

ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΙΟΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

A.M.: 23249

Επιβλέπων Καθηγητής: ΜΑΛΑΤΕΣΤΑΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ

“Άνεμος που δε μποδίζει,
άφησε τον κι ας σφυρίζει...”

Παροιμία

Στον πατέρα μου...

... που έφυγε νωρίς.

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	6
ΠΕΡΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	6
<i>Γενικά Περί Α.Π.Ε.....</i>	7
<i>Υδραυλική - υδροηλεκτρική ενέργεια (υδατόπτωση).....</i>	8
<i>Ενέργεια από τη θάλασσα (κυμάτων, παλιρροϊκών κινήσεων και θαλασσίων ρευμάτων).....</i>	8
<i>Βιομάζα.....</i>	11
<i>Γεωθερμική ενέργεια</i>	11
<i>Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια.....</i>	12
<i>Αιολική ενέργεια</i>	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	16
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ & ΕΞΕΛΙΞΗ.....	16
<i>Εισαγωγή.....</i>	17
<i>Ανεμόμυλοι</i>	17
<i>Ανεμογεννήτρια.....</i>	19
Poul La Cour	19
Johannes Juul	19
<i>Εξέλιξη Ανεμογεννητριών</i>	21
<i>Στάδια Εξέλιξης Ανεμογεννητριών</i>	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	28
ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	28
ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	28
<i>Εισαγωγή.....</i>	29
<i>Βασικές έννοιες αιολικής ενέργειας.....</i>	29
Ορισμός αιολικής ενέργειας	29
<i>Συμπεριφορά αιολικής μηχανής</i>	31
<i>Όριο Betz.....</i>	32
<i>Απόδοση των αιολικών μηχανών.....</i>	33
<i>Ανεμογεννήτριες</i>	33
Γενικά.....	34
<i>Μηχανές οριζοντίου άξονα.....</i>	40
<i>Μηχανές κατακόρυφου άξονα.....</i>	42

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

<i>Σύγκριση της συμπεριφοράς των αιολικών μηχανών</i>	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	48
ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ	48
<i>Αναγκαιότητα υπολογισμού αιολικού δυναμικού</i>	49
<i>Αιολικό δυναμικό Ευρώπης και Ελλάδας</i>	53
<i>Εκτίμηση αιολικού δυναμικού</i>	58
Μετρήσεις	58
Ένταση του ανέμου	59
Διεύθυνση του ανέμου	61
Επίδραση Ύψους	64
<i>Ψηφιοποίηση – Λογισμικό</i>	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	71
ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ	71
<i>ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ</i>	72
<i>Παράμετροι επιλογής τοποθεσίας εγκατάστασης ανεμοκινητήρα</i>	74
Οικονομική αξία	74
Επιδράσεις στο περιβάλλον	75
<i>Μετεωρολογικά προβλήματα</i>	76
Α. Παγετός	77
Β. Υπερβολικά ισχυροί άνεμοι	78
Γ. Τύρβη	78
Υλικά μεταφερόμενα από τον αέρα	79
Η σταθερότητα των ανέμων	80
<i>Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής</i>	81
<i>Διάταξη τοποθέτησης ανεμογεννητριών</i>	82
<i>Αποδοχή από την πλευρά του κοινού</i>	85
<i>ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ</i>	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	87
ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	87
<i>Τεχνικοοικονομική μελέτη</i>	88
<i>Βασικοί Παράμετροι έργου</i>	90
<i>Μελέτη σκοπιμότητας</i>	91

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

<i>Ανάπτυξη του έργου</i>	92
<i>Μηχανολογικά</i>	92
<i>Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας</i>	92
<i>Ισοζύγιο του συστήματος</i>	93
<i>Απόβλεπτα</i>	94
<i>Ετήσια Κόστη</i>	94
<i>Περιοδικά Κόστη</i>	94
<i>Μείωση εκπομπών του CO₂</i>	95
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	97
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σκοπός της παρακάτω εργασίας είναι να αναφερθούν τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας και γενικότερα των ανανεώσιμων πηγών σε σχέση με τις συμβατικές καθώς και να μελετηθούν οι προϋποθέσεις ανάπτυξης και κατασκευής ενός αιολικού πάρκου στον Ελλαδικό χώρο.

Ειδικότερα θα γίνει μία γενική περιγραφή σε όλες τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, ποιες από αυτές έχουν εξελιχθεί πιο πολύ από άλλες και σε ποιες περιοχές του κόσμου είναι πιο διαδεδομένες.

Εν συνεχεία θα μιλήσουμε για την αιολική ενέργεια και πως αυτή ήταν εκμεταλλεύσιμη από τους ανθρώπους κάνοντας μια ιστορική αναδρομή σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Θα αναφερθούμε στον σύγχρονο πλέον τρόπο εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, την ανεμογεννήτρια, όπου θα αναλύσουμε τα βασικά της μέρη και θα αναφερθούμε στους τύπους που υπάρχουν.

Ως η πιο κρίσιμη παράμετρος για την υλοποίηση ενός αιολικού πάρκου είναι φυσικά η γνώση του Αιολικού δυναμικού της περιοχής εγκατάστασης, οπότε και θα αναπτυχθεί η μέθοδος υπολογισμού του.

Επίσης θα αναλύσουμε τα βασικά χαρακτηριστικά ενός αιολικού πάρκου και ποιες είναι οι παράμετροι εγκατάστασης του, όπως για παράδειγμα η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών, και τα γεωφυσικά στοιχεία του πάρκου.

Κατόπιν θα δώσουμε ένα παράδειγμα των εγκαταστάσεων που θα χρειαστούν και των υποδομών που θα πρέπει να υπάρχουν ή να διαμορφωθούν για την κατασκευή ενός τέτοιου έργου καθώς και τυχόν μελέτες που θα χρειαστούν για την μη αρνητική παρέμβαση στα περιβαλλοντικά στοιχεία που το περιβάλλουν.

Θα κλείσουμε τη θέση με ένα οικονομοτεχνικό παράδειγμα ενός αιολικού πάρκου, καθώς και τα οφέλη της μείωσης εκπομπών CO₂.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΠΕΡΙ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Γενικά Περί Α.Π.Ε.

Στον 21^ο αιώνα χρησιμοποιούνται πολλές μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, γεωθερμική ενέργεια, κτλ) για να παραχθεί ένα ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνει κάθε άνθρωπος σε ημερήσια βάση. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από οποιαδήποτε μορφή Α.Π.Ε. ονομάζεται και "πράσινη ενέργεια" επειδή κατά τη διαδικασία παραγωγής αυτής της ενέργειας δεν απελευθερώνονται ρύποι προς το περιβάλλον όπως για παράδειγμα CO₂ και άλλα επιβλαβή για τον άνθρωπο και το περιβάλλον αέρια.

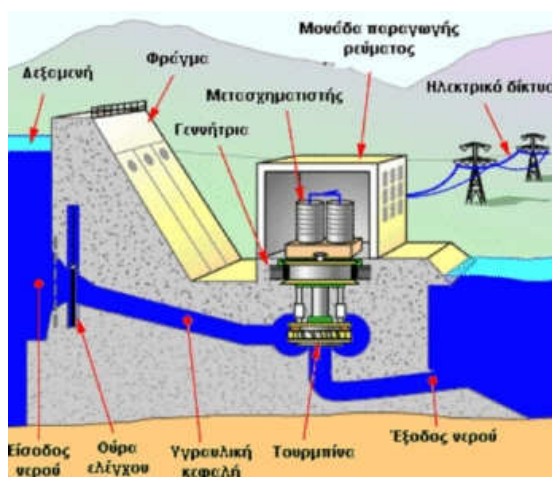
Κύρια γενεσιουργός αιτία των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι η ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση εκείνη που αφορά στην ενέργεια των παλιρροϊκών κινήσεων που οφείλονται στη βαρυτική δράση, κυρίως της Σελήνης, πάνω στους υδάτινους όγκους που καλύπτουν την επιφάνεια της γης, καθώς και τη γεωθερμική όπου η ηλιακή ακτινοβολία παίζει δευτερεύοντα ρόλο.

Όπως οι συμβατικές πηγές ενέργειας, έτσι και οι Α.Π.Ε. πληρούν κάποιες προϋποθέσεις προκειμένου να είναι χρήσιμες για τον άνθρωπο :

- Η ενέργεια αυτή πρέπει να είναι άφθονη και η πρόσβαση στην ενεργειακή πηγή εύκολη.
- Πρέπει, να μετατρέπεται χωρίς δυσκολία σε μορφή που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα σύγχρονα μηχανήματα.
- Και τέλος, πρέπει να μεταφέρεται εύκολα

Υδραυλική - υδροηλεκτρική ενέργεια (υδατόπτωση)

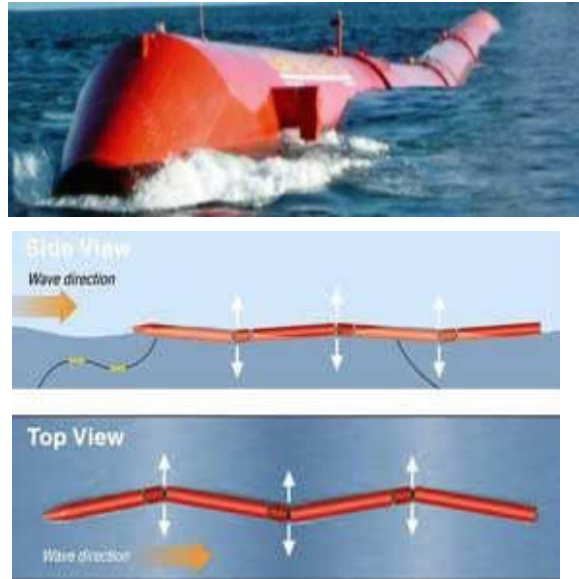
Η υδροηλεκτρική ενέργεια εκμεταλλεύεται την ύπαρξη φυσικών λεκανών συλλογής των όμβριων υδάτων σε συγκεκριμένες περιοχές, με κατάλληλη εδαφική διαμόρφωση, κατασκευάζοντας φράγματα. Η υδατόπτωση κινεί υδροστρόβιλους που με τη σειρά τους θέτουν σε κίνηση ηλεκτρογεννήτριες και ακολούθως παράγεται το ηλεκτρικό ρεύμα. Η υδροηλεκτρική παραγωγή ενέργειας καλύπτει περίπου το 7% της παγκόσμιας παραγωγής ενέργειας.



Σχήμα 1.1 : Τυπική σχηματική αναπαράσταση κατασκευής υδροηλεκτρικού σταθμού.

Ενέργεια από τη θάλασσα (κυμάτων, παλιρροϊκών κινήσεων και θαλασσίων ρευμάτων)

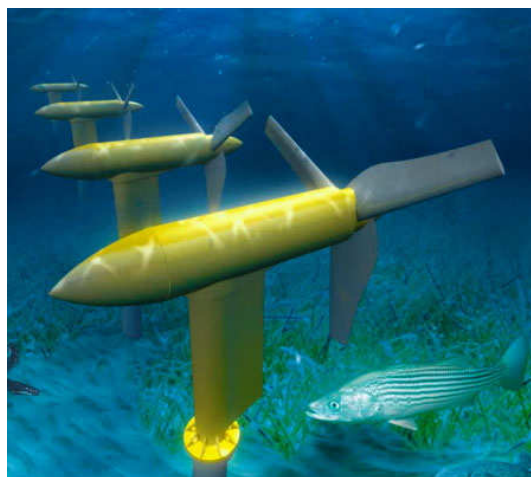
Η παραγωγή ενέργειας από τα κύματα ή τις παλιρροϊκές κινήσεις, έχει αξιοποιηθεί σε συγκεκριμένες θέσεις, όπου το ύψος των κυμάτων και η διάρκεια κυματισμού καθώς και η ταχύτητα των θαλασσίων ρευμάτων επιτρέπουν την ενεργειακή αξιοποίησή τους (π.χ. στην Πορτογαλία, Agucadoura σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ισχύος 2,25 MW). Εντυπωσιακό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από κυματισμό είναι η διάταξη Pelamis (είδος θαλασσίου φιδιού).



Εικόνα 1.2 : Pelamis

Η διάταξη που δείχνεται αποτελείται από τέσσερις κυλίνδρους, με δυνατότητα αρθρωτής κίνησης μεταξύ τους, σε κατακόρυφο επίπεδο. Υπό την επίδραση του κυματισμού αλλάζει η γωνία μεταξύ τους με αποτέλεσμα την άσκηση δυνάμεων σε έμβολα τοποθετημένα άνω και κάτω, στις πλευρές που συνδέονται μεταξύ τους. Έχει δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ισχύ 750kW.

Σε προχωρημένο πειραματικό στάδιο βρίσκεται επίσης η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με υποθαλάσσιες ηλεκτρογεννήτριες (σχήμα 1.3).



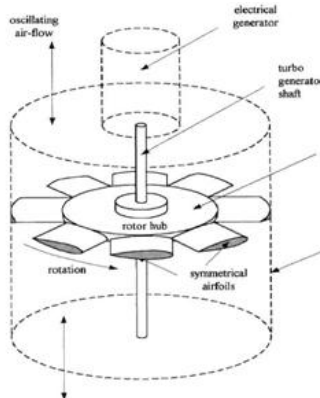
Εικόνα 1.3 : 3D απεικόνιση υποθαλάσσιας ηλεκτρογεννήτριας.

Η μεγάλη πυκνότητα του νερού σε σχέση με την πυκνότητα του αέρα καθιστά τις υποθαλάσσιες ηλεκτρογεννήτριες αποδοτικές, παρότι η ταχύτητα των θαλασσιών ρευμάτων είναι αρκετά μικρότερη της τυπικής ταχύτητας των ανέμων. Η εφαρμογή τους προορίζεται για περιοχές που υπάρχουν ισχυρά θαλάσσια ρεύματα.

Μια άλλη ενδιαφέρουσα ιδέα που μελετάται αφορά στην αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων σε ειδικές κατασκευές, στις οποίες ενσωματώνεται ανεμογεννήτρια και μέρος των οποίων είναι βυθισμένο στη θάλασσα (σχήμα 1.4). Κατά τον κυματισμό, ο εισερχόμενος όγκος νερού συμπιέζει τον περιεχόμενο αέρα, ο οποίος, ρέοντας μέσω της κεντρικής χοάνης, θέτει σε περιστροφή την περωτή τουρμπίνας τύπου Wells της ανεμογεννήτριας. Η διάταξη των βαλβίδων εισόδου - εξόδου του αέρα, είναι τέτοια ώστε η ανεμογεννήτρια να περιστρέφεται κατά την ίδια φορά, ανεξάρτητα από τη φάση συμπίεσης ή εκτόνωσης του εσωτερικού αέρα, κατά τον κυματισμό (OWC Pico Power Plant, Azores).



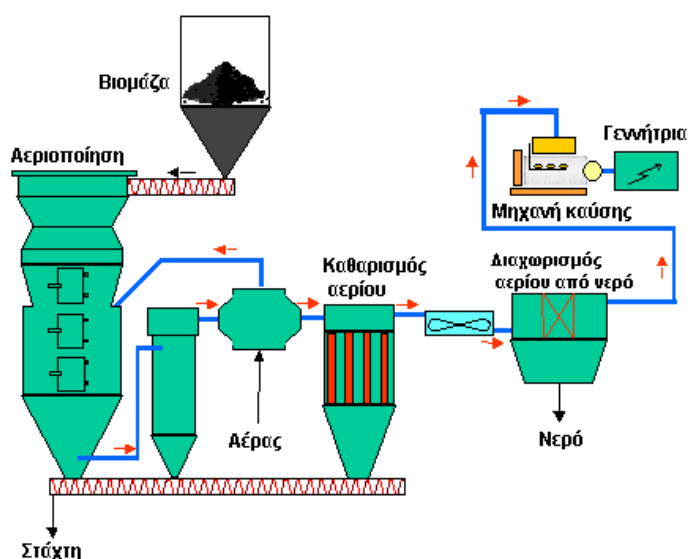
Σχήμα 1.4α : Σχηματική παράσταση συστήματος κίνησης ανεμογεννήτριας με συμπίεση του εσωτερικού αέρα στη διάταξη, με αξιοποίηση του κυματισμού.



Σχήμα 1.4β : φτερωτή Wells

Βιομάζα

Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Η βιομάζα με την ευρύτερη έννοια του όρου, περιλαμβάνει οποιοδήποτε υλικό προέρχεται από ζωντανούς οργανισμούς. Ειδικότερα, η βιομάζα για ενεργειακούς σκοπούς, περιλαμβάνει κάθε τύπο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή στερεών, υγρών ή αέριων καυσίμων (σχήμα 1.5).



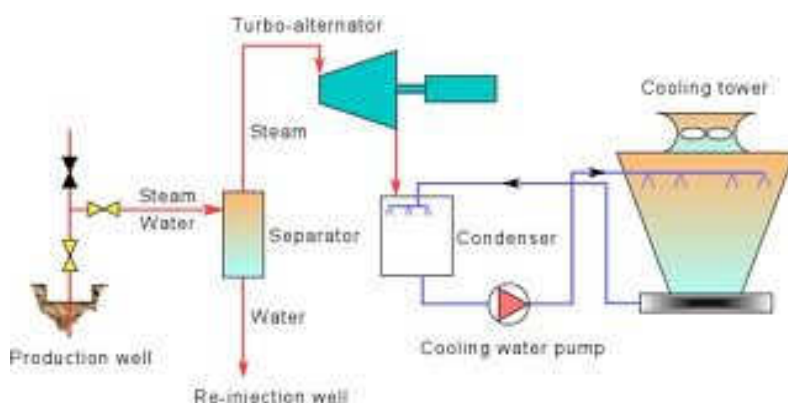
Σχήμα 1.5 : Σχηματική παράσταση καύσης βιομάζας και παραγωγής καυσίμου.

Στις μέρες μας, η βιομάζα καλύπτει το 14% της παγκοσμίως απαιτούμενης ενέργειας και η καύση της αποτελεί ουδέτερη διαδικασία από την άποψη του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Γεωθερμική ενέργεια

Αφορά στην ενέργεια των θερμών νερών (ή ατμών του νερού), που αναβλύζουν μέσα από ηφαιστειακές διόδους ή ρήγματα του υπεδάφους. Όταν η θερμοκρασία των γεωθερμικών

ρευστών είναι χαμηλή, η ενέργεια τους χρησιμοποιείται κυρίως για θέρμανση κτιρίων, κτηνοτροφικών μονάδων, κ.α., ενώ στην περίπτωση που η θερμοκρασία των ατμών είναι υψηλή ($>150^{\circ}\text{C}$), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (σχήμα 1.6). Το 2003, το γεωθερμικό δυναμικό παγκοσμίως (μόνο για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας) ανερχόταν σε 10GW.

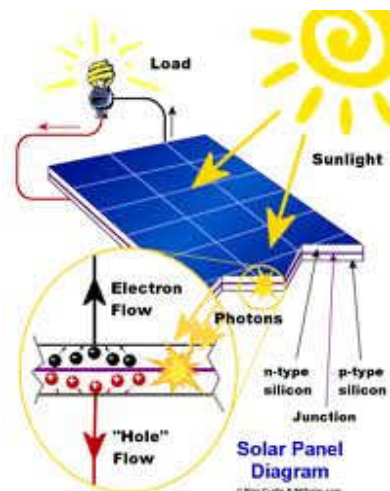


Σχήμα 1.6 : Σχηματική παράσταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από γεωθερμία.

Φωτοβολταϊκή ηλεκτρική ενέργεια

Το φωτοβολταϊκό στοιχείο (photovoltaic cell) είναι γενικά, ένα σύστημα δύο υλικών σε επαφή, το οποίο όταν φωτίζεται, εμφανίζει στα άκρα του συνεχή ηλεκτρική τάση. Σήμερα τα φωτοβολταϊκά στοιχεία των οποίων η βιομηχανική παραγωγή έχει προωθηθεί, είναι αυτά που βασίζονται στη δημιουργία δύο ημιαγωγικών στρωμάτων σε επαφή. Συνήθως, τα δύο στρώματα αποτελούνται από το ίδιο κύριο υλικό, το ένα στρώμα ημιαγωγός τύπου n και το άλλο τύπου p . Εξωτερικά τοποθετούνται κατάλληλα ηλεκτρόδια. Η κατασκευή έχει τη μορφή μιας σχεδόν τετράγωνης πλάκας, ώστε η εσωτερική επαφή των ημιαγωγών να καταλαμβάνει όλη την επιφάνεια του πλακιδίου.

Όταν το φωτοβολταϊκό στοιχείο φωτίζεται (σχήμα 1.7) προκαλεί στο εσωτερικό του ηλεκτρικό ρεύμα (φωτόρευμα), ανάλογο της πυκνότητας ισχύος του ηλιακού φωτός που προσπίπτει στην επιφάνεια του.



Σχήμα 1.7 : Σχηματική παράσταση παραγωγής φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αναπτυσσόμενη σε ένα τυπικό φωτοβολταϊκό στοιχείο, συνεχής ηλεκτρική τάση ανοικτού κυκλώματος, βρίσκεται στην περιοχή 0.5-0.7 Volt, ενώ το αντίστοιχο ηλεκτρικό ρεύμα στην περιοχή των 10 - 40 mA/cm², για πυκνότητα ισχύος 1 kW/m².

Το 1954 ανακοινώθηκε η πρώτη κατασκευή ηλιακού στοιχείου Πυριτίου (Si), με σχηματισμό επαφής p-n, με διάχυση και με απόδοση 6% από τους Fuller, Pearson και Chapin. Σήμερα οι αποδόσεις των φωτοβολταϊκών στοιχείων από Κρυσταλλικό πυρίτιο, αγγίζουν το επίπεδο του 41% για φωτοβολταϊκά πλαίσια διαστημικών εφαρμογών και το επίπεδο του 11-19% για βιομηχανική-οικιακή χρήση.



Εικόνα 1.8 : Φωτοβολταϊκό πάρκο στη Λακωνία

Πρέπει να σημειωθεί πως η ηλιακή ενέργεια και η αξιοποίηση της σε επίπεδο των παραδοσιακών πλαισίων (solar panels) χωρίς παρακολούθηση ηλίου (solar tracking) είναι αυτή τη στιγμή η πιο συμφέρουσα από άποψη συντήρησης (Operation Expenses OPEX) και αυτό διότι δεν έχει σε κανένα σημείο μηχανική συντήρηση, το μόνο σημαντικό κόστος είναι ο καθαρισμός των πλαισίων (μεγάλο MTBF: Mean Time Between Failure).

Αιολική ενέργεια

Όπως είναι ευρέως γνωστό, η αιολική ενέργεια στηρίζεται στον άνεμο. Ο άνεμος ως φαινόμενο, είναι ο ατμοσφαιρικός αέρας ευρισκόμενος σε κίνηση. Για τον καθορισμό του διανύσματος της ταχύτητας του ανέμου απαιτείται η γνώση του μέτρου και της διεύθυνσης του. Ο λόγος για τον οποίο κινείται ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι κυρίως η ηλιακή ακτινοβολία και επίσης η περιστροφή της γης. Η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ ισημερινού και πόλων, αποτέλεσμα της διαφορετικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα διάφορα σημεία του πλανήτη μας, έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση αέριων μαζών από τους πόλους στον Ισημερινό και αντιθέτως. Πιο συγκεκριμένα, ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι πνέουν από τους πόλους προς τον ισημερινό για να αντικαταστήσουν τον θερμό αέρα, που ανυψώνεται λόγω της μείωσης της πυκνότητας του και ο οποίος κινείται δια μέσου της ανώτερης ατμόσφαιρας προς τους πόλους.

Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1m/s σε ύψος 10m. Υποθέτοντας ότι, ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο επιφάνειας μπορούν να εγκατασταθούν κατά μέσον όρο ανεμογεννήτριες ισχύος περίπου 1/3 MW καθώς και το γεγονός ότι ανά MW εγκατεστημένης ισχύος παράγονται περίπου 2.000 MWh/έτος, σε συνθήκες μέτριου αιολικού δυναμικού συνεπάγεται ότι η συνολική ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανέρχεται σε 20.000 TWh, για εγκατεστημένη ισχύ 10.000 GW

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται με τις ανεμογεννήτριες οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από μία

ανεμογεννήτρια είναι χρονικά ασυνεχής, επειδή ακολουθεί την ένταση του άνεμου, ενώ η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τις ώρες της ημέρας, την εποχή, την οικονομική και κοινωνική ταυτότητα των καταναλωτών, κτλ. Το αποτέλεσμα είναι να παρουσιάζονται σημαντικές ταλαντώσεις ισχύος ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ όταν επικρατεί άπνοια ή πολύ ισχυρός άνεμος παύει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως διαπιστώθηκε στις αρχές της δεκαετίας του 1980 η εγκατάσταση αιολικών πάρκων, δηλαδή συγκροτημάτων πολλών ανεμογεννητριών εγκατεστημένων σε μια τοποθεσία, παρουσιάζει πολυάριθμα τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα. Για παράδειγμα, σε αντίθεση με την ισχύ μεμονωμένων ανεμογεννητριών, το σύνολο της ισχύος ενός αιολικού πάρκου δεν παρουσιάζει μεγάλες ταλαντώσεις λόγω της ασυνεχούς πνοής του ανέμου. Από την άλλη μεριά, η εγκατάσταση αιολικού πάρκου απαιτεί μικρή σχετικά επιφάνεια σε σχέση με τις εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης άλλων μορφών ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα δεν παρεμποδίζει την εκμετάλλευση της γης.



Εικόνα 1.9 : Αιολικό πάρκο

Λεπτομέρειες σχετικά με τα είδη και τους τρόπους λειτουργίας της ανεμογεννήτριας καθώς και της επιλογής τοποθεσίας ενός αιολικού πάρκου, θα αναπτυχθούν στα επόμενα κεφάλαια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ & ΕΞΕΛΙΞΗ

Εισαγωγή

Η σημασία της ενέργειας του ανέμου φαίνεται στην Ελληνική μυθολογία όπου ο Αίολος διορίζεται από τους Θεούς του Ολύμπου ως “Ταμίας των ανέμων”. Ο άνθρωπος έχει εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια από νωρίς στην ιστορία του, χρησιμοποιώντας την για πρώτη φορά για την κίνηση των πλοίων. Άλλες δραστηριότητες όπου χρησιμοποιήθηκε η αιολική ενέργεια ήταν το άλεσμα των δημητριακών, αλλά και η άντληση νερού για το πότισμα των καλλιεργειών ή για τη μεταφορά του στη θάλασσα από τις πλημμυρισμένες περιοχές.

Ανεμόμυλοι

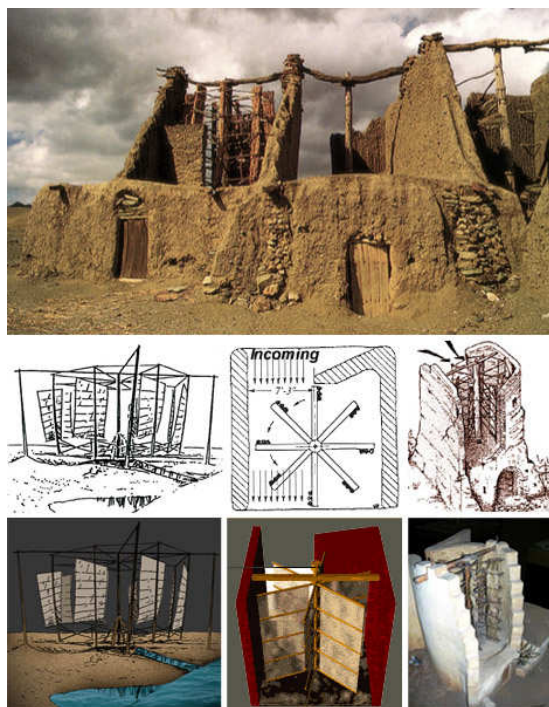
Ο ανεμόμυλος είναι μια διάταξη που χρησιμοποιεί ως κινητήρια δύναμη την κινητική ενέργεια του άνεμου (αιολική ενέργεια). Χρησιμοποιείται για την άλεση σιτηρών, την άντληση νερού και άλλες εργασίες. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε τον παλαιότερο χρονολογικά ανεμόμυλο, όπως πιστεύουν οι ειδικοί, στην περιοχή της Αγγλίας.



Εικόνα 2.1 : Ο παλαιότερος σωζόμενος ανεμόμυλος

Οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνται ως πηγή ενέργειας τα τελευταία 1.300 χρόνια. Φαίνεται ότι οι αρχαίοι λαοί της Ανατολής χρησιμοποιούσαν ανεμόμυλους, αν και η πρώτη αναφορά σε

ανεμόμυλο εμφανίζεται σε έργα Αράβων συγγραφέων του 9ου μΧ. αιώνα. Στην παρακάτω εικόνα μπορούμε να δούμε ένα περσικό συγκρότημα ανεμόμυλων του 844 μΧ..



Εικόνα 2.2 : Περσικό συγκρότημα ανεμόμυλών και σχηματική αναπαράστασή τους

Αυτό το συγκρότημα των ανεμόμυλων βρισκόταν στο Σειστάν (Sīstān), στα σύνορα Περσίας και Αφγανιστάν και ήταν «οριζόντιου τύπου», δηλαδή με έξι έως δώδεκα ιστία (φτερά) φτιαγμένα από ύφασμα ή φύλλα φοινικόδεντρων τοποθετημένα ακτινικά σε έναν «κατακόρυφο άξονα». Ο άξονας αυτός στηριζόταν σε ένα μόνιμο κτίσμα με ανοίγματα σε αντιδιαμετρικά σημεία για την είσοδο και την έξοδο του αέρα. Κάθε μύλος έδινε απευθείας κίνηση σε ένα μόνο ζεύγος μολόπετρες. Οι πρώτοι μύλοι είχαν τα ιστία κάτω από τις μολόπετρες, όπως δηλαδή συμβαίνει και στους οριζόντιους νερόμυλους από τους οποίους φαίνεται ότι προέρχονταν. Στις παρακάτω εικόνες μπορούμε να δούμε διάφορες μορφές Ευρωπαϊκών ανεμόμυλων.



Εικόνα 2.3 : Ολλανδία

-

Αγγλία

-

Ελλάδα

Ανεμογεννήτρια

Poul La Cour

Στον Ευρωπαϊκό χώρο ο ανεμόμυλος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως ανεμογεννήτρια το 1890. Ο ανεμόμυλος του Πολ Λα Κουρ εγκαταστάθηκε πάνω σε χαλύβδινο πύργο στη χώρα της Δανίας ενώ περιλάμβανε ισχία, σχισμές και διπλά πτερύγια αυτόματης μετάπτωσης προς τη διεύθυνση του ανέμου. Στην εικόνα 2.4 βλέπουμε δύο από τις ανεμογεννήτριες του.

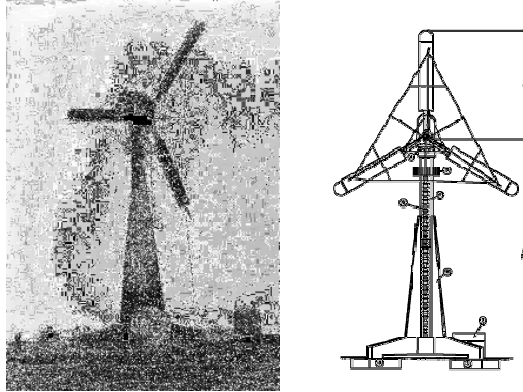


Εικόνα 2.4 : Ανεμογεννήτριες La Cour

Johannes Juul

Μετά τον Α' Παγκόσμιο πόλεμο, έγιναν πειράματα με ανεμόμυλους που είχαν ισχία αεροτομής, δηλαδή όμοια με πτερύγια αεροπορικής έλικας. Το 1931 μια τέτοια ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε στην Κριμαία και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διοχετευόταν στο τμήμα χαμηλής τάσης του τοπικού δικτύου. Πραγματικές ανεμογεννήτριες με δύο πτερύγια λειτούργησαν στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1940, στην Αγγλία στη δεκαετία του

1950 καθώς και στη Γαλλία. Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στη Δανία από τον J.Juul με τρία πτερύγια αλληλοσυνδεόμενα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής (Εικόνα 2.5). Ο συγκεκριμένος μηχανικός κατασκεύασε το 1950 την πρώτη ανεμογεννήτρια εναλασσόμενης τάσης.



Εικόνα 2.5 : Ανεμογεννήτρια Juul

Στην Ολλανδία εκτελέστηκαν πειράματα από τον F.G. Pigeaud με αντικείμενο τη μετασκευή των παλαιών ανεμόμυλων άλεσης δημητριακών, έτσι ώστε η πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή. Χρησιμοποιήθηκε ένας ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο (σε περίπτωση άπνοιας) ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια, όταν φυσούσε. Ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης περιλάμβανε συμπλέκτη παράκαμψης με σκοπό ο ηλεκτροκινητήρας να μην κινεί τα ιστία παρά μόνο να εκτελεί χρήσιμο έργο. Η οροφή στρεφόταν με τη βοήθεια σερβοκινητήρα που ελεγχόταν από έναν ανεμοδείκτη.

Μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο πολλοί περίμεναν ότι η αιολική ενέργεια θα συνέβαλλε σημαντικά στην παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά οι προσπάθειες ανάπτυξης ανεμογεννητριών ατόνησαν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Οι προσπάθειες αυτές ξανάρχισαν πιο έντονες μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση (1973) και στηρίχθηκαν κατά μεγάλο μέρος στην σύγχρονη αεροδιαστημική τεχνολογία. Έτσι αναπτύχθηκαν διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 διατέθηκαν στο εμπόριο συγκροτήματα μικρής ισχύος (μέχρι 20-25 kW) ενώ είχαν κατασκευαστεί και ανεμογεννήτριες μεγαλύτερης ισχύος (3-4 MW).

Οι ανεμογεννήτριες προηγμένης τεχνολογίας που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι κυρίως δύο τύπων: ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα με πτερύγια και ανεμογεννήτριες Darrieus με κατακόρυφο άξονα. Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, που είναι πιο εξελιγμένες και διαδεδομένες, έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια και η ισχύς τους κυμαίνεται από λίγα kW έως μερικά MW. Οι ανεμογεννήτριες Darrieus είναι απλούστερες και μικρότερης ισχύος.

Εξέλιξη Ανεμογεννητριών

Τα τελευταία είκοσι χρόνια η ονομαστική ισχύς των ανεμογεννητριών έχει αυξηθεί κατά δύο τάξεις μεγέθους, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας έχει μειωθεί δραστικά και η αιολική βιομηχανία έχει μεταλλαχθεί από μία ιδεολογικής βάσης δραστηριότητα σε μία δραστηριότητα αιχμής στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής.

Η ιστορία των σύγχρονων εμπορικών ανεμογεννητριών ξεκινά στις αρχές της δεκαετίας του '80 οπότε και ξεκίνησε η συστηματική χρήση τέτοιων μηχανών. Η τεχνολογική ανάπτυξη στόχευσε στον σχεδιασμό μεγαλύτερων μηχανών για την καλύτερη αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού. Η ραγδαία τάση μεγένθυσης της φτερωτής άρα και της απόδοσης της μηχανής ήταν ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά εκείνη την εποχή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εταιρεία Vestas της οποίας το πρώτο μοντέλο το 1981 είχε διάμετρο φτερωτής 15m και σήμερα έχει φτάσει στο σημείο να παράγει μηχανές με διάμετρο 90m, δηλαδή 6 φορές μεγαλύτερη διάμετρο άρα 36 φορές μεγαλύτερη επιφάνεια σάρωσης. Όσο για την παραγωγή ενέργειας, θα χρειαζόνταν 42 ανεμογεννήτριες με διάμετρο φτερωτής 15m για να μπορέσουν να παράγουν την ίδια ενέργεια με την μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια που αναφέραμε παραπάνω. Το βασικό πλεονέκτημα των μεγάλων ανεμογεννητριών είναι η οικονομία χώρου. Το 80% των ανεμογεννητριών εγκαθίστανται είτε σε πεδινές περιοχές (Δανία, Γερμανία κ.α.) είτε σε παράκτια αιολικά πάρκα. Ο κύριος αυτός όγκος της αγοράς ευνοεί τη χρήση μεγάλων ανεμογεννητριών για τους παρακάτω λόγους:

- Παράκτια πάρκα: Το κόστος θεμελίωσης μέσα στη θάλασσα είναι σημαντικό, γι' αυτό και τα παράκτια αιολικά πάρκα είναι οικονομικά βιώσιμα μόνο με την εκμετάλλευση μεγάλης σάρωσης ανά εγκατάσταση.
- Πεδινές περιοχές: Το κόστος χρήσης της γης για την ανάπτυξη αιολικών μονάδων στη βόρεια και κεντρική Ευρώπη είναι αυξημένο λόγω κυρίως της αγροτικής και οικιστικής εκμετάλλευσης των περιοχών αυτών. Στις περιπτώσεις αυτές η εξοικονόμηση χώρου που επιτυγχάνεται με τη χρήση μεγάλων μηχανών έχει θετικό αντίκτυπο στα οικονομικά της επένδυσης.

Μια επίσης σημαντική παράμετρος πέραν της οικονομίας χώρου είναι η καθ' ύψος αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, την οποία η μεγάλη ανεμογεννήτρια εκμεταλλεύεται καλύτερα λόγω του ψηλότερου πυλώνα που διαθέτει. Τέλος να σημειωθεί ότι οι μεγάλες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν καινούργιες τεχνολογίες ως προς τα υλικά κατασκευής των πτερυγίων, «έξυπνους» αισθητήρες για τον περιορισμό των ακραίων φορτίων και βελτιωμένες αεροδυναμικές ιδιότητες.

Στάδια Εξέλιξης Ανεμογεννητριών

Ας δούμε όμως μερικά στοιχεία για την αρχιτεκτονική των σύγχρονων ανεμογεννητριών και πως αυτή εξελίχθηκε με το χρόνο, επικεντρώνοντας στις μηχανές οριζόντιου άξονα που πλέον μονοπωλούν την αγορά.

Ο κυρίαρχος τύπος ανεμογεννήτριας έχει τριπτέρυγο δρομέα, παρόλο που προηγήθηκαν αρκετές προσπάθειες με διπτέρυγους ή και μονοπτέρυγους δρομείς. Οι λόγοι για την επικράτηση των τριών πτερυγίων σχετίζονται άμεσα με τον αεροδυναμικό θόρυβο και την οπτική αποδοχή. Οι τριπτέρυγες ανεμογεννήτριες λειτουργούν με μικρότερες ταχύτητες ακροπτερυγίου και συνεπώς παράγουν χαμηλότερης έντασης αεροδυναμικό θόρυβο. Παρόλα αυτά, οι διπτέρυγες μηχανές παραμένουν μια βιώσιμη εναλλακτική επιλογή, ιδιαίτερα σε απομακρυσμένες περιοχές στις οποίες πραγματικά καταφέρνουν να προσφέρουν λύσεις χαμηλότερου κόστους.

Στις πρώτες μηχανές, ο έλεγχος της ισχύος γινόταν κατά κύριο λόγο παθητικά σε συνδυασμό με τη λειτουργία τους σε σταθερές στροφές, εκμεταλλευόμενες την αποκόλληση της ροής στις μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου. Ως εναλλακτική λύση εμφανίστηκαν οι ανεμογεννήτριες μεταβλητού βήματος (pitch control) οι οποίες έχοντας τη δυνατότητα να ρυθμίζουν μέσω ενός συστήματος ελέγχου το βήμα των πτερυγίων σε σχέση με την ταχύτητα του αέρα, υπήρχε η πεποίθηση ότι θα εξασφάλιζαν καλύτερη δυνατότητα ελέγχου της ισχύος αλλά και μικρότερα αεροδυναμικά φορτία στις μεγάλες ταχύτητες του ανέμου. Στην πράξη φάνηκε ότι οι μηχανές μεταβλητού βήματος δεν θα μπορούσαν να λειτουργήσουν με σταθερές στροφές, αφού κάθε φορά που το σύστημα ελέγχου αποτύγχανε να παρακολουθήσει τις ταχύτητες του ανέμου εμφανίζονταν σημαντικές μεταβολές της ισχύος και των φορτίων.

Το πρόβλημα λύθηκε συνδυάζοντας το μεταβλητό βήμα με τις μεταβλητές στροφές. Οι πρώτοι τέτοιοι συνδυασμοί βασίστηκαν σε μικρές διακυμάνσεις των στροφών. Η μεταβολή των στροφών ευνοεί τον έλεγχο της ισχύος αλλά μειώνει και την ανάγκη για ταχύτερες μεταβολές του βήματος. Ακολούθησαν σχεδιασμοί με πλήρη δυνατότητα μεταβολής των στροφών, μια δυνατότητα που προσφέρει πλεονεκτήματα αλλά και προβληματισμούς ως προς το κόστος και την αξιοπιστία της. Οι περισσότεροι από τους προβληματισμούς αυτούς έχουν ήδη ξεπεραστεί όχι τόσο για τα ενεργειακά πλεονεκτήματα των μεταβλητών στροφών όσο για την επιπλέον δυνατότητα ελέγχου και ευελιξίας που προσφέρουν. Η αρχιτεκτονική του σταθερού βήματος παραμένει μια βιώσιμη λύση, ιδιαίτερα όταν συνδυάζεται με ασύγχρονες γεννήτριες δύο στροφών. Από την άλλη πλευρά οι μεταβλητές στροφές προσφέρουν καλύτερη ποιότητα ισχύος στο δίκτυο και για αυτό το λόγο οδηγούν και τις εξελίξεις προς τις μεγάλες μηχανές. Παρόλο που έχουν δοκιμαστεί και κάποιοι συνδυασμοί μεταβλητών στροφών με σταθερό βήμα, οι μεταβλητές στροφές κατά κύριο λόγο ταιριάζουν με την αρχιτεκτονική του μεταβλητού βήματος προσφέροντας ιδιαίτερη ευελιξία στον έλεγχο της παραγόμενης ισχύος. Το γεγονός αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τα μεγάλα αιολικά πάρκα του μέλλοντος (κάποιες εκατοντάδες MW το καθένα) τα οποία θα είναι υποχρεωμένα να λειτουργούν σαν πραγματικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής προσαρμόζοντας την απόδοσή τους στην επιθυμητή ζήτηση.

Στον τομέα του ελέγχου της ισχύος των ανεμογεννητριών τύπου μεταβλητού βήματος υπάρχει μια έντονη στροφή από τον έλεγχο του δρομέα προς τον έλεγχο των πτερυγίων (κάθε πτερύγιο ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα) με πολυπαραμετρικά συστήματα ελέγχου. Πέρα από το γεγονός ότι η τεχνική αυτή καθιστά το σύστημα πέδησης της ανεμογεννήτριας περισσότερο αξιόπιστο, φαίνεται ότι προσφέρει και σημαντικό περιθώριο μείωσης των φορτίων συνδυάζοντας τον στοχαστικό έλεγχο με μια κατάλληλη μεταβολή του βήματος κάθε πτερυγίου.

Ο κυρίαρχος τύπος πύργου των ανεμογεννητριών είναι ο γνωστός χαλύβδινος σωληνωτός. Οι δυσκολίες, όμως, στην επίγεια μεταφορά της βάσης για τις μεγάλες μηχανές έχει οδηγήσει στη μελέτη και κατασκευή υβριδικών πύργων όπου το τμήμα της βάσης κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα στο οποίο προσαρμόζεται το μεταλλικό πάνω μέρος.

Παρά το γεγονός ότι τα υπεράκτια αιολικά πάρκα αντιστοιχούν σήμερα στο 0,4% της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος της στεριά, οι τελευταίες εξελίξεις στην αιολική τεχνολογία οδηγούνται από την αναδυόμενη υπεράκτια αγορά. Σαν αποτέλεσμα, η τεχνολογία στοχεύει στον αποδοτικότερο σχεδιασμό ακόμα μεγαλύτερων μηχανών. Ειδικότερα θέματα που πρέπει να μελετηθούν με προσοχή για να υπάρξει ουσιαστική βελτίωση των ανεμογεννητριών είναι:

α) η μείωση της αναρτημένης μάζας (δρομέας και άτρακτος)

β) η ανάπτυξη τεχνολογίας μεγάλων πτερυγίων και νέων σύνθετων υλικών σε συνδυασμό με τεχνικές μερικής επί τόπου συναρμολόγησης κ.λ.π

γ) σχεδιασμός θεμελίων για υπεράκτιες εφαρμογές, τεχνικές ανέγερσης και συντήρησης

Για τα μεγάλα υπεράκτια πάρκα (Εικόνα 2.6) είναι φανερό ότι όλα τα κόστη που σχετίζονται με τη λεγόμενη «ισορροπία του συστήματος», όπως το κόστος των θεμελιώσεων, της ηλεκτρικής διασύνδεσης, της πρόσβασης και συντήρησης, μειώνονται (ανά εγκατεστημένο kW) καθώς η ισχύς κάθε εγκατεστημένης μονάδας αυξάνεται. Αρκετοί τεχνολογικοί δείκτες συγκλίνουν στην σκοπιμότητα σχεδιασμού οικονομικά βιώσιμων ανεμογεννητριών με ονομαστική ισχύ μεγαλύτερη των 5MW που είναι ήδη διαθέσιμες σήμερα και ίσως δούμε μηχανές των 10 MW μέχρι το 2010 με βάση την τρέχουσα αρχιτεκτονική.



Εικόνα 2.6 : Υπεράκτιο αιολικό πάρκο

Ας δούμε όμως, τι οδήγησε και τι οδηγεί ακόμα στην ανάπτυξη όλο και μεγαλύτερων μηχανών. Σε παραπάνω παράγραφο αναφέραμε ότι τα κόστη που σχετίζονται με την «ισορροπία του συστήματος» είναι χαμηλότερα, κάτι που ισχύει και για τις εγκαταστάσεις στη στεριά. Από την άποψη της παραγωγής ενέργειας και υποθέτοντας ότι στις ίδιες ταχύτητες στο ύψος της πλήμνης αεροδυναμικά όμοιων μηχανών (δηλαδή με την ίδια πυκνότητα ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας του δρομέα) καθώς επίσης και με όμοια αρχιτεκτονική του αιολικού πάρκου (με τις μηχανές να απέχουν μεταξύ τους κάποιο σταθερό πολλαπλάσιο της διαμέτρου του δρομέα τους) τότε συμπεραίνουμε ότι το μέγεθος των ανεμογεννητριών είναι σχεδόν αδιάφορο για την παραγωγή τους. Αυτό που αλλάζει όμως, ιδιαίτερα στην επίπεδη τοπογραφία, είναι το αιολικό δυναμικό το οποίο αυξάνει καθ' ύψος. Υπάρχει, λοιπόν, σημαντικό κέρδος στην παραγωγή καθώς πηγαίνουμε σε μεγαλύτερες μηχανές λόγω της αντίστοιχης αύξησης του ύψους της πλήμνης τους από το έδαφος. Επιπλέον, οι μεγαλύτερες μηχανές σαν πιο αργόστροφες προκαλούν μικρότερη οπτική ενόχληση.

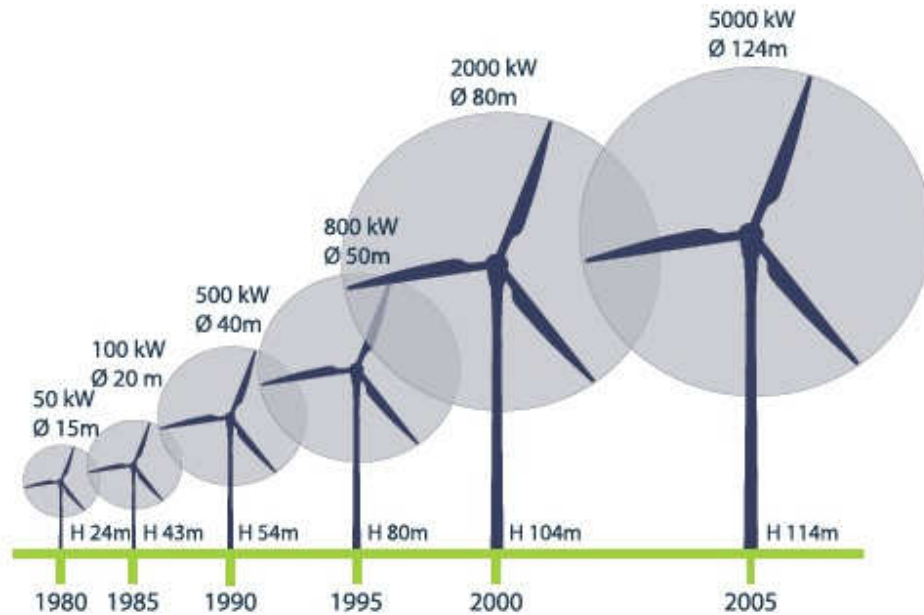
Για να κατανοήσουμε τώρα το λόγο που δεν προχωρήσαμε ευθύς αμέσως στη κατασκευή μιας μεγάλης ανεμογεννήτριας θα πρέπει να κάνουμε μια μικρή αναφορά στη θεωρία της ομοιότητας. Ας υποθέσουμε ότι ξεκινάμε από ένα αρχικό σχέδιο δρομέα και στη συνέχεια διπλασιάζουμε τις διαστάσεις του συμπεριλαμβάνοντας και την εσωτερική δομή των πτερυγίων. Για να εξασφαλίσουμε την αεροδυναμική ομοιότητα περιστρέφουμε τους δύο δρομείς με την ίδια ταχύτητα ακροπτερυγίου (επομένως η μεγαλύτερη στρέφεται με τις μισές

στροφές σε σχέση με τη μικρότερη). Με αυτές τις προϋποθέσεις και σε πρώτη προσέγγιση μπορεί κανείς να αποδείξει ότι οι δύο δρομείς είναι:

- Αεροδυναμικά όμοιοι, έχοντας την ίδια κατανομή C_p (συντελεστής ισχύος) και C_t σαν συνάρτηση της ταχύτητας του αέρα
- Δυναμικά όμοιοι, έχοντας τις ίδιες αδιάστατες (ως προς τη συχνότητα περιστροφής) φυσικές συχνότητες
- Αεροελαστικά όμοιοι με την έννοια ότι η περιοχή αεροελαστικής ευστάθειας διατηρείται
- Από την άποψη της αντοχής του υλικού, οι τάσεις που οφείλονται στα αεροδυναμικά και αδρανειακά φορτία διατηρούνται
- Οι τάσεις που οφείλονται στο ίδιο βάρος των πτερυγίων αυξάνονται με τη διάμετρο του δρομέα
- Η παραγωγή του μεγάλου δρομέα είναι τετραπλάσια αυτής του μικρού για την ίδια ταχύτητα του ανέμου αλλά το βάρος του μεγάλου δρομέα είναι οκταπλάσιο του μικρού

Μεγαλώνοντας λοιπόν, τη διάμετρο του δρομέα η παραγωγή ενέργειας αυξάνεται με μικρότερο ρυθμό σε σχέση με το αντίστοιχο του βάρους. Και επειδή βάρος ίσον κόστος, το κόστος της παραγόμενης κιλοβατώρας αυξάνεται. Παράλληλα, φαίνεται ότι καθώς οι τάσεις που οφείλονται στο βάρος των πτερυγίων αυξάνονται με το μέγεθος τους, για κάθε υλικό κατασκευής τους υπάρχει ένα κρίσιμο όριο μεγέθους μετά από το οποίο το πτερύγιο καταρρέει κάτω από το ίδιο βάρος του.

Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι η λογική της ομοιότητας δεν μπορεί να οδηγήσει σε άλματα μεγάλης κλίμακας. Κάθε φορά όμως που ξεφεύγουμε από αυτήν απαιτείται κάποιο τεχνολογικό άλμα που αν δεν γίνει προσεκτικά και δεν βασιστεί στην κατανόηση των φυσικών μηχανισμών και σε κατάλληλα σχεδιαστικά εργαλεία μπορεί να είναι καταστροφικό. Αυτός είναι και ο λόγος που η αιολική βιομηχανία προτίμησε να προχωρήσει με αργά και συντηρητικά βήματα.



Εικόνα 2.7 : Αύξηση μεγεθών ανεμογεννητριών
Πηγή: EWEA

Σε κάθε περίπτωση και προχωρώντας προς τις μεγαλύτερες μηχανές τα ερωτήματα παραμένουν τα ίδια. Πως θα μειωθεί το αναρτημένο βάρος με στόχο την μείωση του κόστους, πως θα διατηρηθεί ο βέλτιστος αεροδυναμικός σχεδιασμός αν μειωθεί η επιφάνεια των πτερυγίων, τι υλικά θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να αντέχουν τα πτερύγια τις αναπτυσσόμενες τάσεις, πως θα γίνουν τα παραπάνω αποφεύγοντας προβλήματα δυναμικής ή αεροελαστικής αστάθειας; Αυτές είναι οι προκλήσεις που καλούμαστε σήμερα να αντιμετωπίσουμε. Θα πρέπει, επίσης, να τονιστεί ότι ενώ η λογική της ομοιότητας δεν δίνει βέλτιστες λύσεις όταν αυξάνεται το μέγεθος, δίνει καλύτερες λύσεις όταν εφαρμόζεται στην αντίθετη κατεύθυνση, αφού οδηγεί στη μείωση του κόστους της αιολικής ενέργειας. Έτσι, οι όποιες λύσεις δοθούν για τις μεγάλες ανεμογεννήτριες θα έχουν άμεσο αντίκτυπο και στα μικρότερα μεγέθη που κυρίως μας απασχολούν στη χώρα μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Εισαγωγή

Στο παρακάτω κεφάλαιο θα αναφερθούμε στην αιολική ενέργεια αναλυτικότερα, καθώς και στον ορισμό της, και τις βασικές σχέσεις που την διέπουν. Όπως είναι φυσικό δεν μπορούμε να αναπτύξουμε όλες τις σχέσεις που διέπουν την αιολική ενέργεια και τις ανεμογεννήτριες, αφού πρόκειται για έναν τεράστιο συνδυασμό μηχανικής, αεροδυναμικής, ηλεκτροτεχνίας, μαθηματικά, στατιστική και άλλων πολλών επιστημών.

Θα αναλύσουμε τις σύγχρονες μεθόδους εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, την ανεμογεννήτρια, τα είδη της καθώς και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε μίας από αυτές.

Βασικές έννοιες αιολικής ενέργειας

Ορισμός αιολικής ενέργειας

Η αιολική ενέργεια ορίζεται ως η κινητική ενέργεια E_k των αερίων μαζών της ατμόσφαιρας. Έτσι, η κινητική ενέργεια μιας μάζας m (kg), που κινείται με ταχύτητα u (m/sec) θα είναι

$$E_k = \frac{1}{2} m u^2$$

Όπου m : η μάζα του αέρα και

u : η ταχύτητα του αέρα

Η ισχύς του ανέμου είναι

$$P = \frac{dE_k}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} u^2 = \frac{1}{2} \rho A u^3$$

Όπου ρ : η πυκνότητα του αέρα και

A : η επιφάνεια ροής

Αν στο ρου του ανέμου τοποθετήσουμε ένα ανεμοκινητήρα με επιφάνεια προσβολής A_T και συντελεστή αεροδυναμικής απόδοσης C_p , η ισχύς που δεσμεύεται από τον ανεμοκινητήρα δίνεται από τη σχέση

$$P_{A/\Gamma} = \frac{1}{2} \rho A_T C_p u^3$$

Όπου ρ : η πυκνότητα του αέρα

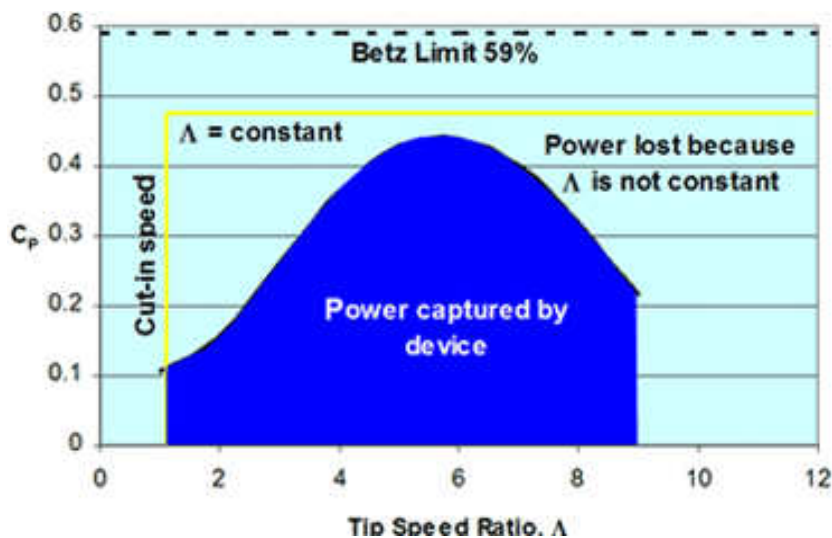
A_T : η επιφάνεια προσβολής ανεμοκινητήρα

C_p : συντελεστής αεροδυναμικής απόδοσης $< \frac{16}{27}$ (όριο Betz) και

u : η ταχύτητα του αέρα

Επίσης ως Μέση Παραγόμενη Ενέργεια Ορίζουμε:

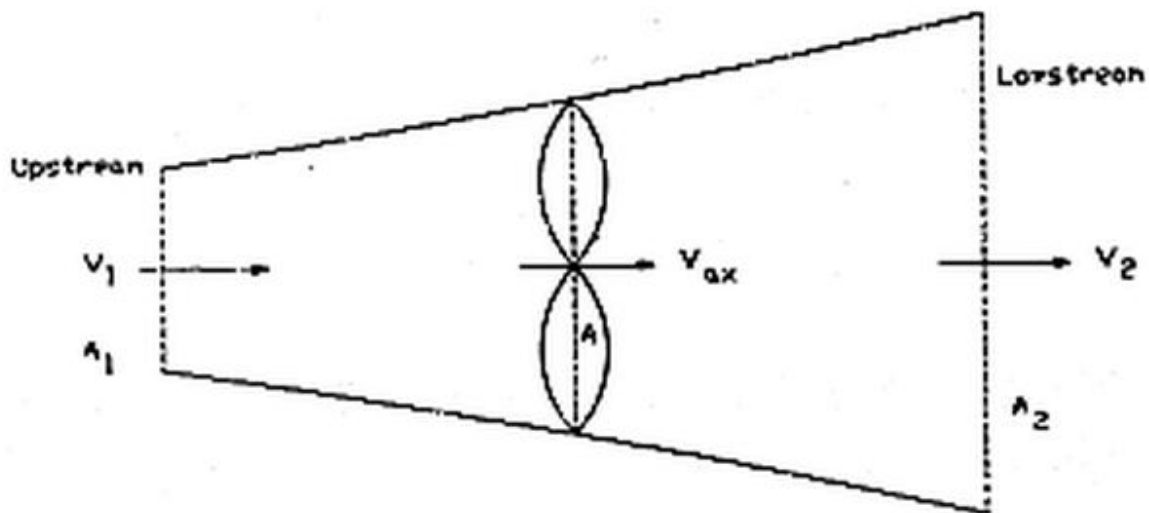
$$P_{out_{AVG}} = \int_{u_{εμπλοκής}}^{u_{αποκοπής}} P_{out}(ws) f(ws) dws$$



Εικόνα 3.1 : Γραφική παράσταση της απορροφούμενης ενέργειας από τον ανεμοκινητήρα

Συμπεριφορά αιολικής μηχανής

Η πρώτη περιγραφή της αξονικής θεωρίας ορμής (axial momentum theory) έγινε από τον Rankine στα 1865 και βελτιώθηκε αργότερα από τον Froude. Η θεωρία αυτή εξασφαλίζει μια σχέση μεταξύ των δυνάμεων που ασκούνται στην πτερωτή και των ταχυτήτων ροής, καθώς επίσης προβλέπει και την ιδανική απόδοση της πτερωτής (ρότορα). Αργότερα, συμπεριλήφθησαν οι επιδράσεις στο πίσω μέρος (wake) του ρότορα. Πρόσφατα, οι Wilson, Lissaman και Walker ανέλυσαν πιο πολύ την αεροδυναμική απόδοση των πτερωτών



Εικόνα 3.2 : Απεικόνιση αξονικής θεωρίας ορμής

Υποθέσεις-παραδοχές αξονικής θεωρίας ορμής

- I. Ασυμπύεστο μέσο
- II. Αμελητέα αντίσταση λόγω τριβών
- III. Άπειρος αριθμός πτερυγίων
- IV. Ομογενής ροή
- V. Ομοιόμορφη ώση στην επιφάνεια του ρότορα
- VI. Χωρίς περιστροφή του αέρα πίσω από την πτερωτή
- VII. Στατική πίεση πολύ εμπρός και πολύ πίσω από την πτερωτή ίση με τη ηαδιατάρακτη μέση στατική πίεση

Μία αιολική μηχανή εξαγάγει ενέργεια από τον άνεμο, με το να τον «καθυστερεί». Αν δεν κινείται, ο ρότορας, προφανώς και δεν παράγει ενέργεια, ενώ σε πολύ υψηλές ταχύτητες περιστροφής ο αέρας μπλοκάρεται από την περιστροφή, οπότε πάλι δεν παράγεται ενέργεια.

Από το άνω σχήμα ροής αέρα, ισχύει λόγω της αρχής διατήρησης της μάζας ότι:

$$\rho \times A_1 \times u_1 = \rho \times A \times u_{ax} = \rho \times A_2 \times u_2$$

Όπου ρ : η πυκνότητα του αέρα

A_1 : η επιφάνεια ροής πολύ πριν τον ανεμοκινητήρα

u_1 : η ταχύτητα του αέρα πολύ πριν τον ανεμοκινητήρα

A ή A_T : η επιφάνεια προσβολής του ανεμοκινητήρα

U_{ax} : η ταχύτητα του αέρα στο ρότορα

A_2 : η επιφάνεια ροής μετά τον ανεμοκινητήρα

U_2 : η ταχύτητα του αέρα μετά τον ανεμοκινητήρα

Η εξασκούμενη δύναμη F στον ρότορα δίνεται από τη σχέση

$$F = (\rho \times A_1 \times u_1) \times u_1 - (\rho \times A_2 \times u_2) \times u_2$$

Επομένως έχουμε:

$$F = \rho \times A \times u_{ax} \times (u_1 - u_2)$$

Όριο Betz

Είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα των αιολικών μηχανών είναι ο συντελεστής ισχύος C_p που είναι ο λόγος της μηχανικής ισχύος P_m της αιολικής μηχανής διά της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου που διαπερνά κάθετα την επιφάνεια σάρωσης της φτερωτής της αιολικής μηχανής :

$$C_p = \frac{2 \times P_m}{\rho \times A \times u^3}$$

συντελεστής αυτός εκφράζει την ικανότητα εξαγωγής έργου μιας αιολικής μηχανής και είναι πάντοτε μικρότερος από το όριο του Betz.

Συγκεκριμένα ο Betz απέδειξε ότι η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παράγει μια ανεμογεννήτρια ισούται το πολύ με τα $(16/27)$ της διαθέσιμης αιολικής ισχύος . Η τιμή του C_p είναι πάντοτε μικρότερη από το όριο του Betz ($C_p = 0.59$) γεγονός που οφείλεται στον σχηματισμό στροβίλων και τη δημιουργία μηχανικών τριβών κατά την περιστροφή της φτερωτής .

Απόδοση των αιολικών μηχανών

Στην πραγματικότητα ο συντελεστής απόδοσης μίας αιολικής μηχανής είναι κατά πολύ μικρότερος από το όριο του Betz. Ο συντελεστής αυτός μεταβάλλεται ανάλογα με τον τύπο της αιολικής μηχανής και το λόγο ταχύτητας του ακροπτερυγίου

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

όπου : V είναι η ταχύτητα του ανέμου (m/s)

R είναι η ακτίνα της φτερωτής (m)

ω είναι η γωνιακή ταχύτητα της φτερωτής (rad/s)

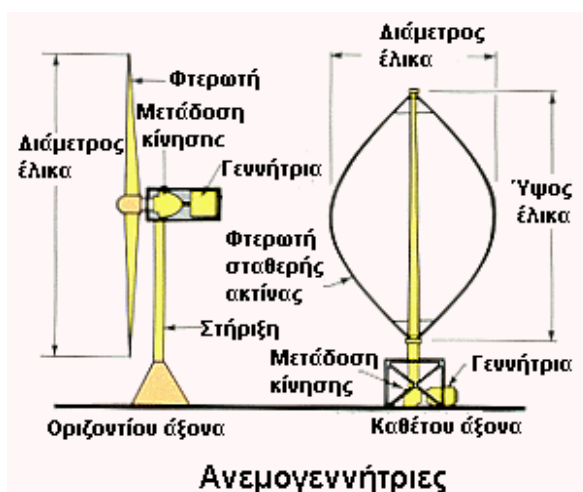
Η πραγματική ισχύς που παίρνουμε τελικά από μία αιολική μηχανή εξαρτάται και από την απόδοση του καθενός από τα υποσυστήματα που την απαρτίζουν.

Ανεμογεννήτριες

Γενικά

Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα τεχνολογικά βήματα που έχει κάνει ο άνθρωπος στην προσπάθεια του για εκμετάλλευση και ανάπτυξη των ΑΠΕ. Σκοπός των ανεμογεννητριών είναι η αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού της κινητικής ενέργειας του ανέμου με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Λέγεται ότι έχουν επινοηθεί και εφαρμοσθεί περισσότεροι τύποι ανεμοκινητήρων από οποιονδήποτε άλλο τύπο εφεύρεσης, χωρίς όμως να έχει επιτευχθεί μέχρι σήμερα ο επιθυμητός βαθμός εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου.

Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, οι επικρατέστεροι τύποι ανεμογεννητριών είναι δύο και διαφέρουν ως προς τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου. Πιο συγκεκριμένα, οι δύο τύποι ανεμογεννητριών είναι οι ανεμογεννήτριες «οριζόντιου» και οι ανεμογεννήτριες «κατακόρυφου» άξονα οι οποίοι όπως αναφέραμε κατέχουν το σημαντικότερο ποσοστό πωλήσεων στην παγκόσμια αιολική αγορά. Στο Σχήμα 3.1 που ακολουθεί μπορούμε να δούμε τη γενική μορφή και τα κυριότερα μέρη τόσο μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου όσο και μιας ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα

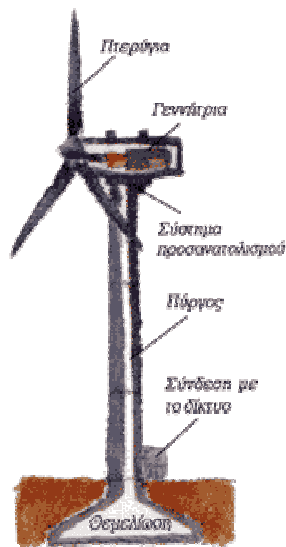


Σχήμα 3.3 : Βασικοί τύποι ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου 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 τους είναι κάθετος σε αυτή, καθώς και στην επιφάνεια της γης. Επίσης, έχουν επινοηθεί και άλλοι τύποι ανεμοκινητήρων, όπως για παράδειγμα οι ανεμογεννήτριες τύπου μεταφοράς, αποτελούμενες από οχήματα που κινούνται σε μια καθορισμένη διαδρομή και είναι συνδεδεμένα με ηλεκτρογεννήτριες.

Μία μικρή ανεμογεννήτρια αποτελείται συνήθως από τα παρακάτω μέρη:



Εικόνα 3.4 : Βασικά μέρη ηλεκτρογεννήτριας

α) Δρομέας (στρεφόμενο μέρος της μηχανής) το άκρο του οποίου είναι τύπου έλικας, με συνήθως δυο ή τρία πτερύγια.

β) Σύστημα μετάδοσης της κίνησης

γ) Ηλεκτρογεννήτρια

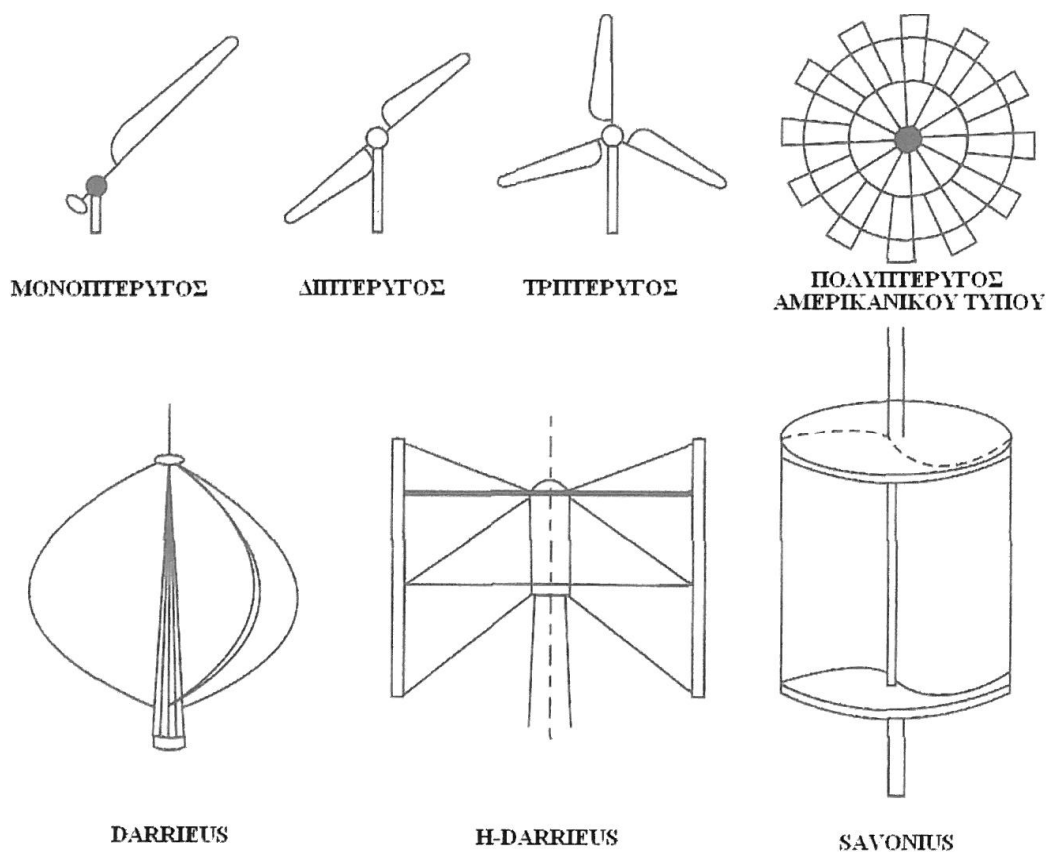
δ) Δισκόφρενο

ε) Σύστημα προσανατολισμού

στ) Πύργο, πάνω στον οποίο τοποθετείται. Για μία ανεμογεννήτρια 10kW το μικρότερο απαιτούμενο ύψος πύργου είναι 24m. Σε πολλές περιπτώσεις που η ζητούμενη απόδοση είναι

αρκετά μεγάλη είναι καλύτερη και πιο αποτελεσματική η χρησιμοποίηση πύργων ύψους 30-40m.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό που χαρακτηρίζει και ξεχωρίζει τις ανεμογεννήτριες είναι η ταχύτητα περιστροφής τους ή πιο συγκεκριμένα η τιμή της παραμέτρου περιστροφής «λ» TSR (Tip Speed ratio). Σύμφωνα λοιπόν με αυτήν την παράμετρο μπορούμε να χωρίσουμε τις ανεμογεννήτριες σε δύο βασικές κατηγορίες, τις *ταχύστροφες* και τις *αργόστροφες*. Υπάρχουν πάρα πολλοί παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ταχύτητα περιστροφής μιας ανεμογεννήτριας, ο σημαντικότερος όμως από αυτούς είναι το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής και αυτό γιατί πρέπει να ληφθούν υπόψη λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγόκεντρες δυνάμεις κ.λπ. Μια επίσης πολύ σημαντική παράμετρος που πρέπει να εξετασθεί και να ληφθεί σοβαρά υπόψη είναι η συχνότητα του κεντρικού δικτύου στο οποίο θα συνδεθεί ένα διασυνδεδεμένο αιολικό σύστημα. Για τη χώρα μας όπως επίσης και για τις υπόλοιπες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης η συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου είναι 50 Hz ενώ για τις ΗΠΑ 60 Hz. Στο σχήμα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε σχηματικά τα σημαντικότερα και ευρέως διαδεδομένα είδη των ανεμογεννητριών που υπάρχουν. Όπως βλέπουμε υπάρχει μεγάλη ποικιλία στις κλασσικές ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούμε όσο αναφορά τον αριθμό των πτερυγίων που μπορεί να έχει μια μηχανή. Εκτός όμως από τις κλασσικές ανεμογεννήτριες που υπάρχουν μπορούμε να δούμε και μηχανές τύπου Darrieus, H-Darrieus και Savonius οι οποίες είναι επίσης γνωστές όχι όμως τόσο αποδοτικές και κατ' επέκταση ευρέως χρησιμοποιούμενες.



Εικόνα 3.5 : Είδη ανεμογεννητριών και πτερωτών

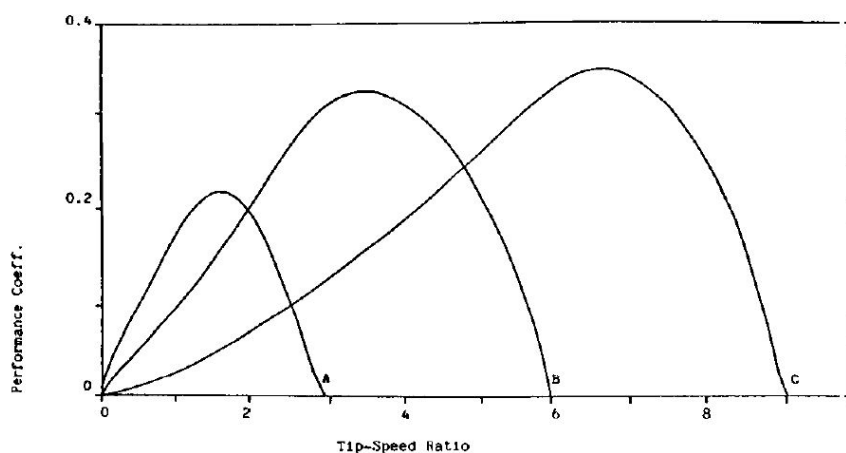
Στην παραπάνω παράγραφο αναφέραμε την σημαντικότητα της παραμέτρου περιστροφής «λ» TSR. Η συγκεκριμένη παράμετρος είναι το μέγεθος που συνδέεται άμεσα με τη γωνιακή ταχύτητα μιας πτερωτής και η οποία ορίζεται ως εξής:

$$\lambda = \frac{\omega \times R}{V_w}$$

Όπου ω : γωνιακή ταχύτητα δρομέα

R: ακτίνα πτερωτής

V_w : ταχύτητα ανέμου



Εικόνα 3.6 : Γραφικές παραστάσεις σχέσης λ και C_p

Μια άλλη παράμετρος που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των ανεμοκινητήρων είναι η παράμετρος στιβαρότητας «σ» (solidity) της κατασκευής, η οποία για μηχανές «οριζόντιου» άξονα ορίζεται σαν:

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

Ενώ για μηχανές κατακόρυφου άξονα ορίζεται ως:

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

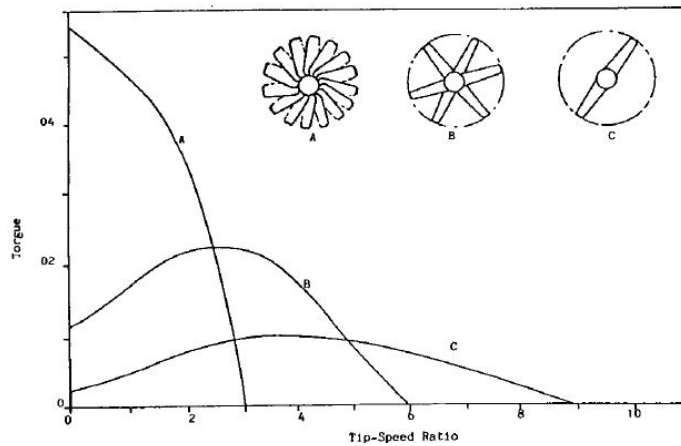
Με z: αριθμός πτερυγίων πτερωτής

C: πλάτος πτερυγίων πτερωτής (χορδή)

R: ακτίνα πτερωτής

Κατά κανόνα οι ανεμογεννήτριες μεγάλης στιβαρότητας είναι μηχανές «αργόστροφες», αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε χαμηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής «λ», έχουν σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης, ενώ είναι ανθεκτικές με ελάχιστες ανάγκες συντήρησης. 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.

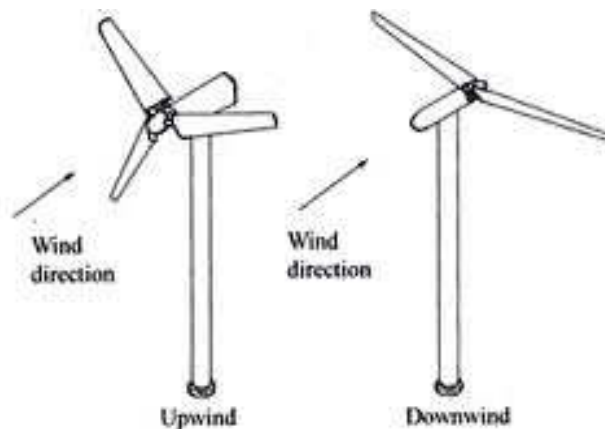


Εικόνα 3.7 : Γραφική παράσταση σχέσης ροπής και λ

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 άξονα τους. Επίσης, οι μηχανές αυτές απαιτούν σε ορισμένες περιπτώσεις εξωτερική βοήθεια για να ξεκινήσουν, είναι κατάλληλες για ηλεκτροπαραγωγή και θεωρούνται προϊόντα αρκετά υψηλής τεχνολογίας, ιδιαίτερα οι μεγαλύτερες από αυτές. Παραπάνω παρουσιάσαμε τους βασικότερους τύπους αιολικών μηχανών. Όπως μπορούμε να δούμε, υπάρχουν μηχανές οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα, μηχανές πολυπτερυγες και ολιγοπτερυγες, μηχανές μεγάλης και μικρής ταχύτητας περιστροφής, μηχανές μεγάλης και μικρής ισχύος, καθώς και μηχανές μεγάλης και μικρής στιβαρότητας.

Μηχανές οριζοντίου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονα τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης. Μπορούν να έχουν ένα, δύο, τρία ή και πενήντα πτερύγια και η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη (upwind), δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη (downwind), δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης εν αναφορά με τη διεύθυνση του ανέμου.



Εικόνα 3.8 : Προσήνεμη και υπήνεμη διάταξη

Σε αυτές συγκαταλέγονται οι κλασικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι, καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων «αμερικανικού τύπου», οι οποίες στις μέρες μας έχουν εγκαταλειφθεί λόγω των περιορισμένων διαστάσεων τους και της χαμηλής περιφερειακής ταχύτητας.

Από την άλλη πλευρά, οι ανεμογεννήτριες τύπου «έλικας» περιλαμβάνονται στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζόντιου άξονα και καλύπτουν το 90% περίπου του συνόλου των εγκατεστημένων παγκοσμίως μηχανών. Εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες και τα πτερύγια τους, που είναι συνήθως ένα έως τρία, βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών και ελικοπτερικών ελίκων. Παρουσιάζουν μεγάλο αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης καθώς και βέλτιστη λειτουργία σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου περιστροφής «λ», με αποτέλεσμα την αρκετά μεγάλη σχετική ταχύτητα προσβολής των πτερυγίων από τον

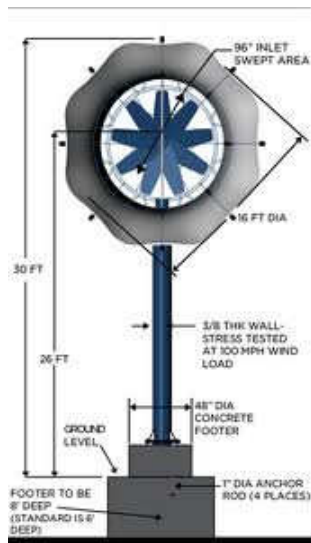
άνεμο. Οι πρώτοι δρομείς που κατασκευάστηκαν είχαν πλατιά πτερύγια, σήμερα όμως κατασκευάζονται σχετικά λεπτά πτερύγια.

Η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής, στις μηχανές τύπου «έλικας», για λόγους προστασίας της σε πολύ ισχυρούς ανέμους, πραγματοποιείται είτε με τη χρήση ειδικών αεροδυναμικών βοηθημάτων στην άκρη των πτερυγίων είτε με τη στροφή της πτερωτής υπό γωνία σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. Η αιολική ισχύς από την πτερωτή μεταφέρεται είτε μέσω συστήματος μετάδοσης κίνησης (οδοντωτοί τροχοί) στη βάση του πύργου στήριξης, είτε από τον άξονα της πτερύγωσης στην ηλεκτρική γεννήτρια, που συνήθως βρίσκεται και αυτή πάνω στον πύργο στήριξης. Η ανάπτυξη των μηχανών οριζόντιου άξονα συνεχίζεται και σήμερα ενώ έχουν κατασκευαστεί ή κατασκευάζονται μονάδες ισχύος από μερικές εκατοντάδες Watt έως και αρκετά MW. [1]

Διάφορες μηχανές τύπου «cross-wind» έχουν κατά διαστήματα επινοηθεί και προταθεί. Όμως έχει αποδειχθεί πως δεν είναι περισσότερο αποτελεσματικές σε σχέση με άλλους τύπους, όσον αφορά τη συλλογή της παραγόμενης ενέργειας και τη ρύθμιση της διεύθυνσης θέσης της πτερωτής σε περιπτώσεις έντονων μεταβολών της διεύθυνσης του ανέμου.

Προβλήματα που αντιμετωπίζει η βιομηχανία κατασκευής ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα.

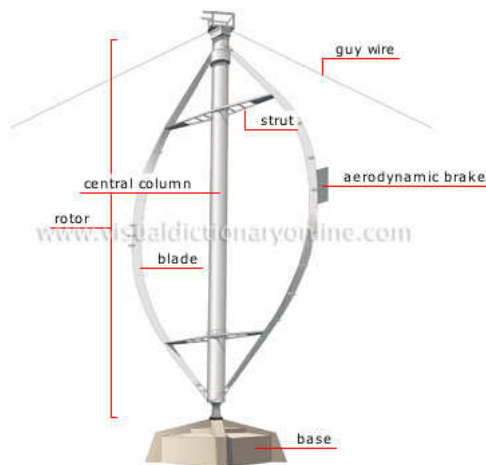
- Ο βέλτιστος σχεδιασμός του δρομέα
- Η συμπεριφορά του δρομέα σε ειδικές καταστάσεις
- Η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων και οι αντίστοιχοι αυτοματισμοί
- Προσανεμισμός του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου
- Προβλήματα αντοχής των υλικών που αφορούν την κατασκευή και την έδραση των πτερυγίων
- Καθορισμός του ύψους του δρομέα επάνω από το έδαφος
- Κατασκευή του πύργου στήριξης και θεμελίωση του



Εικόνα 3.9 : Διάφορα είδη ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα

Μηχανές κατακόρυφου άξονα

Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα σε σύγκριση με τις μηχανές οριζόντιου άξονα παρουσιάζουν ένα αρκετά σημαντικό και ουσιαστικό πλεονέκτημα το οποίο τις καθιστά πιο απλές τόσο στην λειτουργία τους όσο και στην κατασκευή τους και αναφερόμαστε στην ικανότητα που έχουν της αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου.



Εικόνα 3.10 : Ανεμογεννήτρια καθέτου άξονα (Darrieus)

Οι

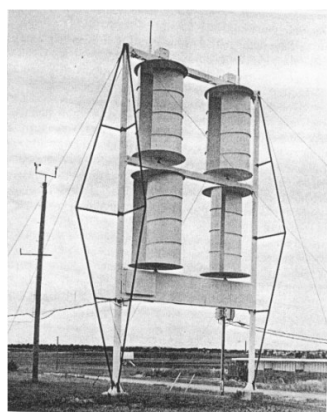
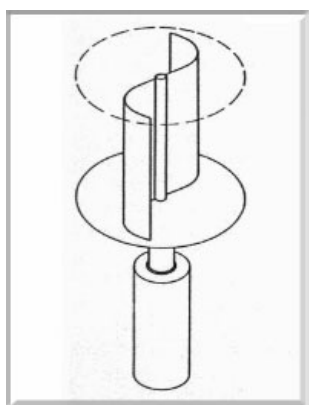
ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα κάθετο τόσο στη διεύθυνση του ανέμου όσο και στο έδαφος και αυτό τους επιτρέπει την εύκολη και γρήγορη περιστροφή τους σε οποιοδήποτε είδος ανέμου και από οποιοδήποτε σημείο του ορίζοντα αυτό προέρχεται. Επίσης, οι αιολικές μηχανές του τύπου αυτού έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση, ανεξαρτησία ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής και σχετικά απλά συστήματα ελέγχου σε σύγκριση φυσικά με τις μηχανές οριζόντιου άξονα. Υπάρχει αρκετή ποικιλία δρομέων κατακόρυφου άξονα, όμως ο δρομέας τύπου «Darrieus» είναι ο περισσότερο εξελιγμένος και ως εκ τούτου και ο περισσότερο διαδεδομένος.

Οι συγκεκριμένοι τύποι ανεμογεννητριών αποτελούν μια πολύ καλή επιλογή στην περίπτωση που κάποιος θελήσει να κατασκευάσει μια μηχανή με ονομαστική ισχύς της τάξεως του 1MW και αυτό γιατί ένα άλλο σημαντικό και πολύ πρακτικό πλεονέκτημα που παρουσιάζουν είναι ότι οι μηχανισμοί και η γεννήτρια βρίσκονται κατά κανόνα στο έδαφος, με αποτέλεσμα να απαιτείται ελαφρότερος πυλώνας και άρα να διευκολύνεται η λειτουργία και η συντήρηση του όλου συστήματος.

Όσο αναφορά τώρα το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, θα πρέπει να πούμε ότι δε παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφορές σε σύγκριση με το αντίστοιχο, συστημάτων μηχανών οριζόντιου άξονα, αν εξαιρέσουμε βέβαια το γεγονός ότι τα εξαρτήματα είναι τοποθετημένα κατακόρυφα. Ο δρομέας της μηχανής στηρίζεται σε κατάλληλο έδρανο στη βάση του, το οποίο ακόμα και σε σταθερή ταχύτητα ανέμου καταπονείται από εναλλασσόμενα φορτία. Επίσης, πολύ σημαντική είναι και η τοποθέτηση κάποιων καλωδίων τα οποία συνδέουν την κορυφή της μηχανής με το έδαφος και τα οποία βοηθούν τη μηχανή να διατηρηθεί σε κατακόρυφη θέση.

Τέλος, ένα ακόμη πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό των μηχανών «Darrieus» είναι οι ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες εκκίνησης που παρουσιάζουν και αυτό παίζει πολύ σημαντικό ρόλο καθώς στην περίπτωση μεγάλων συστημάτων είναι απαραίτητη η παρουσία βοηθητικού κινητήρα κατά την έναρξη της λειτουργίας της μηχανής. Επιπλέον, οι μηχανές του τύπου αυτού παρέχουν τελικά χαμηλότερο μέσο ετήσιο συντελεστή ισχύος.

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.



Εικόνα 3.11 : Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα (Savonius)

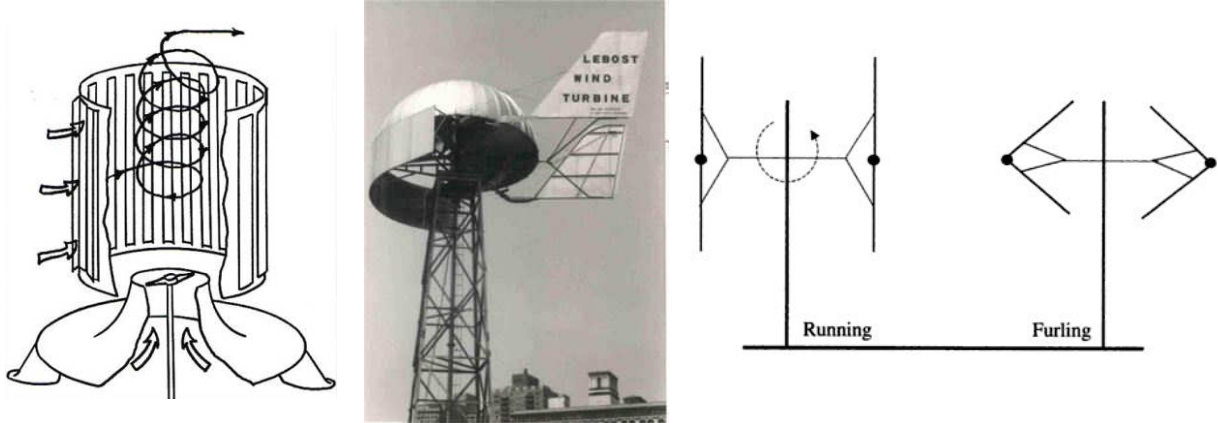
Δοκιμές έχουν γίνει και στο συνδυασμό των δύο ανωτέρω ανεμογεννητριών σε μία, όπως για παράδειγμα στην Taiwan.



Εικόνα 3.12 : Συνδυαστική ανεμογεννήτρια καθέτου άξονα (Savonius-Darrieus)

Στις υπόλοιπες μηχανές κάθετου άξονα συγκαταλέγονται οι:

- Τεχνητού ανεμοστρόβιλου (tornado)
- Ανεμοκινητήρας τύπου Lebost
- Ανεμοκινητήρας τύπου Musgrove
-



Εικόνα 3.13 : Ανεμοκινητήρες Tornado, Lebost, Musgrove

Σύγκριση της συμπεριφοράς των αιολικών μηχανών

Όπως έχουμε αναφέρει και παραπάνω, οι αιολικές μηχανές χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και αυτές του κατακόρυφου άξονα. Στην συγκεκριμένη ενότητα της εργασίας, θα παρουσιάσουμε τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των δύο αυτών κατηγοριών ανεμοκινητήρων. Πιο συγκεκριμένα έχουμε ότι:

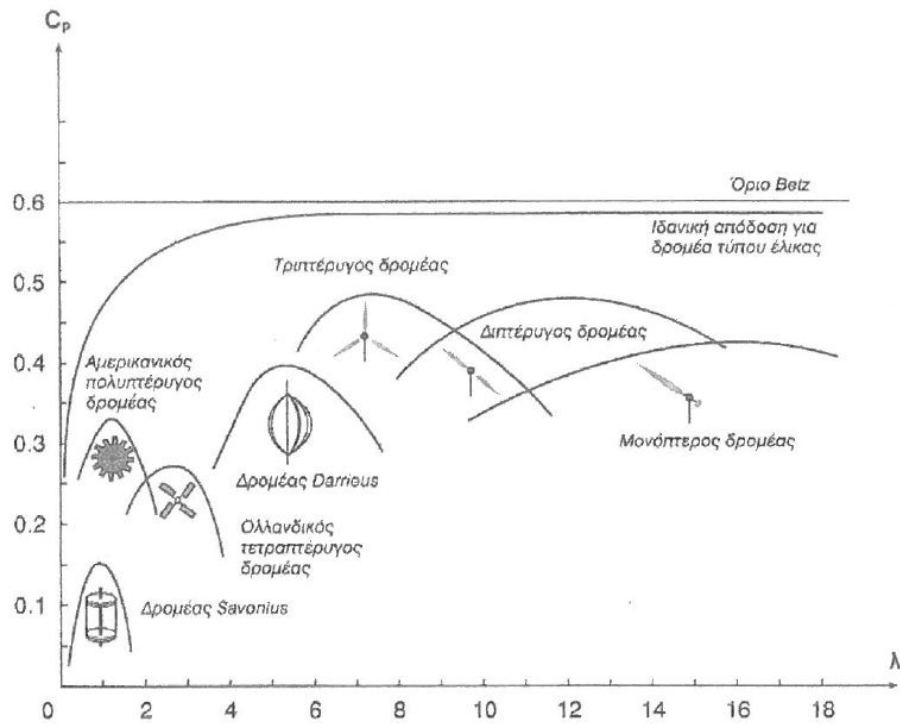
- Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα δεν χρειάζεται να προσανατολίζονται κάθε φορά ως προς την κατεύθυνση του ανέμου. Λόγω κατασκευής "πιάνουν" τον αέρα από όλες τις κατευθύνσεις. Αυτό τις κάνει καταλληλότερες σε τοποθεσίες όπου ο αέρας δεν είναι σταθερός ή όπου περιβάλλονται από κάποια μικρά εμπόδια (με σημαντικά μειωμένη απόδοση όμως).
- Ανάλογα με τον τύπο ανεμογεννήτριας κάθετου άξονα, έχουμε πολύ μεγαλύτερη ευκολία κατασκευής σε σχέση με την κατασκευή ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα. Κυρίως όσον αφορά την ευκολότερη κατασκευή (ιδιοκατασκευή) των πτερυγίων και την έλλειψη της ανάγκης για μηχανισμό φρεναρίσματος της ανεμογεννήτριας σε υψηλές ταχύτητες ανέμου.

- 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 οριζόντιου άξονα.

Αντίθετα, τα μειονεκτήματα μιας ανεμογεννήτριας κάθετου άξονα είναι κυρίως τα εξής:

- Το πρώτο και σημαντικότερο μειονέκτημα είναι ότι οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα έχουν πολύ χαμηλή απόδοση. Αυτό ισχύει σε μεγάλο βαθμό για τον τύπο "savonius" όπου δεν ξεπερνούν το 15%, αλλά και στους άλλους τύπους σε μικρότερο βαθμό (μια καλή μικρή ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα έχει μέση απόδοση 30%-40%).
- Από το προηγούμενο προκύπτει ότι για να έχει μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα την ίδια περίπου παραγωγή με μια οριζόντιου άξονα, θα πρέπει η κάθετου άξονα να έχει μέχρι και τριπλάσια επιφάνεια επαφής με τον αέρα. Αυτό συνεπάγεται μεγάλο όγκο και βάρος της κατασκευής.
- Λόγω χαμηλότερων στροφών περιστροφής ανά λεπτό, χρειάζονται πιο ισχυρούς ανέμους για να ξεκινήσουν την φόρτιση των συσσωρευτών (με δεδομένο το ίδιο μοτέρ σε οριζόντιου άξονα ανεμογεννήτρια).
- Οι μηχανές τύπου «Darrieus» παρουσιάζουν σημαντικό πρόβλημα κατά την εκκίνηση και απαιτείται εξωτερική βοήθεια, πράγμα που δεν εμφανίζεται στις μηχανές οριζόντιου άξονα.

Συνοψίζοντας, έχουμε ότι οι μηχανές οριζόντιου άξονα πλεονεκτούν σε συνολική απόδοση και θεωρούνται σαφώς πιο εξελιγμένες από 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 οριζόντιου άξονα, λαμβάνοντας υπόψη και το κόστος της αρχικής εγκατάστασης.



Εικόνα 3.14 : Χαρακτηριστικές καμπύλες απόδοσης C_p - λ ανεμογεννητριών οριζόντιου και κατακόρυφου δρομέα

Ολοκληρώνοντας τη συγκριτική παρουσίαση των διάφορων αιολικών μηχανών, θα σταθούμε λίγο στο Σχήμα 3.12, όπου παρουσιάζονται τυπικές καμπύλες ($C_p - \lambda$) για τις πλέον διαδεδομένες αιολικές μηχανές. Όπως παρατηρούμε, οι μηχανές οριζόντιου άξονα τύπου «έλικας» και οι μηχανές τύπου «Darrieus» έχουν τον καλύτερο βαθμό απόδοσης, λειτουργώντας μάλιστα σε μεγάλες τιμές του « λ ». Αξιόλογο βαθμό απόδοσης παρουσιάζουν και οι πολυπτερυγες μηχανές, ενώ για τις μηχανές τύπου «Savonius» ο βαθμός απόδοσης δεν υπερβαίνει το 0.15.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Αναγκαιότητα υπολογισμού αιολικού δυναμικού

Το αιολικό δυναμικό είναι μια 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.

Φυσικά χρησιμοποιώντας αποκλειστικά τις παραπάνω μετρήσεις δηλαδή, καταγράφοντας και αποθηκεύοντας αυτές, δεν γίνεται να έχουμε σωστή και έγκυρη μελέτη του δυναμικού. Έτσι κρίνεται απαραίτητη και η χρησιμοποίηση διαφόρων κατάλληλων μαθηματικών εξισώσεων που αναλύουν τα υπάρχοντα δεδομένα και μας παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες. Επίσης πολύ σημαντικό ρόλο στην όλη διαδικασία παίζει και η διαχρονική μέτρηση του αιολικού δυναμικού της επιλεγείσας περιοχής καθώς έτσι μας «αποδεικνύει» η περιοχή που έχουμε επιλέξει εάν είναι πραγματικά κατάλληλη για την εγκατάσταση ενός τέτοιου συστήματος.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η ποιότητα του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το **ύψος** αυτής. Παρακάτω γίνεται αναφορά σε όλες τις παραμέτρους που καθορίζουν την επιλογή μιας θέσης εγκατάστασης ενός αιολικού συστήματος. Όπως καταλαβαίνουμε από τα παραπάνω η σωστή επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας αποτελεί μια αρκετά σύνθετη διαδικασία και στο συγκεκριμένο κεφάλαιο προσπαθούμε να επισημάνουμε και να αναλύσουμε τους κυριότερους παράγοντες που επιδρούν στην επιλογή αυτή, ενώ στο τέλος γίνεται και μια ενδεικτική παρουσίαση των βημάτων που ακολουθούνται στην πορεία για την τελική επιλογή της θέσης ίδρυσης μιας αιολικής μονάδος.

Οι δύο σημαντικότεροι παράγοντες που πρέπει να λάβουμε υπόψη μας κατά την μελέτη του δυναμικού μιας περιοχής είναι η **μέση ταχύτητα του ανέμου της περιοχής**, αλλά και κάποιες

αναλυτικές πληροφορίες για την **κατανομή της πιθανότητας εμφάνισης** των διάφορων τιμών ταχύτητας του ανέμου μέσα στο χρόνο, με έμφαση στην καταγραφή των διαστημάτων νηνεμίας, καθώς και των διαστημάτων εμφάνισης πολύ ισχυρών ανέμων.

Εξετάζοντας όλα τα παραπάνω στοιχεία και πριν να πάρουμε την τελική απόφαση για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας σε μια περιοχή, θα πρέπει να συγκεντρώσουμε τα διαθέσιμα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής, να τα επεξεργαστούμε στατιστικά και να δημιουργήσουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα πυκνότητας πιθανότητας και διάρκειας των ανέμων. Επιπρόσθετα, είναι απαραίτητος ο εντοπισμός της συχνότητας και της διάρκειας των περιόδων χαμηλών ταχυτήτων και άπνοιας (δηλ. « $V < V_c$ »), οπότε και η ανεμογεννήτρια βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Όπως προαναφέραμε, για να μπορέσουμε να έχουμε μια αξιόπιστη και όσο το δυνατόν πιο έγκυρη μελέτη του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής απαιτείται αρκετός καιρός μετρήσεων και παρατηρήσεων. Παρόλα αυτά όμως, το σημαντικό κόστος των μετρήσεων αλλά και η αναπόφευκτη καθυστέρηση σε συνδυασμό με την έλλειψη, τις περισσότερες φορές, μακροχρόνιων μετρήσεων στις συγκεκριμένες «ενδιαφέρουσες» περιοχές, μας υποχρεώνει να καταφύγουμε σε ημιεμπειρικά αναλυτικά μοντέλα, που περιγράφουν το τοπικό αιολικό δυναμικό μιας περιοχής βάσει μικρού αριθμού παραμέτρων. Οι συγκεκριμένες μέθοδοι όπως καταλαβαίνουμε δεν είναι και τόσο αξιόπιστοι καθώς βασίζονται κατά κύριο λόγο σε μαθηματικές εξισώσεις και σε κανόνες πιθανοτήτων. Σε περίπτωση όμως που δεν υπάρχει η δυνατότητα όπως προαναφέραμε για μακροχρόνια παρακολούθηση των κατάλληλων παραμέτρων τότε ακόμα και αυτές οι μέθοδοι μπορούν να μας δώσουν μια ενδεικτική εικόνα για το αιολικό δυναμικό της περιοχής που εξετάζουμε.

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες αναλυτικές διανομές πυκνότητας - πιθανότητας είναι η διανομή «Weibull» και η διανομή «Rayleigh». Η διανομή που προτάθηκε από τον Weibull περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100m από το έδαφος. [1] Η εν λόγω διανομή προσδιορίζει την πιθανότητα,

η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας «V» βάσει δύο μόνο παραμέτρων. Η αναλυτική έκφραση της διανομής «Weibull» δίνεται σαν:

$$P(V)dV = \frac{k}{c} \cdot \left[\frac{V}{c} \right]^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} dV$$

Η παράμετρος C συνδέεται με την μέση ταχύτητα με την σχέση:

$$\bar{V} = c \cdot \Gamma \cdot \left[1 + \frac{1}{k} \right]$$

όπου με «Γ» συμβολίζουμε την αριθμητική συνάρτηση «Γάμα».

Τυπικές τιμές της συνάρτησης «Γάμα» δίνονται στον παρακάτω Πίνακα:

Συνάρτηση «Γάμα» τυπικές τιμές	
n	Γ(n)
1.00	1.0000
1.10	0.9514
1.20	0.9182
1.30	0.8975
1.40	0.8873
1.50	0.8862
1.60	0.8935
1.70	0.9086
1.80	0.9314
1.90	0.9618
2.00	1.0000

Πίνακας 4.1 : Τιμές συνάρτησης Γ

Για γρήγορους υπολογισμούς και για την περιοχή του Αιγαίου (οπότε η παράμετρος «k» παίρνει τιμές μεταξύ του 1.3 και του 2.0) μπορούμε να θεωρήσουμε ότι:

$$C \approx 1.1 \times \bar{V}$$

Επιπλέον για τη συνάρτηση Γ ισχύει ότι:

$$\Gamma(n + 1) = n \times \Gamma(n) \text{ για } n > 0$$

με αποτέλεσμα να είναι δυνατός ο υπολογισμός της « $\Gamma(n)$ » για κάθε τιμή του $n > 0$, με τη βοήθεια του παραπάνω πίνακα.

Αντίστοιχα, η δεύτερη παράμετρος της διανομής «Weibull», δηλαδή η παράμετρος « k », είναι αντιστρόφως ανάλογη της διασποράς « σ^2 » των ταχυτήτων του ανέμου ως προς τη μέση ταχύτητα, δηλαδή:

$$\sigma^2 = C^2 \times \Gamma\left(1 + \frac{2}{K}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{K}\right)\right)^2$$

Πιο συγκεκριμένα, μεγαλύτερες τιμές του « k » εκφράζουν μικρότερη διασπορά των ταχυτήτων του ανέμου και συνεπώς μεγαλύτερη συγκέντρωση τους γύρω από τη μέση τιμή της ταχύτητας.

Για την εύρεση της καμπύλης διάρκειας των ταχυτήτων του ανέμου πρέπει να προσδιορίσουμε το χρονικό διάστημα για το οποίο η μετρημένη ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από κάποια προκαθορισμένη τιμή. Στην περίπτωση της κατανομής «Weibull» η καμπύλη διάρκειας μπορεί να βρεθεί βάσει της συνάρτησης ολικής πιθανότητας, δηλαδή:

$$F(V \leq V_0) = 1 - e^{-\frac{V_0}{C}}$$

η οποία είναι συμπληρωματική (έχουν άθροισμα μονάδα) της καμπύλης διάρκειας και δίνει την πιθανότητα « F » η ταχύτητα « V » να είναι μικρότερη μιας τιμής « V_0 ».

Η αντίστοιχη διανομή «Rayleigh» είναι μια ειδική μορφή της διανομής «Weibull» και προκύπτει από αυτή, όταν η παράμετρος «k» ληφθεί ίση με 2.0. Η προτεινόμενη τιμή της παραμέτρου «k» αποτελεί μια αρκετά ρεαλιστική τιμή για την περιοχή του Αιγαίου. Με τον τρόπο αυτό απλοποιούνται οι αναλυτικές σχέσεις και για τον προσδιορισμό της διανομής χρειάζεται μόνο η μέση ταχύτητα του ανέμου στην υπό μελέτη περιοχή, δηλαδή

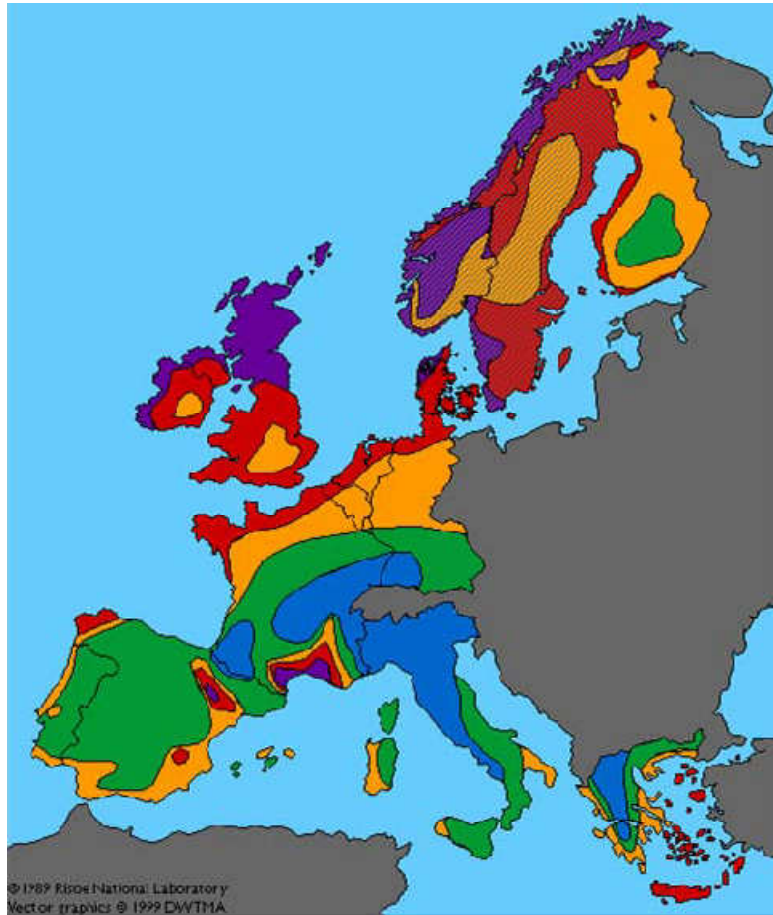
$$f(V) = \frac{\pi V}{2V^2} * \exp\left[-\frac{\pi V^2}{4V^2}\right]$$

Η διανομή «Rayleigh» χρησιμοποιείται εναλλακτικά στη θέση της διανομής «Weibull», επειδή παρουσιάζει συγκρίσιμα αποτελέσματα με λιγότερες μαθηματικές πράξεις.

Αιολικό δυναμικό Ευρώπης και Ελλάδας

Στον παρακάτω χάρτη φαίνεται το αιολικό δυναμικό της Ευρώπης, μελέτη ενός εκ των μεγαλύτερων Ινστιτούτων της Ευρώπης για την αιολική ενέργεια το Risoe DTU της Δανίας.

Το θαυμάσιο αιολικό δυναμικό των νησιών του Αιγαίου σε συνδυασμό με την εμπορική και τεχνολογική ωριμότητα των Α/Γ και το τωρινό υψηλό κόστος παραγωγής της Η/Ε με συμβατικά μέσα ευνοούν την εγκατάσταση αιολικών πάρκων στα νησιά του Αιγαίου. Η εγκατάσταση Α/Γ για την παραγωγή Η/Ε γίνεται ολοένα πιο δημοφιλής και αποδεκτή σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας.

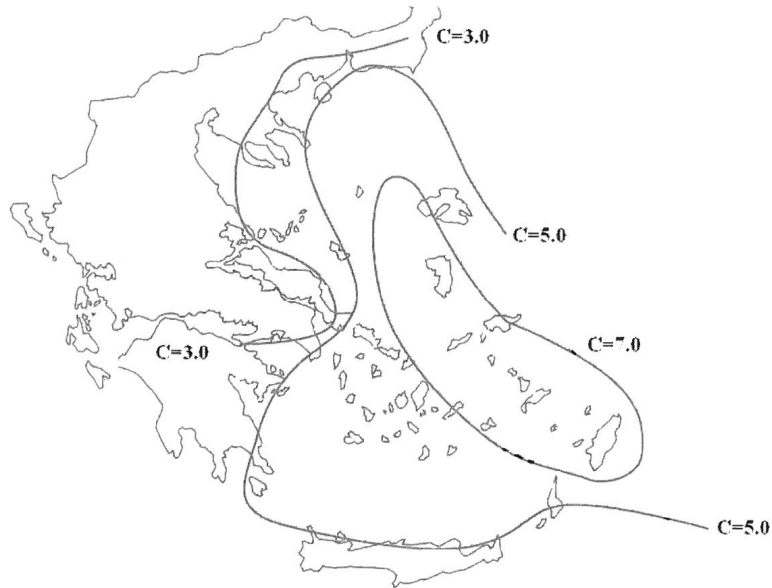


	Προστατευμένη περιοχή		Ανοιχτή περιοχή		Παραθαλάσσια		Ανοιχτή θάλασσα		Λόφοι και γκρεμοί	
	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$	$m s^{-1}$	$W m^{-2}$
	> 6.0	> 250	> 7.5	> 500	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 11.5	> 1800
	5.0 - 6.0	150 - 250	6.5 - 7.5	300 -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

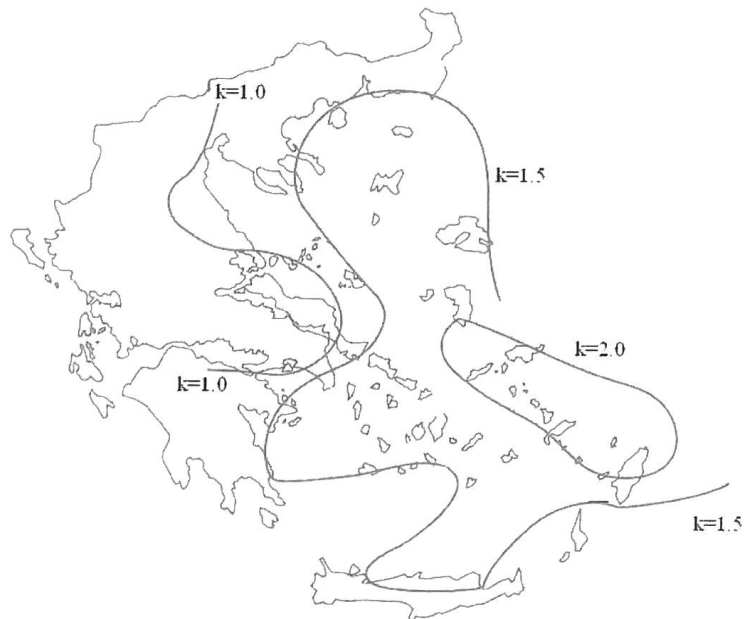
Εικόνα 4.2 : Αιολικό δυναμικό
Risoe National Laboratory

Συγκεκριμένα για την Ελλάδα, έχουμε εκτός και από το αιολικό δυναμικό, και δημιουργία γεωγραφικών χαρτών, που περιγράφουν τη χωρική διανομή των παραμέτρων «Weibull» (C,k) (Εικόνες 4.3-4.4). Έτσι, για τη γεωγραφική περιοχή του Αιγαίου οι τιμές της παραμέτρου «C», όπως μπορούμε να δούμε και από τον παρακάτω χάρτη, βρίσκονται μεταξύ του τρία και του

επτά ($3.0 < C < 7.0$) και οι τιμές της παραμέτρου «κ» στην περιοχή (1.5 έως 2.0). Αυτά τα στοιχεία σε συνδυασμό με το γεγονός ότι σε ορισμένες μεμονωμένες περιοχές οι τιμές της παραμέτρου «C» πλησιάζουν τα 10 m/sec, ενώ η παράμετρος «κ» υπερβαίνει την τιμή 2.0, αποδεικνύουν ότι το αιολικό δυναμικό της χώρας μας είναι αρκετά υψηλό και ποιοτικό.

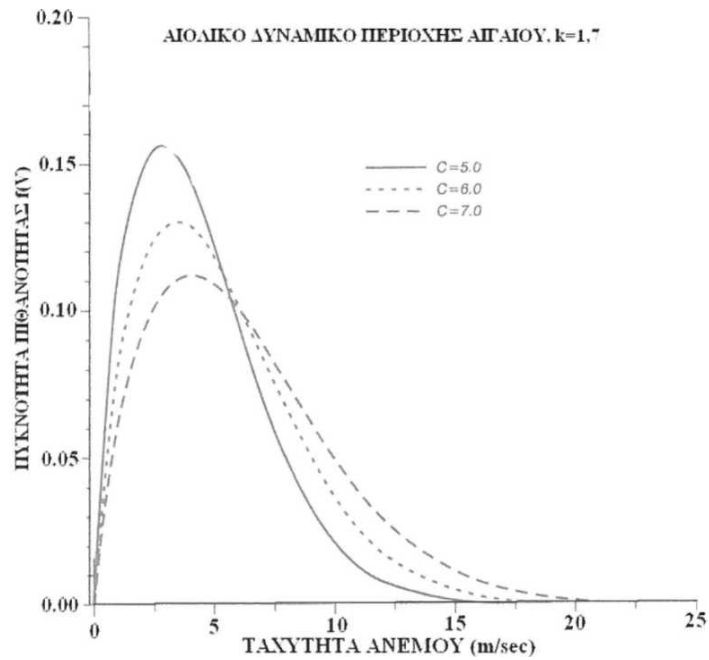


Εικόνα 4.3 : Τιμές C στον Ελλαδικό χώρο

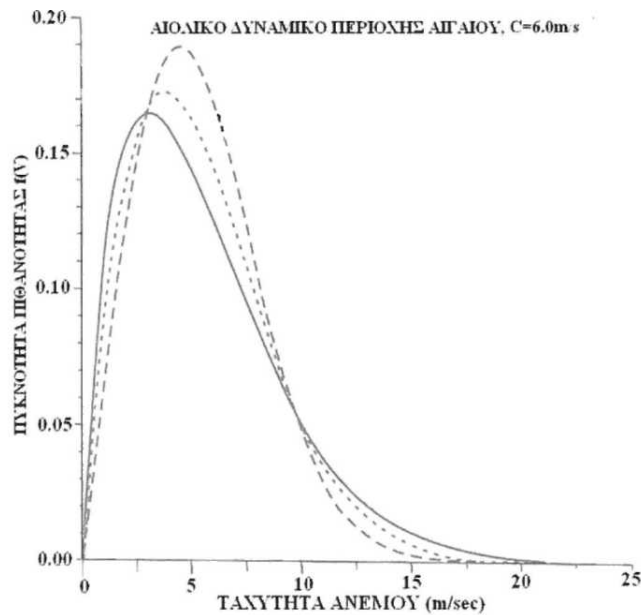


Εικόνα 4.4 : Τιμές k στον Ελλαδικό χώρο

Στα παρακάτω σχήματα παρουσιάζεται η επίδραση της τιμής των παραμέτρων «C» και «k» της διανομής «Weibull» στη συνάρτηση πυκνότητας - πιθανότητας του ανέμου χρησιμοποιώντας τυπικές τιμές που ισχύουν στις Ελληνικές θαλάσσιες περιοχές. Από το 4.5 προκύπτει ότι όσο μικρότερη είναι η τιμή του «C», τόσο μεγαλύτερη είναι η τιμή της μέγιστης πιθανότητας της διανομής. Αντίστοιχα, από το 4.6 προκύπτει η αντίθετη συμπεριφορά για τις τιμές του «k». [1]

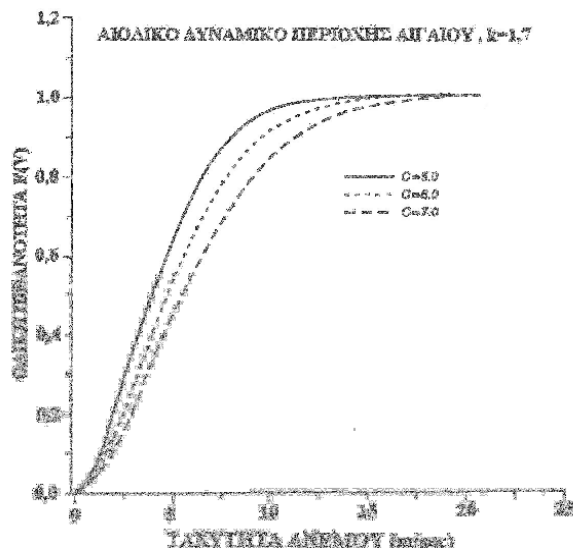


Εικόνα 4.5 : Επίδραση παραμέτρου C

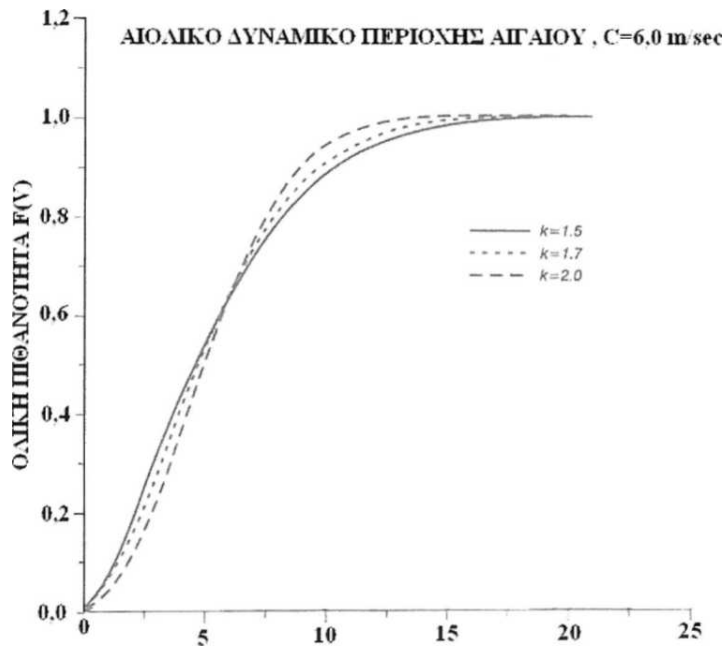


Εικόνα 4.5 : Επίδραση παραμέτρου k

Στα επόμενα σχήματα παρουσιάζεται η επίδραση των εν λόγω παραμέτρων στην αντίστοιχη διανομή ολικής πιθανότητας του ανέμου. Όπως παρατηρούμε, για μικρότερες τιμές της παραμέτρου «C» επιτυγχάνεται γρηγορότερα η ασυμπτωτική τιμή της συνάρτησης «F(Y)», ενώ το αντίθετο παρατηρείται για τις τιμές της παραμέτρου «κ».



Εικόνα 4.7 : Επίδραση παραμέτρου C (καμπύλη διαρκείας)

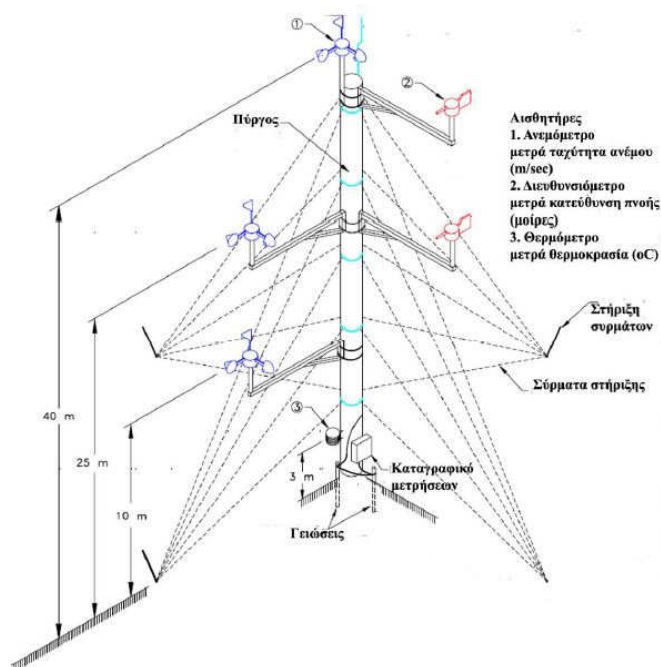


Εικόνα 4.8 : Επίδραση παραμέτρου k (καμπύλη διαρκείας)

Εκτίμηση αιολικού δυναμικού

Μετρήσεις

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. 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 (10μ, 30μ, 45μ, 60μ). Με αυτό τον τρόπο έχουμε ακριβή ένδειξη της ταχύτητας στο ύψος της πτερωτής της Α/Γ που είναι συνήθως πάνω από τα 50μ. Οι προϋποθέσεις αυτές εξασφαλίζουν την ορθότητα των δεδομένων που παίρνουμε.



Εικόνα 4.9 : Ιστός Μέτρησης Αιολικού Δυναμικού

Οι μετρητικές διατάξεις (ανεμόμετρο- ανεμοδείκτης) 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.



Εικόνα 4.10 : Ανεμόμετρο - Ανεμοδείκτης

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.



Ένταση

Εικόνα 4.11 : Data Logger

του ανέμου

Για τη μέτρηση της έντασης του ανέμου όπως είπαμε 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.

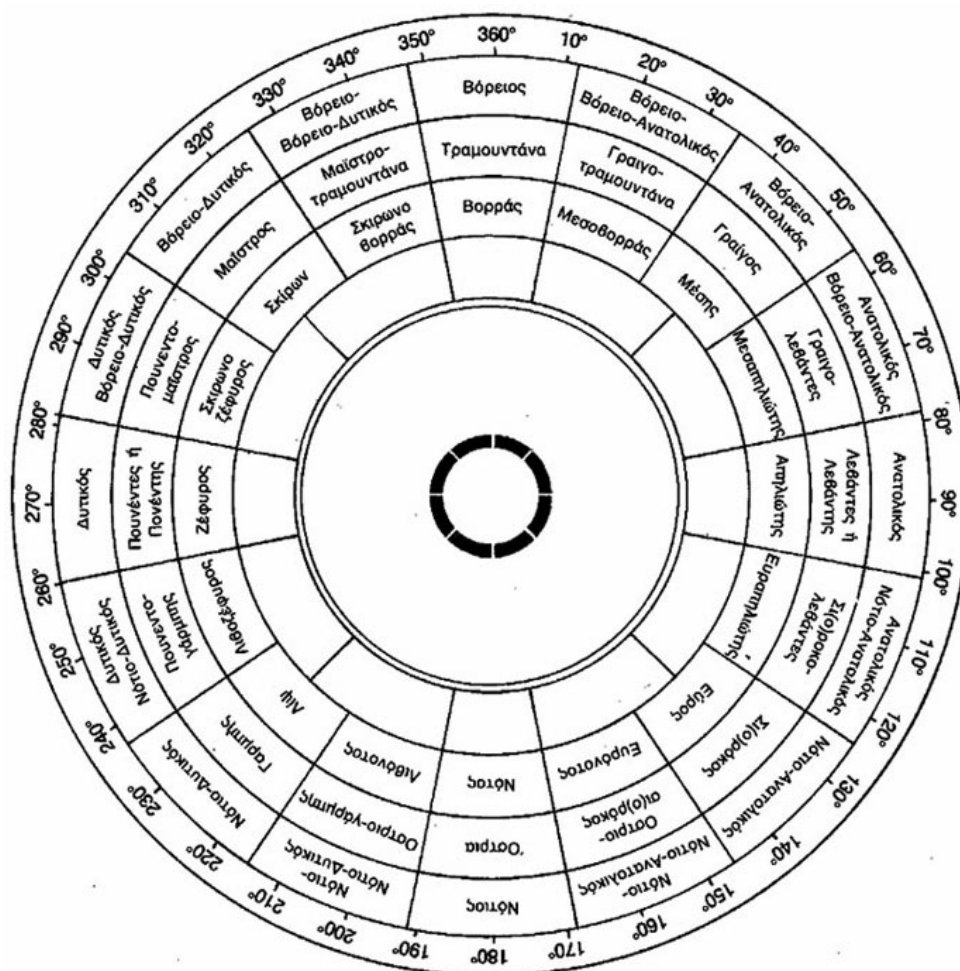
Επιπλέον των προαναφερομένων συνηθισμένων τρόπων μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιούνται και ανεμόμετρα θερμού στοιχείου καθώς και ανεμόμετρα τύπου "laser", κύρια σε πειραματικές εγκαταστάσεις υψηλής ακρίβειας, όπως για παράδειγμα στη περίπτωση μελέτης του ομόρου

Ένα βασικό μειονέκτημα των ανεμόμετρων αυτού του τύπου είναι το γεγονός ότι δεν έχουν συμμετρική απόκριση στην αύξηση ή μείωση της έντασης του ανέμου, δεδομένου ότι τα κύπελλα του οργάνου εξακολουθούν λόγω αδράνειας να περιστρέφονται ακόμα και όταν ο άνεμος σταματήσει. Στις περιπτώσεις αυτές οι ενδείξεις του οργάνου είναι μεγαλύτερες από την πραγματική ένταση του ανέμου.

Για κλιματολογικούς και πρακτικούς λόγους έχει συμφωνηθεί ότι σε μια ομοιογενή περιοχή (η οποία εκτείνεται 300 μέτρα γύρω από το όργανο), ο ανεμογράφος πρέπει να τοποθετείται σε ύψος 10 μέτρα από το έδαφος, ώστε να επιτυγχάνεται μια αντιπροσωπευτική καταγραφή του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Σε μια τοποθεσία με ομοιόμορφη κατανομή εμποδίων με μέσο ύψος εμποδίων "H", το όργανο πρέπει να τοποθετηθεί σε ύψος "10+H" μέτρων από το έδαφος, όπου $H_{max}=12m$. Στην περίπτωση ύπαρξης εμποδίων γύρω από το όργανο, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην εύρεση της βέλτιστης θέσης του οργάνου οι διαστάσεις των εμποδίων, εφ' όσον είναι απαραίτητο να γίνουν μετρήσεις στην περιοχή αυτή. Αντίστοιχες διορθώσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη στην περίπτωση υποχρεωτικής τοποθέτησης του ανεμομέτρου σε ειδικές θέσεις, όπως για παράδειγμα στην κορυφή ενός κτιρίου, δεδομένου ότι το ίδιο το κτίριο διαταράσσει τη ροή του ανέμου.

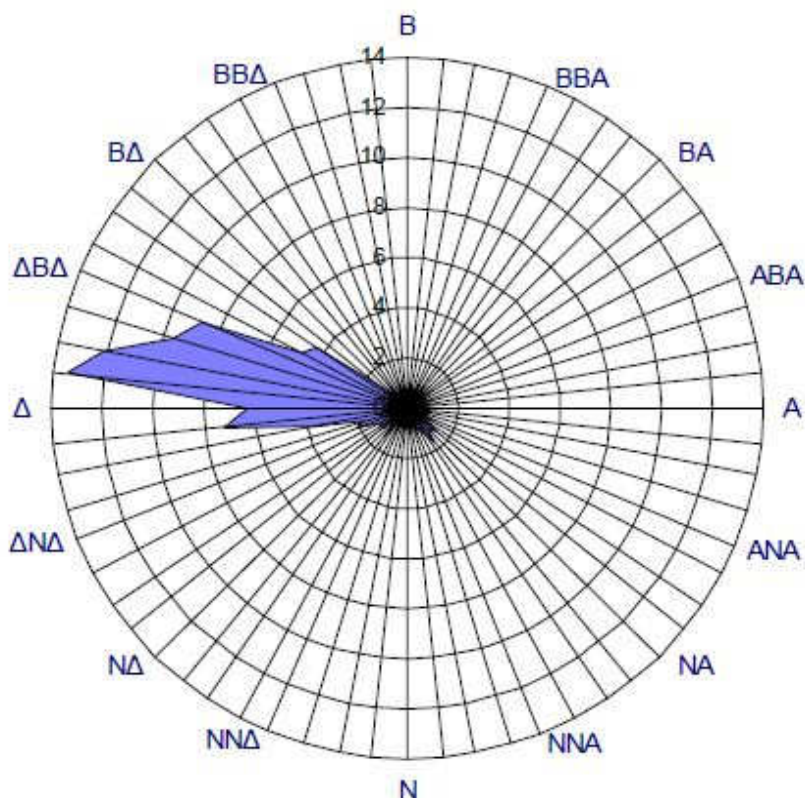
Διεύθυνση του ανέμου

Μια άλλη σημαντική παράμετρος όσον αφορά στην κατανόηση της συμπεριφοράς του ανέμου είναι η διεύθυνση του. Η διεύθυνση του ανέμου σε μια θέση δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται συνεχώς, καθορίζεται δε με βάση το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, σε σχέση με τη θέση μέτρησης. Στο παρακάτω σχήμα δίνεται η ονοματολογία των ανέμων με βάση ναυτικές, ενετικές και αρχαιοελληνικές ονομασίες. 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, 12, 16 ή 32 τομείς.



Εικόνα 4.12 : Ανεμολόγιο

Με βάση τις παρατηρήσεις της διεύθυνσης του ανέμου μπορούμε να χαράξουμε σε "πολικό διάγραμμα" (ή 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.



Εικόνα 4.13 : Πολικό διάγραμμα διευθύνσεων ανέμων

Επιπλέον για μεγαλύτερη ακρίβεια είναι δυνατός ο υπό 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 νηνεμίας.

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 και 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 το οποίο θέλουμε να εγκαταστήσουμε μια ανεμογεννήτρια και του σημείου του ορίζοντα, από το οποίο πνέει συνήθως ο άνεμος (επικρατούσα διεύθυνση), μας προσδιορίζει την προσήνεμη περιοχή. Αντίστοιχα, η υπήνεμη περιοχή είναι αυτή η οποία είναι προστατευμένη από τον άνεμο (περιοχές που εκτίθενται σε ανέμους με ελάχιστη συχνότητα εμφάνισης) και είναι συχνά αντίθετη της προσήνεμης περιοχής. Στον Ελλαδικό χώρο η επικρατούσα κατά κανόνα διεύθυνση των ανέμων είναι η βόρεια και βορειανατολική, ιδιαίτερα στην περιοχή του Αιγαίου, χωρίς βέβαια να αποκλείονται περιπτώσεις σε περιοχές με διαφορετική επικρατούσα διεύθυνση.

Σαφώς σκόπιμο είναι η μέτρηση της έντασης από το ανεμόμετρο να είναι σε μία κλίμακα πιο συγκεκριμένη από αυτή της κλίμακας Beaufort, η οποία εισάγει δεδομένα αβεβαιότητας και μεγάλης απόκλισης, γεγονός το οποίο επηρεάζει την τελική απόφαση του εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού.

Τέλος, είναι απαραίτητη και η χρήση αναλυτικών διανομών ταχύτητας στην περίπτωση που θέλουμε να αναγάγουμε τις μετρημένες τιμές ταχύτητας ανέμου από το ύψος των μετρήσεων π.χ. στο επιθυμητό ύψος, βάσει της παρακάτω εξίσωσης.

$$\frac{V(z)}{V(z_1)} = \left(\frac{z}{z_1} \right)^a$$

Μετά την αναγωγή των μετρήσεων στο επιθυμητό ύψος και τη χρήση στατιστικών τύπων για τον εντοπισμό και την απόρριψη «μη κανονικών» μετρήσεων, είναι δυνατή η προσαρμογή αναλυτικών

διανομών ταχύτητας («Rayleigh», «Weibull») για την εκτίμηση της ετήσιας πυκνότητας - πιθανότητας να εμφανιστούν τιμές ταχύτητας ίσες με τις επιθυμητές.

Σύμφωνα με στατιστικές μετρήσεις, η διάρκεια ζωής μιας ανεμογεννήτριας είναι περίπου τριάντα χρόνια, διάστημα μέσα στο οποίο το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής μπορεί να υποστεί πολλές και σημαντικές αλλαγές. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους της παραγόμενης ενέργειας.

Στο παρελθόν έχουν υπάρξει περιπτώσεις όπου μια αιολική εγκατάσταση δεν έχει καταφέρει να ανταποκριθεί στις προσδοκίες των κατασκευαστών και αυτό λόγω της κακής εκτίμησης του αιολικού δυναμικού της περιοχής που έχει εγκατασταθεί. Το παραπάνω αποτελεί πολύ σημαντικό πρόβλημα καθώς η ζημία μιας εταιρία εκτός από την μη αναμενόμενη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχει να κάνει και με μεγάλη οικονομική ζημία πολλών εκατομμυρίων ευρώ. Φυσικά σε μια τέτοια περίπτωση είναι μάταιο να περιμένουμε να διορθωθεί το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής καθώς για να γίνει κάτι τέτοιο απαιτούνται πολλές περιβαλλοντικές και όχι μόνον αλλαγές.

Επίδραση Ύψους

Όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενη παράγραφο του συγκεκριμένου κεφαλαίου πολύ σημαντικό ρόλο για την αύξηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής παίζει το ύψος της περιοχής που εξετάζεται, συγκεκριμένα όσο αυξάνεται το ύψος τόσο αυξάνεται και η ένταση του ανέμου άρα και το αιολικό δυναμικό. Σύμφωνα με τα παραπάνω εύκολα καταλαβαίνει κάποιος τον σημαντικότερο ρόλο που έχει για την επιλογή μιας θέσης για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας το ύψος της επιθυμητής περιοχής. Θα πρέπει να μελετηθεί και να εξεταστεί πολύ καλά προτού ληφθεί η τελική απόφαση καθώς η ζημία σε περίπτωση αποτυχίας του συστήματος θα είναι τεράστια.

Το κόστος παραγωγής για μια μηχανή είναι το πρωταρχικό και ίσος το σημαντικότερο στοιχείο που λαμβάνει υπόψη του ένας κατασκευαστής και το οποίο φροντίζει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Γι' αυτό το λόγο αρκετές εταιρίες, διαθέτουν πύργους στήριξης με συγκεκριμένο ύψος

τοποθέτησης των ανεμογεννητριών, ανάλογα βέβαια και με το μέγεθος της μηχανής. Τα προκαθορισμένα αυτά ύψη τοποθέτησης των αιολικών μηχανών έχουν επιλεχθεί με διαφορετικά κριτήρια από τα επικρατούντα ανεμολογικά δεδομένα κάθε περιοχής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πολλές φορές να μην συμβαδίζουν το ύψος ενός τέτοιου πύργου με το ύψος στο οποίο εάν είχε τοποθετηθεί η ανεμογεννήτρια θα μας παρείχε την μέγιστη δυνατή απόδοση. Ο ιδανικός συνδυασμός σε μια τέτοια περίπτωση θα ήταν εάν μπορούσαμε να εγκαταστήσουμε την μηχανή μας όσο το δυνατόν ψηλότερα και άρα να είχαμε την μέγιστη δυνατή απόδοση με όσο το δυνατόν μικρότερο κόστος.

Στην περίπτωση που για οποιονδήποτε λόγο δεν είναι δυνατή η συλλογή των απαραίτητων ανεμολογικών μετρήσεων έτσι ώστε να μπορέσουμε να υπολογίσουμε τη μέση ετήσια ταχύτητα και διασπορά σε μια περιοχή με τη μεταβολή του ύψους, τότε η μόνη λύση είναι η χρησιμοποίηση ενός αξιόπιστου αναγωγικού νόμου, ο οποίος να μπορεί να μεταφέρει με ακρίβεια τα διαθέσιμα στοιχεία από ένα συγκεκριμένο ύψος αναφοράς σε οποιοδήποτε επιθυμητό ύψος. Οι παρακάτω εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αρκετή ακρίβεια για την αναγωγή των δεδομένων μας σε διαφορετικά ύψη.[1]

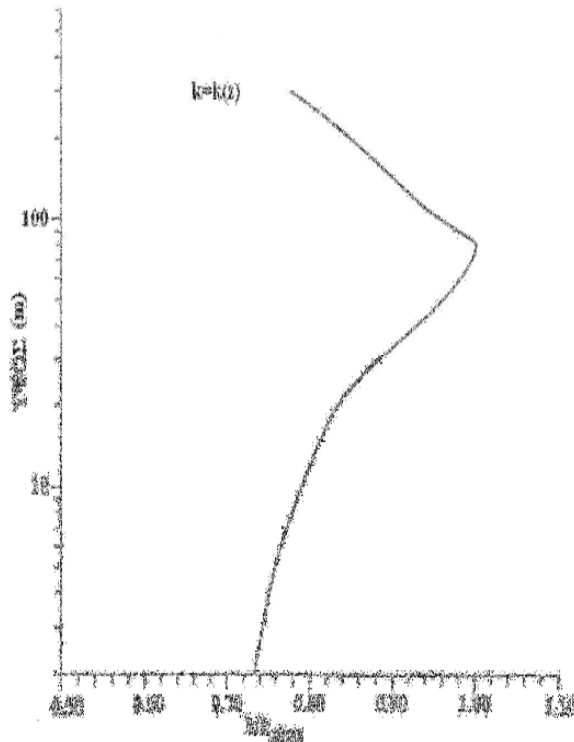
$$V(z) = k_1 \times \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) + k_2$$

$$\frac{V(z)}{V(z_1)} = \frac{\ln((z - z_0)/z_0)}{\ln((z_1 - z_0)/z_0)}$$

$$\frac{V(z)}{V(z_1)} = \left(\frac{z}{z_1}\right)^a$$

Παρατηρώντας, για παράδειγμα, την τελευταία από τις παραπάνω εξισώσεις βλέπουμε ότι τα αποτελέσματα εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την τιμή του εκθέτη «α» της εν λόγω διανομής. Παράλληλα, σημαντικό ρόλο παίζει και το ύψος «δ» του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος της περιοχής, αν λάβουμε υπόψη μας ότι μετά το ύψος αυτό η ένταση του ανέμου θεωρείται με

αρκετή ακρίβεια σταθερή. Τέλος παρατίθεται και το σχήμα 4.14 στο οποίο παρουσιάζεται η μεταβολή της παραμέτρου «κ» σαν συνάρτηση του ύψους μελέτης.



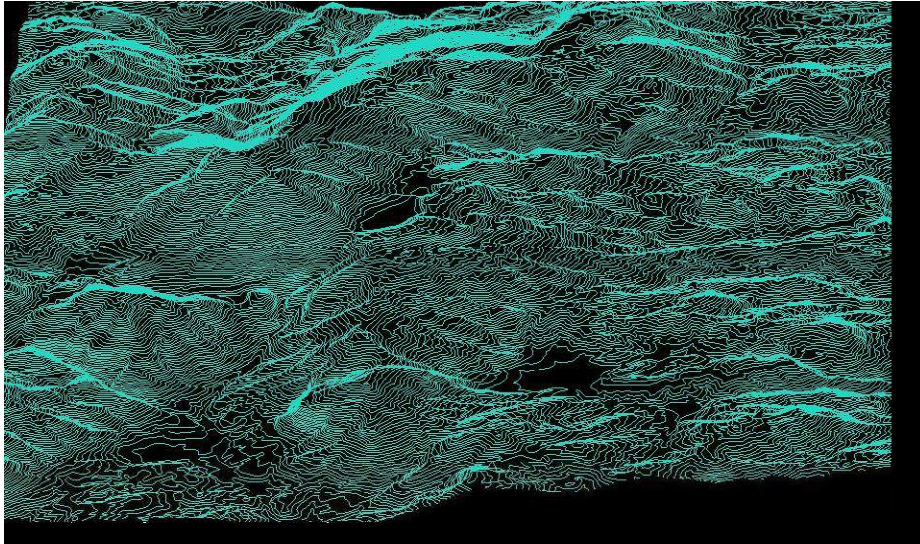
Εικόνα 4.14 : Μεταβολή παραμέτρου k με το ύψος

Ψηφιοποίηση – Λογισμικό

Η μέθοδος που συνήθως ακολουθείτε είναι η μεταφορά της μορφολογίας του εδάφους της περιοχής ενδιαφέροντος στον υπολογιστή, κυρίως με ψηφιοποίηση των χαρτών. Η οικονομικότερη λύση είναι να χρησιμοποιηθούν χάρτες κλίμακας 1:5.000 από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού (Γ.Υ.Σ.) . Για να έχουμε καλή ακρίβεια θα ψηφιοποιηθούν όλες οι ισοψείς ανά είκοσι μέτρα και

για την περιοχή ενδιαφέροντος η ψηφιοποίηση θα γίνει ανά 4 μέτρα . Δημιουργούνται έτσι αρχεία σε περιβάλλον Autocad (ένα για κάθε χάρτη 1:5.000) και στη συνέχεια οι χάρτες ενώνονται μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο δημιουργούμε ένα χάρτη όλης της περιοχής ενδιαφέροντος με

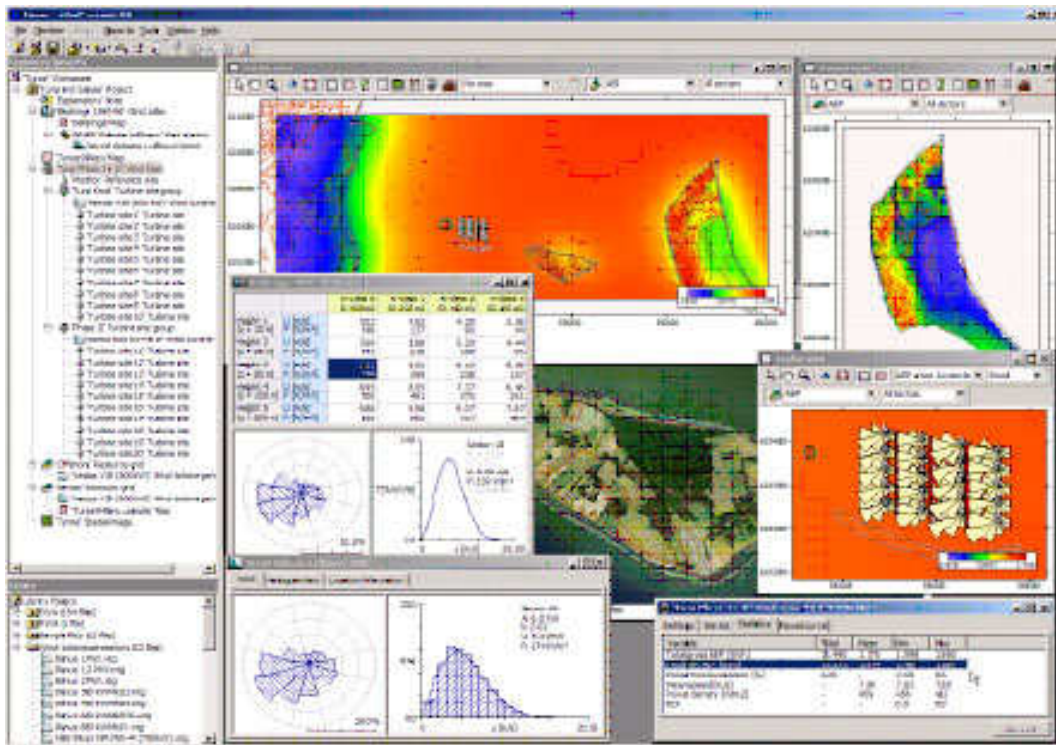
ισοϋψείς ανά είκοσι μέτρα. Στη συνέχεια ο χάρτης αυτός περνά από λεπτομερή έλεγχο έτσι ώστε να είμαστε σίγουροι ότι όλες οι ισοϋψείς βρίσκονται στο σωστό ύψος και ότι κάθε μια απ' αυτές είναι μια κλειστή καμπύλη.



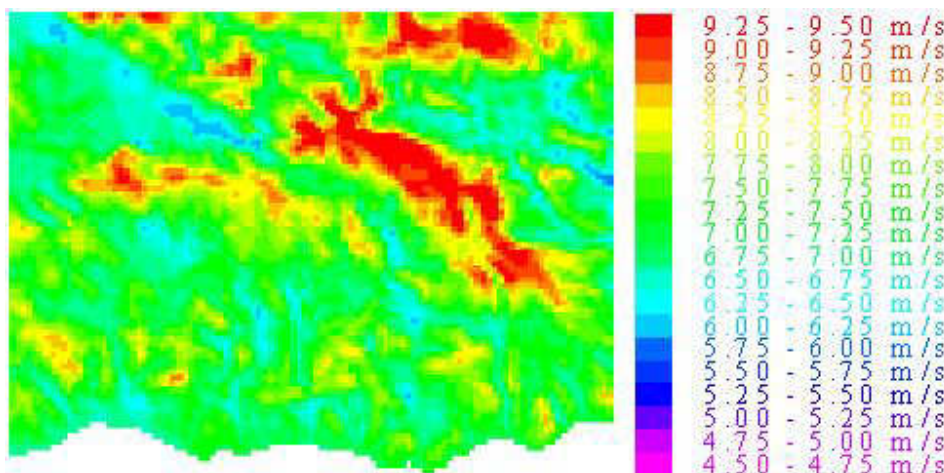
Εικόνα 4.15 Ψηφιοποιημένος χάρτης περιοχής ενδιαφέροντος [β]

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.

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ



Εικόνα 4.16 : Απόσπασμα από μελέτη αιολικού δυναμικού με WAsP



Εικόνα 4.17 : Απόσπασμα ψηφιοποίησης αιολικού δυναμικού

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.

Το WASP αποτελείται από 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 . (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 ενέργειας .

Ο κύριος στόχος του WASP είναι δίπτυχος. Πρώτα διορθώνει τα ανεμολογικά δεδομένα που έχουν μετρηθεί σε ένα συγκεκριμένο σημείο και τα μετατρέπει σε ένα σύνολο που να περιγράφει το ανεμολογικό κλίμα μιας περιοχής τον αποκαλούμενο αιολικό άτλαντα. Μετά, χρησιμοποιεί αυτά τα σύνολα δεδομένων ώστε να εκτιμήσει τις ανεμολογικές συνθήκες σε οποιοδήποτε συγκεκριμένο σημείο και ύψος στην περιοχή.

Η δημιουργία αιολικού άτλαντα 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 εισαχθούν .

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 από τις ειδικές συνθήκες στην επιφάνεια. Οι αντίστροφοι υπολογισμοί πραγματοποιούνται για να δώσουν το αιολικό δυναμικό σε μερικά, ορισμένα, ύψη και σε διάφορες τραχύτητες του εδάφους.

5. 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.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ

ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Ο σκοπός για τον οποίο επιλέγουμε την θέση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας δεν είναι άλλος από το να καταφέρουμε να τοποθετήσουμε την μηχανή μας στην καλύτερη και πιο συμφέρουσα θέση έτσι ώστε να μπορέσει να μας παρέχει την μέγιστη παραγόμενη ισχύ άρα να λειτουργεί στον μέγιστο βαθμό απόδοσης. Πέρα όμως από την απόδοση που ζητάμε να έχει μια μηχανή μέσω της θέσης εγκατάστασης της, θέλουμε αυτή η θέση να μην αποτελεί εμπόδιο για την οικιστική ομορφιά της περιοχής και να είναι όσο το δυνατόν πιο αποδεκτή από τον κοινωνικό σύνολο.

Εκτός όμως από τα παραπάνω κριτήρια για την επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας υπάρχουν εξίσου σημαντικοί παράγοντες και προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληρεί μια θέση για να χαρακτηριστεί κατάλληλη και αυτά είναι:

- η εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να βρίσκεται σε περιοχή προσπελάσιμη στα συνήθη μεταφορικά μέσα
- να υπάρχει πρόσβαση σε λιμάνια ή συγκοινωνιακούς κόμβους
- να είναι κοντά στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. στην περίπτωση σύνδεσης της με το εθνικό δίκτυο
- απαιτείται η σύμφωνη γνώμη του κοινωνικού συνόλου, με τη διαβεβαίωση ότι η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών δεν θα αλλοιώσει το περιβάλλον

Από την πλευρά της βέλτιστης επιλογής της τοποθεσίας εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας σε σχέση με το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό, η τήρηση των βασικών ανεμολογικών κριτηρίων προϋποθέτει την επιλογή τοποθεσιών με:

- υψηλή μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου
- αιολικό δυναμικό υψηλής ποιότητας, δηλαδή μεγάλη διάρκεια ισχυρών ανέμων και περιορισμένη ύπαρξη περιόδων νηνεμίας

- απουσία αποφράξεων του ανέμου καθώς και υψηλών εμποδίων

Φυσικά όπως μπορούμε να καταλάβουμε μελετώντας τα παραπάνω κριτήρια για την επιλογή της θέσης μιας ανεμογεννήτριας ή και ολόκληρου αιολικού πάρκου, οι πλέον κατάλληλες και αξιόπιστες περιοχές για ένα τέτοιο σύστημα είναι οι **ορεινές και απομακρυσμένες περιοχές**. Σε αντίθεση με τις αιολικά προηγμένες χώρες η Ελλάδα χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα σύνθετη τοπογραφία με μεγάλες υψομετρικές εναλλαγές. Τα χαρακτηριστικά αυτά ευνοούν την εγκατάσταση αιολικών συστημάτων όμως δεν αποτελούν και πολύ καλή επιλογή για χρήση μεγάλων ανεμογεννητριών. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέραμε και παραπάνω οι ανεμολογικά αξιοποιήσιμες περιοχές είναι συνήθως ορεινές και δυσπρόσιτες. Οι στενοί και πολύστροφοι δρόμοι που περνούν μέσα από ορεινά χωριά είναι σε πολλές περιπτώσεις απροσπέλαστοι για ανεμογεννήτριες με μήκος πτερυγίου πάνω από 20 - 25 m. Ακόμα και στην περίπτωση όπου η οδική πρόσβαση είναι εφικτή, η απαιτούμενη βελτίωση της οδοποιίας ώστε να εξυπηρετήσει τη μεταφορά μεγάλων πτερυγίων απαιτεί ένα σημαντικό κόστος. Επίσης, λόγω του φαινομένου της συμπίεσης η καθ' ύψος αύξηση της ταχύτητας του ανέμου σε μια ελληνική κορυφογραμμή είναι, αν όχι μηδενική, αρκετά μικρότερη σε σύγκριση με τις πεδινές περιοχές της Ευρώπης. Αυτό σημαίνει ότι η μεγάλη ανεμογεννήτρια στην Ελλάδα δεν εκμεταλλεύεται το πλεονέκτημα του ύψους που έχει απέναντι στις μικρές μηχανές. Στις ορεινές περιοχές της χώρας μας το μέσο κόστος χρήσης της γης είναι πολύ χαμηλότερο από το αντίστοιχο της Ευρώπης. Ούτε αυτός ο παράγοντας δηλαδή πριμοδοτεί την οικονομική ανταγωνιστικότητα της μεγάλης ανεμογεννήτριας απέναντι στα μικρότερα μοντέλα.

Τέλος, λόγω του ότι η αιολική ενέργεια συλλέγεται σε απόκεντρες περιοχές, η δυνατότητα απορρόφησης στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι περιορισμένη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις η οικονομία χώρου να μην έχει νόημα, αφού η χωρητικότητα του δικτύου είναι μικρότερη από την αιολικά εκμεταλλεύσιμη έκταση. [1]

Υπενθυμίζοντας ότι η σωστή επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας αποτελεί μια αρκετά σύνθετη διαδικασία, που πρέπει να λάβει υπόψη της πολλούς και

διαφορετικής φύσης παράγοντες, στη συνέχεια παρουσιάζουμε και σε συντομία τα τυπικά βήματα επιλογής της ακριβούς τοποθεσίας εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας.

Πιο συγκεκριμένα:

- Επιλέγουμε την ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος
- Εντοπίζουμε τις υποψήφιες περιοχές, που διαθέτουν αιολικό δυναμικό υψηλής ποιότητας
- Επιλέγουμε τις υποψήφιες θέσεις στις οποίες είναι δυνατή από τεχνικής πλευράς η εγκατάσταση ανεμοκινητήρων
- Επιλογή και επαλήθευση της τελικής θέσεως

Ο μέσος χρόνος εύρεσης, αξιολόγησης και τελικής επιλογής μιας θέσης είναι περίπου 18 με 24 μήνες. Για την τεκμηριωμένη επιλογή της θέσης εγκατάστασης, συνίσταται η χρήση πολυκριτηριακής μεθόδου αξιολόγησης των υποψήφιων περιοχών, που θα πρέπει να συμπληρώνεται από την απαραίτητη ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων. Στην περίπτωση αυτή καταγράφονται οι διάφοροι παράμετροι του προβλήματος και στη συνέχεια κατατάσσονται ανάλογα με τη σπουδαιότητα τους.

Παράμετροι επιλογής τοποθεσίας εγκατάστασης ανεμοκινητήρα

Το να προσδιορίσουμε μια τοποθεσία στην οποία πνέουν δυνατοί άνεμοι, δεν σημαίνει ότι βρήκαμε και τη βέλτιστη θέση για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας. Πολλές και σημαντικές είναι οι επιμέρους παράμετροι, που πρέπει να έχει υπόψη του ο μηχανικός, προκειμένου να καταλήξει στην επιλογή της οριστικής θέσης εγκατάστασης. Και η επιλογή αυτή θα είναι η βέλτιστη, μόνον εφόσον γίνει σωστή και λεπτομερής αξιολόγηση των παραμέτρων τούτων.

Οικονομική αξία

Ο σημαντικότερος στόχος μιας ανεμογεννήτριας είναι να μειώσει το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας γι' αυτό η οικονομική βιωσιμότητα είναι η πρωταρχική ιδιότητα για την αποδοχή ή όχι μιας θέσης. Επειδή η ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια μόνο όταν φυσάει άνεμος, χρησιμοποιείται συνήθως σαν «εξοικονομητής» καυσίμου.

Έτσι, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας ποικίλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους. Για να κρίνουμε επομένως την οικονομική βιωσιμότητα μιας θέσης ανεμογεννήτριας, χρειαζόμαστε πληροφορίες για το μέγεθος και τις διακυμάνσεις του ανέμου μέσα σ' ένα έτος.

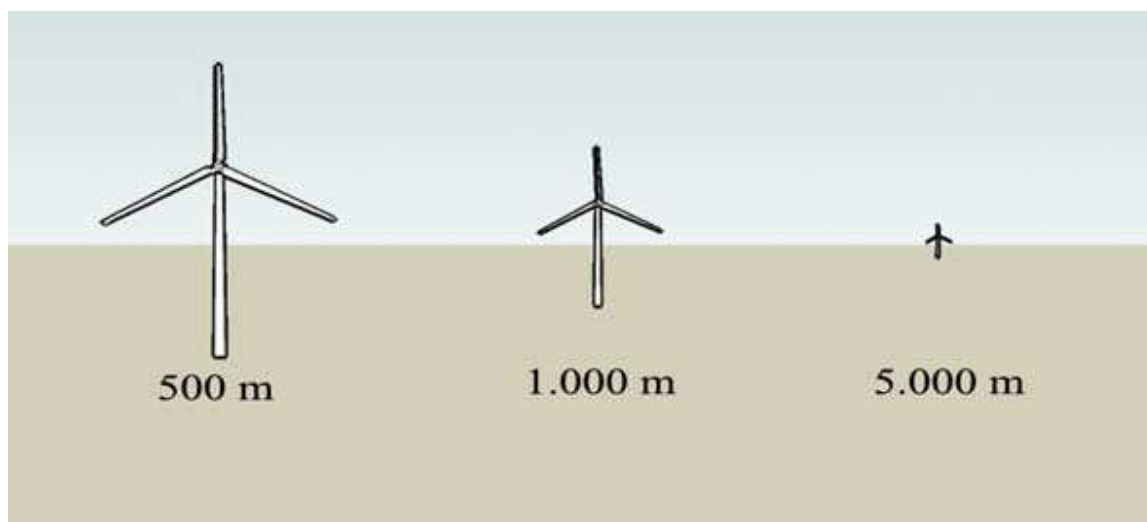
Ένας άλλος οικονομικός παράγοντας πρωταρχικού ενδιαφέροντος είναι το κόστος εγκατάστασης. Τούτο είναι αισθητά μειωμένο αν η εγκατάσταση γίνει κοντά σε υπάρχοντες δρόμους και γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιδράσεις στο περιβάλλον

Γενικά, οι επιδράσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον είναι πολύ μικρές. Ωστόσο, σε ορισμένες μεμονωμένες περιπτώσεις μπορεί η ανεμογεννήτρια να έχει αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Οι επιδράσεις που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι:

A. Οπτικοαισθητική επίδραση

Η εγκατάσταση μιας τεράστιας ανεμογεννήτριας σε μία όχι και τόσο ανοιχτή περιοχή δημιουργεί σε ορισμένους μια αρνητική οπτική εντύπωση. Αντίθετα η εγκατάσταση της ίδιας ανεμογεννήτριας σε μία αχανή έκταση περνάει σχεδόν απαρατήρητη.



Εικόνα 5.1 : Η επίδραση στην οπτική ενός τοπίου συναρτήσεως της απόστασης από τη θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.

Β. Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση

Το πρόβλημα της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης δημιουργείται από την ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια της πτερωτής.

Γ. Γενικοί κανονισμοί και περιορισμοί στη χρησιμοποίηση της γης

Όταν προσπαθούμε να βρούμε κατάλληλες θέσεις για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, πρέπει να έχουμε υπόψη μας κανονισμούς και νόμους που πιθανόν να εμποδίζουν τη χρησιμοποίηση γης για εγκατάσταση μεγάλων ανεμογεννητριών. Τέτοιοι νόμοι μπορεί να είναι σχετικοί με την προστασία του περιβάλλοντος, με την προστασία ιστορικών μνημείων και άλλων αρχαιολογικών χώρων .

Μετεωρολογικά προβλήματα

Κατά την επιλογή θέσεων για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών πρέπει να ληφθούν υπόψη πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες. Ορισμένες απ' αυτές μπορεί πράγματι να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στην κατασκευή. Άλλες πάλι απλώς επηρεάζουν το κόστος συντήρησης και τη διάρκεια ζωής της μηχανής.

A. Παγετός

Η δημιουργία παγετού μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία ανεμογεννήτριας με διάφορους τρόπους. Πρώτα απ' όλα η επικάθηση στις κατασκευές αυξάνει τα στατικά και δυναμικά τους φορτία. Ως εκ τούτου, όλα τα συστήματα της ανεμογεννήτριας και οι γραμμές μεταφοράς πρέπει να έχουν υπολογιστεί ώστε να αντέχουν αυτά τα φορτία. Επικαθήμενες σημαντικές ποσότητες πάγου στα πτερύγια, εκτός του ότι αυξάνεται το φορτίο τους, υπάρχει και ο κίνδυνος να εκτοξευθεί κάποιο κομμάτι πάγου καθώς τα πτερύγια στρέφονται. Σε περίπτωση λοιπόν παγετού θα πρέπει να σταματάμε τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας και να καθαρίζουμε τα πτερύγια. Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή που έχουμε επιλέξει εμφανίζει συχνά φαινόμενα παγετού. Ακόμα υπάρχει ο κίνδυνος, με το πάγωμα των ανεμόμετρων, να χαλάσουν τα συστήματα ελέγχου της ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 5.2 : Παγετός σε ανεμογεννήτρια

Καλό είναι λοιπόν κατά την εκλογή θέσης ανεμογεννήτριας να εκτιμάται από μετεωρολόγο η πιθανότητα και η συχνότητα εμφάνισης παγετών. Πρέπει να αποφεύγεται επίσης η επιλογή περιοχών που παρουσιάζουν υπερβολικές χιονοπτώσεις, γιατί αυξάνεται σημαντικά το κόστος

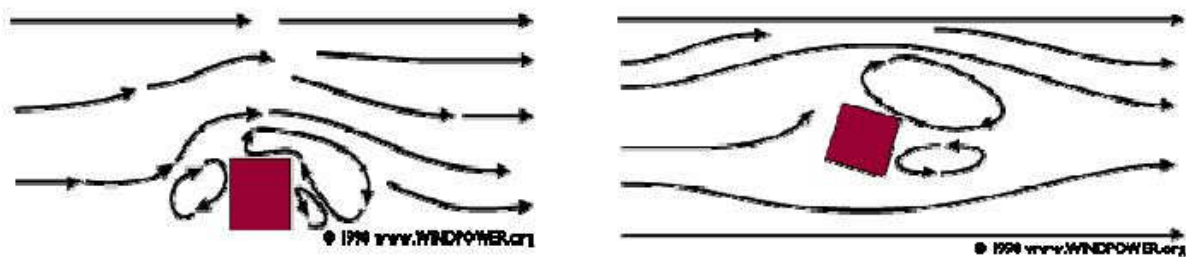
λειτουργίας και συντήρησης της ανεμογεννήτριας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή αποκλείεται συχνά από τα χιόνια.

B. Υπερβολικά ισχυροί άνεμοι

Η συχνότητα με την οποία παρουσιάζονται θυελλώδεις άνεμοι σε μία περιοχή, καθώς και η έντασή τους, μπορεί να υπολογιστεί από υπάρχοντα κλιματολογικά δεδομένα. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη για το σχεδιασμό κατάλληλης ανεμογεννήτριας που να λειτουργεί όταν επικρατούν τέτοιοι θυελλώδεις άνεμοι. Βλέπουμε λοιπόν ότι ανάλογα με τη θέση που επιλέγουμε μεταβάλλεται και ο τύπος της ανεμογεννήτριας που θα εγκαταστήσουμε. Επομένως μεταβάλλεται το κόστος κατασκευής αλλά και το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

Γ. Τύρβη

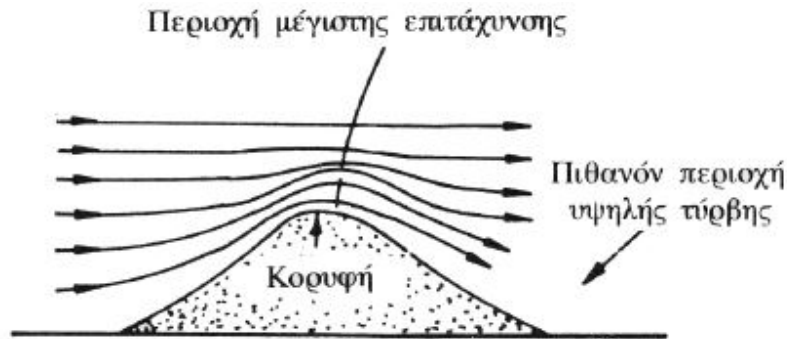
Σε μία τυρβώδη ροή, το άνυσμα της ταχύτητας σε κάθε σημείο του ρευστού, υφίσταται διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση. Αυτές οι διακυμάνσεις εκτείνονται σε μέγεθος και διάρκεια και μπορεί να προκαλέσουν κόπωση της κατασκευής.



Εικόνα 5.3 : Παραδείγματα τύρβης

Η τύρβη μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής ή το κόστος συντήρησης της μηχανής. Οι επιστήμονες γνωρίζουν ότι η τύρβη σε ροή πάνω από τραχύ, ανώμαλο έδαφος (βουνά, κοιλάδες, λόφοι κλπ.) είναι διαφορετική από αυτήν που παρατηρείται στη ροή πάνω από

επίπεδο, ομαλό έδαφος. Ωστόσο υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα που να αποσαφηνίζουν αυτές τις διαφορές.



Εικόνα 5.4 : Παραδείγματα τύρβης

Η μεγάλη πλειοψηφία των μετρήσεων έχει γίνει πάνω από επίπεδο έδαφος, όπου μπορούν να αναπτυχθούν απλές θεωρίες για να περιγράψουν τη συμπεριφορά της ροής. Αλλά και αν είχαμε μετρήσεις της τύρβης πάνω από ανώμαλο έδαφος, θα ήταν δύσκολο να εκτιμήσουμε την επίδρασή της στη διάρκεια ζωής και το κόστος συντήρησης της μηχανής. Κάτι τέτοιο απαιτεί περισσότερη εμπειρία, από τη λειτουργία μεγάλης ποικιλίας ανεμογεννητριών κάτω από ένα ευρύ φάσμα κλιματολογικών και τοπογραφικών συνθηκών. Προς το παρόν, θα ήταν επιθυμητό, να διαλέγουμε θέσεις με όσο το δυνατό χαμηλότερο επίπεδο τύρβης.

Υλικά μεταφερόμενα από τον αέρα

Ανεμογεννήτριες που πρόκειται να εγκατασταθούν σε παραθαλάσσιες περιοχές υπόκεινται σε διάβρωση επειδή ο αέρας σ' αυτές τις περιοχές περιέχει σημαντικές ποσότητες αλάτων. Πρέπει λοιπόν ορισμένα τμήματα της κατασκευής να προστατευθούν ώστε να διαθέτουν αντισκωρική προστασία.

Αν μια ανεμογεννήτρια είναι τοποθετημένη σε άγονη περιοχή, είναι πιθανό ο αέρας να μεταφέρει επάνω της σκόνη, άμμο, ψιλό χαλίκι κλπ. Τέτοια τραχιά υλικά μπορούν να προξενήσουν ζημιές στα πτερύγια, τα προστατευτικά καλύμματα, τα λιπαντικά και αλλού. Προκειμένου να επιτύχουμε ικανοποιητική συντήρηση της μηχανής κάτω από τέτοιες συνθήκες, απαιτούνται σχεδιαστικές τροποποιήσεις και ειδικές διαδικασίες συντήρησης.

Τέτοιες διαδικασίες και τροποποιήσεις αυξάνουν το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

Η σταθερότητα των ανέμων

Οι διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου κατά το χρονικό διάστημα μιας ώρας, σαφώς επηρεάζουν τη λειτουργία της μηχανής, ενώ μπορούν να επιδράσουν και στη διάρκεια ζωής της. Αλλά και οι αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου, στη διάρκεια μιας ώρας, επηρεάζουν τη λειτουργία και τη συμπεριφορά της μηχανής. Μια μελέτη της NASA πάνω στο μοντέλο ανεμογεννήτριας Clayton MOD-OA έδειξε ότι με την περιστροφή της μηχανής γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της (yawing), προκειμένου αυτή να παρακολουθεί τις αλλαγές της κατεύθυνσης του ανέμου, αναπτύσσονται σημαντικά καμπτικά φορτία στα πτερύγια της μηχανής.

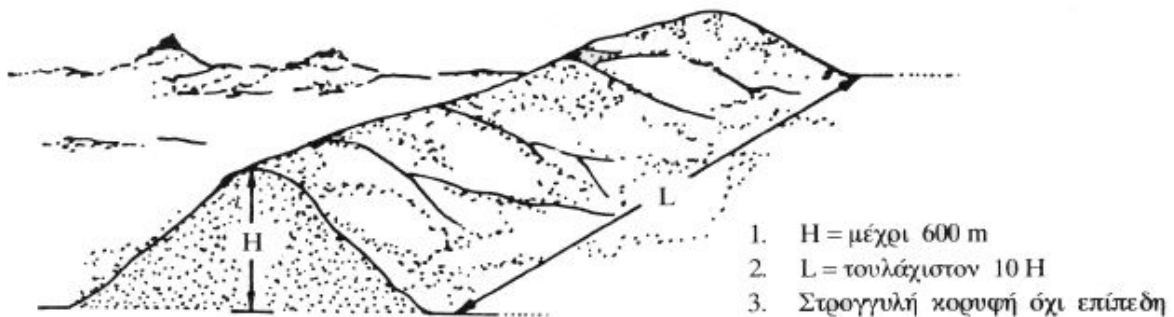
Είναι πολύ νωρίς να πούμε τι επίδραση έχει στη διάρκεια ζωής της μηχανής η συχνή περιστροφή της γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της. Είναι όμως φανερό ότι η λειτουργία μιας μηχανής σε μια θέση που παρουσιάζει συχνές αλλαγές στη διεύθυνση του ανέμου θα είναι μειονεκτικότερη μιας άλλης που είναι τοποθετημένη σε περιοχή με σταθερότερους ανέμους.

Ένα άλλο ενδιαφέρον αιολικό χαρακτηριστικό είναι η διαχρονική μεταβλητότητα δηλαδή η μεταβολή των αιολικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής από χρόνο σε χρόνο. Βέβαια οι από χρόνο σε χρόνο μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι συνήθως πολύ μικρότερες από τις εποχιακές ή ημερήσιες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου έτους. Όμως η διαχρονική μεταβλητότητα επηρεάζει οπωσδήποτε το μέσο κόστος της ενέργειας που παράγεται καθόλη τη διάρκεια ζωής της μηχανής. Ας μη ξεχνάμε ότι η μέση διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας είναι 20 χρόνια, διάστημα μέσα στο οποίο η διαχρονική μεταβλητότητα μπορεί να είναι σημαντική. Έτσι, η διαχρονική μεταβλητότητα μπορεί να αποδειχθεί επικίνδυνη αν οι αποφάσεις για την επιλογή τοποθεσίας στηριχτούν σε δεδομένα ενός «άσχημου ή πολύ καλού αιολικού έτους».

Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής

Η διαμόρφωση του πεδίου ταχύτητας επηρεάζεται μεν από την τραχύτητα του εδάφους και τα επιφανειακά εμπόδια, πλην όμως μεγαλύτερη επίδραση έχουν οι εδαφολογικές ιδιομορφίες στην περιοχή της πιθανής θέσης εγκατάστασης μιας αιολικής μηχανής. Για ακριβέστερες αναλύσεις απαιτείται η μελέτη του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής είτε υπό κλίμακα σε αεροδυναμική σήραγγα είτε με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων πλήρους ανάλυσης του πεδίου ροής.

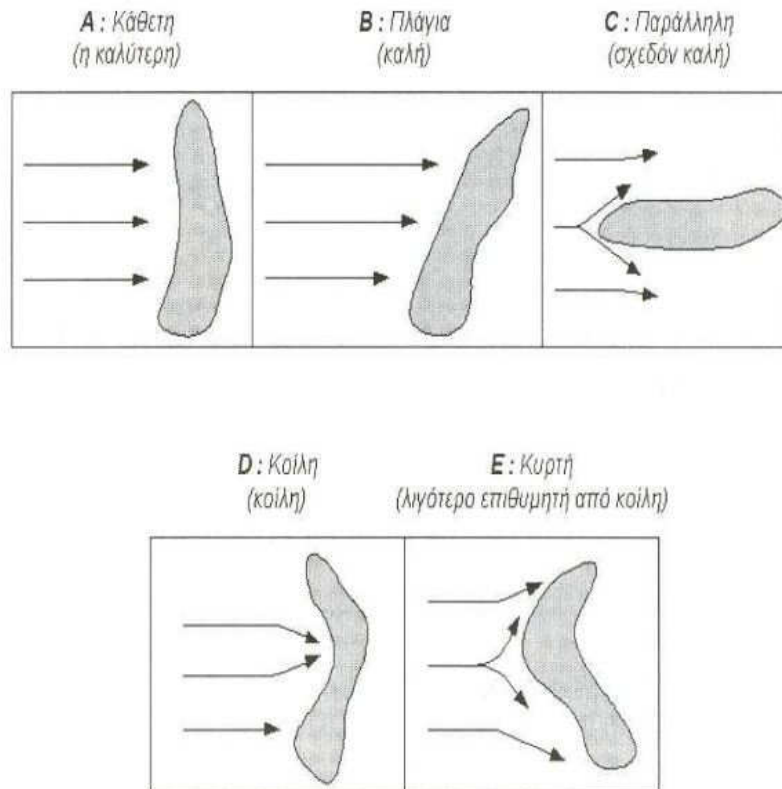
Η έννοια της λοφοσειράς λαμβάνεται κάθετη στην επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 5.5 : Βέλτιστη τοποθεσία εγκατάστασης σε κορυφογραμμή (υψομετρικά)

Το μέγιστο ύψος της λοφοσειράς δεν υπερβαίνει τα εξακόσια (600 m) 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.

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

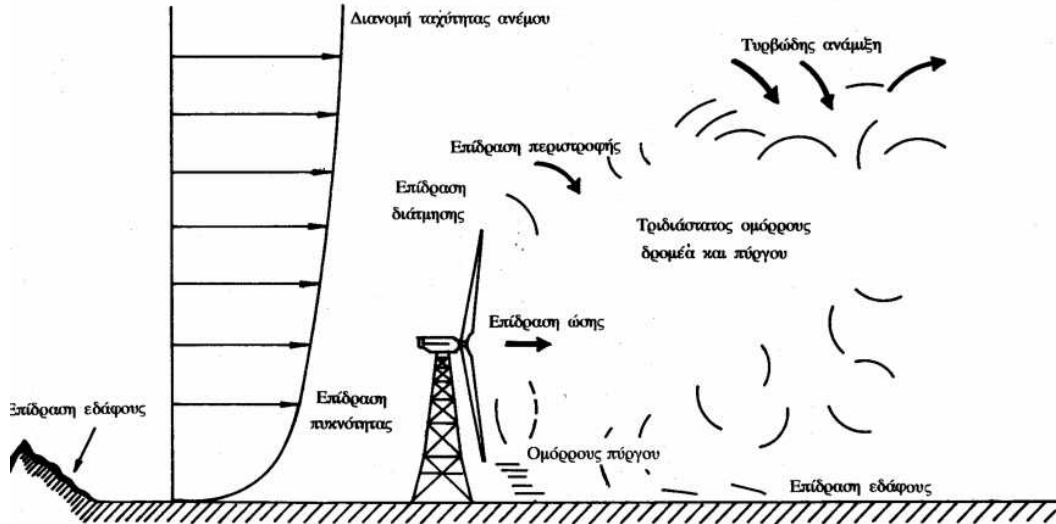


Εικόνα 5.6 : Βέλτιστη τοποθεσία εγκατάστασης σε κορυφογραμμή (κάτοψη)

Διάταξη τοποθέτησης ανεμογεννητριών

Η θέση εγκατάστασης αιολικών μηχανών, η διάταξη μεταξύ τους και σε σχέση με την επικρατούσα διεύθυνση ανέμου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αντικείμενα μελέτης στοχεύοντας στην ελαχιστοποίηση της αλληλεπίδρασης των ανεμογεννητριών που μπορούν να εγκατασταθούν σε δεδομένη έκταση και στην μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του αιολικού πάρκου.

Η ενεργειακή απόδοση αιολικού πάρκου εξαρτάται από το ρυθμό ανάπτυξης όμορου (Σχ. 5.7) και την ενέργεια του ομόρου όταν φτάσει στη πίσω αιολική μηχανή.

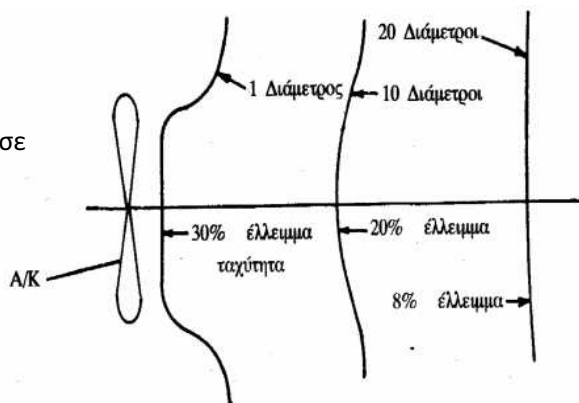


Εικόνα 5.7 :Πεδίο ροής όμορου

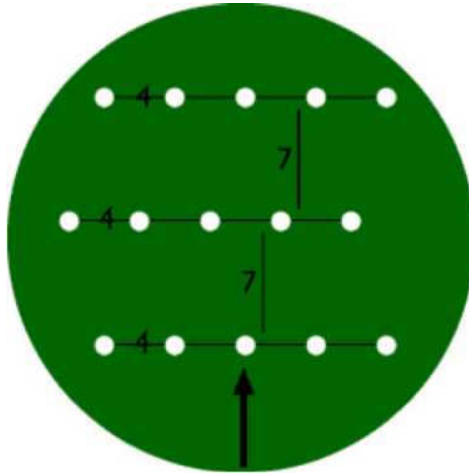
Η φύση της ροής του ομόρου επηρεάζεται από την ώθηση που ασκείται από τη σαρωτή στο ρευστό. Ο όμορος δεν είναι αξονοσυμμετρικός (λόγω της ύπαρξης του πύργου) για τις μηχανές οριζόντιου άξονα. Η ταχύτητα ανέμου σε διαδοχικές σειρές αιολικών μηχανών φθίνει με γεωμετρική πρόοδο.

ανεμογεννήτρια επιβραδύνει τον αέρα που προσπίπτει σε αυτή και δημιουργείται ένα όμορος χαμηλής ταχύτητας που ανοίγει βαθμιαία λόγω συνεκτικής και τυρβώδους ανάμιξης. Αν αυτό το ρεύμα αέρα συναντήσει δεύτερη ανεμογεννήτρια πριν ολοκληρωθεί η επαναφορά του στις τιμές πριν από την πρόσπτωση με την ανεμογεννήτρια, τότε η απόδοση της δεύτερης ανεμογεννήτριας μειώνεται αισθητά. Η απόδοση της δεύτερης μηχανής εξαρτάται από τη θέση της ως προς την πρώτη.

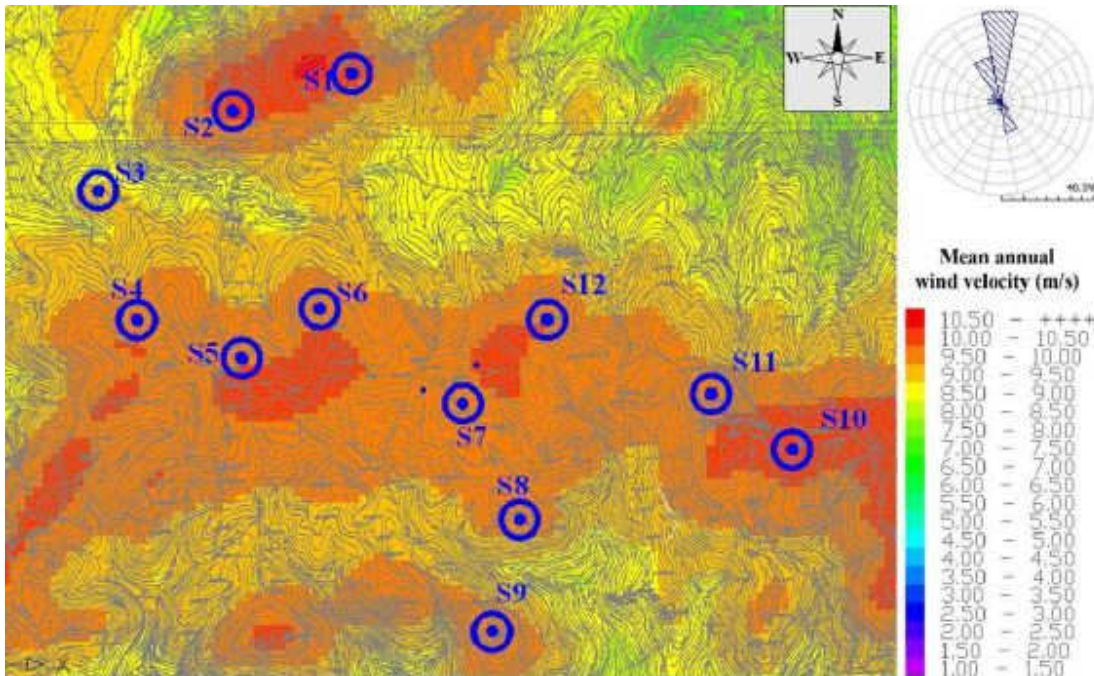
Εικόνα 5.8 : Διανομή ταχυτήτων σε διάφορες αποστάσεις



Ο κενός χώρος σε μια συστοιχία δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 2-4 διαμέτρους σαρωτής και ο κενός χώρος μεταξύ των συστοιχιών δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 7-10 διαμέτρους σαρωτής. (Σχ. 5.9)



Εικόνα 5.9 : Χωροθέτηση ανεμογεννητριών



Εικόνα 5.10 : Παράδειγμα χωροθέτησης ανεμογεννητριών

Αποδοχή από την πλευρά του κοινού

Σε τελευταία ανάλυση, η επιτυχής επιλογή μιας τοποθεσίας για την εγκατάσταση ανεμογεννήτριας εξαρτάται από την αποδοχή της από την κοινή γνώμη. Το κοινό πρέπει να νιώσει ότι τα έργα υποδομής που θα γίνουν για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας δεν θα αλλοιώσουν το τοπίο και η ανεμογεννήτρια που θα εγκατασταθεί θα ταιριάζει με το σκηνικό των γύρω περιοχών. Η στάση του κοινού επηρεάζεται τόσο από τις αντιλήψεις του για τις ανεμογεννήτριες γενικά, όσο και από τις αντιλήψεις του για τα οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν από την εγκατάσταση ανεμογεννήτριας στην συγκεκριμένη θέση.

Προς το παρόν οι αντιλήψεις της πλειονότητας του κοινού για τις ανεμογεννήτριες είναι θετικές αφού αυτές δεν μολύνουν το περιβάλλον, χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και εξοικονομούν καύσιμα.

Τελειώνοντας να αναφέρουμε ότι όλες σχεδόν οι παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω, έχουν επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της όλης κατασκευής γι' αυτό και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά την επιλογή θέσης εγκατάστασης ανεμογεννητριών.

Θα πρέπει όμως να έχουμε υπόψη μας ότι υπάρχει πάντα το στοιχείο του ρίσκου στην εκλογή θέσεων ανεμογεννητριών. Τα μετεωρολογικά φαινόμενα βρίσκονται σε μία κατάσταση διαρκούς μεταβολής. Όσο προσεκτικές μετρήσεις και αν έχουμε πάρει, όσο κι αν έχουν γίνει σοβαρές μελέτες των τοπογραφικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής, είναι πιθανό η απόφαση που θα παρθεί για τη θέση της εγκατάστασης να μην είναι η ορθή. Η πιθανότητα όμως αυτή είναι μικρή, σκοπός μας δε είναι να την εξαλείψουμε.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΕΡΓΑΣΙΩΝ

Παρακάτω θα αναφερθούμε επιγραμματικά στις εργασίες στις οποίες χωρίζεται ένα αιολικό πάρκο.

- Οδοποιία
- Πλατείες Ανέγερσης
- Θεμελίωση
- Υποσταθμοί
- Κτίριο ελέγχου
- Τηλεπικοινωνίες
- Σύστημα Τηλεπαρακολούθησης- Τηλεελεγχου (SCADA)
- Σύνδεση με το δίκτυο υψηλής τάσης

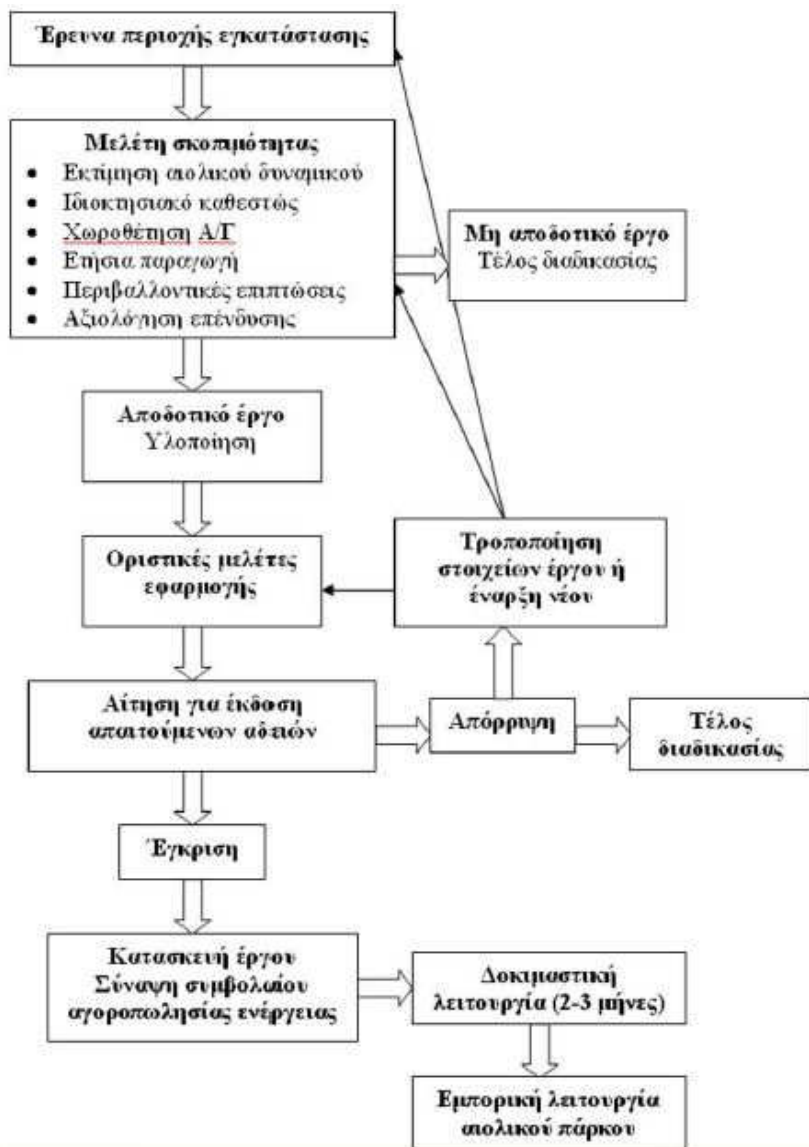
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

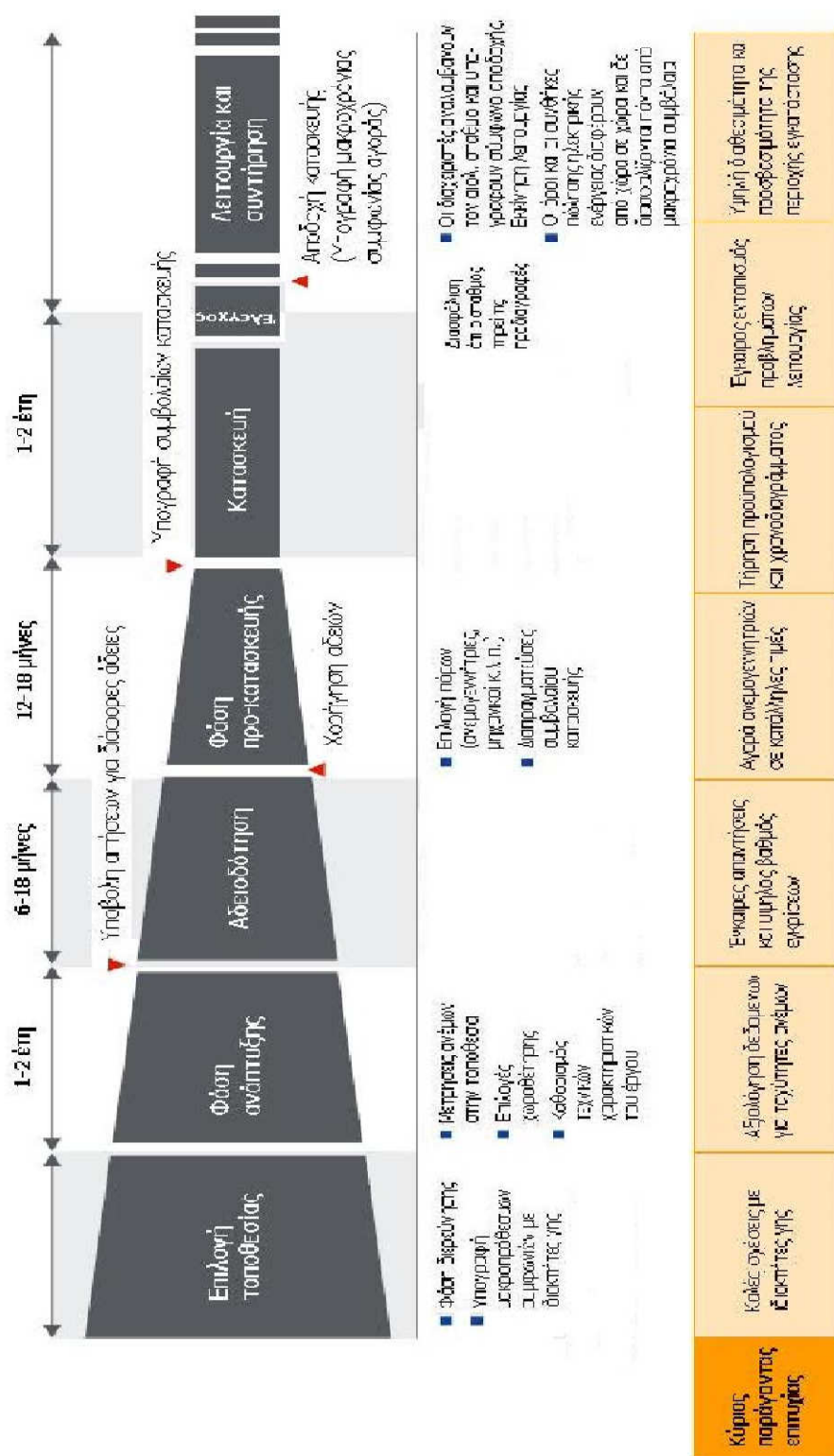
Τεχνικοοικονομική μελέτη

Για την ανάπτυξη και λειτουργία ενός αιολικού πάρκου, μπορούμε να διακρίνουμε τις εξής 4 φάσεις:

- Μελέτη σκοπιμότητας και εκκίνηση του έργου (1,5 – 3,5 έτη)
- Προκατασκευαστική περίοδος (1,0 -1,5 έτη)
- Κατασκευαστική περίοδος (1,0 – 2,0έτη)
- Λειτουργία και συντήρηση



Εικόνα 6.1 : Οργανόγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης



RWE Group - Factbook Renewable Energy (Δεκέμβριος 2009).

Εικόνα 6.2 : Οργανόγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης

Βασικοί Παράμετροι έργου

- Αριθμός και τύπος ανεμογεννητριών
- Τοποθεσία (προαναφέρθηκαν και σε προηγούμενο κεφάλαιο)
 1. Αιολικό δυναμικό της κάθε περιοχής
 2. Εγγύτητα διασύνδεσης με δίκτυο Η. Ε.
 3. Προσβασιμότητα
 4. Περιορισμοί πολεοδομικών κανονισμών (τοπικοί, περιφερειακοί & εθνικοί)
 5. Ιδιοκτησία εκτάσεων
 6. Αντιδράσεις κατοίκων περιοχής

Γνωρίζοντας από το προηγούμενο κεφάλαιο τις ελάχιστες αποστάσεις που χρειάζονται, είμαστε σε θέση να γνωρίζουμε την συνολική επιφάνεια του έργου. Παράλληλα, λαμβάνεται υπόψη η εκάστοτε νομοθεσία που θέτει τα όρια για την εγκατάσταση των Α/Γ σε σχέση με:

- κατοικημένες περιοχές
- βιομηχανικές περιοχές
- περιοχές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, φυσικού κάλους κλπ.

Έτσι ξέρουμε και τις ζώνες ασφαλείας που δημιουργούνται από τις Α/Γ.

Η ποσοστιαία συμμετοχή στο συνολικό κόστος στοιχείων κατασκευής ενός αιολικού πάρκου 10MW εκτιμώνται:

Στοιχεία κατασκευής	% συνολικού κόστους
Ανεμογεννήτρια	65
Εργα Πολιτικού Μηχανικού (συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης)	13
Υποδομή ηλεκτρικών έργων	8
Σύνδεση στο δίκτυο	6
Κόστος διαχείρισης	8

Αναλυτικότερα έχουμε:

- μελέτη σκοπιμότητας
- ανάπτυξη του έργου
- μηχανολογικά
- σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- ισοζύγιο του συστήματος
- διάφορα έξοδα
- ετήσια κόστη
- περιοδικά κόστη

Αρχικά χρειάζεται να αναφερθεί ότι όλα τα παρακάτω είναι εκτιμώμενες τιμές βάσει οικονομοτεχνικών μελετών και στατιστικών δεδομένων, και είναι ενδεικτικά.

Μελέτη σκοπιμότητας

Το πρώτο βήμα ενός επενδυτή πριν ξεκινήσει να υλοποιεί ένα έργο είναι να πραγματοποιεί μια μελέτη σκοπιμότητας. Η μελέτη αυτή γίνεται για να διαπιστωθεί αν το έργο είναι οικονομικά βιώσιμο ενώ αποτελεί για τον επενδυτή ένα αναγκαίο αρχικό κόστος. Στην περίπτωση που παρατηρηθεί από τη μελέτη υψηλό κέρδος, τότε ο επενδυτής συνεχίζει με την περάτωση του έργου. Σε αντίθετη περίπτωση, εκεί όπου δηλαδή παρουσιάζεται μικρό ή μηδενικό κέρδος είτε ακόμα και ζημία τότε ο επενδυτής λαμβάνοντας υπόψη τα αποτελέσματα της μελέτης δεν θα προχωρήσει στην πραγματοποίηση του έργου. Στα έξοδα της μελέτης σκοπιμότητας υπάγεται η διερεύνηση του χώρου, η περιβαλλοντική αξιολόγηση, ο προκαταρκτικός σχεδιασμός, η αναλυτική εκτίμηση κόστους, η διαχείριση του έργου καθώς και έξοδα ταξιδιών που δύνανται να προκύψουν. Τα συνολικό ποσό των προαναφερθέντων εξόδων θα αντιστοιχεί σε 300.000€ όσο αφορά τη παρούσα εργασία. Το μεγαλύτερο ποσοστό κόστους καταλαμβάνει η μέτρηση και αξιολόγηση των φυσικών πηγών γιατί τα αποτελέσματα της πρέπει να είναι κατά πολύ μεγάλο ποσοστό έγκυρα μιας και είναι εκείνα τα οποία θα κρίνουν τη πιθανότητα πραγματοποίησης του έργου. Ένας ή και περισσότεροι μετεωρολογικοί σταθμοί είναι αναγκαίοι να εγκατασταθούν στην περιοχή

ενδιαφέροντος για τη συλλογή όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστων μετρήσεων σε διάστημα ενός έτους ή και ακόμα περισσότερων.

Ανάπτυξη του έργου

Το δεύτερο ποσό εξόδων αφορά την ανάπτυξη του έργου στο οποίο υπάγονται: οι διαπραγματεύσεις για τα συμβόλαια, οι ενέργειες για τις άδειες, τα δικαιώματα της γης που θα χρησιμοποιηθεί, διάφορες νομικές και λογιστικές υπηρεσίες καθώς και έξοδα ταξιδιών που δύνανται να προκύψουν. Εάν ο επενδυτής δεν έχει ήδη στη κυριότητά του την έκταση γης όπου θα γίνει η εγκατάσταση του έργου τότε το μεγαλύτερο ποσοστό κόστους θα καταλαμβάνουν οι ενέργειες για τις άδειες απόκτησης έκτασης γης. Ας θεωρήσουμε ότι ο επενδυτής έχει στην κυριότητα του την άδεια για να χρησιμοποιήσει την γη.

Μηχανολογικά

Ένα επιπλέον έξοδο είναι και αυτό που σχετίζεται με το μηχανολογικό τομέα το οποίο προκύπτει από τον σχεδιασμό των κτιρίων, τον μηχανολογικό, ηλεκτρολογικό και οικοδομικό σχεδιασμό, τη προκήρυξη διαγωνισμών, την υπογραφή συμβάσεων καθώς και την επίβλεψη του έργου. Από όλα τα προαναφερθέντα έξοδα το μεγαλύτερο μερίδιο κόστους καταλαμβάνει η συνεχής επίβλεψη του μηχανικού κατά τη διάρκεια περάτωσης του έργου, καθώς η παρουσία του καθίσταται αναγκαία καθ' όλη τη διάρκεια των εργασιών.

Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί το μεγαλύτερο κόστος όσο αφορά τη κατασκευή ενός αιολικού πάρκου. Το υψηλό κόστος είναι αποτέλεσμα της αγοράς των ανεμογεννητριών, της μεταφοράς τους, των ανταλλακτικών όπως και άλλων μη προσδοκώμενων εξόδων που δύνανται να προκύψουν. Σε πρώτο στάδιο αξίζει να αναφερθεί ότι το κόστος της ανεμογεννήτριας διαφέρει ανάλογα με τη κατασκευάστρια εταιρία. Τρία είδη ανεμογεννητριών, κοστολογούνται βάσει εκτίμησης ως εξής:

Κατασκευάστρια εταιρεία	Ευρώ (€) / KW	Τελική τιμή για 36MW
Enercon	1000€	36.000.000€
Vestas	900€	32.400.000€
Sinovel	800€	28.800.000€

Πίνακας 6.3 Τιμολόγηση ανεμογεννητριών

Ωστόσο η παραγγελία θα περιλαμβάνει τόσο τις ανεμογεννήτριες όσο και τα ανταλλακτικά τα οποία αφορούν τα κινητά της μέρη, όπως για παράδειγμα τα πτερύγια. Το κόστος των ανταλλακτικών καταλαμβάνει κατά προσέγγιση το 3% του συνολικού ποσού που θα δοθεί για τις ανεμογεννήτριες.

Η μεταφορά των ανεμογεννητριών στην τοποθεσία που θα εγκατασταθούν αποτελεί ένα ακόμα μεγάλο έξοδο. Το κόστος μεταφοράς των ανεμογεννητριών μπορεί να εκτιμηθεί περίπου 1.200.000-1.500.000€. Η παραπάνω διαφοροποίηση των εξόδων μεταφοράς έγκειται στην απόσταση και στα μέσα μεταφοράς που θα χρησιμοποιηθούν.

Ισοζύγιο του συστήματος

Το ισοζύγιο του συστήματος είναι εκείνο το οποίο περιλαμβάνει τις υπολειπόμενες εργασίες οι οποίες είναι απαραίτητες για την εγκατάσταση του έργου. Τα επιπλέον έξοδα που θα χρειαστούν είναι αυτά που σχετίζονται με την ανέγερση των ανεμογεννητριών, τα έργα οδοποιίας, τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρισμού και τον υποσταθμό. Για την ανέγερση των ανεμογεννητριών υπολογίζεται ένα κόστος περίπου στα 1.500.000€, ενώ για τα έργα οδοποιίας με ενδεικτική απόσταση 10 χιλιομέτρων το κόστος ανέρχεται στα 50.000€. Οι γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρισμού δίνουν ένα κόστος της τάξης των 90.000€ ανά χιλιόμετρο. Η συγκεκριμένη υψηλή τιμή είναι απόρροια του γεγονότος ότι θα χρησιμοποιηθεί καλώδιο υψηλής τάσης των 150 KV. Οι γραμμές μεταφοράς ενώνουν τον υποσταθμό με το δίκτυο υψηλής τάσης που βρίσκεται στην περιοχή. Στην συγκεκριμένη μελέτη υπολογίζονται έργα σχετικά με τη μεταφορά του ηλεκτρισμού απόστασης 10 χιλιομέτρων, τα οποία θα κοστίσουν 900.000€.

Το αιολικό πάρκο, θα συνδεθεί με υποσταθμό υψηλής τάσης, κάτι το οποίο αυτόματα συνεπάγει σε πιο υψηλό κόστος. Αναλογικά ο υποσταθμός ενός τέτοιου θα κοστίσει περίπου 5.000.000€. Επομένως τα συνολικά έξοδα για το ισοζύγιο του συστήματος ανέρχονται σε 7.450.000€.

Απρόβλεπτα

Πέραν των αρχικών εξόδων που δύνανται να υπολογιστούν από την αρχή, προκύπτουν και κάποια κατά την διάρκεια του έργου. Τα έξοδα αυτά είναι δύσκολο να υπολογιστούν πρωτύτερα γεγονός το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να υπολογίζεται κατά προσέγγιση ένα επιπλέον ποσοστό της τάξεως έως και 10% στο συνολικό ποσό των εξόδων. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα σφάλματος ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η πιθανότητα εγκυρότερης προσέγγισης του ποσού των εξόδων. Ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια στην μελέτη επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό της μεταβολής της αξίας του χρήματος κατά την διάρκεια κατασκευής του αιολικού πάρκου.

Ετήσια Κόστη

Δεν πρέπει θεωρηθούν αμελητέα τα ετήσια κόστη για την συντήρηση του έργου. Τα συγκεκριμένα έξοδα είναι η μίσθωση της γης, ο φόρος ιδιοκτησίας, τα ασφάλιστρα, το εργατικό δυναμικό, η συντήρηση των γραμμών, τα ανταλλακτικά και τα έξοδα ταξιδιών. Το ποσό της τάξης του 1.000.000€ αντιστοιχεί στα ανωτέρω έξοδα. Μεγαλύτερη ακρίβεια επιτυγχάνεται με την 10% αύξηση του προαναφερθέντος ποσού, ποσοστό το οποίο εντάσσονται όλα τα μη προσδοκώμενα έξοδα.

Περιοδικά Κόστη

Ωστόσο ορισμένες εργασίες οι οποίες αφορούν την συντήρηση του έργου είναι προγραμματισμένες να γίνουν μετά το πέρας συγκεκριμένων ετών λειτουργίας του. Μια τέτοιου είδους εργασία είναι η ανά δεκαετία αλλαγή του συστήματος μετάδοσης της ανεμογεννήτριας η οποία μάλιστα περιλαμβάνει τους άξονες, το κιβώτιο ταχυτήτων, το μηχανικό φρένο και τα στρεφόμενα μέρη της γεννήτριας. Η αλλαγή του συστήματος μετάδοσης της ανεμογεννήτριας έχει κοστολογηθεί στο 20% της συνολικής τιμής της ανεμογεννήτριας. Ακολούθως το συγκεκριμένο

κόστος για την ανεμογεννήτρια Enercon E82 θα είναι 7.200.000€, για την ανεμογεννήτρια Vestas V90 το κόστος είναι 6.480.000€ και για την Sinovel SL3000 (100 & 115m διάμετρος πτερωτής) το κόστος είναι 5.760.000€.^[5]

Μείωση εκπομπών του CO₂



Εικόνα 6.3 ΠΗΓΗ: SOLARENERGY.GR

Λαμβάνοντας υπόψη την παραγωγή των ανεμογεννητριών του 2010, η αιολική ενέργεια απέφυγε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα συνολικού όγκου 126Mt, μέσα στο 2010 που είναι το πιο σημαντικό αέριο του θερμοκηπίου.

Υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι για τον υπολογισμό των αποφευγμένων εκπομπών του CO₂ μέσω της αιολικής ενέργειας και όλες εξαρτώνται από τις αρχικές υποθέσεις σχετικά με το ποια καύσιμα μετατοπίζονται κατά τη διάρκεια της ηλεκτροπαραγωγής.

Το ενεργειακό μείγμα μαζί με το φορτίο βάσεων είναι διαφορετικό μεταξύ των κρατών μελών, γι' αυτό και το ιδανικότερο είναι το ποσοστό των αποφευγμένων εκπομπών CO₂ να υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε κράτος-μέλος.

Η αιολική ενέργεια δεν αντικαθιστά την πυρηνική ενέργεια που είναι άκαμπτη, αλλά ούτε και την υδροηλεκτρική ενέργεια καθώς είναι χρήσιμη ως μια αποθηκευτική τεχνολογία ηλεκτρισμού.

Συνολικά για την Ευρωπαϊκή Ένωση θεωρείται ότι για κάθε kWh παραγόμενης ενέργειας από την αιολική ενέργεια, μετατοπίζεται μια kWh από το ενεργειακό μείγμα πετρελαίου, φυσικού αερίου και άνθρακα.

Αυτή η προσέγγιση υποτιμά σίγουρα τις αποφευγμένες εκπομπές CO₂ από την αιολική ενέργεια, επειδή η αιολική ενέργεια αποφεύγει τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα και όχι το μέσο όρο μικτής παραγωγής.

Το ενεργειακό μείγμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναμένεται να αλλάξει μέχρι το 2030. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, οι θερμοηλεκτρικοί σταθμοί στην Ευρώπη παρήγαγαν μέσα στο 2010 1.871TWh ενέργειας και οι εκπομπές του CO₂ ανήλθαν σε 1.302Mt. Λαμβάνοντας υπόψη αυτό, το 2010 1TWh αιολικής ενέργειας αποθήκευσε 0.696Mt διοξειδίου του άνθρακα.

Ακολουθώντας την ίδια προσέγγιση και τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για τα έτη 2015, 2020, 2025 και 2030 και την εφαρμογή γραμμικής παλινδρόμησης για τα ενδιάμεσα έτη, γίνεται ο υπολογισμός για τις αποφευγμένες εκπομπές CO₂. Έτσι υποτίθεται ότι η αιολική ενέργεια θα αποφύγει 0.588Mt CO₂/TWh το 2020, ενώ το 2030 0.560Mt CO₂/TWh.

Μετά το βασικό σενάριο της EWEA, οι ετήσιες αποφευγμένες εκπομπές CO₂ από την αιολική θα σημειώσουν αύξηση σε 342Mt το 2020 και σε 646Mt το 2030.

Σε μια τιμή CO₂ των 25€ ανά τόνο, η αιολική ενέργεια απέφυγε 3.100.000.000€ στο κόστος του άνθρακα κατά το 2010. Η αιολική ενέργεια εκτιμάται ότι θα αποφύγει κόστος του άνθρακα κατά 8.500.000.000€ το 2020 και 25.800.000.000€ το 2030, υποθέτοντας ότι η τιμή του CO₂ θα φτάσει τα 40€ ανά τόνο.

Η δέσμευση της Ευρωπαϊκής Ένωσης των 15, στο Κιότο το 1997 ήταν να μειώσει κατά τα 8% τις εκπομπές αερίων την χρονική περίοδο 2008-2012, σε σύγκριση με τα επίπεδα το 1990.

Με βάση τη συμφωνία κάθε ένα από τα 15 κράτη-μέλη, ως αποτέλεσμα μιας προσέγγισης επιμερισμού των βαρών, έχει διαφορετικό στόχο. Οι στόχοι των νέων κρατών μελών τίθενται "ατομικά" σε 8%, εκτός από την Πολωνία και την Ουγγαρία που ο στόχος του ποσοστού μείωσης των αερίων θερμοκηπίου είναι 6%.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παραπάνω εργασία μπορεί κάποιος πολύ εύκολα να καταλάβει πως η στροφή στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι μονόδρομος, είτε γιατί εξαντλούνται αποθέματα συμβατικών μορφών ενέργειας, είτε γιατί τα τελικά κόστη στη ρύπανση του περιβάλλοντος είναι αναπόφευκτα και μη αναστρέψιμα.

Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας, είναι ένα πολύ δυνατό «χαρτί» της χώρας, ειδικά τώρα σε μια περίοδο κρίσης και αβεβαιότητας. Σαφώς και δε μπορούμε να ισχυριστούμε πως η πράσινη ανάπτυξη δεν είναι η μοναδική η οποία θα ανατρέψει το καθεστώς της οικονομίας στο οποίο ζούμε, αλλά μπορεί να προσφέρει από δυνατότητες ανάπτυξης, θέσεις εργασίας, έσοδα από φορολογία και το βασικότερο, χαμηλότερο αποτύπωμα άνθρακα στην ευρωπαϊκή ένωση.

Δυστυχώς πολλές φορές η πράσινη ανάπτυξη γίνεται αφορμή για την υπερβολή, σε βαθμό καταστροφής, της φυσικής ομορφιάς και του περιβάλλοντος, ειδικά σε περιοχές όπου το μόνο που υπάρχει είναι αυτό και οι κάτοικοι προσπαθούν να το εκμεταλλευτούν για να επιβιώσουν, βλέπε παράδειγμα της Σερίφου, όπου ένα μικρό νησί μικρό είχε μελετηθεί να «φιλοξενήσει» πάνω από 200MW σχεδόν σε όλες τις κορυφογραμμές της.

Μαζί με την εκμετάλλευση της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας (φωτοβολταϊκά) η αιολική ενέργεια είναι μία από τις μεγαλύτερες αγορές ανανεώσιμων πηγών. Από τα βασικά μειονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όμως, των άμεσα εκμεταλλεύσιμων, ειδικά ηλιακής και αιολικής είναι η αποθήκευση ενέργειας, τομέας πάνω στον οποίο εργάζονται να βρουν λύση πολλές χώρες είτε με αποθήκευση θερμότητας, είτε με αντλιοταμείωση είτε με αποθήκευση πεπιεσμένου αέρα σε τεράστιες δεξαμενές. Για τον παραπάνω λόγο είναι ακόμα δύσκολη η πορεία προς μία εποχή με αποκλειστική χρήση μόνο ανανεώσιμων πηγών, κάτι το οποίο με τη χρήση των νέων τεχνολογιών μπορεί και να επιτευχθεί, αρκεί ο στόχος να είναι προς τα εκεί.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- «Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας», Ιωάννης Κλεάνθη Καλδέλλης, Εκδόσεις: Σταμούλη Α.Ε., 1999
- «Ανεμοκινητήρες» Γ. Μπεργελές, Εκδόσεις Συμεών , 1994
- Αιολική Ενέργεια - Σχεδιάζοντας στις Αυλές των ανέμων, Δρ. Δημήτρης Β.Κανελλόπουλος, Εκδόσεις: ΙΩΝ
- «Μελέτη περίπτωσης – Αιολικό Πάρκο (Τεχνοοικονομική αξιολόγηση), Αλέξανδρος Φλάμος, Ενεργειακές Τεχνολογίες Αειφορία και Περιβάλλον, Πανεπιστήμιο Πειραιά
- «Αιολική Ενέργεια και εφαρμογές της», Γεωργαλάς Χρήστος, Πανεπιστήμιο Πατρών
- «Αιολικά πάρκα», Δρ.Δαγκαλίδης Αθανάσιος, Κλαδική Μελέτη Τράπεζας Πειραιώς, 2010
- «Κατάλληλο και Εκμεταλεύσιμο Αιολικό Δυναμικό», Δρ. Μπαξεβάνου Κατερίνα, Μηχ/γος-Μηχ/κος ΚΕΤΕΑΘ
- «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας – Αιολική ενέργεια», Κατσαπρακάκης Δημήτρης, Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας ΤΕΙ Κρήτης
- «Μελέτη σκοπιμότητας για την ανάπτυξη αιολικής ενέργειας στην Σέριφο», Παρθενίδης Θεόδωρος, Διπλωματική εργασία Α.Π.Θ. – Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ
- «Αιολική Ενέργεια – αποφεύγοντας τους σκοπέλους και τις παγίδες», Πληθάρας Αχιλλέας, Υπεύθυνος Εκστρατειών WWF Ελλάς
- «Μελέτη ανάπτυξης αιολικού πάρκου στην Κρήτη», Taulant Shembilli, Πτυχιακή εργασία ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ, Τμήμα Μηχανολογίας, 2010
- «Μελέτη αιολικού δυναμικού και μοντελοποίηση αιολικού πάρκου», Κατσανεβάκης Μάρκος Πτυχιακή εργασία ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ, Τμήμα Ηλεκτρολογίας
- Wind Energy: Fundamentals, Resource Analysis And Economics, Sathyajith Mathew, Springer Editions

ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΕΣ

- www.cres.gr, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας

- www.eletaen.gr , Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας
- www.ewea.gr , European Wind Energy Association
- www.hellasres.gr , Ελληνικός σύνδεσμος Ηλεκτροπαραγωγών από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
- www.rwe.com, RWE Group
- <http://www.africantechologyforum.com>, WIND ENERGY HARNESSING - THEORY AND THE ETHIOPIAN EXPERIENCE ,Teferi Taye,Senior Mechanical Engineer
- <http://www.renewablesb2b.com>, German-Hellenic Chamber of Industry and Commerce for Renewable energy
- <http://www.ullesthorpewindmill.org.uk>
- http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_turbine_aerodynamics