

**ΤΕΙ ΜΕΣΣΟΛΟΓΓΙΟΥ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ**



**ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ**

**ΑΠΟ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ ΒΑΚΡΟΣ ΕΥΣΤΑΘΙΟΣ 7304**  
**ΠΑΣΤΡΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ 9161**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΔΙΑΜΑΝΤΟΠΟΥΛΟΣ ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ**

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 <sup>ο</sup>	
1.1 Ορισμός ενέργειας .....	5
1.2 Μέτρηση της ενέργειας .....	6
1.3 Μορφές ενέργειας .....	6
1.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας .....	9
1.5 Πηγές ενέργειας .....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 <sup>ο</sup>	
2.1 Ορισμός ανεμογεννήτριας .....	15
2.2 Αιολική ενέργεια .....	15
2.3 Ιστορική εξέλιξη ανεμογεννητριών .....	16
2.4 Μηχανικά μέρη ανεμογεννήτριας .....	31
2.5 Πως λειτουργεί .....	43
2.6 Χωροθέτηση .....	45
2.7 Κατασκευή και Εγκατάσταση .....	46
2.8 Εξέλιξη ανεμογεννητριών .....	49
2.9 Παραγωγή ρεύματος .....	50
2.10 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα .....	51
2.11 Ανεμογεννήτρια τουρμπίνα .....	53
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 <sup>ο</sup>	
3.1 Θαλάσσιες ανεμογεννήτριες .....	55
3.2 Εγκατάσταση .....	56
3.3 Μεταφορά ρεύματος .....	62
3.4 Κόστος ενέργειας .....	62
3.5 Διαφορές ξηράς με θαλάσσιων ανεμογεννητριών .....	63
3.6 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα .....	63
3.7 Σκοπός της λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας .....	64
3.8 Σύστημα ελέγχου .....	65

3.9 Οι ανεμογεννήτριες του μέλλοντος .....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 <sup>ο</sup>	
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ .....	68
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 <sup>ο</sup>	
ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ .....	71
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 <sup>ο</sup>	
6.1 Εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής .....	80
6.2 Ο συντελεστής δυναμικού ως μέτρο της ενεργειακής παραγωγής..	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 <sup>ο</sup>	
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	84
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	87

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ:

Η θάλασσα αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη, όπως είναι γνωστό και προσφέρει στον άνθρωπο πολύτιμους πόρους, για την επιβίωση του. Στις μέρες μας όμως, ο άνθρωπος αντλώντας όλους αυτούς τους πόρους, έχει προκαλέσει μεγάλες καταστροφές στο θαλάσσιο οικοσύστημα.

Από τη θάλασσα όμως μπορούμε να πάρουμε ενέργεια και να την μετατρέψουμε σε ωφέλιμη, ηλεκτρική ενέργεια. Αυτός ο τρόπος παραγωγής ενέργειας έχει πολύ μικρές περιβαλλοντικές επιδράσεις.

Δύο μορφών ενέργειας μπορεί να εκμεταλλευτεί ο άνθρωπος από τη θάλασσα. Η μία είναι η γνωστή σε όλους μας αιολική ενέργεια και η άλλη είναι η ενέργεια από τα θαλάσσια κύματα.

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη. Αν υπήρχε η δυνατότητα, με τη σημερινή τεχνολογία, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα (Αιολική ενέργεια, ΚΑΠΕ 1998). Υπολογίζεται ότι στο 25 % της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1 m/sec, σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος.

Η αιολική ενέργεια έχει αναπτυχθεί ευρέως τα τελευταία χρόνια κάνοντάς τη μια περιβαλλοντικά «καθαρή» τεχνολογία, και οικονομικά ανταγωνιστική σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. Σήμερα η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και ονομάζονται ανεμογεννήτριες. Μεγαλύτερη έρευνα έχει γίνει μέχρι τώρα για περιοχές στη ξηρά και μόλις τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί

ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη θάλασσα. Στην Ευρώπη σχεδιάζεται η εγκατάσταση περισσότερων ανεμογεννητριών μέσα στη θάλασσα για να γίνει η εκμετάλλευση των μεγαλύτερων τιμών ανέμου που πνέουν σε αυτή. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται δε διαφέρει από αυτή που έχει αναπτυχθεί στη ξηρά με λεπτομέρειες μόνο στο σχεδιασμό των θεμελίων και τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος στη ξηρά με καλώδια υψηλής τάσης.

Αυτή τη στιγμή, η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στη θάλασσα είναι ακριβότερη από τη ξηρά ή και από τα ορυκτά καύσιμα. Το κόστος μειώνεται σε περιοχές που εμφανίζουν υψηλούς ανέμους. Την επόμενη δεκαετία αναμένεται να μειωθεί κατά 50% το κόστος που θα την κάνει ανταγωνιστική με τις ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στη ξηρά και με το φυσικό αέριο. Η ανάπτυξη σταθερής θεμελίωσης που θα αντέχει στο σκληρό περιβάλλον της θάλασσας είναι η πρόκληση που καλείται να αντιμετωπιστεί διεθνώς.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>

### 1.1 Ορισμός ενέργειας

Κάθε φυσικό σύστημα περιέχει (ή εναλλακτικά αποθηκεύει) μία ποσότητα που ονομάζεται **ενέργεια**. Οποιαδήποτε μορφή δράσης από τα παιδικά παιχνίδια μέχρι τη λειτουργία των μηχανών και από το μαγείρεμα τροφών μέχρι τη γραμμή παραγωγής στο εργοστάσιο προϋποθέτει κατανάλωση ενέργειας. Οι πράγματι πολυποίκιλες μορφές ενέργειας βρίσκονται πίσω από την ασύλληπτη ποικιλία των φυσικών φαινομένων.

Η ενέργεια με την οποία τροφοδοτείται ο πλανήτης μας προέρχεται σχεδόν εξ' ολοκλήρου από τον ήλιο.

Η Ενέργεια χαρακτηρίζεται, τόσο στη θεωρία όσο και στη πράξη, περισσότερο ως μια λογιστική έννοια, που μας δίνει τη δυνατότητα να προβλέψουμε την εξέλιξη ή την κίνηση ενός συστήματος. Ορίζεται σαν το ποσό του έργου που απαιτείται προκειμένου το σύστημα να πάει από μια αρχική κατάσταση σε μια τελική. Ακριβώς πόση ενέργεια περιέχεται σε ένα σύστημα μπορεί να υπολογιστεί παίρνοντας το άθροισμα ή το ολοκλήρωμα ενός αριθμού ειδικών εξισώσεων (όπως οι εξισώσεις Λαγκράνζ ή οι εξισώσεις Χάμιλτον), καθεμιά από τις οποίες δίνει την ενέργεια που έχει αποθηκευτεί κατά έναν ιδιαίτερο τρόπο. Ανάλογα με τον τρόπο που έχει αποκτηθεί, ανταλλαχθεί ή αποθηκευτεί, μπορούμε να μιλήσουμε για πολλές μορφές ενέργειας:

- Μηχανική ενέργεια, που συνδυάζει την κινητική και τη δυναμική.
- Ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, που συνδυάζει την ηλεκτρική και τη φωτεινή ή ενέργεια ακτινοβολίας,
- Πυρηνική ενέργεια
- Θερμική ενέργεια
- Χημική ενέργεια

Γενικά, η παρουσία της ενέργειας ανιχνεύεται από έναν παρατηρητή κάθε φορά που υπάρχει αλλαγή στις ιδιότητες ενός αντικειμένου ή ενός συστήματος.

Η κυριότερη ιδιότητά της είναι ότι *η συνολική ενέργεια ενός απομονωμένου (κλειστού) συστήματος είναι σταθερή*, πρόταση που έχει αποδειχθεί από πλήθος πειραμάτων και χαρακτηρίζεται ως μία από τις πλέον θεμελιώδεις αρχές διατήρησης της φυσικής.

Πλέον, η συζήτηση για την ενέργεια έχει πάρει μια διαφορετική μορφή, για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ), το Περιβάλλον καθώς και την Αειφόρο ανάπτυξη.

## 1.2 Μέτρηση της Ενέργειας

Κύρια μονάδα μέτρησης της Ενέργειας, Θερμότητας, Έργου στο SI είναι το τζάουλ (J),

Ισχύει  $J = N \cdot m$  δηλ  $1 \text{ Joule} = 1 \text{ Newton} \cdot 1 \text{ Meter}$ .

## 1.3 Μορφές ενέργειας

### 1. Κινητική ενέργεια

Κινητική ενέργεια ( $E_k$ , KE, K, ή ακόμη και T), είναι η ενέργεια που έχει ένα σώμα όταν κινείται και αναφέρεται στην ικανότητά του να παράγει έργο. Ως κινητική ενέργεια ενός σώματος ορίζεται η συνολική ενέργεια που χρειάζεται να απορροφήσει ένα σώμα προκειμένου να αποκτήσει κάποια ταχύτητα  $v$  και γωνιακή ταχύτητα ξεκινώντας από την ακινησία. Υπάρχουν δύο ανεξάρτητα είδη κινήσεων για ένα μηχανικό σώμα, η μεταφορική κίνηση και η περιστροφή, οι οποίες χαρακτηρίζονται από την ταχύτητα και τη γωνιακή ταχύτητα αντίστοιχα. Έτσι, ορίζονται δύο ειδών κινητικές ενέργειας, η μεταφορική κινητική

ενέργεια και η περιστροφική κινητική ενέργεια, οι οποίες συμβολίζονται με  $K_{\mu}$  και  $K_{\pi}$  αντίστοιχα. Για ταχύτητες μικρές σε σχέση με την ταχύτητα του φωτός στο κενό, η μεταφορική κινητική ενέργεια ισούται κατά προσέγγιση με το ήμισυ του γινομένου της μάζας του σώματος επί το τετράγωνο της ταχύτητάς του, ενώ η περιστροφική κινητική ενέργεια ισούται με το ήμισυ του γινομένου της ροπής αδράνειας επί το τετράγωνο της γωνιακής ταχύτητας:

$$K = K_{\mu} + K_{\pi} = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2$$

Όπου  $m$  η μάζα σώματος και  $v$  η ταχύτητά του.

## 2. Δυναμική ενέργεια

Ως δυναμική ενέργεια ορίζεται η ενέργεια που κατέχει ένα σώμα λόγω της θέσεως ή της κατάστασής του, είναι δηλαδή η δυνατότητα του σώματος να παράγει έργο επειδή βρίσκεται μέσα σε κάποιο πεδίο δυνάμεων. Συγκεκριμένα, η δυναμική ενέργεια διακρίνεται σε ενέργεια θέσεως (π.χ. ένα σώμα σε πεδίο βαρύτητας που έχει τη δυνατότητα να κινηθεί σε χαμηλότερη θέση παράγοντας έργο) και ενέργεια μορφής ή αλλιώς παραμορφωσης, που εμφανίζεται όταν συστρέφουμε, συμπιέζουμε, τεντώνουμε ή λυγίζουμε ένα υλικό αλλάζοντας τη φυσική του μορφή (π.χ. το παραμορφωμένο ελατήριο ή λάστιχο). Στην περίπτωση αυτή, το σώμα μπορεί να παράγει έργο επανερχόμενο στη "φυσική" του μορφή..

Στην περίπτωση ενός ομογενούς δυναμικού πεδίου, δηλαδή ενός πεδίου όπου η δύναμη είναι σταθερή σε όλη την έκτασή του, η δυναμική ενέργεια ενός σώματος ορίζεται ως το γινόμενο της δύναμης που ασκείται επάνω του επί την απόστασή του από την περιοχή του πεδίου, όπου θεωρούμε συμβατικά ότι η δυναμική ενέργεια έχει μηδενική τιμή:

$$E_{δυν} = F \cdot h$$



όπου  $F$  = δύναμη του πεδίου που ασκείται στο σώμα,  $h$  = απόσταση από το σημείο με μηδενική δυναμική ενέργεια. Εάν το πεδίο δεν είναι ομογενές, δηλαδή η δύναμη μεταβάλλεται κατά μέτρο και φορά από σημείο σε σημείο, ο παραπάνω ορισμός ισχύει μόνο τοπικά, δηλαδή μας δίνει τη μεταβολή της δυναμικής ενέργειας για μια απειροστή μετακίνηση μέσα στο πεδίο, κατά την οποία η δύναμη είναι περίπου σταθερή. Η συνολική μεταβολή της δυν. ενέργειας δίνεται από το άθροισμα τέτοιων απειροστών μετατοπίσεων (ολοκλήρωμα) μεταξύ δύο θέσεων (από τις οποίες η μία μπορεί να είναι το σημείο όπου ορίσαμε μηδενική τη δυναμική ενέργεια). Για να έχει νόημα η δυναμική ενέργεια, πρέπει ο παραπάνω υπολογισμός να μην εξαρτάται από τη διαδρομή που ακολουθήσαμε μεταξύ των δύο σημείων. Ένα δυναμικό πεδίο με την ιδιότητα αυτή ονομάζεται συντηρητικό ή διατηρητικό.

Η Κινητική και η Δυναμική ενέργεια θεωρούνται ως οι δύο μορφές της Μηχανικής ενέργειας. Κατά την κίνηση ενός σώματος ή φορτίου σε συντηρητικό πεδίο δυνάμεων, και εφόσον δεν υπάρχουν τριβές, η δυναμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια και το αντίστροφο, το άθροισμά τους όμως είναι πάντα σταθερό και ίσο με τη μηχανική ενέργεια που αρχικά είχε το σώμα.

### 3. Πυρηνική ενέργεια ή Ατομική ενέργεια

Ονομάζεται η ενέργεια που απελευθερώνεται όταν μετασχηματίζονται ατομικοί πυρήνες. Είναι δηλαδή η δυναμική ενέργεια που είναι εγκλεισμένη στους πυρήνες των ατόμων λόγω της αλληλεπίδρασης των σωματιδίων που τα συνιστούν. Η πυρηνική ενέργεια απελευθερώνεται κατά τη σχάση ή σύντηξη των πυρήνων και εφόσον οι πυρηνικές αντιδράσεις είναι ελεγχόμενες (όπως συμβαίνει στην καρδιά ενός πυρηνικού αντιδραστήρα) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καλύψει ενεργειακές ανάγκες.

#### 4. Θερμική ενέργεια

Η θερμική ενέργεια, το σύνολο δηλαδή της κινητικής ενέργειας των σωματιδίων που συγκροτούν τα υλικά σώματα, καθώς αυτά κινούνται στο εσωτερικό τους. Με τον όρο θερμότητα εννοούμε ειδικά την ενέργεια που μεταφέρεται από ένα σώμα υψηλής θερμοκρασίας σε άλλο με χαμηλότερη θερμοκρασία, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η κινητική ενέργεια των σωματιδίων του. Η θερμική ενέργεια μπορεί να είναι αποτέλεσμα της ηλιακής ενέργειας.

#### 5. Ηλεκτρική ενέργεια

Η ηλεκτρική ενέργεια, που αναφέρεται στην κινητική ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων (ηλεκτρικό ρεύμα), λόγω της ύπαρξης διαφοράς δυναμικού στα άκρα ενός αγωγού.

#### 6. Χημική ενέργεια

Η χημική ενέργεια, το σύνολο της δυναμικής ενέργειας που απαιτήθηκε για τη συγκρότηση μορίων χημικών ουσιών από διάφορα άτομα, κάτω από την αλληλεπίδραση ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων. Η χημική ενέργεια αποδίδεται συνήθως ως θερμική ή ηλεκτρική, όταν τα μόρια διασπώνται και πάλι σε άτομα ή μετασχηματίζεται στους οργανισμούς σε θερμική και κινητική, με βιολογικούς μηχανισμούς, και ονομάζεται ζωική ενέργεια.

### 1.4 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Εκτός από τις παραπάνω μορφές υπάρχουν και οι ανανεώσιμες.

Μερικές είναι:

Ήλιακη ενέργεια, Αιολική ενέργεια, Γεωθερμική ενέργεια, Υδροηλεκτρική ενέργεια, Βιομάζα.

## 1.5 Πηγές ενέργειας

Ο συχνά χρησιμοποιούμενος όρος "Πηγές Ενέργειας" δεν ευσταθεί από επιστημονικής σκοπιάς διότι σύμφωνα με το νόμο διατήρησης της ενέργειας, η ενέργεια ούτε δημιουργείται αλλά ούτε και καταστρέφεται. Απλά αλλάζει μορφές. Γενικά όμως ο όρος Πηγές Ενέργειας περιγράφει τη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας χρήσης. Οι πηγές ενέργειας ταξινομούνται γενικά σε δύο κατηγορίες:

- Μη ανανεώσιμες
- Ανανεώσιμες

### Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χαρακτηρίζονται οι πηγές οι οποίες δεν αναπληρώνονται ή αναπληρώνονται εξαιρετικά αργά για τα ανθρώπινα μέτρα από φυσικές διαδικασίες. Στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιλαμβάνονται κυρίως ο άνθρακας, το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, γνωστά και ως ορυκτά καύσιμα. Βέβαια, η φύση δεν σταματά να δημιουργεί ούτε άνθρακα ούτε πετρέλαιο. Αν αναλογισθούμε όμως ότι η ανθρωπότητα καταναλώνει ημερησίως τόση ποσότητα ορυκτών καυσίμων όση μπορεί η φύση να δημιουργήσει σε χίλια περίπου χρόνια, αντιλαμβανόμαστε πλέον την έννοια της ανανεωσιμότητας.

### Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) έχουν οριστεί οι ενεργειακές πηγές, οι οποίες υπάρχουν εν αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος πριν στραφεί έντονα στη χρήση των ορυκτών καυσίμων. Οι ΑΠΕ πρακτικά είναι ανεξάντλητες, η χρήση τους δεν ρυπαίνει το περιβάλλον ενώ η αξιοποίησή τους περιορίζεται μόνον από την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που θα έχουν σαν σκοπό την δέσμευση του δυναμικού τους. Το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη των τεχνολογιών αυτών εμφανίσθηκε αρχικά μετά την

πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1974 και παγιώθηκε μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων σοβαρών περιβαλλοντικών προβλημάτων την τελευταία δεκαετία. Για πολλές χώρες, οι ΑΠΕ αποτελούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας με ευνοϊκές προοπτικές συνεισφοράς στο ενεργειακό τους ισοζύγιο, συμβάλλοντας στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και στην ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συμβάλλουν στη βελτίωση της ποιότητας του περιβάλλοντος, καθώς έχει πλέον διαπιστωθεί ότι ο ενεργειακός τομέας είναι ο κλάδος που ευθύνεται κατά κύριο λόγο για τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο μόνος δυνατός τρόπος που διαφαίνεται για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έθεσε το 1992 στη συνδιάσκεψη του Ρίο για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, να περιορίσει δηλαδή, μέχρι το έτος 2000 τους ρύπους του διοξειδίου του άνθρακα στα επίπεδα του 1993, είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

Οι μορφές των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι:

- ο ήλιος - ηλιακή ενέργεια, με υποτομείς τα ενεργητικά ηλιακά συστήματα, τα παθητικά ηλιακά συστήματα και τη φωτοβολταϊκή μετατροπή,
- ο άνεμος - αιολική ενέργεια,
- οι υδατοπτώσεις - υδραυλική ενέργεια, με περιορισμό στα μικρά υδροηλεκτρικά, ισχύος κάτω των 10 MW,
- η γεωθερμία - γεωθερμική ενέργεια: υψηλής και χαμηλής ενθαλπίας,
- η βιομάζα: θερμική ή χημική ενέργεια με την παραγωγή βιοκαυσίμων, τη χρήση υπολειμμάτων δασικών εκμεταλλεύσεων και την αξιοποίηση βιομηχανικών αγροτικών (φυτικών και ζωικών) και αστικών αποβλήτων,

- οι θάλασσες: ενέργεια κυμάτων, παλιρροϊκή ενέργεια και ενέργεια των ωκεανών από τη διαφορά θερμοκρασίας των νερών στην επιφάνεια και σε μεγάλο βάθος.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ:

Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι με το πέρασμα του χρόνου εξαντλούνται...

Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.

Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος. Έτσι, δίνετε η δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής ενώ παράλληλα μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας.

Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών έως αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή), επιτυγχάνοντας πιο ορθολογική χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.

Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.

Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.

Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων, οικονομικά και κοινωνικά, περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ (π.χ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με γεωθερμική ενέργεια).

Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

Εκτός από τα παραπάνω πλεονεκτήματα οι ΑΠΕ παρουσιάζουν και ορισμένα χαρακτηριστικά που δυσχεραίνουν την αξιοποίηση και ταχεία ανάπτυξή τους:

Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος ώστε να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.

Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για μεγάλη παραγωγή απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.

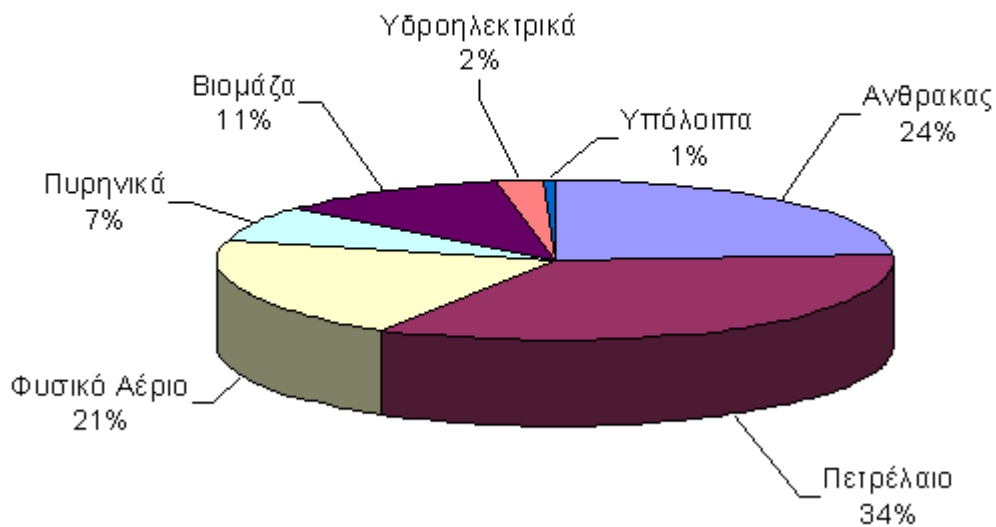
Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.

Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους.

Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων παραμένει ακόμη υψηλό.

Η σημερινή παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται σε 10 δις τόνους ισοδύναμου πετρελαίου με κυρίαρχες πηγές τα ορυκτά καύσιμα τα οποία καλύπτουν περισσότερο από το 80% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης.

## Παγκόσμια Κατανάλωση Πρωτογενούς Ενέργειας (2005)



Στην κατηγορία "υπόλοιπα" κυρίως η ηλιακή ενέργεια, η αιολική και η γεωθερμική. Το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που αντιστοιχεί στο πετρέλαιο καταναλώνεται στις πάσης φύσεως μεταφορές, ενώ ο άνθρακας και το φυσικό αέριο στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### 2.1.Ορισμός ανεμογεννήτριας

Οι μηχανές με τις οποίες εκμεταλλευόμαστε το φαινόμενο της ενέργειας του ανέμου, ονομάζονται ανεμογεννήτριες (Α/Γ). Δηλαδή τα συγκροτήματα που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου (αιολική ενέργεια) σε ηλεκτρική ενέργεια .

### 2.2. Αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια μια από τις παλαιότερες μορφές φυσικής ενέργειας, αξιοποιήθηκε από πολύ νωρίς για την παραγωγή μηχανικού έργου και έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας.

Η σημασία της ενέργειας του ανέμου φαίνεται στην Ελληνική μυθολογία όπου ο Αίολος διορίζεται από τους Θεούς του Ολύμπου ως “Ταμίας των ανέμων”.

Ο άνθρωπος πρωτο-χρησιμοποίησε την αιολική ενέργεια στα ιστιοφόρα πλοία, γεγονός που συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη της ναυτιλίας. Μια άλλη εφαρμογή της αιολικής ενέργειας είναι οι ανεμόμυλοι. Μαζί με τους νερόμυλους συγκαταλέγονται στους αρχικούς κινητήρες που αντικατέστησαν τους μυς των ζώων ως πηγές ενέργειας. Διαδόθηκαν πλατιά στην Ευρώπη επί 650 χρόνια, από τον 12<sup>ο</sup> μέχρι τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα, οπότε άρχισε σταδιακά να περιορίζεται η χρήση τους, λόγω κυρίως της ατμομηχανής. Η οριστική τους εκτόπιση άρχισε μετά τον Α΄ Παγκόσμιο πόλεμο, παράλληλα με την ανάπτυξη του κινητήρα εσωτερικής καύσεως και την διάδοση του ηλεκτρισμού. Κατά τη δεκαετία του 1970 , το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με ανεμογεννήτριες και ανεμόμυλους ανανεώθηκε λόγω της ενεργειακής κρίσης και των προβλημάτων που δημιουργεί η ρύπανση του περιβάλλοντος.



### 2.3. Ιστορική εξέλιξη ανεμογεννητριών



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

Φαίνεται ότι οι αρχαίοι λαοί της Ανατολής χρησιμοποιούσαν ανεμόμυλους, αν και η πρώτη αναφορά σε ανεμόμυλο (ένα περσικό συγκρότημα ανεμόμυλων του 644 μ.Χ.) εμφανίζεται σε έργα Αράβων συγγραφέων του 9<sup>ου</sup> μ.Χ. αιώνα. Αυτό το συγκρότημα των ανεμόμυλων βρισκόταν στο Σειστάν, στα σύνορα της Περσίας και Αφγανιστάν και ήταν “οριζόντιου τύπου” δηλαδή με ιστία (φτερά) τοποθετημένα ακτινικά σε έναν “κατακόρυφο άξονα”. Ο άξονας αυτός στηριζόταν σε ένα μόνιμο κτίσμα με ανοίγματα σε αντιδιαμετρικά σημεία για την είσοδο και την έξοδο του αέρα. Κάθε μύλος έδινε απευθείας κίνηση σε ένα μόνο ζεύγος μυλόπετρες. Οι πρώτοι μύλοι είχαν τα ιστία κάτω από τις μυλόπετρες, όπως δηλαδή συμβαίνει και στους οριζόντιους νερόμυλους από τους οποίους φαίνεται ότι προέρχονταν. Σε μερικούς από τους μύλους που σώζονται σήμερα τα ιστία τοποθετούνται πάνω από τις μυλόπετρες. Τον 13<sup>ο</sup> αιώνα οι μύλοι αυτού του τύπου ήταν γνωστοί στην Βόρεια Κίνα, όπου μέχρι και τον 16<sup>ο</sup> αιώνα τους χρησιμοποιούσαν για εξάτμιση του θαλασσινού νερού στην παραγωγή αλατιού. Τον τύπο αυτό του μύλου

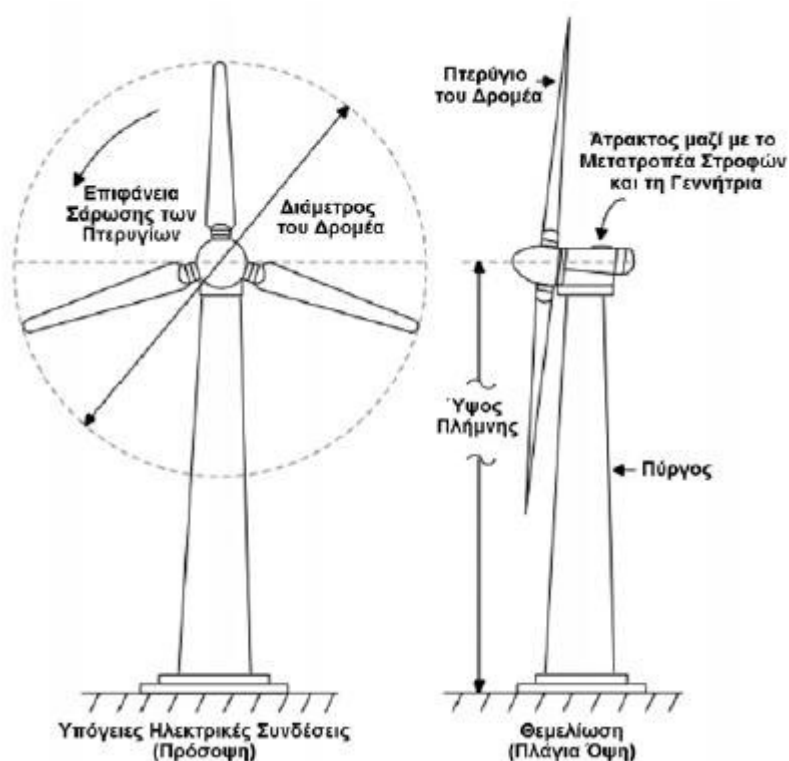
χρησιμοποιούσαν επίσης στην Κριμαία, στις περισσότερες χώρες της Δυτικής Ευρώπης και στις ΗΠΑ, μόνο που λίγοι από αυτούς διασώζονται σήμερα. Ο πιο αντιπροσωπευτικός από όλους αυτούς τους τύπους των ανεμόμυλων είναι ο τύπος με το “στροφέιο σχήματος S” (S-Rotor) (εφευρέτης ο Φιλανδός S.J.Savinious) που ακόμη και σήμερα χρησιμοποιείται σε φτωχές ή απομονωμένες περιοχές λόγω της φτηνής και εύκολης κατασκευής του.

Ο ανεμόμυλος έφτασε στην Ευρώπη από τους Άραβες, χρησιμοποιήθηκε δε στον τύπο του κατακόρυφου ρωμαϊκού υδραυλικού τροχού, με τη διαφορά ότι ο ανεμόμυλος είχε στην θέση του τροχού κατακόρυφα φτερά που μετέδιδαν την κίνηση στις μολόπετρες με ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών. Οι πρώτοι τέτοιοι περιστρεφόμενοι μύλοι εμφανίστηκαν στη Γαλλία το 1180, στην Αγγλία το 1191 και στη Συρία την εποχή των Σταυροφοριών (1190).

Στις αρχές του 14 ου αιώνα αναπτύχθηκε στη Γαλλία ο ανεμόμυλος σε σχήμα πύργου (ξετροχάρης), Σε αυτόν τον τύπο ανεμόμυλου οι μολόπετρες και οι οδοντωτοί τροχοί ήταν τοποθετημένοι σε ένα σταθερό πύργο με κινητή οροφή ή “κάλυμμα”, στην οποία στηρίζονταν τα ιστία και η οποία μπορούσε να στραφεί επάνω σε ειδική τροχιά, στην κορυφή του πύργου.

Ο “περιστρεφόμενος ανεμόμυλος με κοίλο εσωτερικά άξονα” επινοήθηκε στις Κάτω Χώρες στις αρχές του 15<sup>ου</sup> αιώνα. Διέθετε έναν κατακόρυφο άξονα με γρανάζια στα δύο του άκρα ο οποίος περνούσε μέσα από τον κοίλο άξονα και κινούσε ένα τροχό με περιφερειακά διαταγμένα σκαφίδια που μετέφερε το νερό σε υψηλότερη στάθμη.

## Ανεμογεννήτρια:



Ο ανεμόμυλος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως ανεμογεννήτρια το 1890 όταν εγκαταστάθηκε πάνω σε χαλύβδινο πύργο ο ανεμόμυλος του Π. Λα Κούρ στη Δανία, με ισχία με σχισμές και διπλά πτερύγια αυτόματης μετάπτωσης προς τη διεύθυνση του ανέμου. Μετά τον Α' Παγκόσμιο πόλεμο, έγιναν πειράματα με ανεμόμυλους που είχαν ισχία αεροτομής, δηλαδή όμοια με πτερύγια αεροπορικής έλικας. Το 1931 μια τέτοια ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε στην Κριμαία και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διοχετευόταν στο τμήμα χαμηλής τάσης του τοπικού δικτύου. Πραγματικές ανεμογεννήτριες με δύο πτερύγια λειτούργησαν στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1940, στην Αγγλία στη δεκαετία του 1950 καθώς και στη Γαλλία. Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στη Δανία από τον J.Juul με τρία πτερύγια αλληλοσυνδεδεμένα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Στην Ολλανδία εκτελέστηκαν πειράματα από τον F.G. Pigeaud με αντικείμενο τη μετασκευή των παλαιών ανεμόμυλων άλεσης δημητριακών, έτσι ώστε η πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή. Χρησιμοποιήθηκε

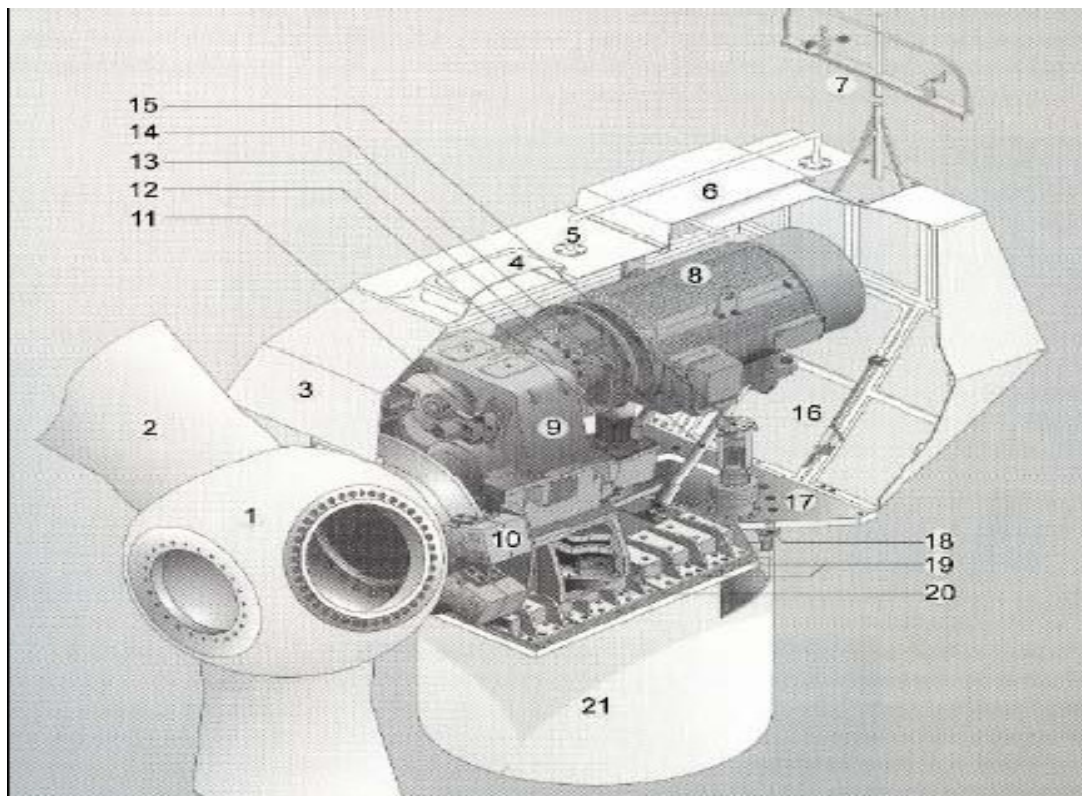
ένας ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο (σε περίπτωση άπνοιας) ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια, όταν φυσούσε.

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

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

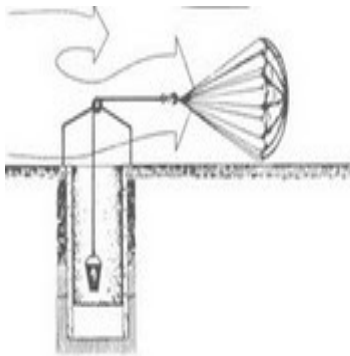
- Οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους
- Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, που είναι πιο εξελιγμένες και διαδεδομένες, έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια και η ισχύς τους κυμαίνεται από λίγα κιλοβάτ έως μερικά μεγαβάτ. Οι κατακόρυφου άξονα είναι απλούστερες και μικρότερης ισχύος.



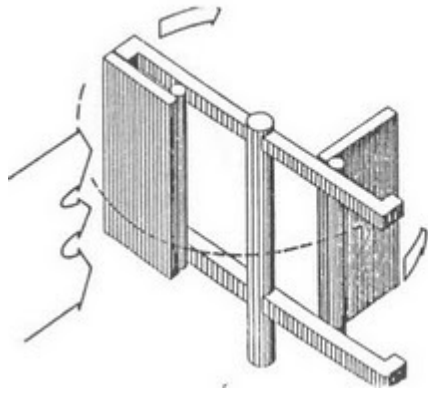
1. Πλήμνη δρομέα 12. Υδραυλικά
  2. Πτερύγια δρομέα 13. Ελαστικός σύνδεσμος
  3. Κάλυμμα ατράκτου 14. Αναρτήσεις γεννήτριας
  4. Φωταγωγός 15. Σύστημα προσανατολισμού
  5. Ράβδος ασφαλείας 16. Θυρίδα επισκόπησης
  6. Εξαγωγή αέρα 17. Εξέδρα
  7. Αλεξικέραυνο και 18. Στεφάνη ρουλεμάν συστήματος μετρητής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

Η έρευνα πάνω σε θέματα αιολικής ενέργειας καθώς και η εξέλιξη της τεχνολογίας είχαν σαν αποτέλεσμα οι σημερινοί ανεμοκινητήρες να μοιάζουν ελάχιστα ή και καθόλου με τους παραδοσιακούς ανεμόμυλους. Χαρακτηριστική είναι η διαφορά που υπάρχει στην αρχή λειτουργία τους. Οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι κινούνται είτε με τη βοήθεια της αντίστασης των πτερυγίων τους στον άνεμο, είτε με (κακή) εκμετάλλευση της άνωσης που ασκείται πάνω τους. Ως άνωση ή άντωση ονομάζεται η δύναμη (συνισταμένη δυνάμεων) που δέχεται ένα στερεό σώμα, από το ρευστό μέσα στο οποίο βρίσκεται, και η οποία είναι πάντα αντίθετη κατά κατεύθυνση του βάρους του.

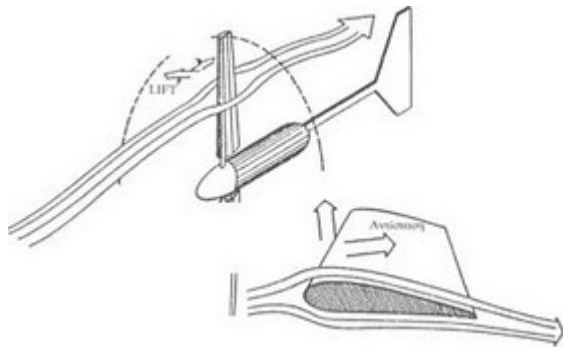


Σχήμα: Εκτέλεση έργου με εκμετάλλευση της αεροδυναμικής αντίστασης.

Στις ανεμογεννήτριες η κίνηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στην άνωση. Η υπεροχή των σημερινών μονάδων γίνεται προφανής αν ληφθεί υπ' όψη ότι σε μια αεροτομή η άνωση μπορεί να γίνει υπερδεκαπλάσια της αντίστασης.



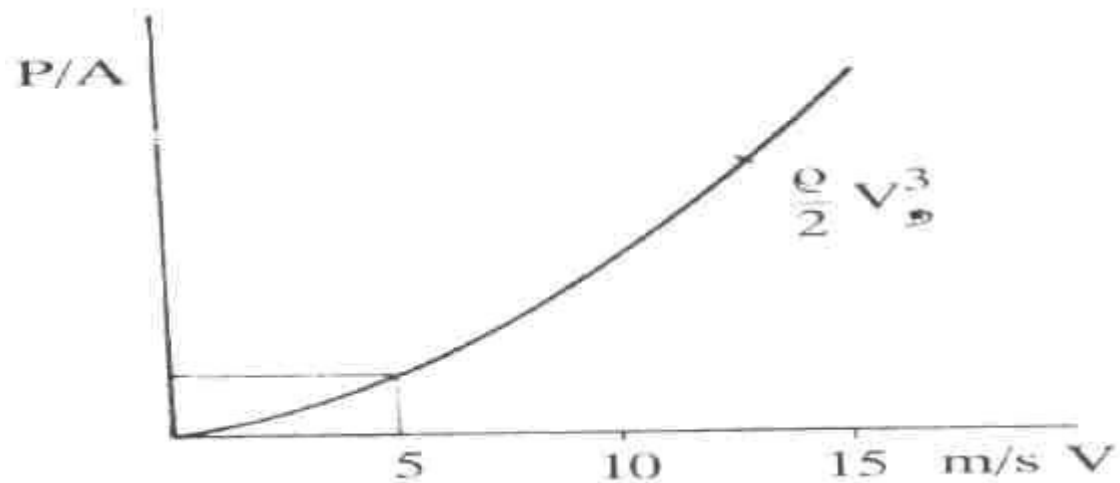
Σχήμα: Εκμετάλλευση αντίστασης για παραγωγή έργου.



Σχήμα : Εκμετάλλευση άνωσης για παραγωγή έργου.

Ο βαθμός απόδοσης  $C_p$  που χαρακτηρίζει τους ανεμοκινητήρες και που ονομάζεται και συντελεστής ισχύος ορίζεται ως:

$$C_p = P / (1/2 \rho V^3 A)$$

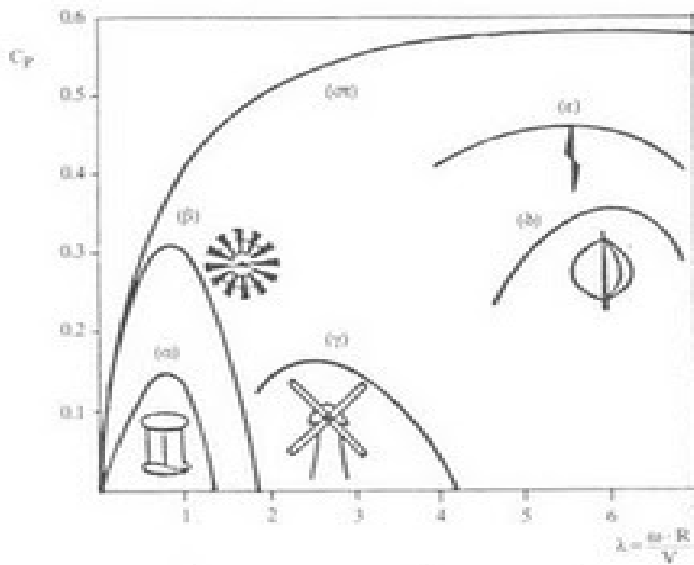


Σχήμα: Κυβική σχέση ισχύος καλείται και κατάσταση λειτουργίας του δρομέα ταχύτητας ανέμου. όπου  $P$  η ισχύς που αποδίδεται από το ανεμοκινητήρα ως προς την ισχύ που έχει ο άνεμος ταχύτητας  $V$  και που περνάει από τον ανεμοκινητήρα μετωπικής επιφάνειας  $A$  ( $\rho$  πυκνότητα του αέρα). Η ισχύς του ανέμου ανά τετραγωνικό μέτρο μετωπικής επιφάνειας (ανεμοκινητήρα) είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει αυτή τη τυπική μεταβολή:

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται τυπικές καμπύλες του συντελεστή ισχύος, για διάφορα είδη ανεμοκινητήρων. Φαίνεται καθαρά ότι οι σύγχρονοι ανεμοκινητήρες υπερέχουν

των παραδοσιακών, διότι παρουσιάζουν μεγαλύτερους συντελεστές ισχύος και μάλιστα σε εγάλες τιμές καταστάσεως λειτουργίας (μεγάλη περιφερειακή ταχύτητα του δρομέα). Να σημειωθεί ότι ο μέγιστος συντελεστής ισχύος ανεμοκινητήρα είναι στην ιδανικότερη των περιπτώσεων περίπου 59%!



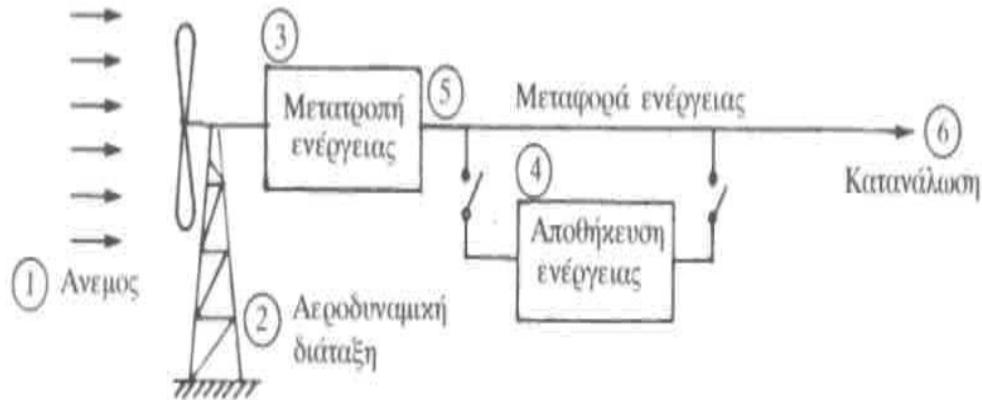


Σχήμα : Συντελεστής ισχύος ως συνάρτηση της ταχύτητας ακροπτερυγίου.

#### Τύποι και υποσυστήματα ανεμογεννητριών

Η ανεμογεννήτρια από την εποχή της εμφάνισης της μέχρι σήμερα έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης τόσο ως προς τον τύπο του (οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματα του (πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κλπ). Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται από την ανεμογεννήτρια, σε άλλη «αναβαθμισμένη» μορφή ενέργειας.

Μια εικόνα των βασικών μερών που αποτελούν μια διάταξη εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας καθώς και της ροής ενέργειας, παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα: Διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας.

Η διάταξη αυτή είναι μια γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης. Αυτό το μηχανικό έργο, μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο επί τόπου (π.χ. άντληση νερού). Στη γενικότερη όμως περίπτωση απαιτείται η μετατροπή του σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, είτε γιατί δεν χρειαζόμαστε μόνο μηχανικό έργο, είτε γιατί ο τόπος της κατανάλωσης δεν συμπίπτει με τον τόπο που είναι εγκατεστημένη η ανεμογεννήτρια. Δηλαδή απαιτείται η μεταφορά της δεσμευόμενης αιολικής ενέργειας. Σ' αυτήν την περίπτωση η πιο πρόσφορη διάταξη είναι εκείνη που μετατρέπει το μηχανικό έργο σε άλλη μορφή ενέργειας, που μπορεί να μεταφέρεται εύκολα και αποδοτικά στο τόπο της κατανάλωσης. Εδώ και πολύ καιρό οι περισσότερες έρευνες στρέφονται προς τη κατεύθυνση της μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα της ανεμογεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της ή της παραγωγής επί τόπου

υδρογόνου (με ηλεκτρόλυση) που μπορεί να αποθηκευτεί ή να μεταφερθεί και να καεί ως αέριο καύσιμο. Η τελευταία περίπτωση αποτελεί ίσως και την βέλτιστη από πολλές απόψεις, πρόταση αξιοποίησης γενικότερα των Ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, δεδομένου ότι είναι οικολογικά αποδεκτή διότι με την καύση του υδρογόνου παράγεται μόνο νερό.

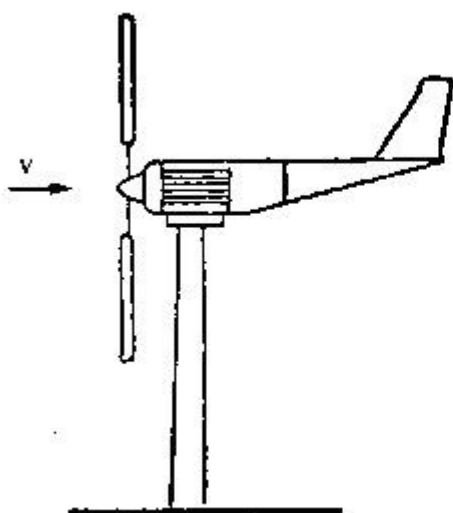
Είναι γνωστές οι μεγάλες διακυμάνσεις της ενέργειας του ανέμου με το χρόνο. Είναι επίσης γεγονός ότι πολλές φορές δεν πνέει καθόλου άνεμος για ορισμένα χρονικά διαστήματα. Αυτά έχουν ως συνέπεια χρονική ασυμφωνία μεταξύ ζήτησης και παραγωγής ενέργειας. Η λύση στο πρόβλημα βρίσκεται βασικά στην αποθήκευση της ενέργειας. Η αποθηκευμένη ενέργεια καλύπτει το ενεργειακό έλλειμμα που παρουσιάζεται, όταν η ισχύς του ανέμου πέφτει κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο. Το επίπεδο αυτό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ενεργειακής ζήτησης και τα χαρακτηριστικά των άλλων πηγών ενέργειας που υπάρχουν για την ικανοποίηση της ζήτησης αυτής π.χ. «στιβαρότητα του ηλεκτρικού δικτύου», είδος σταθμών παραγωγής κ.λπ.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός πλήρους συστήματος εκετάλλευσης της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνει:

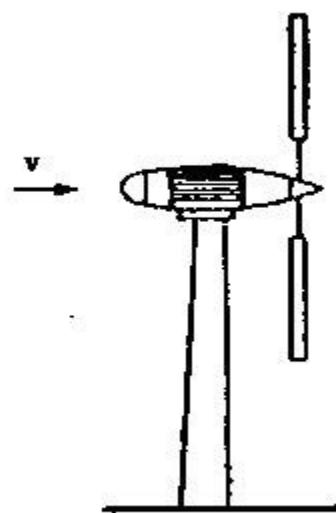
1. Μελέτη των χαρακτηριστικών του ανέμου με σκοπό την εκλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας και την πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας.
2. Σχεδιασμός της αεροδυναμικής διάταξης, που να μετατρέπει κατά τον αποδοτικότερο τρόπο την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο.
3. Μελέτη της περίπτωσης μετατροπής του μηχανικού έργου σε άλλη πιο συμφέρουσα μορφή ενέργειας και βέλτιστο σχεδιασμό του συστήματος μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα.

4. Εύρεση του καλύτερου τρόπου αντιμετώπισης των διακυμάνσεων της ενέργειας του ανέμου.
5. Μελέτη του βέλτιστου τρόπου μεταφοράς ενέργειας, αν απαιτείται.
6. Διερεύνηση της καλύτερης προσαρμογής της μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας του συστήματος προς την κατανάλωση.

### Τυπικές μορφές ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα



(α) Δρομέας ανάντι του πύργου



(β) Δρομέας κατάντι του πύργου

Ο περιστρεφόμενος μηχανισμός τέτοιων μηχανών, που καλείται δρομέας, μπορεί να έχει από ένα πτερύγιο (μονόπτερος) μέχρι 30 ή και περισσότερα (πολύπτερος). Σε σχέση με τη θέση του δρομέα ως προς τον πύργο στήριξης και τη διεύθυνση του ανέμου, οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου μπορούν να έχουν τον δρομέα μπροστά από τον πύργο (ανάντη) ή πίσω (κατάντη).

Για τη μεγιστοποίηση δέσμευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου, απαιτείται το επίπεδο του δρομέα του ανεμογεννήτριας να είναι κάθετο στην κατεύθυνση του ανέμου. Για το σκοπό αυτό στις μεν μικρής ισχύος ανεμογεννήτριες (και στον ανάντη τύπο) υπάρχει συνήθως πτερύγιο που ευθυγραμμίζει τον άξονα του δρομέα στον άνεμο, στις δε μεγάλες ανεμογεννήτριες εφαρμόζονται συστήματα αυτόματης ρύθμισης της σωστής θέσης του δρομέα ως προς τον άνεμο έσω

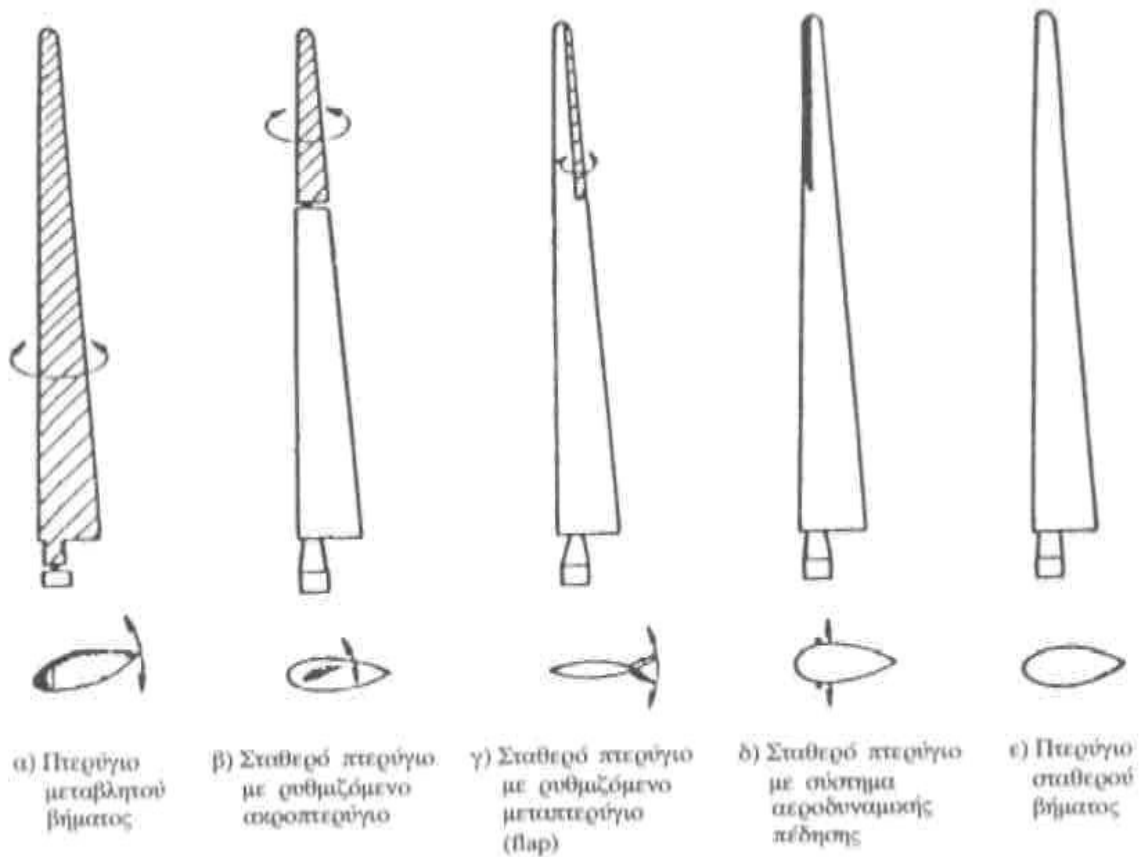
σερβομηχανισμού. Στις «μικρές» ανεμογεννήτριες, με το δρομέα κατάντη δεν τοποθετείται πτερύγιο προσανατολισμού γιατί το κουβούκλιο που καλύπτει τα εξαρτήματα της διάταξης μετατροπής της ενέργειας του δρομέα έχει τέτοιο σχήμα ώστε το ίδιο να αποτελεί πτερύγιο προσανατολισμού.



Ο πύργος στήριξης της ανεμογεννήτριας μπορεί να είναι σωληνωτού τύπου, ή τύπου δικτυώατος. Οι δύο αυτοί τύποι είναι αυτοστηριζόμενοι, ενώ ο τρίτος τύπος λεπτής κολώνας, απαιτεί πρόσδεση με συρματόσχοινα.

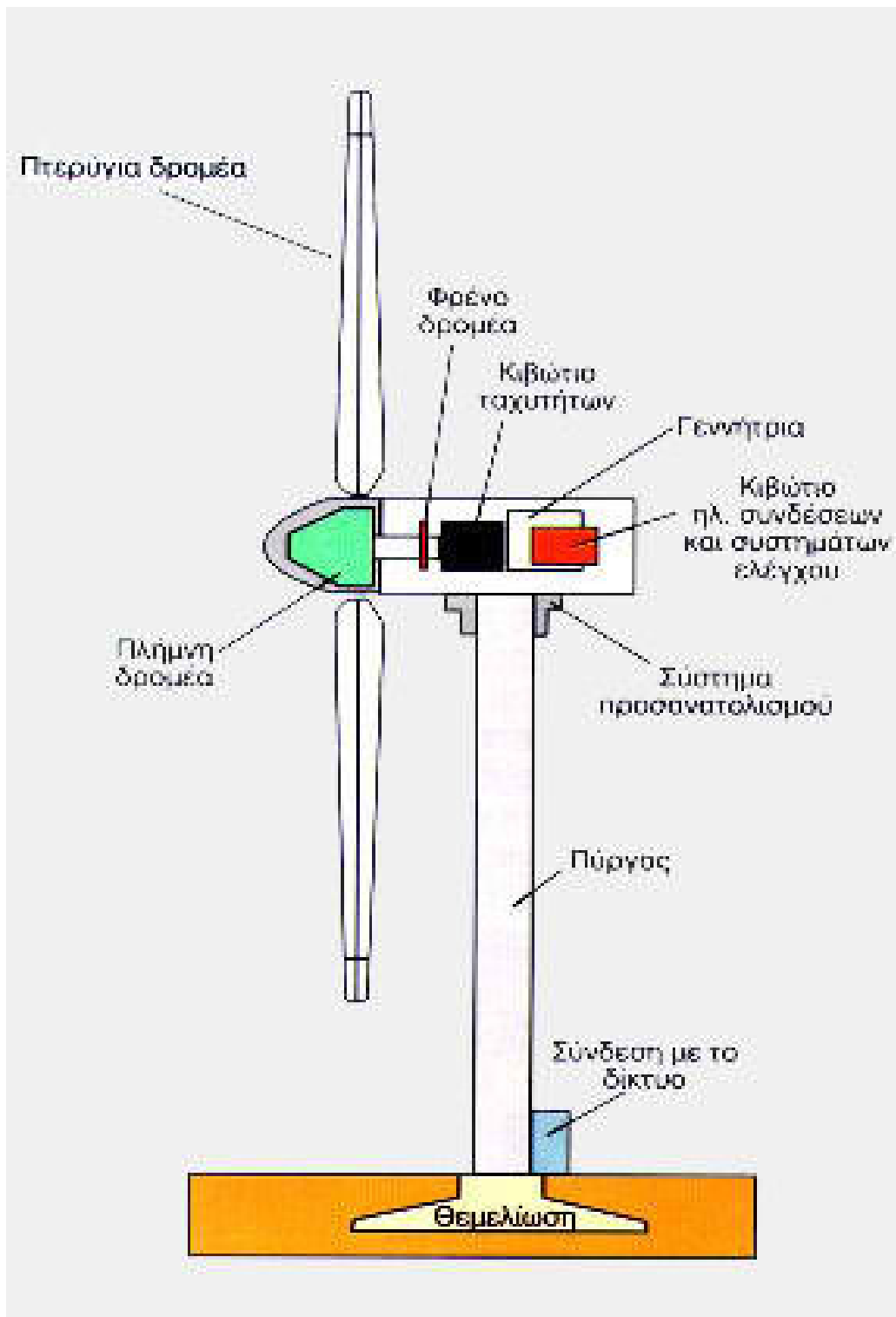
Ο δρομέας της ανεμογεννήτριας δεν πρέπει να ξεπερνάει κάποια μέγιστη γωνιακή ταχύτητα, για λόγους προστασίας των πτερυγίων από μηχανικές καταπονήσεις που προέρχονται από φυγόκεντρες δυνάμεις. Για την προστασία έναντι υπερτάχυνσης έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αυτοματισμοί, όπως λειτουργία αεροπέδης στα ακροπτερύγια του δρομέα, γωνιακή στροφή του δρομέα ως προς τη διεύθυνση πνοής του ανέμου. Στην περίπτωση ανάγκης πέδησης του δρομέα είτε γιατί υπερταχύνθηκε ο δρομέας (π.χ. δεν λειτούργησε η αεροπέδη των ακροπτερυγίων) ή υπερβολική ταχύτητα ανέμου ή μηδενική ενεργειακή ζήτηση (π.χ. διακοπή ΔΕΗ), χρησιμοποιείται αυτόματης ενέργειας πέδη (fail safe) ασφάλειας αστοχίας τύπου δίσκου που ενεργεί είτε στον

χαμηλόστροφο άξονα του δρομέα (πρίν από το κιβώτιο ταχυτήτων) είτε στον υψηλόστροφο (μετά το κιβώτιο ταχυτήτων).

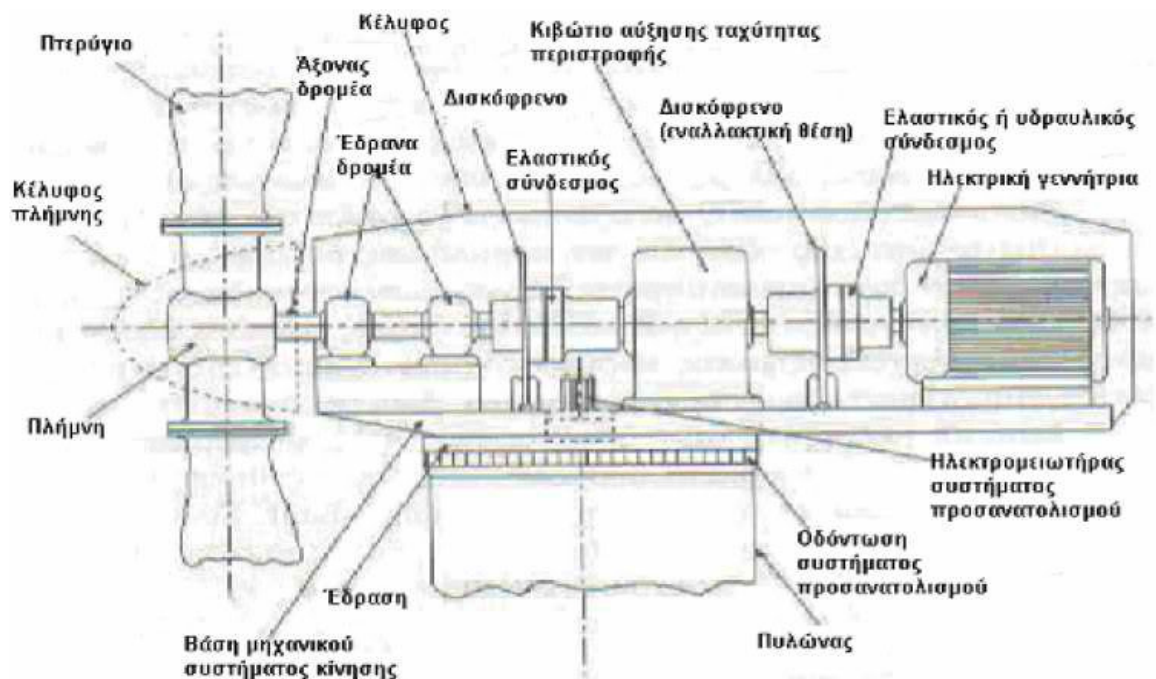


Σχήμα: Μέθοδοι ρύθμισης βήματος - ισχύος A/K.

Το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας του δρομέα σε άλλη μορφή ενέργειας, το οποίο στεγάζεται μέσα στο κουβούκλιο της μηχανής, συνήθως βρίσκεται πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας, ενώ στις περιπτώσεις απ' ευθείας χρήσης της μηχανικής ενέργειας του δρομέα π.χ. για άντληση νερού, το κιβώτιο ταχυτήτων βρίσκεται κάτω στη βάση του πύργου και από την κορυφή του πύργου μέχρι κάτω κατεβαίνει ο άξονας κίνησης, συνήθως σε υψηλότερες στροφές απ' αυτές του δρομέα.



## 2.4.Μηχανικά μέρη ανεμογεννήτριας



Μία ανεμογεννήτρια αποτελείται από τα εξής:

- Πτερύγια
- Άξονας δρομέα
- Έδρανα δρομέα
- Κέλυφος
- Διακόφρενο
- Ελαστικός σύνδεσμος
- Κιβώτιο αύξησης ταχύτητας περιστροφής
- Διακόφρενο (εναλλακτική θέση)
- Ελαστικός ή υδραυλικός σύνδεσμος
- Ηλεκτρική γεννήτρια
- Κέλυφος πλήμνης
- Πλήμνη
- Βάση μηχανικού συστήματος κίνησης
- Έδραση
- Πυλώνας
- Οδόντωση συστήματος προσανατολισμού
- Ηλεκτρομειωτήρας συστήματος προσανατολισμού



## Ο Δρομέας

Ο σχεδιασμός του δρομέα είναι ίσως το πιο βασικό ζήτημα στη σχεδίαση του όλου συστήματος. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος συνδυασμός των διαφόρων παραμέτρων που συνθέτουν τον δρομέα: ταχύτητα περιστροφής, διάμετρος δρομέα, αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους πτερυγίου, κατάλληλη αεροτομή ή αεροτομές, συστροφή, μέσο γεωμετρικό βήμα. Τα κριτήρια επιλογής είναι η μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής της. Η διάμετρος του δρομέα θα εξαρτηθεί από την απαιτούμενη ονομαστική ισχύ της μηχανής και το αιολικό δυναμικό της περιοχής εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας. Η γωνιακή ταχύτητα λειτουργίας του δρομέα επιλέγεται έτσι ώστε ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου προς την ονομαστική ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται στην περιοχή της βέλτιστης τιμής συντελεστή ισχύος της ανεμογεννήτριας. Η κατανομή του πλάτους των πτερυγίων θα προκύψει από τη βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής σχεδίασης του δρομέα ενώ το πλήθος των πτερυγίων (η στερεότητα του δρομέα) θα εξαρτηθεί από το είδος της εφαρμογής της ανεμογεννήτριας.

Ανάλογα με τη μορφή του δρομέα διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τύπους:

(α) Δρομείς με πολλά λεπτά πτερύγια (πολυπτέρυγους)

Χαρακτηριστικό των δρομέων αυτών είναι η μικρή διάμετρος, η μικρή περιφερειακή ταχύτητα και η μεγάλη ροπή. Στο παρελθόν κατασκευάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακα (οι γνωστοί Αμερικανικοί πολυπτέρυγοι ανεμόμυλοι) και βρήκαν πλατιά εφαρμογή για άντληση νερού. Η κατασκευή τέτοιων ανεμογεννητριών καθώς και η έρευνα προς

την κατεύθυνση αυτή τείνουν να εγκαταλειφθούν για πολλούς λόγους, όπως ο μικρός συντελεστής ισχύος και η μικρή διάμετρος που μπορούν να κατασκευαστούν.

### (β) Δρομείς με λίγα πτερύγια

Οι δρομείς αυτοί έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια (τελευταία κατασκευάστηκαν δρομείς με ένα πτερύγιο, μονόπτερος). Έχουν τη μορφή των πτερυγίων των ελίκων των αεροσκαφών με αρκετή συστροφή από τη βάση μέχρι το ακροπτερύγιο και μεταβαλλόμενη χορδή με λέπτυνση προς το ακροπτερύγιο. Η τεχνολογία κατασκευής του είναι παρόμοια με εκείνη των ελίκων αεροπλάνων, δανείζεται δε και μερικά στοιχεία από εκείνη του δρομέα των ελικοπτέρων. Τα βασικά χαρακτηριστικά του δρομέα είναι ο μεγάλος συντελεστής ισχύος και η βέλτιστη λειτουργία του σε μεγάλο σχετικά λόγο ταχυτήτων ακροπτερυγίου. Οι παλαιότεροι δρομείς είχαν πλατιά πτερύγια, ενώ οι σύγχρονοι δρομείς, λόγω αεροδυναμικής βελτιστοποίησης, έχουν λεπτά πτερύγια. Οι αεροτομές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των πτερυγίων είναι σύγχρονες αεροτομές που παρουσιάζουν μεγάλο συντελεστή άνωσης σε μικρές σχετικά γωνίες πρόσπτωσης ενώ συγχρόνως διατηρούν χαμηλό συντελεστή αντίστασης σε ευρεία περιοχή γωνιών πρόσπτωσης. Οι δρομείς αυτοί είναι πιο ταχύστροφοι από τους πολυπτερυγούς δρομείς και ελαφρώς οικονομικότεροι, παρουσιάζουν δε ευκολία στην επιτόπου συναρμολόγηση της ανεμογεννήτριας. Γενικά ο τρίπτερος δρομέας είναι κατά 5% περισσότερο αποδοτικός από τον δίπτερο και τα φορτία που ενεργούν σε κάθε πτερύγιο είναι μικρότερα, είναι όμως ακριβότερος. Αντίθετα ο μονόπτερος δρομέας είναι φθηνότερος, έχει 10% μικρότερη ενεργειακή απόδοση από τον δίπτερο, αλλά έχει θορυβώδη λειτουργία και η ζυγοστάθμισή του παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα.

## **Μέγεθος ανεμογεννητριας**

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα κατασκευάζονται από ισχύς μερικών 100άδων W μέχρι πάνω από 1 MW (σήμερα ξεπερνούν και τα 4MW). Γενικά διακρίνουμε μικρά μεγέθη (έως λίγα KW) (διάμετρος έως 10 μέτρα) μεσαία μεγέθη (50-250 KW) (διάμετρος έως 25 μέτρα) και μεγάλα μεγέθη (500-2500 KW). Είναι γενικά δύσκολο να ξεπεράσουμε την ισχύ των 2500 KW, γιατί απαιτείται κατασκευή δρομέων πολύ μεγάλης διαμέτρου (άνω των 80m) κατασκευή που συνεπάγεται μεγάλα προβλήματα.

## **Υλικά πτερυγίων**

Τα υλικά κατασκευής των πτερυγίων των δρομέων δεν έχουν ακόμα ξεκαθαρίσει εντελώς. Στις μικρές ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται κυρίως πολυουρεθάνη, υαλόνημα και ξύλο, υλικά που δεν υποφέρουν από διάβρωση αλλά έχουν όμως άγνωστη συμπεριφορά σε εναλλασσόμενη φόρτιση, φόρτιση που οδηγεί σε πρόωρη γήρανση του υλικού. Στους μεσαίου μεγέθους δρομείς χρησιμοποιούνται υαλονήματα με εναλλαγή της κατεύθυνσης των υαλονημάτων σε πολλαπλές στρώσεις ενώ στις μεγάλου μεγέθους ανεμογεννήτριες χρησιμοποιείται η τεχνολογία των ελίκων των αεροσκαφών ή ακόμα και ξύλο ή και τεχνολογία πτερύγων αεροσκαφών.

## **Το βήμα του πτερυγίου**

Υπάρχουν δρομείς με πτερύγια: Ο μεταβλητού βήματος και ο σταθερού βήματος. Η μηχανική ρύθμιση ισχύος σε μία ανεμογεννήτρια έχει ως σκοπό να εξισορροπεί, για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από την ονομαστική, την ισχύ την παραγόμενη από την πτερύγωση με την ονομαστική ισχύ της εγκατάστασης (π.χ. γεννήτριας), ώστε η εγκατάσταση να μην υπερφορτίζεται.

## Τρόποι μηχανικής ρύθμισης ισχύος

1) Είναι δυνατόν να μειωθεί το μέγεθος της παραγόμενης από την πτερύγωση ισχύος με την αλλαγή του προσανατολισμού ολόκληρου του πτερυγίου ή μέρους του (ακροπτερύγιο) ως προς τη διεύθυνση του ανέμου. Ο τρόπος αυτός απαιτεί την ύπαρξη σερβομηχανισμού και έχει εφαρμογή στις ανεμογεννήτριες μικρής αλλά κυρίως μεγάλης ισχύος.

2) Ρύθμιση με τη βοήθεια αεροδυναμικών φρένων στα άκρα των πτερυγίων. Η διάταξη αυτή αποτελεί περισσότερο μέσον προστασίας της ανεμογεννήτριας έναντι υπερτάχυνσής της και τίθεται σε λειτουργία όταν η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα υπερβεί την επιτρεπόμενη τιμή. Αυτό μπορεί να συμβεί σε περίπτωση υπερβολικής ταχύτητας ανέμου (μεγαλύτερης της ταχύτητας ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια σταματάει, VF) ή όταν ο δρομέας παράγει έργο, ενώ δεν υπάρχει κατανάλωση.

Οι ανεμογεννήτριες με σύστημα ρύθμισης του βήματος του πτερυγίου παρουσιάζουν τεχνολογική πολυπλοκότητα στο ρυθμιστικό μηχανισμό και τα πτερύγια είναι σαφώς ακριβότερα και βαρύτερα. Παρουσιάζουν όμως καλή ρύθμιση ισχύος, μειωμένα αεροδυναμικά φορτία, ευκολία στην εκκίνηση της ανεμογεννήτριας και συγχρόνως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για πέδηση.

Οι ανεμογεννήτριες που δεν έχουν μηχανική ρύθμιση ισχύος (πτερύγιο σταθερού βήματος) είναι απλούστερες τεχνολογικά και φυσικά φθηνότερες, έχουν όμως περίπου 5-10% μικρότερη παραγωγή ενέργειας, μεγαλύτερα φορτία καταπόνησης και απαιτούν δισκόφρενα ασφάλειας αστοχίας ή αεροπέδες. Ανεμογεννήτριες σταθερού βήματος πτερυγίου είναι σχεδόν όλες οι ανεμογεννήτριες κατασκευής Δανίας μεσαίου μεγέθους

## Σύστημα Αύξησης Στροφών (Σ.Α.Σ)

Η σχεδίαση του συστήματος αύξησης των στροφών του δρομέα για να προσαρμοστεί ο δρομέας στις στροφές της γεννήτριας ή της αντλίας δεν αφορά άμεσα τη σχεδίαση της ανεμογεννήτριας. Η τεχνολογική εξέλιξη των ΣΑΣ, λόγω απαιτήσεων της βιομηχανίας, έχει δώσει πολλούς και καλούς τύπους κιβωτίου ταχυτήτων από άποψη αντοχής υλικού, φθοράς, μεταφερόμενης ισχύος και διαστάσεων. Βασικά κριτήρια επιλογής του είναι η διάρκεια ζωής του, ο βαθμός απόδοσής του και ο θόρυβος λειτουργίας του. Λόγω της συνεχούς μεταβολής της ισχύος του ανέμου, το κιβώτιο ταχυτήτων λειτουργεί συνεχώς με κρουστικά φορτία τα οποία οδηγούν σε πρόωρη φθορά υλικού και μείωση της διάρκειας ζωής του κιβωτίου. Για το λόγο αυτό, το κιβώτιο ταχυτήτων της ανεμογεννήτριας επιλέγεται να έχει ονομαστικό μέγεθος ισχύος πολύ μεγαλύτερο από το ονομαστικό μέγεθος της μηχανής, ακόμα και ονομαστική ροπή 200% μεγαλύτερη της ονομαστικής ροπής της μηχανής.

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

Για την αύξηση της ζωής του κιβωτίου και τη μείωση των κρουστικών φορτίων λειτουργίας, σε ορισμένες περιπτώσεις το κιβώτιο ταχυτήτων στηρίζεται πάνω σε ελατήρια απόσβεσης κραδασμών.

## Σύστημα πέδησης άξονα-δρομέα

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ακινητοποίησης του δρομέα της ανεμογεννήτριας.

1) Μεταβολή του βήματος του πτερυγίου ή του ακροπτερυγίου ή και ενεργοποίησης της αεροπέδης στο ακροπτερύγιο.

2) Στροφή του ίδιου του δρομέα ώστε να γυρίσει παράλληλα προς τον άνεμο Αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης του πτερυγίου με την ενεργοποίηση αεροπέδης (τύπου spoiler).

3) Πέδηση του άξονα.

Είναι φανερό ότι ο προτιμότερος τρόπος ακινητοποίησης της μηχανής είναι η σταδιακή μείωση των αεροδυναμικών φορτίων στη μηχανή με παράλληλη αύξηση της αντιρροπής. Με τον τρόπο αυτό δεν αναπτύσσονται κρουστικά φορτία στη φάση πέδησης της μηχανής. Σε περίπτωση αστοχίας όμως των μηχανισμών ρύθμισης του βήματος του πτερυγίου ή των άλλων μεθόδων ρύθμισης ισχύος απαιτείται η πέδηση του άξονα του δρομέα.

Η πέδηση αυτή γίνεται συνήθως με δισκόφρενο τύπου ασφάλειας αστοχίας που ενεργεί αυτόματα στον άξονα. Το δισκόφρενο αυτό συνήθως τοποθετείται στον υψηλόστροφο άξονα της μηχανής (μετά το κιβώτιο ταχυτήτων) διότι έτσι η απαιτούμενη ροπή πέδησης είναι πολύ μικρή (λόγω υψηλής γωνιακής ταχύτητας) και κατά συνέπεια το δισκόφρενο είναι μικρού κόστους. Συνήθως η πέδη αυτή είναι ηλεκτρομαγνητικού τύπου που ενεργοποιείται αυτόματα με τη διακοπή του ρεύματος, δηλαδή η πέδη παραμένει πάντα ανοικτή με τη βοήθεια

ηλεκτρομαγνητών και σε περίπτωση διακοπής ρεύματος ενεργοποιείται από τα ελατήρια. Τοποθετώντας όμως την πέδη στον υψηλόστροφο άξονα υπερφορτίζουμε το κιβώτιο ταχυτήτων στη διάρκεια της πέδησης (η ακινητοποίηση της μηχανής γίνεται εντός 2 ή 3 πλήρων στροφών του δρομέα) ενώ συγχρόνως η αντικατάσταση, συντήρηση του κιβωτίου ή και η επισκευή του γίνεται προβληματική.

Η τοποθέτηση του δισκόφρενου στον χαμηλόστροφο άξονα απαιτεί ογκώδες δισκόφρενο υψηλού κόστους. Το δισκόφρενο αυτό είναι συνήθως υδραυλικού τύπου, ασφαλείας αστοχίας. Στην περίπτωση χρήσης υδραυλικού δισκόφρενου αντιμετωπίζονται προβλήματα διαρροής λαδιού, λειτουργίας αισθητηρίων μέτρησης στάθμης και θερμοκρασίας λαδιού κ.λπ.

### **Ελαστικοί σύνδεσμοι**

Για τη σύνδεση αξόνων μεταξύ τους (π.χ. άξονας δρομέα με κιβώτιο ή δισκόφρενο με γεννήτρια κλπ) απαιτείται ελαστικός σύνδεσμος απορρόφησης κραδασμών. Συνήθως οι σύνδεσμοι αυτοί βασίζονται στην απορροφητική ικανότητα του καουτσούκ. Σε ακριβές κατασκευές χρησιμοποιείται και υδραυλικού τύπου συμπλέκτης ο οποίος συγχρόνως μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως μέσο προσαρμογής των στροφών του δρομέα στις στροφές της γεννήτριας και έτσι η μηχανή να δουλεύει σε σταθερές σύγχρονες στροφές ή σε στροφές μέγιστου συντελεστή ισχύος.

### **Ηλεκτρική γεννήτρια**

Υπάρχουν δύο δυνατές λύσεις:

A. Ασύγχρονη γεννήτρια

B. Σύγχρονη γεννήτρια

Η απλότητα στην κατασκευή και η ευκολία με την οποία συνδέεται στο δίκτυο η ασύγχρονη γεννήτρια, είναι τα πλεονεκτήματά της. Όμως η ανάγκη να παίρνει ρεύμα μαγνήτισης από το δίκτυο δημιουργεί προβλήματα όταν η ισχύς της ανεμογεννήτριας είναι συγκρίσιμη με την ισχύ του ηλεκτρικού δικτύου. Φυσικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, πράγμα που γίνεται στις εφαρμογές φόρτισης συσσωρευτών. Αλλά οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος είναι ογκώδεις και ακριβές.

### **Σύστημα Προσανατολισμού**

Όπως αναφέρθηκε, ο δρομέας μπορεί να βρίσκεται πριν από τον πύργο ή μετά από αυτόν (ανάντη και κατάντη μηχανές). Στις ανεμογεννήτριες με ανάντη τοποθέτηση του δρομέα απαιτείται σύστημα προσανατολισμού του δρομέα. Στις μικρού μεγέθους ή και μεσαίου μεγέθους ανεμογεννήτριες για τον προσανατολισμό χρησιμοποιείται καθοδηγητικό πτερύγιο (ουρά) που τόσο η επιφάνεια της ουράς όσο και η θέση της ως προς τον άξονα του πύργου επιλέγονται έτσι, ώστε σε απόκλιση του ανέμου κατά το πολύ 10 μοίρες να εξασκείται ροπή επαναπροσανατολισμού του δρομέα στον άνεμο ικανή να υπερνικήσει την αντιροπή λόγω γυροσκοπικού φαινομένου. Στις ανεμογεννήτριες μεγάλου μεγέθους χρησιμοποιείται σερβοκινητήρας ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και που προσανατολίζει το δρομέα κάθετα στην κατεύθυνση του ανέμου. Η τοποθέτηση του δρομέα κατάντη φαινομενικά τουλάχιστον φαίνεται να οδηγεί σε απλούστερη κατασκευή ανεμογεννήτριας γιατί δεν απαιτείται σύστημα προσανατολισμού, αλλά στην περίπτωση αυτή η ανεμογεννήτρια είναι περισσότερο θορυβώδης στη λειτουργία του λόγω της σκίασης του πύργου πάνω στον δρομέα και επίσης δημιουργούνται αυξημένες καταπονήσεις στα πτερύγια λόγω της περιοδικότητας φορτίσεων του πτερυγίου καθώς αυτό σε κάθε περιστροφή σκιάζεται από τον πύργο. Τέλος απαιτείται κάποιο είδος αποσβεστήρα για τον περιορισμό των



άσκοπων μετακινήσεων του κουβουκλίου λόγω της πλευρικής «τύρβης» του ανέμου.

## **Πύργος**

Κριτήρια επιλογής του είδους του πύργου είναι, το κόστος του, η ευκολία μεταφοράς του στον τόπο εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας και η ευκολία ανέγερσής του: Συνυφασμένο με το τελευταίο είναι και η διαδικασία στησίματος της μηχανής, ιδιαίτερα σε μεγάλες μονάδες, πράγμα που εξαρτάται από την ευκολία οδικής πρόσβασης στη θέση, την ύπαρξη ικανοποιητικού ανυψωτικού μέσου τόσο σε ανυψωτική ικανότητα όσο και σε ύψος ανύψωσης. Δύο είναι κυρίως οι τύποι πύργων που έχουν επικρατήσει, ο σωληνωτός και ο τύπου δικτυώματος. Ο πύργος τύπου δικτυώματος είναι ευκολότερος στην επιτόπου συναρμολόγηση και ανάρτηση, ελαφρότερος και φθηνότερος. Επειδή έχει πολλά μικρά κομμάτια είναι ευκολότερο να υποστεί ψυχρό γαλβάνισμα σε μικρά γαλβανιστήρια. Ο σωληνωτός πύργος είναι αισθητικά καλλίτερος, το εσωτερικό του πύργου μπορεί να αποτελεί και το θάλαμο στέγασης όλων των οργάνων της ανεμογεννήτριας και να έχει εσωτερική σκάλα ή και ασανσέρ πρόσβασης στο κουβούκλιο στην κορυφή του. Παρουσιάζει όμως δυσκολία στην μεταφορά του, ιδίως από κάποιο ύψος και πάνω, δυσκολία στην ανέγερσή του (απαιτείται οπωσδήποτε γερανός), και αν είναι μεγάλος πρέπει να γαλβανισθεί σε κομμάτια και να συγκολληθεί επί τόπου, αλλά τότε καταστρέφεται το γαλβάνισμα τοπικά.

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

## Εξαγωγή ισχύος

Οι μεγάλες μάζες του ανέμου που διαρκώς μετακινούνται στην ατμόσφαιρα περιέχουν τεράστια ποσά ενέργειας που προσφέρονται περισσότερο από κάθε άλλη μορφή ενέργειας για μετατροπή και εκμετάλλευση.

Η στιγμιαία ισχύς που περιέχεται σε ένα ρεύμα αέρα διατομής  $A$  ομοιόμορφης στιγμιαίας ταχύτητας  $V$  και πυκνότητας  $P$  υπολογίζεται από τη σχέση

$$P = \rho V^3 A$$

και είναι ανάλογη του κύβου της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου. Αυτό όμως έχει τεράστια σημασία αφού η ταχύτητα δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε ευρύτατα όρια με το χρόνο. Το γεγονός της ευρύτατης χρονικής μεταβολής μας επιβάλλει ένα ξεχωριστό τρόπο επεξεργασίας των μετεωρολογικών δεδομένων όταν ενδιαφερόμαστε για την εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου και την εύρεση της κατάλληλης ανεμογεννητριας για μια ορισμένη περιοχή.

Η ισχύς όμως που παρέχει η έλικα είναι μικρότερη από την ισχύ του ανέμου, σύμφωνα με τη σχέση:

$$P_{A/K} = C_P \rho V^3 A$$

Το μέγεθος  $C_P$  λέγεται συντελεστής ισχύος. Προσοχή χρειάζεται στο ότι το  $C_P$  δεν είναι αυστηρά ο βαθμός απόδοσης του δρομέα, αφού αναφέρεται σε μια ισχύ που δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε ολόκληρη, ακόμη και με μια ιδανική έλικα.

### Ενεργειακές απώλειες

Η ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να αξιοποιήσει όλη την ετήσια ενέργεια του ανέμου για τους ακόλουθους λόγους:

(α) Η ανεμογεννήτρια είναι σε θέση να αποδώσει ωφέλιμη ισχύ μόνο όταν η ισχύς του ανέμου είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες κενού φορτίου (τριβές, άξονα, μειωτήρα, γεννήτριας). Την ταχύτητα του ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια ξεκινάει ονομάζουμε ταχύτητα έναρξης λειτουργίας και συμβολίζεται με  $V_{cut-in}$ .

(β) Καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται, αυξάνει και η αποδιδόμενη ισχύς μέχρι να φθάσει την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας. Κατόπιν, όσο και να αυξάνεται η ισχύς του ανέμου επιδιώκουμε να διατηρήσουμε την ισχύ σταθερή. Αυτό γίνεται με την αλλαγή της γωνίας κλίσεως των πτερυγίων ή με τα μεταπτερύγια (flaps) ή με την αλλαγή της γωνιακής θέσης του δρομέα ως προς τον άνεμο ή την αλλαγή της γωνιακής ταχύτητας του δρομέα, ανάλογα φυσικά με την γεννήτρια που έχει το σύστημα. Η μικρότερη ταχύτητα ανέμου στην οποία ο δρομέας αναπτύσσει την ονομαστική ισχύ της μηχανής-γεννήτριας ορίζεται με  $V_R$  και ονομάζεται ονομαστική ταχύτητα ανέμου. Άρα για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες της  $V_R$  χάνεται ένα ποσό του αιολικού δυναμικού.

(γ) Όταν ο άνεμος φθάνει σε υψηλές ταχύτητες ενδείκνυται η διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης για λόγους ασφαλείας. Η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας (furling speed), συμβολίζεται με  $V_p$  και η ενέργεια του ανέμου για ταχύτητες μεγαλύτερες της παραμένει τελείως αναξιοποίητοι.

(δ) Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας έχουμε αεροδυναμικές απώλειες.

(ε) Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας έχουμε πρόσθετα μηχανικές απώλειες στον άξονα, μειωτήρα και γεννήτρια, που μπορούν να θεωρηθούν σταθερές και ίσες με τις απώλειες κενού φορτίου. Ανάλογα με τα υποσυστήματα της ανεμογεννήτριας, οι συνολικές απώλειες κενού φορτίου μπορεί να ανέρχονται και στο 10% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής.

## 2.5 Πως λειτουργεί.

Η ισχύ που αποδίδει, κατ' επέκταση και η ενέργεια που παράγει, μια ανεμογεννήτρια είναι συνάρτηση του κύβου της ταχύτητας του ανέμου, της πυκνότητας του ανέμου και των τεχνικών χαρακτηριστικών του συγκροτήματος. Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος και γι αυτό οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται πάντα στην κορυφή υψηλών πύργων στήριξης. Παρ' όλα αυτά οι θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι για την παραγωγή ωφέλιμου έργου μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο το 53,9% της συνολικής ενέργειας του ανέμου.

Η ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα με πτερύγια ανταποκρίνεται στις μεταβολές ταχύτητας του ανέμου με αυτόματη αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων. Ο άξονας της παραλληλίζεται αυτόματα προς τη διεύθυνση του ανέμου έτσι ώστε ο άνεμος να προσβάλλει κάθετα την επιφάνεια που διαγράφουν τα πτερύγια. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται τελικά η βέλτιστη παραγωγή ενέργειας από το άνεμο με συντελεστή μέχρι 46 έως 48% και εξασφαλίζονται ικανοποιητικά όρια στα χαρακτηριστικά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η μηχανική ισχύς που αναπτύσσεται στον άξονα των πτερυγίων από τον άνεμο μεταδίδεται στην ηλεκτρική γεννήτρια με τις κατάλληλες στροφές. Η γεννήτρια, που μπορεί να είναι σύγχρονη ή ασύγχρονη, παράγει την ηλεκτρική ενέργεια και τροφοδοτεί την κατανάλωση.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι χρονικά ασυνεχής, επειδή ακολουθεί τη δίαυτα του ανέμου, ενώ η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τις ώρες της ημέρας, την εποχή, την οικονομική και κοινωνική δομή των καταναλωτών, κτλ. Το αποτέλεσμα είναι στις ανεμογεννήτριες να παρουσιάζονται σημαντικές ταλαντώσεις ισχύος ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ όταν επικρατεί άπνοια ή πολύ ισχυρός άνεμος παύει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον σχεδιασμό ενός αυτόνομου αιολικού ηλεκτρικού συστήματος θα πρέπει να προβλεφθεί αποθήκευση. Ο συνηθέστερος τρόπος είναι η

εγκατάσταση συσσωρευτών, αλλά στο μέλλον ίσως χρησιμοποιηθούν και άλλοι μέθοδοι, όπως υδροδυναμική εκμετάλλευση, πεπιεσμένου αέρα, παραγωγή υδρογόνου, κλπ.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 είχαν επίσης διαπιστωθεί τα πολυάριθμα τεχνικά και οικονομικά πλεονάσματα που παρουσιάζει η εγκατάσταση αιολικών πάρκων, δηλαδή συγκροτημάτων πολλών ανεμογεννητριών εγκατεστημένων σε μια τοποθεσία. Για παράδειγμα σε αντίθεση με την ισχύ μεμονωμένων ανεμογεννητριών, το σύνολο της ισχύος ενός αιολικού πάρκου δεν παρουσιάζει μεγάλες ταλαντώσεις λόγω της ασυνεχούς πνοής του ανέμου. Από την άλλη μεριά, η εγκατάσταση αιολικού πάρκου απαιτεί μικρή σχετικά επιφάνεια σε σχέση με τις εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης άλλων μορφών ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα δεν παρεμποδίζει την εκμετάλλευση της γης. Το πρώτο αιολικό πάρκο της Ευρώπης εγκαταστάθηκε το 1982 στην νήσο Κύθνο. Με ισχύ 100 κιλοβάτ (5 ανεμογεννήτριες των 20 κιλοβάτ, τύπου οριζόντιου άξονα με δύο πτερύγια) καλύπτει το 25% των ενεργειακών αναγκών του νησιού.

Ανεμογεννήτριες

Δίπτερες - Τρίπτερες Ανεμογεννήτριες

Διακρίνουμε δύο είδη: τις δίπτερες και τις τρίπτερες.



Οι τρίπτερες, με ρότορα μικρότερο των 10 μέτρων, έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού δυναμικού. Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι δίπτερες, με κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρότερο απ' αυτό των τρίπτερων αντίστοιχου μεγέθους. Η σύγχρονη τεχνολογία χρήσης της αιολικής ενέργειας ξεκίνησε με μικρές Α/Γ δυναμικότητας 20 ως 75 KW. Σήμερα χρησιμοποιούνται Α/Γ δυναμικότητας 200 ως 2.000 KW.

Παρακάτω φαίνονται τα 2 είδη ανεμογεννητριών (δίπτερες, τρίπτερες).

Τρίπτερες ανεμογεννήτριες

Τρίπτερες ανεμογεννήτριες με ρότορα μήκους μικρότερου των 10 μέτρων έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού ανέμου (ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου) και κόστος κατασκευής και



συντήρησης μικρό καθώς τα προβλήματα αντοχής και δυναμικής καταπόνησης μηχανικών μερών είναι περιορισμένα στις μηχανές αυτής της κατηγορίας.

Δίπτερες ανεμογεννήτριες

Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι δίπτερες, με κόστος κατασκευής και συντήρησης σαφώς μικρότερο, από αυτό των

τριπτερύγων αντιστοίχου μεγέθους.

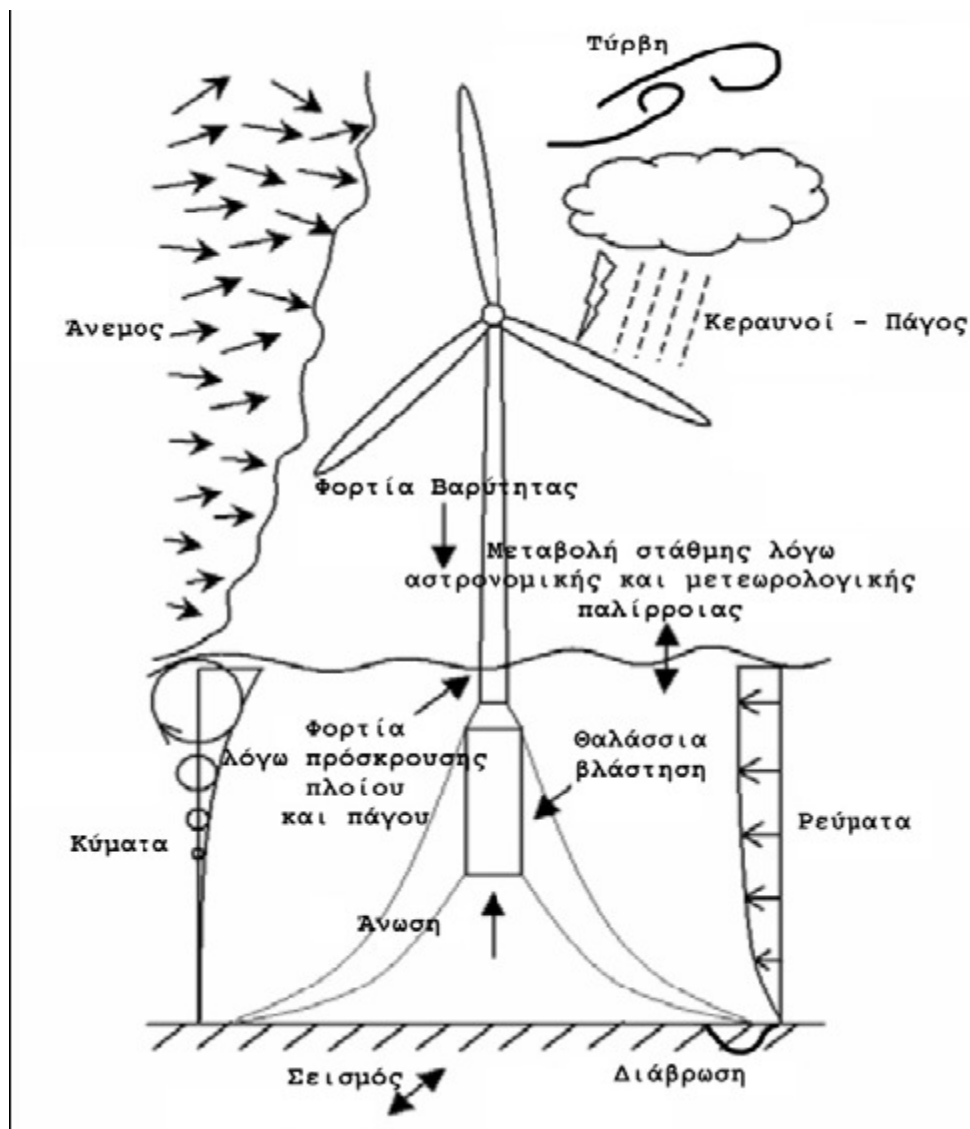
## 2.6

## Χωροθέτηση

Ο απαιτούμενος χώρος που καταλαμβάνει μια ανεμογεννήτρια για λόγους ασφαλείας, όπως προβλέπεται από τις υπουργικές αποφάσεις, αντιστοιχεί σε επιφάνεια κύκλου με κέντρο το κέντρο της ανεμογεννήτριας και ακτίνα 36m. Για την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών συνυπολογίζονται όλοι οι παράμετροι που επηρεάζουν την λειτουργία και την απόδοση των ανεμογεννητριών καθώς επίσης και όλοι οι χωροταξικοί περιορισμοί που προκύπτουν μέσω των ισχυόντων κανονισμών και διατάξεων που προβλέπονται για την χωροθέτηση των αιολικών πάρκων. Ιδιαίτερα η απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών θεωρείται τουλάχιστον ίση με 2.5 διαμέτρους του δρομέα έτσι ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα αλληλεπίδρασης που έχουν αποτέλεσμα αφενός μεν την ελάττωση της παραγωγής, αφετέρου δε την ελάττωση της διάρκειας ζωής των ανεμογεννητριών λόγω αυξημένης φόρτισης τους.

## 2.7 Κατασκευή και Εγκατάσταση

Η φύση του πυθμένα της θάλασσας είναι σημαντική για τη θεμελίωση μιας ανεμογεννήτριας. Η αντοχή του εδάφους διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στις δονήσεις που υπόκειται η ανεμογεννήτρια. Ανάλογα με τη φύση του βυθού, τα ωκεάνια ρεύματα πρέπει να ληφθούν υπόψη γιατί προκαλούν σημαντικές μετατοπίσεις υλικού π.χ. αν ο βυθός αποτελείται από άμμο. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να επηρεαστεί η σταθερότητα των θεμελίων. Για τους λόγους αυτούς ο προσεκτικός έλεγχος του πυθμένα είναι απαραίτητη προϋπόθεση για οποιαδήποτε εγκατάσταση.

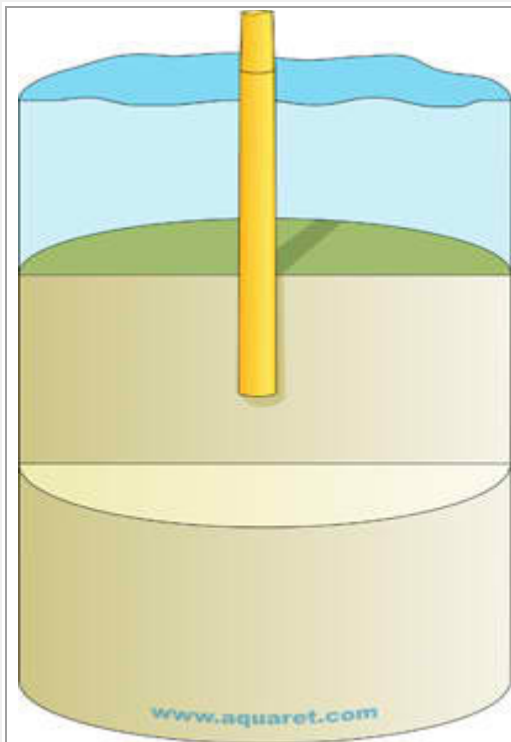


Η κατασκευή των περισσοτέρων συστατικών τμημάτων γίνεται στην ξηρά. Η άτρακτος συνήθως συναρμολογείται εξ ολοκλήρου πριν τη μεταφορά της στο σημείο εγκατάστασης. Όλα τα άλλα συστατικά τμήματα μεταφέρονται και στη συνέχεια συναρμολογούνται επιτόπου, μετά την ασφαλή κατασκευή των εδράσεων. Τα ηλεκτρικά καλώδια πρέπει να βρίσκονται ήδη στη θέση εγκατάστασης για να μπορέσει να ξεκινήσει η συναρμολόγηση της ανεμογεννήτριας.

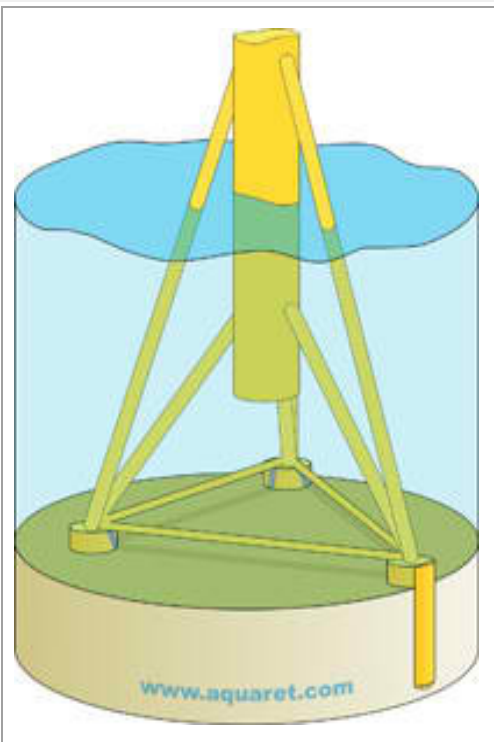
Η μονταρισμένη άτρακτος, ο πύργος, η πλήμνη και τα πτερύγια του ρότορα μεταφέρονται στο σημείο εγκατάστασης και αρχίζει η συναρμολόγηση κατά τον ίδιο τρόπο όπως και στα χερσαία αιολικά πάρκα. Ο πύργος ανυψώνεται και στερεώνεται στις δομές έδρασης (ο πύργος μπορεί να αποτελείται από 2 ή περισσότερα τμήματα). Μετά ακολουθεί η άτρακτος και τα πτερύγια.

Η έδραση / θεμελίωση είναι η κύρια διαφορά μεταξύ των υπεράκτιων και των χερσαίων σχεδίων ανεμογεννητριών. Ενώ οι χερσαίες ανεμογεννήτριες απαιτούν μεγάλες κατασκευές έδρασης από σκυρόδεμα, οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες απαιτούν διαφορετικούς τύπους κατασκευών έδρασης αναλόγως του βάθους και του υλικού του θαλάσσιου βυθού. Στις κατασκευές έδρασης των υπεράκτιων ανεμογεννητριών συγκαταλέγονται οι μονοί πυλώνες, τα τρίποδα, οι θεμελιώσεις βαρύτητας από σκυρόδεμα και οι πλωτές δομές έδρασης. Η επιλογή του τύπου έδρασης εξαρτάται από το βάθος και τη φύση του πυθμένα της θάλασσας.

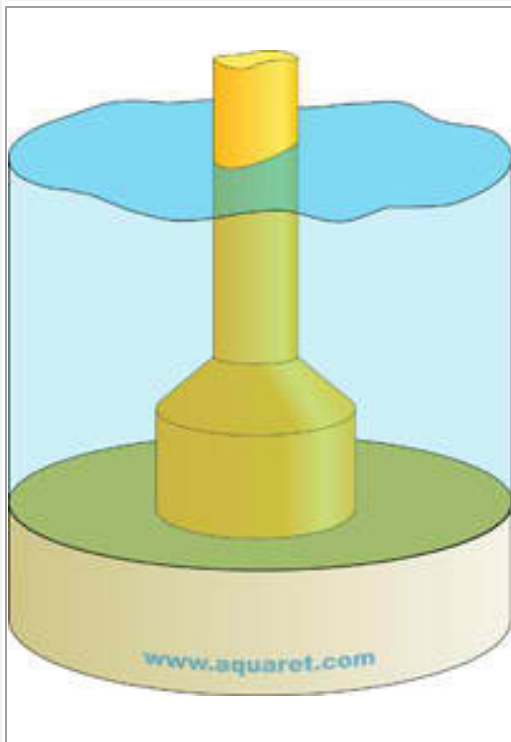




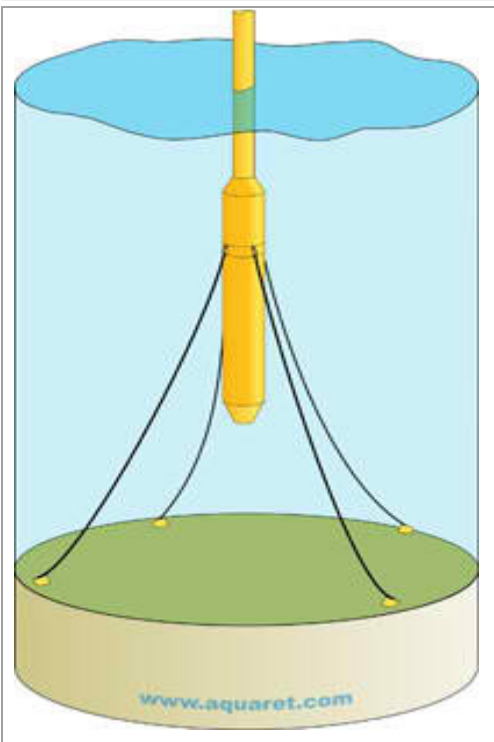
Κατασκευή έδρασης μονού πυλώνα



Κατασκευή έδρασης σε πολλούς πυλώνες



Κατασκευές που βασίζονται στη βαρύτητα



Πλωτή κατασκευή έδρασης

Περισσότερες δυσκολίες προκύπτουν κατά τη μεταφορά των συστατικών τμημάτων στο σημείο εγκατάστασης. Με τις βάσεις έδρασης έτοιμες να στηρίξουν τον πύργο και τις άλλες συνιστώσες, πρέπει να χρησιμοποιηθούν ειδικά πλοία, ακόμα και φορηγίδες, για να καταστεί δυνατή η μεταφορά των συστατικών τμημάτων. Πιο εξειδικευμένος εξοπλισμός απαιτείται για να ολοκληρωθεί και η τελική συναρμολόγηση. Στον εξοπλισμό αυτό περιλαμβάνονται γερανοί και άλλα ανυψωτικά μηχανήματα.

Κατασκευές αγκυροβολίας απαιτούνται μόνο στην περίπτωση των πλωτών ανεμογεννητριών. Οι κατασκευές αυτές απαιτούνται για τη διατήρηση της ανεμογεννήτριας εντός μιας περιορισμένης περιοχής προκειμένου να παρέχεται η δυνατότητα ναυσιπλοΐας εντός της περιοχής και παράλληλα να αποφεύγονται τα ατυχήματα.

Σε ένα αιολικό πάρκο, οι ανεμογεννήτριες γενικώς πρέπει να εγκαθίστανται σε απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον ίση με τρεις έως εννέα διαμέτρους του ρότορα, έτσι ώστε να αποφεύγονται έντονα φαινόμενα "σκίασης" του ανέμου (η πλέον συνήθης απόσταση που εφαρμόζεται, είναι πέντε έως επτά φορές τη διάμετρο του ρότορα).

Εφ'όσον υπάρχει μία συγκεκριμένη κατεύθυνση του ανέμου η οποία επικρατεί, π.χ. η δυτική, οι ανεμογεννήτριες μπορούν να εγκαθίστανται πολύ κοντά μεταξύ τους, προς εκείνη την κατεύθυνση που είναι κάθετη στην κατεύθυνση του ανέμου (στο παράδειγμά μας, βόρεια-νότια).

## 2.8 Εξέλιξη ανεμογεννητριών.

Οι ανεμογεννήτριες έχουν πλέον αναπτυχθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό, τόσο σε μέγεθος όσο και σε αποδιδόμενη ισχύ.

Μία τυπική ανεμογεννήτρια του 1980, ήταν εξοπλισμένη με ηλεκτρογεννήτρια ισχύος 26 kW και με ρότορα διαμέτρου 10,5 m. Μία σύγχρονη ανεμογεννήτρια φέρει ηλεκτρογεννήτρια ισχύος 1.000 kW και

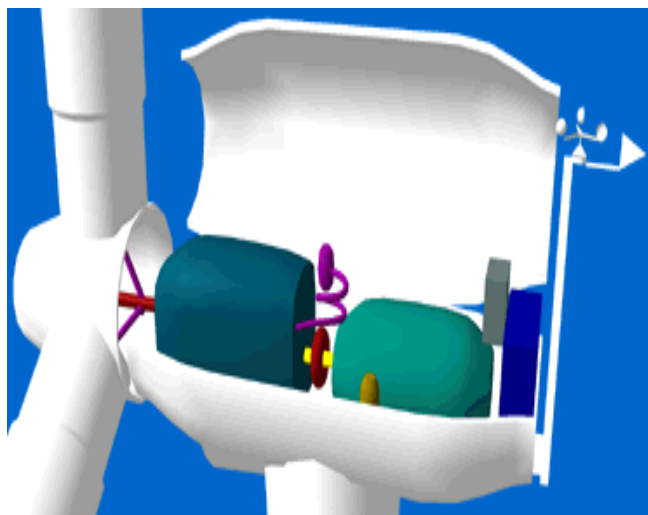
έχει διάμετρο ρότορα 54 m. Αυτή η ανεμογεννήτρια παράγει 2 έως 3 εκατομμύρια kWh το χρόνο, δηλ. μία παραγωγή που ισοδυναμεί με την ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε 500 έως 800 Ευρωπαϊκά νοικοκυριά.

Η τελευταία γενιά ανεμογεννητριών έχει ισχύ ηλεκτρογεννήτριας μεταξύ 1.000 και 2.500 kW και διάμετρο ρότορα 50-80 m.

Στην Ευρώπη, μέχρι τον Ιανουάριο του 2002, ήταν εγκατεστημένα περισσότερα από 16.300 MW αιολικής ενέργειας, που κάλυπταν, κατά μέσο όρο, τη συνολική οικιακή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας εννέα (9) εκατομμυρίων ανθρώπων.

Παγκοσμίως, η εγκατεστημένη αιολική ισχύς ανέρχεται σε 23.300 MW (Ιανουάριος 2002). Αυτή η ισχύς είναι ισοδύναμη με τη συνολική εγκατεστημένη ισχύ όλων των πυρηνικών σταθμών που υπήρχαν, σε παγκόσμιο επίπεδο, το 1970.

## 2.9 Παραγωγή ρεύματος.



Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα. Ο άξονας περνάει μέσα σε ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης όπου αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Το

κιβώτιο συνδέεται με έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής ο οποίος κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Αν η ένταση του ανέμου ενισχυθεί πάρα πολύ, η τουρμπίνα έχει ένα φρένο που περιορίζει την υπερβολική αύξηση περιστροφής των πτερυγίων για να περιοριστεί η φθορά της και να αποφευχθεί η καταστροφή της.

Η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να είναι περισσότερο από 15 kph για να μπορέσει η μια κοινή τουρμπίνα να παράγει ηλεκτρισμό. Συνήθως παράγουν 50-300 Kw η κάθε μία. Ένα Kw ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να ανάψει 100 λάμπες των 100w.

Καθώς η γεννήτρια περιστρέφεται παράγει ηλεκτρισμό με τάση 25.000 volt. Το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει πρώτα από ένα μετεσχηματιστή στην ηλεκτροπαραγωγική μονάδα ο οποίος ανεβάζει την τάση του στα 400.000 volt. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διανύει μεγάλες αποστάσεις είναι καλύτερα να έχουμε υψηλή τάση.



Τα μεγάλα, χοντρά σύρματα της μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι κατασκευασμένα από χαλκό ή αλουμίνιο για να υπάρχει μικρότερη αντίσταση στη μεταφορά του ρεύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση του σύρματος τόσο πιο πολύ θερμαίνεται. Έτσι κάποιο

ποσό ηλεκτρικής ενέργειας χάνεται επειδή μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια.

Τα σύρματα μεταφοράς ρεύματος καταλήγουν σε ένα υποσταθμό όπου οι μετασχηματιστές του μετατρέπουν την υψηλή τάση σε χαμηλή γαι να μπορέσουν να λειτουργήσουν ηλεκτρικές συσκευές

## 2.10 Πλεονεκτηματα και μειονεκτηματα...

Συγκριση ανεμογεννητριας οριζοντιου και καθετου αξονα

Στην κατασκευή ανεμογεννητριας καθετου αξονα, έχουμε τα εξής πλεονεκτήματα:

Ανάλογα με τον τύπο ανεμογεννήτριας κάθετου άξονα, έχουμε πολύ μεγαλύτερη ευκολία κατασκευής σε σχέση με την κατασκευή ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα. Κυρίως όσον αφορά την ευκολότερη κατασκευή (ιδιοκατασκευή) των πτερυγίων και την έλλειψη της ανάγκης για μηχανισμό φρεναρίσματος της ανεμογεννήτριας σε υψηλές ταχύτητες ανέμου.

Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα δεν χρειάζεται να προσανατολίζονται κάθε φορά ως προς την κατεύθυνση του ανέμου. Λόγω κατασκευής "πιάνουν" τον αέρα από όλες τις κατευθύνσεις. Αυτό τις κάνει καταλληλότερες σε τοποθεσίες όπου ο αέρας δεν είναι σταθερός ή όπου περιβάλλονται από κάποια μικρά εμπόδια (με σημαντικά μειωμένη απόδοση όμως).

Το κόστος κατασκευής τους είναι χαμηλότερο από το κόστος κατασκευής μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα λόγω απλούστερου σχεδιασμού.

Είναι ασφαλέστερες διότι δεν υπάρχει ο κίνδυνος να σπάσει κάποιο πτερύγιο, ούτε κινούνται με την μεγάλη ταχύτητα στρωφών που κινούνται οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

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

Το πρώτο και σημαντικότερο μειονέκτημα είναι ότι οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα έχουν πολύ χαμηλή απόδοση. Αυτό ισχύει σε μεγάλο βαθμό για τον τύπο "savonius" όπου δεν ξεπερνούν το 15%, αλλά και στους άλλους τύπους σε μικρότερο βαθμό (μια καλή μικρή ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα έχει μέση απόδοση 30%-40%).

Από το προηγούμενο προκύπτει ότι για να έχει μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα την ίδια περίπου παραγωγή με μια οριζόντιου άξονα, θα πρέπει η κάθετου άξονα να έχει μέχρι και τριπλάσια επιφάνεια επαφής με τον αέρα. Αυτό συνεπάγεται μεγάλο όγκο και βάρος της κατασκευής.

Λόγω χαμηλότερων στροφών περιστροφής ανά λεπτό, χρειάζονται πιο ισχυρούς ανέμους για να ξεκινήσουν την φόρτιση των συσσωρευτών (με δεδομένο το ίδιο μοτέρ σε οριζόντιου άξονα ανεμογεννήτρια).

Για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα δεν χρειάζεται να επεκταθώ, αφού προκύπτουν από τα παραπάνω:

Τα πλεονεκτήματα του ενός τύπου είναι τα μειονεκτήματα του άλλου και αντίστροφα.

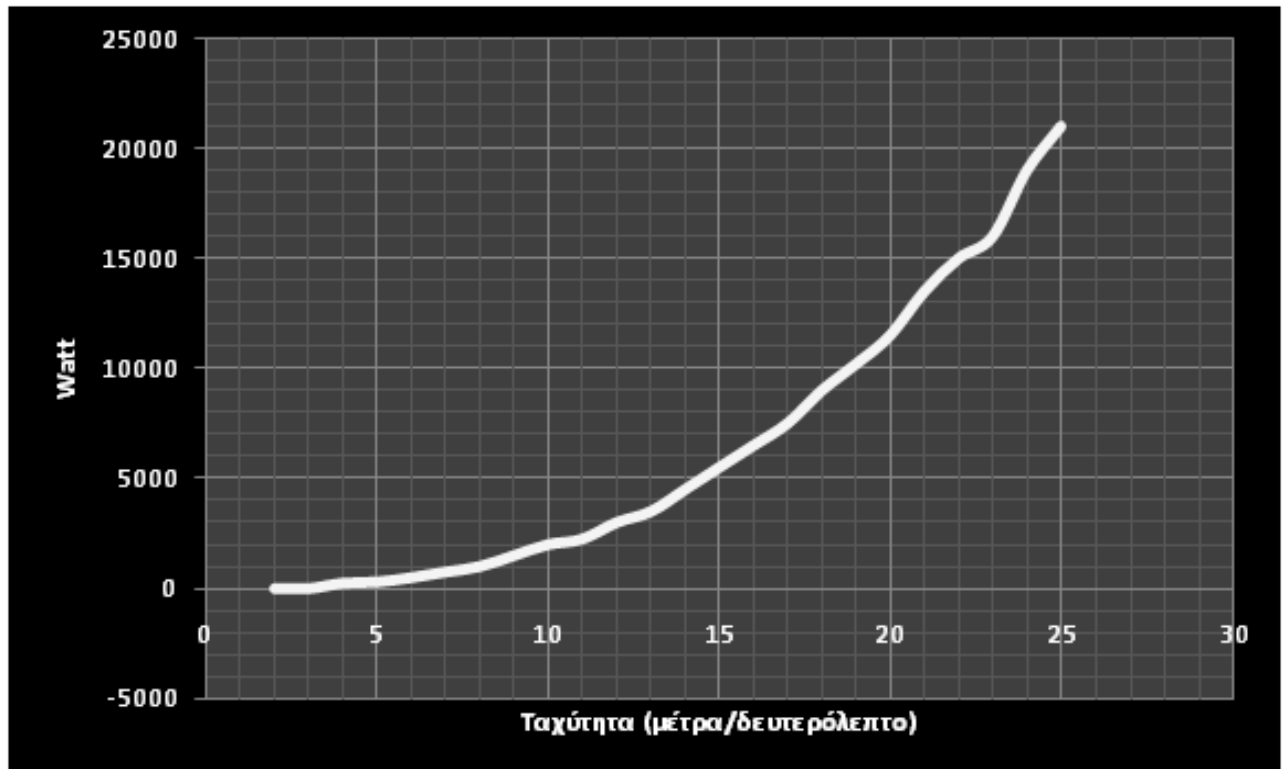
### 2.11 Ανεμογεννήτρια Τουρμπίνα



Η τεχνολογία ανεμογεννητριών άλλαξε και έφερε μαζί της τις νέες ανεμογεννήτριες με σχήμα τουρμπίνας.

Αυτές οι ανεμογεννήτριες είναι πολύ εύκολες στην κατασκευή και στην τοποθέτηση και παράγουν πολύ ενέργεια!

Μπορούν να παράγουν ηλεκτρισμό ακόμα και με μικρότερη ταχύτητα περιστροφής, σε σύγκριση με τις κλασσικές ανεμογεννήτριες. Παρακάτω παρατίθεται ένα σχεδιάγραμμα συσχέτισης ταχύτητας ανέμου με ισχύ:



Αυτή η νέα ανεμογεννήτρια έχει αρκετά πλεονεκτήματα:

- Απλή σχεδίαση και εύκολη κατασκευή
- Μπορεί να εγκατασταθεί σε οροφές κτηρίων
- Λειτουργεί απολύτως χωρίς δονήσεις
- Αντέχει σε ανέμους έως 200 km/h
- Ελάχιστη συντήρηση
- Υψηλή απόδοση
- Αρχίζει να λειτουργεί με ανέμους ταχύτητας 6.5 km/h
- Η εγκατάστασή της ολοκληρώνεται σε μία ημέρα
- Έχει διάρκεια ζωής 30 έτη

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>

### 3.1 Θαλάσσιες Ανεμογεννήτριες

Η αιολική ενέργεια έχει αναπτυχθεί ευρέως τα τελευταία χρόνια κάνοντάς τη μια περιβαλλοντικά «καθαρή» τεχνολογία, και οικονομικά ανταγωνιστική σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα. Μεγαλύτερη έρευνα έχει γίνει μέχρι τώρα για περιοχές στη ξηρά και μόλις τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη θάλασσα. Στην Ευρώπη σχεδιάζεται η εγκατάσταση περισσότερων ανεμογεννητριών μέσα στη θάλασσα για να γίνει η εκμετάλλευση των μεγαλύτερων τιμών ανέμου που πνέουν σε αυτή. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται δε διαφέρει από αυτή που έχει αναπτυχθεί στη ξηρά με λεπτομέρειες μόνο στο σχεδιασμό των θεμελίων και τη μεταφορά του ηλεκτρικού ρεύματος στη ξηρά με καλώδια υψηλής τάσης.



Αυτή τη στιγμή, η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στη θάλασσα είναι ακριβότερη από τη ξηρά ή και από τα ορυκτά καύσιμα. Το κόστος μειώνεται σε περιοχές που εμφανίζουν υψηλούς ανέμους. Την επόμενη δεκαετία αναμένεται να μειωθεί κατά 50% το κόστος που θα την κάνει ανταγωνιστική με τις ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στη ξηρά και με το φυσικό αέριο. Η ανάπτυξη σταθερής θεμελίωσης που θα



αντέχει στο σκληρό περιβάλλον της θάλασσας είναι η πρόκληση που καλείται να αντιμετωπιστεί διεθνώς. Πρόσφατα, η υπηρεσία ενέργειας της Δανίας, ανακάλυψε πως η χρήση ατσάλινιας θεμελίωσης μπορεί να μειώσει το κόστος κατά το ένα τρίτο απ' ό,τι η θεμελίωση με μπετόν, είναι πιο ελαφριά και μπορεί να μεταφερθεί πιο εύκολα. Το γεγονός αυτό θα έχει μεγάλη επίδραση στο συνολικό κόστος, μιας και το κόστος θεμελίωσης αντιπροσωπεύει το 23-30% όλης της επένδυσης.

### 3.2

### Εγκατάσταση

Η εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας στη θάλασσα μπορεί να γίνει είτε με την κατασκευή ατσάλινης θεμελίωσης που κατεβαίνει ως τον πυθμένα, είτε με την κατασκευή θεμελίων βαρύτητας. Τα θεμέλια βαρύτητας είναι κατασκευές από μπετόν και βρίσκονται μόνιμα κάτω από τη στάθμη της θάλασσας και επάνω σε αυτά τοποθετείται ο πύργος της ανεμογεννήτριας. Όλα τα θεμέλια προστατεύονται από τη διάβρωση που μπορεί να τους επιφέρει η επαφή με το θαλασσινό νερό, όπως ακριβώς και οι πετρελαϊκές πλατφόρμες.

Η εγκατάσταση μπορεί να γίνει και με πλατφόρμες που επιπλέουν, αλλά αποτελούν μια ακριβή λύση για τα σημερινά δεδομένα.

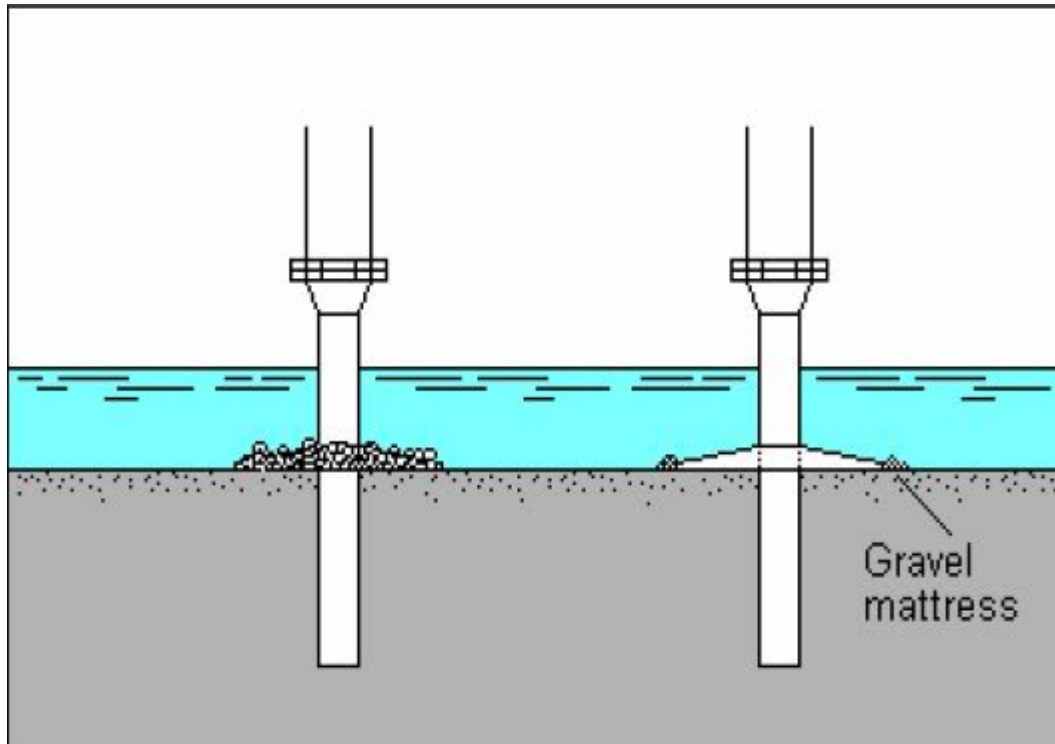
Η εγκατάσταση γίνεται με τη βοήθεια πλωτών εξέδρων και ειδικών πλοίων – φορτηγίδες – για τη μεταφορά υλικών από τη βάση του εργοταξίου που βρίσκεται στη ξηρά, στη θέση εγκατάστασης. Οι εργασίες κατασκευής ξεκινάνε στον πυθμένα της θάλασσας με τη θεμελίωση των στηριγμάτων του πύργου της ανεμογεννήτριας.



Η πλωτή εξέδρα που στήνεται για να γίνουν οι εργασίες της θεμελίωσης. Στην εικόνα φαίνεται και χώρος προσγήωσης ελικοπτέρων για περιπτώσεις ανάγκης γρήγορης μεταφοράς προσωπικού.



Η θεμελίωση του πύργου στον πυθμένα της θάλασσας. Στη θεμελίωση τοποθετείται και στρώμα χαλικιών.



Μεταφορά των χαλικιών από τη φορτηγίδα. Αφού πλησιάσει τον πύργο, ένα έμβολο απωθεί από το σκάφος τα χαλίκια και παρασύρονται στο βυθό.



Στη συνέχεια έξω από το νερό, εγκαθίστανται ο πύργος της ανεμογεννήτριας. Αφού ολοκληρωθεί η κατασκευή του που γίνεται με μικρά σωληνωτά τμήματα και όχι ενιαία, στη ξηρά συναρμολογείται το κέλυφος με 2 από τα 3 πτερύγια.



Το κέλυφος μεταφέρεται με ειδικά εξοπλισμένα πλοία που

διαθέτουν μηχανήματα ανύψωσης και στήνονται πάνω στον πύργο.



Ανύψωση του κελύφους και τοποθέτησή του στον πύργο. Διακρίνονται τα δύο πτερύγια που έχουν ήδη τοποθετηθεί στη ξηρά ενώ διακρίνεται και η θέση του τρίτου πτερυγίου στην πλήμνη.



Τοποθέτηση του τρίτου πτερυγίου στην πλήμνη



Εγκατάσταση καλωδίων σύνδεσης και προστατευτικών σημαντήρων



### 3.3 Μεταφορά ρεύματος

Η μεταφορά του ρεύματος γίνεται με υποθαλάσσια καλωδίωση σε έναν υποσταθμό που βρίσκεται στη ξηρά και από εκεί γίνεται η σύνδεση με το υπόλοιπο δίκτυο.

Η μεγαλύτερη ισχύς που μπορούν να παράγουν οι ανεμογεννήτριες στη θάλασσα είναι 3MW με τάσεις ανάπτυξης ως τα 5MW. Κάθε ανεμογεννήτρια καλύπτει ετήσιες ανάγκες για περίπου 2500οικίες, ενώ παράλληλα μειώνει την εκπομπή αέριου CO<sub>2</sub> κατά 50.000τόνους. Το ύψος μιας τέτοιας ανεμογεννήτριας κυμαίνεται στα 70m με μήκος πτερυγίων 50m.

### 3.4 Κόστος ενέργειας

Μέχρι τώρα το κόστος ενέργειας από ανεμογεννήτριες στη θάλασσα είναι 40% υψηλότερο απ' ότι στη ξηρά. Αυτό οφείλεται κυρίως στο υψηλό κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης στη θάλασσα καθώς επίσης και στην θεμελίωση. Όσο η τεχνολογία εξελίσσεται και αποκτάται περισσότερη εμπειρία, αναμένεται οι τιμές να μειωθούν όπως έγινε εξάλλου και με τις ανεμογεννήτριες στη ξηρά.

Μπορεί να υπάρξει και συνδυασμός ανεμογεννητριών και σταθμών παραγωγής ρεύματος μέσω παλίρροιας στη βάση μιας ανεμογεννήτριας. Οι τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται τη θάλασσα είναι σε νεότερο στάδιο απ' ότι η εκμετάλλευση του ανέμου και ένας συνδυασμός αυτή τη στιγμή δεν είναι εφικτός.

### 3.5 Διαφορές ξηράς και θαλάσσιων ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται στη θάλασσα βασίζονται στην ίδια τεχνολογία με αυτές στη ξηρά. Οι δύσκολες συνθήκες της θάλασσας έχουν ως αποτέλεσμα να γίνονται ειδικοί σχεδιασμοί κυρίως στα θεμέλια του πύργου και στο σύστημα ελέγχου.

Ο σχεδιασμός αυτός αφορά στην ενδυνάμωση του πύργου καθώς έρχεται σε επαφή με τον άνεμο και τα κύματα, στην προστασία των μερών του κιβωτίου από το θαλασσινό αέρα (θαλάσσιο σπρέι) και στην τοποθέτηση εμφανών στοιχείων για τη ναυσιπλοΐα και την προσέγγιση σε αυτή. Συνηθίζεται επίσης να βάφεται σε έντονο χρώμα το χαμηλότερο τμήμα της ώστε να αποφεύγονται ναυτικά ατυχήματα. Για τη νύχτα σημαίνονται με ερυθρό φανό ώστε να διασφαλίζεται η νυχτερινή ναυσιπλοΐα.

Στη σημερινή αγορά οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται στη θάλασσα δεν είναι τόσο διαδεδομένες όσο αυτές στη ξηρά, και εξαιτίας οικονομικών λόγων δεν επιτρέπεται ο σχεδιασμός ειδικών ανεμογεννητριών. Παράλληλα δεν παρουσιάζονται προβλήματα που θα είχε μια νέα κατασκευή, αρκετά σημαντικό καθώς στη θάλασσα η μεταφορά συνεργείου θα πρέπει να γίνει με πλοίο ή με ελικόπτερο που στοιχίζει αρκετά και εξαρτάται από τον καιρό.

Ο ειδικός σχεδιασμός που έχουν οι ανεμογεννήτριες στη θάλασσα αφορά επίσης και στο μέγεθος τους, όπως είναι το μέγεθος των πτερυγίων που σε ανεμογεννήτριες 4,5MW έχουν μήκος 120m.

### 3.6 Πλεονεκτήματα - Μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα των θαλάσσιων αιολικών: σε σχέση με την ξηρά, στη θάλασσα πνέουν εντονότεροι άνεμοι και επίσης, δεδομένου ότι η παραγόμενη ενέργεια μεταβάλλεται ανάλογα με τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου, εκτιμάται ότι κάθε θαλάσσια ανεμογεννήτρια



παράγει αρκετή ενέργεια σε έναν χρόνο, ώστε να καλύψει τις ανάγκες περίπου 1.500 νοικοκυριών, ενώ ταυτόχρονα περιορίζει κατά 35.000 τόνους την παραγωγή του διοξειδίου του άνθρακα. Αν συνυπολογιστεί και ο χρόνος ζωής της, που στη θάλασσα είναι μεγαλύτερος κατά 25 χρόνια, προκύπτει η μεγάλη σημασία της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας για την προστασία του περιβάλλοντος.

Στα μειονεκτήματά τους περιλαμβάνεται το υψηλότερο κόστος κατασκευής τους. Στη θάλασσα η κατασκευή του έργου στοιχίζει κατά 50% περισσότερο σε σχέση με ένα αιολικό πάρκο παρόμοιας ισχύος στην ξηρά, καθώς απαιτούνται μεγάλα κεφάλαια τόσο για την εγκατάστασή του (τοποθέτηση στον βυθό) όσο και για τη σύνδεσή του μέσω υποβρύχιου καλωδίου με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό σύστημα.

Οι ανεμογεννήτριες πρέπει να είναι ανθεκτικές σε θύελλες, στα πανύψηλα κύματα και στο αλμυρό νερό. Ακριβώς λόγω του κόστους, έχει προβλεφθεί υψηλότερη τιμή πώλησης του παραγόμενου ρεύματος προς τον ΔΕΣΜΗΕ, η οποία είναι 93 ευρώ/MWh. Στα ηπειρωτικά αιολικά πάρκα αυτή η τιμή είναι 75,82 ευρώ/MWh για όσα βρίσκονται στο διασυνδεδεμένο σύστημα και 87,42 ευρώ/MWh για όσα βρίσκονται σε νησιά.

### 3.7 Σκοπός της λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας

Η πρόκληση για μια ανεμογεννήτρια είναι να λειτουργήσει καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου ζωής της (20 χρόνια περίπου) με την ελάχιστη δυνατή συντήρηση. Ο πύργος και η θεμελίωση των ανεμογεννητριών στη θάλασσα, πρέπει να είναι ισχυρές κατασκευές ώστε να αντεπεξέρχονται στη δύναμη των θαλάσσιων κυμάτων. Στη ξηρά η θεμελίωση των ανεμογεννητριών γίνεται με μπετόν, ενώ στη θάλασσα η κατασκευή αποτελείται από μια κυλινδρική ατσάλινη κολόνα που φτάνει ως τον πυθμένα. Οι ατσάλινοι πύργοι είναι καλυμμένοι με ειδική μπογιά που θα διατηρηθεί για τα 20 χρόνια της λειτουργίας της

ανεμογεννήτριας. Κάτω από τη στάθμη της θάλασσας, η θεμελίωση προστατεύεται από συσκευές-μεγάλες μεταλλικές πλάκες από μαγνήσιο ή ψευδάργυρο, οι οποίες διαβρώνονται και προστατεύουν έτσι τη θεμελίωση. Το σύστημα εξαερισμού που ψύχει το κιβώτιο ταχυτήτων και τον ηλεκτρολογικό εξοπλισμό μέσα στη μηχανή σχεδιάζεται έτσι ώστε να ελαττώνει τις φθορές που προκαλεί το θαλασσινό νερό.

### 3.8

### Σύστημα

### ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου των ανεμογεννητριών που θεμελιώνονται στη θάλασσα είναι προσεκτικά σχεδιασμένο προκειμένου να αποφεύγονται έξοδα συντήρησης που αποτελούν σημαντικό κόστος σε μια τέτοια εγκατάσταση. Το σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο στο να ανιχνεύει βλάβες στον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό της ανεμογεννήτριας και να ενημερώνει έναν σταθμό παρακολούθησης που βρίσκεται στη ξηρά. Ο συνδυασμός της υψηλής τεχνολογίας συστημάτων ελέγχου με τη μεγάλη ισχύ των ανεμογεννητριών έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή «υψηλής ποιότητας» ηλεκτρικού ρεύματος που υπερκαλύπτει τις προϋποθέσεις του δικτύου. Αυτό είναι σημαντικό σε αγροτικές περιοχές και σε περιπτώσεις που η αιολική ενέργεια αποτελεί σημαντικό κομμάτι της συνολικής ηλεκτρικής ισχύος που δίνεται προς κατανάλωση. Όπως και με τις άλλες σχεδιαστικές παραμέτρους, οι βελτιώσεις στο σύστημα ελέγχου έχουν βοηθήσει και τις ανεμογεννήτριες της ξηράς.

Η καθημερινή λειτουργία ενός αιολικού πάρκου παρακολουθείται και ελέγχεται με τη χρήση ενός συστήματος εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA). Αυτό διασυνδέει όλα τα συστατικά μέρη (ανεμογεννήτριες, μετεωρολογικούς σταθμούς και υποσταθμούς) του αιολικού πάρκου σε έναν κεντρικό υπολογιστή που παρέχει τη δυνατότητα στο χειριστή να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία του αιολικού πάρκου. Το σύστημα παρέχει και αποθηκεύει πληροφορίες

σχετικά με τη λειτουργία του αιολικού πάρκου και έτσι μπορούν να εντοπιστούν αστοχίες ή προβλήματα λειτουργίας συγκεκριμένων ανεμογεννητριών.

Η διαδικασία συντήρησης των υπεράκτιων ανεμογεννητριών απαιτεί τεχνογνωσία παρόμοια με αυτή των χερσαίων ανεμογεννητριών λόγω του ότι χρησιμοποιούν παρόμοιες συνιστώσες. Ωστόσο, οι συνιστώσες είναι συνήθως μεγαλύτερου μεγέθους στην περίπτωση των υπεράκτιων ανεμογεννητριών.

Οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται έτσι ώστε να απαιτούνται περιοδικοί έλεγχοι μία έως τρεις φορές κατ' έτος. Για παράδειγμα στο αιολικό πάρκο του Horns Rev, στη Δανία, οι ανεμογεννήτριες σχεδιάστηκαν για δύο ετήσιες επισκέψεις συντήρησης. Οι περιοδικοί έλεγχοι συντήρησης διαφέρουν ανάλογα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και την τεχνολογία που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια.

Εξίσου σημαντική είναι και η έγκαιρη ανίχνευση βλάβης σε οποιοδήποτε σημείο του αιολικού πάρκου, έτσι ώστε οι εργασίες αποκατάστασης να προγραμματιστούν για τις ημέρες που οι καιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκές.

Στόχος πρέπει να είναι η μεγιστοποίηση του συντελεστή "MTBF" (μέσος όρος χρόνου μεταξύ βλαβών, mean time between failures). Η μη προγραμματισμένη συντήρηση που πραγματοποιείται στις βλάβες μπορεί να αυξήσει σημαντικά το κόστος συντήρησης, δηλαδή τις δαπάνες λειτουργίας και διαχείρισης, συνεπώς και το κόστος ανά κιλοβατώρα. Οι στρατηγικές και τα τεχνικά μέτρα που είναι κατάλληλα για το σκοπό αυτό έχουν ακόμα πολλά περιθώρια βελτίωσης στον τομέα της αιολικής ενέργειας. Περισσότερο φιλόδοξες ιδέες προβλέπουν τη χρήση συστήματος τηλε-ελέγχου. Εκφράζεται η ελπίδα ότι αυτή η τεχνολογία θα καταστήσει δυνατή τουλάχιστον την απλή συντήρηση και έλεγχο του πάρκου από την ξηρά.

### 3.9 Οι ανεμογεννήτριες του μέλλοντος



Δεδομένης της τεράστιας περιβαλλοντικής αξίας και προσφοράς της αιολικής ενέργειας, οι επιστήμονες και οι μηχανικοί ετοιμάζονται να υποδεχτούν τη νέα γενιά ανεμογεννητριών που δεν θα μοιάζουν σε τίποτα με τα μηχανήματα της εποχής μας. Πρόκειται για μια κολοσσιαία κατασκευή που σχεδιάζεται για να τοποθετηθεί στη θάλασσα, και μόλις ολοκληρωθεί θα αποτελεί ένα πραγματικό κατασκευαστικό θαύμα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>

### ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις για τις ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται στη θάλασσα μπορούν να χωριστούν σε τρεις κατηγορίες. Μια κατηγορία είναι οι επιπτώσεις από φυσική σκοπιά, μια δεύτερη κατηγορία οι βιολογικές επιπτώσεις και τέλος οι επιπτώσεις στις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Όσο αφορά τις επιπτώσεις στη φύση, αυτές επικεντρώνονται κυρίως στις επιπτώσεις που έχει η θεμελίωση και η καλωδίωση της ανεμογεννήτριας αλλά και του υποσταθμού στον θαλάσσιο πυθμένα. Για αυτές τις δραστηριότητες, έχουν γίνει υπολογιστικά μοντέλα και έχουν αξιολογήσει ότι και στο χειρότερο σενάριο που μπορεί να υπάρξει, η επίδραση στον πυθμένα είναι ελάχιστη σε σχέση με τις φυσικές μετακινήσεις που γίνονται. Καθώς γίνεται η θεμελίωση, καλύπτεται ένα μέρος του πυθμένα, αλλά ταυτόχρονα δημιουργείται νέος που χρησιμοποιείται από τους θαλάσσιους οργανισμούς για εγκατάσταση.

Η θεμελίωση θα επιδράσει και τα τοπικά θαλάσσια ρεύματα. Οι επιδράσεις αυτές είναι σε μικρή τοπική μόνο κλίμακα. Υπολογιστικά μοντέλα έχουν δείξει ότι η συνολική ταχύτητα των ρευμάτων μειώνεται περίπου στο 2% μετά την εγκατάσταση.

Τέλος, μια άλλη επίδραση στη φύση προέρχεται από τα ατυχήματα που μπορεί να συμβούν στο αιολικό πάρκο ή το σταθμό του. Από αυτά τα ατυχήματα μπορεί να διαρρεύσουν έλαια στο περιβάλλον από την καλωδίωση. Επίσης, κατά τη διάρκεια μεταφοράς υλικών με πλοία μπορεί να υπάρξει διαρροή πετρελαίου. Ακόμα και κατά την

αγκυροβολία αυτών των πλοίων, μπορεί να κοπούν τα υποθαλάσσια καλώδια με αποτέλεσμα να διαρρεύσουν έλαια. Στις περιπτώσεις αυτές, η επίδραση από ατυχήματα παραμένει περιορισμένη. Η πιθανότητα για τέτοια ατυχήματα είναι πολύ μικρή και η μόλυνση από έλαια ή πετρέλαιο δεν είναι βασική σε ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο.

Όσο αφορά τις βιολογικές επιδράσεις, ένα θαλάσσιο αιολικό πάρκο όπως ένα αντίστοιχο στη ξηρά επιδρά στους πληθυσμούς των πτηνών. Επιβάλλεται να γίνει λεπτομερής μελέτη ώστε να διαπιστωθεί ότι η περιοχή εγκατάστασης δεν είναι μεταναστευτικό πέρασμα πτηνών.

Οι βιοκοινωνίες που ζουν στον πυθμένα της θεμελίωσης επηρεάζονται αλλά σε μικρό ποσοστό. Η συνολική μείωση του ενδιαίτηματος επηρεάζει το 0,1% περίπου της πανίδας που ζει στον πυθμένα. Η θεμελίωση όμως δημιουργεί νέο υπόστρωμα και παρατηρήσεις έχουν δείξει ότι νέες κοινότητες χλωρίδας και πανίδας εγκαθίστανται.

Οι ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στη θάλασσα, μπορεί να επηρεάσουν τα ψάρια με διάφορους τρόπους. Όπως αναφέρθηκε πριν, η τροφή για τα ψάρια στην περιοχή δε θα μειωθεί. Εμπειρικά έχει διαπιστωθεί ότι είδη ψαριών που έλκονται από κατασκευές όπως είναι τα ναυάγια μπορεί να εμφανιστούν σε μεγαλύτερη κλίμακα στην περιοχή. Η θεμελίωση μπορεί να έλξει και τα ψάρια, χωρίς να είναι γνωστό το εύρος αυτής της επίδρασης. Ο υποθαλάσσιος θόρυβος από τις ανεμογεννήτριες και τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία των καλωδίων μπορεί να έχουν μια τοπική επίδραση στην κατανομή των ψαριών.

Σε έρευνες που έχουν γίνει σε εγκατεστημένα αιολικά πάρκα στη Βόρεια Θάλασσα, έχουν δείξει ότι φάλαινες που ζουν σε εκείνες τις περιοχές, αποφεύγουν να έρχονται σε επαφή με τις ανεμογεννήτριες. Παρόλα αυτά, οι έρευνες είναι ακόμα σε αρχικό στάδιο και πρέπει να υπάρξει κάποια εμπειρία ώστε να γίνει γνωστό αν επηρεάζονται θαλάσσιοι οργανισμοί.

Τέλος, όσο αφορά τις επιπτώσεις στους ανθρώπους έχουν να

κάνουν πρώτα με το θόρυβο και την οπτική όχληση. Τόσο ο θόρυβος όσο και η οπτική όχληση είναι σχεδόν ανύπαρκτα ζητήματα. Ο θόρυβος έχει μελετηθεί πως δεν ξεπερνά το 1χιλιόμετρο. Αυτό σημαίνει πως οι ανεμογεννήτριες δεν ακούγονται στη ξηρά. Η οπτική όχληση, επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες και την καθαρότητα της ατμόσφαιρας.

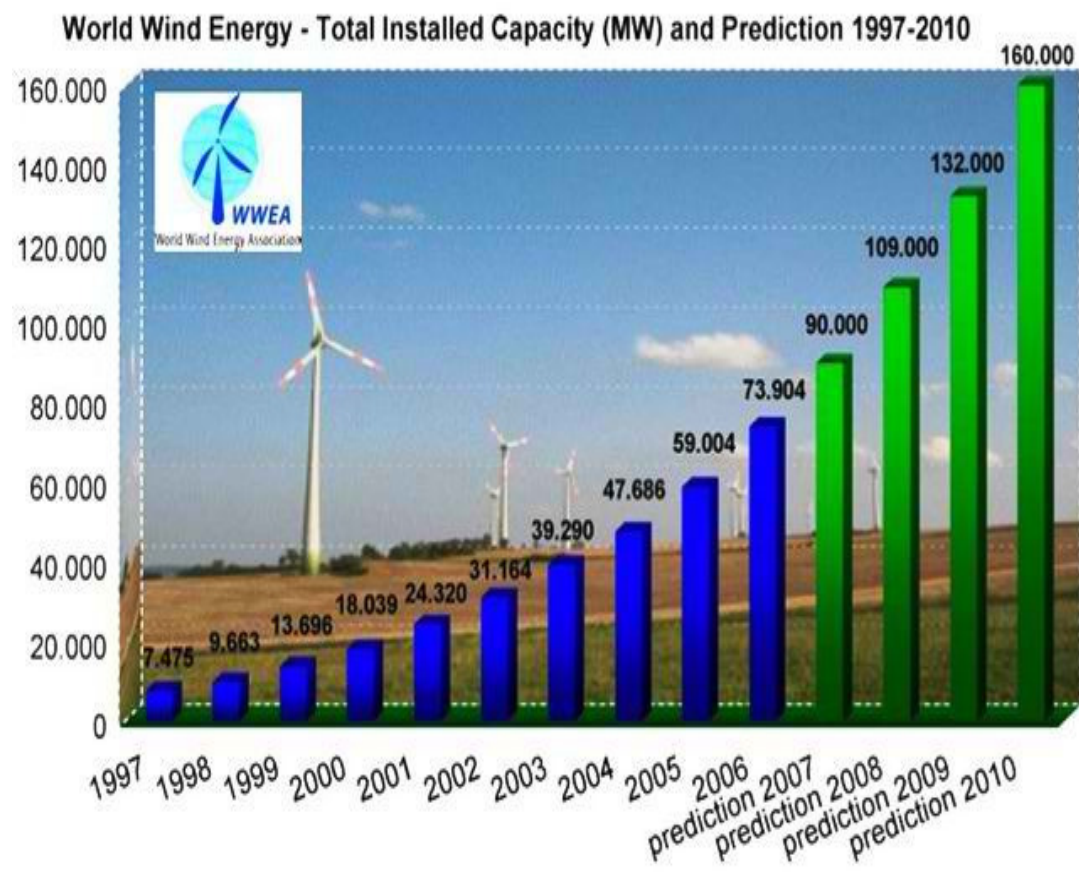
Σημαντική επίδραση θα έχουν οι αλιευτικές δραστηριότητες, καθώς στην περιοχή του πάρκου και σε γειτονικές περιοχές των υποθαλάσσιων καλωδίων απαγορεύονται οι τράτες. Πάντως η περιοχή που καταλαμβάνεται είναι περιορισμένη. Από την άλλη μεριά, καθώς ψάρια θα ακολουθήσουν τους οργανισμούς που θα εγκατασταθούν στα θεμέλια, μπορεί να αναπτυχθεί η αλιεία με δίχτυα.

Επίσης, δραστηριότητες που έχουν να κάνουν με την εξαγωγή από τον πυθμένα άμμου και χαλικιών δεν επηρεάζονται καθώς η χωροθέτηση του πάρκου λαμβάνει όλες αυτές τις δραστηριότητες υπ' όψη. Τέλος, χωροθέτηση εξετάζει και την περίπτωση να μην εγκατασταθεί το πάρκο σε περιοχές με ναυάγια και σημεία ιδιαίτερου αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Από την άλλη κατά τις εργασίες κατασκευής, μπορεί να ανακαλυφθούν αρχαιολογικά ευρήματα.

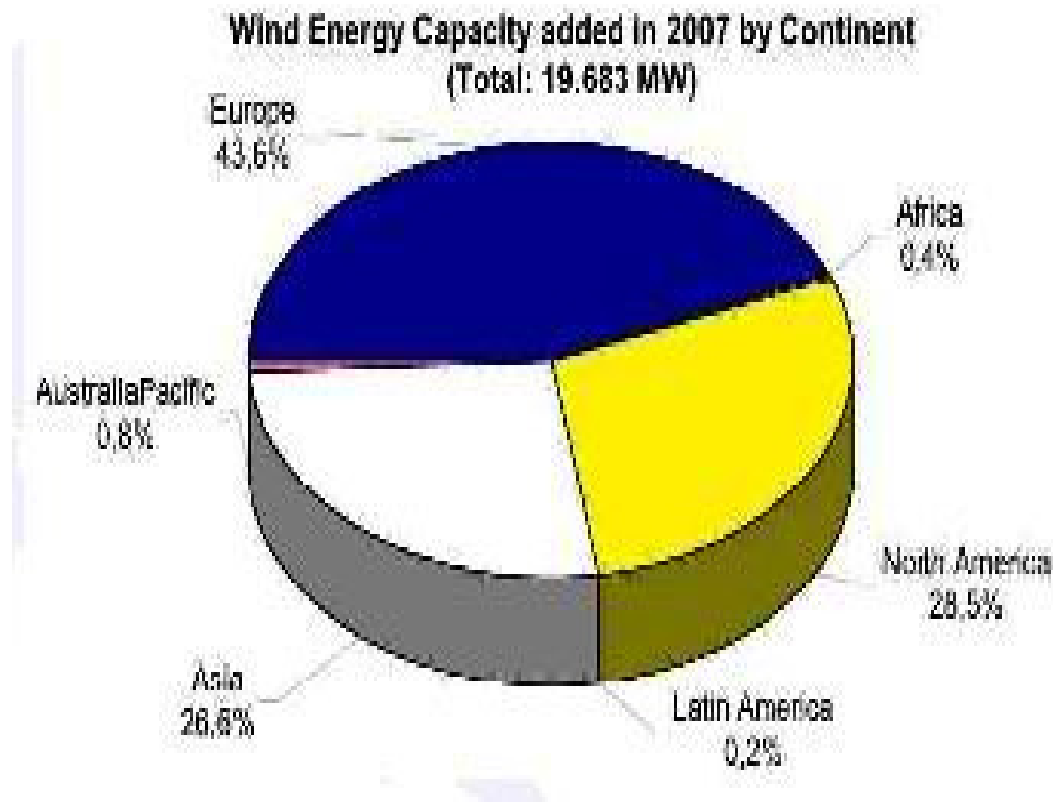
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>

### ΜΕΛΕΤΕΣ ΓΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η αιολική ενέργεια γνωρίζει εκρηκτική ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια. Μια εικόνα της ανάπτυξης παγκοσμίως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.

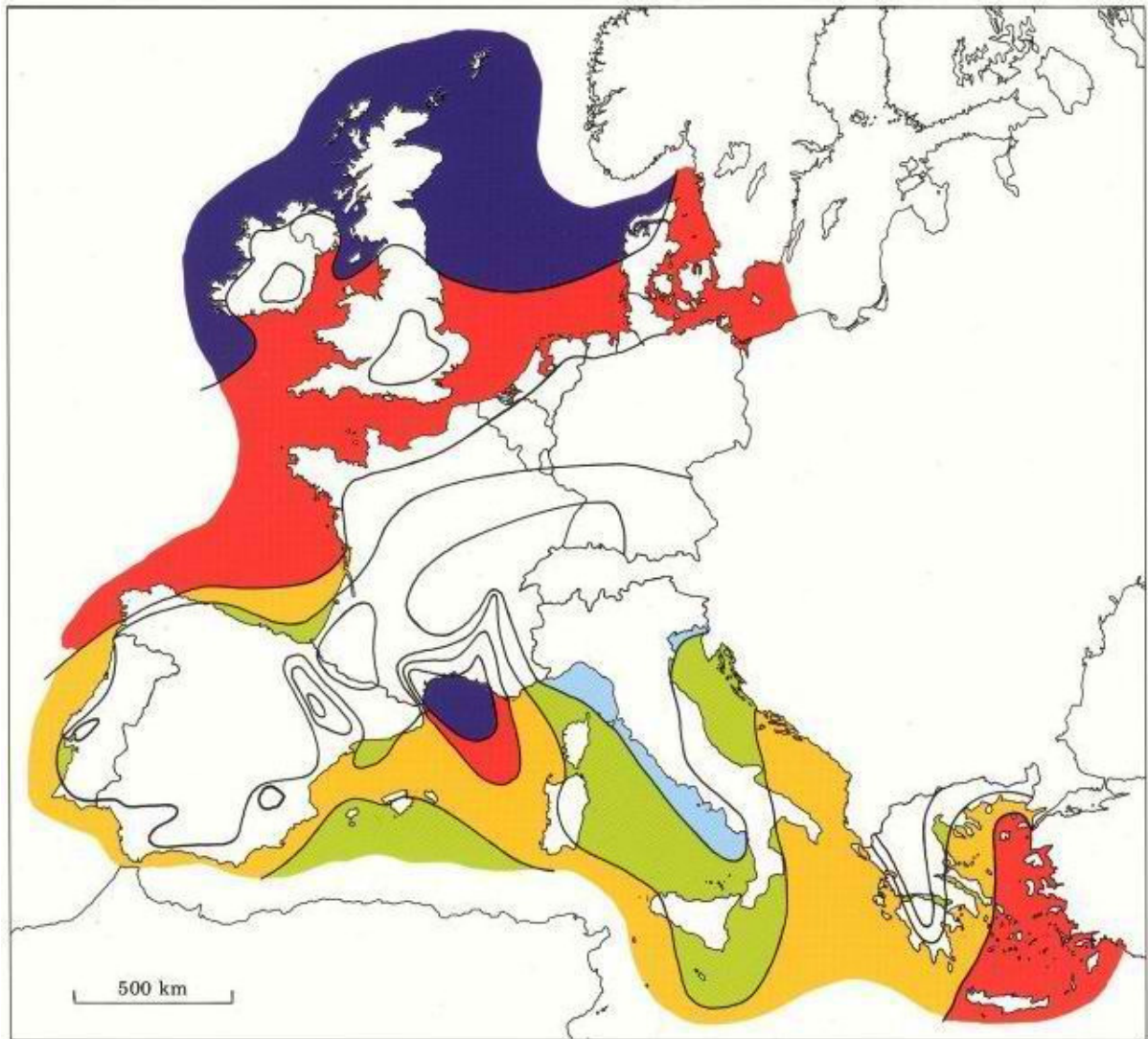






Η Ελλάδα είναι μια χώρα προικισμένη με έντονο αιολικό δυναμικό, προς το παρόν αναξιοποίητο. Αν και είναι ευρέως γνωστά τα ηπειρωτικά αιολικά πάρκα, μεγάλες προοπτικές ανάπτυξης παρουσιάζουν και τα θαλάσσια αιολικά πάρκα.

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα μπορούν να προσφέρουν πάρα πολλά στον ενεργειακό τομέα. Στον παρακάτω χάρτη φαίνεται το αιολικό δυναμικό στις θαλάσσιες περιοχές της Ευρώπης και όπως φαίνεται ξεκάθαρα, το Αιγαίο προσφέρει συγκριτικό πλεονέκτημα για τέτοιου είδους επενδύσεις.



**Wind resources over open sea (more than 10 km offshore) for five standard heights**

	10 m		25 m		50 m		100 m		200 m	
	$ms^{-1}$	$Wm^{-2}$	$ms^{-1}$	$Wm^{-2}$	$ms^{-1}$	$Wm^{-2}$	$ms^{-1}$	$Wm^{-2}$	$ms^{-1}$	$Wm^{-2}$
Dark Blue	> 8.0	> 600	> 8.5	> 700	> 9.0	> 800	> 10.0	> 1100	> 11.0	> 1500
Red	7.0-8.0	350-600	7.5-8.5	450-700	8.0-9.0	600-800	8.5-10.0	650-1100	9.5-11.0	900-1500
Orange	6.0-7.0	250-300	6.5-7.5	300-450	7.0-8.0	400-600	7.5- 8.5	450- 650	8.0- 9.5	600- 900
Light Green	4.5-6.0	100-250	5.0-6.5	150-300	5.5-7.0	200-400	6.0- 7.5	250- 450	6.5- 8.0	300- 600
Blue	< 4.5	< 100	< 5.0	< 150	< 5.5	< 200	< 6.0	< 250	< 6.5	< 300

Μελέτη του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου για τα θαλάσσια αιολικά πάρκα

Ενεργειακή μελέτη για την Ελλάδα έδειξε ότι η χώρα μας μπορεί να καλύψει με 500 μεγάλες ανεμογεννήτριες τουλάχιστον το 10% των ενεργειακών αναγκών της, ενώ τα νησιά του Αιγαίου, τα οποία έχουν πολύ υψηλό δυναμικό, εάν διασυνδεθούν με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο μπορούν να αποτελέσουν αιολικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αντίστοιχους με τους θερμοηλεκτρικούς της ενδοχώρας.

Ωστόσο, υπολείπονται σήμερα σε αριθμό και δυναμικό αιολικών πάρκων.

Ως καταλληλότερες περιοχές για δημιουργία θαλάσσιων αιολικών πάρκων είναι οι Κυκλάδες, το Βόρειο Αιγαίο, η Νότια Κρήτη, το Βόρειο Ιόνιο καθώς και το νοτιοανατολικό τμήμα των Δωδεκανήσων.

Η ορθή χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου εντός θαλάσσης, προϋποθέτει την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών σε μακρινή απόσταση από την ακτογραμμή και σε μικρά βάθη θαλάσσης, με διάφορα κριτήρια αλλά βασικότερο όλων προφανώς είναι η οικονομικότητα (κόστος κατασκευής, συντηρήσεως κτλ).

Η οργανωμένη και συστηματική εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού εκτός από τα πρωτεύοντα αποτελέσματα θα αποδώσει μεγάλα οφέλη δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας, αποκεντρωμένη ανάπτυξη, σημαντική απεξάρτηση από τα εισαγόμενα καύσιμα αλλά και ανάπτυξη της τεχνογνωσίας, της τεχνολογίας και της κατασκευαστικής δραστηριότητας σε διάφορους κλάδους.

Το Υπουργείο Ανάπτυξης έχει ήδη διαμορφώσει όλο εκείνο το νομοθετικό πλαίσιο που είναι απαραίτητο για την οργάνωση της εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού ενώ παράλληλα συνεχίζει να μελετά τους τρόπους για την όσο το δυνατόν καλύτερη και αποδοτικότερη αξιοποίηση του δυναμικού που υπάρχει.

Στο πλαίσιο αυτών των προσπαθειών, και μέσα από το Δεύτερο Κοινοτικό Πρόγραμμα Στήριξης (2<sup>ο</sup> ΚΠΣ), διατέθηκαν πόροι ύψους σχεδόν 18 δισεκατομμυρίων για τη συγχρηματοδότηση 18 νέων αιολικών πάρκων από τα οποία τα 14 είναι ήδη έτοιμα και λειτουργούν κανονικά ενώ στα υπόλοιπα έχουν ξεκινήσει ήδη οι εργασίες και βρίσκονται υπό κατασκευή.

Παράλληλα, και προκειμένου να γίνει πιο αποδοτική η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού της χώρας μας, στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος του ΥΠΑΝ το ΚΑΠΕ προσδιόρισε με επιτυχία το τεχνικά και οικονομικά εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό για

το σύνολο της ελληνικής επικράτειας, χρησιμοποιώντας έναν ολοκληρωμένο μηχανισμό μετρήσεων και υπολογιστικών εργαλείων, βασισμένο στην πολυετή ερευνητική και τεχνική εμπειρία του. Συγκεκριμένα, η λεπτομερής αποτίμηση του αιολικού δυναμικού σε όλη τη χώρα πραγματοποιήθηκε μέσω ενός δικτύου 100 και πλέον μετρητικών σταθμών και της χρήσης σύγχρονων υπολογιστικών συστημάτων διαχείρισης των πληροφοριών και επεξεργασίας τους. Δημιουργήθηκε έτσι ο εθνικός χάρτης του αιολικού δυναμικού της χώρας μας, μια λεπτομερής καταγραφή του αιολικού δυναμικού για κάθε περιοχή της Ελλάδας ο οποίος βοηθά αφενός μεν τους επενδυτές να επιλέξουν τις καταλληλότερες περιοχές για την εγκατάσταση νέων αιολικών πάρκων αφετέρου δε το Υπουργείο Ανάπτυξης στη χάραξη της πολιτικής του και αφού συνεκτιμηθούν όλα τα τεχνικά και οικονομικά στοιχεία, με γνώμονα το τοπικό το περιφερειακό και το εθνικό συμφέρον.

Το βασικό συμπέρασμα που προκύπτει από τις μετρήσεις και τις αναλύσεις είναι ότι οι περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό εντοπίζονται στις περιοχές που έχουν ήδη αναγνωριστεί δηλαδή τα νησιά του Αιγαίου, τη Νότια Εύβοια, την Ανατολική Πελοπόννησο και την Ανατολική Θράκη. Όσον αφορά το σύνολο της υπόλοιπης χώρας υπάρχουν σε περιορισμένη κλίμακα θέσεις όπου, λόγω τοπικών συνθηκών επιτάχυνσης, δίδεται η δυνατότητα αξιοποίησης των θέσεων αυτών για αιολικές εφαρμογές.

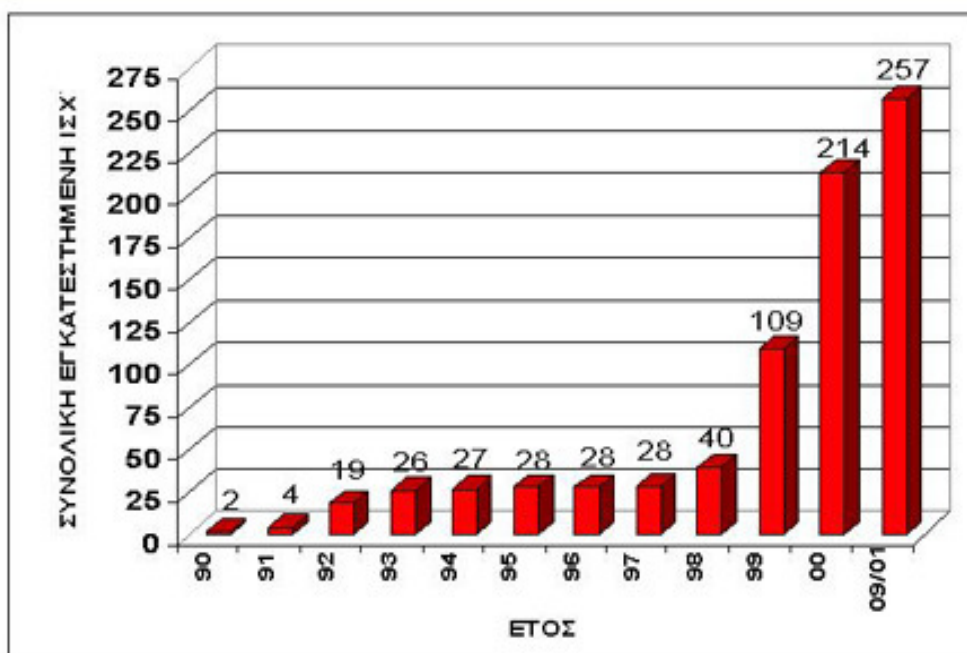
Σήμερα, στο σύνολο της χώρας, είναι εγκατεστημένα και λειτουργούν περίπου 300 MW. Οι μελλοντικές προοπτικές για την ελληνική αγορά αιολικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα ευοίωνες αν αναλογιστεί κανείς το γεγονός ότι μεγάλο μέρος της ηλεκτροπαραγωγής που θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θα προκύψει από την αιολική ενέργεια. Ήδη δρομολογείται η συγχρηματοδότηση έργων συνολικού προϋπολογισμού ύψους 220 δισεκατομμυρίων

δραχμών (645.000.000€) για την ανάπτυξη νέων αιολικών πάρκων, από το Τρίτο Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης.

Από τεχνικής πλευράς η περαιτέρω ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι εφικτή στο βαθμό που θα ξεπεραστεί το βασικό τεχνικό πρόβλημα των ασθενών ηλεκτρικών δικτύων κυρίως στις περιοχές που διαθέτουν το κατάλληλο αιολικό δυναμικό.

Ο τύπος και τα μεγέθη των ανεμογεννητριών που εγκαθίστανται στην Ελλάδα, ακολουθούν μέχρι στιγμής τις διεθνείς εξελίξεις και είναι κυρίως εισαγωγής από Ευρωπαϊκές χώρες. Ωστόσο, υπάρχει μια σημαντική προστιθέμενη αξία από Ελληνικές κατασκευαστικές επιχειρήσεις τόσο για την κατασκευή επιμέρους τμημάτων των ανεμογεννητριών όσο και για την εγκατάσταση και τη δημιουργία της κατάλληλης υποδομής για τη λειτουργία τους. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί ότι η Ελληνική Βιομηχανία είναι αναγκαίο να συνεισφέρει και να δημιουργήσει νέες τεχνολογίες ώστε η Ελληνική προστιθέμενη αξία να γίνει ακόμα μεγαλύτερη.

## Εξέλιξη της Ανάπτυξης των Αιολικών στην Ελλάδα



Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο πλήθος νησιών. Ως εκ τούτου, οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν κυρίως στις νησιωτικές και παράλιες περιοχές προσδίδουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη χώρα. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας. Ενέργειες για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας έχουν γίνει σε ολόκληρη τη χώρα, ενώ στο γεγονός αυτό έχει συμβάλλει και η πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τις ΑΠΕ, η οποία ενθαρρύνει και επιδοτεί επενδύσεις στις Ήπιες μορφές ενέργειας. Αλλά και σε εθνική κλίμακα, ο νέος αναπτυξιακός νόμος 3299/04, σε συνδυασμό με το νόμο για της ανανεώσιμες πηγές ενέργειας 3468/06, παρέχει ισχυρότητα κίνητρα ακόμα και για επενδύσεις μικρής κλίμακας. Η περιφέρεια της Δυτικής Ελλάδας αν και έχει μικρότερο αιολικό δυναμικό σε σύγκριση με άλλες περιοχές, διαθέτει ένα ισχυρό ηλεκτρικό δίκτυο και το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ύπαρξη ανεμωδών «νησιδων» (λόφοι, υψώματα κλπ. με εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό) την καθιστούν ενδιαφέρουσα για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων. Αιολικά πάρκα υπάρχουν και σε πλήθος νησιών, όπως το Αιολικό Πάρκο «Μανολάτη - Ξερολίμπα» του Δ.Δ. Διλινάτων Δήμου Αργοστολίου στην Κεφαλονιά. Στο ίδιο νησί έχει ήδη δρομολογηθεί η δημιουργία δυο ακόμη αιολικών πάρκων, στα πλαίσια του μελλοντικού σχεδιασμού ΑΠΕ στο Νομό Κεφαλληνίας: το Αιολικό Πάρκο στο όρος "Αγία Δυνατή" του Δήμου Πυλαρέων, και το Αιολικό Πάρκο στη θέση "Ημεροβίγλι" στα διοικητικά όρια των Δήμων Αργοστολίου και Πυλαρέων. Όταν ολοκληρωθεί η εγκατάσταση των δυο νέων πάρκων, και σε συνδυασμό με το υφιστάμενο, ο Νομός Κεφαλληνίας θα τροφοδοτεί το δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας με σύνολο 70,8 MW ηλεκτρικής ισχύος από τα αιολικά της πάρκα.

Επιπλέον, σε διαδικασία αδειοδότησης βρίσκονται πέντε ακόμη μονάδες. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική

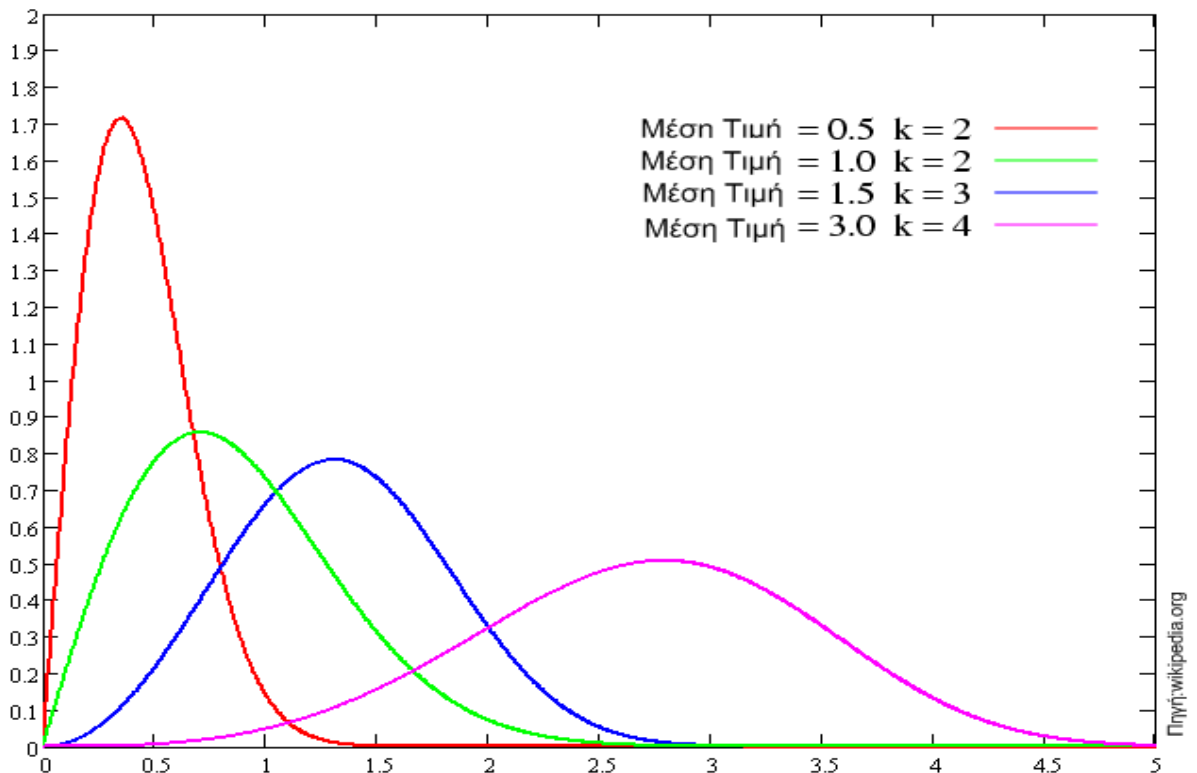
ενέργεια και σε περίοδο αιχμής (Αύγουστος) ανέρχονται σε 50MW. Η αντιστοιχία μεταξύ της ισχύος που αποδίδει η Κεφαλονιά στο δίκτυο και της ισχύος που καταναλώνει είναι εξαιρετικά ενθαρρυντική για την εξάπλωση της αιολικής ενέργειας και σε πολλά ακόμη νησιά της επικράτειας.

Πόση ενέργεια μπορεί να παράγει μια μικρή ανεμογεννήτρια σε μια δεδομένη περιοχή; Αυτό είναι ένα ερώτημα που πρέπει να απαντήσει κανείς πριν περάσει στην αγορά της.

Όμως αντίθετα με την περίπτωση των φωτοβολταϊκών όπου η ονομαστική τους ισχύ μας δίνει μια εικόνα της δυνατότητας παραγωγής ενέργειας, η ονομαστική ισχύ μιας ανεμογεννήτριας πολύ λίγα μας πληροφορεί για τη μέση ετήσια παραγόμενη ενέργεια .

Για τον προσδιορισμό του ΑΕΡ χρειαζόμαστε:

- την καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας από τον κατασκευαστή
- ετήσιες μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου με ανεμόμετρο στο χώρο τοποθέτησης της ανεμογεννήτριας



Μετρώντας την ταχύτητα του ανέμου σε εύρος ενός χρόνου παρατηρούμε ότι πολύ ισχυροί άνεμοι είναι σπάνιοι, ενώ μέτριοι ή ασθενείς άνεμοι είναι πολύ συχνότεροι. Η ταχύτητα του ανέμου ακολουθεί συχνά την κατανομή Weibull, που μπορεί να ορισθεί από τη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου και από μια παράμετρο (παράμετρος μορφής)  $k$ . Ειδικά για την περίπτωση που η παράμετρος  $k$  είναι ίση με 2, η κατανομή Weibull ταυτίζεται με την κατανομή Rayleigh.

Στην περίπτωση που οι μετρήσεις αυτές δεν είναι διαθέσιμες μπορούμε να πάρουμε μια πρώτη εκτίμηση χρησιμοποιώντας χάρτες αιολικού δυναμικού.

Γνωρίζοντας την κατανομή ισχύος της ανεμογεννήτριας και τη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου μπορούμε τώρα να υπολογίσουμε την αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας χρησιμοποιώντας το ελεύθερο λογισμικό Wasp Turbine Editor .

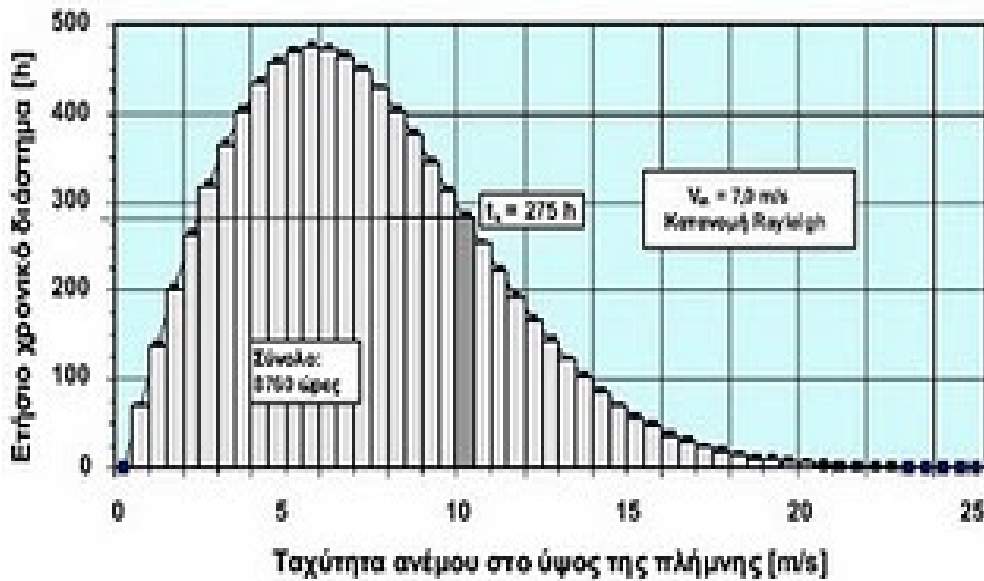


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>

### 6.1 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.

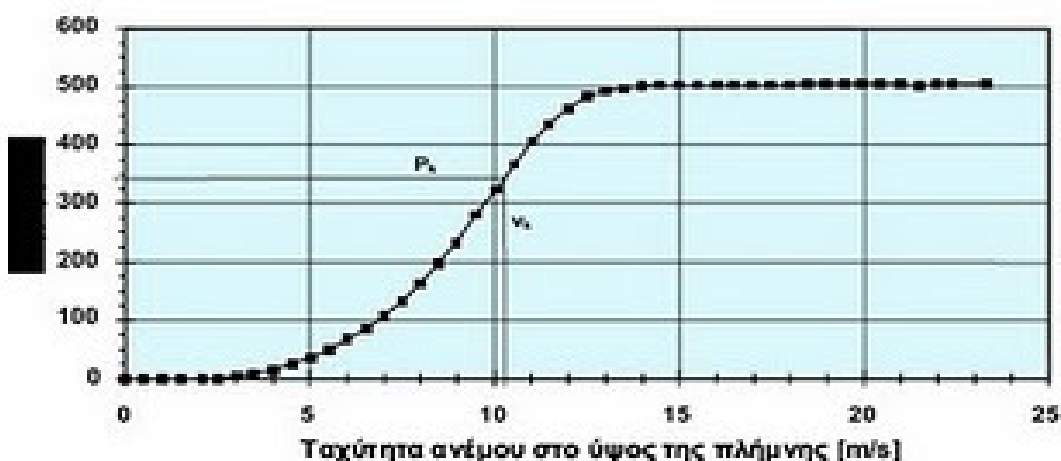
Η ένταση του αιολικού πόρου περιγράφεται ποσοτικά από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου. Η καμπύλη ισχύος μιας Α/Γ αποτελεί την ποσοτική συσχέτιση μεταξύ της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος και της προσπίπτουσας ταχύτητας του ανέμου. Οι δύο αυτές συναρτήσεις μαζί καθορίζουν την ετήσια ενεργειακή παραγωγή (ΕΕΠ) , και τόσο αυτές όσο και η μεταξύ τους συσχέτιση επεξηγούνται στα επόμενα. Στη γραφική παράσταση του παρακάτω σχήματος παρουσιάζεται η διακριτή εκδοχή μιας υποθετικής / μετρημένης κατανομής της ταχύτητας του ανέμου στη θέση εγκατάστασης της Α/Γ.

Η συνάρτηση κατανομής της ταχύτητας του ανέμου  $F(v) \cdot \Delta v$  παρέχει τον αριθμό των ωρών ανά έτος που η ταχύτητα του ανέμου κείται μέσα στο διάστημα της ταχύτητας του ανέμου ή ζώνη πλάτους  $\Delta v$ , μεταξύ των τιμών  $v$  και  $v + \Delta v$  (για το σχήμα  $\Delta v = 0,5 \text{ m/s}$ ). Ο δείκτης  $k$  καθορίζει τις ζώνες της ταχύτητας του ανέμου. Έτσι, η ζώνη  $k=21$  αντιστοιχεί στη ζώνη που οριοθετεί το φάσμα από 10 έως 10,5 m/s, με μέση ταχύτητα  $v_k = 10,25 \text{ m/s}$ . Το ύψος της ράβδου για  $k=21$  υποδηλώνει ότι η ταχύτητα του ανέμου κείται μέσα σ' αυτό το διάστημα για περίπου 275 ώρες/έτος. Το άθροισμα όλων των ράβδων είναι 8.760 ώρες (αριθμός ωρών σ' ένα έτος).



Σχήμα: Ιστογράμμο της ετήσιας ταχύτητας του ανέμου ( $v_k=10,25 \text{ m/s}$ ,  $t_k=275$ ) h)

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται η καμπύλη ισχύος για μία υποθετική Α/Γ 500 kW στην τυπική πυκνότητα του αέρα ( $1,225 \text{ kg/m}^3$ ). Η καμπύλη ισχύος  $P(v)$  είναι η συνεχής συνάρτηση που προσδιορίζει την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος της ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου. Η διακριτή εκδοχή, που αντιστοιχεί στα μικρά τετραγωνικά σύμβολα, υποδηλώνεται με το  $P_k$  όπου ο ακέραιος δείκτης  $k$  είναι ο ίδιος με αυτόν που χρησιμοποιείται για την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου.



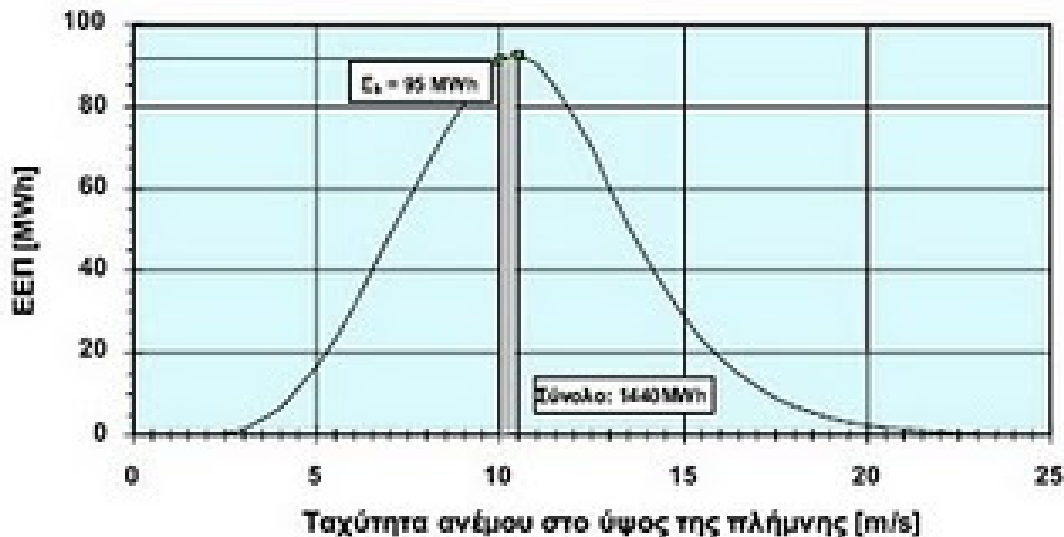
Σχήμα: Καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας 500 kW ( $P_k=345 \text{ kW}$ ,  $v_k=10,25$  m/s)

Οι δύο αυτές συναρτήσεις, δηλ. η κατανομή συχνότητας της

ταχύτητας του ανέμου και η καμπύλη ισχύος της Α/Γ, όταν πολλαπλασιαστούν μεταξύ τους και αθροιστούν για όλες τις ταχύτητες του ανέμου (όλες τις τιμές του δείκτη k) παρέχουν μια εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής

$$ΕΕΠ = (\text{ώρες/έτος}) \cdot \Delta v \cdot \sum_{k=1}^N (F_k \cdot P_k) = (8760 \text{ ώρες/έτος}) \cdot (0,5 \text{ m/s}) \cdot \sum_{k=1}^N (F_k \cdot P_k)$$

όπου N είναι ο συνολικός αριθμός των ζωνών. Η σχέση μπορεί να εφαρμοσθεί για να εκτιμηθεί η ετήσια ενεργειακή παραγωγή (σε Wh/έτος) η οποία αναμένεται από την Α/Γ με μια συγκεκριμένη καμπύλη ισχύος που λειτουργεί στο καθεστώς ανέμου που περιγράφεται από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου.



Σχήμα: Παράδειγμα της εκτιμώμενης ενέργειας στη ζώνη k (Ek=95 MWh)

## 6.2. Ο συντελεστής δυναμικού ως μέτρο της ενεργειακής παραγωγής

Ο συντελεστής δυναμικού CF<sub>yr</sub>, (για ένα έτος) είναι ένα μέτρο της ετήσιας απόδοσης ενεργειακής παραγωγής της γεννήτριας. Ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής (ή εκτιμώμενης) παραχθείσας ενέργειας προς την ενέργεια που θα παραγόταν εάν η ανεμογεννήτρια λειτουργούσε κάθε ώρα του έτους σε πλήρη ονομαστική ισχύ:

$CF_{yr} = \text{Παραγωγή Ενέργειας/έτος} / \text{Ονομαστική Ισχύς} * 8760 \text{ ώρες/έτος}$

Οι τιμές του συντελεστή δυναμικού κυμαίνονται εξ ορισμού από 0 έως 100%. Στις πιο αποδοτικές αιολικές εγκαταστάσεις διεθνώς έχουν επιτευχθεί τιμές του συντελεστή δυναμικού από 24 έως 30%, με 28% να αντιστοιχεί σε μια αρκετά καλή μονάδα.

Για παράδειγμα, εάν ένα αιολικό σύστημα 100 MW παράγαγε 245 εκατομ. kWh κατά τη διάρκεια ενός ορισμένου έτους, ο αντίστοιχος συντελεστής δυναμικού θα ήταν:

$$CF_{yr} = 245 * 1000000 \text{ kWh} / 100 \text{ MWh} * 8760 \text{ ώρες} = 0.28$$

Αντίστοιχα, η εξίσωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η ετήσια ενεργειακή παραγωγή μίας υποθετικής ανεμογεννήτριας 500 kW που λειτουργεί με ένα συντελεστή δυναμικού 0,28. Το αποτέλεσμα τότε είναι  $1,226 * 1000000 \text{ kWh/έτος}$ . Όταν εξετάζονται οι τιμές CF των αιολικών συστημάτων πρέπει να εξακριβώνεται η περίοδος αναφοράς. Αυτή είναι συνήθως ένα έτος, αλλά συντελεστές δυναμικού μπορεί να καθορίζονται και για ένα μήνα.

Εάν σ' αυτόν τον μήνα υφίστανται πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου, τότε η αντίστοιχη τιμή του CF μπορεί να είναι παραπλανητική εάν εκληφθεί ως μέση ετήσια τιμή. Από την άλλη, πρέπει να αναφερθεί ότι οι συμβατικές πηγές είναι κι αυτές διακοπτόμενες κατά διαφορετικό τρόπο, δεδομένου ότι υπόκεινται σε διάφορους τύπους διακοπών λειτουργίας, πχ λόγω συντήρησης, δυσλειτουργιών, κλπ. Οι συντελεστές δυναμικού των συμβατικών συστημάτων ισχύος είναι σημαντικά μεγαλύτεροι από αυτούς των ανεμογενητριών/αιολικών πάρκων με τυπικές τιμές μεταξύ 60 και 70%, ανάλογα με τον τύπο της εγκατάστασης, την ηλικία της και άλλους παράγοντες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αύξηση του πληθυσμού της γης, αλλά και η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου, έχουν οδηγήσει σε ραγδαία αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Οι συνεχώς αυξανόμενες καταναλωτικές ανάγκες έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση των εγκατεστημένων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής που αξιοποιούν κυρίως ορυκτά καύσιμα με συμβατικές μεθόδους. Η εντατικοποίηση της χρήσης καυσίμων όπως το πετρέλαιο και ο άνθρακας οδήγησαν σε ιδιαίτερα μεγάλη περιβαλλοντική επιβάρυνση, καθώς οι τομείς της ηλεκτροπαραγωγής και των μεταφορών θεωρούνται οι πλέον επιβαρυντικοί για το περιβάλλον. Για το λόγο αυτό η διεθνής ερευνητική κοινότητα και η ενεργειακή βιομηχανία έχουν στρέψει το ενδιαφέρον τους αφενός σε σύγχρονες "καθαρές" τεχνολογίες παραγωγής με βελτιωμένη ενεργειακά και περιβαλλοντικά απόδοση, όπως π.χ. οι "καθαρές" τεχνολογίες άνθρακα, και αφετέρου στην αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ).

Οι ΑΠΕ αποτελούν τις πλέον περιβαλλοντικά καθαρές τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας και προς το παρόν η χρήση τους διαφαίνεται ότι έχει τη δυναμική να περιορίσει δραστικά τα αυξημένα περιβαλλοντικά προβλήματα. Αν και έχουν γίνει σημαντικά τεχνολογικά βήματα, η εφαρμογή των Α.Π.Ε βρίσκεται σε αρχικό ακόμη στάδιο. Η εκμετάλλευση του ήλιου, του ανέμου, του νερού, της γεωθερμίας και της βιομάζας, που αποτελούν πηγές ενέργειας φιλικές προς το περιβάλλον, μπορούν και πρέπει να γίνουν οικονομικά εκμεταλλεύσιμες ώστε να συμβάλλουν στην αειφόρο ανάπτυξη, εφόσον είναι ανανεώσιμες και ρυπαίνουν ελάχιστα ή καθόλου.

Στη χώρα μας υπάρχει η δυνατότητα σημαντικής αξιοποίησης των ΑΠΕ, καθώς έχουμε σημαντική ηλιοφάνεια, υπάρχει το κατάλληλο

αιολικό δυναμικό, ιδιαίτερα στα νησιά, αξιοποιήσιμο υδάτινο δυναμικό στις ορεινές περιοχές, σημαντικές ποσότητες βιομάζας σε όλη την επικράτεια που δεν αξιοποιούνται συστηματικά, και αρκετός αριθμός γεωθερμικών πεδίων των οποίων η ενεργειακή αξιοποίηση δεν είναι αντίστοιχη της δυναμικότητάς τους.

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η ανομοιομορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων αέριων μαζών από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Αν υπήρχε η τεχνολογική δυνατότητα να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο χρονικό διάστημα. Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης και σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας που ξεπερνά τα 5.1 m/sec. Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, όταν η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά αυτήν την τιμή το αιολικό δυναμικό ενός τόπου θεωρείται ενεργειακά εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες. Άλλωστε, το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την πρώτη περίοδο ωριμότητάς της, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας (ΚΑΠΕ, 1998).

Η χώρα διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό και η αξιοποίησή του μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην αειφόρο ανάπτυξή της.

Στην Ευρώπη σχεδιάζεται η εγκατάσταση περισσότερων ανεμογεννητριών μέσα στη θάλασσα για να γίνει η εκμετάλλευση των μεγαλύτερων τιμών ανέμου που πνέουν σε αυτή. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται δε διαφέρει από αυτή που έχει αναπτυχθεί στη ξηρά με λεπτομέρειες μόνο στο σχεδιασμό των θεμελίων και τη μεταφορά του

ηλεκτρικού ρεύματος στη ξηρά με καλώδια υψηλής τάσης.

Αυτή τη στιγμή, η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στη θάλασσα είναι ακριβότερη από τη ξηρά ή και από τα ορυκτά καύσιμα. Το κόστος μειώνεται σε περιοχές που εμφανίζουν υψηλούς ανέμους. Την επόμενη δεκαετία αναμένεται να μειωθεί κατά 50% το κόστος που θα την κάνει ανταγωνιστική με τις ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στη ξηρά και με το φυσικό αέριο. Η ανάπτυξη σταθερής θεμελίωσης που θα αντέχει στο σκληρό περιβάλλον της θάλασσας είναι η πρόκληση που καλείται να αντιμετωπιστεί διεθνώς. Πρόσφατα, η υπηρεσία ενέργειας της Δανίας, ανακάλυψε πως η χρήση ατσαλένιας θεμελίωσης μπορεί να μειώσει το κόστος κατά το ένα τρίτο απ' ότι η θεμελίωση με μπετόν, είναι πιο ελαφριά και μπορεί να μεταφερθεί πιο εύκολα. Το γεγονός αυτό θα έχει μεγάλη επίδραση στο συνολικό κόστος, μιας και το κόστος θεμελίωσης αντιπροσωπεύει το 23-30% όλης της επένδυσης.

Η συστηματική εκμετάλλευση του πολύ αξιόλογου αιολικού δυναμικού της χώρας μας θα συμβάλει:

- στην αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ταυτόχρονη εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων συμβατικών καυσίμων, που συνεπάγεται συναλλαγματικά οφέλη
- σε σημαντικό περιορισμό της ρύπανσης του περιβάλλοντος, αφού έχει υπολογισθεί ότι η παραγωγή ηλεκτρισμού μιας μόνο ανεμογεννήτριας ισχύος 550 kW σε ένα χρόνο , υποκαθιστά την ενέργεια που παράγεται από την καύση 2.700 βαρελιών πετρελαίου, δηλαδή αποτροπή της εκπομπής 735 περίπου τόνων CO<sub>2</sub> ετησίως καθώς και 2 τόνων άλλων ρύπων
- στη δημιουργία πολλών νέων θέσεων εργασίας, αφού εκτιμάται ότι για κάθε νέο Μεγαβάτ αιολικής ενέργειας δημιουργούνται 14 νέες θέσεις εργασίας

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [www.nautilia.gr](http://www.nautilia.gr)
- Stonkamva.blogstop.com
- [www.aenaon.net/gr](http://www.aenaon.net/gr)
- [www.energotech.gr](http://www.energotech.gr)
- Paradeigma.site90.net
- [www.energia.gr/article](http://www.energia.gr/article)
- [www.arena-asoee.gr](http://www.arena-asoee.gr)
- [www.news24gr.blogstop.com](http://www.news24gr.blogstop.com)
- [www.enet.gr](http://www.enet.gr)
- [www.greeksrules.wordpress.com](http://www.greeksrules.wordpress.com)
- [www.bioenergynews.capitalblogs.gr](http://www.bioenergynews.capitalblogs.gr)
- [www.ostria-gr.blogstop.com](http://www.ostria-gr.blogstop.com)
- [www.ecofinder.gr/news](http://www.ecofinder.gr/news)
- [www.kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/](http://www.kpe-kastor.kas.sch.gr/energy1/)
- [www.allaboutenergy.gr](http://www.allaboutenergy.gr)
- [www.egpaid.blogstop.gr](http://www.egpaid.blogstop.gr)
- [www.cres.gr/kape/news/](http://www.cres.gr/kape/news/)
- El.wikipedia.org.