

**Τ.Ε.Ι ΣΕΡΡΩΝ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΝΕΜΟΓΕΝΗΤΡΙΕΣ: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ, ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ,**

**ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΟΣΤΟΥΣ – ΩΦΕΛΕΙΑΣ**

**Σπουδαστής: ΚΑΛΑΝΤΖΗΣ ΜΗΝΑΣ**

**Επιβλέπων: ΜΟΣΧΙΔΗΣ ΝΙΚΟΣ**

**ΣΕΡΡΕΣ 2008**



## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

*Ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Νίκο Μοσχίδη για την βοήθεια που μου πρόσεφερε, την υπομονή που επέδειξε, τις συμβουλές του καθώς και για τον χρόνο που μου αφιέρωσε.*

*Ευχαριστώ, επίσης, την ΑΝΥΨΩΤΙΚΗ Α.Ε και ιδιαίτερα τον κ. Γιάννη Κούκη που μου έδωσε την ευκαιρία να δουλέψω στην συναρμολόγηση ανεμογεννητριών.*

*Τέλος ευχαριστώ μέσα απ' τη καρδιά μου τους Αθανάσιο Σιάσιο, Περικλή και Χαράλαμπο Μαρίνο, Χρήστο Κουκιά, Θοδωρή Γερονάτιο, Πρόδρομο Σερεμετάκη και Άγγελο Χήτο για τις τεχνικές γνώσεις που μου προσέφεραν πάνω στον τομέα των ανεμογεννητριών και όχι μόνο.*

## 1. ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ Α.Π.Ε.

1.1.	Εισαγωγή .....	1
1.2.	Κύριες αιτίες κατασπατάλησης της ενέργειας .....	2
1.3.	Παγκόσμια ενεργειακή αγορά.....	2
1.4.	Ελληνική ενεργειακή αγορά .....	3
1.5.	Ενέργεια και περιβάλλον .....	5
1.6.	Στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας .....	7
1.7.	Μορφές Α.Π.Ε.....	9
1.8.	Πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε.....	11
1.9.	Μειονεκτήματα των Α.Π.Ε.....	12

## 2. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

2.1.	Προέλευση της αιολικής ενέργειας.....	13
2.2	Ιστορική εξέλιξη αιολικών μηχανών .....	15
2.3.	Η αιολική ενέργεια στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά .....	19
2.4.	Η αιολική ενέργεια στην ελληνική ενεργειακή αγορά .....	22
2.5.	Μειονεκτήματα αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας .....	26
2.6.	Πλεονεκτήματα αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας .....	28

## 3. ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

3.1.	Κατάταξη αιολικών μηχανών .....	31
3.2	Μηχανές κατακόρυφου άξονα .....	34
3.3	Μηχανές οριζόντιου άξονα.....	36
3.4	Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη αιολικών μηχανών.....	38
3.5	Σύγκριση μηχανων οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα.....	40
3.6	Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας ανεμογεννήτριας .....	41

#### 4. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ

4.1.	Θεμελίωση .....	43
4.2.	Πύργος .....	45
4.3.	Άτρακτος.....	60
4.4.	Ρότορας .....	68
4.5.	Πτερύγια.....	72
4.6.	Σύστημα μεταβολής βήματος των πτερυγίων (pitch) .....	78
4.7.	Κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών .....	81
4.8.	Ηλεκτρική γεννήτρια .....	83
4.9.	Άξονας χαμηλής ταχύτητας .....	84
4.10.	Άξονας υψηλής ταχύτητας.....	86
4.11.	Ελαστικός σύνδεσμος .....	87
4.12.	Σύστημα περιστροφής και προσανατολισμού .....	88
4.13.	Υδραυλικό σύστημα.....	91
4.14.	Σύστημα πέδησης.....	92
4.15.	Ανεμόμετρο.....	93
4.16.	Ανεμοδείκτης .....	94
4.17.	Μονάδα ελέγχου.....	95
4.18.	Φάρος ανεμογεννήτριας .....	96
4.19.	Μετασχηματιστής .....	97
4.20.	Αισθητήρες ανεμογεννήτριας .....	97
4.21.	Αντικεραυνική προστασία .....	99
4.22.	Λειτουργία ανεμογεννήτριας.....	101

## 5. ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

5.1.	Άνεμος και ατμοσφαιρική κυκλοφορία .....	100
5.2.	Ένταση του ανέμου.....	102
5.3.	Διεύθυνση του ανέμου .....	107
5.4.	Προσδιορισμός αιολικού δυναμικού .....	111
5.5.	Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους .....	117
5.6.	Επίδραση επιφανειακών εμποδίων.....	119
5.7.	Επίδραση του τοπικού ανάγλυφου της περιοχής.....	120
5.8.	Τυρβή και διάτμηση .....	121
5.9.	Επίδραση ύψους στο διαθέσιμο αιολικό δυναμικό .....	122
5.10	Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με τον χρόνο .....	123

## 6. ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

6.1.	Επενδύσεις σε αιολικά συστήματα .....	130
6.2.	Κριτήρια αξιολόγησης ενεργειακών επενδύσεων .....	130
6.3.	Αρχικό κόστος επένδυσης αιολικού πάρκου .....	132
6.4.	Κόστος συντήρησης και λειτουργίας αιολικού πάρκου .....	134
6.5.	Τιμολόγια πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας .....	136
6.6.	Διεθνής ανταγωνισμός και κόστος αγοράς αιολικών μηχανών.....	137
6.7	Αιολική ενέργεια, τοπική ανάπτυξη και απασχόληση .....	140
6.8.	Συμπεράσματα.....	142

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup> ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ Α.Π.Ε

## 1.1. Εισαγωγή

Οι σύγχρονες κοινωνίες καταναλώνουν τεράστιες ποσότητες ενέργειας για τη θέρμανση χώρων (κατοικιών και γραφείων), τα μέσα μεταφοράς, την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και για τη λειτουργία των βιομηχανικών μονάδων. Με την πρόοδο της οικονομίας και την αύξηση του βιοτικού επιπέδου, η ενεργειακή ζήτηση αυξάνεται ολοένα. Στις μέρες μας, το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιούμε προέρχεται από τις συμβατικές πηγές ενέργειας που είναι το πετρέλαιο η βενζίνη και ο άνθρακας. Πρόκειται για μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που αργά η γρήγορα θα εξαντληθούν. Η παραγωγή και χρήση της ενέργειας που προέρχεται από αυτές τις πηγές δημιουργούν μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα με αιχμή τους, το γνωστό σε όλους μας, φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Από την άλλη πλευρά, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε) ανανεώνονται μέσω του κύκλου της φύσης και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας που η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον και είναι οι πρώτες μορφές ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά, μέχρι τις αρχές του 20ου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην εντατική χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και για την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδοτικών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους παρουσιάσθηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή χρήση του 1979 και παγιώθηκε την επόμενη δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μία σημαντική εγχώρια πηγή ενέργειας, με μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό και εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν και στην προστασία του περιβάλλοντος, καθώς η αξιοποίησή τους δεν το επιβαρύνει, αφού δεν συνοδεύεται από παραγωγή ρύπων ή αερίων που ενισχύουν τον κίνδυνο για κλιματικές αλλαγές. Έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας

είναι ο πρωταρχικός υπεύθυνος για τη ρύπανση του περιβάλλοντος, καθώς σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων.

## 1.2. Κύριες αιτίες κατασπατάλησης της ενέργειας

1. Συνεχής αύξηση της κατά κεφαλήν κατανάλωσης ενέργειας
2. Ανομοιομορφία στην παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας
3. Αύξηση του πλυθισμού της γης
4. Απώλειες συστημάτων παραγωγής και μεταφοράς ενέργειας
5. Μη ορθολογική χρήση της ενέργειας
6. Αδιαφορία και σπατάλη ενέργειας

## 1.3. Παγκόσμια ενεργειακή κατανάλωση

Η κατανάλωση ενέργειας εμφάνισε δραματική αύξηση, ιδιαίτερα το τελευταίο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα. Παρακάτω παρουσιάζεται η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας κατά πηγή, τα τελευταία 40 χρόνια. Ως μονάδα μέτρησης της ενέργειας στις περιπτώσεις αυτές εμφανίζεται το 1 Quad (1Q) ή το 1mQ( =10<sup>-3</sup>Q ), η οποία αποτελεί μια τεράστια ποσότητα ενέργειας, καθώς 1Q = 10<sup>18</sup> B.T.U = 2929\*10<sup>14</sup>kWh. Επίσης το 1Q είναι αντίστοιχα ισοδύναμο με 26.92 δισεκατομμύρια τόνους πετρελαίου.

Ενεργειακή πηγή	1960	1970	1980	1985	1990	1995	2000
Άνθρακες	61.5	63.0	72.7	84.1	93.2	90.6	91.2
Πετρέλαιο	45.3	97.1	128.1	115.4	129.5	133.3	146.5
Φυσικό αέριο	18.0	40.7	59.8	70.0	82.7	88.4	100.4
Α.Π.Ε	6.9	13.7	21.0	24.2	26.5	30.4	32.5
Πυρηνική	-	0.9	7.6	15.3	20.3	23.2	25.5
<b>Σύνολο</b>	<b>131.7</b>	<b>215.4</b>	<b>289.3</b>	<b>309.1</b>	<b>352.2</b>	<b>365.9</b>	<b>396.1</b>

*Πλανητική ενεργειακή κατανάλωση (mQ) κατά πηγή*

Απο τον παραπάνω πίνακα βγαίνει το συμπέρασμα ότι υπάρχει σημαντικότερη αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας, η οποία σε σαράντα χρόνια έχει υπερτριπλασιασθεί, ενώ το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο αποτελούν σήμερα την κύρια πηγή πρωτογενούς ενέργειας. Σημαντική συμβολή στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο έχει και η πυρηνική ενέργεια.

Τα τελευταία χρόνια η μέση ετήσια παγκόσμια αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ του 3% και 5%, το οποίο μεταφράζεται σε διπλασιασμό της κατανάλωσης ενέργειας κάθε δεκατέσσερα έως είκοσι

χρόνια. Το γεγονός αυτό απο μόνο του είναι αρκετά ανησυχητικό, ιδίως αν συνδυαστεί με την αναμενόμενη εξάντληση των βεβαιωμένων αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων.

#### 1.4. Ελληνική ενεργειακή αγορά

Η ενεργειακή εικόνα της χώρας μας δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφορές απο τις αντίστοιχες ευρωπαϊκές χώρες που δε διαθέτουν δική τους παραγωγή πετρελαίου ή φυσικού αερίου. Τα βεβαιωμένα κοιτάσματα λυγνιτών που υπάρχουν κυρίως στη Μακεδονία και στη Μεγαλόπολη υπολογίζονται σε 5 εως 6.7 δισεκατομμύρια τόνους, ενώ το πετρελαϊκό κόιτασμα του Πρίνου θεωρείται πρακτικά εξαντληθέν, καθώς η αντίστοιχη παραγωγή της χώρας μας τα έτη 2001-2002 δεν ξεπερνά τα 1.5 εκατομμύρια βαρέλια ετησίως.

Πηγή ενέργειας	1991	2000	2002
Στερεά καύσιμα	6859	8222	8914
Πετρέλαιο	14629	19527	20569
Φυσικό αέριο	140	1689	1755
Α.Π.Ε	1230	1403	1396
Εισαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας	848	766	890
<b>Σύνολο</b>	<b>23706</b>	<b>31607</b>	<b>33524</b>

*Εγχώριο ενεργειακό ισοζύγιο σε χιλ. Τ.Ι.Π*

Μορφή ενέργειας	1973	1979	1986	1991	1996	2000	2002
Λιγνίτης-Άνθρακας	18.0	22.4	34.7	28.9	28.9	26	26.6
Πετρέλαιο	77.2	71.6	58.6	61.7	61.8	61.8	61.4
Φυσικό αέριο	0	0	0	0.6	0.5	5.3	5.2
Α.Π.Ε	4.7	5.7	4.8	5.2	4.8	4.4	4.2
Εισαγωγή ηλεκτρ. ενέργειας	0.1	0.3	1.9	3.6	4	2.4	2.7
<b>Σύνολο</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

*Διαχρονική διαμόρφωση εγχώριου ενεργειακού ισοζυγίου (%)*

Σε ενεργειακούς υπολογισμούς μεγάλης κλίμακας χρησιμοποιούνται και άλλες μονάδες ενέργειας όπως:



1 Τ.Ι.Π. = (Τόνος Ισοδυνάμου Πετρελαίου): Είναι η ενέργεια που αποδίδεται από την καύση 1000 kg πετρελαίου καθαρής θερμογόνου δύναμης 10000 kcal/kg

$$1 \text{ Τ.Ι.Π.} = 10 \cdot 10^6 \text{ kcal} = 41.87 \text{ GJ}$$

Όπως παρατηρούμε και από τους δύο πίνακες η ελληνική οικονομία εξακολουθεί να στηρίζεται κατά κύριο λόγο στο εισαγόμενο πετρέλαιο, εστω και αν η συμμετοχή του στο ενεργειακό ισοζύγιο παρουσιάζει διαχρονικά μια αισθητή κάμψη. Σημαντική είναι επίσης και η πρόσφατη παρουσία του εισαγόμενου φυσικού αερίου. Αντίθετα, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μόλις και μετά βίας καλύπτουν το 5% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, κυρίως λόγω της συμβολής των μεγάλων υδροηλεκτρικών έργων, εμφανίζοντας μάλιστα σταδιακή μείωση της συμμετοχής τους.

Η ελάχιστη συμμετοχή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο συνδυάζεται δυστηχώς με την περιορισμένη ενεργειακή αυτάρκεια της χώρας μας, η οποία μειώθηκε από 41% το 1986 σε μόλις 30.8% το 2002, παρόλη την εξαντλητική εκμετάλλευση των εγχώριων λιγνιτικών κοιτασμάτων. Ο χαμηλός συντελεστής ενεργειακής αυτάρκειας της χώρας μας, σε σύγκριση με το 52% του συνόλου των χωρών της Ε.Ε, οφείλεται στην παντελή απουσία μέτρων εξοικονόμησης ενεργειακών πόρων και στη σοβαρή καθυστέρηση της ένταξης των ανανεώσιμων πηγών στην εγχώρια παραγωγή ενέργειας. Τα παραπάνω δεδομένα μεταφράζονται στο ότι το 70% της εγχώριας ενεργειακής κατανάλωσης προέρχεται από εισαγόμενο πετρέλαιο και φυσικό αέριο, με αποτέλεσμα η οικονομία, αλλά και η γενική ενεργειακή πολιτική της χώρας να εξαρτώνται ισχυρά από εισαγόμενα καύσιμα. Αρνητικό είναι επίσης το γεγονός ότι η ελληνική βιομηχανία χαρακτηρίζεται από σπατάλη και κακή διαχείριση της ενέργειας. Έτσι ενώ στη χώρα μας η κατά κεφαλήν καταναλισκόμενη ενέργεια είναι σαφώς μικρότερη από το μέσο όρο της Ε.Ε, ταυτόχρονα η ενεργειακή κατανάλωση ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος είναι πολύ μεγαλύτερη των υπολοίπων ανεπτυγμένων χωρών.

Έτος	1973	1979	1986	1991	1996	2000	2002
Εγχώρια ενέργεια	18.9	25.3	41.0	34.1	33.7	30.5	30.8
Εισαγόμενη ενέργεια	81.1	74.7	59.0	65.9	66.3	69.5	69.2
<b>Σύνολο</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

*Ενεργειακός συντελεστής αυτάρκειας της Ελλάδος*

Συμπερασματικά πρέπει να υπογραμμίσουμε ότι η ελληνική ενεργειακή κατάσταση χαρακτηρίζεται από έντονη εξάρτηση από τις εισαγωγές πετρελαίου και φυσικού αερίου, από σπατάλη και κακή χρήση των διαθέσιμων ενεργειακών πόρων και από τον αποκλεισμό των Α.Π.Ε από το ενεργειακό ισοζύγιο.

Ανακεφαλαιώνοντας μπορούμε να πούμε ότι μόνο με την αξιοποίηση των Α.Π.Ε, και ιδιαίτερα της αιολικής ενέργειας, και την ορθολογική διαχείριση των ενεργειακών πόρων, είναι δυνατή η πραγματική βελτίωση της εικόνας εγχώριας ενεργειακής αγοράς. Η χώρα μας με την πλούσια ηλιοφάνεια, τους ισχυρούς και συνεχείς ανέμους, την αξιόλογη βιομάζα, το σημαντικό γεωθερμικό δυναμικό, καθώς και τα ικανοποιητικά υδάτινα αποθέματα, διαθέτει τις κατάλληλες προϋποθέσεις για ευρεία αξιοποίηση των Α.Π.Ε προς όφελος του κοινωνικού συνόλου και της εθνικής οικονομίας.

### 1.5. Ενέργεια και περιβάλλον

Ολόκληρη η διαδικασία παραγωγής ενέργειας, και ιδιαίτερα η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με τη χρήση των συμβατικών πηγών καυσίμων είναι ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες μόλυνσης της ατμόσφαιρας και γενικότερα υποβάθμισης του περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, αναφέρονται οι σημαντικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα  $\text{CO}_2$ , οξειδίων του θείου  $\text{SO}_x$  και του αζώτου  $\text{NO}_x$ , ενώ δεν πρέπει να αγνοούνται οι περιπτώσεις άμεσης απειλής από τη χρήση πυρηνικής ενέργειας.

Τόσο το  $\text{CO}_2$  όσο και το  $\text{SO}_2$  παράγονται κατά την καύση των υδρογονανθράκων (πετρέλαιο, άνθρακες κ.λπ.) και το μέν  $\text{SO}_2$  μαζί με τυχόν νιτρώδεις ατμούς θεωρείται υπεύθυνο για την όξυνη βροχή που καταστρέφει την πανίδα της βόρειας και κεντρικής Ευρώπης, ενώ το  $\text{CO}_2$  θεωρείται υπεύθυνο για τη βαθμιαία αύξηση της θερμοκρασίας του πλανήτη μας, επιτείνοντας το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

Το φαινόμενο του θερμοκηπίου προκαλείται από το γεγονός ότι το  $\text{CO}_2$  έχει την ιδιότητα να απορροφά μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, όταν αυτή, αφού ανακλαστεί στην επιφάνεια της γης, επιχειρεί να επιστρέψει στο διάστημα. Άμεσο αποτέλεσμα της παρουσίας υψηλών συγκεντρώσεων

του διοξειδίου του άνθρακα στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας είναι να παρεμποδίζεται η απαγωγή θερμότητας από τη γή στο διάστημα, με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη μας. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ετήσια παγκόσμια παραγωγή διοξειδίου του άνθρακα ξεπερνά πλέον τα 25 δισεκατομμύρια τόνους εκ των οποίων το ένα τέταρτο παράγεται στις Η.Π.Α. Τέλος, και η συνεισφορά της Ευρώπης στην παραγωγή CO<sub>2</sub> είναι επίσης σημαντική, δεδομένου ότι μόνο οι χώρες της Δυτικής Ευρώπης συνεισφέρουν κατά 3.8 δις τόνους CO<sub>2</sub> ετησίως.

Απο πλευράς ατμοσφαιρικής ρύπανσης οι πυρηνικοί αντιδραστήρες αναφέρονται συχνά σαν ακίνδυνοι, τουλάχιστον σε σύγκριση με τους υπόλοιπους συμβατικούς θερμικούς σταθμούς. Αντίθετα ένα από τα βασικά μειονεκτήματα των πυρηνικών μονάδων αποτελεί η ισχυρή θερμική ρύπανση που αυτές προκαλούν. Σημαντικότερο όμως από πλευράς θερμικής ρύπανσης είναι το πρόβλημα των ραδιενεργών καταλοίπων, που πρέπει να απορροφηθούν από τον αντιδραστήρα. Να επισημανθεί ότι η εμπειρία μας στην διαχείριση ραδιενεργών καταλοίπων δεν είναι μεγάλη, δεδομένου και του μικρού σχετικά χρόνου λειτουργίας των πυρηνικών αντιδραστηρίων. Τέλος δεν πρέπει να παραβλέψουμε την πιθανότητα πυρηνικού ατυχήματος, η οποία αν και εξαιρετικά μικρή, λόγω των αυξημένων μέτρων ασφαλείας, είναι δυνατό να προκαλέσει εκτεταμένες άμεσες και έμμεσες καταστροφές.

Φυσικά τόσο στην περίπτωση των πυρηνικών σταθμών όσο και την περίπτωση των συμβατικών πηγών ενέργειας, η ανθρωπότητα έχει επιβάλει ορισμένους, συχνά αυστηρούς, περιορισμούς σε θέματα εκπομπών ρύπων και σε θέματα προστασίας έναντι ατυχημάτων.

Συνοψίζοντας πρέπει να υπογραμμίσουμε ότι η χρήση των συμβατικών καυσίμων είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Στη περίπτωση δε που θα θελήσουμε να ελαχιστοποιήσουμε τις περιβαντολογικές επιπτώσεις (όπου αυτό είναι δυνατό), το αντίστοιχο οικονομικό κόστος οδηγεί σε απαγορευτικά επίπεδα το κόστος της παραγόμενης ενέργειας, εφόσον βέβαια αυτό ενσωματώνεται στην τελική τιμή της παραγόμενης μονάδας ενέργειας και δεν καλύπτεται έμμεσα από το κοινωνικό σύνολο.

## 1.6. Στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ανακεφαλαιώνοντας, πρέπει να επισημάνουμε ότι αμέσως μετά τη δεύτερη ενεργειακή κρίση, στις αρχές της δεκαετίας του 1980, η διεθνής κοινότητα άρχισε να αναγνωρίζει το πεπερασμένο των παγκόσμιων αποθεμάτων των συμβατικών πηγών ενέργειας (κάρβουνο, πετρέλαιο, φυσικό αέριο, ουράνιο κ.λπ.) σε σύγκριση με την ανεξέλεγκτη αύξηση των ρυθμών κατανάλωσης ενέργειας, ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες του πλανήτη μας.

Σύμφωνα με τα πορίσματα της δεύτερης έκθεσης της Λέσχης της Ρώμης η οποία συντάχθηκε το 1991, η μείωση των ενεργειακών αποθεμάτων, η ρύπανση του περιβάλλοντος, μαζί με τον υπερπληθυσμό και την εξάντληση των φυσικών πόρων του πλανήτη μας αποτελούν τις τέσσερις πληγές του ανθρώπινου είδους. Δεν πρέπει συνεπώς να λησμονούμε ότι τα βεβαιωμένα αποθέματα των κυριότερων συμβατικών καυσίμων επαρκούν στις καλύτερες περιπτώσεις για τα επόμενα εκατό περίπου χρόνια, ενώ ακόμα και αν ανακαλυφθούν στο μέλλον χιλιαπλάσια αποθέματα συμβατικών καυσίμων, με τους σημερινούς ρυθμούς κατανάλωσης ενέργειας, θα παρατείνουν για άλλα εκατό πενήντα μόλις χρόνια την άφιξη του <<νεργειακού χειμώνα>> στον πλανήτη μας.

Ταυτόχρονα η επιταχυνόμενη συσσώρευση επικίνδυνων ρυπαντών (τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα) και η αντίστοιχη καταστροφή του περιβάλλοντος οδηγεί στην εμφάνιση σημαντικών προβλημάτων υγείας, υποβαθμίζοντας παράλληλα την ποιότητα ζωής στις περισσότερες μεγαλουπόλεις, π.χ Λονδίνο, Ρώμη, Αθήνα κ.ά.

Η χρήση της πυρηνικής ενέργειας και η προσπάθεια ελέγχου της πυρηνικής σύντηξης έδωσε προσωρινά κάποιες ελπίδες για συνέχιση των υφιστάμενων ρυθμών ανάπτυξης. Δυστηχώς η αναμενόμενη όξυνση των περιβαλλοντικών, κύριως από τη διάθεση των ραδιενεργών καταλοίπων και την πιθανότητα μείζονος ατυχήματος, σε συνδυασμό με το υψηλό κόστος προστασίας από τη ραδιενέργεια, έθεσε σοβαρά και αναπάντητα ερωτήματα που αφορούν τη βιωσιμότητα των αντίστοιχων προσπαθειών.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω προβλήματα που πηγάζουν από τη χρήση των συμβατικών πηγών ενέργειας, αρκετοί ειδικοί πρότειναν την αξιοποίηση των ήπιων ή ανανεώσιμων ή εναλλακτικών πηγών ενέργειας, όπως για παράδειγμα, η υδροηλεκτρική ενέργεια, η αιολική

ενέργεια, η ηλιακή ενέργεια, η βιομάζα, η θαλάσσια ενέργεια καθώς και η γεωθερμική ενέργεια.

Φυσικά οι ανανεώσιμες πηγές δεν είναι δυνατόν τη στιγμή να επιλύσουν το συνολικό ενεργειακό πρόβλημα της ανθρωπότητας, τουλάχιστον με τα σημερινά οικονομικά και τεχνολογικά δεδομένα. Εάν όμως η αξιοποίηση τους συνδεθεί με την προσπάθεια εξοικονόμησης των συμβατικών πηγών ενέργειας και την ορθολογική διαχείριση των υφιστάμενων ενεργειακών πόρων, είναι δυνατή η σταδιακή απομάκρυνση του εφιάλτη της ανθρωπότητας, του επερχόμενου <<ενεργειακού χειμώνα>>.

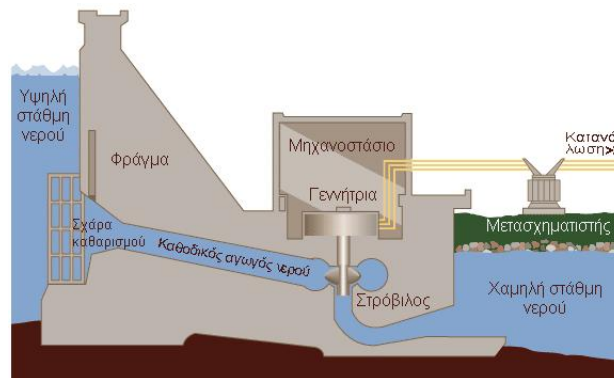
Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι οι περισσότερες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας είναι γνωστές σχεδόν από τη στιγμή της εμφάνισης του ανθρώπου στον πλανήτη μας. Δεν πρέπει να ξεχνάμε, όσον αφορά την αιολική ενέργεια, ότι μέχρι το 18<sup>ο</sup> αιώνα η ναυτιλία στηρίζονταν σε ιστιοφόρα πλοία, ενώ στην ξηρά οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση νερού και την άλεση των σιτηρών. Η χώρα μας έχει μεγάλη παράδοση χρήσης των ανεμόμυλων, λόγω και της ιδιαίτερης γεωγραφικής μορφής της. Η αξιοποίηση του εγχώριου αιολικού δυναμικού είναι ελάχιστη, ενώ οι παρεχόμενες τεχνικές και χρηματοδοτικές δυνατότητες είναι ενδιαφέρουσες.

## 1.7. Μορφές των Α.Π.Ε

Ως **Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε)** ορίζονται οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν εν αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση του άνθρακα και των υδρογονανθράκων.

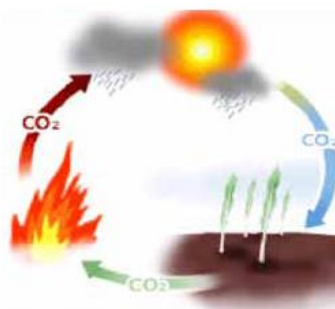
**Αιολική ενέργεια:** η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια ή / και σε ηλεκτρική ενέργεια.

**Υδροηλεκτρική ενέργεια:** Τα μικρά υδροηλεκτρικά έργα (μέχρι 10 MW ισχύος) αξιοποιούν τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια.



Σχηματική παράσταση παραγωγής ενέργειας σε υδροηλεκτρικό σταθμό

**Βιομάζα:** είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης (δασικά-γεωργικά υποπροϊόντα, απόβλητα γεωργικών βιομηχανιών και βιομηχανικών τροφίμων).



Βιομάζα

Αστικά απορρίματα: η αξιοποίηση του ενεργειακού περιεχομένου τους στο γενικότερο πλαίσιο μιας ολοκληρωμένης περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Ηλιακή ενέργεια, η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- Ενεργητικά ηλιακά συστήματα: μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.
- Βιοκλιματικός σχεδιασμός και παθητικά ηλιακά συστήματα: αφορούν αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό.
- Φωτοβολταϊκά ηλιακά συστήματα: μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια.



*Φωτοβολταϊκό σύστημα*



*Γεωθερμική ενέργεια*

Γεωθερμική ενέργεια: η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα.

Κυματική ενέργεια: είναι η μορφή ενέργειας που προκύπτει από την κινητική ενέργεια των κυμάτων. Το φαινόμενο των ανέμων έχει ως συνέπεια το σχηματισμό κυμάτων τα οποία είναι εκμεταλλεύσιμα σε περιοχές με υψηλό δείκτη ανέμων και σε ακτές ωκεανών.

## 1.8. Πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε

Τα κύρια πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε, είναι τα εξής:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Υποκαθιστώντας τους σταθμούς παραγωγής ενέργειας από συμβατικές πηγές οδηγούν σε ελάττωση εκπομπών από άλλους ρυπαντές π.χ. οξείδια θείου και αζώτου που προκαλούν την όξινη βροχή, αφού έχει υπολογισθεί 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 CO<sub>2</sub> ετησίως καθώς και 2 τόνων άλλων ρύπων.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Προσφέρουν τη δυνατότητα ορθολογικής αξιοποίησης των ενεργειακών πόρων, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα των ενεργειακών αναγκών των χρηστών (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών, αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή).
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).



## 1.9. Μειονεκτήματα των Α.Π.Ε

Τα κύρια μειονεκτήματα των Α.Π.Ε, είναι τα εξής:

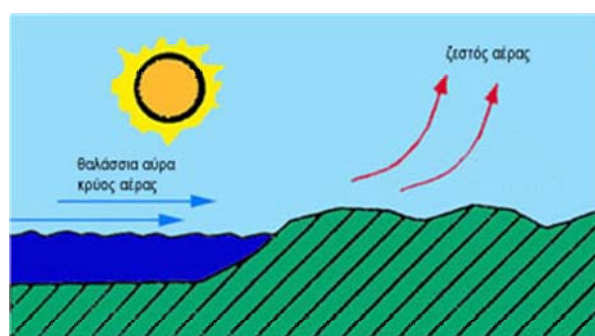
- Το διασπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος και να αποθηκευτεί.
- Δεδομένης της χαμηλής πυκνότητας ισχύος και ενέργειας που έχουν, για μεγάλη ισχύ απαιτούνται συχνά εκτεταμένες σε μέγεθος εγκαταστάσεις.
- Η στοχαστικότητα μεγεθών, όπως ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία, έχουν σαν αποτέλεσμα η τιμή της παραγόμενης ισχύος να έχει μεγάλες διακυμάνσεις, απαιτώντας έτσι την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Οι εγκαταστάσεις συνήθως είναι αισθητικά μη αποδεκτές από το κοινό, μιας και έχουν πολλές φορές εκφραστεί παράπονα για αισθητική και ηχητική ρύπανση όσο αφορά στις ανεμογεννήτριες.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές συμβατικών καυσίμων, είναι ακόμα υψηλό.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup> ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### 2.1. Προέλευση της αιολικής ενέργειας

Η κινητική ενέργεια του ανέμου αποτελεί μια ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας, η οποία ονομάζεται «αιολική ενέργεια». Η αιολική ενέργεια ανήκει στις ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δεδομένου ότι αφενός δε ρυπαίνει το περιβάλλον (ήπια προς το περιβάλλον) και αφετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη (ανανεώνεται συνεχώς).

Η αιολική ενέργεια είναι μια έμμεση μορφή ηλιακής ενέργειας. Μεταξύ του 0.1% με 0.2% της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη γη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Οι άνεμοι προκύπτουν από την άνιση θέρμανση των διαφόρων στρωμάτων στην επιφάνεια της γης, που προκαλούν τον πιο δροσερό, πυκνό, αέρα να τείνει να αντικαταστήσει τον θερμότερο, ελαφρύτερο αέρα. Ενώ μερική από την ενέργεια του ήλιου απορροφάται άμεσα από τον αέρα, το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας απορροφάται αρχικά από την επιφάνεια της γης και μεταφέρεται έπειτα στον αέρα με τη μεταγωγή θερμότητας.



Οι εποχιακές μεταβολές στην ταχύτητα και την κατεύθυνση του αέρα προκύπτουν από τις εποχιακές αλλαγές στη σχετική κλίση της γης προς τον ήλιο, οι οποίες επηρεάζουν στη συνέχεια το θερμικό μοτίβο. Οι καθημερινές, ή ημερήσιες, μεταβολές προκαλούνται από τη διαφορετική θερμοκρασία των τοπικών περιοχών, όπως το παρακείμενο έδαφος και η θάλασσα.



*Σχηματισμός των ανέμων με την τοπική θέρμανση και ψύξη.*

Αυτή η μετακίνηση της αέριας μάζας επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες παγκόσμιας κλίμακας όπως η περιστροφή της γης, οι ήπειροι, οι ωκεανοί και οι οροσειρές και σε μια τοπική κλίμακα από τους λόφους, τη βλάστηση και τις λίμνες. Η ροή αέρα είναι σπάνια ομαλή, με τις περισσότερες περιοχές να βιώνουν αρκετά γρήγορες αλλαγές στην ταχύτητα και την κατεύθυνση του αέρα. Η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται επίσης με το ύψος επάνω από το έδαφος, λόγω της τριβής έλξη του εδάφους, της βλάστησης και των κτηρίων.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Ο εγκλωβισμός, κατά τον Όμηρο, των ανέμων στον ασκό του Αιόλου δείχνει ακριβώς την ανάγκη των ανθρώπων να διαθέτουν τους ανέμους στον τόπο και χρόνο που οι ίδιοι θα ήθελαν. Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Είναι η εποχή που εξαπλώνονται ραγδαία τα συμβατικά καύσιμα και ο ηλεκτρισμός, ο οποίος φτάνει ως τα πιο απομακρυσμένα σημεία. Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις ΑΠΕ και την αιολική ενέργεια. Στο διάστημα μέχρι σήμερα, σημειώνεται μια αλματώδης ανάπτυξη, κάτι που ενισχύεται και από την επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος. Γίνεται πλέον συνείδηση σε όλο και περισσότερο κόσμο, πως ο άνεμος είναι μια καθαρή ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.

## 2.2. Ιστορική εξέλιξη αιολικών μηχανών

Η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου ξεκίνησε από τα πρώιμα ιστορικά χρόνια και έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας με τη χρήση της τόσο στη ναυτιλία όσο και στην άρδευση, καθώς και στις αγροτικές καλλιέργειες. Η αναφορά της ελληνικής μυθολογίας στο θεό «Αίολο», ο οποίος με τη βοήθεια των οκτώ βοηθών θεών του (των οκτώ πρωτευόντων ανέμων, Βορέα, Καικία, Απηνιώτη, Εύρο, Νότο, Λίψ, Ζέφυρο και Σκίρωνα) θεωρείται ο διαχειριστής των ανέμων (βλ. «...άνοιξε τους ασκούς του Αιόλου»), υπογραμμίζει τη σημασία της αιολικής ενέργειας στην οικονομική και παραγωγική δραστηριότητα εκείνων των χρόνων.

Οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι επιχείρησαν από τα πολύ παλαιά χρόνια να θεμελιώσουν τις γνωσιολογικές βάσεις των φυσικών προβλημάτων. Πρώτος ο Αναξίμανης τον 6° π.Χ αιώνα παρατηρώντας τη φύση υποστήριξε ότι η αρχή των όντων είναι ο αέρας, ο οποίος μετατρέπεται σε πύρ, όταν αραιώνεται, ενώ, όταν συμπυκνώνεται, μετατρέπεται σε νέφη, νερό, γή και λίθους. Αργότερα ο Εμπειδοκλής (5° π.Χ αιώνα) θεμελίωσε τη στοιχειακή θεωρία, θεωρώντας ότι ο κόσμος αποτελείται από τέσσερα πρωταρχικά στοιχεία, δηλαδή «Πύρ, Αήρ, Ύδωρ και Γη».

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον άνθρωπο για την κίνηση των ιστιοφόρων πλοίων. Οι ιστορικές και αρχαιολογικές αναφορές υποστηρίζουν επίσης ότι οι αιολικές μηχανές (ανεμόμυλοι) χρησιμοποιήθηκαν από τους σημαντικότερους αρχαίους λαούς, τους Κινέζους, τους Πέρσες και τους Αιγύπτιους.

Κύριο υλικό κατασκευής τους ήταν το ξύλο, τα πανιά, καθώς και ειδικές λιθόκτιστες κατασκευές. Για παράδειγμα, στην Αίγυπτο διατηρούνται οι πέτρινες βάσεις ανεμόμυλων με ηλικία μεγαλύτερη των τριών χιλιάδων ετών, ενώ σύμφωνα με τις ιστορικές μαρτυρίες ήδη τον 7° π.Χ αιώνα στη Βαβυλωνία ανεμόμυλοι έδιναν την απαραίτητη ενέργεια για την άρδευση της Μεσοποταμίας. Σύμφωνα με τις υπάρχουσες ενδείξεις, οι χρησιμοποιούμενοι ανεμόμυλοι στη Βαβυλωνία όσο και στην Κίνα ήταν κατακόρυφου άξονα. Αργότερα, τον 3° π.Χ αιώνα ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς σχεδίασε τον κατά πάσα πιθανότητα πρώτο ανεμόμυλο οριζοντίου άξονα.

Η χρήση των ανεμόμυλων για την άλεση των δημητριακών και την άρδευση συνεχίστηκε στις χώρες της Ανατολής, στη Μικρά Ασία και στο Αιγαίο κατά τη Βυζαντινή εποχή. Στην Ευρώπη υποστηρίζεται ότι οι ανεμόμυλοι εμφανίστηκαν περίπου το 1200 μ.Χ και μεταφέρθηκαν από τους σταυροφόρους κατά την επιστροφή τους από τα Ιεροσόλυμα. Η πρώτη γραπτή αναφορά των ευρωπαϊκών ανεμόμυλων οριζοντίου άξονα δίνεται σε ένα γαλλικό φορολογικό έγγραφο του 1125 μ.Χ., ενώ το πρώτο γνωστό σκίτσο ευρωπαϊκού ανεμόμυλου βρίσκεται σε ένα εκκλησιαστικό Ψαλτήριο του 12<sup>ου</sup> αιώνα. Έτσι, την εποχή του Μεσαίωνα ανεμόμυλοι εμφανίζονται στην Ολλανδία, την Ισπανία, την Πορτογαλία, τη Γαλλία και την Ιταλία. Στην Ολλανδία μάλιστα γύρω στο 1500 μ.Χ. οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση των νερών από τις περιοχές που βρίσκονται σε χαμηλότερη στάθμη από αυτήν της θάλασσας.



*Ανεμόμυλοι ευρωπαϊκής κατασκευής*

Ο τύπος του ανεμόμυλου που χρησιμοποιήθηκε στην Ευρώπη την εποχή του Μεσαίωνα ήταν ως επί το πλείστον οριζόντιου άξονα με τέσσερα πτερύγια (περιστρεφόμενου κλωβού, περιστρεφόμενης οροφής). Οι κύριες χρήσεις του ήταν το άλεσμα σιτηρών, το κόψιμο του καπνού, του ξύλου και άλλων γεωργικών προϊόντων, καθώς και άντληση νερού για άρδευση ή αποξήρανση. Ένας άλλος τύπος ανεμόμυλου, ο οποίος εξαπλώθηκε ιδιαίτερα την εποχή της Αναγέννησης και του αμερικανικού ονείρου, ο οποίος χρησιμοποιείται μέχρι και σήμερα για την άντληση νερού και ονομάζεται «Αμερικανικός ανεμόμυλος».

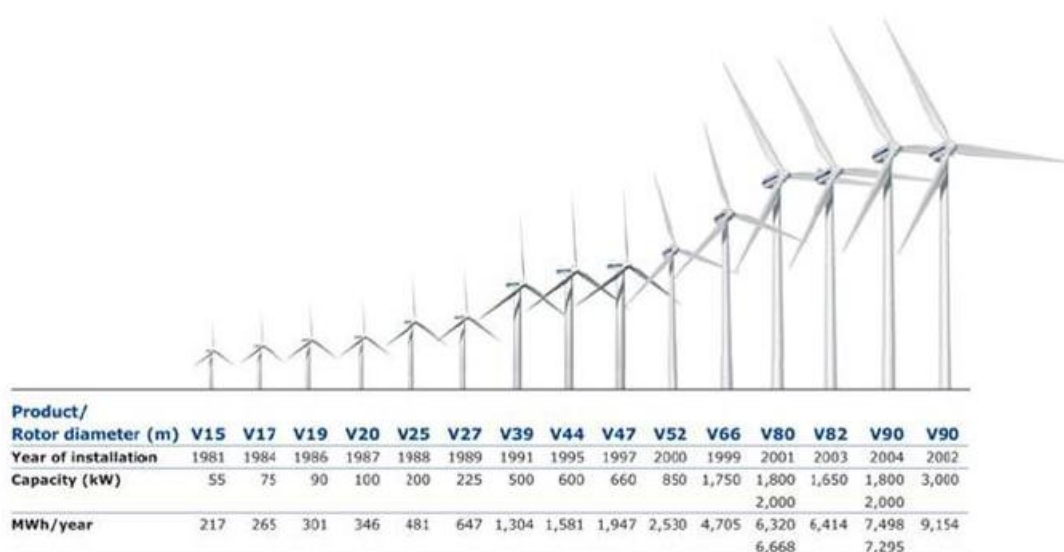


*Το οροπέδιο του Λασιθίου με τους χιλιάδες ανεμόμυλους*

Για την αποκατάσταση της ιστορικής αλήθειας, ο ανεμόμυλος αυτός προέρχεται από την Ευρώπη και χρησιμοποιήθηκε από τους αποίκους αρχικά στα ανατολικά παράλια της Αμερικής για την κίνηση αντλιών με αποτέλεσμα να παρουσιάσει μεγάλη εξάπλωση. Τα σχέδια του ανεμόμυλου αυτού δημοσιεύθηκαν στη Λειψία το 1724 σε ένα βιβλίο του L. Jacob με τίτλο «Shauplatz der Wasserkunste». Παρ' όλα το Σικάγο γίνεται την περίοδο 1870 έως 1930 το κέντρο βιομηχανικής παραγωγής ανεμόμυλων, με εκτιμώμενη παραγωγή έξι εκατομμυρίων (6,000,000) μονάδων την περίοδο που προαναφέραμε. Η χρήση των ανεμόμυλων στις Η.Π.Α. έφτασε στο απόγειο της μεταξύ 1920 και 1930 με την εγκατάσταση περίπου 600,000 μηχανών. Ο συγκεκριμένος τύπος ανεμοκινητήρα αν και δεν παρουσιάζει ιδιαίτερη υψηλή ενεργειακή απόδοση, εμφανίζει σημαντική ροπή λειτουργίας ακόμα και σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου, γεγονός που τον καθιστά ιδιαίτερα αποδοτικό σε γεωργικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Βασικό του μειονέκτημα το σχετικά μεγάλο βάρος, που οφείλεται στον τύπο και στο πλήθος των πτερυγίων που χρησιμοποιεί.

Στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα πρώτοι οι Δανοί παράγουν ηλεκτρισμό από τον άνεμο, ενώ στην Αμερική ανεμόμυλοι μεταλλικής κατασκευής χρησιμοποιούνται επίσης για ηλεκτροδότηση. Έτσι, το 1891 λειτούργησε στο Askov της Δανίας πειραματικός ανεμοκινητήρας με δυο ηλεκτρικές γεννήτριες (2 × 9 kW) και διάμετρο 22.8 m, κάτω από την επίβλεψη του καθηγητή P. La Cour. Αντίστοιχα τη δεκαετία του 1930 κατασκευάστηκε στη Βαλτική μηχανή 100 kW, με σχεδιαστική επίβλεψη των Sabanin και Yuriev. Τέλος, το 1940 κατασκευάστηκε στο Vermont των Η.Π.Α. ένας πειραματικός δίπτερος ανεμοκινητήρας σημαντικής ισχύος.

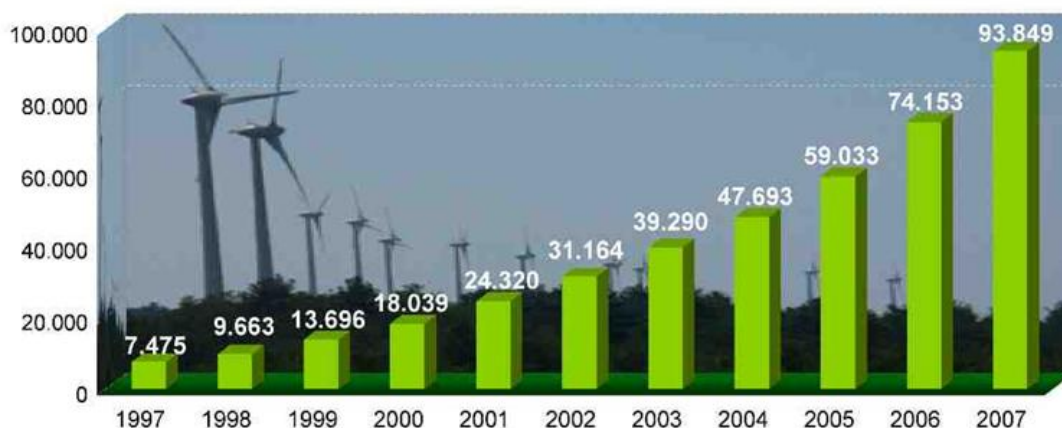
Στα χρόνια που ακολούθησαν το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η χρήση της ατομικής ενέργειας και οι χαμηλές τιμές του πετρελαίου περιόρισαν δραστικά το ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Όμως, η ρύπανση του περιβάλλοντος και οι διαδοχικές ενεργειακές κρίσεις υποχρέωσαν ξανά τις τεχνολογικά ανεπτυγμένες χώρες να ενδιαφερθούν έντονα γι' αυτή την καθαρή και αρχαία ενεργειακή πηγή του πλανήτη μας, τον άνεμο.



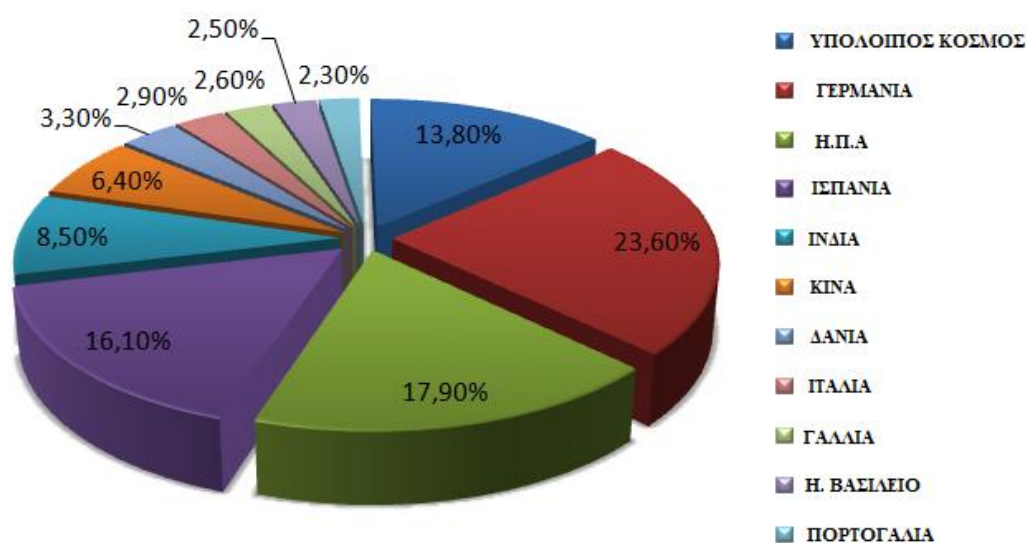
*Κατασκευαστική εξέλιξη των ανεμογεννητριών της εταιρείας Vestas*

### 2.3. Η αιολική ενέργεια στην παγκόσμια ενεργειακή αγορά

Σήμερα η αιολική ενέργεια αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη μορφή ενέργειας. Ηγετικές δυνάμεις στο χώρο είναι η Γερμανία, η Ισπανία, η Δανία και οι Η.Π.Α οι οποίες έχουν αξιοποιήσει σε πολύ μεγάλο βαθμό το αιολικό δυναμικό τους και εξελίσσουν διαρκώς την τεχνολογία των ανεμογεννητριών. Η πορεία της αιολικής ενέργειας κατά την τελευταία δεκαετία και το ποσοστό της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος παριστάνονται παρακάτω.



Παγκόσμια εγκατεστημένη αιολική ισχύς (Πηγή: [www.ewea.org](http://www.ewea.org))



Ποσοστά εγκατεστημένης αιολικής ισχύος σε παγκόσμιο επίπεδο (2007)



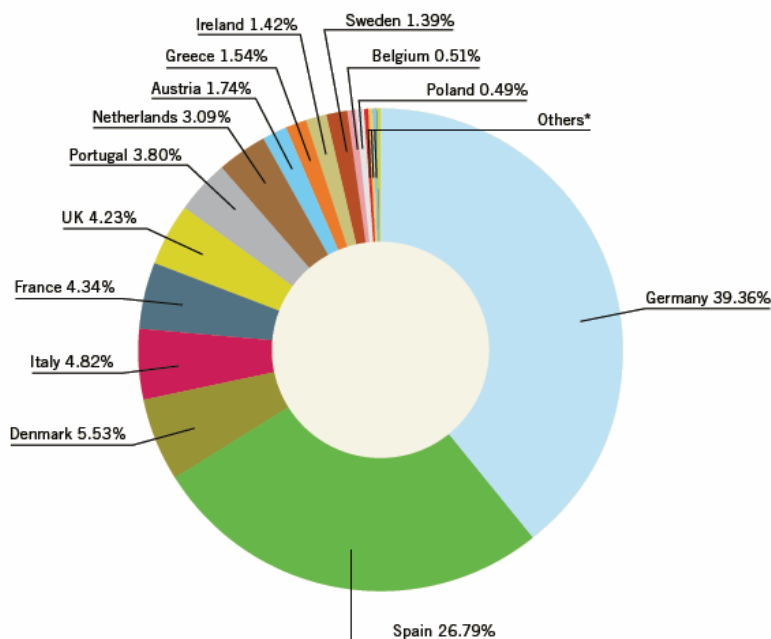
(Πηγή: [www.ewea.org](http://www.ewea.org))

Η Δανία υπήρξε η πρώτη ευρωπαϊκή χώρα που υιοθέτησε μια πετυχημένη πολιτική ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας και παρέμεινε η κυρίαρχη χώρα αναφορικά με την παραγωγή ηλεκτρισμού από αιολική ενέργεια έως τις αρχές της δεκαετίας του '90.

Στις αρχές της δεκαετίας αυτής, η κλίμακα ανεμογεννητριών μεγέθους 300 με 500k άρχισε να εισάγεται με επιτυχία στην Ευρώπη, δημοδοτώντας την έκρηξη της αιολικής ενέργειας στην Γερμανία. Κατά τη διάρκεια της ραγδαίας αυτής ανάπτυξης η γερμανική βιομηχανία αιολικής ενέργειας έφτασε τα τεχνολογικά επίπεδα της Δανίας και τώρα διαδραματίζει πρωταγωνιστικό ρόλο στην παγκόσμια αγορά αιολικών συστημάτων.

Στα μέσα της δεκαετίας του '90 επιτεύχθηκε η ανάπτυξη και εγκατάσταση ανεμογεννητριών μεγέθους 1 έως 1.5MW. Αυτή η ανάπτυξη κατέστη δυνατή λόγω της ύπαρξης ισχυρών αγορών με ασφαλείς συνθήκες για τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά συστήματα.

Οι τέσσερις σημαντικότερες αγορές της αιολικής ενέργειας τη δεκαετία του '90 ( Γερμανία, Η.Π.Α, Δανία, Ισπανία) κάλυπταν περίπου το 80% των πωλήσεων παγκοσμίως τα έτη 1999 και 2000.



Ποσοστά εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στην Ε.Ε (2007)

(Πηγή: [www.ewea.org](http://www.ewea.org))

## ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΙΣΧΥΣ

	ΧΩΡΑ	ΙΣΧΥΣ (MW) 2005	ΙΣΧΥΣ (MW) 2006	ΙΣΧΥΣ (MW) 2007
1	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	18,427	20,622	22,247
2	Η.Π.Α	9,149	11,603	16,818
3	ΙΣΠΑΝΙΑ	10,027	11,630	15,145
4	ΙΝΔΙΑ	6,270	4,430	7,850
5	ΚΙΝΑ	1,266	2,599	5,912
6	ΔΑΝΙΑ	3,128	3,136	3,125
7	ΙΤΑΛΙΑ	1,718	2,123	2,726
8	ΓΑΛΛΙΑ	757	1,567	2,454
9	ΗΝ. ΒΑΣΙΛΕΙΟ	1,353	1,962	2,389
10	ΠΟΡΤΟΓΑΛΙΑ	1,022	1,716	2,150
11	ΚΑΝΑΔΑΣ	683	1,460	1,846
12	ΟΛΛΑΝΔΙΑ	1,224	1,559	1,746
13	ΙΑΠΩΝΙΑ	1,040	1,309	1,538
14	ΑΥΣΤΡΙΑ	819	964	982
15	ΕΛΛΑΔΑ	573	757	873
16	ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ	579	817	817
17	ΙΡΛΑΝΔΙΑ	495	746	805
18	ΣΟΥΗΔΙΑ	509	571	788
19	ΝΟΡΒΗΓΙΑ	268	325	333
20	ΝΕΑ ΖΗΛΑΝΔΙΑ	168	171	322
21	ΑΙΓΥΠΤΟΣ	145	230	310
22	ΒΕΛΓΙΟ	167	194	287
23	ΤΑΪΒΑΝ	103	188	280
24	ΠΟΛΩΝΙΑ	73	153	276
25	ΒΡΑΖΙΛΙΑ	28	234	247
26	ΤΟΥΡΚΙΑ	20	65	207
27	ΝΟΤΙΟΣ ΚΟΡΕΑ	119	176	191
28	ΤΣΕΧΙΑ	29	57	116
29	ΦΙΝΛΑΝΔΙΑ	82	86	110
30	ΟΥΚΡΑΝΙΑ	77	86	89
31	ΜΕΞΙΚΟ	2	87	87
32	ΚΟΣΤΑ ΡΙΚΑ	71	74	74
33	ΒΟΥΛΓΑΡΙΑ	14	36	70
34	ΙΡΑΝ	31	47	67
35	ΟΥΓΓΑΡΙΑ	17	61	65
36	ΜΑΡΟΚΟ	64	64	64
37	ΕΣΘΟΝΙΑ	33	33	58
38	ΛΙΘΟΥΑΝΙΑ	7	55	52
39	ΛΟΥΞΕΜΒΟΥΡΓΟ	35	35	35
40	ΑΡΓΕΝΤΙΝΗ	26	28	30
41	ΛΕΤΟΝΙΑ	27	27	27
42	ΦΙΛΙΠΠΙΝΕΣ	25	25	25
43	ΤΖΑΜΑΪΚΑ	20	21	21
44	ΓΟΥΑΔΕΛΟΥΠΗ	20	21	21
45	ΤΗΝΥΣΙΑ	20	20	20
46	ΧΙΛΗ	2	20	20
	<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>60732</b>	<b>72190</b>	<b>93715</b>

ΠΗΓΗ: [WWW.WIKIPEDIA.ORG](http://WWW.WIKIPEDIA.ORG)

## 2.4. Η αιολική ενέργεια στην ελληνική ενεργειακή αγορά

Στη χώρα μας, όπως και στις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες, έγινε αρκετά νωρίς αντιληπτός ο κίνδυνος εξάντλησης των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων, καθώς και η όξυνση των προβλημάτων ρύπανσης από την καύση των παραγώγων του πετρελαίου και του άνθρακα. Παρ' όλα αυτά παρατηρήθηκε σημαντική καθυστέρηση στα προγράμματα αξιοποίησης των Α.Π.Ε., κατά συνέπεια και στο αιολικό πρόγραμμα. Από την άλλη πλευρά, τα αποτελέσματα μακροχρόνιων μετρήσεων κατέδειξαν την υψηλή ποιότητα του αιολικού δυναμικού στα περισσότερα νησιά του Αιγαίου, καθώς και σε αρκετά παραθαλάσσια μέρη της ηπειρωτικής χώρας.

Από τα διαθέσιμα στοιχεία ο αριθμός των εγκατεστημένων ανεμογεννητριών μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '80 δεν υπερέβαιναν τις 35, ενώ τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του '90 παρατηρήθηκε μια αξιόλογη αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος. Αντίθετα από τα τέλη του 1994 και μέχρι το 1998 δεν υπήρξε καμία σημαντική μεταβολή της υφιστάμενης αιολικής ισχύος, παρόλη τη θεσμοθέτηση νέου νομοθετικού πλαισίου για την αξιοποίηση των Α.Π.Ε., Ν. 2244/94. Να σημειωθεί ότι έως την πρακτική ενεργοποίηση του νέου νομοθετικού πλαισίου το κύριο βάρος της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας ανήκε στη Δ.Ε.Η., η οποία μέχρι τις αρχές του 1993 είχε εγκαταστήσει αιολικά πάρκα συνολικής ισχύος 25MW. Στο διάστημα που ακολούθησε και μέχρι σήμερα καταγράφεται μια δυναμική, αλλά και ασταθής μεταβολή της εγχώριας εγκατεστημένης αιολικής ισχύος, αποκλειστικά λόγω της ίδρυσης ιδιωτικών αιολικών πάρκων, η οποία όμως αδυνατεί να αποκτήσει σταθερό ρυθμό, εμφανίζοντας ακόμα και μεταξύ διαδοχικών ετών εντονότερες διακυμάνσεις.

Για την ολοκληρωμένη εικόνα της εγχώριας αιολικής αγοράς, πρέπει να επισημανθεί η έλλειψη αξιόλογης κατασκευαστικής δραστηριότητας στον τομέα των ανεμοκινητήρων σε συνδυασμό με την έντονη δραστηριότητα ξένων κατασκευαστών. Ωστόσο, υπάρχει μία σημαντική προστιθέμενη αξία από ελληνικές κατασκευαστικές επιχειρήσεις τόσο για την κατασκευή επιμέρους τμημάτων των ανεμογεννητριών όσο και για την εγκατάσταση και τη δημιουργία της κατάλληλης υποδομής για τη λειτουργία τους.

Στις επόμενες δυο σελίδες παρατίθενται στατιστικά στοιχεία απο την εγκατεστημένη αιολική ισχύ στην χώρα μας, τις κατασκευάστριες εταιρίες ανεμογεννητριών και τους ιδιοκτήτες αιολικών πάρκων.

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΙΣΧΥΣ		
ΕΤΟΣ	ΙΣΧΥΣ (MW)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΑΥΞΗΣΗΣ
1983	0,10	
1984	0,10	0,0%
1985	0,10	0,0%
1986	0,20	100%
1987	0,40	100%
1988	0,40	0,0%
1989	0,40	0,0%
1990	0,70	75,0%
1991	3,00	328,6%
1992	16,00	433,3%
1993	26,00	62,5%
1994	26,00	0,0%
1995	28,00	7,7%
1996	28,00	0,0%
1997	28,00	0,0%
1998	40,00	42,9%
1999	109,00	172,5%
2000	226,00	107,3%
2001	272,00	20,4%
2002	297,00	9,2%
2003	374,00	25,9%
2004	473,00	26,5%
2005	573,00	21,1%
2006	746,56	30,3%
2007	870,90	16,7%

ΠΗΓΗ: ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ (2007)**

<b>ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ</b>	<b>ΙΣΧΥΣ (MW)</b>	<b>ΑΡΙΘΜΟΣ Α/Γ</b>	<b>%</b>
ΑΝ. ΜΑΚΕΔΟΝΑΣ & ΘΡΑΚΗΣ	214,55	187	24,60%
ΣΤΕΡΕΑ ΕΛΛΑΔΑ (& ΕΥΒΟΙΑ)	251,85	368	28,90%
ΚΡΗΤΗ	129,15	213	14,80%
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	142,85	86	16,40%
Ν. ΑΙΓΑΙΟ	38,59	73	4,40%
Β. ΑΙΓΑΙΟ	30,20	116	3,50%
ΘΕΣΣΑΛΙΑ	17	20	2,00%
ΙΟΝΙΟ	43,60	27	5,00%
ΑΤΤΙΚΗ	3,12	6	0,40%
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>870,91</b>	<b>1096</b>	<b>100%</b>

**ΜΕΡΙΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ (2007)**

<b>ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ</b>	<b>ΙΣΧΥΣ (MW)</b>	<b>ΑΡΙΘΜΟΣ Α/Γ</b>	<b>%</b>
VESTAS	321,37	270	36,90%
BONUS	193,00	258	22,20%
NEG MICON (VESTAS)	117,28	149	13,50%
ENERCON	123,94	163	14,2%
NORDEX	28,50	45	3,30%
ZOND	18,53	40	2,10%
GAMESA	31,45	37	3,60%
JACOBS	12,00	20	1,40%
HMZ WINDMASTER	10,80	36	1,20%
NEDWIND	5,00	10	0,60%
EAB WINDMATIC	3,92	50	0,50%
NORDTANK	1,25	5	0,10%
TACKE	1,50	3	0,20%
ΟΑ	1,10	2	0,10%
WINCON	0,65	6	0,10%

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

MICON	0,63	2	0,10%
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>870,91</b>	<b>1096</b>	<b>100%</b>

ΠΗΓΗ: ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

**ΜΕΡΙΔΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ**

ΙΔΙΟΚΤΗΤΗΣ	ΙΣΧΥΣ (MW)	ΑΡΙΘΜΟΣ Α/Γ	%
ΡΟΚΚΑΣ ΑΒΕΕ	184,60	244	21,20%
ΤΕΡΝΑ	117,97	114	13,50%
EDF	75,35	33	8,70%
ΔΙΕΘΝΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗ	79,03	91	9,10%
EUNICE	40,00	20	4,60%
ΔΕΗ ΑΕ	36,25	150	4,20%
ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝ. ΠΕΛ/ΝΗΣΟΥ ΑΒΕΕ	36,00	12	4,10%
ACCIONA	34,85	41	4,00%
ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΛΛΑΣ ΑΒΕΕ	30	10	3,40%
ΕΛΛΗΝ. ΤΕΧΝΟΔΟΜΙΚΗ	29,50	43	3,40%
ENERCON ΕΛΛΑΣ ΑΕ	27,50	55	3,20%
ENERGI E2	20,40	34	2,30%
ΟΜΙΛΟΣ ΜΥΤΙΛΗΝΑΙΟΥ	17,00	20	2,00%
IBERDROLA	17,00	20	2,00%
ΠΟΛΥΠΟΤΑΜΟΣ ΑΕ	12,00	20	1,40%
ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΚΡΗΤΗΣ	11,90	14	1,40%
ΔΕΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ - Χ.ΡΟΚΚΑΣ ΑΕ	8,40	14	1,00%
ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΜΠΟΥΡΛΑΡΙ	7,80	13	0,90%
WRE ΕΛΛΑΣ ΑΕ	6,60	9	0,80%
ΔΟΜΙΚΗ ΚΡΗΤΗΣ ΑΕ	5,95	7	0,70%
ΜΕΛΤΕΜΙ ΚΑΣΤΡΙ ΑΒΕΤΕ	5,00	10	0,60%
ΚΑΠΕ	3,12	6	0,40%
ΔΙΑΦΟΡΟΙ	64,70	116	7,40%
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>870,91</b>	<b>1096</b>	<b>100%</b>

ΠΗΓΗ: ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΗ ΕΝΩΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

## 2.5. Μειονεκτήματα αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας

**Η χαμηλή πυκνότητα** της κινητικής ενέργειας του ανέμου ( $\text{Watt/m}^2$ ) κατατάσσει την αιολική ενέργεια στις <<αραιές>> μορφές ενέργειας. Τυπικές ροές αξιοποιούμενης αιολικής ισχύος κυμαίνονται μεταξύ  $200 \text{ W/m}^2$  και  $500 \text{ W/m}^2$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη χρήση είτε μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών είτε μηχανών μεγάλων διαστάσεων, για την παραγωγή της απαιτούμενης ποσότητας ενέργειας.

**Η αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης** της ταχύτητας και της διεύθυνσης των ανέμων δε μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε την απαραίτητη αιολική ενέργεια τη στιγμή που τη χρειαζόμαστε. Το γεγονός αυτό μας υποχρεώνει να έχουμε τις αιολικές μηχανές κυρίως σαν εφεδρικές πηγές ενέργειας σε συνδυασμό πάντοτε με κάποια άλλη πηγή ενέργειας (π.χ. σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο, παράλληλη λειτουργία με μονάδες Diesel κ.λπ.).

**Σε περιπτώσεις διασύνδεσης** της αιολικής εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο η παραγόμενη ενέργεια δεν πληρεί πάντοτε τις τεχνικές απαιτήσεις του δικτύου με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η τοποθέτηση αυτοματισμών ελέγχου, μηχανημάτων ρύθμισης τάσεως και συχνότητας, καθώς και ελέγχου της άεργης ισχύος. Η εξέλιξη της τεχνολογίας σήμερα έχει δώσει λύσεις στα περισσότερα από τα αναφερόμενα προβλήματα, ιδιαίτερα με την κατασκευή ανεμογεννητριών μεταβλητού βήματος και μεταβλητών στροφών. Παρ' όλα αυτά υπάρχει κάποιο αυξημένο κόστος για τη βελτίωση των χαρακτηριστικών της παραγόμενης ενέργειας, το οποίο προστίθεται στο συνολικό κόστος της παραγόμενης kWh.

**Σε περιπτώσεις αυτόνομων μονάδων** είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, σε μια προσπάθεια να έχουμε συγχρονισμό της ζήτησης και της διαθέσιμης ενέργειας. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται αυξημένο αρχικό κόστος (λόγω του συστήματος αποθήκευσης της ενέργειας) και βέβαια επιπλέον απώλειες ενέργειας κατά τις φάσεις μετατροπής και αποθήκευσης, καθώς και αυξημένες υποχρεώσεις συντήρησης για την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας.

Απο το σύνολο της απορροφούμενης απο μια ανεμογεννήτρια αιολικής ενέργειας **μόνο ένα περιορισμένο μέρος της μετατατρέπεται σε ωφέλιμη ενέργεια** λόγω των αεροδυναμικών και των μηχανικών απωλειών και των αντίστοιχων περιορισμών.

Το σχετικά **υψηλό κόστος της αρχικής επένδυσης** για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας, ειδικά μάλιστα για μεμονωμένες περιπτώσεις αιολικών μηχανών μικρού μεγέθους. Θα πρέπει να προστεθεί όμως οτι η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας και ο ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστών έχει τα τελευταία χρόνια συμπιέσει σημαντικά τις τιμές των ανεμογεννητριών, βελτιώνοντας ταυτόχρονα την αξιοπιστία τους.



## 2.6. Πλεονεκτήματα αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας

Αν και δεν είναι δυνατόν να αγνοήσουμε τα μειονεκτήματα που συνοδεύουν την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, είναι επίσης σημαντικό να ληφθούν υπόψιν και οι παρακάτω παράγοντες, ορισμένοι από τους οποίους ισχύουν ιδιαίτερα για τη χώρα μας, ώστε να διαμορφώσουμε μια ολόκληρη εικόνα για τις δυνατότητες και τους περιορισμούς αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα:

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια **ανανεώσιμη πηγή ενέργειας**. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι δεν εξαντλείται σε αντίθεση με το σύνολο των συμβατικών καυσίμων, των οποίων τα βεβαιωμένα αποθέματα του πλανήτη μας αναμένεται να εξαντληθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια **καθαρή μορφή ενέργειας, ήπια προς το περιβάλλον**. Η χρήση της δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης και παράλληλα αντικαθιστά ιδιαίτερα ρυπογόνες πηγές ενέργειας όπως το κάρβουνο, το πετρέλαιο και η πυρηνική ενέργεια. Τα σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα των περισσότερων ανεπτυγμένων χωρών καθώς και της χώρας μας (π.χ. Αθήνα, Πτολεμαΐδα, Μεγαλόπολη κ.λπ.) καθιστούν την αιολική ενέργεια ιδιαίτερα ελκυστική σε σχέση με την προστασία του περιβάλλοντος.

Επιπλέον ειδικά για την χώρα μας ισχύουν τα ακόλουθα στοιχεία:

Η χώρα μας και κυρίως τα νησιωτικά συμπλέγματα του Αιγαίου διαθέτουν πολύ **υψηλό αιολικό δυναμικό**. Πράγματι, στα περισσότερα νησιά του Αρχιπελάγους εμφανίζονται άνεμοι υψηλής ταχύτητας και μεγάλης διάρκειας σχεδόν ολόκληρο το έτος.

Η **περιορισμένη συμβολή των Α.Π.Ε.** στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο, με αμελητέα μάλιστα τη συμμετοχή της αιολικής ενέργειας, καθιστά προφανείς τις σχεδόν απεριόριστες δυνατότητες σύστασης αιολικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας, σε μια αγορά με σημαντικό αριθμό αναξιοποίητων θέσεων εγκατάστασης.

Η **ισχυρή εξάρτηση της χώρας μας** από εισαγόμενα καύσιμα, τα οποία οδηγούν αφενός σε συναλλαγματική αιμοραγία της χώρας μας, αφετέρου σε εξάρτηση της από χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ας σημειωθεί ότι η Ελλάδα εξαρτάται κυρίως από το εισαγόμενο πετρέλαιο,

που προέρχεται απο χώρες υψηλού πολιτικο-οικονομικού κινδύνου και οποίες εμπλέκονται αρκετά συχνά σε συχνές ππολιτικές και οικονομικές κρίσεις. Με τον τρόπο αυτό το μεσοπρόθεσμο κόστος παραγωγής ενέργειας, η οποία αποτελεί τον κυριότερο ίσως συντελεστή για πλήθος βασικών αγαθών, δεν μπορεί να προβλεφθεί με λογικά σενάρια, πράγμα που οδηγεί σε υπερβολική αβεβαιότητα τον αντίστοιχο σχεδιασμό της εθνικής οικονομίας.

**Η υψηλή σεισμικότητα** της χώρας μας εγκυμονεί κινδύνους για τις θερμοηλεκτρικές και κυρίως τις πυρηνικές εγκαταστάσεις, με αποτέλεσμα να θεωρείται προβληματική στο άμεσο μέλλον η κατασκευή πυρηνικών μονάδων στην Ελλάδα. Προφανώς, με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα είναι δυνατή η δημιουργία υψηλής ασφάλειας συμβατικών μονάδων, με δυσνάλογη όμως αύξηση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας.

**Η σημαντική διασπορά και ανομοιομορφία του κόστους παραγωγής** της ηλεκτρικής ενέργειας στα διάφορα τμήματα της χώρας μας, έχει ως αποτέλεσμα, ακόμα και στην περίπτωση που η μέση τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας είναι ελαφρώς κατώτερη του οριακού κόστους της παραγόμενης αιολικής kWh, σε αρκετά νησιά το κόστος παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας να είναι πολλαπλάσιο, ενίοτε και υπερδεκαπλάσιο του οριακού κόστους της Δ.Ε.Η.

Απο τα διαθέσιμα στοιχεία, ενώ το οριακό κόστος παραγωγής της Δ.Ε.Η. κυμαίνεται μεταξύ των 0.068 και των 0.072 €/kWh για τα έτη 2000 και 2002, τιμή που βασίζεται σε ιστορικά στοιχεία, το αντίστοιχο μέσο κόστος λειτουργίας των αυτόνομων σταθμών παραγωγής κυμαίνεται το ίδιο διάστημα μεταξύ 0.13 και 0.15 €/kWh.

Την ίδια στιγμή απο τα στοιχεία προκύπτει οτι υπάρχουν αυτόνομοι σταθμοί παραγωγής, των οποίων και μόνο η συμμετοχή του καυσίμου στο κόστος παραγωγής υπερβαίνει κατά πολύ το οριακό κόστος παραγωγής της επιχείρησης. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει οτι είναι δυνατή η αντικατάσταση των συμβατικών καυσίμων απο την αιολική ενέργεια, τουλάχιστον στις παραπάνω νησιωτικές περιοχές, δεδομένου μάλιστα οτι αυτές διαθέτουν και το καλύτερο αιολικό δυναμικό.

**Η αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας**, που περιορίζει τις απώλειες και το κόστος μεταφοράς και συνεισφέρει στην υποστήριξη των των τοπικών δικτύων με έγχυση ηλεκτρικής ισχύος πλησίον των περιοχών υψηλης κατανάλωσης.

**Η δυνατότητα αποκεντρωμένης ανάπτυξης** μέσα από αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας, γεγονός που μπορεί να ενισχύσει σημαντικά την οικονομική δραστηριότητα των τοπικών κοινωνιών.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, πιστεύουμε ότι τα πλεονεκτήματα που απορρέουν από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι ασυγκρίτως περισσότερα και σοβαρότερα από τα υπάρχοντα μειονεκτήματα. Για το λόγο αυτό η στατική απόφαση να αξιοποιηθεί στη χώρα μας το υπάρχον αιολικό δυναμικό, καθώς και αναπτυχθούν κατασκευαστικές μονάδες παραγωγής ανεμογεννητριών μπορεί κάλλιστα να οδηγήσει σε οικονομικά βιώσιμες αλλά και ελκυστικές επενδύσεις, μη λαμβάνοντας στους ισολογισμούς μας υπόψιν τα παράλληλα ωφέλη, που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος και την οικονομική ανεξαρτησία της χώρας μας.

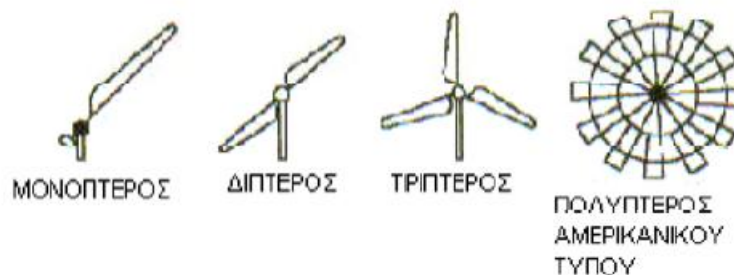
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup> ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

### 3.1. Κατάταξη αιολικών μηχανών

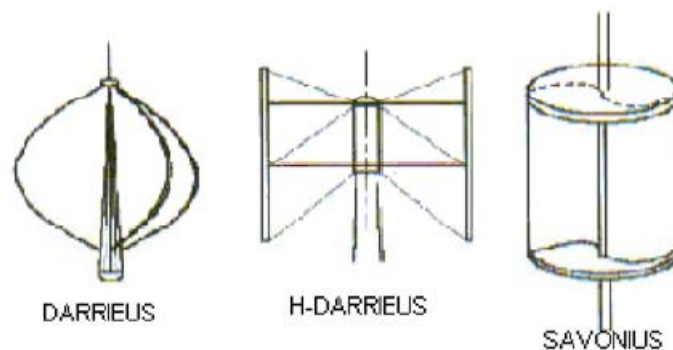
Οι αιολικές μηχανές αποτελούν ανθρώπινες επινοήσεις, που έχουν σαν σκοπό την αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Τελικός στόχος είναι η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ωφέλιμη ενέργεια, δηλαδή σε οποιαδήποτε εύχρηστη μορφή ενέργειας, άμεσα απολήψιμη από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

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 "οριζοντίου" και οι ανεμογεννήτριες "κατακόρυφου" άξονα.

#### ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ



#### ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ



*Βασικοί τύποι ανεμογεννητριών*

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν συνήθως τον άξονα 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 (cross-wind).

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα της αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, δεδομένου ότι ο άξονας των 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.

Οι υφιστάμενες αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης σε ταχύστροφες και σε αργόστροφες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους ή, ακριβέστερα, 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 υπόψη λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγόκεντρες δυνάμεις κ.λ.π. Επιπλέον, καθοριστικό ρόλο παίζει και η διασύνδεση ή μη της εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο, δεδομένου ότι σε περιπτώσεις σύγχρονων ηλεκτρογεννητριών διασυνδεδεμένων με το δίκτυο, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να έχει τη συχνότητα του κεντρικού δικτύου, δηλαδή 50HZ για τη χώρα μας και τις χώρες της Ε.Ε., και 60HZ για τις Η.Π.Α.

Ένα μέγεθος που συνδέεται άμεσα με τη γωνιακή ταχύτητα μιας περρωτής είναι η παραμέτρος περιστροφής (tip-speed ratio) της μηχανής "λ", η οποία ορίζεται σαν:

$$\lambda = \frac{\omega_0 \cdot R}{V_w}$$

όπου "R" είναι η ακτίνα της περρωτής, "ω<sub>0</sub>" η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα και "V<sub>w</sub>" η ταχύτητα του ανέμου.

Οι υφιστάμενες μηχανές κατατάσσονται και βάσει του αριθμού των πτερυγίων που διαθέτει η περρωτή τους. Ως εκ τούτου οι ανεμογεννήτριες διαχωρίζονται σε πολυπτέρυγες, όπως οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής, και οι ολιγοπτέρυγοι που αποτελούν την πλειοψηφία των σύγχρονων ανεμογεννητριών οριζοντίου και καθέτου άξονα, με αριθμό πτερυγίων που κυμαίνεται από ένα έως τρία πτερύγια σε κάθε περρωτή.

Τέλος μια παράμετρος που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των ανεμοκινητήρων είναι η παράμετρος στιβαρότητας "σ" (solidity) της κατασκευής, η οποία για μηχανές "οριζοντίου" 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, "R" η ακτίνα της πτερωτής και "c" η χορδή (πλάτος) των πτερυγίων της πτερωτής. Η παράμετρος στιβαρότητας δίνει το λόγο του εμβαδού όλων των πτερυγίων, προς το εμβαδόν της επιφάνειας που διαγράφουν τα πτερύγια κατά την περιστροφή τους.

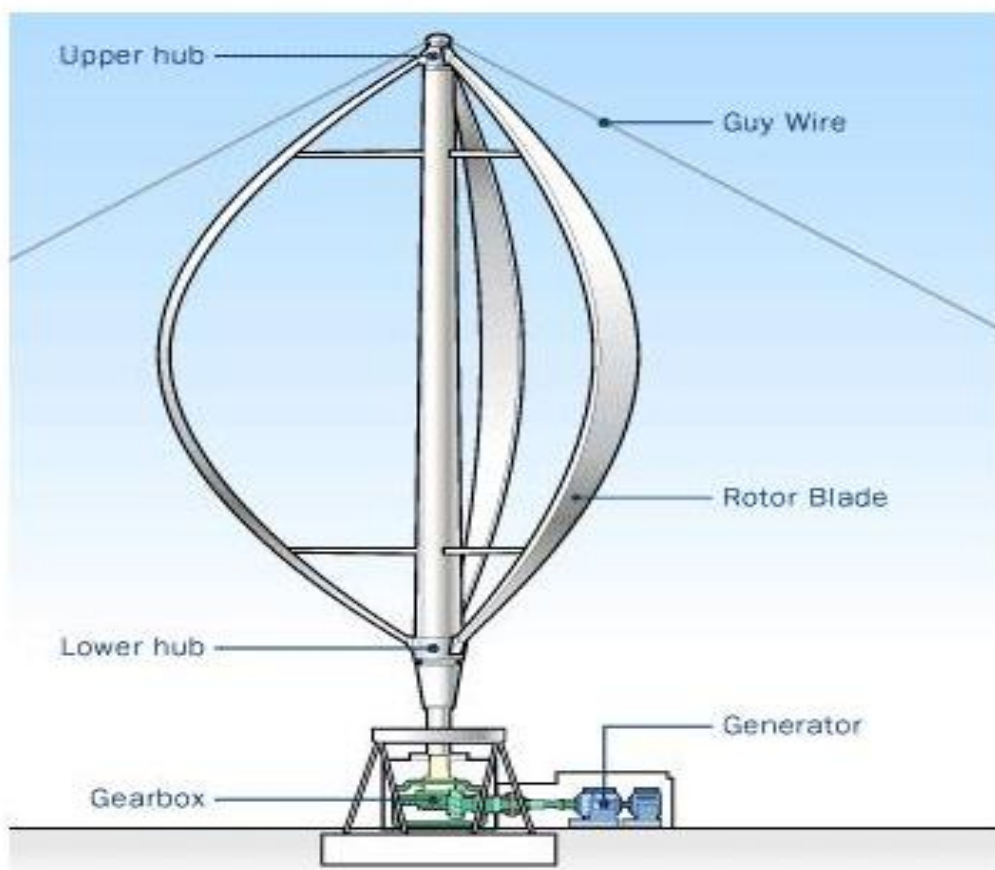
Κατά κανόνα οι ανεμογεννήτριες μεγάλης στιβαρότητας είναι μηχανές "αργόστροφες", αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε χαμηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής "λ", έχουν σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης, ενώ είναι ανθεκτικές με ελάχιστες ανάγκες συντήρησης. Επιπλέον χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλες δυνάμεις στα πτερύγια και συνεπώς μεγάλη ροπή στον άξονα περιστροφής, ξεκινούν μόνες τους όταν αρχίζει να φυσάει ο άνεμος, είναι κατάλληλες για αγροτικές χρήσεις (π.χ. άντληση νερού) και στηρίζονται σε σχετικά απλή τεχνολογία.

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. Επίσης, οι μηχανές αυτές απαιτούν κάποτε εξωτερική βοήθεια για να ξεκινήσουν, είναι κατάλληλες για ηλεκτροπαραγωγή και θεωρούνται προϊόντα αρκετά υψηλής τεχνολογίας, ιδιαίτερα οι μεγαλύτερες από αυτές.

### 3.2. Μηχανές κατακόρυφου άξονα

Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, ως εκ τούτου αποτελούν και πιο απλές κατασκευές. Οι πλέον γνωστοί τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα είναι οι μηχανές τύπου “Darrieus” και οι μηχανές τύπου “Savonius”. Οι μηχανές τύπου “Darrieus” αποτελούν έναν από τους πλέον διαδεδομένους τύπους ανεμοκινητήρων στη διεθνή αγορά.

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.



*Ανεμοκινητήρας “Darrieus” κατακόρυφου άξονα.*

Υπάρχει αρκετή ποικιλία δρομέων κατακόρυφου άξονα, όμως ο δρομέας τύπου "Darrieus" είναι ο περισσότερο εξελιγμένος και ως εκ τούτου ο περισσότερο διαδεδομένος.

Με τη χρήση μηχανών αυτού του τύπου δίνεται η δυνατότητα να κατασκευασθούν μηχανές με ονομαστική ισχύ της τάξης του ενός MW. Ένα άλλο πλεονέκτημα των μηχανών κατακόρυφου άξονα είναι ότι οι μηχανισμοί και η γεννήτρια βρίσκονται κατά κανόνα στο έδαφος, με αποτέλεσμα να απαιτείται ελαφρότερος πυλώνας και να διευκολύνεται η λειτουργία και η συντήρηση του όλου συστήματος.

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης δε παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφορές σε σύγκριση με το αντίστοιχο σύστημα των μηχανών οριζοντίου 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. Η μηχανή διατηρείται σε κατακόρυφη θέση με τη βοήθεια καλωδίων, τα οποία συνδέουν την κορυφή του άξονα της μηχανής με το έδαφος.

Τέλος, 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 κατακορύφου άξονα τύπου "Darrieus" θεωρούνται συγκρίσιμες σε οικονομικοτεχνική ελκυστικότητα με τις πλέον σύγχρονες ανεμογεννήτριες οριζοντίου 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, π.χ. λόγος ύψους προς διάμετρο, αριθμός και σχήμα πτερυγίων κ.λπ.



### 3.3. Μηχανές οριζοντίου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλο και με τη διεύθυνση του ανέμου (head on), αν και κάποτε η διεύθυνσή τους είναι κάθετη προς τη διεύθυνση του ανέμου (cross-wind). Επιπλέον οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα μπορούν να έχουν ένα, δύο, τρία ή ακόμα και πενήντα πτερύγια, ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη (up wind), δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη (down wind), δηλαδή πίσω από τον



πύργο στήριξης σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου.

*Ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα*

Ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συγκαταλέγονται οι κλασικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι (π.χ. τύπου Μυκόνου) 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, αν και εμφανίζουν σχετικά μεγάλες ροπές λειτουργίας. Στο παρελθόν κατασκευάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακα αντίστοιχες μηχανές και βρήκαν ευρεία εφαρμογή για την άντληση νερού και άλλες γεωργικές χρήσεις.

Από την άλλη πλευρά στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζοντίου άξονα περιλαμβάνονται και οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα (περίπου το 90% του συνόλου των εγκατεστημένων παγκοσμίως μηχανών), και οι οποίες ονομάζονται ανεμογεννήτριες τύπου “έλικας”. Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγια τους που είναι συνήθως ένα έως τρία, βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων αλλά και σ’ αυτή της έλικας των ελικοπτέρων. Ένα από τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσής τους, αλλά και η βέλτιστη λειτουργία τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου περιστροφής “λ”, με αποτέλεσμα την αρκετά μεγάλη σχετική ταχύτητα προσβολής των πτερυγίων από τον άνεμο.

Στις ανεμογεννήτριες τύπου “έλικας” γίνεται ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής και για λόγους προστασίας της σε περιπτώσεις πολύ ισχυρών ανέμων, είτε με τη χρήση ειδικών αεροδυναμικών βοηθημάτων (π.χ. “flaps”) στην άκρη των πτερυγίων είτε με τη στροφή των πτερυγίων υπό γωνία σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. Η αιολική ισχύς από τα πτερύγια μεταφέρεται είτε μέσω συστήματος μετάδοσης κίνησης (οδοντωτοί τροχοί) στη βάση του πύργου στήριξης, είτε από τον άξονα της πτερύγωσης στην ηλεκτρική γεννήτρια, που βρίσκεται συνήθως και αυτή στον πύργο στήριξης. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συνεχίζουν να αναπτύσσονται και σήμερα, ενώ έχουν κατασκευασθεί ή κατασκευάζονται μονάδες με ισχύ, που κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες Watt έως και αρκετά MW.

Τέλος έχουν επινοηθεί και προταθεί κατά καιρούς διάφορες μηχανές τύπου “cross-wind”, οι οποίες όμως δεν είναι περισσότερο αποτελεσματικές σε σύγκριση με τους άλλους τύπους. Αντίθετα οι συγκεκριμένες ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν προβλήματα όσον αφορά τη συλλογή της παραγόμενης ενέργειας καθώς και τη ρύθμιση της διεύθυνσης της πτερωτή σε περιπτώσεις έντονων μεταβολών της διεύθυνσης του ανέμου.

Στο επόμενο κεφάλαιο (4<sup>ο</sup>) ακολουθεί αναλυτική περιγραφή όλων των μερών μιας σύγχρονης ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα.

### 3.4. Χαρακτηριστικά μεγέθη αιολικών μηχανών

Κατά το σχεδιασμό και την επιλογή μιας εγκατάστασης αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, οι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψιν και χαρακτηρίζουν μια ανεμογεννήτρια που πρόκειται να επιλεγεί είναι:

- I. Η διάμετρος πτερωτής της ανεμογεννήτριας "D", η οποία καθορίζει το εμβαδόν το οποίο σαρώνει η πτερωτή και συνεπώς την ενεργό επιφάνεια δια μέσου της οποίας επιχειρούμε να αξιοποιήσουμε την αιολική ενέργεια. Έχοντας κάποιες εκτιμήσεις, για τη μέση ροή ενέργειας μιας περιοχής καθώς και για το ποσοστό το οποίο μπορούμε να αξιοποιήσουμε (σε Watt/m<sup>2</sup>), είναι δυνατός ο κατ' αρχήν καθορισμός της διαμέτρου της πτερωτής, εφ' όσον είναι γνωστή η απαιτούμενη ισχύς.
- II. Το ύψος τοποθέτησης "H" για μηχανές οριζοντίου άξονα ή απλά το ύψος του δρομέα για μηχανές κατακορύφου άξονα. Γνωρίζουμε ότι αυξανόμενου του ύψους αυξάνεται αφενός το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό (μέχρι το τέλος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος), αφετέρου το βάρος και το κόστος της εγκατάστασης. Επιπλέον, υπάρχουν και περιορισμοί ελαχίστου ύψους, που βασίζονται στο γεγονός ότι τα πτερύγια δεν πρέπει να βρίσκονται πολύ κοντά στο έδαφος για να αποφεύγονται φαινόμενα αλληλεπίδρασης εδάφους. Εν γένει το ύψος ενός ανεμοκινητήρα καθορίζεται με βάση τη διάμετρο της πτερωτής και οι χρησιμοποιούμενες αριθμητικές τιμές είναι μεταξύ του  $H/D=1.0$  και  $H/D=1.5$ .
- III. Το πλήθος των πτερυγίων "Z" της πτερωτής το οποίο συνδέεται και με τη σιβαρότητα "σ" της μηχανής.. Βέβαια σεις σημερινές εφαρμογές χρησιμοποιούνται κατά κανόνα τριπτέρυγες ή διπτέρυγες πτερωτές.
- IV. Το είδος των πτερυγίων της πτερωτής, που περιλαμβάνει αφενός τον τύπο των πτερυγίων, δηλαδή εάν αυτά ανήκουν σε κάποια τυποποιημένη κατηγορία ή όχι, το πάχος τους, τη συστροφή τους, αφετέρου τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους.
- V. Η ονομαστική ταχύτητα περιστροφής "n" της πτερωτής, η οποία καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου σε περιπτώσεις διασυνδεδεμένων μηχανών και η αντοχή των πτερυγίων σε φυγόκεντρες τάσεις.

- VI. Το βήμα της πτερωτής " $\beta=\beta(r)$ ", το οποίο ορίζεται από τη γωνία " $\beta$ " η οποία σχηματίζεται από τη χορδή της αεροτομής και από το επίπεδο περιστροφής της πτερωτής,. Το βήμα της πτερωτής αποτελεί γεωμετρικό στοιχείο αυτής και συνήθως μεταβάλλεται από το πόδι έως το κεφάλι των πτερυγίων, δηλαδή  $\beta=\beta(r)$ . Το βήμα της έλικας μειώνεται συνήθως από το πόδι έως το κεφάλι της πτερύγωσης, ενώ ο τρόπος μεταβολής του βήματος κατά το ύψος του πτερυγίου αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία επιτυχούς σχεδιασμού του δρομέα. Συνήθως ο ορισμός του βήματος μιας πτερωτής αναφέρεται (όπως και στις αεροπορικές έλικες), κατά σύμβαση σε απόσταση 2/3 της ακτίνας της μηχανής από τον άξονά της ή στη θέση 2/3 του ύψους του πτερυγίου, με επικρατέστερη τη δεύτερη άποψη.
- VII. Ο συντελεστής ισχύος " $C_p$ " της ανεμογεννήτριας, αποτελεί στην ουσία τον αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης της πτερωτής. Αν και περισσότερα στοιχεία για το συντελεστή ισχύος θα δοθούν στην επόμενη παράγραφο, αξίζει να διευκρινίσουμε ότι ο συντελεστής αυτός περιγράφει το ποσοστό της ισχύος του ανέμου που εκμεταλλεύεται η πτερωτή της μηχανής. Πρέπει δε να σημειωθεί ότι ακόμα και για μια ιδανική έλικα ο συντελεστής ισχύος δεν είναι δυνατόν να υπερβεί το όριο του Betz, δηλαδή:

Στην πραγματικότητα ο συντελεστής ισχύος είναι πάντοτε αρκετά μικρότερος του ορίου του Betz, λόγω της συνεκτικότητας του ανέμου, του πεπερασμένου αριθμού των πτερυγίων της πτερωτής και της απώλειας κινητικής ενέργειας, που δεν μετατρέπεται σε στατική πίεση λόγω της μη βέλτιστης σχεδίασης των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας

- VIII. Η ονομαστική ισχύς " $N_o$ " της μηχανής, η οποία καθορίζει το μέγεθος μιας ανεμογεννήτριας και αποτελεί το μέτρο της στιγμιαίας ωφέλιμης παραγόμενης ενέργειας από την αξιοποίηση της αιολικής ισχύος σε μια επιφάνεια εμβαδού " $A$ ", όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι " $V$ " και η πυκνότητα του αέρα είναι " $\rho$ ". Στην περίπτωση αυτή ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$N = 0.5 * C_p * n * \rho * A * V^3$$

που ο βαθμός απόδοσης " $\eta$ " περιλαμβάνει τις απώλειες του μηχανικού συστήματος " $\eta_M$ " (απώλειες τριβής, απώλειες εδράσεων, πολλαπλασιαστής στροφών κ.λπ.) καθώς και τις απώλειες της ηλεκτρομηχανικής μετατροπής " $\eta_E$ ".

Εν γένει:  $\eta = \eta_M * \eta_E$

### 3.5. Σύγκριση μηχανών οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι αιολικές μηχανές χωρίζονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες, τις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα και αυτές του κατακόρυφου άξονα. Οι επικρατέστεροι τύποι ανεμοκινητήρων της πρώτης κατηγορίας είναι οι μηχανές τύπου «αεροπορικής έλικας» ενώ τη δεύτερη κατηγορία αντιπροσωπεύουν επάξια οι μηχανές τύπου «Darricus». Στο σημείο πρέπει να παρουσιάσουμε τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δυο αυτών κατηγοριών ανεμοκινητήρων, υπενθυμίζοντας οτι σήμερα η συντριπτική πλειοψηφία των εγκατεστημένων αιολικών μηχανών είναι τύπου οριζοντίου άξονα, ενώ στην αγορά διατίθενται και πολυπτερυγες μηχανές «αμερικανικού τύπου» καθώς και μηχανές τύπου «Savonius», κυρίως για εφορμογές μικρής ισχύος.

Πιο συγκεκριμένα έχουμε ότι:

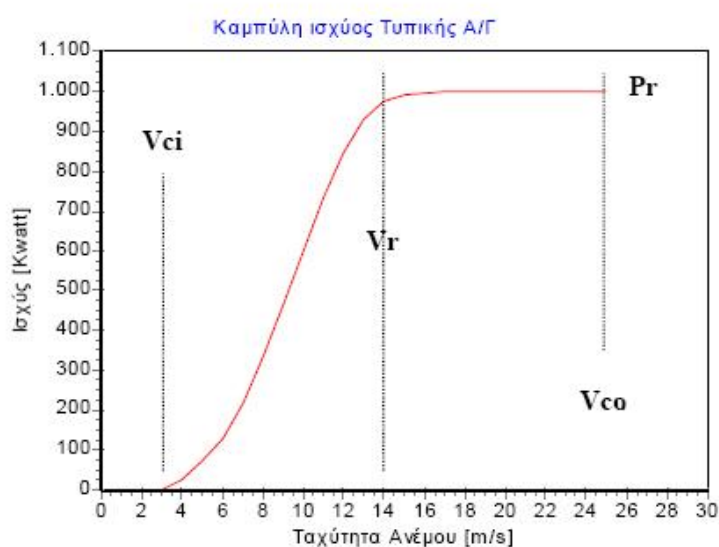
- i. Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα δεν χρειάζονται σύστημα προσανατολισμού, το οποίο είναι άκρως απαραίτητο για τις μηχανές οριζοντίου άξονα.
- ii. Στις μηχανές κατακόρυφου άξονα το παραγόμενο μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω κατακόρυφου άξονα απευθείας στο έδαφος, όπου βρίσκεται τοποθετημένη και η ηλεκτρική γεννήτρια, σε αντίθεση με τις μηχανές οριζοντίου άξονα.
- iii. Στις μηχανές κατακόρυφου άξονα η κατασκευή του πύργου στήριξης είναι απλή, ενώ στις μηχανές οριζοντίου άξονα ο πύργος στήριξης έχει ειδικές απαιτήσεις.
- iv. Στις μηχανές κατακόρυφου άξονα δεν υπάρχει η δυνατότητα αλλά ούτε και η ανάγκη ρύθμισης του βήματος της περωτής για τον έλεγχο της ισχύος της μηχανής, πράγμα που είναι απαραίτητο για τις μηχανές του οριζοντίου άξονα.
- v. Οι μηχανές τύπου «Darricus» παρουσιάζουν σημαντικό πρόβλημα κατά την εκκίνηση και απαιτείται εξωτερική βοήθεια πράγμα που δεν εμφανίζεται στις μηχανές οριζοντίου άξονα.

Συνοψίζοντας έχουμε οτι οι μηχανές οριζοντίου άξονα πλεονεκτούν σε συνολική απόδοση και θεωρούνται σαφώς πιο εξελιγμένες απο κάθε άλλου τύπου αιολικές μηχανές. Όμως, οι μηχανές κατακόρυφου άξονα είναι πιο απλές στην κατασκευή τους και πέραν των προβλημάτων που εμφανίζουν είναι αρκετά ανταγωνιστικές των μηχανών οριζοντίου άξονα, λαμβάνοντας υπόψιν και το κόστος της αρχικής εγκατάστασης.

### 3.6. Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας

Αντίθετα με όσα νομίζουν πολλοί μια ανεμογεννήτρια όταν γυρνάει δεν παράγει σταθερή ισχύ αλλά η ισχύς που παράγει εξαρτάται από την ένταση του Ανέμου.

Η καμπύλη ισχύος μας δίνει την παραγωγή της ανεμογεννήτριας στην μονάδα του χρόνου σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου. Συνήθως δίνεται από την κατασκευάστρια εταιρεία σε μορφή πινάκα και έχει την μορφή του παρακάτω σχήματος.



Ταχύτητα Ανέμου	Ισχύς
3	0,00
4	24,10
5	69,30
6	130,00
7	219,10
8	333,50
9	463,10
10	598,10
11	730,00
12	846,50
13	928,80
14	972,60
15	990,80
16	997,20
17	999,20
18	999,80
19	999,90
20	1000,00
21	1000,00
22	1000,00
23	1000,00
24	1000,00
25	1000,00

Υπάρχουν τρεις χαρακτηριστικές ταχύτητες που διαμορφώνουν την καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας:

**Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας  $V_{ci}$**  (cut-in speed): η ανεμογεννήτρια παρουσιάζει απώλειες λόγω τριβών στον άξονα περιστροφής, στο σύστημα πέδησης, στον πολλαπλασιαστή στροφών, κλπ. με αποτέλεσμα να αποδίδει ισχύ μόνο όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει μια ορισμένη ταχύτητα  $V_{ci}$ . Για ταχύτητες μικρότερες από αυτή η ανεμογεννήτρια δεν αποδίδει ισχύ. Η τιμή της είναι συνήθως 3-5 m/s.

**Ονομαστική ταχύτητα  $V_r$**  (rated speed): Είναι η ταχύτητα ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια παράγει την ονομαστική της ισχύ, συνήθως 12-15 m/s.

**Ταχύτητα διακοπής λειτουργίας  $V_{co}$**  (cut-out speed) : είναι η ταχύτητα στην οποία η ανεμογεννήτρια σταματά την λειτουργία της και συνεπώς την παραγωγή ισχύος για λόγους ασφαλείας, συνήθως 20-25 m/s. Στην περίπτωση αυτή ολόκληρη η ισχύς του ανέμου παραμένει ανεκμετάλευτη.

**Ονομαστική Ισχύς  $P_r$**  : είναι η ισχύς της ανεμογεννήτριας που αναφέρεται από τον κατασκευαστή και συνήθως είναι το υψηλότερο σημείο της καμπύλης ισχύος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ

### 4.1. Θεμελίωση

Για την ασφαλή στήριξη και λειτουργία της κάθε ανεμογεννήτριας κατασκευάζεται βάση θεμελίωσης (Foundation) από σκυροδέμα μετὰ του απαραίτητου σιδηρού οπλισμού. Στην προκαθορισμένη θέση της κάθε ανεμογεννήτριας θα γίνεται εκσκαφή της βάσης θεμελίωσης διαστάσεων εκσκαφής 12(m)x12(m)x3(m) κυβικών μέτρων περίπου. Στον πυθμένα της βάσης, πριν την ρίψη του οπλισμένου θα γίνει η έκχυση άοπλου σκυροδέματος (μπετόν καθαριότητας) με πάχος περίπου 10 εκατοστών. Η βάση θεμελίωσης θα έχει κωνικό σχήμα κάτω από το έδαφος και κυκλικό στο επίπεδο του εδάφους .

Πριν την έκχυση του σκυροδέματος θα τοποθετηθούν τα ηλεκτρόδια γείωσης καθώς και οι ταινίες της θεμελιακής γείωσης. Τα ηλεκτρόδια γείωσης, θα τοποθετηθούν κάθετα στο επίπεδο του πυθμένα της βάσης στήριξης σε οπές που θα διανοικτούν κατά την φάση των εκσκαφών. Οι ταινίες της θεμελιακής γείωσης θα εγκατασταθούν ακτινικά και περιμετρικά της βάσης θεμελίωσης. Επίσης, κατά στην φάση αυτή θα τοποθετηθούν οι σωλήνες τύπου αποχέτευσης υψηλής πίεσης, κατασκευής εκ PVC για την προστασία των καλωδίων ισχύος και επικοινωνιών που θα εισέρχονται και εξέρχονται από την βάση του πυλώνα της ανεμογεννήτριας.

Κατόπιν όλων των παραπάνω εργασιών θα επακολουθήσει η έκχυση του σκυροδέματος επαρκούς αντοχής (συνήθως C20/25). Οι ακριβείς διαστάσεις της βάσης θεμελίωσης θα προκύψουν από την Οριστική Μελέτη Εφαρμογής.



Αρχικό στάδιο θεμελίωσης (1)



Αρχικό στάδιο θεμελίωσης (2)



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ



## 4.2. Πύργος

Ο πύργος μιας ανεμογεννήτριας στηρίζει το σύστημα της ατράκτου (nacelle), το οποίο ζυγίζει αρκετούς τόνους και ανυψώνει τον ρότορα σε ένα ύψος όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι σημαντικά μεγαλύτερη και λιγότερο διαταραγμένη απ' ό,τι στο επίπεδο του εδάφους λόγω της επίδρασης της διάτμησης του εδάφους.

Οι συνήθεις τύποι των πύργων είναι οι εξής:

**Σωληνωτοί πύργοι:** αυτοί κατασκευάζονται από κωνικά λεπτυνόμενο χάλυβα ή σκυρόδεμα. Οι περισσότερες μεγάλες ανεμογεννήτριες τελευταία παραδίδονται με σωληνωτούς χαλύβδινους πύργους, οι οποίοι κατασκευάζονται σε τμήματα των 20 έως 30(m) με φλάντζες στα άκρα και συναρμολογούνται επιτόπου. Οι πύργοι είναι κωνικοί (η διάμετρος τους αυξάνεται προς τη βάση) ώστε να αυξάνεται η αντοχή τους και, συγχρόνως να εξικονομείται υλικό. Ο σωληνωτός πύργος είναι αισθητικά καλύτερος, προστατεύει όλα τα όργανα της Α/Γ στο εσωτερικό του, έχει εσωτερική σκάλα ή ανελκυστήρα πρόσβασης στην άτρακτο.

**Δικτυωτοί πύργοι:** οι πύργοι αυτοί κατασκευάζονται απο συγκολλημένες χαλύβδινες κατατομές. Η ανέγερση τους είναι σχετικά φθηνή και απαιτούν λιγότερο σιβαρά θεμέλια απο τους σωληνωτούς πύργους, λόγω της εξάπλωσης των δομικών φορτίων σε ευρύτερη έκταση. Έτσι, το βασικό πλεονέκτημα τους είναι το κόστος, αφού ένας δικτυωτός πύργος απαιτεί μόνο το ήμισι του υλικού ενός χαλύβδινου σωληνωτού με παρόμοια ακαμψία.



*Σωληνωτός χαλύβδινος πύργος*



*Δικτυωτός πύργος*

Το κύριο μέλημα στην κατασκευή του πύργου, είναι η δυναμική του συμπεριφορά. Οι ταλαντώσεις του και οι περιοδικές καταπονήσεις του που προέρχονται από τις διακυμάνσεις του ανέμου, πρέπει όσο το δυνατό να ελαχιστοποιούνται κατά τη σχεδίασή του.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να αποφεύγονται συνθήκες συντονισμού. Συγκεκριμένα ο σωληνωτός πύργος έχει χαμηλή ιδιοσυχνότητα (μικρότερη από την ιδιοσυχνότητα του ρότορα) γι' αυτό κατά την εκκίνηση του δρομέα η περιοχή ιδιοσυχνότητας του πύργου πρέπει να περνιέται γρήγορα για αποφυγή φαινομένων συντονισμού. Αντίθετα ο δικτυωτός πύργος έχει υψηλή ιδιοσυχνότητα ως προς την ιδιοσυχνότητα του ρότορα.

### Στατική φόρτιση πύργου ανεμογεννήτριας

Όπως είναι γνωστό από την αντοχή των υλικών, ο πύργος της ανεμογεννήτριας, που συνήθως είναι χαλύβδινος σωλήνας, καταπονείται τόσο στατικά όσο και δυναμικά. Η πιο επικίνδυνη διατομή στην οποία υπάρχουν οι περισσότερες πιθανότητες να εμφανισθεί αστοχία λόγω στατικής καταπόνησης είναι η βάση του πύργου. Η βάση του πύργου καταπονείται κυρίως θλιπτικά και καμπτικά.

Στην παρακάτω διατομή η ορθή τάση που αναπτύσσεται εξαιτίας της θλίψης και της κάμψης είναι:

$$\sigma = \frac{T \cdot L + M}{W} + \frac{B}{A}$$

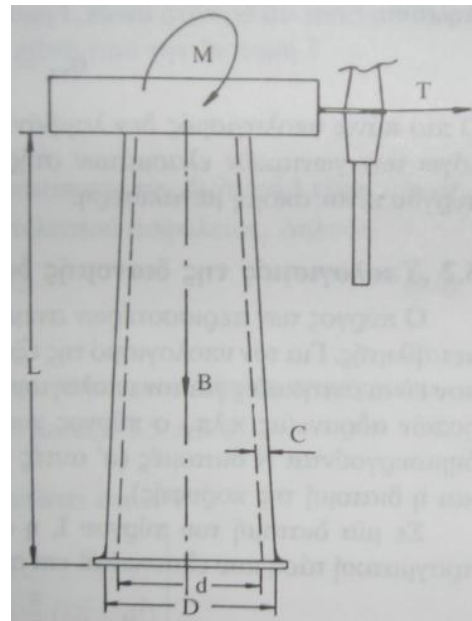
Όπου:

T η ώθηση του ρότορα. Αυτή υποτίθεται ότι είναι οριζόντια αν και έχει μια μικρή κλίση της τάξης των 5° και υπολογίζεται από την αεροδυναμική της έλικας.

$$W = \frac{\pi}{32} (D^4 - d^4) : \text{η ροπή αντίστασης}$$

της διατομής της βάσης.

D η εξωτερική διάμετρος της βάσης



Τυπική μορφή πύργου

**d** η εσωτερική διάμετρος της βάσης

**B** το συνολικό βάρος της Α/Γ, το οποίο αποτελείται από το βάρος του πύργου, του ρότορα και της ατράκτου.

**A** =  $\frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$  : το εμβαδό της βάσης του πύργου.

**M** η ροπή στέψης η οποία καταπονεί τον ρότορα και η οποία μεταβιβάζεται σαν ροπή κάμψης στον πύργο. Αυτή υπολογίζεται από την αεροδυναμική του ρότορα.

**C** =  $\left(\frac{D-d}{2}\right)$  : το πάχος του σωληνωτού πύργου, το οποίο για λόγους απλοποίησης των υπολογισμών είναι σταθερό σ' όλο το μήκος αυτού.

$$\sigma_{eff} = \left[ \frac{T * L + M}{W} + \frac{B}{A} \right]$$

Η τάση αυτή όμως είναι γνωστό από την αντοχή των υλικών ότι πρέπει να είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη τάση, δηλαδή

$$\sigma_{eff} < \sigma_{επιτρ}$$

Η επιτρεπόμενη τάση  $\sigma_{επιτρ}$  σύμφωνα με τις προδιαγραφές είναι μικρότερη από τα δυο πιο κάτω μεγέθη.

$$R_s = \frac{R_{δ,όριο}}{1.6}$$

$$R_m = \frac{R_{m,\delta\rho\omega}}{2.7}$$

όπου:

**$R_\delta$**  ελάχιστο σημείο διαρροής.

**$R_m$**  αντοχή σε εφελκυσμό του καλύβδινου πύργου.

Δηλαδή

$$\sigma_{\text{πύργ}} = \text{MIN}(R_\delta, R_m)$$



*Συγκόληση τμημάτων χαλύβδινου πύργου*

Ο χαλύβδινος πύργος μιας ανεμογεννήτριας κατασκευάζεται συνήθως σε τμήματα 20 έως 30 m με φλάντζες στις άκρες του κάθε τμήματος. Το καθένα από τα τμήματα του πύργου (συνήθως τρία) αποτελείται από επιμέρους τμήματα που συγκολλούνται μεταξύ τους. Όπως φαίνεται και στην παραπάνω εικόνα το κάθε επιμέρους τμήμα τοποθετείται έτσι ώστε η συγκόληση του να μην ακολουθεί την συγκόληση του επόμενου επιμέρους τμήματος αλλά να βρίσκεται στην ακριβώς απέναντι πλευρά.



*Μεταφορά τμήματος σωληνωτού πύργου μιας Α/Γ.*

Μόλις ολοκληρωθούν οι απαραίτητες προεργασίες ακολουθεί η μεταφορά του εξοπλισμού και των γερανών στη θέση εγκατάστασης. Το στάδιο της μεταφοράς είναι ιδιαίτερα δύσκολο και σημαντικό λόγω των προβλημάτων που μπορεί να παρουσιαστούν, με συνέπεια την αύξηση του προυπολογισμένου κόστους και την απομάκρυνση από το αρχικό χρονοδιάγραμμα.

Οι αιτίες των προβλημάτων κατά το στάδιο της μεταφοράς είναι οι εξής:

1. Οδικό δίκτυο σε κακή κατάσταση, αφού πολλές φορές το υπάρχον δίκτυο είναι επαρχιακοί αγροτικοί δρόμοι κατάλληλοι για μικρά και ελαφρά οχήματα ή οχήματα με ειδικές δυνατότητες.
2. Οδικό δίκτυο με κλειστές στροφές χωρίς μεγάλο πλάτος ή με μεγάλες κλίσεις ανόδου/καθόδου.
3. Ύπαρξη μικρών γεφυρών με μικρό πλάτος ή απλών αγωγών ομβρίων υδάτων που δεν αντέχουν το βάρος των φορτηγών μεταφοράς η των γερανών για την ανέγερση.
4. Όταν η θέση εγκατάστασης προϋποθέτει και μεταφορά με πλοίο, (πράγμα που συμβαίνει στο μεγαλύτερο ποσοστό των περιπτώσεων εγκατάστασης αιολικών πάρκων στην Ελλάδα), η έλλειψη δρομολογημένου οχηματαγωγού με δυνατότητα μεταφοράς μεγάλων φορτηγών και γερανών αποτελεί σημαντικό πρόβλημα.
5. Εάν ξεπεραστεί το πρόβλημα (4) με ναύλωση έκτακτου δρομολογίου ή με διάθεση κατάλληλου σκάφους, πρέπει να αντιμετωπιστεί το ενδεχόμενο έλλειψης προβλήτας ικανής να εκφορτωθούν βαριά οχήματα. Η έλλειψη και επομένως η κατασκευή προβλήτας είναι πολύ πιθανή, είτε γιατί το νησί είναι μικρό και προσεγγίζεται μόνο απο μικρά σκάφη, είτε γιατί η θέση εγκατάστασης είναι σε αρκετά απομονωμένη περιοχή του νησιού και η κατασκευή προβλήτας είναι χρονικά συντομότερη και οικονομικά φθηνότερη απο την κατασκευή δρόμου απο το υπάρχον οδικό δίκτυο μέχρι τη θέση εγκατάστασης.



#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ

Στις παρακάτω φωτογραφίες βλέπουμε το εσωτερικό μέρος του πύργου. Διακρίνεται η εσωτερική σκάλα ανόδου που οδηγεί στην κορυφή του συγκεκριμένου τμήματος του πύργου. Πάνω στην σκάλα υπάρχει ράγα ή συρματοσχοίνο ασφαλείας, στα οποία τοποθετείται ένας μηχανισμός (slider) που είναι συνδεδεμένος στη ζώνη του ατόμου που θα αναρριχηθεί στον πύργο και τον συγκρατεί από μια πιθανή πτώση. Υπάρχει επίσης φωτισμός σ' ολο τον πύργο από λαμπτήρες που είναι τοποθετημένοι κατά μήκος της σκάλας. Με τον ίδιο τρόπο είναι κατασκευασμένα και τα υπόλοιπα τμήματα του πύργου.

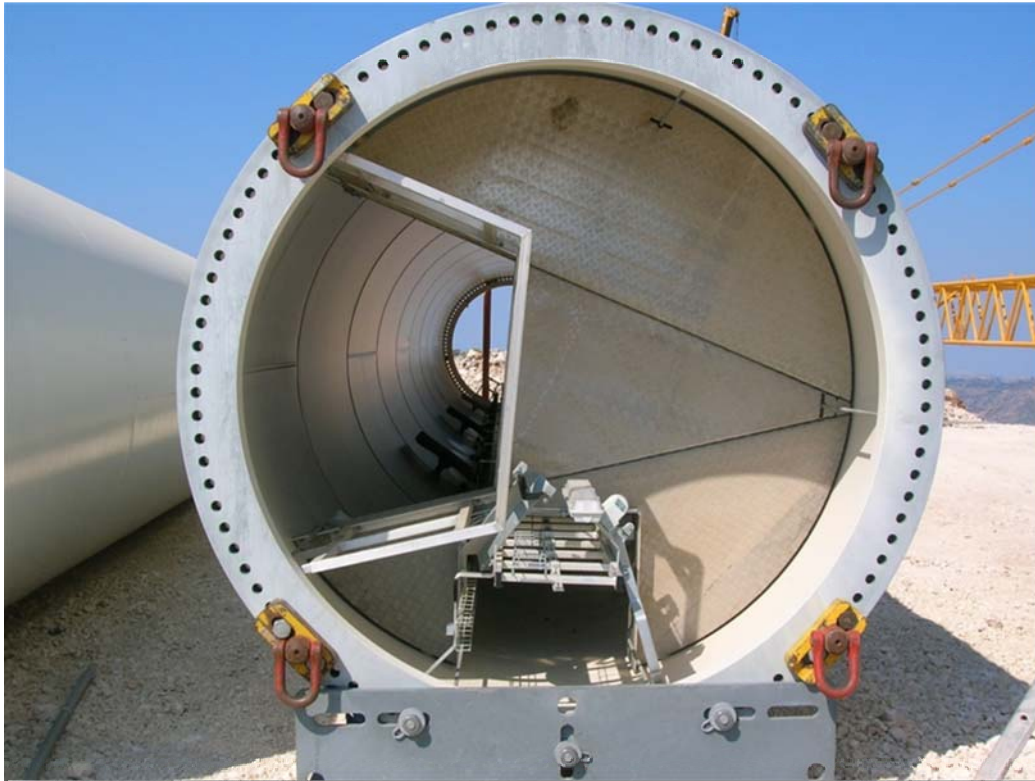


Στην εικόνα αυτή φαίνεται η φλάντζα απο τη βάση ενός τμήματος του πύργου στην οποία έχουν τοποθετηθεί δυο ανυψωτικές συσκευές και οι αντίστοιχοι πιστοποιημένοι ιμάντες για την ανέγερση. Κάθε μια απο τις ανυψωτικές συσκευές συγκρατείται στη φλάντζα απο δυο περαστούς κοχλίες, οι οποίοι σφίγγονται με ένα γερμανοπολύγωνο. Οι δύο ιμάντες κοτσάρονται στην μπασοδέκα του βοηθητικού γερανού μέχρις ώτου το τμήμα του πύργου έρθει σε κατακόρυφη θέση, οπότε αφαιρούνται και συνεχίζει την ανύψωση ο μεγάλος γερανός.



*Τοποθέτηση ανυψωτικών στην φλάντζα της βάσης κάθε τμήματος*

Στην εικόνα αυτή φαίνεται η φλάντζα απο την κορυφή ενός τμήματος του πύργου στην οποία έχουν τοποθετηθεί συμμετρικά τέσσερις ανυψωτικές συσκευές, στις οποίες θα συνδεθούν με ναυτικά κλειδιά αντίστοιχα τέσσερα σαμπάνια απο τον μεγάλο γερανό. Κάθε μια απο τις ανυψωτικές συσκευές συγκρατείται στη φλάντζα απο δυο περαστούς κοχλίες, οι οποίοι σφίγγονται με ένα γερμανοπολύγωνο. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τα υπόλοιπα τμήματα του πύργου που πρόκειται να ανεγερθούν.



*Τοποθέτηση ανυψωτικών συσκευών στην φλάντζα της κορυφής κάθε τμήματος*

Η φλάντζα του κάθε τμήματος έχει έναν συγκεκριμένο αριθμό οπών και την ίδια ακριβώς διάμετρο με την αντίστοιχη φλάντζα του τμήματος που πρόκειται να ενωθεί. Στην εικόνα αυτή διακρίνεται επίσης η εσωτερική σκάλα ανόδου και ένα κενό στο πατάρι απο το οποίο θα διέρχεται ο ανελκυστήρας, ο οποίος φθάνει σχεδόν στην κορυφή του τελευταίου τμήματος της Α/Γ.



Αφού τοποθετηθούν οι ανυψωτικές συσκευές στην κορυφή και στη βάση του κάθε τμήματος του πύργου, οι γερανοί είναι έτοιμοι να ξεκινήσουν την ανέγερση. Αρχικά βιράρουν και οι δύο γερανοί ταυτόχρονα λίγα μέτρα πάνω από το έδαφος και στη συνέχεια βιράρει μόνο ο μεγάλος γερανός, ενώ ο μικρός γερανός μαϊνάρει συνεχώς μέχρις ότου ο πύργος βρεθεί σε κατακόρυφη θέση. Όλα αυτά με ταυτόχρονη συνεννόηση των χειριστών των δύο γερανών.



Ο γερανός ανυψώνει σιγά-σιγά το τμήμα του πύργου. Στην κορυφή του κάθε τμήματος που έχει ήδη εγκατασταθεί βρίσκονται συνήθως τρία ή τέσσερα άτομα, ένας εκ των οποίων κατευθύνει τον χειριστή.



Το τελευταίο τμήμα του πύργου έχει φθάσει στην κορυφή του ήδη εγκατεστημένου τμήματος και απομένουν λίγες κινήσεις μέχρις ότου ευθυγραμμιστεί και έρθει στην κατάλληλη θέση προκειμένου να περαστούν οι κοκλίες που θα συνδέσουν τις δύο φλάντζες.



Ο πύργος είναι σχεδόν ευθυγραμμισμένος και οι δυο φλάντζες θα ενωθούν μεταξύ τους με περαστούς κοχλίες. Με την ανύψωση του τρίτου (και τελευταίου) τμήματος του πύργου της ανεμογεννήτριας είναι απαραίτητο για λόγους ασφαλείας να εγκατασταθεί την ίδια ημέρα και η άτρακτος (nacelle).

Μόλις το τμήμα ενός πύργου ανεγερθεί και περαστούν οι κοκλίες που ενώνουν τις δυο φλάντζες γίνεται αρχικά σύσφιξη με ένα ηλεκτρόκλειδο. Αμέσως μετά γίνεται κανονική σύσφιξη με μια κεφαλή (υδραυλικό δυναμόκλειδο) σαν αυτή που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



*Κεφαλή για σύσφιξη περαστών κοκλιών μεταξύ δυο φλαντζών*

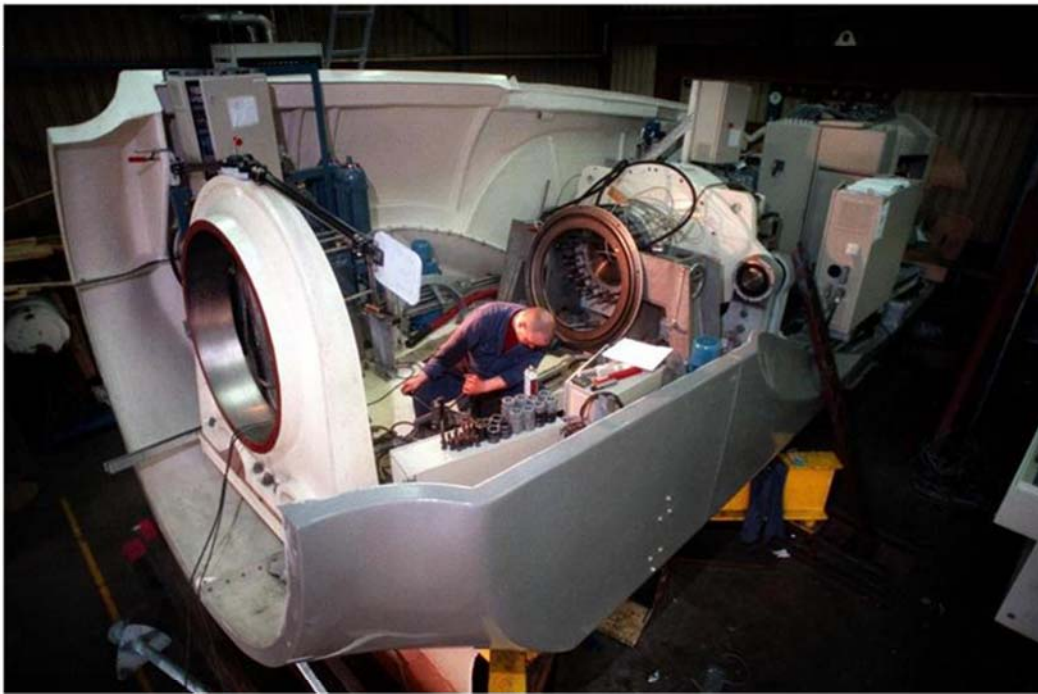
Η κεφαλή αυτή είναι συνδεδεμένη μέσω δυο ελαστικών σωλήνων υψηλής πίεσης με μια αντλία. Η αντλία αυτή διοχετεύει με λάδι πίεσης άνω των 435 bar την κεφαλή με αποτέλεσμα να πρεσσάρεται ένα έμβολο εσωτερικά της κεφαλής το οποίο περιστρέφει το καρυδάκι για να γίνει η σύσφιξη.

Ανάλογα με το μέγεθος των κοκλιών και τη σκληρότητα τους και ανάλογα με το μέγεθος της κεφαλής ο κατασκευαστής ορίζει την δύναμη σύσφιξης. Για παράδειγμα η δύναμη σύσφιξης για κοκλία M42x335 χρησιμοποιώντας κεφαλή με τύπο RSL 6 είναι 4500Nm.



### 4.3. Άτρακτος

Η άτρακτος βρίσκεται στην κορυφή του πύργου και περιέχει τα εξαρτήματα που συμβάλλουν στην λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Αυτά είναι το κιβώτιο ταχυτήτων, η ηλεκτρική γεννήτρια, οι άξονες χαμηλής και υψηλής ταχύτητας, το σύστημα περιστροφής και προσανατολισμού, το υδραυλικό σύστημα, η μονάδα ελέγχου, το δισκόφρενο και οι μετασχηματιστές.



*Συναρμολόγηση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού ατράκτου ανεμογεννήτριας.*

Το κέλυφος της ατράκτου (nacelle) είναι συνήθως από πολυεστερικό υλικό ενισχυμένο με υαλοβάμβακα και προστατεύει τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό της ανεμογεννήτριας από βροχή, χιόνι, σκόνη, κ.λ.π. Η πρόσβαση στην άτρακτο γίνεται από κεντρικό άνοιγμα μέσω της εσωτερικής σκάλας που υπάρχει στον πύργο, ανεξάρτητα από τη θέση της ατράκτου ως προς τον πύργο.



Παρακάτω αναφέρονται τα κύρια μέρη της ατράκτου μιας ανεμογεννήτριας:

1. Ελεγκτής ρότορα
2. Κύλινδροι μεταβολής βήματος πτερυγίων (pitch control)
3. Ρότορας
4. Κύριος άξονας περιστροφής (άξονας χαμηλής ταχύτητας)
5. Ψύκτης λαδιού
6. Κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών (gear box)
7. Υδραυλικό δισκόφρενο (mechanical brake)
8. Βοηθητικό γερανάκι
9. Μονάδα ελέγχου ανεμογεννήτριας
10. Ανεμόμετρο και ανεμοδείκτης
11. Μετασχηματιστής
12. Πτερύγιο
13. Έδρανο (ρουλεμάν) πτερυγίου
14. Ασφάλιση ρότορα αντί περιστροφής
15. Υδραυλικό σύστημα
16. Βάση ατράκτου
17. Κινητήρας περιστροφής της ατράκτου
18. Ελαστικός σύνδεσμος
19. Ηλεκτρική γεννήτρια
20. Ψύκτης ηλεκτρικής γεννήτριας



*Άτρακτος (Nacelle) της εταιρείας Gamesa*



*Άτρακτος (Nacelle) της εταιρείας Vestas*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ



*Τοποθέτηση ανυψωτικών συσκευών σε άτρακτο της εταιρείας Gamesa*

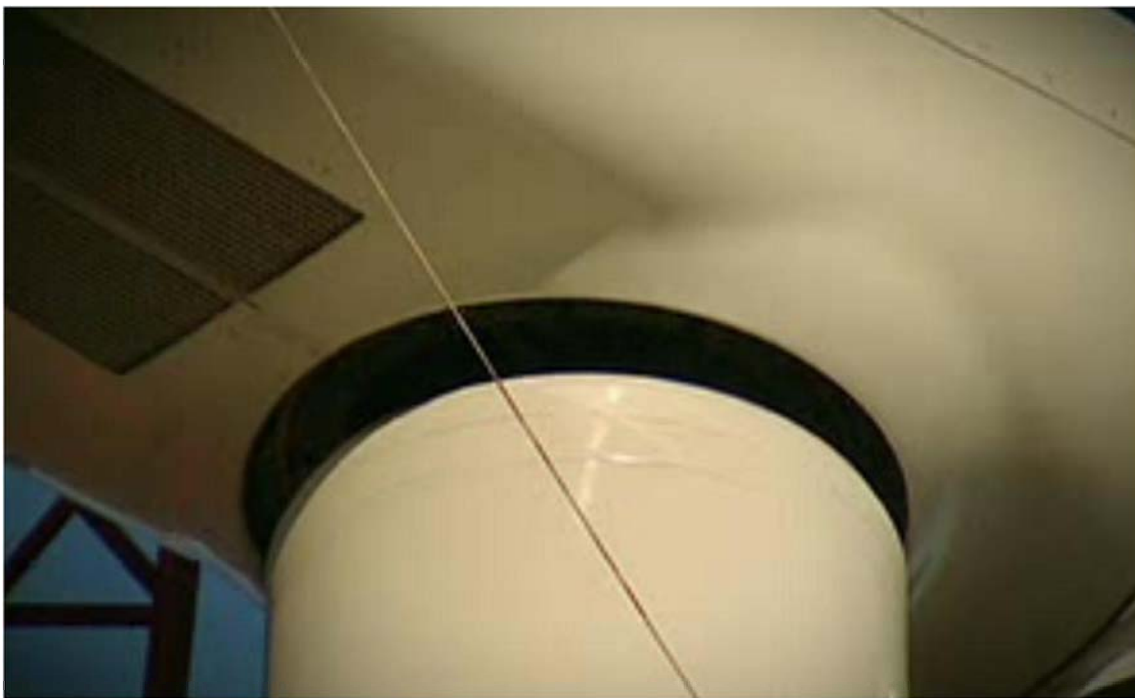


*Τοποθέτηση ανυψωτικών συσκευών σε άτρακτο της εταιρείας Vestas*



*Η άτρακτος βάρους 70t καθώς ανυψώνεται.*

Η ανύψωση της άτρακτος βάρους 70t στο τελευταίο τμήμα του πύργου διαρκεί λιγότερο από 10min. Κατά την διάρκεια της ανύψωσης η άτρακτος βρίσκεται σε παράλληλη θέση με την μπούμα του γερανού. Ένα από τα άτομα που βρίσκονται στην κορυφή του πύργου κατευθύνει τον χειριστή και όταν η άτρακτος φτάσει εκεί, ο χειριστής εκτελεί δεξιά στροφή για να κεντράρει το σημείο της άτρακτος που θα "κουμπώσει" στην κορυφή του καλύβδινου πύργου.



*Η άτρακτος λίγο πριν τοποθετηθεί στο τελευταίο τμήμα του πύργου*



*Η άτρακτος τοποθετημένη στην κορυφή του χαλύβδινου πύργου*



*Ανυψωτική συσκευή άτρακτου που χρησιμοποιεί η εταιρεία Gamesa*

Αφου τοποθετηθεί η άτρακτος στην κορυφή του τελευταίου τμήματος του πύργου, ακολουθεί σύσφιξη αρχικά με ένα ηλεκτρόκλειδο (δύναμη σύσφιξης 800 Nm) και στην συνέχεια με μια κεφαλή με τελική δύναμη σύσφιξης 1400 Nm. Οι βίδες που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση του πύργου με την άτρακτο είναι 90 τον αριθμό και φυτευτές.

Αμέσως μετά την αρχική σύσφιξη της άτρακτου με το ηλεκτρόκλειδο βγαίνει η ανυψωτική συσκευή που με ιμάντες συγκρατεί την άτρακτο.



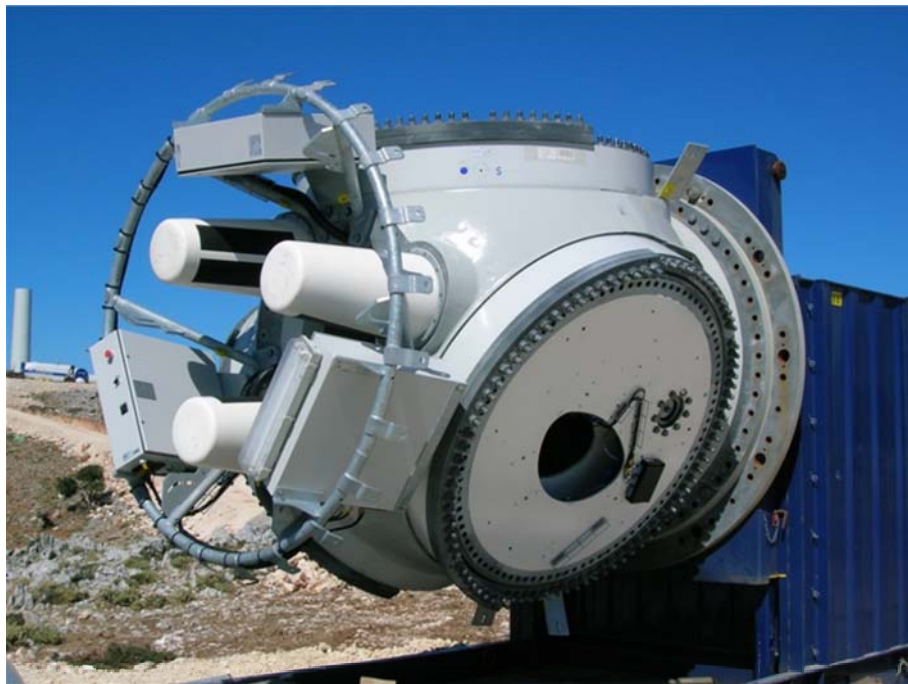
#### 4.4. Ρότορας (δρομέας)

Ο ρότορας είναι το διασυνδεδειγμένο εξάρτημα των τριών πτερυγίων της ανεμογεννήτριας. Πάνω στον ρότορα τοποθετούνται και βιδώνονται κατά την εργοστασιακή κατασκευή του τρία ρουλεμάν, ένα για κάθε πτερύγιο. Το κάθε ρουλεμάν είναι ένας ένοσφαιρος τριβέας τεσσάρων σημείων. Τα ρουλεμάν χρησιμοποιούνται για την μεταβολή της γωνίας των πτερυγίων που έχει ως αποτέλεσμα την πέδηση του ρότορα σε έκτακτες καταστάσεις. Η διεύθυνση περιστροφής του ρότορα είναι δεξιόστροφη.



*Ρότορας (δρομέας) ανεμογεννήτριας.*

Ο σχεδιασμός του ρότορα είναι ίσως το πιο βασικό ζήτημα στη σχεδίαση μιας ανεμογεννήτριας. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος σχεδιασμός των διαφόρων παραμέτρων που συνθέτουν τον ρότορα: ταχύτητα περιστροφής, διάμετρος του ρότορα, αριθμός πτερυγίων. Τα κριτήρια επιλογής είναι η μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής της. Η διάμετρος του ρότορα θα εξαρτηθεί από την απαιτούμενη ονομαστική ισχύ της μηχανής.



*Ρότορας ανεμογεννήτριας κατά τη φάση της συναρμολόγησης στο έδαφος. (1)*



*Ρότορας ανεμογεννήτριας κατά τη φάση της συναρμολόγησης στο έδαφος. (2)*



*Ρότορας κατά τη φάση της άνεγερσης και τοποθέτησης στην άτρακτο της ανεμογεννήτριας.*



*Ρότορας τοποθετημένος στην άτρακτο της ανεμογεννήτριας.*



*Ανέγερση ρότορα ανεμογεννήτριας με τα περύγια συναρμολογημένα στο έδαφος.*

## 4.5. Πτερύγια

Τα πτερύγια είναι το πιο σημαντικό εξάρτημα της ανεμογεννήτριας για την μετατροπή της αιολικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική περιστροφική ενέργεια.

Στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται τρία πτερύγια, τα οποία τοποθετούνται στον ρότορα. Τα προηγούμενα χρόνια κατασκευάστηκαν ανεμοκινητήρες που ο ρότορας διέθετε ένα ή δύο πτερύγια με μικρότερη όμως αποδοτικότητα σε σύγκριση με τους τρίπερους. Το μήκος πτερυγίου μιας σύγχρονης ανεμογεννήτριας φθάνει τα 44m.



*Πτερύγια ανεμογεννήτριας τοποθετημένα στα πλαίσια μεταφοράς τους.*

Η σταθερή μηχανική καταπόνηση που οφείλεται στις φυγόκεντρες δυνάμεις καθώς και αυτή που οφείλεται στις ταλαντώσεις των πτερυγίων, κάνουν το σχεδιασμό των πτερυγίων τον πιο αδύναμο μηχανικό σύνδεσμο του συστήματος.

Τα πτερύγια για ανεμογεννήτριες πρέπει να σχεδιάζονται για μια μακρόχρονη λειτουργία. Κατά την διάρκεια κάθε περιστροφής του δρομέα το πτερύγιο εκτίθεται σε εναλλαγές φορτίου που προκαλείτε από το βάρος του. Στις μεγάλες ανεμογεννήτριες η ροπή κάμψης λόγω του βάρους του πτερυγίου είναι βασικής σημασίας για τον υπολογισμό του πτερυγίου.

Η μηχανική καταπόνηση των πτερυγίων σε συνθήκες πολύ υψηλού ανέμου, περιορίζεται σε ανεκτά επίπεδα. Αυτό επιτυγχάνεται με τον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής, η οποία περιορίζεται μέσα στα επιθυμητά όρια. Ο έλεγχος αυτός όχι μόνο προστατεύει τα πτερύγια, αλλά και τη χρησιμοποιούμενη ηλεκτρική γεννήτρια από υπερφόρτιση και υπερθέρμανση.

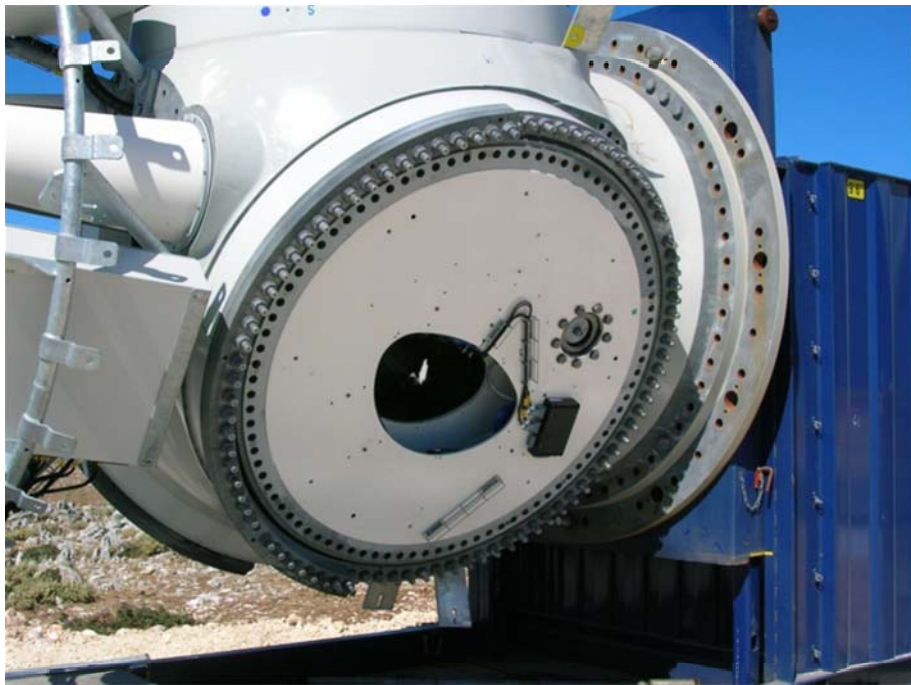


*Προετοιμασία πτερυγίων στο έδαφος.*

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα πτερύγια, διαφέρουν ανάλογα με το μέγεθος του ανεμοκινητήρα. Στις μικρές ανεμογεννήτριες συναντάμε σαν κύριο υλικό το υαλόνημα και ξύλο με εσωτερική γέμιση την πολυουρεθάνη που είναι ασαθή στα εναλλασσόμενα φορτία, ανθεκτικά όμως στη διάβρωση. Στις μεγάλου μεγέθους ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται υαλονήματα με εναλλαγή της κατεύθυνσης των υαλονημάτων σε πολλαπλές στρώσεις καθώς και ανθρακονήματα κύριως για την αυξημένη αντοχή στα μεγάλα εναλλασσόμενα φορτία.



*Πτερυγίο που τοποθετείται σε ένα από τα τρία όμοια τμήματα του ρότορα.*



*Τμήμα του ρότορα (ρουλεμάν) στο οποίο τοποθετείται το ένα από τα πτερύγια.*



*Πτερύγιο κατά τη φάση της ανύψωσης, λίγο πριν τοποθετηθεί στον ρότορα.*



*Πτερύγιο πολύ κοντά στο σημείο σύνδεσης με τον ρότορα*



Αφού τοποθετηθούν τα πτερύγια στον ρότορα, αρχικά γίνεται σύσφιξη με ένα ηλεκτρόκλειδο (αρχική δύναμη σύσφιξης 800 Nm) και στη συνέχεια ακολουθεί το stretch (οριστική σύσφιξη).

Το stretch είναι μια διαδικασία κατά την οποία γίνεται σύσφιξη των πτερυγίων μιας ανεμογεννήτριας. Υπάρχουν όμως και ανεμογεννήτριες που γίνεται stretch και στον ρότορα.



*Πτερύγιο τοποθετημένο στον ρότορα ανεμογεννήτριας.*

Το stretch γίνεται χρησιμοποιώντας μια χρυσαφή κεφαλή και μια αντλία όπως αυτή που βλέπουμε στην παρακάτω φωτογραφία. Η χρυσαφή κεφαλή έχει εσωτερικό σπείρωμα και βιδώνει στην κάθε ντίζα. Η κεφαλή συνδέεται μέσω ενός ελαστικού σωλήνα υψηλής πίεσης με την αντλία.



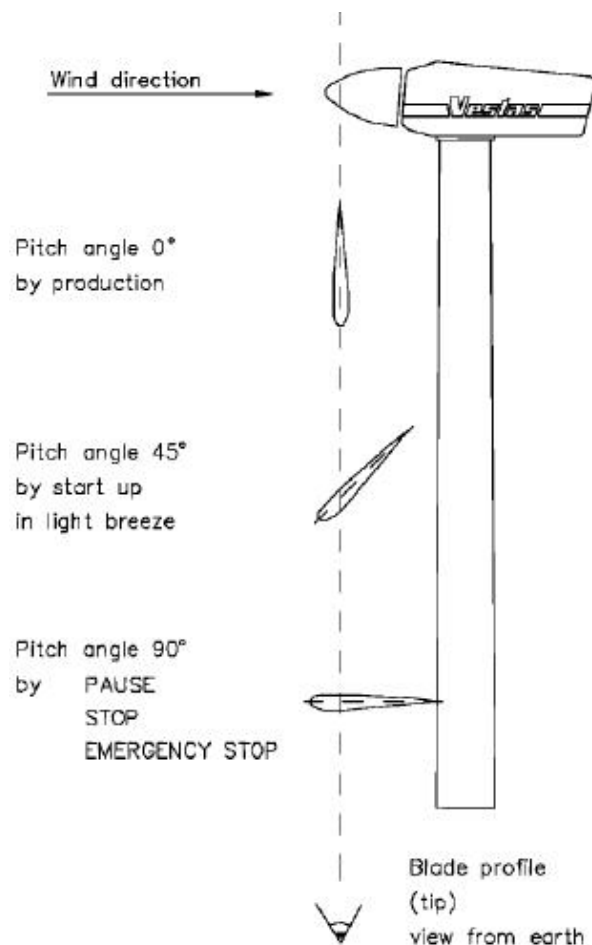
*Κεφαλή stretch*

Η αντλία αυτή διοχετεύει πίεση 1350 bar στην κεφαλή με αποτέλεσμα η ντίζα να υπόκειται σε εφελκυσμό. Μ' αυτό τον τρόπο το παξιμάδι είναι σχεδόν ελεύθερο και με μια καστίνα μπορούμε να το σφίξουμε, με αποτέλεσμα να είναι αδύνατο να λύσει. Αφού σφίξουμε το παξιμάδι με την καστίνα, απελευθερώνουμε την πίεση από την αντλία για να μπορέσουμε να βγάλουμε την κεφαλή. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις 90 βίδες που έχει το κάθε φτερό ή ο ρότορας.

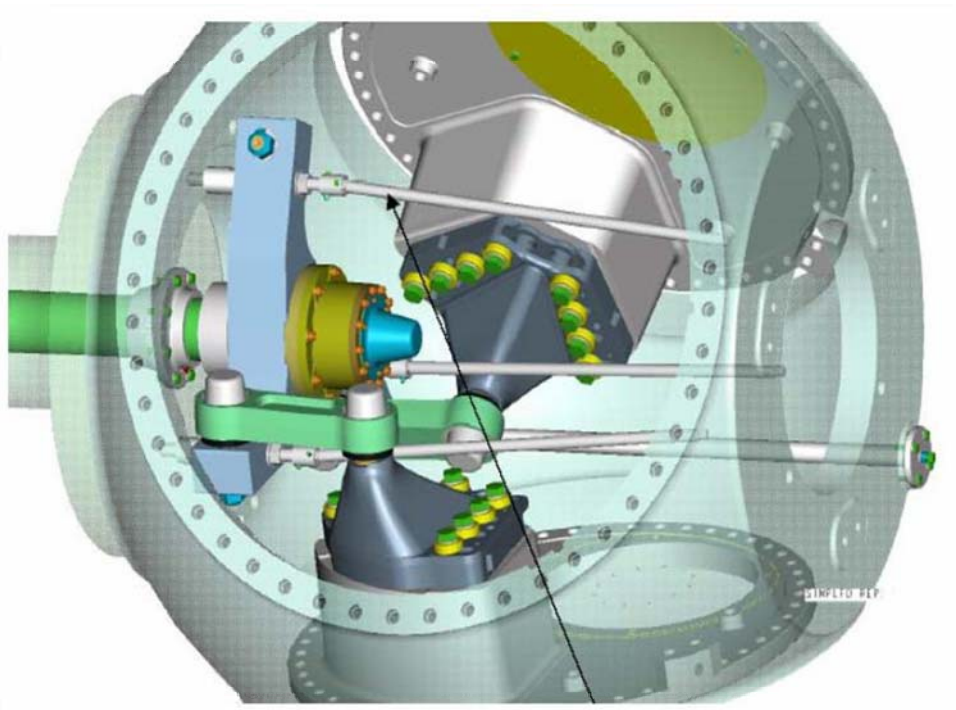
#### 4.6. Σύστημα μεταβολής βήματος των πτερυγίων (pitch)

Σε μια ανεμογεννήτρια μεταβλητού βήματος των πτερυγίων η μονάδα ελέγχου ελέγχει συνεχώς την παραγωγή ισχύος. Όταν η παραγωγή ισχύος γίνει πάρα πολύ υψηλή δίνει εντολή στον μηχανισμό ελέγχου του βήματος των πτερυγίων ο οποίος στρέφει ελαφρώς τα πτερύγια απο τον αέρα. Αντίθετα όταν η ένταση του αέρα μειώνεται, ο ίδιος μηχανισμός μεταβάλλει και πάλι το βήμα των πτερυγίων. Μέσω αυτού του μηχανισμού τα πτερύγια διατηρούν την βέλτιστη γωνία έτσι ώστε να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή για όλες τις ταχύτητες του ανέμου.

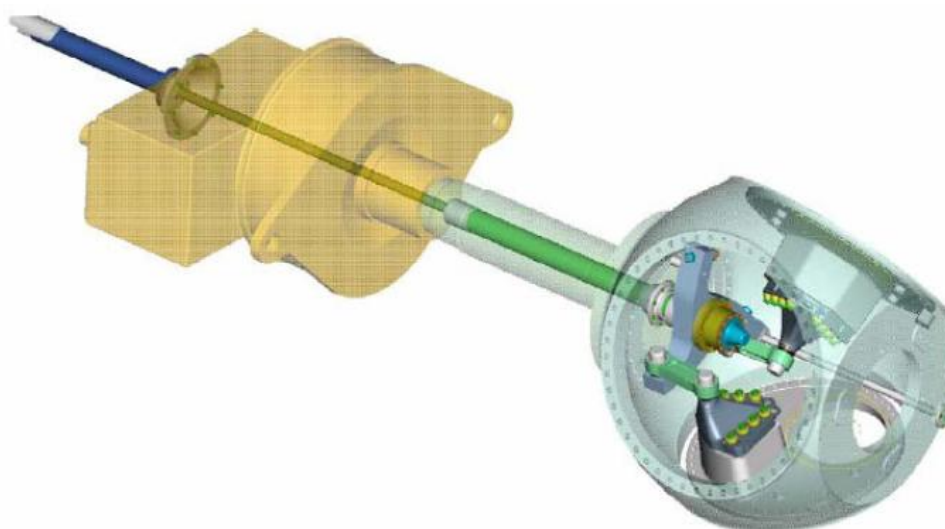
Η μεταβολή του βήματος συνίσταται στην περιστροφή του κάθε πτερυγίου ( $0^{\circ}$  εως  $90^{\circ}$ ) γύρω απο τον διαμήκη άξονά του, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της γωνίας προσβολής του απο τον άνεμο.



*Η θέση του βήματος στις διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας*



*Εσωτερική πλευρά του ρότορα (δρομέα) στο οποίο διακρίνεται ο μηχανισμός του pitch*



*Κύριος άξονας, εσωτερικά του οποίου περνάει ο άξονας του pitch*



*Σύνδεση εμβόλου με τον άξονα μεταβολής του βήματος των πτερυγίων (pitch)*



*Υδραυλικό έμβολο στην έξοδο του σασμάν με το οποίο συνδέεται ο άξονας του pitch*

#### 4.7. Κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών

Το κιβώτιο ταχυτήτων αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής του ρότορα που συνήθως είναι 30 έως 60 περιστροφές το λεπτό (rpm) σε 1000 έως 1800 περιστροφές το λεπτό, που είναι η ταχύτητα περιστροφής που οι περισσότερες ανεμογεννήτριες απαιτούν ώστε να παραγάγουν ηλεκτρισμό.

Το κιβώτιο ταχυτήτων συνδέεται από την μια πλευρά με τον κύριο άξονα του ρότορα (άξονας χαμηλής ταχύτητας) και από την άλλη πλευρά με την γεννήτρια (άξονας υψηλής ταχύτητας) μέσω ενός συνδέσμου που είναι κατασκευασμένος από πολυεστέρα υψηλής αντοχής και ελαστικότητας.



*Κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών ανεμογεννήτριας*

Η τεχνολογική εξέλιξη των συστημάτων αύξησης στροφών, λόγω απαιτήσεων της βιομηχανίας, έχει δώσει πολλούς και καλούς τύπους κιβωτίου ταχυτήτων από άποψη αντοχής υλικού, φθοράς, μεταφερόμενης ισχύος και διαστάσεων. Βασικά κριτήρια επιλογής του είναι η διάρκεια ζωής του, ο βαθμός απόδοσης του και ο θόρυβος λειτουργίας του.

Λόγω της συνεχούς μεταβολής της ισχύος του ανέμου, το κιβώτιο ταχυτήτων λειτουργεί συνεχώς με κρουστικά φορτία τα οποία οδηγούν σε πρόωρη φθορά υλικού και μείωση της διάρκειας ζωής του κιβωτίου. Για το λόγο αυτό το κιβώτιο ταχυτήτων της ανεμογεννήτριας επιλέγεται να έχει ονομαστικό μέγεθος ισχύος, πολύ μεγαλύτερο από το ονομαστικό μέγεθος της μηχανής (1.5 έως 2 φορές), ακόμα και ονομαστική ροπή 200% μεγαλύτερη της ονομαστικής τιμής της μηχανής. Για την αύξηση της διάρκειας ζωής του κιβωτίου και την μείωση των κρουστικών φορτίων λειτουργίας, σε ορισμένες περιπτώσεις το κιβώτιο ταχυτήτων στηρίζεται πάνω σε ελατήρια απόσβεσης κραδασμών.

Διακρίνονται δυο είδη κιβωτίων. Το κιβώτιο με παράλληλες οδοντώσεις γραναζιών (κιβώτιο παραλλήλων αξόνων) και το κιβώτιο στο οποίο οι οδοντωτοί τροχοί που χρησιμοποιούνται έχουν ελικοειδή οδόντωση (συνήθως με πλανητικό σύστημα οδοντωτών τροχών). Το πρώτο είδος κιβωτίου είναι απλούστερο κατασκευαστικά, έχει χαμηλότερο κόστος συντήρησης. Το κιβώτιο με ελικοειδή οδόντωση έχει υψηλότερο κόστος αγοράς και συντήρησης αλλά καλύτερο βαθμό απόδοσης και χαμηλότερη στάθμη θορύβου.

## 4.8. Ηλεκτρική γεννήτρια

Για την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας από το κιβώτιο ταχυτήτων σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιούνται κυρίως σύγχρονες και ασύγχρονες γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος και σπανίως γεννήτριες συνεχούς ρεύματος.



*Ηλεκτρική γεννήτρια ανεμογεννήτριας*

Η απλότητα στην κατασκευή, το χαμηλό κόστος και η ευκολία με την οποία συνδέεται στο δίκτυο η ασύγχρονη γεννήτρια, είναι το πλεονέκτημα της. Διεγείρεται παίρνοντας ρεύμα μαγνήτισης από το δίκτυο. Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα όταν η εγκατεστημένη ισχύς είναι μικρότερη από την ισχύ του δικτύου. Εμφανίζονται όμως προβλήματα όταν η εγκατεστημένη ισχύς είναι συγκρίσιμη με την ισχύ του δικτύου. Όταν η ανεμογεννήτρια είναι συνδεδεμένη σε ηλεκτρικό δίκτυο τότε η άεργος ισχύς προσφέρεται από το δίκτυο. Για την κάλυψη μέρους της άεργου ισχύος εγκαθίστανται επιπλέον πυκνωτές συμβάλλοντας έτσι στη βελτίωση του συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης. Αν και ασύγχρονη η γεννήτρια λειτουργεί με μεταβλητές στροφές. Η ονομαστική περιστροφική ταχύτητα της εξαρτάται από την συχνότητα του δικτύου. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι αυτό που καθορίζει τις στροφές της γεννήτριας.



#### 4.9. Άξονας χαμηλής ταχύτητας (κύριος άξονας)

Ο κύριος άξονας (άξονας χαμηλής ταχύτητας) μεταβιβάζει τη μηχανική ισχύ του ρότορα στο κιβώτιο πολ/σμού στροφών. Στο ένα άκρο του καταλήγει σε σχήμα φλάντζας μέσω της οποίας συνδέεται με την πλήμνη ενώ στο άλλο εδράζεται το κιβώτιο πολ/σμού στροφών.



*Σύστημα μετάδοσης της κίνησης σύγχρονης ανεμογεννήτριας*

Για τον περιορισμό του όγκου και βάρους της κατασκευής ο κύριος άξονας μπορεί, να συνδεθεί απευθείας στο κιβώτιο πολ/σμού στροφών χωρίς την παρεμβολή εδράνων, το κιβώτιο όμως πρέπει να είναι μεγαλύτερης ισχύος επειδή δέχεται απευθείας τα φορτία του ρότορα. Λόγω των υψηλών φορτίων ροπής, ο κύριος άξονας είναι ευπαθής σε αστοχία κόπωσης. Κατά συνέπεια γι' αυτό το εξάρτημα είναι ενδεδειγμένες οι προ-συντήρησης, μη καταστρεπτικές δοκιμές. Είναι συμπαγής ή κοίλος και κατασκευάζεται από χάλυβα υψηλής αντοχής με κύριες προσμίξεις χρώμιο, νικέλιο, και μολυβδένιο.



*Έδραση άξονα χαμηλής ταχύτητας στην πλευρά του ρότορα*



*Έδραση άξονα χαμηλής ταχύτητας στην πλευρά του πολλαπλασιαστή στροφών*

Ο κύριος άξονας στηρίζεται και περιστρέφεται σε δυο σφαιρικά κυλινδρικά ρουλεμάν μέσω των οποίων μεταφέρονται οι ακτινικές και ωστικές δυνάμεις στην άτρακτο και από εκεί διά του πύργου στη θεμελίωση.

#### 4.10. Άξονας υψηλής ταχύτητας

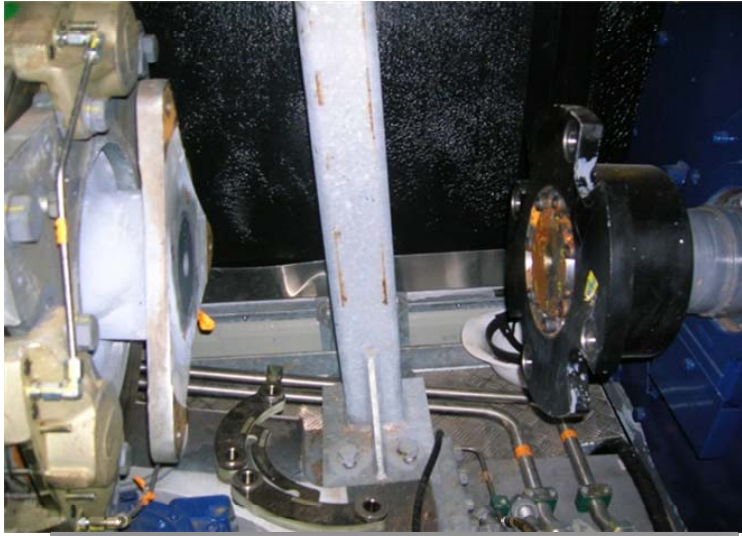
Ο άξονας υψηλής ταχύτητας βρίσκεται στην έξοδο του πολλαπλασιαστή στροφών και μέσω ενός ελαστικού συνδέσμου συνδέεται με τον άξονα της ηλεκτρικής γεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής του είναι συνήθως 1500 (RPM). Πάνω του είναι προσαρτημένο ένα υδραυλικό δισκόφρενο σε περίπτωση αστοχίας των μηχανισμών ρύθμισης του βήματος του κάθε περυγίου ώστε να επιτευχθεί ακινητοποίηση του ρότορα.



*Άξονας υψηλής ταχύτητας στην έξοδο του πολλαπλασιαστή στροφών*

#### 4.11. Ελαστικός σύνδεσμος

Για τη σύνδεση αξόνων μεταξύ τους απαιτείται ελαστικός σύνδεσμος απορρόφησης κραδασμών. Ο ελαστικός σύνδεσμος συνδέει τον άξονα υψηλής ταχύτητας στην έξοδο του πολλαπλασιαστή στροφών με τον άξονα της ηλεκτρικής γεννήτριας. Συνήθως οι σύνδεσμοι αυτοί βασίζονται στην απορροφητική ικανότητα του καουτσούκ.



*Ελαστικός σύνδεσμος που συνδέει τον άξονα του σασμάν με τον άξονα της γεννήτριας*

#### 4.12. Σύστημα περιστροφής και προσανατολισμού

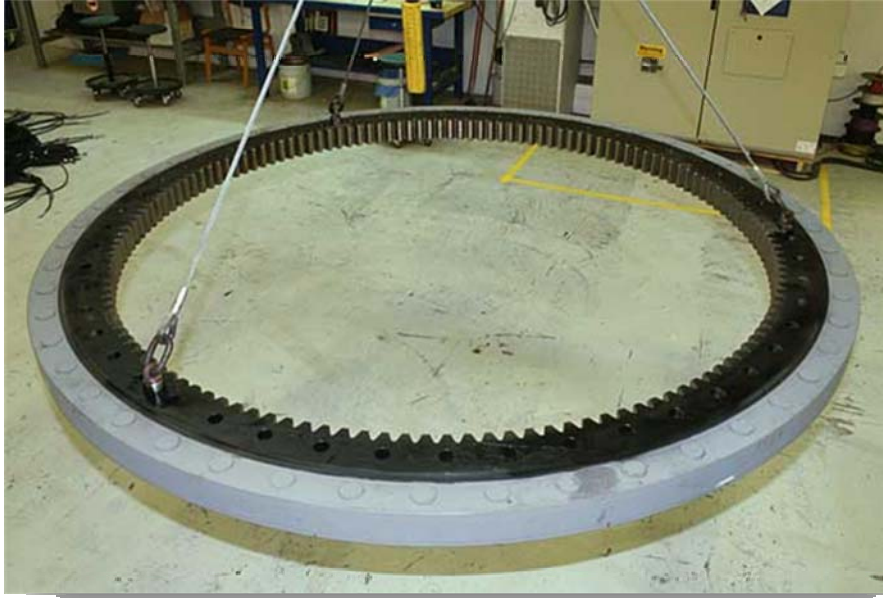
Προκειμένου να εξαχθεί όσο το δυνατόν περισσότερη από την κινητική ενέργεια του ανέμου, ο άξονας της ανεμογεννήτριας πρέπει να είναι ευθυγραμμισμένος με την διεύθυνση του ανέμου.

Για τον προσανατολισμό της ανεμογεννήτριας σε παράλληλη θέση του άξονα της με την διεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιείται σερβοκινητήρας που περιστρέφει την άτρακτο της μηχανής με τη βοήθεια γραναζιών. Ο σερβομηχανισμός ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη που βρίσκεται στην κορυφή της άτρακτου.



*Σύστημα περιστροφής ανεμογεννήτριας*

Η άτρακτος είναι τοποθετημένη πάνω σε μια οδοντωτή στεφάνη, σαν αυτή που φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία. Η οδόντωση της στεφάνης είναι εσωτερική ή εξωτερική και εξαρτάται από το τρόπο που τοποθετούνται τα ηλεκτρικά συγκροτήματα γραναζιών (yaw gear) που περιστρέφουν την άτρακτο.



*Οδοντωτή σιεφάνη που χρησιμοποιείται για την περιστροφή της ατράκτου (yaw ring)*

Τα ηλεκτρικά συγκροτήματα γριναζιών χρησιμοποιούνται για τον αυτόματο προσανατολισμό της ατράκτου κατά την διεύθυνση του ανέμου και συγκρατούν την άτρακτο με τα ηλεκτρικά φρένα που έχουν οι ηλεκτροκινητήρες ώστε να μην περιστραφεί.

Ο κάθε ηλεκτροκινητήρας παίρνει εντολή απο έναν ελεγκτή για δεξιά ή αριστερή παρέκκλιση ανάλογα με τις πληροφορίες που δέχεται για την διεύθυνση του ανέμου απο τον ανεμοδείκτη.

Κάθε ανεμογεννήτρια ανάλογα με το μέγεθος της διαθέτει και τον ανάλογο αριθμό ηλεκτρικών συγκροτημάτων γριναζιών. Οι ανεμογεννήτριες άνω των 2MW διαθέτουν συνήθως τέσσερα, ενώ αυτές που είναι μικρότερες του 1 MW έχουν συνήθως δύο.

Στις ανεμογεννήτριες που διαθέτουν τέσσερα ηλεκτρικά συγκροτήματα γριναζιών, τα δύο χρησιμοποιούνται για δεξιά παρέκκλιση και τα άλλα δυο για αριστερή παρέκκλιση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup> ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ



*Η  
λεκτροκινητήρας με γρανάξι εγκατεστημένος στην οδοντωτή στεφάνη ανεμογεννήτριας*



*Γρανάξι ηλεκτροκινητήρα στην οδοντωτή στεφάνη της αιράκτου*

### 4.13. Υδραυλικό σύστημα

Το υδραυλικό σύστημα εκτελεί δυο λειτουργίες:

- Περιστρέφει τα πτερύγια γύρω από τον άξονα τους (μέταβολη του βήματος των πτερυγίων από  $90^\circ$  μέχρι  $0^\circ$ ).
- Ενεργοποιεί το δισκόφρενο που βρίσκεται στον άξονα υψηλής ταχύτητας στην έξοδο του πολλαπλασιαστή στροφών.



*Μονάδα ισχύος υδραυλικού συστήματος*

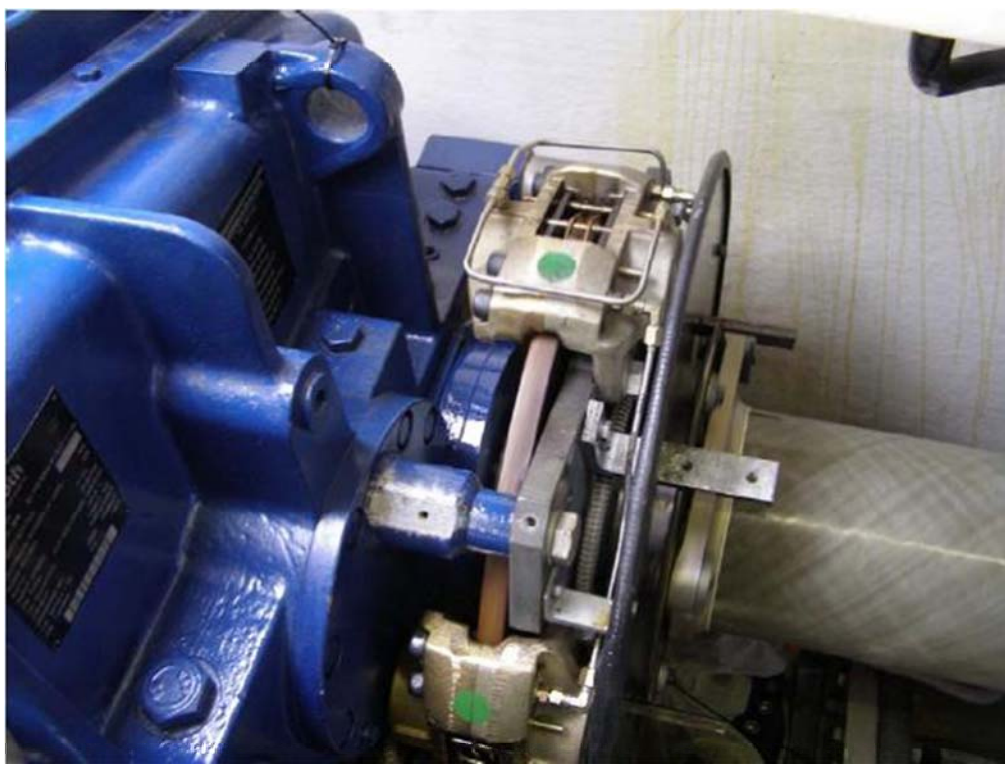
Το υδραυλικό σύστημα αποτελείται από μια μονάδα ισχύος που βρίσκεται στην δεξιά πλευρά της άτρακτου και τους συνδετικούς σωλήνες που συνδέουν την υδραυλική με το έμβολο του βήματος και το φρένο στον άξονα υψηλής ταχύτητας.

Η υδραυλική είναι εξοπλισμένη με μια αντλία η οποία είναι κοινή για το φρένο και την γωνία του βήματος. Η αντλία αυτή είναι μέσα στην δεξαμενή λαδιού και παίρνει κίνηση από έναν ηλεκτροκινητήρα ο οποίος βρίσκεται πάνω από την δεξαμενή του λαδιού. Η λειτουργία της αντλίας ελέγχεται από την μονάδα ελέγχου η οποία παίρνει σήμα από έναν πρεσοστάτη ο οποίος βρίσκεται πάνω στο μπλόκ της υδραυλικής. Η αντλία σταματάει να λειτουργεί όταν η πίεση φτάσει στα 200 bar και ξεκινάει ξανά όταν φτάσει στα 180 bar. Υπάρχει μια βαλβίδα ασφαλείας η οποία ανοίγει στα 250 bar σε περίπτωση λάθους στον έλεγχο της αντλίας.



#### 4.14. Σύστημα πέδησης

Το σύστημα πέδησης περιλαμβάνει το υδραυλικό δισκόφρενο που τοποθετείται στον άξονα υψηλής ταχύτητας, ακριβώς στην έξοδο του πολλαπλασιαστή στροφών. Αν οι στροφές του ρότορα ξεπεράσουν τις ονομαστικές στροφές κατά 30% (διαφέρει για κάθε κατασκευαστή από 27 μέχρι 33) ένας ηλεκτρικός διακόπτης υπερτάχυσης ενεργοποιεί το κύκλωμα (emergency stop) και το μηχανικό φρένο ενεργοποιείται ταυτόχρονα με την ταχεία ρύθμιση του βήματος των φτερών. Ενεργοποιείται και στην περίπτωση αστοχίας των μηχανισμών ρύθμισης του βήματος του κάθε πτερυγίου (pitch control) ώστε να επιτευχθεί ακινητοποίηση του ρότορα.



*Υδραυλικό δισκόφρενο ( Vestas – V52 850kW )*

Το υδραυλικό δισκόφρενο έχει έξι τακάκια τα οποία ακινητοποιούν τον ρότορα. Ένα απο αυτά διαθέτει έναν αισθητήρα ο οποίος αναγνωρίζει την υψηλή θερμοκρασία στα φρένα και αυτό συμβαίνει όταν αυτό το τακάκι έχει φαγωθεί οπότε πρέπει να ελεγχθούν όλα και να αλλαχθούν όσα χρειάζονται.

#### 4.15. Ανεμόμετρο

Το ανεμόμετρο είναι μια συσκευή που τοποθετείται στην κορυφή της ατράκτου μιας ανεμογεννήτριας και μετράει συνεχώς την ταχύτητα του ανέμου. Σύνδεεται με την κεντρική μονάδα ελέγχου και ανάλογα με τις μετρήσεις με τις οποίες την τροφοδοτεί η μονάδα αποφασίζει για την έναρξη ή διακοπή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.



*Κυπελλοφόρο ανεμόμετρο*



*Ανεμόμετρο εν ώρα λειτουργίας*

#### 4.16. Ανεμοδείκτης

Ο ανεμοδείκτης είναι μια συσκευή που τοποθετείται στην κορυφή της ατράκτου της ανεμογεννήτριας και εντοπίζει την επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου. Συνδέεται με την κεντρική μονάδα ελέγχου την οποία τροφοδοτεί συνεχώς με δεδομένα για την διεύθυνση του ανέμου και όταν αυτή εντοπίσει κάποια αλλαγή στην διεύθυνση του, επενεργεί στο σύστημα προσανατολισμού το οποίο περιστρέφει την άτρακτο (nacelle) έως ότου ευθυγραμμιστεί με την κατεύθυνση του ανέμου.



*Ανεμοδείκτης και ανεμόμετρο συνδεδεμένα στην κορυφή της ατράκτου μιας Α/Γ.*

#### 4.17. Μονάδα ελέγχου

Ο έλεγχος της ανεμογεννήτριας γίνεται μέσω ενός μικροεπεξεργαστή (MPU-MicroProcessingUnit) ο οποίος επιτηρεί και ελέγχει όλες τις λειτουργίες στην ανεμογεννήτρια προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι η απόδοση της είναι η βέλτιστη με οποιοδήποτε ταχύτητα αέρα. Ο μικροεπεξεργαστής αυτός θα σταματήσει την λειτουργία της ανεμογεννήτριας αν διαγνώσει κάποιο σφάλμα.

Ο μικροεπεξεργαστής αποτελείται από τρεις ελεγκτές οι οποίοι επικοινωνούν μεταξύ τους με μια οπτική ίνα:

Ground controller, ο οποίος βρίσκεται στη βάση του πύργου και ελέγχει τους κύριους διακόπτες. Από αυτόν ένας χειριστής μπορεί να λειτουργήσει την ανεμογεννήτρια και να δει όλα τα στοιχεία της (σφάλματα, προειδοποιήσεις, σήματα αισθητήρων, κατάσταση κύριων και βοηθητικών συστατικών).

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

Top controller, ο οποίος βρίσκεται στην άτρακτο και φροντίζει τη λειτουργία της μηχανής π.χ. θερμοκρασίες (λαδιού στο κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, ρουλεμάν, εσωτερική της ατράκτου, εξωτερική του περιβάλλοντος), την περιστροφική ταχύτητα του ρότορα (άξονας χαμηλής ταχύτητας), την υδραυλική πίεση, την γωνία περιστροφής των πτερυγίων, την γωνία περιστροφής της ατράκτου, την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου, το μέγεθος και τη συχνότητα των ταλαντώσεων της ατράκτου και των πτερυγίων, τον αριθμό συστροφής των καλωδίων, εάν η πόρτα εισόδου στον πύργο είναι ανοικτή ή κλειστή (σύστημα συναγερμού).

#### 4.18. Φάρος ανεμογεννήτριας

Ο φάρος που βλέπουμε στην παρακάτω φωτογραφία τοποθετείται στην κορυφή της ατράκτου της ανεμογεννήτριας. Χρησιμοποιείται για την έγκαιρη προειδοποίηση αεροσκαφών και ελικοπτερίων για την τοποθέσια μιας ανεμογεννήτριας και την αποφυγή μιας πιθανής σύγκρουσης λόγω του μεγάλου υψομέτρου στο οποίο εγκαθίστανται οι ανεμογεννήτριες και επιπλέον του ύψους του καλύβδινου πύργου.



*Φάρος σύγχρονης ανεμογεννήτριας ( Vestas V90-3MW )*

#### 4.19. Μετασχηματιστής

Ως απαραίτητο εξάρτημα λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας σε αιολικό πάρκο, συμπεριλαμβάνεται και ο μετασχηματιστής μετατροπής της χαμηλής τάσης της ανεμογεννήτριας σε μέση τάση προκειμένου να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ.

Σε παλαιού τύπου ανεμογεννήτριες ο μετασχηματιστής είναι συνήθως εγκατεστημένος δίπλα στην ανεμογεννήτρια, ενώ στις πιο σύγχρονες βρίσκεται στην άτρακτο (nacelle) και δεν διαφέρει κατασκευαστικά από τους μετασχηματιστές που είναι εγκατεστημένοι πάνω στους στύλους της ΔΕΗ.

#### 4.20. Αισθητήρια ανεμογεννήτριας

##### Ανιχνευτής ταλάντωσης

Ο ανιχνευτής ταλάντωσης είναι ένας αισθητήρας τοποθετημένος σε κατάλληλο σημείο της άτρακτου που αναγνωρίζει μεγάλες ταλαντώσεις αυτής και ενεργοποιεί τη διαδικασία άμεσης παύσης λειτουργίας της ανεμογεννήτριας με γρήγορη ρύθμιση της γωνίας των πτερυγίων.

##### Συστροφή καλωδίων

Τα καλώδια ελέγχου και τροφοδοσίας είναι αναρτημένα μέσα στον πύργο και περιστρέφονται, αλλά μέχρι ένα βαθμό. Ο αριθμός περιστροφής οπώς και η διεύθυνση τους ελέγχονται από έναν ηλεκτρομηχανικό διακόπτη. Αν πραγματοποιηθούν τέσσερις περιστροφές προς την ίδια κατεύθυνση, η ανεμογεννήτρια σταματάει την λειτουργία της και ξετυλίγει τα καλώδια περιστρέφοντας την άτρακτο (nacelle) αντίθετα. Αν το σήμα συστροφής καλωδίων δεν αναγνωρισθεί, ο οριακός διακόπτης θα λειτουργήσει σε τέσσερις και μισό ( $4^{1/2}$ ) περιστροφές και θα σταματήσει οποιαδήποτε περαιτέρω κίνηση σε αυτή τη διεύθυνση. Σ' αυτή την περίπτωση η ανεμογεννήτρια σταματάει τη λειτουργία της.

##### Ανιχνευτής υπερτάχυνσης

Αν ο δρομέας φθάσει σ' ένα συγκεκριμένο ποσοστό υπερτάχυνσης, ένας ηλεκτρομηχανικός διακόπτης υπερτάχυνσης ενεργοποιεί την διαδικασία "emergency stop" (παύση έκτακτης λειτουργίας) με την ταχεία ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων. Απαιτείται διάγνωση πριν την επανέναρξη της μηχανής.

### Ανιχνευτής υπερθέρμανσης γεννήτριας

Εάν για οποιοδήποτε λόγο η θερμοκρασία της γεννήτριας (στάτη-δρομέα) περάσει την μέγιστη τότε αυτόματα σταματάει η λειτουργία της φρενάροντας τον δρομέα. Υπάρχουν δυο ξεχωριστά αισθητήρια θερμότητας στον στάτη και στο δρομέα.

### Ανιχνευτής εξωτερικής θερμοκρασίας

Μετράει την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Εάν αυτή ξεπεράσει τα όρια ασφαλής λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, τότε σταματάει αυτόματα η ανεμογεννήτρια, με ταχεία ρύθμιση του βήματος των περυγίων (90<sup>ο</sup>). Για τα δεδομένα της Ελλάδας αυτή η μέτρηση αποκτά μόνο θεωρητική αξία.

### Ανιχνευτής θερμοκρασίας ρουλεμαν

Όπως όλα τα κινούμενα μέρη εμφανίζουν δυνάμεις τριβής, έτσι και ο δρομέας της ανεμογεννήτριας εμφανίζει δυνάμεις τριβής που εμφανίζονται με την μορφή θερμότητας, η οποία ανεβάζει τα όρια θερμοκρασίας. Η λίπανση των ρουλεμάν γι' αυτό το λόγο κρίνεται απαραίτητη. Εφ' όσον η θερμοκρασία των ρουλεμάν (bearing) υπερβεί την ανώτατη επιτρεπτή τιμή λειτουργίας, τότε εμφανίζει σφάλμα η μηχανή και φρενάρει, μέχρις ότου πέσει η θερμοκρασία στα επιτρεπτά όρια λειτουργίας. Φαινόμενα τα οποία μπορούν να οδηγήσουν σε υπερθέρμανση των ρουλεμάν είναι κακής ποιότητας γράσα ή απότομες και συχνές αυξομειώσεις της ταχύτητας του ανέμου (ριπές ανέμου). Επίσης σημαντικό ρόλο παίζει και θερμοκρασία περιβάλλοντος.

### Ανιχνευτής θερμοκρασίας μετασχηματιστή

Οι μετασχηματιστές και όλοι οι μετατροπείς ενέργειας, εμφανίζουν απώλειες οι οποίες είναι ανάλογες με την ισχύ τους. Γι' αυτό το λόγο υπάρχουν και τα μέσα ψύξης των μετασχηματιστών τα οποία είναι κατά κύριο λόγο με κυκλοφορία λαδιού, που χρησιμοποιείται ταυτόχρονα και σαν μονωτικό, ή με αέρα.

### Ανιχνευτής θερμοκρασίας καμπίνων ελέγχου

Λόγω του μετασχηματιστή και των ηλεκτρονικών στοιχείων που υπάρχουν στην καμπίνα ελέγχου εκλύονται ποσά θερμότητας τα οποία ανεβάζουν την θερμοκρασία. Κατά την λειτουργία του μετατροπέα υπάρχουν σε συνεχή λειτουργία ανεμιστήρες (fan coolers) οι οποίοι κρατάνε την θερμοκρασία της καμπίνας σε ανεκτά επίπεδα. Εάν για κάποιο λόγο σταματήσει η λειτουργία ενός ανεμιστήρα τότε ανιχνεύοντας το αισθητήριο την αύξηση της θερμοκρασίας πέρα από τα ανεκτά επίπεδα σταματάει την λειτουργία του μετατροπέα.

#### 4.21. Αντικεραυνική προστασία

Το σύστημα προστασίας της ανεμογεννήτριας από τους κεραυνούς επιτρέπει στο ρεύμα (από κεραυνό) να φτάσει με ταχύτητα και ασφάλεια στη γη με την βοήθεια κατάλληλων επαφών χωρίς να περάσουν μέσα από ρουλεμάν, συνδέσμους και το ηλεκτρικό κύκλωμα. Το κάλυμμα της ατράκτου πρέπει να δρα σαν κλωβός προκειμένου να προστατεύει κατά τον κεραυνό τα όργανα που βρίσκονται μέσα σ' αυτήν. Στην οροφή της τοποθετείται αντικεραυνική μπάρα. Το ηλεκτρικό σύστημα της ανεμογεννήτριας διαθέτει προστασία έναντι υπερτάσεων και υπερευμάτων που προκαλούνται από κεραυνό.



*Γείωση μεταξύ περυγίων – ατράκτου*

Σε καθένα από τα τρία περύγια αντιστοιχεί ένας σπινθηριστής που βρίσκεται συνδεδεμένος στο κέλυφος του ρότορα. Το ρεύμα μεταφέρεται από το περύγιο του ρότορα μέσω ενός σπινθηριστή στο μεταλλικό κέλυφος της ατράκτου. Κάθε σπινθηριστής αποτελείται από μία ράβδο χαλκού ώστε στο σημείο αυτό το ηλεκτρικό πεδίο να είναι όσο το δυνατό υψηλότερο σε σχέση με το υπόλοιπο περιβάλλον. Η ρύθμιση αυτή επιτρέπει την κατεύθυνση του κεραυνού στην φέρουσα κατασκευή ανεξαρτήτως της θέσης του ρεύματος του δρομέα και της γωνίας ρεύματος του περυγίου.



Ένα αλεξικέραυνο βρίσκεται επίσης στο οπίσθιο μέρος της κορυφής της ατράκτου για να προστατεύει την άτρακτο και τις συσκευές μέτρησης. Το ρεύμα κατευθύνεται από τα αλεξικέραυνα στο κέλυφος της ατράκτου προς τον κύριο φορέα μέσω στατικών βραχιόνων στον άξονα και από εκεί μέσω ενός καλωδίου απο Cu.



*Γείωση μεταξύ τμημάτων του πύργου*

Οι ατσάλινοι πύργοι είναι αγωγίμοι ούτως ώστε το ρεύμα να κατευθύνεται κατά μήκος αυτών. Στη βάση του πύργου ο κεραυνός γίνεται αγωγίμος μέσω δύο μεταλλικών στεφάνων. Η βάση είναι εξοπλισμένη με δύο δακτυλίδια γείωσης, εκ των οποίων το ένα βρίσκεται μέσα στη διάμετρο του πύργου και ένα απ' έξω. Δύο τμήματα γειώσεων από τη βάση του πύργου και δύο τμήματα γειώσεως από το εσωτερικό δακτυλίδι γείωσης οδηγούν στη γη, κάτι που εξασφαλίζει καλή επαφή με το έδαφος. Τα τμήματα γείωσης είναι επίσης συνδεδεμένα με τη θωράκιση της βάσης.

## 4.22. Λειτουργία ανεμογεννήτριας ( *Vestas V52 850kW* )

Η μηχανή μπορεί να μπει σε τέσσερις καταστάσεις:

### 1. RUN

Αυτή η κατάσταση είναι με την υψηλότερη δραστηριότητα.

- Το φρένο είναι ελεύθερο.
- Η Α/Γ λειτουργεί και παράγει.
- Το σύστημα του βήματος λειτουργεί και επιλέγει τον βέλτιστο τρόπο λειτουργίας.
- Η Α/Γ παρεκκλίνει της πορείας αυτόματα.
- Τα συστήματα ψύξης λειτουργούν αυτόματα.

### 2. PAUSE

- Το φρένο είναι ελεύθερο.
- Η Α/Γ δεν παράγει.
- Η υδραυλική αντλία διατηρεί την πίεση λειτουργίας.
- Το σύστημα του βήματος λειτουργεί και ρυθμίζει το βήμα των φτερών στις 86 μοίρες.
- Η Α/Γ παρεκκλίνει της πορείας αυτόματα.
- Τα συστήματα ψύξης λειτουργούν αυτόματα.

### 3. STOP

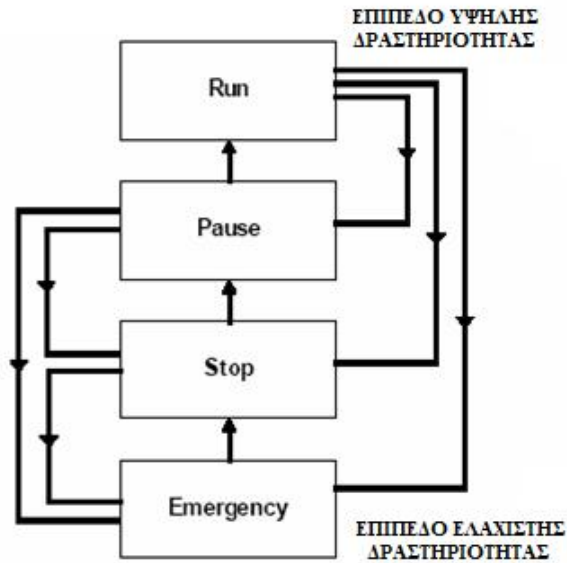
- Το φρένο είναι ελεύθερο.
- Η Α/Γ δεν παράγει.
- Η υδραυλική αντλία διατηρεί την πίεση λειτουργίας.
- Το σύστημα του βήματος λειτουργεί και ρυθμίζει το βήμα των φτερών στις 86 μοίρες.
- Η Α/Γ παρεκκλίνει της πορείας αυτόματα.
- Τα συστήματα ψύξης δεν λειτουργεί.

### 4. EMERGENCY STOP

Αυτή η κατάσταση είναι με την χαμηλότερη δραστηριότητα.

- Το φρένο είναι ενεργοποιημένο.
- Το κύκλωμα έκτακτης ανάγκης είναι ενεργό.
- Η Α/Γ δεν παράγει.
- Όλα τα αποτελέσματα από τον υπολογιστή είναι ανενεργά.
- Η υδραυλική αντλία δεν λειτουργεί.
- Το σύστημα του βήματος είναι στις 86 μοίρες.
- Το σύστημα παρέκκλισης δεν λειτουργεί.
- Τα συστήματα ψύξης δεν λειτουργεί.

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα η αύξηση στο επίπεδο δραστηριότητας γίνεται βαθμιαία. Αυτή η βαθμιαία άνοδος εξασφαλίζει την ανίχνευση μηχανικών βλαβών. Όταν όμως η μηχανή είναι σε RUN και ανιχνευτεί κάποιο σφάλμα ο λειτουργικός τρόπος μπορεί να πάει κατευθείαν σε κατάσταση έκτακτης ανάγκης.

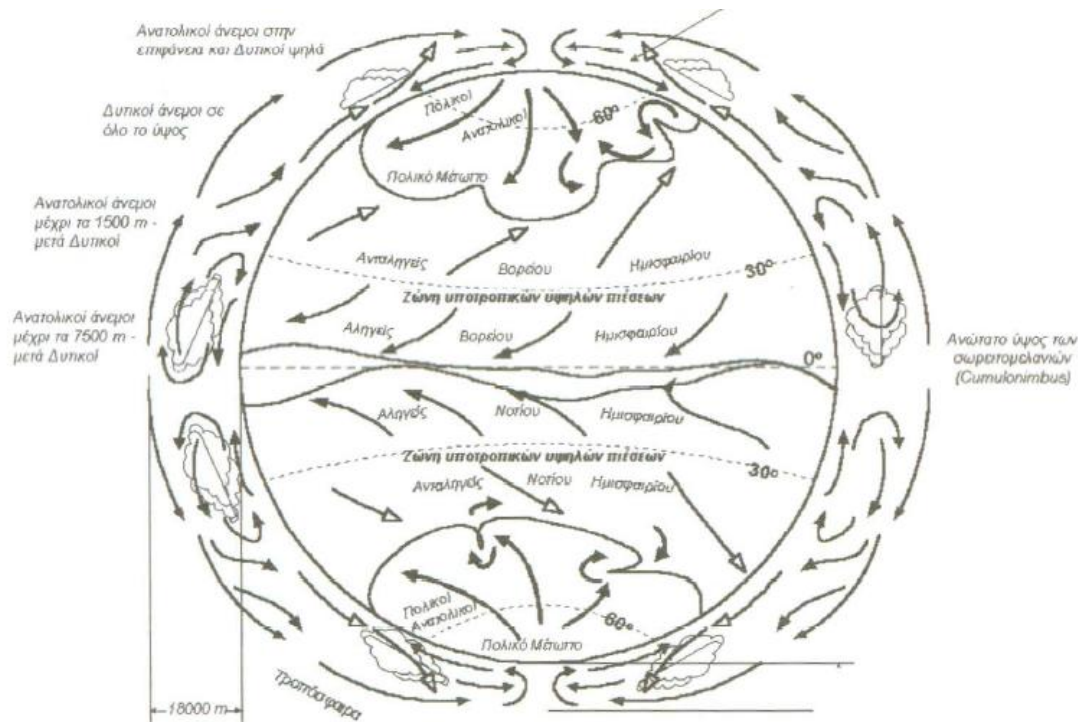


*Αλλαγή μεταξύ των λειτουργικών καταστάσεων*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

### 5.1. Άνεμος και ατμοσφαιρική κυκλοφορία

Άνεμος ονομάζεται ο ατμοσφαιρικός αέρας ευρισκόμενος σε κίνηση. Όπως για οποιοδήποτε ρευστό ευρισκόμενο σε κίνηση, έτσι και στην περίπτωση του ανέμου, για τον καθορισμό του διανύσματος της ταχύτητας του απαιτείται η γνώση του μέτρου (ένταση του ανέμου) και της φοράς-διεύθυνσης (διεύθυνση) του ανέμου.



Πεδίο ανέμων γύρω από τον πλανήτη μας

Η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου εξαρτώνται τόσο από ειδικούς παράγοντες (γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία, πεδίο πίεσης) όσο και από τοπικούς παράγοντες (δηλ. ανάγλυφο της περιοχής, ύπαρξη θάλασσας). Η γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία οφείλεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία και στην περιστροφή της γής. Πράγματι, η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ ισημερινού και πόλων, αποτέλεσμα της διαφορετικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα διαφορετικά σημεία του πλανήτη μας, έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση αερίων μαζών από τους πόλους στον ισημερινό και αντίθετως. Πιο συγκεκριμένα, ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι πνέουν από τους πόλους στον ισημερινό για

να αντικαταστήσουν το θερμό αέρα, που ανυψώνεται λόγω μείωσης της πυκνότητας του και ο οποίος κινείται δια μέσου της ανώτερης ατμόσφαιρας προς τους πόλους.

Παράλληλα η περιστροφή της γής γύρω απο τον άξονα της έχει σαν αποτέλεσμα την κίνηση ψυχρών αέριων επιφανειακών μαζών προς τα δυτικά, ενώ ο θερμός αέρας μετακινείται σε μεγαλύτερα ύψη και προς τα ανατολικά. Τέλος πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η ανομοιομορφία της θερμικής συμπεριφοράς θάλασσας και ξηράς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ζωνών διαφορετικής θερμοκρασίας, που οδηγούν σε αντίστοιχα πεδία στατικής πίεσης.

Αποτέλεσμα του συνδυασμού των ανωτέρω παραγόντων είναι η συνεχής μεταβολή της κατάστασης της ατμόσφαιρας και η δημιουργία περιοχών υψηλών πιέσεων (αντικυκλώνες) και περιοχών χαμηλών πιέσεων (κυκλώνες). Εν γένει, ο άνεμος έχει μεγαλύτερη ένταση επάνω απο τους ωκεανούς παρά επάνω απο την ξηρά, ενώ στην Ευρώπη περιοχές με υψηλή μέση ταχύτητα είναι η Ιρλανδία, η Αγγλία, το Βέλγιο, η Ολλανδία, ή Γαλλία, η Πορτογαλία καθώς και οι περιοχές της ανατολικής Μεσογείου, ανάμεσα στις οποίες περιλαμβάνεται και η Ελλάδα.

Από το σύνολο των κινήσεων του ανέμου η σπουδαιότερη σε σχέση με τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου. Βέβαια για την επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας απαιτείται επιπλέον της γνώσης για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου, να έχουν καταγραφεί οι επικρατούσες στην περιοχή αναταράξεις, ο στροβιλισμός και η τύρβη του ανέμου, καθώς και η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει του ύψους από το έδαφος.

## 5.2. Ένταση του ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα ιδιαίτερο μεταβλητό μέγεθος, το οποίο εμφανίζει διακυμάνσεις τόσο σε χρονικά διαστήματα εκατοστών του δευτερολέπτου όσο και σε διαστήματα ωρών.

Η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου επηρεάζει σημαντικά την κατασκευαστική αντοχή του πύργου στήριξης της ανεμογεννήτριας, καθώς και την μέγιστη φόρτιση των πτερυγίων της μηχανής. Όπως είναι λογικό, οι μέγιστες ταχύτητες του ανέμου εξαρτώνται από τη γεωγραφική θέση της περιοχής καθώς και από το τοπογραφικό της ανάγλυφο.

Για τη μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα ή οι ανεμογράφοι. Τα πλέον απλά είναι τα ανεμόμετρα ταχύτητας, στα οποία η ένταση του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής που επιβάλλει ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης του ανέμου. Για την καταγραφή των στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα πίεσης, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου.



*Κυπελλοφόρο ανεμόμετρο*



*Ανεμόμετρο εν ώρα λειτουργίας*

Επιπλέον των προαναφερόμενων συνηθισμένων τρόπων μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιούνται και ανεμόμετρα θερμού στοιχείου καθώς και ανεμόμετρα τύπου laser, κυρίως σε πειραματικές εγκαταστάσεις υψηλής ακριβείας.

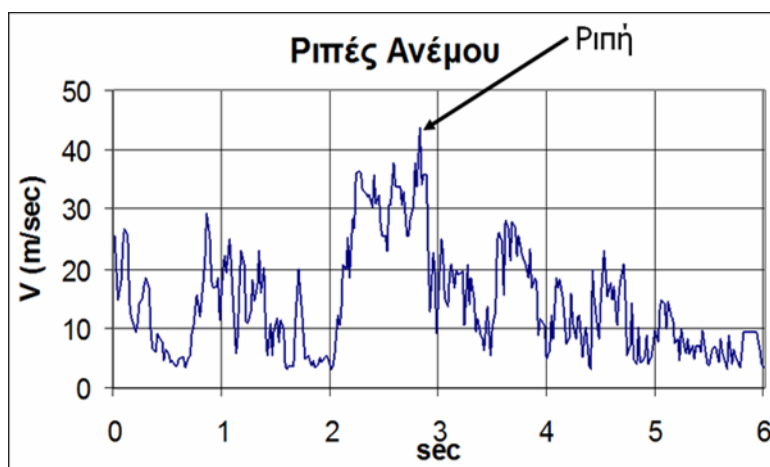
Απο τα κλασικά ανεμόμετρα ταχύτητας, τα πλέον γνωστά είναι τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα. Αυτά αποτελούνται απο έναν κατακόρυφο άξονα στην κορυφή του οποίου υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι. Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο, σε τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη. Γνωρίζοντας οτι η αεροδυναμική αντίσταση της κοίλης πλευράς είναι σημαντικά μεγαλύτερη της κυρτής, το σύστημα περιστρέφεται υπο την επίδραση του ανέμου και ο αριθμός των περιστροφών του καταγράφεται δια μέσου του κατακόρυφου άξονα σε ένα καταγραφικό σύστημα.

Για την καταγραφή των στροφών του κατακόρυφου άξονα χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα, που περιλαμβάνουν:

- I. Μηχανικό στροφόμετρο, που καταγράφει των αριθμό των περιστροφών των κυπέλλων απο τη στιγμή έναρξης λειτουργίας του οργάνου.
- II. Μικρή ηλεκτρογεννήτρια, η οποία μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του άξονα σε ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο μετατρέπεται σε ένδειξη ταχύτητας.
- III. Φωτοηλεκτρικό διακόπτη, ο οποίος μετατρέπει την ταχύτητα περιστροφής σε στιγμιαία ταχύτητα ανέμου στην έξοδο του συστήματος.

Προβλήματα στην ομαλή λειτουργία μιας αιολικής εγκατάστασης δημιουργούνται και από ξαφνικούς ανέμους ιδιαίτερα μεγάλης έντασης και μικρής διάρκειας οι οποίοι ορίζονται ως **ριπές ανέμου**. Ριπή ανέμου ορίζεται μια ξαφνική μικρής διάρκειας ( $\leq 20\text{sec}$ ) αύξηση της ταχύτητας του ανέμου ( $\geq 9.3\text{ m/sec}$ ), η οποία διαφέρει από τη μέση τιμή της ταχύτητας στο διάστημα που προηγήθηκε και ακολουθεί κατά τουλάχιστον  $4.6\text{ m/sec}$ , ενώ η ταχύτητα του ανέμου επανέρχεται στη συνέχεια στα προηγούμενα επίπεδα τιμών.

Οι ξαφνικές ριπές του ανέμου και η διάρκεια τους συνδέονται άμεσα με τη φόρτιση των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας. Επιπλέον, πρέπει να προστεθεί ότι στην περίπτωση που παρουσιαστούν ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες ανέμου με διάρκεια μεγαλύτερη των  $30\text{ sec}$ , οι ανεμογεννήτριες τίθενται (για λόγους αυτοπροστασίας) εκτός λειτουργίας. Ο άνεμος είναι λιγότερο ριπιαίος πάνω από εκτεταμένες υδάτινες επιφάνειες και περισσότερο ριπιαίος πάνω από επιφάνειες με έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο ή με υψηλά εμπόδια.





Για ιστορικούς λόγους έχει επικρατήσει η έκφραση της ταχύτητας του ανέμου στην κλίμακα Beaufort. Η κλίμακα Beaufort εκφράζει περιοχή ταχυτήτων και όχι συγκεκριμένη ταχύτητα και ημ εμπειρικά σχετίζεται με τη συμπεριφορά ορισμένων δεικτών (φύλλα δένδρων, σημαία, κυματισμός θάλασσας) στην ταχύτητα του ανέμου. Οι πίνακες που ακολουθεί παρουσιάζει αυτή τη συσχέτιση.

Ταχύτητα σε <b>BEAUFORT</b>	ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΙΜΩΝ (m/s)	ΔΙΑΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (m/s)	ΔΙΑΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (km/h)
0	0,0 - 0,2	0,1	0
1	0,3 - 1,5	0,9	3,24
2	1,6 - 3,3	2,45	8,82
3	3,4 - 5,4	4,4	15,84
4	5,5 - 7,9	6,7	24,12
5	8,0 - 10,7	9,35	33,66
6	10,8 - 13,8	12,3	44,28
7	13,9 - 17,1	15,5	55,8
8	17,2 - 20,7	18,95	68,22
9	20,8 - 24,4	22,6	81,36
10	24,5 - 28,4	26,45	95,22
11	28,5 - 32,6	30,55	109,98
12	32,7 - 36,9	34,8	125,28

*Η ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ BEAUFORT*

Οι βαθμοί της κλίμακας συσχετίζονται με την ταχύτητα του ανέμου, όπως αυτή μετριέται από ένα ανεμόμετρο με τον εμπειρικό τύπο

$$v_{[m/s]} = 0,836 \cdot B^{3/2} ,$$

όπου  $v$  είναι η ταχύτητα του ανέμου σε m/s και  $B$  οι βαθμοί Beaufort.

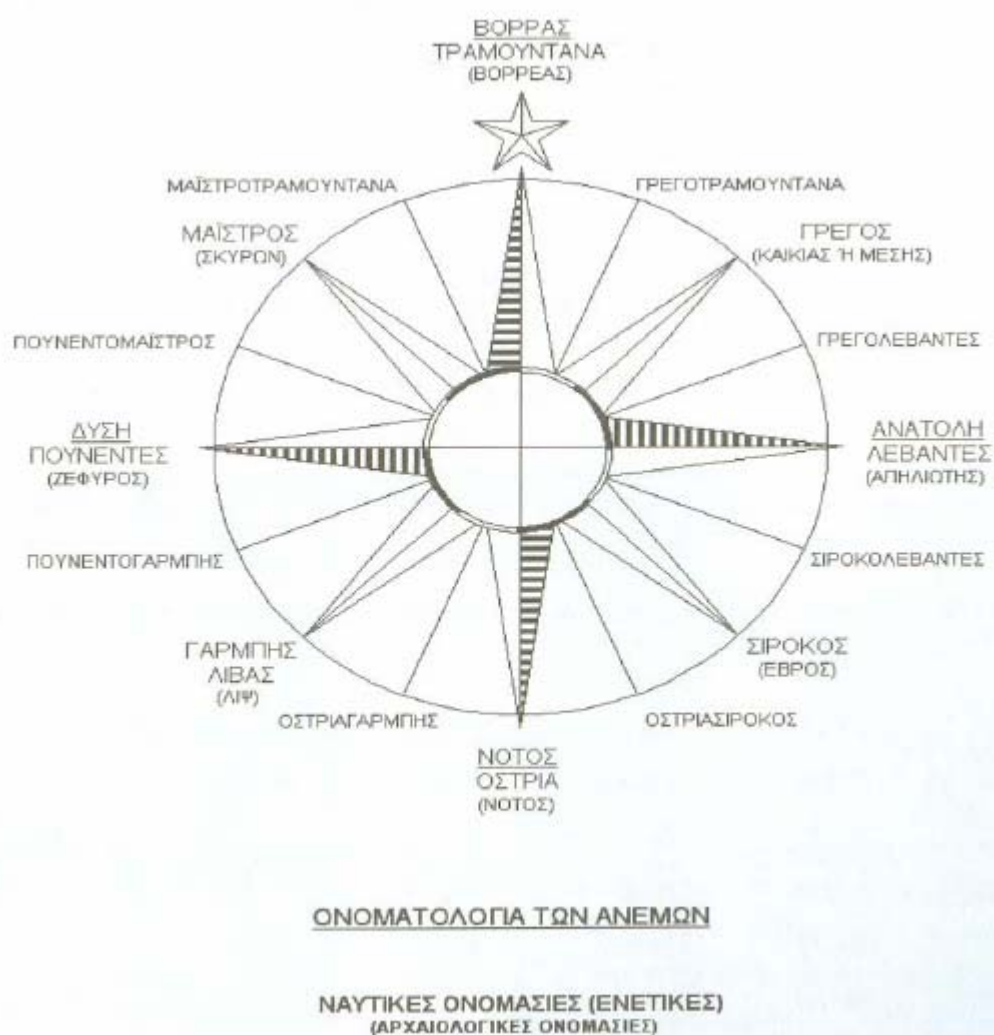
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup> ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Μποφόρ	Χαρακτηρισμός ανέμου	Χαρακτηρισμός θάλασσας	Φαινόμενα	
			<u>Ξηρά</u>	<u>Θάλασσα</u>
0	<u>Νηγεμία</u> (άπνοια)	Γαλήνια	Δεν φυσά άνεμος, ο καπνός υψώνεται κατακόρυφα.	Επίπεδη, κατοπτρική επιφάνεια ("λάδι")
1	Σχεδόν άπνοια	Ρυτιδούμενη	Ο άνεμος μετακινεί τον καπνό.	Το νερό κάνει μικρές "ρυτίδες".
2	Πολύ ασθενής	Ήρεμη	Ο άνεμος γίνεται αισθητός στο δέρμα, τα φύλλα κινούνται.	Μικρά κυματάκια που δεν "σπάνε".
3	Ασθενής	Λίγο ταραγμένη	Φύλλα και μικρά κλαριά κινούνται διαρκώς.	Τα μικρά κύματα αρχίζουν να σπάνε και εμφανίζεται λίγος αφρός ("προβατάκια").
4	Σχεδόν μέτριος	Λίγο ταραγμένη ως ταραγμένη (μέτρια)	Ο άνεμος σηκώνει σκόνη και πεσμένα χαρτιά. Τα κλαδιά αρχίζουν να κινούνται.	Μικρά κύματα.
5	Μέτριος	Ταραγμένη	Μικρά δέντρα αρχίζουν να κινούνται.	Μεγαλύτερα κύματα (περ. 1,2 μ.), εμφανίζεται αφρός και σταγονίδια νερού.
6	Ισχυρός	Κυματώδης	Μεγάλα κλαδιά κινούνται κι ο αέρας σφυρίζει. Η χρήση της ομπρέλας γίνεται δύσκολη.	Μεγάλα κύματα με αφρώδεις κορυφές και έντονο πύλο.
7	Σχεδόν θυελλώδης	Κυματώδης έως πολύ κυματώδης	Τα δέντρα κινούνται και το περπάτημα γίνεται δύσκολο.	Η θάλασσα φουσκώνει και ο αφρός αρχίζει να σχηματίζει λωρίδες.
8	Θυελλώδης	Πολύ κυματώδης έως τρικυμώδης	Κλαριά σπάνε, η οδήγηση γίνεται δύσκολη.	Σχετικά ψηλά κύματα που αρχίζουν να σπάνε. Ο αφρός σχηματίζει λωρίδες.
9	Πολύ θυελλώδης	Τρικυμώδης	Κλαδιά σπάνε, ζημιές σε καμινάδες, σκεπές.	Μεγάλα κύματα (6 μ.) με πυκνό αφρό, που σπάνε και διπλώνουν.
10	Θύελλα	Πολύ τρικυμώδης	Δέντρα ξεριζώνονται, πολλές ζημιές στο εξωτερικό των κτιρίων.	Πολύ ψηλά κύματα, η θάλασσα ασπρίζει. Η ορατότητα μειώνεται.
11	Ισχυρή θύελλα	Μαινόμενη	Μεγάλες ζημιές σε κτίρια, αυτοκίνητα, πάρκα.	Εξαιρετικά ψηλά κύματα, μικρή ορατότητα.
12	Λαίλαπα ή τυφώνας	Παράφορη	Σοβαρές καταστροφές σε μεγάλη έκταση.	Τεράστια κύματα. Ο αέρας γεμίζει με αφρό και πύλο, η θάλασσα ασπρίζει εντελώς. Ελάχιστη έως μηδενική ορατότητα.

ΚΛΙΜΑΚΑ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ BEAUFORT ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΕΣ

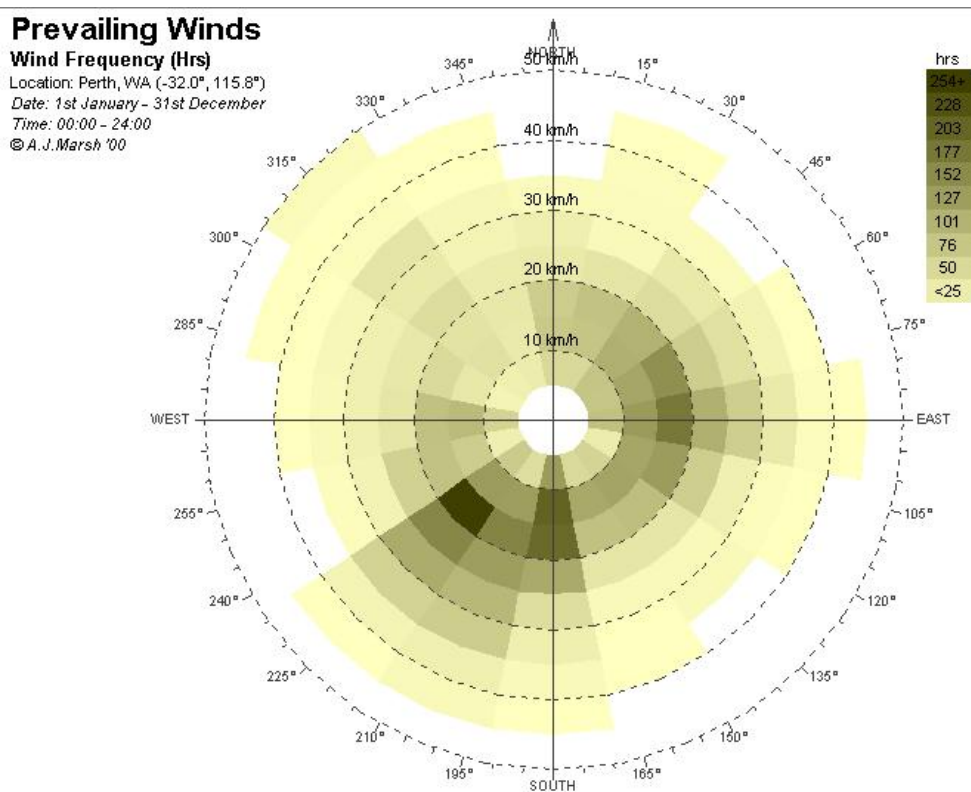
### 5.3. Διεύθυνση του ανέμου

Ως διεύθυνση του ανέμου ορίζεται το σημείο του ορίζοντα απο το οποίο πνέει ο άνεμος σε σχέση με την θέση στην οποία μετράμε. Η διεύθυνση του ανέμου σε μια θέση δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται συνεχώς εμφανίζοντας όμως μικρότερες διακυμάνσεις απο την ταχύτητα του ανέμου. Η διεύθυνση του ανέμου είναι συνάρτηση του αληθούς βορρά και μετριέται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, σε μοίρες ή σε τιμές που αντιστοιχούν σε ολόκληρο κυκλικό τομέα. Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια χρησιμοποιούνται 8, 16 ή 32 τομείς.



*Ονοματολογία ανέμων βάση της διεύθυνσης τους*

Με βάση τις παρατηρήσεις της διεύθυνσης του ανέμου μπορούμε να χαράξουμε σε «πολικό διάγραμμα» (ή ανεμολόγιο-ροζέτα) τις συχνότητες (%), σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων που διαθέτουμε, ανάλογα με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Στο ίδιο διάγραμμα είναι δυνατό να παρασταθεί και η μέση ταχύτητα του ανέμου κατά την εκάστοτε διεύθυνση. Επιπλέον, για μεγαλύτερη ακρίβεια είναι δυνατός ο υπο κλίμακα σχεδιασμός, ώστε να εμφανίζονται και τα διαστήματα έντασης του ανέμου για κάθε διεύθυνση. Τέλος, στο κέντρο του πολικού διαγράμματος και σε ειδικό κύκλο κατάλληλης ακτίνας καταγράφεται το ποσοστό της νημεμίας.



Πολικό διάγραμμα ή Ροδόγραμμα

Κατά την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, χαρακτηρίζουμε σαν κύρια διεύθυνση του ανέμου κάθε διεύθυνση η οποία συνεισφέρει τουλάχιστον 10% στη συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια. Οι κύριες διευθύνσεις του ανέμου είναι διαφορετικές για κάθε τοποθεσία, δεδομένου ότι ο προσανατολισμός των λόφων, των βουνών, των κοιλάδων, η υπάρχουσα βλάστηση καθώς και η ύπαρξη κτιρίων ανάμεσα στα άλλα επηρεάζουν τις κύριες διευθύνσεις του ανέμου.

Η διεύθυνση του ανέμου, η οποία στην υπό μελέτη περιοχή έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης, ονομάζεται επικρατούσα διεύθυνση. Η επικρατούσα διεύθυνση μεταβάλλεται συνήθως με την εποχή του χρόνου. Τέλος, ο χώρος μεταξύ του σημείου στο οποίο θέλουμε να εγκαταστήσουμε μια ανεμογεννήτρια και του σημείου του ορίζοντα από το οποίο συνήθως πνέει ο άνεμος (επικρατούσα διεύθυνση) μας προσδιορίζει την προσήνεμη περιοχή. Αντίστοιχα, η υπήνεμη περιοχή είναι αυτή η οποία είναι προστατευμένη από τον άνεμο και είναι συχνά αντίθετη της προσήνεμης περιοχής. Στον Ελλαδικό χώρο η επικρατούσα κατά κανόνα διεύθυνση των ανέμων είναι η βόρεια και βορειοανατολική, ιδιαίτερα στην περιοχή του Αιγαίου, χωρίς βέβαια να αποκλείονται περιπτώσεις σε περιοχή με διαφορετική επικρατούσα διεύθυνση.

Η διεύθυνση του ανέμου βρίσκεται συνήθως με τη βοήθεια ανεμοδεικτών. Ο ανεμοδείκτης αποτελείται από έναν κατακόρυφο άξονα στο πάνω άκρο του οποίου περιστρέφεται ένας οριζόντιος άξονας με ένα ή δυο ελάσματα στο ένα άκρο του. Όταν η πίεση που ασκεί ο άνεμος εξισορροπηθεί και από τις δυο πλευρές του ελάσματος του ανεμοδείκτη, αυτός έχει στραφεί έτσι, ώστε ο δείκτης του ανεμοδείκτη (που βρίσκεται και το αντίβαρο εξισορρόπησης του ελάσματος) να διευθύνεται προς τη μεριά από την οποία φυσά ο άνεμος.



*Ανεμοδείκτης (1)*



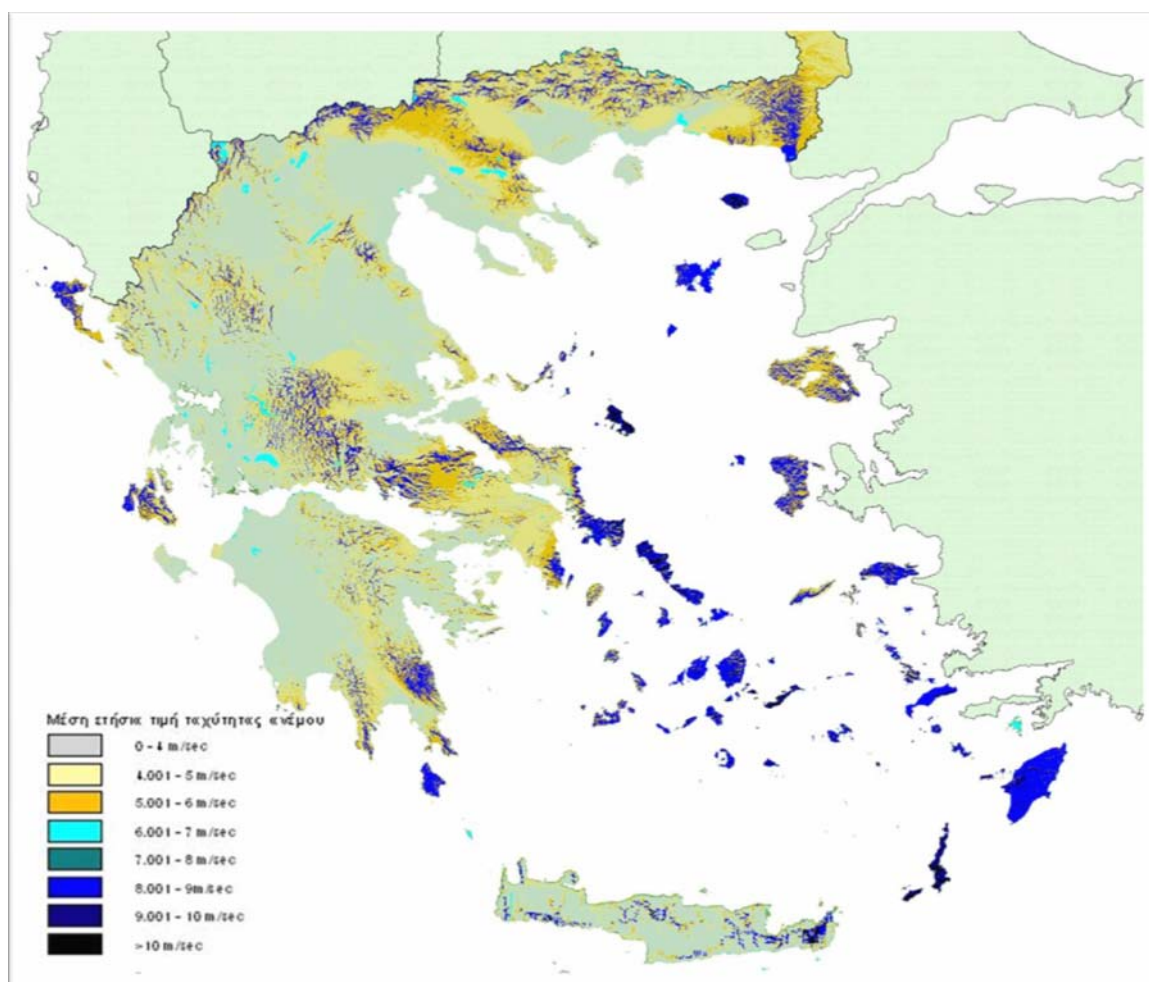
*Ανεμοδείκτης (2)*

Ένας ακριβής ανεμοδείκτης έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

1. Περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα του με ελάχιστες τριβές
2. Δεν παρουσιάζει τάσεις κλίσης προς μια διεύθυνση. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακριβή αντιστάθμιση των ελασμάτων με τη χρήση αντίβαρου.
3. Εμφανίζει τη μέγιστη ροπή στρέψης για δεδομένη αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με την αδράνεια του οργάνου.
4. Παρουσιάζει γρήγορη απόκριση στις διαρκείς διακυμάνσεις της διεύθυνσης του ανέμου
5. Παρουσιάζει επαρκή απόσβεση των στρεπτικών ταλαντώσεων.

## 5.4. Προσδιορισμός αιολικού δυναμικού

Για να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότερη χρήση μίας ανεμογεννήτριας, πρέπει αυτή να είναι εκτεθειμένη σε ισχυρούς ανέμους. Είναι πολύ σημαντικό να ανακαλυφθεί ποιες περιοχές έχουν τους καλύτερα αξιοποιήσιμους ανέμους. Η διαπίστωση αυτή γίνεται κατόπιν μελέτης εκτίμησης του αιολικού δυναμικού. Διαδικασία χρονοβόρα (12μήνες), όμως απαραίτητη ειδικά στην Ελλάδα καθώς οποιαδήποτε διαδικασία αδειοδότησης απαιτεί την ύπαρξη αυτής της μελέτης. Πέρα από αυτό όμως έχοντας αυτή τη μελέτη ο ίδιος ο επενδυτής μπορεί να αξιολογήσει αποτελεσματικότερα την βιωσιμότητα της επένδυσης που ενδιαφέρεται να πραγματοποιήσει.



*Χάρτης αιολικού δυναμικού*

Το αιολικό δυναμικό είναι μια επίπονη διαδικασία τα αποτελέσματα της οποίας στηρίζονται σε μαθηματικά μοντέλα τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους συνθήκες οι οποίες είναι πρακτικά αδύνατο να υπάρξουν όπως για παράδειγμα επίπεδα εδάφη κ.τ.λ. Αυτό το γεγονός μας κάνει να καταλάβουμε ότι τα αποτελέσματα που εξάγονται απ τα μοντέλα αυτά δεν είναι δυνατό να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα παρά μόνο αν γίνουν κάποιες παραδοχές. Φροντίζουμε λοιπόν έτσι ώστε οι μετρήσεις που παίρνουμε για μια περιοχή να είναι κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και πιο συγκεκριμένα περίπου 10 χιλιόμετρα απ τον ανεμογράφο μπορούμε να δεχτούμε τα αποτελέσματα που παίρνουμε σαν ακριβή.

Οι μετρήσεις που μας χρειάζονται προκειμένου να πάρουμε τα στοιχεία που θέλουμε για την περιοχή ενδιαφέροντος λαμβάνονται από τον μετεωρολογικό ιστό. Τοποθετείται κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και πιο συγκεκριμένα στην ψηλότερη κορυφή για την αποφυγή κάθε είδους φυσικού ή τεχνητού εμποδίου προκειμένου να μην υπάρξει έτσι αλλοίωση αποτελεσμάτων.



*Εγκατάσταση μετεωρολογικού ιστού*

Οι ιστοί στήνονται σε ύψος τουλάχιστον 10 μ. από το έδαφος και μακριά από δέντρα και άλλα εμπόδια, όπου αυτό είναι εφικτό. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα μας. Σ'αυτές τις περιπτώσεις εγκαθιστούμε ψηλότερους ιστούς με ύψος έως και 60 μέτρα και τοποθετούμε όργανα σε διάφορα ύψη (10m, 30m, 45m , 60μ ). Με αυτό τον τρόπο έχουμε ακριβή ένδειξη της ταχύτητας στο ύψος της περωτής της Α/Γ που είναι συνήθως πάνω από τα 50m. Οι προϋποθέσεις αυτές εξασφαλίζουν την ορθότητα των δεδομένων που παίρνουμε.



Η διαδικασία στησίματος και ανύψωσης ενός ιστού περιλαμβάνει τη συναρμολόγηση του πυλώνα, την τοποθέτηση του ανεμομέτρου και του ανεμοδείκτη, τοποθέτηση του καταγραφικού όργανου στο οποίο λαμβάνονται και αποθηκεύονται οι μετρήσεις και τέλος γίνεται η ανέγερση του ιστού με τη βοήθεια κατάλληλων ανυψωτικών διατάξεων.

Οι μετρητικές διατάξεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, (ανεμόμετρο-ανεμοδείκτης) τοποθετούνται σε ένα ιστό είναι το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης και πολλές φορές τοποθετούνται σε ζευγάρια , έτσι ώστε στην περίπτωση που το ένα καταστραφεί, να έχουμε ενδείξεις από το άλλο . Τα όργανα συνδέονται σε ένα καταγραφικό (data logger) το οποίο όπως είπαμε παίρνει τις μετρήσεις και τις αποθηκεύει. Μέσα από το καταγραφικό έχουμε τη δυνατότητα να ορίσουμε την περίοδο δειγματοληψίας. Για παράδειγμα όταν πρόκειται για ανέγερση αιολικού πάρκου οι μετρήσεις γίνονται ανά 1 δευτερόλεπτο και η ολοκλήρωση των μετρήσεων γίνεται κάθε 10 λεπτά . Έτσι έχουμε μέσες 10λεπτες τιμές για την ταχύτητα και την διεύθυνση.

Παρακάτω στο σχήμα φαίνεται ένας τύπος καταγραφικού όπου φαίνονται κάποιες μετρήσεις εκείνης της στιγμής που τραβήχτηκε η φωτογραφία και αφορούν στην στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου εκείνη τη στιγμή καθώς επίσης και η μέση ταχύτητα.



*Καταγραφικό (Data logger)*

## Το λογισμικό WAsP

Το πακέτο λογισμικού WAsP είναι ένα πρόγραμμα, το οποίο, χρησιμοποιώντας δεδομένα για το αιολικό δυναμικό και τη μορφολογία μιας περιοχής, δημιουργεί ανεμολογικούς χάρτες και παρέχει τα απαραίτητα δεδομένα για την εγκατάσταση αιολικών συστημάτων στις εξεταζόμενες περιοχές .

Η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του WAsP είναι ανάλογη της αξιοπιστίας των δεδομένων που χρησιμοποιούνται. Δηλαδή , αν έχουμε έντονη ορογραφία ή μη ελεγμένες μετρήσεις, η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων του προγράμματος μειώνεται.

## Η δομή του WAsP

Το WAsP αποτελείται από 4 κυρίως υπολογιστικά μπλοκ δηλ. 4 κυρίως λειτουργίες:

- Ανάλυση και επεξεργασία γεωγραφικών χαρτών. Αυτή η επιλογή δίνει την δυνατότητα ανάλυσης κάθε είδους χάρτη (WAsP map editor).
- Δημιουργία των δεδομένων Αιολικού Άτλαντα. Τα αναλυμένα ανεμολογικά δεδομένα μπορούν να μετατραπούν σ' ένα σετ δεδομένων για τους ανεμολογικούς χάρτες. Σ' ένα τέτοιο σετ, οι πληροφορίες από τις παρατηρήσεις του ανέμου έχουν «καθαριστεί» από τις ιδιομορφίες της εξεταζόμενης περιοχής και ανάγονται σε σταθερές συνθήκες (owc wizard).
- Εκτίμηση του κλίματος του ανέμου. Χρησιμοποιώντας το σετ δεδομένων που παρέχει ένας ανεμολογικός άτλαντας και το χάρτη , το πρόγραμμα μπορεί να δώσει μια εκτίμηση του κλίματος του ανέμου στην συγκεκριμένη περιοχή, κάνοντας τους αντίστροφους υπολογισμούς μ' αυτούς που χρησιμοποιεί για την δημιουργία του Ατλάντα (WAsP).
- Εκτίμηση δυνατοτήτων παραγωγής. Το ολικό ενεργειακό αποτέλεσμα του μέσου ανέμου υπολογίζεται από το WAsP. Επιπλέον, αν δοθεί στο WAsP η καμπύλη ισχύος της Α/Γ που θα χρησιμοποιηθεί, αυτό μπορεί να δώσει μια εκτίμηση της μέσης ετήσιας παραγωγής.

## Ανάλυση του Αιολικού Ατλάντα

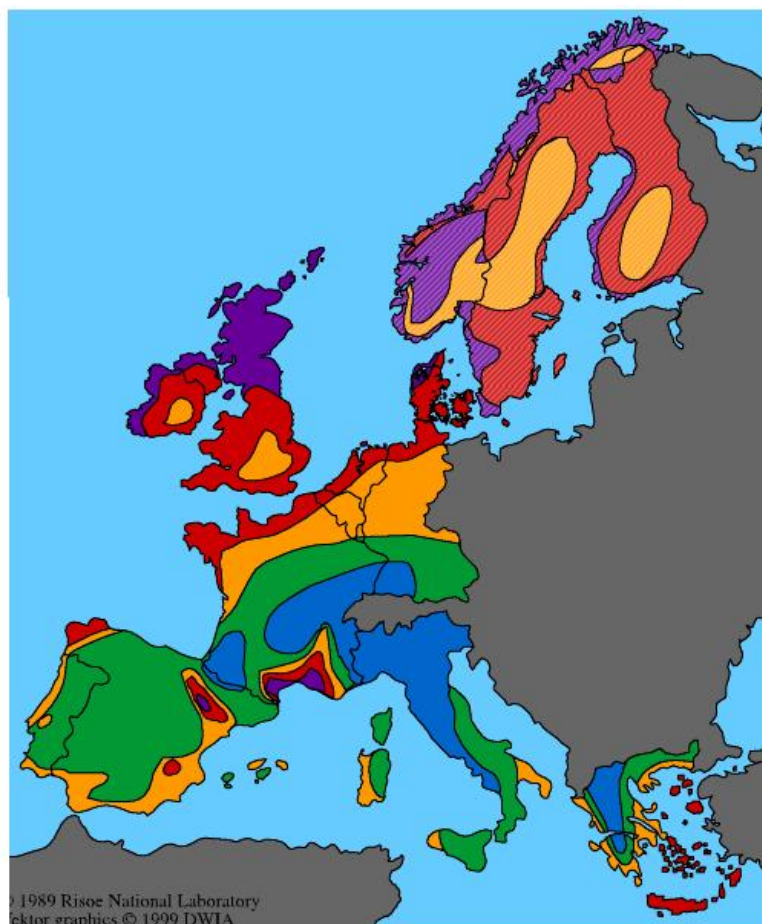
Ο κύριος στόχος του WAsP είναι δίπτυχος. Πρώτον, χρησιμοποιεί ρουτίνες για να διορθώσει τα ανεμολογικά δεδομένα που έχουν μετρηθεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο και να τα μετατρέψει σε ένα σύνολο που να περιγράφει το ανεμολογικό κλίμα μιας περιοχής τον αποκαλούμενο Αιολικό Ατλάντα.. Δεύτερον, χρησιμοποιεί αυτά τα σύνολα δεδομένων ώστε να εκτιμήσει τις ανεμολογικές συνθήκες σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο σημείο και ύψος στην περιοχή χρησιμοποιώντας κυρίως τις ίδιες ρουτίνες ή μοντέλο.

Η δημιουργία Αιολικού Ατλάντα με το WAsP ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

1. Τα υπάρχοντα μετεωρολογικά δεδομένα, είτε σε μορφή χρονοσειρών είτε σε κλιματολογικό πίνακα μεταφέρονται σ' ένα φάκελο του δίσκου.
2. Η περιγραφή του μετεωρολογικού σταθμού μπορεί να εισαχθεί απ' ευθείας από το πληκτρολόγιο ή με ψηφιοποίηση που μπορεί μετά να αποθηκευτεί για αναφορά αργότερα. , το ύψος του ανεμομέτρου , την τραχύτητα του εδάφους γύρω από τον σταθμό και πιθανόν την παρουσία εμποδίων κοντά στο σταθμό. Σε περίπτωση που οι μετρήσεις να επηρεάζονται και από την ορογραφία, οι πληροφορίες που απαιτούνται από το μοντέλο του πολύπλοκου εδάφους πρέπει επίσης να παρασχεθούν.
3. Οι πληροφορίες που δίνονται στα παραπάνω δυο σημεία χρησιμοποιούνται σαν βάση για να υπολογίσει το WAsP την τάξη ταχύτητας του ανέμου σε ιστόγραμμα, την αντίστοιχη διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου πιο ψηλά από το ανεμόμετρο και όλα αυτά για κάθε περιοχή. Σ' αυτή την διαδικασία οι πληροφορίες «φιλτράρονται» από τα αποτελέσματα των εμποδίων, της ανομοιογένειας της τραχύτητας και τις διαταράξεις λόγω της γεωμετρίας του εδάφους.
4. Χρησιμοποιώντας τις εμπειρικές σχέσεις μεταξύ του ανέμου πάνω από ομοιογενές έδαφος και την υποτιθέμενη μεγάλη ή συνοπτική διαβάθμιση του ανέμου, τα δεδομένα προσεγγίζονται για να αναλογούν στο γεωστροφικό κλίμα της περιοχής. Αυτό θεωρείται ανεξάρτητο απο τις ειδικές συνθήκες στην επιφάνεια.. Οι αντίστροφοι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για να δώσουν το

αιολικό δυναμικό σε μερικά, ορισμένα, ύψη και σε διάφορες - ορισμένες επίσης- τραχύτητες του εδάφους.

- Τελικά, αυτά τα δεδομένα αναλύονται σε όρους της κατανομής Weibull. Οι παράμετροι της Weibull αποτελούν τον αιολικό άτλαντα της περιοχής και είναι η αρχή των υπολογισμών για την τοποθέτηση συστημάτων αιολικής ενέργειας.

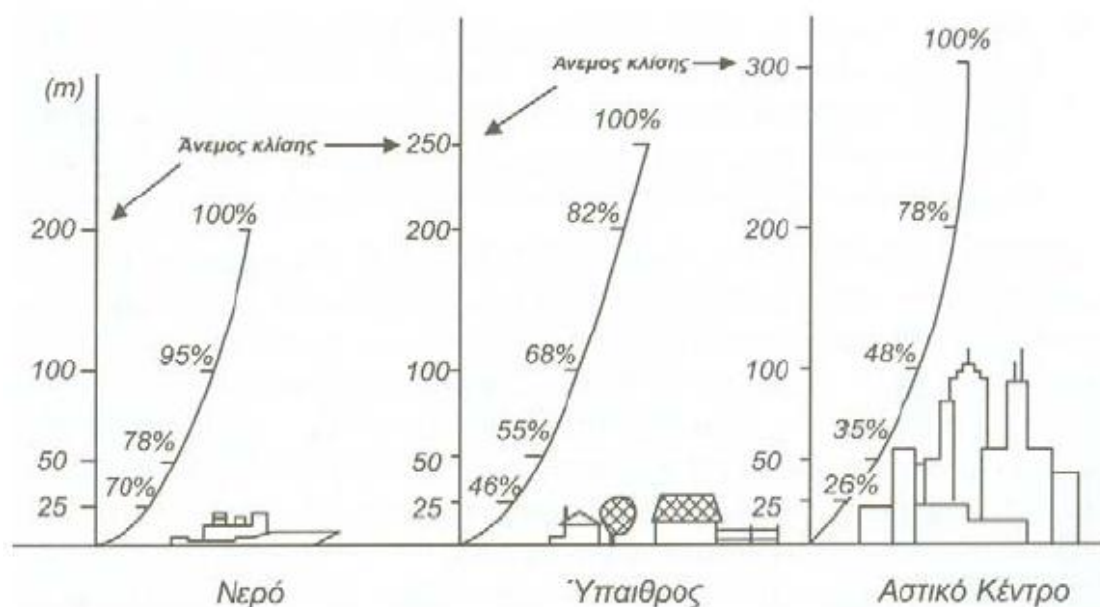


	Προστατευμένη περιοχή		Ανοιχτή περιοχή		Παραθαλάσσια		Ανοιχτή θάλασσα		Λόφοι και γκρεμοί	
	m/s	W/m <sup>2</sup>	m/s	W/m <sup>2</sup>	m/s	W/m <sup>2</sup>	m/s	W/m <sup>2</sup>	m/s	W/m <sup>2</sup>
	>6.0	>250	>7.5	>500	>8.5	>700	>9.0	>800	>11.5	>1800
	5.0-6.0	150-250	6.5-7.5	300-500	7.0-8.5	400-700	8.0-9.0	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	<400
			>7.5							
			5.5-7.5							
			<5.5							

Ταχύτητες ανέμων σε όλη την Ευρώπη

## 5.5. Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους

Η τραχύτητα του εδάφους επιδρά στη διάτμηση του ανέμου καθορίζοντας το πόσο επιβραδύνεται ο άνεμος κοντά στο έδαφος. Η τραχύτητα του εδάφους εκφράζει το είδος του εδάφους. Τα μεγέθη που εκφράζουν την τραχύτητα του εδάφους είναι το μήκος τραχύτητας  $z_0$  και η κλάση (κατηγορία τραχύτητας). Το μήκος της τραχύτητας ορίζεται για επιφάνειες με ομοιόμορφη κατανομή στοιχείων τραχύτητας και επηρεάζεται από την πυκνότητα των εδαφικών χαρακτηριστικών.



*Επίδραση τραχύτητας στην ταχύτητα του ανέμου*

Κατηγορία τραχύτητας 1: Ανοικτές περιοχές χωρίς εμπόδια. Το έδαφος είναι επίπεδο ή με πολύ ελαφριές κλίσεις. Μπορεί να υπάρχουν μεμονωμένες αγροικίες και χαμηλοί θάμνοι.

Κατηγορία τραχύτητας 2: Καλλιεργημένη περιοχή με ορισμένα εμπόδια σε απόσταση μεγαλύτερη των 1000m μεταξύ τους και μερικά σπίτια. Το έδαφος είναι επίπεδο ή κυματώδες με δένδρα και σπίτια.

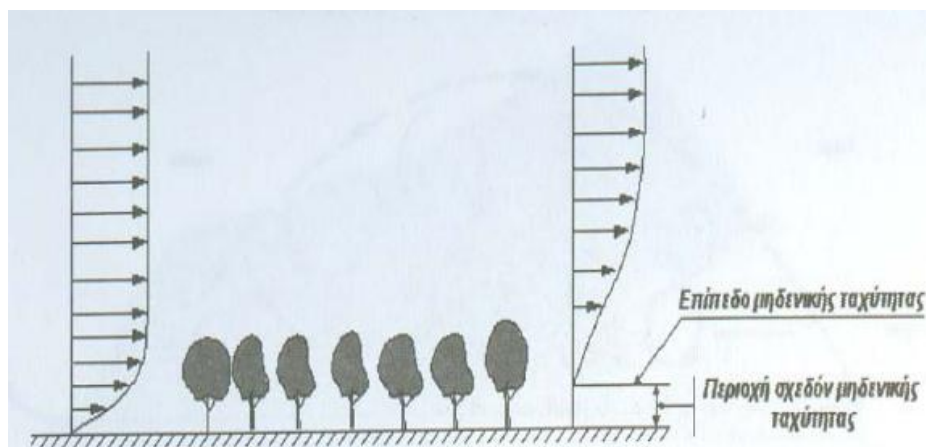
Κατηγορία τραχύτητας 3: Συνδυασμός δάσους και καλλιεργημένης περιοχής με πολλά εμπόδια στα περικόρα της πόλης. Τα εμπόδια είναι κοντά μεταξύ τους σε αποστάσεις μικρότερες από μερικές εκατοντάδες μέτρα.

<b>ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ</b>	<b>ΤΥΠΟΣ ΕΔΑΦΟΥΣ</b>	<b>z<sub>0</sub> (m)</b>
0	Πυλώδες έδαφος, Πάγος	10 <sup>-5</sup> – 3*10 <sup>-5</sup>
0	Ήρεμη θάλασσα	2*10 <sup>-4</sup> – 3*10 <sup>-4</sup>
0	Αμμώδες έδαφος	10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-3</sup>
0	Χιονοκαλυμμένο επίπεδο εδάφους	4,9*10 <sup>-3</sup>
1	Χέρσο έδαφος	10 <sup>-3</sup> - 0.01
1	Χλοερό έδαφος	0.017
1	Επίπεδο ακαλλιέργητο έδαφος	0.021
2	Χαμηλή βλάστηση, Στέπα	0.032
2	Καλλιέργειες	0.064
2	Θαμνώδες έδαφος	0.1 - 0.3
2	Δάση με χαμηλά δένδρα	0.05 - 0.1
3	Δάση με υψηλά δένδρα	0.2 - 0.9
3	Προαστιακές περιοχές	1-2
3	Πόλεις	1-4

*Τυπικές τιμές τραχύτητας*

## 5.6. Επίδραση επιφανειακών εμποδίων

Για τη σωστή αεροδυναμική συμπεριφορά μιας αιολικής μηχανής είναι σκόπιμο η πτερωτή της ανεμογεννήτριας να βρίσκεται εκτός του πεδίου επιρροής τυχόν επιφανειακών εμποδίων. Με τον τρόπο αυτό έχουμε μεγιστοποίηση της διαθέσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου, το πεδίο ροής είναι ελεύθερο στροβιλισμού και η τυρβή του ανέμου είναι η ελάχιστη δυνατή.



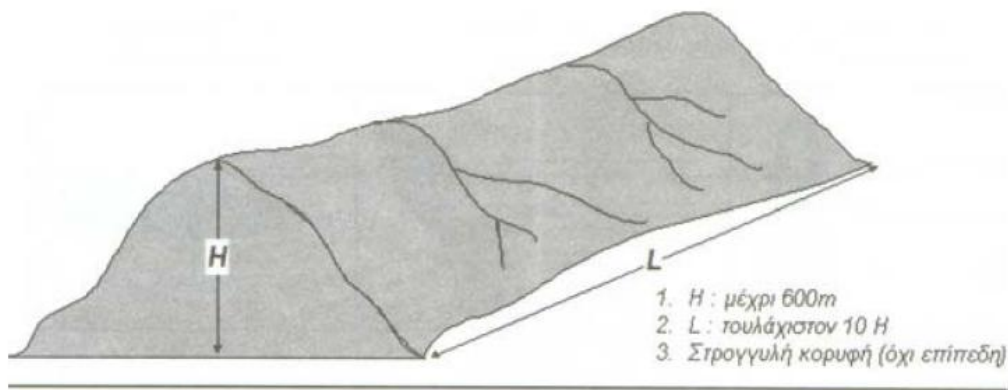
*Νέα κατανομή ταχύτητας λόγω εμποδίων*

Η παρουσία συστοιχίας δένδρων έχει ως αποτέλεσμα το μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου μέχρι και το ύψος κορυφής των δένδρων, ενώ το οριακό στρώμα φαίνεται να αναπτύσσεται από την κορυφή των δένδρων και κατόπι. Στις περιπτώσεις αυτές το ύψος της ζώνης επιρροής είναι τουλάχιστον πέντε έως έξι φορές το μέσο ύψος των δένδρων. Τέλος η τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να βρίσκεται εκτός του οριακού στρώματος που αναπτύσσεται στην περιοχή της συστοιχίας.

Πολύ συχνά και για περιπτώσεις υψηλών δένδρων αναφέρεται στην υπομελέτη τοποθεσία η ύπαρξη περιοχών, όπου έχουμε μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου και δημιουργία έντονων στροβίλων ανακυκλοφορίας. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται «ανεμόφρακτες» και αποτελούν σαφή ένδειξη της ύπαρξης ανέμου υψηλών ταχυτήτων.

### 5.7. Επίδραση του τοπικού ανάγλυφου της περιοχής

Η έννοια της λοφοσειράς λαμβάνεται κάθετη στην επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου. Το μέγιστο ύψος της λοφοσειράς δεν υπερβαίνει τα εξακόσια (600m) μέτρα, ενώ το πλάτος της είναι τουλάχιστον δεκαπλάσιο του ύψους της λοφοσειράς. Η ανάλυσή μας βασίζεται στην υπόθεση ότι ο άνεμος περνάει επάνω από τη λοφοσειρά και δεν την παρακάμπτει κινούμενος πλαγίως.



Στοιχεία ορισμού λοφοσειράς

Βασιζόμενοι στους κλασσικούς νόμους της αεροδυναμικής υποηχητικών ταχυτήτων (π.χ εξίσωση Bernoulli), μπορούμε να πούμε ότι η κορυφή της λοφοσειράς είναι μια πολύ καλή θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας, δεδομένης της συμπίεσης των γραμμών ροής, η οποία ισοδυναμεί με επιτάχυνση της αέρας δέσμης. Ένας πιθανός διπλασιασμός της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή της κορυφής ισοδυναμεί με οκταπλασιασμό της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου στην εν λόγω περιοχή. Συχνά είναι προτιμότερο να εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια λίγο πριν την κορυφή της λοφοσειράς, ώστε να αποφευχθούν αφενός αρνητικές κλίσεις της ταχύτητας που συνοδεύουν τυχόν αποκόλληση της ροής, αφετέρου περιοχές υψηλής τύρβης.

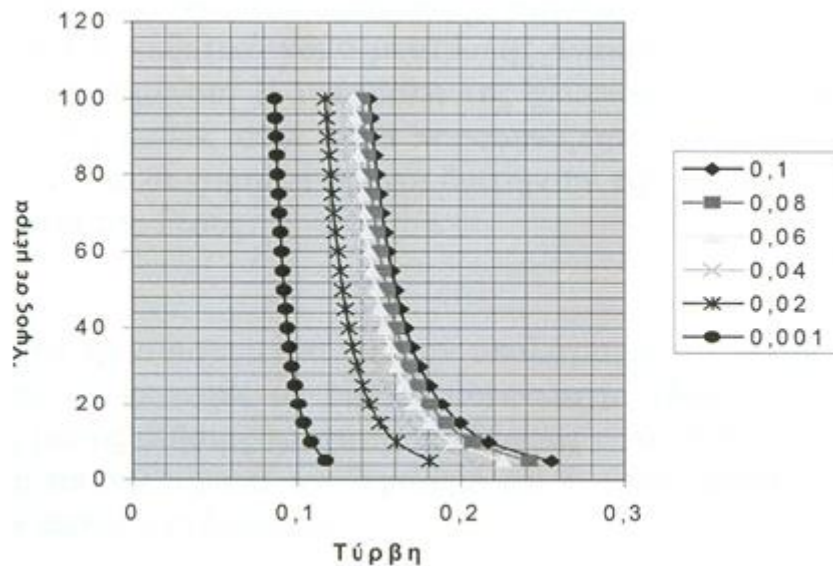
Σαν γενικός κανόνας πρέπει να τηρηθεί η αρχή ότι ο δρομέας μιας ανεμογεννήτριας πρέπει να βρίσκεται έξω από τη ζώνη επιρροής οποιουδήποτε επιφανειακού εμποδίου που βρίσκεται ανάντη της ανεμογεννήτριας, ώστε να μεγιστοποιηθεί η διαθέσιμη αιολική ενέργεια και να ελαχιστοποιηθεί η αναπτυσσόμενη ατμοσφαιρική τριβή.



## 5.8. Τυρβή και διάτμηση

Είναι προφανές ότι οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι τυχαίες και δεν μπορούν να προβλεφθούν και να αναλυθούν με ασφαλή τρόπο. Έτσι χρησιμοποιούμε στατιστικές τεχνικές για την περιγραφή των χαρακτηριστικών του ανέμου. Έτσι, από τον ορισμό της μέσης τιμής της ταχύτητας, προκύπτει η τυρβή που ορίζεται ως η διαταραχή της ταχύτητας με περίοδο μικρότερη από την περίοδο ολοκλήρωσης της μέσης τιμής. Συνήθως για να έχουμε ένα κοινό σημείο αναφοράς, υπολογίζουμε την τυρβή δεκαλέπτου  $I_{10}$ .

Η διάτμηση (shear) μας δείχνει αν έχουμε πρόβλημα με μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου σε ύψος μικρότερο της πλήμνης της ανεμογεννήτριας. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να εξετάσουμε τη συγκεκριμένη παράμετρο όταν χωροθετούμε τις ανεμογεννήτριες γιατί ένας λάθος υπολογισμός μπορεί να έχει καταστροφικά αποτελέσματα για τα φτερά των ανεμογεννητριών.



*Η κατανομή της τυρβής, (καμπύλες για τραχύτητα  $Z_0 = 0,1$  έως  $0,001$ ) σε ομογενές πεδίο σύμφωνα με τον European Wind Atlas του RISOE*

Ως διάτμηση ορίζεται η κλίση της καμπύλης της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος από το έδαφος. Όταν αυτή η κλίση πάρει μια ορισμένη αρνητική τιμή (εξαρτάται από τον κατασκευαστή της Α/Γ) τότε αυτό είναι επικίνδυνο για τα φτερά της Α/Γ καθώς υπάρχει πιθανότητα να χτυπήσουν στον πυλώνα και να καταστραφούν. Αρνητική διάτμηση είναι πιθανότερο να εμφανιστεί σε περιοχές με έντονη ορειογραφία.

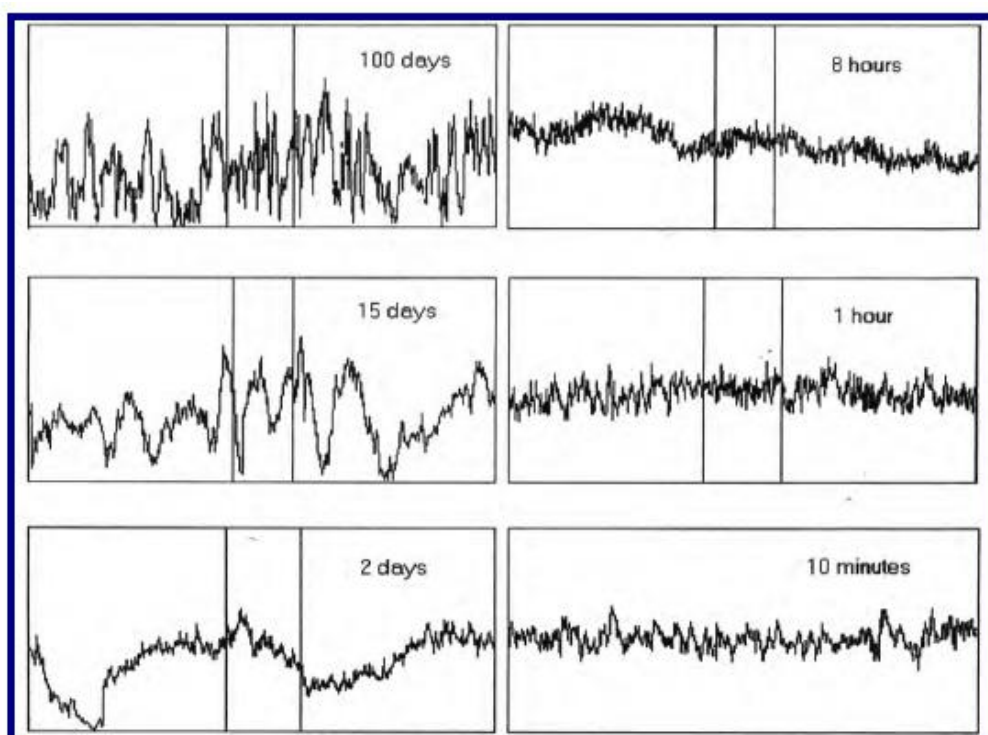
### 5.9. Επίδραση ύψους στο διαθέσιμο αιολικό δυναμικό

Η σχέση για την εξαγόμενη ισχύ από μια ανεμογεννήτρια δείχνει ότι η ενεργειακή παραγωγή της εξαρτάται από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στην θέση, την πυκνότητα του αέρα, το μέγεθος του δρομέα (διάμετρος πτερυγίων πάνω στον ρότορα) και τον τεχνικό σχεδιασμό. Ειδικά το ύψος του πύργου, επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή παραγωγή λόγω της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος επάνω από το επίπεδο του εδάφους.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να διευκρινιστεί ότι οι περισσότεροι προμηθευτές, για κατασκευαστικούς λόγους και λόγους συμπίεσης του κόστους παραγωγής, διαθέτουν πύργους στήριξης με συγκεκριμένο ύψος τοποθέτησης των ανεμογεννητριών, ανάλογα βέβαια και με το μέγεθος της μηχανής. Συχνά υπάρχουν δυο διαθέσιμα ύψη τοποθέτησης, το μεγαλύτερο εκ των οποίων συνήθως χρησιμοποιείται και για την επόμενο μεγέθους ανεμογεννήτρια. Τα προκαθορισμένα αυτά ύψη τοποθέτησης των αιολικών μηχανών έχουν επιλεχθεί συνήθως με διαφορετικά κριτήρια από τα επικρατούντα ανεμολογικά δεδομένα κάθε περιοχής, ανταποκρίνονται δε κατά κανόνα στις απαιτήσεις των περιοχών της Β. Ευρώπης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα συγκεκριμένα αυτά ύψη λειτουργίας να απέχουν σημαντικά από το τοπικά βέλτιστο υψόμετρο τοποθέτησης μιας ανεμογεννήτριας.

### 5.10. Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με τον χρόνο

Η ταχύτητα του ανέμου σε ορισμένη θέση δεν παραμένει σταθερή με τον χρόνο. Μεταβάλλεται και κατά μέγεθος και κατά διεύθυνση, απο χρόνο σε χρόνο (ετήσια), απο εποχή σε εποχή (εποχιακή), απο παροδικά κλιματολογικά συστήματα (συνοπτική), απο μέρα σε μέρα (ημερήσια) και απο δευτερόλεπτο σε δευτερόλεπτο (τυρβώδης).



*Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με τον χρόνο*

Οι αλλαγές αυτές, σε διαφορετικές χρονικές περιόδους είναι δυνατό να δημιουργήσουν προβλήματα στην πρόβλεψη της ενεργειακής απόδοσης ενός αιολικού πάρκου (ετήσιας και εποχιακής) και στην πραγματοποίηση ορθών μετρήσεων ταχύτητας.

Μπορούμε όμως να παρατηρήσουμε ότι παρ' όλο που η ταχύτητα μεταβάλλεται συνεχώς, παραμένει σταθερή σε ένα διάστημα απο 10 λεπτά εως 1 ώρα (φασματικό κενό). Εάν η μέση περίοδος για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας ληφθεί σε αυτό το διάστημα τότε οι συνοπτικές και οι ημερήσιες μεταβολές μπορούν να διαχωριστούν απο αυτές που οφείλονται στην τυρβή.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup> ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

### 6.1. Επενδύσεις σε αιολικά συστήματα

Σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία στην Ελλάδα μπορούν να πραγματοποιηθούν δύο ειδών επενδύσεις σε αιολικά συστήματα:

1. Επένδυση αυτοπαραγωγής είναι η επένδυση στην οποία η ενέργεια που παράγεται συμψηφίζεται με καθορισμένο τρόπο με την ενέργεια που καταναλώνει ο αυτοπαραγωγός σε άλλα συστήματά του, και σε περίπτωση περίσσειας αυτή τιμάται με συγκεκριμένο τίμημα.
2. Ανεξάρτητη παραγωγή σ' αυτήν την περίπτωση ο παραγωγός διαθέτει το σύνολο της παραγωγής του στον "Διαχειριστή συστήματος" = Δ.Ε.Η και το τίμημα της ενέργειας καθορίζεται επακριβώς από την κείμενη νομοθεσία.

### 6.2. Κριτήρια αξιολόγησης ενεργειακών επενδύσεων

Ο έλεγχος της οικονομικής βιωσιμότητας μιας ενεργειακής επένδυσης μπορεί να στηριχθεί σε τρεις τουλάχιστον διαφορετικές προσεγγίσεις, τη μέθοδο του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης του επεδεδυμένου κεφαλαίου, τη μέθοδο του χρόνου απόσβεσης και τη μέθοδο υπολογισμού του κόστους της παραγόμενης ενέργειας.

Η μέθοδος του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης κεφαλαίου βασίζεται στον υπολογισμό του ελάχιστου επιτοκίου ανατοκισμού της επένδυσης, ωστέ η καθαρά παρούσα αξία μιας ενεργειακής εγκατάστασης να είναι μηδέν στο τέλος του ωφέλιμου χρόνου λειτουργίας της. Η έννοια του συντελεστή απόδοσης στηρίζεται στο γεγονός ότι εκφράζει την ετήσια απολαβή χρημάτων εκ μέρους των επενδυτών για τη χρήση του κεφαλαίου τους. Ακολούθως, ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης, που έχει ήδη υπολογισθεί, συγκρίνεται με το ελάχιστο ή το τυπικό επιτόκιο καταθέσεων της αγοράς και αποφασίζεται εάν η επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη ή όχι.

Η μέθοδος του χρόνου απόσβεσης (pay-back period) μιας ενεργειακής επένδυσης βασίζεται στον υπολογισμό του χρόνου κατά τον οποίο η μελλοντική αξία του επενδεδυμένου κεφαλαίου και των εσόδων από την υπό διερεύνηση επένδυση εξισώνονται. Εάν ο χρόνος απόσβεσης της

ενεργειακής επένδυσης είναι μικρότερος από τον ωφέλιμο χρόνο ζωής της εγκατάστασης, τότε η επένδυση θεωρείται οικονομικά βιώσιμη.

Όπως είναι λογικό, όσο μικρότερος είναι ο χρόνος απόσβεσης μιας εγκατάστασης, τόσο περισσότερο ελκυστική είναι η ίδια η επένδυση. Παράλληλα, για ενίσχυση της αξιοπιστίας της μεθόδου έχει προστεθεί στην κλασική ανάλυση του χρόνου απόσβεσης και ο καθορισμός του χρόνου διπλασιασμού του αρχικού κεφαλαίου.

Η μέθοδος του χρόνου απόσβεσης είναι η πλέον καθιερωμένη μέθοδος αξιολόγησης επενδύσεων, δεδομένου ότι χρησιμοποιεί ευκόλως κατανοητά μεγέθη, ενώ παράλληλα εκφράζει υπό μορφή χρημάτων τα έσοδα, τα έξοδα και τα κέρδη της επένδυσης σε ολόκληρο το διάστημα λειτουργίας της εγκατάστασης. Παράλληλα είναι τελείως ξεκάθαρο το αρχικό κόστος της επένδυσης, ώστε να ληφθεί υπόψη εκ μέρους των επενδυτών και το μέγεθος του υπό δέσμευση κεφαλαίου.

Τέλος η μέθοδος του υπολογισμού του κόστους της παραγόμενης ενέργειας στηρίζεται στον υπολογισμό της παρούσας αξίας του κόστους της παραγόμενης μονάδας ενέργειας από την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το υπολογισθέν κόστος συγκρίνεται με το αντίστοιχο κόστος της παραγόμενης συμβατικής ενέργειας και αποφασίζεται η οικονομική βιωσιμότητα της προτεινόμενης ενεργειακής απόδοσης. Η χρησιμότητα μιας τέτοιας προσέγγισης είναι προφανής, κυρίως για μακροοικονομικές αναλύσεις, δεδομένου ότι με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η πρόβλεψη της διαχρονικής διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ενεργειακή αγορά.

### 6.3. Αρχικό κόστος επένδυσης αιολικού πάρκου

Το αρχικό κόστος επένδυσης ενός αιολικού πάρκου αποτελείται από το κόστος αγοράς των ανεμογεννητριών και το κόστος εγκατάστασης.

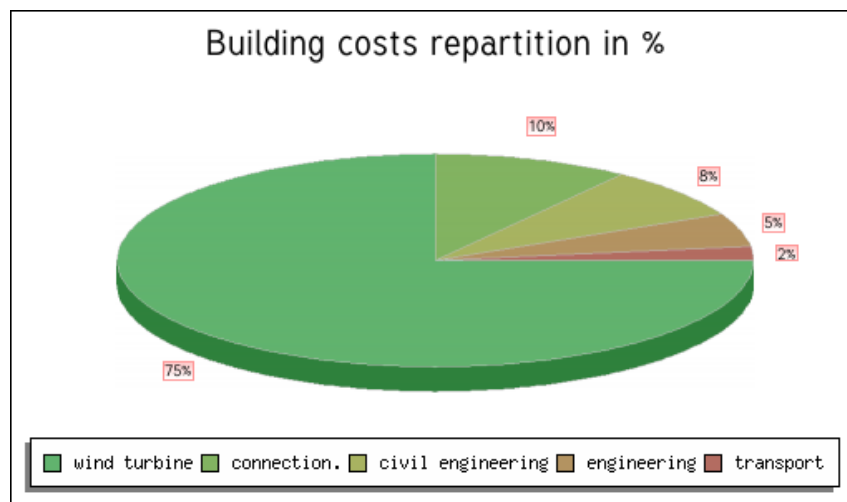
Το αρχικό κόστος μπορεί να αναλυθεί ως εξής:

1.	Μετεωρολογικός ιστός	Περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του ιστού στην θέση του πάρκου.
2.	Αγορά Α/Π	Το κόστος αγοράς των μηχανών, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους των πύργων ή του κόστους κατασκευής τους εφόσον δεν αγοραστούν από την εταιρεία παραγωγής των ανεμογεννητριών.
3.	Μεταφορά και ασφάλιστρα	Μεταφορά των ανεμογεννητριών από την εταιρεία παραγωγής στην θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου
4.	Συναρμολόγηση και εγκατάσταση	Όλα τα έξοδα (γερανοί, εργατικά, μεταφορικά γερανών) που απαιτούνται για την ανέγερση του αιολικού πάρκου.
5.	Μετρητικές διατάξεις	Καλωδιώσεις και software για την παρακολούθηση της λειτουργίας του πάρκου.
6.	Έργα Πολιτικού Μηχανικού	Έκσκαφές, επιχώσεις, διαμόρφωση πλατειών για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, διάνοιξη δρόμων, κτήριο ελέγχου, έπιπλα - γραφεία κτλ.
7.	Γενικός ηλεκτρολογικός εξοπλισμός	Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που απαιτείται για όλο το πάρκο.
8.	Σύνδεση με το δίκτυο	Γραμμή μεταφοράς ενέργειας και κόστος υποσταθμού.
9.	Μελέτες & Άδειες	Όλες οι μελέτες, οι άδειες και τα παράβολα που απαιτούνται μέχρι και την άδεια λειτουργίας του πάρκου.
10.	Εκπαίδευση Προσωπικού	Το κόστος εκπαίδευσης του προσωπικού που θα αναλάβει την συντήρηση και την επίβλεψη του αιολικού πάρκου
11.	Απρόβλεπτα	Υπολογίζονται σε 5% όλων των παραπάνω για τυχόν δαπάνες που θα προκύψουν στην πορεία.

Για τον προσδιορισμό του κόστους αγοράς και εγκατάστασης μιας οποιασδήποτε ανανεώσιμης ενεργειακής μονάδας θα πρέπει να γίνει συστηματική έρευνα αγοράς, να συζητηθούν οι όροι εγγύησης και υποστήριξης από τον πωλητή και να ληφθεί υπόψη η συναλλαγματική ισοτιμία σε περιπτώσεις εισαγωγής του εξοπλισμού από χώρες με διαφορετικό νόμισμα.

Η συμμετοχή στο κόστος αγοράς και εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας έχει ως εξής:

- Ανεμογεννήτρια 75%
- Ηλεκτρική σύνδεση 10%
- Πολιτικός Μηχανικός 8%
- Μηχανική σύνδεση
- Μεταφορά 2%



*Συμμετοχή στο κόστος αγοράς και εγκατάστασης ανεμογεννήτριας*

#### 6.4. Κόστος συντήρησης και λειτουργίας

Οι κατασκευάστριες εταιρείες κατέχουν την τεχνογνωσία και δεν την πουλάνε ούτε την παρέχουν με την πώληση των αιολικών μηχανών. Με την πώληση των αιολικών μηχανών συμπεριλαμβάνεται και η εγκατάσταση τους όπως επίσης και η λειτουργία των μηχανών για πέντε με δέκα μέρες αναλόγως την εταιρεία χωρίς να παρουσιαστεί κάποια δυσλειτουργία, οπότε και παραλαμβάνεται το έργο από τον επενδυτή.

Για την από εκεί και πέρα λειτουργία του αιολικού πάρκου, υπογράφεται ένα συμβόλαιο, μεταξύ κατασκευάστριας εταιρείας και επενδυτή για την εγγύηση, την λειτουργία και την συντήρηση των ανεμογεννητριών. Αυτή η συμφωνία διαφέρει από εταιρεία με εταιρεία για το χρόνο διάρκειας και την τιμή. Όλες οι εταιρείες δίνουν πέντε χρόνια εγγύηση εκτός από την Enercon που δίνει δώδεκα χρόνια, για όλα τα εξαρτήματα που αποτελείται η αιολική μηχανή, εκτός από βλάβη η οποία προκαλείτε από κεραυνό.

Με αυτόν τον τρόπο η λειτουργία των αιολικών μηχανών είναι στη δικαιοδοσία της κατασκευάστριας εταιρείας η οποία παίρνει πληροφορίες από τη λειτουργία της, τη μελετάει και αναβαθμίζει τις μηχανές αυτές που είναι εγκατεστημένες και βελτιώνει αυτές που θα εγκαταστήσει.

Το συμβόλαιο που υπογράφεται από τον επενδυτή και την κατασκευάστρια εταιρεία το οποίο ονομάζεται WOM (Warranty – Operation –Maintenance) ισχύει για πέντε χρόνια, και το οποίο έχει δυνατότητα επέκτασης, όπως επίσης και η εγγύηση των υλικών.

Η συντήρηση των μηχανών, η επίλυση των βλαβών και οτιδήποτε άλλο χρειάζεται η αιολική μηχανή για την λειτουργία της παρέχεται από την κατασκευάστρια εταιρεία με 13.000 ευρώ ανά αιολική μηχανή (ενδεικτική τιμή για μηχανή Vestas V52-850kW) το έτος. Εκτός από την οικονομική αυτή επιβάρυνση του επενδυτή είναι υποχρεωμένος να παρέχει εργασία από δύο άτομα για σαράντα ώρες την εβδομάδα ανεξαρτήτου ώρας και ημέρας εάν αυτό ζητηθεί από τους τεχνικούς κατασκευάστριας εταιρείας. Η συντήρηση των μηχανών, η επίλυση των βλαβών και οτιδήποτε άλλο χρειάζεται η αιολική μηχανή για την λειτουργία της παρέχεται από την Vestas με 13.000 ευρώ ανά αιολική μηχανή το έτος.



Για ένα αιολικό πάρκο που αποτελείται από δεκα ανεμογεννήτριες (*Vestas V52-850kW*) το κόστος για την πρώτη πενταετία για τον επενδυτή ανέρχεται στα 130.000 ευρώ για τις δέκα μηχανές συν τα έξοδα του προσωπικού το οποίο είναι 50.000 ευρώ ετησίως. Εκτός όμως από την λειτουργία των αιολικών μηχανών ο επενδυτής έχει το κόστος συντήρησης των υποσταθμών, τον έλεγχο των επικοινωνιών και την συλλογή στατιστικών στοιχείων από τις μηχανές την επεξεργασία τους και την αποστολή μηνιαίων αναφορών στη Ρ.Α.Ε και σε διάφορους φορείς.

Το ετήσιο κόστος για τον επενδυτή λοιπόν ανέρχεται στα 180.000 ευρώ δηλ. 18.000 ευρώ το κόστος συντήρησης και λειτουργίας για κάθε αιολική μηχανή στο αιολικό πάρκο με δέκα ανεμογεννήτριες τον χρόνο.

## 6.5. Τιμολόγια πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας

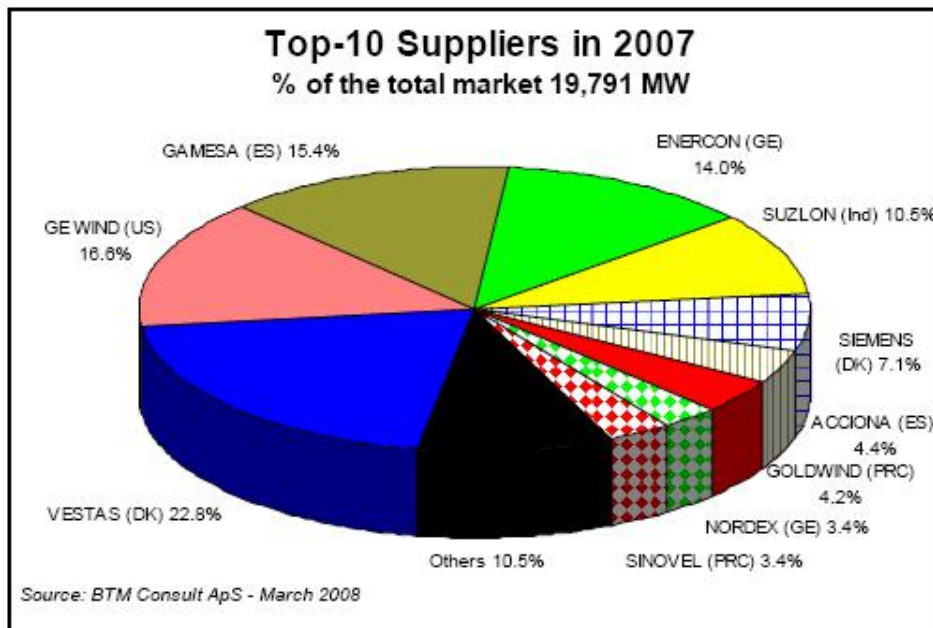
Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται τα τιμολόγια απορρόφησης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ή Σ.Η.Θ.Υ.Α. ή μέσω Υβριδικού Σταθμού. (ΠΗΓΗ: ΡΥΘΜΙΣΤΙΚΗ ΑΡΧΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ)

Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
(α) Αιολική ενέργεια	75,82	87,42
(β) Αιολική ενέργεια από αιολικά πάρκα στη θάλασσα	92,82	
(γ) Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται με μικρούς υδροηλεκτρικούς σταθμούς με Εγκατεστημένη Ισχύ έως δεκαπέντε (15) MWe	75,82	87,42
(δ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από φωτοβολταϊκές μονάδες, με Εγκατεστημένη Ισχύ μικρότερη ή ίση των εκατό (100) kWpeak, οι οποίες εγκαθίστανται σε ακίνη ιδιοκτησίας ή νόμιμης κατοχής ή όμορα ακίνητα του ίδιου ιδιοκτήτη ή νομίμου κατόχου	452,82	502,82
(ε) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από φωτοβολταϊκές μονάδες, με Εγκατεστημένη Ισχύ μεγαλύτερη των εκατό (100) kWpeak	402,82	452,82
(στ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από μονάδες άλλης τεχνολογίας, πλην αυτής των φωτοβολταϊκών, με Εγκατεστημένη Ισχύ έως πέντε (5) MWe	252,82	272,82
(ζ) Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από μονάδες άλλης τεχνολογίας, πλην αυτής των φωτοβολταϊκών, με Εγκατεστημένη Ισχύ μεγαλύτερη των πέντε (5) MWe	232,82	252,82
η) Γεωθερμική ενέργεια, βιομάζα, αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και βιοαέρια	75,82	87,42
(θ) Λοιπές Α.Π.Ε.	75,82	87,42
(ι) Σ.Η.Θ.Υ.Α	75,82	87,42

## 6.6. Διεθνής ανταγωνισμός και κόστος αγοράς

Απο τα διαθέσιμα στοιχεία της ευρωπαϊκής αγοράς καταγράφεται ένας αριθμός περίπου 100 κατασκευαστών αιολικών μηχανών κάθε μεγέθους. Ωστόσο, οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές, οι οποίοι παρέχουν εμπορικά προϊόντα για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και σύνδεση με τα τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα και των οποίων τα προϊόντα έχουν ελεγχθεί σε ειδικά κέντρα πιστοποίησης, δεν ξεπερνούν τους είκοσι, με τάση για περαιτέρω μείωση του αριθμού τους.

Σύμφωνα και με τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας (EWEA, European Wind Energy Association), ο συνολικός αριθμός των εργαζομένων στον τομέα της αιολικής ενέργειας πλησίαζε τα 150.000 άτομα στις αρχές του 2008.



*Ποσοστό κατασκευαστριών εταιρειών στην πώληση ανεμογεννητριών*

Την τρέχουσα περίοδο τα 3/4 της παγκόσμιας πώλησης ανεμογεννητριών προέρχονται κυρίως από τέσσερις κατασκευάστριες εταιρείες: την Vestas (Δανία), την Enercon (Γερμανία), την Gamesa Eolica (Ισπανία) και την General Electric (Η.Π.Α).

Αναφερόμενοι τώρα στις τιμές διάθεσης των αιολικών μηχανών, οι πλέον καθιερωμένες τιμές διαπραγμάτευσης είναι αυτές που αποδίδονται με τους όρους «Ex-works», «Free on board», «Turnkey». Η τιμή «Ex-works» είναι η τιμή του προϊόντος παραδοτέου στην έξοδο του εργοστασίου. Στην τιμή αυτή δεν περιλαμβάνονται δασμοί, μεταφορικά και εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας. Με τον τρόπο αυτό ο πωλητής ελαττώνει τον κίνδυνο, καθώς παραδίδει τα προϊόντα στην έδρα του.

Αντίστοιχα, η τιμή «Free on board» αναφέρεται στην παράδοση του προϊόντος επάνω στο πλοίο, μετά από μεταφορά σε συγκεκριμένο και σαφώς κατονομαζόμενο λιμάνι φόρτωσης. Με αυτό τον τρόπο ο πωλητής οργανώνει, πληρώνει και δέχεται όλο τον κίνδυνο της μεταφοράς μέσα στη χώρα του πριν τη θαλάσσια μεταφορά. Στην τιμή αυτή περιλαμβάνεται και ο εκτελωνισμός των εμπορευμάτων.

Τέλος η τιμή «Turnkey» ή με το «κλειδί στο χέρι», μεταφράζεται στο ότι ο πωλητής αναλαμβάνει όχι μόνο το κόστος μεταφοράς στον τόπο εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας αλλά και τα έξοδα εγκατάστασης και διασύνδεσης με το δίκτυο.

Είναι σημαντικό να επισημανθεί η σχετικά μεγάλη διακύμανση προσφερόμενων τιμών εκ μέρους των κατασκευαστών για μηχανές της ίδιας ονομαστικής ισχύος. Το γεγονός αυτός είναι καταρχάς λογικό, δεδομένου του μεγέθους και της πολιτικής της κάθε εταιρείας, αλλά και των επιπλέον παρεχόμενων εγγυήσεων ή και εξοπλισμού, ενώ σημαντική είναι η συμμετοχή του ύψους και της γενικής δομής του πύργου στήριξης των ανεμογεννητριών στο διαμορφούμενο κόστος. Παρ' όλα αυτά, όμως διαφοροποιήσεις στις τιμές των παρεχόμενων αιολικών μηχανών της τάξης του 50% προξενούν πάντοτε εντύπωση και καταδεικνύουν το βαθμό του ανταγωνισμού που επικρατεί στη διεθνή αιολική αγορά.

Στην επόμενη σελίδα γίνεται αναφορά στην ενδεικτική τιμή αγοράς δύο ανεμογεννητριών της εταιρείας *Vestas* ονομαστικής ισχύος 850 και 3MW αντίστοιχα.

Ενδεικτικό κόστος αγοράς ανεμογεννήτριας *Vestas V52-850kW*

Κόστος χαλύβδινου πύργου στήριξης: **93,611.00 €**

Κόστος αγοράς ατράκτου (nacelle): **223,755.00 €**

Κόστος αγοράς ρότορα (hub): **10,605.00 €**

Κόστος αγοράς πτερυγίων: **324,765.00 €** (108,255.00 €/πτερύγιο)

Σύνολο: **652,736.00 €**

Ενδεικτικό κόστος αγοράς ανεμογεννήτριας *Vestas V90-3MW*

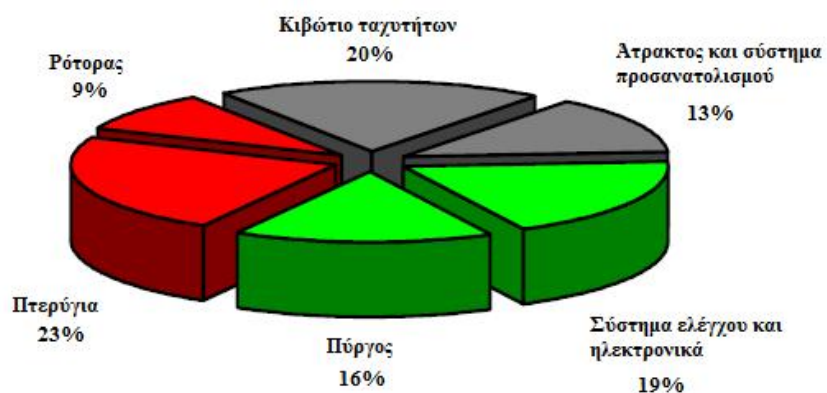
Κόστος χαλύβδινου πύργου στήριξης: **347,669.00 €**

Κόστος αγοράς ατράκτου (nacelle): **935,220.00 €**

Κόστος αγοράς ρότορα (hub): **211,155.00 €**

Κόστος αγοράς πτερυγίων: **378,255.00 €** (126,085.00 €/πτερύγιο)

Σύνολο: **1,872,299.00 €**



Κατανομή κόστους ανεμογεννήτριας

## 6.7. Αιολική ενέργεια, τοπική ανάπτυξη και απασχόληση

Η συσσωρευμένη εμπειρία της τελευταίας 15ετίας, τόσο σε διεθνές επίπεδο όσο και στην Ελλάδα δείχνει καθαρά ότι η ίδρυση και λειτουργία αιολικών πάρκων εμπορικής κλίμακας δημιουργεί ισχυρούς πόλους τοπικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής αναβάθμισης και προσπορίζει πολλαπλά, μετρήσιμα και ουσιαστικά οφέλη στις τοπικές κοινωνίες, στις περιοχές των οποίων εγκαθίστανται τα έργα αυτά.

Πιο συγκεκριμένα, και με βάση τα καταγεγραμμένα απολογιστικά στοιχεία των εν λειτουργία αιολικών πάρκων στην Ελλάδα (2004), τα έργα αυτά:

- i) Συμβάλλουν σημαντικά στην τοπική απασχόληση. Έτσι π.χ., για μία εγκατεστημένη ισχύ αιολικών πάρκων 50 MW, απαιτούνται :
- 600-900 ανθρωπομήνες απασχόλησης στη φάση κατασκευής τους. Το 30-40 % αυτής της απασχόλησης προέρχεται από το ντόπιο εργατικό δυναμικό.
  - 13-16 μόνιμοι εργαζόμενοι στη φάση λειτουργίας τους, οι περισσότεροι από τους οποίους (50-100%) είναι ντόπιοι.

Η συμβολή των αιολικών πάρκων στην απασχόληση, τόσο την τοπική όσο και αυτήν σε εθνικό επίπεδο, γίνεται πραγματικά εντυπωσιακή εάν συμπεριληφθούν οι προοπτικές εγχώριας κατασκευής-συναρμολόγησης μεγάλων τμημάτων του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού των έργων αυτών, όπως είναι οι πυλώνες των ανεμογεννητριών, οι μετασχηματιστές, οι πίνακες ελέγχου, κ.α. Οι προοπτικές αυτές, οι οποίες έχουν ήδη αρχίσει να υλοποιούνται στην Ελλάδα (εργοστάσιο ΡΟΚΑΣ στην Τρίπολη, εργοστάσιο ΒΙΟΜΕΚ στο Αλιβέρι), μπορούν να εκτοξεύσουν τη σχετιζόμενη με τα αιολικά πάρκα απασχόληση, ιδιαίτερα την τοπική, στα ύψη : σύμφωνα με τα έγκυρα και απόλυτα τεκμηριωμένα απολογιστικά στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (“Wind Energy : The Facts”, 1999, Τόμος 3, σελ.124), κάθε 50 MW αιολικής ενέργειας που εγκαθίστανται δημιουργούν σήμερα τουλάχιστον 750-950 νέες θέσεις εργασίας, κυρίως στη βιομηχανική παραγωγή του απαιτούμενου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

- ii) Η λειτουργία αιολικών πάρκων προσφέρει ένα μόνιμο και σημαντικό ετήσιο έσοδο στους τοπικούς Δήμους (2% επί του τζίρου τους), αλλά και

στην τοπική οικονομία γενικότερα. Έτσι π.χ., μία εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων 50 MW:

- Έχει κόστος κατασκευής 55 εκατ. Ευρώ περίπου (19 δισ. δρχ.), από τα οποία το 15-20% δαπανάται τοπικά, σε εργολαβίες, προμήθειες, μισθούσιτη φάση κατασκευής, κλπ.
- Έχει τζίρο, από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει, περίπου 10 εκατ. Ευρώ (3,4 δισ. δρχ.) το χρόνο, από τα οποία τα 200.000 Ευρώ (68 εκατ. δρχ.) το χρόνο (δηλ. το 2%) εισφέρονται διανόμου ως έσοδο στους τοπικούς Δήμους, για όλη τη διάρκεια ζωής των αιολικών πάρκων, δηλ. για τουλάχιστον 20 χρόνια.
- Απαιτεί, για τις ανάγκες λειτουργίας των αιολικών πάρκων, 1 εκατ. Ευρώ (340 εκατ. δρχ.) το χρόνο, από τα οποία το 30-50% αφορά τοπικές δαπάνες (μισθούς τοπικού μόνιμου προσωπικού, τοπικές εργολαβίες συντήρησης και επισκευών, κ.α.).

iii) Η κατασκευή αιολικών πάρκων σε μία περιοχή συνοδεύεται από την παράλληλη υλοποίηση σειράς αντισταθμιστικών οφελών, πέραν των άμεσων και μετρήσιμων οικονομικών εισροών και των δημιουργούμενων θέσεων απασχόλησης. Έτσι :

- Κατασκευάζονται ή και βελτιώνονται, χωρίς κόστος για τους δημότες, σημαντικά έργα υποδομής στην ευρύτερη περιοχή (οδικό δίκτυο, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρικό δίκτυο).
- Κατασκευάζονται, ως αντισταθμιστικά οφέλη (χωρίς κόστος) για τους τοπικούς Δήμους, διάφορα κοινωφελή έργα, όπως κοινοτικοί δρόμοι, σχολεία, παιδικοί σταθμοί κ.α., ενώ προσφέρονται από τους επενδυτές και ανάλογες χορηγίες.
- Προωθούνται νέες, εναλλακτικές και ιδιαίτερα κερδοφόρες μορφές τουρισμού στην περιοχή, όπως π.χ. ο οικοτουρισμός (επισκέψεις σε εγκαταστάσεις οικολογικών μορφών ενέργειας, όπως είναι τα αιολικά πάρκα).

## 6.8. Συμπεράσματα

Οι πρόγονοι μας χρειάστηκαν εκατομμύρια χρόνια για να εφεύρουν απλά εργαλεία και χιλιάδες ακόμα χρόνια για να τιθασεύσουν τη δύναμη της φύσης. Στα τελευταία 200 χρόνια περίπου, οι άνθρωποι έχουν απομακρυνθεί από τις φυσικές, ανανεώσιμες πηγές ισχύος και έχουν στραφεί προς το πετρέλαιο, τον γαιάνθρακα και σε άλλα ορυκτά καύσιμα.

Ωστόσο, σήμερα καθώς τα αποθέματα ορυκτών καυσίμων έχουν ελαττωθεί αισθητά και τα περιβαλλοντικά προβλήματα γίνονται όλο και πιο έντονα οι άνθρωποι έχουν αρχίσει να καταλαβαίνουν το πραγματικό κόστος της παραγωγής ενέργειας. Έτσι στο μέλλον κάθε σπίτι μπορεί να έχει το δικό του μικρό εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρισμού, το οποίο θα χρησιμοποιεί ενέργεια από διάφορες ανανεώσιμες πηγές.

Η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή μορφή ενέργειας, ήπια προς το περιβάλλον. Η χρήση της δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης και παράλληλα αντικαθιστά ιδιαίτερα ρυπογόνες πηγές ενέργειας, όπως το κάρβουνο, το πετρέλαιο και την πυρηνική ενέργεια. Τα σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα των περισσότερων ανεπτυγμένων χωρών καθώς και της χώρας μας καθιστούν την αιολική ενέργεια ιδιαίτερα ελκυστική σε σχέση με την προστασία του περιβάλλοντος.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΜΠΕΡΓΕΛΕΣ Γ., ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΥΜΕΩΝ, ΑΘΗΝΑ 1995, ISBN 960-7346-19-x
2. ΚΑΛΔΕΛΛΗΣ Ι., ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ, ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΣΤΑΜΟΥΛΗΣ, ΑΘΗΝΑ 2005, ISBN 960-351-576-0

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

[www.cres.gr](http://www.cres.gr) Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

[www.windpower.org](http://www.windpower.org) Danish Wind Industry Association

[www.thewindpower.net](http://www.thewindpower.net) Ηλεκτρονική βάση δεδομένων για αιολικά πάρκα και ανεμογεννήτριες

[www.vestas.com](http://www.vestas.com) Εταιρεία κατασκευής ανεμογεννητριών

[www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org) Ηλεκτρονική εγκυκλοπαίδεια

[www.rae.gr](http://www.rae.gr) Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

[www.eletaen.gr](http://www.eletaen.gr) Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας

[www.ewea.org](http://www.ewea.org) European Wind Energy Association

[www.world-wind-energy.info](http://www.world-wind-energy.info) (World Wind Energy Association)

[www.awe-wind.com](http://www.awe-wind.com) Americas Wind Energy Inc

[www.energy.eu](http://www.energy.eu) Europe's Energy Portal