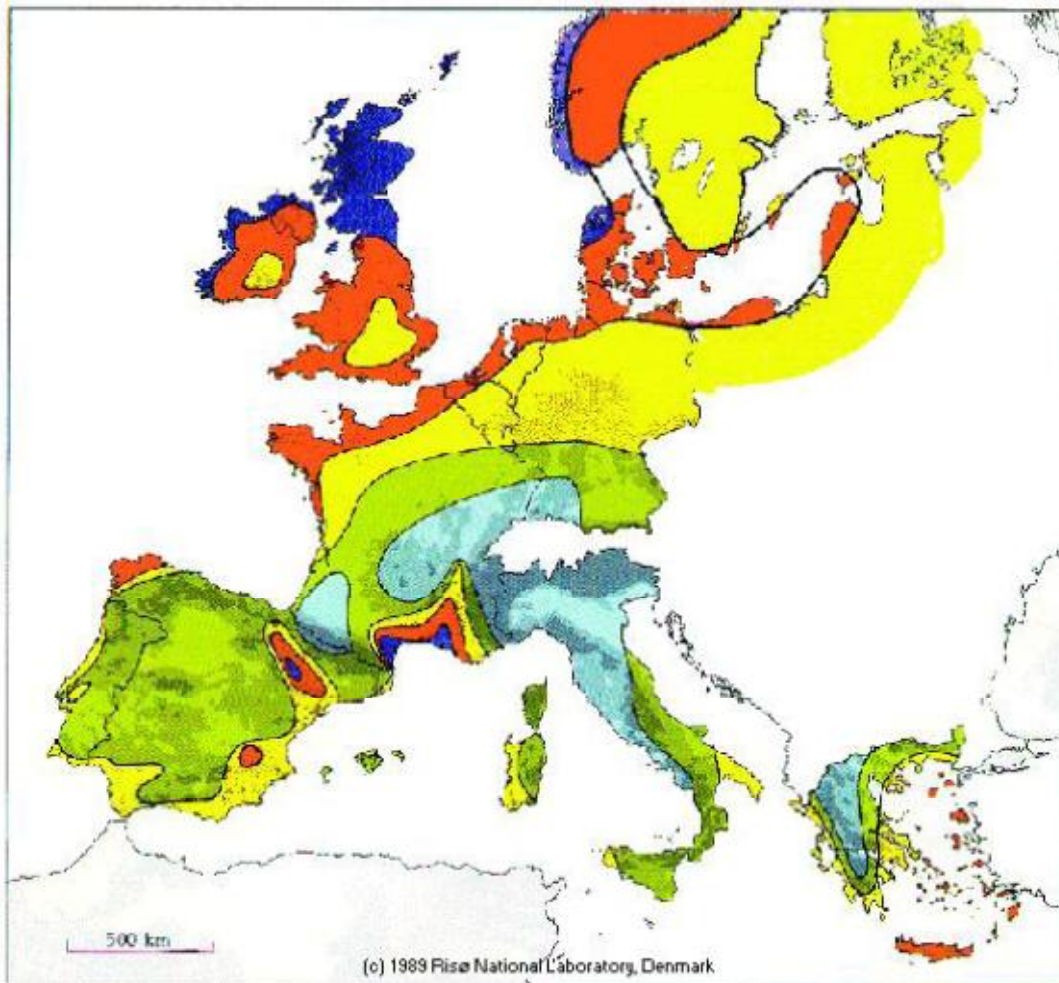
Τα πουλιά καθώς πετούν μερικές φορές συγκρούονται με κτίρια και άλλες σταθερές κατασκευές. Οι ανεμογεννήτριες όμως δεν προκαλούν ιδιαίτερο πρόβλημα όπως έχει φανεί από μελέτες που έχουν γίνει σε ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γερμανία, η Ολλανδία, η Δανία και η Αγγλία. Συγκεκριμένα, υπολογίστηκε ότι στον συνολικό αριθμό πουλιών που σκοτώνονται ετησίως, μόνον 20 θάνατοι οφείλονται σε ανεμογεννήτριες, ενώ αντίστοιχα 1.500 θάνατοι οφείλονται στους κυνηγούς και 2.000 σε πρόσκρουση με οχήματα και τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ασφαλώς βέβαια, το θέμα της προστασίας του πληθυσμού των πουλιών σε ευαίσθητες οικολογικά και προστατευόμενες περιοχές πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη φάση σχεδιασμού και χωροθέτησης του αιολικού πάρκου.

2.2 Μέθοδοι αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας.

Η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω αεροκινητήρων, που τη μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια, και μέσω ανεμογεννητριών, αεροκινητήρων δηλαδή που διαθέτουν ηλεκτρογεννήτρια, που τη μετατρέπουν απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια.

Καλύπτεται έτσι ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών: η μηχανική ενέργεια χρησιμοποιείται για τη λειτουργία αντλιών νερού στην ύδρευση και άρδευση περιοχών, για θέρμανση αγροτικών μονάδων και κατοικιών, για τη λειτουργία εγκαταστάσεων αφαλάτωσης νερού σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας κ.ά., ενώ η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να τροφοδοτεί το ηλεκτρικό δίκτυο. Για την παραγωγή αξιόλογων ποσών ηλεκτρικής ενέργειας δημιουργούνται συγκροτήματα από πολλές ανεμογεννήτριες μαζί, τα οποία ονομάζονται αιολικά πάρκα.

Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, ενδιαφέρον παρουσιάζουν μόνον εκείνες οι περιοχές στις οποίες επικρατούν άνεμοι με ικανοποιητικές μέσες ετήσιες ταχύτητες. Με δεδομένο ότι η ενεργειακή απόδοση των ανεμογεννητριών είναι συνάρτηση της τρίτης δύναμης, της ταχύτητας του ανέμου, η θέση στην οποία εγκαθίστανται είναι κυρίαρχο στοιχείο για την οικονομικότητά τους. Ένα πάρκο ανεμογεννητριών, το οποίο, σε ταχύτητα ανέμου 8 μέτρα το δευτερόλεπτο αποδίδει 1.600 kW, σε ταχύτητα 4 μέτρων παρέχει μόνον 200 kW. Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζονται οι μέσες ετήσιες ταχύτητες ανέμων στην Ευρώπη.



	Προστατευμένη περιοχή		Ανοιχτή περιοχή		Παραθαλάσσια		Ανοιχτή θάλασσα		Λόφοι και γκρεμοί	
	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$
	> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
	5.0 - 6.0	150 - 250	6.5 - 7.5	300 - 500	7.0 - 8.5	400 - 700	8.0 - 9.0	600 - 800	10.0 - 11.5	1200 - 1800
	4.5 - 5.0	100 - 150	5.5 - 6.5	200 - 300	6.0 - 7.0	250 - 400	7.0 - 8.0	400 - 600	8.5 - 10.0	700 - 1200
	3.5 - 4.5	50 - 100	4.5 - 5.5	100 - 200	5.0 - 6.0	150 - 250	5.5 - 7.0	200 - 400	7.0 - 8.5	400 - 700
	< 3.5	< 50	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 7.0	

Πίνακας 2.1 Μέσες ταχύτητες ανέμων στην Ευρώπη.

2.3 Μέτρηση ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου.

Η μέτρηση και καταγραφή ταχυτήτων ανέμου είναι απαραίτητη όχι μόνο για τη σχεδίαση των Α/Γ αλλά και για την επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης με γνώμονα τη μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας και τον περιορισμό της κόπωσης.

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μίας περιοχής γίνεται συνήθως από μια σειρά μετεωρολογικών μετρήσεων. Οι μετρήσεις αυτές παίρνονται από 3 μετεωρολογικούς ιστούς,

οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε διάφορα σημεία και ύψη της περιοχής που προορίζεται για το αιολικό πάρκο, και διαρκούν 1 με 2 έτη με περίοδο δειγματοληψίας κάθε 10 λεπτά.

Οι ιστοί αυτοί αποτελούνται από τα εξής όργανα :

- i. Ανεμόμετρο
- ii. Βαρόμετρο
- iii. Βροχόμετρο
- iv. Θερμόμετρο
- v. Πυρανόμετρο

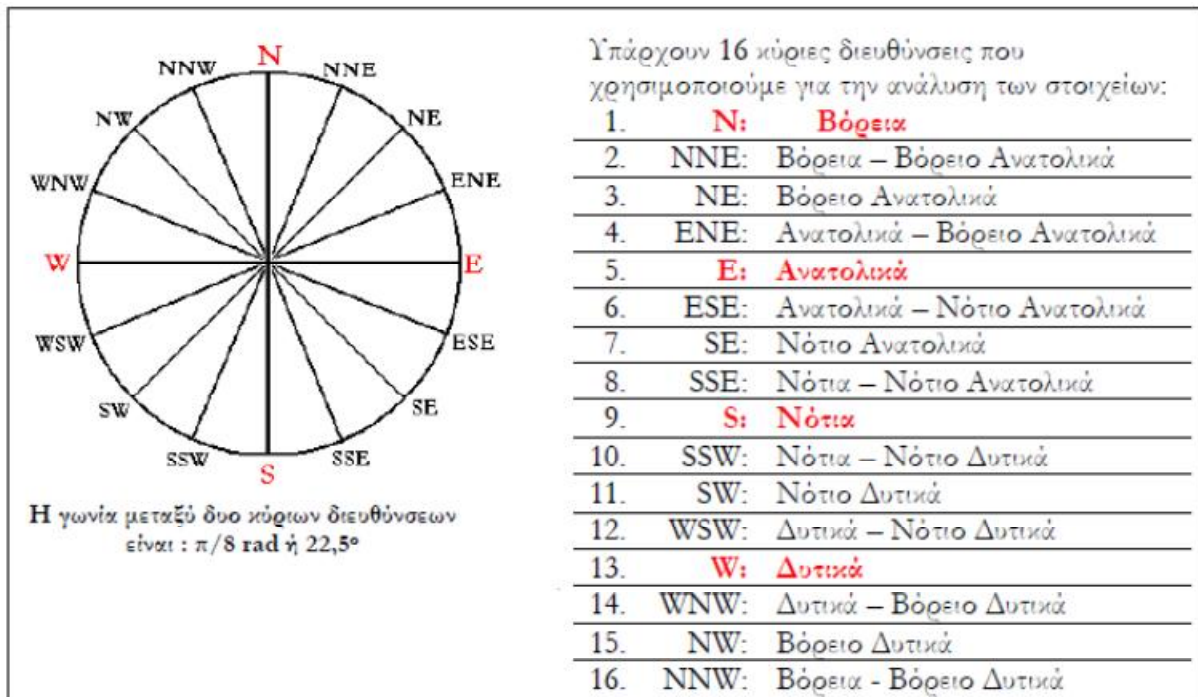
Οι μετρήσεις των οργάνων αυτών αποθηκεύονται με μελετούνται με σκοπό να υπολογιστούν:

- i. Η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου (m/s)
- ii. Η ένταση τύρβης στα 10 m/s
- iii. Η μέγιστη ταχύτητα ανέμου m/s
- iv. Οι συντελεστές κατανομής (παράμετρος μορφής, παράμετρος κλίμακας)

Με τη μέθοδο της δειγματοληψίας αυτής όμως δεν επιτρέπεται η καταγραφή φαινόμενων μικρής διάρκειας (≤ 20 sec), με μεγάλη ταχύτητα ανέμου, γνωστά ως ριπές ανέμου. Οι ριπές ανέμου αν και έχουν μικρή χρονική διάρκεια και είναι ανεπαίσθητες τόσο από τον ανεμογράφο όσο και από το σύστημα ελέγχου της ίδιας της ανεμογεννήτριας, επιφέρουν συχνά κόπωση των μηχανικών τμημάτων της ανεμογεννήτριας και κυρίως στα πτερύγια του δρομέα. Για αυτό το λόγο είναι συχνά απαραίτητη η χρήση μικρότερης περιόδου δειγματοληψίας του ανέμου (π.χ. 1 λεπτό) σε περιοχές ιδιαίτερου ενδιαφέροντος, ώστε να αποφεύγεται η εγκατάσταση μηχανών σε περιοχές με συχνές ριπές ανέμου.

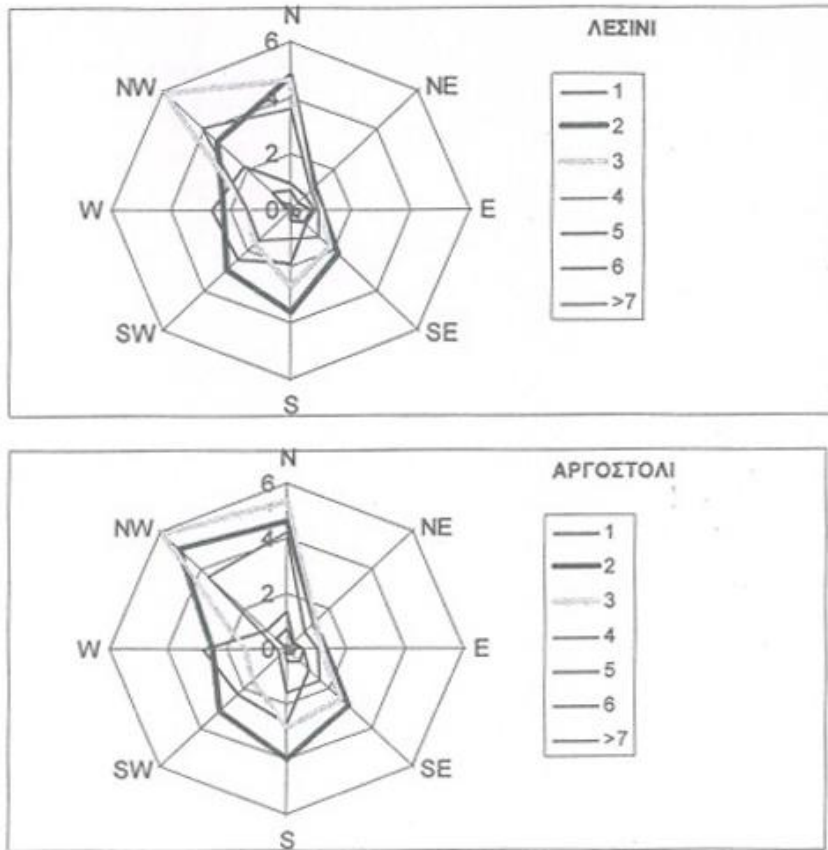
Ένα ακόμη σημαντικό στοιχείο που έχει επίπτωση στην μηχανική αντοχή της ανεμογεννήτριας, είναι η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή καθώς και η συχνότητα εμφάνισής του. Η διεύθυνση του ανέμου σε μια θέση δείχνει το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος σε σχέση με τη διάταξη μέτρησης. Σε ορισμένες περιοχές ο άνεμος παρουσιάζει μεγάλη σταθερότητα ως προς την διεύθυνση από την οποία πνέει κατά το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα της συνολικής περιόδου μέτρησης. Η διεύθυνση του ανέμου με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ονομάζεται επικρατούσα. Στην πράξη όμως η διεύθυνση του ανέμου είναι μεταβλητό μέγεθος με πολλές αλλαγές κατά διάφορες χρονικές περιόδους (εποχικότητα) και τις διάφορες κατευθύνσεις του ανέμου μπορεί κανείς να τις δει σε ένα ανεμολόγιο.

Το ανεμολόγιο διευθύνσεων χωρίζεται σε τομείς, οι οποίοι στον αριθμό είναι από 8 16, ανάλογα με τον αριθμό των κυρίων διευθύνσεων του ανέμου που μετρούνται. Το κέντρο κάθε τομέα σε μοίρες αντιστοιχεί σε μια από τις κύριες διευθύνσεις του ανέμου (γωνία αζιμούθιου). Στο παρακάτω (σχήμα 2.4) βλέπουμε ένα ανεμολόγιο διευθύνσεων όπου χρησιμοποιούνται 16 τομείς, με εύρος $22,5^\circ$ ο τομέας με κέντρο τις 0° που αντιστοιχεί στον γεωγραφικό Βορρά.
















Σχήμα 2.4 Ανεμολόγιο διευθύνσεων.

Η κατεύθυνση του πνέοντος ανέμου καθορίζεται κατά τρόπο ίδιο με την διεύθυνση προσανατολισμού (π.χ. ο άνεμος είναι δυτικός όταν κινείται από τη δύση). Η κατεύθυνση του ανέμου καταγράφεται με ανεμόμετρο ή παρατηρείται με την βοήθεια του ανεμούριου. Το μέτρο και η ταχύτητα διεύθυνσης του αέρα καταγράφονται κατά συστηματικό τρόπο με ανεμόμετρα στους μετεωρολογικούς σταθμούς. Οι συχνότητες πνοής του ανέμου που καταγράφονται σε μια χρονική περίοδο (ημέρα, εβδομάδα, μήνας, εποχή, έτος), παριστάνονται στο ροδόγραμμα πνοής του ανέμου. Το ροδόγραμμα πνοής (σχήμα 2.5) είναι ένα διάγραμμα που δίνει άμεσα την κατεύθυνση και την μέση ταχύτητα του ανέμου σε μια περιοχή καθώς επίσης την διάρκεια πνοής του ανέμου από κάθε κατεύθυνση. Η μέση ταχύτητα του ανέμου υποδηλώνεται από το μήκος των ακτινικών γραμμών του ροδογράμματος ενώ η εκατοστιαία συχνότητα πνοής αναγράφεται πάνω σε κάθε ακτινική γραμμή με την τιμή της νηνεμίας στο κέντρο του ροδογράμματος. Η ταχύτητα του ανέμου μετράται με την κλίμακα Beaufort (πίνακας 2.2). προς τιμή του Francis Beaufort.



Σχήμα 2.5 Ροδόγραμμα διεύθυνσης και έντασης ανέμου περιοχών Λεσβίου και Αργοστολίου.

Κλίμακα BEAUFORT (B)

Ένταση Ανέμου σε Beaufort	Ταχύτητα ανέμου				Μέση ταχύτητα ανέμου (kt / km/h / mph)	Περιγραφή	Ύψος κύματος		Συνθήκες στη θάλασσα	Συνθήκες στην ξηρά
	kt	km/h	mph	m/s			m	ft		
0	0.00	0.00	0.00	0.0-0.2	0 / 0 / 0	Άπνοια	0	0	Λεία επιφάνεια (σαν γυαλί)	 Ηρεμία
1	1-3	1-6	1-3	0.3-1.5	2 / 4 / 2	Σχεδόν Άπνοια	0.1	0.33	Ρυτίδες χωρίς κορυφές	 Η κίνηση του ανέμου γίνεται αντιληπτή στον καρπό
2	4-6	7-11	4-7	1.6-3.3	5 / 9 / 6	Πολύ Άσθενής	0.2	0.66	Μικρά κύματα χωρίς αφρό στις κορυφές	 Ο άνεμος γίνεται αντιληπτός στο δέρμα. Ακούγεται θρόισμα στα φύλλα
3	7-10	12-19	8-12	3.4-6.4	9 / 17 / 11	Άσθενής	0.6	2	Μεγαλύτερα κυματάκια σποραδικά αφρός στις κορυφές (προβατάκια)	 Φύλλα και μικρά κλαδιά σε συνεχή κίνηση.
4	11-16	20-29	13-18	5.5-7.9	13 / 24 / 15	Σχεδόν Μέτριας	1	3.3	Μικρά κύματα με αρκετές λευκές κορυφές (προβατάκια)	 Σκόνη και μικρά χαρτιά σηκώνονται. Τα μεγαλύτερα κλαδιά κινούνται.
5	17-21	30-39	19-24	8.0-10.7	19 / 35 / 22	Μέτριας	2	6.6	Μέτρια (1.2 m) και μακρύτερα κύματα. Αρκετός αφρός και σταγονίδια στον αέρα (ψεκασμός)	 Τα μικρά δέντρα γέρνουν.
6	22-27	40-50	25-31	10.8-13.8	24 / 44 / 27	Ισχυρός	3	9.9	Μεγάλα κύματα με πολύ αφρό και ψεκασμό.	 Μεγάλα κλαδιά σε κίνηση. Δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ομπρέλα.
7	28-33	51-62	32-38	13.9-17.1	30 / 56 / 35	Σχεδόν Θεωλιώδης	4	13.1	Η θάλασσα φουσκώνει και λευκός αφρός εκτείνεται σε ροβθώσεις κατά τη διεύθυνση του ανέμου, σμεκασμός χτυπά στο πρόσωπο με δύναμη	 Ολόκληρα δέντρα κινούνται. Χρειάζεται προσπάθεια για να περπατήσει κάποιος αντίθετα από τον άνεμο.
8	34-40	63-75	39-46	17.2-20.7	37 / 68 / 42	Θεωλιώδης	5.5	18	Μετρικώς μεγάλα κύματα, με κορυφές που αρχίζουν να σπάνε σε αφρό τρικυμίας και ψεκάδες. Σχηματίζονται πτερυγίες (σαν μπαλιάρια) από αφρό	 Κλαδιά σπάνε. Τα αυτοκίνητα επηρεάζονται όταν κινούνται γρήγορα.
9	41-47	76-87	47-54	20.8-24.4	44 / 81 / 50	Πολύ Θεωλιώδης	7	23	Μεγάλα κύματα (2.75 m). Πυκνός αφρός κατά τη διεύθυνση του ανέμου. Οι κορυφές των κυμάτων αρχίζουν να αναδιπλώνονται. Πολλές ψεκάδες.	 Ζημιές σε μερικές κατασκευές (κεραμίδια παρασύρονται και γκρεμίζονται καπνοδόχοι)
10	48-55	88-102	55-63	24.5-28.4	52 / 96 / 60	Θύελα	9	29.5	Πολύ μεγάλα κύματα με μακριές κρεμάμενες κορυφές. Η επιφάνεια της θάλασσας παίρνει μια άσπρη εμφάνιση. Ο διατοχασμός (μπότζι) γίνεται απότομο. Η ορατότητα επηρεάζεται.	 Δέντρα ξεριζώνονται. Σημαντικές ζημιές στις κατασκευές.
11	56-63	103-117	64-72	28.5-32.6	60 / 111 / 69	Ισχυρή Θύελα	11.5	37.7	Εξαιρετικά μεγάλα κύματα.	 Γενικευμένη καταστροφή σε κατασκευές.
12	>63	>117	>72	>32.7	Δεν Υπάρχει	Τυφώνας	14+	46+	Τυφώνας. Ο αέρας γεμίζει από αφρό και ψεκάδες. Η θάλασσα είναι τελείως λευκή με ψεκάδες. Η ορατότητα επηρεάζεται πολύ σοβαρά.	 Ολική καταστροφή σε κατασκευές.

Πίνακας 2.2 Κλίμακα μποφόρ και οι αντίστοιχες ταχύτητες

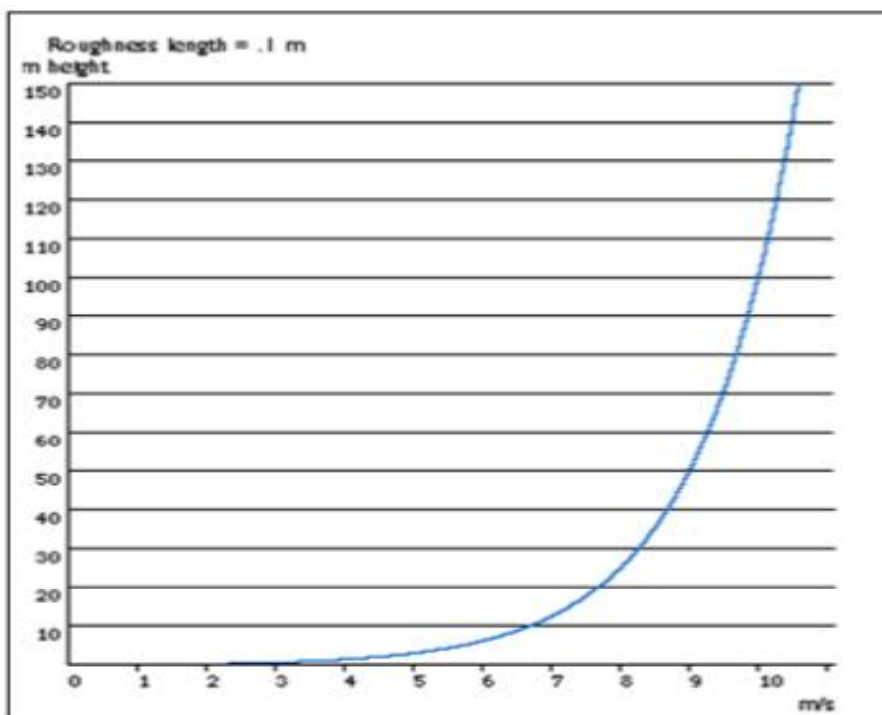
2.4 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος πάνω από το έδαφος.

Οι μετεωρολογικές μετρήσεις δείχνουν ότι η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται με την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους. Το πρόβλημα έκφρασης με κάποιο νόμο της μεταβολής της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος, έχει απασχολήσει αρκετούς ερευνητές. Οι εκφράσεις που χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μεταβολή της ταχύτητας με το ύψος και στα όρια του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος είναι:

- Εκθετικός νόμος: $U_1/U_2=(h_1/h_2)^n$
- Λογαριθμικός νόμος: $U/U^*=(1/0,35)*\ln(h/z_0)$

όπου U , U_1 και U_2 είναι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας στο ύψος h , h_1 και h_2 αντίστοιχα, U^* είναι η ταχύτητα τριβής (friction velocity), z_0 είναι η τραχύτητα της επιφάνειας και n είναι ο εκθέτης του εκθετικού νόμου. Χαρακτηριστικές τιμές του εκθέτη n ανάλογα με το είδος της επιφάνειας δίδονται από τους Warner και Calnan: Για λείο έδαφος (θάλασσα, έρημος, χιονισμένες εκτάσεις) $n=0,11$ έως $0,13$, για ελαφρά τραχύ έδαφος (αγροτικές περιοχές, ύπαιθρος) $n=0,13$ έως $0,20$, για τραχύ έδαφος (δάση, προάστια αστικών περιοχών), $n=0,20$ έως $0,27$ και για πολύ τραχύ έδαφος (αστικές περιοχές με ψηλά κτίρια) $n=0,27$ έως $0,35$.

Εκτός από την απόσταση από το έδαφος και η τραχύτητα του εδάφους επηρεάζει την κατανομή της αιολικής ταχύτητας. Κατά τον Marullaz υπάρχει ένα ύψος μετάβασης (transition height) πέρα από το οποίο δεν παρατηρείται επίδραση στην κατανομή της αιολικής ταχύτητας. Το ύψος αυτό είναι $h_{cr}=0,08x$, όπου x είναι η απόσταση από το θεωρούμενο σημείο όπου μεταβάλλεται η τραχύτητα του εδάφους. Για $x>5\text{km}$ η επίδραση της μεταβολής της τραχύτητας του εδάφους πρακτικά είναι αμελητέα, ενώ για $x<5\text{km}$ και για ύψη $h<h_{cr}$ η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα επηρεάζεται από την τραχύτητα του εδάφους στην διεύθυνση ανάντη και κατάντη της πνοής του ανέμου. Μια τυπική μορφή των τιμών που έχει το μήκος τραχύτητας για διάφορες κατηγορίες εδάφους δίνεται στο επόμενο σχήμα 2.6.



Σχήμα 2.6 Ταχύτητα του ανέμου για μήκος ταχύτητας 0,1 m σε σχέση με το ύψος από το έδαφος.

Η ανάπτυξη και η εξέλιξη της αιολικής ταχύτητας στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα καθορίζεται πρωταρχικά από την διαμόρφωση της επιφάνειας του εδάφους της κάθε περιοχής. Διάφορα φυσικά εμπόδια όπως λοφοσειρές, λόφοι και απότομοι βράχοι επηρεάζουν σημαντικά την ταχύτητα του αέρα. Ο άνεμος στις κορυφές της λοφοσειράς αλλά και στις κοντινές περιοχές επιταχύνεται σε μικρό ύψος από το έδαφος και παρουσιάζει μία σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή.

Η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου στην κορυφή μιας λοφοσειράς κυμαίνεται από 40% έως και 80%, όπου η τελευταία περίπτωση αναφέρεται σε ιδιαίτερα επιμήκεις λοφοσειρές με σταδιακή αύξηση της κλίσης του εδάφους. Επιτάχυνση της ταχύτητας του ανέμου παρατηρείται επίσης σε απομονωμένους λόφους σχεδόν ημισφαιρικού σχήματος, αλλά στην περίπτωση αυτή η σχετική αύξηση της ταχύτητας στην κορυφή του λόφου είναι μικρότερη και κυμαίνεται από 20% έως 40% ανάλογα με την κλίση της πλαγιάς. Γενικά, σε λόφους με γωνίες κλίσης μεγαλύτερες από 30°, παρατηρούνται εκτεταμένες περιοχές ανακυκλοφορίας του αέρα. Στο πίνακα 2.3 παρουσιάζεται ένας πίνακας της τάξης του εδάφους και τιμών μήκους ταχύτητας.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΤΑΞΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΤΙΜΩΝ ΜΗΚΟΥΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ		
Τάξη εδάφους	Τιμή μήκους τραχύτητας σε m	Περιγραφή τραχύτητας εδάφους
0	0.0002	Πολύ χαμηλή(ανοιχτή θάλασσα χωρίς υψηλό κυματισμό)
0.5	0.0024	Τελείως ανοιχτό ανάγλυφο με λεία επιφάνεια, π.χ διάδρομοι αεροδρομίων, γρασίδι κ.τ.λ
1	0.03	Ανοιχτή αγροτική περιοχή χωρίς εμπόδια θάμνων και δένδρων με πολύ αραιά κτήρια. Μόνο μικροί λόφοι
1.5	0.055	Αγροτική περιοχή με μερικά σπίτια και μέχρι 8 μέτρων ύψους δένδρα με μια απόσταση περίπου 1250 m.
2	0.1	Αγροτική περιοχή με μερικά σπίτια με 8 μέτρων ύψους δένδρα με μια απόσταση περίπου 500 m.
2.5	0.2	Αγροτική περιοχή με πολλά σπίτια, θάμνοι και φυτά, ή 8 m δένδρα με μια απόσταση περίπου 250m.
3	0.4	Χωριά, μικρές πόλεις, αγροτικές περιοχές με πολλά ψηλά δένδρα και θάμνους δάση και πολύ τραχύ και ανομοιογενές ανάγλυφο εδάφους
3.5	0.8	Μεγάλες πόλεις με ψηλά κτήρια
4	1.6	Πολύ μεγάλες πόλεις με ψηλά κτήρια και ουρανοξύστες

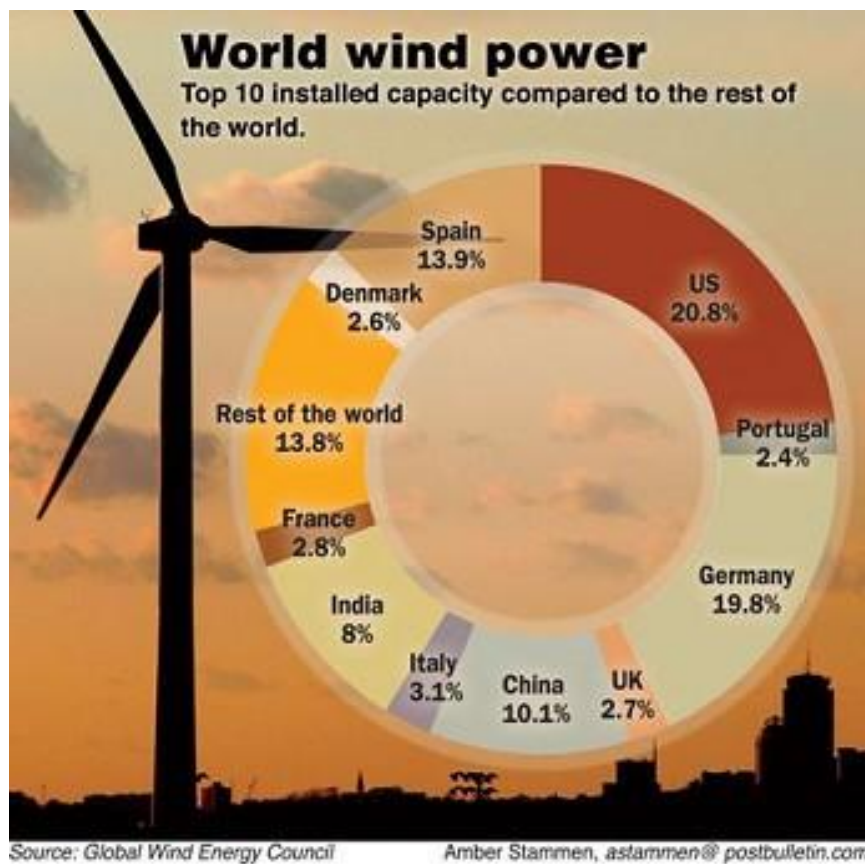
Πίνακας 2.3 Πίνακας τάξης εδάφους και τιμών μήκους ταχύτητας

2.5 Η αιολική ενέργεια σε παγκόσμιο επίπεδο

Το 2010 η Κίνα αναδείχθηκε πρώτη στις επενδύσεις των ΑΠΕ, αλλά σημαντική πρόοδο έχει σημειωθεί στη Νότια και Κεντρική Αμερική καθώς οι επενδύσεις αυξήθηκαν κατά 39%, στη Μέση Ανατολή και την Αφρική αυξήθηκαν κατά 104% και στην Ινδία κατά 25%.

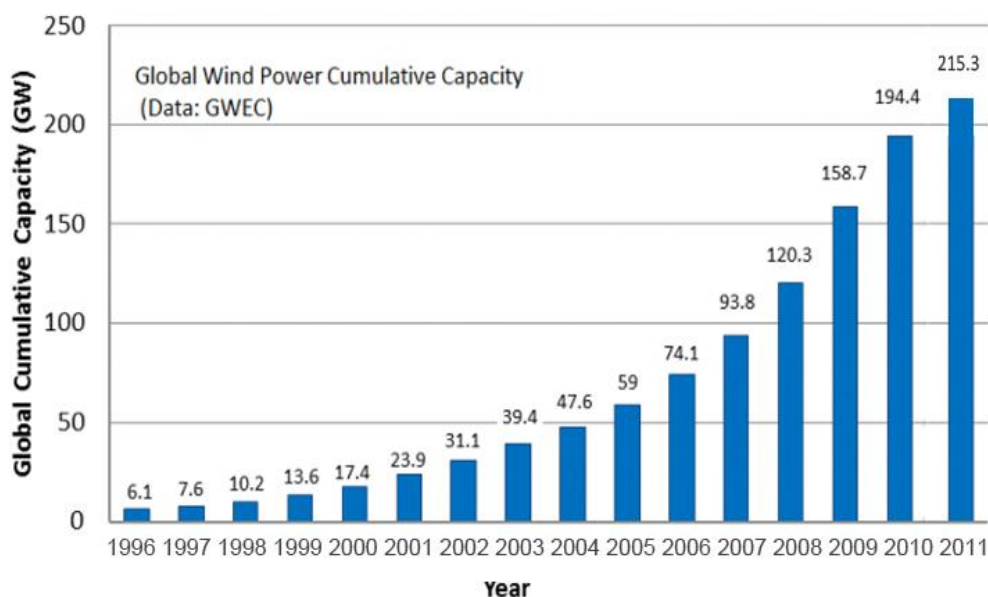
Το ίδιο έτος οι επενδύσεις σε παγκόσμιο επίπεδο στις ΑΠΕ ανήλθαν στο ποσό των 211 δισεκατομμυρίων δολαρίων, σημειώνοντας αύξηση κατά 32% σε σχέση με το 2009 και κατά 540% συγκριτικά με το 2004, σύμφωνα με την έκθεση «Παγκόσμιες Τάσεις στις Επενδύσεις σε Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας».

Η παγκόσμια συνολική ισχύς από αιολική ενέργεια στις μέρες μας είναι της τάξης των 215 GW. Στην εικόνα 2.6 παρουσιάζεται η κατανομή της αιολικής ενέργειας στις δέκα μεγαλύτερες χώρες παραγωγής αιολικής ενέργειας στον κόσμο.



Εικόνα 2.6 Κατανομή αιολικής ενέργειας στις 10 μεγαλύτερες χώρες παραγωγής.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ευρώπη έχει αυξηθεί από 3GW το 1998 σε περίπου 86 GW στις μέρες μας και ο παράγοντας απόδοσης (παραγωγής ανά μονάδα απόδοσης εγκατάστασης) έχει επίσης βελτιωθεί. Στο παρακάτω σχήμα (2.7) φαίνεται η εγκατεστημένη αιολική ισχύς στις χώρες της Ευρώπης για το έτος 2010.



Σχήμα 2.8 Παγκόσμια παραγόμενη αιολική ισχύς ανά έτος.

Πάνω από τα $\frac{3}{4}$ της συνολικής παγκόσμιας εγκατεστημένες ισχύος αιολικών πάρκων λειτουργεί στη περιοχή της Ευρώπης και είναι και η περιοχή στην οποία οφείλεται η ραγδαία ανάπτυξη των τελευταίων ετών. Ένα επίτευγμα το οποίο απορρέει από την σταθερή δέσμευση για ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

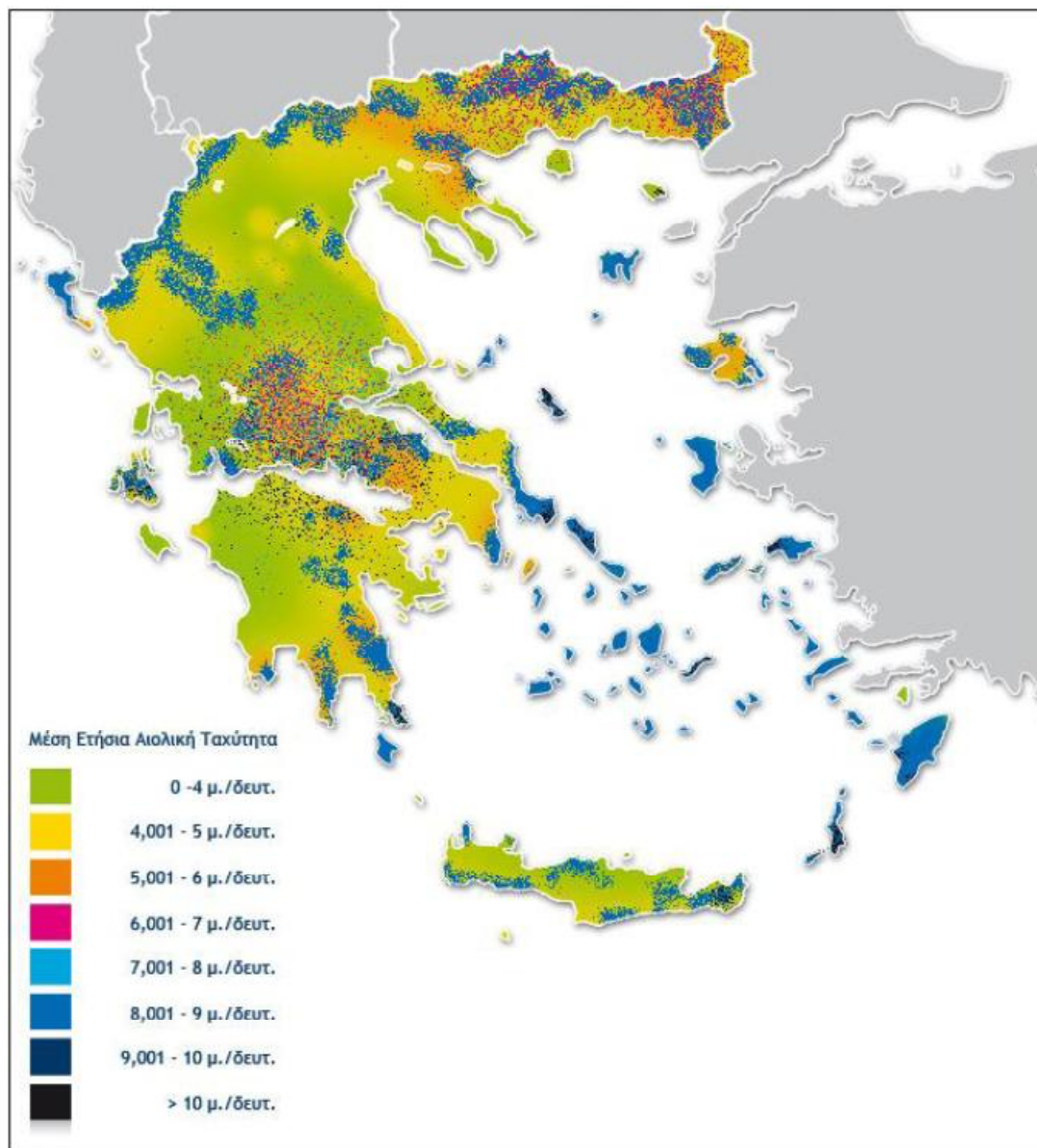
Κατά το έτος 2002 στις χώρες - μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εγκαταστάθηκαν νέα αιολικά πάρκα συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 5.871MW και συνολικής αξίας 5.8 δισεκατομμύρια Ευρώ (6.2 δισεκατομμύρια \$). Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς σ' αυτή την περιοχή αυξήθηκε κατά 33% και έφτασε τα 23.056MW. Ενώ στις Η.Π.Α., το έτος 2002, η νέα εγκατεστημένη ισχύς ανήλθε στα 410MW (αύξηση κατά 10%) και στον Καναδά περίπου 40MW. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι η Ισπανία παράγει περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από την χρησιμοποίηση αιολικών πάρκων απ' ότι οι Η.Π.Α.

Σήμερα, τα αιολικά πάρκα ικανοποιούν περίπου το 0,4% της παγκόσμιας ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια. Εάν υπάρξουν ισχυρότερες πολιτικές δεσμεύσεις, παγκοσμίως, τότε θα μπορούσαν να εγκατασταθούν περίπου 1.2 εκατομμύρια MW μέχρι το 2020.

2.6 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Το πρώτο αιολικό πάρκο εγκαταστάθηκε στην Κύθνο το 1982 αποτελούμενο από 5 ανεμογεννήτριες των 20 KW. Για την ακρίβεια ήταν υβριδικό σύστημα μαζί με φωτοβολταϊκές συστοιχίες των 100 KW. Αιολικά πάρκα μπορεί να βρει κανείς σε όλη την Ελλάδα όπως για παράδειγμα το αιολικό πάρκο στη θέση Μανολάτη-Ξερολίμπα του Δήμου Αργοστολίου γνωστό ως αιολικό πάρκο " Τετράπολις ", το πάρκο Χάνδρα την ανατολική Κρήτη, αιολικά πάρκα στα νησιά του Αιγαίου, το αιολικό πάρκο Ναυπάκτου, το αιολικό πάρκο Παναχαϊκού και άλλα. Μέσα στο 2012 νέα αιολικά πάρκα ισχύος 145 MW πρόκειται να τεθούν σε λειτουργία σύμφωνα με τα στοιχεία που έδωσε στη δημοσιότητα η Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ).

Η μέχρι τώρα αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος τα τελευταία χρόνια είναι σημαντική αλλά είναι και κοινά αποδεκτό ότι αυτή η αύξηση είναι πολύ μικρή δεδομένου του πλούσιου αιολικού δυναμικού της χώρας μας που φαίνεται στο σχήμα 2.9.



Σχήμα 2.9 Αιολικό δυναμικό Ελλάδας.

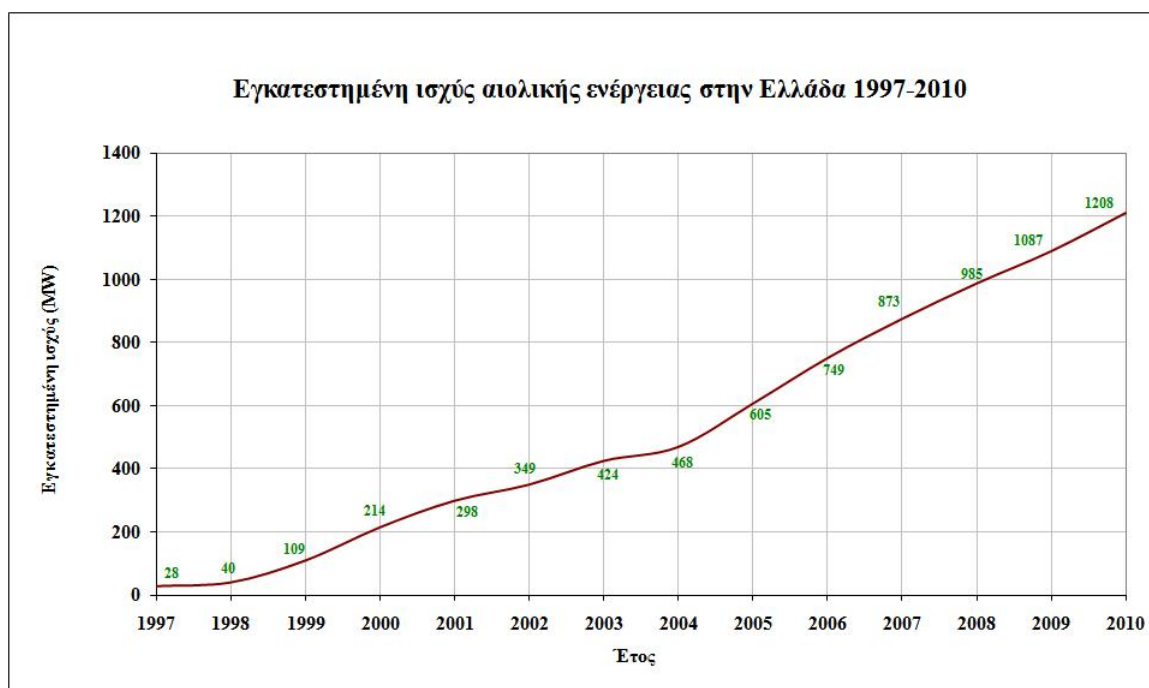
Κύριος λόγος για τη μικρή ανάπτυξη μέχρι το 2001 ήταν το νομοθετικό καθεστώς και το μονοπωλιακό μοντέλο της οικονομίας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μετά τις νομοθετικές αλλαγές στο χώρο των ΑΠΕ και την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η κατάσταση βελτιώθηκε σημαντικά. Η Ελλάδα εφαρμόζει το σύστημα feed in και η νομοθεσία προσφέρει επιπλέον αρκετά ικανοποιητικά κίνητρα για τους επενδυτές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το αυξημένο ενδιαφέρον των επενδυτών για ανάπτυξη πολλών MW αιολικής ενέργειας. Όμως το επενδυτικό ενδιαφέρον είναι φανερό ότι δεν είναι αρκετό.

Χαρακτηριστικά, ο στόχος της χώρας μας για το 2010 ως προς την ηλεκτροπαραγωγή από αιολική ενέργεια ήταν η εγκατεστημένη ισχύς να φτάσει περίπου τα 3500MW ενώ σήμερα μόλις που αγγίζει τα 1000MW. Είναι φανερό ότι σε μια χώρα όπου υπάρχει στόχος και καλή θέληση ενώ και οι επενδυτικές προτάσεις δεν είναι λίγες, η ανάπτυξη των αιολικών

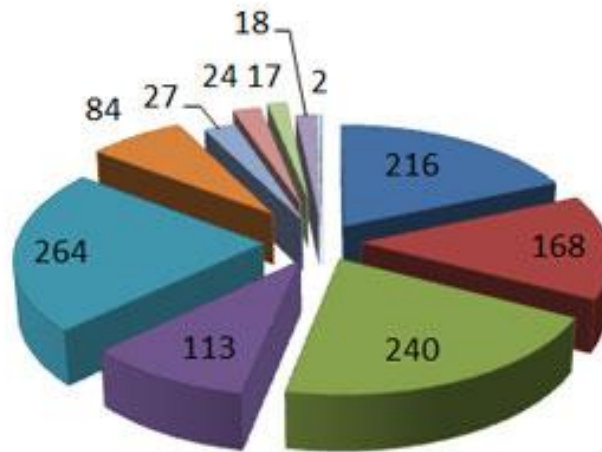
πάρκων καθυστερεί σημαντικά, με αποτέλεσμα, ο στόχος να έχει πλέον μετατεθεί για το 2020 με εγκατεστημένη ισχύ που θα πρέπει να φτάσει περίπου τις 10000 MW.

Κύριοι λόγοι για αυτές τις καθυστερήσεις είναι, η μακροσκελής και περίπλοκη αδειοδοτική διαδικασία, η αδυναμία του δικτύου σε πολλές περιπτώσεις (π.χ. Εύβοια, Κρήτη) να υποστηρίξει επιπλέον εγκατεστημένη ισχύ, οι αντιδράσεις των κατοίκων κυρίως για θέματα οπτικής όχλησης και η έλλειψη χωροταξικού σχεδιασμού. Τα παραπάνω προβλήματα έχουν τεθεί υπό συζήτηση και έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για την επίλυση τους, όπως η δημιουργία του νόμου 3468/2006, ο οποίος απλοποιεί σημαντικά την αδειοδοτική διαδικασία, χωρίς όμως να λείπουν και σε αυτή την περίπτωση κενά ή αντικρουόμενες αρμοδιότητες μεταξύ κρατικών φορέων. Επίσης, έχουν δρομολογηθεί επεκτάσεις και ενίσχυσης του δικτύου μεταφοράς ρεύματος, ένα έργο το οποίο ενδέχεται να βοηθήσει μακροπρόθεσμα την γρήγορη εισαγωγή των έργων αιολικής ενέργειας στο δίκτυο. Τα προβλήματα των κοινωνικών αντιδράσεων, εφόσον αυτά οφείλονται σε οπτική ενόχληση από την ύπαρξη των ανεμογεννητριών είναι πάντα δύσκολο να αντιμετωπιστούν, υπό την έννοια ότι το αν σε κάποιον αρέσει ή όχι η όψη μίας ανεμογεννήτριας είναι κάτι το υποκειμενικό. Είναι βέβαιο όμως ότι ένας επενδυτής ο οποίος θα σχεδιάσει και θα τοποθετήσει τις ανεμογεννήτριες, αποφεύγοντας τις υπερβολές και τις μαζικές παρεμβάσεις στο γύρω τοπίο, θα αντιμετωπίσει και τα λιγότερα προβλήματα.

Στο σχήμα 2.10 παρουσιάζεται η συνολική αιολική εγκατεστημένα ισχύς στην Ελλάδα από το 1997 μέχρι και το 2010 και στο σχήμα 2.11 παρουσιάζεται η ισχύς αιολικών πάρκων με άδεια ανά περιφέρεια.



Σχήμα 2.10 Εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα 1997- 2010.



Σχήμα 2.11 Ισχύς αιολικών πάρκων με άδεια λειτουργίας ανά περιφέρεια.

Βλέπουμε ότι υπάρχει μία συνεχόμενη αύξηση στην παραγωγή ενέργειας από τον άνεμο στην Ελλάδα ανά έτος αλλά όχι στο επιθυμητό ποσοστό, με βάση το μεγάλο αιολικό δυναμικό της χώρας μας. Παρ'όλα αυτά η Ελλάδα αυτή τη στιγμή βρίσκεται στην όγδοη θέση μεταξύ των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης στη χρήση αιολικής ενέργειας. Στόχος για το 2020 εκτός από την αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος στα 10000 MW και την ενεργειακή ανεξαρτησία, είναι και η επίτευξη στο 20% για εξοικονόμηση ενέργειας, 10% για διείσδυση των βιοκαυσίμων, 4% για μείωση των ΑΦΘ (Αέρια Φαινομένου Θερμοκηπίου) σε σχέση με το 2005 και 18% διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

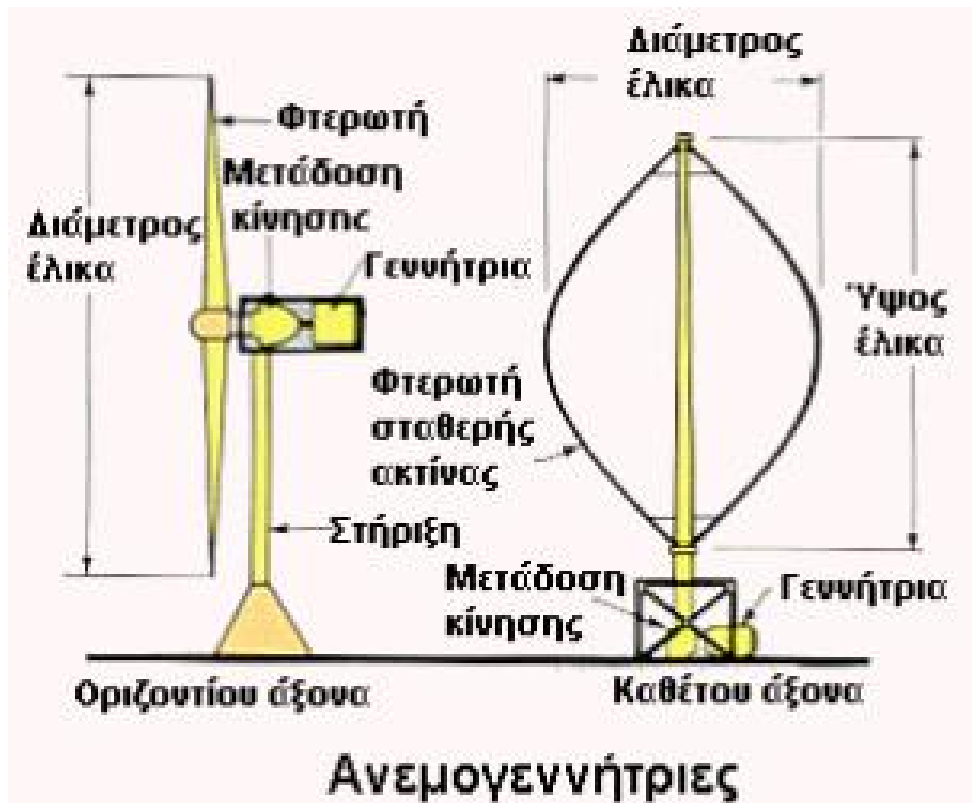
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

3.1. Εισαγωγή

Οι αιολικές μηχανές αποτελούν ανθρώπινες επινοήσεις, που έχουν ως σκοπό, την αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Τελικός στόχος είναι η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ωφέλιμη ενέργεια δηλαδή σε οποιαδήποτε εύχρηστη μορφή ενέργειας, άμεσα απολήψιμης από τον άνθρωπο. Λέγεται δε ότι μέχρι σήμερα έχουν επινοηθεί και εφαρμοστεί περισσότεροι τύποι ανεμοκινητήρων από οποιοδήποτε άλλο τύπο εφεύρεσης , χωρίς όμως να έχει πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα ο επιθυμητός βαθμός εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου.

3.2 Βασικές αρχές λειτουργίας

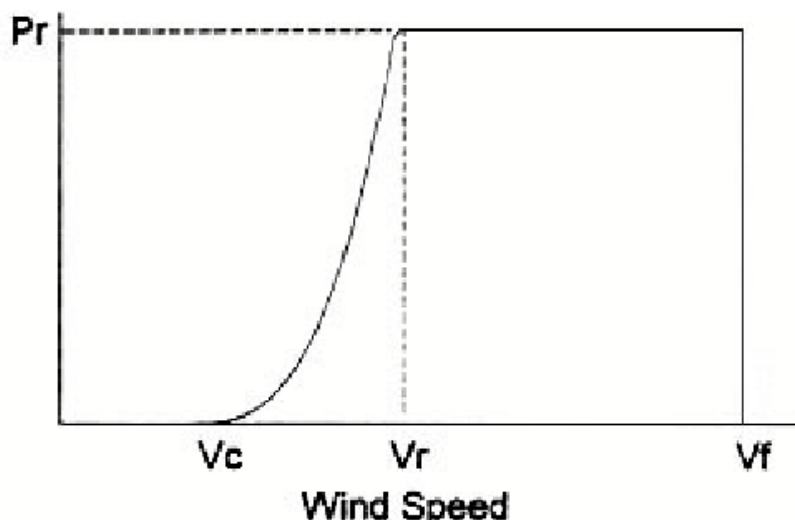
Οι ανεμογεννήτριες έχουν σχεδιαστεί να μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ισχύ και στην συνέχεια σε ηλεκτρισμό. Υπάρχουν τρεις βασικοί νόμοι αναφορικά με την διαθέσιμη από τον άνεμο ενέργεια. Ο πρώτος νόμος δηλώνει ότι η παραγόμενη από τον άνεμο ισχύς είναι ανάλογη με την Τρίτη δύναμη της ταχύτητας του ανέμου. Αν δηλαδή διπλασιαστεί η ταχύτητα του ανέμου τότε η διαθέσιμη ισχύς αυξάνει οχτώ φορές, αν τριπλασιαστεί τότε διατίθεται το 27-πλάσιο της ισχύος. Βέβαια η ισχύς του ανέμου σε χαμηλές ταχύτητες είναι αντίστοιχα πολύ μικρή. Σαν συνέπεια αυτού του νόμου θα πρέπει να είναι διαθέσιμα ακριβή και λεπτομερή δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου για μια συγκεκριμένη περιοχή ώστε να είναι δυνατόν να υπολογιστεί με ακρίβεια η πιθανότητα για το επίπεδο της ενεργειακής παραγωγής, και οι ανεμογεννήτριες θα πρέπει να σχεδιαστούν και διαστασιολογηθούν ακριβώς για την περιοχή αυτή. Ο δεύτερος νόμος δηλώνει ότι η διαθέσιμη ισχύς είναι ανάλογη της επιφάνειας που σαρώνουν οι πτέρυγες της ανεμογεννήτριας, είναι δηλαδή ανάλογη στο τετράγωνο της ακτίνας της πτέρυγας. Αν διπλασιαστεί το μήκος της πτέρυγας θα αυξηθεί η ισχύς τέσσερις φορές, αν τριπλασιαστεί τότε η ισχύς αυξάνεται κατά εννέα φορές. Ο τρίτος νόμος δηλώνει ότι υπάρχει μια μέγιστη θεωρητική απόδοση για τις ανεμογεννήτριες που είναι 59%. Στην πραγματικότητα οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν πολύ χαμηλότερο βαθμό απόδοσης, καθώς οι καλύτερες έχουν αποδόσεις της τάξεως του 35-40%.



Εικόνα 3.2.1 Εμπροστια και πλαινη οψη των μερων της Α/Γ.

Οι Α/Γ σχεδιάζονται να λειτουργούν ανάμεσα σε συγκεκριμένες ταχύτητες ανέμου. Το κάτω όριο ονομάζεται ταχύτητα εμπλοκής» και είναι περίπου 4-5 m/s, καθώς υπάρχει πολύ λίγη ενέργεια κάτω από αυτή την ταχύτητα ώστε να υπερκεράσουν τις απώλειες του συστήματος. Η ταχύτητα αποκοπής (η Α/Γ τίθεται εκτός λειτουργίας) καθορίζεται από την ικανότητα της συγκεκριμένης μηχανής να αντέχει την καταπόνηση σε εκείνη την ταχύτητα του ανέμου.

Τέλος η ταχύτητα σχεδιασμού είναι εκείνη η ταχύτητα του ανέμου όπου η συγκεκριμένη μηχανή παράγει την μέγιστη ισχύ για την οποία έχει σχεδιαστεί. Επάνω σε αυτήν την ταχύτητα υπάρχουν μηχανισμοί οι οποίοι διατηρούν την παραγωγή ισχύος σε μια σταθερή τιμή όσο και αν αυξάνει η ταχύτητα του ανέμου (Σχήμα 3.2.2).



Σχήμα 3.2.2 Σταδια παραγωγής ισχυος συναρτηση της ταχυτητας του ανεμου.

Στο σχήμα 3.2.2 V_c είναι η ταχύτητα εμπλοκής στην οποία η Α/Γ ξεκινά να παράγει ισχύ, V_r είναι η ταχύτητα λειτουργίας όπου η Α/Γ φθάνει στην ισχύ σχεδιασμού, και V_f είναι η ταχύτητα αποκοπής στην οποία η Α/Γ σταματά να λειτουργεί ώστε να αποφύγει πιθανή αστοχία. Η ισχύς σχεδιασμού είναι η P_r . Αυτή η καμπύλη είναι τυπική μιας Α/Γ με δύο ή τρεις πτέρυγες. Η Α/Γ ακολουθεί την μέγιστη ισχύ μέχρι το μέγιστο της ισχύος και μετά ρυθμίζεται να παράγει σταθερή ισχύ μέχρι να τεθεί εκτός λειτουργίας.

Μια Α/Γ αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

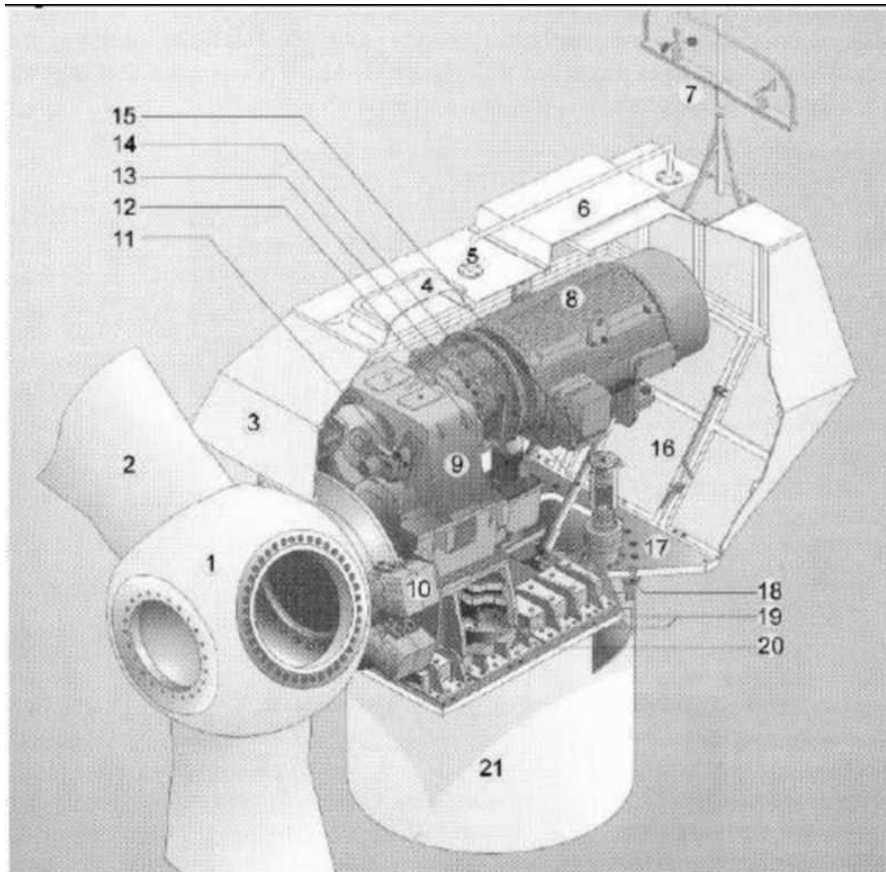
Ρότορας: Οι πτέρυγες του ρότορα έχουν σχεδιαστεί να γυρίζουν με τον άνεμο, περιστρέφοντας την γεννήτρια. Μερικές φορές υπάρχει κιβώτιο ταχυτήτων για να αυξάνει την συχνότητα του παραγόμενου ηλεκτρισμού.

Γεννήτρια: Παράγει τον ηλεκτρισμό όταν υπάρχει ικανοποιητική ταχύτητα του ανέμου για να περιστραφούν οι πτέρυγες. Υπάρχουν διάφορα είδη γεννητριών, μερικές με μόνιμους μαγνήτες.

Σύστημα διεύθυνσης: Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα απαιτούν ένα μηχανισμό ο οποίος να τις φέρνει σε σημείο ώστε το επίπεδο που σαρώνει ο ρότορας να είναι κάθετο στην κατεύθυνση του ανέμου. Οι μικρές Α/Γ έχουν έναν τέτοιο μηχανισμό στο ουραίο τμήμα, ενώ οι μεγάλες έχουν συνήθως έναν σερβομηχανισμό που τις προσανατολίζει ώστε να παράγουν την μέγιστη ισχύ σχεδιασμού τους.

Σύστημα Προστασίας: Οι σύγχρονες Α/Γ είναι εξοπλισμένες με μηχανισμό που τις θέτει εκτός λειτουργίας ώστε να μην υποστούν ζημιά από υπερβολικά υψηλούς ανέμους. Μικρότερες μηχανές μεταβάλλουν τον προσανατολισμό των πτερύγων ώστε, προσφέροντας μικρότερη επιφάνεια προς τον άνεμο, μειώνεται η ταχύτητα περιστροφής, ή έχουν κάποιο σύστημα πέδησης.

Πυλώνας στήριξης: Ο πυλώνας επιτρέπει στα πτερύγια να βρίσκονται επάνω από τα τυρβώδη ρεύματα του ανέμου και δεσμεύει υψηλότερους ανέμους. Ο σχεδιασμός του ύψους είναι κρίσιμης σημασίας διότι θα πρέπει να είναι αρκετά υψηλός αλλά και οικονομικός για το όλο κόστος του συστήματος. Θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε το εύρος συχνοτήτων των πτερύγων να μην συμπίπτει με την συχνότητα συντονισμού του πύργου.



Σχήμα 3.2.3 Συστατικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας.

- | | |
|---|---|
| 1. Πλήμνη δρομέα | 12. Υδραυλικά |
| 2. Πτερύγια δρομέα | 13. Ελαστικός σύνδεσμος |
| 3. Κάλυμμα ατράκτου | 14. Αναρτήσεις γεννήτριας |
| 4. Φωταγωγός | 15. Σύστημα προσανατολισμού |
| 5. Ράβδος ασφαλείας | 16. Θυρίδα επισκόπησης |
| 6. Εξαγωγή αέρα | 17. Εξέδρα |
| 7. Αλεξικέραυνο και μετρητής ταχύτητας ανέμου | 18. Στεφάνη ρουλεμάν συστήματος προσανατολισμού |
| 8. Γεννήτρια | 19. Φρένο συστήματος προσανατολισμού |
| 9. Κιβώτιο ταχυτήτων | 20. Αποξεύκτης θορύβου |
| 10. Δισκόφρενο δρομέα | 21. Πύργος |
| 11. Εφεδρικό φρένο | |

Το πλέον διακριτό εξάρτημα μιας Α/Γ είναι ο ρότορας με τα πτερύγια που μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε περιστροφική ενέργεια στον άξονα περιστροφής. Οι σύγχρονες Α/Γ αναπτύσσουν κατά την λειτουργία τους αεροδυναμική άνωση λόγω της ροής του αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς η επιτάχυνση της ροής στο επάνω τμήμα της πτέρυγας, προκαλεί διαφορά πίεσης με το κάτω τμήμα όπου η ροή επιβραδύνεται.

Το μέγεθος των Α/Γ ποικίλλει από διάμετρο 60 cm και ονομαστική ισχύ περίπου 50 W μέχρι 60 m και ισχύ στα 3 MW. Η ισχύς της Α/Γ είναι ανάλογη της επιφάνειας που σαρώνει ο ρότορας, και σε μια περιοχή με ικανοποιητικό επίπεδο ανέμων το επάνω όριο ισχύος είναι περίπου 500 W/m².

Για την κατασκευή των πτερυγίων χρησιμοποιείται ένα ευρύ φάσμα υλικών, όπως υαλοβάμβακας με αφρώδη πυρήνα, πολυεστέρα ενισχυμένο με γυαλί, ξύλο και εποξικά

στρώματα, και ανοξειδωτος σίδηρος. Ο αριθμός των πτερύγων στον ρότορο εξαρτάται από το μέγεθος. Οι μεγάλες μηχανές σχεδιάζονται με δύο πτέρυγες, ενώ με τρεις πτέρυγες σχεδιάζονται οι μηχανές κάτω από 500 W. Οι μηχανές με τις δύο πτέρυγες έχουν εξοικονόμηση κόστους λόγω του μειωμένου βάρους του ρότορα, αλλά οι μηχανές με τις τρεις πτέρυγες παράγουν λίγο περισσότερη ισχύ. Η αυξημένη ταχύτητα του άκρου των πτερυγίων σε μια μηχανή με δύο πτερύγια ίσως να προκαλεί αύξηση του αεροδυναμικού θορύβου.

Η ταχύτητα περιστροφής είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογη στην διάμετρο του ρότορα, ώστε η προκύπτουσα ταχύτητα του άκρου της πτέρυγας να είναι μεταξύ 50 m/s και 100 m/s.

Η γεννήτρια είναι συνήθως τύπου επαγωγής, ή εναλλακτικά μπορεί να είναι σύγχρονη, οπότε και απαιτείται διέγερση από το δίκτυο. Αυτό σημαίνει ότι θα πρέπει να υπάρχει δυνατότητα ακριβούς ελέγχου της ταχύτητας του ρότορα στην εκκίνηση ώστε να συγχρονιστεί με το ρεύμα του δικτύου. Τέλος υπάρχει και η μονάδα ελέγχου που ταιριάζει το ρεύμα που παράγεται από την γεννήτρια με την ζήτηση ισχύος από το δίκτυο και το επίπεδο του ανέμου.

Όλα αυτά βρίσκονται εγκατεστημένα στον ειδικό θάλαμο στο ύψος του άξονα περιστροφής του ρότορα, αλλά απαιτείται ευχέρεια πρόσβασης για συντήρηση και επισκευές.

Ο πύργος στήριξης είναι μια ειδική κατασκευή το ύψος του οποίου καθορίζεται από την ανάγκη να βρίσκεται μέσα σε ένα καλό προφίλ ανέμου, αλλά και να αντέχει την αύξηση της ροπής στην βάση του. Η θεμελίωση του συνεπώς θα πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να αντέχει την ροπή κάμψεως που εμφανίζεται αλλά και τις αναπτυσσόμενες ταλαντώσεις που αναπτύσσονται από την συχνότητα περιστροφής του ρότορα. Τα έργα θεμελίωσης και κατασκευής που απαιτούνται αναδεικνύουν το όλο πρόβλημα εγκατάστασης και συναρμολόγησης. Ο πύργος κατασκευάζεται στο εργοστάσιο και συναρμολογείται επί τόπου, ο ρότορας έρχεται πλήρης και προσαρμόζεται στον πύργο, ενώ οι πτέρυγες συνδέονται με την βοήθεια ειδικών γερανών. Απαιτούνται συνεπώς δρόμοι προσπέλασης προς το σημείο εγκατάστασης, και η όλη επιχείρηση είναι ιδιαίτερα δύσκολη ιδίως σε περιπτώσεις ορεινές και απομακρυσμένες. Όλα τα παραπάνω προσθέτουν στο συνολικό κόστος του έργου, ενώ υπάρχει πολλές φορές η ανάγκη να ανοιχθούν νέοι δρόμοι, ειδικά για την εξυπηρέτηση των αιολικών πάρκων.

Τέλος υπάρχει η ανάγκη να μεταφερθεί ο παραγόμενος ηλεκτρισμός στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο το οποίο μπορεί να βρίσκεται αρκετά χιλιόμετρα μακριά. Εκτός από το οικονομικό κόστος που συνεπάγεται η εγκατάσταση νέων γραμμών μεταφοράς υπάρχει και η περιβαλλοντική επιβάρυνση που προκύπτει καθώς οι γραμμές μεταφοράς σε ένα τοπίο οδηγούν σε οπτική υποβάθμιση.



Εικόνα 3.2.4.α. Μικρή Α/Γ που λειτουργεί αυτόνομα με εφεδρικό σύστημα.

Εικόνα 3.2.4.β. Μηχανές 225kW στην Αυστραλία.

Εικόνα 3.2.4.γ. Αγροτικός ανεμόμυλος για άντληση νερού.

Οι ανεμογεννήτριες έχουν εγκατεστημένες ισχύς που ποικίλουν από μερικά KW μέχρι μερικά MW. Το πιο συνηθισμένο εύρος για τις μεγάλες μηχανές είναι μεταξύ 200 - 700 KW.

Μικρές ανεμογεννήτριες

Οι μηχανές που έχουν εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη από 10kW ταξινομούνται ως Α/Γ μικρής κλίμακας. Μπορούν να είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο, αλλά συνήθως λειτουργούν αυτόνομα παράγοντας ηλεκτρισμό σε περιοχές όπου δεν υπάρχει δίκτυο.

Σε αγροτικές περιοχές υπάρχουν εγκατεστημένες Α/Γ οι οποίες χρησιμοποιούνται για την άντληση νερού από γεωτρήσεις. Είναι σχεδιασμένες να λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες από τις Α/Γ που παράγουν ηλεκτρισμό και ουσιαστικά αποθηκεύουν το νερό για μετέπειτα χρήση όταν δεν υπάρχει επαρκής άνεμος.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα για την οικονομικότητα της αιολικής ισχύος είναι η στοχαστικότητα του ανέμου, και η προκύπτουσα μεταβαλλόμενη παραγωγή ισχύος. Οι περιοχές όπου ο άνεμος είναι σταθερά υψηλός είναι σχετικά λίγες και ως συνέπεια απαιτείται να υπάρχει σύστημα αποθήκευσης για τον παραγόμενο ηλεκτρισμό (συνήθως μπαταρίες) ή εφεδρικό σύστημα με γεννήτρια πετρελαίου για να προσφέρει στην κατανάλωση. Έμμεση αποθήκευση ηλεκτρισμού αποτελεί η ανύψωση νερού σε τεχνητές λίμνες όπου ο παραγόμενος ηλεκτρισμός επιστρέφει στο δίκτυο με την περιστροφή κάποιου υδροστροβίλου.

3.3. Ενέργεια από ανεμογεννήτριες

Ο άνεμος έχει χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας από τα πανάρχαια χρόνια. Χώρες χρωστούσαν τον πλούτο και την ναυτιλιακή ικανότητά τους στον άνεμο που κινούσε τα ιστιοφόρα πλοία τους. Στην ξηρά εξ άλλου χρησιμοποιήθηκε στους ανεμόμυλους άντλησης νερού ή άλεσης σιτηρών.

Η κινητική ενέργεια του ανέμου οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία και περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η ισχύς των ανέμων σ' όλη τη γη υπολογίζεται σε 3.6109 MW. Ενδεικτικά οι ενεργειακές ανάγκες των Η.Π.Α. είναι μόλις το 10% της ενέργειας των ανέμων που πνέουν εκεί, γεγονός που αποδεικνύει πόσο πλούσια πηγή ενέργειας είναι ο άνεμος. Η ισχύς ρεύματος γενικά είναι ανάλογη της πυκνότητας του και του κύβου της ταχύτητας του. Έτσι για την ίδια ταχύτητα και διατομή ένα ρεύμα αέρα θα έχει περίπου 800 φορές μικρότερη ενέργεια από αντίστοιχη δέσμη νερού. Η αιολική ενέργεια συνεπώς είναι μια «αραιή» ή «ήπια» μορφή ενέργειας, δηλαδή είναι μικρή η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου που μπορεί να δεσμευτεί σε κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας που προσβάλλεται από τον άνεμο. Για παράδειγμα άνεμος εντάσεως 5 μποφόρ, περίπου 9,5 m/s, έχει ισχύ 500 W ανά m προσβαλλόμενης επιφάνειας, ενώ ένας ανεμοκινητήρας (Α/Κ) μπορεί στην καλύτερη περίπτωση να δεσμεύσει το 48% αυτής της ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη κατασκευής μονάδων, μεγάλων διαστάσεων. Σ' αυτό το μειονέκτημα ανταπεξέρχεται με επιτυχία η σημερινή τεχνολογία με την κατασκευή ανεμοκινητήρων μεγάλων διαστάσεων που ανταγωνίζονται οικονομικά τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Παράλληλα η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα ότι δίνει απ' ευθείας μηχανική ενέργεια μία «αναβαθμισμένη» κατά την τεχνική ορολογία, μορφή ενέργειας που με πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης και απλά μέσα μετατρέπεται σε οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί συνεπώς μια αστείρευτη πηγή ενέργειας με αξιοσημείωτο δυναμικό και με δωρεάν πρώτη ύλη στη διάθεση της ανθρωπότητας και προβάλλει σήμερα ως μία από τις πιο κατάλληλες εναλλακτικές πηγές για την παραγωγή ηλεκτρισμού αλλά και για άλλες χρήσεις.

Η αιολική ενέργεια είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη γι' αυτό είναι και ανανεώσιμη. Δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί την μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από την μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους.

Αξίζει να σημειωθεί στο σημείο αυτό ότι από τεχνικοοικονομικής άποψης η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα την πλέον συμφέρουσα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, δεδομένου ότι ήδη το κόστος της παραγόμενης αιολικής KWh συναγωνίζεται το κόστος της συμβατικής KWh, χωρίς μάλιστα να συμπεριληφθεί το κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος από την παραγωγή ενέργειας. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια γίνονται σοβαρές επενδύσεις στον τομέα της αιολικής ενέργειας τόσο από δημόσιους όσο και από ιδιωτικούς φορείς, κυρίως στις πιο ανεπτυγμένες χώρες του πλανήτη μας.

Από την άλλη πλευρά αντιπαρατίθεται το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια δεν είναι ακριβώς προβλέψιμη ούτε και συνεχής, ενώ παράλληλα είναι μια μορφή ενέργειας χαμηλής πυκνότητας, γεγονός που μας υποχρεώνει σε μεγάλες κατασκευές (ανεμογεννήτριες μεγάλου μεγέθους). Επίσης η σωστή αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας θα βελτιώσει το παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο, χωρίς να επιβαρύνει με πρόσθετους ρύπους το ήδη βεβαρημένο περιβάλλον μας.

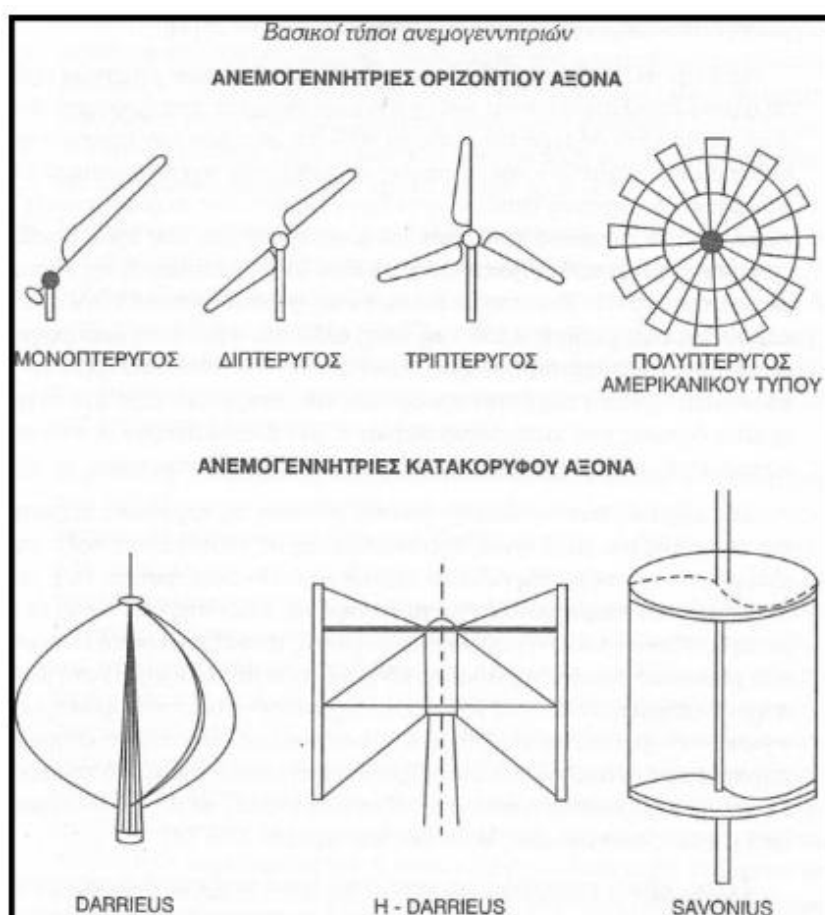
Τέλος, αν και είναι ευρύτερα αποδεκτό ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει μια καθαρή και οικονομικά ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας, ιδιαίτερα για τη χώρα μας, προτού διατυπωθούν τελικά συμπεράσματα πρέπει να λάβουμε υπόψη μας τα βασικά θετικά και αρνητικά στοιχεία, που συνοδεύουν την εγκατάσταση ανεμογεννητριών και την αξιοποίηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής.

3.4. Τύποι ανεμογεννητριών

Οι επικρατέστεροι τύποι ανεμογεννητριών ταξινομούνται κυρίως σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου. Ως εκ τούτου, οι πλέον διαδεδομένοι τύποι ανεμοκινητήρων είναι οι ανεμογεννήτριες «οριζόντιου» και οι ανεμογεννήτριες «κατακόρυφου» άξονα.

Οι ανεμογεννήτριες **οριζόντιου άξονα** έχουν συνήθως τον άξονά τους παράλληλο προς την κατεύθυνση του ανέμου (head on), ενώ σε μερικές περιπτώσεις έχουμε ανεμογεννήτριες των οποίων ο άξονας είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης και κάθετος προς την κατεύθυνση του ανέμου.

Οι ανεμογεννήτριες **κατακόρυφου άξονα** εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα της αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, δεδομένου ότι ο άξονάς τους είναι κάθετος σε αυτή, καθώς και στην επιφάνεια της γης. Επίσης, έχουν επινοηθεί και άλλοι τύποι ανεμοκινητήρων, όπως για παράδειγμα οι ανεμογεννήτριες τύπου μεταφοράς, αποτελούμενες από οχήματα που κινούνται σε μια καθορισμένη διαδρομή και είναι συνδεδεμένα με ηλεκτρογεννήτριες.



Σχήμα 3.4.1: Βασικοί Τύποι ανεμογεννητριών.

Οι υφιστάμενες αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης σε ταχύστροφες και σε αργόστροφες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους ή ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου περιστροφής «λ». Η ταχύτητα περιστροφής μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται εκτός από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής,

δεδομένου ότι πρέπει να ληφθούν υπόψιν λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγόκεντρες δυνάμεις κ.λ.π..

Μια παράμετρος που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των ανεμοκινητήρων είναι η παράμετρος στιβαρότητας «σ» της κατασκευής η οποία δίνει το λόγο του εμβαδού όλων των πτερυγίων προς το εμβαδόν της επιφάνειας που διαγράφουν τα πτερύγια κατά την περιστροφή τους.

Για μηχανές οριζόντιου άξονα ορίζεται σαν:

$$\sigma = \frac{z \cdot c \cdot R}{\pi \cdot R^2}$$

ενώ για μηχανές κατακόρυφου άξονα ορίζεται σαν:

$$\sigma = \frac{z \cdot c}{R}$$

όπου:

z ο αριθμός των πτερυγίων της πτερωτής

ρ η ακτίνα της πτερωτής και

c η χορδή (πλάτος) των πτερυγίων της πτερωτής.

Κατά κανόνα οι ανεμογεννήτριες μεγάλης στιβαρότητας είναι μηχανές «αργόστροφες», αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε χαμηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής «λ», έχουν σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης, ενώ είναι ανθεκτικές με ελάχιστες ανάγκες συντήρησης. Αντίθετα, οι ανεμογεννήτριες μικρής στιβαρότητας είναι μηχανές «πολύστροφες», αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου «λ», διαθέτουν σχετικά μεγάλο βαθμό απόδοσης, είναι πλέον ευπαθείς από τις μηχανές μεγάλης στιβαρότητας και χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρές δυνάμεις στα πτερύγια και περιορισμένη ροπή στον άξονά τους.

3.4.1 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

Όπως προαναφέρθηκε, οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλο και με τη διεύθυνση του ανέμου, αν και κάποτε η διεύθυνσή τους είναι κάθετη προς την διεύθυνση του ανέμου. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα μπορούν να έχουν ένα, δυο, τρία ή ακόμα και πενήντα πτερύγια ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη, δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη, δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου.

Ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συγκαταλέγονται οι κλασικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι, καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων «αμερικανικού τύπου», οι οποίες λόγω των περιορισμένων διαστάσεών τους και της χαμηλής περιφερειακής τους ταχύτητας έχουν εγκαταλειφθεί σήμερα.

Στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζόντιου άξονα περιλαμβάνονται και οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα και οι οποίες ονομάζονται ανεμογεννήτριες τύπου «έλικας». Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγιά τους, που είναι συνήθως ένα έως τρία, βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων αλλά και σ' αυτή της έλικας των ελικοπτέρων.

Τέλος, έχουν επινοηθεί και προταθεί κατά καιρούς διάφορες μηχανές τύπου «crosswind», οι οποίες όμως δεν είναι περισσότερο αποτελεσματικές σε σύγκριση με τους άλλους τύπους. Αντίθετα, οι συγκεκριμένοι ανεμοκινητήρες παρουσιάζουν μειονεκτήματα, όσον αφορά τη συλλογή της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και τη ρύθμιση της διεύθυνσης θέσης της πτερωτής σε περιπτώσεις έντονων μεταβολών της διεύθυνσης του ανέμου.

Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η βιομηχανία κατασκευής ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα και κυρίως οι μηχανές τύπου έλικα είναι:

- Ο βέλτιστος σχεδιασμός του δρομέα, με σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών λειτουργίας της μηχανής.
- Η συμπεριφορά του δρομέα σε ειδικές καταστάσεις, όπως η εκκίνηση, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση, καθώς και άλλα δυναμικά φαινόμενα.
- Η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων και οι αντίστοιχοι αυτοματισμοί, που σχετίζονται με την έναρξη και την παύση λειτουργίας του ανεμοκινητήρα.
- Προσανεμισμός του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου, ο οποίος επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση καθοδηγητικού πτερυγίου, είτε με κατάλληλα αισθητήρια που καταγράφουν τη στιγμιαία διεύθυνση του ανέμου και προσανατολίζουν ηλεκτρονικά με τη χρήση σερβομηχανισμού την πτερωτή στη διεύθυνση του ανέμου.
- Προβλήματα αντοχής των υλικών που αφορούν την κατασκευή και την έδραση των πτερυγίων.
- Καθορισμός του ύψους του δρομέα επάνω από το έδαφος.
- Κατασκευή του πύργου στήριξης και θεμελίωσή του. Ο πύργος στήριξης πρέπει να συνδυάζει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα με τη σταθερότητα και την αντοχή σε χρονικά μεταβαλλόμενες καταπονήσεις.
- Μελέτη του πεδίου ροής πίσω από την πτερωτή και η επίδραση του ομόρου στο περιβάλλον καθώς και σε πιθανές επόμενες ανεμογεννήτριες.

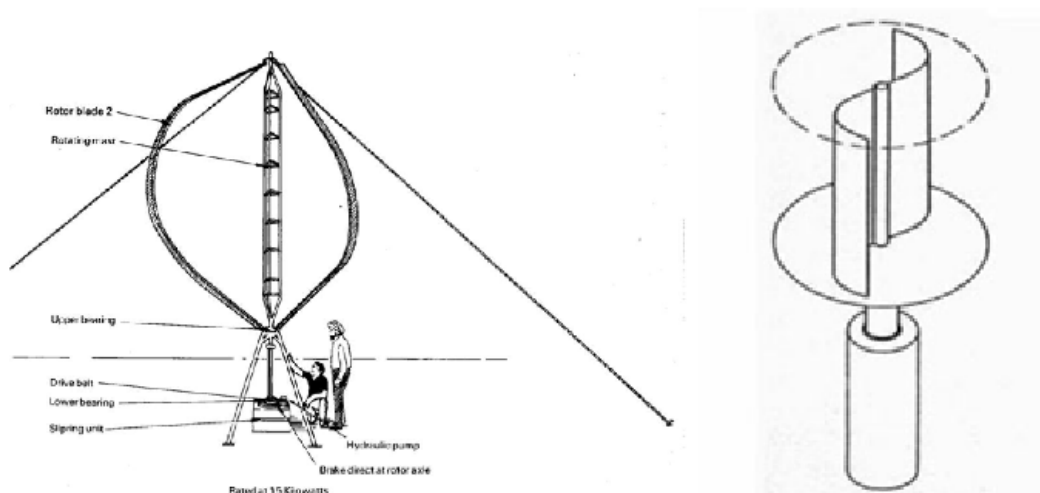
3.4.2 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Αυτός ο τύπος φέρει πτερύγια που στηρίζονται και στρέφονται σε κατακόρυφο σταθερό άξονα. Τα πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα είναι τα εξής:

- Η κατακόρυφη συμμετρία συνεπάγεται απουσία ανάγκης προσανατολισμού του δρομέα προς τον άνεμο.
- Το μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα στο έδαφος όπου είναι τοποθετημένο το σύστημα μετατροπής σε άλλη μορφή ενέργειας.
- Απλή κατασκευή του πλαισίου στήριξης και γενικότερα απλούστερη κατασκευή.

Το μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι δεν μπορεί να περιστρέφεται μόνος του (αντίθετα με ότι συμβαίνει με τον κινητήρα οριζοντίου άξονα) και, για να αρχίσει να γυρίζει, πρέπει να υποστηρίζεται από κατάλληλο ηλεκτρικό κινητήρα. Αυτός ο τύπος έχει να επιδείξει μηχανές περισσότερο ερευνητικού ενδιαφέροντος παρά εμπορικού ανταγωνισμού.

Οι πλέον γνωστοί τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα είναι οι μηχανές τύπου «Darrieus» και οι μηχανές τύπου «Savonius»



Σχήμα 3.4.3: Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα τύπου α) Darrieus, β) Savonius

Συνοπτικά, οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα κάθετο τόσο στη διεύθυνση του ανέμου όσο και στο έδαφος. Οι αιολικές μηχανές του τύπου αυτού έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση, ανεξαρτησία ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής και σχετικά απλά συστήματα ελέγχου.

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης δε παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφορές σε σύγκριση με το αντίστοιχο σύστημα των μηχανών οριζόντιου άξονα, εκτός βέβαια από το γεγονός ότι τα εξαρτήματα είναι τοποθετημένα κατακορύφως. Ο δρομέας στηρίζεται σε κατάλληλο έδρανο στη βάση του, το οποίο ακόμα και σε σταθερή ταχύτητα ανέμου καταπονείται από εναλλασσόμενα φορτία.

Οι ανεμογεννήτριες τύπου «Darrieus» έχουν ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες εκκίνησης και για μεγάλα συστήματα χρησιμοποιείται βοηθητικός κινητήρας για την εκκίνηση. Επιπλέον, οι μηχανές του τύπου αυτού παρέχουν τελικά χαμηλότερο μέσο ετήσιο συντελεστή ισχύος. Συνοπτικά, είναι αποδεκτό ότι οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα τύπου «Darrieus» θεωρούνται συγκρίσιμες σε οικονομικοτεχνική ελκυστικότητα με τις πλέον σύγχρονες ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

Αντίστοιχα, οι ανεμογεννήτριες τύπου «Savonius» παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή ισχύος, μικρή ακραία περιφερειακή ταχύτητα, περιορισμένο μέγεθος, αλλά και εξαιρετική απλότητα και οικονομικότητα κατασκευής. Η απλότητα κατασκευής σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν απαιτείται σύστημα προσανατολισμού ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, αποτελούν σημαντικά κίνητρα για τη μελέτη και βελτιστοποίηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών παρόμοιων μηχανών.

Και οι δύο προαναφερόμενοι τύποι, εκτός από τον πύργο, το δρομέα, τα πτερύγια και τη γεννήτρια διαθέτουν και τις ακόλουθες μονάδες:

- i. Ρυθμιστή τάσης, με τον οποίο επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση σε συγκεκριμένα όρια της παραγόμενης τάσης.
- ii. Συσσωρευτές (μπαταρίες) για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση που οι γεννήτριες υποστηρίζουν αυτόνομα τα φορτία και δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο.
- iii. Μετατροπέα DC-AC, για ανεμογεννήτρια που παράγει συνεχή τάση. Είναι ηλεκτρονική διάταξη, που μετατρέπει τη συνεχή τάση που παράγει η ανεμογεννήτρια σε

εναλλασσόμενη. Η εναλλασσόμενη τάση κατόπιν οδηγείται σε μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης, για να αποκτήσει εκείνη την τιμή, που θα της επιτρέψει να συνδεθεί με το δίκτυο της ΔΕΗ. Τέλος η παραγόμενη από την ανεμογεννήτρια ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με καλώδια (γραμμή μεταφοράς).

iv. Μετατροπέα AC-DC, για ανεμογεννήτρια που παράγουν εναλλασσόμενη τάση και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πρόκειται να αποταμιευθεί σε συσσωρευτές.

3.4.3 Σύγκριση ανεμογεννητριών οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα είναι κατασκευαστικά απλούστερες από αυτές του οριζοντίου άξονα γιατί:

- Δεν απαιτούν περύγιο ή σύστημα αυτοματισμού για τον προσανατολισμό του δρομέα στη διεύθυνση πνοής του ανέμου.

- Το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας του δρομέα σε άλλη μορφή ενέργειας βρίσκεται στο έδαφος, στη βάση της ανεμογεννήτριας.

Συνεπώς τα έξοδα αυτοματισμού, συντήρησης ή επισκευών είναι σαφώς μικρότερα σε σύγκριση με την ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα.

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα μειονεκτούν σε σύγκριση με αυτές του οριζόντιου άξονα στα εξής:

- Το κάτω μέρος του δρομέα είναι πολύ κοντά στο έδαφος (λειτουργία με χαμηλές ταχύτητες ανέμου).

- Μέτρια συνολική απόδοση.

- Ο δρομέας δεν αναπτύσσει ροπή εκκίνησης.

- Σχετικά μεγάλη επιφάνεια λόγω των καλωδίων στήριξης.

- Δυσκολία μηχανικής συντήρησης (π.χ. αλλαγή των εδράνων στήριξης απαιτεί διάλυση όλης της μηχανής).

- Μεγάλες ταλαντώσεις της αεροδυναμικής ισχύος.

3.5 Συστήματα ανεμογεννητριών (Α/Γ)

Η αιολική ενέργεια έχει το πλεονέκτημα ότι ο άνεμος είναι άφθονος, δεν μολύνει το περιβάλλον, δεν έχει κόστος. Όμως έχει ένα μεγάλο μειονέκτημα, είναι μεταβλητός. Για αυτό το λόγο έχουν σχεδιαστεί και κατασκευαστεί διάφορα συστήματα ελέγχου, τα οποία μπορούν και προσαρμόζουν τη λειτουργία του συστήματος ανάλογα με τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες (ανάλογα με την κατεύθυνση του ανέμου, με την ταχύτητά του κ.ο.κ). Σήμερα, η πρόοδος στην τεχνολογία των ηλεκτρονικών ισχύος, μας έχει προσφέρει τη δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε διαφορετικές τοπολογίες ελέγχου ισχύος των ανεμογεννητριών.

Οι δυο κυριότερες κατηγορίες συστημάτων είναι οι εξής:

i. Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας (fixed speed wind turbines).

ii. Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας (variable speed wind turbines).

Οι ανεμογεννήτριες περιέχουν έναν από τους 2 τύπους γεννητριών:

- Τις σύγχρονες που διακρίνονται σε γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα και γεννήτριες μονίμων μαγνητών

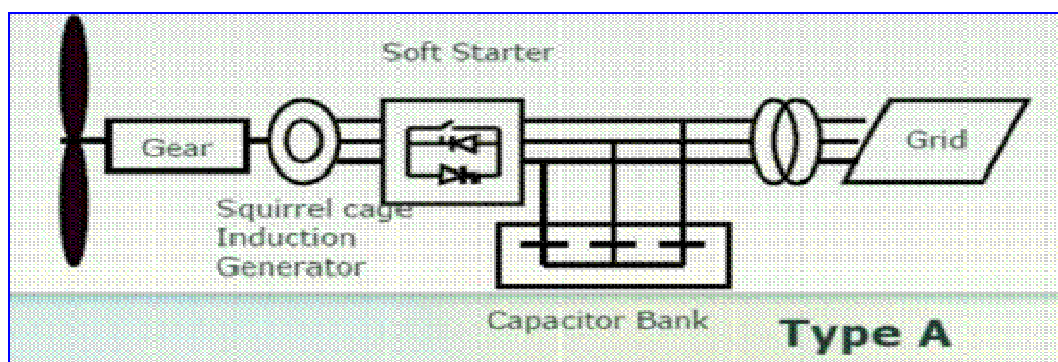
- Τις ασύγχρονες (επαγωγικές) , με δύο τύπους, αυτή με βραχυκυκλωμένο κλωβό και αυτή με δακτυλιοφόρο δρομέα

ΤΥΠΟΣ Α

Τύπου Α είναι οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας με επαγωγική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού, συνδεδεμένες κατευθείαν στο δίκτυο μέσω μετασχηματιστή. Επειδή ως γνωστόν οι επαγωγικές γεννήτριες απαιτούν άεργη ισχύ για την μαγνητισή τους, συνδέονται στους ακροδέκτες τους συστοιχίες πυκνωτών για αντιστάθμιση. Επίσης, η σύνδεση με το δίκτυο μπορεί να πραγματοποιηθεί ομαλά μέσω ενός soft-starter.

Λόγω της σταθερής ταχύτητας, οι διακυμάνσεις του ανέμου οδηγούν σε μηχανικές καταπονήσεις (διακυμάνσεις στη ροπή) που με την σειρά τους οδηγούν σε διακυμάνσεις τις παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Στην περίπτωση ασθενούς δικτύου, αυτό μπορεί να οδηγήσει σε διακυμάνσεις της τάσης του σημείου κοινής σύνδεσης (PCC).

Τα μειονεκτήματα της λοιπόν είναι ότι δεν υποστηρίζει έλεγχο ταχύτητας για βελτιστοποίηση της παραγόμενης από τον άνεμο ενέργειας, απαιτεί ισχυρό δίκτυο για να μην δημιουργεί έντονες διακυμάνσεις τάσης και πρέπει η κατασκευή της να αντέχει σε μεγάλες μηχανικές καταπονήσεις. Σημαντικό πλεονέκτημά της ωστόσο το χαμηλό κόστος.

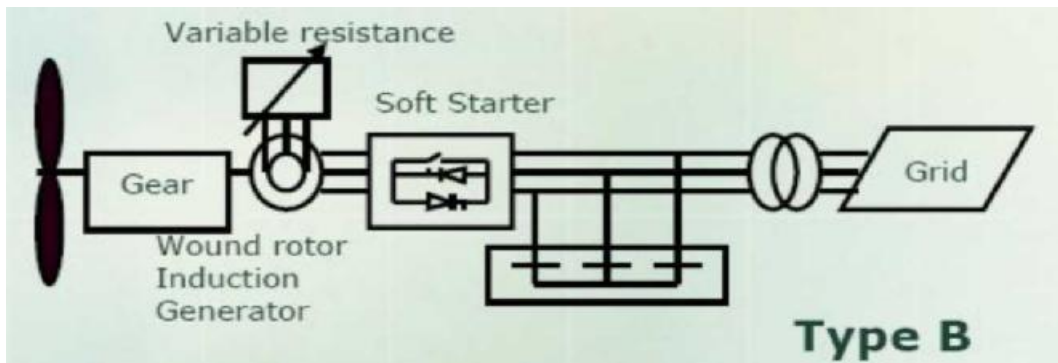


Σχήμα 3.5.1 Ανεμογεννήτρια τύπου Α

ΤΥΠΟΣ Β

Στον τύπο αυτό ανήκουν ανεμογεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα με περιορισμένη δυνατότητα ελέγχου της ταχύτητας μέσω της χρήσης εξωτερικών αντιστάσεων στο δρομέα. Έτσι η συνολική αντίσταση του δρομέα είναι μεταβαλλόμενη και η μεταβολή της ταχύτητας δεν ξεπερνά το 10%.

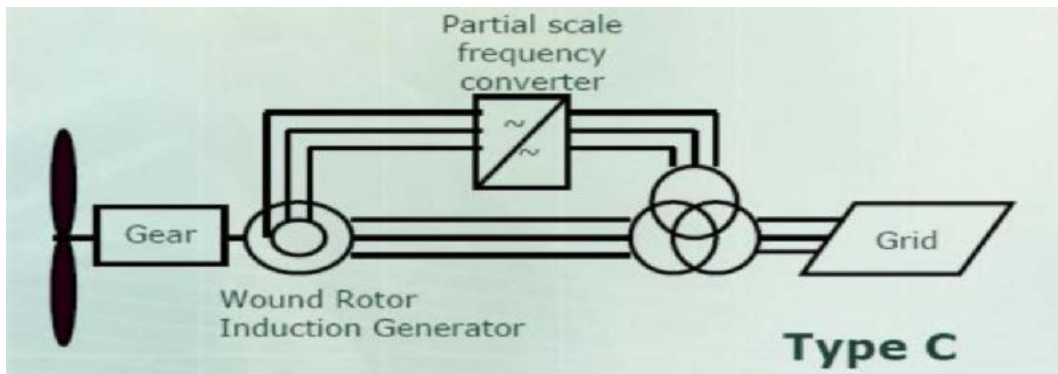
Ο τύπος αυτός χρησιμοποιούνταν κυρίως μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 90. Στα πλεονεκτήματα της συγκαταλέγονται η μερική έστω βελτίωση της εκμεταλλευόμενης ενέργειας και η ρύθμιση της ισχύς στην έξοδο. Μειονεκτήματά της ωστόσο, το μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με τις τύπου Α μηχανές και η συντήρηση που απαιτεί το σύστημα των ψηκτρών- δακτυλιδιών του δρομέα.



Σχήμα 3.5.2 Ανεμογεννήτρια τύπου B

ΤΥΠΟΣ C

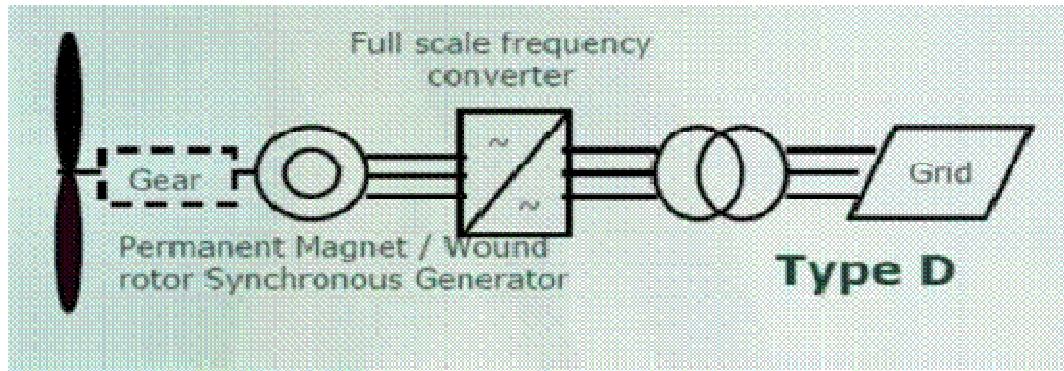
Γνωστές ως Doubly-Fed Induction generators (DFIG), περιλαμβάνουν γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα και μετατροπέα συχνότητας που τροφοδοτεί το δρομέα, διαστασιοποιημένο ωστόσο σε κλάσμα της συνολικής ισχύος της μηχανής. Μάλιστα το μέγεθος του μετατροπέα είναι ανάλογο με τη ρύθμιση ταχύτητας που επιθυμούμε. Συνήθως αυτή περιορίζεται στο $\pm 30\%$ της βασικής. Σε αυτές τις ταχύτητες το μικρό κόστος του μετατροπέα καθιστά το συγκεκριμένο τύπο αρκετά δελεαστικό. Μειονέκτημα αποτελεί η ανάγκη συντήρησης των ψηκτρών- δακτυλιδιών του δρομέα καθώς και η ανάγκη αυστηρής προστασίας των μετατροπέων σε περίπτωση σφάλματος στο δίκτυο. Περισσότερα για αυτόν τον τύπο θα δοθούν στη συνέχεια.



Σχήμα 3.5.3 Ανεμογεννήτρια τύπου C.

ΤΥΠΟΣ D

Στον τύπο αυτό περιλαμβάνονται οι ανεμογεννήτριες με έλεγχο ταχύτητας σε όλο το εύρος (από 0 έως 100% της σύγχρονης). Η σύνδεση επιτυγχάνεται μέσω ενός μετατροπέα συχνότητας μεταξύ στάτη και δικτύου. Η γεννήτρια μπορεί να είναι ασύγχρονη, σύγχρονη με τύλιγμα στο δρομέα και σύγχρονη μόνιμου μαγνήτη. Πλεονέκτημα του συγκεκριμένου τύπου είναι η μέγιστη εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου και η δυνατότητα αποφυγής χρήσης κιβωτίου ταχυτήτων. Μειονεκτεί ωστόσο εξαιτίας της απαίτησης μετατροπέα ισχύος διαστασιοποιημένο στη συνολική ισχύ της μηχανής, με αποτέλεσμα, να αυξάνει τόσο το κόστος αγοράς όσο και τις απώλειες στο μετατροπέα σε σχέση με τον τύπο C.



Σχήμα 3.5.4 Ανεμογεννήτρια τύπου D.

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται συγκεντρωμένοι οι συνδυασμοί των διαφόρων τύπων μηχανών και των διαφόρων μηχανισμών ελέγχου.

Έλεγχος Ταχύτητας	Έλεγχος Ισχύος			
		Stall	Pitch	Active Stall
Σταθερής Ταχύτητας	Τύπος A	Τύπος A1	Τύπος A2	Τύπος A3
Μεταβλητής Ταχύτητας	Τύπος B Τύπος C Τύπος D	Τύπος B1 Τύπος C1 Τύπος D1	Τύπος B2 Τύπος C2 Τύπος D2	Τύπος B3 Τύπος C3 Τύπος D3

Πίνακας 1 Συνδυασμοί Τύπων Μηχανών και Στρατηγικών Ελέγχου Ισχύος (1:passive stall control, 2:pitch control, 3:active stall control).

3.6. Βασικά δομικά στοιχεία ανεμογεννητριών

Σήμερα οι πλέον ανεπτυγμένες γεννήτριες είναι οι οριζοντίου άξονα (με δυο ή τρία περύγια) με τις οποίες και θα ασχοληθούμε στο αιολικό πάρκο που αναλύουμε.



Εικόνα 3.6.1 Α/Γ με τρία και δυο πτερύγια.

Μία ανεμογεννήτρια περιλαμβάνει συνήθως τα ακόλουθα μέρη:

Δρομέας: Τα πτερύγια του δρομέα σχεδιάζονται στην περιστροφή στον αέρα, που οδηγεί τη γεννήτρια στροβίλων. Μερικές φορές χρησιμοποιείται σύστημα γραναζιών για να αυξηθεί η συχνότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Γεννήτρια: Ο μηχανισμός αυτός παράγει την ηλεκτρική ενέργεια όταν υπάρχει ικανοποιητικός αέρας για να περιστρέψει τα πτερύγια. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στο επόμενο στάδιο (είτε για αποθήκευση, είτε στο σύστημα διανομής, είτε για άμεση χρήση) χρησιμοποιώντας καλωδίωση.

Κατευθυντήριο σύστημα: Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα απαιτούν έναν μηχανισμό που να τις τοποθετεί προς την κατεύθυνση του αέρα. Οι μικρές ανεμογεννήτριες έχουν συνήθως μια ουρά που τις περιστρέφει προς την σωστή κατεύθυνση. Οι μεγάλες μηχανές έχουν συνήθως έναν "σέρβο μηχανισμό" που τις προσανατολίζει στην κατεύθυνση της μέγιστης αιολικής δύναμης.

Σύστημα προστασίας: Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι συνήθως εξοπλισμένες με μηχανισμούς για να αποτρέψουν κάποια ζημιά στους υπερβολικά υψηλούς ανέμους. Οι μεγάλες μηχανές μπορούν και έχουν σύνθετες ρυθμίσεις για να διακόψουν την παραγωγή με τις ταχύτητες υψηλού αέρα. Τα μικρότερα συστήματα αλλάζουν τον προσανατολισμό των λεπίδων έτσι ώστε να παρουσιάζουν μια μικρότερη επιφάνεια στον αέρα και με αυτόν τον τρόπο μειώνουν την ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων τους, ή χρησιμοποιούν μηχανικά φρένα.

Πύργος: Ο πύργος υψώνει την ανεμογεννήτρια αρκετά παραπάνω από τη δίνη του αέρα κοντά στο έδαφος και συλλαμβάνει τον αέρα ψιλότερα σε μεγαλύτερες ταχύτητες. Ο σχεδιασμός των πύργων είναι ιδιαίτερα κρίσιμος, καθώς πρέπει να είναι ψιλός, γερός, να επιτρέπει την πρόσβαση στην ανεμογεννήτρια για τη συντήρησή της, και όμως να μην επιβαρύνει το κόστος του συστήματος. Στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα στην άτρακτο υπάρχει και το σύστημα προσανατολισμού τους, ανάλογα με τη διεύθυνση του ανέμου.

3.7 Αεροδυναμικός έλεγχος ισχύος A/Γ

Αναλόγως τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η ρύθμιση της ισχύος από τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, διακρίνουμε τρεις βασικές στρατηγικές ελέγχου.

i. Παθητική απώλεια στήριξης (Passive stall control)

Απλό, εύρωστο και φτηνό σύστημα που προσφέρει περιορισμό της παραγόμενης ισχύς στις μεγάλες ταχύτητες μέσω της αεροδυναμικής του πτερυγίου. Η γωνία κλίσης των πτερυγίων είναι σταθερή και επιλέγεται τέτοια τιμή ώστε η τουρμπίνα να φτάνει την ονομαστική ισχύ στην επιθυμητή ταχύτητα. Ωστόσο, δεν δίνει μεγάλη ευελιξία ρύθμισης κατά την διαδικασία της εκκίνησης.

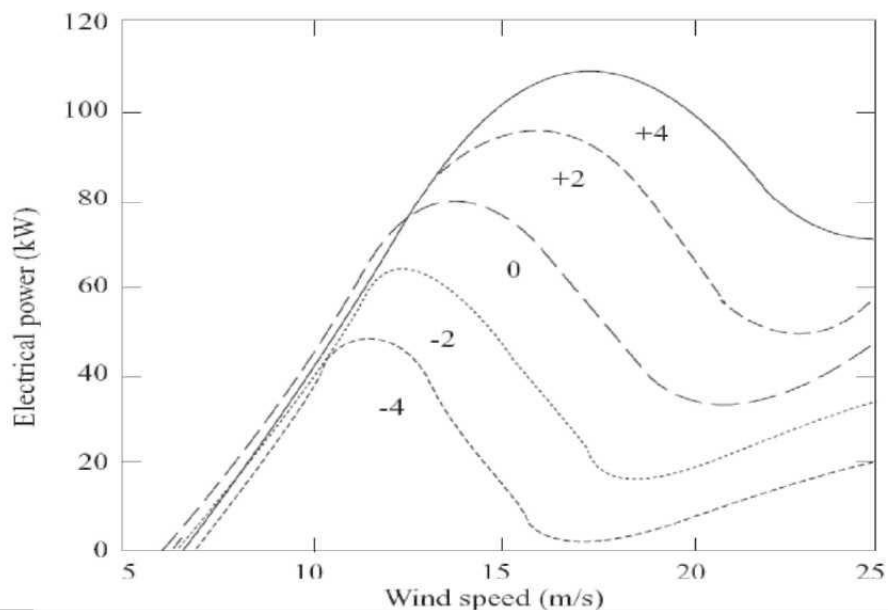
ii. Έλεγχος βήματος πτερυγίου (Pitch control)

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει συνεχή έλεγχο των πτερυγίων, προσφέροντας έτσι αναβαθμισμένο έλεγχο ισχύος, εύκολες εκκινήσεις καθώς και άμεσο αεροδυναμικό φρενάρισμα σε περίπτωση κινδύνου. Μέρος ή ολόκληρο το πτερύγιο περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του, μεταβάλλοντας έτσι τη γωνία πρόσπτωσης άρα και την παραγόμενη άντωση. Ο τύπος αυτός ελέγχου χρησιμοποιείται κατά κόρον από τις ανεμογεννήτριες τελευταίας γενιάς. Το μειονέκτημα του ωστόσο, πέρα από το μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με το stall έλεγχο, είναι οι μεγάλες διακυμάνσεις στην ισχύ για μικρές διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου σε μεγάλες ταχύτητες. Ο μηχανισμός δεν είναι τόσο γρήγορος ώστε να αποφύγει τελείως διακυμάνσεις στην ισχύ. Έτσι, ναί μεν ο μηχανισμός είναι ικανός να απορροφά αργές μεταβολές του ανέμου, ωστόσο αυτό δεν καθιστά εφικτό το να εξαλειφθούν οι ρίπες.

iii. Ενεργός έλεγχος απώλειας στήριξης (Active stall control)

Το σύστημα αυτό έχει γίνει αρκετά αποδεκτό τελευταία σε μεγάλους αεροκινητήρες σταθερής ταχύτητας γιατί συνδυάζει τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος stall, παρέχοντας παράλληλα και μια ευελιξία για ταχύ αεροδυναμικό φρενάρισμα σε περίπτωση κινδύνου όπως και εύκολες εκκινήσεις. Τα πτερύγια στρέφονται προς την αντίθετη κατεύθυνση από ότι στον έλεγχο βήματος πτερυγίου (σε ένα μικρό εύρος 0-4 μοίρες, περίπου).

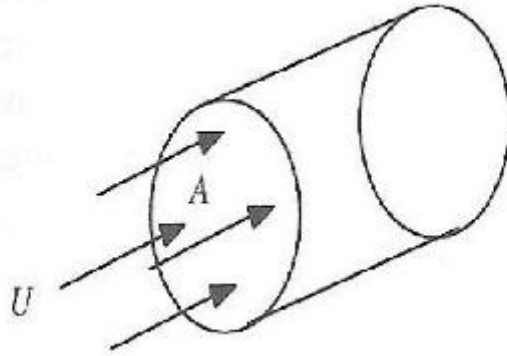
Από τους τρεις τύπους ελέγχου, αυτός που χρησιμοποιείται κατά κόρον από τις ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών είναι ο μηχανισμός με συνεχή έλεγχο της γωνίας των πτερυγίων. Επιδιώκεται ο σχεδιασμός όσο το δυνατό γρηγορότερου συστήματος ενώ η ευελιξία και τα οφέλη που παρέχονται από την αποτελεσματικότερη ρύθμιση ισχύος είναι ικανά να αντισταθμίσουν το μεγαλύτερο κόστος του συγκεκριμένου μηχανισμού σε σχέση με τους άλλους δύο.



Σχήμα 3.7.1: Επίδραση της ρύθμισης της γωνίας μεταβολής της κλίσης των πτερυγίων στην εξαγόμενη ισχύ.

3.8 Αεροδυναμική μετατροπή

Όπως είναι φανερό από το σχήμα που ακολουθεί μπορεί κανείς να καθορίσει τη μαζική ροή του αέρα (dm/dt) μέσα από την επιφάνεια (A) του ρότορα, σύμφωνα με την εξίσωση της μηχανικής: $dm/dt = \rho x A x U$



Σχήμα 3.8.2: Η επιφάνεια πρόσπτωσης του αέρα.

Η κινητική ενέργεια του ανέμου, καθώς και η ενέργεια του ανέμου ανά μονάδα επιφάνειας δίνονται αντιστοίχως από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \times \frac{dm}{dt} \times U^2$$

$$\frac{P_{Wind}}{A} = \frac{1}{2} \times \rho \times U^3$$

Η ισχύς σε Watts ενός ρεύμα ανέμου που διέρχεται από μια περιοχή μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη εξίσωση:

$$P_{Wind} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times u_{Wind}^3$$

Όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3 και το u_{wind} είναι η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου σε m/s . Το ποσό της ενέργειας που μεταφέρεται είναι απευθείας ανάλογο της πυκνότητας του αέρα, της επιφάνειας που σαρώνει ο ρότορας και του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Η ροή μάζας του αέρα που διέρχεται από την επιφάνεια που σαρώνει η ανεμογεννήτρια μεταβάλλεται με την ταχύτητα και την πυκνότητα του αέρα. Η πυκνότητα του αέρα μεταβάλλεται ανάλογα με την τοποθεσία και το χρόνο και είναι περίπου 1.26 kg/m^3 σε θερμοκρασία 20°C σε μια τυπική ατμόσφαιρα.

Η κινητική ενέργεια μιας δεδομένης μάζας μεταβάλλεται με το τετράγωνο της ταχύτητάς της. Επειδή η ροή του αέρα αυξάνεται γραμμικά με την ταχύτητα του ανέμου η διαθέσιμη αιολική ισχύς σε μια ανεμογεννήτρια αυξάνεται με τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου. Για τις ανεμογεννήτριες η περιοχή σάρωσης A ισούται με $\pi \cdot (D/2)^2 \text{ m}^2$ όπου D είναι η διάμετρος του ρότορα σε μέτρα. Ως εκ τούτου είναι προφανές ότι η αιολική ενέργεια διαφέρει ανάλογα με το τετράγωνο της διαμέτρου της ανεμογεννήτριας και με τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου. Καθώς η ανεμογεννήτρια απορροφά ενέργεια από τον άνεμο αυτός επιβραδύνεται γεγονός που τον αναγκάζει να διαχέεται, και να αποκλίνει τριγύρω από την ανεμογεννήτρια σε κάποιο βαθμό. Ο Γερμανός φυσικός Albert Betz προσδιόρισε ότι μια ανεμογεννήτρια μπορεί να απορροφήσει το πολύ το 59% της ενέργειας που σε άλλη περίπτωση θα διερχόταν από τη διατομή της.

3.9 Στροβιλισμός και αναταράξεις του αέρα

Η διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου, γύρω από μια μέση ταχύτητα, είναι χαρακτηριστικό φαινόμενο της τυρβώδους ροής. Μέτρο της διακύμανσης της ταχύτητας του ανέμου αποτελεί η διασπορά της ταχύτητας του ανέμου σ_v^2 , η οποία ορίζεται ως:

$$\sigma_v^2 = 1/T \int (V(t') - V)^2 dt$$

με τυπική χρονική περίοδο μέτρησης $T=10$ min.

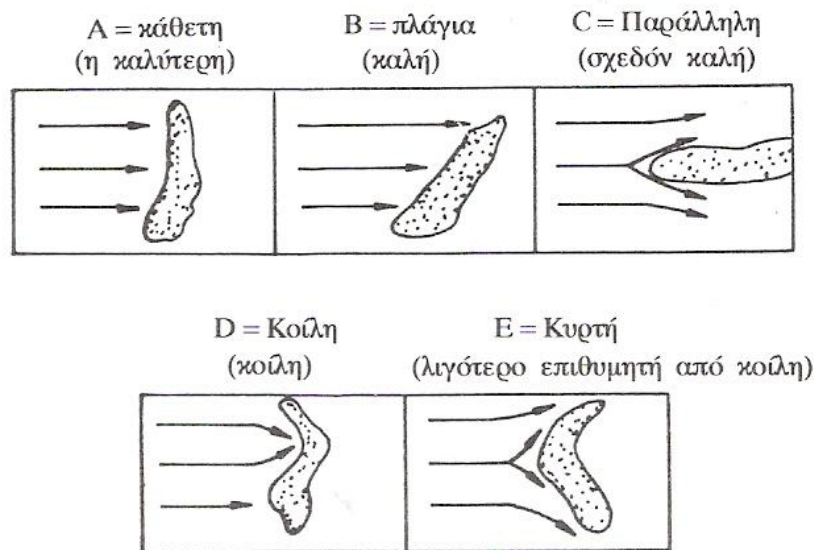
Ένταση της ανατάραξης I ονομάζουμε το λόγο της διασποράς προς τη μέση ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος αυτό χαρακτηρίζεται και σαν ένταση της τύρβης του ανέμου, χαρακτηρίζει δε και το επίπεδο της τύρβης της ατμόσφαιρας σε μια περιοχή:

$$I = \sigma_v / V$$

Η ένταση της ανατάραξης είναι ανάλογη της τραχύτητας του εδάφους και αντιστρόφως ανάλογη του ύψους μελέτης από το έδαφος. Χρησιμοποιώντας το αντιπροσωπευτικό μήκος Z_0 της μέσης τοπικής τραχύτητας, η ένταση της ανατάραξης προσεγγίζεται ικανοποιητικά από τις παρακάτω εξισώσεις:

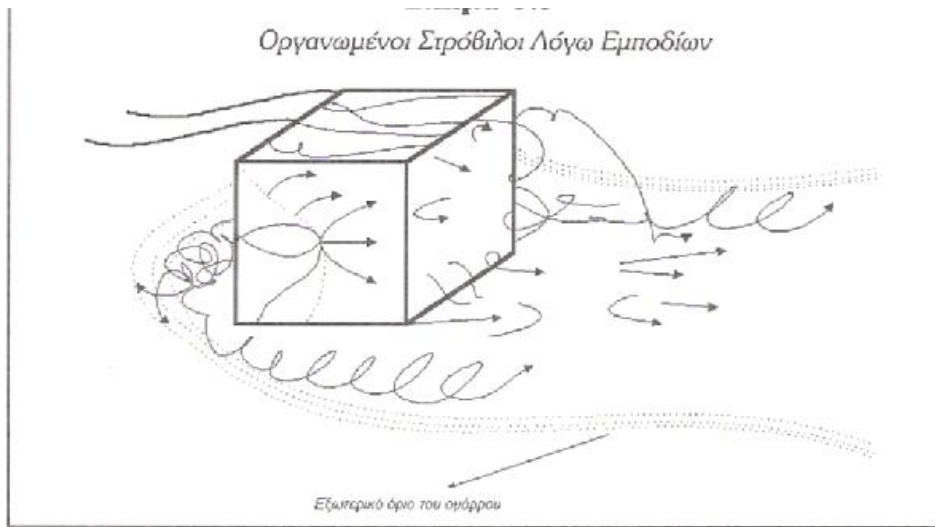
$$L = 1 / \ln (Z/Z_0), \text{ για } Z_0 = 0.20 \text{ m}$$

$$L = (0.78 - 0.14 \cdot \ln z_0) / \ln (z/z_0), \text{ για } Z_0 > 0.20 \text{ m}$$



Σχήμα 3.9.1 Αξιολόγηση διεύθυνσης λοφοσειράς.

Η ένταση της ανατάραξης ή το επίπεδο τύρβης του αέρα επηρεάζει σημαντικά τόσο την αεροδυναμική συμπεριφορά της Α/Γ, όσο και τα χαρακτηριστικά όλης της εγκατάστασης. Οι αναταράξεις του ανέμου είναι το αποτέλεσμα των τυχαίων στροβιλισμών που υπάρχουν σε κάθε τυρβώδες πεδίο ροής, ενισχύονται δε από την τραχύτητα της επιφάνειας του εδάφους. Η παρουσία εμποδίων, ακόμη, κάτω από ορισμένες ανεμολογικές συνθήκες είναι δυνατόν να δημιουργήσουν οργανωμένους στροβίλους, οι οποίοι αλλοιώνουν συνολικά το πεδίο ταχύτητας του ανέμου. Ο στροβιλισμός, των οργανωμένων στροβίλων, επηρεάζει τόσο την παραγόμενη ισχύ μιας Α/Γ, όσο και τη δυναμική συμπεριφορά των κατασκευαστικών στοιχείων μια εγκατάστασης.



Σχήμα 3.9.2. Οργανωμένοι στρόβιλοι

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΕ ΜΙΑ ΤΟΠΙΚΗ ΚΟΙΝΩΝΙΑ

4.1 Εισαγωγικά.

Ο υπολογισμός των αιολικών χαρακτηριστικών των υποψηφίων θέσεων προς μελέτη αποσκοπεί στην επιλογή των θέσεων εκείνων οι οποίες πληρούν τα απαραίτητα κριτήρια για την εγκατάσταση με επιτυχία είτε μεμονωμένων ανεμογεννητριών, είτε αιολικών πάρκων. Σε γενικές γραμμές η επιλογή θέσης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα με την επιλογή θέσης εγκατάστασης οποιουδήποτε συστήματος παραγωγής ενέργειας. Διαφέρει όμως σ' ένα βασικό σημείο: είναι αδύνατο να προσδιοριστεί η καθαρή παραγωγή ενέργειας η το κατά προσέγγιση κόστος αυτής, αν δεν είναι γνωστή η ακριβής θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας. Η συμπεριφορά του ανέμου σε μια θέση, είναι αυτή που καθορίζει και τη λειτουργική συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας. Έτσι, η οικονομική βιωσιμότητα μιας συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας, σ' ένα συγκεκριμένο τόπο δεν μπορεί να προβλεφθεί χωρίς την γνώση της συμπεριφοράς του ανέμου στη θέση αυτή. Επομένως, η ένταση του ανέμου και οι διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση είναι οι βασικές παράμετροι για την επιλογή της θέσης της ανεμογεννήτριας όχι όμως και οι μοναδικές. Ανεμογεννήτριες τοποθετημένες σε βιώσιμες θέσεις πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Η παραγωγή ενέργειας να είναι συμφέρουσα οικονομικά (το κόστος της παραγόμενης KWh να είναι μικρό)
- Η εγκατάσταση να μην έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας να είναι συμβατή με τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου.
- Να έχουν ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό της ανεμογεννήτριας οι πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες της συγκεκριμένης θέσης (παγετοί, εξαιρετικά ισχυροί άνεμοι κλπ.).
- Η επιλεγμένη θέση να είναι αποδεκτή από το κοινό.

Η διαδικασία επιλογής θέσης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας μπορεί να χαρακτηριστεί επιτυχής, όταν είναι δυνατός, μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, ο προσδιορισμός περιοχής με υψηλό αιολικό δυναμικό. Έπειτα, αφού γίνει προσεκτικός έλεγχος της περιοχής αυτής, επιλέγονται οι θέσεις που ικανοποιούν τις υπόλοιπες παραμέτρους που απαριθμήθηκαν προηγουμένως.

Ένας πρωταρχικός παράγοντας που σχετίζεται με την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης είναι το μέγεθος και οι περιοδικές διακυμάνσεις της έντασης του ανέμου. Η συμπεριφορά όμως του ανέμου κοντά στην επιφάνεια της γης είναι περίπλοκη και η ταχύτητα του μπορεί να μεταβληθεί απότομα, τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο επίπεδο. Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για να ανάγουμε υπάρχοντα δεδομένα, σε θέσεις που μας ενδιαφέρουν δεν είναι ακριβείς. Έτσι, δεν μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα δίκτυο μετρήσεων ταχυτήτων του ανέμου που να μπορεί να μας δώσει το αιολικό δυναμικό σε κάθε θέση μιας μεγάλης περιοχής. Επίσης οι μετρήσεις χρειάζονται χρόνο και χρήματα να πραγματοποιηθούν.

Η πιο πρακτική λύση στο πρόβλημα επιλογής θέσης ανεμογεννήτριας είναι να χρησιμοποιήσουμε υπάρχουσες πληροφορίες για τον προσδιορισμό περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό, τέτοιο που να δικαιολογεί την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης. Έπειτα, μέσα στις περιοχές αυτές, επιλέγονται τοποθεσίες στις οποίες η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας είναι πρακτικώς εφικτή. Τέλος εκτελούνται μετρήσεις των ανέμων στις συγκεκριμένες πλέον θέσεις.

4.2 Παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή θέσεων.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο υπολογισμός των αιολικών χαρακτηριστικών των υποψηφίων θέσεων, είτε άμεσα μέσω επιτόπιων μετρήσεων, είτε έμμεσα και της πυκνότητας ισχύος τους, δεν δίνει τη δυνατότητα άμεσης επιλογής της βέλτιστης από το σύνολο των υποψηφίων θέσεων.

Αντιθέτως, υπάρχουν ορισμένοι άλλοι παράγοντες πέρα από την ενέργεια, οι οποίοι πρέπει να συνεκτιμηθούν στην αξιολόγηση των θέσεων με υψηλό αιολικό δυναμικό. Μάλιστα, υπάρχει η περίπτωση μια θέση με υψηλή πυκνότητα ενέργειας, να μην είναι κατάλληλη για την εγκατάσταση Α/Γ και να προτιμηθεί τελικά κάποια άλλη θέση, με μικρότερη πυκνότητα ενέργειας, η οποία να ικανοποιεί τα άλλα κριτήρια απόφασης, πέρα των αιολικών.

Η επιλογή θέσεων είναι πιο αξιόπιστη, χωρίς να αίρεται πλήρως η αβεβαιότητα λόγω της στοχαστικής φύσης του ανέμου, όταν λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες:

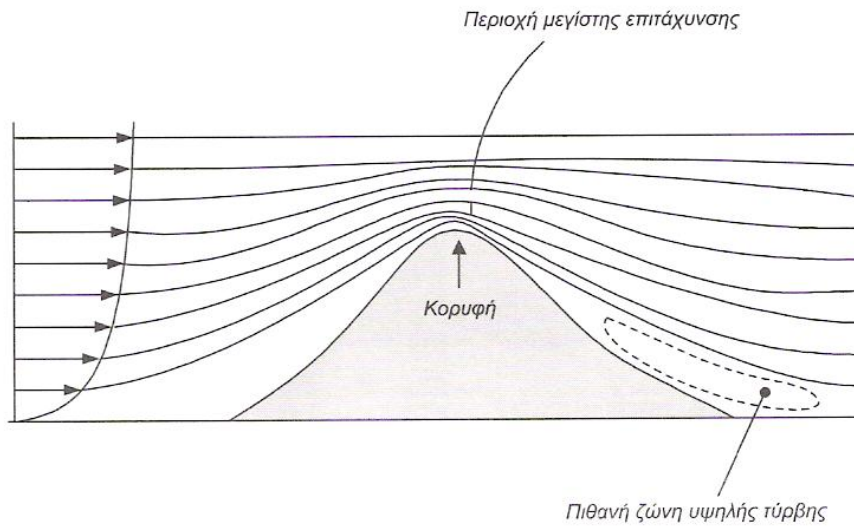
4.2.1 Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής

Η πλειονότητα των περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό χαρακτηρίζονται από έντονο ανάγλυφο. Με βάση τα παραπάνω, κρίνεται επιβεβλημένο να αναφέρουμε ορισμένα προκαταρκτικά στοιχεία:

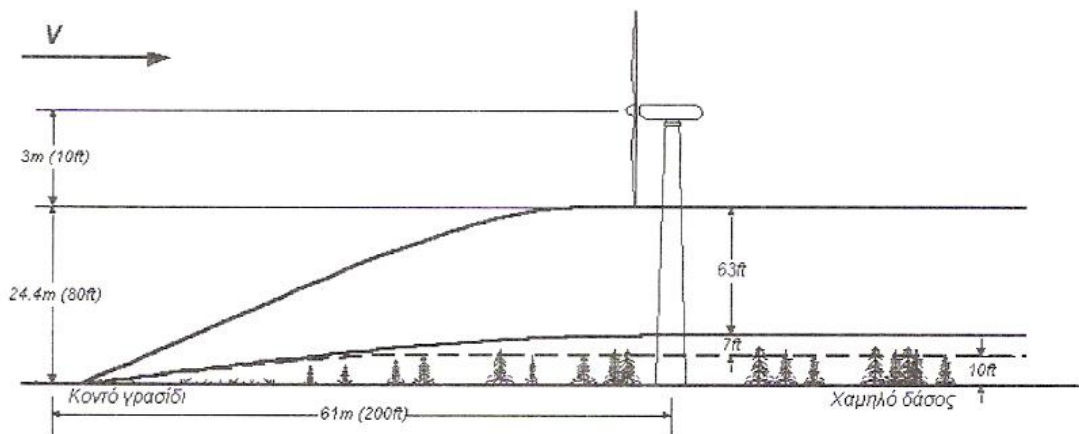
- Η έννοια της **λοφοσειράς** λαμβάνεται κάθετη στην επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου. Το μέγιστο ύψος της λοφοσειράς δεν υπερβαίνει τα εξακόσια μέτρα (600 m), ενώ το πλάτος της είναι τουλάχιστον δεκαπλάσιο του ύψους της λοφοσειράς. Ο άνεμος περνάει πάνω από τη λοφοσειρά και δεν την παρακάμπτει κινούμενος πλαγίως. Η κάθετη διάταξη, στην οποία ο άξονας του λοφοσειράς είναι κάθετος στην κύρια διεύθυνση του ανέμου, θεωρείται η καλύτερη, ενώ η κυρτή θεωρείται η λιγότερο επιθυμητή. Η κορυφή της λοφοσειράς είναι μια πολύ καλή θέση για την εγκατάσταση των Α/Γ, λόγω του ότι σε εκείνο το σημείο έχουμε συμπίεση των γραμμών ροής (εικόνα 4.2.1), η οποία ισοδυναμεί με επιτάχυνση της αέριας δέσμης. Συχνά, είναι προτιμότερο να εγκατασταθεί η Α/Γ λίγο πριν την κορυφή της λοφοσειράς, ώστε να αποφευχθούν και οι αρνητικές κλίσεις της ταχύτητας που συνοδεύουν αποκόλληση της ροής, και οι περιοχές υψηλής τύρβης.

- **Η παρουσία εμποδίων**, στενώσεων ή ανοιγμάτων, τροποποιεί σημαντικά τα αιολικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής (εικόνα 4.2.2). Αν και υπάρχουν αρκετές αναλυτικές ημιεμπειρικές σχέσεις που προτείνουν διορθώσεις της ταχύτητας του ανέμου λόγω της παρουσίας εμποδίων ή λόγω της τραχύτητας του εδάφους, ακριβείς υπολογισμοί μπορούν να γίνουν μόνο με την αριθμητική προσομοίωση της υπό εξέταση περιοχής και τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή.

Ταχύτητα-Τύρβη Ανέμου στην Κορυφή Υψώματος



Εικόνα 4.2.1 Συμπύεση γραμμών ροής στη κορυφή λοφοσειράς.



Εικόνα 4.2.2 Παράδειγμα θέσης δρομέα Α/Γ για αποφυγή επίδρασης από εμπόδια.

4.2.2 Η σταθερότητα του ανέμου.

Συχνά η πληροφορία που διαθέτουμε για τον άνεμο μίας περιοχής και η οποία περιγράφεται από τη μέση ετήσια ταχύτητα, δεν είναι ικανή να περιγράψει με ακρίβεια την συμπεριφορά του ανέμου.

Αντιθέτως υπάρχουν συχνά φαινόμενα όπως οι ριπές του ανέμου, οι οποίες προκαλούν μηχανική καταπόνηση στην Α/Γ και οδηγούν σε σημαντική απώλεια ενέργειας.

Ταυτόχρονα με την αλλαγή στην ταχύτητα, υπάρχει και το φαινόμενο της μεταβολής της διεύθυνσης του. Γενικά είναι αποδεκτό ότι το σύστημα προσανεμισμού (yawing system) μιας μηχανής είναι ικανό να παρακολουθεί τις αλλαγές αυτές. Όμως συχνά αυτό δεν είναι δυνατόν. Το αποτέλεσμα των μεταβολών στην διεύθυνση του ανέμου στην μηχανική αντοχή του συστήματος προσανεμισμού καθώς και στην παραγωγή ενέργειας από την Α/Γ έχει μάλλον υποτιμηθεί μέχρι σήμερα. Πρόσφατα, έγινε αντιληπτό ότι οι συχνές αλλαγές της διεύθυνσης αναπτύσσουν καμπτικές δυνάμεις στα πτερύγια του δρομέα και στο σύστημα προσανεμισμού της Α/Γ.

Μια βασική παρατήρηση που πρέπει να γίνει είναι ότι μια θέση με υψηλό δυναμικό αλλά με συχνές αλλαγές στη διεύθυνση του ανέμου είναι καλύτερο να αποφεύγεται. Αντίθετα, μία θέση με σταθερότητα στον άνεμο είναι πλεονεκτικότερη της προηγούμενης, ακόμα κι αν έχει μικρότερη πυκνότητα αιολικής ενέργειας.

4.2.3 Η αξιοπιστία των αιολικών δεδομένων.

Η αξιοπιστία των αιολικών δεδομένων μίας θέσης είναι άμεση συνάρτηση της χρονικής διάρκειας των μετρήσεων του ανέμου που χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό των δεδομένων αυτών.

Το παραπάνω πρόβλημα είναι αρκετά πολύπλοκο και δεν έχει κάποια συγκεκριμένη λύση. Γενικά, η αξιοπιστία των αιολικών μετρήσεων βελτιώνεται σημαντικά με την αύξηση του χρόνου καταγραφής της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου και με την μείωση της περιόδου δειγματοληψίας.

Εάν στον υπολογισμό των αιολικών δεδομένων της θέσης χρησιμοποιούνται μαθηματικά μοντέλα, θα πρέπει η θέση αναφοράς, πέρα της αξιοπιστίας των μετρήσεων της, να μην είναι ιδιαίτερα μακρινή από την υποψήφια θέση υπό μελέτη. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η απόσταση αυτή έχει άμεσα σχέση με την μορφολογία του εδάφους και την ύπαρξη ορογραφίας μεταξύ της θέσης αναφοράς και της υποψήφιας. Ακριβή πάντως όρια δεν έχουν τεθεί. Στην πράξη, οι υποψήφιες θέσεις πρέπει να βρίσκονται σε μια ακτίνα μικρότερη των 100km από τη θέση αναφοράς, τα δεδομένα αιολικού άτλαντα της οποίας χρησιμοποιούνται.

4.2.4 Τα διάφορα φυσικά και μετεωρολογικά φαινόμενα.

Συχνά στις υποψήφιες θέσεις εμφανίζονται ακραία μετεωρολογικά και φυσικά φαινόμενα τα οποία έχουν άμεση επίπτωση στην μηχανική αντοχή της ανεμογεννήτριας και στην παραγωγή ενέργειας από τον άνεμο. Ο παγετός, που είναι συχνό φαινόμενο σε περιοχές της Ελλάδας κυρίως κατά τη διάρκεια του χειμώνα, δημιουργεί μια αύξηση στα στατικά και δυναμικά φορτία της κατασκευής και κυρίως της περωτής. Ο υπολογισμός των παραπάνω φορτίων πρέπει συνεπώς να λαμβάνει υπόψη τα επιπλέον φορτία στον σχεδιασμό της Α/Γ κάτι που οδηγεί σε μια αναμφίβολη αύξηση του κόστους της εγκατάστασης. Σε περιπτώσεις παγετού, η μηχανή σταματά για καθαρισμό και η απώλεια της ενέργειας είναι ανάλογη του χρόνου συντήρησης. Μάλιστα, η απώλεια αυτή μεγιστοποιείται όταν ο άνεμος έχει υψηλή ταχύτητα, όπως συμβαίνει συχνά κατά τους χειμερινούς μήνες.

Οι ίδιες παρατηρήσεις ισχύουν και για την περίπτωση χιονοπτώσεων στις υποψήφιες θέσεις. Συνεπώς είναι καλό να αποφεύγονται περιοχές με υψηλή συχνότητα εμφάνισης των παραπάνω φαινομένων, ώστε να αποφεύγονται δυσάρεστα αποτελέσματα στην παραγωγή ενέργειας από Α/Γ.

Φυσικά φαινόμενα τα οποία δεν πρέπει να διαφεύγουν της προσοχής μας κατά την επιλογή θέσεων, είναι οι σεισμοί, οι κατολισθήσεις, οι κεραυνοί και οι πιθανές ακραίες τιμές θερμοκρασίας στις υποψήφιες θέσεις. Σα φαινόμενα αυτά έχουν άμεση επίπτωση στην μηχανική αντοχή της Α/Γ και κατά συνέπεια στο χρόνο οικονομικής ζωής της εγκατάστασης.

Ένα άλλο σημείο με ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι οι υπερβολικά ισχυροί άνεμοι σε μια περιοχή. Οι υψηλοί άνεμοι και κυρίως εκείνοι που η τιμή τους είναι πάνω από την ταχύτητα αποκοπής της Α/Γ (cut-out wind speed) έχουν άμεση συνέπεια στην παραγωγή ενέργειας. Όμως εκείνο που πρέπει να μελετάται προσεκτικά είναι το φαινόμενο των θυελλωδών ανέμων σε μια περιοχή το οποίο είναι άμεσα συνδεδεμένο με την διάρκεια ζωής της μηχανής. Πολύ ισχυροί άνεμοι είναι ικανοί να καταστρέψουν ολοκληρωτικά τα θεμέλια, τον πύργο στήριξης και την περωτή της Α/Γ. Για αυτό οι μηχανικοί οφείλουν να κάνουν ανάλυση της

επικινδυνότητας (risk analysis) των υποψηφίων θέσεων για τις πολύ υψηλές ταχύτατες ανέμους, πριν γίνει η επιλογή της θέσης εγκατάστασης Α/Γ.

Οι μηχανές που εγκαθίσταται κοντά σε θαλάσσιες περιοχές, η και αυτές που τοποθετούνται εντός της θάλασσας (off-shore) έχουν υψηλότερη απόδοση ενέργειας από αυτές που βρίσκονται σε περιοχές της ενδοχώρας.

Όμως πρέπει στην περίπτωση αυτή να λαμβάνεται υπόψη η διάβρωση και ορισμένα τμήματα της μηχανής οφείλουν να διαθέτουν αντισκωρική προστασία, γεγονός με άμεσα επίπτωση στο κόστος της Α/Γ και της παραγόμενης αιολικά ηλεκτρικής ενέργειας. Ταυτόχρονα, είναι σημαντικό να συνυπολογίζονται τα πιθανά υλικά που μεταφέρει ο άνεμος, όπως σκόνη, άμμος, χαλίκια, τα οποία είναι δυνατόν να προκαλέσουν ζημιές στα πτερύγια και σε άλλα τμήματα της κατασκευής. Η προστασία από τα φαινόμενα αυτά με ενίσχυση των πτερυγίων και διάφορες σχεδιαστικές τροποποιήσεις έχει επίπτωση στο κόστος της Α/Γ και συνεπώς στην οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης.

Τέλος, μια σημαντική παράμετρος στην επιλογή θέσεων είναι η εμφάνιση τυρβώδους ροής. Στην περίπτωση αυτή το διάνυσα της ταχύτητας σε κάθε σημείο του αέρα σαν ρευστού, παρουσιάζει συχνές διακυμάνσεις, τόσο κατά μέτρο όσο και διεύθυνση. Αυτό το φαινόμενο επιδρά στη μηχανική αντοχή της Α/Γ και στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας οδηγώντας σε αύξηση του κόστους και μείωση της διάρκειας ζωής του συστήματος. Οι μέχρι τώρα προσεγγίσεις στο θέμα δεν έχουν δώσει ικανοποιητική απάντηση στο ποιες θέσεις παρουσιάζουν αυξημένη τυρβώδη ροή και γιατί. Γενικά, αποφεύγονται θέσεις με πολύπλοκη μορφολογία του εδάφους, οι οποίες συνήθως παρουσιάζουν υψηλό επίπεδο τύρβης.

4.2.5 Η οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης.

Όπως έχει αναφερθεί στην εισαγωγή, η βασική παράμετρος που ώθησε στην ανάπτυξη των Α/Γ, ήταν το υψηλό κόστος του πετρελαίου στην διεθνή αγορά κατά την δεκαετία του 1970. Είναι συνεπώς σημαντικό να επιτυγχάνεται μείωση του κόστους της παραγόμενης αιολικά ενέργειας σε σχέση με το κόστος των συμβατικών σταθμών παραγωγής. Σήμερα οι τιμές κόστους παραγωγής ανά μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας είναι συγκρίσιμες και υπάρχει η τάση να γίνει πιο ελκυστική η αιολικά παραγόμενη, αν υπολογιστεί και η επίπτωση του συμβατικού καυσίμου στο περιβάλλον.

Η οικονομική βιωσιμότητα μίας αιολικής εγκατάστασης είναι άμεση συνάρτηση της θέσης. Το αρχικό κόστος της επένδυσης μειώνεται αισθητά όταν η προτεινόμενη θέση βρίσκεται κοντά σε κεντρικές οδικές αρτηρίες ή λιμάνια, δηλαδή είναι εύκολη στην πρόσβαση, γειτονεύει με γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας και έχει χαμηλό κόστος αγοράς γης και έργων πολιτικού μηχανικού. Μια άλλη σημαντική παράμετρος κυρίως σε περιπτώσεις κρατικών συνεργασιών είναι η δυνατότητα κατασκευής τμημάτων της Α/Γ στην τοπική αγορά καθώς και η ύπαρξη ειδικευμένων τεχνιτών, όπως συντηρητών, σε περιοχές όχι μακριά από την θέση εγκατάστασης, ώστε να μειωθεί το κόστος συντήρησης. Τέλος σημαντικό στοιχείο είναι και ο αναμενόμενος χρόνος λειτουργίας ετησίως (availability), που εκφράζει την συχνότητα και διάρκεια των προγραμματισμένων συντηρήσεων της Α/Γ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ (Α/Π) ΠΑΝΑΧΑΪΚΟΥ

5.1 Εισαγωγή

Το πάρκο στο Παναχαϊκό ορός είναι το μεγαλύτερο ενιαίο αιολικό πάρκο που έχει εγκατασταθεί στην Ελλάδα, στο μεγαλύτερο υψόμετρο και ένα από τα μεγαλύτερα της Ευρώπης. Το αιολικό πάρκο που δημιούργησε η ισπανική Acciona Energy στην Ελλάδα αποτελείται από 57 Α/Γ των 0.85 MW από τις οποίες οι 41 Α/Γ είναι της δανέζικης εταιρίας τύπου Vestas V52 τοποθετημένες σε υψόμετρο 1.500m από την επιφάνεια της θάλασσας και οι υπόλοιπες 16 Α/Γ της ισπανικής εταιρίας τύπου Gamesa G52 τοποθετημένες σε υψόμετρο 1.800m αντίστοιχα. Έχει δυνατότητα παραγωγής ισχύος 45 MW ικανή να ηλεκτροδοτήσει 20 χιλιάδες κατοικίες ή το 50% της πόλης της Πάτρας.

Ημερολόγιο εργασιών Αιολικού Πάρκου	
Εργασίες	Ημερομηνία εργασιών
Πρώτες νομολογικές μετρήσεις	7/2000 – 7/2001
Εκκίνηση δανειοδότησης	10/2001 – 2/2004
Πρώτες χωματουργικές εργασίες	5/2005 – 9/2005
Εκκίνηση ανέγερσης πρώτου πάρκου (41Α/Γ)	3/2006 – 6/2006
Εγκαίνια πρώτου αιολικού πάρκου	16/7/2006
Πρώτες χωματουργικές εργασίες δεύτερου πάρκου (16Α/Γ)	5/2007
Εκκίνηση πρώτης ανέγερσης (ανέγερση 2 Α/Γ)	9/2007
Διακοπή εργασιών λόγω αδειοδοτικών προβλημάτων	10/2007 – 8/2008
Εκκίνηση δεύτερης ανέγερσης (ανέγερση 9 Α/Γ)	9/2008
Διακοπή εργασιών λόγω καιρικών συνθηκών	11/2008
Εκκίνηση τρίτης ανέγερσης	5/2009
Κανονική λειτουργία δεύτερου πάρκου	8/2009

5.2 Κριτήρια επιλογής θέσης

Βασικός σκοπός ήταν η εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του αιολικού πάρκου. Για να επιτευχθεί αυτό θα έπρεπε η περιοχή να πλήρη κάποιες προϋποθέσεις :

i. Διαθέσιμο αιολικό δυναμικό.

Ένα βασικό κριτήριο της επιλογής θέσης του αιολικού πάρκου στο Παναχαϊκό Όρος είναι η ανοιχτή περιοχή σε υψόμετρο 1.500m-1.800m από την επιφάνεια της θάλασσας. Οι μετρήσεις που έλαβαν μέρος από 7/2000 έως 7/2001 υπολόγισαν το αιολικό δυναμικό της περιοχής εγκατάστασης το οποίο είναι περίπου 8m/s.

ii. Εύκολη πρόσβαση.

Η υπάρχουσα οδοποιία της περιοχής (Πλατάνι-Πιτίτσας) ήταν ένα κριτήριο που έπαιξε σημαντικό ρόλο στην δημιουργία του πάρκου σε αυτή τη θέση. Ο μοναδικός δρόμος που επιβάρυνε οικονομικά την εταιρία ήταν από την περιοχή της Πιτίτσας έως το Αιολικό Πάρκο στον οποίο χρειάστηκε σε κάποια τμήματα η διαπλάτυνση του και σε άλλα τμήματα ο καθαρισμός του ούτως ώστε να μπορέσουν οι νταλίκες να μεταφέρουν τις ανεμογεννήτριες. Ο δρόμος αυτός είναι καλυμμένος από χαλίκι 3Α.

iii. Σύνδεση με το δίκτυο της ΔΕΗ.

Η περιοχή που κατασκευαστικέ το Αιολικό Πάρκο βρίσκεται λίγα μόλις km από τον υποσταθμό του Ρίου όπου και καταλήγει η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

iv. Απομονωμένη περιοχή.

Το πάρκο βρίσκεται μακριά από κατοικημένες περιοχές ώστε να μη δημιουργεί άσχημη οπτική εντύπωση αλλά και λόγω του θορύβου που προκαλείτε από τις ανεμογεννήτριες.

v. Γενικοί περιορισμοί.

Για την δημιουργία του αιολικού πάρκου λάβανε υπόψη κάποιους κανονισμούς και νόμους που πιθανόν να εμπόδιζαν την δημιουργία του. Τέτοιοι νόμοι είναι σχετικοί με την προστασία του περιβάλλοντος και ιστορικών μνημείων.

5.3 Περιγραφή μηχανών παραγωγής

Οι Α/Γ που εγκαταστάθηκαν στο πάρκο Παναχαϊκού είναι δυο διαφορετικών εταιρειών (Vestas V52 Δανία και Gamesa G52 Ισπανία) όμως έχουν τα ίδια τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά. Γι'αυτό η περιγραφή που κάνουμε θα αναφέρετε σε μια από τις δυο.

5.3.1 Γενικά Χαρακτηριστικά Α/Γ VESTAS V52

Οι Α/Γ VESTAS Δανίας, τύπου V52 και ονομαστικής ισχύος 850 kW έκαστη είναι οριζόντιου άξονα, τριπτέρυγες, με βελτιστοποιημένο σύστημα ελέγχου της κλίσης των πτερύγων (opti-tip) και της ολίσθησης της γεννήτριας (opti-speed) και με ενεργό σύστημα προσανατολισμού που στρέφει το δρομέα (rotor) με μέτωπο (έναντι) στην κατεύθυνση του ανέμου (yaw system).

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι Α/Γ της εταιρίας VESTAS έχουν εγκατασταθεί και λειτουργήσει με μεγάλη επιτυχία στο εξωτερικό αλλά και σε άλλα Αιολικά Πάρκα στην Ελλάδα. Ο συντελεστής διαθεσιμότητας των πάρκων αυτών ξεπερνά σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις το 95%. Στον πίνακα 5.3.1 που ακολουθεί αναγράφονται τα τεχνικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της Α/Γ Vestas V52.

Χαρακτηριστικά Α/Γ VESTAS V52	
Δρομέας	
Διάμετρος	52 m
Ταχύτητα	26 rpm
Φορά περιστροφής	Ωρολογιακή
Προσανατολισμός	Έναντι στον άνεμο
Αριθμός πτερυγίων	3
Υλικό πτερυγίων	Εποξικό ενισχυμένο με υαλονήματα
Έλεγχος	Πλήρη κλήση πτερυγίων και ολίσθηση γεννήτριας
Πολλαπλασιαστής Στροφών	
Τύπος	Πλανητικός 1:62
Ηλεκτρική Γεννήτρια	
Ονομαστική ισχύς	850 kW
Τάση	690 V
Συχνότητα	50 Hz
Σύστημα Προσανατολισμού	Πλανητικός οδοντωτός τροχός με σύστημα ολισθήσεως
Πύργος	
Ύψος	44 m
Τύπος	Κυλινδρικός
Υλικό	Χάλυβας

Πίνακας 5.3.1 Γενικές Τεχνικές Προδιαγραφές Α/Γ Vestas V52.

5.3.1.1 Κλιματολογικοί όροι

Η V52-850 kW OptiSpeed™ σχεδιάζεται για να λειτουργεί στις περιβαλλοντικές θερμοκρασίες που κυμαίνονται από -20°C μέχρι και + 40°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 Α/Γ θα πρέπει να περάσει ένας ορισμένος χρόνος για τη θέρμανση των επεξεργαστών ελέγχου.

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

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

Η σχετική υγρασία μπορεί να είναι 100% (μέγιστο 10% εγκαίρως). Ο Α/Γ παραδίδεται με μια προστασία διάβρωσης σύμφωνα με την κατηγορία του ISO 12944-2. C3 εσωτερική, C4 στην πλήμνη των φτερών και C5 εξωτερικά. Επί των ακραίων διαβρωτικών τόπων ο πύργος προστατεύεται στην κατηγορία C4 εσωτερική και C5-M εξωτερικά.

5.3.2 Τεχνικά χαρακτηριστικά Α/Γ.

5.3.2.1 Περιγραφή VCS, OptiSpeed™

OptiSpeed™, το οποίο ονομάζονται επίσης και **Vestas Converter System (VCS)**, εξασφαλίζει μια σταθερή ηλεκτρική ενέργεια από την Α/Γ. Το σύστημα VCS είναι αυτό που επιτρέπει στην γεννήτρια να λειτουργεί με μεταβλητές στροφές και να συμπεριφέρεται σαν σύγχρονη γεννήτρια. Η γεννήτρια συνδέεται με το δίκτυο 690 V στο στάτη και ο ρότορας τροφοδοτείται με το ρεύμα διέγερσης από τον μετατροπέα μέσω των δακτυλιδιών ολίσθησης.

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

Ο μετατροπέας συχνότητας συνδέεται με το δίκτυο στα 690 V μέσω μιας ασφάλειας, αλλά τα ηλεκτρονικά ισχύος του μετατροπέα δεν είναι σχεδιασμένα για 690 V, επομένως υπάρχει ένας αυτομετασχηματιστής (T550) από 690V σε 480V ο οποίος έχει ενσωματωμένο τσόκ. Είναι ένας μετατροπέας 4 τεταρτημορίων ο οποίος έχει την δυνατότητα να παρέχει ρεύμα σε οποιαδήποτε κατεύθυνση και τη συχνότητα από την πλευρά του δικτύου (grid inverter) και από την πλευρά του ρότορα (rotor inverter) οι οποίοι είναι εξοπλισμένοι με πυκνωτές (DC Link C561). Όλα τα ηλεκτρονικά ισχύος στον μετατροπέα συχνότητας (VCS) ελέγχονται από την VCP (Vestas Converter Processor).

Όταν ξεκινάει η διαδικασία συγχρονισμού φορτίζονται οι πυκνωτές του DC-Link μέσω του κλειστού ρελλέ K537 και των αντιστάσεων R560. όταν η τάση φθάσει στο 90% της τελικής τιμής το K537 ανοίγει και ταυτόχρονα κλείνουν τα ρελλέ K537A και K537B οπότε ενεργοποιείτε ο grid inverter V520 και η τάση στους πυκνωτές του DC-Link προσαρμόζεται στα 800 V DC. Τα συστατικά V520 και V524-V526 είναι ιδιαίτερα

ηλεκτρονικά ισχύος και ονομάζονται Skippack τα οποία περιέχουν τα IGBTs τους οδηγούς τα μετρητικά της θερμοκρασίας της τάσης και του ρεύματος στο DC-Link. Τα SkiiPPack μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα σε συνεχές και το αντίστροφο.

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

Προκειμένου να συνδεθεί η γεννήτρια με το δίκτυο πρέπει πρώτα ο ρότορας να μαγνητιστεί. Αυτό το φροντίζει η VCP μέσω των inverters η οποία ελέγχει τους όρους συγχρονισμού της γεννήτριας με το δίκτυο και όταν αυτοί ικανοποιούνται κλείνουν τα κεντρικά ρελλέ και συνδέεται η γεννήτρια με το δίκτυο.

Το ρεύμα στον ρότορα της γεννήτριας μπορεί να είναι ανεξάρτητο από τους όρους του δικτύου επομένως μπορεί να επιλεγεί μια επιθυμητή γωνία φάσεων και έτσι να έχουμε και παραγωγή άεργης ισχύος. Με αύξηση του ρεύματος στο ρότορα έχουμε αντιστάθμιση ενώ με μείωση έχουμε χωρητικά φορτία από την γεννήτρια.

Στο ρότορα τοποθετείτε μια προστασία από υπερτάσεις (OVP Over Voltage Protection) όπου προστατεύει τον μετατροπέα από τις υψηλές τάσεις που μπορεί να δημιουργηθούν από τον ρότορα. Σε περίπτωση υπέρτασης στο ρότορα η γεννήτρια και ο μετατροπέας αποσυνδέονται από το δίκτυο. Η OVP μπορεί να ενεργοποιηθεί είτε από εντολή της VCP είτε από εσωτερική μέτρηση της τάσης.

Η VCP ελέγχει περισσότερο τον μετατροπέα. Μετράει την τάση και το ρεύμα δικτύου, τη συνολική ισχύς, και επικοινωνεί με τους controller. Τροφοδοτείτε από ένα τροφοδοτικό 24V DC, το οποίο τροφοδοτεί και τα Skippack, όπως επίσης τα βοηθητικά ρελλέ και τα feedback.

Το σύστημα VCP παρουσιάζετε στην επόμενη σελίδα (Διάγραμμα 5.3.2).

5.3.2.2 Γεννήτρια

Τύπος	Ασύγχρονη με διέγερση στον ρότορα από το VCS
Ονομαστική ισχύς	850 KW
Τάση	690 VAC
Συχνότητα	50/60 Hz
Αριθμός πόλων	4
Βαθμός προστασίας	IP54
Ονομαστική ταχύτητα	1620 RPM (50Hz) και 1944 RPM (60Hz)
Ονομαστικό ρεύμα	711 A
Συντελεστής ισχύος	1.0
Κατασκευαστής	ABB, Leroy Somer, Weire, Siemens.

Ένα σημαντικό μέρος της Α/Γ είναι η ασύγχρονη 4-πολων γεννήτρια. Μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια από το κιβώτιο ταχυτήτων σε ηλεκτρική ενέργεια. Η γεννήτρια συνδέεται με το δίκτυο άμεσα, το οποίο μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στον καταναλωτή.

Αν και ασύγχρονη γεννήτρια λειτουργεί με μεταβλητές στροφές. Το σύστημα του VCS ρυθμίζει την διέγερση του ρότορα έτσι ώστε η τάση στην έξοδο της γεννήτριας να είναι σταθερή.

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

Ο συσχετισμός μεταξύ της συχνότητας, της αναλογίας των γραναζιών του κιβωτίου ταχυτήτων και της ταχύτητας περιστροφής είναι:

Turbine	Frequency	Gear ration	Synchronous generator speed	Rotor speed
V52	50	1:62.0	1500	24.2
V52	60	1:74.5	1800	24.2

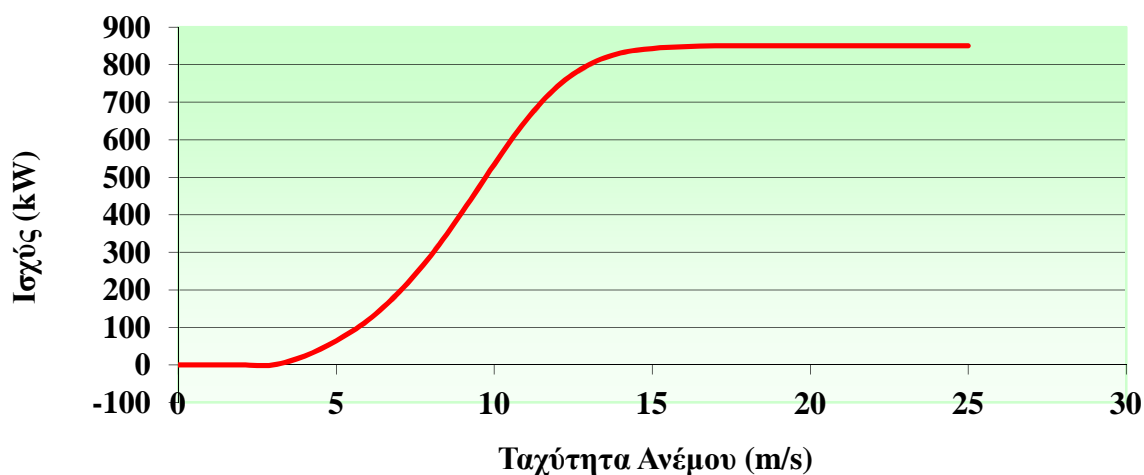
5.3.2.3 Χαρακτηριστική ισχύος Α/Γ.

Η έναρξη της λειτουργίας για τις Α/Γ του αιολικού πάρκου Vestas V52 και Gamesa G52 όπως θα δούμε και στον πίνακα 5.3.3 επιτυγχάνεται σε ταχύτητα ανέμου 4 m/s, ενώ η ονομαστική ισχύς των 850 kW απαιτεί ταχύτητα ανέμου 17 m/s για πυκνότητα αέρα 1.180 kg/m³. Σε ταχύτητες αέρα μεγαλύτερες από 25 m/s οι Α/Γ σταματούν αυτόματα να περιστρέφονται.

Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Παραγόμενη Ισχύς (kW)
0	0
1	0
2	0
3	0
4	24.1
5	64.5
6	119
7	195
8	292
9	409
10	534
11	651
12	742
13	800
14	831
15	843
16	848
17 – 25	850

Πίνακας 5.3.3 Πίνακας ισχύος για πυκνότητα αέρα 1.180 kg/m³

Καμπύλη Ισχύος Α/Γ 850 (kW)



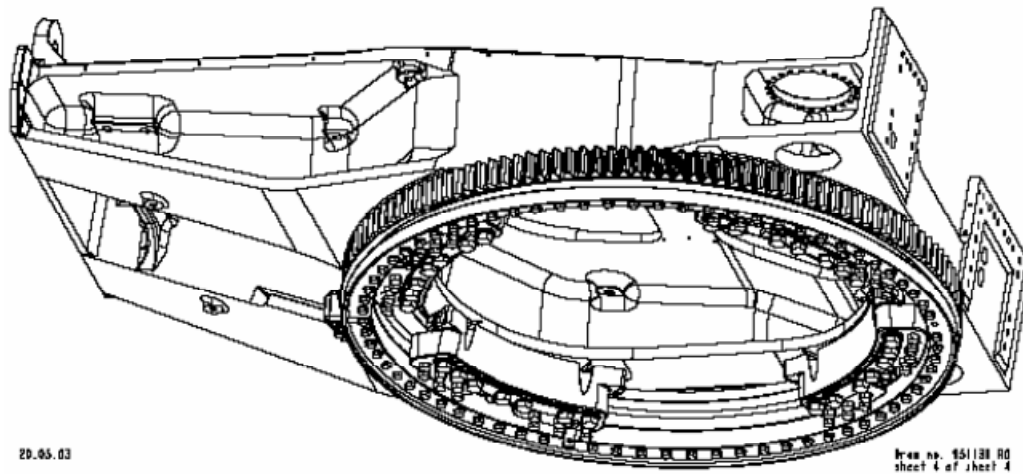
Διάγραμμα 5.3.4 Χαρακτηριστική ισχύος Α/Γ για πυκνότητα αέρα 1.180 kg/m³

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

5.3.2.3 Σύστημα προσανατολισμού (yaw system)

Το yaw system έχει τρεις λειτουργίες:

- i. Να κρατήσει την Α/Γ αντίθετη στον άνεμο.
- ii. Να ελέγξει την συστροφή των καλωδίων στον πύργο και να τα ξεστρίψει όταν χρειάζεται.
- iii. Να δώσει την τιμή της διεύθυνσης της ατράκτου.



Εικόνα 5.3.5 Yaw system.

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

Το yaw gear χρησιμοποιείτε για τον αυτόματο προσανατολισμό της ατράκτου στον άνεμο το οποίο και συγκρατεί 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 από ένα βοηθητικό ρελλέ. 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.

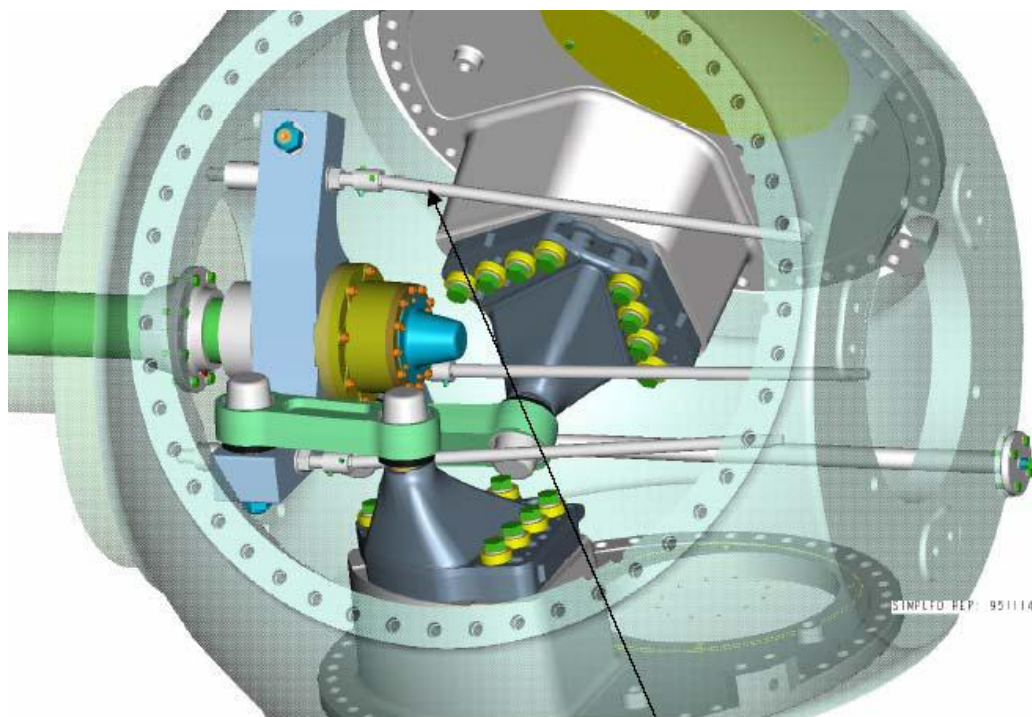
5.3.2.4 Φτερά - Σημείο διασύνδεσης (hub).

Τα φτερά αποτελούνται από ίνες γυαλιού που ενισχύεται με εποξική κόλλα. Κάθε φτερό αποτελείται από δύο κομμάτια σαν κοχύλια, που συνδέονται ακτινικά με μια ενισχυτική κόλλα. Υπάρχουν ειδικά χαλύβδινα δακτυλίδια στην άκρη (εικόνα 5.3.6) τα οποία συνδέουν το φτερό με το ρουλεμάν του φτερού. Το ρουλεμάν φτερών είναι ένας ένσφαιρος τριβέας τεσσάρων σημείων που βιδώνεται στην πλήμνη (hub) των φτερών.



Εικόνα 5.3.6 Φτερά και σημείο διασύνδεσης του με το hub.

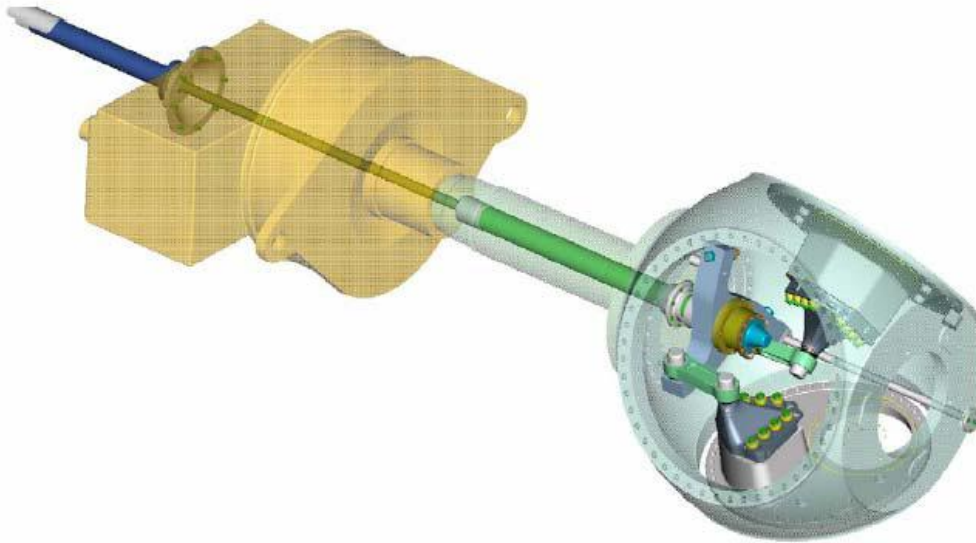
Διάμετρος ρότορα	52 m
Επιφάνεια σάρωσης	2124 m ²
Ταχύτητα ρότορα	26 RPM
Περιοχή λειτουργίας ρότορα	14.0 – 31.4 RPM
Διεύθυνση περιστροφής	Δεξιόστροφα (Μπροστινή όψη)
Προσανατολισμός	Ανάτη
Κλίση	6°
Κωνική γωνία φτερών	3°
Αριθμός φτερών	3
Υλικό κατασκευής φτερών	Ίνες γυαλιού με εποξικές ρητίνες
Σύνδεση φτερών με ρουλεμάν	Ένωση με νήμα χάλυβα και μπουλόνια
Προφίλ φτερού	NACA63 Και FFA-W3
Μήκος φτερού	25.3 m
Συστροφή φτερού άκρη / τέλος	16° / 0°
Βάρος φτερού	Περίπου 1900 κιλά
Ρουλεμάν φτερού	Ρουλεμάν σφαιρικό τεσσάρων σημείων
Τύπος σημείου διασύνδεσης φτερών	Σιδερένια συνδετική μπάλα
Υλικό hub	EN-GJS-400-18U-LT / EN1563



Εικόνα 5.3.7 Διασυνδεδετικό εξάρτημα φτερών (hub).

5.3.2.5 Κύριος άξονας (Main Shaft)

Ο κύριος άξονας είναι αυτός που μεταβιβάζει την ενέργεια από τον ρότορα στο σασμάν. Εσωτερικά από αυτόν περνάει ο άξονας του pitch. Ο κύριος άξονας στηρίζεται και περιστρέφεται σε δύο σφαιρικά κυλινδρικά ρουλεμάν.



Εικόνα 5.3.8. Σασμάν – κύριος άξονας – Hub – τραβέρσα με τις συνδετικές ράβδους για την στροφή των φτερών.

5.3.2.6 Σασμάν (Gearbox)

Τύπος: 1 πλανητικό γρανάζι και 2 ελικοειδές γρανάζια

Λόγος: 1:62 για 50 Hz

Ψύξη: Αντλία λαδιού ηλεκτρική και μηχανική με ψυγείο λαδιού.

Θέρμανση λαδιού: Με αντίσταση 1.5 kW

Κατασκευαστής:

Η Vestas προμηθεύεται τα σασμάν από διάφορους κατασκευαστές οι οποίοι τα κατασκευάζουν σύμφωνα με τις οδηγίες της Vestas. (Rexroth, Metso, κλπ.) Το σασμάν είναι ένας πολλαπλασιαστής στροφών. Στη V52 850kW 50 Hz ο λόγος πολλαπλασιασμού είναι 1 προς 62 στροφές. Συνδέεται από την μία μεριά με τον κύριο άξονα του ρότορα με ένα κωνικό υδραυλικό δίσκο και από την άλλη πλευρά της υψηλής ταχύτητας με την γεννήτρια μέσω ενός συνδέσμου φτιαγμένος από πολυεστέρα υψηλής αντοχής και ελαστικότητας. Στο σασμάν πάνω στην πλευρά της υψηλής ταχύτητας είναι τοποθετημένο και το μηχανικό φρένο.

5.3.2.7 Mechanical Brake

Τύπος: Υδραυλικό δισκόφρενο

calipers: 3.

Διάμετρος δισκόφρενου: 600 mm.

Υλικό Δισκόφρενου: VWS-GJV-300-2U-D.

Τα φρένα τροφοδοτούνται από μπαταρίες. Οι μπαταρίες αυτές είναι τοποθετημένες μέσα στον κεντρικό πίνακα και συνδεδεμένες με τον κεντρικό επεξεργαστή. Οι μπαταρίες υπάρχουν για να προστατέψουν την Α/Γ από διακοπές ρεύματος στο δίκτυο.

5.3.2.8 Αισθητήρας μέτρησης διεύθυνσης και ταχύτητας αέρα.



Στις Α/Γ Vestas V52 και Gamesa G52 χρησιμοποιείται ένας αισθητήρας αέρα που μετρά την ταχύτητα και την διεύθυνση του αέρα. Η διεύθυνση του αέρα είναι μέτρο σχετικό με τη θέση της νασσέλας. Ο αισθητήρας είναι χωρίς κινούμενα μέρη και η μέτρηση είναι βασισμένη στις υπερηχητικές αρχές. Το Ultrasonic Anemometer 2D έχει ως σκοπό να μετρήσει την διεύθυνση και την ταχύτητα του αέρα σε δύο διαστάσεις. Το ανεμόμετρο αυτό είναι εξοπλισμένο με μια αντίσταση θέρμανσης έτσι ώστε το όργανο να μην επηρεάζεται από έντονα καιρικά φαινόμενα όπως χιόνια, πάγος, έντονη βροχή.

Εικόνα 5.3.9 Αισθητήρας αέρα Α/Γ.

5.3.3 Σύστημα ελέγχου Α/Γ VESTAS V52 & GAMESA G52

5.3.3.1 Έλεγχος των ανεμογεννητριών.

Ο έλεγχος των Α/Γ γίνεται από τον VMP-Controller (Vestas Multi Processor Controller). Ο VMP-Controller επιτηρεί και ελέγχει όλες τις λειτουργίες στις Α/Γ, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι η απόδοση του στρόβιλου είναι η βέλτιστη με οποιαδήποτε ταχύτητα αέρα και θα σταματήσει το στρόβιλο εάν ανιχνεύσει κάποιο σφάλμα.

Ο VMP-Controller αποτελείται από τρεις ελεγκτές (controller) οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους με μια οπτική ίνα:

i. **Ground controller**, (εικόνα 5.3.10) ο οποίος βρίσκεται στο κάτω μέρος του πύργου, και ελέγχει τους κύριους διακόπτες. Από αυτόν ένας χειριστής μπορεί να λειτουργήσει την Α/Γ και να δει όλα τα στοιχεία της (σφάλματα, προειδοποιήσεις λειτουργία, σήματα αισθητήρων, κατάσταση κύριων και βοηθητικών συστατικών κλπ.).

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

iii. **Top controller** ο οποίος βρίσκεται στην nacelle και φροντίζει τη λειτουργία της μηχανής π.χ. θερμοκρασίες, έλεγχος του βήματος και της ταχύτητας, έλεγχος της παρέκκλισης από την διεύθυνση του αέρα κλπ. Μπορεί να συνδεθεί με ένα φορητό controller με display και μπορεί να ελέγχεται η Α/Γ από κάποιον όταν βρίσκεται στην άτρακτο δηλ.

όταν ένας χειριστής θέλει να εξετάσει τα στοιχεία από την Α/Γ, ή θέλει να ξεκινήσει ή να σταματήσει την Α/Γ ενώ βρίσκεται μέσα στην άτρακτο.



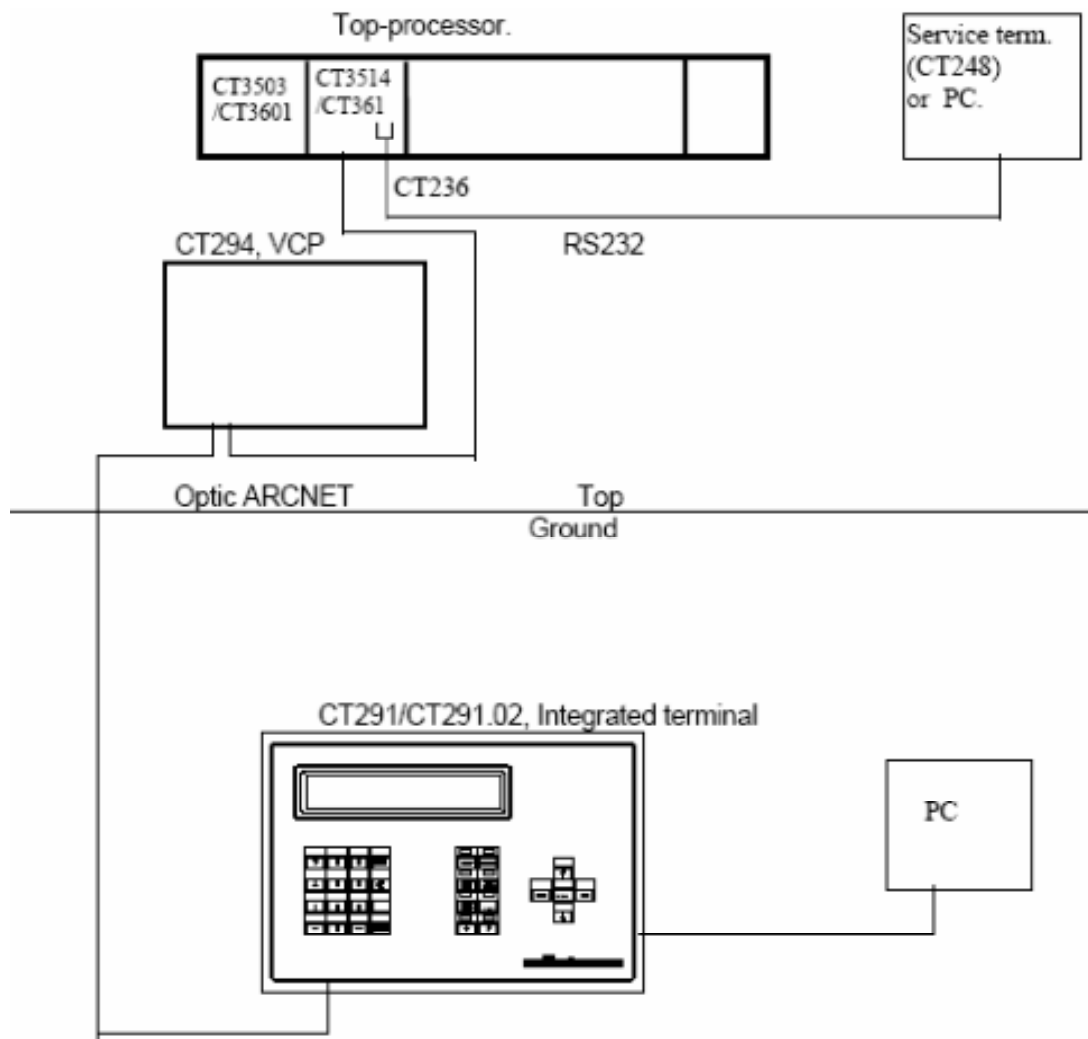
Εικόνα 5.3.10 Ground controller.

5.3.3.2 Συλλογή δεδομένων

Ο VMP-Controller συλλέγει συνεχώς τα στοιχεία για την απόδοση του στροβίλου π.χ.

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

Εάν προκύψουν παρατυπίες ή λάθη, κατά την λειτουργία των Α/Γ αυτά αποθηκεύονται σε διάφορα αρχεία καταγραφής από τα οποία μπορούμε να δούμε και να αναλύσουμε τα λάθη (error) στις Α/Γ και να τα επιλύσουμε.



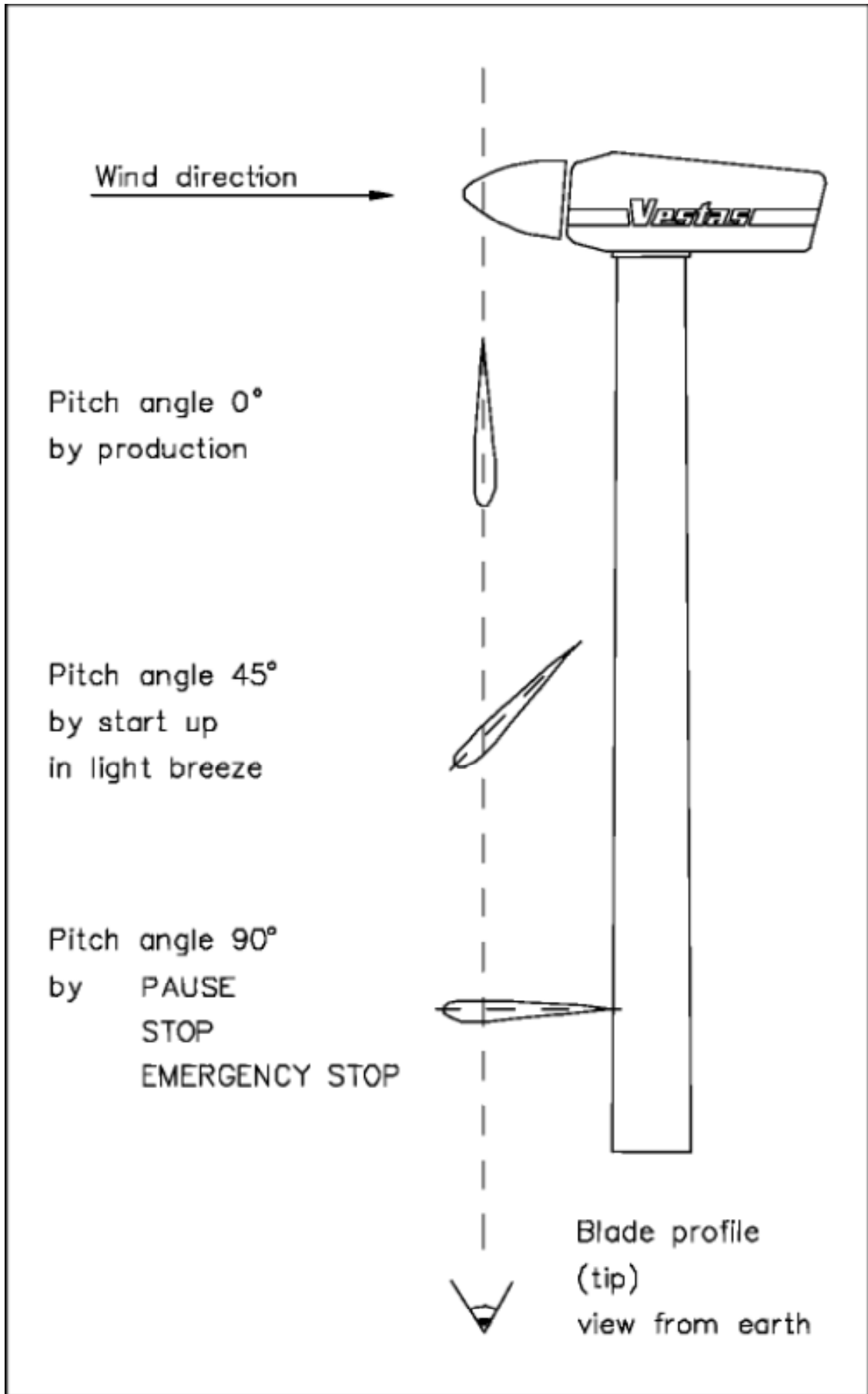
Σχήμα 5.3.11: Επικοινωνία μεταξύ του Top και του Ground controller.

5.3.3.3 Έλεγχος της Α/Γ με OptiTip

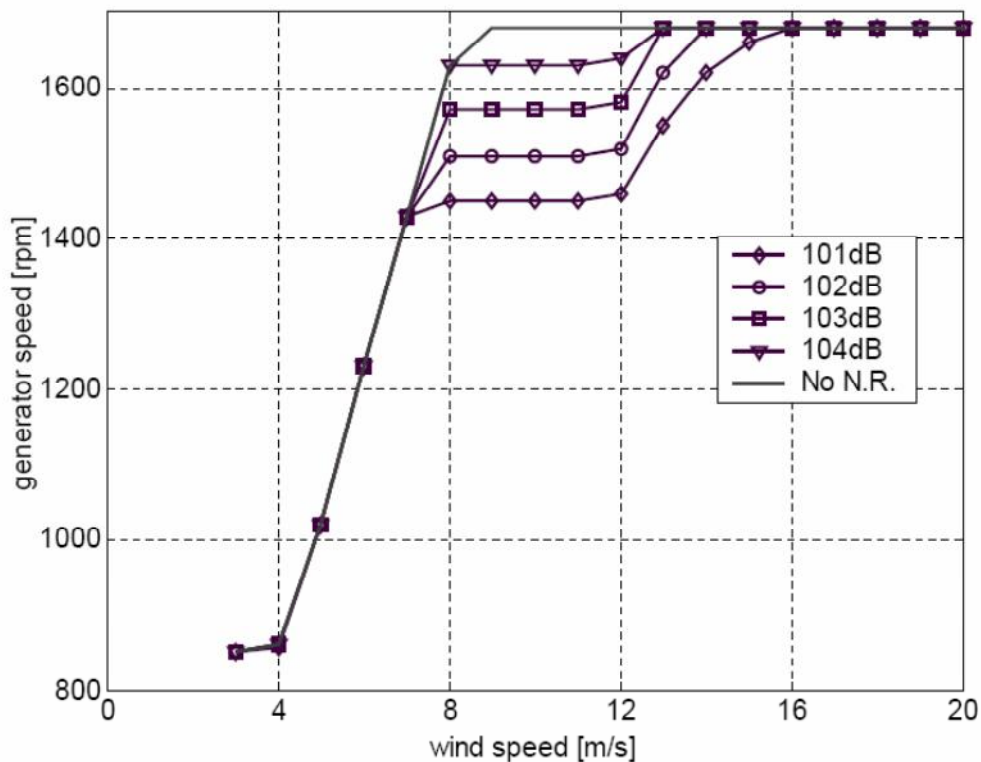
Όταν η Α/Γ είναι σε κατάσταση Pause, Stop, ή Emergency stop τα φτερά είναι σε μια θέση 90° από τον αέρα. Ενώ όταν είναι σε κατάσταση Run η Α/Γ είναι σε παραγωγή και τα φτερά είναι σε μια θέση κοντά στις 0° η οποία μεταβάλλετε ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα και αυτό ελέγχεται από τα συστήματα ελέγχου OptiTip και OptiSpeed από τον VMP controller (εικόνα 5.3.12.α).

Επίσης με το σύστημα ελέγχου OptiTip μπορούμε να ελέγξουμε τη γωνία των πτερυγίων για διαφορετικές τοποθετήσεις θορύβου. Δηλαδή με τη ρύθμιση της γωνίας των πτερυγίων αυξάνεται ή μειώνεται ο θόρυβος που προκαλείται από τη σύγκρουση του ανέμου στα πτερύγια.

Όπως βλέπουμε και στην εικόνα 5.3.12.β ότι η ρύθμιση θορύβου έχει μια επιρροή στις καμπύλες λειτουργίας στη μερική περιοχή φορτίων. Εάν η Α/Γ χρησιμοποιείται με μια χαμηλότερη ζήτηση θορύβου, οι στροφές μειώνονται και η γωνία του βήματος αυξάνεται. Μαζί με τη μείωση θορύβου, επίσης η αεροδυναμική αποδοτικότητα μειώνεται, το οποίο οδηγεί σε μια χαμηλότερη καμπύλη ισχύος και μια αύξηση της εκτιμημένης ταχύτητας αέρα.



Σχήμα 5.3.12.α: Θέση του βήματος για διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας.



Εικόνα 5.3.12.β Στροφές γεννήτριας σε διαφορετικά επίπεδα θορύβου.

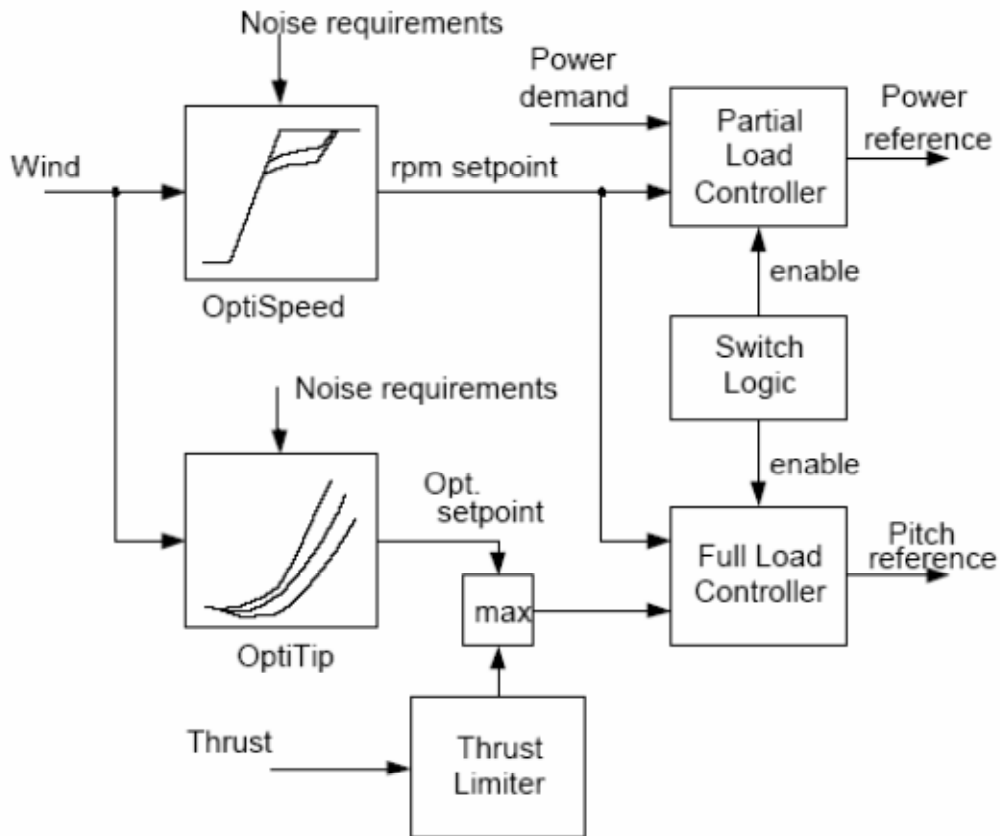
5.3.3.4 Κύριος ελεγκτής

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

- Μεγιστοποίηση της παραχθείσας ενέργειας
- Περιορισμός των μηχανικών φορτίων
- Περιορισμός του ακουστικού θορύβου
- Διατήρηση της ποιότητας ισχύος.

Το σχήμα 5.3.13 παρουσιάζει το μπλοκ διάγραμμα του κύριου ελεγκτή και πιο πολύ ουσιαστικές λειτουργίες. Στην αριστερή πλευρά υπάρχουν δύο μπλοκ αποκαλούμενα OptiSpeed και OptiTip που χρησιμοποιούνται για να υπολογίσουν τη βέλτιστη περιστροφή ανά λεπτό και τη γωνία του βήματος τα οποία εξαρτώνται από την ταχύτητα του αέρα .

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



Σχήμα 5.3.13 Δομή του κύριου ελεγκτή.

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

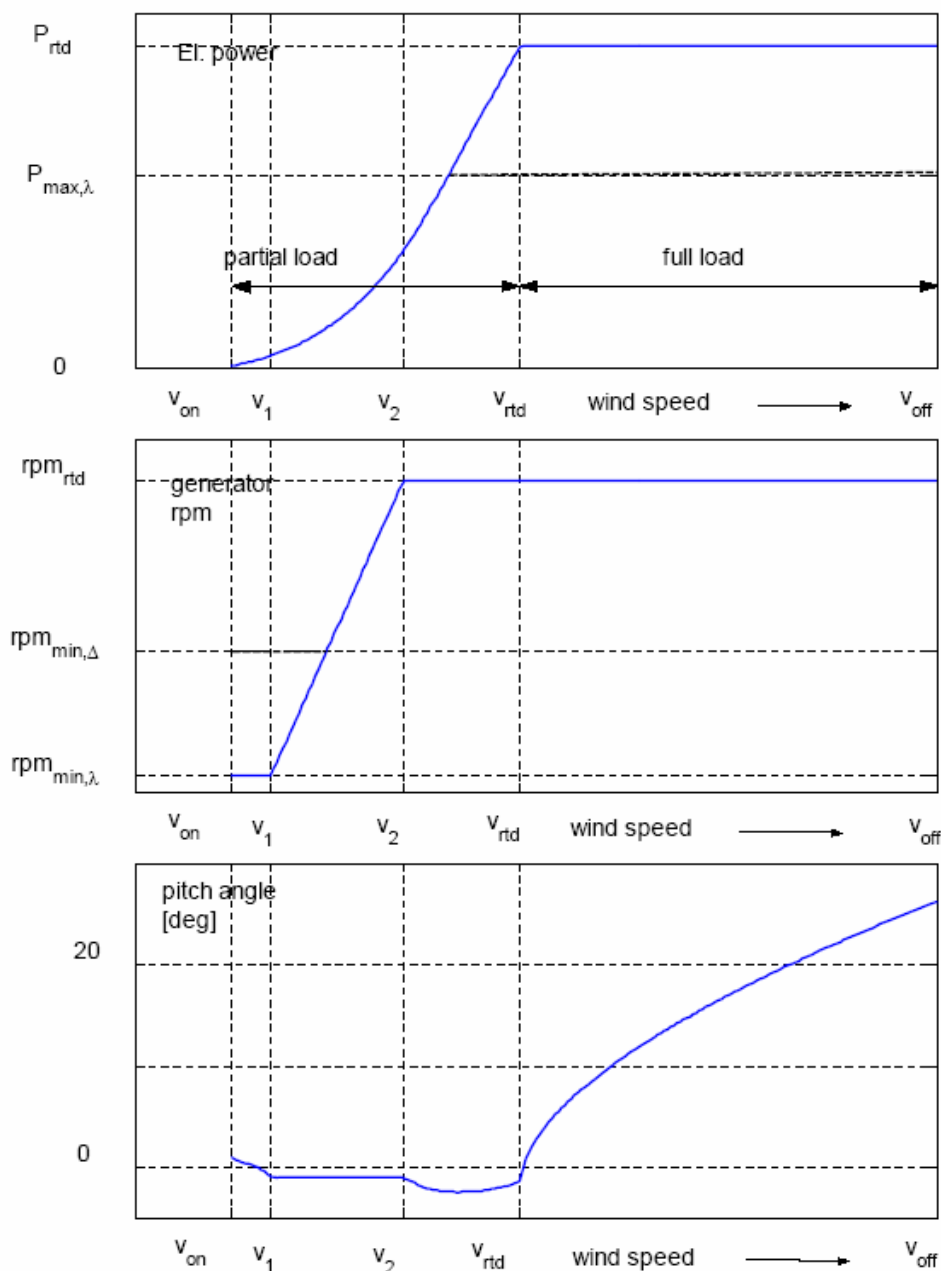
Με ταχύτητα αέρα κάτω από την εκτιμημένη ταχύτητα αέρα η Α/Γ δεν είναι ικανή να παράγει την εκτιμημένη ισχύ. Σε αυτήν την περίπτωση οι λογικοί διακόπτες θα ενεργοποιήσουν τον ελεγκτή φορτίων, και η Α/Γ θα παράγει ηλεκτρική ενέργεια με την βέλτιστη αποδοτικότητα. Εάν η ταχύτητα αέρα είναι επάνω από τη εκτιμημένη ταχύτητα αέρα ο ελεγκτής φορτίων ενεργοποιείται και περιορίζει την ισχύ στην εκτιμημένη ισχύ. Επιπλέον το σύστημα έχει ένα περιοριστή ώθησης που χρησιμοποιείται για τον περιορισμό της αεροδυναμικής ώθησης στο ρότορα και στον πύργο.

5.3.3.5 Τμηματική λειτουργία φορτίων

Εάν η ταχύτητα αέρα είναι μεταξύ της ταχύτητας αέρα παρεμβάσεων και της εκτιμημένης ταχύτητας αέρα η παραχθείσα ηλεκτρική ισχύς θα είναι κάτω από την εκτιμημένη ισχύς. Σ' αυτήν την περίπτωση ο στρόβιλος ελέγχεται για να παράγει τη μέγιστη ισχύς κάτω από τους δεδομένους περιορισμούς θορύβου.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3.14 η τμηματική περιοχή φορτίων μπορεί να διαιρεθεί σε τρεις σειρές:

- i. Λειτουργία σε χαμηλή ταχύτητα ($V_{on} < V <= V_1$). Οι στροφές κρατιούνται στη χαμηλότερη πιθανή τιμή που καθορίζεται από τη μέγιστη ολίσθηση. (Λειτουργία κάτω από τη σύγχρονη ταχύτητα).
- ii. Λειτουργία στο βέλτιστο αποδοτικότητα Σε αυτή την περιοχή ταχύτητας αέρα, το σύστημα OptiSpeed ελέγχει τις στροφές του ρότορα ανάλογα με την ταχύτητα του αέρα με αποτέλεσμα τη μέγιστη αεροδυναμική αποδοτικότητα του ρότορα. Η γωνία του βήματος κρατιέται σταθερή.
- iii. Λειτουργία στις ονομαστικές στροφές ($V_2 <= V <= V_{rtd}$). Εάν η ταχύτητα του αέρα είναι υψηλότερη από V_2 η Α/Γ είναι σε σταθερή λειτουργία ανάλογα τις στροφές. Επομένως οι στροφές θα κυμανθούν δυναμικά γύρω από ένα σταθερό setpoint.



Σχήμα 5.3.14: Καμπύλες σε κατάσταση λειτουργίας, για την ισχύ, τις στροφές της γεννήτριας, και τη γωνία του βήματος εξαρτώμενες από την ταχύτητα του αέρα.

5.3.3.6 Πλήρεις λειτουργία φορτίων

Εάν η ταχύτητα αέρα είναι μεταξύ της εκτιμημένης (V_{rtd}) και της ταχύτητας αποκοπής (V_{off}) η Α/Γ θα λειτουργεί στην ονομαστική ισχύ. Αυτό σημαίνει ότι οι στροφές της γεννήτριας τώρα ελέγχονται από τη γωνία του βήματος. Εάν η ταχύτητα αέρα μειωθεί, αναγκάζοντας κατά συνέπεια τη γωνία του βήματος να μειωθεί σε μια τιμή κοντά στη βέλτιστη γωνία βήματος, ο πλήρης ελεγκτής φορτίων θα απενεργοποιηθεί και θα αναλάβει τον έλεγχο ο τμηματικός ελεγκτής φορτίων.

5.3.3.7 Σύνδεση αστέρα – τρίγωνο

Προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η αποδοτικότητα των γεννητριών ο στάτης μπορεί να συνδεθεί σε δύο διαφορετικές συνδέσεις :

- i. Σύνδεση Αστέρα (Y)
- ii. Σύνδεση τριγώνου (Δ)

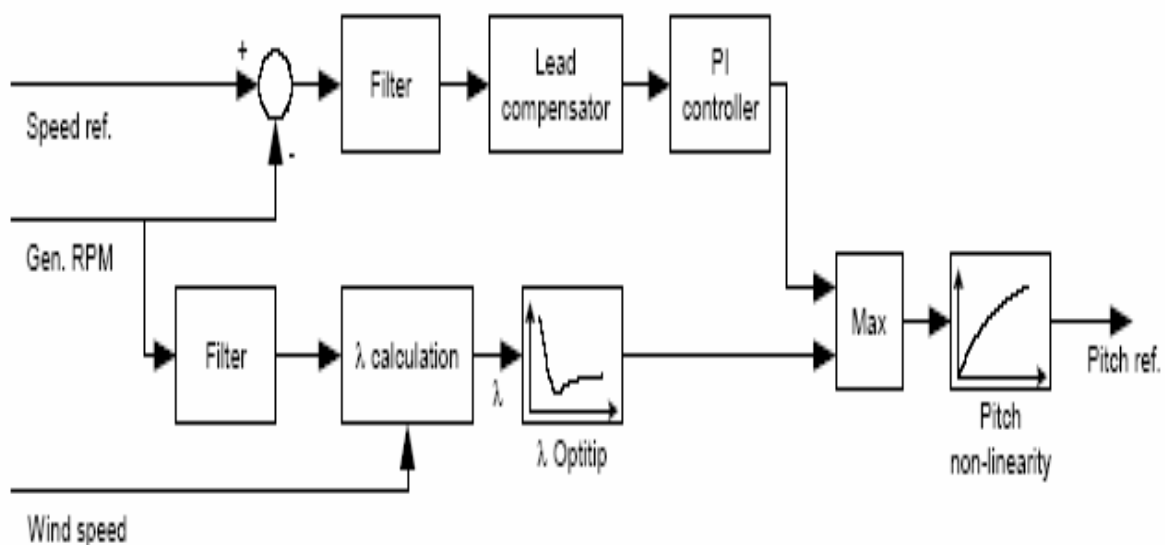
Στη σύνδεση αστέρα οι στροφές των Α/Γ μπορούν να καλύψουν ολόκληρη την περιοχή από το $r_{p_{min}}$ στο $r_{p_{rtd}}$ ενώ η ισχύς της γεννήτριας περιορίζεται σε P_{max} .

Στη σύνδεση τριγώνου η ισχύς είναι απεριόριστη ενώ οι στροφές περιορίζονται έτσι ώστε να μην υπερβούν από το $r_{p_{min},\Delta}$. Το σύστημα ελέγχου επιλέγει τη σύνδεση του στάτη αν είναι σε αστέρα ή τρίγωνο και εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα.

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

5.3.3.8 Ξεκίνημα και σταμάτημα

Κατά τη διάρκεια του ξεκινήματος από pause σε run και κανονικού σταματήματος από run σε pause ή στις περιόδους με μια ταχύτητα αέρα κάτω από την ταχύτητα αέρα παρεμβάσεων, η Α/Γ χρησιμοποιείται σαν μια αποσυνδεδεμένη γεννήτρια. Σε αυτήν την περίπτωση, ένας ελεγκτής ταχύτητας χρησιμοποιείται για να ελέγξει τις στροφές τις Α/Γ (Σχήμα 5.3.13).



Σχήμα 5.3.13: Έλεγχος ταχύτητας για τη λειτουργία με αποσυνδεδεμένη γεννήτρια.

Ο ελεγκτής είναι ένας συμβατικός αντισταθμιστής κατεύθυνσης που συνδέεται στη σειρά με έναν ελεγκτή PI, που ακολουθείται από μια μη γραμμικότητα του βήματος που μειώνει το κέρδος με το αυξανόμενο βήμα. Αυτό αντισταθμίζει τη μη γραμμική αεροδυναμική.

Όταν δεν υπάρχει αέρας, η Α/Γ είναι έτοιμη να ξεκινήσει με τη διατήρηση μιας βέλτιστης γωνίας του βήματος σύμφωνα με τη λειτουργία αστέρα OptiTip (λ). Όταν η ταχύτητα αέρα και η ταχύτητα της γεννήτριας αυξάνονται, η γωνία του βήματος θα παραμείνει βέλτιστη έως ότου επιτυγχάνεται η αναφορά στροφών.

Ο ελεγκτής ταχύτητας αρχίζει με μια αναφορά στις στροφές για να συνδεθεί σε αστέρα με μια ταχύτητα 1250 στροφές ανά λεπτό. Δύο κριτήρια πρέπει να ικανοποιηθούν πριν από την έναρξη διαδικασίας σύνδεσης:

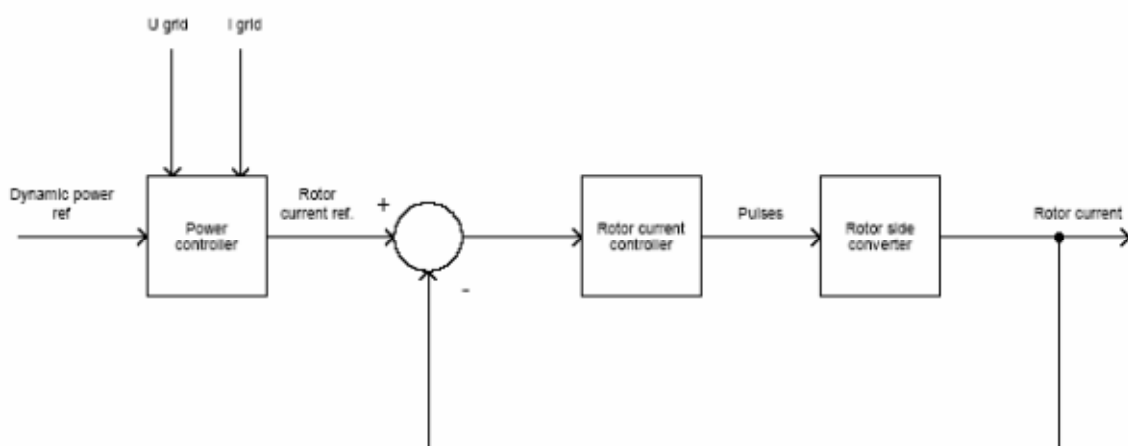
Η γωνία του βήματος πρέπει να είναι τουλάχιστον 3 φορές πάνω για να εξασφαλιστεί αρκετή ενέργεια από τον αέρα και οι στροφές της γεννήτριας πρέπει να είναι +/- 15 στροφές της ταχύτητας σύνδεσης για περισσότερο από 1 sec. Εάν ο αέρας είναι ισχυρός και η γωνία του βήματος επομένως είναι υψηλότερη από 14° από την ταχύτητα σύνδεσης σε αστέρα, ο ελεγκτής ταχύτητας δίνει μια αναφορά για σύνδεση σε τρίγωνο, η ταχύτητα σύνδεσης σε τρίγωνο είναι 1450 στροφές ανά λεπτό.

Όταν η γεννήτρια συνδεθεί με το δίκτυο, η αναφορά ισχύος αυξάνεται ανά 50 kW/sec έως ότου επιτευχθεί το βέλτιστο επίπεδο ισχύος.

5.3.3.9 Έλεγχος ισχύος / μετατροπείας ισχύος

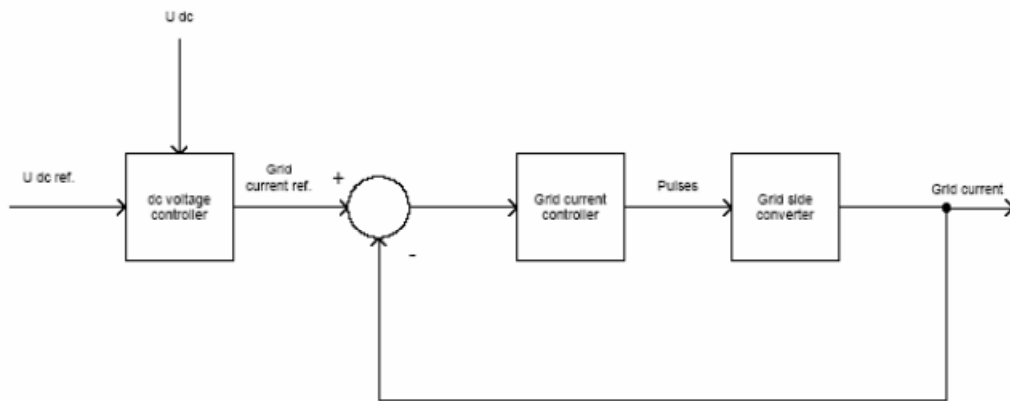
Ο ελεγκτής ισχύος (Σχήμα 5.3.14) βασίζεται σε έναν μετατροπέα συχνότητας στο κύκλωμα του ρότορα της γεννήτριας επιτρέποντας στην Α/Γ να μεταβάλλονται οι στροφές της γεννήτριας από + 30% μέχρι και - 50% γύρω από τη σύγχρονη ταχύτητα, χωρίς επιρροή στην ποιότητα ισχύος.

Ο ελεγκτής ισχύος στο μετατροπέα συχνότητας λαμβάνει μια αναφορά ισχύος από τον ελεγκτή VMP και διατηρεί αυτό το επίπεδο ισχύος με τη βοήθεια ενός γρήγορου βρόχου ελέγχου ρεύματος.



Σχήμα 5.3.14: Ελεγκτής ισχύος / μετατροπείας ρότορα.

Ο μετατροπέας συχνότητας αποτελείται από έναν μετατροπέα στον ρότορα και έναν δευτερεύοντα μετατροπέα δικτύου (Σχήμα 5.3.15). Ο δευτερεύων μετατροπέας δικτύου δεν είναι, εντούτοις, ένα μέρος του συστήματος ελέγχου ισχύος δεδομένου ότι ο κύριος στόχος του είναι να διατηρήσει μια σταθερή τάση στο dc-link.



Σχήμα 5.3.15: Σύστημα μετατροπέα δικτύου.

5.3.3.10 Άεργη ισχύς

Οι στρόβιλοι είναι σε θέση να παράγουν άεργη ισχύ. Ο έλεγχος παραγωγής της άεργης ισχύος πραγματοποιείται από τον κεντρικό ελεγκτή.

Περιοχή εργασίας άεργη ισχύος:

Τα όρια στην εκτιμημένη παραγωγή (για την V52 και G52) είναι $\cos\phi = 0.98$ για χωρητικά και 0.95 για επαγωγικά.

Σε σύνδεση τρίγωνο η παραγωγή άεργης ισχύος μπορεί να είναι και 500 kVA για τις Α/Γ ενώ σε σύνδεση αστέρα περιορίζεται στη μισή παραγωγή από την ενεργό ισχύ.

Είναι δυνατό να επιλεγθεί εάν θέλουμε οι Α/Γ να λειτουργούν με μια σταθερή παραγωγή άεργης ισχύος ή ακόμα και εάν θέλουμε η άεργη να έχει προτεραιότητα της ενεργής ισχύος ή και να παράγει χωρητικά σύμφωνα με τις απαιτήσεις.

5.4 Διασύνδεση ανεμογεννητριών με το δίκτυο της ΔΕΗ

5.4.1 Διασύνδεση Α/Γ με το Κέντρο Ελέγχου

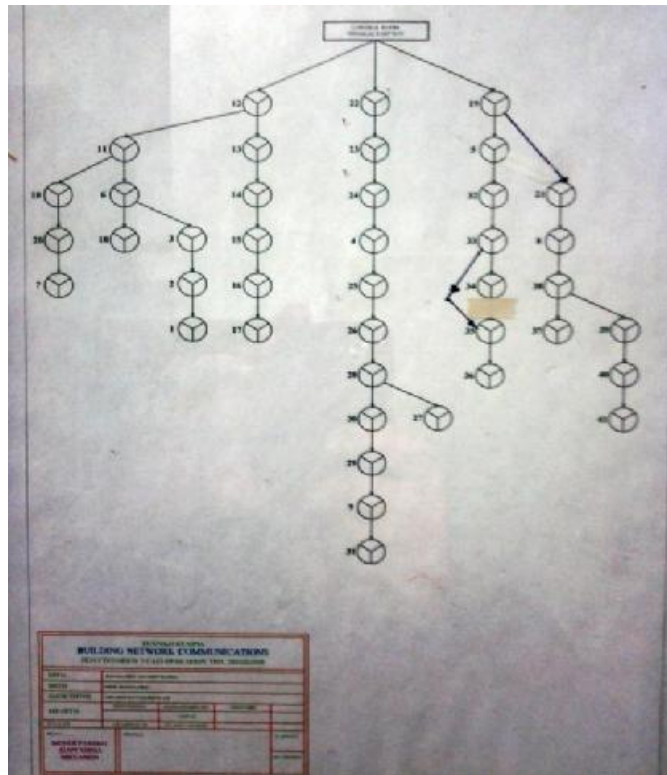
Κάθε ανεμογεννήτρια αποτελείται από ένα Μ/Σ ο οποίος είναι τοποθετημένος σε ειδικά διαμορφωμένο χώρο στο κάτω μέρος του πύργου. Ο Μ/Σ αυτός είναι ελαίου ονομαστικής ισχύος 1000 VA ανύψωση της τάσης των 690 V σε 20 KV (X.T / M.T).

Τα καλώδια που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση της γεννήτριας με τον Μ/Σ ανύψωσης είναι τύπου A2XS2Y διατομής 120mm^2 και φαίνονται στην επόμενη εικόνα (εικόνα 5.4.1).

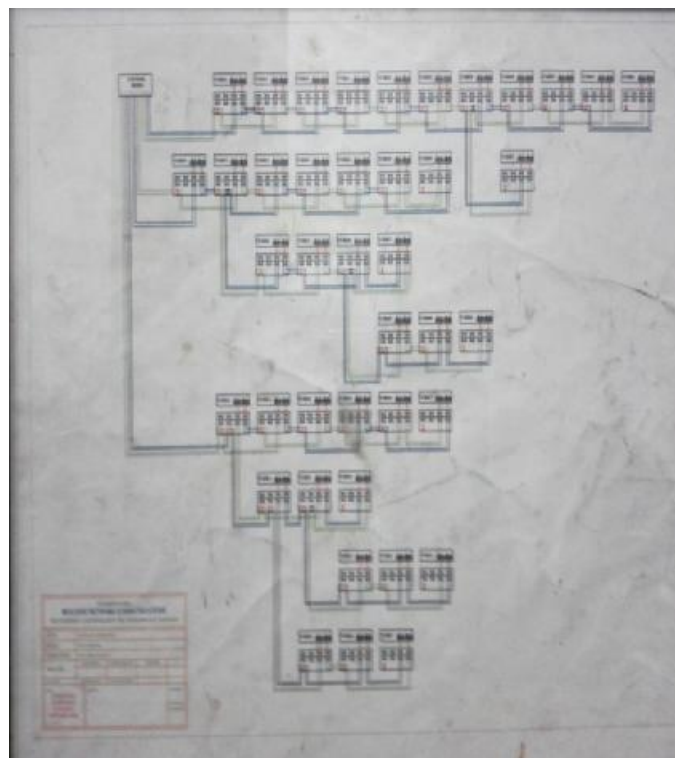


Εικόνα 5.4.1 Καλώδια σύνδεσης της Α/Γ με τον Μ/Σ.

Η σύνδεση των Α/Γ όπως φαίνεται και στις επόμενες εικόνες (5.4.2 & 5.4.3) είναι σε σειρά, χωρισμένες σε ομάδες. Κάθε ομάδα αποτελείται από 12-15 Α/Γ η ηλεκτρική ενέργεια των οποίων καταλήγει όπως θα δούμε στη συνέχεια σε πεδία Μ/Τ στο Κτήριο Ελέγχου.



Εικόνα 5.4.2 Σύνδεση των Α/Γ σε ομάδες



Εικόνα 5.4.3 Σύνδεση των Α/Γ σε ομάδες.

Τα καλώδια που συνδέουν τις Α/Γ μεταξύ τους είναι τύπου Α2ΧS2Υ διατομής 3x120 mm² όπως φαίνεται στην επόμενη εικόνα (5.4.4). Τα καλώδια αυτά θα συνδέουν την πλευρά Μ.Τ. του Υ/Σ της κάθε Ανεμογεννήτριας, με την πλευρά Μ.Τ. του Υ/Σ της επόμενης Ανεμογεννήτριας.



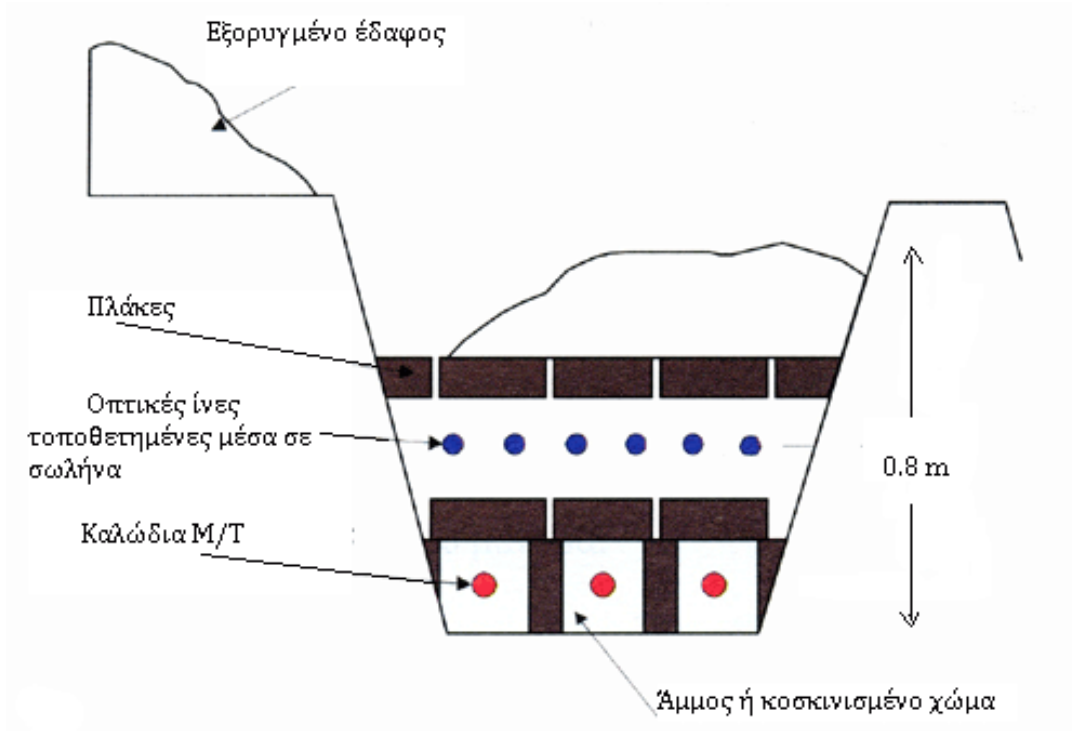
Εικόνα 5.4.4 Καλώδια σύνδεσης των Α/Γ μεταξύ τους.

Πριν από την σύνδεση κάθε ομάδας ανεμογεννητριών με το αντίστοιχο πεδίο (3-4 Α/Γ πριν) λόγω της μεγάλης απόστασης και της αντίστασης που δημιουργείται από αυτή, η διατομή των καλωδίων αλλάζει και χρησιμοποιούνται καλώδια ίδιου τύπου διατομής 3x240 mm². Εικόνα (5.4.5)



Εικόνα 5.4.5 Καλώδιο διασύνδεσης κάθε ομάδας Α/Γ με το αντίστοιχο πεδίο Μ.Τ.

Η όδευση των καλωδίων γίνεται μέσα σε κανάλι (χαντάκι) κατά μήκος του δρόμου πλάτους 0.5 m και βάθος 0.8 m. Ανά διαστήματα υπάρχουν σημάδια για την γνωστοποίηση της ύπαρξης του. Εικόνα (5.4.6).



Εικόνα 5.4.6 Κανάλι τοποθέτησης των καλωδίων και σημάδια γνωστοποίησης τους

5.4.2 Κτίριο Ελέγχου

Το κέντρο ελέγχου βρίσκεται στο εσωτερικό ενός κτιρίου κατάλληλα διαμορφωμένο ούτως ώστε να πραγματοποιείτε ο έλεγχος των ανεμογεννητριών. Το κτίριο αποτελείται από δωμάτια το καθένα από τα οποία περιέχει τα εξής :

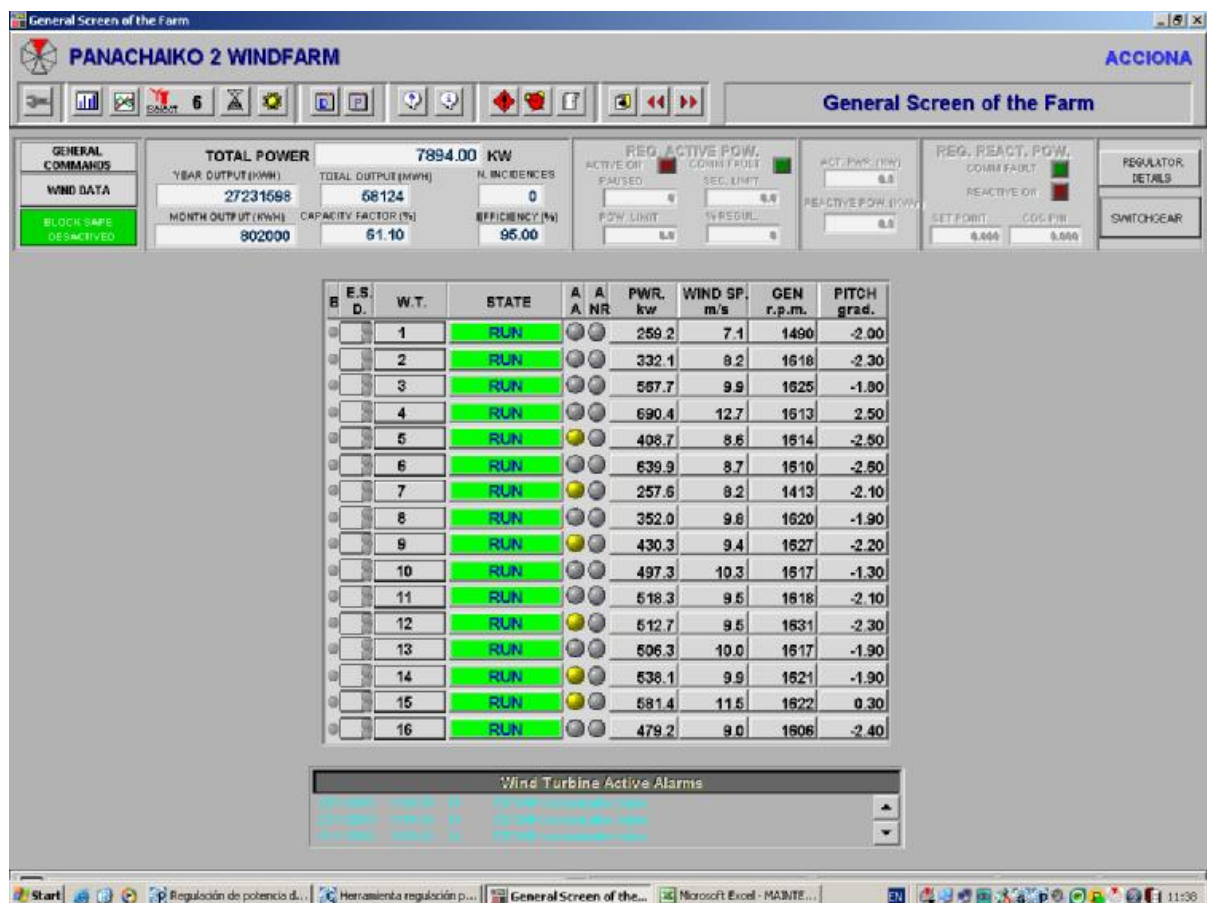
- i. Δωμάτιο με ηλεκτρονικούς υπολογιστές με τους οποίους ελέγχονται μέσω καταλλήλων προγραμμάτων η κατάσταση των Α/Γ Vesta V52 & Gamesa G52.
- ii. Δωμάτιο που περιλαμβάνει τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου SCADA (supervisory control and data acquisition) των δυο τύπων Α/Γ.
- iii. Δωμάτιο το οποίο περιέχει τα πεδία Μ.Τ και τον Μ/Σ 20/0.4 kV για την τροφοδοσία των βοηθητικών κυκλωμάτων και καταναλώσεων.
- iv. Και ένα δωμάτιο μέσα στο οποίο βρίσκονται οι μπαταρίες και το UPS.

i. Δωμάτιο Η/Υ.

Οι Η/Υ διαθέτουν προγράμματα ελέγχου τα οποία είναι διαφορετικά για την κάθε εταιρία. Στην εικόνα (5.4.7) φαίνεται το πρόγραμμα των 41 Α/Γ της Δανέζικης εταιρίας Vesta V52 και στην εικόνα (5.4.8) το πρόγραμμα των 16 Α/Γ της ισπανικής εταιρίας Gamesa G52 που είναι εγκατεστημένες στο πάρκο του Παναχαϊκού.



Εικόνα 5.4.7 Πρόγραμμα έλεγχου των 41 Α/Γ Vestas V52.



Εικόνα 5.4.8 Πρόγραμμα έλεγχου των 16 Α/Γ Gamesa G52.

Τα δύο αυτά προγράμματα μας ενημερώνουν για την κατάσταση κάθε ανεμογεννήτριας ανά πάσα στιγμή, την παραγόμενη ισχύ, την ταχύτητα του ανέμου σε m/s, της στροφές της σε r.p.m καθώς και για την κλίση που έχουν την συγκεκριμένη στιγμή τα περύγια.

Όλες οι πληροφορίες προέρχονται από τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου **SCADA** τα οποία είναι διασυνδεδεμένα με τους Η/Υ.

ii. Δομάτιο συστημάτων αυτομάτου ελέγχου SCADA

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου **SCADA** αποτελούνται από ελεγκτές κατάλληλα συνδεδεμένους σε όλες τις Α/Γ. Με τους ελεγκτές αυτούς μπορούμε να ελέγχουμε επί μέρους στοιχεία και μονάδες των Α.Γ, καθώς και το σταμάτημα ή το ξεκίνημα οποιασδήποτε Α/Γ. Πιο κάτω φαίνονται τα Scada εικόνα (5.4.9) της Vesta V52 και της Gamesa G52 αντίστοιχα.



Εικόνα 5.4.9 Συστήματα αυτομάτου έλεγχου SCADA Vestas V52 και Gamesa G52.

Η μεταφορά της πληροφορίας μεταξύ ανεμογεννητριών και του Scada γίνεται μέσω οπτικών ινών όπως φαίνεται και στην επόμενη εικόνα (5.4.10) η όδευση των οποίων γίνεται μέσα στο κανάλι που αναφέραμε προηγουμένως.



Εικόνα 5.4.10 Οπτικές ίνες για την μεταφορά της πληροφορίας.

iii. Δωμάτιο Πεδίων M/T και M/Σ 20/0.4kV

Σε ένα ανεξάρτητο και ειδικά διαμορφωμένο χώρο 40 m² είναι τοποθετημένα τα πεδία M/T και ο M/Σ υποβιβασμού της τάσης 20/0.4 kV για την τροφοδοσία των βοηθητικών κυκλωμάτων και των καταναλώσεων του κτιρίου.

Πεδία M/T.

Συνολικά υπάρχουν 6 Πινάκες Πεδίου, τοποθετημένοι ο ένας δίπλα στον άλλο. Είναι κατασκευασμένοι από χαλύβδινη λαμαρίνα 3mm και οι διαστάσεις τους είναι :

Ύψος : 2,20 m

Πλάτος : 0,60 m

Βάθος : 0,50 m

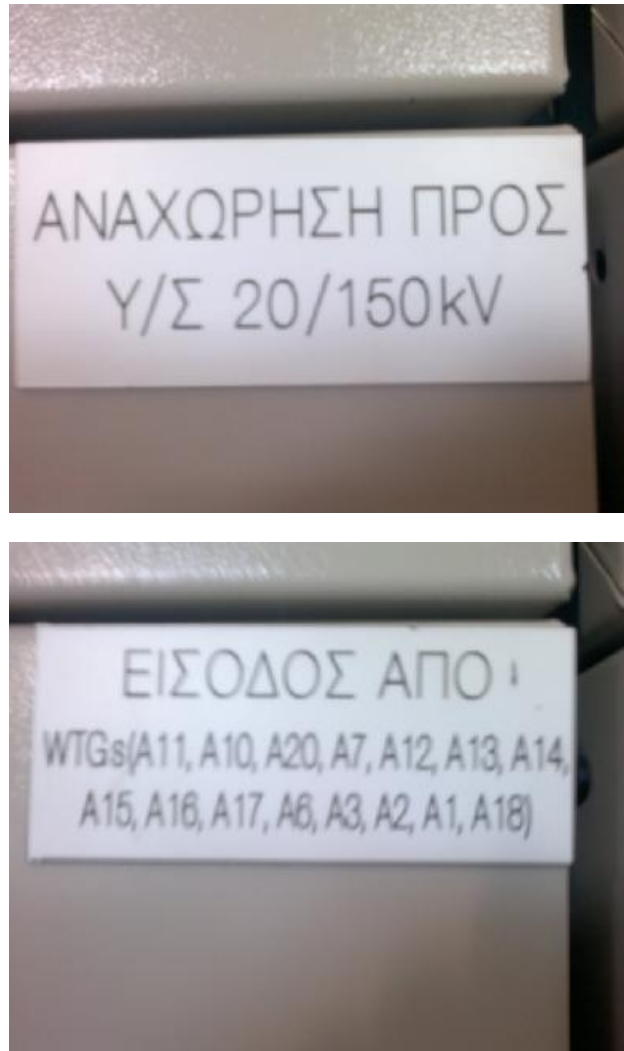
Όλα τα όργανα που πρέπει να χειρίζονται, διακόπτες, όργανα, ενδείξεις όπως θα δούμε και στη συνέχεια βρίσκονται στο εμπρόσθιο μέρος (εικόνα 5.4.11). Στο πίσω μέρος τους υπάρχει διάδρομος 1m για τις εργασίες εγκατάστασης και συντήρησης καθώς και μπάρες έτσι ώστε να μην επιτρέπουν τυχόν επαφή με τα υπό τάση αντικείμενα, για αυτό το λόγο ο χώρος αυτός είναι προσπελάσιμος μόνο από ειδικό προσωπικό. Στο κάτω μέρος υπάρχει χαντάκι διαστάσεων 1 x 0,5m για την διέλευση των καλωδίων.

Το πάρκο στο Παναχαϊκό είναι κατάλληλα κατασκευασμένο ώστε η παραγόμενη ισχύ από κάθε ομάδα Α/Γ να καταλήγει σε ένα ξεχωριστό πεδίο M/T. Έτσι, ο έλεγχος της ισχύος πραγματοποιείται σε 3 πεδία για τις 41 Α/Γ Vestas V52 και σε 1 πεδίο για τις υπόλοιπες 16 Α/Γ Gamesa G52. Τέλος, υπάρχουν 2 πεδία στα οποία συσσωρεύεται η συνολική ισχύς όλων των Α/Γ του αιολικού πάρκου και καταλήγει στον Υ/Σ 20/150kV.



Εικόνα 5.4.11 Εμπρόσθιο μέρος πεδίων M.T.

Όπως είπαμε τα πεδία χωρίζονται σε τέσσερα πεδία άφιξης της παραγόμενης τάσης και δυο πεδία αναχώρησης της τάσης αυτής, προς τον υποσταθμό του αιολικού πάρκου. Κάθε πεδίο στο επάνω μέρος του είναι αριθμημένο και φέρει πινακίδα που αναγράφεται αν είναι αναχώρησης ή άφιξης καθώς και τις ανεμογεννήτριες που είναι συνδεδεμένες σε αυτό (εικόνα 5.4.12).



Εικόνα 5.4.13 Πινακίδα αναγραφής αναχώρησης και άφιξης των πεδίων Μ.Τ.

Στην εμπρόσθια πλευρά κάθε πεδίου βρίσκονται οι διακόπτες χειρισμού, όργανα ένδειξης και σήμανσης. Αναλυτικότερα στο κάτω μέρος είναι τοποθετημένος ο ηλεκτρονόμος προστασίας, της εταιρίας Schneider Electric για την προστασία της γραμμής, ένα αναλογικό αμπερόμετρο για την ένδειξη της έντασης του ρεύματος και ένας διακόπτης δυο θέσεων (OFF-ON). Ο διακόπτης REMOTE CONTROL (εικόνα 5.4.14) χρησιμεύει ώστε να επιλεγούμε αν θέλουμε να υπάρχει η δυνατότητα έλεγχου κάθε πεδίου ξεχωριστά από απόσταση μέσω Η/Υ.



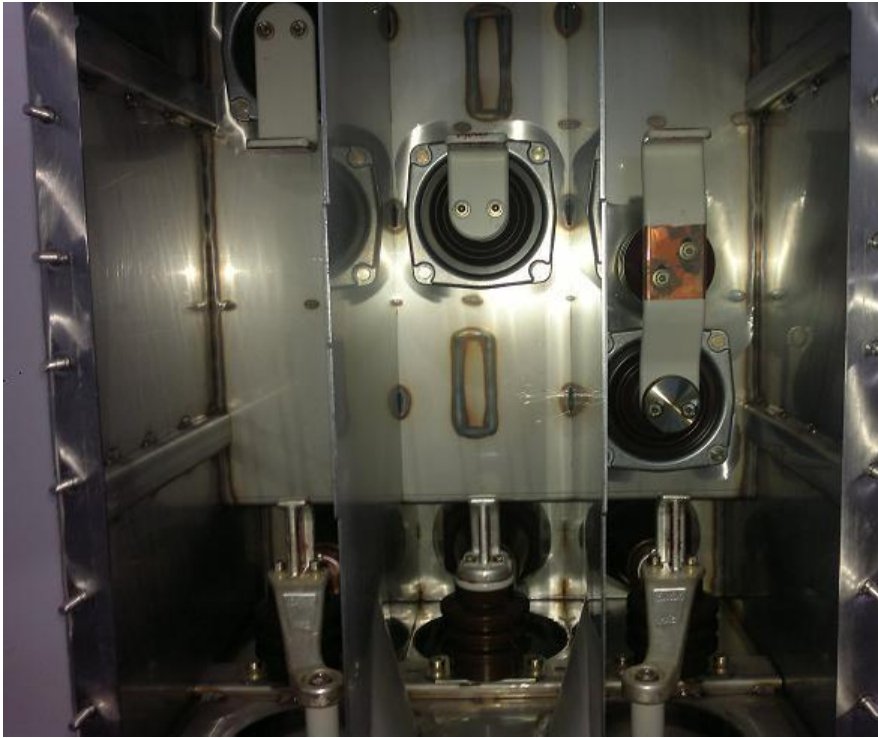
Εικόνα 5.4.14 Διακόπτης Remote Control.

Επίσης στην εμπρόσθια πλευρά κάθε πεδίου διακρίνουμε τα buttons (μπουτόν) για το άνοιγμα και το κλείσιμο των διακοπών καθώς και το μονογραμμικό διάγραμμα των διακοπών του γειωτή. Οι γειωτές χρησιμοποιούνται για να απομονώσουμε σίγουρα ένα κύκλωμα (τάση προς γη), έτσι ώστε να γίνουν εργασίες πάνω σε αυτό. Η σειρά χειρισμών του γειωτή σε σχέση με τους διακόπτες του κυκλώματος που ανήκει είναι :

- **Στη γείωση:** Πρώτα ανοίγει ο αποζεύκτης και μετά κλείνει ο γειωτής.
- **Στην απογείωση:** Πρώτα ανοίγει ο γειωτής και μετά κλείνει ο αποζεύκτης.

Οι παραπάνω ενέργειες πρέπει να τηρούνται αυστηρά, για αυτό και στα πεδία αναχώρησης της τάσης των 20kV προς τον υποσταθμό του αιολικού πάρκου υπάρχουν πινακίδες που μας προειδοποιούν ότι "ΑΠΑΓΟΡΕΥΕΤΑΙ Ο ΧΕΙΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΓΕΙΩΤΗ ΟΤΑΝ Η ΓΡΑΜΜΗ ΕΙΝΑΙ ΥΠΟ ΤΑΣΗ" (εικόνα 5.4.11).

Τα πεδία έχουν δυο τμήματα. Στο πρώτο το κάτω τμήμα έχουμε τα στοιχεία της αναχώρησης ή άφιξης, π.χ. καλώδια, αποζεύκτης, γειωτές και πιο πάνω, στο δεύτερο τμήμα βρίσκονται οι ζυγοί. Οι ζυγοί συνδέονται με τα πεδία με μονωτήρες διέλευσης (εικόνα 5.4.15). Μεταξύ των ζυγών υπάρχει λαμαρίνα πάχους 3mm για λόγους στιβαρότητας και αντοχής στο ηλεκτρικό τόξο περιορίζοντας το σε εκείνο το κομμάτι του πεδίου που υπάρχει και το σφάλμα (εικόνα 5.4.16).



Εικόνα 5.4.15 Μονοτιρες διελευσης.



Εικόνα 5.4.16 Ζυγοι πεδιων Μ.Τ.

Η σβέση του τόξου στους διακόπτες Μ.Τ στηρίζεται στην πίεση του αερίου SF6. Το SF6 είναι ένα αδρανές αέριο υπό πίεση με μοναδικές ιδιότητες. Η πίεση του αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος χώρου, για αυτό, τους καλοκαιρινούς κυρίως μήνες όπου η θερμοκρασία ανεβαίνει πρέπει η πίεση να ελέγχεται ώστε να μην πέσει κάτω από 0.45 bar. Ο έλεγχος γίνεται με το όργανο της επόμενης εικόνας (εικόνα 5.4.17).



Εικόνα 5.4.17 Όργανο μέτρησης πίεσης αερίου.

Μ/Σ 20/0.4kV

Στο ίδιο δωμάτιο με τα πεδία Μ/Τ, σε ιδικά διαμορφωμένο χώρο με συρματοπλέγμα έχει τοποθετηθεί και ο Μ/Σ υποβιβασμού 20/0.4 kV, για την τροφοδότηση των βοηθητικών κυκλωμάτων και των καταναλώσεων του κτιρίου. Ο Μ/Σ όπως φαίνεται και στην διπλανή εικόνα (εικόνα 5.4.18) είναι ελαίου, τριφασικός, ονομαστικής ισχύος 1000VA.



Εικόνα 5.4.18 Μ/Σ υποβιβασμού 20/0,4 kV

iv. Δωμάτιο τοποθέτησης μπαταριών και συσκευών UPS.



Οι μπαταρίες και οι συσκευές UPS (Uninterruptible power supply) είναι τοποθετημένα σε έναν ξεχωριστό χώρο. Συνολικά είναι τοποθετημένες 92 μπαταρίες συνδεδεμένες σε σειρά (εικόνα), η τάση των οποίων τροφοδοτεί τις ανάγκες του κτιρίου για όσο διάστημα υπάρχει διακοπή ρεύματος. Η τροφοδότηση των Η/Υ και των συστημάτων αυτομάτου έλεγχου SCADA πραγματοποιείται με δυο UPS, ένα για την εταιρία των Vesta V52 και το άλλο για των Gamesa G52.

Εικόνα 5.4.19 Μπαταρίες τροφοδοσίας των UPS.

5.4.3 Διασύνδεση του Κέντρου Ελέγχου με τον υποσταθμό του πάρκου και το δίκτυο της ΔΕΗ

Από τα δυο πεδία αναχώρησης της τάσης των 20kV αναχωρούν 6 συνολικά καλώδια (3 από το ένα και 3 από το άλλο) προς τον Υ/Σ 20/150kV. Τα καλώδια έχουν διατομή 400 mm² και ο τύπος τους είναι ίδιος (A2XS2Y) με τα υπόλοιπα του αιολικού πάρκου (εικόνα 5.4.20). Η διέλευση τους γίνεται υπόγεια μέσα σε κανάλι (χαντάκι) 0.80 m ύψους και 0,50 m πλάτους.



Εικόνα 5.4.20 Καλώδιο σύνδεσης των πεδίων Μ.Τ με τον Υ/Σ του πάρκου.

Η τάση από τον Υ/Σ του πάρκου αναχωρεί με εναέρια καλώδια μέσω πυλώνων Υ.Τ που έχει τοποθετήσει η ΔΕΗ, και καταλήγει στον Υ/Σ της ΔΕΗ στο Ρίο (εικόνα 5.4.21) και μέσω υποθαλάσσιου καλωδίου στον υποσταθμό του Αιτωλικού.



Εικόνα 5.4.21 Πυλώνας Υ.Τ στον Υ/Σ της ΔΕΗ στο Ρίο.

5.5 Γείωση Ασφαλείας & αντικεραυνική προστασία των Α/Γ VESTAS V52 & GAMESA G52

Το αιολικό πάρκο Παναχαϊκού είναι εγκατεστημένο σε σχετικά βραχώδη έδαφος με αυξημένη αντίσταση γείωσης και βρίσκεται σε υψόμετρο 1500m – 1800m από την επιφάνεια της θάλασσας κάτι που το κάνει ιδιαίτερα ευάλωτο στους κεραυνούς .

Με αφορμή τους παραπάνω λόγους η γείωση κάθε υποσταθμού και της αντίστοιχης ανεμογεννήτριας είναι συνδυασμός θεμελιακής γείωσης με ταινίες γείωσης επιψευδαργυρωμένου χάλυβα, τοποθετημένες ακτινικά οριζόντια στο έδαφος εικόνα (5.5.1) σχηματίζοντας μεταξύ τους γωνία 45°.



Εικόνα 5.5.1 Ταινίες γείωσης.

Αυτή η μορφή γείωσης εξασφαλίζει τα εξής πλεονεκτήματα :

- i. Σταθερή τιμή αντίστασης γείωσης χειμώνα καλοκαίρι.
Παρουσιάζει αντίσταση μικρότερη των 10Ω , διότι λόγω του βάθους που εγκαθιστάτε ο γειωτής, η συγκέντρωση υγρασίας του υπεδάφους είναι σχεδόν σταθερή καθ'όλη τη διάρκεια του έτους.
- ii. Εξάλειψη βηματικών τάσεων.
Λόγο της μικρής τιμής αντίστασης που έχει αλλά και λόγω του βάθους που βρίσκεται η θεμελιακή γείωση, οι τυχόν βηματικές τάσεις που αναπτύσσονται είναι συνήθως σε τιμές μικρότερες από τις αποδεκτές τιμές, χωρίς την ανάγκη λήψης πρόσθετων μέτρων που απαιτούν οι άλλες μορφές γειώσεων.
- iii. Ισοδυναμικές συνδέσεις.
Η διασύνδεση του οπλισμού με τη θεμελιακή γείωση και η έκταση της περιμετρικά, καθιστούν την προστασία από τάσης επαφής εύκολη υπόθεση καθώς οι ισοδυναμικές επιφάνειες που δημιουργούνται δεν επιτρέπουν την ανάπτυξη επικίνδυνων τάσεων σε μεταλλικές εγκαταστάσεις π.χ. μεταλλική σκάλα που βρίσκονται στο χώρο της ανεμογεννήτριας.
- iv. Ευελιξία για εγκατάσταση ΣΑΠ (Συστήματος Αντικεραυνικής Προστασίας).
Έναντι άλλων μορφών γειώσεων, η θεμελιακή μπορεί να χρησιμοποιηθεί παράλληλα και για γείωση του εξωτερικού ΣΑΠ όπως θα μελετήσουμε και παρακάτω.

Αντικεραυνική προστασία

Η πτώση κεραυνού προκαλεί συχνά σοβαρές βλάβες στις ανεμογεννήτριες όπως:

- i. Τη καταστροφή των περυγίων Εικόνα (5.5.2).
- ii. Τη καταστροφή της νασέλλας μέσα στην οποία βρίσκονται τα περισσότερα σημαντικά μέρη μιας ανεμογεννήτρια Εικόνα (5.5.3).



Εικόνα 5.5.2 Καμένο φτερό από κεραυνό.



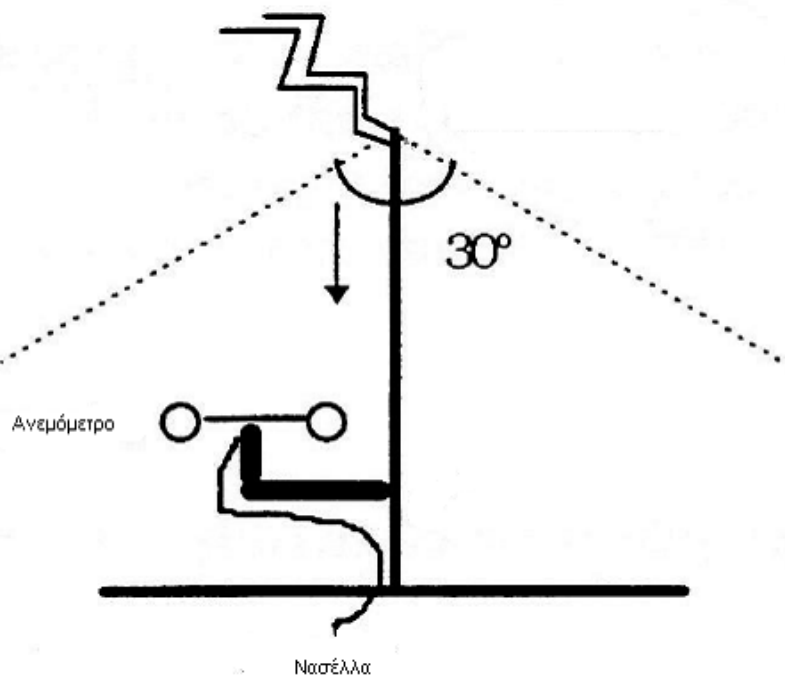
Εικόνα 5.5.3 Καμένη νασέλλα από κεραυνό.

Για να αποφευχθούν οι παραπάνω καταστροφές οι ανεμογεννήτριες προστατεύονται από ολοκληρωμένο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας από τα πτερύγια, τη νασέλλα, μέχρι τις αναμονές της θεμελιακής γείωσης εικόνα (5.5.4) μέσω των αγωγών καθόδου διατομής 50mm². Το σύστημα αυτό παρέχει προστασία στα κρίσιμα εξαρτήματα της ανεμογεννήτριας όπως πτερύγια, νασέλλα, γεννήτρια, πίνακες, σύστημα ελέγχου και αισθητήρες.



Εικόνα 5.5.4 Αναμονές της θεμελιακής γείωσης για την σύνδεση των αγωγών καθόδου.

Οι A/T Vestas V52 και Gamesa G52 συμπεριλαμβάνουν αντικεραυνική προστασία στην άκρη των φτερών με τοποθέτηση ηλεκτροδίου σε κάθε ένα από αυτά, πράγμα το οποίο πολλοί κατασκευαστές δεν προσφέρουν. Επίσης, ένα από τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας είναι και το ανεμόμετρο. Για λόγους αντικεραυνικής προστασίας το ανεμόμετρο είναι συχνά τοποθετημένο κάτω από έναν ιστό στον οποίο καταλήγει ο κεραυνός. Ο ιστός είναι 1m ψηλότερα από το ανεμόμετρο ώστε το ανεμόμετρο να βρίσκεται μέσα στον κώνο προστασίας των 30° όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (5.5.5).



Εικόνα 5.5.5 Ιστός για την αντικεραυνική προστασία της νασέλλας και του ανεμόμετρου.

5.6 Κόστος κατασκευής αιολικού πάρκου.

Το πρώτο πάρκο που περιλαμβάνει τις 41 Α/Γ της εταιρίας **Vestas V52** εγκαινιάστηκε της 16/7/2006 και κόστισε συνολικά, περίπου **57.250.000** ευρώ. Η συμμετοχή των χρημάτων για την υλοποίηση του έργου φαίνεται στον πίνακα 5.6.1.

Ιδιωτική συμμετοχή της εγκαταστάτριας εταιρίας Acciona Energy.	40.800.000
Εθνική συμμετοχή για την κάλυψη μέρους του προϋπολογισμού του έργου.	3.700.000
Δανειοδότηση ΕΣΠΑ (Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς) για ΑΠΕ 2000 - 2006	12.750.000

Πίνακας 5.6.1

Το δεύτερο μέρος του πάρκου με τις 16 Α/Γ της εταιρίας **Gamesa G52** τελείωσε τον Αύγουστο του 2009 και κόστισε περίπου **15.639.900**. Η συμμετοχή των χρημάτων για την υλοποίηση του έργου φαίνεται στον πίνακα 5.6.2.

Ιδιωτική συμμετοχή της εγκαταστάτριας εταιρίας Acciona Energy.	10.166.000
Εθνική συμμετοχή για την κάλυψη μέρους του προϋπολογισμού του έργου.	821.000
Δανειοδότηση ΕΣΠΑ (Εθνικό Στρατηγικό Πλαίσιο Αναφοράς) για ΑΠΕ 2007 – 2013	4.652.900

Πίνακας 5.6.2

Εκτός από τα κόστη που αναφερθήκαν υπάρχουν και τα παρακάτω κόστη το σύνολο των οποίων ανέρχεται σε **10.000.000** ευρώ.

- Κόστος δανειοδότησης.
- Κόστος ανεμολογικών μετρήσεων.
- Κόστος κτιρίου ελέγχου.
- Κόστος κατασκευής Υ/Σ.
- Κόστος διασύνδεσης Υ/Σ.
- Κόστος μεταφοράς υλικών.

Συνοψίζοντας το συνολικό κόστος του Αιολικού Πάρκου Παναχαϊκού της κατασκευάστριας εταιρίας **ACCIONA Energy** υπολογίζετε στον επόμενο πίνακα 5.6.3.

Συνολικό κόστος Αιολικού Πάρκου Παναχαϊκού.	
Κόστος πρώτου πάρκου (41 Α/Γ)	57.250.000
Κόστος δεύτερου πάρκου (16 Α/Γ)	15.639.900
Λοιπά κόστη	10.000.000
Συνολικό κόστος πάρκου	82.889.900

Πίνακας 5.6.3

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΑ

Electrical Operating and Maintenance (Manual V52 - 850 KW / Vestas Wind System A/S)

Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών Μέσης και Χαμηλής Τάσης (Πέτρος Ντοκόπουλος)

Διαχείριση αιολικής ενέργειας (Ιωάννης Καλδέλλης Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε.)

Wind Energy Basics (Paul Gipe)

Ανεμοκινητήρες (Γ. Μπεργελές, εκδόσεις Συμμεών)

Development of Induction Machines in Wind Power Technology (Stefan Soter, *Member, IEEE*, Ralf Wegener, *Student Member, IEEE* Institute of Electrical Drives and Mechatronics University of Dortmund, Germany)

Market penetration of wind turbine concepts over the years Anca D. Hansen & Lars H. Hansen

Analysis of Electric Machinery and Drive Systems second edition ,P.C. Krause, O. Wasynchuk, S.D. Sudhoff, IEEE SERIES on power engineering

Διαδίκτυο:

<http://www.fosen.gr>

<http://www.acciona-energia.com>

<http://www.energotech.gr>

<http://www.voria.gr>

<http://www.cres.gr>

<http://www.ykeka.gr>

<http://www.rae.gr>

<http://www.vestas.com>

<http://www.ypan.gr>

<http://www.eunice-group.com>

<http://www.windpower.org>

<http://www.geocities.com>

<http://genesis.ee.auth.gr>

Ευχαριστίες:

Βορίλας Παναγιώτης (τεχνικός εταιρίας Vestas / παροχή πληροφοριών)

Παπαδημητρίου Χρήστος (υπεύθυνος κατασκευάστριας εταιρείας ACCIONA Energy / παροχή πληροφοριών)