



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ ΣΧΟΛΗ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

‘ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ’



ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΡΟΥΖΟΣ 7502  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2022



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ/ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η ανάλυση και μελέτη των αιολικών πάρκων και ανεμογεννητριών. Αρχικά αναφέρονται περιληπτικά οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και στην συνέχεια αναλύεται διεξοδικά η Αιολική. Η ανάπτυξη της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας γίνεται σε 6 ενότητες ως εξής: Στην πρώτη ενότητα γίνεται μια γενική εισαγωγή σε όλες τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Η Δεύτερη ενότητα περιλαμβάνει τα κύρια χαρακτηριστικά του ανέμου καθώς και του τρόπους μέτρησης του αιολικού δυναμικού. Στην Τρίτη Ενότητα γίνεται μια λεπτομερής ανάλυση των Ανεμογεννητριών. Στην συνέχεια πηγαίνοντας στην τέταρτη παράγραφο περιγράφονται οι λειτουργίες αλλά και τα οφέλη χρήσης των Αιολικών Πάρκων. Η Πέμπτη ενότητα σχετίζεται με τα Τεχνοοικονομικά Κριτήρια επιλογής του αιολικού Πάρκου και τέλος η Έκτη κατά σειρά ενότητα αναφέρει τον απαραίτητο Ηλεκτρολογικό Εξοπλισμό καθώς και στην συνολική διασύνδεση του Αιολικού Πάρκου.



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος/Περίληψη.....3

Περιεχόμενα.....5

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 Ενέργεια**

1.1 Γενική εισαγωγή στις Α.Π.Ε.....7

1.2 Τύποι Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....8

1.2.1 Υδροηλεκτρική Ενέργεια

1.2.2 Ηλιακή Ενέργεια

1.2.3 Γεωθερμία

1.2.4 Βιομάζα

1.2.5 Αιολική Ενέργεια

1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Α.Π.Ε.....14

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 Άνεμος**

2.1 Τα κύρια χαρακτηριστικά του Ανέμου.....15

2.2 Μεταβολές στην ταχύτητα του Ανέμου αναλογικά με το υψόμετρο.....16

2.3 Μεταβολές στην ταχύτητα του Ανέμου αναλογικά με το χρόνο.....17

2.4 Η στατιστική του ανέμου.....19

2.5 Μετατροπή της Αιολικής Ενέργειας.....23

2.6 Η ενέργεια του Ανέμου.....24

2.7 Τρόποι μέτρησης Αιολικού Δυναμικού.....28

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 Ανεμογεννήτριες**

3.1 Γενική προσέγγιση.....33

3.2 Κατηγορίες Ανεμογεννητριών.....33

3.3 Δομή Ανεμογεννητριών.....37

3.4 Γεννήτρια.....46

3.5 Μετάδοση Περιτροφικής Κίνησης.....50

3.6 Ετήσιος Απολογισμός Ενέργειας.....51

3.7 Απόδοση Ισχύος.....52

3.8 Τρόποι Συντήρησης.....54

3.9 Θεμελίωση Παράκτιων Ανεμογεννητριών.....55

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 Αιολικό Πάρκο**

4.1 Γενική Περιγραφή Αιολικού Πάρκου.....	61
4.2 Τρόπος Λειτουργίας Αιολικού Πάρκου.....	63
4.3 Είδη Αιολικών Πάρκων.....	65
4.4 Οφέλη Χρήσης Αιολικού Πάρκου.....	67
4.5 Κόστος Αιολικού Πάρκου.....	69

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 Κριτήρια Επιλογής**

5.1 Κριτήρια Επιλογής Περιοχής.....	74
5.2 Τεχνοοικονομικά Κριτήρια.....	75
5.3 Πρότυπα Εγκατάστασης.....	77
5.4 Διαδικασία Αδειοδότησης.....	78

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 Κατασκευή και Διασύνδεση**

6.1 Κατασκευή και Διασύνδεση Αιολικού Πάρκου.....	81
6.2 Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός.....	84
6.3 Κατασκευή Καναλιού Καλωδίων.....	85

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	91
-------------------	----

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ.....	92
----------------	----

## **1.1 Γενική Εισαγωγή στις Α.Π.Ε**

Με την ανακάλυψη του ηλεκτρισμού και των εξαρτώμενων από αυτόν εφαρμογών του η καθημερινότητα του ανθρώπου βελτιώθηκε σχεδόν σε όλους τους τομείς ώστε να αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της σύγχρονης καθημερινότητας εκατοντάδων ανθρώπων. Με την εξέλιξη της ανθρωπότητας λοιπόν, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας καθίστανται όλο και πιο αναγκαίες για την καθημερινή ζωή του ανθρώπου και γι' αυτό δημιουργείται μια ανάγκη ανάπτυξης και εξέλιξης αυτών. Αναπτύσσοντας τον όρο 'Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας' θεωρούνται κυρίως οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (όπως του πετρελαίου και του άνθρακα), όπως η αιολική και η ηλιακή. Ο χαρακτηρισμός «ανανεώσιμες» είναι κάπως καταχρηστικός, αφού ορισμένες από αυτές τις πηγές, όπως η γεωθερμική ενέργεια δεν ανανεώνονται σε κλίμακα χιλιετιών. Σε κάθε περίπτωση όμως οι ΑΠΕ έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της αναμενόμενης εξάντλησης των (μη ανανεώσιμων) αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων. Τελευταία, από την Ευρωπαϊκή Ένωση υιοθετούνται νέες πολιτικές για τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, που προάγουν τέτοιες εσωτερικές πολιτικές και για τα κράτη μέλη. Οι ΑΠΕ αποτελούν τη βάση του μοντέλου οικονομικής ανάπτυξης της πράσινης οικονομίας.

### **Το πρωτόκολλο του Κιότο:**

Το Πρωτόκολλο του Κιότο αποτελεί μια παγκόσμιος υπογεγραμμένη συνθήκη στην οποία περιλαμβάνονται τα απαραίτητα βήματα για τη μακροπρόθεσμη αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος που προκαλείται λόγω της αύξησης των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με αυτό, τα κράτη που το έχουν συνυπογράψει δεσμεύτηκαν στο να ελαττώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου την πρώτη περίοδο ανάληψης υποχρεώσεων (2008-2012) κατά ένα συγκεκριμένο στόχο σε σχέση με τις εκπομπές του 1990 (ή του 1995 για ορισμένα αέρια).

Αυτό επιχειρείται να γίνει με τον πιο οικονομικά αποδοτικό τρόπο ώστε να μην επιβαρυνθεί η παγκόσμια οικονομία. Έτσι, το πρωτόκολλο του Κιότο περιλαμβάνει τρεις ευέλικτους μηχανισμούς:

-Την εμπορία δικαιωμάτων εκπομπών

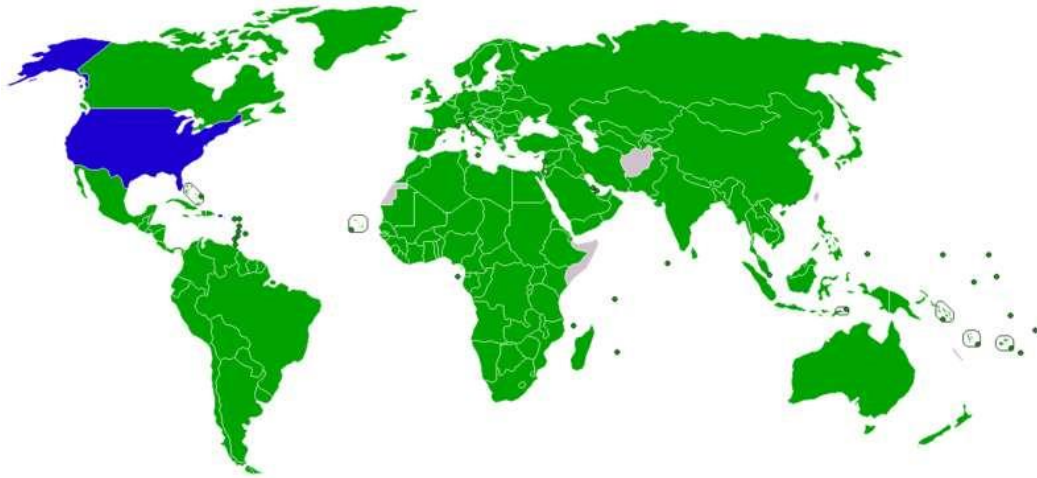
-Την κοινή εφαρμογή

-Το μηχανισμό καθαρής ανάπτυξης

Ο πρώτος μηχανισμός προβλέπει την αγοραπωλησία δικαιωμάτων εκπομπών μεταξύ των ενδιαφερόμενων μερών (όπως για παράδειγμα κράτη και υπόχρεες εγκαταστάσεις), ενώ οι άλλοι δύο βασίζονται σε προγράμματα έργων.

Στην εικόνα που ακολουθεί μπορούμε να δούμε τα εξής: Με πράσινο χρώμα δηλώνονται οι χώρες που υπέγραψαν και επικύρωσαν το πρωτόκολλο, με κίτρινο όσες το υπέγραψαν και αναμένεται η επικύρωσή του, με κόκκινο οι χώρες που το υπέγραψαν αλλά δεν το επικύρωσαν

και με γκρι χρώμα οι χώρες που δεν έχουν πάρει θέση. Ο μηχανισμός ανάπτυξης για την μείωση του φαινομένου του θερμοκηπίου που θα ασχοληθούμε εμείς και που θεωρείται από τους πλέον διαδεδομένους είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω αιολικών πάρκων.



## **1.2 Τύποι ανανεώσιμων πηγών ενέργειας:**

### **1.2.1 Υδροηλεκτρική Ενέργεια:**



Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια πολύ σημαντική πηγή ηλεκτρισμού, με ικανότητα παραγωγής κοντά στο 1 TW, που αποτελεί το 16.5% (3400 TWh) της συνολικής παγκόσμιας προσφοράς. Σε περισσότερες από είκοσι χώρες, η υδροηλεκτρική ενέργεια παρέχει περισσότερο από το 90% της ηλεκτρικής ενέργειας. Οι περισσότερες από τις νέες υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις βρίσκονται στην Ασία (κυρίως στην Κίνα) και στη Λατινική Αμερική (κυρίως στη Βραζιλία). Η Κίνα έχει μακράν τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ (210



GW) και στοχεύει σε νέα έργα. Η υδροηλεκτρική ενέργεια παράγει περίπου το 8% του ηλεκτρισμού των ΗΠΑ το οποίο, αν και ακούγεται κάπως μέτριο, εξακολουθεί να είναι σημαντικά περισσότερο από όσο παρέχουν σε συνδυασμό οι άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας κάτι που αποδεικνύει τη χρησιμότητα της συγκεκριμένης ανανεώσιμης πηγής ενέργειας. Στις ΗΠΑ και τις άλλες χώρες του Οργανισμού Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης (ΟΟΣΑ), όπου έχουν ήδη αναπτυχθεί οι καλύτερες τοποθεσίες, η εστίαση έχει μετατοπιστεί από την ανάπτυξη νέων περιοχών στη βελτίωση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων, προσθέτοντας δυνατότητες παραγωγής σε υφιστάμενα φράγματα όπου δεν έχουν γίνει ακόμα εγκαταστάσεις υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι μια εδραιωμένη ώριμη τεχνολογία, αλλά υπάρχει ακόμα ενδιαφέρον στην ανάπτυξη φθηνότερων και καλύτερων τεχνολογιών για εφαρμογές μικρής ισχύος και χαμηλού ύψους πτώσης.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια έχει ένα σαφές πλεονέκτημα ως προς τις περισσότερες άλλες τεχνολογίες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: πρόκειται για μια πολύ πιο ευέλικτη πηγή ενέργειας. Μπορεί να παρέχει ενέργεια φορτίου βάσης, ενέργεια αιχμής, στρεφόμενη εφεδρεία και αποθήκευση ενέργειας. Μπορεί να καλύπτει λεπτό προς λεπτό διακυμάνσεις του φορτίου γρηγορότερα και με μεγαλύτερο εύρος και ευελιξία από ότι τα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας. Όσον αφορά την αποθήκευση, είναι ένα ιδανικό συμπλήρωμα για τις μεταβλητές και απρόβλεπτες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

## **1.2.2 Ηλιακή Ενέργεια**

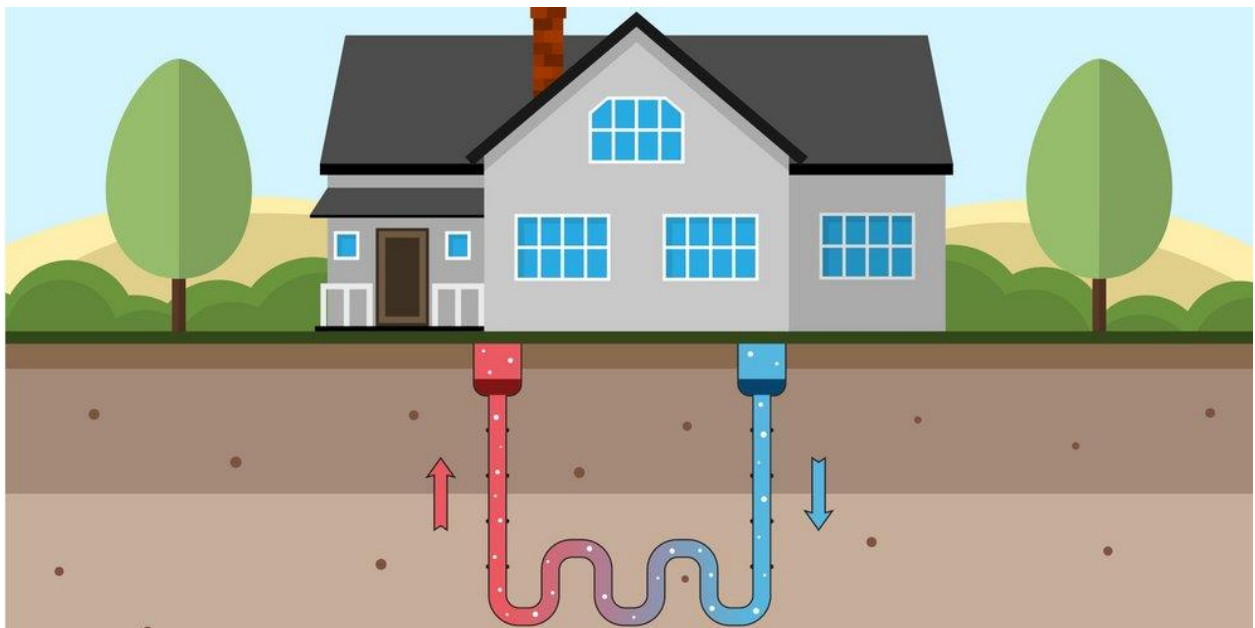


Καθημερινά προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης μία τεράστια ποσότητα ηλιακής ενέργειας, η οποία, αν και αποτελεί ένα μικρό μόλις κλάσμα της ολικής ενέργειας που παράγεται από τον Ήλιο, εντούτοις είναι 20.000 φορές μεγαλύτερη από την ενέργεια που καταναλώνεται σήμερα σε ολόκληρο τον κόσμο και με οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρική, μηχανική, θερμική κλπ.). Η εκμετάλλευση της δυνατότητας αποδοτικής παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος απευθείας από την ηλιακή ενέργεια μπορεί να υποκαταστήσει σε σημαντικό βαθμό τους συμβατικούς τρόπους παραγωγής του, δίνοντας ταυτόχρονα λύση σε μεγάλο μέρος των περιβαλλοντικών προβλημάτων.

Οι πρώτες εφαρμογές των φωτοβολταϊκών συστημάτων αναπτύχθηκαν μόλις τη διαστημική δεκαετία του '50, με σκοπό την ηλεκτροδότηση των δορυφόρων. Το υψηλό τους κόστος, όμως, εμπόδιζε την περαιτέρω διάδοσή τους την εποχή εκείνη. Στις αρχές της δεκαετίας του 70, μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση, έγινε ιδιαίτερως αισθητή παγκοσμίως η ανάγκη απεξάρτησης από τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Υπήρξαν τότε τα κίνητρα για την ανάπτυξη της φωτοβολταϊκής βιομηχανίας και, έτσι, άρχισε δειλά η μαζική παραγωγή φωτοβολταϊκών στοιχείων για ευρύτερη καταναλωτική χρήση.

Αυτόνομα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να εξυπηρετήσουν άριστα μεμονωμένες κατοικίες ή μεγαλύτερες μονάδες, όπως ξενοδοχεία, νοσοκομεία, σχολεία, κλπ. Παράδειγμα τέτοιας εφαρμογής είναι μία κατοικία στις Μαργαρίτες Ρεθύμνου, όπου το φωτοβολταϊκό σύστημα, ισχύος 1000W περίπου που εγκαταστάθηκε το 1992, ηλεκτροδοτεί όλες σχεδόν τις εγκατεστημένες ηλεκτρικές συσκευές.

### 1.2.3 Γεωθερμία



Η γεωθερμία, σύμφωνα με την οποία η θερμοκρασία της γης κατά τη διάρκεια του χειμώνα είναι υψηλότερη σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία της γης κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι χαμηλότερη από την εξωτερική θερμοκρασία. Συνεπώς, για να εκμεταλλευτεί κανείς αυτή τη διαφορά θερμοκρασίας, το μόνο που χρειάζεται να κάνει είναι τον χειμώνα να μεταφέρει τη ζέση από το υπέδαφος στο εσωτερικό του κτιρίου, ώστε να θερμανθεί, και το καλοκαίρι να μεταφέρει τη δροσιά από το

υπέδαφος στο εσωτερικό του κτιρίου, ώστε να δροσιστεί. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός συστήματος που ανεβάζει το νερό (μέσα στο οποίο υπάρχει ένα ειδικό υγρό) από το εσωτερικό της γης στο κτίριο. Στις χαρακτηριστικές περιπτώσεις γεωθερμικών έργων περιλαμβάνεται και το νέο κτίριο της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας που διαθέτει γεωθερμικό σύστημα, με σωληνώσεις συνολικού μήκους 42 χιλιομέτρων, κάτω από τη θεμελίωση του κτιρίου.

#### 1.2.4 Βιομάζα



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 και/ή αέριων καυσίμων. Στην πράξη υπάρχουν δύο τύποι βιομάζας. Πρώτον, οι υπολειμματικές μορφές (τα κάθε είδους φυτικά υπολείμματα και ζωικά απόβλητα και τα απορρίμματα) και δεύτερον η βιομάζα που παράγεται από ενεργειακές καλλιέργειες.

Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα. Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση.

Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Ο πρωτόγονος άνθρωπος, για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, χρησιμοποίησε την ενέργεια (θερμότητα) που προερχόταν από την καύση των ξύλων, που είναι ένα είδος βιομάζας. Αλλά και μέχρι σήμερα, κυρίως οι αγροτικοί πληθυσμοί, τόσο της Αφρικής, της Ινδίας και της Λατινικής Αμερικής, όσο και της Ευρώπης, για να ζεσταθούν, να μαγειρέψουν και να φωτιστούν χρησιμοποιούν ξύλα, φυτικά υπολείμματα (άχυρα, πριονίδια, άχρηστους καρπούς ή κουκούτσια κ.ά.) και ζωικά απόβλητα (κοπριά, λίπος ζώων, άχρηστα αλιεύματα κ.ά.). Όλα τα παραπάνω υλικά, που άμεσα ή έμμεσα προέρχονται από το φυτικό κόσμο, αλλά και το μεγαλύτερο μέρος από τα αστικά απορρίμματα (υπολείμματα τροφών, χαρτί κ.ά.) των πόλεων και των βιομηχανιών, μπορούμε να τα μετατρέψουμε σε ενέργεια.

### **1.2.5 Αιολική Ενέργεια**



Αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά.

Η αιολική ενέργεια είναι μια βιώσιμη και ανανεώσιμη ενέργεια και έχει πολύ μικρότερο αντίκτυπο στο περιβάλλον σε σύγκριση με την καύση ορυκτών καυσίμων, γι' αυτό αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» της είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα. Στα επόμενα κεφάλαια θα εξεταστεί διεξοδικά ο τρόπος εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας.



### **1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Α.Π.Ε**

Τα πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι πολλά και σημαντικά. Τα σημαντικότερα είναι τα εξής:

-Είναι πολύ φιλικές προς το περιβάλλον, καθώς δε μολύνουν την ατμόσφαιρα, αφού έχουν μηδενικά κατάλοιπα και απόβλητα και για την άντλησή τους δεν απαιτείται παρέμβαση σ' αυτό.

-Είναι ευέλικτες εφαρμογές, που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού, καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής ενέργειας (καταρχήν για την ύπαιθρο) αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις.

-Δεν πρόκειται να εξαντληθούν ποτέ σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, καθώς χρησιμοποιούν φυσικά φαινόμενα τα οποία παρέχουν απεριόριστη ενέργεια που θα μπορεί να αξιοποιείται για δισεκατομμύρια χρόνια.

-Ο εξοπλισμός τους είναι απλός στην κατασκευή και την συντήρηση και έχει πολύ μεγάλο χρόνο ζωής.

-Συμβάλλουν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, αφού υπάρχουν σε πολλά γεωγραφικά σημεία και καλύπτουν ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο.

-Μειώνουν τις απώλειες κατά τη μεταφορά ενέργειας.

-Μπορούν να βοηθήσουν την ενεργειακή αυτάρκεια μικρών και αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και να αποτελέσουν την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.

Εκτός όμως από τα πλεονεκτήματα υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα με κυριότερα τα ακόλουθα:

-Για τις αιολικές μηχανές υπάρχουν αντιρρήσεις όσον αφορά την αισθητική τους και τον θόρυβο που προκαλούν, γι' αυτό και δεν τοποθετούνται κοντά σε κατοικημένες περιοχές, ενώ για τα υδροηλεκτρικά εργοστάσια, λένε, ότι συντελεί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό

-Έχουν μικρό συντελεστή απόδοσης, περίπου 30% ή και χαμηλότερο, άρα απαιτείται μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης, γι' αυτό μέχρι σήμερα χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας. Έτσι λοιπόν δεν μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες μεγάλων αστικών κέντρων.

-Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.

### 2.1 Τα κύρια χαρακτηριστικά του ανέμου

Ο Ήλιος διανέμει θερμική ενέργεια σε ολόκληρο το ηλιακό μας σύστημα συνεπώς και στην επιφάνεια της Γης. Με την βοήθεια αυτής της ενέργειας δημιουργείται μια κίνηση της ατμόσφαιρας σε μια μεγάλη κλίμακα στην οποία προστίθενται τοπικές μεταβολές. Συμπερασματικά όταν ο άνεμος θερμαίνεται κυρίως στις περιοχές του ισημερινού γίνεται ελαφρύτερος και ξεκινά να ανυψώνεται. Η επιτάχυνση που προκαλεί η δύναμη Coriolis, που οφείλεται στην περιστροφή της Γης, προκαλεί μια απόκλιση της ροής του αέρα από τον ισημερινό προς τους πόλους, προς τα ανατολικά και της επιστρεφόμενης ροής από τους πόλους προς τον ισημερινό, προς τα δυτικά.

Αναλύοντας τις βασικές αρχές της φύσης του ανέμου συμπεραίνουμε πως η ισχύς που παρέχει ο άνεμος στην ανεμογεννήτρια είναι ανάλογος του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Είναι λοιπόν απαραίτητο να γνωρίζουμε με λεπτομέρεια τον άνεμο και τα χαρακτηριστικά του για να μπορούμε να υπολογίσουμε, πχ την απόδοση της ανεμογεννήτριας, με ακρίβεια. Είναι κοινώς γνωστό ότι μεγάλες ταχύτητες ανέμων απαντώνται στις κορυφές των λόφων, σε εκτιθέμενες από τον άνεμο ακτές και στα πελάγη. Χρειάζεται να γίνουν γνωστές διάφορες παράμετροι του ανέμου, όπως η μέση ταχύτητα, η κατεύθυνση, οι μεταβολές γύρω από τη μέση ταχύτητα σε μικρό χρονικό διάστημα, οι ημερήσιες, εποχιακές και ετήσιες μεταβολές και οι μεταβολές ανάλογα με το ύψος του εδάφους. Οι παράμετροι αυτές είναι διαφορετικές για κάθε τόπο και μπορούν να προσδιοριστούν με ικανό αριθμό επακριβών μετρήσεων, για μεγάλη χρονική περίοδο, σε έναν ορισμένο τόπο. Οι παράμετροι αυτές χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση της απόδοσης και των οικονομικών ενός αιολικού σταθμού παραγωγής ενέργειας. Τα γενικευμένα μετεωρολογικά στατιστικά δεδομένα οδηγούν πολλές φορές σε υπερεκτίμηση των ταχυτήτων των ανέμων σε έναν ορισμένο τόπο.

Είναι γνωστό από τη φυσική ότι όταν μία αέρια μάζα θερμανθεί, εκτονώνεται, γίνεται ελαφρύτερη και κινείται προς τα πάνω. Ο αέρας της ατμόσφαιρας θερμαίνεται κυρίως από την επαφή του με τη θερμή επιφάνεια της γης. Ο θερμός αέρας είναι ελαφρύτερος και έχει μικρότερη πυκνότητα από τον ψυχρό. Ένα στρώμα αέρα, που θα έρθει σε επαφή με την γήινη επιφάνεια θα θερμανθεί και θα ανέλθει. Τη θέση του θα καλύψει ένα στρώμα ψυχρότερου αέρα, που με τη σειρά του θα θερμανθεί και θα ανέλθει. Αυτή η κυκλική ανοδική η καθοδική κίνηση των θερμών και ψυχρών ρευστών μαζών, ονομάζεται κατακόρυφη μεταφορά. Αυτή η διαδικασία συν την περιστροφή της γης δημιουργεί τον άνεμο.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας ο οποίος περιβάλλει τη γη βρίσκεται σε διαρκή κίνηση, εξ αιτίας μιας σειράς παραμέτρων όπως η περιστροφική κίνηση της γης, η ηλιακή ακτινοβολία και ο τρόπος που επιδρά στη γη και τέλος η ανομοιογένεια του ανάγλυφου της γης.

Στην Ευρώπη οι άνεμοι επηρεάζονται από τα ανατολικά ρεύματα του Ατλαντικού, τα ψυχρά βόρεια και τα θερμά τοπικά της Σαχάρας. Έτσι οι άνεμοι που πνέουν είναι μεν για το χειμώνα νοτιοδυτικοί, ενώ για το καλοκαίρι οι δυτικοί και βορειοδυτικοί άνεμοι.

## 2.2 Μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου αναλογικά με το Υψόμετρο

Στην επιφάνεια της γης η ταχύτητα του ανέμου είναι μηδενική εξαιτίας της τριβής του αέρα με την επιφάνεια. Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται αναλογικά με το εκάστοτε υψόμετρο, αυξάνεται δε λιγότερο καθώς απομακρυνόμαστε από αυτήν. Σε ύψος περίπου 2 km πάνω από την επιφάνεια του εδάφους η ταχύτητα του ανέμου μηδενίζεται. Οι μεταβολές αυτές της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει του ύψους συνιστούν το "προφίλ της ταχύτητας του ανέμου" που μπορεί να εκφραστεί με διάφορες συναρτήσεις. Δύο από τις κυριότερες αυτές συναρτήσεις που περιγράφουν τη μεταβολή της μέσης ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει του ύψους έχουν βασιστεί σε πειραματικά δεδομένα και δίνονται παρακάτω.

$$V_{(z)} = V_r \left( \frac{z}{z_r} \right)^\alpha$$

Με βάση την παραπάνω εκθετική συνάρτηση, ο  $z$  είναι το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους,  $V_r$  η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος  $z_r$  πάνω από την επιφάνεια του εδάφους,  $V(z)$  η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $z$  και  $\alpha$  είναι ένας εκθέτης που εξαρτάται από τη μορφολογία (ανάγλυφο) του εδάφους.

Ακολουθεί η Λογαριθμική συνάρτηση όπου:

$$\frac{V_{(z)}}{V_{(10)}} = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{10}{z_0}\right)}$$

Συνεπώς:  $V(10)$  είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10 m από την επιφάνεια του εδάφους και  $z_0$  είναι το μήκος της ανωμαλίας του εδάφους. Οι παράμετροι  $\alpha$  και  $z_0$  για διαφορετικούς τύπους εδαφών δίδονται στον παρακάτω πίνακα:

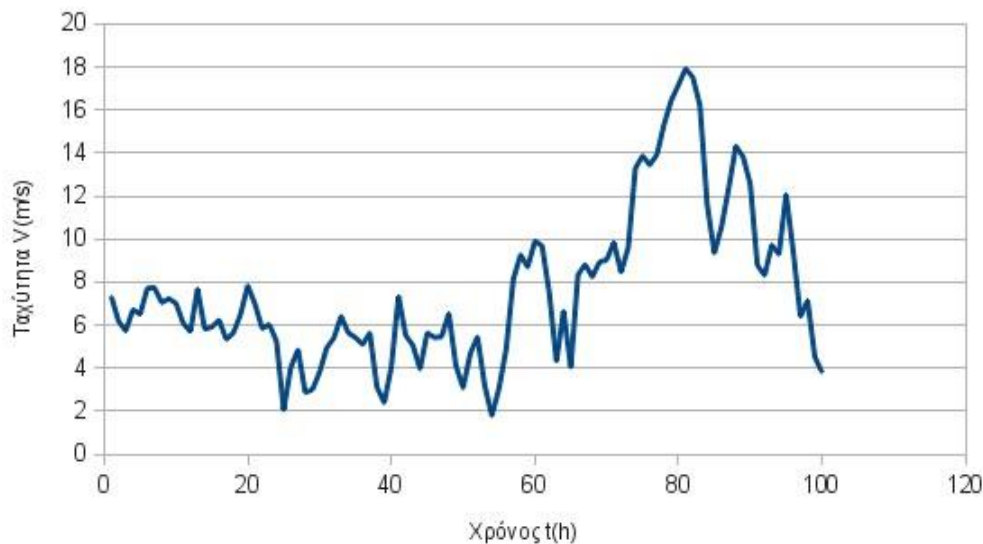
Τύπος εδάφους	Κατάταξη ανωμαλίας του εδάφους	Μήκος ανωμαλίας εδάφους, $z_0$	Εκθέτης $\alpha$
Υδάτινες περιοχές	0	0,001	0,01
Ανοιχτός χώρος, λίγα εμπόδια	1	0,12	0,12
Αγροτική περιοχή με κτήρια και αχυρώνες	2	0,005	0,16
Αγροτική περιοχή με πολλά δένδρα, δάση, χωρά	3	0,3	0,28

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν και οι δύο συναρτήσεις για τον υπολογισμό της μέσης ταχύτητας του ανέμου σε ορισμένο ύψος, αν είναι γνωστή η μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς.

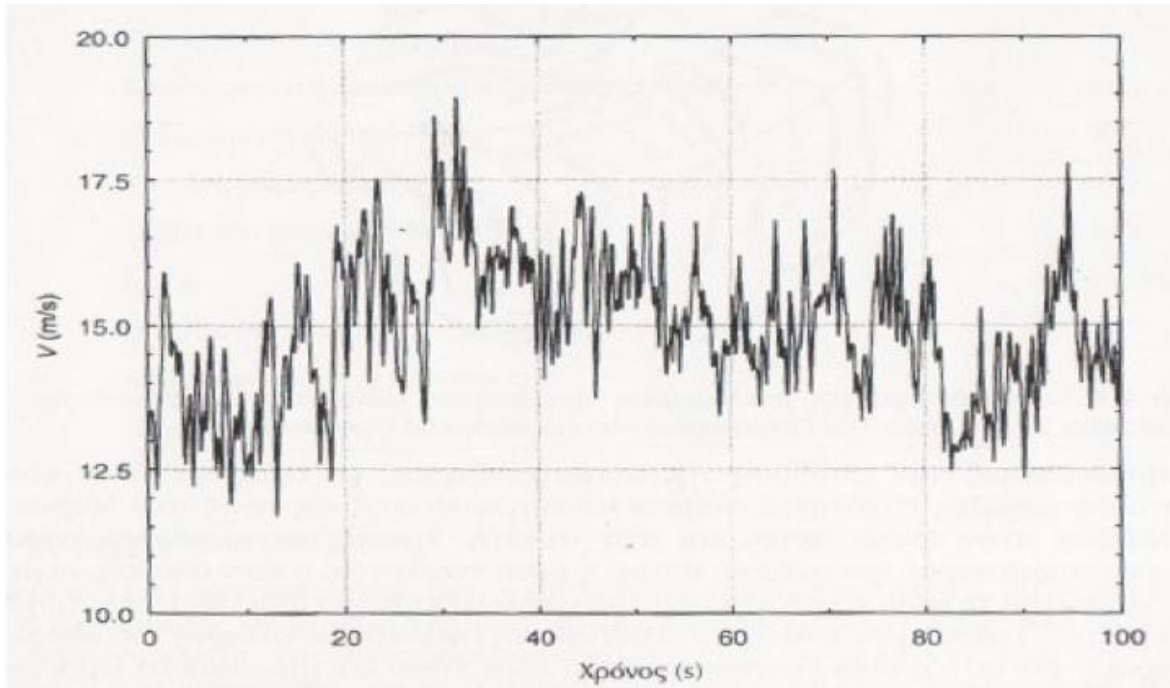


### **2.3 Μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου αναλογικά με τον χρόνο**

Η ροή του ανέμου σε μικροκλίμακα επηρεάζεται από τοπικά εμπόδια όπως κτήρια, δέντρα και φύση του εδάφους πχ από το αν υπάρχουν οργωμένα χωράφια ή αν τα χωράφια περιέχουν φυτά. Περιοχές με νερό, όπως λίμνες ή θάλασσα επηρεάζουν επίσης αυτή τη ροή. Η τριβή του ανέμου με την εκάστοτε επιφάνεια εδάφους προκαλεί διακυμάνσεις στη ροή του, οπότε η ταχύτητά του μεταβάλλεται ανάλογα με τον τόπο και το χρόνο. Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου φαίνονται στις παρακάτω εικόνες που δείχνει ένα τυπικό δείγμα μεταβολής της ταχύτητάς του εντός ορισμένου χρονικού διαστήματος, ανά 10 δευτερόλεπτα και ανά μία ώρα αντίστοιχα, που ελήφθησαν με ανεμόμετρο αναρτημένο πάνω στην άτρακτο μιας ανεμογεννήτριας. Ορισμένες μεταβολές της ταχύτητας αυτής οφείλονται στην τύρβη που δημιουργεί το κινητό πλαίσιο (ο δρομέας) της ανεμογεννήτριας και η άτρακτος της, αλλά αυτό το γεγονός δεν κρύβει την πολυπλοκότητα των χαρακτηριστικών του ανέμου.



Μετρήσεις ταχυτήτων ανέμου που ελήφθησαν με ανεμόμετρο που ήταν αναρτημένο σε μια άτρακτο ανεμογεννήτριας διαμέτρου 33 m, εντός χρονικού διαστήματος 100 ωρών.



Μετρήσεις ταχυτήτων ανέμου που ελήφθησαν με ανεμόμετρο που ήταν αναρτημένο σε μια άτρακτο ανεμογεννήτριας διαμέτρου 33 m, εντός χρονικού διαστήματος 100 δευτερολέπτων.

Επιπλέον, η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου  $V$  μπορεί να περιγραφεί ως το άθροισμα της μέσης ταχύτητας  $V_m$  και ενός μεταβαλλόμενου μεγέθους ταχύτητας  $v$ :

$$V = V_m + v$$

Η μέση ταχύτητα του ανέμου  $V_m$  προσδιορίζεται τυπικά ως η μέση τιμή εντός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Η διακύμανση της ροής είναι ανάλογη της τετραγωνικής ρίζας του τετραγώνου της μέσης ταχύτητας [RMS] του μεταβαλλόμενου μεγέθους ταχύτητας και ορίζεται ως ένταση της τύρβης  $T_u$  και δίνεται ως:

$$T_u = \frac{\sqrt{v^2}}{V_m} = \frac{1}{V_m} \left[ \frac{1}{T} \int_0^T v^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

Σε ανώμαλο έδαφος (πχ όπου υπάρχουν πολλά δένδρα και κτήρια) η ένταση της τύρβης κυμαίνεται από 0,15 – 0,2. Για ομαλό έδαφος η ένταση έχει μια τυπική τιμή 0,1.

## 2.4 Η Στατιστική του ανέμου

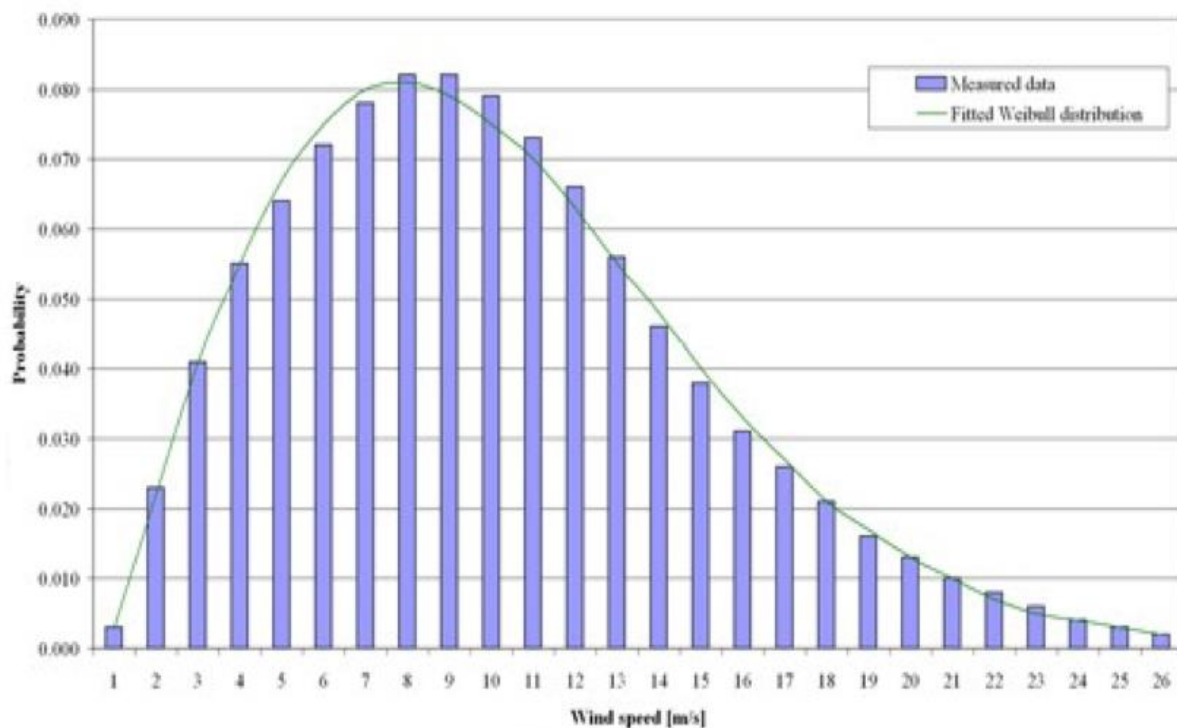
Ένα τυπικό ιστόγραμμα του ανέμου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Το ιστόγραμμα αυτό έχει κατασκευαστεί από δεδομένες μετρήσεις που ελήφθησαν κατά τη χρονική διάρκεια πολλών ετών και δείχνει την πιθανότητα ή το κλάσμα του χρόνου όπου η ταχύτητα του ανέμου βρίσκεται εντός του γραμμικού διαστήματος που δίνεται από το πλάτος κάθε στήλης. Τα δεδομένα έχουν μετρηθεί σε θύλακες του 1 m/s, δηλαδή 4,5 – 5,5 και 5,5 – 6,5 m/s, κλπ. Το άθροισμα του ύψους των στηλών είναι 1 ή 100%. Όταν το πλάτος των στηλών γίνει μικρότερο, το ιστόγραμμα γίνεται μια συνεχής συνάρτηση που ονομάζεται συνάρτηση πυκνότητας της πιθανότητας. Μια απλή και χρήσιμη ερμηνεία της συνάρτησης πυκνότητας της πιθανότητας της ταχύτητας ανέμου, είναι ότι δείχνει την πιθανότητα μιας ταχύτητας ανέμου σε οριακό διάστημα 1 m/s, να βρίσκεται στο κέντρο της τιμής V. Έτσι, η πιθανότητα μιας ταχύτητας ανέμου να είναι μεταξύ 4,5 και 5,5 m/s είναι 0,055 ή  $(0,055 \times 8760) = 481$  ώρες το έτος ( $24 \times 365 = 8760$  ώρες/έτος).

Το ιστόγραμμα λαμβάνει υπόψη την ετήσια μεταβολή και τη μεταβολή από έτος σε έτος για όσα έτη καλύπτουν οι στατιστικές.

Η συνάρτηση πυκνότητας μπορεί να ταιριάζει με μια συνάρτηση Weibull, που δίνεται ως:

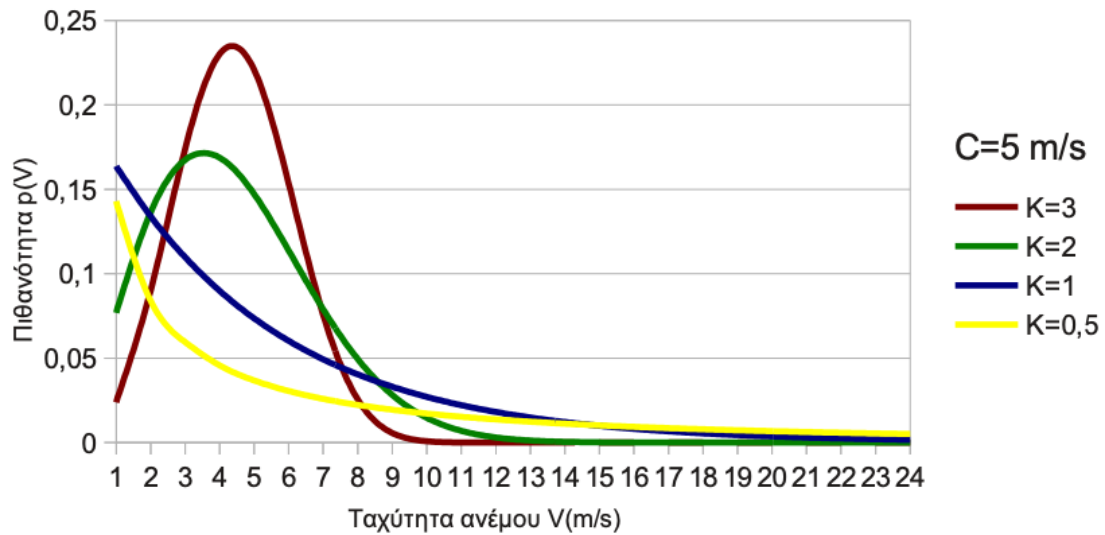
$$p(V) = \frac{k}{C} \left(\frac{V}{C}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{C}\right)^k\right]$$

Όπου:  $p(V)$  είναι η συχνότητα συμβάντος μιας ταχύτητας ανέμου. V, C είναι η παράμετρος κλίμακας ή η χαρακτηριστική ταχύτητα ανέμου και k είναι η μορφολογική παράμετρος.

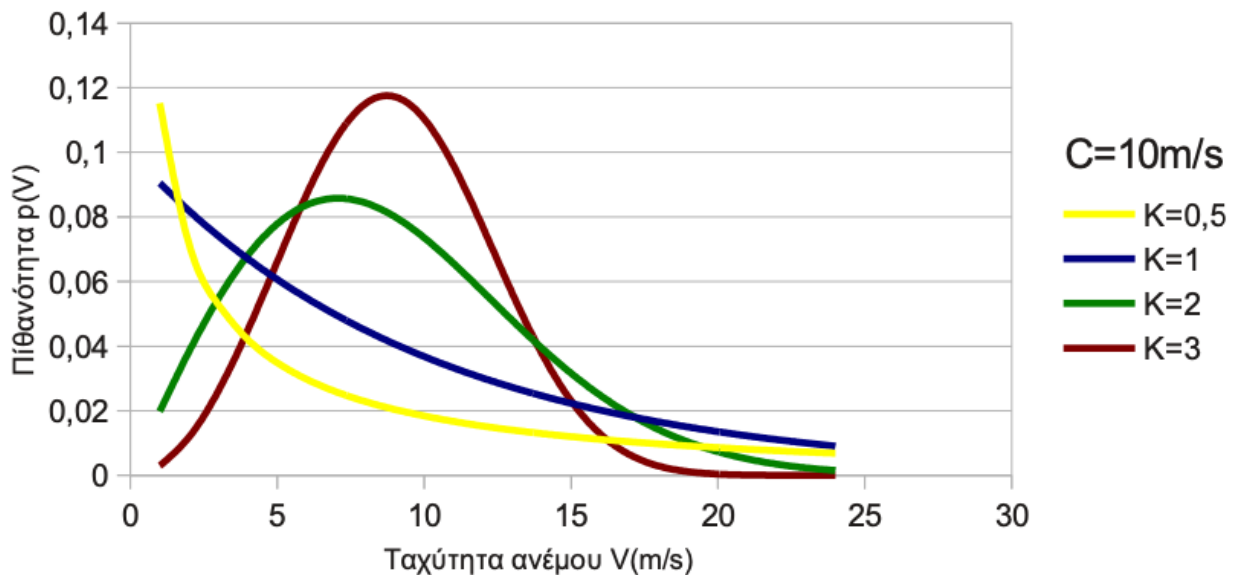


Στις ακόλουθες γραφικές παραστάσεις απεικονίζεται η κατανομή Weibull για διάφορες τιμές της μορφολογικής παραμέτρου  $k$  με δεδομένη κάθε φορά τη χαρακτηριστική ταχύτητα ανέμου ( $C=5\text{m/s}$  και  $C=10\text{m/s}$  αντίστοιχα).

Η γραφική παράσταση της Weibull για  $C=5\text{m/s}$  και διάφορες τιμές του  $k$ :



Η γραφική παράσταση της Weibull για  $C=10\text{m/s}$  και διάφορες τιμές του  $k$ :



Η συσσωρευτική κατανομή Weibull  $P(V)$  δίνει την πιθανότητα για μια ταχύτητα ανέμου να υπερβεί την τιμή  $V$  και εκφράζεται ως:

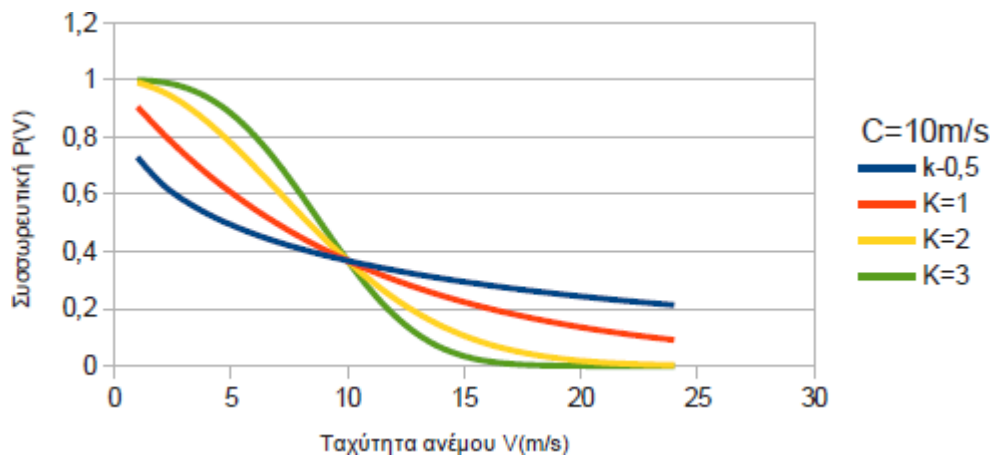
$$P(V) = \exp\left[-\left(\frac{V}{C}\right)^k\right]$$

Μια τυπική τιμή του  $k$  μπορεί να είναι 2. Όταν  $k = 2$  η κατανομή ονομάζεται συσσωρευτική κατανομή Rayleigh. Η πιθανότητα να υπάρξει ταχύτητα μεταξύ των  $V_1$  και  $V_2$  είναι:

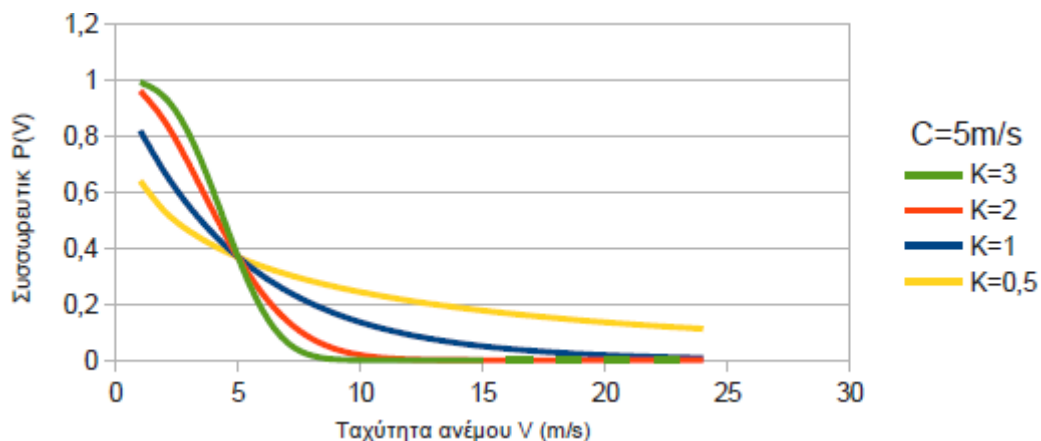
$$P(V_1 < V < V_2) = \exp\left[-\left(\frac{V_1}{C}\right)^k\right] - \exp\left[-\left(\frac{V_2}{C}\right)^k\right]$$

Οι παρακάτω εικόνες είναι συσσωρευτικές κατανομές που δείχνουν το αποτέλεσμα δύο διαφορετικών παραμέτρων κλίμακας, 10 m/s και 5 m/s αντίστοιχα:

Συσσωρευτική συνάρτηση Weibull με μορφολογική παράμετρο  $C = 10$  m/s.

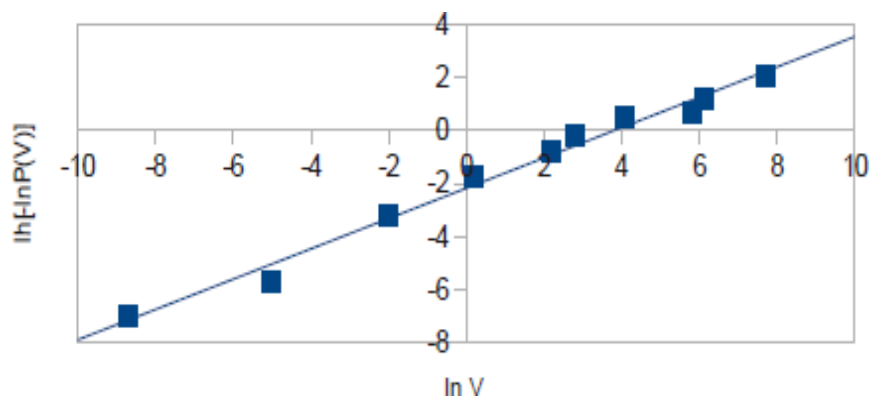


Συσσωρευτική συνάρτηση Weibull με μορφολογική παράμετρο  $C = 5$  m/s.



Οι παράμετροι  $C$  και  $k$  για τη συχνική κατανομή Weibull υπολογίζονται αν σχεδιάσουμε σε καρτεσιανό σύστημα αξόνων τα  $\ln V$  συναρτήσει του  $\ln [-\ln P(V)]$ , όπου  $\ln$  είναι ο λογάριθμος με βάση το  $e$  και προσαρμόζοντας μια ευθεία γραμμή μεταξύ των σημείων. Η κλίση αυτής της ευθείας γραμμής είναι ίση με τη  $k$  και η  $C$  είναι ίση με το  $\exp(\ln V)$ , ή το  $V$ , όπου  $\ln [-\ln P(V)] = 0$ . Η τεχνική αυτή βασίζεται στη λήψη λογαρίθμων από την εξίσωση της συσσωρευτικής κατανομής Weibull δύο φορές.

Γραφικός προσδιορισμός των παραμέτρων Weibull.



## 2.5 Μετατροπή της αιολικής ενέργειας

Αντιλαμβανόμαστε καταρχήν ότι πρέπει να ξεκινήσουμε από μια σειρά μετρήσεων ταχυτήτων ανέμου για κάποιο χρονικό διάστημα και κατόπιν να ολοκληρώσουμε την ισχύ σε σειρές μικρών χρονικών διαστημάτων που συνιστούν την επιθυμητή χρονική περίοδο. Αυτό μπορούμε να το πετύχουμε αν πάρουμε τη χαρακτηριστική ισχύς της ανεμογεννήτριας και την συσσωρευτική κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου. Πρέπει επίσης να λάβουμε υπόψη τη μεταβολή των ταχυτήτων του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος, έτσι ώστε να επιλέξουμε μια αντιπροσωπευτική τιμή ταχύτητας ανέμου που θα διέλθει το θάλαμο της ατράκτου της ανεμογεννήτριας.

Ανάλογα με τις ταχύτητες των ανέμων που επικρατούν σε ορισμένη γεωγραφική τοποθεσία, η ανεμογεννήτρια θα παράγει μια ετήσια μέση ισχύ που αντιστοιχεί στο 30% της μέγιστης υπολογιζόμενης ισχύος. Αν υποθέσουμε ότι η ανεμογεννήτρια θα είναι διαθέσιμη να λειτουργεί κατά το 95% του χρόνου, χωρίς άλλες διακοπές, τότε ο συνολικός συντελεστής ετήσιου φόρτου ή συντελεστής ικανότητας υπολογίζεται ως  $0,3 \times 0,95 = 0,285$  ή 28,5 %.

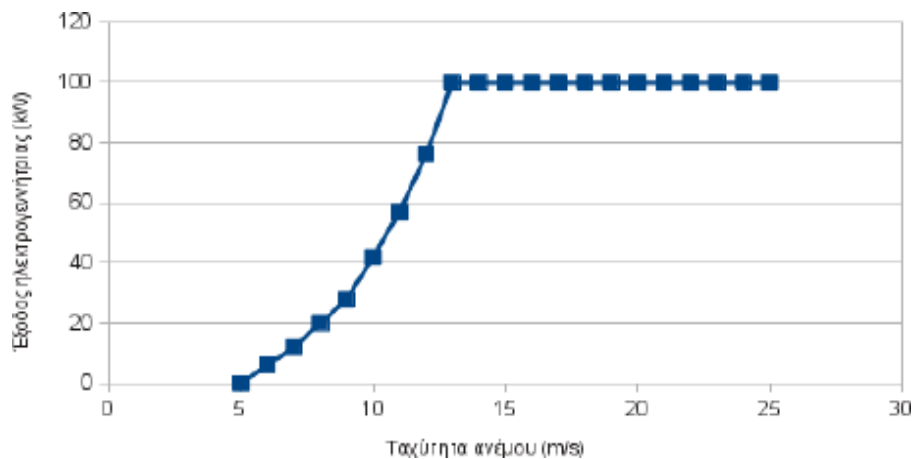
Μια ανεμογεννήτρια των 100 kW εργαζόμενη σε πλήρη ισχύ εξόδου θα παράγει θεωρητικά ετησίως ισχύ  $8,76 \times 10^5$  kWh κατά μέγιστο. Τα 100 kW είναι μόνο ένα κλάσμα της κινητικής ενέργειας του ανέμου, σημαντικά χαμηλότερο από το όριο Betz και ίσως τόσο χαμηλό όσο 0,40. Για ετήσιο συντελεστή ικανότητας 28,5% η πραγματική ισχύς εξόδου θα ήταν  $2,5 \times 10^5$  kWh ετησίως, που με 0,08 ευρώ την κιλοβατώρα θα είχαμε μικτό κέρδος 20.000 ευρώ.

Κάτω από 5 m/s που είναι το όριο αποκοπής ταχύτητας ανέμου δεν υπάρχει αρκετή ενέργεια στον άνεμο για να υπερβεί τις μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες της ανεμογεννήτριας. Μεταξύ 5 m/s και 13 m/s η ισχύς εξόδου αυξάνεται ραγδαία σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου και δίνεται από τον τύπο:

$$W = C_p \times \frac{1}{2} \rho A_1 V_0^3$$

Η εξίσωση δε δίνει την ακριβέστερη συνάρτηση του κύβου της ταχύτητας του ανέμου, δεδομένου ότι ο συντελεστής απόδοσης  $C_p$  μεταβάλλεται σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου. Σε αυτό το παράδειγμα ο σχεδιαστής της ανεμογεννήτριας περιόρισε την ισχύ που μετατρέπεται από το δρομέα της ανεμογεννήτριας στα 100 kW. Ξ επιλογή αυτή έγινε για να περιοριστεί η αντοχή και έτσι το βάρος και το κόστος των εξαρτημάτων της ανεμογεννήτριας. Όμως έτσι μπορεί να χαθεί ετησίως ενέργεια που θα παράγονταν από μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια. Σημειώστε ότι για λίγες μόνο ώρες τον χρόνο η ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά τα 13 m/s, οπότε και η ισχύς εξόδου του δρομέα της ανεμογεννήτριας ξεπερνά τα 100 kW. Έτσι η ετήσια απώλεια σε εισόδημα θα είναι μικρή. Βέβαια σε περιοχές που η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγάλη θα επιλέγονταν διαφορετική ισχύς ανεμογεννήτριας.

Θεωρητική χαρακτηριστική μιας ανεμογεννήτριας 100 kW ή καμπύλη ισχύος.



Κυρίως δύο μέθοδοι ρύθμισης της ισχύος εξόδου μιας ανεμογεννήτριας υπάρχουν για την περίπτωση που προαναφέραμε. Η μηχανική ρύθμιση στροφών κατά την οποία ελαττώνεται η αεροδυναμική επιφάνεια των περιστρεφόμενων πτερυγίων, οπότε ελαττώνεται και ο  $C_p$ . Επίσης η μηχανική ρύθμιση πέδησης κατά την οποία τα πτερύγια σταματούν να κινούνται όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει ένα προκαθορισμένο όριο, οπότε και πάλι περιορίζεται η ισχύς που μεταδίδεται από το δρομέα, μέσω μηχανισμού οδοντωτών τροχών, προς την ηλεκτρογεννήτρια. Η ταχύτητα του ανέμου, στο ύψος της πλήμνης (έλικας), που παράγει τη μέγιστη (εκτιμηθείσα) ισχύ, ονομάζεται ταχύτητα εκτίμησης ανέμου και στο παράδειγμα αυτό είναι 13 m/s.

Στην πράξη η καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας κατασκευάζεται από μετρήσεις ταχύτητας ανέμου και ισχύος εξόδου που γίνονται μέσα σε χρονικά διαστήματα 10 λεπτών και καταγράφεται η μέση τιμή για κάθε τέτοιο χρονικό διάστημα. Οι μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου γίνονται σε κάποια απόσταση από την έλικα του στροβίλου και δε λαμβάνουν υπόψη διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου δια μέσω της έλικας.

## 2.6 Η ενέργεια του ανέμου

Ξεκινάμε με δύο βασικές έννοιες: την ισχύ ή την ενέργεια ανά μονάδα χρόνου και την ενέργεια που είναι διαθέσιμη εντός δεδομένης χρονικής περιόδου. Η κινητική ενέργεια που παρέχει η ροή του αέρα δια μέσω μιας επιφάνειας κάθετη προς την κατεύθυνση της ροής είναι ανά μονάδα μάζας:

$$\frac{1}{2} \rho V^2$$



Για ένα ρεύμα αέρα που ρέει μέσω μιας επιφάνειας A, έχουμε μια ροή μάζας ανά μονάδα χρόνου  $\rho AV$ , οπότε η παρεχόμενη ισχύς είναι:

$$W = (\rho AV) \frac{1}{2} V^2 = \frac{1}{2} \rho AV^3$$

όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα σε  $[\text{kg}/\text{m}^3]$ ,  $V$  είναι η ταχύτητα του ανέμου σε  $[\text{m}/\text{s}]$  και  $W$  είναι η ισχύς σε  $[\text{Watts}$  ή  $\text{Joules}$  ανά δευτερόλεπτο]. Η ισχύς είναι επίσης γνωστή ως ροή ενέργειας ή ως πυκνότητα ισχύς του αέρα.

Η πυκνότητα  $\rho$  του αέρα είναι συνάρτηση της πίεσης και της θερμοκρασίας του αέρα:

$$\rho = \rho_0 \left( \frac{288B}{760T} \right)$$

Όπου:  $\rho_0$  είναι η πυκνότητα του ξηρού αέρα σε πρότυπη θερμοκρασία και πίεση ( $1,226 \text{ kg}/\text{m}^3$  σε  $288 \text{ K}$ ,  $760 \text{ mm Hg}$ ),  $T$  είναι η θερμοκρασία σε βαθμούς Kelvin  $[\text{K}]$  και  $B$  η βαρομετρική πίεση σε  $[\text{mm Hg}]$ . Τόσο η θερμοκρασία όσο και η πίεση είναι συναρτήσεις του ύψους από την επιφάνεια του εδάφους. Αν λάβουμε μια τυπική τιμή της πυκνότητας του αέρα  $1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$  στο επίπεδο της θάλασσας, θα έχουμε ισχύ ανά μονάδα επιφανείας:

$$W = 0,6 V^3$$

Για ταχύτητα ανέμου  $V$  η αποδιδόμενη ενέργεια που διέρχεται μέσω της επιφάνειας A σε χρόνο  $t$  μετρούμενη σε Watt - δευτερόλεπτα, είναι:

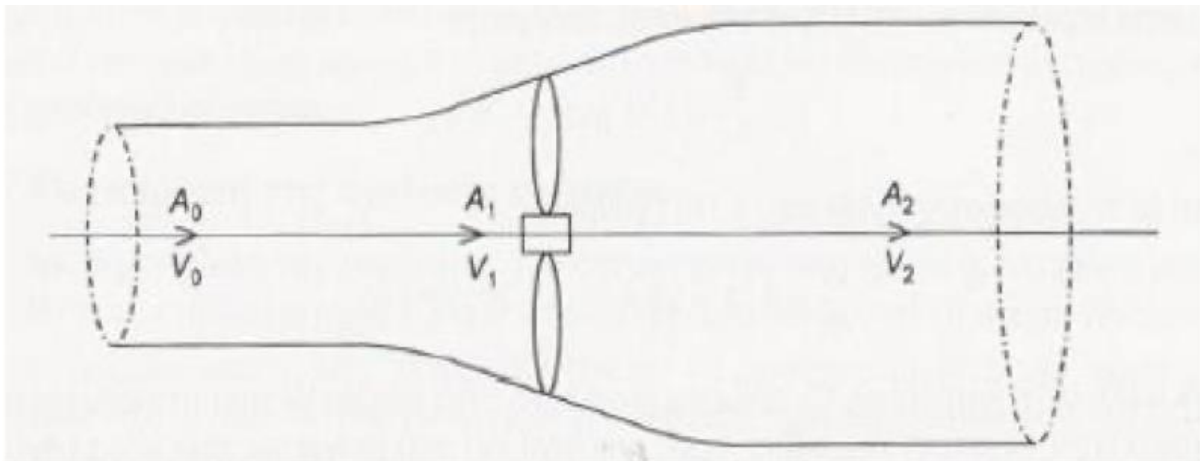
$$Wt = \frac{1}{2} \rho AV^3 t$$

Η ενέργεια αυτή θα κινήσει την ανεμογεννήτρια. Η θερμοκρασία του αέρα που διαρρέει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας δεν αλλάζει πρακτικά. Το ίδιο συμβαίνει και στις υδροστροβιλογεννήτριες. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις η ενέργεια αποδίδεται με την αλλαγή της ταχύτητας, όχι της θερμοκρασίας. Σε στροβίλους συμπίεσης αέρος τα πράγματα είναι διαφορετικά.

### Το όριο Betz

Η προκύπτουσα μέγιστη τιμή του συντελεστή απόδοσης  $C_p$  είναι 59%. Μόνο ένα μέρος της συνολικής ισχύς  $W$  του αερίου ρεύματος μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμη ενέργεια από μια ανεμογεννήτρια. Η διαθέσιμη ισχύς για μια ανεμογεννήτρια ισούται με την αλλαγή της κινητικής ενέργειας του αέρα που περνά μέσα από το κινητό πλαίσιο (δρομέας με πτερύγια), της ανεμογεννήτριας.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένας νοητός θάλαμος ατράκτου που σχηματίζουν οι ρευματογραμμές του αέρα εντός της οποίας υπάρχει ένα κινητό πλαίσιο, το οποίο αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια που συνιστούν την έλικα του στροβίλου (φτερωτή), γνωστή και ως δρομέας. Υποθέτουμε εδώ ότι η μάζα του αέρα που περνά μέσα από το θάλαμο αυτής της ατράκτου δε συμπιέζεται, οπότε η πυκνότητα του αέρα αυτού δεν αλλάζει και ότι οι ταχύτητες των μορίων του αέρα αυτού είναι μικρές.



Οι ρευματογραμμές (δηλαδή οι γραμμές που σχηματίζονται από τα ρεύματα των μορίων του αέρα), αποκλίνουν καθώς περνούν διαμέσου του δρομέα ενώ η ταχύτητα του ρεύματος του αέρα ελαττώνεται και κατά την απλή θεωρία της ορμής που εξετάζουμε εδώ, η πίεση του αέρα λίγο πριν περάσει τον δρομέα και λίγο μετά το δρομέα, δεν αλλάζει (είναι δηλαδή σταθερή).

Υποθέτουμε έτσι ότι τα δύο ή τρία πτερύγια του δρομέα (που υπάρχουν στις περισσότερες σύγχρονες ανεμογεννήτριες), έχουν αντικατασταθεί με άπειρα σε αριθμό μικρά πτερύγια, που ασκούν την ίδια δύναμη αντίστασης, στο επερχόμενο ρεύμα του αέρα, που είναι ίδια με τη μέση δύναμη αντίστασης  $F$  ενός πραγματικού συστήματος δρομέα. Η ροή μάζας ανά μονάδα χρόνου  $m$ , είναι σταθερή στο απώτερο ανώρευμα, στο δρομέα και στο απώτερο κατώρευμα.

$$m = \rho A_0 V_0 = \rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2$$

Η δύναμη  $F$  που ασκείται από το ρεύμα του αέρα πάνω στο δρομέα ισούται με τη διαφορά της ορμής ανά μονάδα χρόνου:

$$F = m (V_0 - V_2)$$

Η ισχύς  $W$  που παίρνει ο δρομέας από το ρεύμα του αέρα ισούται με τη διαφορά κινητικής ενέργειας του ρεύματος του αέρα:

$$W = m \left( \frac{1}{2} V_0^2 - \frac{1}{2} V_2^2 \right)$$

Από τις προηγούμενες εξισώσεις έχουμε:

$$V_1 = \frac{1}{2} (V_0 + V_2)$$

Ο συντελεστής ταχύτητας κατωρεύματος  $b$ , δηλαδή ο λόγος των ταχυτήτων κατωρεύματος προς ανώρευμα είναι:

$$b = \frac{V_2}{V_0}$$

Επίσης έχουμε:

$$\frac{F}{A_1} = \frac{1}{2} \rho V_0^2 (1 - b^2)$$

Καθώς και:

$$\frac{W}{A_1} = \frac{1}{2} \rho V_0^3 \times \frac{1}{2} (1 - b^2) (1 + b)$$

Ο συντελεστής απόδοσης  $C_p$  ορίζεται ως ο λόγος της ισχύς  $W$  που αποδίδεται στο δρομέα από το ρεύμα του αέρα, προς την ισχύ  $W_1$  του ρεύματος αέρα εάν δεν περνούσε διαμέσου του θαλάμου της ατράκτου, δηλαδή:

$$C_p = \frac{W}{W_1}$$

και επειδή:

$$W_1 = \frac{1}{2} \rho A_1 V_0^3$$

έχουμε:

$$C_p = \frac{1}{2}(1-b^2)(1+b)$$

Αν διαφορίσουμε το  $C_p$  ως προς το  $b$ , θα λάβουμε το μέγιστο της συνάρτησης όταν ο συντελεστής  $b$  πάρει την τιμή  $1/3$ , οπότε προκύπτει:

$$C_p = \frac{16}{27}$$

Αυτό το όριο Betz τυποποιήθηκε αρχικά το 1919 και ισχύει για όλους τους τύπους των αεροκινητήρων. Αντίλαμβανόμεστε ότι πρέπει να υπάρχει μια αλλαγή στην ταχύτητα του ρεύματος του αέρα, που διαπερνά το θάλαμο της ατράκτου, για την οποία θα είχαμε τη μέγιστη απόδοση μετατροπής. Εάν δεν υπάρξει αυτή η αλλαγή ο δρομέας δεν θα πάρει ενέργεια και η ισχύς του ανεμοκινητήρα θα είναι μηδενική. Εάν η ταχύτητα εξόδου του κατωρεύματος από το θάλαμο είναι μηδενική, τότε όλη η ενέργεια του ρεύματος του αέρα θα έχει αποδοθεί στον ανεμοκινητήρα. Όμως τέτοιου είδους ανεμοκινητήρας δεν υπάρχει, οπότε μόνο ένα μέρος της κινητικής ενέργειας του αέρα μετατρέπεται σε χρήσιμη ενέργεια από έναν κοινό ανεμοκινητήρα. Έτσι η μέγιστη απόδοση του ανεμοκινητήρα είναι ανάλογη της μέγιστης διαφοράς της ταχύτητας του αέρα που προσπίπτει στο δρομέα του ανεμοκινητήρα, από την ταχύτητα εξόδου του αέρα από το θάλαμο και φυσικά αυτή η ταχύτητα δεν είναι μηδενική. Όταν λέμε ανεμοκινητήρας εννοούμε το συγκρότημα της έλικας από το οποίο παίρνουμε περιστροφική κίνηση. Όταν η κίνηση αυτή χρησιμοποιηθεί για να κινηθεί μια γεννήτρια έχουμε μια ανεμογεννήτρια. Η κίνηση όμως αυτή μπορεί, αντί να δοθεί σε μία γεννήτρια, να δοθεί σε μία αντλία νερού.

Οι σύγχρονοι ανεμοκινητήρες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας έχουν συντελεστή  $C_p = 0,40$ . Οι μεγαλύτερες απώλειες απόδοσης σε μια ανεμογεννήτρια οφείλονται στην τριβή των μορίων του αέρα με τα πτερύγια του δρομέα, στον στροβιλισμό του αέρα που προξενείτε στο ρεύμα του αέρα από το δρομέα, στις απώλειες ισχύς στο μηχανικό σύστημα μετάδοσης κίνησης καθώς και στο ηλεκτρικό σύστημα.

## **2.7 Τρόποι Μέτρησης Αιολικού Δυναμικού**

Το αποτέλεσμα της αένας κίνησης των αέριων μαζών προκάλεσε την αναζήτηση από τη μεριά των ανθρώπων να εκμεταλλευτούν αυτή την αστείρευτη και διαρκή πηγή ενέργειας που τους προσφέρονταν τόσο απλόχερα. Όμως σημαντικό κομμάτι αποτελεί ο τρόπος μέτρησης του ανέμου, η καταγραφή των στοιχείων αυτών και η αξιοποίησή τους με σκοπό να δημιουργήσουν μια καλύτερη εικόνα για τα αιολικά στοιχεία μιας περιοχής. Ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι μια επίπονη διαδικασία που στηρίζεται σε μαθηματικά μοντέλα τα οποία έχουν ακριβή αποτελέσματα μόνο σε επίπεδα εδάφη. Επειδή όμως η συντριπτική πλειοψηφία των περιοχών που είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων είναι περιοχές με έντονη ορειογραφία, βασιζόμαστε στα μαθηματικά μοντέλα που υπάρχουν και μεριμνούμε, έτσι ώστε οι μετρήσεις που έχουμε για την περιοχή να

είναι σε κοντινό μέρος, σε σχέση με την περιοχή ενδιαφέροντος. Είναι κοινά αποδεκτό ότι σε μια περιοχή περίπου 7-10 χιλιομέτρων γύρω από τον ανεμολογικό ιστό, μπορούμε να εξάγουμε ακριβή συμπεράσματα για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου. Οι μετρήσεις λαμβάνονται από μετεωρολογικούς ιστούς, οι οποίοι χωροθετούνται κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και κατά προτίμηση σε αντιπροσωπευτική για τη βουνοκορφή θέση, έτσι ώστε να μην έχουμε παρεμπόδιση των ανέμων από ενδεχομένως ψηλότερες κορυφές. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα μας. Σ' αυτές τις περιπτώσεις εγκαθιστούμε ψηλότερους ιστούς με ύψος που φθάνει και τα 60 μέτρα και τοποθετούμε όργανα σε διάφορα ύψη (10 m, 30 m, 45 m, 60 m). Σύμφωνα, με εξωτερικούς συμβούλους και μελετητές των έργων αιολικής ενέργειας συνίσταται οι μετεωρολογικοί ιστοί να εγκαθίστανται στην υπό μελέτη περιοχή σε ύψος τριών τετάρτων του προτεινόμενου ύψους πλήμνης της ανεμογεννήτριας. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η αξιοπιστία της μέτρησης της ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης της ανεμογεννήτριας που είναι συνήθως πάνω από τα 50m.

Εικόνα από μέτρηση Αιολικού Δυναμικού



Οι μετρητικές διατάξεις που τοποθετούνται σε ένα ιστό είναι το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης (παρακάτω γίνεται η περιγραφή για το καθένα από τα όργανα) και πολλές φορές τοποθετούνται σε ζευγάρια, έτσι ώστε στην περίπτωση που το ένα καταστραφεί, να έχουμε ενδείξεις από το άλλο. Τα όργανα συνδέονται σε ένα καταγραφικό (data logger) το οποίο παίρνει μετρήσεις από τα όργανα. Μέσα από τις ρυθμίσεις του καταγραφικού, ορίζουμε το διάστημα δειγματοληψίας για τις μετρήσεις. Για εφαρμογές όπως η ανέγερση ενός 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 τη διεύθυνση του ανέμου.

Data logger:



### Ανεμόμετρα

Για τη μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα ή οι ανεμογράφοι. Τα πλέον απλά είναι τα ανεμόμετρα ταχύτητας, στα οποία η ένταση του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής που επιβάλλει ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης του ανέμου. Στον ιστό χρησιμοποιούνται δυο τέτοιου τύπου κυπελοφόρα ανεμόμετρα.

Τα κυπελοφόρα ανεμόμετρα αποτελούνται από έναν κατακόρυφο άξονα στην κορυφή του οποίου υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι. Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο, με τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη.



Γνωρίζοντας ότι η αεροδυναμική αντίσταση της κοίλης πλευράς είναι σημαντικά μεγαλύτερη της κυρτής, το σύστημα περιστρέφεται υπό την επίδραση του ανέμου και ο αριθμός των περιστροφών του καταγράφεται δια μέσου του κατακόρυφου άξονα σε ένα καταγραφικό σύστημα. Για την καταγραφή των στροφών του κατακόρυφου άξονα χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα, που περιλαμβάνουν:

-Μηχανικό στροφόμετρο, που καταγράφει τον αριθμό των περιστροφών των κυπέλλων από τη στιγμή ενάρξεως λειτουργίας του οργάνου.

-Ηλεκτρική επαφή, η οποία κλείνει μετά από ένα ορισμένο αριθμό στροφών, και μέσω καταγραφικού δίνει απ' ευθείας τη μέση ταχύτητα του ανέμου.

-Μικρή ηλεκτρογεννήτρια, η οποία μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του άξονα σε ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο και μετατρέπεται σε ένδειξη ταχύτητας.

-Φωτοηλεκτρικό διακόπτη, ο οποίος μετατρέπει την ταχύτητα περιστροφής σε στιγμιαία ταχύτητα ανέμου στην έξοδο του συστήματος.

## Ανεμοδείκτες

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

Ένας ακριβής ανεμοδείκτης έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του με ελάχιστες τριβές.
- Δεν παρουσιάζει τάσεις κλίσεως προς μια διεύθυνση, με την ακριβή αντιστάθμιση των ελασμάτων με τη χρήση αντίβαρου.
- Εμφανίζει τη μέγιστη ροπή στρέψης για δεδομένη αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με την αδράνεια του οργάνου.
- Παρουσιάζει γρήγορη απόκριση στις διαρκείς διακυμάνσεις της διεύθυνσης του ανέμου.
- Παρουσιάζει επαρκή απόσβεση των τυχαίων ταλαντώσεων.





**3.1 Γενική προσέγγιση**

Η ανεμογεννήτρια είναι η μηχανή η οποία μας επιτρέπει να απορροφήσουμε την αιολική ενέργεια. Βεβαία δεν μπορεί να συγκομισθεί όλη η ενέργεια του πνέοντος ανέμου, αφού η διατήρηση της μάζας απαιτεί όση μάζα του αέρα εξέρχεται από το στρόβιλο άλλη τόση να εισέρχεται. Ο νόμος του Betz υποδεικνύει ότι η μέγιστη επιτεύξιμη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να ξεπερνά το 59% της συνολικής κινητικής ενέργειας του αέρα που ρέει διαμέσου του στροβίλου. Επίσης υπεισέρχονται περαιτέρω απώλειες, όπως η τριβή της στρεφόμενης πτέρυγας του δρομέα, απώλειες του κιβωτίου ταχυτήτων, απώλειες στην γεννήτρια και στον μετατροπέα, οι οποίες μειώνουν την ισχύ που παρασχεθεί από μια ανεμογεννήτρια κ.ά.. Επιπροσθέτως, η αποδοτικότητα μπορεί να μειωθεί, ελαφρώς, με την πάροδο του χρόνου λόγω φθοράς. Τα στοιχεία που έχουμε βέβαια είναι αρκετά ενθαρρυντικά καθώς, για παράδειγμα, ανάλυση 3128 ανεμογεννητριών εγκατεστημένων για περισσότερο από 10 χρόνια στη Δανία, έδειξε ότι οι μισές δεν είχαν καμία μείωση, ενώ οι άλλες μισές έδειξαν μείωση της παραγωγής κατά 1,2% ετησίως.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες έχουν δυνατότητα λειτουργίας για ταχύτητες από 4 έως 25 m/s, ενώ η παλαιάς τεχνολογίας λειτουργούσαν πολύ καλά με υψηλό βαθμό απόδοσης γύρω στα 12 με 14 m/s ταχύτητα ανέμου. Η σύγχρονη τεχνολογία στην αιολική ενέργεια μπορεί να δώσει αποφασιστικές λύσεις για την παραγωγή καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας και διοχέτευσής της στο δίκτυο. Επιπλέον, οι νέες τεχνολογίες στα αιολικά συστήματα έχουν άρει τα παλιά προβλήματα που είχαν οι πρώτες μηχανές και έχουν οδηγήσει στη βέλτιστη ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών και των αιολικών πάρκων στο σύστημα έτσι ώστε να προσεγγίζουν και πολλές φορές να ξεπερνούν τις λειτουργικές δυνατότητες που δίνουν οι συμβατικοί σταθμοί από άποψη λειτουργίας και ευστάθειας του συστήματος. Βέβαια υπάρχουν πολλά ακόμα να λυθούν αλλά υπάρχει η δυνατότητα σήμερα μεγάλης διείσδυσης ανεμογεννητριών και αιολικών πάρκων στο σύστημα.

Με το πέρας των ετών, έχοντας εξετάσει διεξοδικά τον άνεμο καθώς και τις περιστάσεις κάτω από τις οποίες θέλουμε να τον εκμεταλλευτούμε, έχουμε καταλήξει πλέον σε κάποιες εδραιωμένες επιλογές όσον αφορά τους τύπους, τα μεγέθη και τη μορφή των ανεμογεννητριών.

**3.2 Κατηγορίες Ανεμογεννητριών**

Η τεχνολογία στην κατασκευή ανεμογεννητριών εξελίσσεται ραγδαία με τη πάροδο των χρόνων, φθάνοντας σε όλο και μεγαλύτερα και ισχυρότερα κατασκευάσματα. Πριν φτάσουμε στην κλασική μορφή των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιείται σήμερα, κατά το πλείστον των περιστάσεων, η μορφή των ανεμογεννητριών έχει περάσει από πολλά στάδια.

Οι κυριότεροι τύποι ανεμογεννητριών ταξινομούνται κυρίως ανάλογα με τον τρόπο που εκμεταλλεύονται τον άνεμο. Οι δύο κύριες κατηγορίες είναι:

-Οριζόντιου Άξονα: Αυτού του τύπου ανεμογεννήτριες ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.

-Κατακόρυφου Άξονα: Σε αυτές τις ανεμογεννήτριες ο άξονας περιστροφής τους είναι κάθετος στην επιφάνεια του εδάφους και κάθετος στη κατεύθυνση του ανέμου.

Συγκρίνοντας τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου και κάθετου άξονα βλέπουμε ότι οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα έχουν αυτόματη προσαρμογή στην κατεύθυνση του ανέμου σε κάθε χρονική στιγμή, σε αντίθεση με τους αεροκινητήρες οριζόντιου άξονα οι οποίοι απαιτούν τη χρήση ειδικών μηχανισμών προσανατολισμού στη διεύθυνση του ανέμου. Επίσης στις ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα το κόστος κατασκευής τους είναι χαμηλότερο από το κόστος κατασκευής μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα λόγω απλούστερου σχεδιασμού, όπως επίσης είναι ασφαλέστερες διότι δεν υπάρχει ο κίνδυνος να σπάσει κάποιο πτερύγιο, ούτε κινούνται με την μεγάλη ταχύτητα στροφών που κινούνται οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

Αντίθετα, οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν πολύ ψηλή απόδοση σε σύγκριση με αυτές του κατακόρυφου άξονα (μια καλή μικρή ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα έχει μέση απόδοση 30%-40% ενώ κάθετου δεν ξεπερνά το 15%). Τέλος λόγω χαμηλότερων στροφών περιστροφής ανά λεπτό, οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα χρειάζονται πιο ισχυρούς ανέμους για να ξεκινήσουν την φόρτιση των συσσωρευτών από αυτές με οριζόντιο άξονα. Ανάλογα με το μέγεθος και τη μηχανική ισχύ που παράγουν, δεν υπάρχουν αυστηρά κριτήρια διαχωρισμού των αεροκινητήρων. Αεροκινητήρες με ισχύ κάτω των 30 KW χαρακτηρίζονται σαν μικροί, μεταξύ 30-300 KW χαρακτηρίζονται σαν μεσαίοι, ενώ οι αεροκινητήρες με ισχύ άνω των 300 KW χαρακτηρίζονται σαν μεγάλοι. Υπάρχει ακόμη μια κατηγορία τους πολύ μεγάλους αεροκινητήρες με ισχύ άνω των 2 MW.

Σήμερα έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συνήθως με ένα ή δύο ή τρία πτερύγια σε ποσοστό της τάξεως 90%. Από τους τρεις τύπους έχουν επικρατήσει οι τρίπτερες ανεμογεννήτριες (με τρία πτερύγια) γιατί δεν χρειάζονται τόσο μεγάλη ταχύτητα ανέμου για να παράγουν το ίδιο ποσό ενέργειας από τις άλλες δύο κατηγορίες (δίπτερες και μονόπτερες).



### Πιο αναλυτικά για τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα (VAWT):

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα έχουν τον άξονα περιστροφής τους κάθετο ως προς το έδαφος και κατακόρυφο ως προς τη ροή του ανέμου. Ένα πλεονέκτημα αυτής της διάταξης είναι ότι η Α/Γ δεν χρειάζεται να είναι στραμμένη προς τον άνεμο για να είναι αποτελεσματική, κάτι το οποίο αποτελεί πλεονέκτημα σε μια περιοχή όπου η κατεύθυνση του ανέμου είναι εξαιρετικά μεταβλητή, για παράδειγμα, όταν η γεννήτρια είναι τοποθετημένη σε ένα κτίριο. Το μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα στο έδαφος όπου είναι τοποθετημένο το σύστημα για μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια. Επίσης, το γεγονός ότι η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων μπορούν να τοποθετηθούν κοντά στο έδαφος, είναι ένα πλεονέκτημα καθώς διευκολύνουν πολύ την προσβασιμότητα και κατ' επέκταση τη συντήρηση. Σημαντικό είναι επίσης ότι σε αυτές τις μηχανές ο έλεγχος βήματος πτερυγίων δεν είναι απαραίτητος όταν χρησιμοποιούνται σε σύγχρονη γεννήτρια. Οι πιο γνωστοί τύποι ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα είναι οι ανεμογεννήτριες τύπου Darrieus και Savonius, οι οποίες όμως δεν έχουν γνωρίσει την εμπορική ανάπτυξη που έχουν οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

Υπάρχουν όμως και κάποια σοβαρά μειονεκτήματα που κάνουν τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα όχι και τόσο λειτουργικές. Το κυριότερο πρόβλημα είναι πολλές φορές δεν είναι δυνατόν να ξεκινήσουν να περιστρέφονται χωρίς εξωτερική παρέμβαση, μιας και η ροπή εκκίνησης τους είναι πάρα πολύ υψηλή. Στη περίπτωση αυτή υποχρεωτικά πρέπει να λειτουργήσουν στην αρχή σαν κινητήρας τραβώντας ρεύμα από το δίκτυο. Επίσης αξίζει να σημειωθεί το γεγονός πως έχουν μικρή σχετικά απόδοση μιας και η ταχύτητα του ανέμου σε αυτά τα ύψη είναι σχετικά χαμηλή και επίσης κατά την περιστροφή τους, υπάρχουν σημεία στα οποία η συνεισφορά του ανέμου είναι σχεδόν μηδενική. Αξίζει να αναφερθεί ότι σε σύγκριση με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, μια ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα για να έχει την ίδια περίπου παραγωγή με μια οριζόντιου άξονα, θα πρέπει να έχει μέχρι και

τριπλάσια επιφάνεια επαφής με τον αέρα. Αυτό συνεπάγεται μεγάλο όγκο και βάρος της κατασκευής.



#### Πιο αναλυτικά για της ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα (HAWT):

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν τοποθετημένο τον ρότορα(δρομέα) και την ηλεκτρογεννήτρια στην κορυφή του πύργου και πρέπει να είναι στραμμένες προς τον άνεμο. Οι μικρές ανεμογεννήτριες στρέφονται προς τον άνεμο με έναν απλό δείκτη κατεύθυνσης άνεμου ενώ οι μεγάλες χρησιμοποιούν γενικά ένα αισθητήρα ανέμου σε συνδυασμό με ένα σερβομοτέρ.Οι περισσότερες έχουν ένα κιβώτιο ταχυτήτων, που μετατρέπει την αργή περιστροφή από τα πτερύγια σε μια πιο γρήγορη περιστροφή που είναι η κατάλληλη για την λειτουργία της ηλεκτρικής γεννήτριας.

Αν λάβουμε ως δεδομένο ότι ένας πύργος παράγει αναταράξεις από πίσω του, όλο το σύστημα της γεννήτριας συνήθως τοποθετείται μπροστά από τον πύργο υποστήριξης για να χτυπάει αυτό πρώτα ο άνεμος . Επίσης τα πτερύγια γίνονται σκληρά για να αποτραπεί η πιθανότητα μεγάλου λυγισμού τους ή ακόμα και θραύσης από τους δυνατούς ανέμους. Επιπλέον, οι λεπίδες τοποθετούνται σε σημαντική απόσταση μπροστά από τον πύργο και επίσης μερικές φορές έχουν μια μικρή κλίση προς τα εμπρός μέσα στον άνεμο.

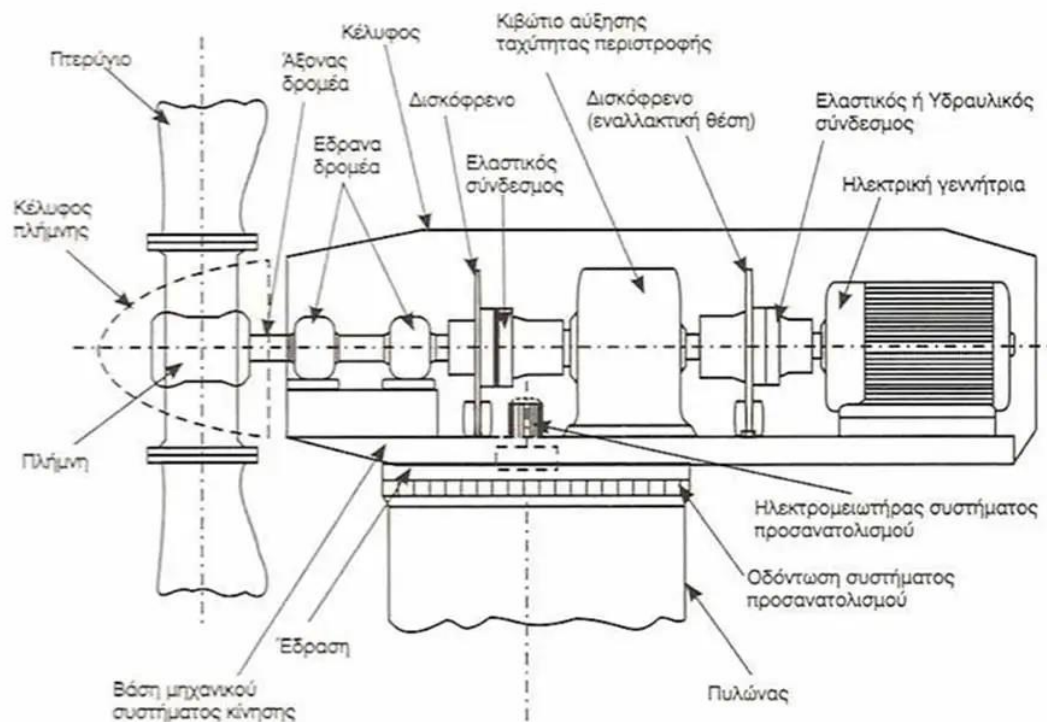
Όσον αφορά την κατεύθυνση του προσπίπτοντος ανέμου, οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, ταξινομούνται σε ανάντη και κατάντη με τις περισσότερες να ανήκουν στην πρώτη κατηγορία δεδομένου ότι οι επαναλαμβανόμενες αναταραχές κυκλικών διακυμάνσεων μπορεί να οδηγήσουν σε κόπωση και αστοχία υλικού.

Τέτοιου είδους μηχανές έχουν κατασκευαστεί, παρά το πρόβλημα της αναταραχής λόγω του ανέμου επειδή δεν χρειάζονται έναν επιπλέον μηχανισμό για τη διατήρησή τους στην κατεύθυνση του ανέμου και επειδή σε δυνατούς ανέμους τα πτερύγια μπορούν να υποστούν κάμψη που μειώνει την περιβάλλουσα περιοχή τους και έτσι την αντίσταση στους ανέμους.



### **3.3 Δομή Ανεμογεννητριών**

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά τα βασικά μηχανολογικά και ηλεκτρικά εξαρτήματα μιας ανεμογεννήτριας. Είναι εύκολο να διακρίνει κάποιος τον άξονα χαμηλών στροφών που συνδέεται με το κιβώτιο ταχυτήτων και αυτό με το ρότορα της γεννήτριας. Η πλήμνη είναι βάση στήριξης των πτερυγίων και η ένωση τους με τον δρομέα. Η γεννήτρια συνδέεται με ένα μετασχηματιστή και έκτοτε στο δίκτυο. Υπάρχουν και άλλα στοιχεία που μπορεί να προσέξει κανείς, όπως τον ανεμοδείκτη και το ανεμόμετρο που βοηθάνε στον έλεγχο και την προσαρμογή της ανεμογεννήτριας ανάλογα με το περιβάλλον που επικρατεί.



Οι περισσότερες ανεμογεννήτριες αποτελούνται από τρία πτερύγια, ενώ δύο πτερύγια συναντώνται συνήθως σε πολύ μικρές ανεμογεννήτριες για διευκόλυνση σε επίπεδο κατασκευής και εγκατάστασης. Η ένταση των δονήσεων μειώνεται με μεγαλύτερο αριθμό πτερυγίων ενώ ο θόρυβος και η φθορά είναι γενικά μειωμένα και η αποτελεσματικότητα υψηλότερη με τρία αντί για δύο πτερύγια. Οι ανεμογεννήτριες με μεγαλύτερο αριθμό μικρότερων πτερυγίων λειτουργούν σε χαμηλότερο αριθμό Reynolds οπότε και είναι λιγότερο αποδοτικές. Τέλος με την αύξηση του αριθμού των πτερυγίων αυξάνει και το κόστος της εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας. Τα σύγχρονα πτερύγια κατασκευάζονται από ελαφρύ πλαστικό ενισχυμένο με γυαλί, ενώ μικρότερου μεγέθους πτερύγια κατασκευάζονται από αλουμίνιο ή λεπτά στρώματα ξύλου.

**-Νασέλλα:** Η νασέλλα αποτελεί το ογκώδες οριζόντιο τμήμα που είναι τοποθετημένο στην κορυφή του πύργου της ανεμογεννήτριας και στο οποίο εφάπτεται ο στροφέας. Η νασέλλα περιλαμβάνει το σύστημα μετάδοσης (κιβώτιο ταχυτήτων), τους άξονες χαμηλής και υψηλής ταχύτητας, τη γεννήτρια, τον ελεγκτή και την πέδη.

**-Κινούμενο μέρος (ρότορας):** Αποτελεί ίσως το σημαντικότερο μέρος για τη σχεδίαση του όλου συστήματος. Ο ρότορας αποτελεί το στρεφόμενο μέρος της μηχανής, το άκρο του οποίου είναι τύπου έλικας και μπορεί να φέρει μία (μονόπτερος) δύο ή τρεις πτέρυγες. Η περιστροφή των πτερυγίων ενός δρομέα οριζοντίου άξονα οφείλεται στη συνδυασμένη δύναμη της άνωσης και της πίεσης που ασκείται, όταν οι μάζες του αέρα προσπίπτουν στα πτερύγια. Για τη μέγιστη αξιοποίηση αυτής της δύναμης απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός, στη μορφή των πτερυγίων, στη στρέψη τους ως προς τον άξονα στήριξης τους (κλίση) και στην ελικοειδή διάταξη τους

(βήμα). Τα πτερύγια συνήθως κατασκευάζονται από ενισχυμένο πολυεστέρα. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος συνδυασμός των διάφορων παραμέτρων που συνθέτουν το δρομέα : ταχύτητα περιστροφής, διάμετρος δρομέα, αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους πτερυγίου, κατάλληλη αεροτομή ή αεροτομές. Το κριτήριο επιλογής για το συνδυασμό αυτό, είναι η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας. Τέλος η πλήμνη του δρομέα αποτελεί το σημείο στο οποίο στερεώνονται τα πτερύγια και κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο.



**-Σύστημα μετάδοσης κίνησης:** Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής (ταχύτητα με συγκεκριμένο αριθμό στροφών) της ανεμογεννήτριας. Με το σύστημα μετάδοσης δίνεται η κίνηση από το δρομέα (χαμηλές στροφές), στην ηλεκτρογεννήτρια (υψηλές στροφές). Συνδέει τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από 30 - 60 περιστροφές το λεπτό (rpm) σε 1200 - 1500 rpm, δηλαδή την ταχύτητα περιστροφής που απαιτείται από τις περισσότερες γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το σύστημα μετάδοσης αποτελεί ένα ακριβό και βαρύ δομικό στοιχείο της ανεμογεννήτριας. Ανεμογεννήτριες μέχρι 150 kW έχουν σύστημα μετάδοσης δύο επιπέδων, ενώ ανεμογεννήτριες 300 kW έχουν σύστημα τριών επιπέδων (δύο επίπεδα και ένας ενδιάμεσος άξονας) και αυτές άνω των 450 kW έχουν σύστημα μετάδοσης δύο επιπέδων σε συνδυασμό με ένα οδοντωτό τροχό.

**-Πτερύγια:** Οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται σε σταθμούς (αιολικά πάρκα) παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια και ταχύτητα άκρου του πτερυγίου από 50 έως 70 m/s. Με αυτές τις ταχύτητες του ακραίου σημείου του πτερυγίου, μια έλικα τριών πτερυγίων δίνει την καλύτερη απόδοση, αν και οι έλικες με δύο πτερύγια αποδίδουν 2 - 3% λιγότερο.

Επίσης οι κραδασμοί στον άξονα της έλικας αυξάνονται όταν έχουμε λιγότερα πτερύγια. Για το λόγο αυτό η κατασκευή ενός τέτοιου άξονα έλικας επιτρέπει λίγες μοίρες απόκλιση γύρω από τον οριζόντιο άξονα περιστροφής. Έτσι, η φόρτιση των πτερυγίων της έλικας, που οφείλεται σε θύελλες και μεγάλες αλλαγές στην ένταση του ανέμου, ελαττώνεται. Πάντως στις

έλικες με τρία πτερύγια οι δυνάμεις φόρτισης διαμοιράζονται κατά τον καλύτερο τρόπο και η έλικα φαίνεται αισθητικά ωραιότερη. Στην κατασκευή των πτερυγίων της έλικας χρησιμοποιείται πλαστικό ενισχυμένο με ίνες γυαλιού [GRP], καθώς και ράβδοι ξύλου με πανί, πλαστικό ενισχυμένο με ίνες άνθρακα [CFRP], ή και κράμα χάλυβα με αργίλιο (αλουμίνιο). Για έλικες διαμέτρου μικρότερης των 5 m χρησιμοποιούνται υλικά με κριτήριο της αποδοτικής μαζική παραγωγή και όχι τα ζητήματα βάρους, δυσκαμψίας ή άλλων ειδικών χαρακτηριστικών της έλικας.

Τα πτερύγια έλικας για μεγάλες ανεμογεννήτριες κατασκευάζονται από GRP, και στις περισσότερες περιπτώσεις η επίστρωση με ρητίνες πολυεστέρα γίνεται με το χέρι, όπως ακριβώς και στα κήτη μικρών θαλασσιών σκαφών. Η εργασία αυτή δεν απαιτεί εξειδικευμένο εργατικό προσωπικό και για πτερύγια μήκους μικρότερου των 20 m δεν υπάρχει ανησυχία για υπερβολικό βάρος και στερεότητα κατά τη σχεδίαση και κατασκευή. Βέβαια, υπάρχουν και πολυπλοκότεροι τρόποι χρησιμοποίησης των GRP, οι οποίοι ελαττώνουν το βάρος και αυξάνουν τη στερεότητα, αλλά δεν μπορούν να αναφερθούν με λεπτομέρεια εδώ. Για παράδειγμα, οι ίνες γυαλιού τοποθετούνται με πιο ακριβή τρόπο επί προδιογκωμένων φύλλων, με χρήση εποξικής ρητίνης υψηλότερης απόδοσης και πήξης σε ορισμένη ελεγχόμενη θερμοκρασία. Προς το παρόν φαίνεται ότι το άπλωμα του πολυεστέρα με το χέρι, και η προσεκτική επιλογή της τοποθέτησης των ινών, προσφέρει μια λύση χαμηλού κόστους για πτερύγια GRP μεγάλου μήκους.

Τα πτερύγια που κατασκευάζονται από μη μεταλλικά υλικά παρουσιάζουν προβλήματα στη ρίζα, δηλαδή στη σύνδεση του πτερυγίου με την πλήμνη του άξονα περιστροφής. Εκεί οι ροπές κάμψης είναι μεγαλύτερες και η αλλαγή της ακαμψίας μεταξύ της πλήμνης (που είναι μεταλλική), και της ρίζας του πτερυγίου (που δεν είναι από μέταλλο), οδηγεί αναπόφευκτα σε συγκέντρωση τάσεων. Το πρόβλημα λύνεται εν μέρει είτε με κόλληση μεταλλικών σωλήνων πάνω στην πλήμνη και την εμφύτευση τους στο πτερύγιο με κόλλα εποξικής ρητίνης, αλλά και με άλλους τρόπους.



Παρακάτω απεικονίζεται η μεταφορά πτερύγιου 67 μέτρων:



**-Διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων:** Το διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων συνδέει την κεφαλή του ρότορα με το κιβώτιο ταχυτήτων. Σε ανεμογεννήτρια 1000 KW ο ρότορας περιστρέφεται σχετικά αργά, περίπου 19 με 30 περιστροφές ανά λεπτό (rpm). Το διαφορικό περιέχει σωλήνες για το υδραυλικό σύστημα ώστε να μπορεί να λειτουργήσει το αεροδυναμικό φρένο.

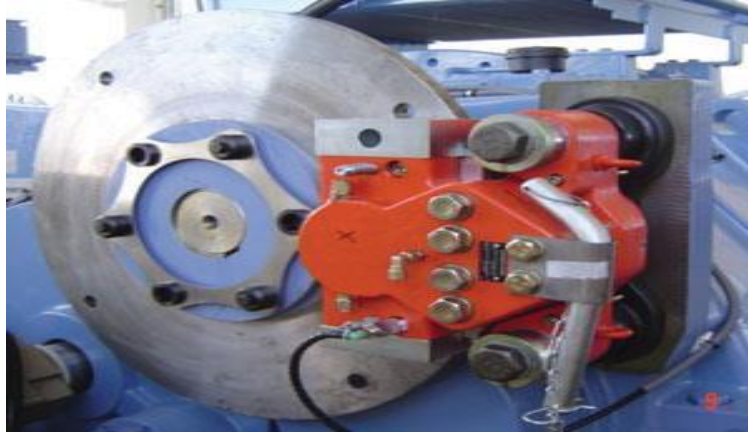


**-Διαφορικό υψηλών ταχυτήτων:** Ο άξονας υψηλής ταχύτητας συνδέεται μεταξύ του συστήματος μετάδοσης και της γεννήτριας. Το σύστημα μετάδοσης κινεί τον άξονα και αυτός με τη σειρά του κινεί τη γεννήτρια παρέχοντάς της υψηλή ταχύτητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το διαφορικό είναι εξοπλισμένο με ένα δισκόφρενο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Το μηχανικό φρένο χρησιμοποιείται σε περίπτωση που το αεροδυναμικό φρένο υποστεί βλάβη ή η ανεμογεννήτρια επισκευάζεται.



**-Ηλεκτρική γεννήτρια:** Ο μηχανισμός αυτός παράγει την ηλεκτρική ενέργεια όταν υπάρχει ικανοποιητικός αέρας για να περιστρέψει τα πτερύγια. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στο επόμενο στάδιο (είτε για αποθήκευση, είτε στο σύστημα διανομής, είτε για άμεση χρήση) χρησιμοποιώντας καλωδίωση. Υπάρχουν δύο δυνατές λύσεις, σύγχρονη ή ασύγχρονη γεννήτρια, η οποία συνδέεται με την έξοδο του κιβωτίου πολλαπλασιασμού των στροφών μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Η θέση τοποθέτησης της είναι στην κορυφή του πύργου της ανεμογεννήτριας. Συνήθως χρησιμοποιείται η ασύγχρονη γεννήτρια λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει όσον αφορά στο κόστος, στο βάρος, στην απλότητα κατασκευής, στην αξιοπιστία, στις ανάγκες συντήρησης, στην καλύτερη ποιότητα ισχύος και στις μεμονωμένες μηχανικές καταπονήσεις. Η σύγχρονη γεννήτρια, η οποία μειονεκτεί στα παραπάνω, χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο, δηλαδή σε αυτόνομα συστήματα με συσσωρευτές για την αποθήκευση της ενέργειας, αφού η προτιμώμενη ασύγχρονη γεννήτρια χρειάζεται να παίρνει ρεύμα μαγνήτισης από το δίκτυο.

**-Σύστημα πέδησης:** Αποτελεί ένα δισκόφρενο, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί μηχανικά, ηλεκτρικά ή υδραυλικά με σκοπό να σταματήσει το στροφέα σε καταστάσεις που ενέχουν κίνδυνο έκτακτης ανάγκης. Ο έλεγχος της υπερβολικής ταχύτητας στις ανεμογεννήτριες εξασφαλίζεται με δύο τρόπους: αεροδυναμικά ή με μηχανική πέδηση. Ο έλεγχος της υπερβολικής ταχύτητας αεροδυναμικά αποτελεί την καλύτερη μέθοδο για την επιβράδυνση της ανεμογεννήτριας. Το φρενάρισμα της ανεμογεννήτριας μπορεί να επιτευχθεί με τη μεταφορά ενέργειας από τη γεννήτρια, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια της περιστροφής του στροφέα σε θερμότητα. Αυτή η μέθοδος είναι χρήσιμη στις περιπτώσεις που η κινητική ενέργεια στη γεννήτρια μειώνεται ξαφνικά ή είναι πολύ μικρή για να διατηρήσει την ταχύτητα του στροφέα στα επιτρεπτά επίπεδα. Το κυκλικά επαναλαμβανόμενο φρενάρισμα μειώνει σταδιακά και ελεγχόμενα την ταχύτητα των πτερυγίων. Με αυτόν τον τρόπο, η περιστροφή του στροφέα διατηρείται σε ασφαλή ταχύτητα, ακόμα και στις περιπτώσεις ανέμων υψηλών ταχυτήτων, διατηρώντας ταυτόχρονα, την παραγωγή ενέργειας σε κανονικά επίπεδα. Σε περιπτώσεις εργασιών συντήρησης, ο στροφέας σταματά να περιστρέφεται με τη βοήθεια ενός μηχανικού δισκόφρενου. Τα δισκόφρενα εφαρμόζονται αφού έχει μειωθεί ήδη η ταχύτητα του στροφέα με ηλεκτρομαγνητική πέδηση, καθώς τα μηχανικά φρένα θα φθαρθούν εύκολα εάν εφαρμοστούν για να σταματήσουν τον στροφέα από τη πλήρη ταχύτητα.



**-Ελεγκτής:** Η βασική λειτουργία του ελεγκτή είναι να δίνει εντολές στον κινητήρα παρεκτροπής σχετικά με το πόσο και προς τα που να στρέψει τη νασέλλα, έτσι ώστε ο στροφέας να βρίσκεται πάντα κόντρα στη ροή του ανέμου. Ανάλογα με τα δεδομένα που λαμβάνει από το ανεμόπτερο, ενεργοποιεί τη λειτουργία του στροφέα για ταχύτητες ανέμου 8-16 μιλίων την ώρα, ενώ για ταχύτητες μεγαλύτερες από 65 μίλια ανά ώρα σταματά τη λειτουργία του στροφέα, λόγω κινδύνου υπερθέρμανσης της γεννήτριας. Επιπλέον ο ελεγκτής καταγράφει διάφορες παραμέτρους της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας όπως είναι η τάση, το ρεύμα, η συχνότητα, η θερμοκρασία της νασέλλας και της γεννήτριας, το επίπεδο υδραυλικής πίεσης και το επίπεδο δόνησης. Σε κάθε περίπτωση επιπλοκής, π.χ. υπερθέρμανση του κιβωτίου ταχυτήτων ή της γεννήτριας, σταματά αυτόματα την ανεμογεννήτρια και καλεί τον υπολογιστή του ελεγκτή της ανεμογεννήτριας μέσω μιας τηλεφωνικής σύνδεσης.

**-Μηχανισμός και κινητήρας περιστροφής:** Ο μηχανισμός περιστροφής της ανεμογεννήτριας ή αλλιώς yaw drive είναι η αιτία που στρέφεται ο δρομέας της ανεμογεννήτριας απέναντι στον αέρα. Η ανεμογεννήτρια θεωρείται ότι έχει σφάλμα περιστροφής, αν ο δρομέας δεν είναι κάθετος στη διεύθυνση του ανέμου. Το σφάλμα περιστροφής έχει ως συνέπεια η ανεμογεννήτρια να μπορεί να εκμεταλλευτεί μικρότερο μέρος της ενέργειας του ανέμου. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός στρέφει το στροφέα και επομένως ολόκληρη τη νασέλλα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι βρίσκεται κόντρα στην κατεύθυνση του ανέμου. Κάτω από τον τροχό του μηχανισμού περιστροφής βρίσκεται ο μηχανισμός περιστροφής, ο οποίος τον θέτει σε κίνηση. Ο μηχανισμός περιστροφής ελέγχεται από ηλεκτρονικό ελεγκτή ο οποίος αντιλαμβάνεται τη διεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιώντας τον ανεμοδείκτη.

**-Ανεμόμετρο και ανεμοδείκτης:** Το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης χρησιμοποιούνται για να μετρούν την ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου. Τα ηλεκτρικά σήματα του ανεμόμετρου χρησιμοποιούνται από τον ηλεκτρονικό ελεγκτή της ανεμογεννήτριας για να αρχίσει την λειτουργία της όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει μια ελάχιστη τιμή. Ο υπολογιστής σταματά τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας αυτόματα αν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί ένα ανώτατο όριο προκειμένου να προστατεύσει την ανεμογεννήτρια και το περιβάλλον αυτής. Τα σήματα του ανεμοδείκτη χρησιμοποιούνται από τον ηλεκτρονικό ελεγκτή της

ανεμογεννήτριας για να στρέφει αυτήν απέναντι στον άνεμο, μέσω του μηχανισμού περιστροφής.

Μέσα στον οποίο στερεώνεται η ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως μεταλλικός, σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα (μπετόν), ενώ το ύψος του είναι τέτοιο, ώστε ο αέρας που προσπίπτει στα πτερύγια της ανεμογεννήτριας να έχει ομαλή ροή και όχι τυρβώδη. Έτσι, μειώνεται ο θόρυβος στο ελάχιστο.

Δύο είναι οι κύριοι τύποι πύργων που έχουν επικρατήσει, ο σωληνωτός κι ο τύπου δικτυώματος. Ο δικτυωτός είναι ευκολότερος στην συναρμολόγηση κι ανάρτηση, ελαφρύτερος και φθηνότερος. Ο σωληνωτός, από την άλλη, είναι αισθητικά καλύτερος και το εσωτερικό του όταν πρόκειται για μεγάλες ανεμογεννήτριες είναι δυνατό να αποτελέσει και το θάλαμο στέγασης όλων των οργάνων της ανεμογεννήτριας, ενώ μπορεί να έχει εσωτερική σκάλα ή ανελκυστήρα για την πρόσβαση στο κουβούκλιο ( νασέλλα ) στην κορυφή του.

**-Πίνακας ελέγχου:** Βρίσκεται συνήθως τοποθετημένος στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει κι ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας , έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη λειτουργία της.

**-Υδραυλικό σύστημα:** Το υδραυλικό σύστημα χρησιμοποιείται για να επαναφέρει τα αεροδυναμικά φρένα της ανεμογεννήτριας.

**-Μονάδα ψύξης:** Η μονάδα ψύξης περιέχει ένα ηλεκτρικό ανεμιστήρα που χρησιμοποιείται για να ψύχει την ηλεκτρική γεννήτρια. Επιπλέον περιέχει μια μονάδα ψύξης με λάδι η οποία χρησιμοποιείται για να ψύχει το λάδι στο κιβώτιο ταχυτήτων. Μερικές ανεμογεννήτριες έχουν υδρόψυκτες γεννήτριες.

### **Εργασίες εγκατάστασης και ο πύργος στήριξης:**

Για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών χρειάζεται να δημιουργηθούν δρόμοι οι οποίοι να είναι εφικτή η διέλευση των φορτηγών που θα μεταφέρουν τα κομμάτια συνδεσμολογίας της ανεμογεννήτριας. Σε ορεινές περιοχές κατασκευάζονται και δρόμοι επικοινωνίας από ανεμογεννήτρια σε ανεμογεννήτρια. Κατά την δημιουργία των δρόμων, τοποθετείται υπόγεια ένα δίκτυο το οποίο συνδέει τις μηχανές με τον υποσταθμό ανύψωσης τάσης.( εσωτερικό δίκτυο τάσης 20.000V) Για να μεταφερθεί η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς, κατασκευάζεται εξωτερικό δίκτυο μεσαίας ή υψηλής τάσης από τον υποσταθμό μέχρι το δίκτυο της γραμμής διανομής που συνήθως είναι εναέριο. Αφού δημιουργηθούν οι δρόμοι και η μεταφορά των στοιχείων της ανεμογεννήτριας είναι εφικτή, τότε ξεκινάει η κατασκευή της βάσης της. Στην βάση της δημιουργείται μια πλατεία από συμπυκνωμένο μπετόν για να είναι ασφαλής η χρήση των γερανών για την συναρμολόγηση των ανεμογεννητριών. Αφού ολοκληρωθεί το έργο και

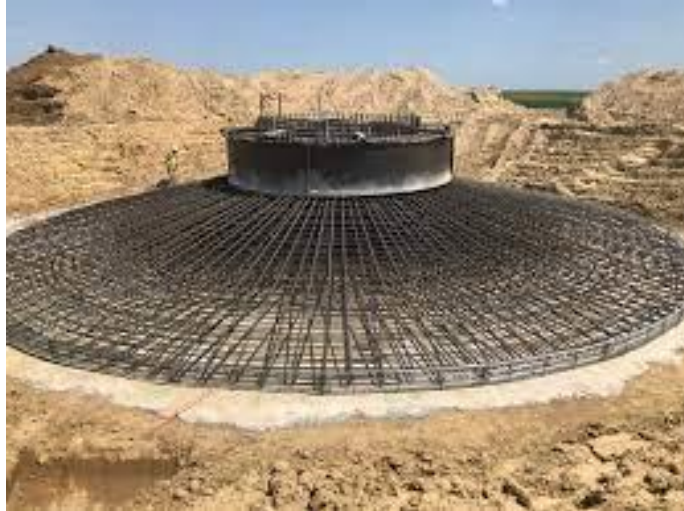
η εγκατάσταση είναι έτοιμη, τότε το μεγαλύτερο μέρος της πλατείας μπορεί να αποκατασταθεί με επανατοποθέτηση της φυτικής γης που απομακρύνθηκε.

Οι τύποι πύργων που κυριαρχούν στην εγκατάσταση ανεμογεννητριών είναι είτε δικτυωτός είτε σωληνωτός. Η κατασκευή τους γίνεται κυρίως από χάλυβα με σημαντικό παράγοντα την απορρόφηση των κραδασμών που δημιουργούνται από τον ρότορα. Στην κορυφή του πύργου γίνεται όλη η στήριξη της ηλεκτρομηχανολογικής εγκατάστασης. Όσο μεγαλύτερο είναι το ύψος του πύργου τόσο μεγαλύτερες είναι και οι ριπές ανέμων που δέχεται.

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται το εσωτερικό ενός πύργου



Αναλυτικά ο δικτυωτός πύργος είναι ελαφρύτερος για την μεταφορά και ευκολότερος στην συναρμολόγηση του. Συνεπώς και φθηνότερος. Ο σωληνωτός πύργος των μεγάλων ανεμογεννητριών μπορεί να γίνει και χώρος αποθήκευσης για όλα τα εσωτερικά συστήματα της ανεμογεννήτριας. Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι στην βάση του πύργου τοποθετείται ο μετασχηματιστής της εγκατάστασης. Η πρόσβαση στην άτρακτο γίνεται με την τοποθέτηση εσωτερικής σκάλας στον πύργο ή με την τοποθέτηση ανελκυστήρων σε πολύ μεγάλους πύργους.



### 3.4 Γεννήτρια

Τόσο οι σύγχρονες όσο και οι ασύγχρονες γεννήτριες αποτελούνται από ένα ακίνητο (τον στάτη) και ένα κινητό πλαίσιο (δρομέας, ρότορας). Ο στάτης είναι σχεδόν ο ίδιος και στους δυο τύπους γεννητριών. Ο στάτης αποτελείται από πυρήνα συνιστάμενο από φύλλα σιδήρου μονωμένα και συνδεδεμένα μεταξύ τους. Επάνω σ' αυτόν τον πυρήνα υπάρχουν τα τριφασικά τυλίγματα του πηνίου από μονωμένο σύρμα. Οι δρομείς είναι τελείως διαφορετικά στα δυο είδη γεννητριών. Ο δρομέας της σύγχρονης γεννήτριας συνίσταται από τύλιγμα πηνίου που διαρρέεται από συνεχές ρεύμα, στις μεγάλες γεννήτριες, ενώ στις μικρές συνίσταται από μόνιμο μαγνήτη. Έτσι, το περιστρεφόμενο μαγνητικό πεδίο του δρομέα επάγει έτσι ρεύμα στον στάτη, η έξοδος του οποίου συνδέεται στο δίκτυο διανομής.

Ο δρομέας μιας ασύγχρονης (ή επαγωγικής) γεννήτριας είναι ένα κλουβί με ράβδους που βραχυκυκλώνονται στα δυο άκρα τους. Ο δρομέας αυτός δεν έχει καμία ηλεκτρική σύνδεση, αλλά επάγει ρεύμα στο στάτη καθώς κινείται ως προς το περιστρεφόμενο πεδίο που παράγει ο στάτης. Εάν η ταχύτητα του δρομέα είναι ακριβώς ίση με την ταχύτητα του περιστρεφόμενου πεδίου που παράγεται από το στάτορα, τότε δεν υπάρχει σχετική κίνηση οπότε ο δρομέας δεν επάγει ρεύμα στον στάτη.

Έτσι η επαγωγική γεννήτρια λειτουργεί πάντοτε σε ταχύτητα κάπως μεγαλύτερη από αυτή του περιστρεφόμενου πεδίου που παράγει ο στάτης. Αυτή η διαφορά της ταχύτητας που φτάνει το ποσοστό 1% κατά την κανονική λειτουργία είναι γνωστή και ως ολίσθηση. Οι ασύγχρονες γεννήτριες δε χρησιμοποιούνται σήμερα σε ευρεία κλίμακα, χρησιμοποιούνται όμως πολύ οι επαγωγικοί (ή ασύγχρονοι) κινητήρες. Η επαγωγική γεννήτρια είναι ουσιαστικά ένας επαγωγικός κινητήρας, ο οποίος ασκεί ροπή στο δρομέα αντί να παίρνει από αυτό. Είναι λίγο πιο αποδοτικές από τις ασύγχρονες γεννήτριες και έχουν το μεγάλο πλεονέκτημα ελέγχου της

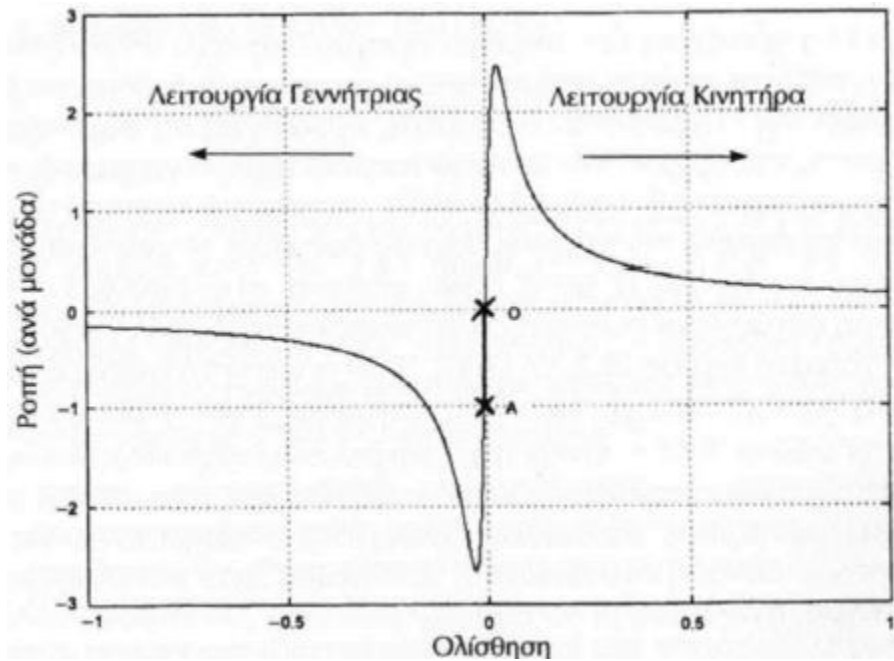
επαγωγικής ισχύος τους. Σε μια σύγχρονη γεννήτρια το συνεχές ρεύμα που ρέει στο τύλιγμα του δρομέα επάγει ρεύμα στο στάτη κατά την περιστροφική κίνηση, όπως προαναφέραμε. Έτσι, αν αυξηθεί αυτό το συνεχές ρεύμα, εξάγεται προς το δίκτυο επαγωγική ισχύς, αν δε ελαττωθεί αυτό το ρεύμα, τότε εισάγεται επαγωγική ισχύς από το δίκτυο. Ο έλεγχος λοιπόν της επαγωγικής ισχύος συνεπάγεται τον έλεγχο της τάσης του συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος.

Ορισμένα αρχικά πρωτότυπα ανεμογεννητριών παρήγαγαν ρεύμα με σύγχρονες γεννήτριες. Όμως, η σύγχρονη γεννήτρια είναι "συντονισμένη" με τη συχνότητα της τάσης του δικτύου και αυτός ο συντονισμός μπορεί να παρομοιαστεί σαν σύνδεση μέσω ενός μεγάλου ελατηρίου. Η έλικα ενός στροβίλου παράγει παλμούς ροπής στη συχνότητα διέλευσης των πτερυγίων μπροστά από τον πύργο στήριξης. Εάν αυτοί οι παλμοί είναι της ίδιας συχνότητας με αυτούς που παράγονται από το ελατήριο σύνδεσης με το δίκτυο και τη μάζα της γεννήτριας, τότε θα έχουμε συντονισμό, δηλαδή πολύ μεγάλες ταλαντώσεις (κραδασμούς) στο κιβώτιο ταχυτήτων (των οδοντωτών τροχών) μετάδοσης κίνησης. Αυτό είχε συμβεί παλαιότερα σε μια ανεμογεννήτρια.

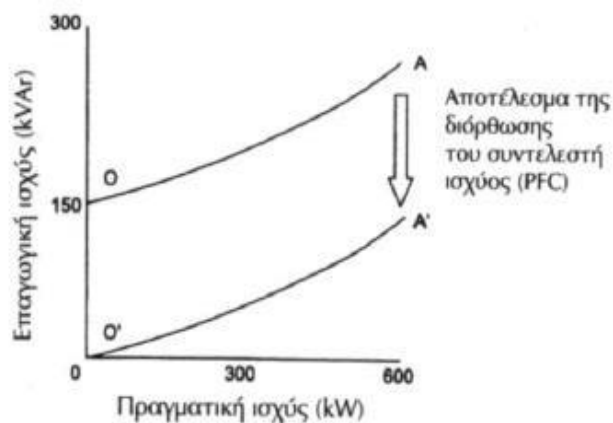
Αντιθέτως, μια ασύγχρονη γεννήτρια δεν είναι συντονισμένη στη συχνότητα τάσης του δικτύου, διότι ολισθαίνει, επειδή λειτουργεί σε λίγο μεγαλύτερη ταχύτητα. Έτσι, οι μεταβολές των παλμών ροπής που παράγει η έλικα απορροφώνται με πολύ μικρές αλλαγές στην ταχύτητα ολίσθησης. Η σύνδεση μιας ασύγχρονης γεννήτριας στο δίκτυο, μπορεί τότε να νοηθεί σαν σύνδεση μέσω απόσβεσης παρά σαν σύνδεση μέσω ελατηρίου.

Η απόδοση μιας ασύγχρονης μηχανής μπορεί να περιγραφεί από τη γραφική παράσταση της σχέσης της ροπής ως προς την ολίσθηση. Η ολίσθηση παρίσταται κατά τον οριζόντιο άξονα  $x$ , όπου το 1 αντιστοιχεί στην κατάσταση ηρεμίας και το 0 στην περιστροφική κίνηση σε συγχρονισμό με το πεδίο του στάτη. Κατά συνθήκη δηλώνουμε ότι η ολίσθηση είναι θετική για ταχύτητες κατώτερες της ταχύτητας αυτού του συγχρονισμού. Η ροπή παρίσταται κατά τον κατακόρυφο άξονα  $y$ , όπου το 1 αντιστοιχεί στην ονομαστική τιμή των 600 kW.

Στην παρακάτω κυματομορφή απεικονίζεται η συνάρτηση ροπής ολίσθησης μιας ασύγχρονης γεννήτριας



Στην παραπάνω κυματομορφή φαίνεται πώς η ίδια μηχανή μπορεί να λειτουργήσει ως κινητήρας ή ως γεννήτρια. Σαν κινητήρας λειτουργεί μεταξύ των ολισθήσεων 1 και 0. Τα κανονικά όρια λειτουργίας μιας γεννήτριας βρίσκονται μεταξύ των σημείων O και A. Στο σημείο O δεν ασκείται πάνω στον άξονα της γεννήτριας ροπή που παράγεται από την έλικα. Καθώς η έλικα της ανεμογεννήτριας ασκεί ροπή, μέσω του κιβώτιου ταχυτήτων, πάνω στον άξονα της γεννήτριας, το σημείο λειτουργίας κινείται προς το A. Στο σημείο A η γεννήτρια θα παράγει 600 kW με ταχύτητα περιστροφής λίγο ανώτερη αυτής του συγχρονισμού.





Στο σημείο Ο η γεννήτρια δεν παράγει πραγματική ισχύ στην έξοδο της, διότι η γεννήτρια παίρνει ακόμα αρκετή επαγωγική ισχύ για να μαγνητίσει το σιδερένιο πυρήνα της. Όμως όταν ο δρομέας της αρχίζει να περιστρέφεται και το σημείο λειτουργίας της αρχίζει και αυτό να κινείται προς το σημείο Α, τότε παράγει στην έξοδο της πραγματική ισχύ, αλλά πάλι απορροφά περισσότερη επαγωγική ενέργεια. Η απορρόφηση επαγωγικής ισχύος δεν είναι συχνά επιθυμητή εφόσον έχουμε απώλειες στο δίκτυο. Γι' αυτό, στη βάση της ανεμογεννήτριας συνδέονται πυκνωτές που παρέχουν χωρητική ισχύ ή αλλιώς διόρθωση του συντελεστή ισχύος (Δ.Σ.Ι.), [PFC]. Έτσι η χωρητική ισχύς αναπληρώνει τη χαμένη επαγωγική ισχύ από το δίκτυο που παίρνει η γεννήτρια στο σημείο μηδέν. Όταν η γεννήτρια δίνει ισχύ στο δίκτυο (σημείο Α'), υπάρχει ακόμα ζήτηση επαγωγικής ισχύος. Βέβαια και τότε ακόμα μπορούμε να συνδέσουμε περισσότερους πυκνωτές· όμως τότε υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας υπερτάσεων σε κατάσταση συντονισμού, που ονομάζεται αυτοδιέγερση, αν διακοπεί, κάποια στιγμή, η σύνδεση με το δίκτυο. Ένα άλλο μειονέκτημα υπάρχει όταν αρχικά συνδέεται η γεννήτρια στο δίκτυο, οπότε εισέρχεται στη γεννήτρια ένα μεγάλο ρεύμα που μαγνητίζει το σιδερένιο πυρήνα της, μέχρις ότου αποκατασταθεί η κανονική κατάσταση λειτουργίας της. Το πρόβλημα αυτό είναι παρόμοιο με το πρόβλημα εκκίνησης του ασύγχρονου ή επαγωγικού κινητήρα. Σε κάθε φάση παροχής του δικτύου συνδέονται αντιπαράλληλα δυο θύριстор [thyristors], (ή μια αμφίδρομη ελεγχόμενη δίοδος [triac]). Όταν η ασύγχρονη γεννήτρια συνδέεται στο δίκτυο, τα θύριстор ελέγχουν την τάση που εφαρμόζεται στα τυλίγματα του στάτη, οπότε περιορίζεται το μεγάλο ρεύμα εισροής. Όταν η γεννήτρια εκκινήσει κανονικά, τότε κλείνει ο διακόπτης παράκαμψης των θύριстор ο οποίος είναι συνδεδεμένος παράλληλα με αυτά.

Ασύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιούνται σήμερα σε όλες τις ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας περιστροφής. Πρόσφατα ενσωματώθηκε στα τυλίγματα του δρομέα της ασύγχρονης γεννήτριας και μια ελεγχόμενη αντίσταση που καθιστά την καμπύλη ροπής - ολίσθησης περισσότερο ελεγχόμενη, βελτιώνοντας έτσι και τη δυναμική συμπεριφορά του κιβωτίου ταχυτήτων.

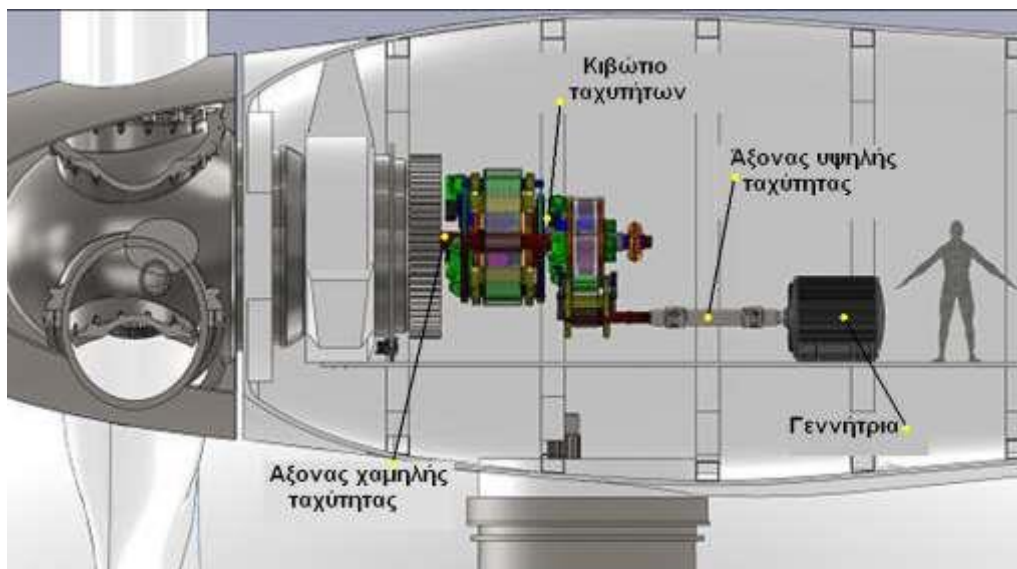
Η επιλογή του είδους της γεννήτριας σε ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής δεν είναι περιορισμένη. Μπορούν σ' αυτήν την περίπτωση να χρησιμοποιηθούν σύγχρονες και ασύγχρονες γεννήτριες. Υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση γεννητριών μεγάλης διαμέτρου που οδηγούνται απ' ευθείας από την έλικα, χωρίς παρεμβολή κιβωτίου ταχυτήτων. Αν και οι γεννήτριες αυτές περιστρέφονται με την εκάστοτε συχνότητα περιστροφής της έλικας, εντούτοις παράγουν τάση στην επιθυμητή σταθερή ταχύτητα. Επίσης, εξελίσσονται τα σχέδια συγχρόνων γεννητριών, μεγάλης διαμέτρου, απευθείας οδηγούμενων από την έλικα, με στάτη σταθερού μαγνήτη.

Υπάρχουν, επίσης, ραγδαίες εξελίξεις στη σχεδίαση των μετατροπέων τάσης που χρησιμοποιούνται στις αιολικές γεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής. Στα νέα σχέδια χρησιμοποιούνται τρανζίστορ που παράγουν τάση εξόδου σχεδόν ημιτονική, με χαμηλές αρμονικές παραμορφώσεις και ελεγχόμενο συντελεστή ισχύος. Βέβαια και αυτοί οι ημιαγωγοί καταναλώνουν ισχύ και παράγουν θερμότητα. Συνήθως οι γεννήτριες παράγουν τάση χαμηλότερη από αυτή του δικτύου διανομής. Ακόμα και οι μεγάλες ανεμογεννήτριες (των 600 kW) παράγουν τάση 690 V, οπότε χρησιμοποιούνται μετασχηματιστές, που συνδέουν κάθε ανεμογεννήτρια στο δίκτυο ή στο σύστημα συλλογής του σταθμού

παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος. Είναι επίσης φυσικό, κάθε μεγάλη ανεμογεννήτρια να συνδέεται στο δικό της μετασχηματιστή για να αποφεύγονται ηλεκτρικές απώλειες.

### **3.5 Μετάδοση Περιστροφικής Κίνησης**

Η μηχανική ισχύς που παράγεται από τα πτερύγια της έλικας μεταδίδεται στη γεννήτρια με ένα σύστημα μετάδοσης που βρίσκεται μέσα στο κύριο σώμα της ανεμογεννήτριας. Αυτό αποτελείται από ένα κιβώτιο ταχυτήτων και μερικές φορές και από έναν συμπλέκτη καθώς και από σύστημα τροχοπέδησης που μπορεί να σταματήσει την έλικα σε περίπτωση ανάγκης όταν η ανεμογεννήτρια δε λειτουργεί. Το κιβώτιο ταχυτήτων (εξ οδοντωτών τροχών) αυξάνει το ρυθμό περιστροφής της έλικας από 20 με 50 στροφές ανά λεπτό [rpm], σε 1.000 με 1.500 rpm που απαιτούνται για το ρυθμό περιστροφής του άξονα των περισσότερων τύπων ηλεκτρογεννητριών. Σε απλό κιβώτιο ο άξονας της έλικας και ο άξονας του δρομέα της ηλεκτρογεννήτριας ζευγνύονται παράλληλα, ενώ στα πιο ακριβά κιβώτια οι άξονες αυτοί ζευγνύονται σε σειρά, για μεγαλύτερη στερεότητα. Το σύστημα μετάδοσης πρέπει να είναι σχεδιασμένο για να αντέχει μεγάλα δυναμικά φορτία ροπής που οφείλονται στη διακύμανση της ισχύος εξόδου της έλικας.



Ορισμένοι σχεδιαστές αποπειράθηκαν να ελέγξουν αυτά τα δυναμικά φορτία προσθέτοντας μηχανική αδράνεια και απόσβεση μεταξύ των οδοντωτών τροχών του κιβωτίου. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για μεγάλες ανεμογεννήτριες, όπου τα δυναμικά φορτία είναι μεγάλα και οι γεννήτριες παρέχουν σχετικά πολύ μικρή απόσβεση.

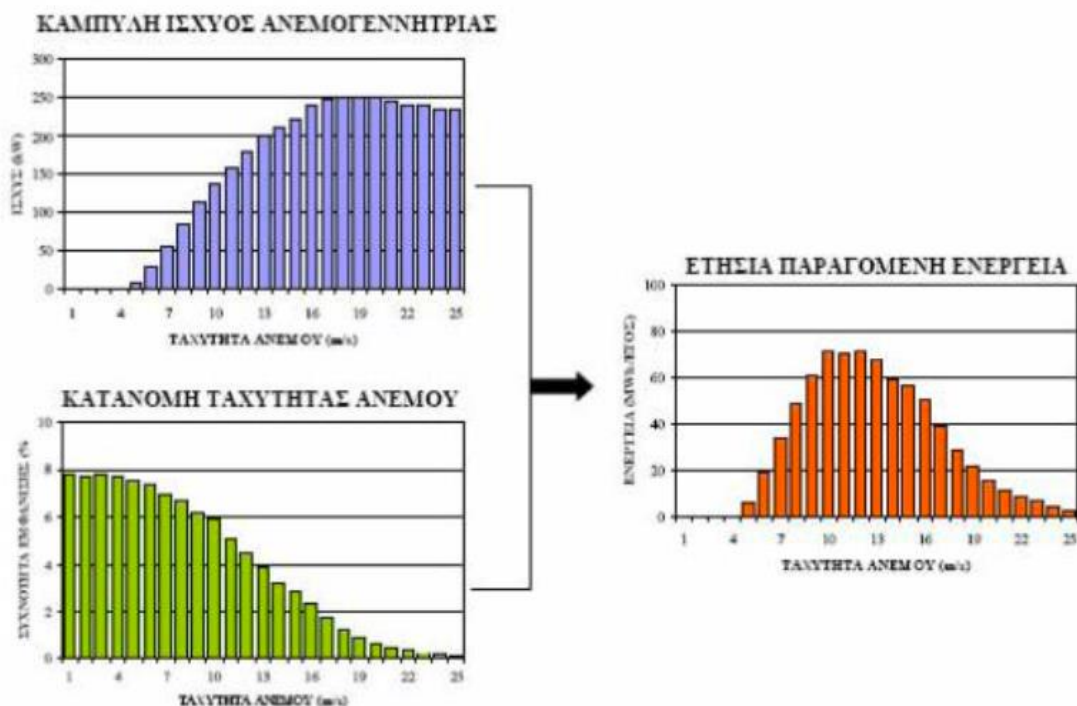
### 3.6 Ετήσιος υπολογισμός Ενέργειας

Ο υπολογισμός ετήσιας ενέργειας που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια ενέχει ουσιαστική σημασία για την εκτίμηση ενός σταθμού παραγωγής. Η μακροχρόνια κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου σε συνδυασμό με την καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας δίνει την παραγόμενη ενέργεια για κάθε ταχύτητα ανέμου και συνεπώς το σύνολο της ενέργειας κατά τη διάρκεια ενός έτους. Κατά τον υπολογισμό συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται θύλακες του 1 m/s για ταχύτητες ανέμου και αυτό δίνει μια αποδεκτή ακρίβεια.

Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα του παρακάτω διαγράμματος, τα εξαγόμενα αποτελέσματα του υπολογισμού μπορούν να καταχωρηθούν και να εκφραστούν με μαθηματικό τύπο όπου  $H(i)$  ο αριθμός των ωρών για ταχύτητα ανέμου του θύλακα  $i$  και  $W(i)$  η ισχύς εξόδου που αντιστοιχεί στην ταχύτητα ανέμου του θύλακα  $i$ , δηλαδή:

$$\text{Ενέργεια} = \sum_{i=1}^{i=n} H(i)W(i)$$

Παρακάτω υπάρχουν αναλυτικά τα διαγράμματα υπολογισμού ετήσιας παραγωγής ενέργειας.



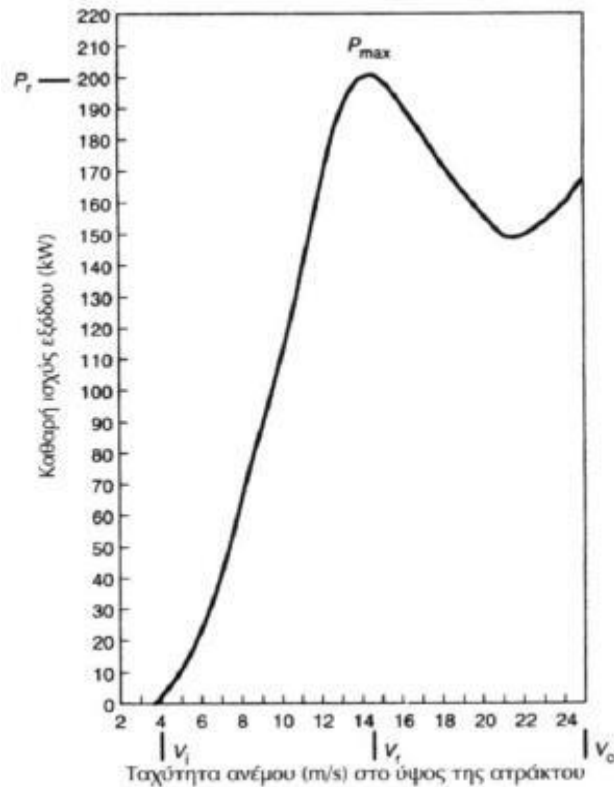
Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ενέργειας.			
Θύλακας ταχύτητας ανέμου (m/s)	Ώρες ετησίως	Ισχύς εξόδου (kW)	Παραγωγή ενέργειας (kWh)
1	191	0	0
2	444	0	0
3	592	0	0
4	763	0	0
5	913	10	9130
6	1037	50	51850
7	1058	100	105800
8	954	200	190800
9	781	300	234300
10	613	400	245200
11	460	500	230000
12	330	600	198000
13	235	600	141000
14	153	600	91800
15	101	600	60600
16	61	600	36600
17	35	600	21000
18	21	600	12600
19	12	600	7200
20	6	600	3600
Σύνολο	8760		1639480

### 3.7 Απόδοση ισχύος

Η καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας δείχνει την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου που επικρατεί στο ύψος της ατράκτου (στο ύψος της πλήμνης της έλικας). Η καμπύλη αυτή προσδιορίζεται είτε με θεωρητικούς υπολογισμούς, είτε με δοκιμές στην πράξη. Οι δοκιμές αυτές γίνονται σύμφωνα με διεθνείς προδιαγραφές και συστάσεις, όπως αυτές του Διεθνούς Πρακτορείου Ενέργειας (1990).

Οι καμπύλες ισχύος που προκύπτουν από αυτές τις δοκιμές καταγράφουν τους μέσους όρους μετρήσεων που λαμβάνονται μέσα σε χρονικά διαστήματα 10 λεπτών. Ο μέσος όρος μιας σειράς μετρήσεων ισχύος εξόδου σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου, που λαμβάνονται μέσα σε δέκα λεπτά δε θα δείξει ποτέ κάποιο μεταβατικό φαινόμενο που συνέβη ενδεχομένως μέσα σ' αυτό το χρονικό διάστημα των 10 λεπτών.

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρικής ενέργειας που μετριέται στην έξοδο της γεννήτριας προς την ενέργεια του ανέμου που σαρώνει το εμβαδόν της κυκλικής επιφάνειας που διαγράφεται από την περιστροφή της έλικας. Στην παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας με έλικα αυτορυθμιζόμενης πέδησης (όχι με ρύθμιση γωνίας πρόσπτωσης). Στην καμπύλη αυτή φαίνονται οι εξής παράμετροι:



- Ταχύτητα κατωφλίου εισόδου  $V_i$ : η ταχύτητα του ανέμου που η γεννήτρια αρχίζει να παράγει καθαρή ισχύ. Η ταχύτητα αυτή είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για την εκκίνηση της έλικας.
- Ταχύτητα κατωφλίου εξόδου  $V_o$ : είναι η ταχύτητα του ανέμου που η γεννήτρια παράγει ισχύ με ελαττωμένο μηχανικό και αεροδυναμικό φορτίο και άνευ ηλεκτρικών απωλειών.
- Εκτιμητέα ισχύς  $P_r$ : η ονομαστική μέγιστη και συνεχής ισχύς εξόδου της γεννήτριας (χωρίς απώλειες).
- Εκτιμητέα ταχύτητα  $V_r$ : η ταχύτητα του ανέμου που παράγει την εκτιμητέα ισχύ. Στην διάγραμμα επίσης φαίνεται η καθαρή ισχύς εξόδου σε χιλιοβάτ (kW) που λαμβάνεται στην

έξοδο της γεννήτριας, απαλλαγμένη από αεροδυναμικές, μηχανικές και ηλεκτρικές απώλειες. Καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου υπερνικούνται οι μηχανικές τριβές και τα αεροδυναμικά φορτία που ασκούνται στον άξονα περιστροφής της έλικας, οπότε η ροπή που εφαρμόζεται στον άξονα είναι σταθερή. Σταθερή είναι επίσης και η παραγόμενη ισχύς εξόδου δηλαδή η εκτιμητέα ισχύς και αυτό συμβαίνει μέχρι την  $V_0$ . Το ίδιο συμβαίνει και με έλικες ρύθμισης γωνίας πρόσπτωσης (τουλάχιστον έτσι δείχνουν οι μέσες τιμές ανά δεκάλεπτα), αλλά στο διάγραμμα, η καμπύλη ισχύος ελήφθη από ανεμογεννήτρια με έλικα αυτορυθμιζόμενης πέδησης (αυτοπέδησης).

### **Σύστημα εποπτείας και ελέγχου:**

Για τη λειτουργία και προστασία μιας ανεμογεννήτριας απαιτείται πλήρες αυτόματο σύστημα εποπτείας και ελέγχου. Το σύστημα αυτό πρέπει να είναι ικανό να ελέγχει την αυτόματη απότομη ανύψωση των στροφών, την περιστροφή των πτερυγίων της έλικας για ρύθμιση της γωνίας πρόσπτωσης (για αυτού του τύπου ανεμογεννήτριες) καθώς και την παύση λειτουργίας είτε σε ομαλές ή σε ανώμαλες συνθήκες λειτουργίας.

Πέραν του ελέγχου, πρέπει να εποπτεύεται η κατάσταση λειτουργίας, η παραγωγή ισχύος, η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου κλπ. Κάθε μεγάλη (αλλά και μικρή) ανεμογεννήτρια θα πρέπει να εποπτεύεται μέσω υπολογιστή ο οποίος μπορεί να είναι εγκατεστημένος σε κάποια άλλη τοποθεσία, (τηλεποπτεία). Έτσι το σύστημα αυτό συνίσταται από διάφορα λειτουργικά τμήματα:

- Έλεγχος σταδιακός απότομης ανύψωσης των στροφών, παύσης λειτουργίας και εποπτεία σημάτων συναγερμού και ελέγχου.
- Εποπτεία του αργού συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου του προσανεμισμού.
- Εποπτεία του γοργού συστήματος ελέγχου κλειστού βρόγχου της περιστροφής των πτερυγίων της έλικας για ρύθμιση της γωνίας πρόσπτωσης (για ανεμογεννήτριες με αυτό τον τύπο έλικας).
- Επικοινωνία με το σταθμό παραγωγής ή με τον υπολογιστή τηλεποπτείας.

### **3.8 Τρόποι συντήρησης ανεμογεννήτριας**

Στη συντήρηση μιας ανεμογεννήτριας, γίνεται έλεγχος και αντικατάσταση κάποιων υλικών στα ηλεκτρικά και μηχανολογικά μέρη της. Τα προγράμματα συντήρησης χωρίζονται σε τέσσερις τομείς που αναφέρονται παρακάτω και αφορούν την ανεμογεννήτρια V82 μάρκας Vestas:

### 1. Τρίμηνη συντήρηση

Αυτού του είδους η συντήρηση πραγματοποιείται τρεις μήνες μετά την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας και αφορά έλεγχο των ηλεκτρικών μερών και των κοχλιών σύνδεσης.

### 2. Εξάμηνη συντήρηση

Η πρώτη εξάμηνη συντήρηση γίνεται έξι μήνες μετά την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας και επαναλαμβάνεται μετά από ένα χρόνο. Αφορά έλεγχο των ηλεκτρικών και μηχανικών μερών, λίπανση των ρουλεμάν και άλλων κρίσιμων μερών καθώς και έλεγχο της πίεσης των υδραυλικών συστημάτων

### 3. Δωδεκάμηνη συντήρηση

Αυτού του είδους η συντήρηση πραγματοποιείται ένα έτος μετά την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας. Αφορά έλεγχο πιεζοστατών, αλλαγή φίλτρων καθώς και την επανάληψη των εργασιών που γίνονται στην εξάμηνη συντήρηση.

### 4. Συντήρηση 4 ετών

Αυτού του είδους η συντήρηση πραγματοποιείται τέσσερα έτη μετά την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας και περιλαμβάνει την τρίμηνη και την ετήσια συντήρηση μαζί.

## **3.9 Θεμελίωση Παράκτιων Ανεμογεννητριών**

Η πλέον δύσκολη προσαρμογή που απαιτείται για την έδραση της διάταξης αφορά τη σχεδίαση του πύργου και τη θεμελίωση του στον πυθμένα της θάλασσας. Η συγκεκριμένη θεμελίωση είναι προφανώς πιο πολύπλοκη από τις αντίστοιχες της στεριάς. Σε μεγαλύτερα βάθη υδάτων, οι απαιτούμενες εργασίες σχεδιασμού και κατασκευής ενδεχομένως να οδηγήσουν σε οικονομικές αποκλίσεις της συνολικής επένδυσης. Η βασική στατική αρχή της θεμελίωσης των ανεμογεννητριών βασίζεται στο κατά πόσον μπορεί να διασφαλιστεί η σταθερότητα λόγω του μεγέθους και του βάθους των θεμελίων ή αν θα χρειαστεί να τοποθετηθούν επιπλέον ενισχύσεις ή και αντιστηρίξεις στον πυθμένα.

Η πάκτωση των ανεμογεννητριών στον πυθμένα των περιοχών που πρόκειται να εγκατασταθούν είναι μια δουλειά που απαιτεί ιδιαίτερη μελέτη από πολλές πλευρές. Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλές ιδιαιτερότητες που πρέπει να λάβουμε μια μελέτη τέτοιου είδους πολύ σοβαρά. Το κυριότερο θέμα που ισχύει σε κάθε τέτοια κατασκευή είναι η σεισμική πρόληψη. Η χώρα μας χαρακτηρίζεται ως μια αρκετά σεισμογενής περιοχή και αυτό επιφέρει μια ιδιαίτερη προσοχή σε οποιαδήποτε στατική μελέτη. Ένας λόγος που κάνει πιο συγκεκριμένη μια τέτοια μελέτη είναι και οι αλλαγές του υλικού του βυθού κάθε περιοχής. Πολλές φορές αλλάζουν τα υλικά που συνθέτουν το ανάγλυφο της υποθαλάσσιας περιοχής.

Αυτό μπορεί να είναι από μια πεδινή περιοχή με άμμο μέχρι μια βραχώδη γεμάτη πετρώματα και ξέρες.

Η θεμελίωση ενός αιολικού πάρκου εξαρτάται από το βάθος του πυθμένα, το είδος του διαθέσιμου υπεδάφους αλλά και τη διαθεσιμότητα ειδικού εξοπλισμού για την κατασκευή μεταφορά αλλά και τοποθέτηση των διαφόρων τύπων θεμελιώσεων. Το βάρος της κάθε θεμελίωσης εξαρτάται κυρίως από το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή της (σκυρόδεμα ή χάλυβας) αλλά και τον τρόπο που θα στηριχθεί στον πυθμένα. Το τελευταίο κριτήριο για κάθε λύση είναι το κόστος. Μεταξύ των κριτηρίων που έχουν τεθεί για την προκαταρκτική χωροθέτηση αιολικών υπεράκτιων πάρκων στην Ελλάδα, είναι και το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος των 50 μέτρων το οποίο αποκλείει πλωτές ανεμογεννήτριες και μεγάλα θαλάσσια βάθη.

Παρόλα αυτά η τεχνολογία για μεγαλύτερα βάθη υπάρχει από την βιομηχανία άντλησης πετρελαίου και την γεφυροποιία αλλά και σε νέες μορφές οι οποίες εξελίσσονται αυτήν την περίοδο. Τα είδη των θεμελιώσεων που έχουν χρησιμοποιηθεί σε αντίστοιχες εφαρμογές σε άλλες χώρες όπως η Δανία και το Ηνωμένο Βασίλειο παρουσιάζονται και εξηγούνται παρακάτω.

#### Θεμελίωση με Πασσαλόπηξη Μεταλλικού Τριπόδου (Tripod)

Ένα κεντρικός σωλήνας χάλυβα που υποστηρίζεται από τρία πόδια ονομάζεται τρίποδο. Αυτή η κατηγορία θεμελίωσης είναι μια εξέλιξη της προηγούμενης και έχει τις ρίζες στις κατασκευές που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία της άντλησης πετρελαίου. Γενικά αυτή η κατασκευή είναι ένα ελαφρύ σωληνωτό χωρικό δικτύωμα το οποίο αγκυρώνεται στον πυθμένα με τη χρήση τριών μεταλλικών πασσάλων διαμέτρου 0.9 μέτρα και μήκους 10 με 20 μέτρα. Το βάρος της κατασκευής είναι ακόμα ελαφρύτερο από αυτό του μονού σωληνωτού πασσάλου γύρω στους 125 τόνους. Η μεταφορά γίνεται με φορτηγίδα. Η εγκατάσταση του τριπόδου γίνεται σε δύο φάσεις με πρώτη την τοποθέτηση των πασσάλων και εν συνεχεία την στήριξη του τριπόδου πάνω τους. Η θεμελίωση με τρίποδο έχει καλύτερη συμπεριφορά σε βάθη μέχρι 50 μέτρα, προσφέρει ικανοποιητική σταθερότητα αλλά και ανοχή στην διάβρωση του εδάφους γι' αυτό και δεν είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων για τέτοια προστασία. Επίσης, για την εγκατάστασή του χρειάζονται πολύ λίγες εργασίες για την προετοιμασία του πυθμένα. Όμως, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση θεμελίωσης με σωληνωτό πάσσαλο, η ύπαρξη βράχων στο υπέδαφος μπορεί να είναι απαγορευτική από οικονομικής πλευράς. Είναι ακατάλληλη για μικρά βάθη (6 – 7 μέτρα), αφού η ύπαρξη του δικτύωματος εμποδίζει την προσβασιμότητα πλωτών μέσων στην ανεμογεννήτρια και έτσι η συντήρηση ή η επισκευή της γίνεται από δύσκολη έως αδύνατη.

#### Θεμελίωση με Μεταλλικό Τετράποδο (Jacket)

Αυτή η περίπτωση θεμελίωσης “jacket” ανήκει στην ίδια οικογένεια με τις προηγούμενες και είναι δανεισμένη από τη βιομηχανία εξόρυξης πετρελαίου. Η κατασκευή αυτή στηρίζεται σε τέσσερις πασσάλους διαμέτρου 0.9 – 1.6 μέτρα και είναι αρκετά πιο δύσκαμπτη από αυτήν του τριπόδου. Χρησιμοποιείται για βάθη μεγαλύτερα των 50 μέτρων και πιο ισχυρά κύματα. Η μεταφορά της και η εγκατάστασή της γίνεται όπως και στην προηγούμενη περίπτωση και

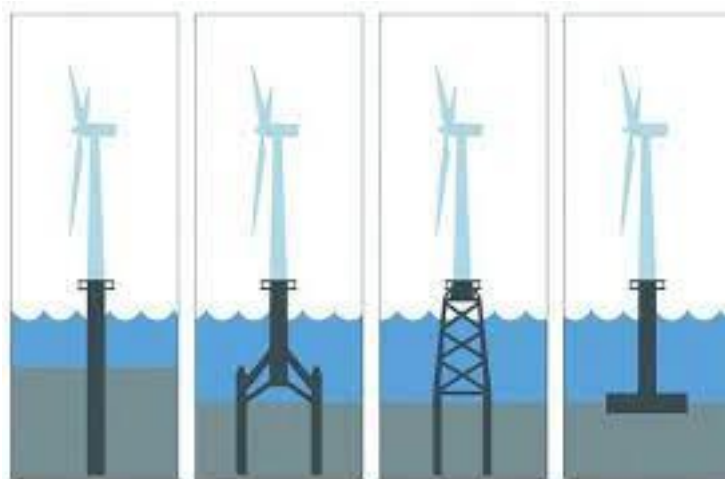


τα πλεονεκτήματα όπως και τα μειονεκτήματά της είναι τα ίδια. Η μόνη διαφορά είναι λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας του δικτυώματος διευκολύνεται η τοποθέτηση του πυλώνα της ανεμογεννήτριας.

### Επιπλέονσα Θεμελίωση

Η επιπλέονσα θεμελίωση είναι κατά βάση ένα θεμέλιο του οποίου η λειτουργία στηρίζεται στην άνοση του ύδατος για να επιπλέει στο νερό και αγκυρώνεται στο βυθό. Το πλωτό αυτό θεμέλιο είναι συνήθως μερικώς βυθισμένο για την αποφυγή των διακυμάνσεων της θαλάσσιας επιφάνειας.

Παρόλο που αυτή η τεχνολογία δεν έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως και βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο για τις ανεμογεννήτριες, με την εξέλιξη της τεχνολογίας θα δώσει τελικά λύσεις για βάθη πολλαπλάσια των 50 μέτρων και συνεπώς αποστάσεις πολύ πιο μεγάλες από την στεριά. Αυτό έχει ως πλεονέκτημα τους ισχυρότερους ανέμους και άρα μεγαλύτερες αποδόσεις για τις ανεμογεννήτριες αλλά και την μειωμένη αντίθεση κοινοτήτων αλλά και μη κυβερνητικών περιβαλλοντικών οργανώσεων στην υλοποίηση ενός τέτοιου έργου.



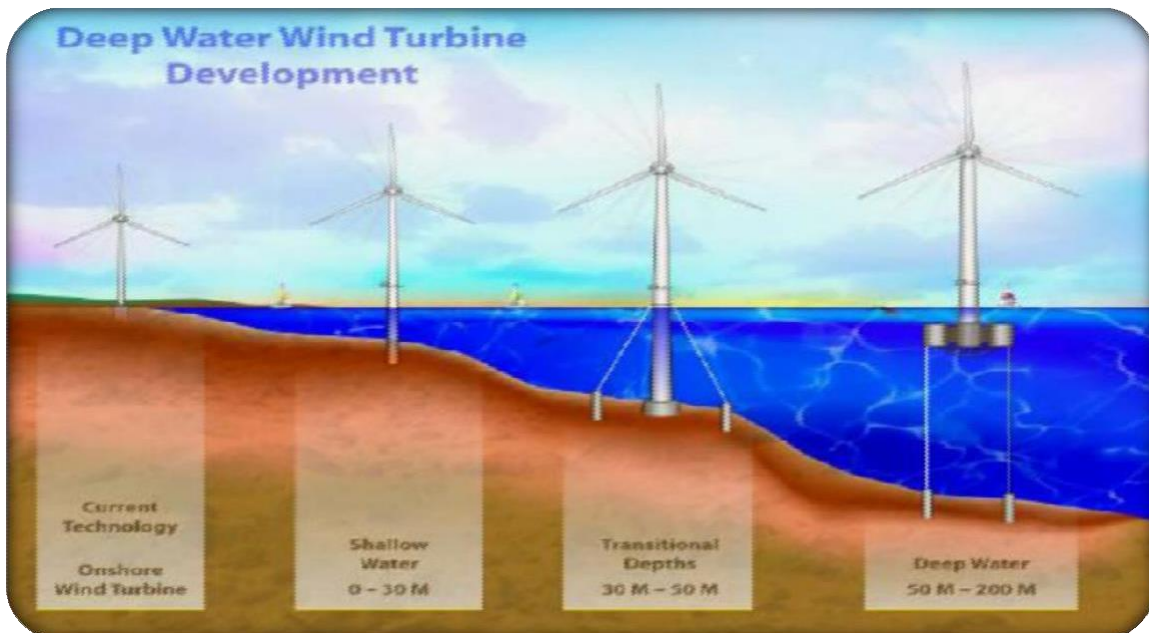
### Θεμέλια Βαρύτητας από Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Αυτός ο τύπος θεμελίου χρησιμοποιήθηκε για τα αιολικά πάρκα της Δανίας για τις περιοχές Videby και Tunoe. Τυπικά, αποτελείται από κέλυφος οπλισμένου σκυροδέματος, το οποίο κατασκευάζεται στην στεριά και εν συνεχεία ρυμουλκείται στην τοποθεσία όπου και θα βυθιστεί με την γέμιση του σκύρα, πέτρα ή άμμο. Η μάζα ενός τέτοιου κιβωτίου για μία ανεμογεννήτρια των 2 MW είναι περίπου 1500 τόνοι συν τη μάζα του υλικού που τοποθετείται σε αυτό. Το θεμέλιο μπορεί να έχει ανοικτή ή κλειστή κορυφή, είναι κωνικό ή πυραμιδοειδές, κυκλικής ή πολυγωνικής κάτοψης με την κωνική διατομή προτιμώμενη για περιοχές με χιονοπτώσεις και παγετό και την κλειστή οροφή προτιμώμενη οικονομικά διότι μπορεί να γεμίσει με άμμο (φθηνότερη από την γέμιση με πέτρες ή βράχο), χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να την απομακρύνει το νερό. Μετά την τοποθέτηση του στο νερό στηρίζονται πάνω του τα

υπόλοιπα τμήματα της ανεμογεννήτριας, ο πυλώνας, ο μηχανισμός περιστροφής, οι λεπίδες και το ηλεκτρομηχανολογικό υλικό. Για την προστασία της κατασκευής από διάβρωση χρησιμοποιούνται περιμετρικοί μανδύες που εισχωρούν στον πυθμένα σε συνδυασμό με περιμετρική διάστρωση πετρωμάτων η οποία εξασφαλίζει την αποφυγή της απομάκρυνσης του εδάφους στήριξης.

Η λειτουργία των απλών μορφών θεμελίων βαρύτητας στηρίζεται στη μεγάλη τους μάζα και στην άμεση μεταφορά φορτίων του πυλώνα της ανεμογεννήτριας αλλά και του ίδιου του βάρους τους στον πυθμένα ούτως ώστε να αποφευχθεί πιθανή ανατροπή ή και ολίσθηση της ανεμογεννήτριας. Για το λόγο αυτό είναι απαραίτητο τα ανώτερα υποθαλάσσια στρώματα (συνήθως μεταφράζεται σε βάθη 1,5 φορά τη διάμετρο της βάσης του θεμελίου) να έχουν από μέτρα ως υψηλή αντοχή. Η αποδεκτή διάμετρος βάσης δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 30 – 40 μέτρα για να θεωρείται οικονομική ως λύση. Σε πολλές περιπτώσεις, για να μειωθεί η διάμετρος, γίνεται ενίσχυση του εδάφους του πυθμένα με επίστρωση πετρωμάτων και τοποθέτηση πασσάλων οι οποίοι φτάνουν σε χαμηλότερα στρώματα του πυθμένα πιθανώς και πιο ισχυρά από πλευράς φέρουσας ικανότητας.

Παρόλο που η λύση αυτή είναι απλή στην κατασκευή, έχει το μειονέκτημα ότι υστερεί σε περιοχές με υψηλή διαβρωσιμότητα λόγω του υψηλού κόστους των μέτρων προστασίας. Επιπλέον για βάθη μεγαλύτερα των 10 μέτρων, η απαίτηση μεγάλου βαρέως πλωτού γερανού καθιστά την λύση σε πολλές περιπτώσεις αντιοικονομική. Γενικά έχει υπολογιστεί ότι η δαπάνη για το τελειωμένο θεμέλιο είναι ανάλογη με το τετράγωνο του βάθους τοποθέτησης. Παρόλα αυτά η χρήση τους στην Βαλτική θάλασσα, όπου υπήρχε το απαιτούμενο βάθος, αποδείχθηκε οικονομική και γι αυτό συνιστώνται σε ανάλογες περιπτώσεις. Μία ακόμα παράμετρος είναι και η έκταση του αιολικού πάρκου καθώς αλλάζουν οι οικονομίες κλίμακας και είναι δυνατόν για πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις να καθίσταται συμφέρουσα. Τέλος, μπορεί να αφαιρεθεί χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία σε αντίθεση με τα βαθιά θεμέλια.



## Θεμέλια Βαρύτητας από Χάλυβα

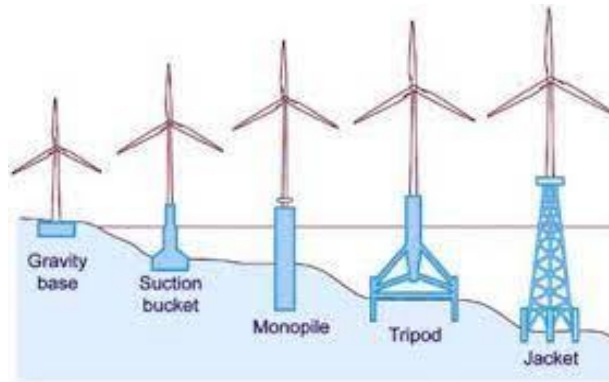
Η λειτουργία αυτής της θεμελίωσης είναι βασισμένη στις ίδιες αρχές με την προηγούμενη με την διαφορά ότι στην θέση του οπλισμένου σκυροδέματος, χρησιμοποιείται ένας χαλύβδινος κυλινδρικός σωλήνας ο οποίος βιδώνεται και συγκολλείται πάνω σε χαλύβδινη πρισματική ή κυλινδρική βάση η οποία ακυρώνεται στον πυθμένα μετά από κατάλληλη γεωτεχνική προετοιμασία. Η κατασκευή του γίνεται και σε αυτή την περίπτωση στην στεριά και στην συνέχεια μεταφέρεται με πλωτά μέσα στον τόπο εγκατάστασης. Για τα συνήθη βάθη που χρησιμοποιείται, δηλαδή 4 με 10 μέτρα, η διάμετρος του σωλήνα είναι γύρω στα 4 – 4,5 μέτρα στηριζόμενη σε βάση 14 επί 14 για τετραγωνική διατομή και περίπου και περίπου 15 μέτρα διάμετρο στην περίπτωση κυκλικής.

Το χαλύβδινο θεμέλιο είναι σημαντικά ελαφρύτερο από το αντίστοιχο σκυρόδεμα. Ενδεικτικό είναι το βάρος της μεταλλικής κατασκευής ζυγίζει περίπου 80 με 100 τόνους εκεί που το τελικό βάρος του είναι γύρω στους 1000 τόνους. Αυτό επιτυγχάνεται με την γέμιση της βάσης. Το μικρό αρχικό βάρος του θεμελίου έχει το πλεονέκτημα ότι η μεταφορά του και η τοποθέτηση του επιτόπιου, γίνεται πολύ πιο γρήγορα και εύκολα από τον προηγούμενο τύπο θεμελίου, χωρίς να χρειάζονται ειδικοί γερανοί βαρέος τύπου αλλά με τη χρήση αυτών που χρησιμοποιούνται και για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας. Εκτός αυτού, το επιπλέον κόστος για τα μεγαλύτερα βάθη είναι πολύ μικρότερο από αυτό που προκύπτει για το αντίστοιχο θεμέλιο από σκυρόδεμα διότι η αύξηση του μεγέθους του γίνεται σε πολύ μικρότερη αναλογία απ' ό τι στην προηγούμενη περίπτωση. Εκεί που το χαλύβδινο θεμέλιο βαρύτητας υστερεί ως λύση, είναι στην περίπτωση που τοποθετείται σε περιοχές με έντονη διαβρωσιμότητα καθώς απαιτούνται τα ίδια μέτρα προστασίας με την προηγούμενη περίπτωση τα οποία είναι δαπανηρά.

## Θεμελίωση με Πασσαλόπηξη Μεταλλικού Σωλήνα (Monopile)

Αυτή η περίπτωση θεμελίωσης είναι μια απλή κατασκευή ενός μεταλλικού χαλύβδινου σωλήνα, ο οποίος αφού κατασκευαστεί μεταφέρεται με φορηγίδα ή ρυμουλκείται στον τόπο της εναπόθεσής του. Το θεμέλιο αυτό βυθίζεται 10 με 20 μέτρα από την επιφάνεια του πυθμένα ανάλογα με τον τύπο του υπεδάφους. Η συνήθης διάμετρός του κυμαίνεται από 3.5 έως 4.5 μέτρα και ζυγίζει γύρω στους 175 τόνους. Αυτή η περίπτωση θεμελίωσης είναι εφικτή οικονομικά για βάθη μέχρι 30 μέτρα και έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε αιολικά πάρκα στην Βαλτική και Βόρεια θάλασσα αλλά και σε άλλες περιοχές της Βρετανίας. Γενικά αυτός ο τύπος θεμελίωσης δεν έχει πρόβλημα με την διάβρωση του εδάφους και έτσι συνήθως δεν χρειάζονται επιπλέον μέτρα.

Αυτή η λύση έχει πολλά πλεονεκτήματα μεταξύ αυτών το μικρό βάρος που διευκολύνει την μεταφορά αλλά και την τοποθέτηση, αλλά και το γεγονός ότι δεν χρειάζονται ειδικές προετοιμασίες του πυθμένα για την θεμελίωση. Έτσι η τοποθέτηση γίνεται πολύ πιο γρήγορα και εύκολα απ' ό τι αυτή των θεμελίων βαρύτητας και σε μεγαλύτερα βάθη (30μ). Παρόλα αυτά, στην περίπτωση που υπάρχει βραχώδες υπέδαφος η διαδικασία της πασσαλόπηξης μπορεί να είναι δύσκολη ως αδύνατη αφού θα απαιτεί βαρέως τύπου μηχανήματα αλλά και εκρηκτικά για να μπορέσει να φτάσει στο απαιτούμενο βάθος. Σε αυτήν την περίπτωση το κόστος μπορεί να είναι πολύ μεγάλο και έτσι η λύση να κριθεί αντιοικονομική.



### **Υλικά Κατασκευής Παράκτιων Ανεμογεννητριών:**

Σε έρευνες που έχουν γίνει για τη σύγκριση χάλυβα και οπλισμένου ή προεντεταμένου σκυροδέματος από δύο Δανέζικα group εταιριών ενέργειας και τρεις κατασκευαστικές εταιρείες το 1997 βρέθηκε ότι ο χάλυβας ήταν πολύ πιο οικονομικός από το σκυρόδεμα για μεγάλα αιολικά πάρκα. Επίσης φάνηκε ότι οι πιο νέες τεχνολογίες θεμελίωσης ότι ήταν πιο οικονομικές για τουλάχιστον 15 μέτρα βάθος. Σε κάθε περίπτωση η χρήση χάλυβα και οι θεμελιώσεις με πασσαλόπηξη έδειξαν ότι το κόστος τους ανέβαινε σε πολύ μικρότερη αναλογία σε σχέση με αυτό του θεμελίου βαρύτητας από σκυρόδεμα το οποίο όπως προαναφέρθηκε είχε κόστος ανάλογο με το τετράγωνο του βάθους θεμελίωσης. Ενδεικτικό είναι ότι το υπολογιζόμενο κόστος διασύνδεσης στο δίκτυο και της κατασκευής της θεμελίωσης για ανεμογεννήτριες της τάξης του 1.5 MW βρέθηκε μόνο 10 έως 20% μεγαλύτερο από αυτό των 450 KW που εγκαταστάθηκαν στις περιοχές Vindeby και Tunoe. Στον αντίποδα, σε αντίστοιχες έρευνες που έγιναν από το Βρετανικό κέντρο σκυροδέματος το 2007 βρέθηκε ότι η θεμελίωση βαρύτητας από σκυρόδεμα για μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες της τάξης των 3.5 MW και για βάθη 20 με 30 μέτρα ήταν ανταγωνιστική με τις υπόλοιπες λύσεις από χάλυβα.

Πρέπει πάντως να σημειωθεί, ότι η αντίληψη ότι ο χάλυβας έχει μικρό χρόνο ζωής λόγω της διάβρωσης, αποδεικνύεται ανυπόστατη αφού η βιομηχανία άντλησης πετρελαίου με τη χρήση καθοδικής προστασίας χάλυβα, χρησιμοποιεί τέτοιες κατασκευές με προβλεπόμενο χρόνο ζωής 50 χρόνια. Παρόλα αυτά το σκυρόδεμα μπορεί με κατάλληλη επεξεργασία αλλά και συντήρηση να φτάσει τα 100 χρόνια ζωής. Αυτό θα σήμαινε σημαντική μείωση του κόστους αφού το θεμέλιο και ο πυλώνας που είναι το 40% του κόστους της κατασκευής θα χρειαστούν μια αντικατάσταση λιγότερη σε αυτήν την περίοδο. Επιπλέον, το σκυρόδεμα λόγω του βάρους του αλλά και της φύσης του δίνει γενικά μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους και συντελεστές απόσβεσης που είναι και το ζητούμενο για αυτές τις κατασκευές. Συμπερασματικά είναι εμφανές ότι η επιλογή του τύπου αλλά και του υλικού κατασκευής της θεμελίωσης είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων και πρέπει να προηγηθεί ειδική μελέτη για την εύρεση της βέλτιστης οικονομικής λύσης που θα λαμβάνει υπόψη τα μεγέθη των ανεμογεννητριών, τις οικονομίες κλίμακας, τα διαθέσιμα μέσα κατασκευής, μεταφοράς και εγκατάστασης των θεμελίων αλλά και το έδαφος, το βάθος, τη διάβρωση και γενικότερα τις συνθήκες που επικρατούν στη θάλασσα.

**4.1 Γενική περιγραφή Αιολικού Πάρκου**

Αιολικό πάρκο είναι μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών συνδεδεμένες σε παράλληλη ηλεκτρική σύνδεση, οι οποίες εγκαθίστανται και λειτουργούν σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και διοχετεύουν το σύνολο της παραγωγής τους στο ηλεκτρικό δίκτυο. Ανάλογα με την τοποθεσία όπου εγκαθίστανται οι συστοιχίες των ανεμογεννητριών, τα αιολικά πάρκα διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, σε χερσαία και υπεράκτια. Χερσαία είναι αυτά τα οποία η εγκατάστασή τους γίνεται στην στεριά και αποτελούν περίπου το 98% των εν λειτουργία αιολικών πάρκων στον πλανήτη ενώ υπεράκτια αυτά τα οποία εγκαθίστανται στις θάλασσες. Τα αιολικά πάρκα αποτελούν ιδιαίτερα πολύπλοκα τεχνικά έργα αφού για τη δημιουργία τους απαιτούν τη κατασκευή πολλών επιμέρους τεχνικών έργων και μία σειρά από εγκαταστάσεις έτσι ώστε τα έργα αυτά να καταστούν λειτουργικά.

Η πρώτη ανάπτυξη αιολικού πάρκου έγινε τη δεκαετία του 1950 στο Λασιθί της Κρήτης και ήταν το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο του κόσμου με 13.000 περίπου ανεμόμυλους, συνολικής ισχύος πάνω από 5 MW. Οι ανεμόμυλοι, φτιάχτηκαν από κατοίκους της περιοχής σε μια δύσκολη εποχή και περιοχή καθώς τα υλικά όπως και η τεχνολογία της τότε εποχής ήταν περιορισμένα τόσο σε ποσότητα όσο και σε ποικιλία. Οι ανεμόμυλοι αυτοί λειτουργούσαν ως αντλητικές μηχανές στα πηγάδια του κάμπου για να ποτιστούν οι καλλιέργειες το καλοκαίρι.

Η εποχή όμως και η τεχνολογία προχώρησαν και έτσι από τους ανεμόμυλους μεταβήκαμε στις ανεμογεννήτριες και συγκεκριμένα στη Κύθνο όπου το 1982 έγινε και το πρώτο αιολικό πάρκο με 5 ανεμογεννήτριες τύπου MAN, των 20kW όπου η κάθε μία δημιουργήθηκε σε ελληνικό έδαφος. Η εγκατάστασή τους ξεκίνησε από τη ΔΕΗ και στόχος ήταν η κάλυψη των αναγκών του νησιού κατά 25% όπου αργότερα ξεπέρασε το 75%. Έτσι ξεκίνησε και η εξέλιξη των αιολικών πάρκων και η δυνατότητα μελέτης και εγκατάστασης και σε άλλους χώρους πέραν των χερσαίων εκτάσεων.



Αιολικό πάρκο ονομάζεται η χερσαία, παράκτια, υπεράκτια έκταση στην οποία έχει τοποθετηθεί συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών με σκοπό τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια, οι οποίες εγκαθίστανται και λειτουργούν σε περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύουν το σύνολο της παραγωγής τους στο ηλεκτρικό σύστημα.

Η Ελλάδα είναι μια χώρα προικισμένη σε αιολικό δυναμικό λόγω της μορφολογίας της και της γεωγραφικής της θέσης και σε στεριά και σε θάλασσα. Έτσι σύμφωνα με μετρήσεις της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από 0,8MW το 1987 έφτασε το 2013 στα 1793,4 MW με πρωτιά που κυριάρχησε στην περιφέρεια της Στερεάς Ελλάδας και την παραγωγή 584 MW.

Η σημαντικότερη μέχρι τώρα εφαρμογή των ανεμογεννητριών όσον αφορά το οικονομικό μέρος είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας και η διοχέτευση του ρεύματος της παραγωγής τους στο υπόλοιπο ηλεκτρικό σύστημα της χώρας, καθώς και η δυνατότητα αυτόνομης λειτουργίας σε περιοχές όπου δεν ηλεκτροδοτούνται.

Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό θεωρείται εκείνο του οποίου, η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά την τιμή των 5m/s. Όσο μεγαλύτερη όμως είναι η ταχύτητα του ανέμου τόσο περισσότερη ενέργεια παρέχεται στο σύστημα. Έτσι είναι σημαντικό να γνωρίζουμε με μεγάλη ακρίβεια το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής, ώστε με την κατάλληλη και ορθή μελέτη για τη σχεδίαση του αιολικού πάρκου να γίνεται όσο πιο άριστη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.

Σημαντικό ρόλο παίζει ο τύπος εγκατάστασης των ανεμογεννητριών. Η ύπαρξη η ανωμαλιών του εδάφους. Κτιρίων, δέντρων, ή εμποδίων γενικά μπορεί να δημιουργήσει στροβιλισμούς

και να μειώσει την αποδοτικότητα. Πριν την επιλογή της περιοχής απαιτείται μελέτη στατιστικών μετεωρολογικών δεδομένων για τις κατευθύνσεις των κυρίαρχων ανέμων για περίοδο ενός χρόνου.

## **4.2 Τρόπος Λειτουργίας Αιολικού Πάρκου**

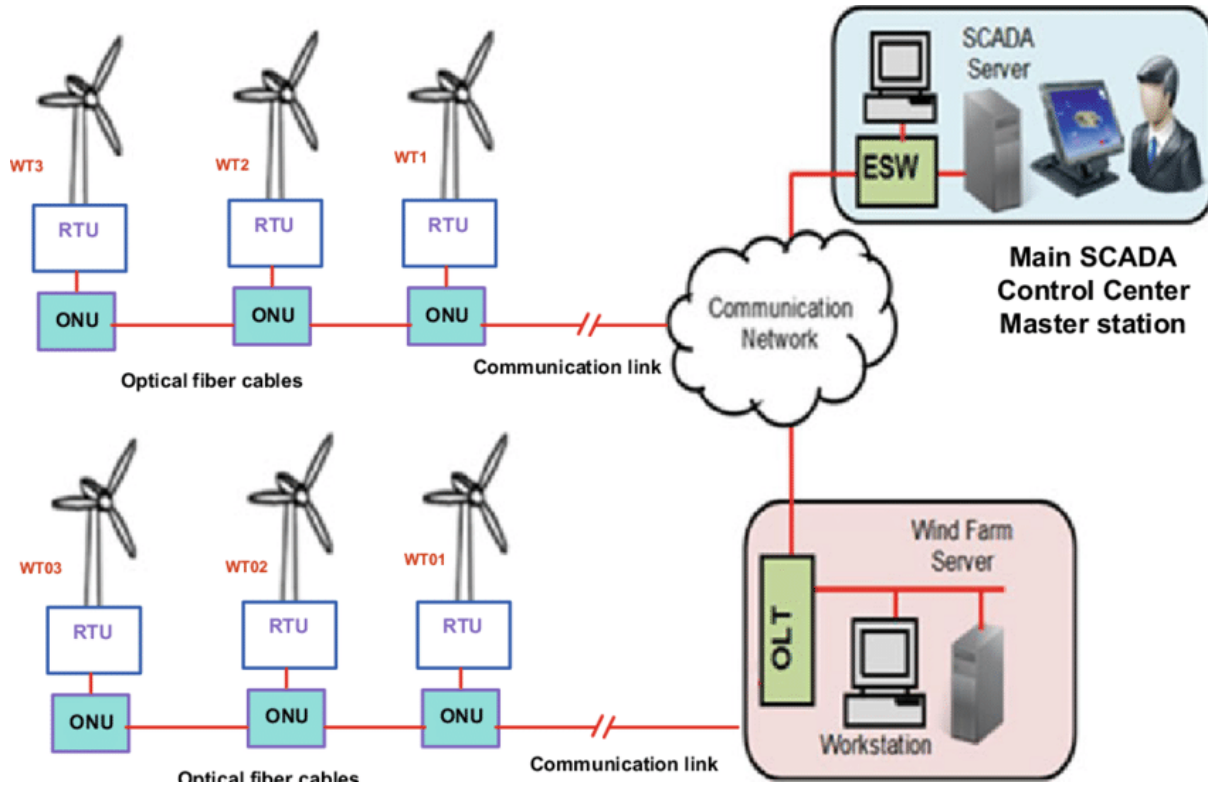
Κύριο συστατικό στοιχείο για την λειτουργία ενός αιολικού πάρκου είναι το φυσικό στοιχείο άνεμος. Η κίνηση των πτερυγίων από τον άνεμο δίνουν κίνηση στη γεννήτρια η οποία με τη σειρά της παράγει ηλεκτρισμό. Ο άνεμος όμως μεταβάλλεται εύκολα προκαλώντας προβλήματα και αλλαγές στην κατεύθυνσή του τα οποία αντιμετωπίζονται εύκολα για να μην υπάρξει κάποια ανωμαλία στη λειτουργία της γεννήτριας. Το μόνο που χρειάζεται για να γίνει αυτό είναι κάποιο σύστημα το οποίο κρατάει τα πτερύγια στη σωστή θέση. Οι αλλαγές στην ταχύτητα του ανέμου είναι μεγάλο πρόβλημα και ακόμα μεγαλύτερο όταν ο άνεμος σταματάει εντελώς ή φυσάει πάρα πολύ δυνατά με αποτέλεσμα την καταστροφή των πτερυγίων τους, και επίσης προκαλούνται μεταβολές στην παροχή ενέργειας στις γεννήτριες. Ένα άλλο απαραίτητο εξάρτημα για τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας σε αιολικό πάρκο θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι ο μετασχηματιστής ο οποίος δεν διαφέρει στα κατασκευαστικά του στοιχεία με αυτούς στις κολώνες της Δ.Ε.Η. Η δουλειά του είναι να μετατρέπει τη χαμηλή τάση σε μέση τάση ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να μεταφερθεί από το δίκτυο της Δ.Ε.Η.. Με λίγα λόγια η ανεμογεννήτρια αποτελείται από υποομάδες και υποσυστήματα.

Το ρεύμα που έχει παραχθεί πηγαίνει διαμέσο των καλωδίων στον μικρό υποσταθμό της κάθε ανεμογεννήτριας (μετασχηματιστή) όπου γίνεται η μετατροπή της τάσης του από χαμηλή σε μέση τάση. Έπειτα το ρεύμα από όλες τις ανεμογεννήτριες περνάει από τον κεντρικό υποσταθμό μέσης τάσεως διαμέσο του δικτύου μέσης τάσης. Έτσι έχουμε την μαζική αποστολή όλου του ρεύματος που έχει παραχθεί σε όλο το αιολικό πάρκο στον υποσταθμό υψηλής τάσεως. Ο υποσταθμός υψηλής τάσεως είναι το τελευταίο μέρος διαχείρισης του ρεύματος από το πάρκο. Το ρεύμα, αφού έχει μετατραπεί η τάση του σε υψηλή για την καλύτερη δυνατή μεταφορά του, διοχετεύεται στο εθνικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της γραμμής διασύνδεσης υψηλής τάσης. Τέλος, τα σύρματα μεταφοράς ρεύματος υψηλής τάσης καταλήγουν σε ένα υποσταθμό όπου οι μετασχηματιστές του μετατρέπουν την υψηλή τάση σε χαμηλή για να μπορέσουν να λειτουργήσουν οι ηλεκτρικές συσκευές από τους καταναλωτές. Όλη η παραπάνω διαδικασία εποπτεύεται από την κεντρική εγκατάσταση που είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο του αιολικού πάρκου, τις ρυθμίσεις βέλτιστης απόδοσης σε όλη το αιολικό πάρκο καθώς και για την άμεση παρέμβαση σε αστοχίες υλικών και εργασίες συντήρησης.

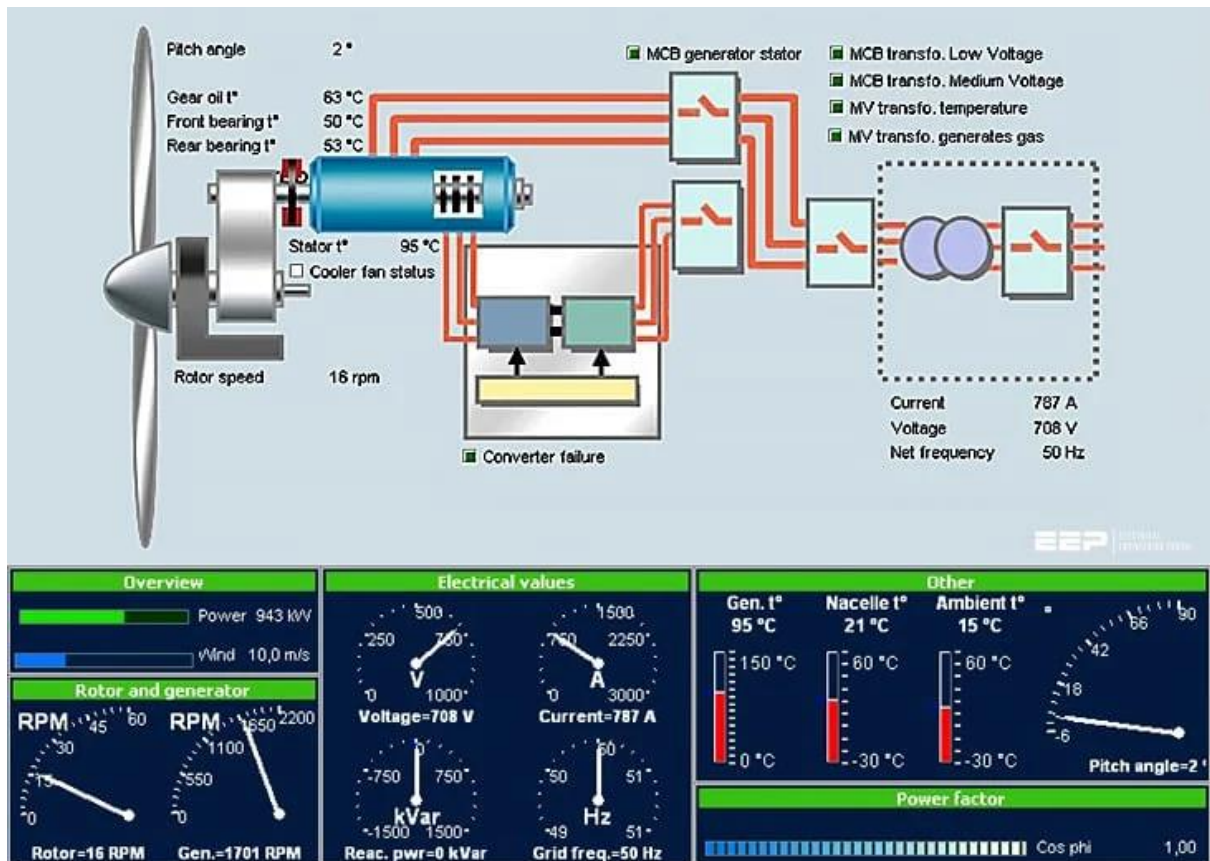
Η λειτουργία τώρα ενός αιολικού πάρκου παρακολουθείται καθημερινά και ελέγχεται μέσω ενός συστήματος που λέγεται SCADA. Το SCADA εγκαθίστανται κυρίως σε εργοστάσια, σταθμούς παραγωγής και σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Το SCADA ή πιο αναλυτικά **Supervision Control And Data Acquisition** ( Ελέγχου Εποπτείας και Απόκτηση Δεδομένων) είναι ένα βιομηχανικό σύστημα το οποίο μετράει, ελέγχει, παρακολουθεί και μεταφέρει τα δεδομένα της λειτουργίας από απόσταση. Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν κύριο σταθμό, μία MTU, στοιχεία συλλογής τομέων και μονάδες ελέγχου καθώς και μία συλλογή

λογισμικού το οποίο χρησιμεύει για τον εντοπισμό και την καταγραφή των στοιχείων σε μακρινή απόσταση που μεταφέρει πληροφορίες.

Το σύστημα αυτό παρέχει τη δυνατότητα συλλογής πληροφοριών όλων των σημείων της εγκατάστασης, απεικόνισης τους σε έγχρωμες οθόνες και εκτύπωσης αναφορών τους, υλοποίησης τηλεχειρισμών και ρυθμίσεων P ID, απεικόνισης και στατιστικής επεξεργασίας των πληροφοριών και ρύθμιση παραγωγής με χρήση Expert Systems.







### 4.3 Είδη Αιολικών Πάρκων

Γενικότερα υπάρχουν 3 βασικά είδη αιολικών πάρκων και είναι τα ακόλουθα:

#### -Αιολικά Πάρκα κοντά στην ακτή (nearshore)

Είναι τα πάρκα που βρίσκονται στην ξηρά εντός της ζώνης των τριών χιλιομέτρων από την ακτογραμμή ή στην θάλασσα εντός της ζώνης των δέκα χιλιομέτρων από την ακτογραμμή. Αυτές οι τοποθεσίες είναι αποδοτικές για εγκατάσταση λόγω του ανέμου που δημιουργείται από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ θάλασσας και ξηράς καθημερινά.

#### -Παράκτια Αιολικά Πάρκα (offshore)

Είναι τα πάρκα που είναι εγκατεστημένα σε θαλάσσιες περιοχές πέραν των δέκα χιλιομέτρων από την ακτή. Ακριβώς επειδή η επιφάνεια του νερού είναι ομαλότερη αυτής του εδάφους, η ταχύτητα του ανέμου είναι υψηλότερη από την ξηρά, έτσι ο συντελεστής χρησιμοποίησης ή συντελεστής εκμετάλλευσης (Capacity Factor) είναι υψηλότερος συγκριτικά με των άλλων δυο τύπων αιολικών πάρκων. Ένας από τους βασικούς λόγους για τον οποίο άρχισε να αναπτύσσεται η ιδέα των αιολικών πάρκων στη θάλασσα, είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχουν πολλά κατάλληλα μέρη στη στεριά για τη δημιουργία αιολικών πάρκων. Εξίσου σημαντικός λόγος είναι το γεγονός ότι συνήθως οι άνεμοι στη θάλασσα έχουν πολύ μεγαλύτερες τιμές απ’

ότι στη στεριά. Μια αύξηση κοντά στο 20% στην ταχύτητα των ανέμων σε κάποια απόσταση από τη στεριά είναι πολύ σύνηθες φαινόμενο.

Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με το ότι η ενέργεια αυξάνεται με τον κύβο της ταχύτητας, μπορεί να μας δώσει απόδοση ενέργειας ακόμη και 73% περισσότερη. Γενικά έχουν μεγαλύτερο κόστος εγκατάστασης και συντήρησης και οι πύργοι είναι ψηλότεροι σε σχέση με τα χερσαία όμως, λόγω του μεγαλύτερου αιολικού δυναμικού που υπάρχει στις υπεράκτιες περιοχές, το αυξημένο κεφαλαιουχικό κόστος και το κόστος συντήρησης αντισταθμίζεται. Η μεταφορά της ενέργειας γίνεται με υποθαλάσσιο καλώδιο και σε περιπτώσεις μεγάλων αποστάσεων από την ακτή χρησιμοποιείται μεταφορά με συνεχές ρεύμα υψηλής τάσης (HVDC) για ελαχιστοποίηση των απωλειών κατά την μεταφορά.



#### -Χερσαία Αιολικά Πάρκα (onshore)

Χερσαία αιολικά πάρκα, ονομάζονται αυτά που κατασκευάζονται στις κορυφογραμμές περιοχών με μεγάλο σχετικά υψόμετρο τουλάχιστον τρία χιλιόμετρα προς το εσωτερικό από την πλησιέστερη ακτογραμμή. Αυτό συμβαίνει για την εκμετάλλευση της λεγόμενης τοπογραφικής επιτάχυνσης, την επιτάχυνση δηλαδή του ανέμου καθώς διασχίζει μια κορυφογραμμή.

Η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου οδηγεί και σε αύξηση της παραγόμενης ενέργειας. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στην ακριβή τοποθέτηση των ανεμογεννητριών, η οποία γίνεται μετά από αναλυτική παρακολούθηση των τοπικών ανέμων για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα

πριν την εγκατάσταση. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί ότι η περιοχή στην οποία εγκαθίσταται το αιολικό πάρκο, αλλοιώνεται μόνο οπτικά και παραμένει αξιοποιήσιμη για γεωργία η κτηνοτροφία.

#### **4.4 Τα Οφέλη Χρήσης Αιολικού Πάρκου**

Τα Τελευταία 15 χρόνια έχει παρατηρηθεί μια εκθετική άνοδος της ηλεκτρικής ισχύος η οποία είναι εγκατεστημένη σε πολλές περιοχές της χώρας μας. Σε κάθε περίπτωση και πριν τη μη ή εγκατάστασή τους στην τοπική κοινωνία υπάρχει πληροφόρηση για τα οφέλη και τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.

Πιο συγκεκριμένα αν πάρουμε σαν παράδειγμα τα αιολικά Πάρκα της Νότιας Εύβοιας ,πάνω από 82 εκατ. ευρώ είναι το ποσό που έχουν αποφέρει στην τοπική οικονομία και κοινωνία της νότιας Εύβοιας τα υφιστάμενα αιολικά πάρκα που έχουν κατασκευαστεί και λειτουργούν στην περιοχή.

Ειδικότερα μόνο από τη λειτουργία τους τα έργα αυτά αποδίδουν τοπικά 3,9 εκατ. ευρώ ανά έτος χωρίς να υπολογίζονται οι άμεσες θέσεις εργασίας και άλλα έμμεσα οφέλη. Το ποσό αυτό αφορά αναπτυξιακά έργα, χορηγίες, τοπικές προμήθειες και υπηρεσίες όπως και το θεσμοθετημένο ειδικό τέλος 3% που παρακρατείται υπέρ των δήμων και των πολιτών.

Η υλοποίηση του προγράμματος των υπό κατασκευή αιολικών πάρκων στην περιοχή θα πολλαπλασιάσει τα οφέλη αυτά.

Αυτά είναι τα βασικά συμπεράσματα έρευνας που πραγματοποίησε η Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας ΕΛΕΤΑΕΝ με βάση αναλυτικά στοιχεία που συνέλεξε από όλες σχεδόν τις επιχειρήσεις που διαθέτουν ή εμπλέκονται με την λειτουργία αιολικών πάρκων στην περιοχή.

Πιο αναλυτικά:

Το τέλος του 2017 λειτουργούσαν στη νότια Εύβοια αιολικά πάρκα συνολικής ισχύος 218,7 MW που κατασκευάστηκαν την περίοδο 1998-2017. Είχαν επίσης ήδη κατασκευαστεί αλλά δεν είχαν τεθεί σε εμπορική λειτουργία άλλα 28,2MW.

Οι υφιστάμενες αυτές επενδύσεις έχουν ήδη αποδώσει και συνεχίζουν να αποδίδουν σημαντικά οφέλη στην τοπική κοινωνία, τα οποία προέρχονται από τη λειτουργία τους και την κατασκευή τους.

Τοπικά οφέλη από τη λειτουργία:

Τα τοπικά οφέλη από τη λειτουργία των αιολικών πάρκων προέρχονται από 3 βασικούς λόγους: Το ποσό που αποδίδεται από τη λειτουργία των αιολικών πάρκων στην τοπική αγορά, με ποικίλους τρόπους στους οποίους περιλαμβάνονται οιοτικές εργασίες-εργολαβίες για τη λειτουργία των έργων, οι τοπικές προμήθειες – υπηρεσίες καθώς και αντισταθμιστικά έργα, χορηγίες, ενισχύσεις τοπικών συλλόγων, σχολείων, ενίσχυση κοινωνικών υποδομών, διάφορες οικονομικές καταβολές κλπ. Σε μέσο όρο, το ποσό αυτού του είδους αγγίζει τα 2.200.000,00 ευρώ ανά έτος.

Το ποσό που παρακρατείται από τα έσοδα των αιολικών πάρκων (3%) προς απόδοση στους ΟΤΑ για την εκτέλεση τοπικών αναπτυξιακών έργων ή τους οικιακούς καταναλωτές για μείωση των λογαριασμών ρεύματος.

Το 2017 το ποσό αυτό άγγιξε το 1.700.00,00 ευρώ ανά έτος οι άμεσες μόνιμες τοπικές θέσεις εργασίας που έχουν δημιουργήσει από τη λειτουργία τους. Πρόκειται για θέσεις εργαζομένων που απασχολούνται τοπικά στην λειτουργία και συντήρηση των ανεμογεννητριών.

Το 2017 οι θέσεις αυτές ήταν τουλάχιστον 62.

Για σύγκριση αναφέρεται ότι ο πρώτος σύγχρονος ιδιωτικός σταθμός φυσικού αερίου 400MW που δημιουργήθηκε στη χώρα μας δημιούργησε περίπου 32 μόνιμες θέσεις εργασίας, δηλ. 0,08 θέσεις/MW έναντι 0,3 τοπικές θέσεις/MW από τα αιολικά πάρκα της νότιας Εύβοιας (περίπου 4 φορές περισσότερες).

Συνολικά δηλαδή κάθε έτος, μόνο από τα υφιστάμενα αιολικά πάρκα της νότιας Εύβοιας, αποδίδονται άμεσα στην τοπική οικονομία 3.900.000,00 ευρώ ανά έτος χωρίς να υπολογίζονται οι άμεσες θέσεις εργασίας και άλλα έμμεσα οφέλη.

Συνολικά τα οφέλη της τοπικής κοινωνίας και οικονομίας της νότιας Εύβοιας από την κατασκευή και λειτουργία των υφιστάμενων αιολικών πάρκων συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Συνολική ισχύς αιολικών πάρκων	218,7 MW
Άμεσες μόνιμες θέσεις εργασίας τοπικά	62
Συνολικό όφελος από τη λειτουργία	16.500.000,00 ευρώ
Συνολικό όφελος από το Ειδικό Τέλος	21.700.000,00 ευρώ
Συνολικό όφελος από την κατασκευή	44.400.000,00 ευρώ
<b>Συνολικό τοπικό όφελος από τα Α/Π της νότιας Εύβοιας</b>	<b>82.600.000,00 ευρώ</b>
<b>Ετήσιος μέσος όρος (1998-2017)</b>	<b>4.130.000,00 ευρώ</b>

## **4.5 Κόστος Αιολικού Πάρκου**

Μία εγκατάσταση ανεμογεννήτριας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Έχοντας σαν παράδειγμα μία εγκατάσταση ισχύος 10kW που βρίσκεται εφαρμογή σε κτήριο η σε ακάλυπτους χώρους αυτών, ένα ενδεικτικό κόστος είναι τα 35.000 – 40.000 ευρώ, έχοντας λάβει υπόψη εξοπλισμό προερχόμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η διαχρονική αξία του κόστους μιας ενεργειακής εγκατάστασης είναι ένας συνδυασμός του αρχικού κόστους επένδυσης και του αντιστοίχου κόστους συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης.

Πιο συγκεκριμένα το αρχικό κόστος ίδρυσης μιας αιολικής μονάδας συνίσταται από το κόστος αγοράς των ανεμογεννητριών καθώς και από το κόστος εγκατάστασης. Στο κόστος εγκατάστασης συμπεριλαμβάνεται το κόστος μεταφοράς και εκτελωνισμού, το κόστος θεμελίωσης και ανέγερσης των μηχανών, το κόστος διασύνδεσης με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο η τις καταναλώσεις, τα κόστη μελέτης, επίβλεψης, διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου, το κόστος των απαραίτητων αδειών και εγκρίσεων, τα πιθανά χρηματοοικονομικά έξοδα, καθώς και το κόστος αγοράς η ενοικίασης του οικοπέδου του υπό κατασκευή αιολικού σταθμού.

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

Τα έξοδα που περιλαμβάνονται στο αρχικό κόστος του αιολικού πάρκου και αφορούν την κατασκευή και την εγκατάσταση του είναι τα παρακάτω:

1. Μετεωρολογικός Ιστός: Περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του Ιστού στην θέση του πάρκου.
2. Αγορά Α/Π: Το κόστος των μηχανών ,συμπεριλαμβανόμενου και του κόστους των πύργων η του κόστους κατασκευής τους εφόσον δεν αγοραστούν από την εταιρεία παραγωγής των ανεμογεννητριών.
3. Μεταφορά και Ασφάλιστρα: Μεταφορά των ανεμογεννητριών από την εταιρεία παραγωγής στη θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.
4. Συναρμολόγηση και Εγκατάσταση: Όλα τα έξοδα που απαιτούνται για την ανέγερση του αιολικού πάρκου.
5. Μετρητικές Διατάξεις: Καλωδιώσεις και λογισμικά για την παρακολούθηση της λειτουργίας του πάρκου.
6. Ειδικός Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός: Επιπλέον εξοπλισμός για κάθε ανεμογεννήτρια. Μετασχηματιστές, γειώσεις, αντικεραυνική προστασία, σύστημα διόρθωσης κ.τ.λ.
7. Έργα Πολιτικού Μηχανικού :Εκσκαφές, επιχώσεις, διαμόρφωση πλατειών για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, διάνοιξη δρόμων, κτίριο ελέγχου.
8. Μελέτες και Άδειες: Όλες οι μελέτες, οι άδειες και τα παράβολα που απαιτούνται μέχρι και την άδεια λειτουργίας του πάρκου.
9. Εκπαίδευση Προσωπικού: Το κόστος εκπαίδευσης του προσωπικού που θα αναλάβει τη συντήρηση και την επίβλεψη του αιολικού πάρκου.

## **ΚΟΣΤΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

Μια εκτίμηση του κόστους των ανεμογεννητριών παρέχει την ανηγμένη τιμή των 1000 ευρώ/KW και επομένως το συνολικό κόστος των 4 Α/Γ ανέρχεται σε:

**4\*600 KW\*1000 ευρώ/KW=2.400.000 ευρώ.**

Τα ανταλλακτικά συνήθως συνοδεύουν τις ανεμογεννήτριες και εμπεριέχονται στο αρχικό κόστος αγοράς. Η αγορά των ανταλλακτικών συγχρόνως με την αγορά των ανεμογεννητριών προτιμάται λόγω της ακριβότερης διάθεσης των πρώτων σε κάποια μεταγενέστερη χρονική περίοδο. Η έκταση του καταλόγου των ανταλλακτικών εξαρτάται κυρίως από την αξιοπιστία των ανεμογεννητριών, την εγγύηση που τις συνοδεύει, τη δυσκολία μεταφοράς στον τόπο εγκατάστασης καθώς και τη διαθεσιμότητα ορισμένων ανταλλακτικών. Το κόστος των ανταλλακτικών καταλαμβάνει το 3% της αξίας των 4 ανεμογεννητριών δηλαδή:

**3%\*2.400.000=72.000 ευρώ**

## **ΚΟΣΤΟΣ ΕΚΜΙΣΘΩΣΗΣ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ**

Η έκταση που θα χρησιμοποιήσουμε για το συγκεκριμένο αιολικό πάρκο είναι 62 στρέμματα. Θα θεωρήσουμε ότι κάνουμε εκμίσθωση του οικοπέδου με κόστος 7500 ευρώ ετησίως, δηλαδή συνολικά για τα 20 χρόνια ζωής του αιολικού πάρκου θα μας κοστίζει 150.000 ευρώ.

## **ΚΟΣΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Α/Γ**

Οι δαπάνες μεταφοράς και εγκατάστασης εξαρτώνται από τον αριθμό των ανεμογεννητριών που μεταφέρονται, τη διαδρομή που ακολουθείται και από τη δυσκολία εγκατάστασης. Οι κυριότερες εργασίες προετοιμασίας και εγκατάστασης είναι οι παρακάτω:

- 1) Προετοιμασία της πλήμνης.
- 2) Τοποθέτηση του κώνου της πλήμνης.
- 3) Κλείδωμα του ρότορα.
- 4) Τοποθέτηση ανεμομέτρων και ανεμοδεικτών.
- 5) Προετοιμασία της ατράκτου.
- 6) Προετοιμασία και συναρμολόγηση πύργων.
- 7) Εγκατάσταση ατράκτου στους πύργους.
- 8) Τοποθέτηση και σύνδεση καλωδίων στους πύργους και εγκατάσταση του ελεγκτή.
- 9) Τοποθέτηση του κάθε πτερύγιου ξεχωριστά σε οριζόντια θέση.
- 10) Εγκατάσταση Μ/Σ.

Για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε η τιμή των 165.000 ευρώ.

## **ΔΑΠΑΝΕΣ ΕΡΓΩΝ ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ**

Τα δομικά έργα πολιτικού μηχανικού ενός αιολικού πάρκου είναι τα παρακάτω:

1)Πλατείες ανέγερσης των ανεμογεννητριών.

2)Θεμελίωσεις βάσεων των ανεμογεννητριών.

3)Τάφροι όδευσης καλωδίων κατά μήκος του αιολικού πάρκου και για τη σύνδεση με τον υποσταθμό.

4)Δωμάτιο έλεγχου αιολικού πάρκου.

Η θεμελίωση κάθε ανεμογεννήτριας αποτελεί βασικό στοιχείο για την επίτευξη επαρκούς στατικότητας αυτής. Το κόστος της περιλαμβάνει το κόστος διεκπεραίωσης από το εργατικό δυναμικό και το κόστος των χρησιμοποιούμενων υλικών όπως το σκυρόδεμα και τα μεταλλικά πλέγματα .Εκτιμάται ότι το κόστος θεμελίωσης **για κάθε ανεμογεννήτρια ανέρχεται σε 15.000 ευρώ (15.000\*4 Α/Γ=60.000 ευρώ)**

Το κόστος ανέγερσης κάθε ανεμογεννήτριας που ακολουθεί της θεμελίωσης περιλαμβάνει το κόστος διεκπεραίωσης από το εργατικό δυναμικό καθώς και την εκμίσθωση του απαραίτητου εξοπλισμού. Στον ειδικό εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνονται γερανοφόρο όχημα και βαρούλκα. Το κόστος της εκμίσθωσης του εξοπλισμού μπορεί να επιβαρυνθεί σημαντικά σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας του απαραίτητου εξοπλισμού στην τοποθεσία εγκατάστασης. Στην περίπτωση αυτή ο ειδικός εξοπλισμός θα πρέπει να μεταφερθεί στην εν λόγω περιοχή και αυτό συνεπάγεται επιπρόσθετο κόστος μεταφοράς και μεγαλύτερη χρονική διάρκεια εκμίσθωσης αυτού .Για την περίπτωση μας **το κόστος αυτό ανέρχεται σε 15.000 ευρώ για κάθε ανεμογεννήτρια(4 Α/Γ\*15.000 ευρώ=60.000 ευρώ)**

Δαπάνες ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού αιολικού πάρκου (προμήθεια- μεταφορά εγκατάσταση). Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός ενός αιολικού πάρκου αποτελείται από:

- Γειώσεις
- Αγωγοί,σωληνες
- Μικροί υποσταθμοί ζεύξης κλάδων κ.τ.λ.

**Το κόστος για τον εξοπλισμό αυτό υπολογίστηκε η τιμή των 170.000 ευρώ.**

## **ΟΔΟΠΟΙΑ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΟΔΟΠΟΙΑ**

Η πρόσβαση σε κάθε μια ανεμογεννήτρια βρίσκεται σε συνάρτηση με την ποιότητα και τη μορφολογία του εδάφους της περιοχής εγκατάστασης. Στην περίπτωση όπου η τοποθεσία είναι δύσβατη και δεν επιτρέπει την απρόσκοπτη προσέγγιση σε κάθε ανεμογεννήτρια απαιτείται έργο οδοποιίας. Το κόστος αυτού υπολογίζεται σε 9.000 ευρώ/χιλιόμετρο.

## **ΜΕΛΕΤΕΣ, ΕΞΟΔΑ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΝΟΜΙΚΩΝ ΣΥΜΒΟΥΛΩΝ**

Οι διαφορές μελέτες που πραγματοποιούνται για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου είναι οι εξής:

- Μελέτη εκτίμησης παραγωγής και αιολικού δυναμικού.
- Μελέτη αίτησης στον Αναπτυξιακό Νόμο η οικονομικής χρηματοδότησης μέσω του Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης.
- Χάρτες ψηφιοποίησης.
- Μελέτη άδειας εγκατάστασης.
- Γεωτεχνικές μελέτες αιολικού πάρκου.
- Γεωφυσικές μελέτες αιολικού πάρκου.
- Μελέτες έργων πολιτικού μηχανικού αιολικού πάρκου.
- Τοπογραφικές μελέτες.
- Μελέτες οδοποιίας.
- Μελέτες για πολεοδομικές άδειες.
- Μελέτες Η/Μ έργων αιολικού πάρκου.
- Τεχνοοικονομική μελέτη για ένταξη στο Ν.3299 η μελέτη οικονομικής χρηματοδότησης μέσω ΚΠΣ.
- Νομικοί σύμβουλοι-Οικονομικοί σύμβουλοι.

Το κόστος του συνόλου των μελετών εξαρτάται από τις δυσκολίες των μελετών ειδικά αν πρόκειται για ειδικές περιπτώσεις καθώς επίσης και από το βαθμό

δυσκολίας των νομικών ,τεχνικών και χωροταξικών θεμάτων. **Για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε η τιμή των 150.000 ευρώ.**

## **ΚΟΣΤΟΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΜΕ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ(ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ)**

Το κόστος διασύνδεσης ενός αιολικού πάρκου 10 MW με το δίκτυο κυμαίνεται στις 580.000 ευρώ . **Για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε η τιμή των 140.000 ευρώ.**



## **ΕΓΓΥΗΤΙΚΗ ΕΠΙΣΤΟΛΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΝΕΓΕΡΣΗΣ-ΑΓΟΡΑ ΟΙΚΟΠΕΔΟΥ ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΥ**

Η έκταση ενός αιολικού πάρκου εξαρτάται από τον αριθμό των ανεμογεννητριών και τη χωροθέτηση τους. Για το αιολικό πάρκο που παρουσιάζουμε έχουμε υπολογίσει 62 στρέμματα. Για την παραχώρηση της έκτασης αυτής εκδίδεται εγγυητική επιστολή 2% επί του θεωρημένου προϋπολογισμού του έργου προς τον δημόσιο φορέα στον οποίο ανήκει.

### **ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΕΝΙΚΑ ΚΑΙ ΤΡΑΠΕΖΙΚΑ ΕΞΟΔΑ**

Το συνολικό κόστος για τα έξοδα αυτά κυμαίνονται έως 1.200.000 ευρώ για αιολικά πάρκα έως 30 MW. **Για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε 120.000 ευρώ.**

### **ΕΞΟΔΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ**

Ως βοηθητικές ύλες μπορούν να θεωρηθούν οι αναλώσιμες ύλες για την ομαλή λειτουργία και συντήρηση των ανεμογεννητριών, όπως π.χ. λιπαντικές ουσίες, υδραυλικά υγρά κ.λπ. **Οι βοηθητικές για τα πέντε πρώτα έτη λειτουργίας είναι περίπου 6.000 ευρώ/ανεμογεννήτρια/έτος.**

### **ΚΟΣΤΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ SCADA**

Στο κτίριο ελέγχου του αιολικού πάρκου θα εγκατασταθεί πλήρες Σύστημα Ελέγχου, Εποπτείας και Μετρήσεων (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition), το οποίο θα περιλαμβάνει κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, εκτυπωτή, modem, interface κλπ., περιφερειακές μονάδες με επεξεργαστή (RTU) σε κάθε ανεμογεννήτρια και κάθε μετεωρολογικό ιστό και το απαραίτητο εξειδικευμένο λογισμικό για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου και μετρήσεων. Μέσω του συστήματος SCADA το αιολικό πάρκο θα έχει τη δυνατότητα αμφίδρομης

επικοινωνία με το Κέντρο Κατανομής Φορτίου Κρήτης της Δ.Ε.Η. **Το κόστος του ανέρχεται στις 140.000 ευρώ .**

**5.1 Κριτήρια επιλογής Περιοχής Αιολικού Πάρκου**

Για την ανάπτυξη και λειτουργία ενός αιολικού πάρκου διακρίνουμε τις εξής τέσσερις φάσεις:

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

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας εκκίνησης ενός αιολικού πάρκου είναι η επιλογή τοποθεσίας όπου θα πραγματοποιηθούν μακροπρόθεσμες συμφωνίες με ιδιοκτήτες γης ή η αγορά οικοπέδου. Ακολουθεί η φάση ανάπτυξης που θεωρητικά πρέπει να διαρκεί 1-2 έτη. Τότε γίνονται οι ανεμολογικές μετρήσεις, οι επιλογές χωροθέτησης και ο καθορισμός των τεχνικών χαρακτηριστικών του έργου. Στη συνέχεια γίνονται οι υποβολές αιτήσεων για την αδειοδότηση που πρέπει να ολοκληρωθεί σε διάστημα 6 με 18 μηνών. Ακολουθεί η φάση προ-κατασκευής διάρκειας 12-18 μηνών. Τότε γίνεται η χορήγηση αδειών, η επιλογή πόρων (ανεμογεννήτριες, μηχανικοί κ.τ.λ.) και γίνονται οι διαπραγματεύσεις του συμβολαίου κατασκευής. Τέλος γίνεται η κατασκευή θεωρητικά σε διάστημα 1-2 χρόνια, ο έλεγχος που διασφαλίζει ότι ο σταθμός τηρεί τις προδιαγραφές για την σωστή λειτουργία του αιολικού πάρκου.

Σύμφωνα με το ΕΠΧΣΑΑ για τις ΑΠΕ η χωροθέτηση αιολικών εγκαταστάσεων δεν επιτρέπεται εντός των περιοχών που ονομάζονται «περιοχές αποκλεισμού και ζώνες ασυμβατότητας». Αυτές είναι:

- Οι περιοχές που περιλαμβάνονται σε πολεοδομικά σχέδια ή όρια οικισμών.
- Οι περιοχές που έχουν ανακηρυχθεί ως διατηρητέα μνημεία της παγκόσμιας πολιτιστικής κληρονομιάς, τα μνημείων μικρότερης σημασίας καθώς και οι οριοθετημένες αρχαιολογικές ζώνες προστασίας.
- Οι περιοχές απόλυτης προστασίας της φύσης.
- Οι Υγρότοποι Διεθνούς Σημασίας όπως ορίζονται σύμφωνα με τη συνθήκη Ramsar.
- Οι πυρήνες εθνικών δρυμών, τα μνημεία της φύσης και τα αισθητικά δάση.
- Οι Τόποι Κοινοτικής Σημασίας που ανήκουν στο δίκτυο Natura 2000.
- Οι Περιοχές Οργάνωσης Τουριστικών Δραστηριοτήτων (Π.Ο.Τ.Α) και οι Περιοχές Οργανωμένης Ανάπτυξης Παραγωγικών Δραστηριοτήτων (Π.Ο.Α.Π.Δ) του τριτογενούς τομέα παραγωγής.

- Οι ατύπως διαμορφωμένες (εκτός σχεδίου δόμησης) τουριστικές και οικιστικές περιοχές.
- Οι ακτές κολύμβησης.
- Οι περιοχές που φιλοξενούν λατομεία, και επιφανειακές μεταλλευτικές και εξορυκτικές ζώνες.
- Και τέλος, άλλες περιοχές ή ζώνες που υπάγονται σε ειδικό καθεστώς χρήσεων γης σύμφωνα με το οποίο δεν επιτρέπεται τέτοιου είδους εγκατάσταση. Επιπροσθέτως, σύμφωνα με το ΕΠΧΣΑΑ των ΑΠΕ, η χωροθέτηση κάθε εγκατάστασης αιολικού πάρκου οφείλει να πληροί καθορισμένες ελάχιστες αποστάσεις από τις γειτνιάζουσες δραστηριότητες, χρήσεις γης και δίκτυα τεχνικών υποδομών. Οι αποστάσεις αυτές διευκρινίζονται στον πίνακα 1 του παραρτήματος. Περαιτέρω των κριτηρίων που θέτει το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο, σημαντικό ρόλο έχουν τα κριτήρια χωροθέτησης που χρησιμοποιούνται σε μελέτες χωροθέτησης χερσαίων αιολικών πάρκων παγκοσμίως.

## **5.2 Τεχνοοικονομικά Κριτήρια**

Στην κατηγορία των τεχνοοικονομικών κριτηρίων χωροθέτησης εντάσσονται κριτήρια που αφορούν τόσο την αποδοτικότητα εγκατάστασης του αιολικού πάρκου όσο και τη δυνατότητα της εγκατάστασης αυτής.

Η συμμετοχή της παραμέτρου της ταχύτητας του ανέμου στη διαδικασία χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση τόσο για την εκτίμηση της καταλληλότητας κάθε μελετώμενης υποψήφιας θέσης όσο και για τον προσδιορισμό της παραγωγικότητας και οικονομικής αποδοτικότητας των ανεμογεννητριών που πρόκειται να εγκατασταθούν.

Οι διερευνώμενες μελέτες χωρίζονται σε δυο βασικές κατηγορίες. Αυτές που θέτουν όρια αποκλεισμού περιοχών με βάση τη μέση ταχύτητα ανέμου και αυτές που στα πλαίσια της πολυκριτηριακής ανάλυσης που διεξάγουν αξιολογούν τις υποψήφιες περιοχές χωροθέτησης ανάλογα με αυτή. Αναλυτικότερα, στις διερευνώμενες μελέτες που θέτουν ελάχιστη ταχύτητα ανέμου ως μέσο αποκλεισμού περιοχών, η ελάχιστη απαραίτητη ταχύτητα ανέμου διαφέρει μεταξύ τους. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι μελέτες των Baban et al (2001) και Γραμματικογιάννης et al (2010) που θέτουν ως ελάχιστη τιμή τα 7 m/s. Σε αντίθεση με αυτό το σχετικά υψηλό ελάχιστο όριο ταχύτητας ανέμου, οι Latinopoulos και Kechagia (2015) θέτουν ως κατώτατη αποδεκτή τιμή ταχύτητας ανέμου τα 4,5 m/s και οι Tegou et al (2010) τα 4 m/s αμφότεροι για την περιοχή της Λέσβου.

### Η κλίση του εδάφους

Η κλίση του εδάφους αποτελεί σημαντικό παράγοντα χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου καθ'

ότι επηρεάζει σημαντικά την ευκολία πρόσβασης και κατασκευής του κατά συνέπεια και το κόστος της. Παρ' όλο που στη βιβλιογραφία συναντώνται διαφορετικά όρια κλήσης, η συντριπτική πλειοψηφία θέτει ως όριο το 10%. Σημεία αναφοράς αποτελούν οι μελέτες των Watson et al (2015) με περιοχή μελέτης τις κεντρικές και νότιες περιοχές του Ηνωμένου Βασιλείου, Al-Yahyai (2012) που αφορά τη χώρα του Ομάν και Georgiou et al (2012) που αφορά την περιοχή της Λάρνακας στην Κύπρο.

### Υψόμετρο

Παρ' ότι λιγοστές, συναντώνται μελέτες στις οποίες κατά τη διαδικασία της επιλογής της βέλτιστης θέσης χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου λαμβάνεται υπ' όψιν ο παράγοντας του υψομέτρου. Συνήθως η μεταβλητή του υψομέτρου συμπεριλαμβάνεται όταν οι περιοχές μελέτης περικλείουν υποπεριοχές μεγάλου υψομέτρου. Οι περιοχές αυτές είναι επιθυμητό να αποφεύγονται αφού το υψόμετρο είναι αντιστρόφως ανάλογο με την πυκνότητα του αέρα άρα και με την ζητούμενη αιολική ενέργεια. Παραδείγματα μελετών που χρησιμοποιούν την παράμετρο του υψομέτρου είναι η μελέτη των Noorollahi et al. (2016) με όριο υψομέτρου τα 2 χιλιόμετρα και περιοχή μελέτης το δυτικό Ιράν, των Kazim et al. (2015) που θέτουν ως όριο τα 1500 μέτρα στη μελέτη τους για τμήμα του Τουρκικού χώρου και των Wang et al. (2014) που προτείνουν ως όριο τα 1000 μέτρα για την περιοχή Φουκουσίμα της Ιαπωνίας.

### Απόσταση από υποδομές μεταφορικών δικτύων

Τόσο για την κατασκευή όσο και για τη συντήρηση κάθε αιολικού πάρκου είναι απαραίτητη η σύνδεση του με το οδικό δίκτυο. Για το λόγο αυτό, όσο μικρότερη απόσταση έχει από τη ήδη υπάρχον, τόσο μικρότερο θα είναι το κόστος κατασκευής του τμήματος που υπολείπεται. Στο σύνολο των μελετών προσδιορισμού προτεινόμενων περιοχών χωροθέτησης αιολικών πάρκων, προτείνονται οι περιοχές με τη μικρότερη δυνατή απόσταση. Η μέγιστη απόσταση χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου από το υπάρχον οδικό δίκτυο ορίζεται από τους εκάστοτε μελετητές και επηρεάζεται άμεσα από το υπάρχον οδικό δίκτυο στην κάθε περιοχή μελέτης. Οι προτεινόμενες μέγιστες αποστάσεις ξεκινούν από τα 100 μόλις μέτρα στη μελέτη των Sliz-Szkliniarz (2010) και τα 200 μέτρα στις Latinopoulos και Kechagia (2015) και αυξάνονται φτάνοντας τα 10 χιλιόμετρα στις Baban et al. (2001) και Tegou et al. (2007). Στο σύνολο τους, οι περιοχές πλησίον των οδικών δικτύων προτείνονται έναντι των πιο απομακρυσμένων

### Απόσταση από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Η σύνδεση κάθε αιολικού πάρκου με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελεί τόσο απαραίτητη όσο και κοστοβόρα διαδικασία. Γι αυτό το λόγο, κατά τη διαδικασία επιλογής χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου, οι περιοχές με άμεση πρόσβαση προτιμώνται ανάλογα με την απόσταση αυτή και οι απομακρυσμένες από το ηλεκτρικό δίκτυο αποκλείονται.

Η απόσταση από το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιείται ως κριτήριο χωροθέτησης στις περισσότερες μελέτες. Η διαφοροποίηση γίνεται στα όρια που θέτει κάθε

μελετητής σε κάθε περιοχή μελέτης. Για παράδειγμα, στη μελέτη της Tegou et al. (2007), η μέγιστη απόσταση ορίζεται στα 10 χιλιόμετρα για το νησί της Λέσβου.

### Απόσταση από τα λιμάνια

Κύρια μέριμνα στις μελέτες χωροθέτησης αιολικών πάρκων είναι η ασφάλεια των κατοίκων αλλά και των χρηστών των περιοχών γύρω από τις εγκαταστάσεις. Για το λόγο αυτό και λόγω του μεγάλου ύψους των ανεμογεννητριών, η απόσταση από τα γειτονικά αεροδρόμια χρησιμοποιείται ως κριτήριο επιλογής της θέσης τους. Η ζώνη αποκλεισμού που προτείνεται γύρω από τα αεροδρόμια ορίζεται στις μελέτες των Wang et al. (2014), των Bennui et al. (2007) και των Latinopoulos και Kechagia (2015) στα 3 χιλιόμετρα. Άλλα παραδείγματα μελετών όπως οι μελέτες των Effat et al. (2014) και Wang et al. (2014) η ακτίνα αποκλεισμού ορίζεται στα 2,5 χιλιόμετρα.

## **5.3 Πρότυπα Εγκατάστασης Αιολικού Πάρκου**

Για την υλοποίηση όμως όλων των παραπάνω, ένα Αιολικό Πάρκο προς ανέγερση πρέπει προφανώς αν πληροί κάποιες συγκεκριμένες προϋποθέσεις αφενός για να εγκριθεί η κατασκευή του από την αρμόδια δημόσια αρχή και αφετέρου για να εξασφαλίζει την οικονομική βιωσιμότητά του. Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC - International Electrotechnical Commission) είναι ένας παγκόσμιος οργανισμός τυποποίησης που αποτελείται από όλες τις εθνικές επιτροπές ηλεκτροτεχνίας (Εθνικές Επιτροπές IEC). Σκοπός του IEC είναι η προώθηση της διεθνούς συνεργασίας σε όλα τα ζητήματα που αφορούν την τυποποίηση στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό τομέα.

Το πρότυπο του IEC 61400 περιγράφει τις ελάχιστες απαιτήσεις σχεδίασης για ανεμογεννήτριες και δεν προορίζεται για χρήση ως πλήρες σχέδιο σχεδιασμού ή εγχειρίδιο οδηγιών. Το διεθνές πρότυπο IEC 61400-1 έχει ετοιμαστεί από την τεχνική επιτροπή IEC 88: Ανεμογεννήτριες. Καθορίζει βασικές απαιτήσεις σχεδίασης για να εξασφαλιστεί η μηχανική ακεραιότητα των ανεμογεννητριών.

Σκοπός του είναι να παρέχει ένα κατάλληλο επίπεδο προστασίας από ζημιές από όλους τους κινδύνους κατά τη διάρκεια της προγραμματισμένης διάρκειας ζωής. Το πρότυπο αυτό αφορά όλα τα υποσυστήματα των ανεμογεννητριών όπως μηχανισμοί ελέγχου και προστασίας, εσωτερικά ηλεκτρικά συστήματα, μηχανικά συστήματα και δομές υποστήριξης. Αυτό το πρότυπο ισχύει για ανεμογεννήτριες όλων των μεγεθών. Για μικρές ανεμογεννήτριες μπορεί να εφαρμοστεί το IEC 61400-2.

- IEC 60204-1: 1997, Ασφάλεια μηχανών - Ηλεκτρικός εξοπλισμός μηχανών - Μέρος 1: Γενικές απαιτήσεις
- IEC 60204-11: 2000, Ασφάλεια μηχανών - Ηλεκτρικός εξοπλισμός μηχανών - Μέρος 11: Απαιτήσεις για εξοπλισμό υψηλής τάσης για τάσεις άνω των 1 000 V a.c. Ή 1 500 V d.c. και δεν υπερβαίνει τα 36 kV
- IEC 60364 (όλα τα μέρη), ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κτιρίων
- IEC 60721-2-1: 1982, Ταξινόμηση περιβαλλοντικών συνθηκών - Μέρος 2: Περιβαλλοντικές συνθήκες που εμφανίζονται στη φύση. Θερμοκρασία και υγρασία

- IEC 61000-6-1: 1997, Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 6: Γενικά πρότυπα
- Τμήμα 1: Ασυλία για οικιακά, εμπορικά και ελαφρά βιομηχανικά περιβάλλοντα
- IEC 61000-6-2: 1999, Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (ΗΜΣ) - Μέρος 6: Γενικά πρότυπα
- Τμήμα 2: Ασυλία για βιομηχανικά περιβάλλοντα 15
- IEC 61000-6-4: 1997, Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (ΗΜΣ) - Μέρος 6: Γενικά πρότυπα
- Τμήμα 4: Πρότυπα εκπομπών για βιομηχανικά περιβάλλοντα
- IEC 61024-1: 1990, Προστασία δομών από κεραυνό - Μέρος 1: Γενικές αρχές
- IEC 61312-1: 1995, Προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παλμικές αστραπές - Μέρος 1: Γενική αρχή
- IEC 61400-21: 2001, Συστήματα γεννήτριας ανεμογεννητριών - Μέρος 21: Μέτρηση και εκτίμηση χαρακτηριστικών ποιότητας ισχύος των ανεμογεννητριών που συνδέονται με το δίκτυο
- IEC 61400-24: 2002, Συστήματα γεννήτριας ανεμογεννητριών - Μέρος 24: Προστασία από κεραυνούς
- ISO 76: 1987, Ρουλεμάν κύλισης - Στατικές τιμές φορτίου
- ISO 281: 1990, Ρουλεμάν τροχαίου υλικού - Δυναμικό φορτίο και διάρκεια ζωής
- ISO 2394: 1998, Γενικές αρχές σχετικά με την αξιοπιστία των δομών
- ISO 2533: 1975, Πρότυπη ατμόσφαιρα
- ISO 4354: 1997, Ενέργειες ανέμου στις δομές
- ISO 6336 (όλα τα μέρη), Υπολογισμός της ικανότητας φόρτωσης των οδοντωτών και ελικοειδών εργαλείων
- ISO 9001: 2000, συστήματα διαχείρισης ποιότητας – Απαιτήσεις

#### **5.4 Διαδικασία Αδειοδότησης Αιολικών Εγκαταστάσεων**

Η διαδικασία αδειοδότησης ποικίλλει ανάλογα με την ισχύ των αιολικών πάρκων. Σε χαμηλές και μεσαίες τιμές ισχύος είναι λιγότερο γραφειοκρατική και πιο γρήγορη σε σχέση με την εγκατάσταση μεγάλης ισχύος αιολικών πάρκων όπου επιφορτώνονται και άλλοι παράγοντες (όπως περιβαλλοντικοί) οι οποίοι απαιτούν περισσότερες γραφειοκρατικές διαδικασίες και περισσότερο χρόνο για να υλοποιηθούν. Συγκεκριμένα θα εξετάσουμε την αδειοδοτική διαδικασία αιολικών πάρκων διακρίνοντας τις εξής κατηγορίες με βάση την ισχύ τους:

1. Αιολικά πάρκα ισχύος έως 20KW

2. Αιολικά πάρκα ισχύος από 20-100KW

3.Αιολικά πάρκα ισχύος από 100KW-2MW

4.Αιολικά πάρκα ισχύος άνω των 2MW

### **1.Αιολικά πάρκα ισχύος έως 20KW**

Επειδή η ισχύς βρίσκεται κάτω από 100KW το αιολικό πάρκο με ισχύ έως 20KW εξαιρείται από την έκδοση αδειας παραγωγής, άδειας εγκαταστάσεως και άδειας λειτουργίας. Η εξαίρεση από την άδεια παραγωγής γίνεται ύστερα από αίτηση προς τη ΡΑΕ, η οποία αποφασίζει μετά από γνωμοδότηση της περί μη κορεσμού του δικτύου. Εφόσον, υπάρχει η εξαίρεση από την άδεια παραγωγής δεν απαιτείται ούτε η έκδοση άδειας λειτουργίας ούτε η έκδοση άδειας εγκατάστασης. Ακόμη, λόγω της ισχύος κάτω από 20KW δεν απαιτείται ούτε έκδοση αδειας εγκρίσεως περιβαλλοντικών όρων παρά μόνο βεβαίωση εξαίρεσεως αυτής, η οποία εκδίδεται μέσα σε 20 ημέρες από την περιβαλλοντική υπηρεσία της αρμόδιας Περιφέρειας. Ο επενδυτής ζητά ταυτόχρονα την έκδοση προσφοράς σύνδεσης από τον Αρμόδιο Διαχειριστή (ΔΕΣΜΗΕ στο διασυνδεδεμένο, ΔΕΗ στο μη διασυνδεδεμένο). Ο διαχειριστής εκδίδει την προσφορά σύνδεσης σε 4 μήνες, η οποία καθίσταται δεσμευτική όταν εκδοθεί η βεβαίωση εξαίρεσης από την ΕΠΟ. Αφού, καταστεί δεσμευτική η προσφορά σύνδεσης ο δικαιούχος ενεργεί για τη σύναψη της Σύμβασης Σύνδεσης και της Σύμβασης Πώλησης σύμφωνα με τα άρθρα 9,10 και 12 και τους κώδικες διαχείρισης του συστήματος και του δικτύου.

### **2.Αιολικά πάρκα ισχύος από 20-100KW**

Επειδή η ισχύς βρίσκεται κάτω από 100 KW το αιολικό πάρκο εξαιρείται από την έκδοση αδειας παραγωγής, εγκαταστάσεως και λειτουργίας. Η διαδικασία που ακολουθείται από τον δικαιούχο είναι αυτή που περιγράφηκε παραπάνω. Όμως, επειδή η ισχύς υπερβαίνει τα 20KW πρέπει να εκδοθεί άδεια ΕΠΟ. Η ΕΠΟ εκδίδεται από τον Γενικό Γραμματέα της αρμόδιας Περιφέρειας μέσα σε 4 μήνες από την κατάθεση της αίτησης. Για την προσφορά σύνδεσης και την υπογραφή της συμβάσεως σύνδεσης και πώλησης ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω.

### **3.Αιολικά πάρκα ισχύος άνω των 100KW και έως 2MW**

Επειδή, το αιολικό πάρκο έχει ισχύ ανωτέρα των 100KW πρέπει να εκδοθεί άδεια παραγωγής. Γι αυτό απαιτείται αίτηση προς τη ΡΑΕ η οποία αποφασίζει μέσα σε 2 μήνες και ο Υπουργός ανάπτυξης ελέγχει τη νομιμότητα της μέσα σε 20 ημέρες από τότε που θα την παραλάβει. Στη συνέχεια πρέπει να εκδοθεί άδεια ΕΠΟ. Στην αρμόδια αρχή πρέπει να κατατεθεί πλήρης φάκελος του έργου και μελέτη περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η άδεια ΕΠΟ εκδίδεται από το Νομάρχη σε 2 μήνες όταν το έργο εντάσσεται από τον αρμόδιο Γενικό Γραμματέα της Περιφέρειας στη Δεύτερη κατηγορία και στην υποκατηγορία τρία ή τέσσερα. Στη συνέχεια πρέπει να εκδοθεί η άδεια εγκατάστασης. Όταν υπεύθυνος για ΕΠΟ είναι ο Γενικός Γραμματέας της οικείας Περιφέρειας ή ο Νομάρχης τότε τα δικαιολογητικά εφόσον είναι πλήρη ελέγχονται μέσα σε 30 ημέρες και εκδίδεται η άδεια εγκατάστασης μέσα σε 15 ημέρες από τον έλεγχο. Όταν είναι υπεύθυνος για την έκδοση ΕΠΟ ο Υπουργός Ανάπτυξης τότε τα

δικαιολογητικά ελέγχονται μέσα σε 30 ημέρες και η άδεια εκδίδεται μέσα σε 15 ημέρες από τον έλεγχο. Ακόμη, ο δικαιούχος πρέπει να έχει ήδη κάνει αίτηση για προσφορά σύνδεσης στο Διαχειριστή του συστήματος, ο οποίος εκδίδει την προσφορά σύνδεσης μέσα σε 4 μήνες και η οποία καθίσταται δεσμευτική αφού εκδοθεί η ΕΠΟ. Στη συνέχεια ο δικαιούχος υπογράφει την Σύμβαση σύνδεσης και πώλησης και προβαίνει σε αίτηση για την έκδοση άδειας λειτουργίας στο Νομάρχη ο οποίος είναι υπεύθυνος για την έκδοση της άδειας εγκατάστασης. Με την αίτηση του δικαιούχου κλιμάκιο της υπηρεσίας ή του ΚΑΠΕ ελέγχει την εγκατάσταση και εκδίδει την άδεια λειτουργίας μέσα σε 20 ημέρες από τον έλεγχο.

#### **4.Αιολικά πάρκα ισχύος άνω των 2MW**

Η διαδικασία που ακολουθείται για την έκδοση των αδειών παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας και για την ΕΠΟ είναι η ίδια μόνο που επειδή τα αιολικά έργα με ισχύ άνω των 2MW ανήκουν σε ανώτερη κατηγορία υπεύθυνος για την έκδοση άδειας εγκατάστασης είναι ο Υπουργός Ανάπτυξης την οποία εκδίδει μέσα σε 15 ημέρες μετά από έλεγχο των δικαιολογητικών που διαρκεί το πολύ σε 30 ημέρες. Τέλος και η άδεια λειτουργίας εκδίδεται από τον Υπουργό Ανάπτυξης μετά από έλεγχο κλιμακίου του Υπουργείου ή του ΚΑΠΕ.



**6.1 Κατασκευή δρόμου προσπέλασης και εσωτερικής οδοποιίας Α/Π****Όδευση προς το Αιολικό Πάρκο.**

Οι προδιαγραφές του δρόμου πρόσβασης στο Α/Π όπως ορίζονται από την κατασκευάστρια εταιρία των Α/Γ (ENERCON) περιγράφονται παρακάτω:

- a. Ελάχιστο πλάτος του δρόμου πρόσβασης: 5 m.
- b. Μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση κατά τη διεύθυνση του δρόμου: 14%.
- c. Μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση κατά την κάθετη διεύθυνση του δρόμου: έως 3,5%.
- d. Μέση ακτίνα καμπυλότητας σε στροφές μεγαλύτερες των 70°: 18 m.
- e. Μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση στη διεύθυνση του δρόμου και σε σημεία στροφής: 3%.

**Διαμόρφωση πλατειών Α/Π****Οδοποιία**

Το πιο βασικό έργο υποδομής είναι η οδοποιία. Οι δρόμοι πρόσβασης στο χώρο εγκατάστασης πρέπει να επιτρέπουν τη διέλευση των φορτηγών που μεταφέρουν τα τμήματα των ανεμογεννητριών. Συνήθως, στις ορεινές περιοχές η οδοποιία περιορίζει και το μέγεθος των μηχανών που δεν μπορεί να υπερβεί το 1MW. Μια τυπική διατομή οδοποιίας ενός αιολικού πάρκου φαίνεται στο επόμενο σχήμα και είναι τύπου Δ με επίκλιση στις ευθυγραμμίες 2,5%. Οι κλίσεις των πρανών είναι μεγάλη λόγω της μεγάλης ευστάθειας του εδάφους. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της οδού είναι:

- Πλάτος 5 m
- Κατηγορία C
- Ταχύτητα Vc 50 km/h
- Μέγιστη κλίση 2%

Στην άκρη του δρόμου και από την πλευρά του πρανού, υπάρχει συνήθως το κανάλι των υπογείων καλωδίων, μπαζωμένο με υλικά λατομείου. Το οδόστρωμα είναι επίσης από συμπίεσμένο υλικό λατομείου (3Α), πάχους 10 cm. Επίσης κατασκευάζεται εσωτερική οδοποιία από ανεμογεννήτρια σε ανεμογεννήτρια με τυπικό πλάτος 4 με 5 μέτρα.



Παράλληλα με τη διάνοιξη της εσωτερικής οδοποιίας του Αιολικού Πάρκου, θα διαμορφωθούν 4 πλατείες, σύμφωνα με τις προδιαγραφές των ανεμογεννητριών E- 40/600KW. Για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου απαιτείται διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου γύρω από τη θέση εγκατάστασης κάθε μίας από αυτές. Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται γύρω από τη θέση της κάθε ανεμογεννήτριας η κατασκευή ενός πλήρως ισοπεδωμένου πλατώματος διαστάσεων 30 m x 40 m για την τοποθέτηση του πυλώνα, του θαλάμου και τη συναρμολόγηση των πτερυγίων στο έδαφος επί της πλήμνης, πριν την τελική ανέγερση και εγκατάστασή τους στην τελική θέση. Το θεμέλιο της Α/Γ θα βρίσκεται σε κατάλληλο σημείο στο κέντρο του πλατώματος. Η ισοπέδωση της επιφάνειας ανέγερσης θα γίνει στο μεγαλύτερο βαθμό με εκχέρσωση του χώρου, ώστε να υπάρχει στέρεο έδαφος στην ευρύτερη περιοχή που θα εναποτεθεί ο εξοπλισμός και όπου θα κινηθούν τα οχήματα μεταφοράς και τα ανυψωτικά μηχανήματα. Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί εξομάλυνση της δημιουργηθείσας επιφάνειας και κατασκευή απισωτικής στρώσης ώστε να προκύψει οριζόντια επιφάνεια, ενώ τέλος θα υλοποιηθεί τελική διάστρωση με υλικό 3Α με μέσο πάχος 15 cm. Οι πλατείες που θα διαμορφωθούν θα έχουν επίπεδη επιφάνεια και θα έχουν υποστεί τη διεργασία συμπίκνωσης με κατάλληλα βαρέα δονητικά οχήματα.

## Ανέγερση Ανεμογεννητριών



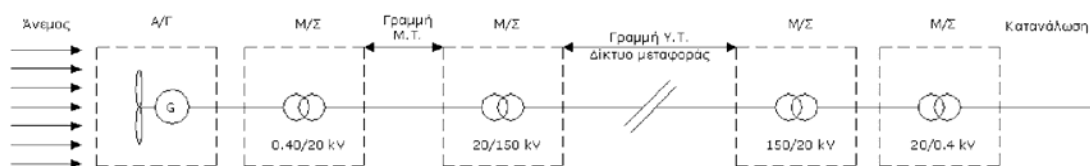
## Θεμελίωση ανεμογεννητριών



## 6.2 Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός

Για να γίνει δυνατή η διασύνδεση της κάθε ανεμογεννήτριας με το εσωτερικό δίκτυο μέσης τάσης του αιολικού πάρκου χρησιμοποιούνται υποσταθμοί ΧΤ/ΜΤ, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στη βάση του πυλώνα κάθε ανεμογεννήτριας. Η ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των ανεμογεννητριών αποτελείται από ένα κλάδο. Τα καλώδια μέσης τάσης θα συνδέουν την πλευρά του υποσταθμού της κάθε ανεμογεννήτριας (πίνακας εξόδου), με την πλευρά μέσης τάσης του υποσταθμού της επόμενης ανεμογεννήτριας (πίνακας εισόδου). Τα καλώδια μέσης τάσης 20 kV για τη διασύνδεση της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών θα οδεύουν σε υπόγειο κανάλι μέσα σε πλαστικούς σωλήνες για πρόσθετη μηχανική αντοχή και θα βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο σε απόσταση 20 cm περίπου μεταξύ τους.

Στον πίνακα εισόδου του κτιρίου ελέγχου του αιολικού πάρκου το δίκτυο διασύνδεσης του αιολικού πάρκου με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. θα συνδεθεί με το υπόγειο καλώδιο ισχύος μέσης τάσης του αιολικού πάρκου, το οποίο θα διασχίζει το κτίριο ελέγχου υπόγεια μέχρι την αυλή του κέντρου ελέγχου ως το σημείο των στύλων ανύψωσης των γραμμών. Από εκεί θα αναχωρεί το δίκτυο μέσης τάσης διασύνδεσης του αιολικού πάρκου εναέρια μέχρι την άφιξη στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. Παρακάτω παρουσιάζεται η ροή της παραγόμενης ενέργειας από το αιολικό πάρκο έως την κατανάλωση.



Κατά τη φάση αυτή γίνεται η στήριξη και η διασύνδεση των καλωδίων, ισχύος και ελέγχου, μέσα στον πύργο των Α/Τ. Τα καλώδια αυτά οδηγούνται από τη νασέλλα στον πίνακα που βρίσκεται στη βάση του πύργου βάσει των προδιαγραφών της κατασκευάστριας εταιρείας Epercon

Η σύνδεση των Α/Τ θα γίνει με υπόγειο καλώδιο μέσης τάσης 20 KV, το οποίο θα είναι τύπου XLPE, 12/20 KV, κατά IEC 502. Τα καλώδια θα τοποθετηθούν υπογείως από βρόχους σε κανάλι οδευσης καλωδίων, διαστάσεων 0,60x1,0 m, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Δ.Ε.Η. Ο Κεντρικός Πίνακας Ελέγχου Μέσης Τάσης, θα περιλαμβάνει κυψέλη εξόδου μέσης τάσης 20 KV, από την οποία θα αναχωρεί καλώδιο προς της γραμμής Μ/Τ. Η κυψέλη εξόδου θα περιλαμβάνει και μονάδα προστασίας (Διακόπτη Ισχύος), ελέγχου και μετρήσεων, με όλες τις απαιτούμενες προστασίες και μετρήσεις. Η βοηθητική τάση λειτουργίας των 400 V, του Οικίσκου Ελέγχου, θα εξασφαλίζεται μέσω ενός Μ/Τ ελαίου ισχύος 20 KV/0,4 KV.

### **6.3 Κατασκευή Καναλιού Καλωδίων**

Παράλληλα με την κατασκευή των δρόμων πρέπει να γίνει η διάνοιξη ενός χαντακιού διαστάσεων 0,6 m πλάτους και 1,0 m βάθους, για την τοποθέτηση των καλωδίων σύνδεσης των ανεμογεννητριών υπόγεια. Στο δάπεδο του χαντακιού τοποθετείται άμμος πάχους 0,10-0,15 m. Μετά τοποθετούνται τα καλώδια και σκεπάζονται πάλι με άμμο πάχους 0,20 m. Ακολουθεί στρώση με τσιμεντόπλακες, ενώ στην συνέχεια ακολουθούν μία στρώση με χαλίκια 0,15 m πάχους και η τελική στρώση με προϊόντα εκσκαφής συμπυκνωμένα όπως παραπάνω. Τμήματα του χαντακιού που διακόπτονται από δρόμο ή εμπεριέχονται μέσα στις πλατείες πρέπει να έχουν πρόσθετο βάθος 0,20 m. Οι τσιμεντόπλακες προστασίας που χρησιμοποιούνται στα τμήματα αυτά πρέπει να αντέχουν τα φορτία των διερχομένων οχημάτων.

Σε περίπτωση που τοποθετούνται περισσότερα του ενός καλώδια στο ίδιο κανάλι, το ένα κοντά στο άλλο, είναι απαραίτητο να υπάρχει αρκετός χώρος για αερισμό. Συγκεκριμένα πρέπει να τηρούνται τα ακόλουθα: Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των καλωδίων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με δύο φορές τη διάμετρο των καλωδίων. Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των καλωδίων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τέσσερις φορές τη διάμετρό τους. Πρέπει να τοποθετούνται σε οριζόντια διάταξη ακόμα και αν ο αριθμός των καλωδίων υπερβαίνει τα τρία.

#### **Προστασία παράλληλων καλωδίων**

Παράλληλα καλώδια χρησιμοποιούνται σε μεγάλα ρεύματα όπου απαιτούνται διατομές άνω των 150 mm<sup>2</sup>. Η προστασία μπορεί να γίνει με ένα κοινό όργανο προστασίας ή με ένα επιμέρους όργανο.

#### **Ακροδέκτες και μούφες**

Αφού εγκατασταθεί το καλώδιο εφαρμόζονται οι ακροκεφαλές του και οι ακροδέκτες του. Οι ακροδέκτες συμπιέζονται με ειδικές χειροκίνητες ή υδραυλικές πρέσες ακροδεκτών. Δεν γίνεται συγκόλληση των ακροδεκτών σε καλώδια πλαστικά μέσης τάσης, γιατί υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί η μόνωση. Σε υπαίθριες εγκαταστάσεις θα χρησιμοποιηθούν στη μέση τάση ακροκεφαλές από πορσελάνη για εξωτερικούς χώρους ή από ρητίνες για εσωτερικούς ή και εξωτερικούς χώρους. Πρέπει να εξασφαλιστεί, ότι τόσο στους εσωτερικούς όσο και στους εξωτερικούς χώρους δεν μπαίνει υγρασία ή νερό στο καλώδιο από τον ακροδέκτη ή την ακροκεφαλή. Ακροκεφαλές από σιλικόνη ή πορσελάνη εφαρμόζονται πάνω στο καλώδιο αφού αφαιρεθεί ο μανδύας και καθαριστεί η μόνωση από το ημιαγωγό στρώμα. Ακροκεφαλές από ρητίνες χυτεύονται επί τόπου σε καλούπι που περιβάλλει το καλώδιο. Η στερεοποίησή τους επέρχεται σε 30 λεπτά έως μερικές ώρες. Συνήθως βρίσκονται στο εμπόριο σαν κατασκευαστικό σύνολο, ΚΙΤ (ρητίνη, καταλύτης, καλούπι μιας χρήσης, ακροδέκτης).

## **Ζυγοί και μπάρες Μ.Τ.**

Οι μονωτήρες στήριξης ή διέλευσης των ζυγών που θα χρησιμοποιηθούν είναι μονωτήρες εσωτερικού χώρου από εποξειδική ρητίνη. Οι διαστάσεις των ζυγών και των συνοδευτικών μπαρών πρέπει να αντέχουν στο ρεύμα συνεχούς φορτίου και των βραχυκυκλωμάτων. Οι μπάρες είναι χάλκινες με διαστάσεις τουλάχιστον 50x5 mm<sup>2</sup>. Οι συνδέσεις γίνονται με επικαδμιωμένους χαλύβδινους κοχλίες M10, κατηγορίας αντοχής 5,8.

## **Ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ καλωδίων**

Οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ δύο καλωδίων φάσεων είναι 215 mm, για εγκαταστάσεις υπαίθριες ή εσωτερικού χώρου. Οι αποστάσεις αυτές καθορίζονται σύμφωνα με τις τάσεις λειτουργίας και τις τάσεις δοκιμής

Γενικά το αιολικό Πάρκο (Α.Π.) συνίσταται από 4 Ανεμογεννήτριες, ισχύος 600 KW η κάθε μία. Στο πίσω μέρος της νασσέλας κάθε ανεμογεννήτριας είναι τοποθετημένος ο μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης 0,4/20kV. Στην είσοδο του Μ/Σ συνδέεται το κύκλωμα χαμηλής τάσης της γεννήτριας σε συνδεσμολογία αστέρα, γειωμένου ουδετέρου (συστήματος TN). Στην έξοδο του κυκλώματος μέσης τάσης του μετασχηματιστή συνδέονται, με συνδεσμολογία τριγώνου, τα καλώδια που οδηγούνται στον κεντρικό ηλεκτρικό πίνακα Μέσης Τάσης της ανεμογεννήτριας. Ο Μ/Σ είναι εξοπλισμένος με μεταγωγείς τάσης (off-load tap changer)  $\pm 2 \times 2,5\%$  έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής της τάσης λειτουργίας με την τάση του δικτύου. Οι μετασχηματιστές των ανεμογεννητριών συνδέονται στην υπόγεια γραμμή μεταφοράς της μέσης τάσης (Μ/Τ) μέσω αποξεντικών κυψέλων προστασίας. Μέσω καλωδίου μέσης τάσης, θα μεταφέρεται η ισχύς των 20 kV σε κυψέλες Μέσης Τάσης.

## **Σύστημα γείωσης Α/Π**

Θα υπάρξει σύστημα γείωσης για την προστασία του Αιολικού Πάρκου. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των μεταλλικών μερών της γείωσης και της αντικεραυνικής προστασίας γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Δ.Ε.Η:

- οδηγία διανομής Νο 119 ΩΕΩ/ΤΤΕ D-23
- προδιαγραφή ASP K3/1988
- ΕΛΟΤ 1197/2002, και με τους διεθνείς κανονισμούς:
- IEC 61936-1. First edition. 2002-10. Power installations exceeding 1kV a.c.- Part 1
- IEC 62305-1. Protection against lightning - part 1: general principles. Edition 1.0, 01/00/06.

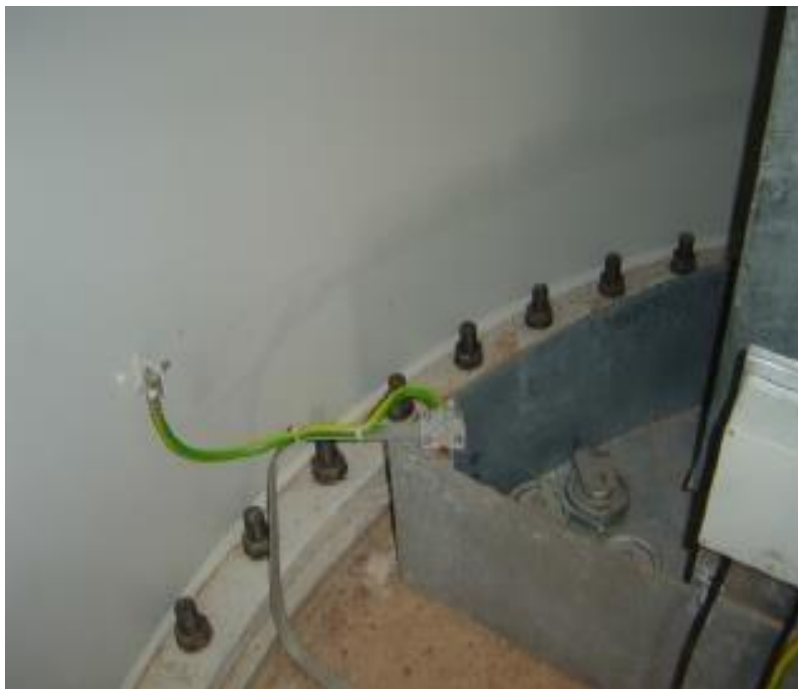
- IEC 62305-3. Protection against lightning - part 3: physical damage to structures and life hazard. Edition 1.0, 01/00/06.
- IEC 62305-4. Protection against lightning - part 4: electrical and electronic systems within structures. Edition 06, 04/30/08.
- IEC 61400-24, Wind turbine generator systems - part 24: lightning protection. Edition 1.0, 07/00/02.

Κατά την εγκατάσταση του συστήματος γείωσης λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες του εδάφους όπου εγκαθίσταται η Α/Γ.

### **Σύστημα γείωσης Α/Γ**

Σε κάθε Α/Γ θα τοποθετηθεί θεμελιακή γείωση, η οποία θα συνδεθεί με τον οπλισμό της βάσης έτσι, ώστε να δράσει σαν ισοδυναμικό πλέγμα, κατά Φ.Ε.Κ. 8/1525/31-12-73. Το σύστημα της γείωσης αποτελείται ενδεικτικά από ένα ηλεκτρόδιο δακτυλίου και χάλκινα ηλεκτρόδια γείωσης (Ράβδοι 6 m (min. Ø16)).

Παρακάτω Απεικονίζεται σύστημα γείωσης



## Γείωση προστασίας:

Το ηλεκτρόδιο δακτυλίου περιορίζει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής για το προσωπικό που βρίσκεται κοντά στη βάση του πυλώνα, σε περίπτωση πλήξης κεραυνού στην Α/Γ.

## Γείωση λειτουργίας:

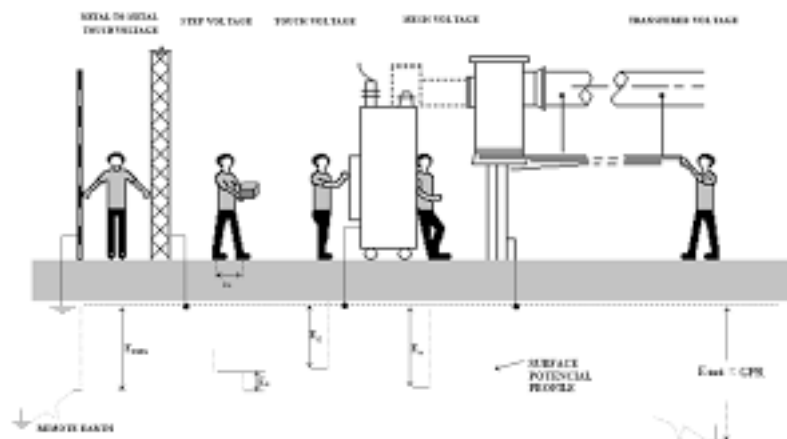
- το ηλεκτρόδιο δακτυλίου (50 mm<sup>2</sup> Cu) τοποθετείται σε απόσταση 1 μέτρου από τον πυλώνα σε βάθος 1 μέτρου
- το ηλεκτρόδιο δακτυλίου (50 mm<sup>2</sup> Cu) ενισχύεται με 2 χάλκινα ηλεκτρόδια γείωσης (ράβδοι 6 m (min.Ø16)), και τοποθετούνται σε 180ο μεταξύ τους
- το ηλεκτρόδιο δακτυλίου (50 mm<sup>2</sup> Cu) συνδέεται στις 2 μπάρες γείωσης του πυλώνα (κοινή μπάρα γείωσης του πυλώνα)

Σε περίπτωση που η τιμή της γείωσης δεν είναι σύμφωνα με τα ανωτέρω πρότυπα, τότε το σύστημα γείωσης πρέπει να βελτιωθεί, ως εξής:

- επιλέγουμε 2 χάλκινα ηλεκτρόδια μήκους 10 m αντί για 6 m
- προσθέτουμε 2 ακόμη χάλκινα ηλεκτρόδια (90ο μεταξύ των 4 ηλεκτροδίων).

## Έλεγχος της γείωσης

Σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές CEI/DPR 547, πρέπει να κατασκευαστεί φρεάτιο με χυτοσίδηρα καλύμματα έτσι ώστε να είναι επισκέψιμο το άνω τμήμα των ράβδων γειώσεως και των συγκολλήσεων, εφόσον αυτό είναι εφικτό.





## **Αντικεραυνική προστασία της Α/Γ**

Πάνω στην άτρακτο και στα πτερύγια της Α/Γ υπάρχουν αλεξικέραυνα, τα οποία συνδέονται με τη γεννήτρια, το Μ/Σ, τον πίνακα και όλα τα μεταλλικά μέρη της Α/Γ (κατά I.E.C 61024-1). Ο αγωγός που συνδέει όλα τα παραπάνω, καταλήγει στη θεμελιακή γείωση – ενιαία γείωση του αιολικού πάρκου. Για την προστασία του Α.Π. από κάθε είδους υπερτάσεις θα συνδεθούν αντικεραυνικά στοιχεία στον πίνακα Μ/Τ (σύμφωνα με over voltage category III DIN VDE 0110-1:1997-04).

## **Σύστημα γείωσης στον οικίσκο ελέγχου**

Στον οικίσκο ελέγχου (Υ/Σ του Α.Π.) θα γίνει θεμελιακή γείωση, η οποία τοποθετείται μέσα στο σκυρόδεμα σε βάθος 1 m και σε απόσταση απ' τους τοίχους 1 m (I.E.C. 1024-1 clause 2.3.5 installation or fear the lectrodes). Παράλληλα τοποθετείται και ισοδυναμικό πλέγμα γείωσης με τετραγωνικά ανοίγματα πλάτους 0,7 m εντός του δαπέδου του Υ/Σ σε βάθος 5 cm έως 10 cm, το οποίο ενισχύεται με 4 ηλεκτρόδια γείωσης στις κορυφές του.

Στο σύστημα γείωσης του Υ/Σ του Α.Π. εξέχουν διάφορες αναμονές γείωσης (απολήξεις). Πάνω στις απολήξεις αυτές, οι οποίες βρίσκονται 30 cm από το δάπεδο, συνδέεται μία ταινία περιμετρικά του οικίσκου ελέγχου ενώ όλα τα μεταλλικά μέρη του Υ/Σ συνδέονται σ' αυτήν, π.χ. η πόρτα, ο πίνακας Μ/Τ, ο πίνακας Χ.Τ. του Υ/Σ κ.λ.π. (Επίσης, ακριβώς οι ίδιες συνδέσεις γίνονται και εντός της ανεμογεννήτριας). Η διατομή του χαλκού θα είναι τέτοια που θα αντέχει στο ονομαστικό βραχυκύκλωμα κατά IEC 60298.

## **Διαστάσεις αγωγού γείωσης - Αντίσταση γείωσης**

Οι διαστάσεις των αγωγών γείωσης και γενικότερα ο τρόπος γείωσης θα είναι τέτοιος ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική τιμή αντίστασης γείωσης (1Ω). Όλες οι παραπάνω γειώσεις θα είναι διασυνδεδεμένες με υπόγειο χάλκινο επικασσιτερωμένο αγωγό, ο οποίος τοποθετείται σε βάθος 0,6 m και διατρέχει εντός του καναλιού διελεύσεως των καλωδίων σε όλο το μήκος του Α.Π. (κεντρικός αγωγός γειώσεως). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ενίσχυση της γειώσεως του Α/Π και ομογενοποίησή της. Η διατομή του αγωγού θα είναι τέτοια που θα αντέχει στο ονομαστικό βραχυκύκλωμα κατά IEC 60298.

## **Γείωση του κυκλώματος ισχύος**

Γείωση των καλωδίων ισχύος γίνεται, όπου εφαρμόζεται, με γειωτή που είναι επιθυμητό να έχει αντίστοιχη ικανότητα ζεύξης στο βραχυκύκλωμα κατά IEC 60129. Ο χειρισμός του γειωτή αυτού θα είναι μηχανικά μανδαλωμένος με το διακόπτη φορτίου ή τον αποζεύκτη. Δηλαδή ο χειρισμός του γειωτή θα είναι δυνατός μόνο όταν ο αντίστοιχος διακόπτης φορτίου ή ο αποζεύκτης είναι στη θέση “ΑΝΟΙΧΤΟΣ”. Η λειτουργία του γειωτή θα είναι εξαρτημένη χειροκίνητη.

0,7 m εντός του δαπέδου του Υ/Σ σε βάθος 5 cm έως 10 cm, το οποίο ενισχύεται με 4 ηλεκτρόδια γείωσης στις κορυφές του.

Στο σύστημα γείωσης του Υ/Σ του Α.Π. εξέχουν διάφορες αναμονές γείωσης (απολήξεις). Πάνω στις απολήξεις αυτές, οι οποίες βρίσκονται 30 cm από το δάπεδο, συνδέεται μία ταινία περιμετρικά του οικίσκου ελέγχου ενώ όλα τα μεταλλικά μέρη του Υ/Σ συνδέονται σ' αυτήν, π.χ. η πόρτα, ο πίνακας Μ/Τ, ο πίνακας Χ.Τ. του Υ/Σ κ.λ.π. (Επίσης, ακριβώς οι ίδιες συνδέσεις γίνονται και εντός της ανεμογεννήτριας). Η διατομή του χαλκού θα είναι τέτοια που θα αντέχει στο ονομαστικό βραχυκύκλωμα κατά IEC 60298.

#### **Διαστάσεις αγωγού γείωσης - Αντίσταση γείωσης**

Οι διαστάσεις των αγωγών γείωσης και γενικότερα ο τρόπος γείωσης θα είναι τέτοιος ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική τιμή αντίστασης γείωσης ( $1\Omega$ ). Όλες οι παραπάνω γειώσεις θα είναι διασυνδεδεμένες με υπόγειο χάλκινο επικασσιτερωμένο αγωγό, ο οποίος τοποθετείται σε βάθος 0,6 m και διατρέχει εντός του καναλιού διελεύσεως των καλωδίων σε όλο το μήκος του Α.Π. (κεντρικός αγωγός γειώσεως). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ενίσχυση της γειώσεως του Α/Π και ομογενοποίησή της. Η διατομή του αγωγού θα είναι τέτοια που θα αντέχει στο ονομαστικό βραχυκύκλωμα κατά IEC 60298.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- Νικόλαος Ηλιδάδης - Γεώργιος Βουτσινός, "Τεχνολογία για μαθητές Α' Ενιαίου Λυκείου", 2006, Οργανισμός Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων. Έκδοση Θ', Περιοδικό "Τεχνικά Θέματα", Τ.Ε.Ε. Τμήμα Δυτικής Ελλάδας, Τεύχος 63, Απρίλιος 2006
- EWEA, European Wind Energy Association (EWEA)
- Κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΚΑΠΕ)
- ΔΕΣΜΗΕ, Διαχειριστής ελληνικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας
- Μπιτζιώνης, Β. και Μπιτζιώνης, Δ., Εναλλακτικές μορφές ενέργειας, Εκδόσεις Τζιόλα, 2010.
- Πετροχίλου, Β., Χωροθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας: Η ελληνική πραγματικότητα, Θεσσαλονίκη, 2011.
- Σουσιούνης, Μ., Συμβολή στον έλεγχο ανεμογεννητριών μόνιμων μαγνητών με τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Αθήνα, 2011.
- Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Ν. 2742/1999)
- Α' ΦΑΣΗ: ΥΠΟΣΤΗΡΙΚΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΑΔΟΧΟΣ-ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ
- Ανεμοκινητήρες(Γ.Μπεργελές-Εκδόσεις Συμείων-Αθήνα 1995) 6) Άρθρο : Περιοδικό αρχαιολογία και τέχνες
- Άρθρο : Ο άνεμος και η ενέργεια(Ανδρέας Ιωάννου Κασσέτας)
- Καπανταϊδάκη, Ε. και Τσούτσος, Θ., Ανάλυση κύκλου ζωής αιολικών συστημάτων στο ελληνικό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, Χανιά 2006.
- Καλδέλλης, Ι., Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας, Αθήνα, 1999.

## ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

[-http://www.rae.gr](http://www.rae.gr)

[- http://www.kee.gr](http://www.kee.gr)

[-http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Magazin\\_14/04.pdf](http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Magazin_14/04.pdf)

[-http://orbit.dtu.dk/files/7751459/ris\\_r\\_1041.pdf](http://orbit.dtu.dk/files/7751459/ris_r_1041.pdf) [https://en.wikipedia.org/wiki/Wind-turbine\\_aerodynamics](https://en.wikipedia.org/wiki/Wind-turbine_aerodynamics)

[-http://www.preveza.gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=482:2009-03-23-14-25-11&catid=174:2009-03-23-11-20-34&Itemid=303~](http://www.preveza.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=482:2009-03-23-14-25-11&catid=174:2009-03-23-11-20-34&Itemid=303~)

[-https://webstore.iec.ch/preview/info\\_iec61400-1%7Bed3.0%7Den.pdf](https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61400-1%7Bed3.0%7Den.pdf)

[-https://webstore.iec.ch/p-preview/info\\_iec61400-1%7Bed2.0%7Den.pdf](https://webstore.iec.ch/p-preview/info_iec61400-1%7Bed2.0%7Den.pdf)

[-http://www.windengineering.gr/index.php/el/2015-01-20-14-37-41/metr-aiol-dynam-mnu](http://www.windengineering.gr/index.php/el/2015-01-20-14-37-41/metr-aiol-dynam-mnu)

[-https://www.scribd.com/document/56479397/Theory-Manual](https://www.scribd.com/document/56479397/Theory-Manual)

[-http://www.enercon.de/de-de/](http://www.enercon.de/de-de/)

[-http://www.aenaon.net](http://www.aenaon.net)

[-http://www.flowmagazine.gr](http://www.flowmagazine.gr)

[-http://www.haniotika-nea.gr](http://www.haniotika-nea.gr)