

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ & ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός 1754

Παράκτια Αιολικά Πάρκα

Offshore Wind Farms



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΣΙΑΧΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ (6603)

ΜΠΙΣΤΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (6681)

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2019

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετώνται τα παράκτια αιολικά πάρκα. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας έχει συνδεθεί άρρηκτα με την ανάπτυξη καθώς οδήγησε στην κατακόρυφη αύξηση των δυνατοτήτων του ανθρώπου στους διαφόρους τομείς της δραστηριότητάς του όπου αυτή χρησιμοποιήθηκε.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθαρή και ήπια προς το περιβάλλον, που η χρήση της δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης και αντικαθιστά ρυπογόνες πηγές ενέργειας.

Στα πλαίσια αυτά, η παρούσα εργασία εξετάζει διεξοδικά τις προοπτικές αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας σε χερσαίες ή παράκτιες περιοχές και συγκεκριμένα τη διασύνδεση τους στο δίκτυο.

Σκοπός είναι η ανάδειξη της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος εκμεταλλευόμενοι την ενέργεια που εμπεριέχεται στον άνεμο σε σχέση με τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και η ολοκληρωμένη παρουσίαση της διαδικασίας που πρέπει να ακολουθηθεί για την δημιουργία ενός παράκτιου αιολικού πάρκου.

Η ανάδειξη αυτή επιτυγχάνεται μέσω της διεξοδικής ανάλυσης των στοιχείων που απαρτίζουν ένα τέτοιου είδους πάρκο και την ανάλυση του τρόπου λειτουργίας του.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	2
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ</b> .....	4
1.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας .....	4
1.2 Η αιολική ενέργεια στην Ευρώπη.....	7
1.3 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα .....	11
1.4 Τρόποι Μέτρησης Αιολικού Δυναμικού .....	14
1.5 Μερίδιο Αγοράς Α/Γ στην Ελλάδα .....	16
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ &amp; ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ</b> .....	19
2.1 Κατηγορίες Ανεμογεννητριών.....	19
2.2 Δομή των Ανεμογεννητριών.....	25
2.3 Λειτουργία των Ανεμογεννητριών .....	30
2.4 Τρόποι Λειτουργίας των Ανεμογεννητριών .....	32
2.5 Το Μέγεθος των Ανεμογεννητριών.....	34
2.6 Τεχνικές Απαιτήσεις Παράκτιων Ανεμογεννητριών .....	35
2.7 Θεμελίωση Παράκτιων Ανεμογεννητριών .....	37
2.8 Υλικά Κατασκευής Παράκτιων Ανεμογεννητριών .....	43
2.9 Μεταφορά & Εγκατάσταση Παράκτιων Ανεμογεννητριών .....	43
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ</b> .....	46
3.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Ανάπτυξης Παράκτιων Α/Π .....	46
3.2 Κριτήρια Χωροθέτησης Παράκτιων Αιολικών Πάρκων .....	47
3.3 Διαδικασία Χορήγησης Αδειών.....	54
3.4 Πλάνο Ανάπτυξης Παράκτιων Αιολικών Πάρκων.....	56
3.5 Λειτουργία και διαχείριση παράκτιου αιολικού πάρκου .....	58
3.6 Οικονομικοί Παράγοντες.....	62
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΔΕΗ</b> .....	63
4.1 Ηλεκτρικές Υποδομές Παράκτιων Α/Π.....	63
4.2 Βασικοί Τρόποι Διασύνδεσης των Α/Γ .....	68
4.3 Συστήματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας .....	71
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	75
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	76

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

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

Αν υπήρχε η δυνατότητα, με την σημερινή τεχνολογία, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα. Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5.1m/sec, σε ύψος 10m πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα. Επιπρόσθετα, το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την πρώτη περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας.

Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις ΑΠΕ και συγκεκριμένα την αιολική ενέργεια. Στο διάστημα μέχρι σήμερα, σημειώνεται μια αλματώδης ανάπτυξη, κάτι που ενισχύεται και από την επιτακτική ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος. Γίνεται πλέον συνείδηση σε όλο και περισσότερο κόσμο, πως ο άνεμος είναι μια καθαρή ανεξάντλητη πηγή ενέργειας.

## 1.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια θεαματική άνοδος της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος από ανεμογεννήτριες στη χώρα μας (Κρήτη, Εύβοια, νησιωτική χώρα).

Ο μεγάλος ρυθμός ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας συνοδεύτηκε, όπως ήταν επόμενο, από την ανησυχία των τοπικών κοινωνιών σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι φόβοι που εκφράστηκαν ακούγονται μάλλον υπερβολικοί και, κάποιες φορές, εξωπραγματικοί. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις, οι ενστάσεις που υπάρχουν στην εγκατάσταση ανεμογεννητριών ή αιολικών πάρκων έχουν κάποια βάση και χρειάζονται επιπλέον διερεύνηση. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, η αποδοχή ή μη της αιολικής ενέργειας από τις τοπικές κοινωνίες προϋποθέτει την αντικειμενική τους πληροφόρηση για τα οφέλη και τις επιπτώσεις που αυτή θα μπορούσε να έχει ως μία ακόμη επέμβαση του ανθρώπου στη φύση.

Σήμερα είναι κοινά αποδεκτό ότι η παγκόσμια αλλαγή του κλίματος αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες απειλές για το μέλλον της ανθρωπότητας. Η αλλαγή αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στις εκπομπές των λεγομένων «αερίων του θερμοκηπίου» που συνοδεύουν αναπόφευκτα την παραγωγή ενέργειας από συμβατικά καύσιμα. Θεωρείται, λοιπόν ότι η συμβολή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα της αιολικής στην αντιμετώπιση του φαινομένου των κλιματικών αλλαγών οδήγησε στη ραγδαία ανάπτυξή της, όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και στον υπόλοιπο κόσμο.

Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής καθώς παρουσιάζει μια πλειάδα πλεονεκτημάτων.

- Ο άνεμος είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας, και πρακτικά ανεξάντλητη, η οποία δεν εκλύει στην ατμόσφαιρα αέρια θερμοκηπίου και άλλους ρύπους, κατά συνέπεια οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές συγκριτικά με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα.

Έγκυρες μελέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έδειξαν ότι μια σημαντική υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και κυρίως με αιολικά πάρκα, που βρίσκονται ήδη στο στάδιο του σχεδιασμού ή υλοποίησης, θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub> στην ηλεκτροπαραγωγή τουλάχιστον κατά 11%, και επομένως να περιορίσει αντίστοιχα και τις δυσμενείς επιπτώσεις από το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Πιο συγκεκριμένα, ανάλογα με το μέγεθος των μηχανών και το αιολικό δυναμικό εξοικονομούνται. Παραδείγματος χάριν, για μέση ταχύτητα ανέμου 5.5m/s, εξοικονομούνται:

- 13-22 τόνοι διοξειδίου του άνθρακα ανά GWh
- 13-20 kg διοξειδίου του θείου ανά GWh
- 18-27 kg νιτρικά οξείδια ανά GWh

Χαρακτηριστικά, η χρήση μιας ανεμογεννήτριας 600 kW, σε κανονικές συνθήκες αποτρέπει την απελευθέρωση 1,200 τόνων CO<sub>2</sub> ετησίως που θα αποβάλλονταν στο περιβάλλον εάν χρησιμοποιείτο άλλη πηγή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως π.χ. ο άνθρακας ή το φυσικό αέριο.

- Η αποφυγή των προστίμων από την εκπομπή των αερίων ρύπων, όπως προβλέπονται από το πρωτόκολλο του Κιότο είναι ένα επιπρόσθετο όφελος.
- Η αιολική ενέργεια είναι γεωγραφικά διάσπαρτη και οδηγεί στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο και μειώνοντας καθ' αυτό τον τρόπο τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Οι εγχώριες πηγές ενέργειας, όπως είναι η αιολική συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Επίσης, η αιολική ενέργεια βοηθά στην ενεργειακή αυτάρκεια των αναπτυσσόμενων χωρών, καθώς και αποτελεί την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.
- Επιπρόσθετα, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.
- Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.
- Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι αισθητά αθόρυβες. Το επίπεδο της έντασης του ήχου σε απόσταση 40 μέτρων από μια ανεμογεννήτρια είναι 50 - 60 db (A), που είναι αντίστοιχο με την ένταση μιας συζήτησης. Δεδομένης δε της απαιτούμενης ελάχιστης απόστασης των ανεμογεννητριών από γειτονικούς οικισμούς το επίπεδο αυτό είναι ακόμη χαμηλότερο, της τάξης των 30 db (A) περίπου, που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου ενός ήσυχου καθιστικού.
- Η αιολική ενέργεια δεν εμποδίζει τις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Περίπου το 99% της γης που φιλοξενεί ένα αιολικό πάρκο είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις.

Διάφορες αγροτικές δραστηριότητες μπορούν να συνεχίζονται μέχρι τις βάσεις των ανεμογεννητριών, αφού τα θεμέλια τους είναι κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ενδεικτικά και για λόγους σύγκρισης, αναφέρουμε ότι για την

παραγωγή ενέργειας από έναν σταθμό ηλεκτροπαραγωγής που καίει άνθρακα απαιτείται έως και 4.5 φορές μεγαλύτερη έκταση απ'αυτή που απαιτείται για να καλυφθούν οι ίδιες ενεργειακές ανάγκες με την αιολική ενέργεια. Ο υπολογισμός αυτός έγινε λαμβάνοντας υπόψη τις τεράστιες εκτάσεις γης που δεσμεύονται κατά την εξόρυξη άνθρακα και αφορά τον κύκλο ζωής μιας τυπικής μονάδας παραγωγής ενέργειας που είναι περίπου 30 χρόνια.

Όσον αφορά τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα, πρέπει να τονίσουμε ότι στη μεγάλη τους πλειοψηφία εγκαθίστανται σε ορεινές θέσεις με αραιή θαμνώδη βλάστηση, η οποία οφείλεται, ως ένα βαθμό, ακριβώς στις επικρατούσες ανεμολογικές συνθήκες (δηλαδή στις υψηλές ταχύτητες ανέμου). Η συνήθης χρήση γης στις θέσεις εγκατάστασης αιολικών πάρκων είναι η βοσκή αιγοπροβάτων.

- Η κατασκευή αιολικών πάρκων σε μια περιοχή συνοδεύεται από την παράλληλη υλοποίηση σειράς αντισταθμιστικών οφελών, πέραν των άμεσων και μετρήσιμων οικονομικών εισροών και των δημιουργούμενων θέσεων απασχόλησης. Συγκεκριμένα, κατασκευάζονται ή και βελτιώνονται, χωρίς κόστος για τους δημότες, σημαντικά έργα υποδομής στην ευρύτερη περιοχή, όπως οδικό δίκτυο, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρικό δίκτυο, καθώς κατασκευάζονται και διάφορα κοινωφελή έργα, όπως κοινοτικοί δρόμοι, σχολεία, παιδικοί σταθμοί, ενώ προσφέρονται από τους επενδυτές και ανάλογες χορηγίες.
- Η αιολική ενέργεια πάνω από όλα έχει φέρει έναν άνεμο αλλαγής στα ενεργειακά και περιβαλλοντικά δεδομένα, ενώ δημιουργεί τις προϋποθέσεις για την οικονομική ανάπτυξη περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό και τη διασφάλιση ενός βιώσιμου μέλλοντος για εμάς και τα παιδιά μας.

Παρόλα τα πολλά προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, η αιολική ενέργεια έχει και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα που είναι ως ένα σημαντικό βαθμό αποτρεπτικά για την εξάπλωσή τους.

- Η ισχυρότερη πρόκληση στη χρησιμοποίηση του ανέμου ως πηγή ενέργειας είναι ότι ο άνεμος είναι περιοδικά διακοπτόμενος, δηλαδή η έντασή του παρουσιάζει συχνά διακυμάνσεις και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ώρας, της ημέρας ή και ακόμα του έτους. Ως αποτέλεσμα λοιπόν αυτής της στοχαστικότητας του ανέμου είναι οι μεγάλες διακυμάνσεις στην τιμή της παραγόμενης ισχύος που συνεπάγεται τη δυσκολία κάλυψης των αναγκών σε ηλεκτρισμό τη στιγμή που προκύπτουν.  
Λύση στο πρόβλημα αυτό της στοχαστικότητας της αιολικής ενέργειας δίνει η αντλιοταμίευση, με την οποία η αιολική ενέργεια αποθηκεύεται με τη μορφή της δυναμικής ενέργειας στην ποσότητα του νερού, το οποίο αντλείται μεταξύ δύο φυσικών ή μη ταμιευτήρων με υψομετρική διαφορά κατά τις ώρες χαμηλής ζήτησης, ώστε να χρησιμοποιηθούν μέσω υδροηλεκτρικού συστήματος κατά τις ώρες αιχμής.
- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, να μεταφερθεί και να αποθηκευτεί, ενώ έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και συνεπώς για μεγάλη ισχύ απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Η αιολική ενέργεια, όπως προαναφέραμε δεν μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί. Η αποθήκευση της αιολικής ενέργειας δύναται να γίνει με μπαταρίες (συσσωρευτές) για μικρά συστήματα, ή μέσω της αντλιοταμίευσης για μεγάλα συστήματα. Όμως η χρήση συστοιχίας μπαταριών αυξάνει κατά πολύ το κόστος της επένδυσης.
- Η αιολική ενέργεια πρέπει να συναγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε

επίπεδο κόστους. Ανάλογα με το πόσο ενεργητική, ως προς τον άνεμο, είναι μια τοποθεσία, το αιολικό πάρκο μπορεί ή δεν μπορεί να είναι ανταγωνιστικό ως προς το κόστος. Παρότι το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί δραματικά τα τελευταία 10 χρόνια, η τεχνολογία απαιτεί μια υψηλότερη αρχική επένδυση από εκείνη των γεννητριών που λειτουργούν με ορυκτά καύσιμα για το αντίστοιχο φορτίο.

- Τα καταλληλότερα σημεία ανάπτυξης των αιολικών πάρκων βρίσκονται συνήθως σε ορεινές και απομακρυσμένες περιοχές, μακριά από τις πόλεις όπου χρειάζεται ο ηλεκτρισμός.
- Αν και τα αιολικά πάρκα έχουν σχετικά μικρή επίπτωση στο περιβάλλον συγκριτικά με άλλες συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, υπάρχει ένας προβληματισμός για τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που έχουν σε τοπική κλίμακα. Ως κύριες επιπτώσεις από την εγκατάσταση και λειτουργία αιολικών πάρκων εμπορικής κλίμακας θεωρούνται ο θόρυβος που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες, οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, η οπτική όχληση καθώς και οι προσκρούσεις πουλιών στις πτερωτές των ανεμογεννητριών. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι πολύ ήσυχες και γίνονται όλο και πιο αθόρυβες, όπως αναφέραμε ανωτέρω στα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας. Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται είναι σχετικά μικρά και βρίσκονται στο σημείο που είναι εγκατεστημένη η ανεμογεννήτρια σε απόσταση από το έδαφος.

Τα περισσότερα από αυτά τα προβλήματα έχουν επιλυθεί ή έχουν μειωθεί σε σημαντικό βαθμό μέσω της τεχνολογικής ανάπτυξης ή και της επιλογής κατάλληλων περιοχών για τη δημιουργία αιολικών πάρκων. Κάθε εγκατάσταση αιολικού πάρκου πρέπει να συνοδεύεται από περιβαλλοντική μελέτη που θα εξασφαλίζει την βέλτιστη ενσωμάτωση των ανεμογεννητριών στο τοπίο.

Γενικότερα θα πρέπει να αναφέρουμε πως τα οφέλη από τη χρήση της αιολικής ενέργειας τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο υποσκελίζουν τα όποια μειονεκτήματα τα οποία με την εξέλιξη της τεχνολογίας όλο και περιορίζονται. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα ανταγωνιστική σε σχέση με τα άλλα καύσιμα σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό, ενώ εκτιμάται ότι θα είναι πλήρως ανταγωνιστική και με την στενά οικονομική έννοια του όρου μέσα στα επόμενα έτη.

## 1.2 Η αιολική ενέργεια στην Ευρώπη

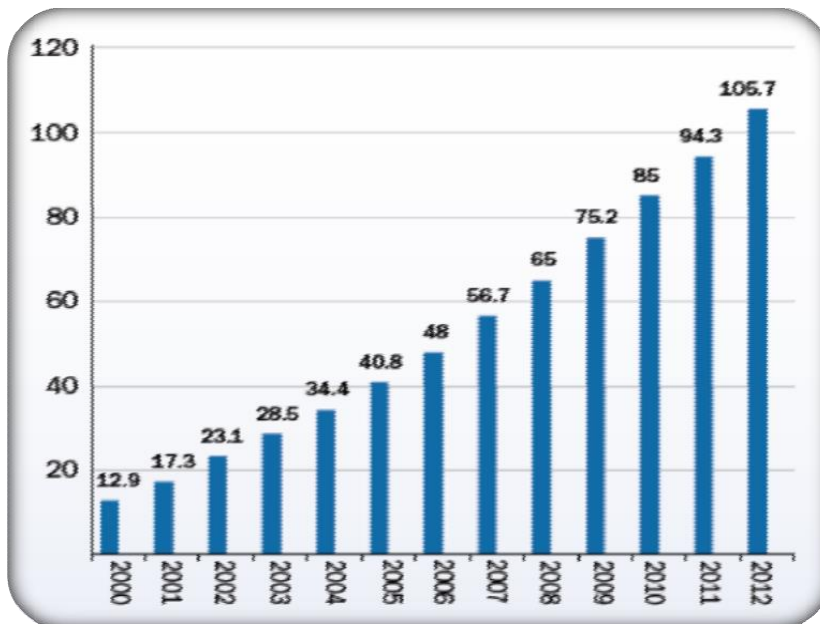
Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι μια από τις πιο θετικές εξελίξεις που δημιουργούνται από τη σημερινή καταιγίδα της αβεβαιότητας που εξαπέλυσε ως αποτέλεσμα της ανόδου των τιμών του πετρελαίου, η κλιματική αλλαγή, την υποβάθμιση του περιβάλλοντος, την εξάντληση των αποθεμάτων ορυκτών καυσίμων και την εξάρτηση από το ξένο ενεργειακό εφοδιασμό.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει ως δεσμευτικό στόχο το 20% του ενεργειακού της εφοδιασμού να προέρχεται από την αιολική ενέργεια και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέχρι το 2020. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος του 20% της ενέργειας, περισσότερο από το ένα τρίτο της ευρωπαϊκής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, με την αιολική ενέργεια αναμένεται να προσφέρει ένα ποσοστό 14 με 18% της ενέργειας.

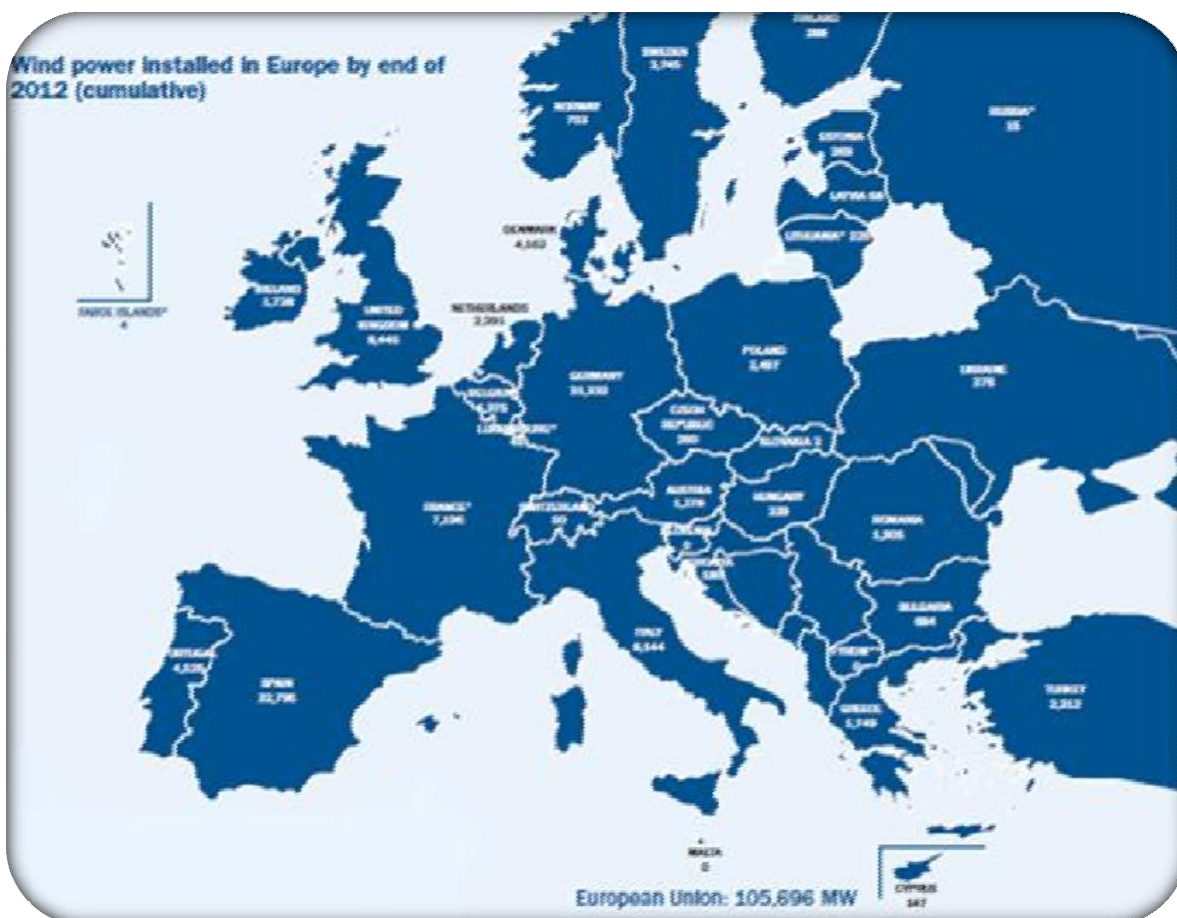
Μερικά από τα πολλά οφέλη που σχετίζονται με την αιολική ενέργεια στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι η οικονομική ανάπτυξη και η δημιουργία θέσεων εργασίας. Κατά τη διάρκεια του 2012, η αξία των επενδύσεων αιολικών πάρκων στην Ευρώπη κυμαινόταν μεταξύ των 12.8 και 17.2 δισεκατομμυρίων ευρώ, των οποίων η εγκατεστημένη αιολική ισχύς τους έφθανε τα 11.566 GW. Τα χερσαία αιολικά πάρκα προσέλκυσαν επενδύσεις αξίας 9.4 έως 12.5 δισεκατομμύρια ευρώ,

ενώ τα παράκτια αιολικά πάρκα αντιπροσώπευαν επενδύσεις αξίας 3.4 έως 4.7 δισεκατομμύρια ευρώ.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη έφθασε στα 105.7 GW, αύξηση της τάξης του 12% συγκριτικά με την προηγούμενη χρονιά, και παρόμοια με την αύξηση που καταγράφηκε μέσα στο έτος 2011.



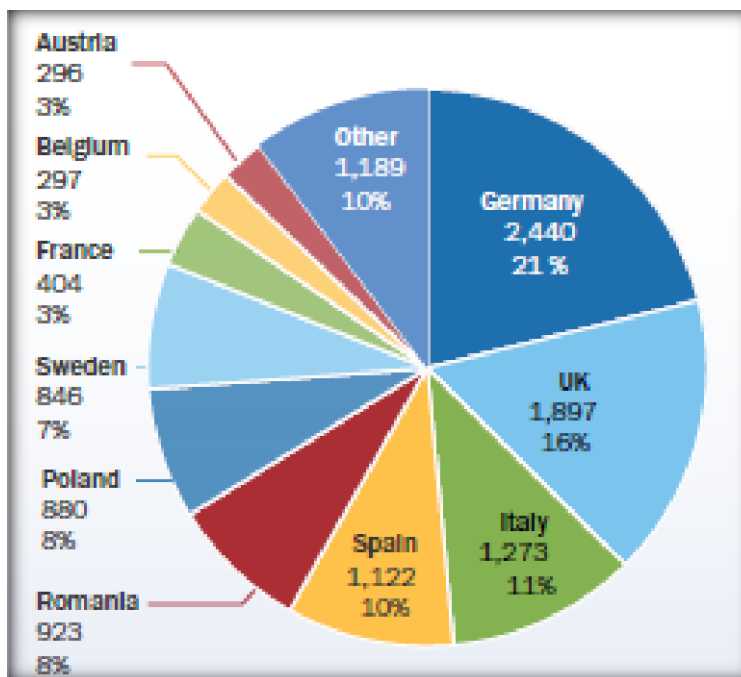
Εικόνα 1.1: Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς Αιολικής Ενέργειας στην Ευρώπη σε GW (Πηγή: EWEA, 2012).



Εικόνα 1.2: Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς Αιολικής Ενέργειας ανά Ευρωπαϊκή Χώρα (MW).



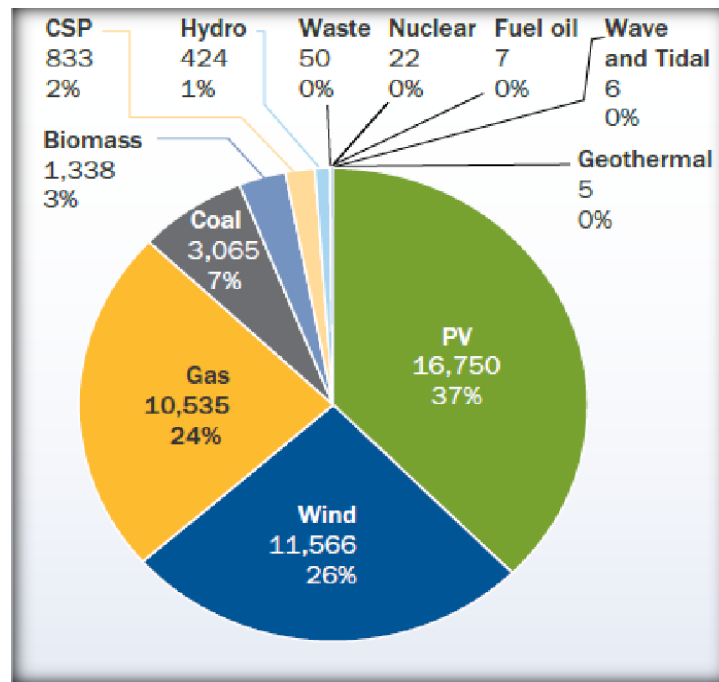
Η Γερμανία παραμένει η ευρωπαϊκή χώρα με τη μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ που φθάνει τα 2,440 MW το έτος 2012, εκ των οποίων τα 80 MW αφορούν παράκτια αιολικά πάρκα (3.3%). Δεύτερη μεγαλύτερη αγορά είναι το Ηνωμένο Βασίλειο με 1,897 MW εγκατεστημένης ισχύος, εκ των οποίων τα 854 MW ισχύος αφορούν τα παράκτια αιολικά (45%). Στο μερίδιο αγοράς νέας εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά για το έτος 2012 στην Ευρώπη, ακολουθούν η Ιταλία με 1,273 MW, η Ισπανία (1,122 MW), η Ρουμανία (923 MW), Πολωνία (880 MW), η Σουηδία (845 MW) και η Γαλλία (404 MW). Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται το μερίδιο αγοράς εγκατεστημένης αιολικής ισχύος των χωρών ΕΕ κατά τη διάρκεια του 2012.



Εικόνα 1.3: Μερίδιο Αγοράς χωρών ΕΕ της ετήσιας εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά πάρκα το έτος 2012.

Μεταξύ των αναδυόμενων αγορών της Κεντρικής και Ανατολικής Ευρώπης, η Ρουμανία και Πολωνία συμμετείχαν στο μερίδιο αγοράς εγκατεστημένης ισχύος με ποσοστό γύρω στο 8% της συνολικής ετήσιας ισχύος αιολικής ενέργειας των χωρών ΕΕ, κατατάσσοντας τις στην πρώτη δεκάδα των ευρωπαϊκών χωρών. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί το σύνολο των εγκαταστάσεων στο Ηνωμένο Βασίλειο, στην Ιταλία και τη Σουηδία. Οι τρεις αυτές αγορές αντιπροσωπεύουν αντιστοίχως το 16%, 11% και 7% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά στην Ευρώπη για το έτος 2012.

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ευρώπη έφθασε τα 31 GW περί τα τέλη του έτους 2012. Συγκεκριμένα, οι εγκαταστάσεις ισχύος από ανανεώσιμες πηγές αντιπροσωπεύουν το 69% των νέων εγκαταστάσεων κατά τη διάρκεια του έτους 2012. Ήταν, συνεπώς, το πέμπτο κατά σειρά έτος όπου πάνω από το 55% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος στις χώρες της ΕΕ προήλθε από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.



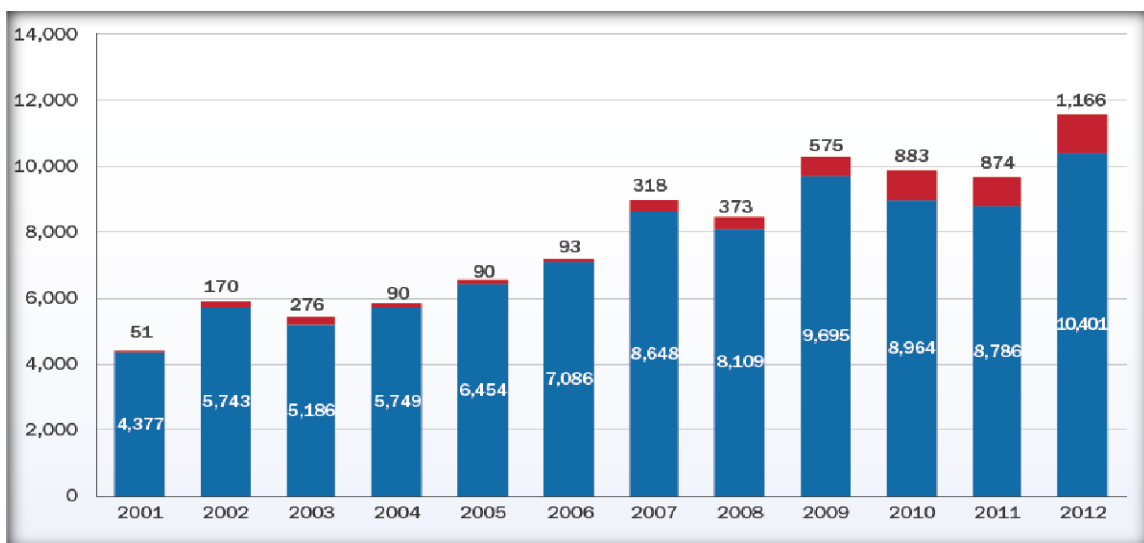
Εικόνα 1.4: Μερίδιο των νέων εγκαταστάσεων από ΑΠΕ σε MW το έτος 2012 (Συνολικά: 30,968MW).

Αναλυτικά, οι εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας αντιπροσωπεύουν το 26% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος για το έτος 2012, το δεύτερο μεγαλύτερο μερίδιο μετά τις εγκαταστάσεις φωτοβολταϊκών (38%) και πριν τις εγκαταστάσεις αερίου (24%).

Οι ετήσιες εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας αυξάνονται με σταθερό ρυθμό τα τελευταία 12 έτη, από 3.2GW το έτος 2000 σε 11.6GW το 2012 με ένα μέσο ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης άνω του 11%. Το 2012 ήταν ένα έτος ρεκόρ για τις εγκαταστάσεις υπεράκτιων αιολικών πάρκων, με νέες εγκαταστάσεις ισχύος 1,166MW διασυνδεδεμένων στο δίκτυο.

Η υπεράκτια αιολική ενέργεια το έτος 2012 αντιπροσωπεύει το 10% της ετήσιας αγοράς αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη, με αύξηση μίας ποσοστιαίας μονάδας συγκριτικά με το 2011, και την τάση αυτή που αναμένεται να συνεχιστεί στα επόμενα έτη 2013 και 2014.

Στο ακόλουθο σχήμα απεικονίζεται η ετήσια εγκατεστημένη ισχύς χερσαίων και υπεράκτιων πάρκων τα τελευταία 12 έτη στην Ευρώπη.



Εικόνα 1.5: Ετήσια Εγκατεστημένη Ισχύς Χερσαίων (Μπλε χρώμα) και Υπεράκτιων Α/Π (Κόκκινο χρώμα) στην Ευρώπη (MW).

Η αιολική ισχύς που εγκαταστάθηκε μέχρι το τέλος του έτους 2012, παράγει 230 TWh ηλεκτρική ενέργεια, σ'ένα σύνθητες ανεμολογικό έτος, ικανή για να καλύψει το 7% της Ευρωπαϊκής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, ποσοστό πάνω από το 6.3% της περσινής κατανάλωσης ενέργειας.

Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας το έτος 2010 (EWEA, 2010), ο τομέας αιολικής ενέργειας αναμένεται να δημιουργήσει πάνω από 250,000 νέες θέσεις εργασίας στην Ευρώπη μέσα στην επόμενη δεκαετία. Περίπου 192,000 άνθρωποι στην Ευρωπαϊκή Ένωση έχουν απασχοληθεί στον τομέα αιολικής ενέργειας ως το 2010. Επιπρόσθετα, οι ευρωπαϊκές εταιρείες απασχολούν δεκάδες χιλιάδες ανθρώπους στην αιολική ενέργεια εκτός Ευρώπης.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Ενέργειας προσδοκά ισχυρή ανάπτυξη στην απασχόληση του τομέα αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη μέσα στα επόμενα έτη, συγκεκριμένα σε 280,000 εργαζόμενους μέχρι το έτος 2015 και 450,000 μέχρι το 2020. Κατά μέσο όρο, υπολογίζονται 450 νέες θέσεις εργασίας εβδομαδιαίως στον τομέα αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη μέχρι το 2020. Τρεις βασικοί τομείς έχουν εντοπιστεί ως οι πιο κρίσιμοι στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας, ο χώρος της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας, τα ηλεκτρικά δίκτυα και τέλος η εκπαίδευση και κατάρτιση περισσότερων μηχανικών και τεχνικού προσωπικού. Όσον αφορά την απασχόληση στην υπεράκτια αιολική ενέργεια αναμένεται ότι θα ξεπεράσει τη χερσαία μέχρι το 2025, και μέχρι το 2030, πάνω από το 60% της συνολικής απασχόλησης στον τομέα αιολικής ενέργειας θα προκύπτει από την υπεράκτια αιολική ενέργεια.

Ένας ακόμη καθοριστικός παράγοντας που συμβάλλει στην ραγδαία ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη είναι η μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα και η προστασία του περιβάλλοντος. Σύμφωνα με έκθεση της Ευρωπαϊκής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας (EWEA, 2011), με κάθε παραγόμενη κιλοβατώρα (kWh) αιολικής ενέργειας αποφεύγετε η παραγωγή μιας κιλοβατώρας από σταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας με καύση άνθρακα, φυσικού αερίου και πετρελαίου, που αντιστοιχεί κατά μέσο όρο σε ρύπους 696 gr CO<sub>2</sub>/kWh.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το έτος 2011, η αιολική ενέργεια στην Ευρώπη συνέβαλλε στην αποφυγή εκπομπής 140 εκατομμυρίων τόνων (Mt) CO<sub>2</sub>, που ισοδυναμούν με την απομάκρυνση 71 εκατομμυρίων οχημάτων από τους δρόμους. Το έτος 2020, τα 213 GW εγκατεστημένης ισχύος αιολικής ενέργειας, όπως προβλέπεται στα εθνικά σχέδια δράσης των κρατών μελών της ΕΕ για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, θα οδηγήσουν σε αποφυγή εκπομπής 316 Mt του CO<sub>2</sub>. Αυτό ισοδυναμεί σε ποσοστό 28% της προσπάθειας μείωσης των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου σε χώρες της ΕΕ για το έτος 2020.

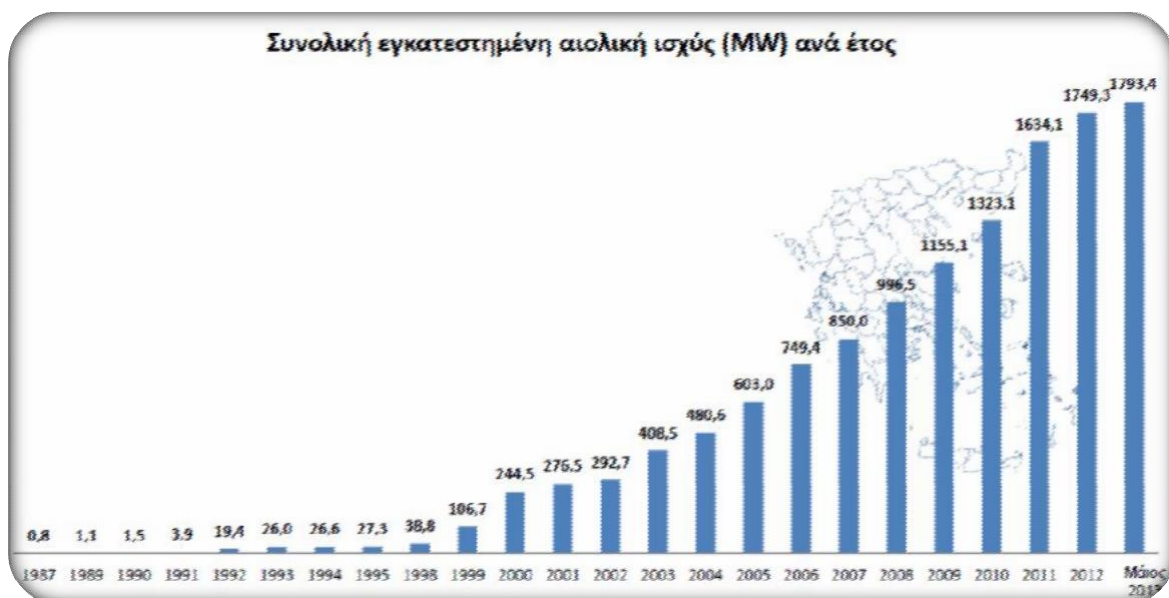
### 1.3 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο πλήθος νησιών, και οι άνεμοι που πνέουν κυρίως στις νησιωτικές και παράλιες περιοχές, προσδίδουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη χώρα μας.

Η νησιωτική χώρα έχει μεγάλη παράδοση στην χρησιμοποίηση του ανέμου για διάφορες εργασίες που απαιτούσαν ιδιαίτερη ισχύ. Είναι γνωστό πως ανεμόμυλοι στολίζουν τα κυκλαδίτικα νησιά, αλλά και σε ολόκληρο το Αιγαίο, κάποιοι συνεχίζουν να λειτουργούν ακόμα και τώρα που στέκουν περισσότερο ως τουριστικό έκθεμα. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13.6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας.

Τα τελευταία χρόνια λόγω της γενικότερης παγκόσμιας στροφής στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αλλά και εν μέσω της οικονομικής κρίσης στην Ευρώπη, μεγάλα κοινοτικά προγράμματα έχουν δώσει κίνητρο σε σχέδια για κατασκευή αιολικών πάρκων σε όλη τη χώρα. Ήδη έχουν εγκατασταθεί αρκετά MW ενέργειας από ανεμογεννήτριες και η ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια είναι κατακόρυφη. Αυτό βέβαια ξεκίνησε μετά το 2007 όπου η Ε.Ε.

συμφώνησε το γνωστό «20-20-20», δηλαδή τη μείωση 20% των ρύπων με ταυτόχρονη αύξηση στο 20% της παραγόμενης ενέργειας από Α.Π.Ε. και όλα αυτά με χρονικό ορίζοντα το 2020. Λόγω των συνθηκών που επικρατούν στη χώρα τα τελευταία χρόνια το πρόγραμμα στην Ελλάδα δεν ξεκίνησε με τις καλύτερες δομές. Όμως πλέον τα εγκατεστημένα πάρκα στα ορεινά της χώρας έχουν ήδη φέρει ένα αποτέλεσμα κοντά στο 9-10% και υπολογίζονται προεκτάσεις στα ήδη υπάρχοντα.



Εικόνα 1.6: Συνολική Εγκατεστημένη Ισχύς Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα 1987 - 2013 (MW).

Πιο συγκεκριμένα οι προσπάθειες για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας ξεκίνησαν στις αρχές της δεκαετίας του '80, ως συνέπεια της πετρελαϊκής κρίσης της δεκαετίας του '70, και το πρώτο αιολικό πάρκο εγκαταστάθηκε στη Κύθνο από τη ΔΕΗ. Στα μέσα της δεκαετίας του 1990, δόθηκε μεγάλη ώθηση για επενδύσεις ιδιωτών, και από τότε έχουν κατασταθεί δεκάδες αιολικά πάρκα σε πολλές περιοχές. Το πρώτο ιδιωτικό αιολικό πάρκο κατασκευάστηκε το 1998 στη Σητεία-Κρήτη.

Αιολικά πάρκα υπάρχουν και σε πλήθος νησιών, όπως την Κεφαλονιά, στην οποία έχουν εγκατασταθεί τρία, και τα οποία τροφοδοτούν το δίκτυο ηλεκτροδότησης της χώρας με σύνολο 75.6 MW ηλεκτρικής ισχύος. Πρόσφατα τέθηκε και ένα νέο αιολικό πάρκο σε λειτουργία, ενώ ακόμη δύο είναι σε διαδικασία κατασκευής ή αδειοδότησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ανάγκες του νησιού σε ηλεκτρική ενέργεια και σε περίοδο αιχμής (Αύγουστος) ανέρχονται σε 50 MW. 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.

Στο κομμάτι των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, η Ελλάδα όπως και οι περισσότερες μεσογειακές χώρες υστερεί σημαντικά με τα πρώτα θεωρητικά βήματα, που είναι η αρχική προκαταρκτική χωροθέτηση να ξεκινήσαν μόλις το 2010. Από τις δώδεκα περιοχές που προτάθηκαν, οι οχτώ μόνο ικανοποίησαν τα κριτήρια επιλογής (αέρας, δίκτυο, βάθος, μέγεθος) και είναι οι εξής: Αλεξανδρούπολη, Φαναρίου, Θάσου, Κέρκυρας, Κύμης, Λήμνου, Πεταλίων και Σαμοθράκης. Ο ορίζοντας ανάπτυξης για την πρώτη φάση των έργων στις περιοχές αυτές, προσδιορίστηκε για την πενταετία 2012 ως 2017, αλλά ως και το τέλος του έτους 2012 κανένα έργο δεν έχει κάνει κάποιο αρχικό βήμα υλοποίησης.

Το εξαιρετικά υψηλό αιολικό δυναμικό της χώρας κατατάσσεται μεταξύ των πλέον ελκυστικών στην Ευρώπη, με απόδοση πάνω από 8 μέτρα/δευτερόλεπτο ή 2.500 ώρες παραγωγής αιολικής ενέργειας, σε πολλά σημεία της χώρας. Εκτιμάται ότι σήμερα λειτουργούν περίπου 1,400 MW

από αιολικά πάρκα, και στόχος είναι να εγκατασταθούν 7,500 MW μέχρι το 2020, από τα οποία τα 300 MW αφορούν υπεράκτια αιολικά πάρκα.

Όμως, όπως αναφέραμε και πιο πάνω η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα, αντιμετωπίζει μέχρι τώρα αρκετά προβλήματα. Παρά τη σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος τα τελευταία χρόνια, είναι κοινά αποδεκτό ότι αυτή η αύξηση είναι πολύ μικρή δεδομένου του πλούσιου αιολικού δυναμικού της χώρας μας.

Για παράδειγμα, ο στόχος της χώρας για το 2010 ως προς την ηλεκτροπαραγωγή από αιολική ενέργεια ήταν η εγκατεστημένη ισχύς να φτάσει περίπου τα 3500 MW, ενώ στο τέλος του 2010 η πραγματικά εγκατεστημένη ισχύς ανήλθε μόλις στα 1320 MW.

Είναι φανερό ότι σε μια χώρα με ιδιαίτερα ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό και στην οποία υπάρχουν αρκετές επενδυτικές προτάσεις, η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων καθυστερεί σημαντικά, με αποτέλεσμα, ο στόχος να έχει πλέον μεταταθεί για το 2020 με εγκατεστημένη ισχύ που θα πρέπει να φτάσει περίπου τα 7500 MW.

Παρόλο που η στήριξη στα έργα ΑΠΕ από πλευράς επιδοτήσεων και ενισχύσεων υπήρξε πάντα ικανοποιητική στην Ελλάδα, η πολυπλοκότητα της αδειοδοτικής διαδικασίας και οι αποσπασματικές διοικητικές και θεσμικές παρεμβάσεις που έγιναν για την καταπολέμησή τους, δεν έχουν φέρει ακόμη το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Επίσης, βασική τροχοπέδη στην εγκατάσταση μεγάλων ανεμογεννητριών στην Ελλάδα είναι η δυσκολία μεταφοράς και εγκατάστασης στις επιλεγείσες θέσεις, λόγω της φτωχής ή ανύπαρκτης υποδομής στις ορεινές κυρίως περιοχές όπου συνήθως καταγράφεται το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό, καθώς επίσης και η έλλειψη σχετικής εμπειρίας από τους εγχώριους επενδυτές αλλά και τους χρηματοδότες τους, οι οποίοι μέχρι πρόσφατα έδειχναν να αισθάνονται μεγαλύτερη ασφάλεια να εγκαταστήσουν ανεμογεννήτριες μικρότερης μεν ισχύος, αλλά πιο τεκμηριωμένης λειτουργίας.

Ταυτόχρονα, γίνονται προσπάθειες να βρεθούν λύσεις που θα συμβάλλουν στην υπερπήδηση των εμποδίων που σήμερα τίθενται για την εγκατάσταση μεγάλων ανεμογεννητριών σε θέσεις με φτωχή υποδομή πρόσβασης. Ήδη μελετώνται η χρήση διαιρετών πτερυγίων, η επιτόπου κατασκευή ή η κατασκευή από εναλλακτικά υλικά βαρέων υποσυστημάτων όπως π.χ. οι πύργοι, καθώς και μέθοδοι εύκολης ανέγερσης ανεμογεννητριών, με στόχο τη μείωση των αναγκών για μεταφορά υποσυστημάτων εξαιρετικά μεγάλου μήκους (πτερύγια) ή βάρους (πύργοι).

Σύμφωνα με στοιχεία του Global Wind Energy Council την όγδοη θέση παγκοσμίως στην εγκατεστημένη αιολική ισχύ καταλαμβάνει η Ελλάδα. Παράλληλα, η χώρα μας καταλαμβάνει την έβδομη θέση παγκοσμίως στις νέες εγκαταστάσεις ισχύος αιολικής ενέργειας ανά εκατομμύριο κατοίκους. Αναλυτικότερα, η χώρα μας είναι έβδομη στον κόσμο στην αιολική ισχύ ανά εκατομμύριο κατοίκους με 151,01 MW. Την πρώτη θέση στην κατηγορία καταλαμβάνει η Δανία με 693,14 MW και την ακολουθούν η Ισπανία με 469,28 MW και η Πορτογαλία με 386,59 MW.

Τις υπόλοιπες θέσεις συμπληρώνουν η Ιρλανδία με 355,47 MW, η Γερμανία με 355,00 MW, η Σουηδία με 312,79 MW, ο Καναδάς με 151,22 MW, οι Ηνωμένες Πολιτείες με 149,58 MW κ.τ.λ. Όσον αφορά τη νέα εγκατεστημένη ισχύ ανά εκατομμύριο κατοίκους το έτος 2011, η Ελλάδα βρίσκεται στην έβδομη θέση με νέα έργα 28,83 MW. Στην πρώτη θέση βρίσκεται η Σουηδία με 80,36 MW, και ακολουθούν Ιρλανδία με 52,09 MW και το Πράσινο Ακρωτήριο με 46,76 MW.

Το νέο πρόγραμμα του ΥΠΕΚΑ με χρονοδιάγραμμα 2012-2017 δίνει έξτρα κίνητρα για την εγκατάσταση υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Πρόκειται για ένα από τα σημαντικότερα βήματα στην χρήση αιολικής ενέργειας. Τα πλεονεκτήματα από τέτοιες εγκαταστάσεις είναι περισσότερα από αντίστοιχες στην ξηρά και αναφέρονται στα ποσοστά ενέργειας που παρέχουν αλλά και στην ποιότητα. Πρόκειται λοιπόν για έργα που θα πλαισιώνουν την στροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και κυρίως στην αιολική ενέργεια. Είναι μια προσπάθεια να εκμεταλλευτούμε το αιολικό δυναμικό της χώρας μας και να παράγουμε ενέργεια με πιο ήπιες μορφές βιομηχανίας από ότι γίνεται μέχρι σήμερα.

## 1.4 Τρόποι Μέτρησης Αιολικού Δυναμικού

Το αποτέλεσμα της αένας κίνησης των αέριων μαζών προκάλεσε την αναζήτηση από τη μεριά των ανθρώπων να εκμεταλλευτούν αυτή την αστείρευτη και διαρκή πηγή ενέργειας που τους προσφέρονταν τόσο απλόχερα. Όμως σημαντικό κομμάτι αποτελεί ο τρόπος μέτρησης του ανέμου, η καταγραφή των στοιχείων αυτών και η αξιοποίησή τους με σκοπό να δημιουργήσουν μια καλύτερη εικόνα για τα αιολικά στοιχεία μιας περιοχής.

Ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι μια επίπονη διαδικασία που στηρίζεται σε μαθηματικά μοντέλα τα οποία έχουν ακριβή αποτελέσματα μόνο σε επίπεδα εδάφη. Επειδή όμως η συντριπτική πλειοψηφία των περιοχών που είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων είναι περιοχές με έντονη ορογραφία, βασιζόμαστε στα μαθηματικά μοντέλα που υπάρχουν και μεριμνούμε, έτσι ώστε οι μετρήσεις που έχουμε για την περιοχή να είναι σε κοντινό μέρος, σε σχέση με την περιοχή ενδιαφέροντος.

Είναι κοινά αποδεκτό ότι σε μια περιοχή περίπου 7-10 χιλιομέτρων γύρω από τον ανεμολογικό ιστό, μπορούμε να εξάγουμε ακριβή συμπεράσματα για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου.

Οι μετρήσεις λαμβάνονται από μετεωρολογικούς ιστούς, οι οποίοι χωροθετούνται κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και κατά προτίμηση σε αντιπροσωπευτική για τη βουνοκορφή θέση, έτσι ώστε να μην έχουμε παρεμπόδιση των ανέμων από ενδεχομένως ψηλότερες κορυφές. Οι ιστοί στήνονται σε ύψος τουλάχιστον 10 μέτρων από το έδαφος και μακριά από δέντρα και άλλα εμπόδια, όπου αυτό είναι εφικτό.

Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα μας. Σ' αυτές τις περιπτώσεις εγκαθιστούμε ψηλότερους ιστούς με ύψος που φθάνει και τα 60 μέτρα και τοποθετούμε όργανα σε διάφορα ύψη (10 m, 30 m, 45 m, 60 m). Σύμφωνα, με εξωτερικούς συμβούλους και μελετητές των έργων αιολικής ενέργειας συνίσταται οι μετεωρολογικοί ιστοί να εγκαθίστανται στην υπό μελέτη περιοχή σε ύψος τριών τετάρτων του προτεινόμενου ύψους πλήμνης της ανεμογεννήτριας. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η αξιοπιστία της μέτρησης της ταχύτητας στο ύψος της πλήμνης της ανεμογεννήτριας που είναι συνήθως πάνω από τα 50m. Οι προϋποθέσεις αυτές εξασφαλίζουν την ορθότητα των δεδομένων που παίρνουμε.



Εικόνα 1.7: Εγκατάσταση Ανεμολογικού Ιστού.



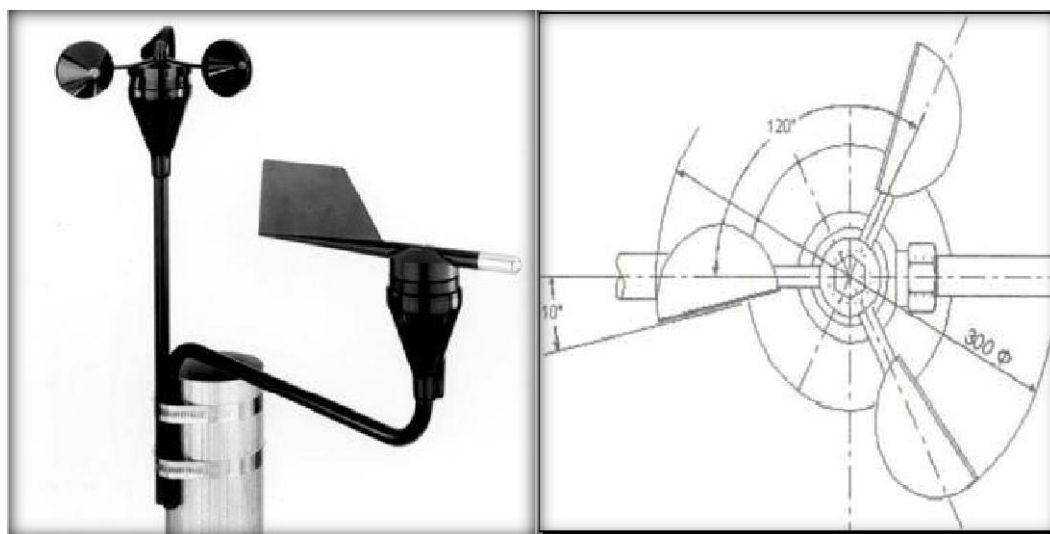
Οι μετρητικές διατάξεις που τοποθετούνται σε ένα ιστό είναι το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης (παρακάτω γίνεται η περιγραφή για το καθένα από τα όργανα) και πολλές φορές τοποθετούνται σε ζευγάρια, έτσι ώστε στην περίπτωση που το ένα καταστραφεί, να έχουμε ενδείξεις από το άλλο. Τα όργανα συνδέονται σε ένα καταγραφικό (data logger) το οποίο παίρνει μετρήσεις από τα όργανα. Μέσα από τις ρυθμίσεις του καταγραφικού, ορίζουμε το διάστημα δειγματοληψίας για τις μετρήσεις. Για εφαρμογές όπως η ανέγερση ενός αιολικού πάρκου, οι μετρήσεις γίνονται ανά 1 δευτερόλεπτο και η ολοκλήρωση των μετρήσεων γίνεται κάθε 10 λεπτά. Έτσι έχουμε μέσες 10λεπτες τιμές για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου.



Εικόνα 1.8: Τύποι Καταγραφικών (Data loggers).

### Ανεμόμετρα (Anemometers)

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



Εικόνα 1.9: Κυπελοφόρα Ανεμόμετρα & η γεωμετρία τους (Cup Anemometers).

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

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

1. Μηχανικό στροφόμετρο, που καταγράφει τον αριθμό των περιστροφών των κυπέλλων από τη στιγμή ενάρξεως λειτουργίας του οργάνου.
2. Ηλεκτρική επαφή, η οποία κλείνει μετά από ένα ορισμένο αριθμό στροφών, και μέσω καταγραφικού δίνει απ' ευθείας τη μέση ταχύτητα του ανέμου.
3. Μικρή ηλεκτρογεννήτρια, η οποία μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του άξονα σε ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο και μετατρέπεται σε ένδειξη ταχύτητας.
4. Φωτοηλεκτρικό διακόπτη, ο οποίος μετατρέπει την ταχύτητα περιστροφής σε στιγμιαία ταχύτητα ανέμου στην έξοδο του συστήματος.

### Ανεμοδείκτες (Wind Vanes)

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

Ένας ακριβής ανεμοδείκτης έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

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

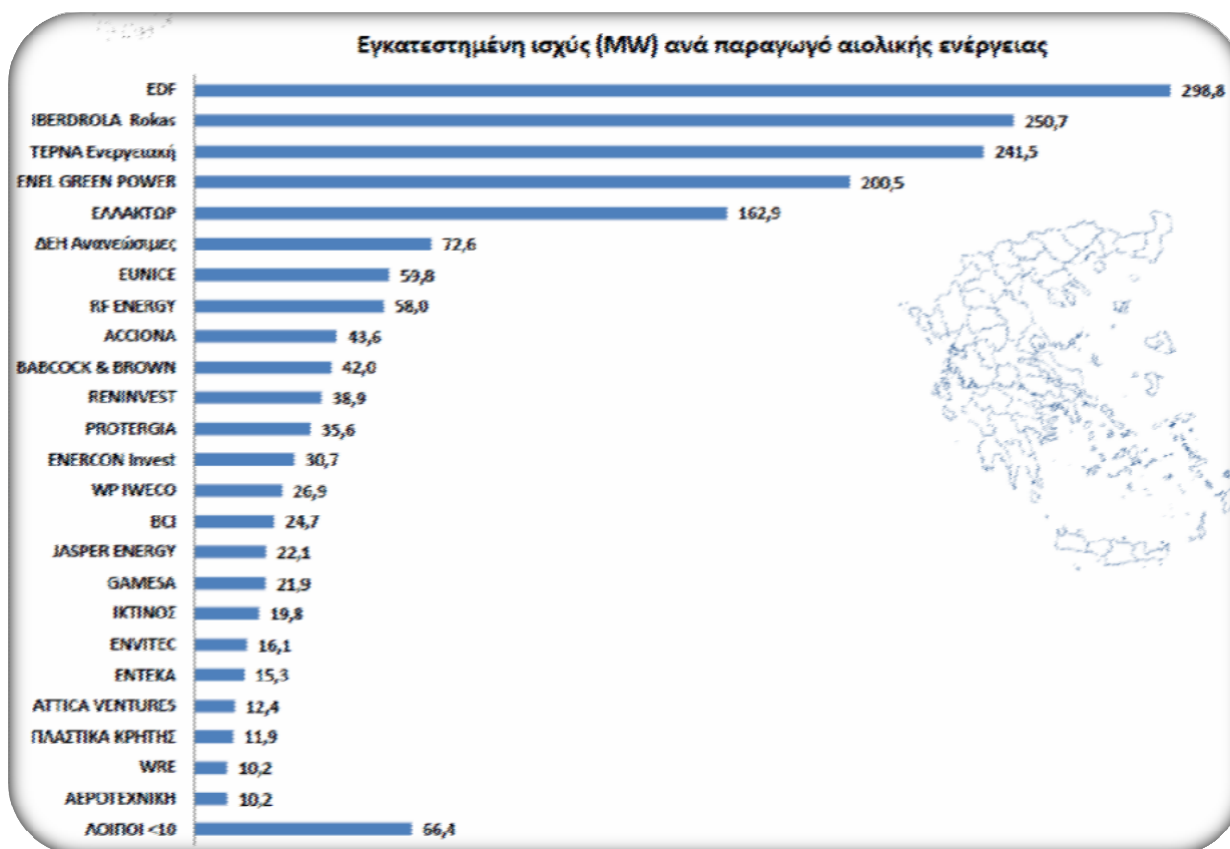
Τέλος, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι επειδή η διεύθυνση του ανέμου μετριέται συναρτήσει του αληθούς βορρά, το όργανο πρέπει να προσανατολισθεί με τη βοήθεια της χαραγής που υπάρχει επάνω του.

## **1.5 Μερίδιο Αγοράς Α/Γ στην Ελλάδα**

Στον επιχειρηματικό και βιομηχανικό τομέα της Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα, οι πέντε μεγαλύτεροι επιχειρηματικοί όμιλοι με το μεγαλύτερο μερίδιο αιολικής ισχύος ήταν η EDF με 298,8 MW (17,1%), η Ibedrola Rokas με 250,7 MW (14,4%), η ΤΕΡΝΑ Ενέργειακή με 241,5 MW (13,8%), η ENEL Green Power με 200,5 MW (11,5%) η ΕΛΛΑΚΤΩΡ με 146,8 MW (8,4%). Με συνολική ισχύ μικρότερη των 100 MW, ακολουθούν οι εταιρείες ΔΕΗ Ανανεώσιμες (65 MW), Eunice (59,8 MW), RF Energy (58 MW), Acciona (43,6 MW), Babcock & Brown (42 MW), Protergia (35,6 MW), Enercon (27,5 MW), WP IWECO (26,9 MW), BCI (24,7



MW), Jasper Energy (22,1 MW), Gamesa (21,9 MW), Iktinos (19,8 MW), Envitec (16,1 MW), Enteka (15,3 MW), Attica Venturies (12,4 MW), Plastika Kritis (11,9 MW), WRE (10,2 MW), Aerotechniki (10,2 MW), Reninvest (10 MW) και άλλες με ισχύ όμως ακόμα μικρότερη των 10 MW.



Εικόνα 1.10: Εγκατεστημένη Αιολική Ισχύς (MW) ανά παραγωγό αιολικής ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ Στατιστικά, 2012).

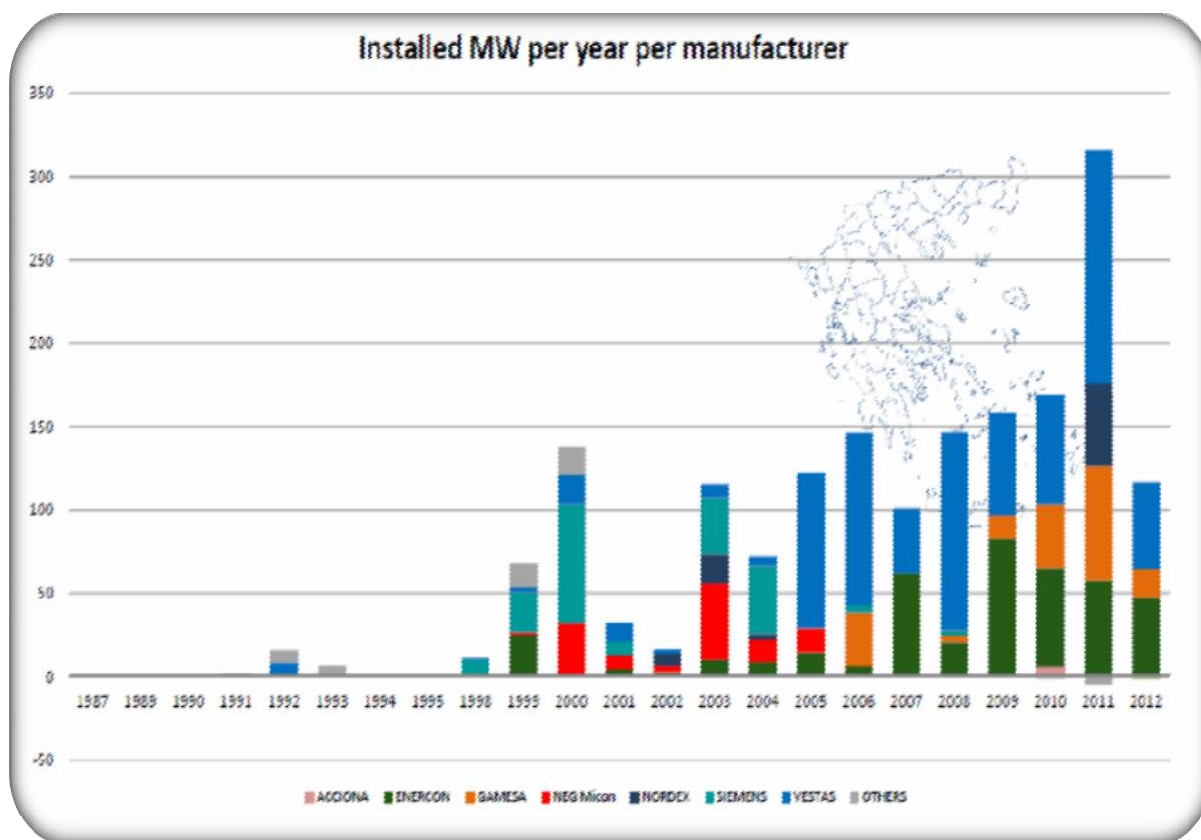
Σε επίπεδο κατασκευαστών του κλάδου της αιολικής ενέργειας, η δανέζικη Vestas έχει προμηθεύσει το 49% της συνολικής εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στην Ελλάδα ως σήμερα, με τη γερμανική Epercon GmbH με 22%, την επίσης γερμανική Siemens με 11%, την ισπανική Gamesa με 10% και την γερμανική Nordex με 4% του συνόλου, να ακολουθούν.

Συγκεκριμένα για το 2012, τα μερίδια της αγοράς κυμάνθηκαν στο 46,6% για την Vestas, στο 38,2% για την Epercon και στο 15,2% για την Gamesa.



Εικόνα 1.11: Μερίδιο Αγοράς Αιολικής Ενέργειας ανά κατασκευαστή Α/Γ (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2012).

Στο ακόλουθο γράφημα απεικονίζεται η ετήσια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας ανά κατασκευαστή Α/Γ και ο ρυθμός ανάπτυξής της μέσα στα τελευταία 25 έτη.



Εικόνα 1.12: Ετήσια Εγκατεστημένη Ισχύς (MW) Αιολικής Ενέργειας ανά κατασκευαστή Α/Γ το 2012 (ΕΛΕΤΑΕΝ, 2012).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ & ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

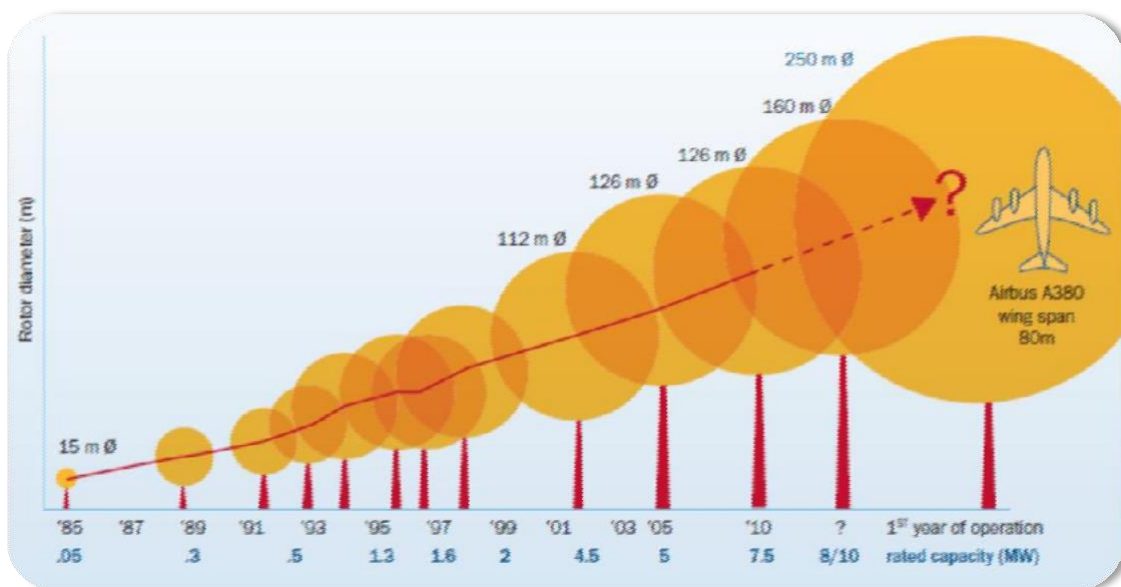
Ανεμογεννήτρια ονομάζεται η αιολική μηχανή που αποτελεί ανθρώπινη επινόηση και η οποία μπορεί να θεωρηθεί εξελιγμένη μορφή του παλιού ανεμόμυλου και έχει σαν σκοπό την αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού της κινητικής ενέργειας του ανέμου και την μετατροπή της σε μηχανική ενέργεια , συνεπώς σε ηλεκτρική.

Ως, ηλεκτρικές γεννήτριες οι ανεμογεννήτριες είναι συνδεδεμένες σε ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει φόρτιση συστοιχιών συσσωρευτών, συστήματα δικτύων κατοικημένων περιοχών, δίκτυα σε απομονωμένες περιοχές ή νησιά, και μεγάλα δίκτυα κοινής ωφέλειας.

Λόγω του μεγάλου ενδιαφέροντος που παρουσιάζεται για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και της τεχνολογικής εξέλιξης των τελευταίων δεκαετιών, εμφανίζονται διάφορου τύπου ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες : Ανάλογα με τον προσανατολισμό του άξονα περιστροφής, διακρίνονται οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα , ανάλογα με το μέγεθος και την ισχύ που παράγουν, διακρίνονται σε μικρές, μεσαίες και μεγάλες ανεμογεννήτριες, ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων τους διακρίνονται σε μονοπτέρυγες και πολυπτέρυγες ενώ ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους διακρίνονται σε αργόστροφες και ταχύστροφες.

### 2.1 Κατηγορίες Ανεμογεννητριών

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



Εικόνα 2.1: Εξέλιξη Μεγέθους Ανεμογεννητριών.

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

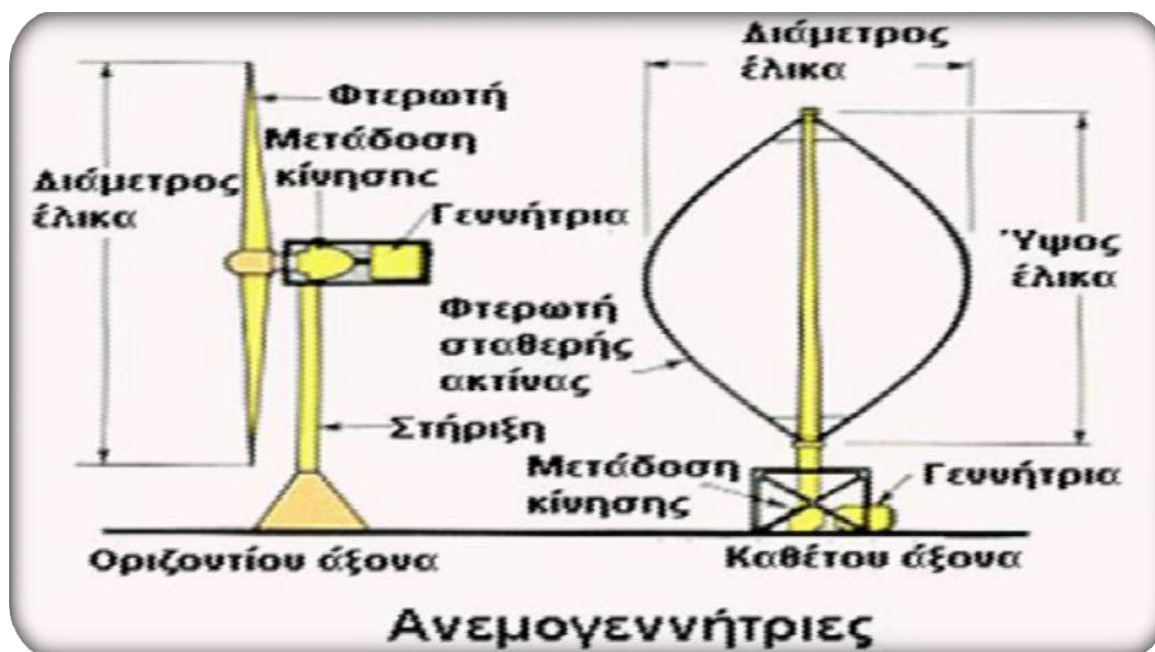
- Οριζόντιου Άξονα: Αυτού του τύπου ανεμογεννήτριες ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους.
- Κάθετου Άξονα: Σε αυτές τις ανεμογεννήτριες ο άξονας περιστροφής τους είναι κάθετος στην επιφάνεια του εδάφους και κάθετος στη κατεύθυνση του ανέμου.

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

Αντίθετα, οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν πολύ υψηλή απόδοση σε σύγκριση με αυτές του κατακόρυφου άξονα (μια καλή μικρή ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα έχει μέση απόδοση 30%-40% ενώ κάθετου δεν ξεπερνά το 15%). Τέλος λόγω χαμηλότερων στροφών περιστροφής ανά λεπτό, οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα χρειάζονται πιο ισχυρούς ανέμους για να ξεκινήσουν την φόρτιση των συσσωρευτών από αυτές με οριζόντιο άξονα.

Ανάλογα με το μέγεθος και τη μηχανική ισχύ που παράγουν, δεν υπάρχουν αυστηρά κριτήρια διαχωρισμού των αεροκινητήρων. Αεροκινητήρες με ισχύ κάτω των 30 KW χαρακτηρίζονται σαν μικροί, μεταξύ 30-300 KW χαρακτηρίζονται σαν μεσαίοι, ενώ οι αεροκινητήρες με ισχύ άνω των 300 KW χαρακτηρίζονται σαν μεγάλοι. Υπάρχει ακόμη μια κατηγορία τους πολύ μεγάλους αεροκινητήρες με ισχύ άνω των 2 MW.

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



Εικόνα 2.2 : Κύριοι Τύποι Ανεμογεννητριών.

## Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα

Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα έχουν τον άξονα περιστροφής τους κάθετο στη διεύθυνση του ανέμου, και μπορούν να εκμεταλλεύονται τον άνεμο από όλες τις διευθύνσεις. Επίσης, σε συνθήκες μεταβολής του ανέμου, μπορούν να αντεπεξέλθουν καλύτερα από τις μηχανές οριζόντιου άξονα.

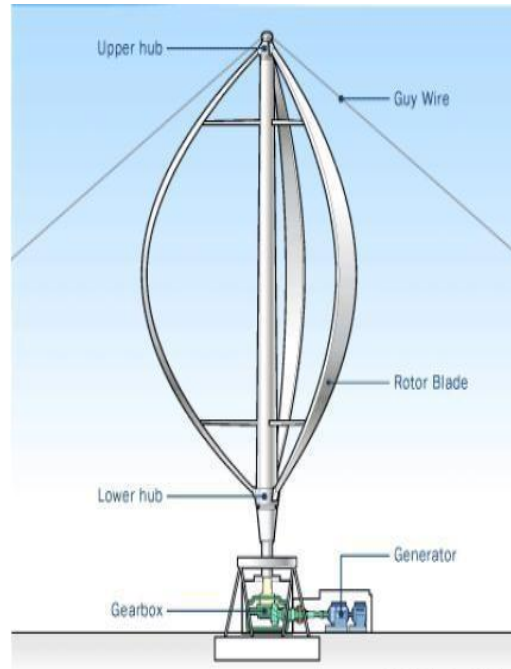
Έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση, χαμηλό κατασκευαστικό κόστος και είναι σχετικά απλές κατασκευές, ενώ το γεγονός ότι η γεννήτρια και οι υπόλοιποι μηχανισμοί βρίσκονται κοντά στο έδαφος διευκολύνουν τη λειτουργία και συντήρησή τους. Τα κυριότερα μειονεκτήματά τους που τις καθιστούν εμπορικά μη ανταγωνιστικές, είναι ότι οι περισσότερες για να ξεκινήσουν χρειάζονται συνήθως υποβοήθηση, ενώ σε περιπτώσεις δυνατού ανέμου αν δεν ελεγχθούν σωστά, υπάρχει ο κίνδυνος της καταστροφής τους. Επίσης, ο δρομέας τους βρίσκεται πιο κοντά στο έδαφος, όπου οι ταχύτητες του ανέμου είναι μικρότερες σε αντίθεση με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα οι οποίες είναι σε θέση να εκμεταλλεύονται μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου όντας σε μεγαλύτερο ύψος.

Η απόδοσή τους είναι κατά μέσο όρο μικρότερη συγκρινόμενη με εκείνη των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα αφού σε κάθε περιστροφή του δρομέα, τα πτερύγια μπορεί να συναντούν αεροδυναμικά κενές περιοχές, γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης του όλου συστήματος. Ενώ οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν απόδοση που πλησιάζει το 50%, οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα έχουν στην καλύτερη των περιπτώσεων απόδοση λίγο μεγαλύτερη από 30%. Από πρακτικής πλευράς, οι μηχανές αυτού του είδους χρειάζονται καλώδια για να τις υποβαστούν, γεγονός που δεν είναι πρακτικό για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε καλλιεργήσιμες περιοχές.

Οι αεροκινητήρες Darrieus έχουν χαρακτηριστικό σχήμα C με τα πτερύγια να έχουν στις πλείστες περιπτώσεις σχοινοειδή μορφή για να ελαχιστοποιούνται οι καμπτικές τάσεις. Αποτελούνται συνήθως από 2 με 3 πτερύγια και λειτουργούν με τη βοήθεια των δυνάμεων δυναμικής άνωσης ενώ έχουν μεγάλο συντελεστή περιστροφής λ. Παρ' όλο που είναι οι πιο κοντινοί «αναπληρωτές» των αεροκινητήρων οριζόντιου άξονα, με δυνατότητα παραγωγής ισχύος του 1 MW, έχουν προβλήματα αξιοπιστίας λόγω των μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν.

Οι μηχανές αυτού του τύπου δεν μπορούν να εκκινήσουν από μόνες τους, έτσι χρησιμοποιούν μια γεννήτρια ή ένα ανεμοκινητήρα Savonius εγκατεστημένο στην κορυφή του άξονα της σαν κινητήρα, για να μπορούν να φτάσουν στη ταχύτητα λειτουργίας τους. Επίσης, ειδικότερα, ο διπτέρυγος δρομέας παρουσιάζει έντονη κυκλική μεταβολή της αεροδυναμικής του ροπής με μεγάλες αποκλίσεις. Σε περίπτωση μεγάλων ταχυτήτων του ανέμου, ο αεροκινητήρα πρέπει να επιβραδυνθεί λόγω μεγάλης καταπόνησης του δρομέα από την περιστροφή. Η επιβράδυνση αυτή μπορεί να γίνει με αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης της πτερωτής, με φυγοκεντρική απελευθέρωση μιας επίπεδης πλάκας ή ενός τμήματος του δρομέα σε κάθετη θέση. Σήμερα, έχουν κατασκευαστεί διάφορες μορφές του αεροκινητήρα Darrieus, όπως οι Φ-Darrieus, Δ-Darrieus, Υ-Darrieus, Ο-Darrieus και Η-Darrieus. Συγκεκριμένα για τις Η-Darrieus, αναφέρεται ότι υπάρχουν πάνω από 30 εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες στον κόσμο, όλες όμως με ισχύ κάτω των 300KW.





Εικόνα 2.3: Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα τύπου Darrieus.

Οι αεροκινητήρες Savonius είναι κατασκευές σχήματος 'S' (σε κάτοψη) , οι οποίες εκμεταλλεύονται κυρίως την δύναμη της ιξώδους αντίστασης, ενώ στην παραγόμενη ισχύ μπορεί να συνεισφέρουν και κάποιες δυνάμεις άνωσης. Η περιστροφή του αεροκινητήρα Savonius οφείλεται κυρίως στη διαφορά πίεσης που ασκείται στη κοίλη και κυρτή επιφάνεια των 2 πτερυγίων, καθώς επίσης και στο γεγονός ότι ανάμεσα στα 2 πτερύγια υπάρχει ένα διάκενο το οποίο επιτρέπει στον αέρα να επιστρέφει και να αυξάνει την πίεση στο πίσω μέρος του κυρτού πτερυγίου, αυξάνοντας έτσι την ροπή που αναπτύσσεται γύρω από τον άξονα της μηχανής.

Αρχικά αυτού του τύπου ανεμογεννήτριες χρησιμοποιήθηκαν για μετρήσεις των καιρικών συνθηκών και για άντληση νερού. Έχουν το πλεονέκτημα της ευκολίας κατασκευής και του μικρού οικονομικού κόστους. Επίσης σε σύγκριση με τις μηχανές Darrieus, πλεονεκτούν στο γεγονός ότι δεν χρειάζονται υποβοήθηση για να ξεκινήσουν γιατί έχουν μεγάλη ροπή εκκίνησης. Το πρόβλημα που παρουσιάζεται στη χρήση τους, είναι η μικρή απόδοση που παρουσιάζουν οι μικρές τιμές της παραμέτρου περιστροφής ( $\lambda \sim 1$ ) για τις οποίες λειτουργούν, η μικρή αντοχή που έχουν σε μεγάλες ταχύτητες του ανέμου και το γεγονός ότι η στιβαρότητά τους πλησιάζει την μονάδα, πράγμα που σημαίνει ότι είναι βαριές κατασκευές σε σύγκριση με την ισχύ που παράγουν. Η απόδοσή τους στις περισσότερες περιπτώσεις δεν ξεπερνάει το 0.18, αλλά υπάρχουν και περιπτώσεις όπου ο συντελεστής απόδοσής τους μετρήθηκε κοντά στο 0.3 .Η ισχύς που παράγουν είναι κάτω των 100W γι' αυτό και η χρήση τους προωθείται κυρίως για οικιακούς σκοπούς και για παραγωγή ενέργειας σε υποανάπτυκτες χώρες και απομακρυσμένες περιοχές.



Εικόνα 2.4: Ανεμογεννήτρια Κατακόρυφου Άξονα τύπου Savonius.

### Ανεμογεννήτριες Οριζοντίου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα διατηρούν τον άξονα περιστροφής παράλληλα με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους. Αυτός ο τύπος ανεμογεννήτριας κατέχει σχεδόν το απόλυτο μερίδιο της αγοράς. Πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα τις κάνουν ιδιαίτερα δημοφιλής, όπως η εκκίνησή τους από πολύ μικρές ταχύτητες ανέμου, αλλά και τα ικανοποιητικά επίπεδα ενέργειας που παρέχουν για σχετικά μικρές ταχύτητες ανέμου. Γενικά έχουν μεγάλο αεροδυναμικό συντελεστή και αυτό αυξάνει κατά πολύ τον βαθμό απόδοσής του.

Βέβαια δεν παύει να έχει και μειονεκτήματα και αυτά έχουν να κάνουν με την εγκατάσταση των μηχανικών και ηλεκτρικών μηχανισμών σε μεγάλη απόσταση από το έδαφος. Επίσης χρειάζεται επιπλέον ένα μηχανισμό περιστροφής ώστε να προσανατολίζεται στην κατεύθυνση του ανέμου.

Μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων τους σε μονόπτερες, δίπτερες, τρίπτερες κλπ. Οι μονόπτερες έχουν το πλεονέκτημα του φθηνού οικονομικού κόστους, αλλά αντιμετωπίζουν προβλήματα ισορροπίας και οπτικής αποδοχής. Ανάλογα με το αν ο άνεμος συναντά πρώτα τον δρομέα ή τον θάλαμο με τη γεννήτρια διακρίνονται σε ανεμογεννήτριες ανάντι (upwind) και κατάντι (downwind) της ροής αντίστοιχα.

Βασικό χαρακτηριστικό των ανεμογεννητριών τύπου έλικας είναι η μεγάλη αεροδυναμική. Παλιά τα πτερύγια των μηχανών τέτοιου τύπου ήταν πλατιά, σήμερα κατασκευάζονται μηχανές με λεπτά πτερύγια για να ελαχιστοποιούνται οι απώλειες ενέργειας που συμβαίνουν σ' αυτά λόγω του ιξώδους του αέρα. Η γωνία που σχηματίζουν τα πτερύγια με τον άξονα περιστροφής τους, αποτελεί κατασκευαστικό χαρακτηριστικό για κάθε έλικα και καθορίζει την γωνία με την οποία ο άνεμος προσπίπτει πάνω στην έλικα.

Η θεωρητική απόδοση των ανεμογεννητριών τύπου έλικας, όπως επίσης και όλων των υπόλοιπων τύπων που δουλεύουν με παρόμοιο τρόπο, σύμφωνα με το κριτήριο του Betz είναι 59%. Δεν μπορεί να υπάρξει μεγαλύτερη τιμή από αυτή για το λόγο ότι υπάρχει περιορισμός στην ταχύτητα του ανέμου που διαπερνά την έλικα μιας ανεμογεννήτριας επειδή σύμφωνα με το θεώρημα διατήρησης μάζας ο άνεμος διατηρεί ένα μέρος της κινητικής του ενέργειας για να μπορεί να απομακρυνθεί από την ανεμογεννήτρια. Συνεπώς, δεν μπορούμε να έχουμε εκμετάλλευση της ολικής ποσότητας της αιολικής ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, για μια ιδανική έλικα, η ταχύτητα του ανέμου που διαπερνά την έλικα θα πρέπει θεωρητικά να είναι τουλάχιστο το 1/3 της ταχύτητας του ανέμου πριν την έλικα. Ένας ακόμα λόγος για τον οποίο δεν υπάρχει ολική εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας είναι η παράκαμψη που συμβαίνει από ένα μικρό ποσοστό της μάζας του αέρα όταν αυτή πλησιάζει

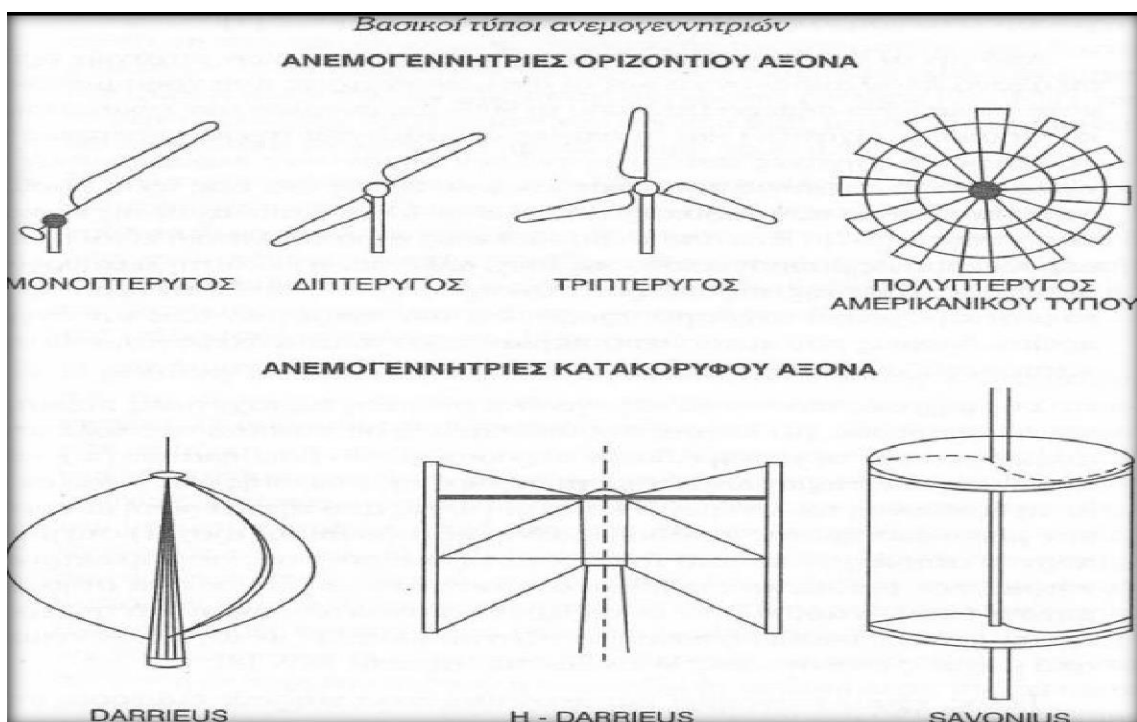
τον δρομέα. Το φαινόμενο αυτό εξηγείται με την εφαρμογή της εξίσωσης συνέχειας στο σημείο πριν και μετά τον δρομέα: Ο άνεμος επιβραδύνεται καθώς πλησιάζει τον δρομέα ενώ η πίεση αυξάνεται. Εφόσον όμως η μάζα του αέρα σε οποιαδήποτε απόσταση από την έλικα θα πρέπει να παραμείνει σταθερή, συνεπάγεται ότι θα πρέπει να αυξηθεί το εμβαδόν το οποίο καταλαμβάνουν οι γραμμές ροής του αέρα, προκαλώντας έτσι την παράκαμψη του μικρού ποσοστού αέρα που αναφέρθηκε πριν. Επίσης, η χρονική καθυστέρηση στρέψης του μηχανισμού προσανατολισμού της ανεμογεννήτριας στη διεύθυνση του ανέμου είναι ένας ακόμα παράγοντας που συντελεί στην μερική εκμετάλλευση της ισχύος του ανέμου.

Σήμερα στην πλειονότητα των εφαρμογών χρησιμοποιούνται οι τρίπτερες ανεμογεννήτριες που προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα. Ομοιόμορφη κατανομή αεροδυναμικού φορτίου, στιβαρότητα κατασκευής είναι κάποια βασικά χαρακτηριστικά τους. Οι πολυπτέρυγες ανεμογεννήτριες δεν έχουν εφαρμογή στην παραγωγή ενέργειας λόγω των αυξημένων αεροδυναμικών απωλειών που έχουν αλλά και της μεγάλης ροπής εκκίνησης που χρειάζονται.



Εικόνα 2.5: Ανεμογεννήτρια Οριζοντίου Άξονα.

Στην συνέχεια παρουσιάζονται εικόνες από τους τύπους ανεμογεννητριών που περιγράφηκαν παραπάνω.



Εικόνα 2.6: Βασικοί Τύποι Ανεμογεννητριών.

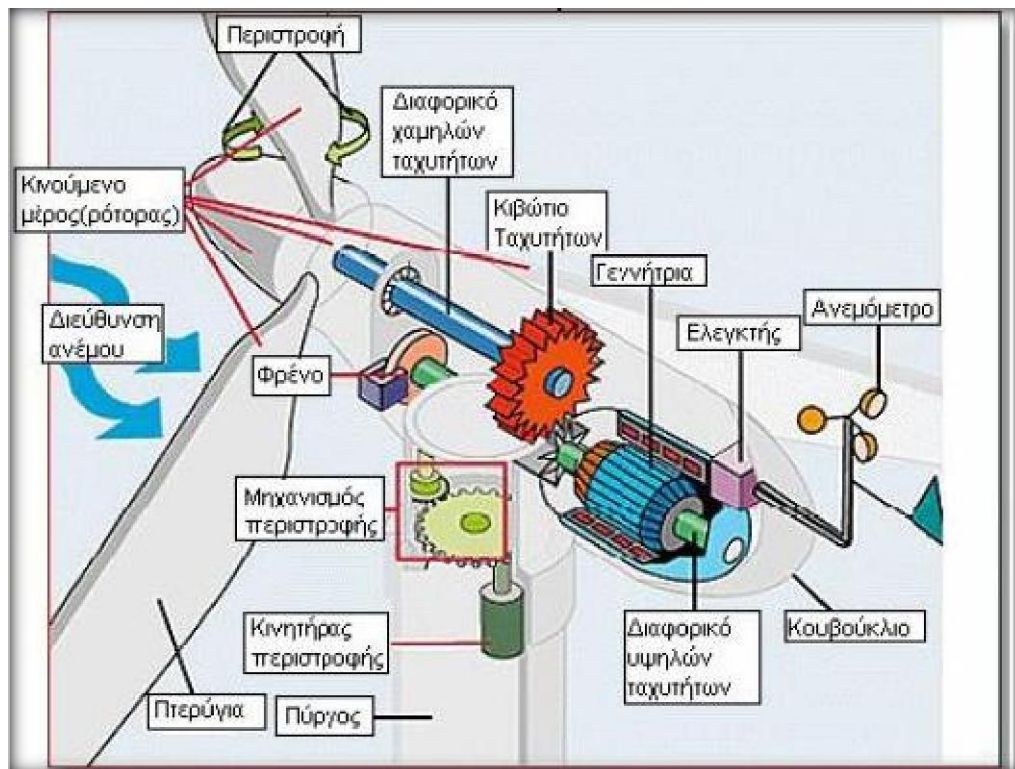


## 2.2 Δομή των Ανεμογεννητριών

Η ανεμογεννήτρια αποτελείται από τρία βασικά μέρη, κάθε ένα από τα οποία αποτελούνται από άλλα επιμέρους δομικά στοιχεία. Τα τρία βασικά δομικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας είναι τα εξής:

- Νασέλλα - Κουβούκλιο
- Πύργος
- Βάση

Στην ακόλουθη εικόνα απεικονίζεται πιο αναλυτικά η δομή μιας τρίπτερης ανεμογεννήτριας στο εσωτερικό της.



Εικόνα 2.7: Δομή μιας Τρίπτερης Ανεμογεννήτριας.

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

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

σχεδίαση του όλου συστήματος. Ο ρότορας αποτελεί το στρεφόμενο μέρος της μηχανής, το άκρο του οποίου είναι τύπου έλικας και μπορεί να φέρει μία (μονόπτερος) δύο ή τρεις πτέρυγες. Η περιστροφή των πτερυγίων ενός δρομέα οριζοντίου άξονα οφείλεται στη συνδυασμένη δύναμη της άνωσης και της πίεσης που ασκείται, όταν οι μάζες του αέρα προσπίπτουν στα πτερύγια. Για τη μέγιστη αξιοποίηση αυτής της δύναμης απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός, στη μορφή των πτερυγίων, στη στρέψη τους ως προς τον άξονα στήριξης τους (κλίση) και στην ελικοειδή διάταξη τους (βήμα). Τα πτερύγια συνήθως κατασκευάζονται από ενισχυμένο πολυεστέρα. Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος συνδυασμός των διάφορων παραμέτρων που συνθέτουν το δρομέα : ταχύτητα περιστροφής, διάμετρος δρομέα, αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους πτερυγίου, κατάλληλη αεροτομή ή αεροτομές. Το κριτήριο επιλογής για το συνδυασμό αυτό, είναι η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας. Τέλος η πλήμνη του δρομέα αποτελεί το σημείο στο οποίο στερεώνονται τα πτερύγια και κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο.

- **Πτερύγια:** Οι περισσότεροι στρόβιλοι αποτελούνται από δύο ή τρία πτερύγια. Η κίνηση του ανέμου πάνω από τα πτερύγια προκαλεί την περιστροφή τους και μέσω ενός κεντρικού άξονα μετατρέπει την κίνηση του ανέμου σε κυκλική κίνηση στην ανεμογεννήτρια. Το βασικό χαρακτηριστικό των πτερυγίων είναι το αεροδυναμικό τους σχήμα, που διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην απόδοσή τους.

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

- **Διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων:** Το διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων συνδέει την κεφαλή του ρότορα με το κιβώτιο ταχυτήτων. Σε ανεμογεννήτρια 1000 KW ο ρότορας περιστρέφεται σχετικά αργά, περίπου 19 με 30 περιστροφές ανά λεπτό (rpm). Το διαφορικό περιέχει σωλήνες για το υδραυλικό σύστημα ώστε να μπορεί να λειτουργήσει το αεροδυναμικό φρένο.
- **Σύστημα μετάδοσης κίνησης:** Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής (ταχύτητα με συγκεκριμένο αριθμό στροφών) της ανεμογεννήτριας. Με το σύστημα μετάδοσης δίνεται η κίνηση από το δρομέα (χαμηλές στροφές), στην ηλεκτρογεννήτρια (υψηλές στροφές). Συνδέει τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από 30 - 60 περιστροφές το λεπτό (rpm) σε 1200 - 1500 rpm, δηλαδή την ταχύτητα περιστροφής που απαιτείται από τις περισσότερες γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Το σύστημα μετάδοσης αποτελεί ένα ακριβό και βαρύ δομικό στοιχείο της ανεμογεννήτριας. Ανεμογεννήτριες μέχρι 150 kW έχουν σύστημα μετάδοσης δύο επιπέδων, ενώ ανεμογεννήτριες 300 kW έχουν σύστημα τριών επιπέδων (δύο επίπεδα και ένας ενδιάμεσος άξονας) και αυτές άνω των 450 kW έχουν σύστημα μετάδοσης δύο επιπέδων σε συνδυασμό με ένα οδοντωτό τροχό.

Οι μηχανικοί ερευνούν προς την κατεύθυνση ανεμογεννητριών «άμεσης ώθησης» (“direct-drive”) οι οποίες λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και δεν χρειάζονται κιβώτιο ταχυτήτων.



Εικόνα 2.8: Κιβώτιο Ταχυτήτων της Bosch.

- **Διαφορικό υψηλών ταχυτήτων:** Ο άξονας υψηλής ταχύτητας συνδέεται μεταξύ του συστήματος μετάδοσης και της γεννήτριας. Το σύστημα μετάδοσης κινεί τον άξονα και αυτός με τη σειρά του κινεί τη γεννήτρια παρέχοντάς της υψηλή ταχύτητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το διαφορικό είναι εξοπλισμένο με ένα δισκόφρενο σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης. Το μηχανικό φρένο χρησιμοποιείται σε περίπτωση που το αεροδυναμικό φρένο υποστεί βλάβη ή η ανεμογεννήτρια επισκευάζεται.
- **Ηλεκτρική γεννήτρια:** Ο μηχανισμός αυτός παράγει την ηλεκτρική ενέργεια όταν υπάρχει ικανοποιητικός αέρας για να περιστρέψει τα πτερύγια. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στο επόμενο στάδιο (είτε για αποθήκευση, είτε στο σύστημα διανομής, είτε για άμεση χρήση) χρησιμοποιώντας καλωδίωση. Υπάρχουν δύο δυνατές λύσεις, σύγχρονη ή ασύγχρονη γεννήτρια, η οποία συνδέεται με την έξοδο του κιβωτίου πολλαπλασιασμού των στροφών μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Η θέση τοποθέτησης της είναι στην κορυφή του πύργου της ανεμογεννήτριας. Συνήθως χρησιμοποιείται η ασύγχρονη γεννήτρια λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει όσον αφορά στο κόστος, στο βάρος, στην απλότητα κατασκευής, στην αξιοπιστία, στις ανάγκες συντήρησης, στην καλύτερη ποιότητα ισχύος και στις μεμονωμένες μηχανικές καταπονήσεις. Η σύγχρονη γεννήτρια, η οποία μειονεκτεί στα παραπάνω, χρησιμοποιείται σε εφαρμογές όπου δεν υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο, δηλαδή σε αυτόνομα συστήματα με συσσωρευτές για την αποθήκευση της ενέργειας, αφού η προτιμώμενη ασύγχρονη γεννήτρια χρειάζεται να παίρνει ρεύμα μαγνήτισης από το δίκτυο.
- **Σύστημα πέδησης:** Αποτελεί ένα δισκόφρενο, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί μηχανικά, ηλεκτρικά ή υδραυλικά με σκοπό να σταματήσει το στροφέα σε καταστάσεις που ενέχουν κίνδυνο έκτακτης ανάγκης. Ο έλεγχος της υπερβολικής ταχύτητας στις ανεμογεννήτριες εξασφαλίζεται με δύο τρόπους: αεροδυναμικά ή με μηχανική πέδηση. Ο έλεγχος της υπερβολικής ταχύτητας αεροδυναμικά αποτελεί την καλύτερη μέθοδο για την επιβράδυνση της ανεμογεννήτριας. Το φρενάρισμα της ανεμογεννήτριας μπορεί να επιτευχθεί με τη μεταφορά ενέργειας από τη γεννήτρια, μετατρέποντας την κινητική ενέργεια της περιστροφής του στροφέα σε θερμότητα. Αυτή η μέθοδος είναι χρήσιμη στις περιπτώσεις που η κινητική ενέργεια στη γεννήτρια μειώνεται ξαφνικά ή είναι

πολύ μικρή για να διατηρήσει την ταχύτητα του στροφέα στα επιτρεπτά επίπεδα. Το κυκλικά επαναλαμβανόμενο φρενάρισμα μειώνει σταδιακά και ελεγχόμενα την ταχύτητα των πτερυγίων. Με αυτόν τον τρόπο, η περιστροφή του στροφέα διατηρείται σε ασφαλή ταχύτητα, ακόμα και στις περιπτώσεις ανέμων υψηλών ταχυτήτων, διατηρώντας ταυτόχρονα, την παραγωγή ενέργειας σε κανονικά επίπεδα. Σε περιπτώσεις εργασιών συντήρησης, ο στροφέας σταματά να περιστρέφεται με τη βοήθεια ενός μηχανικού δισκόφρενου. Τα δισκόφρενα εφαρμόζονται αφού έχει μειωθεί ήδη η ταχύτητα του στροφέα με ηλεκτρομαγνητική πέδηση, καθώς τα μηχανικά φρένα θα φθαρθούν εύκολα εάν εφαρμοστούν για να σταματήσουν τον στροφέα από τη πλήρη ταχύτητα.

- **Ελεγκτής:** Η βασική λειτουργία του ελεγκτή είναι να δίνει εντολές στον κινητήρα παρεκτροπής σχετικά με το πόσο και προς τα που να στρέψει τη νασέλλα, έτσι ώστε ο στροφέας να βρίσκεται πάντα κόντρα στη ροή του ανέμου. Ανάλογα με τα δεδομένα που λαμβάνει από το ανεμόπτερο, ενεργοποιεί τη λειτουργία του στροφέα για ταχύτητες ανέμου 8-16 μιλίων την ώρα, ενώ για ταχύτητες μεγαλύτερες από 65 μίλια ανά ώρα σταματά τη λειτουργία του στροφέα, λόγω κινδύνου υπερθέρμανσης της γεννήτριας. Επιπλέον ο ελεγκτής καταγράφει διάφορες παραμέτρους της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας όπως είναι η τάση, το ρεύμα, η συχνότητα, η θερμοκρασία της νασέλλας και της γεννήτριας, το επίπεδο υδραυλικής πίεσης και το επίπεδο δόνησης. Σε κάθε περίπτωση επιλοκής, π.χ. υπερθέρμανση του κιβωτίου ταχυτήτων ή της γεννήτριας, σταματά αυτόματα την ανεμογεννήτρια και καλεί τον υπολογιστή του ελεγκτή της ανεμογεννήτριας μέσω μιας τηλεφωνικής σύνδεσης.
- **Μηχανισμός και κινητήρας περιστροφής:** Ο μηχανισμός περιστροφής της ανεμογεννήτριας ή αλλιώς yaw drive είναι η αιτία που στρέφεται ο δρομέας της ανεμογεννήτριας απέναντι στον αέρα. Η ανεμογεννήτρια θεωρείται ότι έχει σφάλμα περιστροφής, αν ο δρομέας δεν είναι κάθετος στη διεύθυνση του ανέμου. Το σφάλμα περιστροφής έχει ως συνέπεια η ανεμογεννήτρια να μπορεί να εκμεταλλευτεί μικρότερο μέρος της ενέργειας του ανέμου. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός στρέφει το στροφέα και επομένως ολόκληρη τη νασέλλα έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι βρίσκεται κόντρα στην κατεύθυνση του ανέμου. Κάτω από τον τροχό του μηχανισμού περιστροφής βρίσκεται ο μηχανισμός περιστροφής, ο οποίος τον θέτει σε κίνηση. Ο μηχανισμός περιστροφής ελέγχεται από ηλεκτρονικό ελεγκτή ο οποίος αντιλαμβάνεται τη διεύθυνση του ανέμου χρησιμοποιώντας τον ανεμοδείκτη.
- **Ανεμόμετρο και ανεμοδείκτης:** Το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης χρησιμοποιούνται για να μετρούν την ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου. Τα ηλεκτρικά σήματα του ανεμόμετρου χρησιμοποιούνται από τον ηλεκτρονικό ελεγκτή της ανεμογεννήτριας για να αρχίσει την λειτουργία της όταν η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει μια ελάχιστη τιμή. Ο υπολογιστής σταματά τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας αυτόματα αν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί ένα ανώτατο όριο προκειμένου να προστατεύσει την ανεμογεννήτρια και το περιβάλλον αυτής. Τα σήματα του ανεμοδείκτη χρησιμοποιούνται από τον ηλεκτρονικό ελεγκτή της ανεμογεννήτριας για να στρέφει αυτήν απέναντι στον άνεμο, μέσω του μηχανισμού περιστροφής.
- **Πύργος:** Ο πύργος είναι το τμήμα της ανεμογεννήτριας πάνω στον οποίο στηρίζεται η νασέλλα και ο στροφέας. Το ύψος της ανεμογεννήτριας αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα κατά το σχεδιασμό των ανεμογεννητριών του τύπου του οριζόντιου άξονα. Καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος, οι πιο υψηλοί πύργοι επιτρέπουν την παραγωγή περισσότερου ηλεκτρικού ρεύματος. Η μεταβολή της ταχύτητας με το ύψος, που ονομάζεται διάτμηση του ανέμου είναι εντονότερη κοντά στην επιφάνεια της γης. Χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια της ημέρας η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου είναι ανάλογη με την



έβδομη ρίζα του ύψους. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο διπλασιασμός του ύψους του πύργου αυξάνει τις αναμενόμενες ταχύτητες του ανέμου κατά 10% και την αντίστοιχη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια κατά 34%. Ο διπλασιασμός του ύψους του πύργου απαιτεί βέβαια και αντίστοιχο διπλασιασμό της διαμέτρου και επομένως και των κατασκευαστικών υλικών που απαιτούνται, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο και το κόστος κατασκευής. Κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν η ατμόσφαιρα είναι περισσότερο σταθερή, η ταχύτητα του ανέμου κοντά στο έδαφος μειώνεται σε αντίθεση με το ύψος που βρίσκεται ο στρόφαιος της ανεμογεννήτριας στο οποίο μπορεί ακόμα και να αυξηθεί. Επομένως, καθώς η ανεμογεννήτρια θα παράγει περισσότερη ενέργεια κατά τη διάρκεια της νύχτας, με το διπλασιασμό του ύψους του πύργου, η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει κατά 20%-60%. Για τις ανεμογεννήτριες του τύπου του οριζόντιου άξονα η επιλογή του κατάλληλου ύψους γίνεται με βάση το συνδυασμό της αύξησης της παραγωγής ενέργειας και της αντίστοιχης αύξησης του κόστους κατασκευής. Η συνθήκη αυτή επιτυγχάνεται για ύψη διπλάσια ή τριπλάσια του μήκους των πτερυγίων.

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

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

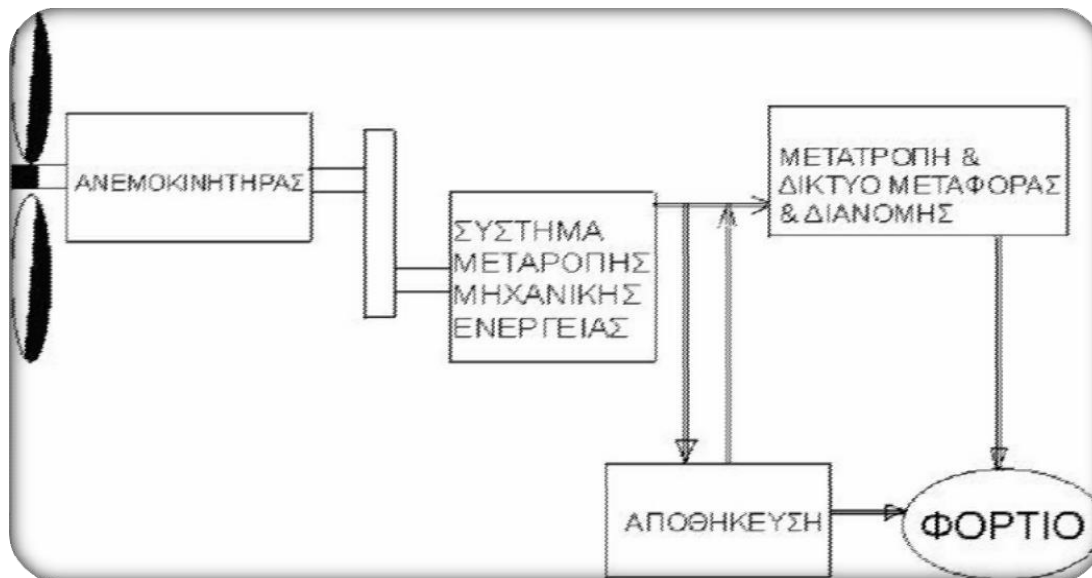


**Εικόνα 2.9:** Ανεμογεννήτριες με Χαλύβδινους και Δικτυωτούς πύργους αντίστοιχα.

- **Πίνακας ελέγχου:** Βρίσκεται συνήθως τοποθετημένος στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει κι ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η βέλτιστη λειτουργία της.
- **Μονάδα ψύξης:** Η μονάδα ψύξης περιέχει ένα ηλεκτρικό ανεμιστήρα που χρησιμοποιείται για να ψύχει την ηλεκτρική γεννήτρια. Επιπλέον περιέχει μια μονάδα ψύξης με λάδι η οποία χρησιμοποιείται για να ψύχει το λάδι στο κιβώτιο ταχυτήτων. Μερικές ανεμογεννήτριες έχουν υδρόψυκτες γεννήτριες.
- **Υδραυλικό σύστημα:** Το υδραυλικό σύστημα χρησιμοποιείται για να επαναφέρει τα αεροδυναμικά φρένα της ανεμογεννήτριας.

## 2.3 Λειτουργία των Ανεμογεννητριών

Στην παρακάτω διάταξη βλέπουμε μια γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια αεροδυναμικής διάταξης (π.χ. μιας έλικας). Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο επί τόπου ή να χρειαστεί να μετατραπεί σε μια άλλη μορφή ενέργειας και να μεταφερθεί στον τόπο της ζήτησης.



Εικόνα 2.10: Σχηματική αναπαράσταση εγκατάστασης εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας.

Η ανεμογεννήτρια μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Καθώς ο άνεμος περνάει από τον ανεμοκινητήρα, μέρος της κινητικής του ενέργειας δεσμεύεται από τα πτερύγια και μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια. Αυτή η ενέργεια διοχετεύεται, μέσω του μηχανικού συστήματος οδήγησης, στο ρότορα της γεννήτριας και μετατρέπεται τελικά σε ηλεκτρική. Η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται στο κύριο ηλεκτρικό δίκτυο (κατευθείαν στους καταναλωτές ή σε κάποιο μέσο αποθήκευσης ενέργειας) μέσω διακοπτικού εξοπλισμού, εξοπλισμού προστασίας, μετασχηματιστών και γραμμών μεταφοράς.

Ο σταθμός διαθέτει και ένα σύστημα εποπτείας και ελέγχου, ώστε να μπορεί να ανταπεξέλθει σε περιπτώσεις μεταβολών του ανέμου και αλλαγών στη δομή του κύριου δικτύου στο οποίο συνδέεται. Συγκεκριμένα ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα. Ο άξονας συνδέεται με ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης, όπου αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής, για να μεταφέρει με ένα νέο άξονα την κινητική ενέργεια σε μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Σε περίπτωση που η ένταση του ανέμου είναι ιδιαίτερα υψηλή, η φθορά και η καταστροφή της τουρμπίνας αποφεύγεται χάρη στην παρουσία μίας πέδης, που περιορίζει την υπερβολική

αύξηση των στροφών των πτερυγίων.

Σκοπός της γεννήτριας είναι η μετατροπή της μηχανικής σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι γεννήτριες των ανεμογεννητριών είναι ασυνήθιστες, σε σχέση με άλλες μονάδες γεννητριών που βρίσκονται σε ηλεκτρικά πλέγματα. Ένας λόγος γι' αυτό είναι ότι οι γεννήτριες των ανεμογεννητριών πρέπει να λειτουργούν με πηγή ισχύος, το ρότορα της ανεμογεννήτριας, που παρέχει μηχανικό έργο που κυμαίνεται σε ένα εύρος. Οι περισσότερες σύγχρονες ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν μια αποκαλούμενη τριφασική ασύγχρονη γεννήτρια, που ονομάζεται επίσης και επαγωγική γεννήτρια, για να παράγουν εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτός ο τύπος γεννήτριας δε χρησιμοποιείται ευρέως. Εμφανίζεται μόνο στη βιομηχανία των ανεμογεννητριών και σε μικρές μονάδες υδροπαραγωγής.

Στις μεγάλες ανεμογεννήτριες, ισχύος τουλάχιστον 100-150 kW, η τάση που παράγεται είναι συνήθως 690V τριφασικό εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Στη συνέχεια το ρεύμα στέλνεται μέσα από ένα μετασχηματιστή δίπλα στην ανεμογεννήτρια, ή μέσα στον πύργο για να αυξηθεί η τάση μεταξύ 10.000 και 30.000 Volts, ανάλογα με το τοπικό ηλεκτρικό κύκλωμα. Οι μεγάλες κατασκευαστικές εταιρίες κατασκευάζουν ανεμογεννήτριες των 50Hz για τα ηλεκτρικά δίκτυα στα περισσότερα μέρη του κόσμου και των 60Hz για το ηλεκτρικό δίκτυο στην Αμερική. Οι γεννήτριες χρειάζονται ψύξη καθώς δουλεύουν.

Στις περισσότερες ανεμογεννήτριες, αυτό επιτυγχάνεται μέσω της ενσωμάτωσης της γεννήτριας σε έναν αγωγό, με χρήση ενός μεγάλου ανεμιστήρα για την ψύξη, αλλά μερικοί κατασκευαστές χρησιμοποιούν γεννήτριες που ψύχονται με νερό. Αυτές οι γεννήτριες μπορούν να κατασκευαστούν συμπαγώς, κάτι που επίσης δίνει κάποια πλεονεκτήματα ηλεκτρικής απόδοσης, αλλά απαιτούν ένα σώμα στο κέλυφος για να απαλλαγούν από τη θερμότητα στο σύστημα ψύξης του υγρού.

Αν συνδεθεί ή αποσυνδεθεί μια μεγάλη γεννήτρια ανεμογεννήτριας στο ηλεκτρικό κύκλωμα με έναν απλό διακόπτη, υπάρχει κίνδυνος για την ασφαλή λειτουργία της γεννήτριας και του κιβωτίου ταχυτήτων, καθώς και πρόβλημα κατά τη διανομή του ηλεκτρικού ρεύματος στη γύρω περιοχή που ηλεκτροδοτείται από την ανεμογεννήτρια.

Οι περισσότεροι ελεγκτές των ανεμογεννητριών είναι προγραμματισμένοι να αφήνουν την ανεμογεννήτρια αδρανή χωρίς σύνδεση στο ηλεκτρικό κύκλωμα σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Αφού η ταχύτητα του ανέμου αυξηθεί αρκετά, ώστε να μπορεί να λειτουργεί ο ρότορας και η γεννήτρια, είναι σημαντικό η γεννήτρια να συνδεθεί στο ηλεκτρικό κύκλωμα τη σωστή στιγμή, διαφορετικά μόνο η μηχανική αντίσταση στο κιβώτιο ταχυτήτων και τη γεννήτρια θα μπορούν να σταματήσουν την επιτάχυνση του ρότορα και τελικά την υπερβολική ταχύτητα του.

Για να αποφευχθούν οι δυσάρεστες συνέπειες από την απότομη έναρξη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες κάνουν μια ομαλή εκκίνηση, δηλαδή συνδέονται και αποσυνδέονται σταδιακά στο ηλεκτρικό κύκλωμα με τη χρήση ενός θυροστάτη, έναν τύπο ημιαγωγού συνεχών ανοιγμάτων-κλεισίματος που μπορεί να ελέγχεται ηλεκτρονικά. Οι θυροστάτες σπαταλούν περίπου 1 έως 2% της ενέργειας που τους διαπερνά. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες μπορούν να έχουν σχεδιαστεί με σύγχρονες ή ασύγχρονες γεννήτριες και με διάφορους τρόπους άμεσης ή έμμεσης σύνδεσης της γεννήτριας. Η άμεση σύνδεση σημαίνει ότι η γεννήτρια είναι κατευθείαν συνδεδεμένη στο, συνήθως τριφασικό, εναλλασσόμενο ρεύμα (AC). Η έμμεση σύνδεση σημαίνει ότι το ρεύμα από την ανεμογεννήτρια περνάει μέσα από μια σειρά ηλεκτρικών κυκλωμάτων που ρυθμίζουν το ρεύμα, ώστε να ταιριάζει στο ηλεκτρικό δίκτυο. Με τις ασύγχρονες γεννήτριες κάτι τέτοιο γίνεται αυτόματα.

Η αιολική ενέργεια είναι ιδιαίτερα αραιή μορφή ενέργειας και επίσης η παραγόμενη ισχύς από τις ανεμογεννήτριες εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου, η οποία μεταβάλλεται συνεχώς. Συνεπώς η διαθεσιμότητα της αιολικής ενέργειας δεν είναι σταθερή. Αυτό αποτελεί και το βασικό πρόβλημα κατά τη λειτουργία σε σύνδεση με δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, γιατί οι μηχανές ντίζελ καλούνται να μεταβάλουν την παραγωγή τους ανάλογα με τις διακυμάνσεις της διαθεσιμότητας της αιολικής ενέργειας. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε

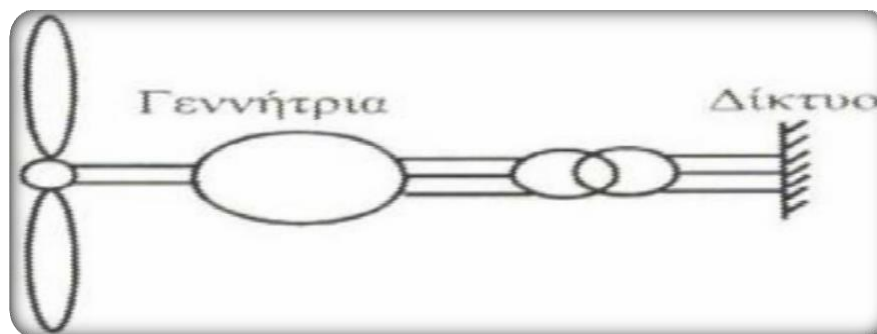
περιορισμό της παραγωγής των ανεμογεννητριών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το αιολικό πάρκο της Κύθνου, όπου οι ανεμογεννήτριες δε λειτουργούν όταν η ισχύς που παράγουν είναι μικρότερη από 4 kW και κατά συνέπεια σε αυτήν την περίπτωση η ζήτηση καλύπτεται αποκλειστικά από τη χρήση των συμβατικών μηχανών.

## 2.4 Τρόποι Λειτουργίας των Ανεμογεννητριών

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι λειτουργίας των συστημάτων μετατροπής της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική : η μέθοδος λειτουργίας σταθερής ταχύτητας (fixed speed) και η μέθοδος λειτουργίας μεταβλητής ταχύτητας (variable speed).

### Σταθερής ταχύτητας ανεμογεννήτρια

Λειτουργία σταθερής ταχύτητας σημαίνει ότι ο δρομέας της ανεμογεννήτριας στρέφεται με σταθερό αριθμό στροφών ανεξάρτητα της ταχύτητας του ανέμου. Ο τρόπος σύνδεσης της γεννήτριας με το δίκτυο, είναι ο ίδιος με τον τρόπο σύνδεσης γεννητριών που τροφοδοτούνται από συμβατικές πηγές ενέργειας. Δηλαδή η σύνδεση γίνεται απευθείας, χρησιμοποιώντας ένα μετασχηματιστή προσαρμογής του επιπέδου τάσης της γεννήτριας, σε αυτό του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 2.11: Αναπαράσταση ανεμογεννήτριας σταθερών στροφών.

Στις ανεμογεννήτριες σταθερής συχνότητας, ανεξάρτητα από την ταχύτητα του ανέμου, η ταχύτητα του ρότορα είναι σταθερή και καθορίζεται από τη συχνότητα του συνδεδεμένου δικτύου, τη σχέση του κιβωτίου ταχυτήτων και το σχεδιασμό της γεννήτριας. Σχεδιάζονται ώστε να παρουσιάζουν βέλτιστη αεροδυναμική απόδοση σε μια συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας αποτελούνται από μια επαγωγική γεννήτρια που συνδέεται κατευθείαν στο δίκτυο με μια διάταξη ομαλής εκκίνησης (soft starter) και μια συστοιχία πυκνωτών, για τη μείωση της κατανάλωσης άεργου ισχύος.

Είναι απλές κατασκευαστικά, στιβαρές και αξιόπιστες. Επίσης το κόστος των ηλεκτρικών της μερών είναι χαμηλό. Τα μειονεκτήματά της είναι η έλλειψη ελέγχου της άεργου ισχύος, οι μηχανικές καταπονήσεις και τα προβλήματα ποιότητας ισχύος. Επειδή λειτουργούν σε σταθερή ταχύτητα, όλες οι ταλαντώσεις της ταχύτητας του ανέμου μεταδίδονται ως ταλαντώσεις στη μηχανική ροπή και στη συνέχεια ως ταλαντώσεις στην ηλεκτρική ισχύ στο συνδεδεμένο δίκτυο.

Πολλοί κατασκευαστές για να κάνουν πιο ελκυστικό τον τύπο αυτό τοποθέτησαν 2 γεννήτριες στις ανεμογεννήτριες. Μια για λειτουργία χαμηλών στροφών και μια για λειτουργία σε υψηλές στροφές, προσπαθώντας έτσι να πετύχουν έναν υψηλότερο βαθμό απόδοσης. Το σύστημα αυτό είναι γνωστό ως το δανέζικο μοντέλο Danish concept. Εξαιτίας των παραπάνω αδυναμιών, οι κατασκευάστριες εταιρείες ξεκίνησαν την παραγωγή ανεμογεννητριών μεταβλητών στροφών, οι οποίες δίνουν λύση σε μεγάλο βαθμό στα προβλήματα που παρουσιάζουν οι ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών.

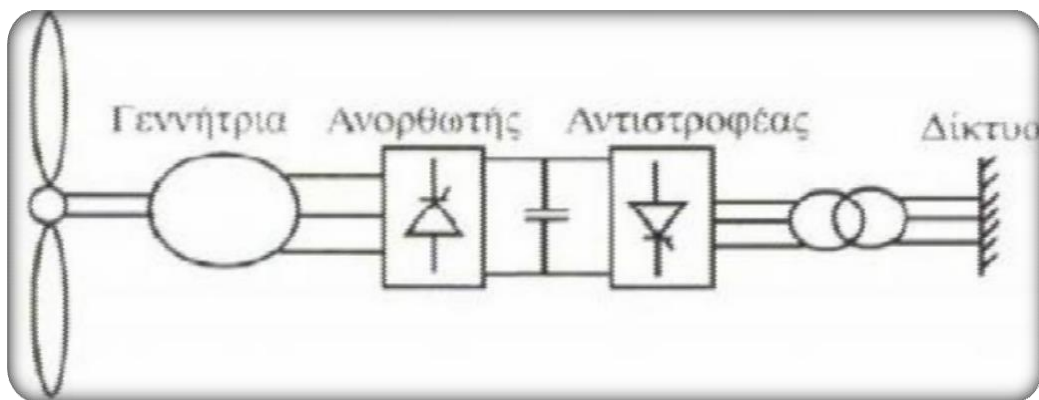


## Μεταβλητής ταχύτητας ανεμογεννήτρια

Στην λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας, η ταχύτητα του δρομέα της ανεμογεννήτριας μεταβάλλεται κατά ελεγχόμενο τρόπο, ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Για την σύνδεση της ανεμογεννήτριας με το δίκτυο σταθερής συχνότητας χρησιμοποιείται μετατροπέας συχνότητας, με τον τρόπο αυτό η ταχύτητα περιστροφής αποδεσμεύεται από τη σταθερή συχνότητα του δικτύου και είναι δυνατή η μεταβολή της.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα , στην έξοδο της γεννήτριας συνδέεται ένας τριφασικός ανορθωτής ελεγχόμενος ή μη, που μετατρέπει τα εναλλασσόμενα ηλεκτρικά μεγέθη σε συνεχή. Η σύνδεση στο δίκτυο γίνεται μέσω ενός αντιστροφέα, ο οποίος μετατρέπει τα συνεχή ηλεκτρικά μεγέθη σε εναλλασσόμενα, συχνότητας ίδιας με αυτήν του δικτύου.

Οι μετατροπείς αυτοί μπορούν να αποτελούνται είτε από θυρίστορ, είτε από ημιαγωγικά στοιχεία ελεγχόμενης έναυσης και σβέσης, όπως θυρίστορ με πύλη σβέσης (GTO) ή τρανζίστορ μονωμένης πύλης (IGBT).



Εικόνα 2.12: Αναπαράσταση ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητας.

Οι ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας σχεδιάζονται ώστε να επιτυγχάνουν βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής συμπεριφοράς σε ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων του ανέμου. Μέσω της λειτουργίας με μεταβλητές στροφές γίνεται εφικτό να προσαρμόζεται η γωνιακή ταχύτητα του ρότορα της ανεμογεννήτριας σε κάθε ταχύτητα ανέμου. Με τον τρόπο αυτό, ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου  $\lambda$  διατηρείται σταθερός σε μία προκαθορισμένη τιμή που αντιστοιχεί στον συντελεστή μέγιστης αεροδυναμικής απόδοσης. Σε αντίθεση με τη διάταξη σταθερών στροφών, η διάταξη μεταβλητών στροφών διατηρεί τη ροπή της γεννήτριας σχεδόν σταθερή και οι διακυμάνσεις του ανέμου αποσβένονται μέσω της αλλαγής της ταχύτητας της γεννήτριας. Το ηλεκτρικό σύστημα μιας ανεμογεννήτριας μεταβλητών στροφών είναι πιο πολύπλοκο από το αντίστοιχο των σταθερών στροφών. Συνήθως αποτελείται από μια επαγωγική ή σύγχρονη γεννήτρια που συνδέεται στο δίκτυο μέσω ενός μετατροπέα ισχύος.

Οι ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών προτιμούνται έναντι των σταθερών στροφών καθώς παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα. Το βασικό πλεονέκτημα της λειτουργίας μεταβλητής ταχύτητας είναι η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης της μηχανής, καθώς αυξάνεται το ποσοστό εκμετάλλευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου κυρίως κατά τις χαμηλές ταχύτητες ανέμου, σε σχέση με την λειτουργία σταθερής ταχύτητας. Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι δυνατότητα ελέγχου της άεργου ισχύος ανάλογα με τον τύπο μετατροπέα που χρησιμοποιείται.

Σημαντικό επίσης πλεονέκτημα από την λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας είναι η εξομάλυνση της μεταβλητότητας των μηχανικών ροπών και απόσβεση των συντονισμών του μηχανικού συστήματος μετάδοσης της κίνησης, τα οποία σημαίνουν μείωση των μηχανικών καταπονήσεων και αύξηση της διάρκειας ζωής του συστήματος. Επίσης έχουν μειωμένο

ακουστικό θόρυβο , καλύτερη προσαρμογή στις τοπικές συνθήκες ανέμου και διευκόλυνση στη διαδικασία εκκίνησης.

Τα μειονεκτήματα αυτού του συστήματος είναι καταρχήν η αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω του μετατροπέα συχνότητας και η αντίστοιχη αύξηση του κόστους. Επίσης λόγω του ηλεκτρονικού μετατροπέα παρουσιάζεται αύξηση των ανώτερων αρμονικών που εισέρχονται στο δίκτυο, κάτι που κάνει αναγκαία την εγκατάσταση φίλτρων για τον περιορισμό τους.

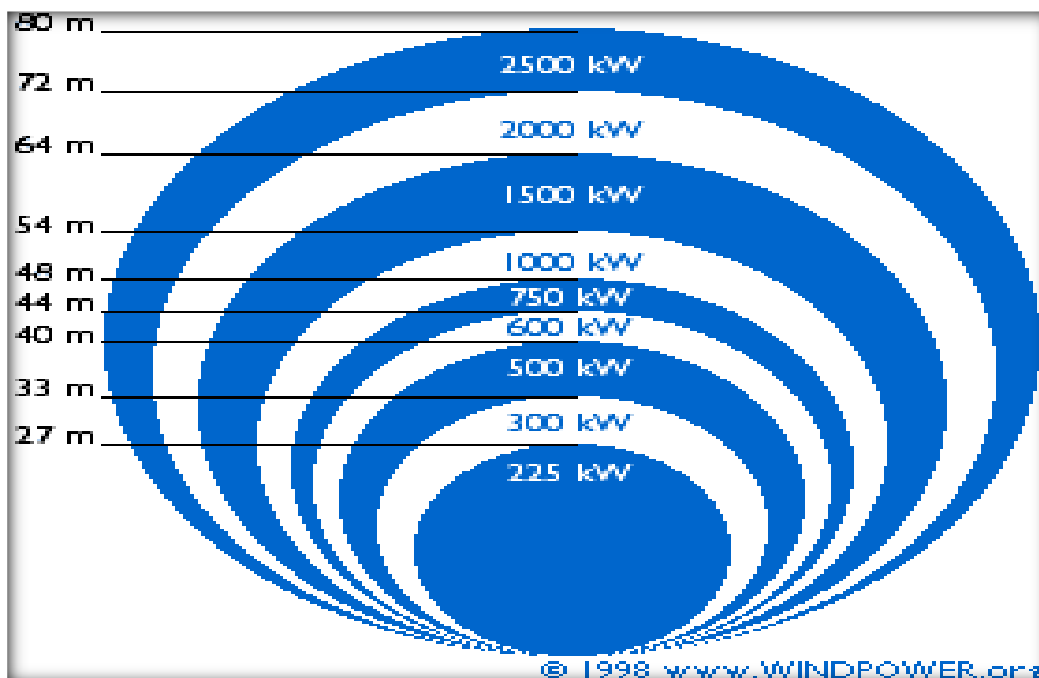
Με την πρόοδο της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος, πολλά από τα παραπάνω προβλήματα αναμένεται να επιλυθούν, κάτι που θα κάνει τις Α/Γ μεταβλητών στροφών ακόμη πιο ελκυστικές.

## 2.5 Το Μέγεθος των Ανεμογεννητριών

Η μορφή των ανεμογεννητριών έχει περάσει από πολλά στάδια στην πάροδο των χρόνων, πριν φτάσουμε στην κλασική μορφή των ανεμογεννητριών που χρησιμοποιούνται σήμερα. Σχεδόν σε όλες τις ανεμογεννήτριες έχουν δοκιμαστεί πολλές διαφορετικές λύσεις και όσον αφορά τον αριθμό των πτερυγίων αλλά και τον προσανατολισμό του άξονα.

Η ισχύς εξόδου αυξάνεται όσο αυξάνει η επιφάνεια που καλύπτει ο δρομέας της ανεμογεννήτριας. Όταν ένας αγρότης αναφέρεται στην έκταση που καλλιεργεί, θα περιγράψει την έκταση που καλλιεργεί σε τετραγωνικά μέτρα, σε στρέμματα. Με μια ανεμογεννήτρια είναι περίπου το ίδιο, μόνο που στην καλλιέργεια η επιφάνεια αναφέρεται σε οριζόντιο επίπεδο ενώ στην Α/Γ σε κάθετο.

Η επιφάνεια του δίσκου που καλύπτει ο ρότορας, καθώς και η ταχύτητα του ανέμου, φυσικά, καθορίζει την ενέργεια που παράγει η ανεμογεννήτρια. Η παρακάτω εικόνα 3.5.1 απεικονίζει τα συνήθη μεγέθη των ανεμογεννητριών: Μια τυπική ανεμογεννήτρια 600 kW θα έχει διάμετρο ρότορα 44 m. Αν διπλασιαστεί η διάμετρος του ρότορα, τετραπλασιάζεται η επιφάνεια που καλύπτει. Αυτό σημαίνει ότι τετραπλασιάζεται και η ισχύς εξόδου.



Εικόνα 2.13: Συνηθισμένα μεγέθη ανεμογεννητριών.

Η διάμετρος του ρότορα μπορεί να διαφέρει λίγο από τα μεγέθη που δίνονται στο σχήμα, γιατί αρκετοί κατασκευαστές προσαρμόζουν τις μηχανές τους στις αιολικές συνθήκες κάθε περιοχής: μια μεγάλη ανεμογεννήτρια, απαιτεί περισσότερη ισχύ (ισχυρότερους ανέμους) για να περιστραφεί. Αν λοιπόν εγκατασταθεί μια ανεμογεννήτρια σε μια περιοχή με χαμηλό αιολικό δυναμικό θα μεγιστοποιηθεί η ετήσια ενεργειακή παραγωγή αν για δεδομένο μέγεθος

του ρότορα χρησιμοποιηθεί μια μικρότερη γεννήτρια (ή αντίστροφα για δεδομένη ισχύ γεννήτριας χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερος δρομέας).

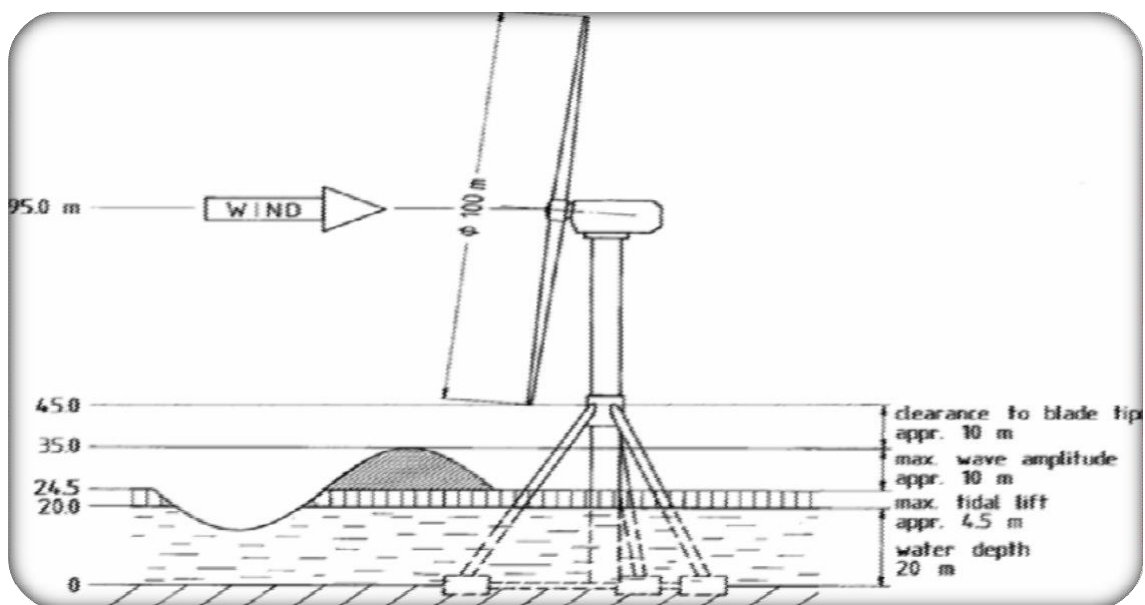
Για μηχανή 600 kW το μέγεθος του ρότορα μπορεί να κυμαίνεται από 39m ως 48m. Ο λόγος για τον οποίο θα αυξηθεί η παραγωγή ενέργειας από μια σχετικά μικρότερη μηχανή σε περιοχές με χαμηλό αιολικό δυναμικό είναι ότι η ανεμογεννήτρια θα δουλεύει για περισσότερες ώρες κατά τη διάρκεια του χρόνου.

## 2.6 Τεχνικές Απαιτήσεις Παράκτιων Ανεμογεννητριών

Η πρώτη προϋπόθεση για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας με επιτυχία είναι ο κατάλληλος σχεδιασμός και ο τεχνικός εξοπλισμός των ανεμογεννητριών. Οι υπάρχουσες ανεμογεννήτριες ήταν σχεδιασμένες για τοποθέτηση στη στεριά. Οι ανεμογεννήτριες που βρίσκονται στη θάλασσα υποβάλλονται σε διαφορετικές εξωτερικές συνθήκες που πρέπει να ληφθούν υπόψη στο σχεδιασμό.

### Ύψος πύργου

Για να κάνουν χρήση της υψηλής ταχύτητας του ανέμου, οι πύργοι των υπεράκτιων ανεμογεννητριών δε χρειάζεται να είναι τόσο ψηλοί όσο αυτοί στις εσωτερικές περιοχές. Το προφίλ της ταχύτητας του ανέμου έχει περισσότερες από μία διόγκωση, έτσι ώστε το χαμηλότερο ύψος πύργου να επαρκεί για την επίτευξη της βέλτιστης οικονομικής αξίας. Το ύψος του πύργου επίσης καθορίζεται και από τις ωκεανογραφικές συνθήκες σε σχέση με τη διάμετρο του ρότορα διαμέτρου. Παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι το βάθος του νερού, το παλιρροϊκό εύρος, το μέγιστο ύψος κύματος που αναμένεται και επαρκής χώρος για το στροφείο.



Εικόνα 2.14: Επίπεδα νερού στη Βόρεια Θάλασσα σε σχέση με το ύψος πύργου μιας ανεμογεννήτριας.

### Φάσμα φορτίου

Τα φορτία που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά το σχεδιασμό της υπεράκτιας κατασκευής διαφέρουν σημαντικά από εκείνα στη στεριά:

- Η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη.
- Η ένταση της αναταραχής πάνω από την ανοιχτή θάλασσα είναι μικρότερη, αλλά αναμένεται υψηλότερη επαγόμενη αναταραχή ανάλογα με την απόσταση των ανεμογεννητριών.
- Η κυματική κίνηση του νερού είναι μία νέα σημαντική επίδραση. Αυτό ισχύει τόσο για τα ακραία φορτία όσο και για τη δυναμική απόκριση των περιοδικών κυμάτων.
- Η κίνηση των πάγων στη θάλασσα μπορεί να οδηγήσει σε πολύ υψηλά και ακραία φορτία, ιδίως στη Βαλτική. Επιπλέον επικάθηση πάγου στην ανεμογεννήτρια πρέπει να ληφθεί υπόψη.
- Η μεταβολή στο ύψος της στάθμης της θάλασσας εξαιτίας της παλίρροιας μπορεί να έχει επίδραση στο φάσμα του φορτίου.
- Σε ορισμένες θαλάσσιες περιφέρειες, τα ρεύματα μπορεί να είναι τόσο ισχυρά που παίζουν ρόλο στο φάσμα του φορτίου.
- Τα θαλάσσια ρεύματα μπορεί να επηρεάσουν τα θεμέλια της διάταξης.
- Η αυξημένη διάβρωση - αν δεν εμποδίζεται με κατάλληλα προστατευτικά μέτρα - διαδραματίζει σημαντικό ρόλο και μειώνει την αντοχή των συστατικών της διάταξης.

Μια σημαντική πτυχή είναι η υπέρθεση των φορτίων ανέμου και κύματος στο φάσμα του φορτίου, αφού επηρεάζει την αντοχή στη δυναμική σχεδίαση της δομής. Έτσι το φορτίο του κύματος επηρεάζει κυρίως τον πύργο και τα θεμέλια, ενώ το φορτίο του ανέμου το ρότορα και το μηχανικό σύστημα κίνησης. Είναι αξιοσημείωτο ότι η υπέρθεση των φορτίων ανέμου και κύματος επηρεάζει λιγότερο τη δομή από ότι αν τα φορτία ήταν ανεξάρτητα. Ο λόγος έγκειται στην αεροδυναμική απόσβεση του κινούμενου ρότορα λόγω της κίνησης των κυμάτων κάτι παρόμοιο με τον τρόπο που τα πανιά του ιστιοφόρου υφραίνονται από την κίνηση του πλοίου όταν υπάρχουν κύματα.

### **Εξοπλισμός τουρμπίνας**

Συγκριτικά με τις χερσαίες, οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες έχουν περισσότερες απαιτήσεις όσον αφορά τον τεχνικό τους εξοπλισμό. Οι κυριότερες διαφορές τους αφορούν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Πολύ μεγαλύτερη αντιδιαβρωτική προστασία σε όλα σχεδόν τα δομικά στοιχεία.
- Άτρακτοι με καλύτερη σφράγιση.
- Κλειστό σύστημα ψύξης για τη γεννήτρια.
- Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου που μπορούν να επαναπρογραμματιστούν από τη στεριά.
- Ύπαρξη ειδικού γερανού επάνω στην άτρακτο για τη διευκόλυνση της συντήρησης και επισκευής.
- Ειδικά εργαλεία άρσης στην άτρακτο και στον πύργο για τα βαρέα στοιχεία και φορτία.
- Πλατφόρμες σύνδεσης για σκάφη συντήρησης με ειδικές ενισχύσεις πρόσβασης σε περίπτωση θαλασσοταραχής.
- Φωτισμό, σύμφωνα με τους κανόνες στη θάλασσα.



Εικόνα 2.15: Πλατφόρμα ελικοπτέρου σε υπεράκτια ανεμογεννήτρια στο αιολικό πάρκο Horns Rev.

## 2.7 Θεμελίωση Παράκτιων Ανεμογεννητριών

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

Η πάκτωση των ανεμογεννητριών στον πυθμένα των περιοχών που πρόκειται να εγκατασταθούν είναι μια δουλειά που απαιτεί ιδιαίτερη μελέτη από πολλές πλευρές.

Στην Ελλάδα υπάρχουν πολλές ιδιαιτερότητες που πρέπει να λάβουμε μια μελέτη τέτοιου είδους πολύ σοβαρά. Το κυριότερο θέμα που ισχύει σε κάθε τέτοια κατασκευή είναι η σεισμική πρόληψη. Η χώρα μας χαρακτηρίζεται ως μια αρκετά σεισμογενής περιοχή και αυτό επιφέρει μια ιδιαίτερη προσοχή σε οποιαδήποτε στατική μελέτη. Ένας λόγος που κάνει πιο συγκεκριμένη μια τέτοια μελέτη είναι και οι αλλαγές του υλικού του βυθού κάθε περιοχής. Πολλές φορές αλλάζουν τα υλικά που συνθέτουν το ανάγλυφο της υποθαλάσσιας περιοχής. Αυτό μπορεί να είναι από μια πεδινή περιοχή με άμμο μέχρι μια βραχώδη γεμάτη πετρώματα και ξέρες.

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

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

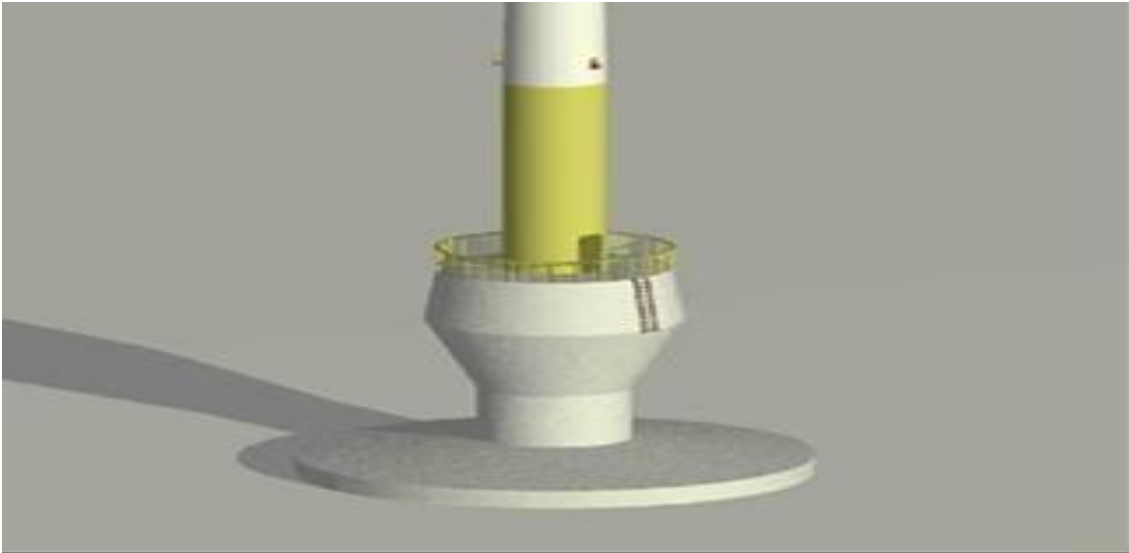


Εικόνα 2.16: Διαφορετικοί τύποι θεμελιώσεων.

### Θεμέλια Βαρύτητας από Οπλισμένο Σκυρόδεμα

Αυτός ο τύπος θεμελίου χρησιμοποιήθηκε για τα αιολικά πάρκα της Δανίας για τις περιοχές Videby και Tunoe. Τυπικά, αποτελείται από κέλυφος οπλισμένου σκυροδέματος, το οποίο κατασκευάζεται στην στεριά και εν συνεχεία ρυμουλκείται στην τοποθεσία όπου και θα βυθιστεί με την γέμιση του σκύρα, πέτρα ή άμμο. Η μάζα ενός τέτοιου κιβωτίου για μία ανεμογεννήτρια των 2 MW είναι περίπου 1500 τόνοι συν τη μάζα του υλικού που τοποθετείται σε αυτό. Το θεμέλιο μπορεί να έχει ανοικτή ή κλειστή κορυφή, είναι κωνικό ή πυραμιδοειδές, κυκλικής ή πολυγωνικής κάτοψης με την κωνική διατομή προτιμώμενη για περιοχές με χιονοπτώσεις και παγετό και την κλειστή οροφή προτιμώμενη οικονομικά διότι μπορεί να γεμίσει με άμμο (φθηνότερη από την γέμιση με πέτρες ή βράχο), χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να την απομακρύνει το νερό. Μετά την τοποθέτηση του στο νερό στηρίζονται πάνω του τα υπόλοιπα τμήματα της ανεμογεννήτριας, ο πυλώνας, ο μηχανισμός περιστροφής, οι λεπίδες και το ηλεκτρομηχανολογικό υλικό. Για την προστασία της κατασκευής από διάβρωση χρησιμοποιούνται περιμετρικοί μανδύες που εισχωρούν στον πυθμένα σε συνδυασμό με περιμετρική διάστρωση πετρωμάτων η οποία εξασφαλίζει την αποφυγή της απομάκρυνσης του εδάφους στήριξης.





Εικόνα 2.17: Θεμέλια βαρύτητας από οπλισμένο σκυρόδεμα.

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

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

### Θεμέλια Βαρύτητας από Χάλυβα

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

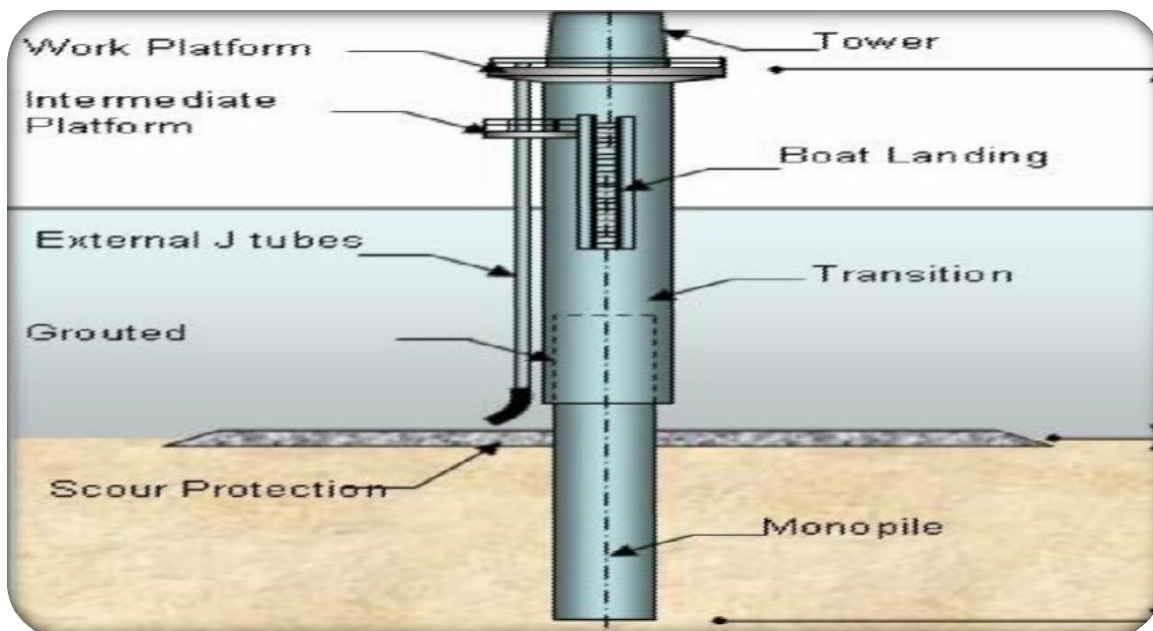
Το χαλύβδινο θεμέλιο είναι σημαντικά ελαφρύτερο από το αντίστοιχο σκυρόδεμα. Ενδεικτικό είναι το βάρος της μεταλλικής κατασκευής ζυγίζει περίπου 80 με 100 τόνους εκεί που το τελικό βάρος του είναι γύρω στους 1000 τόνους. Αυτό επιτυγχάνεται με την γέμιση της βάσης

έδρασης με ολιβίνη, ένα πολύ πυκνό ορυκτό.

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

### Θεμελίωση με Πασσαλόπηξη Μεταλλικού Σωλήνα (Monopile)

Αυτή η περίπτωση θεμελίωσης είναι μια απλή κατασκευή ενός μεταλλικού χαλύβδινου σωλήνα, ο οποίος αφού κατασκευαστεί μεταφέρεται με φορτηγίδα ή ρυμουλκείται στον τόπο της εναπόθεσής του. Το θεμέλιο αυτό βυθίζεται 10 με 20 μέτρα από την επιφάνεια του πυθμένα ανάλογα με τον τύπο του υπεδάφους.



Εικόνα 2.18: Θεμελίωση με πασσαλόπηξη μεταλλικού σωλήνα.

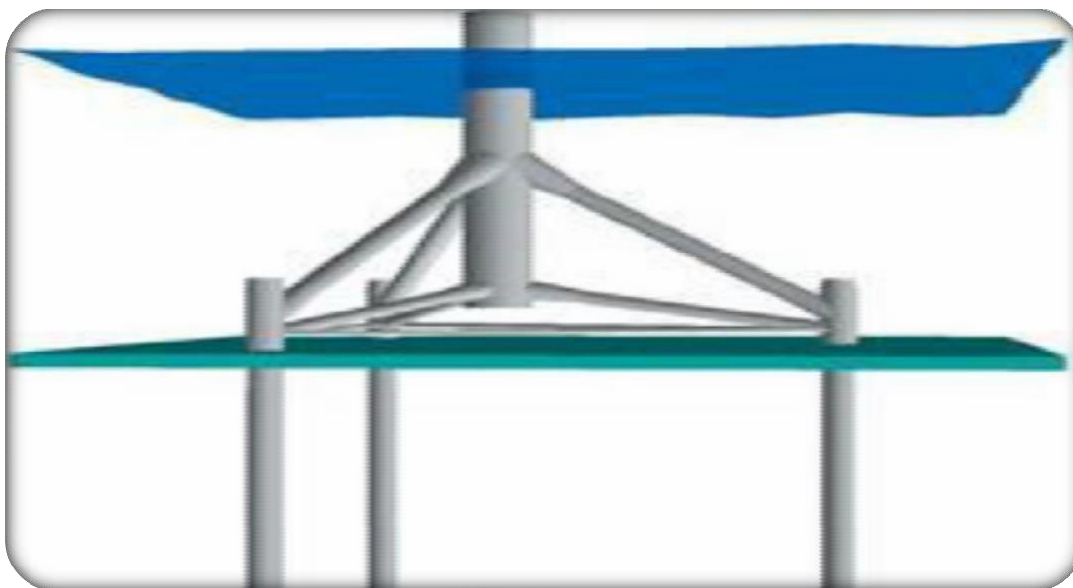
Η συνήθης διάμετρος του κυμαίνεται από 3.5 έως 4.5 μέτρα και ζυγίζει γύρω στους 175 τόνους. Αυτή η περίπτωση θεμελίωσης είναι εφικτή οικονομικά για βάθη μέχρι 30 μέτρα και έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε αιολικά πάρκα στην Βαλτική και Βόρεια θάλασσα αλλά και σε άλλες περιοχές της Βρετανίας. Γενικά αυτός ο τύπος θεμελίωσης δεν έχει πρόβλημα με την διάβρωση του εδάφους και έτσι συνήθως δεν χρειάζονται επιπλέον μέτρα.

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



## Θεμελίωση με Πασσαλόπηξη Μεταλλικού Τριπόδου (Tripod)

Ένα κεντρικός σωλήνας χάλυβα που υποστηρίζεται από τρία πόδια ονομάζεται τρίποδο. Αυτή η κατηγορία θεμελίωσης είναι μια εξέλιξη της προηγούμενης και έχει τις ρίζες στις κατασκευές που χρησιμοποιούνται στην βιομηχανία της άντλησης πετρελαίου. Γενικά αυτή η κατασκευή είναι ένα ελαφρύ σωληνωτό χωρικό δικτύωμα το οποίο αγκυρώνεται στον πυθμένα με τη χρήση τριών μεταλλικών πασσάλων διαμέτρου 0.9 μέτρα και μήκους 10 με 20 μέτρα. Το βάρος της κατασκευής είναι ακόμα ελαφρύτερο από αυτό του μονού σωληνωτού πασσάλου γύρω στους 125 τόνους. Η μεταφορά γίνεται με φορτηγίδα. Η εγκατάσταση του τριπόδου γίνεται σε δύο φάσεις με πρώτη την τοποθέτηση των πασσάλων και εν συνεχεία την στήριξη του τριπόδου πάνω τους.



**Εικόνα 2.19:** Θεμελίωση μεταλλικού τριπόδου.

Η θεμελίωση με τρίποδο έχει καλύτερη συμπεριφορά σε βάθη μέχρι 50 μέτρα, προσφέρει ικανοποιητική σταθερότητα αλλά και ανοχή στην διάβρωση του εδάφους γι' αυτό και δεν είναι απαραίτητη η λήψη μέτρων για τέτοια προστασία. Επίσης, για την εγκατάστασή του χρειάζονται πολύ λίγες εργασίες για την προετοιμασία του πυθμένα. Όμως, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση θεμελίωσης με σωληνωτό πάσσαλο, η ύπαρξη βράχων στο υπέδαφος μπορεί να είναι απαγορευτική από οικονομικής πλευράς. Είναι ακατάλληλη για μικρά βάθη (6 – 7 μέτρα), αφού η ύπαρξη του δικτύωματος εμποδίζει την προσβασιμότητα πλωτών μέσω στην ανεμογεννήτρια και έτσι η συντήρηση ή η επισκευή της γίνεται από δύσκολη έως αδύνατη.

## Θεμελίωση με Μεταλλικό Τετράποδο (Jacket)

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

Η μεταφορά της και η εγκατάστασή της γίνεται όπως και στην προηγούμενη περίπτωση και τα πλεονεκτήματα όπως και τα μειονεκτήματά της είναι τα ίδια. Η μόνη διαφορά είναι λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας του δικτυώματος διευκολύνεται η τοποθέτηση του πυλώνα της ανεμογεννήτριας.

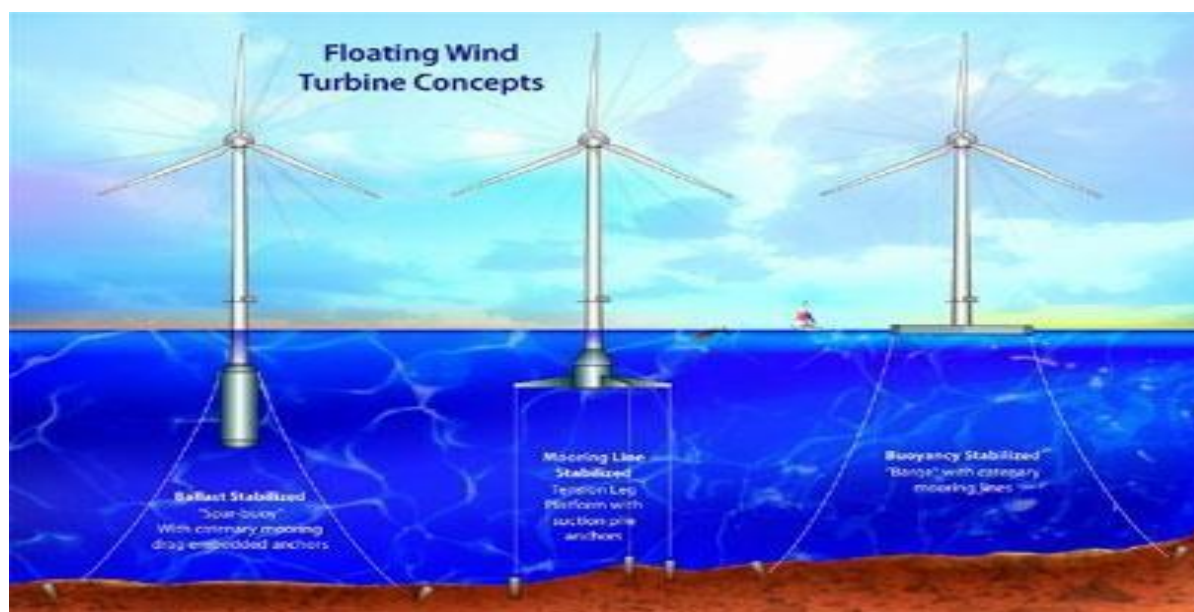


Εικόνα 2.20: Θεμελίωση με Μεταλλικό Τετράποδο.

### Επιπλέονσα Θεμελίωση

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

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



Εικόνα 2.21: Επιπλέονσα Θεμελίωση.

## 2.8 Υλικά Κατασκευής Παράκτιων Ανεμογεννητριών

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

Στον αντίποδα, σε αντίστοιχες έρευνες που έγιναν από το Βρετανικό κέντρο σκυροδέματος το 2007 βρέθηκε ότι η θεμελίωση βαρύτητας από σκυρόδεμα για μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες της τάξης των 3.5 MW και για βάθη 20 με 30 μέτρα ήταν ανταγωνιστική με τις υπόλοιπες λύσεις από χάλυβα.

Πρέπει πάντως να σημειωθεί, ότι η αντίληψη ότι ο χάλυβας έχει μικρό χρόνο ζωής λόγω της διάβρωσης, αποδεικνύεται ανυπόστατη αφού η βιομηχανία άντλησης πετρελαίου με τη χρήση καθοδικής προστασίας χάλυβα, χρησιμοποιεί τέτοιες κατασκευές με προβλεπόμενο χρόνο ζωής 50 χρόνια. Παρόλα αυτά το σκυρόδεμα μπορεί με κατάλληλη επεξεργασία αλλά και συντήρηση να φτάσει τα 100 χρόνια ζωής. Αυτό θα σήμαινε σημαντική μείωση του κόστους αφού το θεμέλιο και ο πυλώνας που είναι το 40% του κόστους της κατασκευής θα χρειαστούν μια αντικατάσταση λιγότερη σε αυτήν την περίοδο. Επιπλέον, το σκυρόδεμα λόγω του βάρους του αλλά και της φύσης του δίνει γενικά μεγαλύτερες ιδιοπεριόδους και συντελεστές απόσβεσης που είναι και το ζητούμενο για αυτές τις κατασκευές.

Συμπερασματικά είναι εμφανές ότι η επιλογή του τύπου αλλά και του υλικού κατασκευής της θεμελίωσης είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων και πρέπει να προηγηθεί ειδική μελέτη για την εύρεση της βέλτιστης οικονομικής λύσης που θα λαμβάνει υπόψη τα μεγέθη των ανεμογεννητριών, τις οικονομίες κλίμακας, τα διαθέσιμα μέσα κατασκευής, μεταφοράς και εγκατάστασης των θεμελίων αλλά και το έδαφος, το βάθος, τη διάβρωση και γενικότερα τις συνθήκες που επικρατούν στη θάλασσα.

## 2.9 Μεταφορά & Εγκατάσταση Παράκτιων Ανεμογεννητριών

Η μεταφορά, η εγκατάσταση και η λειτουργία των ανεμογεννητριών στη θάλασσα έχει ιδιαίτερες απαιτήσεις και κυρίως κοστίζουν πολύ περισσότερο από τις εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας στη στεριά. Οι πρώτες δυσκολίες εμφανίζονται στη μεταφορά του πύργου και του ρότορα, που ξεπερνούν σε μήκος τα 50 μέτρα, για τόσο μεγάλες αποστάσεις από την ξηρά (Εικόνα). Το ίδιο ισχύει και στις περιπτώσεις μεταφοράς πολύπλοκων δομών, όπως για παράδειγμα τα θεμέλια πολλών πυλώνων.



**Εικόνα 2.22:** Μεταφορά προσυναρμολογημένου στροφέα (70 μέτρα διάμετρος) για τοποθέτηση στο αιολικό πάρκο Yttre Stengrund.

Για οικονομικούς λόγους θα πρέπει να προκατασκευάζονται τμήματα των ανεμογεννητριών στη στεριά προκειμένου να αποφευχθούν οι κοστοβόρες εργασίες στη θάλασσα με τις αβεβαιότητες ως προς το χρόνο και τις καιρικές συνθήκες. Σε όλα αυτά πρέπει να συνυπολογιστεί και το μέγεθος τόσο του συνεργείου όσο και των μηχανημάτων που θα χρειαστούν. Στη θεμελίωση μονού πυλώνα απαιτείται ένα βαρύ- υδραυλικό σφυρί προκειμένου να τοποθετήσει τους σωλήνες από χάλυβα με διάμετρο 4 μέτρων στη θάλασσα σε βάθος περίπου 20 μέτρων. Η συναρμολόγηση του τρίποδου θεμελίου απαιτεί λιγότερο βαρύ εξοπλισμό. Ωστόσο είναι πιο δύσκολη η μεταφορά του προκατασκευασμένου τμήματος του θεμελίου. Οι καιρικές συνθήκες είναι ένας σημαντικός παράγοντας κινδύνου για τη συναρμολόγηση καθώς αυτή μπορεί να γίνει μόνο όταν η θάλασσα είναι ήρεμη. Το σημαντικότερο κριτήριο είναι το ύψος κύματος κατά τη διάρκεια της σύνδεσης. Οι εργασίες γίνονται εξαιρετικά δύσκολες έως αδύνατες, όταν το ύψος των κυμάτων ξεπερνούν το ένα μέτρο, με αποτέλεσμα την προσωρινή διακοπή τους. Κάτι τέτοιο συνεπάγεται και επιπλέον κόστος εργασιών.

Η μεταφορά στο χώρο πραγματοποιείται συνήθως μέσω μίας πλεούμενης πλατφόρμας και με τη βοήθεια ενός σκάφους ρυμούλκησης. Οι πλατφόρμες έχουν πυλώνες στήριξης που ακουμπούν στον πυθμένα για μεγαλύτερη σταθερότητα κατά την εργασία συναρμολόγησης. Κατά τη μεταφορά οι πυλώνες στήριξης είναι προφανώς μαζεμένοι. Ένα άλλο σημαντικό πρόβλημα είναι η προσβασιμότητα των εργατών και των υπευθύνων στο χώρο του αιολικού πάρκου. Σε περίπτωση μεγάλης θαλασσοταραχής το πλοίο δε μπορεί να φτάσει στην αποβάθρα. Έτσι τελευταία γίνονται προσπάθειες πρόσβασης υποβρύχια ή μέσω αέρα, αντίστοιχα με υποβρύχια οχήματα ή ελικόπτερα.



Εικόνα 2.23: Μεταφορά τμημάτων υπεράκτιας Α/Γ.



Εικόνα 2.24: Εγκατάσταση Α/Γ στο αιολικό πάρκο Yttre Stengrund.

Ένα παράδειγμα τυπικού υπεράκτιου αιολικού πάρκου είναι το αιολικό πάρκο Horns Rev, στην δυτική ακτή της Δανίας. Στο έργο αυτό κατασκευής αιολικού πάρκου έχει επιλεγεί η έδραση μονού πυλώνα. Η πρώτη φάση κατασκευής της έδρασης απαιτούσε την προετοιμασία του θαλάσσιου βυθού. Για ελαχιστοποίηση της διάβρωσης, τοποθετήθηκε ένα στρώμα από σκύρα για τη θεμελίωση. Κατόπιν, τοποθετήθηκε ο μονός πυλώνας στην απαιτούμενη θέση και στερεώθηκε μέσω του στρώματος στον πυθμένα. Η βύθιση του μονού πυλώνα στον πυθμένα της θάλασσας είναι περίπου 25 μέτρα.

Χρησιμοποιήθηκαν ειδικά σχεδιασμένες φορηγίδες, εξοπλισμένες με ενισχυμένο καταδυτικό έμβολο. Τα τεμάχια μεταβατικής ζεύξης ποντίστηκαν μαζί με τους μονούς πυλώνες, αναδεικνύοντας τις διατάξεις αποβίβασης του πλοίου και την καθοδική προστασία. Οι αγωγοί καλωδίων για τα υποβρύχια καλώδια σφραγίστηκαν με σκυρόδεμα και το στρώμα των σκύρων καλύφθηκε με χαλίκια και πέτρες. Για την ανέγερση των ανεμογεννητριών χρησιμοποιήθηκαν ειδικές ανυψωτικές εξέδρες με βυθιζόμενα υποστηρίγματα, εφοδιασμένες με ανυψωτικό εξοπλισμό για την ανύψωση όλων των τμημάτων των ανεμογεννητριών και την απευθείας συναρμολόγησή τους.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

### 3.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Ανάπτυξης Παράκτιων Α/Π

Τα παράκτια αιολικά πάρκα δεν είναι πανάκεια, έχουν πλεονεκτήματα όπως και μειονεκτήματα. Πλεονέκτημα είναι ότι 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.

Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι εν πλω η αναταραχή είναι χαμηλότερη απ' ό,τι στο έδαφος. Αυτό οφείλεται στις μικρότερες παραλλαγές της θερμοκρασίας στο κάθετο επίπεδο απ' ό,τι στο έδαφος. Η χαμηλότερη αναταραχή μπορεί να οδηγήσει στην πιο μακροχρόνια διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας και συνεπώς οικονομικά βιώσιμη κατασκευής. Η χαμηλότερη αναταραχή επίσης σημαίνει ότι τα πτερύγια χρονοτριβούν με μια ταχύτητα υψηλότερη απ' ό,τι στο έδαφος. Οι παράκτιοι πόροι αέρα με την χαμηλή τους αναταραχή αυξάνουν την διάρκεια ζωής των ανεμογεννητριών σε μια πιθανή κλίμακα των 25 έως 30 ετών. Εάν υποθέτουμε μια διάρκεια ζωής προγράμματος, για παράδειγμα, 25 ετών αντί 20, αυτό κάνει τις δαπάνες συντήρησης περίπου 9% χαμηλότερα. Επομένως 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.

Ένα άλλο κίνητρο ανάπτυξης παράκτιων πάρκων είναι η δυσκολία εύρεσης αρκετών κατάλληλων περιοχών αιολικών πάρκων στο έδαφος, ειδικά στην πυκνά εποίκημένη και σχετικά επίπεδη επαρχία μιας χώρας. Επίσης η παρουσία συστοιχίας δένδρων έχει σαν αποτέλεσμα το μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου μέχρι και το ύψος της κορυφής των δένδρων.

Τέλος και τα παρακείμενα κτίρια αποτελούν ένα άλλο είδος εμποδίων, δεδομένου ότι η παρουσία τους διαταράσσει σε σημαντική έκταση το πεδίο ροής του ανέμου. Ξέροντας λοιπόν ότι για τη σωστή αεροδυναμική συμπεριφορά μιας αιολικής μηχανής είναι σκόπιμο η πτερωτή της ανεμογεννήτριας να βρίσκεται εκτός του πεδίου επιρροής τυχόν επιφανειακών εμποδίων, συμπεραίνουμε ότι κατά την λειτουργία θαλάσσιου Α/Π έχουμε μεγιστοποίηση της διαθέσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου, το πεδίο ροής είναι ελεύθερο και η τύρβη του ανέμου είναι η ελάχιστη δυνατή. Είναι συνεπώς σκόπιμο να επιλέγουμε θαλάσσιες περιοχές για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων χωρίς το πρόβλημα επιρροής επιφανειακών εμποδίων.

Η ποιότητα του αέρα παράκτια μπορεί να εξασφαλίσει συνεπώς καλύτερες προδιαγραφές λειτουργίας στο Α/Π που αυτό συνεπάγεται λιγότερες ώρες εκτός αλλά και οικονομικότερο κόστος συντήρησης των ανεμογεννητριών. Μπορεί το κόστος της εγκατάστασης του Α/Π να είναι επιβαρημένο λόγω του θαλάσσιου της περιοχής αλλά η απόσβεση του κόστους των εργασιών θεωρητικά θα είναι στο ίδιο, ίσως και χαμηλότερο επίπεδο, με το χερσαίο αφού η ποιότητα της λειτουργίας του παράκτιου Α/Π είναι σαφώς καλύτερη από εκείνη του χερσαίου. Η διαδικασία σχεδιασμού, δημιουργίας και λειτουργίας των θαλάσσιων αιολικών πάρκων και αντίστοιχα των φορέων διαχείρισης, δημιουργούν τις παρακάτω δραστηριότητες οι οποίες με τη σειρά τους δημιουργούν νέες θέσεις εργασίας.

Η παράκτια ενέργεια αέρα είναι λίγο ακριβότερη από τη συμβατική δύναμη. Αλλά εάν αναλογιστούμε τις περιβαλλοντικές δαπάνες των απολιθωμένων καυσίμων και τις εσωτερικοποιήσουμε θα ανακαλύψουμε ότι τέτοια προγράμματα είναι πολύ ανταγωνιστικά.

Στα μειονεκτηματά τους περιλαμβάνεται το υψηλότερο κόστος κατασκευής τους, συντήρησης



και λειτουργίας 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.

Στην Ελλάδα λίγες θαλάσσιες περιοχές πληρούν τις προδιαγραφές, που είναι το μικρό βάθος σε απόσταση λίγων χιλιομέτρων από την ακτή. Επιπλέον σοβαρό εμπόδιο στην χώρα μας αποτελεί και η υποδομή του ηλεκτρικού συστήματος, η έλλειψη σοβαρού χωροταξικού πλαισίου και η διαδικασία αδειοδότησης.

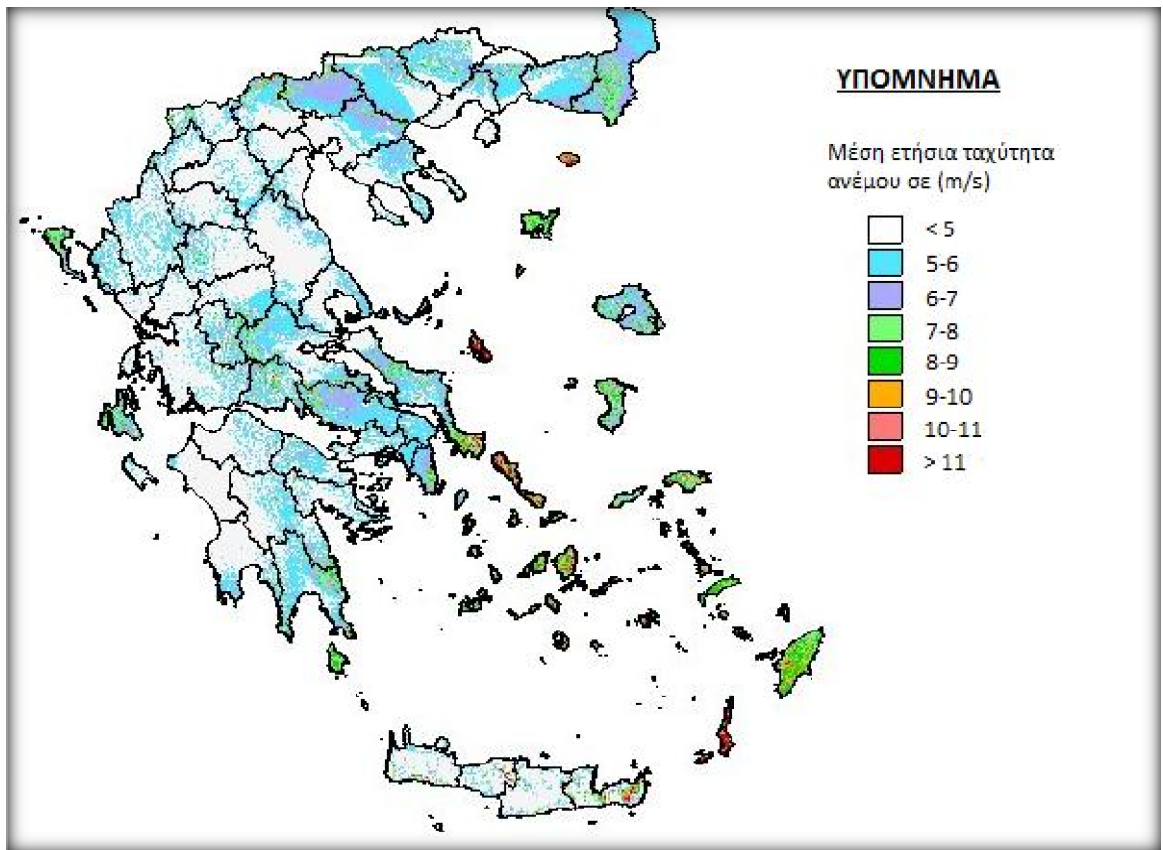
Τέλος ένα ακόμα μειονέκτημα είναι οι περιβαλλοντικές επιδράσεις. Οι επιπτώσεις των παράκτιων αιολικών πάρκων στο περιβάλλον διαφέρουν σημαντικά, ανάλογα με τη θέση, τον αριθμό, τη διάταξη των ανεμογεννητριών, το είδος θεμελίωσης και τα χρησιμοποιούμενα κατασκευαστικά υλικά. Βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις θα προκύψουν κατά τα στάδια κατασκευής και απεγκατάστασης του αιολικού πάρκου, ενώ μικρότερες, αλλά μεγαλύτερης διάρκειας κατά την φάση λειτουργίας του. Παρόλα αυτά μελέτες βρίσκονται σε εξέλιξη σχετικά με την παρακολούθηση και την διαπίστωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων στο περιβάλλον ενώ ταυτόχρονα υπάρχουν υποδείξεις για τα περιβαλλοντικά οφέλη που μπορεί να προκύψουν από την υπεράκτια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

### **3.2 Κριτήρια Χωροθέτησης Παράκτιων Αιολικών Πάρκων**

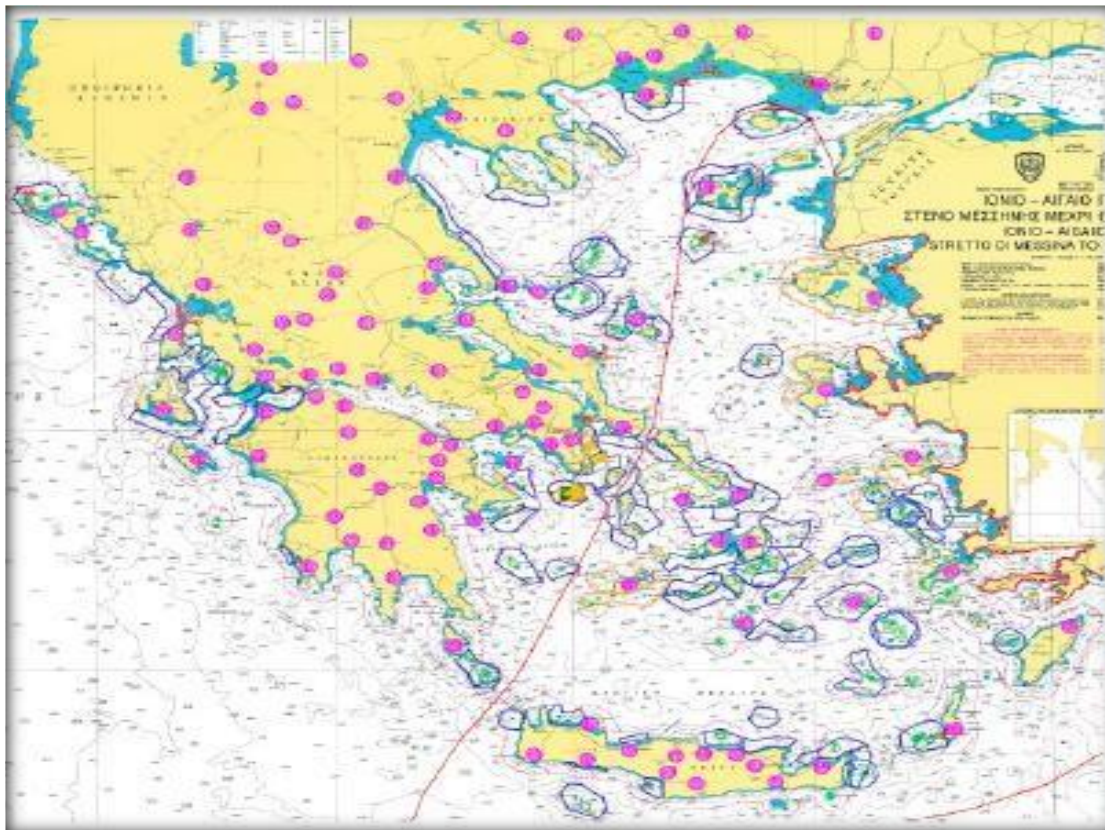
Βασικό κριτήριο στην επιλογή μιας περιοχής που να μπορεί να φιλοξενήσει ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο είναι τα αιολικά δεδομένα που τη χαρακτηρίζουν. Με μια πρώτη σκέψη οδηγούμαστε στην ανάγνωση του αιολικού χάρτη της χώρας. Αυτός μας δίνει τη δυνατότητα να κρίνουμε που μπορεί να στηθεί μια τέτοια εγκατάσταση και να αποφέρει κέρδη. Ταυτόχρονα με την αναζήτηση της κατάλληλης τοποθεσίας με βάση τα αιολικά χαρακτηριστικά, προσπαθούμε να μην απομακρυνθούμε από τις ακτές. Στην ακόλουθη εικόνα απεικονίζεται το αιολικό δυναμικό της Ελλάδος με δεδομένα ιστών του ΚΑΠΕ και μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου στα 40μ. από το έδαφος.

Αναζητώντας τις περιοχές που να είναι δυνατή η εγκατάσταση ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου στο θαλάσσιο σύνολο της χώρας συναντούμε μια σημαντική διαφορά σε σχέση με αντίστοιχα πάρκα της Γερμανίας, Δανίας, και άλλων χωρών της Ευρώπης, τοποθετούνται σε περιοχές όπου το βάθος δεν ξεπερνά τα 40 μέτρα. Κάτι τέτοιο στον ελληνικό χώρο είναι ιδιαίτερα δύσκολο αν σκεφτεί κανείς πως τέτοια βάθη βρίσκονται πολύ κοντά στις ακτές και δεν είναι διαθέσιμα σε τέτοιου είδους χρήσεις. Βέβαια περιοχές που να πληρούν τις προϋποθέσεις για την κατασκευή ενός τέτοιου πάρκου υπάρχουν σε αρκετά σημεία αλλά δεν είναι μεγάλες σε έκταση ώστε να δικαιολογήσουν μια επένδυση όπως ενός αιολικού πάρκου.

Τεχνολογικά έχουν δοθεί λύσεις και για μεγαλύτερα βάθη. Πακτώσεις μέχρι και στα 200 μέτρα βυθού είναι δυνατές αλλά υπό ορισμένες συνθήκες. Το κύριο μέλημα για μια τοποθέτηση σε τέτοια βάθη είναι το είδος του πυθμένα και το υλικό που τον χαρακτηρίζει. Το ίδιο ισχύει και για μικρότερα βάθη. Όμως εκεί υπάρχουν και πολλές διαφορετικές βάσεις ανάλογα με την περίπτωση.



Εικόνα 3.1: Αιολικός Χάρτης Ελλάδος σε m/s (ΚΑΠΕ, 2013).



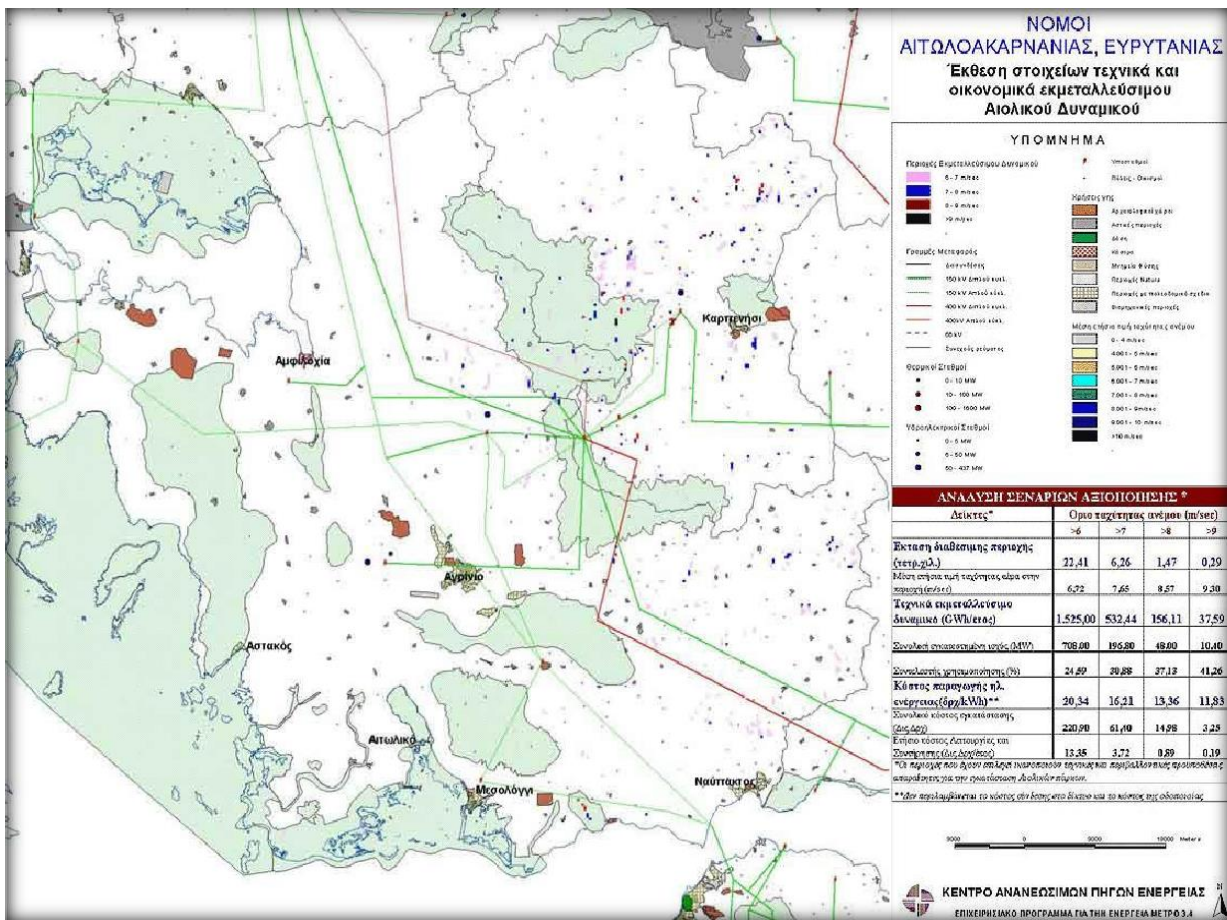
Εικόνα 3.2: Χάρτης Αξιοποιήσιμων Θαλάσσιων Περιοχών του ελληνικού θαλάσσιου συμπλέγματος.

Στην εικόνα 3.2 δίδεται υδρογραφικός χάρτης της Ελλάδας με χαραγμένα τα όρια των χωρικών υδάτων. Επί του χάρτη έχουν σημειωθεί οι θαλάσσιες περιοχές, εντός χωρικών υδάτων, με βάθη νερού έως 40 μέτρα (πράσινη γραμμή), καθώς και οι περιοχές με βάθη έως 200 μέτρα (μπλε γραμμή). Επίσης με κόκκινη γραμμή έχουν σημειωθεί οι περιοχές υπεράκτιων αιολικών πάρκων που έχουν ήδη θεσμοθετηθεί από το ΥΠΕΚΑ.

Παρατηρώντας τους χάρτες και αξιωνόντας τα δεδομένα τους συμπεραίνουμε ότι υπάρχουν αρκετές περιοχές που προσφέρονται για την εγκατάσταση τέτοιων αιολικών πάρκων. Μάλιστα επιλογές υπάρχουν και στη νησιωτική χώρα αλλά και κοντά στις ακτές της ηπειρωτικής. Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στα 7-9 m/s. Είναι μια ακόμα βασική διαφορά με τα μεγάλα υπεράκτια αιολικά πάρκα που υπάρχουν στο εξωτερικό. Συνήθως, η μέση ταχύτητα εκεί υπερβαίνει τα 10 m/s και έχουν εξελίξει κατάλληλες ανεμογεννήτριες για να εκμεταλλευτούν αυτή την πηγή.

Βέβαια αυτό δεν αποκλείει μια συμφέρουσα και οικονομική πρόταση για την εκμετάλλευση τόσων περιοχών που υπάρχουν στον ελλαδικό χώρο και μένουν ανεκμετάλλευτες. Για το λόγο αυτό μια μελέτη πάνω στην εκμετάλλευση τέτοιων περιοχών θα προσέφερε λύσεις στο μεγαλύτερο κομμάτι της χώρας.

Μια τέτοια περιοχή θα μπορούσε να χαρακτηριστεί και η περιοχή που καλύπτει το θαλάσσιο χώρο μεταξύ Κρυονερίου Αιτωλοακαρνανίας και Λιμνοθάλασσας Μεσολογγίου. Στην περιοχή αυτή έχουν εδώ και καιρό αναπτυχθεί αιολικά πάρκα στο χερσαίο τμήμα και κυρίως στα ορεινά της Ναυπάκτου. Το δίκτυο έχει προσαρμοστεί στις ανάγκες σύνδεσης μεγάλων παραγωγών λόγω των υπάρχοντων εγκαταστάσεων. Επιπλέον είναι μια περιοχή με μικρό σχετικά βάθος πυθμένα και προσφέρεται για πάρκα μιας και δεν αποτελεί τουριστικό προορισμό ή περιοχή προστατευόμενη λόγω σπάνιων θαλάσσιων ειδών. Διακρίνεται όμως για τη βιοποικιλότητά της και της ιδιαιτερότητά μιας μεγάλης λιμνοθάλασσας που δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να χάσει την ομοιομορφία και τη φυσική σημασία του βιότοπου που φιλοξενεί.



Εικόνα 3.3: Χαρακτηριστικά Εκμεταλλεύσιμου Αιολικού Δυναμικού στο Νομό Αιτωλοακαρνανίας (ΚΑΠΕ, 2013).



Η τοποθεσία αυτή έχει χαρακτηριστικά τέτοια που επιτρέπουν και βάση της νομοθεσίας να ελεγχθεί ως πιθανή περιοχή εγκατάστασης ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου.

Όπως αναφέρθηκε και ανωτέρω, ένα από τα βασικά κριτήρια για την επιλογή κατάλληλων τοποθεσιών για την ανάπτυξη θαλάσσιων αιολικών πάρκων είναι η ύπαρξη αρκετά μεγάλων περιοχών με βάθη που επιτρέπουν την εγκατάσταση χωρίς υπέρογκο κόστος, όπου διακρίνονται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Εγκατάσταση μόνο σε μικρά βάθη (< 30m): Είναι η λύση για την οποία υπάρχει η μεγαλύτερη τεχνική εμπειρία, καθώς σε τέτοια βάθη λειτουργούν τα περισσότερα υφιστάμενα αιολικά πάρκα.
- Εγκατάσταση σε μεσαία βάθη (< 50m): Παρουσιάζει μεγαλύτερες τεχνικές δυσκολίες αλλά θεωρείται σχετικά βαθιά τεχνολογία που σίγουρα θα μπορεί να εφαρμοστεί στον χρονικό ορίζοντα ενδιαφέροντος μας χωρίς ιδιαίτερα τεχνικά προβλήματα.
- Εγκατάσταση σε μεγάλα βάθη (> 50m): Η αντίστοιχη τεχνολογία είναι ακόμη σε επίπεδο ανάπτυξης και επίδειξης στη χώρα μας.

Η περίπτωση περιορισμού των εγκαταστάσεων σε μικρά μόνο βάθη (20-30 μέτρων) εξετάστηκε, αλλά διαπιστώθηκε ότι περιόριζε σημαντικά τις περιοχές στις οποίες ήταν δυνατή η χωροθέτηση. Δεδομένης της μορφολογίας του ελληνικού εδάφους και, κατ' επέκταση, του θαλάσσιου πυθμένα στις περισσότερες περιοχές υπάρχει γρήγορη αύξηση του βάθους και η επιφάνεια των αξιοποιήσιμων περιοχών είναι μικρή. Σε σχέση με το δίλημμα που θέτει το κριτήριο οπτικής όχλησης επιτρέποντας είτε μικρότερες εγκαταστάσεις πλησιέστερα στην ακτογραμμή ή μεγαλύτερες σε μεγαλύτερη απόσταση, προκρίνεται η δεύτερη εκδοχή καθώς εξασφαλίζει οικονομία κλίμακας (και, πιθανά, καλύτερο αιολικό δυναμικό).

Η ανάπτυξη αιολικών πάρκων στη θάλασσα είναι ακριβότερη από την ανάπτυξη χερσαίων αιολικών πάρκων και έχει νόημα μόνο όταν εξασφαλίζονται πρόσθετα οφέλη, κυρίως περιβαλλοντικά και χωροταξικά. Συνεπώς, δεν υπάρχει λόγος να χωροθετούμε υπεράκτια αιολικά πάρκα σε περιοχές NATURA αναγνωρίζοντας, βεβαίως, ότι αυτό δεν απαγορεύεται εκ προοιμίου από την νομοθεσία.

Βασικό κριτήριο χωροθέτησης των ανεμογεννητριών για σύσταση υπεράκτιου αιολικού πάρκου είναι η μεταξύ τους απόσταση που πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 5 διαμέτρους ρότορα, λαμβάνοντας υπόψη βεβαίως και τα στοιχεία για τις επικρατούσες διευθύνσεις του ανέμου, ώστε να μειώνονται οι απώλειες ομόρρου μεταξύ των ανεμογεννητριών. Σε περίπτωση που οι ανεμογεννήτριες τοποθετηθούν σε σειρά μεταξύ τους, και ο ρότορας είναι κάθετος στην κυρίαρχη διεύθυνση του ανέμου, τότε η απόσταση μεταξύ τους πρέπει να είναι τουλάχιστον 4 φορές η διάμετρος του ρότορα.

Από τις περιοχές που ικανοποιούν τα βασικά κριτήρια επιλογής εγκατάστασης παράκτιων πάρκων, η τελική επιλογή γίνεται βάσει των ακόλουθων κριτηρίων αξιολόγησης:

- Εκτίμηση για το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό, που προσδιορίζει τη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας στη συγκεκριμένη περιοχή.
- Ευκολία σύνδεσης με το δίκτυο (υφιστάμενο, συμπεριλαμβανομένων των υπό διερεύνηση επεκτάσεων του) αλλά χωρίς περιορισμούς στην εγχεόμενη ισχύ.
- Εξασφάλιση κατά το δυνατόν υψηλής συγκέντρωσης ισχύος.
- Συμβατότητα της ανάπτυξης των πάρκων με άλλες χρήσεις του συγκεκριμένου χώρου.
- Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις και η οπτική όχληση.
- Η τεχνική δυνατότητα εγκατάστασης στη συγκεκριμένη θέση.

## Αιολικό Δυναμικό Παράκτιου Αιολικού Πάρκου

Η γνώση των χαρακτηριστικών του ανέμου είναι απαραίτητη στις μελέτες εκτίμησης της ενέργειας του ανέμου. Για την επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης αιολικών συστημάτων θα πρέπει να γνωρίζουμε:

- την ταχύτητα του ανέμου.
- τη διεύθυνση του ανέμου.
- την επικρατούσα στην περιοχή τύρβη.
- την καθ' ύψος μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου (κατανομή του ανέμου).
- τις ακραίες τιμές ταχύτητας ανέμου (ριπές).

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά συνθέτουν το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής και μπορεί να γίνουν γνωστά μόνο με μετρήσεις. Οι μετρήσεις του ανέμου είναι υψηλής ποιότητας και σύμφωνα με προδιαγραφές που εφαρμόζονται και αφορούν τη σωστή εγκατάσταση του ιστού και των οργάνων παίρνουμε πιστοποιημένα δεδομένα για την ορθή αξιολόγηση του αιολικού δυναμικού σε περίοδο τουλάχιστον ενός έτους.

Όσον αφορά τις μετρήσεις αιολικού δυναμικού παράκτιων αιολικών πάρκων, δεν ισχύει ο περιορισμός της μέγιστης απόστασης των επτά (7) χιλιομέτρων από τις προτεινόμενες θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών, που προβλέπεται στο εδάφιο 12 του 3ου μέρους του παραρτήματος 1 του Κανονισμού Αδειών Παραγωγής για τις χερσαίες αιολικές εγκαταστάσεις.

Παραμένουν όμως οι γενικές απαιτήσεις ως προς την αντιπροσωπευτικότητα της θέσης (αναφοράς), στην οποία έχουν διενεργηθεί οι μετρήσεις που προσκομίζονται με την ενεργειακή μελέτη, ως προς τη θέση εγκατάστασης του σταθμού, εν προκειμένω του θαλάσσιου χώρου, δηλαδή να είναι πλήρως εκτεθειμένη στις επικρατούσες διευθύνσεις του ανέμου, και κατά το δυνατόν απαλλαγμένη από την επίδραση της τοπογραφίας. Πέραν της ιδανικής περίπτωσης, δηλ. η θέση των μετρήσεων να βρίσκεται εντός του θαλάσσιου χώρου όπου χωροθετείται ο αιολικός σταθμός, είναι αποδεκτό η μέτρηση να προέρχεται από θέση σε ακτή πλησίον του θαλάσσιου χώρου όπου προτείνεται η ανάπτυξη του έργου με όσο το δυνατόν επίπεδη τοπογραφία. Στην περίπτωση αυτή ωστόσο στην ενεργειακή μελέτη που συνοδεύει την αίτηση θα πρέπει να υπάρχει μέριμα με τη βοήθεια κατάλληλων υπολογιστικών εργαλείων, για την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων λόγω μεταφοράς των μετρήσεων από τη σύνθετη τοπογραφία στην επίπεδη επιφάνεια της θάλασσας.

Επιπροσθέτως, σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν ενδείξεις διαφοροποίησης του αιολικού κλίματος μεταξύ της θέσης των μετρήσεων και του υπεράκτιου αιολικού, θα πρέπει στη σχετική ενεργειακή μελέτη να γίνεται συνδυασμένη χρήση και άλλων μετεωρολογικών δεδομένων από επίγειες ή ανώτερης ατμόσφαιρας παρατηρήσεις και βάσεις δεδομένων για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της ενεργειακής αποδοτικότητας.

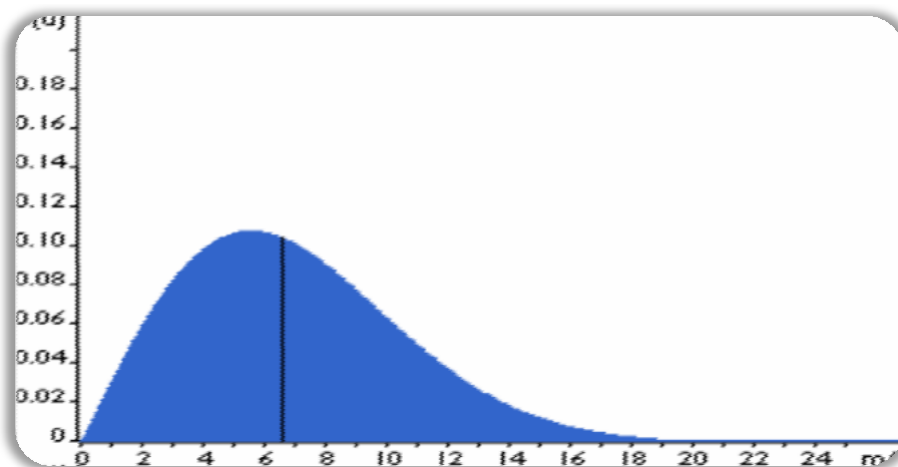
Από την ανάλυση και επεξεργασία ανεμολογικών δεδομένων της ΕΜΥ από 43 συνολικά παράκτιους μετεωρολογικούς σταθμούς προέκυψε ότι η παράκτια ζώνη της Ελλάδος μπορεί να διακριθεί στις εξής περιοχές, από απόψεως αιολικού δυναμικού:

- Στο Βόρειο και Νοτιοανατολικό Αιγαίο υπάρχει ομαλή μεταβολή του αιολικού δυναμικού, και κυμαίνεται από 6.000 kWh/m<sup>2</sup> έως 12.000 kWh/m<sup>2</sup>.
- Στην Κρήτη υπάρχει σταθερότητα του αιολικού δυναμικού, περίπου 6.000 kWh/m<sup>2</sup>.
- Στις Κυκλάδες υπάρχει έντονα ανομοιόμορφη κατανομή του αιολικού δυναμικού, με μέγιστη κομβική θέση τον μετεωρολογικό σταθμό Πάρου (17.000 kWh/m<sup>2</sup>).
- Στην Πελοπόννησο και τη Στερεά Ελλάδα υπάρχει χαμηλό αιολικό δυναμικό, με ήπια μεταβολή από 2.000 kWh/m<sup>2</sup> έως 5.000 kWh/m<sup>2</sup>.
- Στο Βόρειο Ιόνιο υπάρχει σχετικά υψηλό αιολικό δυναμικό, με έντονη όμως μεταβολή. Στις περιοχές των μετεωρολογικών σταθμών Κέρκυρας και Πρεβέζης επικρατεί υψηλό

αιολικό δυναμικό από 6.000 kWh/m<sup>2</sup> έως 10.000 kWh/m<sup>2</sup>. Ενώ στο Νότιο Ιόνιο και συγκεκριμένα στους μετεωρολογικούς σταθμούς Ζακύνθου και Κεφαλονιάς, επικρατεί χαμηλό αιολικό δυναμικό της τάξεως των 4.000 kWh/m<sup>2</sup>.

Η στατιστική ανάλυση είναι χρήσιμη για τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού μιας δεδομένης τοποθεσίας και την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης μιας γεννήτριας στην υπό μελέτη περιοχή.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου δίνει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται μεταξύ κάποιου εύρους τιμών, π.χ.  $U_a$  &  $U_b$ . Η πιο συνήθης κατανομή που χρησιμοποιείται για την περιγραφή των μεταβολών της ταχύτητας του ανέμου σε κάποια τοποθεσία είναι η κατανομή Weibull και ο προσδιορισμός των παραμέτρων μορφής ( $k$ ) και κλίμακας ( $C$ ) της κατανομής που μετριέται σε (m/s). Οι παράμετροι αυτοί είναι συναρτήσεις της μέσης τιμής ταχύτητας του ανέμου και της τυπικής απόκλισης.



Εικόνα 3.4: Κατανομή Πυκνότητας Πιθανότητας των ταχυτήτων του ανέμου.

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε ακριβώς την μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κατά την διάρκεια του έτους, η οποία παριστάνεται με την βοήθεια της κατανομής Weibull. Για τα νησιά του Αιγαίου η παράμετρος μορφής κυμαίνεται από 1,4 ως 2, ενώ σε ορισμένα νησιά παίρνει μικρότερες τιμές όπως 1,22 (Ηράκλειο) και 1,33 (Αραξός). Όσο μικρότερη είναι η τιμή της παραμέτρου τόσο η κατανομή γίνεται πιο ομοιόμορφη και οι ταχύτητες κοντά στην μέση είναι συχνότερες. Για να σχηματιστεί η καμπύλη της εικόνας 3.4 απαιτείται πειραματικός προσδιορισμός της συχνότητας των ταχυτήτων του ανέμου και γνώση της μορφολογίας της περιοχής (roughness class) έτσι ώστε οι ταχύτητες να αναχθούν από το ύψος των μετεωρολογικών μετρήσεων στο ύψος του ρότορα της Α/Γ. Αυτή η αναγωγή γίνεται με την βοήθεια της σχέσης:

$$\frac{U_1}{U_2} = \left( \frac{h_1}{h_2} \right)^\alpha$$

όπου:  $\alpha$ : η παράμετρος που αυξάνεται όσο πιο έντονη γίνεται η μορφολογία και η τραχύτητα του εδάφους. Συνήθως, στα παράκτια αιολικά, η παράμετρος " $\alpha$ " είναι μεγαλύτερη.

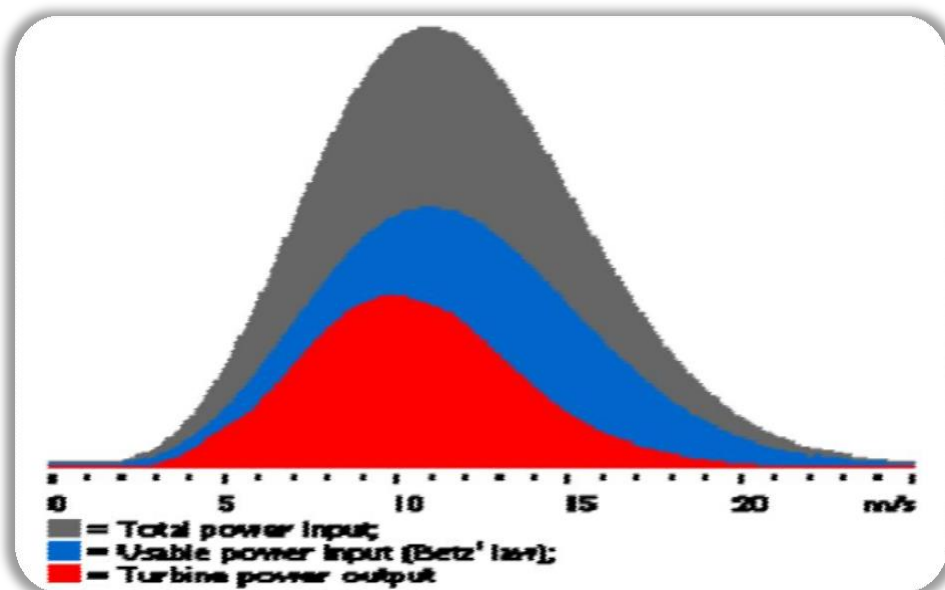


## Ενεργειακή Παραγωγή Παράκτιου Α/Π & Θέματα διαθεσιμότητας

Παρατηρώντας την εικόνα 3.4 φαίνεται ότι οι υψηλές ταχύτητες ανέμου σπανίζουν αλλά η συνεισφορά τους στην παραγόμενη ενέργεια είναι πολύ μεγάλη. Για τον υπολογισμό της αιολικής ισχύος δεν λαμβάνουμε υπόψη την μέση ταχύτητα αλλά πολλαπλασιάζουμε κάθε πιθανότητα μιας ορισμένης ταχύτητας ανέμου (από την Weibull) με την ισχύ που παράγεται σε αυτή την ταχύτητα. Έτσι σχηματίζεται η θεωρητική κατανομή της αιολικής ισχύος για κάθε ταχύτητα (Εικόνα 3.5, γκρι καμπύλη). Μια Α/Γ δεν μπορεί να παραλάβει όλη αυτή την ισχύ γιατί τότε ο αέρας που θα περνούσε πίσω από την έλικα της ανεμογεννήτριας δεν θα απομακρύνονταν διότι θα είχε μηδενική κινητική ενέργεια στην έξοδο. Έτσι, δεν θα παραλάμβανε καθόλου ενέργεια επειδή ο στάσιμος αέρας στην έξοδο δεν θα επέτρεπε να εισαχθεί νέος.

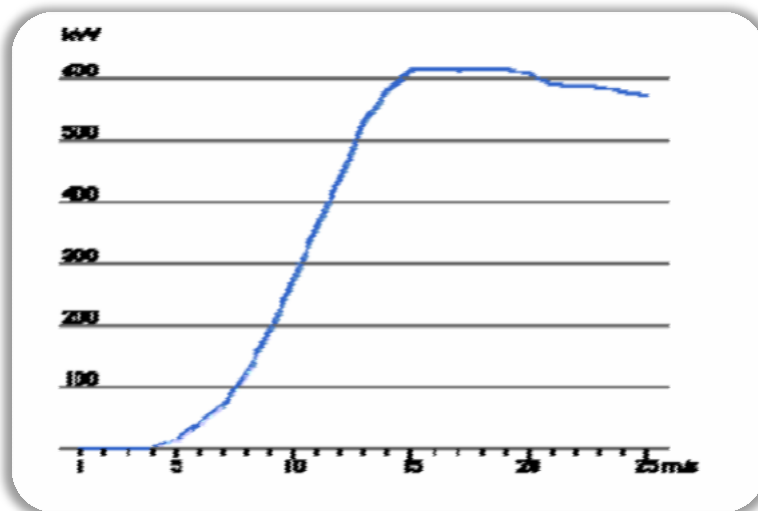
Στην αντίθετη περίπτωση θα διέρχονταν ο αέρας χωρίς καμία αντίσταση και δεν θα παράγονταν έργο. Έχει αποδειχτεί ότι μια ιδανική ανεμογεννήτρια θα πρέπει να μειώσει την αρχική ταχύτητα του αέρα κατά τα  $2/3$  της. Επιπλέον σύμφωνα με τον νόμο του Albert Betz (1919) "Η μέγιστη μηχανική ισχύς που μπορεί να παραχθεί από αιολική είναι ίση με 59,3% αυτής".

Η περιοχή κάτω από την μπλε καμπύλη αποτελεί το 59,3% της θεωρητικής ενώ η κόκκινη περιοχή εκφράζει την πραγματική ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από την Α/Γ. Συγκρίνοντας την μορφή των εικόνων 3.4 και 3.5 συμπεραίνουμε ότι το μεγαλύτερο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας από την Α/Γ κατά την διάρκεια ενός έτος παραλαμβάνεται σε ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες της μέσης (για αυτό άλλωστε δεν μπορούμε να υπολογίσουμε το αιολικό δυναμικό από την μέση ταχύτητα).



Εικόνα 3.5: Συνάρτηση πυκνότητας ισχύος ανέμου & Α/Γ.

Για να γίνει ο προσδιορισμός της κόκκινης περιοχής πρέπει να λάβουμε υπόψη την καμπύλη ισχύος (power curve) της ανεμογεννήτριας. Η καμπύλη αυτή καθορίζει την απόδοση της ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου και είναι διαφορετική για κάθε Α/Γ. Μια τυπική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 600 kW Δανικής κατασκευής φαίνεται στην εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6: Τυπική Καμπύλη Ισχύος Α/Γ 600kW.

Για τον προσδιορισμό της μέσης ετήσιας ισχύς πρέπει να πολλαπλασιαστούν οι αντίστοιχες τιμές των εικόνων 5.2.4 και 5.2.6 που ισχύουν για κάθε ταχύτητα ανέμου και να αθροιστούν τα γινόμενα. Δηλαδή με το πολλαπλασιασμό της πιθανότητας εμφάνισης μιας ταχύτητας ανέμου (Εικόνα 5.2.4) με την ισχύ που αποδίδει η ανεμογεννήτρια σε αυτή την ταχύτητα (Εικόνα 5.2.6) προσδιορίζεται η συνεισφορά της κάθε ταχύτητας του ανέμου στην μέση ετήσια ισχύ της ανεμογεννήτριας. Στην συνέχεια το άθροισμα αυτών των γινομένων (μέση ετήσια ισχύς) πολλαπλασιάζεται με την διαθεσιμότητα της ανεμογεννήτριας και με τις 8760 ώρες του έτους. Η διαθεσιμότητα των σύγχρονων Α/Γ είναι τουλάχιστον 98%. Επιπλέον πρέπει να λάβουμε υπόψη την μέση θερμοκρασία της περιοχής που εξετάζουμε διότι κάθε καμπύλη ισχύος Α/Γ έχει υπολογιστεί για 15°C. Μια αύξηση της θερμοκρασίας θα οδηγούσε σε μείωση της πυκνότητας του αέρα άρα και της ισχύος της Α/Γ διότι τότε μετατοπίζεται η καμπύλη 20 προς τα κάτω σύμφωνα με τη σχέση ισχύος της Α/Γ:

$$P = 0.5 * \rho * A * * C_p * u_t$$

όπου:

$C_p$ : ο αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος, που εξαρτάται από τη γωνία βήματος της έλικας και από το λόγο της ταχύτητας του άκρου της έλικας προς την ταχύτητα του ανέμου,

$\eta_t$ : η αποδοτικότητα της Α/Γ,

$\rho$ : η πυκνότητα του αέρα (kg/m<sup>3</sup>),

$A$ : η επιφάνεια απ' όπου διέρχεται ο άνεμος (m<sup>2</sup>),

$u$ : ταχύτητα του ανέμου (m/s).

### 3.3 Διαδικασία Χορήγησης Αδειών

Κατά την έναρξη της συζήτησης σχετικά με τη χωροθέτηση ανεμογεννητριών στη θάλασσα, η επικρατούσα άποψη ήταν ότι για την ανοιχτή θάλασσα θα μπορούσε κανείς να ξεφύγει από τα δεσμά της αδειοδότησης της χρήσης αιολικής ενέργειας που υπάρχουν για τη στεριά. Όταν τα πρώτα σχέδια έγιναν γνωστά και ξεκίνησε η δημόσια συζήτηση αμέσως έγινε σαφές ότι αυτό ήταν μία λάθος ελπίδα. Έτσι υπάρχουν γεωγραφικές και περιβαλλοντικές συνθήκες που πρέπει να ληφθούν υπόψη, ενώ και η νομική κατάσταση διαφέρει σε κάθε χώρα.

## Νομική Κατάσταση

Η νομική κατάσταση όσον αφορά τη χορήγηση αδειών καθορίζεται κυρίως από το αν η σχετική θαλάσσια περιοχή βρίσκεται εντός της περιοχής των χωρικών υδάτων, δηλαδή εντός της ζώνης των 12 μιλίων, ή πέρα από αυτό το όριο. Φυσικά οι νομοθετικές ρυθμίσεις διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Συγκεκριμένα κάθε σχέδιο πρέπει να ακολουθεί τους εκάστοτε εθνικούς κανονισμούς. Σε ορισμένες χώρες, όπως στη Γερμανία, προαπαιτούνται τα ίδια κριτήρια αδειοδότησης και νομικών αρχών όπως στη στεριά. Την ίδια στιγμή πρέπει να υπάρχει και η σύμφωνη γνώμη και άδεια από τις αντίστοιχες οργανώσεις που αφορούν τη γλωρίδα και την πανίδα καθώς και την προστασία περιοχών με υπό εξαφάνιση πουλιά. Οι περιφερειακές αρχές είναι τυπικά υπεύθυνες για την έκδοση οικοδομικών αδειών όπως και στην ξηρά.

Για τις κατασκευαστικές επιχειρήσεις στον πυθμένα της θάλασσας (θεμελίωση, θαλάσσια καλώδια), υπάρχουν επίσης κανονισμοί που πρέπει να τηρούνται. Η νομική κατάσταση στην αποκλειστικά οικονομική ζώνη της είναι πολύ λιγότερο σαφής και οδηγεί σε μια συζήτηση για τις αρχές του διεθνούς δικαίου, ανεξάρτητα από τη χωροθέτηση των ανεμογεννητριών. Όλοι οι εθνικοί και ευρωπαϊκοί νόμοι έχουν ισχύ αυστηρά μέχρι το όριο των χωρικών υδάτων. Ορισμένες χώρες έχουν την τάση να καταστεί δυνατή η απλοποίηση της μεθόδου χορήγησης αδειών στην αποκλειστική οικονομική ζώνη.

## Κριτήρια Αδειοδότησης

Τα κριτήρια βάσει των οποίων η αίτηση άδειας για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών εξετάζεται είναι τα εξής:

- Η ασφάλεια στην κυκλοφορία για τις πλωτές και εναέριες μεταφορές
- Οικολογικές επιπτώσεις
- Παράβαση των οικονομικών συμφερόντων των τρίτων.

Η αίτηση πιστοποιητικού πρέπει να γίνει με τα συνήθη έγγραφα στις σχετικές αρχές, ανάλογα με το εάν η τοποθεσία βρίσκεται εντός των χωρικών υδάτων ή εκτός της ζώνης των 12 μιλίων. Οι αρχές θα ζητήσουν από τα αρμόδια γραφεία και από τις ενώσεις που εμπλέκονται μια πρώτη παρατήρηση. Κατά την εξέταση των περιβαλλοντικών συνθηκών, η αίτηση πρέπει να περιέχει τις απαραίτητες αξιολογήσεις και εξετάσεις από αναγνωρισμένα πρόσωπα ή οργανισμούς. Με βάση την κατάσταση αυτή, η αρμόδια αρχή θα αποφασίσει για την πληρότητα της αίτησης και, αν η απόφαση είναι θετική, θα χορηγήσει την απαραίτητη άδεια οικοδόμησης, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία ανέγερσης κτιρίων. Τα αναγκαία κριτήρια για την άδεια είναι τα παρακάτω:

## Ασφάλεια κυκλοφορίας για πλωτές και εναέριες μεταφορές

Τις περισσότερες φορές οι περιοχές κοντά στις ακτές αποτελούν διαδρομές διέλευσης πλοίων. Προσοχή πρέπει να δοθεί όχι μόνο στις πολιτικές πλωτές μεταφορές αλλά και στη χρήση των περιοχών από το στρατό για τις ασκήσεις ή εγκαταστάσεις. Η πολιτική αεροπορία είναι μικρότερο πρόβλημα, αλλά πιθανά απαιτούνται περιορισμοί ύψους των ανεμογεννητριών καθώς και οπτικά - ηλεκτρονικά προειδοποιητικά σήματα.

## Οικολογικές επιπτώσεις

Οι λέξεις κλειδιά σύμφωνα με τις οποίες εξετάζονται οι οικολογικές επιπτώσεις είναι:

Πτηνά: μετανάστευση των πουλιών, συγκρούσεις με πουλιά, περιοχές αναπαραγωγής, πηγές τροφής για τα πουλιά, κ.λπ.

Θαλάσσια θηλαστικά (μικρές φάλαινες, φώκιες): διαταραχές των ζώων από τον υποβρύχιο ήχο των εκπομπών και, ενδεχομένως, από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που προέρχονται από τις ανεμογεννήτριες.

Ψάρια: επίδραση των τόπων αναπαραγωγής και διατροφής τους, αλλαγές στα ωκεάνια ρεύματα και στη φύση του βυθού λόγω των θεμελίων και πιθανή επιρροή στη συμπεριφορά των ψαριών.

Μικρές μορφές ζωής στον βυθό της θάλασσας: αρνητικές επιπτώσεις στον εκάστοτε βιότοπο ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των εργασιών του κτιρίου.

Διατήρηση του τοπίου: η προβολή των ανεμογεννητριών από τη γη (οπτική όχληση).

Εν τω μεταξύ, η ορατότητα από τη στεριά, φαίνεται πως έχει απασχολήσει τους οικολογικούς οργανισμούς και την τουριστική βιομηχανία σε μεγάλο βαθμό. Στη Δανία, για παράδειγμα, λόγω της απόστασης από την ακτή η ορατότητα είναι ελάχιστη και μάλιστα όταν η ατμόσφαιρα είναι αρκετά καθαρή. Η κατάσταση είναι παρόμοια και στη Γερμανία. Θα πρέπει να τονισθεί ότι, λόγω της καμπυλότητας της γης, οι ανεμογεννήτριες θα εξαφανίζονται από τον ορίζοντα σε απόσταση 20 με 30 χιλιόμετρα, σε κάθε περίπτωση.

#### Οικονομικό ενδιαφέρον

Όταν ένα νέο πεδίο εμφανίζεται, πρέπει να οριοθετηθεί με τα υφιστάμενα οικονομικά συμφέροντα. Ειδικότερες περιπτώσεις είναι οι εξής:

- Παρεμπόδιση της αλιείας
- Παρεμπόδιση κάθε πιθανής εκμετάλλευσης του ορυκτού πλούτου
- Παρατήρηση των ήδη υφιστάμενων εγκαταστάσεων υποδομής (αγωγοί πετρελαίου και φυσικού αερίου, θαλάσσια ηλεκτρικά καλώδια κ.λπ.).

### **3.4 Πλάνο Ανάπτυξης Παράκτιων Αιολικών Πάρκων**

Η έρευνα της περιοχής εγκατάστασης είναι το αρχικό στάδιο στη φάση διερεύνησης της ανάπτυξης ενός αιολικού πάρκου. Σε αυτό το στάδιο θα πρέπει να γίνει μια πρώτη επαφή με τις τοπικές αρχές (δήμους & περιφέρειες) για τη διερεύνηση των αναγκών της τοπικής κοινωνίας και την εκτίμηση αποδοχής του προβλεπόμενου έργου.

Η μελέτη σκοπιμότητας ενός υπό ανάπτυξη αιολικού πάρκου συνδέεται με την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού στην υπό μελέτη περιοχή, την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών και κατ' επέκταση την εκτίμηση της ετήσιας ενεργειακής παραγωγής, καθώς και τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις για την αξιολόγηση της επένδυσης ως αποδοτική ή μη αποδοτική κατά τη φάση ανάπτυξης. Η διάρκεια του καθορισμού των τεχνικών χαρακτηριστικών του έργου είναι 1 έως 3,5 έτη. Στη συνέχεια υλοποιούνται οι οριστικές μελέτες εφαρμογής για το υπό ανάπτυξη αιολικό πάρκο, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην υποβολή του φακέλου για την αίτηση και έκδοση διαφόρων αδειών.

Η διαδικασία της φάσης αδειοδότησης διαρκεί 6 έως 18 μήνες από την υποβολή του φακέλου και εφόσον εγκριθεί η κατασκευή του υπό μελέτη αιολικού πάρκου προχωράμε σε φάση προ-κατασκευής και σύναψης διαφόρων συμβολαίων με προμηθευτές. Σε περίπτωση απόρριψης της αίτησης αδειοδότησης, ο επενδυτής προβαίνει σε τροποποίηση κάποιων στοιχείων του έργου ή έναρξης νέου έργου όπου απαιτείται η επανάληψη της διαδικασίας επιλογής τοποθεσίας και μελέτης σκοπιμότητας του έργου.

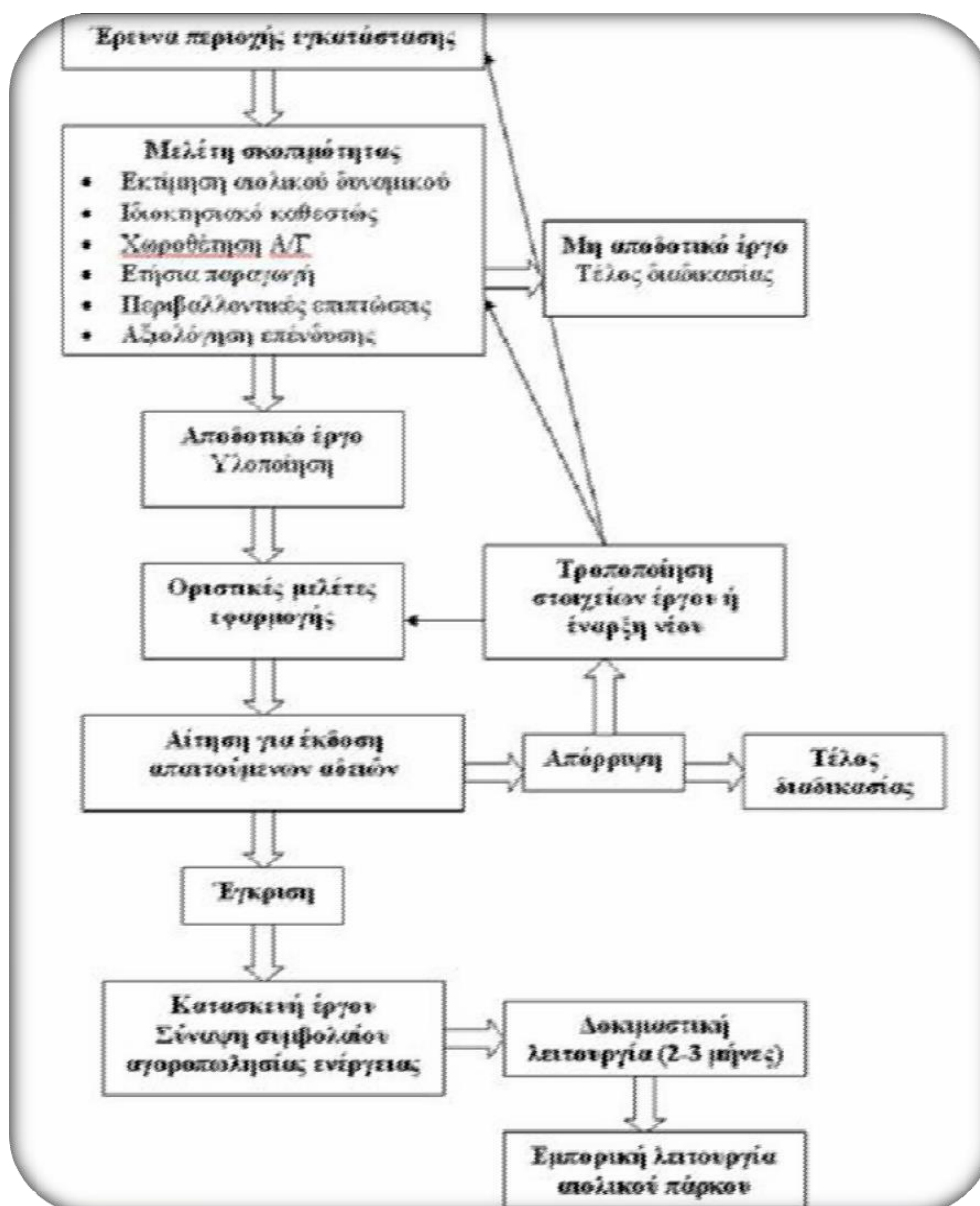
Στη φάση προ-κατασκευής γίνεται η επιλογή των πόρων (ανεμογεννήτριες, μηχανικοί, εργολάβοι, κλπ) και οι διαπραγματεύσεις των συμβολαίων κατασκευής με διάρκεια που προσεγγίζει τους 12 με 18 μήνες. Στη συνέχεια, ο επενδυτής προβαίνει στην υπογραφή των

συμβολαίων κατασκευής και αγοραπωλησίας της παραγόμενης ενέργειας τηρώντας τον προϋπολογισμό και το χρονοδιάγραμμα του έργου κατά τη φάση κατασκευής του.

Ακολουθεί ο έλεγχος και η διασφάλιση ότι ο σταθμός τηρεί τις προδιαγραφές ώστε να γίνει έγκαιρος εντοπισμός τυχόν προβλημάτων λειτουργίας του σταθμού. Η διάρκεια της δοκιμαστικής αυτής λειτουργίας του σταθμού είναι 2 με 3 μήνες.

Τέλος, ο σταθμός είναι έτοιμος να τεθεί σε εμπορική λειτουργία όπου σε αυτό το στάδιο οι διαχειριστές αναλαμβάνουν τον αιολικό σταθμό και υπογράφουν σύμφωνο αποδοχής. Οι όροι και οι συνθήκες πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας διαφέρουν από χώρα σε χώρα και δε διασφαλίζονται πάντα από μακροχρόνια συμβόλαια. Θα πρέπει να διασφαλίζεται η υψηλή διαθεσιμότητα του σταθμού και η προσβασιμότητα της περιοχής εγκατάστασης κατά τις περιόδους συντήρησης του σταθμού.

Στην ακόλουθη εικόνα απεικονίζεται το πλάνο ανάπτυξης ενός αιολικού.



Εικόνα 3.7: Πλάνο Ανάπτυξης υπό μελέτη Αιολικού Πάρκου.

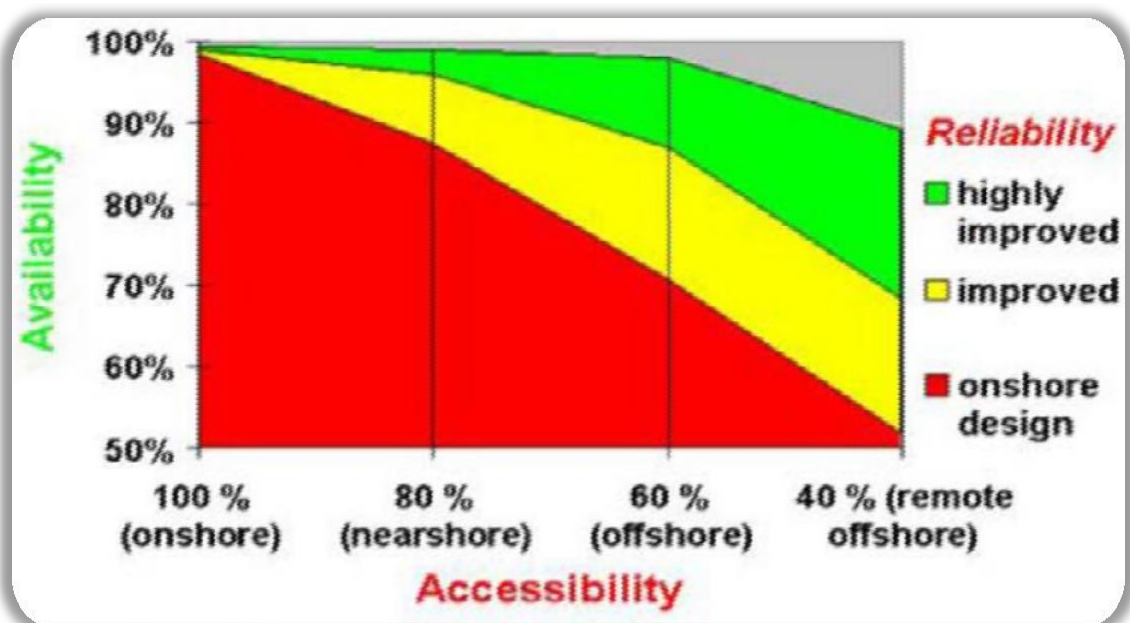
### 3.5 Λειτουργία και διαχείριση παράκτιου αιολικού πάρκου

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. Επειδή η λειτουργία και συντήρηση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι πιο δύσκολη και μεγαλύτερου κόστους από τις ισοδύναμες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε παράκτια αιολικά πάρκα. Οι συνθήκες των υπεράκτιων περιοχών καθιστούν το έργο της συναρμολόγησης και τις διαδικασίες προμηθειών επαχθές. Η προσβασιμότητα δε για το καθιερωμένο σέρβις και συντήρηση των μηχανημάτων καθίσταται μεγάλο ζήτημα.

Κατά τη διάρκεια των δριμείων περιόδων του χειμώνα, ένα ολοκληρωμένο αιολικό πάρκο μπορεί να μην είναι προσβάσιμο για αρκετές ημέρες λόγω την θάλασσας, του αέρα και της κακής ορατότητας. Ακόμα όμως και κατά τη διάρκεια των περιόδων που οι καιρικές συνθήκες είναι καλές, το έργο της λειτουργίας και συντήρησης είναι πιο ακριβό από εκείνο που λαμβάνει χώρα στις παράκτιες περιοχές επειδή επηρεάζεται από την απόσταση που έχουν τα Παράκτια Συστήματα Μετατροπής Αιολικής Ενέργειας (OWECS) από την ακτή και το λιμάνι, την έκθεση της τοποθεσίας, το μέγεθος των Παράκτιων Συστημάτων Μετατροπής Αιολικής Ενέργειας (OWECS), την αξιοπιστία των ανεμογεννητριών και τη στρατηγική συντήρησης κάτω από την οποία καθίστανται λειτουργικά.

Το παρακάτω σχήμα επιδεικνύει το πόσο σημαντική είναι η ύπαρξη αξιόπιστων ανεμογεννητριών, ιδίως για τις απομακρυσμένες υπεράκτιες τοποθεσίες, που μερικές φορές απέχουν 14-20 χλμ. από την ακτή, όπως στην περίπτωση του αιολικού πάρκου Horns Rev, το οποίο είναι εγκατεστημένο στη Δανία.



Εικόνα 3.8: Διαθεσιμότητα και αξιοπιστία χερσαίων και υπεράκτιων Α/Γ.



Συγκεκριμένα παρατηρούμε ότι η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία των Α/Γ χερσαίας σχεδίασης (φαίνεται στην εικόνα με κόκκινο χρώμα) μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από τη στεριά και πέφτει στο 50% όταν εγκαθίστανται σε πολύ απομακρυσμένα από την ακτή αιολικά πάρκα. Αντίθετα, οι βελτιωμένες τεχνολογίας Α/Γ (φαίνονται με κίτρινο χρώμα) και οι ακόμη περισσότερο βελτιωμένες τεχνολογικές Α/Γ (φαίνονται με πράσινο χρώμα) είναι πιο αξιόπιστες και έχουν αυξημένα ποσοστά λειτουργικής διαθεσιμότητας και επομένως το υπεράκτιο αιολικό πάρκο αν και έχει μεγαλύτερο κόστος από ένα χερσαίο, εφόσον λειτουργεί συνεχώς θα αντισταθμίζει το αρχικό κεφαλαιακό κόστος από τα αυξημένα έσοδα λόγω της μεγαλύτερης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται έτσι ώστε να απαιτούνται περιοδικοί έλεγχοι μία έως τρεις φορές κατ' έτος. Στην περίπτωση του αιολικού πάρκου Horns Rev, στη Δανία, οι ανεμογεννήτριες σχεδιάστηκαν για δύο ετήσιες επισκέψεις συντήρησης. Οι περιοδικοί έλεγχοι συντήρησης διαφέρουν ασφαλώς ανάλογα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και την τεχνολογία που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια. Η μη προγραμματισμένη συντήρηση μπορεί να αυξήσει σημαντικά το κόστος συντήρησης (δηλαδή τις δαπάνες λειτουργίας και διαχείρισης, συνεπώς το κόστος ανά κιλοβατώρα).

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.

Ο προσδοκώμενος χρόνος ζωής των Α/Γ είναι γενικά 20 χρόνια. Καθώς προορίζονται για εγκατάσταση σε απομακρυσμένα μέρη, εκτεθειμένα στον καιρό και σε δυνατούς ανέμους, η συντήρησή τους είναι γενικά δύσκολη και ακριβή. Περιλαμβάνει επιτόπιους ελέγχους των εξαρτημάτων και των συνδέσεων με το δίκτυο σε τακτική βάση, επιδιόρθωση βλαβών και αντικατάσταση των εξαρτημάτων που συμπλήρωσαν τον χρόνο ζωής τους ή αστόχησαν.

Οι δονήσεις που δέχονται, κυρίως τα πτερύγια αλλά και άλλα μέρη μιας ανεμογεννήτριας από τον άνεμο είναι ο παράγοντας που καθορίζει κατά το μέγιστο την πιθανότητα λειτουργικής αστοχίας ή ατυχήματος. Οι δονήσεις μπορούν να προκαλέσουν τη μετατόπιση υλικών, την αποκόλληση κάποιων συνδέσμων ακόμα και το μερικό ή ολικό σπάσιμο των πτερυγίων.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε μία πιθανή βλάβη στην ανεμογεννήτρια είναι η σκόνη. Η σκόνη (με τη μορφή γύρης, χνουδιών, σπόρων, εντόμων, κλπ.) παρεμποδίζει τη ροή του αέρα και μειώνει την ψύξη και κατά συνέπεια αυξάνεται η θερμοκρασία των διαφόρων μηχανικών και ηλεκτρικών εξαρτημάτων, όπως είναι η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, το κιβώτιο ταχυτήτων, κλπ.

Κάθε κατασκευαστής ανεμογεννητριών παρέχει το δικό του εγχειρίδιο και πρόγραμμα προληπτικής συντήρησης. Η ετήσια προληπτική συντήρηση περιλαμβάνει διάφορες εργασίες, ελέγχους, και δραστηριότητες στα διαφορετικά μέρη των ανεμογεννητριών. Η συντήρηση, η επισκευή τα έξοδα και η διαθεσιμότητα είναι αλληλοεξαρτώμενα μεγέθη. Με αυξανόμενη την προληπτική συντήρηση τα έξοδα συντήρησης αλλά και τα έξοδα επισκευής ελαττώνονται αλλά και δημιουργούνται λιγότερες απρόβλεπτες βλάβες. Δεν μπορεί βέβαια κάποιος να κάνει λόγο για περισσότερη προληπτική συντήρηση διότι σε τελευταία ανάλυση και για την προληπτική συντήρηση χρειάζεται χρόνο ο οποίος αφαιρείται από τον χρόνο παραγωγής. Για το λόγο αυτό και τα τελευταία 20 χρόνια η προσοχή στρέφεται όλο και ποιο πολύ στο να έχουν οι μηχανές εκ των προτέρων μεγάλη διαθεσιμότητα και όχι να αποκτά η μηχανή διαθεσιμότητα με μέτρα διαρκούς συντήρησης.

Η προληπτική συντήρηση είναι σημαντική εκτός των άλλων και για τη βελτίωση της λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Για παράδειγμα, η λίπανση των κινούμενων μερών που περιλαμβάνεται στην προληπτική συντήρηση εάν δεν εκτελεστεί, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές συνέπειες ακόμα και σε βραχυπρόθεσμες λειτουργίες.

Εκτός της προληπτικής συντήρησης, υπάρχει και η «έγκαιρη» συντήρηση. Οι στόχοι της είναι οι ίδιοι, δηλαδή να βελτιωθεί η αξιοπιστία εξαλείφοντας πιθανές βλάβες. Ωστόσο, έχει ορισμένες ιδιαιτερότητες. Αυτού του τύπου η συντήρηση βασίζεται στην ανάλυση συγκεκριμένων στοιχείων για μία έγκαιρη ανίχνευση των μεταβολών στις συνθήκες λειτουργίας. Η συντήρηση αυτή επίσης εκτελείται τακτικά, αναλύοντας ορισμένα δεδομένα, τα οποία οι τεχνικοί καταχωρούν και προσφέρουν τη δυνατότητα ανάλυσης και σύγκρισης τους. Έτσι προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την εξέλιξη κάποιων μεταβλητών. Η εκτίμηση αυτή επιτρέπει τον προγραμματισμό διορθωτικών εργασιών με την ελάχιστη δυνατή επίδραση στην παραγωγικότητα της κάθε ανεμογεννήτριας.

Ένα άλλο είδος συντήρησης, για τις ανεμογεννήτριες, είναι η προαιρετική (proactive) συντήρηση. Η προαιρετική συντήρηση ασχολείται κυρίως με την ανάλυση των υπαρχόντων βλαβών και την προέλευσή τους.

Εστιάζει στην αναγνώριση και διόρθωση των αιτιών των βλαβών τόσο στα εξαρτήματα της κάθε ανεμογεννήτριας όσο και στην διαδικασία εγκατάστασής της. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για την πρόληψη αυτού του είδους των σφαλμάτων. Τροποποιήσεις στο σχεδιασμό, βελτίωση των διαδικασιών συντήρησης, και βελτιώσεις στην εκπαίδευση και την εμπλοκή του προσωπικού συντήρησης, είναι κάποιοι από αυτούς.

Σε οποιαδήποτε φάση συντήρησης η πρώτη εργασία που εκτελείται αμέσως με την άφιξη στο αιολικό πάρκο είναι ο έλεγχος της κατάστασης κάθε ανεμογεννήτριας. Εάν μία ανεμογεννήτρια δεν λειτουργεί εξαιτίας βλάβης, τότε απαιτείται διορθωτική ενέργεια (διορθωτική συντήρηση). Η διορθωτική συντήρηση σε μία ανεμογεννήτρια είναι η εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών συντήρησης με στόχο την διόρθωση πιθανών σφαλμάτων, την αντικατάσταση εξαρτημάτων ή τη διόρθωση οποιασδήποτε ανωμαλίας ανιχνεύθηκε κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε είδους συντήρησης που προηγήθηκε. Η διορθωτική συντήρηση μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκη και χρονοβόρα ανάλογα με το είδος βλάβης που εντοπίζεται.

Ορισμένοι ειδικοί έλεγχοι πιθανόν να μην μπορούν να γίνουν επί τόπου, και να χρειάζεται να μεταφερθεί το εξάρτημα στο εργοστάσιο κατασκευής (παράδειγμα το κιβώτιο ταχυτήτων). Ιδιαίτερα δύσκολη είναι η συντήρηση του ρότορα και των πτερυγίων καθώς απαιτείται πρόσβαση σε μεγάλο ύψος, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αναγκαία η αφαίρεση τους και η επισκευή από τον κατασκευαστή. Στις επισκευές περιλαμβάνονται οι αναλώσιμες εργασίες, οι επιδιορθώσεις βλαβών που οφείλονται σε μετεωρολογικές συνθήκες, όπως υγρασία, πάγος, υπερθέρμανση και σε φυσική φθορά ορισμένων τμημάτων του εξοπλισμού (σκουριά και διάβρωση) ή σε καταστροφές από πτώσεις κεραυνών, καταστροφές ηλεκτρολογικού εξοπλισμού από ανωμαλίες δικτύου, ενώ 10.000 ευρώ είναι το κόστος ασφάλισης των εγκαταστάσεων για αστική ευθύνη και ανωτέρα βία.

Από τις χαρακτηριστικές εργασίες συντήρησης είναι η σύσφιξη των κοχλιών των πτερυγίων με την πλήμνη που πρέπει να γίνεται κάθε χρόνο. Επίσης, κάθε χρόνο θα πρέπει να γίνεται και η επιθεώρηση των ακροπτερυγίων για ζημιά από τους κεραυνούς καθώς και έλεγχος του υδραυλικού συστήματος ενεργοποίησής τους.

Όσον αφορά τους πύργους στήριξης, πρέπει να γίνεται σύσφιξη των κοχλιών βάσεως, σύνδεσης ενδιάμεσων τμημάτων του πύργου και κλιμάκων κάθε χρόνο ή κάθε 500 ώρες λειτουργίας. Κάθε χρόνο θα πρέπει να γίνεται επίσης έλεγχος για ρωγμές στις συγκολλήσεις, διάβρωση και κατάσταση των θυρών.



Εικόνα 3.9: Μέθοδος πρόσβασης σε υπεράκτια Α/Γ.

Η κόπωση των εξαρτημάτων είναι ιδιαίτερα έντονη και οδηγεί πολλές φορές σε αστοχία των υλικών. Επιβαρύνεται από το γεγονός ότι, ιδιαίτερα σε περιοχές με έντονη τυρβώδη ροή του ανέμου, οι καταπονήσεις από τις ροπές και τις δυνάμεις που αναπτύσσονται ακολουθούν την στοχαστική κατανομή του ανέμου. Η μεταβλητότητα του ανέμου εξαναγκάζει επίσης την εγκατάσταση συστήματος ελέγχου της παραγόμενης ισχύος, ώστε να μην επιτρέπεται να υπερβαίνει τα όρια αντοχής της Α/Γ. Αυτός ο έλεγχος γίνεται είτε με αλλαγή της κλίσης των πτερύγων στο σύνολο τους, είτε με αλλαγή της κλίσης μόνον του άκρου των πτερύγων, είτε με κατάλληλο σχεδιασμό των πτερύγων που να εξαναγκάζει σε στολάρισμα πάνω από ορισμένη ταχύτητα του ανέμου, και σαν συνέπεια να τίθεται εκτός λειτουργίας.

Οι διαδοχικοί σχεδιασμοί των Α/Γ κατά την διάρκεια των τελευταίων χρόνων εξέλιξης τους έχουν οδηγήσει στο συμπέρασμα ότι μεγάλης σημασίας είναι η απλότητα της κατασκευής του ρότορα ώστε να κερδίζει σε αξιοπιστία και ευκολία συντήρησης. Υπάρχει έτσι η διάχυτη πεποίθηση ότι όσο περισσότερο πολύπλοκο είναι ένα εξάρτημα (ώστε να μπορεί να εκμεταλλεύεται καλύτερα τον άνεμο) τόσο λιγότερο αξιόπιστο είναι και δύσκολο να συντηρηθεί. Το μεγαλύτερο ποσοστό βλαβών το παρουσιάζει το ηλεκτρικό σύστημα ελέγχου. Στην περίπτωση που η βλάβη επέλθει στο δίκτυο, πράγμα όχι σπάνιο, η Α/Γ τίθεται εκτός λειτουργίας. Σπάνιες είναι οι περιπτώσεις αστοχίας του πύργου όπως αυτή που συνέβη τον Απρίλιο 2004 στο αιολικό πάρκο της Κρατήγου (Μυτιλήνη) όταν ο πύργος λύγισε και καταστράφηκε με αποτέλεσμα να καταστραφεί η Α/Γ.

Οι κυριότερες αιτίες για μειωμένη παραγωγή προκύπτουν από κακή εκτίμηση και επιλογή της θέσης εγκατάστασης της Α/Γ (σε επίπεδο μικροκλίμακας), αλλά και από την βροχή και την σκόνη που επικάθονται στα πτερύγια και προκαλούν προβλήματα στην καλή ροή του ανέμου γύρω από αυτά.

Ένας πλήρες και λεπτομερές πρόγραμμα συντήρησης απαιτείται για τη βελτίωση της απόδοσης ενός αιολικού πάρκου. Η καθυστέρηση πραγματοποίησης μιας συντήρησης μπορεί να προκαλέσει προβλήματα λειτουργίας αλλά δεν είναι πάντα εύκολο να αποφευχθεί καθώς η συντήρηση εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, το μέγεθος των παρατηρούμενων βλαβών κλπ.

Πέρα από τις τεχνικές εργασίες, υπάρχει και η ανάγκη διατήρησης εγγράφων σχετικά με τις διάφορες λειτουργίες και εργασίες στο αιολικό πάρκο. Σχεδόν όλα τα τεχνικά έγγραφα στα αιολικά πάρκα είναι εγχειρίδια συντήρησης, τα οποία περιλαμβάνουν ένα σύνολο εργασιών προληπτικής συντήρησης που πρέπει να εκτελεστούν. Υπάρχουν επίσης έγγραφα και προτεινόμενες διαδικασίες που καθορίζουν τον τρόπο διασφάλισης της ποιότητας, την

πρόληψη ατυχημάτων, τη διαχείριση των πιθανών απορριμμάτων, τα ωράρια εργασίας του προσωπικού, κλπ.

Για παράδειγμα το πρόγραμμα της εταιρείας Vestas περιλαμβάνει τα παρακάτω τέσσερα στάδια στα οποία γίνεται έλεγχος και αντικατάσταση κάποιων υλικών στα ηλεκτρικά και μηχανολογικά μέρη της ανεμογεννήτριας.

- **Τρίμηνη συντήρηση** (Γίνεται τρεις μήνες μετά την παράδοση της Α/Γ και αφορά έλεγχο στα ηλεκτρικά μέρη και έλεγχο στις βίδες).
- **Εξάμηνη συντήρηση** (Η πρώτη εξάμηνη συντήρηση γίνεται έξι μήνες μετά την παράδοση της Α/Γ και επαναλαμβάνεται μετά από ένα χρόνο. Αφορά έλεγχο στα ηλεκτρικά μέρη και στα μηχανικά μέρη γρασάρισμα στα ρουλεμάν έλεγχο στην πίεση της υδραυλικής).
- **Δωδεκάμηνη συντήρηση** (Γίνεται ένα χρόνο μετά την παράδοση της Α/Γ ή έξι μήνες μετά την εξάμηνη συντήρηση. Επαναλαμβάνονται οι εργασίες που γίνονται στην εξάμηνη και επιπλέον γίνεται αλλαγή κάποιων υλικών όπως φίλτρα και ελέγχονται όλοι οι πιεσοστάτες).
- **Συντήρηση 4 ετών** (Γίνεται τέσσερα χρόνια μετά την παράδοση της Α/Γ και περιλαμβάνει την τρίμηνη και την ετήσια συντήρηση μαζί).

### 3.6 Οικονομικοί Παράγοντες

Όταν αναφερόμαστε σε ένα τέτοιου είδους αναπτυξιακό έργο δεν πρέπει ποτέ να αφαιρούμε από τη μελέτη το οικονομικό σκέλος. Όπως και να θέλει κάποιος μελετητής να σχεδιάσει μια εγκατάσταση το αποτέλεσμα θα πρέπει να αποδεικνύει ότι πρόκειται για μια πρόταση που θα επιφέρει κέρδη και η απόσβεση της θα γίνει σε πάρα πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Έχει γίνει αναφορά ότι για υπεράκτιες κατασκευές περίπου στα 150MW ο προϋπολογισμός είναι κάπου κοντά στα 300 εκατομμύρια ευρώ. Δεδομένου ότι οι εγκαταστάσεις αυτές εξελίσσονται όλο και περισσότερο και αυτό επηρεάζει πτωτικά το κόστος, κάνουν όλο και πιο ελκυστική την πρόταση για μια τέτοια μονάδα παραγωγής. Ποτέ όμως δεν γίνεται να υπολογίζεται μια εργασία με βάση τον προϋπολογισμό της. Αυτό είναι κάτι το οποίο πολλές φορές επιτυγχάνει το στόχο του, άλλες όμως βγαίνει εκτός πραγματικότητας και αποτελεί βραχνάς για την ολοκλήρωση του. Αξίζει να σημειωθεί ότι το μεγαλύτερο ποσοστό του συνολικού κόστους ενός αιολικού πάρκου (χερσαίου ή υπεράκτιου) οφείλεται στην αγορά των ανεμογεννητριών και είναι της τάξης του 70% και 75%.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΠΑΡΑΚΤΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ ΔΕΗ

### 4,1 Ηλεκτρικές Υποδομές Παράκτιων Α/Π

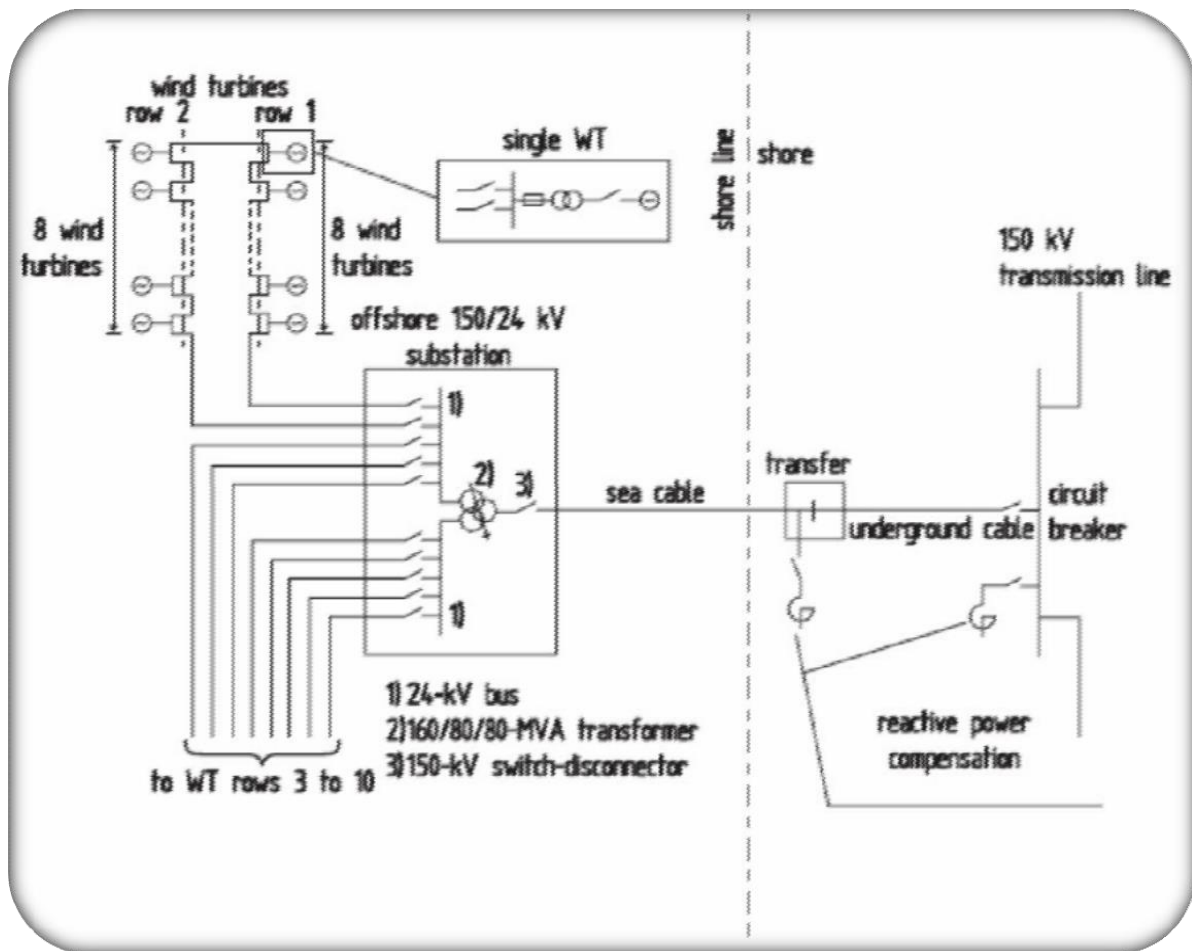
Σε μεγάλα υπεράκτια αιολικά πάρκα, η ηλεκτρική υποδομή αποτελεί ένα ανεξάρτητο και συγκριτικά πιο πολύπλοκο σύστημα από την αντίστοιχη εγκατάσταση σύνδεσης των ανεμογεννητριών στην ξηρά. Υπάρχουν τρεις πτυχές που πρέπει να ληφθούν υπόψη πολύ περισσότερο από ό, τι στη στεριά. Είναι η αξιοπιστία των συστημάτων, το υψηλότερο κόστος των υλικών και της εγκατάστασης στη θάλασσα καθώς και η πολύ μεγαλύτερη απόσταση για τη μεταφορά της ενέργειας με τη γη. Οι ηλεκτρικές υποδομές μπορούν να υποδιαιρεθούν σε τέσσερις τομείς:

- Το εσωτερικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου.
- Ο υπεράκτιος σταθμός μετατροπής τάσης.
- Το καλώδιο διασύνδεσης από τη θάλασσα στη στεριά.
- Σύνδεση με το διασυνδεδεμένο δίκτυο στη στεριά.

#### Εσωτερικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Η εσωτερική καλωδίωση ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου είναι ένα μέσης τάσης τριφασικό σύστημα με εύρος 20 έως 40 kV. Τα υποθαλάσσια καλώδια είναι 3-πυρήνα καλώδια με ενσωματωμένες οπτικές ίνες. Το κόστος των σημερινών πλαστικών καλωδίων με μανδύα στη θάλασσα είναι περίπου 20 έως 40% υψηλότερο από εκείνων της γης. Επίσης και η τοποθέτησή τους έχει μεγαλύτερο κόστος. Τα καλώδια υψηλής τάσης (110 έως 150 kV) έχουν υπερδιπλάσιο κόστος από αυτά της μέσης, συμπεριλαμβανομένης της τοποθέτησης. Τα καλώδια οδηγούνται στον πυθμένα της θάλασσας και ενταφιάζονται σε βάθος ενός μέτρου. Οι ανεμογεννήτριες είναι συνδεδεμένες με έναν κεντρικό υποσταθμό μετασχηματισμού μέσω του δικού τους μετασχηματιστή.

Εκεί είναι κατάλληλη μία σειρά συνδέσεων δακτυλίου για ένα συγκεκριμένο αριθμό ανεμογεννητριών από 30 έως και 40 MW ανά δακτύλιο σύμφωνα με τη μέγιστη ικανότητα μετάδοσης του καλωδίου, ανάλογα με τη διατομή που έχει επιλεγεί. Οι συνδέσεις αυτές έχουν το πλεονέκτημα ότι, σε περίπτωση καταστροφής του καλωδίου, οι ανεμογεννήτριες δεν βγαίνουν εκτός του δικτύου αλλά μέσω του δακτυλίου αλλάζουν σύνδεση και συνεχίζουν να λειτουργούν.



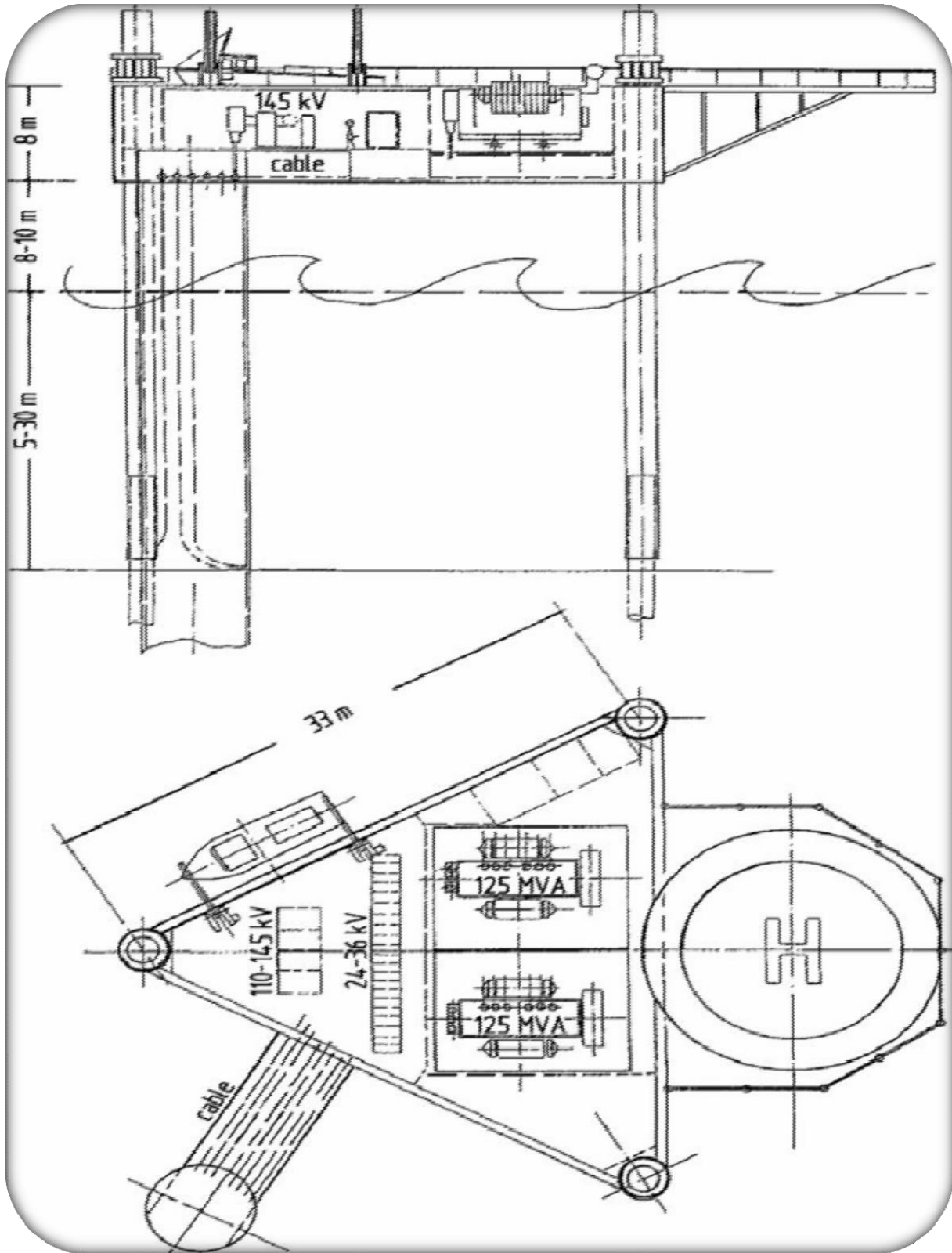
Εικόνα 4.1: Ηλεκτρική εγκατάσταση στο υπεράκτιο αιολικό πάρκο Horns Rev.

### Υπεράκτιος Υποσταθμός

Όταν υπάρχουν μεγάλες αποστάσεις από την ηπειρωτική χώρα προτιμάται η μεταφορά της ενέργειας από το θαλάσσιο πάρκο σε επίπεδο υψηλής τάσης. Αυτό απαιτεί έναν υποσταθμό μετασχηματισμού στην περιοχή του αιολικού πάρκου. Σε αυτόν τον υποσταθμό καταλήγουν σε ένα κεντρικό σημείο όλες οι γραμμές από τις ανεμογεννήτριες και εκεί η ενέργεια μετασχηματίζεται σε υψηλής τάσης.

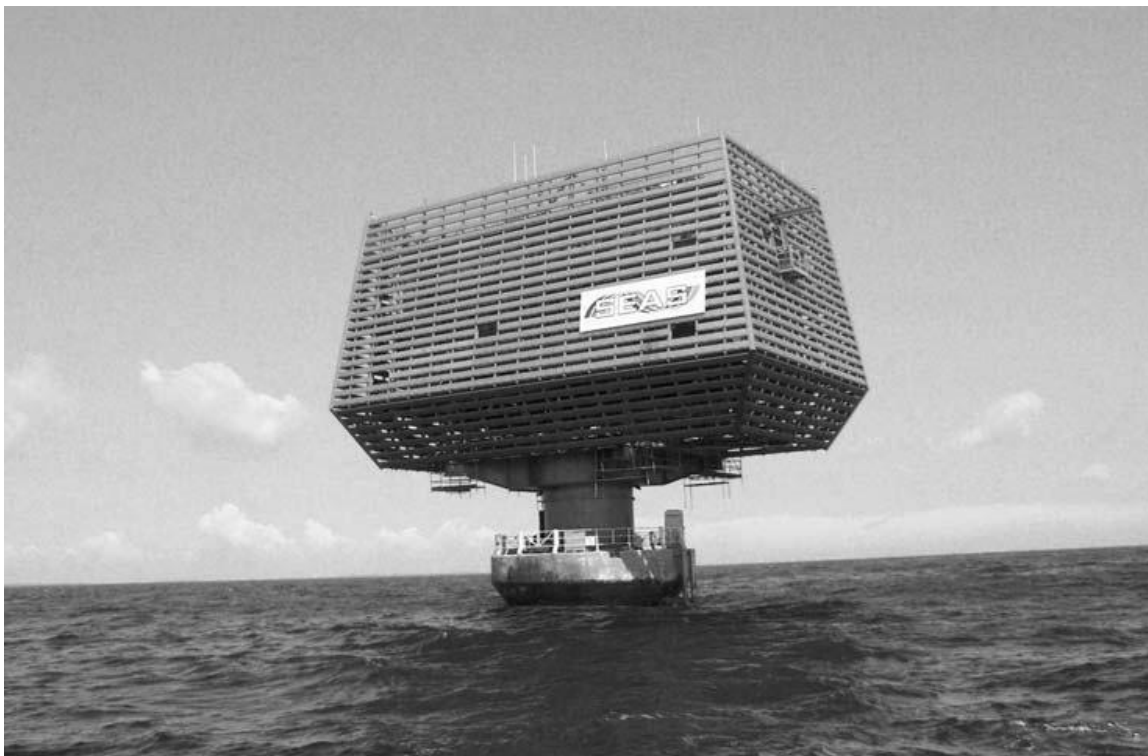
Εκτός από αυτό ο υποσταθμός περιέχει όλους τους απαραίτητους πίνακες μεταγωγής και άλλες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις όπως, για παράδειγμα, συστήματα διόρθωσης του συντελεστή ισχύος.





Εικόνα 4.2: Σχέδιο του υπεράκτιου υποσταθμού που χρησιμοποιείται και ως κεντρική πλατφόρμα υπηρεσιών.

Οι μετασχηματιστές υψηλής τάσης είναι συνήθως ελαιόψυκτοι. Οι πίνακες μεταγωγής πρέπει να έχουν μόνωση αερίου (SF<sub>6</sub>). Η εικόνα παρουσιάζει το σχεδιάγραμμα ενός κεντρικού υπεράκτιου υποσταθμού μετασχηματισμού. Ο υποσταθμός στηρίζεται σε τρεις πυλώνες και χρησιμοποιείται ταυτόχρονα ως σταθμός υπηρεσιών του αιολικού πάρκου με αποβάθρα για βάρκα και μια πλατφόρμα προσγείωσης ελικοπτερώων. Μία διαφορετική και εντυπωσιακή άποψη όσον αφορά τον υποσταθμό υπάρχει στο αιολικό πάρκο Nysted Rodsand.



Εικόνα 4.3: Υπεράκτιος υποσταθμός του αιολικού πάρκου Nysted Rodsand.

#### Θαλάσσιο καλώδιο διασύνδεσης με την ξηρά

Σε περίπτωση που οι αποστάσεις και η μεταφερόμενη ενέργεια είναι αρκετά μεγάλες, η καλωδίωση μέσης τάσης δεν είναι πλέον επαρκής. Η τάση πρέπει να μετατραπεί στο επόμενο υψηλότερο επίπεδο (110 έως 150 kV). Υψηλής τάσης τριφασικά καλώδια είναι γενικά διαθέσιμα και η δομή τους δεν διαφέρει από αυτά της μέσης τάσης (Εικόνα 4.4). Η τοποθέτηση καλωδίων απαιτεί ειδικό εξοπλισμό, ο οποίος είναι ήδη γνωστός (Εικόνα 4.5). Ωστόσο, η μεταφορά εναλλασσόμενου ρεύματος σε μεγάλες αποστάσεις παρουσιάζει προβλήματα από μόνη της. Τα καλώδια δρουν σαν μεγάλος πυκνωτής, δηλαδή ηλεκτρικά παρουσιάζουν χωρητικά χαρακτηριστικά.

Πάνω από μία ορισμένη απόσταση (περίπου 100 χλμ), η άεργος ισχύς είναι τέτοιου μεγέθους που πλέον δεν μπορεί να μεταφερθεί ενεργός ισχύς. Για το λόγο αυτό συνδέονται παράλληλα πηνία που εκμηδενίζουν το άεργο ρεύμα.



Εικόνα 4.4: Θαλάσσιο καλώδιο διασύνδεσης.



Εικόνα 4.5: Τοποθέτηση καλωδίων με ειδικό εξοπλισμό.

Δεδομένου ότι η άεργος ισχύς αυξάνεται με το τετράγωνο της τάσης, είναι σκόπιμο να περιοριστεί το επίπεδο της τάσης. Στην περίπτωση των μεγάλων ισχύων, μπορεί να είναι αναγκαίο να τοποθετηθούν ορισμένες γραμμές παράλληλα. Η πτώση τάσης λόγω της απόστασης και οι συνακόλουθες απώλειες στην απόδοση είναι αρκετά σημαντικές. Η απόδοση στη μεταφορά ισχύος για ένα τριφασικό θαλάσσιο καλώδιο των 145 kV ανάλογα με το μήκος της απόστασης έχει τον εξής συντελεστή:

Μήκος	Συντελεστής μεταφοράς
20 χλμ.	0.88
50 χλμ.	0.70
100 χλμ.	0.40

Αυτές οι δυσμενείς επιπτώσεις επηρεάζουν σημαντικά την οικονομική επένδυση στη μετάδοση ενός τριφασικού εναλλασσόμενου ρεύματος για αποστάσεις μεγαλύτερες των 50 χλμ. και προτιμάται εναλλακτικά η DC μετάδοση (HVDC). Το σύστημα HVDC αποφεύγει τα μειονεκτήματα που σχετίζονται με το συντελεστή ισχύος και τη μείωση της απόδοσης. Ωστόσο, όλα τα συστήματα και τα κατασκευαστικά στοιχεία όπως οι διακόπτες, κ.λπ. είναι πολύ πιο ακριβά σε αυτήν την περίπτωση. Ένα περαιτέρω μειονέκτημα συνίσταται στο γεγονός του μετασχηματισμού σε άλλο επίπεδο τάσης που είναι δυνατό μόνο μέσω μιας δαπανηρής επένδυσης (ανύψωση / υποβίβαση τάσης). Στα τρέχοντα συστήματα HVDC, χρησιμοποιούνται θυρίστορ που όμως παρουσιάζουν διάφορα μειονεκτήματα (αρμονικές κ.α.). Για το λόγο σιγά σιγά τα θυρίστορ αντικαθιστούνται από μετατροπείς IGBT. Τα συστήματα αυτά ονομάζονται “HVDC light systems”.

#### Σύνδεση με το διασυνδεδεμένο δίκτυο στη στεριά

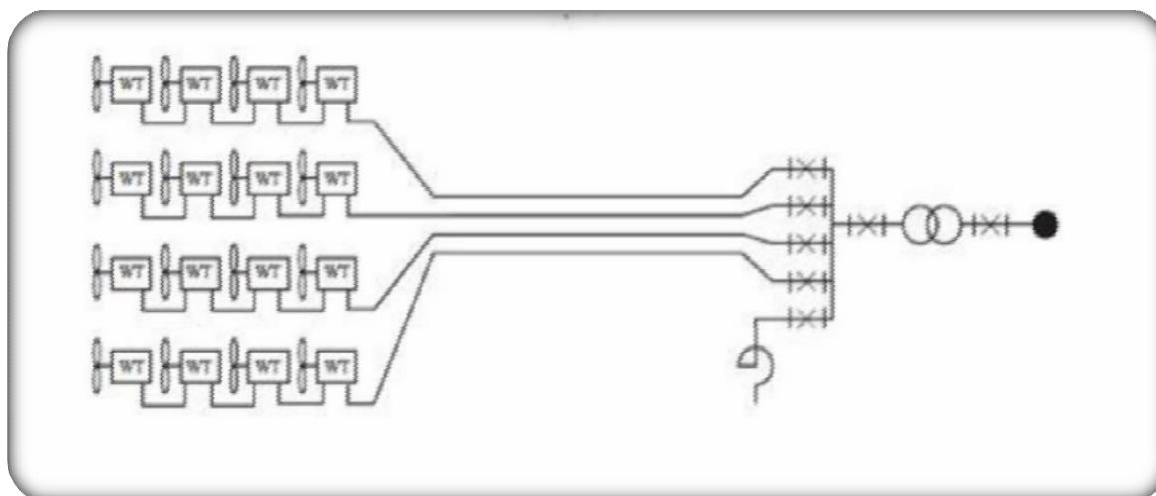
Τα πρώτα υπεράκτια αιολικά πάρκα ισχύος 100 ή 200 MW ενώνονταν με το διασυνδεδεμένο δίκτυο μέσω δικτύου υψηλής τάσης στην ξηρά (π.χ. 110 kV). Μελλοντικά όμως υπεράκτια αιολικά πάρκα ισχύος 1000 MW θα πρέπει να συνδέονται μέσω δικτύου υπερυψηλής τάσης (220 έως 380 kV). Επί του παρόντος, εναέριες γραμμές μεταφοράς υπερυψηλής τάσης μπορούν να βρεθούν μόνο κοντά στους μεγάλους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή στους μεγάλης ισχύος καταναλωτές.

## 4.2 Βασικοί Τρόποι Διασύνδεσης των Α/Γ

Λόγω των ιδιοτήτων των περισσότερων πάρκων αλλά και την ανάγκη για μια σύνδεση στο δίκτυο ενός παραγωγού χωρίς αναταραχές και διακυμάνσεις στη λειτουργία του, αναπτύχθηκαν πολλά είδη σύνδεσης. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά αυτές οι συνδεσμολογίες.

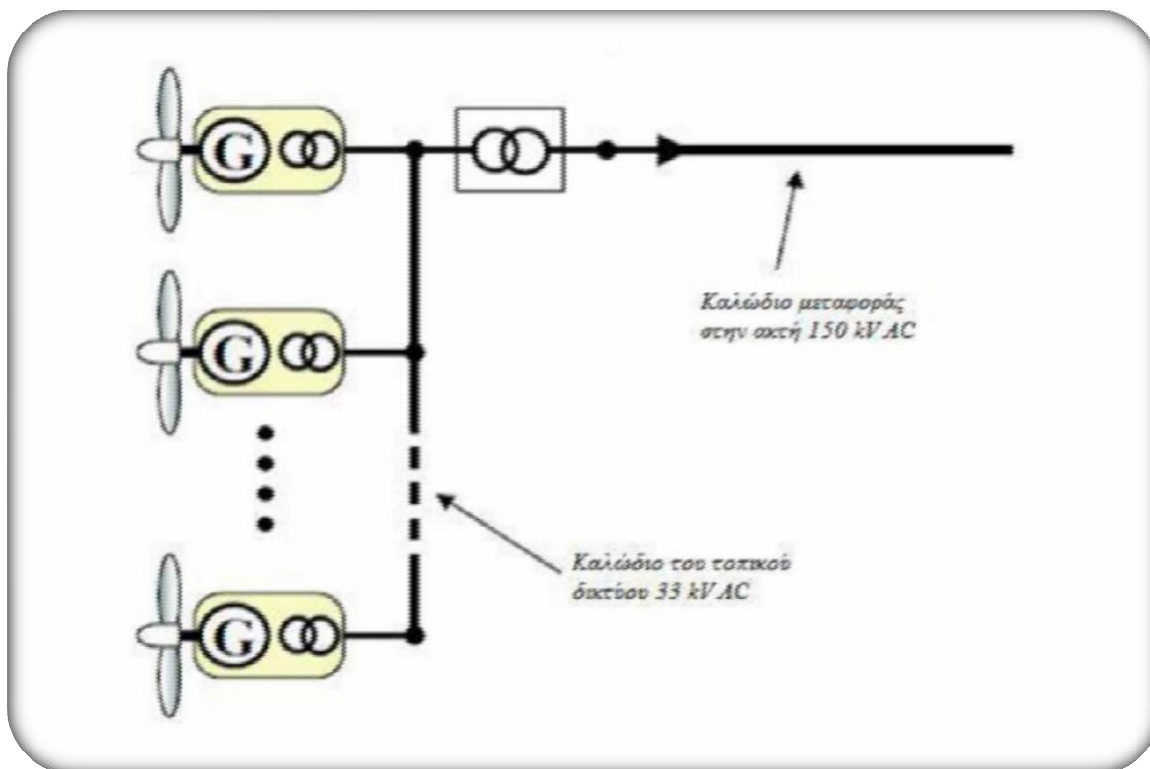
#### Αιολικά Πάρκα με Σύνδεση AC

Τα περισσότερα αιολικά πάρκα και κυρίως τα πάρκα στην ξηρά έχουν λειτουργήσει με το AC σύστημα διασύνδεσης. Λόγω κόστους της κατασκευής υπάρχουν δύο διαφορετικές τακτικές που ακολουθούνται, άλλη στα μεγάλης ισχύος πάρκα και άλλη στα μικρής.



Εικόνα 4.6: Τοπολογία μικρού πάρκου AC.

Σε ένα πάρκο με μικρό αριθμό ανεμογεννητριών χρησιμοποιούμε ένα δίκτυο (ακτινικό) για να συνδέσουμε τις ανεμογεννήτριες μεταξύ τους αλλά και για τη διασύνδεση με το δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό τοποθετείται ένα καλώδιο σε σειρά με όλες τις ανεμογεννήτριες της γραμμής και ο κόμβος φθάνει στο μετασχηματιστή. Έτσι έχουμε ταυτόχρονη σύνδεση των γεννητριών μεταξύ τους αλλά και με το δίκτυο. Πρόκειται για μια αρκετά συμφέρουσα λύση σε μικρά δίκτυα.



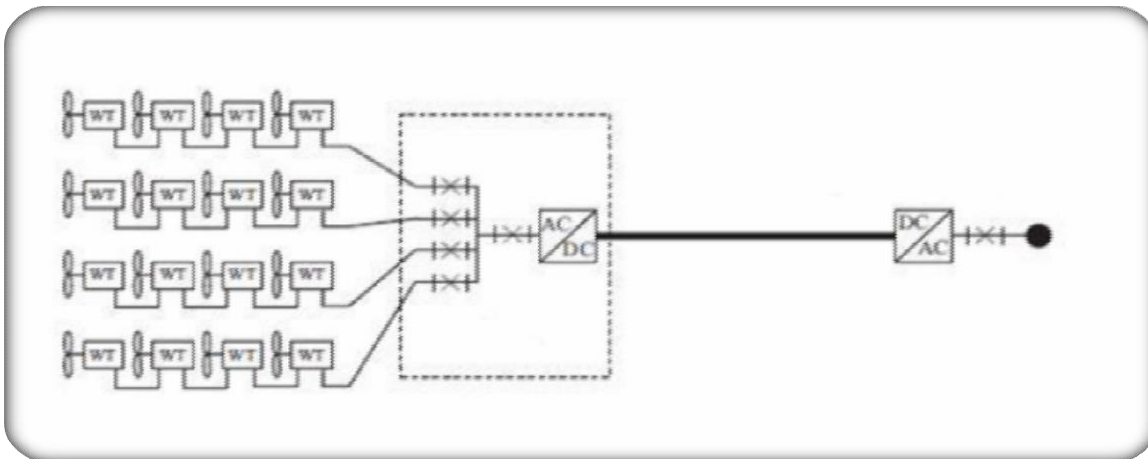
Εικόνα 4.7: Τοπολογία μεγάλων αιολικών πάρκων AC.

Στην εγκατάσταση μεγάλων πάρκων ακολουθούμε ένα πιο παραδοσιακό τρόπο σύνδεσης. Εκεί κάθε στοίχος από ανεμογεννήτριες συνδέεται σε έναν κόμβο πάλι, με τη διαφορά ότι κάθε γεννήτρια επικοινωνεί ξεχωριστά. Έτσι έχουμε ένα εσωτερικό δίκτυο που λειτουργεί με μικρότερη τάση μέχρι τον κόμβο και στη συνέχεια ένα μετασχηματιστή που ανεβάζει την τάση για τη σύνδεση όλων των εσωτερικών δικτύων πριν τη διασύνδεση με το δίκτυο διανομής.

#### Αιολικά Πάρκα με Σύνδεση AC/ DC

Η πρόταση αυτή είναι σχεδόν παρόμοια με τη προηγούμενη, αλλά αφορά κυρίως πάρκα τα οποία μεταφέρουν την ενέργεια τους σε σημείο αρκετά απομακρυσμένο ή αν το τοπικό δίκτυο είναι ανίσχυρο.

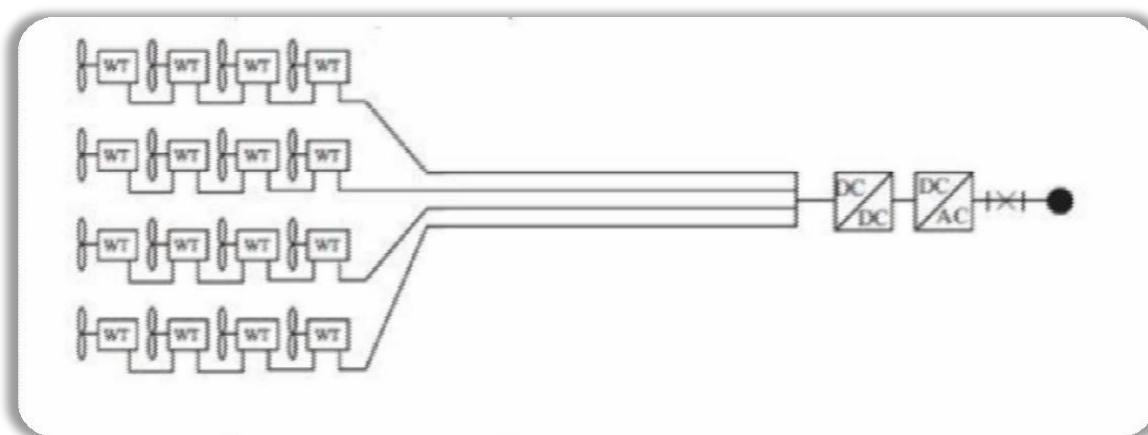
Η βασική διαφορά είναι στο δίκτυο AC σύνδεσης των ανεμογεννητριών που είναι τελείως ανεξάρτητο από αυτό του δικτύου διανομής. Μεταξύ τους παρεμβάλλεται μια γραμμή DC, προσφέροντας δυνατότητες ελέγχου στα μεγέθη που μεταφέρονται με σκοπό την καλύτερη και ποιοτικότερη μεταφορά ισχύος. Το κόστος εγκατάστασης είναι ίδιο με τη προηγούμενη τοπολογία μιας και χρησιμοποιείται ένα διπολικό καλώδιο DC με μόνο εξτρά κόστος τους μετατροπείς.



Εικόνα 4.8: Τοπολογία αιολικού πάρκου AC/DC.

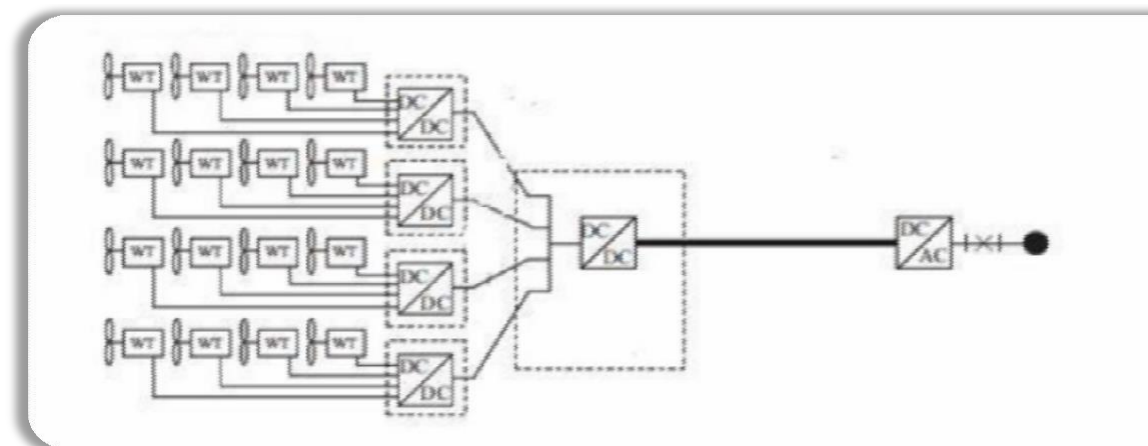
### Αιολικά Πάρκα με Σύνδεση DC

Στην τοπολογία αυτή των συστημάτων μεταφοράς DC υπάρχουν δυο είδη εγκατάστασης για μικρά και μεγάλα πάρκα, αλλά και μια τρίτη, με σύνδεση αιολικών πάρκων σε σειρά.



Εικόνα 4.9: Τοπολογία μικρού αιολικού πάρκου DC.

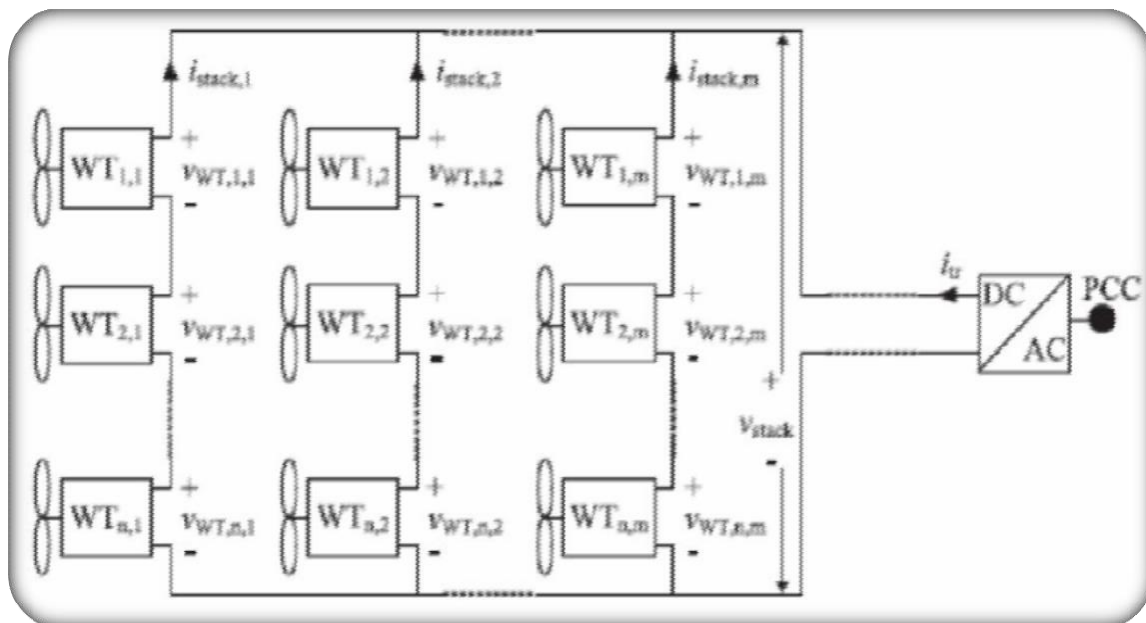
Στη πρώτη κατηγορία των μικρών πάρκων η σύνδεση DC δεν διαφέρει καθόλου από την αντίστοιχη σύνδεση AC, με τη διαφορά, στη θέση του μετασχηματιστή να υπάρχει ένας μετατροπέας DC και ένας αντιστροφέας στη συνέχεια. Βεβαίως είναι απαραίτητη η χρήση ενός ανορθωτή στη κάθε ανεμογεννήτρια. Το κόστος εγκατάστασης δεν διαφέρει από αυτό της AC τοπολογίας.



Εικόνα 4.10: Τοπολογία μεγάλων αιολικών πάρκων DC.



Στα μεγάλα πάρκα η διαφορά είναι στις βαθμίδες DC που μπορεί να χρειαστούν ώστε να φτάσουμε στο τελικό στάδιο του αντιστροφέα. Αυτή είναι και η κύρια διαφορά από το αντίστοιχο AC. Έτσι μόνο όταν ένας μετατροπέας φτάνει τα 20 – 40 KV μπορεί να συνδεθεί στον αντιστροφέα. Για τιμές κοντά στα 5 KV είναι αναγκαίο άλλο ένα στάδιο μετατροπής.



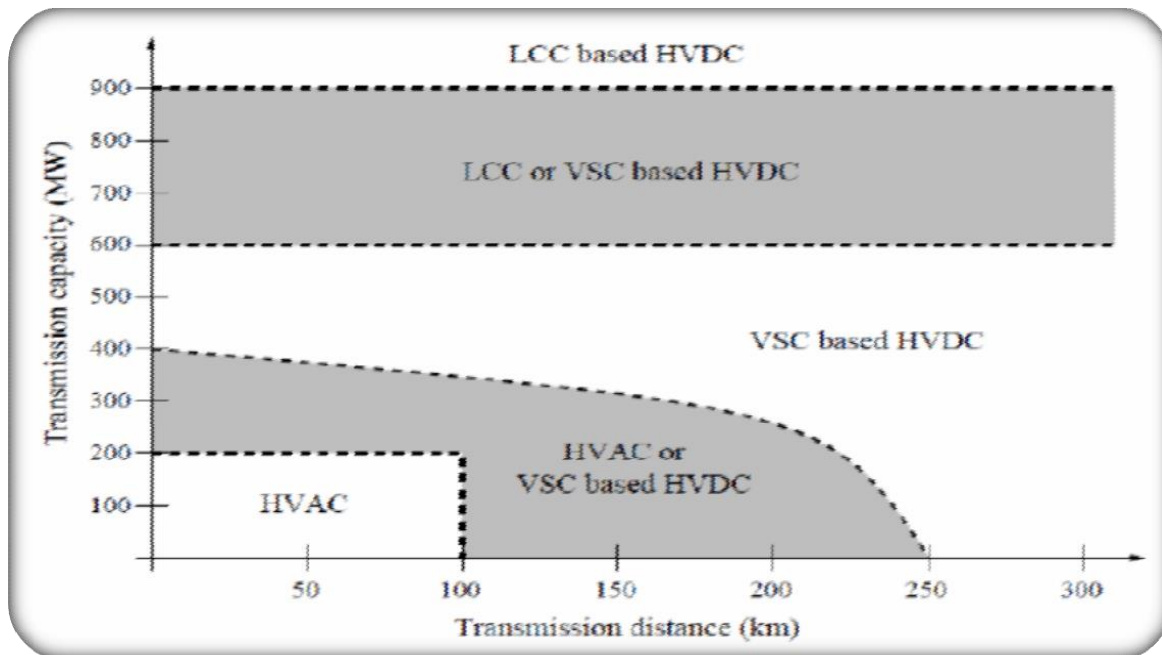
Εικόνα 4.11: Τοπολογία αιολικού πάρκου DC με σύνδεση των ανεμογεννητριών σε σειρά.

Τέλος η συνδεσμολογία με τη λογική των πάρκων σε σειρά λειτουργεί τοποθετώντας σε σειρά όσες ανεμογεννήτριες αρκούν για να φτάσουν την ονομαστική τάση του αντιστροφέα. Το κέρδος από αυτή τη σύνδεση είναι η απαλλαγή από ενδιάμεσα στάδια μετατροπής και το κόστος μειώνεται σημαντικά. Προφανώς εδώ έχουμε έναν τελικό αντιστροφέα που πρέπει να έχει μεγάλο εύρος λειτουργίας μέχρι την ονομαστική του τιμή για να καλύψει όλες τις ανάγκες. Από την άλλη μεριά οι μετατροπείς στη μεριά των ανεμογεννητριών πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να δουλέψουν σε μεγάλες τάσεις για να καλύπτουν την περίπτωση βλάβης μιας γεννήτριας από τη σειρά και να συνεχίζεται ομαλά η λειτουργία του πάρκου.

### 4.3 Συστήματα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας από υπεράκτιο αιολικό πάρκο προς το πλησιέστερο ηπειρωτικό δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί μείζων ζήτημα. Πρόκειται για ένα σύστημα ευέλικτο λόγω της αυξομείωσης στο ποσό ενέργειας που μεταφέρει, όσο και αξιόπιστο λόγω του μεγέθους και της δυσκολίας του όλου έργου (εμπότιση καλωδίων, υποθαλάσσιες συνδέσεις, κ.α.). Η κατασκευή ενός συστήματος εναλλασσόμενου ρεύματος παρόμοιο με αυτό του δικτύου παρέχει μια λύση στο εγχείρημα, αλλά η υλοποίηση της αντιμετωπίζει πολλά αδιέξοδα.

Έκτος από τη λύση του τριφασικού συστήματος AC σε υποθαλάσσια μορφή, κάτι τέτοιο θα ήταν οικονομικά και κατασκευαστικά ασύμφορο, σοβαρή υποψηφιότητα έχει το σύστημα μεταφοράς συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης HVDC. Αυτή η εναλλακτική και ενδιαφέρουσα λύση παρέχει εξίσου καλή ποιότητα ισχύος και ευστάθεια στο σύστημα με την επιπλέον ιδιαιτερότητα της οικονομικότερης πλευράς της. Σχεδόν το κόστος για μια τέτοια κατασκευή μειώνεται κατά 1/3 μιας και πρόκειται για σύστημα μεταφοράς 2 φάσεων και όχι 3 όπως ένα AC. Πλεονέκτημα αποτελεί ο δυναμικός τρόπος απόσβεσης των ταλαντώσεων από τις μετατροπές AC/DC και DC/AC αλλά και ο συγχρονισμός πολλών και διαφορετικών συχνοτήτων από τις διάφορες πηγές μέσω μιας γραμμής μεταφοράς.



Εικόνα 4.12: Χαρακτηριστικό διάγραμμα χρήσης συστημάτων υψηλής τάσης.

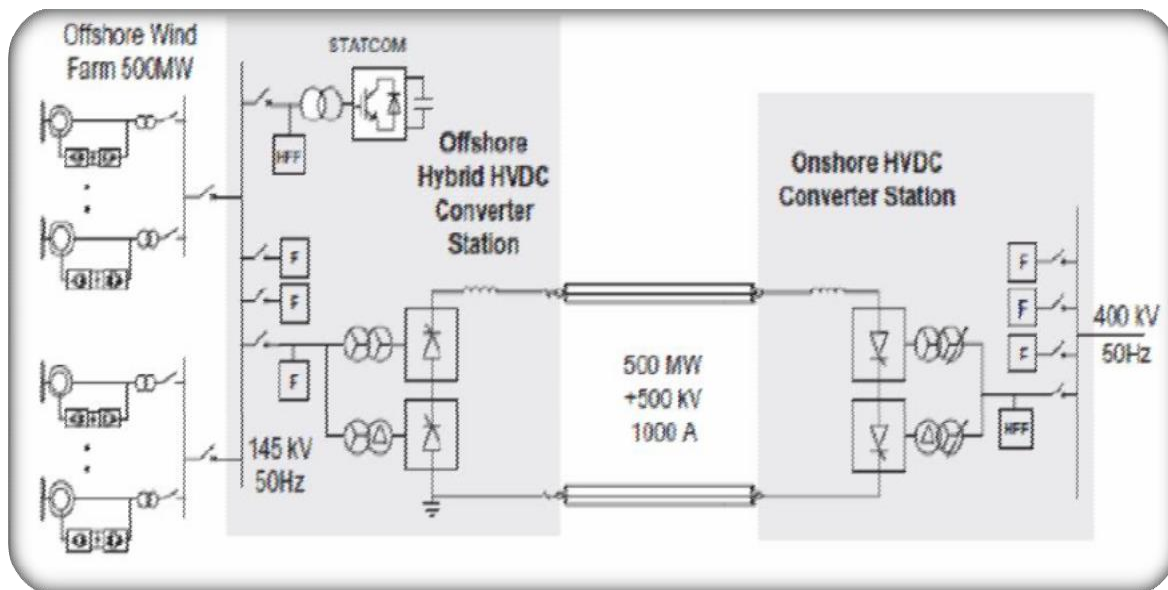
### HVAC Μεταφορά

Τα συστήματα Υψηλής Τάσης Εναλλασσόμενου Ρεύματος (HVAC) αποτελούν την πιο απλή και οικονομικά εφικτή λύση για ένα αιολικό πάρκο. Έχουν χρησιμοποιηθεί για πολλές εφαρμογές υπεράκτιων αιολικών πάρκων κυρίως μικρής κλίμακας και έχουν παρατηρηθεί αρκετοί περιορισμοί. Υπάρχει μία άμεση σχέση του μήκους της γραμμής με το ποσό ενέργειας που μεταφέρεται αλλά και της άεργου ισχύς που παράγουν τα ίδια τα καλώδια. Έτσι τέτοιου είδους συστήματα μεταφοράς περιορίζονται σε μικρά πάρκα μέγιστης ισχύς 200 MW. Επίσης το μήκος της συνολικής γραμμής δεν μπορεί να υπερβαίνει τα 100 km. Στο τέλος της γραμμής κοντά στις ακτές τοποθετούνται αντισταθμιστές άεργου ισχύος με σκοπό την καλύτερη ποιότητα παρεχόμενης ισχύς και την αποφυγή εισχώρησης ανώτερων αρμονικών στο δίκτυο.

### HVDC Μεταφορά βασισμένη σε LCC

Είναι το κλασικό σύστημα μεταφοράς ενέργειας με χρήση Υψηλής Τάσης Συνεχούς Ρεύμα (HVDC) που χρησιμοποιεί μετατροπείς πηγών ρεύματος (LCC). Αποτελείται από γέφυρες θυρίστορ και αυτό είναι ένα βασικό μειονέκτημα σε ένα σύστημα μεταφοράς ενέργειας μεταξύ 2 δικτύων AC, διότι σε τέτοιες κατασκευές τα θυρίστορ είναι οδηγούμενα από τα δίκτυα και δεν μπορούμε να ελέγξουμε την ενεργό και άεργο ισχύ που μεταφέρεται. Σαν αποτέλεσμα είναι η μεταφορά ανώτερων αρμονικών στο δίκτυο και η χρήση τεράστιων φίλτρων αντιστάθμισης. Το πρόβλημα αυτό προέρχεται από την διαδικασία έναυσης και σβέσης των θυρίστορ που καθυστερούν σε σχέση με τα IGBT και GTO.

Μια λύση στο παραπάνω πρόβλημα βρέθηκε με την τοποθέτηση ενός στατικού αντισταθμιστή που ονομάστηκε STATCOM. Το κέρδος που πέτυχαν με αυτό στην διάταξη ήταν διπλό. Κατά τη διαρκή και σταθερή λειτουργία του συστήματος περιορίζεται η άεργος ισχύς που παράγεται από την μετατροπή του εναλλασσόμενου σε συνεχές και ταυτόχρονα διατηρεί σταθερή την συνεχής τάση μεταφοράς κατά την διάρκεια που το αιολικό πάρκο παρουσιάζει στιγμιαίες βυθίσεις ή μεταβολές.



Εικόνα 4.13: Σύστημα μεταφοράς με μετατροπής πηγών ρεύματος LCC.

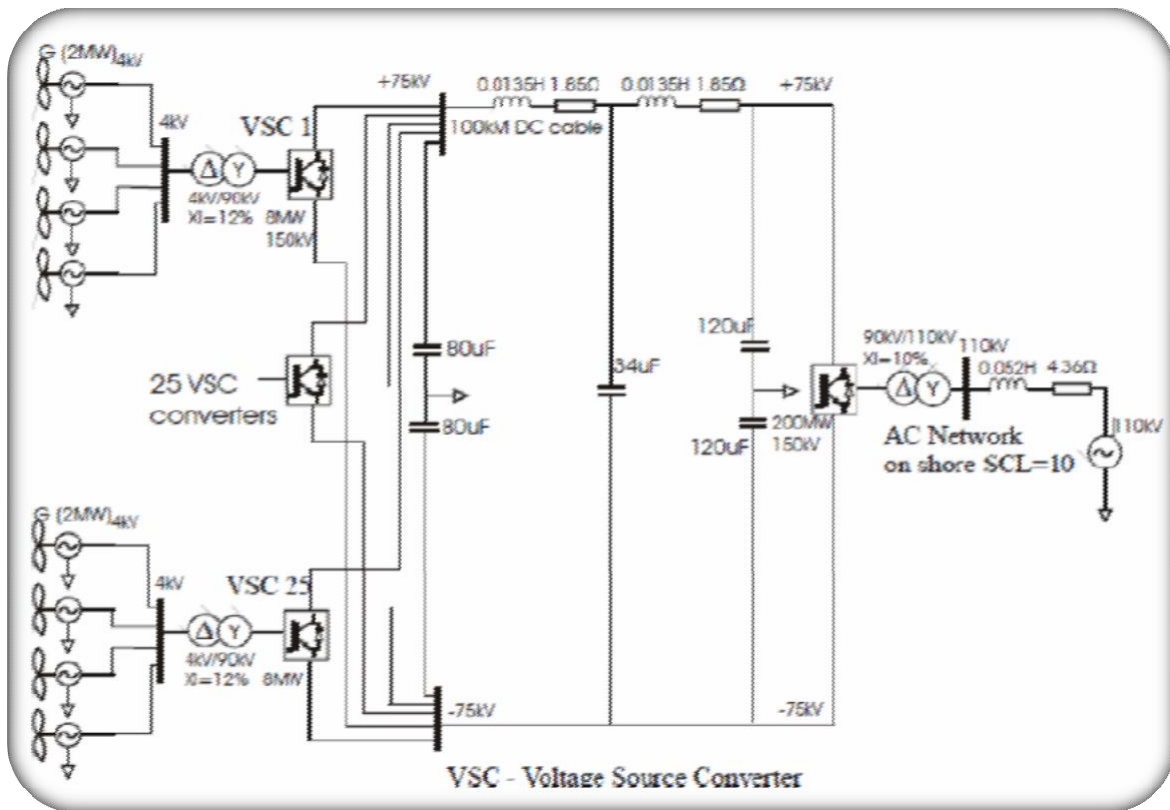
Η χρήση τέτοιων συστημάτων μεταφοράς ισχύς είναι γνωστή για παραπάνω από μισό αιώνα. Μάλιστα πολλές χώρες διασυνδέονται πλέον με αυτόν τον τρόπο για να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας μεταξύ τους (π.χ. ο αγωγός Ελλάδας – Ιταλίας). Μετά από τις μελέτες και αρκετές εγκαταστάσεις παρατηρήθηκε ότι ένα τέτοιο σύστημα μεταφοράς αφορά μεγάλα ποσά ενέργειας και σε μεγάλες αποστάσεις. Έτσι συνήθως χρησιμοποιείται για να συνδέσει σταθμούς ή πάρκα που απέχουν μεγάλες αποστάσεις (πάνω από 100 km) και κυρίως μεταφορά ενέργειας από 600 MW και παραπάνω.

### HVDC Μεταφορά βασισμένη σε VSC

Πρόκειται για την εξελιγμένη μορφή μιας γραμμής μεταφοράς ενέργειας Υψηλής Τάσης Συνεχούς Ρεύματος (HVDC) η οποία κερδίζει όλο και περισσότερο μερίδιο της αγοράς για κατασκευές υπεράκτιων αιολικών πάρκων.

Η διαφορά αυτής της γραμμής μεταφοράς έγκειται στους μετατροπής πηγών τάσης (VSC). Τη θέση των θυρίστωρ εδώ έχουν πάρει στοιχεία IGBT με μεγαλύτερες συχνότητες λειτουργίας και πλήρως ελεγχόμενες διακοπτικές διαδικασίες. Το αποτέλεσμα είναι να έχουμε μια γραμμή που λειτουργεί ανεξάρτητα από τη διαφορά δυναμικότητας των δύο άκρων της, δηλαδή χωρίς να θέλει κάποιον σταθεροποιητή είτε από τη μεριά του πάρκου, είτε από την μεριά του δικτύου. Αυτή τη στιγμή στην αγορά υπάρχουν τέτοιες διατάξεις έτοιμες από μεγάλες εταιρίες και διακινούνται με διάφορα ονόματα. Η ABB έχει ονομάσει μία διάταξη HVDC με VSC ως “HVDC light”, ενώ η Siemens της έχει δώσει την ονομασία “Plus HVDC”.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της γραμμής είναι πολλά. Με αυτό το σύστημα επιτυγχάνεται καλύτερος και άμεσος έλεγχος της ενεργού και άεργου ισχύος χωρίς να απαιτούνται αντισταθμιστές, ενώ ταυτόχρονα σταθεροποιεί το δίκτυο στις ενώσεις με το εναλλασσόμενο δίκτυο. Λόγω της μεγάλης συχνότητας λειτουργίας των ημιαγωγικών στοιχείων που χρησιμοποιούνται στη διάταξη, έχουμε τη μείωση των αρμονικών που εισέρχονται στο δίκτυο μειώνοντας τα φίλτρα που θα ήταν αναγκαία σε άλλες συνθήκες. Βέβαια η μεγάλη συχνότητα στη Διαμόρφωση Πλάτους Παλμών (PWM) επιφέρει μεγάλες απώλειες ισχύος αλλά παραμένει μικρότερο το ποσοστό σε σχέση με το σύστημα LCC. Τέλος το κόστος κατασκευής των VSC σε σχέση με άλλους μετατροπείς είναι μεγαλύτερο, όμως στο σύνολο της κατασκευής μιας γραμμής HVDC με VSC είναι συγκρίσιμο, ίσως και χαμηλότερο από την αντίστοιχη με LCC.



Εικόνα 4.14: Σύστημα μεταφοράς με μετατροπείς πηγών τάσης VSC.

Βάση μελετών αλλά και από τις εγκαταστάσεις που ήδη υπάρχουν έχει παρατηρηθεί ότι οι γραμμές μεταφοράς HVDC με VSC χρησιμοποιούνται για κατασκευές άνω των 100 km και για μεταφορά ισχύος μεταξύ 200 και 900 MW, με την ιδιαιτερότητα να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και πέρα από αυτά τα όρια αν οι συνθήκες το επιτρέπουν.

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η αιολική τεχνολογία είναι η πιο ανεπτυγμένη μεταξύ των ΑΠΕ. Το υπεράκτιο αιολικό δυναμικό είναι τεράστιο. Μπορεί να καλύψει επτά φορές τη ζήτηση ενέργειας στην Ευρώπη και τέσσερις φορές την αντίστοιχη στις ΗΠΑ. Η υπεράκτια αιολική ενέργεια μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στους ενεργειακούς στόχους της ΕΕ μέσω μιας μεγάλης αύξησης της εγκατεστημένης ισχύος σε σχέση με σήμερα.

Καθαροί, ανανεώσιμοι ενεργειακοί πόροι είναι ζωτικής σημασίας έναντι των κρίσιμων ενεργειακών, οικονομικών και περιβαλλοντικών προκλήσεων. Η υπεράκτια αιολική ενέργεια συντελεί στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων. Αντιπροσωπεύει ένα μεγάλο, ανεκμετάλλευτο πόρο καθαρού, εγχώριου ενεργειακού δυναμικού. Μπορεί να συντελέσει στη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, να αυξήσει και να διαφοροποιήσει την εγχώρια προσφορά ενέργειας, να προσφέρει ηλεκτρισμό με ανταγωνιστικό κόστος σε παράκτιους οικισμούς και να ωθήσει την οικονομική ανάπτυξη, ιδιαίτερα των βιομηχανικών και λιμενικών εγκαταστάσεων.

Ο παράκτιος αιολικός πόρος είναι γενικώς πολύ μεγαλύτερος, επομένως παράγει περισσότερη ενέργεια με λιγότερες γεννήτριες. Οι περισσότερες από τις μεγάλες πόλεις του κόσμου βρίσκονται κοντά στην ακτή. Ο υπεράκτιος άνεμος είναι κατάλληλος για μεγάλης κλίμακας ανάπτυξη κοντά στα κέντρα ζήτησης ενέργειας, αποφεύγοντας τις μακριές γραμμές μεταφοράς.

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία, επομένως το κόστος θα μειωθεί και η τεχνολογία θα βελτιωθεί, ώστε σύντομα να γίνει πιο αποδοτική και ανταγωνιστική.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία:

1. Αλεξιάκης Σ., Αιολική ενέργεια (Φύση και Πολιτισμός), Αθήνα, 2001.
2. Βασιλάκος Ν., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Τα θέματα αιχμής των επενδύσεων ΑΠΕ στην ελληνική αγορά, Αθήνα, 1992.
3. Βατάλης, Εισαγωγή στο δίκαιο ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, Εκδόσεις Σάκκουλα, Αθήνα, 2007.
4. Βοβός Ν., Γιαννακόπουλος Γ.Β., Ανάλυση Συστημάτων Ηλεκτρικής Ενέργειας, Πάτρα, 2008.
5. Βραχίμης Μ., Ξωνίκης Α., Παπιγκιώτης Μ., Υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, ζητήματα διασύνδεσης τους στο δίκτυο, Πανεπιστήμιο ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη, 2010.
6. Καλδέλλης Ι., Καψάλη Μ., Shifting towards offshore wind energy – Recent activity and future development, ΤΕΙ Πειραιά, SeaLab, Αθήνα.
7. Κατσαπρακάκης Δ., Μαθήματα Αιολικής Ενέργειας και Ανάπτυξης Αιολικών Πάρκων, 2008.
8. Λαδακάκος Π.Δ., Ιωαννίδου Μ.Γ., Χρήση των ηλεκτρονικών ισχύος σε συστήματα αιολικής ενέργειας, ΕΜΠ, Τμήμα ΗΜΜΥ, Αθήνα.
9. Λευθεριώτης Γ., Τηνιακός Λ., Αιολική Ενέργεια – που υπάρχει ενδιαφέρον στην Ελλάδα, 2010.
10. Νομίδης Δημήτριος, Αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στα νησιά του νοτίου Αιγαίου, 1999.
11. Παλαιοκρασά Σταμάτη Ν., Τεχνολογία μεταφορών ενέργειας και ισχύος, εκδόσεις Ευγενίδη, Αθήνα, 1997.
12. Παπαδόπουλος Μ.Π., Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές, Αθήνα, 1997.
13. Σιούτα Χ., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας & Διαχείριση Παράκτιας Ζώνης στην Ελλάδα (MSc), Σχολή Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π., Αθήνα, 2011.
14. Φυτιλής Δ., Εκτίμηση Αιολικού Δυναμικού στον Ελληνικό Θαλάσσιο Χώρο και προτάσεις για Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα (MSc Thesis), Ε.Μ.Π, Αθήνα, 2012.

### Ιστοσελίδες:

15. [www.desmie.gr/](http://www.desmie.gr/)
16. [www.cres.gr/](http://www.cres.gr/)
17. <http://www.rae.gr>
18. <http://www.ypeka.gr/>
19. <http://www.ewea.org/>