



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΩΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γρηγόριος Γ. Αθανασιάδης

Επιβλέπων : *Μαρία Γ. Ιωαννίδου*

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Απρίλιος 2015



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ ΚΑΙ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΠΛΩΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γρηγόριος Γ. Αθανασιάδης

Επιβλέπων : *Μαρία Γ. Ιωαννίδου*

Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την.....

.....
Παρασκευή Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π

Αθήνα, Απρίλιος 2015

.....
Γρηγόριος Γ. Αθανασιάδης
Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Γρηγόριος Γ. Αθανασιάδης, 2015

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε κατά το ακαδημαϊκό έτος 2014-2015 στα πλαίσια ολοκλήρωσης των προπτυχιακών σπουδών μου στη σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την καθηγήτρια Ε.Μ.Π. κυρία Μαρία Γ. Ιωαννίδου για την άψογη συνεργασία που είχαμε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας, για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου καθώς και για την δυνατότητα που μου προσέφερε να παρουσιάσω ένα τόσο ενδιαφέρον και σύγχρονο θέμα.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής ενέργειας είναι η ανάλυση υπεράκτιων πλωτών ανεμογεννητριών.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια εισαγωγή στις Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε) και στην αιολική ενέργεια, αναφέρονται τα είδη των ΑΠΕ, τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματά τους. Στο κομμάτι της αιολικής ενέργειας γίνεται μια ιστορική αναδρομή, αναφέρονται γενικά στοιχεία και επίσης αναλύονται κάποια βασικά στοιχεία της αεροδυναμικής.

Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια γενική αναφορά για τις ανεμογεννήτριες, αναλύοντας τις κατηγορίες Α/Γ, τα μέρη τους, τους τύπους και τις τεχνολογίες ανεμογεννητριών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα είδη των αιολικών πάρκων, η κατάσταση στην Ελλάδα και Ευρώπη και τα κριτήρια αδειοδότησης.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται μια εκτενής αναφορά στις πλωτές ανεμογεννήτριες. Συγκεκριμένα αναφέρονται οι διάφορες πλωτές πλατφόρμες στήριξης των Α/Γ, αναλύονται οι φορτίσεις που δέχεται μια πλωτή Α/Γ, ο αεροδυναμικός έλεγχος της ισχύος και παρουσιάζεται η υδροδυναμική ανάλυση. Επιπλέον περιγράφονται οι τρόποι διασύνδεσής τους με το ηλεκτρικό δίκτυο καθώς και τα κριτήρια για την κατάλληλη τοποθεσία τους.

Στο κεφαλαίο 4 παρουσιάζεται οικονομική μελέτη – αξιολόγηση. Αναφέρονται κάποιες βασικές οικονομικές έννοιες, γίνεται ανάλυση του κόστους των Α/Γ και συγκεκριμένα δίνεται ιδιαίτερο βάρος στο κόστος κατασκευής, τοποθέτησης και συντήρησης τα οποία παραθέτονται σε αναλυτικούς πίνακες.

Λέξεις κλειδιά

Πλωτή Ανεμογεννήτρια, ΑΠΕ, αιολική ενέργεια, δίκτυο, δείκτες κόστους, O&M, LCOE, HVAC, HVDC, μετατροπείς πηγών τάσης-πηγών ρεύματος, NREL,

Abstract

The object of the hereafter dissertation is the analysis of offshore floating wind turbine. The first chapter is an introduction to renewable energy sources (RES) and wind energy, referred to the types of renewable energy, the disadvantages and advantages. There is an historical overview in wind energy, there are generally referred data and also analyzed some basic elements of aerodynamics.

Chapter 2 is a general reference to the wind turbines, analyzing categories of float wind turbine, their parts, types and wind turbine technologies. After that are detailed presanded the sorts of wind farms, the situation in Greece and Europe and licensing criteria.

Chapter 3 gives a detailed reference to water turbines. In particular several wind generator's supporting floating platforms are mentioned , the loads a floating generator receives and aerodynamic control of force are analyzed, and the hydrodynamic analysis is presented. In addition ways of interconnections with the electrical network, along with proper location criteria are described.

Chapter 4 presents economic study – evaluation. Listed some basic economic concepts, analyzes the cost of float wind turbine and specifically focuses in particular on the cost of construction, installation and maintenance which are listed in detailed tables.

Keywords

Float turbine, renewable energy sources, wind power, grid, cost indicators, O&M, LCOE, HVAC, HVDC, voltage source converters - current sources, NREL.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
Κεφάλαιο 1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	11
1.1 Τι είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	11
1.1.1 Μορφές ΑΠΕ.....	11
1.1.3 πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα ΑΠΕ Πλεονεκτήματα Μειονεκτήματα.....	14
1.2 Αιολική ενεργεία.....	15
1.2.1 Ιστορική αναδρομή.....	15
1.2.2 Άνεμος.....	16
1.2.3 Βασικά στοιχεία αεροδυναμικής	16
Κεφάλαιο 2. Ανεμογεννήτριες	20
2.1 Γενικά για ανεμογεννήτριες.....	20
2.2 Κατηγορίες ανεμογεννητριών Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα	21
2.3 Βασικά μέρη μιας τυπικής ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα	22
2.4 Τεχνολογίες ανεμογεννητριών	23
2.4.1 Διαμορφώσεις ηλεκτρικού μέρους ανεμογεννητριών	23
2.4.2 Τοπολογίες μετατροπών σε συστήματα ανεμογεννητριών	25
2.5 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα Α/Γ.....	27
2.6 Αιολικά πάρκα	29
2.6.1 Χερσαία αιολικά πάρκα.....	29
2.6.2 Παράκτια αιολικά πάρκα.....	29
2.6.3 Υπεράκτια αιολικά πάρκα	30
2.7 Κατάσταση στην Ελλάδα και Ευρώπη.....	30
2.8 Νομικό πλαίσιο αδειοδοτήσεων Αιολικών Πάρκων.....	32
Κεφάλαιο 3. Πλωτές Ανεμογεννήτριες	35
3.1 Τι είναι οι πλωτές ανεμογεννήτριες	35
3.2 Μοντέλα πλωτών ανεμογεννητριών	37
3.2.1 Spar Buoy	37
3.2.2 Tension leg platform.....	38
3.2.3 Semi-submersible	39
3.3 Αγκυροβόληση των πλωτών κατασκευών	41
3.4 Υπολογισμός των Φορτίσεων που δέχονται οι πλωτές κατασκευές	42
3.4.1 Οι μόνιμες φορτίσεις.....	42
3.4.2 Φορτία περιβάλλοντος.....	42
3.4.3 Οι μεταβλητές φορτίσεις	42
3.5 Αεροδυναμική ανάλυση των πτερυγίων	42
3.6 Αεροδυναμικός έλεγχος ισχύος Α/Γ	47
3.6.1 Οι στρατηγικές ελέγχου.....	47
3.6.2 Τύποι ελέγχου των πτερυγίων των ανεμογεννητριών	48
3.6.2.1 Έλεγχος του βήματος πτερυγίου (pitch control).....	48
3.6.2.2 Έλεγχος παθητικής απώλειας στήριξης (passive stall control)	50
3.6.2.3 Έλεγχος ενεργητικής απώλειας στήριξης (active stall control).....	50
3.6.2.4 Έλεγχος προσανατολισμού της έλικας (Yaw control).....	51
3.7 Υδροδυναμική ανάλυση.....	52

3.8	Ανεμογεννήτρια μεταβλητής ταχύτητας με επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας δακτυλοφόρου δρομέα (DFIG).....	55
3.9	Κριτήρια για την κατάλληλη τοποθεσία.....	58
3.10	Διασύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο	62
3.10.1	Ηλεκτρικές Υποδομές	62
3.10.2	Τοπολογίες Σύνδεσης	63
3.10.3	Συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.....	63
3.10.3.1	Διασύνδεση HVAC	64
3.10.3.2	Διασύνδεση HVDC	65
3.10.3.3	Σύστημα μεταφοράς HVDC-LCC.....	67
3.10.3.4	Σύστημα μεταφοράς HVDC-VSC.....	68
3.10.4	Καλώδια για Πλωτές Ανεμογεννήτριες.....	71
3.10.5	Υπεράκτιος υποσταθμός.....	72
3.10.6	Σύστημα ελέγχου SCADA	72
3.11	Συντήρηση ανεμογεννητριών.....	73
Κεφάλαιο 4. Οικονομική μελέτη/αξιολόγηση.....		75
4.1	Εισαγωγή	75
4.2	Βασικές οικονομικές έννοιες	75
4.3	Δείκτες κόστους.....	80
4.4	Συσσωρευτική αγορά στην Ευρωπαϊκή Ένωση.....	80
4.5	Προοπτικές της αγοράς για το 2015 και το 2016.....	81
4.6	Ετήσιες επενδύσεις σε υπεράκτια αιολικά πάρκα.....	82
4.7	Το κόστος της ανεμογεννήτριας	83
4.7.1	Ανάλυση του κόστους των ανεμογεννητριών	85
4.7.2	Το κόστος σύνδεσης με το δίκτυο	86
4.7.3	Κόστος πολιτικού μηχανικού και κατασκευής.....	87
4.7.4	Κόστος συντήρησης και λειτουργίας	88
4.8	Συνολικό κόστος εγκατάστασης συστημάτων αιολικής ενέργειας	89
4.9	Συνολικό προβλεπόμενο μέσο κόστος αιολικής ενέργειας (LCOE).....	90
4.9.1	Δομή κόστους σε αιολικά πάρκα μεγάλης κλίμακας.....	90
4.10	Οικονομική ανάλυση πλωτών ανεμογεννητριών.....	91
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ		99
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ		100

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

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

Κεφάλαιο1. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

1.1 Τι είναι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ορίζονται οι ενεργειακές πηγές που υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον (ήλιος, βιομάζα, άνεμος κ.ά.). Είναι η πρώτη μορφή ενέργειας που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, σχεδόν αποκλειστικά μέχρι τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, οπότε και στράφηκε στην έντονη χρήση άνθρακα και υδρογονανθράκων. Το ενδιαφέρον για την καλύτερη αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως και η ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, παρουσιάστηκε αρχικά μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1973, ενισχύθηκε μετά τη δεύτερη κρίση του 1979 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, αφού στο μεταξύ συνειδητοποιήθηκαν τα παγκόσμια περιβαλλοντικά προβλήματα. Τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η ουσιαστική τους συμβολή στην ενεργειακή ανεξάρτηση της ανθρωπότητας από τους εξαντλήσιμους ενεργειακούς πόρους, δικαιολογούν αυτή τη στροφή. Για πολλές χώρες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνιστούν μια εγχώρια πηγή ενέργειας, με δυνατότητες ανάπτυξης σε εθνικό και τοπικό επίπεδο. Συνεισφέρουν σημαντικά στο ενεργειακό τους ισοζύγιο και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από το ακριβό εισαγόμενο πετρέλαιο και την ενίσχυση της ασφάλειας του ενεργειακού τους εφοδιασμού. Παράλληλα, συντελούν καίρια και στην προσπάθεια προστασίας του περιβάλλοντος, αφού έχει διακριβωθεί, εδώ και χρόνια, ότι ο ενεργειακός τομέας ευθύνεται κυρίως για τη ρύπανση του περιβάλλοντος. Πραγματικά, σχεδόν το 95% της ατμοσφαιρικής ρύπανσης οφείλεται στην παραγωγή, το μετασχηματισμό και τη χρήση των συμβατικών καυσίμων (άνθρακας και πετρέλαιο). Φαίνεται συνεπώς ότι ο μόνος δυνατός τρόπος για να μπορέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση να ανταποκριθεί στο φιλόδοξο στόχο που έχει θέσει, για σημαντικό περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), είναι να επιταχύνει την ανάπτυξη των ΑΠΕ.

1.1.1 Μορφές ΑΠΕ.

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



Εικόνα 1. Αιολική ενέργεια

Υδραυλική Ενέργεια: αξιοποιεί τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια



Εικόνα 2. υδραυλική ενέργεια

Βιομάζα: είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης



Εικόνα 3. βιομάζα

Ηλιακή Ενέργεια: αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται και τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας, διακρίνονται σε:

- **Ενεργητικά Ηλιακά Συστήματα:** μετατρέπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε θερμότητα.

- **Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα:** αφορούν κατάλληλες αρχιτεκτονικές λύσεις και χρήση κατάλληλων δομικών υλικών για τη μεγιστοποίηση της απ' ευθείας εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό.
- **Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα:** μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 4. Ηλιακή ενέργεια

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



Εικόνα 5. Γεωθερμική Ενέργεια

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



Εικόνα 6. Κυματική Ενέργεια

Παλιρροϊκή ενέργεια: Είναι η μορφή ενέργειας που προκύπτει από την βαρυτική έλξη της σελήνης και του γης και η οποία είναι εκμεταλλεύσιμη κατά την διαφορά του ύψους της επιφάνειας της στάθμης των νερών-άμπωτη και πλημμυρίδα. Στα υδροηλεκτρικά έργα η ενέργεια από την πτώση του νερού μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια, με τη βοήθεια μιας τουρμπίνας.



Εικόνα 7. Παλιρροϊκή ενέργεια

1.1.3 πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα ΑΠΕ Πλεονεκτήματα

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους οι οποίοι με το πέρασμα του χρόνου εξαντλούνται.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος. Έτσι, δίνετε η δυνατότητα να καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας τα συστήματα υποδομής ενώ παράλληλα μειώνονται οι απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
- Δίνουν τη δυνατότητα επιλογής της κατάλληλης μορφής ενέργειας που είναι προσαρμοσμένη στις ανάγκες του χρήστη (π.χ. ηλιακή ενέργεια για θερμότητα χαμηλών θερμοκρασιών έως αιολική ενέργεια για ηλεκτροπαραγωγή), επιτυγχάνοντας πιο ορθολογική χρησιμοποίηση των ενεργειακών πόρων.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ είναι εντάσεως εργασίας, δημιουργώντας πολλές θέσεις εργασίας ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων, οικονομικά και κοινωνικά, περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ (πχ. καλλιέργειες θερμοκηπίου με γεωθερμική ενέργεια).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.

Μειονεκτήματα

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους, αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

1.2 Αιολική ενεργεία

Γενικά αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά. Ονομάζεται αιολική ενέργεια διότι στην αρχαία ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου. Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το "καύσιμο" είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σχέση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα. Οι μηχανές με τις οποίες εκμεταλλευόμαστε την αιολική ενέργεια, ονομάζονται ανεμογεννήτριες (Α/Γ).

1.2.1 Ιστορική αναδρομή

Ο άνθρωπος έχει εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια από νωρίς στην ιστορία του. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την κίνηση των πλοίων. Οι Κινέζοι, οι Πέρσες, οι Έλληνες και οι Αιγύπτιοι έχουν χρησιμοποιήσει τους ανεμόμυλους για πολλούς αιώνες ΠΧ και κυρίως για το άλεσμα των δημητριακών. Συγκεκριμένα οι

Πέρσες, χρησιμοποιούσαν ανεμόμυλους κάθετου άξονα. Επιπλέον, οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν για άντληση νερού. Αυτή η εφαρμογή υπήρχε κυρίως στην Ολλανδία όπου οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν για την άντληση νερού από τις πλημμυρισμένες περιοχές και την μεταφορά τους στη θάλασσα.

Στην Ελλάδα οι ανεμόμυλοι άντλησης νερού (περίπου 6000) χρησιμοποιούνταν κυρίως στην Ανατολική Κρήτη. Κατά τη διάρκεια του 17ου αιώνα η ανακάλυψη των ατμοστρόβιλων άρχισε να αντικαθιστά τους ανεμόμυλους, παρ' όλα αυτά στην Αμερική το 1860, οι πολυπτερυγοί ανεμόμυλοι για άντληση συνέχιζαν να κατασκευάζονται στο Σικάγο, το βιομηχανικό κέντρο παραγωγής τους. Το 1900, οι Δανοί παρήγαγαν ηλεκτρισμό από τον άνεμο. Το 1940 στο Βερμόντ (ΗΠΑ) κατασκευάστηκε μια δοκιμαστική ανεμογεννήτρια με δύο πτερύγια. Αλλά η αιολική ενέργεια δεν θεωρήθηκε σημαντική μέχρι τη δεκαετία του 70' όταν ο άνθρωπος συνειδητοποίησε το ενεργειακό και περιβαλλοντικό πρόβλημα του πλανήτη μας και προσπάθησε να ξανασχεδιάσει την ανεμογεννήτρια.

1.2.2 Άνεμος

Άνεμος ονομάζεται η όποια αισθητή «οριζόντια κίνηση» του αέρα. Αιτία του ανέμου είναι ότι ο αέρας (οι αέριες μάζες της ατμόσφαιρας), που περιβάλλει την Γη βρίσκεται σε συνεχή «οριζόντια» και «κατακόρυφη» κίνηση, και προσδιορίζεται από δύο στοιχεία, τη διεύθυνση (direction) και την ένταση(speed), δηλαδή την ταχύτητα με την οποία κινείται η αέρια μάζα, ως διεύθυνση ορίζεται το σημείο του οριζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος.

1.2.3 Βασικά στοιχεία αεροδυναμικής

Τα στοιχεία της αεροδυναμικής είναι απαραίτητα στην επεξήγηση και την μελέτη των αιολικών φαινομένων, τα στοιχεία αυτά παραθέτονται παρακάτω.

1.2.3.1 Μεταβολές ταχύτητας του ανέμου

Ως κριτήριο μέτρησης του ανέμου είναι η ταχύτητά του, η οποία είναι μεταβλητή και εξαρτάται από τα καιρικά φαινόμενα (δηλαδή εξαρτάται από το πόσο φυσάει και πόση ένταση έχει ο άνεμος), καθώς και από το υψόμετρο. Οι παράμετροι που προσδιορίζουν την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος είναι κυρίως η τραχύτητα της υποκείμενης επιφάνειας και οι συνθήκες ευστάθειας που επικρατούν στην ατμόσφαιρα. Έτσι, όσο ταχύτερη είναι η υποκείμενη επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη είναι η κλίση της καμπύλης του ανέμου κοντά στο έδαφος. Αντίστοιχα, το ύψος του στρώματος που επηρεάζεται σημαντικά από την τριβή στο έδαφος είναι μεγαλύτερο πάνω από τραχείς

επιφάνειες (π.χ. πόλεις) και χαμηλότερο πάνω από σχετικά λείες επιφάνειες (π.χ. θάλασσα). Σε κάθε περίπτωση η αλλαγή της ταχύτητας του ανέμου δεν μπορεί να αγνοηθεί μέχρι ύψος λίγων εκατοντάδων μέτρων. Οι επικρατέστερες κατανομές για την περιγραφή της πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου είναι οι κατανομές Weibull και Rayleigh.

$$f(v) = \frac{k}{c} \times \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (1)$$

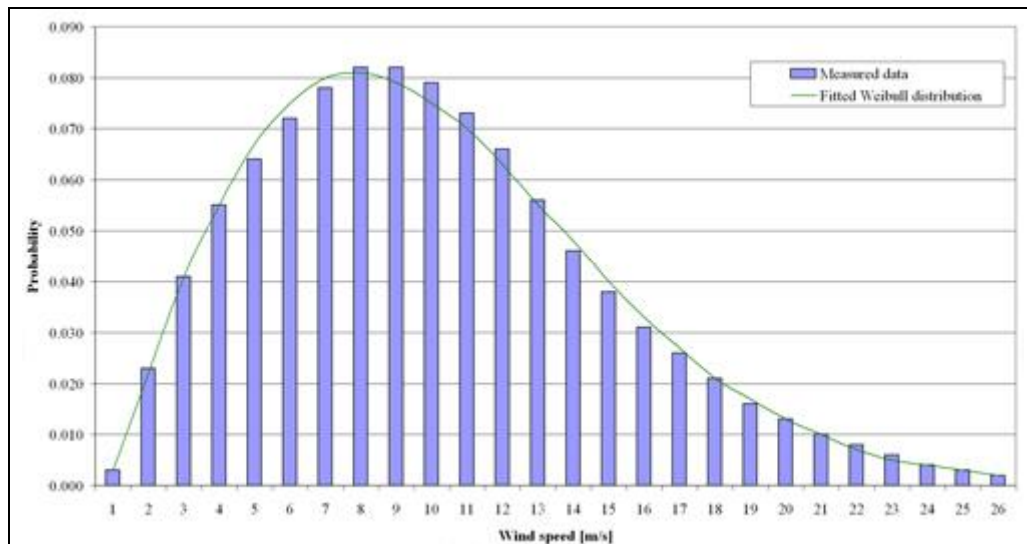
Όπου

$f(v)$ η πυκνότητα πιθανότητας

v η ταχύτητα του αέρα

k η παράμετρος μορφής ή κλίση και καθορίζει την διασπορά των τιμών

c η παράμετρος μεγέθους και καθορίζει τη θέση της καμπύλης σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα



Εικόνα 1. Γραφική παράσταση της κατανομής Weibull

1.2.3.2 Ισχύς και ενέργεια του ανέμου

Η ενέργεια του ανέμου υπολογίζεται από την σχέση:

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 (t) \quad (2)$$

$$m(t) = \rho A v(t) \quad (3)$$

Η σχέση (3) μας δίνει την μάζα αέρα που περνά στη μονάδα του χρόνου από τη συγκεκριμένη επιφάνεια A. Από τις σχέσεις (2) και (3) προκύπτει η σχέση της στιγμιαίας ισχύς που παράγεται από τον άνεμο σε μια επιφάνεια

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3(t) \quad (4)$$

1.2.3.3 Συντελεστής απόδοσης

Ο συντελεστής αεροδυναμικής ισχύος C_p προκύπτει βάσει μετρήσεων και υπολογισμών και εκφράζει την αεροδυναμική απόδοση του ανεμοκινητήρα. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει είναι $C_{p,max} = 16/27 = 0,59$ ή 59% και καλείται «όριο Betz». Το όριο αυτό είναι ο μέγιστος βαθμός απόδοσης ενός συστήματος με ιδανική έλικα, κάτι ανάλογο με το βαθμό απόδοσης Carnot των θερμοδυναμικών κύκλων, βεβαίως είναι θεωρητική αυτή η τιμή γιατί πρακτικά δεν επιτυγχάνεται ποτέ, αφού οι υλοποιήσιμες τιμές είναι κοντά στο 0.45-0.5. Ο συντελεστής C_p εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του A/K και στην απλούστερη περίπτωση είναι μία συνάρτηση του λόγου ακροπτερυγίου λ και της κλίσης β των πτερυγίων, (εικόνα 2) δηλαδή $C_p = f(\lambda, \beta)$, ενώ στην πράξη δεν ξεπερνάει την τιμή 0,5 λόγω των αεροδυναμικών απωλειών. Ο λόγος ακροπτερυγίου (tip-speed ratio) λ ορίζεται από τη σχέση:

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

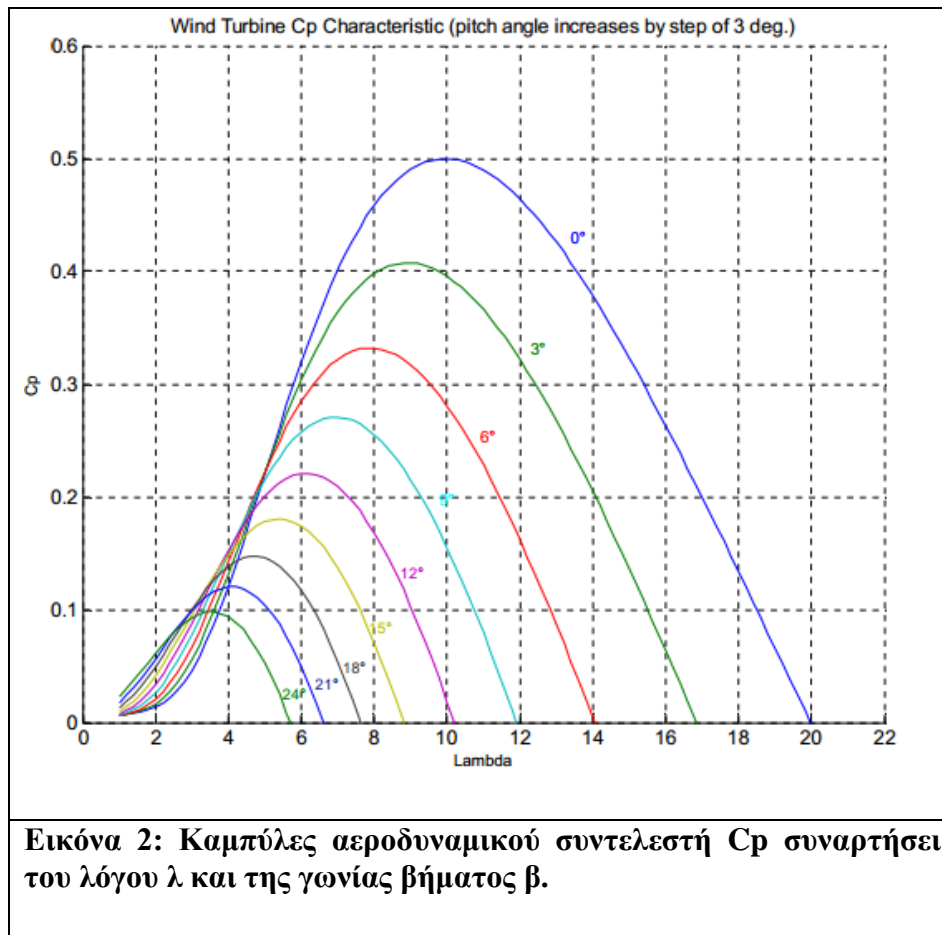
όπου ω η γωνιακή ταχύτητα του ανεμοκινητήρα
 R η ακτίνα του ακροπτερυγίου
 v η ταχύτητα του αέρα

ο C_p μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση

$$C_p = \frac{P_m}{P_{\text{ανέμου}}} \quad \text{ή} \quad P = \frac{1}{2} C_p \rho R^2 A v^3$$

Όπου

P_m η ισχύς που παράγεται από τον άξονα του ανεμοκινητήρα
 $P_{ανέμου}$ η ισχύς του ανέμου



Από τις παραπάνω καμπύλες παρατηρούμε ,ότι για γωνία βήματος έλικας 0° , το σημείο (C_p, λ) που αντιστοιχεί στον μέγιστο αεροδυναμικό συντελεστή είναι:

$$C_{pmax}=0.5 \quad \text{και} \quad \lambda_{opt}=9.9 \text{ περίπου}$$

Κεφάλαιο 2. Ανεμογεννήτριες

2.1 Γενικά για ανεμογεννήτριες

Οι ανεμογεννήτριες εμπίπτουν σε δύο βασικές ομάδες: ανεμογεννήτριες οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα. Στις Α/Γ οριζοντίου άξονα ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους. Στις Α/Γ κατακόρυφου άξονα ο δρομέας παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους.

Στην παγκόσμια αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα σε ποσοστό 90 %. Η ισχύς τους φτάνει τα 5 MW, η διάμετρος του δρομέα κυμαίνεται μεταξύ 40 και 120 μέτρων, το ύψος του πύργου εγγίζει τα 120 μέτρα και λειτουργούν σε ένα παράθυρο ταχυτήτων ανέμου 3 ως 30 m/s. Μπορούν να συνδεθούν κατευθείαν στο ηλεκτρικό δίκτυο της χώρας.

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν δύο ή τρία πτερύγια τα οποία προσδένονται σταθερά ή με τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τη γωνία τους σε σχέση με τον άνεμο. Ο δρομέας και η γεννήτρια τοποθετούνται στην κορυφή του πύργου ώστε να εκμεταλλεύονται καλύτερα τον διαθέσιμο αέρα. Στον πύργο τοποθετείται και στηρίζεται όλος ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός.

Στο αεροδυναμικό μέρος της Α/Γ ο δρομέας περιστρέφεται εκμεταλλευόμενος την ταχύτητα του ανέμου. Η μηχανική ενέργεια που παράγεται από την περιστροφική του κίνηση μετατρέπεται στη συνέχεια σε ηλεκτρική μέσω της γεννήτριας. Η ηλεκτρική γεννήτρια μπορεί να είναι σύγχρονη ή επαγωγής. Η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι μικρή σε σχέση με την απαιτούμενη για τη λειτουργία της γεννήτριας. Για το λόγο αυτό τοποθετείται ενδιάμεσα κιβώτιο ταχυτήτων.

Το ηλεκτρικό σύστημα της Α/Γ περιλαμβάνει εκτός από την γεννήτρια, τους μετατροπείς ισχύος, πυκνωτές αντιστάθμισης, φίλτρα αρμονικών, διακόπτες, διατάξεις προστασίας και τον μετασχηματιστή.

Το ηλεκτρονικό σύστημα επίβλεψης και ελέγχου της λειτουργίας της Α/Γ χωρίζεται σε επιμέρους συστήματα, κάθε ένα από τα οποία εκτελεί ξεχωριστή λειτουργία. Το σύστημα προσανατολισμού συνήθως διαθέτει αισθητήρα ανέμου ώστε να διατηρείται πάντα ο δρομέας παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου. Σε μικρές Α/Γ η αλλαγή του προσανατολισμού γίνεται με ανεμοδείκτη. Η ρύθμιση της κλίσης των πτερυγίων στη βέλτιστη θέση (αν υπάρχει τέτοια δυνατότητα) μεγιστοποιεί την ενέργεια που παράγεται από την Α/Γ για κάθε ταχύτητα ανέμου. Αν υπάρχουν μετατροπείς ισχύος, η λειτουργία τους ελέγχεται από ξεχωριστό σύστημα ελέγχου.

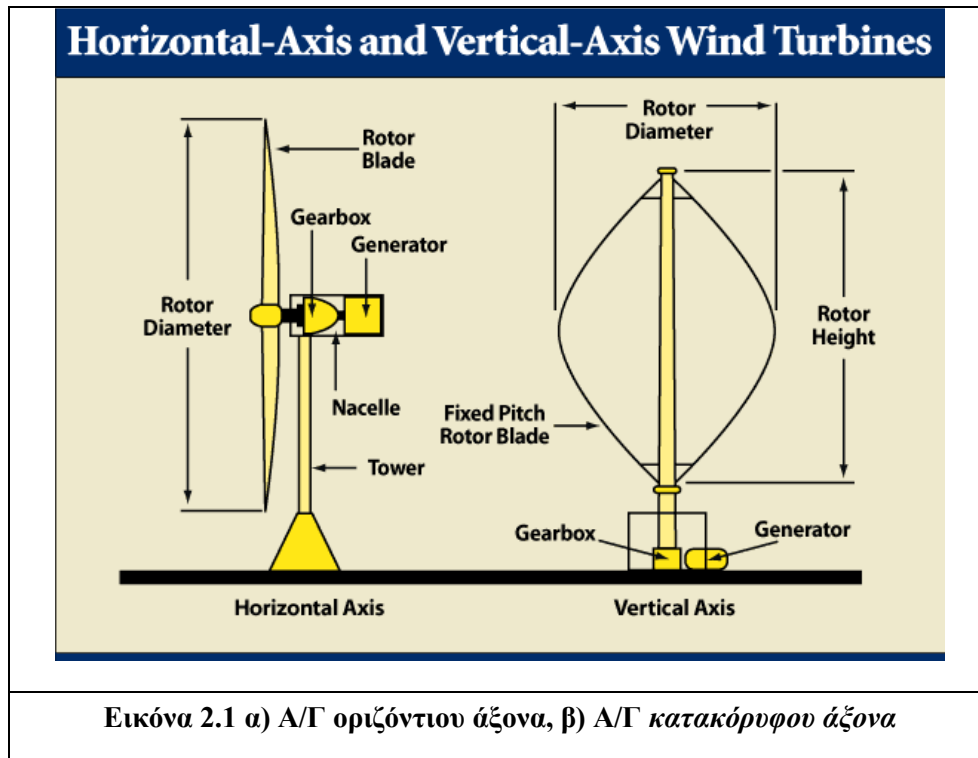
2.2 Κατηγορίες ανεμογεννητριών Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

Στις ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος στη ροή του ανέμου και οριζόντιος ως προς το έδαφος. Όλες οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται από ένα στροφέα τύπου προπέλας που στηρίζεται πάνω ένα οριζόντιο άξονα, ενώ οι περισσότερες έχουν δύο ή τρία πτερύγια. Πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα, που κάνουν τόσο δημοφιλή αυτού του τύπου τις ανεμογεννήτριες, είναι ότι δε χρειάζονται πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου για να ξεκινήσουν να περιστρέφονται, εμφανίζουν υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή, ενώ είναι εύκολη η συναρμολόγησή τους. Το μεγάλο μειονέκτημα των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα είναι ότι η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων πρέπει να τοποθετηθούν πάνω στον πύργο, γεγονός που κάνει την κατασκευή τους ακριβή και πιο δύσκολη. Επίσης σε σχέση προς τις ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, εδώ χρειάζεται ενεργός μηχανισμός περιστροφής για τον προσανατολισμό στην κατεύθυνση του ανέμου.

Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Στις ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στη ροή του ανέμου και στο έδαφος. Αυτός ο τύπος ανεμογεννητριών είναι ο λιγότερα συχνά χρησιμοποιούμενος. Οι πιο γνωστοί τύποι ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα είναι οι ανεμογεννήτριες τύπου «Darrieus» και «Savonius». Το κυριότερο πλεονέκτημα της διάταξης είναι ότι η μηχανή δε χρειάζεται να προσανατολίζεται προς τον άνεμο για να είναι αποτελεσματική, δηλαδή μπορεί να περιστρέφεται από άνεμο που έρχεται από κάθε κατεύθυνση κάθε στιγμή, οπότε δεν απαιτείται μηχανισμός προσανατολισμού. Το γεγονός αυτό δίνει πλεονέκτημα σε μέρη που υπάρχει μεγάλη μεταβλητότητα στην κατεύθυνση του ανέμου. Η ηλεκτρική γεννήτρια σε αυτές τις μηχανές μπορεί να τοποθετηθεί κοντά στο έδαφος, κάτι που συνεπάγεται μια απλή και οικονομική σχεδίαση για τον πύργο. Επίσης είναι εύκολα προσβάσιμα συστήματα και πολλές φορές δε χρειάζεται πυλώνας στήριξης.

Σημαντικό είναι επίσης ότι σε αυτές τις μηχανές ο έλεγχος βήματος πτερυγίων δεν είναι απαραίτητος όταν χρησιμοποιούνται σε σύγχρονη γεννήτρια. Υπάρχουν όμως και κάποια σοβαρά μειονεκτήματα που δεν κάνουν τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα τόσο λειτουργικές. Το κυριότερο πρόβλημα είναι πολλές φορές δεν είναι δυνατόν να ξεκινήσουν να περιστρέφονται χωρίς εξωτερική παρέμβαση, μιας και η ροπή εκκίνησης τους είναι πάρα πολύ υψηλή. Επίσης σημαντικό είναι το γεγονός πως έχουν μικρή σχετικά απόδοση μιας και η ταχύτητα του ανέμου σε αυτά τα ύψη είναι σχετικά χαμηλή και επίσης κατά την περιστροφή τους, υπάρχουν σημεία στα οποία η συνεισφορά του ανέμου είναι σχεδόν μηδενική.

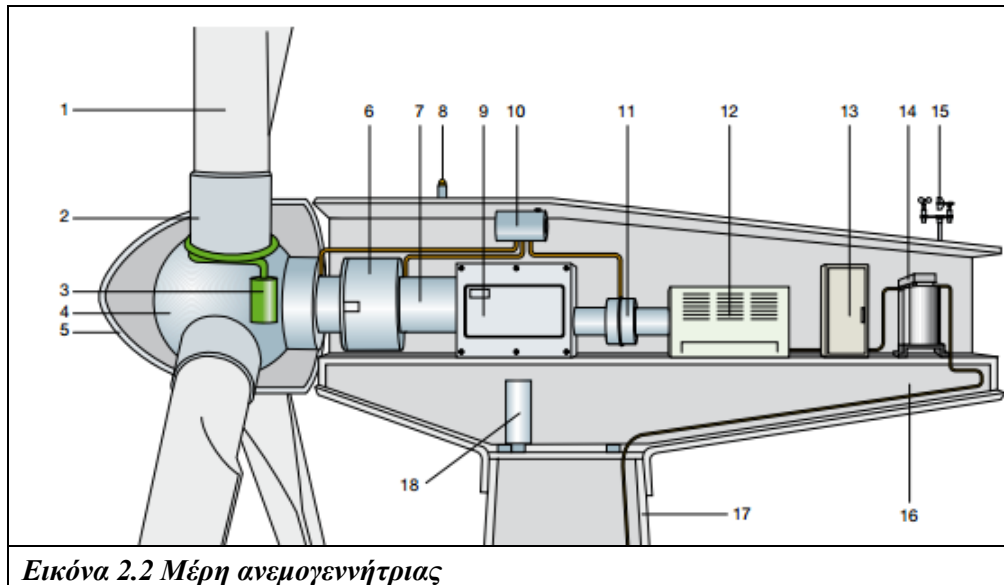


2.3 Βασικά μέρη μιας τυπικής ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα

Μια τυπική ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. πτερυγία
2. στήριξη πτερυγίου
3. Ενεργοποιητής γωνίας βήματος (Pitch angle)
4. Πλήμνη
5. στροφέας (spinner)
6. κύρια υποστήριξη
7. κύριος άξονας
8. Φώτα προειδοποίησης αεροσκαφών
9. κιβώτιο ταχυτήτων
10. μηχανικά φρένα
11. υδραυλικά συστήματα ψύξης
12. γεννήτρια
13. μετατροπέας ισχύος και ηλεκτρικός έλεγχος, συσκευές προστασίας και αποσύνδεσης

14. ανεμόμετρα
15. μετασχηματιστής
16. πλαίσιο της ατράκτου
17. στήριξη πύργου
18. συσκευή προσανατολισμού εκτροπής (yaw driving device)



Εικόνα 2.2 Μέρη ανεμογεννήτριας

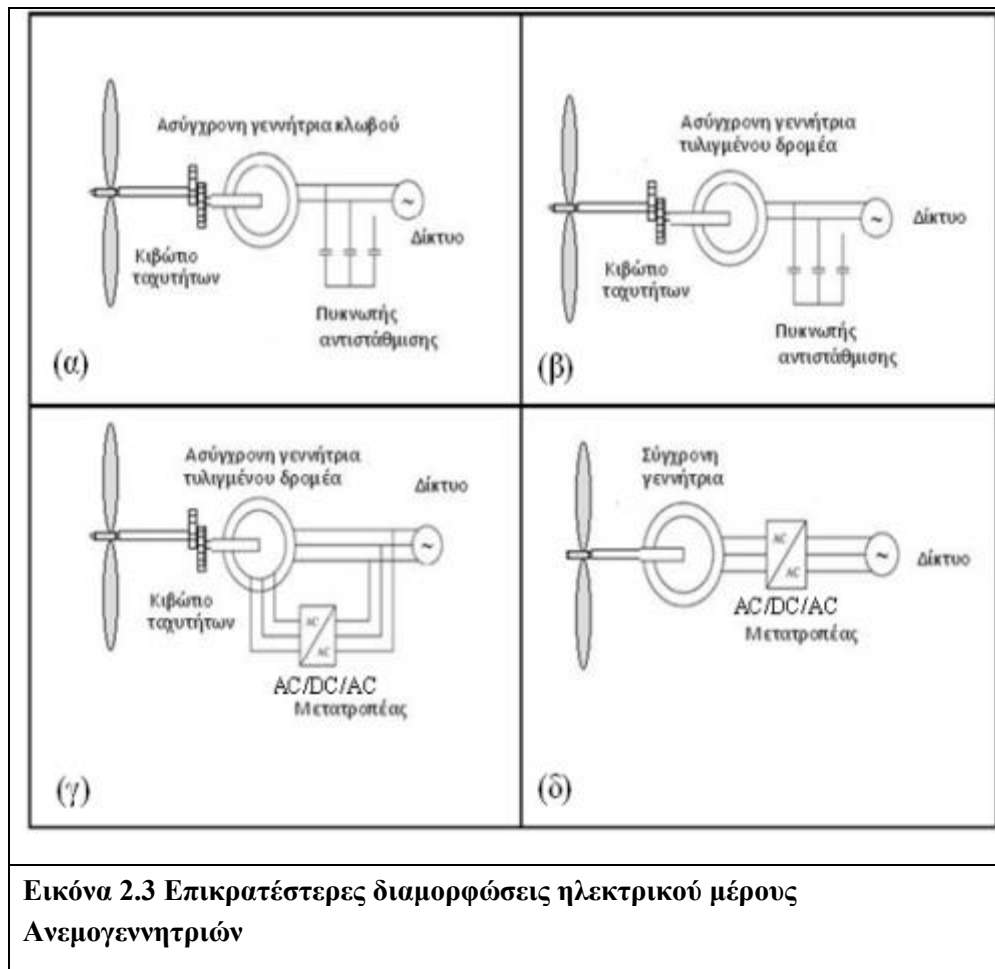
2.4 Τεχνολογίες ανεμογεννητριών

2.4.1 Διαμορφώσεις ηλεκτρικού μέρους ανεμογεννητριών

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών αναφορικά με την διαμόρφωση του ηλεκτρικού μέρους τους κάθε ένας με διαφορετικά χαρακτηριστικά και διαφορετικά πλεονεκτήματα λειτουργίας. Οι κύριοι τύποι διακρίνονται σε:

1. Σταθερών στροφών, με ασύγχρονη γεννήτρια κλωβού, απ' ευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο (σχήμα2.3.α).
2. Περιορισμένης λειτουργίας μεταβλητών στροφών, με ασύγχρονη γεννήτρια τυλιγμένου δρομέα μεταβλητής αντίστασης, απ' ευθείας συνδεδεμένη στο δίκτυο(σχήμα2.3.β).
3. Μεταβλητών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια διπλής τροφοδότησης (σχήμα2.3.γ).

4. Μεταβλητών στροφών με σύγχρονη γεννήτρια με τύλιγμα διεγέρσεως ή μόνιμο μαγνήτη(σχήμα2.3.δ).



Η ανεμογεννήτρια σταθερών στροφών , έχει ως βασικό πλεονέκτημα το μικρό κόστος, που οφείλεται στην έλλειψη μετατροπέα, το μικρό βάρος και γενικά την απλότητα στην κατασκευή. Η απουσία μετατροπέα δίνει αξιοπιστία στη κατασκευή ενώ παράλληλα οι ανάγκες συντήρησης είναι μειωμένες. Βασικό μειονέκτημα των ανεμογεννητριών σταθερών στροφών είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης των στροφών της ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Ένα άλλο σημαντικό μειονέκτημα της Α/Γ σταθερών στροφών είναι ότι λόγω της έλλειψης ηλεκτρονικών ισχύος δεν μπορεί να συμβάλει στην ρύθμιση της άεργου ισχύος που ανταλλάσσει με το δίκτυο με συνέπεια να είναι απαραίτητη η σύνδεση πυκνωτών στην έξοδο ώστε να κάνουν αντιστάθμιση της άεργου ισχύος που απορροφούν. Αυτό έχει συνέπεια την αδυναμία λειτουργίας κάτω από

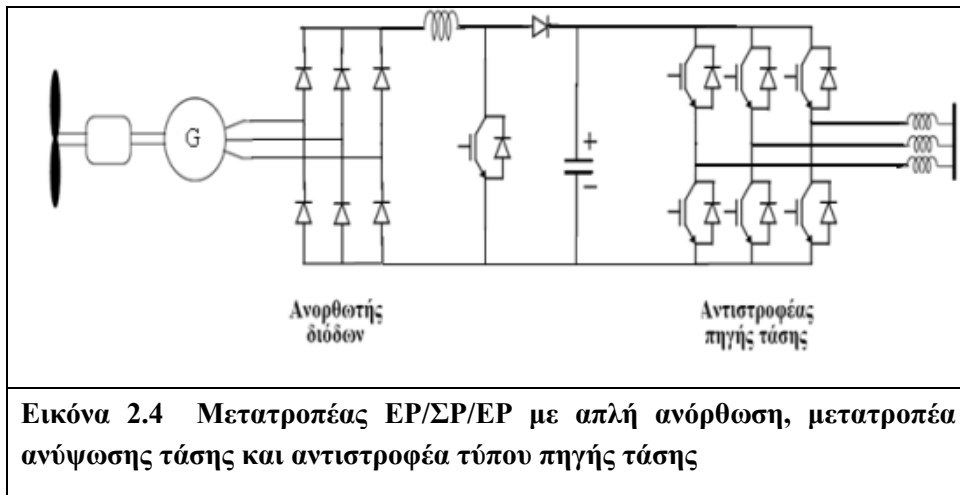
τις νέες συνθήκες που επιβάλλουν οι νέοι κανονισμοί λειτουργίας των αιολικών πάρκων που συνδέονται στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά την ισχύ εξόδου, παρουσιάζει έντονη διακύμανση με αποτέλεσμα εκπομπές flicker τάσης, που περιορίζουν την σύνδεση μεγάλης ποσότητας ισχύος σε ασθενή δίκτυα.

Στην περίπτωση της ασύγχρονης γεννήτριας τυλιγμένου δρομέα έχουμε την δυνατότητα να ελέγχουμε την ηλεκτρική ροπή, μεταβάλλοντας την αντίσταση του δρομέα. Με τον τρόπο αυτό ελέγχουμε την γεννήτρια δίνοντας τη δυνατότητα αλλαγής των στροφών της κατά την διάρκεια ριπών ανέμου. Αυτό, αφενός μεν μας περιορίζει σε κάποιο βαθμό τις μηχανικές καταπονήσεις, αφετέρου βελτιώνει την ποιότητα ισχύος που παίρνουμε στην έξοδο.

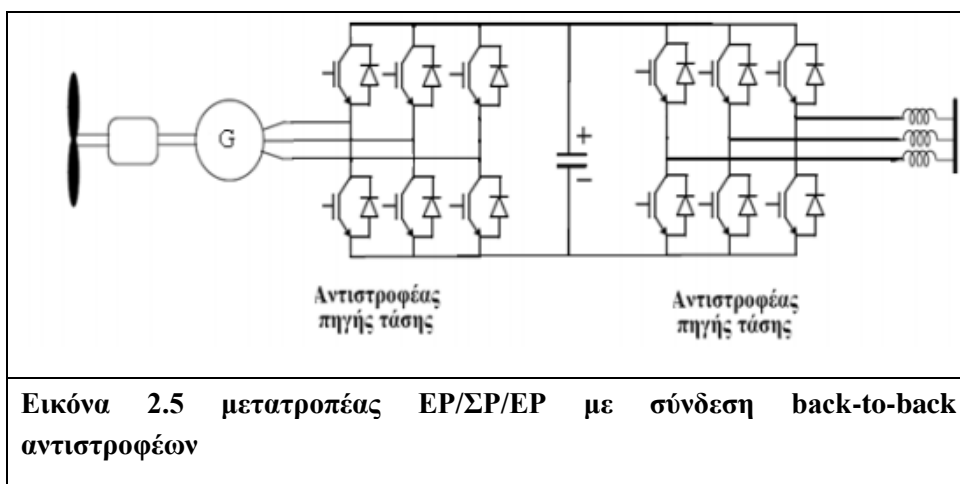
Πέρα από τις Α/Γ σταθερών στροφών οι πιο συνήθεις και πλέον συχνά εφαρμόσιμες στην κατασκευή αιολικών πάρκων είναι οι Α/Γ μεταβλητών στροφών. Οι Α/Γ μεταβλητών στροφών παρουσιάζουν αυξημένη ενεργειακή απόδοση με μέγιστη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Αυτό οφείλεται στην μεταβολή της γωνιακής ταχύτητας περιστροφής ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Εξαιτίας αυτού υπάρχει μειωμένη μηχανική καταπόνηση τόσο στα πτερύγια όσο και στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, απαλοιφή του κιβωτίου ταχυτήτων, μείωση του ακουστικού θορύβου και προσαρμογή της ανεμογεννήτριας στις τοπικές ανεμολογικές συνθήκες. Ένα άλλο χαρακτηριστικό πλεονέκτημα των Α/Γ μεταβλητών στροφών είναι το γεγονός ότι μπορούν να παρέχουν στο δίκτυο καλύτερης ποιότητας ηλεκτρική ισχύ. Επίσης υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης του συντελεστή ισχύος ανάλογα με τις απαιτήσεις του δικτύου. Αυτό πραγματοποιείται ελέγχοντας κατάλληλα τον μετατροπέα ώστε ανάλογα με τα επίπεδα της τάσης του δικτύου, να γίνεται κατάλληλη έγχυση άεργου ισχύος. Αυτή η λειτουργία είναι συναφής με εκείνη των συμβατικών σταθμών και εναρμονίζεται πλήρως με τα νέα πρότυπα που αναφέρονται στη ποιότητα ισχύος

2.4.2 Τοπολογίες μετατροπέων σε συστήματα ανεμογεννητριών

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μετατροπέων που βρίσκουν εφαρμογή σε ανεμογεννήτριες οποίες συνδέονται στο δίκτυο. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε μια ανεμογεννήτρια μονίμων μαγνητών συνδεδεμένη στο δίκτυο μέσω μιας τριφασικής ανόρθωσης, ενός μετατροπέα ΣΡ/ΣΡ και ενός αντιστροφέα. Ο μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ χρησιμοποιείται για τον έλεγχο στροφών της ανεμογεννήτριας με τέτοιο τρόπο ώστε να παίρνουμε στην έξοδο την μέγιστη δυνατή ηλεκτρική ισχύ (Maximum Power Point Tracking). Η συνεχής τάση της γεννήτριας ανορθώνεται μέσω του ανορθωτή διόδων και στη συνέχεια ο μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ ελέγχει το ρεύμα ελέγχοντας παράλληλα την ηλεκτρική ροπή οδηγώντας με τον τρόπο αυτό την ανεμογεννήτρια πάνω στην καμπύλη βέλτιστης αεροδυναμικής απόδοσης.



Μια δεύτερη τοπολογία είναι η σύνδεση δύο όμοιων μετατροπέων τύπου πηγής τάσης (VSI – PWM). Η διάταξη αυτή είναι γνωστή και ως «back-to-back» μετατροπέας, (Εικόνα 2.5). Ο μετατροπέας από την πλευρά της γεννήτριας λειτουργεί ως ανόρθωση ενώ ο μετατροπέας από την πλευρά του δικτύου ως αντιστροφέας. Η ροή ισχύος σε αυτή τη διαμόρφωση μπορεί να είναι αμφίπλευρη. Για να επιτευχθεί βέλτιστος έλεγχος της ισχύος εξόδου η συνεχής τάση πρέπει να ανορθωθεί σε επίπεδα υψηλότερα από τη τάση του δικτύου. Η ροή ισχύος προς το δίκτυο ελέγχεται από τον αντιστροφέα με τέτοιο τρόπο ώστε να κρατάτε η τάση του πυκνωτή σταθερή, ενώ ο έλεγχος του μετατροπέα της γεννήτριας γίνεται έτσι ώστε να οδηγούμε τη γεννήτρια σε ταχύτητες περιστροφής που να δίνουν βέλτιστη λειτουργία.



2.5 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα Α/Γ

Πλεονεκτήματα Οριζόντιου άξονα

- Μεταβλητό βήμα πτερυγίων (blade pitch), το οποίο δίνει στα πτερύγια του στροβίλου τη βέλτιστη γωνία επίθεσης (optimum angle of attack). Η δυνατότητα της γωνίας επίθεσης να ρυθμίζεται από απόσταση δίνει μεγαλύτερο έλεγχο, ώστε η ανεμογεννήτρια να εισπράττει το μέγιστο ποσό ενέργειας ανέμου για το χρόνο της ημέρας και της εποχής.
- Η ψηλή βάση του πύργου επιτρέπει την πρόσβαση στον ισχυρότερο αέρα στις κατάλληλες περιοχές. Σε μερικές περιοχές με ισχυρό άνεμο, κάθε δέκα μέτρα προς τα επάνω, η ταχύτητα αέρα μπορεί να αυξηθεί κατά 20% και η παραγωγή ισχύος κατά 34%.
- Υψηλή αποδοτικότητα, δεδομένου ότι τα πτερύγια κινούνται πάντα κάθετα προς τον αέρα, λαμβάνοντας ισχύ μέσω μίας πλήρους περιστροφής. Αντίθετα, όλες οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, και τα περισσότερα προτεινόμενα αερομεταφερόμενα σχέδια ανεμογεννητριών (airbornewind turbines) περιλαμβάνουν διάφορους τύπους παλινδρομικών ενεργειών, που απαιτούν επιφάνειες αεροτομών (airfoil surfaces), για να οπισθοδρομήσουν ενάντια στον αέρα για μέρος του κύκλου.
- Η πρόσοψη ενός πτερυγίου οριζοντίου άξονα χτυπιέται από τον αέρα, σε μια καθορισμένη γωνία, ανεξάρτητα από τη θέση περιστροφής του. Αυτό οδηγεί σε μια συνεπή πλευρική φόρτωση ανέμου κατά τη διάρκεια μιας περιστροφής, που μειώνει τη δόνηση και τον ευδιάκριτο θόρυβο που συνδέονται με τον πύργο.

Μειονεκτήματα Οριζόντιου άξονα

- Οι ψηλοί πύργοι και τα πτερύγια μέχρι 90 μέτρα μήκος είναι δύσκολο να μεταφερθούν. Η μεταφορά μπορεί να κοστίσει 20% των δαπανών εξοπλισμού.
- Οι ψηλές ανεμογεννήτριες είναι δύσκολο να τοποθετηθούν, χρειάζονται πολύ ψηλούς και ακριβούς γερανούς και εξειδικευμένους χειριστές.
- Η ογκώδης κατασκευή πύργων απαιτείται για να υποστηρίξει τα βαριά πτερύγια, το κιβώτιο ταχυτήτων, και τη γεννήτρια.
- Το ύψος τους τις καθιστά φορτικά ορατές κατά μήκος μεγάλων εκτάσεων, αλλοιώνοντας την εμφάνιση του τοπίου και μερικές φορές προκαλούν την τοπική αντίθεση
- Οι υπήνεμες μηχανές οριζοντίου άξονα καταπονούνται περισσότερο και ταλαιπωρούνται από ελαττώματα στη δομή τους, που προκαλούνται από την δίνη, όταν περνά το πτερύγιο μέσα από τη σκιά του πύργου (γι' αυτόν τον λόγο, οι οριζοντίου άξονα ανεμογεννήτριες είναι κατά το πλείστον κατασκευασμένες, έτσι ώστε ο δρομέας τους να αντιμετωπίζει τον αέρα μπροστά από τον πύργο).
- Για να εξασφαλισθεί η παραγωγή μέγιστης ηλεκτρικής ενέργειας, για όλες τις ώρες, χρησιμοποιείται ένα σύστημα ελέγχου εκτροπής (yaw control), το οποίο φροντίζει ώστε να γυρίσουν τα πτερύγια προς τον αέρα και επομένως, ο δρομέας

να βλέπει προς τον άνεμο, καθώς αλλάζει η κατεύθυνση του ανέμου. Αυτό συμβαίνει μόνο στις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα. Εάν ο δρομέας δεν είναι ευθυγραμμισμένος με τον άνεμο, τότε έχουμε σφάλμα εκτροπής- -απόκλιση (yaw error) και επομένως, λιγότερο ποσοστό της αιολικής ενέργειας θα περνάει από την περιοχή του δρομέα.

- Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα είναι κυρίως τύπου άνωσης (lift). Τα πτερύγια δηλαδή, είναι σχεδιασμένα, έτσι ώστε να μοιάζουν στα πτερά ενός αεροπλάνου και αυτό το γεγονός είναι που προκαλεί δύναμη άνωσης, όταν ο άνεμος περνά διαμέσου αυτού. Εξαιτίας αυτού, η άκρη των πτερυγίων μπορεί να ταξιδεύει σε 6-10 φορές την ταχύτητα του ανέμου. Αυτό είναι που προκαλεί και τον θόρυβο.

Πλεονεκτήματα κατακόρυφου άξονα

- Δέχονται, σε αντίθεση με τις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, τον άνεμο από οποιαδήποτε κατεύθυνση.
- Μία τεράστια δομή πύργου είναι λιγότερα συχνά χρησιμοποιούμενη, αφού αυτές οι ανεμογεννήτριες συνήθως τοποθετούνται σε χαμηλά επίπεδα, κοντά στο έδαφος, πράγμα που διευκολύνει τη συντήρηση των κινούμενων μερών τους.
- Είναι λιγότερο επιρρεπείς στις αναταραχές (turbulence), ειδικά αυτές που δημιουργούνται από εμπόδια του εδάφους (ground obstructions). Γι' αυτό είναι πιο κατάλληλες για αστικές εφαρμογές.
- Σχέδια χωρίς μηχανισμούς εκτροπής είναι πιθανά, για την περίπτωση δρομέα σταθερού βήματος (fixed pitch).
- Έχουν χαμηλότερες αρχικές ταχύτητες ανέμου, συγκριτικά με αυτές του οριζοντίου άξονα. Τυπικά, ξεκινούν να παράγουν ηλεκτρισμό στα 6 m.p.h. (10 k m/h=2,78 m/sec).
- Μπορούν να τοποθετηθούν σε τοποθεσίες, όπου ψηλότερες δομές απαγορεύονται.
- Προκαλούν λιγότερο θόρυβο από αυτές του οριζοντίου άξονα.

Μειονεκτήματα κατακόρυφου άξονα

- Μία ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιεί τεταμένα καλώδια (guy-wires) για να την συγκρατούν, προκαλεί πίεση στη βάση της (bottom bearing), αφού όλο το βάρος του δρομέα βρίσκεται εκεί. Αυτά τα τεταμένα καλώδια είναι ενωμένα με το ψηλότερο μέρος της δομής, με αποτέλεσμα να αυξάνουν την ώθηση (thrust) προς τα κάτω, στην περίπτωση ριπών ανέμου. Αυτό για να επιλυθεί, απαιτείται μία γερή δομή, για να κρατάει το πάνω μέρος του δρομέα στη θέση του.
- Η τάση (stress) σε κάθε πτερύγιο, εξαιτίας των αλλαγών στο φορτίο του ανέμου, δύο φορές κατά την μία περιστροφή (360ο). Αυτή η ανατροπή αυξάνει την πιθανότητα ανεπάρκειας του πτερυγίου, εξαιτίας της κούρασης.

- Τα μέρη αυτής της ανεμογεννήτριας όχι μόνο τοποθετούνται στο έδαφος, αλλά και κάτω από το βάρος της κατασκευής, πράγμα που σημαίνει ότι η αλλαγή ενός από τα μέρη προϋποθέτει την αποσύνθεση σχεδόν πάντα της κατασκευής, εάν η τελευταία δεν έχει γίνει σωστά.
- Επειδή ο δρομέας τους είναι τοποθετημένος κοντά στο έδαφος, όπου οι ταχύτητες ανέμου είναι χαμηλότερες, μπορεί να μην παράγουν τόση ενέργεια, όσο οι ανεμογεννήτριες με το ίδιο ύψος ή καταλαμβάνόμενο χώρο, για το ίδιο μέρος.
- Δεν έχουν αναπτυχθεί τόσο, εξαιτίας της εμφανούς χαμηλής αποδοτικότητας.
- Δεν είναι οικονομικά ανταγωνιστικές, έναντι των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα, για εφαρμογές ανοιχτού πεδίου

2.6 Αιολικά πάρκα

Αιολικό πάρκο ή Αιολικός Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΣΠΗΕ) ονομάζεται η χερσαία ή θαλάσσια έκταση στην οποία έχει τοποθετηθεί ένας αριθμός ανεμογεννητριών με σκοπό τη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική. Συγκεκριμένα είναι βιομηχανικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες αποτελούνται από τις ανεμογεννήτριες, τα καλώδια μεταφοράς ρεύματος, τους μετεωρολογικούς ιστούς, τους σταθμούς μετασχηματισμού και βοηθητικές υποδομές συμπεριλαμβανομένων των δρόμων. Τα αιολικά πάρκα ανάλογα την περιοχή κατασκευής τους διαχωρίζονται σε χερσαία, παράκτια και υπεράκτια.

2.6.1 Χερσαία αιολικά πάρκα

Τα χερσαία αιολικά πάρκα (onshore windfarms) είναι εγκατεστημένα σε χερσαίες περιοχές και απόσταση τριών τουλάχιστον χιλιομέτρων προς το εσωτερικό από την εγγύτερη ακτογραμμή. Κατασκευάζονται, κατά κανόνα, σε κορυφογραμμές μεγάλου υψομέτρου, λόγω των μεγάλων ταχυτήτων ανέμων που επιτυγχάνονται εκεί. Χερσαία πάρκα, εντοπίζονται και σε πεδινές περιοχές, όπου έμφαση δίνεται στην αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού αιολικού δυναμικού.

2.6.2 Παράκτια αιολικά πάρκα

Πρόκειται για αιολικά πάρκα εγκατεστημένα σε απόσταση από την ακτογραμμή μικρότερη των τριών χιλιομέτρων προς το εσωτερικό ή μικρότερη των δέκα χιλιομέτρων προς τη θάλασσα. Το πλεονέκτημά τους έγκειται στους ισχυρούς ανέμους, που δημιουργούνται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Τα παράκτια πάρκα, που βρίσκονται εγκατεστημένα στην ξηρά, θεωρούνται εξίσου διαδεδομένα και ώριμα με τα χερσαία, καθώς χρησιμοποιούν όμοια τεχνολογία. Αντίθετα, τα παράκτια πάρκα εντός της θάλασσας, παρουσιάζουν δυσκολίες παρόμοιες με των υπεράκτιων, αναφορικά με τη στήριξη των ανεμογεννητριών. Ωστόσο, τα βάθη κοντά στις ακτές

παραμένουν, συνήθως, μικρά, περιορίζοντας το πρόβλημα. Καθότι οι παράκτιες περιοχές συγκεντρώνουν μεγάλο μέρος πληθυσμού και χρήσεων γης, παγκοσμίως, τα παράκτια πάρκα αντιμετωπίζουν προβλήματα. Η αξία της γης των παραθαλάσσιων περιοχών είναι υψηλή, επιβαρύνοντας την επένδυση. Επιπλέον, αντιδράσεις παρουσιάζονται, με αφορμή την υποβάθμιση του τουριστικού προϊόντος και την ασφάλεια των λουόμενων. Τέλος, οι εγκαταστάσεις εντός της θάλασσας, κατηγορούνται για παρεμπόδιση τη αλιείας, υποβάθμιση της ποιότητας και ποσότητας του αλιευτικού προϊόντος και δυσκολίες στη ναυσιπλοΐα.

2.6.3 Υπεράκτια αιολικά πάρκα

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα (offshore wind farms) αποτελούν στις μέρες μας μια νέα σχετικά παγκόσμια προσπάθεια αύξησης της παραγωγής ενέργειας από την εκμετάλλευση του ανέμου. Η αιολική ενέργεια, όπως λέγεται, αποτελεί ανανεώσιμη μορφή ενέργειας δηλαδή η παραγωγή της δεν έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση στο περιβάλλον επιβλαβών ουσιών όπως διοξείδιο του άνθρακα, τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα, υδρογονάνθρακες κ.ά. όπως συμβαίνει με άλλες πηγές ενέργειας (πετρέλαιο, λιγνίτης, πυρηνική ενέργεια κλπ.) Η μέχρι τώρα πρακτική εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο ήταν η δημιουργία αιολικών πάρκων (δηλαδή η εγκατάσταση πολλών ανεμογεννητριών σε μία περιοχή) σε διάφορες περιοχές στη ξηρά. Με την νέα αυτή πρακτική των υπεράκτιων αιολικών πάρκων εγκαθίστανται ανεμογεννήτριες σε θαλάσσιες περιοχές αυξάνοντας έτσι κατά πολύ τις κατάλληλες περιοχές δημιουργίας αιολικών πάρκων. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται και η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας «φιλικής» προς το περιβάλλον από χώρες μικρές όπως η Ελλάδα όπου οι κατάλληλες περιοχές στη ξηρά για δημιουργία αιολικών πάρκων είναι περιορισμένες ενώ από την άλλη πλευρά διαθέτει ατελείωτες θαλάσσιες περιοχές που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αυτό το σκοπό. Επίσης, έχει βρεθεί ότι η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτή στην ξηρά γεγονός που κάνει αποδοτικότερη τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας.

2.7 Κατάσταση στην Ελλάδα και Ευρώπη

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση η εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας αναμένεται να αυξηθεί κατά 64% έως το τέλος της δεκαετίας σε σύγκριση με τα επίπεδα του 2013. Σύμφωνα με τα στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης Αιολικής Ενέργειας (European Wind Energy Association - EWEA), οι χώρες της Ε.Ε. αναμένεται να εγκαταστήσουν 75 GW (75.000 MW) αιολικής ενέργειας τα επόμενα 7 χρόνια, αυξάνοντας κατά 64% την εγκατεστημένη ισχύ και ανεβάζοντας το σύνολο στα 192,4 GW εγκατεστημένης ισχύος, με τις υπεράκτιες εγκαταστάσεις να καλύπτουν 23,5 GW του συνόλου. Για την υλοποίηση αυτών των έργων, θα επενδυθούν έως και 124 δισ. ευρώ σε αιολικά πάρκα σε όλη την Ε.Ε. έως το 2020, δημιουργώντας 100.000 επιπλέον θέσεις εργασίας. Η παρατεταμένη οικονομική κρίση στην Ευρώπη από το 2009 και η αστάθεια των εθνικών ρυθμιστικών πλαισίων σε βασικές ευρωπαϊκές αγορές, οδήγησε στην αναθεώρηση της εκτίμησης της διεξόδου της αιολικής ενέργειας της EWEA για το 2020.

Η EWEA εκτιμά ότι η αιολική ενέργεια θα παράγει το 2020 442 TWh καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας που θα καλύπτει το 14,9% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας το 2020. Το νέο σενάριο εξετάζει τις ετήσιες και σωρευτικές εγκαταστάσεις (σε MW) και περιλαμβάνει μια ανάλυση κατά χώρα για το 2020, αλλά όχι για τα ενδιάμεσα έτη.

Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο πλήθος νησιών. Ως εκ τούτου, οι ισχυροί άνεμοι που πνέουν κυρίως στις νησιωτικές και παράλιες περιοχές προσδίδουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη χώρα. Το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό εκτιμάται ότι αντιπροσωπεύει το 13,6% του συνόλου των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας.

Η εγχώρια αγορά αιολικής ενέργειας παρουσιάζει σημαντική δυναμική ανάπτυξης. Ήδη ξένες εταιρείες, ορισμένες κινεζικές αλλά και αρκετές ελληνικές, διερευνούν την είσοδό τους ή την επέκτασή τους στον κλάδο, καθώς με 1.810 MW εγκατεστημένη αιολική ισχύ σήμερα, η χώρα υπολείπεται σαφώς από τον ενδιάμεσο στόχο εγκατάστασης των 4.000 MW ως το 2014 και των 7.500 MW ως το 2020, όπως είναι ο δεσμευτικός στόχος της Ελλάδας, βάσει τόσο της εθνικής νομοθεσίας όσο και της ευρωπαϊκής οδηγίας. Σε συνδυασμό με τη σταθεροποίηση και τη διαφαινόμενη ανάκαμψη της ελληνικής οικονομίας, αρκετές εταιρείες ενεργοποιούν τα αναπτυξιακά τους σχέδια. Τελευταία εμφανίζεται κινητικότητα και στην αγορά αδειών, με κινεζικές επιχειρήσεις οι οποίες επιδιώκουν να αποκτήσουν θέσεις στην εγχώρια παραγωγή αιολικής ενέργειας. Αλλά και ελληνικές εταιρείες φαίνεται ότι αρχίζουν να δραστηριοποιούνται στη δευτερογενή αυτή αγορά, επιδιώκοντας να αποκτήσουν τις άδειες από ώριμα αιολικά πρότζεκτ, που οι αρχικοί τους ιδιοκτήτες αδυνατούν να υλοποιήσουν. Αδειοδοτημένα έργα που βρίσκονται στο «pipeline» των εταιρειών, περιμένουν το «πράσινο φως» από τις τράπεζες για να ξεκινήσουν, ενώ αρκετές μεγάλες ελληνικές εταιρείες του κλάδου όπως και ξένες έχουν ξεκινήσει διαπραγματεύσεις με χρηματοπιστωτικούς ομίλους του εξωτερικού για τη χρηματοδότηση των επενδύσεων.

Δεδομένου του αιολικού δυναμικού της, από τα υψηλότερα στην Ευρώπη, η Ελλάδα παρουσιάζει πολλές δυνατότητες. Καταρχήν τα αιολικά μπορούν να αποτελέσουν μία ενδιαφέρουσα εναλλακτική πηγή παραγωγής ηλεκτρισμού στα νησιά και κυρίως τα μη διασυνδεδεμένα. Σήμερα, όλοι οι καταναλωτές ρεύματος πληρώνουν μέσω των Υπηρεσιών Κοινής Ωφέλειας, μία χρέωση που είναι ενσωματωμένη στα τιμολόγια ηλεκτρισμού της ΔΕΗ και των ιδιωτικών εταιρειών, περί τα 700 εκατ. ευρώ ετησίως, για να μπορούν οι κάτοικοι των νησιών να πληρώνουν ίδιες τιμές ρεύματος με την υπόλοιπη χώρα. Τα μη διασυνδεδεμένα νησιά έχουν υψηλότερο κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού επειδή χρησιμοποιούν αποκλειστικά ως καύσιμο το πετρέλαιο, που είναι ακριβότερο από το λιγνίτη, τα υδροηλεκτρικά και το φυσικό αέριο, που διαθέτει η υπόλοιπη χώρα. Εκτιμάται ότι με την επίτευξη των στόχων του 2020 για τις ΑΠΕ, το κόστος των ΥΚΩ θα μπορούσε να μειωθεί κατά 200-250 εκατ. ευρώ ετησίως, ενώ σημαντική θα ήταν και η εξοικονόμηση συναλλάγματος από την υποκατάσταση των ακριβών, εισαγόμενων υγρών καυσίμων σε όλη τη χώρα. Η διείσδυση των ΑΠΕ και των αιολικών θα μπορούσε να βοηθήσει σημαντικά στην αποτροπή του ελλείμματος ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος της χώρας από το 2016, όπως προβλέπει ο ENTSO-E (ο ευρωπαϊκός οργανισμός των εθνικών Διαχειριστών Δικτύων Ηλεκτρισμού). Αν επιτευχθούν οι στόχοι, τότε η χώρα δεν κινδυνεύει από έλλειμμα, διαφορετικά όμως μπορεί να βρεθεί υπό την πίεση συνεχών Μπλακ άουτ, λόγω έλλειψης επαρκούς ηλεκτροπαραγωγικής ισχύος και ανεπαρκών διασυνδέσεων με τις γειτονικές χώρες για εισαγωγές ρεύματος.

2.8 Νομικό πλαίσιο αδειοδοτήσεων Αιολικών Πάρκων

Η διαδικασία αδειοδότησης για αιολικά πάρκα διέπεται κατά κύριο λόγο από το Ν. 3851/2010 για την «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής», ο οποίος τροποποίησε τον προηγούμενο Ν. 3468/2006. Προσφάτως, ο Ν. 4001/2011 «Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα, Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις» εισήγαγε και κάποιες επιπρόσθετες κρίσιμες ρυθμίσεις.

Τα κύρια αδειοδοτικά στάδια στις περιπτώσεις των αιολικών έργων είναι:

I. Άδεια Παραγωγής

Η άδεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται για αιολικά πάρκα με εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη των 100 kW, ενώ για τα πάρκα με μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ δεν απαιτείται άδεια παραγωγής ή άλλη σχετική διαπιστωτική πράξη. Η άδεια παραγωγής χορηγείται με απόφαση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.), κατόπιν σχετικής αίτησης, ενώ για τη χορήγησή της αξιολογούνται κριτήρια που αναφέρονται στο άρθρο 2 παρ. 1 του Ν. 3851/2010. Η Ρ.Α.Ε., αφού εξετάσει αν πληρούνται τα κριτήρια αυτά, αποφασίζει για τη χορήγηση ή μη άδειας παραγωγής μέσα σε δύο (2) μήνες από την υποβολή της αίτησης, εφόσον ο φάκελος είναι πλήρης, άλλως από τη συμπλήρωσή του. Ο φάκελος θεωρείται πλήρης, αν μέσα σε τριάντα (30) ημέρες από την υποβολή του δεν ζητηθούν εγγράφως από τον αιτούντα συμπληρωματικά στοιχεία.

Η άδεια παραγωγής χορηγείται για χρονικό διάστημα είκοσι πέντε (25) ετών και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρόνο. Στην περίπτωση, όμως, που εντός τριάντα (30) μηνών από τη χορήγηση της δεν εκδοθεί άδεια εγκατάστασης, η άδεια παραγωγής παύει αυτοδικαίως να ισχύει, εκδιδόμενης σχετικής διαπιστωτικής πράξης από τη Ρ.Α.Ε.

II. Προσφορά Σύνδεσης

Μετά την έκδοση της άδειας παραγωγής από τη Ρ.Α.Ε., ο ενδιαφερόμενος προκειμένου να του χορηγηθεί άδεια εγκατάστασης, ζητά ταυτόχρονα την έκδοση:

α) Προσφοράς Σύνδεσης από τον αρμόδιο Διαχειριστή, ο οποίος θεωρεί τα τοπογραφικά διαγράμματα αποτύπωσης του τρόπου σύνδεσης. β) Απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.), κατά το άρθρο 4 του ν. 1650/1986, όπως ισχύει, και γ) Άδειας Επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση, κατά την παρ. 2 του άρθρου 58 του ν. 998/1979 (ΦΕΚ 289 Α'), εφόσον απαιτείται, ή γενικά των αναγκαίων αδειών για την απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου.

Ο αρμόδιος Διαχειριστής χορηγεί μέσα σε τέσσερις (4) μήνες την Προσφορά Σύνδεσης που του ζητήθηκε, η οποία αρχικώς είναι μη δεσμευτική και οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική:

α) με την έκδοση της απόφασης Ε.Π.Ο. για το σταθμό Α.Π.Ε. ή, β) αν δεν απαιτείται απόφαση Ε.Π.Ο., με τη βεβαίωση από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας Περιφέρειας ότι ο σταθμός Α.Π.Ε. απαλλάσσεται από την υποχρέωση αυτή. Η Προσφορά

Σύνδεσης ισχύει για τέσσερα (4) έτη από την οριστικοποίηση της και δεσμεύει τον Διαχειριστή και τον δικαιούχο.

III. Άδεια Εγκατάστασης

Αφού καταστεί δεσμευτική η Προσφορά Σύνδεσης, ο δικαιούχος ενεργεί:

α) για τη χορήγηση άδειας εγκατάστασης β) για τη σύναψη της Σύμβασης Σύνδεσης και της Σύμβασης Πώλησης, σύμφωνα με τα άρθρα 9, 10 και 12 και τους Κώδικες Διαχείρισης του Συστήματος και του Δικτύου. Σύμφωνα με το άρθ.187 του ν.4001/2011 (Α'179) που τροποποιεί το άρθ.8 του ν.3468/2006, η σύναψη της Σύμβασης Σύνδεσης προηγείται της σύναψης Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας. Οι Συμβάσεις αυτές υπογράφονται και ισχύουν από τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, εφόσον απαιτείται, γ) για τη χορήγηση αδειών, πρωτοκόλλων ή άλλων εγκρίσεων που τυχόν απαιτούνται σύμφωνα με τις διατάξεις της ισχύουσας νομοθεσίας για την εγκατάσταση του σταθμού, οι οποίες εκδίδονται χωρίς να απαιτείται η προηγούμενη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, δ) για την τροποποίηση της απόφασης Ε.Π.Ο. ως προς τα έργα σύνδεσης, εφόσον απαιτείται.

Η άδεια εγκατάστασης χορηγείται μέσα σε προθεσμία δεκαπέντε (15) εργάσιμων ημερών από την ολοκλήρωση της διαδικασίας ελέγχου των δικαιολογητικών. Κατά τη διαδικασία έκδοσης της άδειας εγκατάστασης, ελέγχεται η απόσταση κάθε ανεμογεννήτριας του σταθμού από την πλησιέστερη ανεμογεννήτρια σταθμού του ίδιου ή άλλου παραγωγού, η οποία καθορίζεται με ανέκκλητη συμφωνία των παραγωγών, για την οποία ενημερώνεται η Ρ.Α.Ε. και οι αδειοδοτούσες αρχές.

Η άδεια εγκατάστασης ισχύει για δύο (2) έτη και μπορεί να παρατείνεται, κατ' ανώτατο όριο, για ίσο χρόνο, μετά από αίτηση του κατόχου της, εφόσον:

- α) κατά τη λήξη της διετίας έχει εκτελεσθεί έργο, οι δαπάνες του οποίου καλύπτουν το 50% της επένδυσης, ή
- β) δεν συντρέχει η προϋπόθεση της ανωτέρω περίπτωσης αλλά έχουν συναφθεί οι αναγκαίες συμβάσεις για την προμήθεια του εξοπλισμού ο οποίος απαιτείται για την υλοποίηση του έργου, ή γ) υφίσταται αναστολή με δικαστική απόφαση οποιασδήποτε άδειας απαραίτητης για τη νόμιμη εκτέλεση του έργου.

IV. Ε.Π.Ο.

Για αιολικά πάρκα, των οποίων η εγκατεστημένη ισχύς είναι μικρότερη των 20 kW, δεν απαιτείται βεβαίωση ΕΠΟ, αλλά βεβαίωση απαλλαγής από αυτήν. Η βεβαίωση απαλλαγής εκδίδεται από τη ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ. της οικείας Περιφέρειας εντός αποκλειστικής προθεσμίας 20 ημερών, μετά την άπρακτη παρέλευση της οποίας θεωρείται αυτή χορηγηθείσα, κατά τις διατάξεις του άρθρου 3 του Ν. 3851/2010. Για την απόδειξη της άπρακτης παρέλευσης, ο ενδιαφερόμενος πρέπει στα επόμενα στάδια να προσκομίζει σχετική βεβαίωση της Περιφέρειας, ή εναλλακτικά, αντίγραφο του αιτήματός του με τον αριθμό πρωτοκόλλου και την ημερομηνία κατάθεσής του, μαζί με υπεύθυνη δήλωση για την παρέλευση του 20ημέρου χωρίς έκδοση ούτε απαλλαγής, ούτε αρνητικής απόφασης. Κατ' εξαίρεση απαιτείται ΕΠΟ εάν:

α) το έργο εγκαθίσταται εντός περιοχής Natura 2000 ή σε απόσταση < 100m από αιγιαλό, ή β) γειτνιάζει σε απόσταση <150 m με άλλο σταθμό ίδιας τεχνολογίας, η δε αθροιστική ισχύς υπερβαίνει το όριο των 20 kW.

Για την έκδοση απόφασης Ε.Π.Ο. κατά τις διατάξεις του άρθρου 4 του ν. 1650/1986, όπως ισχύει, υποβάλλεται πλήρης φάκελος και Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.) στην αρμόδια για την περιβαλλοντική αρχή αδειοδότησης.

Η αρμόδια αρχή εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα προτεινόμενα μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης, μεριμνά για την τήρηση των διαδικασιών δημοσιοποίησης και αποφαινεται για τη χορήγηση ή μη απόφασης Ε.Π.Ο. μέσα σε τέσσερις (4) μήνες από το χρόνο που ο φάκελος θεωρήθηκε πλήρης.

Η απόφαση Ε.Π.Ο. για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ισχύει για δέκα (10) έτη και μπορεί να ανανεώνεται, με αίτηση που υποβάλλεται υποχρεωτικά έξι (6) μήνες πριν από τη λήξη της, για μία ή περισσότερες φορές, μέχρι ίσο χρόνο κάθε φορά. Μέχρι την έκδοση της απόφασης ανανέωσης εξακολουθούν να ισχύουν οι προηγούμενοι περιβαλλοντικοί όροι. Βεβαίωση Ε.Π.Ο. ή απαλλαγή από αυτήν δεν απαιτείται για ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων (ΒΙ.ΠΕ., ΒΙ.ΠΑ. κτλ.), ή πάνω σε κτίρια και άλλες δομικές κατασκευές (Ν. 3468/2006, αρθ. 8, όπως αντικαταστάθηκε με τον Ν. 3851/2010, αρθ. 3, §2). Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να προσκομίζεται τοπογραφικό διάγραμμα ή έγγραφο προσφοράς σύνδεσης απ' όπου να προκύπτει σαφώς η εγκατάσταση σε υποδοχέα ή πάνω σε κτίριο αντίστοιχα.

V. Άδεια λειτουργίας

Πριν τη χορήγηση άδειας λειτουργίας, απαιτείται να προηγηθεί προσωρινή σύνδεση του πάρκου για δοκιμαστική λειτουργία, κατόπιν αιτήσεως στον αρμόδιο Διαχειριστή. Εφόσον επιτευχθεί αποβλημάτιστη λειτουργία 15 ημερών, ο Διαχειριστής εκδίδει βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης των δοκιμών (ΥΑ.13310/2007, ΦΕΚ.Β'1153, άρθ.14).

Εν συνεχεία, ο παραγωγός ενεργεί για τη χορήγηση άδειας λειτουργίας. Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του οργάνου που είναι αρμόδιο για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και έλεγχο από κλιμάκιο των αρμόδιων Υπηρεσιών της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης στη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού, καθώς και έλεγχο της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του, που μπορεί να διενεργείται και από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.). Η άδεια λειτουργίας χορηγείται μέσα σε αποκλειστική προθεσμία είκοσι (20) ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων.

Η άδεια λειτουργίας ισχύει για είκοσι (20) τουλάχιστον έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρονικό διάστημα.

Σημειώνεται πως σε περιπτώσεις αιολικών πάρκων με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση με 100 kW δεν απαιτείται η έκδοση άδειας παραγωγής, άδειας εγκατάστασης ή άδειας λειτουργίας, ενώ δεν απαιτείται επίσης και περίοδος δοκιμαστικής λειτουργίας.

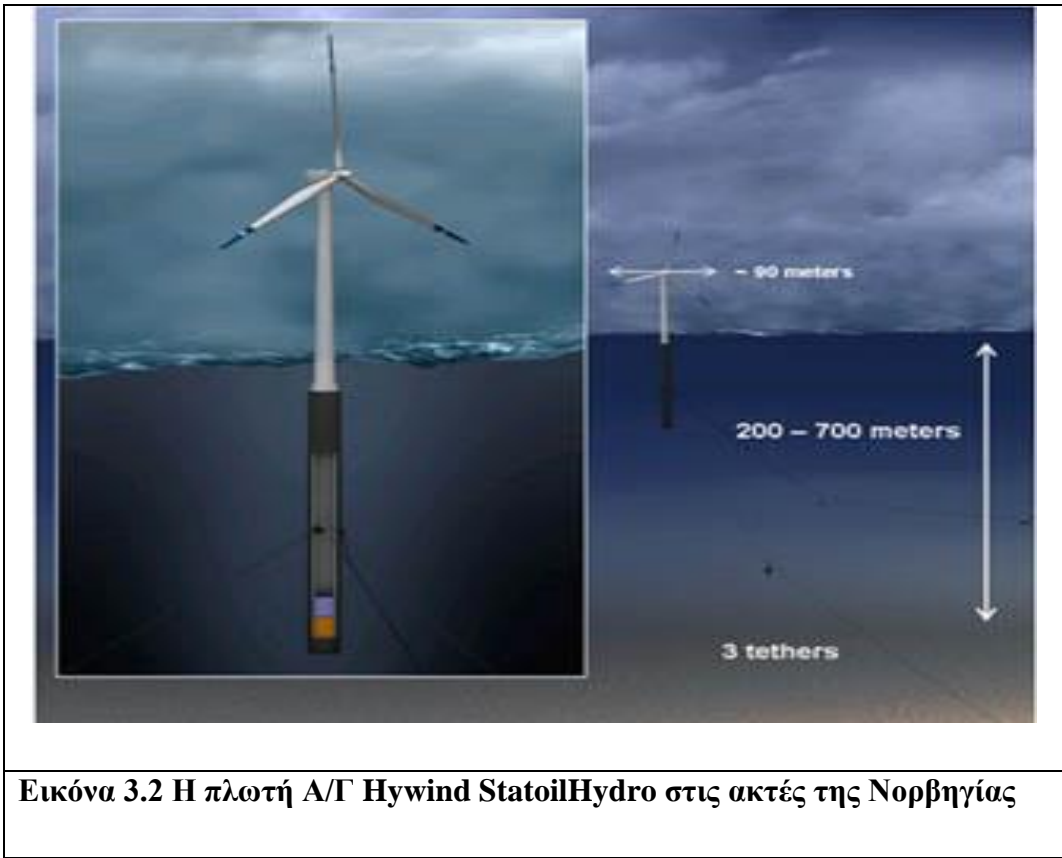
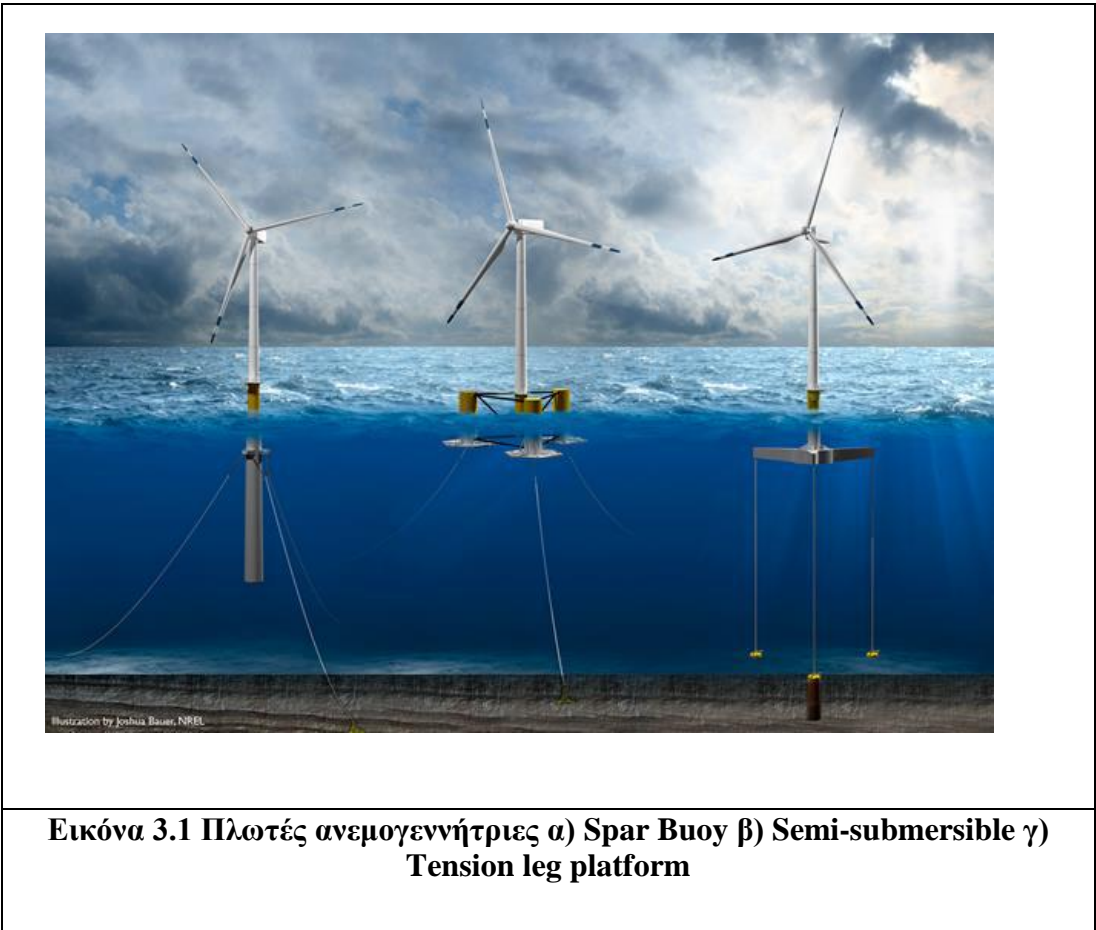
Κεφάλαιο 3. Πλωτές Ανεμογεννήτριες

3.1 Τι είναι οι πλωτές ανεμογεννήτριες

Οι πλωτές ανεμογεννήτριες σε αντίθεση με τις ανεμογεννήτριες της στεριάς είναι ουσιαστικά ανεμογεννήτριες που είναι τοποθετημένες στη θάλασσα μακριά από τη στεριά. Η ιδέα των πλωτών κατασκευών άρχισε να υλοποιείται τα τελευταία χρόνια λόγω της περιορισμένης-απαγορευτικής εγκατάστασης των υπεράκτιων ανεμογεννητριών σε μεγάλα βάθη(>100μ). Οι πλωτές ανεμογεννήτριες έχουν εξελιχθεί να μπορούν να λειτουργούν πάνω σε πλωτές πλατφόρμες οι οποίες είναι τοποθετημένες στο βυθό σε βάθος μέχρι και εκατοντάδες μέτρα στερεώνονται στο βυθό με χοντρά καλώδια και έτσι μπορούν να τοποθετηθούν σε νερά με βάθος ακόμη και αρκετών εκατοντάδων μέτρων και απέχουν πολύ από την πιο κοντινή στεριά. Η μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας στην ακτή γίνεται συνήθως με υπόγεια καλώδια με την χρήση της τεχνολογίας υψηλή συνεχής τάση HVDC. Οι ανεμογεννήτριες συνδέονται μεταξύ τους με καλώδια υπό τάση 11KV.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα τέτοιων ανεμογεννητριών εκτός του ότι μπορούν να τοποθετηθούν σε βαθιά νερά, μακριά από τη στεριά, είναι ότι η συναρμολόγησή τους γίνεται στη στεριά και έτσι πρέπει απλώς να μεταφερθούν στη θάλασσα, όπου και θα γίνει η τελική τοποθέτησή τους, έτσι μπορεί να μειωθούν σημαντικά τα έξοδα (Εικόνα3.1). Όσο πιο βαριές λοιπόν οι εγκαταστάσεις, τόσο πιο σταθερές είναι. Αυτό όμως έχει ως συνέπεια και περισσότερα έξοδα κατασκευής. Για αυτό και οι ειδικοί ψάχνουν διαφορετικές εναλλακτικές. Έτσι θα μπορούσαν, για παράδειγμα, τα καλώδια με τα οποία στερεώνονται οι πλατφόρμες στο βυθό να τοποθετηθούν με τέτοιο τρόπο, ώστε να κουνιέται λιγότερο η εγκατάσταση που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το σίγουρο είναι πάντως ότι οι πλωτές ανεμογεννήτριες δεν θα είναι ποτέ τόσο σταθερές όσο αυτές της στεριάς. Πάντα θα είναι ασταθείς, αναλόγως της ισχύος του ανέμου που πνέει. Αυτό όμως έχει άμεση επίδραση και στη παραγωγή ενέργειας καθώς η ανεμογεννήτρια αδυνατεί να έχει την ίδια ισχύ όταν από τη μία κινείται με την κατεύθυνση του ανέμου, και λίγο αργότερα μετακινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Για αυτό το λόγο θα πρέπει να γίνει βελτίωση και των ίδιων των ανεμογεννητριών και όχι μονάχα στις πλωτές πλατφόρμες πάνω στις οποίες στηρίζονται.

Η πρώτη ανεμογεννήτρια που επιπλέει στη θάλασσα εγκαινιάστηκε στα ανοιχτά των νορβηγικών ακτών, στη Βόρεια Θάλασσα (Εικόνα 3.2). Η ανεμογεννήτρια τοποθετήθηκε περίπου δέκα χιλιόμετρα μακριά από το νησί Καρμπί, στα νοτιοδυτικά της Νορβηγίας, έχει ύψος 65 μέτρα, βάρος 5.300 τόνων και ισχύ 2,3 MW ανήκει στην νορβηγική εταιρία StatoilHydro και ονομάζεται Hywind. Το κάτω μέρος στερεώνεται στο βυθό με τρία χοντρά καλώδια και γεμίζει με νερό και πέτρες για μεγαλύτερη σταθερότητα και μπορεί να τοποθετηθεί σε νερά με βάθος μέχρι και 700 μέτρα.



3.2 Μοντέλα πλωτών ανεμογεννητριών

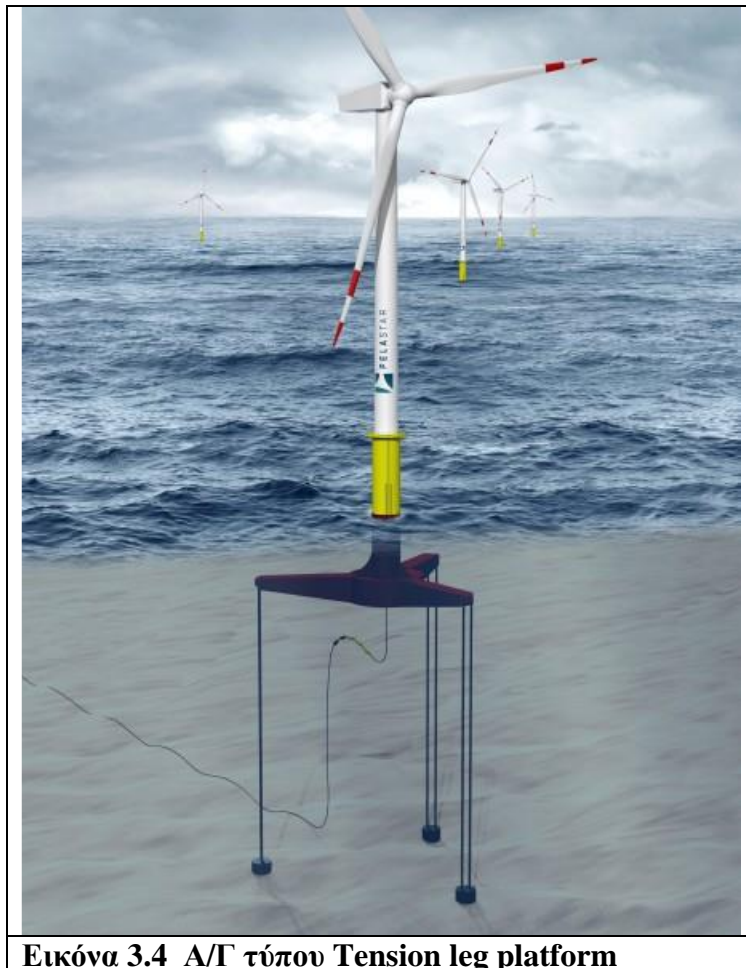
3.2.1 Spar Buoy

Η θεμελίωση τύπου spar buoy floater αποτελείται από ένα κυλινδρικό κοίλο πυλώνα σημαντικά μεγαλύτερο σε διάμετρο από τον πυλώνα που στηρίζει την γεννήτρια, έτσι ώστε να δημιουργούνται οι κατάλληλες δυνάμεις της άνωσης και να παραμένει στη επιφάνεια η γεννήτρια. Βρίσκεται κάτω από την επιφάνεια του νερού. Θεμελιώνεται στον πυθμένα με συρματόσχοινα τα οποία είναι από χάλυβα ή άλλο συνθετικό υλικό και τα οποία σταθεροποιούνται στον βυθό της θάλασσας με άγκυρες. Αυτός ο τύπος θεμελίωσης μπορεί να υποστεί κλίση μερικών μοιρών από τις δυνάμεις που ασκούνται από τα κύματα και την δύναμη του αέρα, η οποία κλίση μπορεί να περιοριστεί με την διαμόρφωση των συρματόσχοινων. Είναι πιο οικονομική μέθοδος θεμελίωσης σε σχέση με την μέθοδο tension leg platform. Το πρώτο αιολικό πάρκο στην θάλασσα με πλωτές ανεμογεννήτριες θα κατασκευαστεί στην ανοικτή θάλασσα έξω από την Νορβηγία σε βάθος νερού περίπου 200 μέτρων και το ύψους του πύργου είναι 80 μέτρα. Οι διαστάσεις του συγκεκριμένου τύπου θεμελίου για γεννήτρια ισχύς 2,3 MW που θα προσδεθεί από τον βυθό με 3 συρματόσχοινα, είναι: Μήκος κυλινδρικού θεμελίου που επιπλέει 100 μέτρα, διάμετρος κυλίνδρου που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια του νερού 6 μέτρα, διάμετρος κυλίνδρου κάτω από την επιφάνεια του νερού 8,3 μέτρα, όγκος του θεμελίου είναι 5300 κυβικά μέτρα.



3.2.2 Tension leg platform

Η θεμελίωση τύπου tension leg platform είναι μια πλωτή κοίλη βάση όπου πάνω της τοποθετείται ο πυλώνας με τη γεννήτρια. Για να παραμείνει σταθερή στο σημείο τοποθέτησης της η πλατφόρμα, προενταμένα συρματόσχοινα συνδέουν την βάση της με άγκυρες στον πυθμένα της θάλασσας. Στον πυθμένα τα συρματόσχοινα σταθεροποιούνται με άγκυρες βαρύτητας από μπετόν ή μεταλλικά στοιχεία, έτσι ώστε να έχουν αρκετή μάζα και να μην μπορούν οι δυνάμεις από τα κύματα ή τον αέρα να παρασύρουν το θεμέλιο. Τα συρματόσχοινα φορτίζονται με προένταση ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να ανατραπεί η ανεμογεννήτρια. Τα πλεονεκτήματα της σε σχέση με τις θεμελιώσεις που δεν είναι πλωτές εκτός από το ότι μπορεί να θεμελιωθεί σε μεγαλύτερο βάθος της θάλασσας είναι ότι έχει και μικρότερο κόστος κατασκευής, θεμελίωσης και μεταφοράς στο σημείο θεμελίωσης, με αποτέλεσμα να μειώνεται το συνολικό κόστος της ανεμογεννήτριας.



3.2.3 Semi-submersible

Η θεμελίωση τύπου windwave float είναι μια πλωτή εξέδρα με τρεις κυλίνδρους που συνδέονται μεταξύ τους με σιδερένιους σωλήνες (gangways) οι οποίοι επιτρέπουν στο νερό της θάλασσα να περνάει από τον ένα κύλινδρο στον άλλο. Είναι βυθισμένο μέχρι την μέση στην θάλασσα. Με αυτόν τον τρόπο το θεμέλιο είναι πάντα σε όρθια θέση καθώς γίνεται αντιστάθμιση στα έρμα. Η γεννήτρια είναι τοποθετημένη πάνω στον ένα κύλινδρο. Ο συγκεκριμένος τύπος θεμελίου έχει και μια άλλη ιδιαιτερότητα που είναι ότι η γεννήτρια μπορεί να γυρίσει και να είναι πάντα κάθετη στην διεύθυνση του ανέμου. Από τον βυθό δένεται με 6 αλυσοειδή σύρματα από τα όποια τα τέσσερα είναι για τον κύλινδρο που έχει τοποθετηθεί η γεννήτρια. Μια άλλη καινοτομία που προσφέρει ο συγκεκριμένος τύπος θεμελίωσης είναι ότι κατά την αντιστάθμιση που γίνεται για να παραμένει σε ορθή θέση η γεννήτρια χρησιμοποιεί και την ενεργεία των κυμάτων και την μετατρέπει σε ηλεκτρική. Με αυτόν τον τρόπο ο συγκεκριμένος τύπος θεμελίωσης δεν είναι μόνο για την στήριξη της γεννήτριας αλλά μπορεί να παράγει και ισχύ. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η θεμελίωση τύπου windwaves float είναι όμοιας λειτουργίας με την θεμελίωση τύπου windfloat με την διαφορά όμως πως η windwave float έχει ενεργό ρολό στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 3.5 Α/Γ τύπου Semi-submersible

Ο σχεδιαστής πρέπει να λάβει υπόψη τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του καθενός από αυτές τις προσεγγίσεις, σε μια προσπάθεια να επιτευχθεί το χαμηλότερο κόστος σχεδιασμού του συστήματος. Ο παρακάτω Πίνακας δίνει μια λίστα με τις προτεινόμενες παραμέτρους σχεδιαστικής πρόκλησης που θα επηρεάσουν την απόδοση και το κόστος ενός πλωτού συστήματος ανεμογεννήτριας.

Πίνακας. σύγκριση των πλωτών διατάξεων (+πλεονέκτημα, -μειονέκτημα, κενό ουδέτερο).

<i>Τεχνικές προκλήσεις πλωτής πλατφόρμας</i>	<i>Semi-submersible</i>	<i>TLP platform</i>	<i>Spar Buoy</i>
<i>Εργαλεία και μέθοδοι σχεδιασμού</i>	-	+	-
<i>Κόστος/Πολυπλοκότητα άνωσης</i>	-	+	-
<i>Κόστος/Πολυπλοκότητα του συστήματος πρόσδεσης</i>	-	+	-
<i>Κόστος/Πολυπλοκότητα άγκυρας</i>	+	-	+
<i>Κόστος/Πολυπλοκότητα εγκατάστασης</i>	+	-	
<i>Απλότητα εγκατάστασης του A/K πάνω στην πλατφόρμα στην στεριά</i>	+	-	+
<i>Αντοχή στην διάβρωση</i>	-	+	+
<i>Εξάρτηση από το βάθος της θάλασσας</i>	+	-	-
<i>Ευαισθησία στην κατάσταση του πυθμένα</i>	+	-	+
<i>Ευαισθησία στο κύμα</i>	-	+	+
<i>Βάρος ανεμογεννήτριας</i>	+	-	-
<i>Κίνηση του πάνω μέρους του πύργου</i>	-	+	-

3.3 Αγκυροβόληση των πλωτών κατασκευών

Η αγκυροβόληση των πλωτών πλατφόρμων γίνεται με δύο διαφορετικούς τρόπους. Με συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης (catenary moorings) και με συρματόσχοινα υπό προ ένταση (taut-leg moorings). Οι άγκυρες που χρησιμοποιούνται ώστε να σταθεροποιηθεί η κατασκευή μέσω των γραμμών αγκύρωσης, εξαρτάται από τις δυνάμεις που δέχεται η κατασκευή, το βάθος εγκατάστασης και την κατάσταση του πυθμένα. Εάν η δύναμη ασκείται παράλληλα στον πυθμένα, μια άγκυρα μπορεί να είναι αποτελεσματική χωρίς βαθιά εμφύτευση. Αυτό το πλεονέκτημα εκμεταλλεύεται και το σύστημα αγκυροβόλησης με αλυσοειδή καμπύλα συρματόσχοινα. Ένα τέτοιο σύστημα χρησιμοποιεί βαριές αλυσίδες, οι οποίες δημιουργούν ένα καμπύλο σχήμα από το σημείο σύνδεσης με την πλατφόρμα μέχρι τον πυθμένα όπου και ασκούνται οι οριζόντιες δυνάμεις. Το γεγονός ότι τα καμπύλα αλυσοειδή αγκυροβόλια δέχονται οριζόντιες δυνάμεις απαιτεί λιγότερη ακρίβεια καθιστώντας την εγκατάσταση λιγότερο ακριβή. Οι πλατφόρμες με αυτού του είδους την αγκυροβόληση κινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις σε σχέση με τη χρήση τεντωμένων συρματόσχοινων. Οι άγκυρες στις οποίες ασκείται κάθετη δύναμη εξαρτώνται από τη βαθιά εμφύτευση τους ώστε να σφηνώνονται στον πυθμένα., γι' αυτό και η εγκατάστασή τους είναι πιο ακριβή. Μειονέκτημα της αγκύρωσης με τους συμβατικούς κλάδους αγκύρωσης είναι ότι η κάθετη δύναμη στην άγκυρα είναι ανεπαρκής για να εξασφαλίσει ότι η πλατφόρμα δε θα ανατραπεί, κυρίως όταν το βάρος της Α/Γ και οι οριζόντιες δυνάμεις ασκούνται σε μεγάλη απόσταση από το κέντρο άνωσης. Πλεονέκτημα της αγκύρωσης με τεντωμένα συρματόσχοινα είναι το γεγονός ότι μπορεί να εξασφαλίσει περισσότερη ευστάθεια, καθώς έχει τη δυνατότητα να βυθίζει κάτω από το επίπεδο της θάλασσας ένα μεγάλο μέρος της κατασκευής. Επίσης, μπορεί να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερα βάθη έναντι της αλυσοειδούς αγκύρωσης που προτιμάται σε σχετικά ρηχά νερά.

Οι κύριες κατηγορίες αγκυρών είναι οι εξής:

- Άγκυρες βασισμένες στη βαρύτητα (gravity-base anchor)
- Άγκυρες που εμφυτεύονται καθώς σύρονται (drag-embedded anchor)
- Άγκυρες οδηγούμενες από στύλο (driven pile anchor)
- Άγκυρες αναρρόφησης (suction anchor)
- Άγκυρες που εμφυτεύονται με τορπίλη (torpedo embedded anchor)
- Άγκυρες οδηγούμενες από στύλο όπου απαιτείται η διάνοιξη οπής (drilled and grouted pile)

3.4 Υπολογισμός των Φορτίσεων που δέχονται οι πλωτές κατασκευές

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθούμε στις φορτίσεις που δέχεται μια πλωτή κατασκευή, αφού είναι καθοριστικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη πριν την κατασκευή μιας υπεράκτιας ανεμογεννήτριας. Τα φορτία αυτά αναλύονται παρακάτω και είναι τα εξής:

3.4.1 Οι μόνιμες φορτίσεις

Οφείλονται στην μάζα της ανεμογεννήτριας, του πύργου και του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται για την λειτουργία, συντήρηση και την επίβλεψη της γεννήτριας. Οι μόνιμες φορτίσεις προκαλούν την μικρότερη καταπόνηση του θεμελίου καθώς είναι εύκολα υπολογίσιμες και συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς αντοχής του. Οι φορτίσεις αυτές είναι άμεσα συνδεδεμένες με την ισχύ της ανεμογεννήτριας καθώς από αυτήν εξαρτάται και το μέγεθος και η μάζα της.

3.4.2 Φορτία περιβάλλοντος

Είναι φορτίσεις που προκαλούνται στο θεμέλιο από τα κύματα, τον πάγο, τον άνεμο, τα θαλάσσια ρεύματα, τους σεισμούς και είναι ανάλογα με το κλίμα που επικρατεί στην περιοχή που έχει επιλεγεί να γίνει το αιολικό πάρκο. Τα φορτία αυτά διαφέρουν ανάλογα με την χρονική περίοδο που επικρατεί στην περιοχή. Τα φορτία που προέρχονται από το περιβάλλον είναι αυτά τα οποία επηρεάζουν το θεμέλιο και διαφέρουν σε φορά και κατεύθυνση κάθε χρονική στιγμή. Είναι από τα φορτία που είναι πιο δύσκολα να υπολογιστούν και να προβλεφθούν κατά το σχεδιασμό.

3.4.3 Οι μεταβλητές φορτίσεις

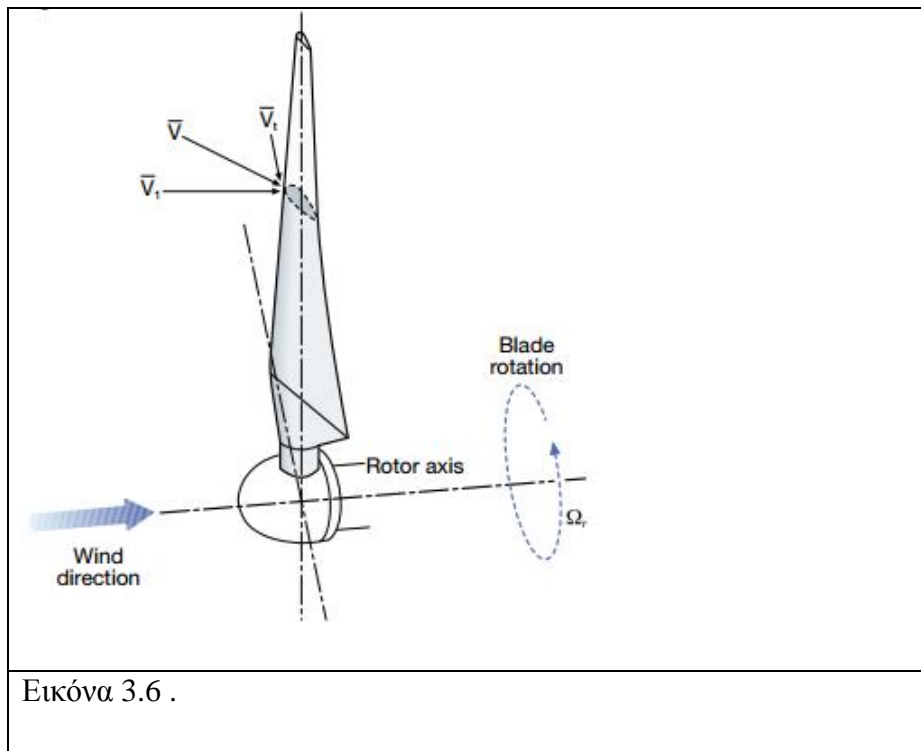
Οι μεταβλητές φορτίσεις αναπτύσσονται κυρίως κατά την μεταφορά, την εγκατάσταση, την συντήρηση και την λειτουργία της ανεμογεννήτριας αφού τα θεμέλια καταπονούνται κατά την περιστροφική κίνηση της φτερωτής σε κανονική λειτουργία αλλά και από το σύστημα πέδησης που υπάρχει στην άτρακτο της γεννήτριας. Μεταβλητές φορτίσεις επίσης αναπτύσσονται κατά την ανέλκυση των επιμέρους εξαρτημάτων, την συναρμολόγηση τους και την προσέγγιση των πλοίων. Αυτές οι φορτίσεις είναι πιο δύσκολα υπολογίσιμες από τις σταθερές φορτίσεις.

3.5 Αεροδυναμική ανάλυση των πτερυγίων

Πτερύγιο είναι ουσιαστικά μια αεροτομή στην οποία ενεργούν δύο ρεύματα αέρα ανάλογα με (εικόνα):

1. Τον άνεμο που εισέρχεται στον σωλήνα ροής με απόλυτη ταχύτητα V_1 παράλληλα προς τον άξονα του στροβίλου.

2.Την περιστροφή του πτερυγίου δημιουργώντας μια οπισθέλκουσα ταχύτητα V_t κάθετα προς την V_1 .



Εικόνα 3.6 .

Με την προϋπόθεση ότι η συνιστώσα 1 είναι σταθερή στην διατομή του σωλήνα ροής, σε μια απόσταση r από την πλήμνη, η συνιστώσα 2 θα είναι:

$$V_t = -\Omega \times r$$

Όπου Ω η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας (rad/sec).

Η συνολική ταχύτητα της ροής του αέρα πάνω από το πτερυγίου είναι:

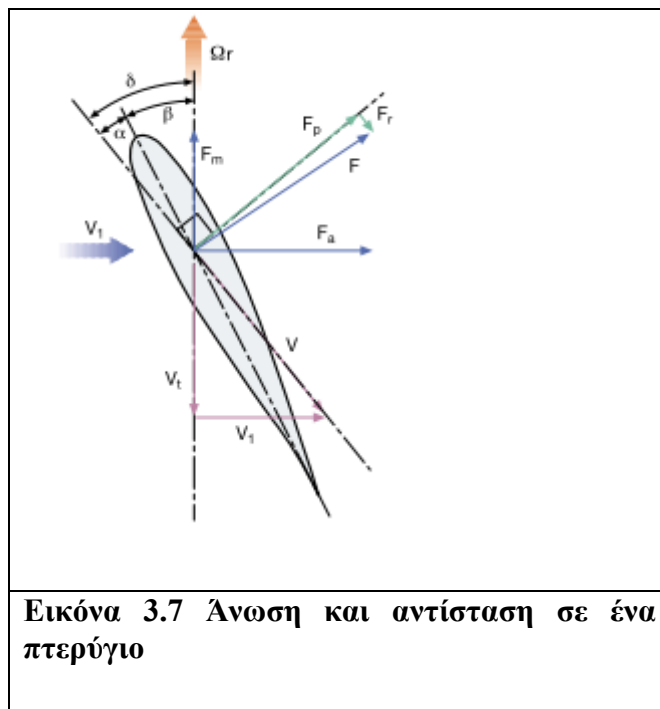
$$V = \sqrt{V_1^2 + V_t^2} = \sqrt{V_1^2 + (\Omega \cdot r)^2}$$

Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, η ταχύτητα ροής του αέρα πάνω από την πτερυγίου αυξάνεται, όταν αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής του πτερυγίου.

Άνωση και οπισθέλκουσα

Η ροή του αέρα πάνω από μία σταθερή αεροτομή παράγει δύο δυνάμεις, μία δύναμη ανύψωσης κάθετη προς τη ροή του αέρα, που λέγεται άνωση (lift) και μία δύναμη αντίστασης στην κατεύθυνση της ροής του αέρα, που λέγεται αντίσταση ή οπισθέλκουσα (Εικόνα 3.7). Η ύπαρξη της άνωσης εξαρτάται από την ομοιόμορφη ροή πάνω από την αεροτομή, που σημαίνει ότι ο αέρας ρέει ομαλά πάνω κι από τις δύο πλευρές της αεροτομής. Στην περίπτωση που υπάρχει τυρβώδης ροή, παρά ομοιόμορφη ροή, τότε

δημιουργείται μικρή ή μηδενική άνωση. Ο αέρας που ρέει πάνω από την κορυφή της αεροτομής επιταχύνεται, εξαιτίας του ότι πρέπει να διανύσει μεγαλύτερη απόσταση και αυτή η αύξηση στην ταχύτητα προκαλεί μία ελαφρά μείωση της πίεσης. Αυτή η διαφορά πίεσεως κατά μήκος της αεροτομής παράγει την δύναμη άνωσης, η οποία είναι κάθετη στην κατεύθυνση της ροής του αέρα. Η κίνηση του αέρα πάνω από την αεροτομή παράγει, επίσης, μία δύναμη αντίστασης κατά τη κατεύθυνση της ροής του αέρα. Αυτός είναι ένας όρος απωλειών και ελαχιστοποιείται, όσο αυτό είναι δυνατόν, σε υψηλής απόδοσης ανεμογεννήτριες. Και οι δύο αυτές δυνάμεις, άνωση και αντίσταση, είναι ανάλογες της πυκνότητας του αέρα, της επιφάνειας της αεροτομής και του τετραγώνου της αιολικής ταχύτητας.



Εικόνα 3.7 Άνωση και αντίσταση σε ένα πτερύγιο

Στο παραπάνω σχήμα α είναι η γωνία ή πρόσπτωσης, είναι η γωνία μεταξύ της ευθείας της χορδής του πτερυγίου και της σχετικής κατεύθυνσης του ανέμου ή της αποτελεσματικής κατεύθυνσης της ροής του αέρα, και β που είναι η γωνία μεταξύ της ευθείας της χορδής του πτερυγίου και του επιπέδου περιστροφής. Το επίπεδο περιστροφής είναι το επίπεδο που σχηματίζουν τα ακροπτερύγια, καθώς περιστρέφονται. Τα ακροπτερύγια ουσιαστικά χαράσσουν έναν κύκλο, που βρίσκεται πάνω στο επίπεδο περιστροφής. Κανονικά, πλήρης ισχύς εξόδου θα μπορούσε να αποκτηθεί, όταν η κατεύθυνση του ανέμου είναι κάθετη στο επίπεδο περιστροφής. Η γωνία βήματος β είναι μία στατική γωνία, που εξαρτάται μόνο από τον προσανατολισμό του πτερυγίου.

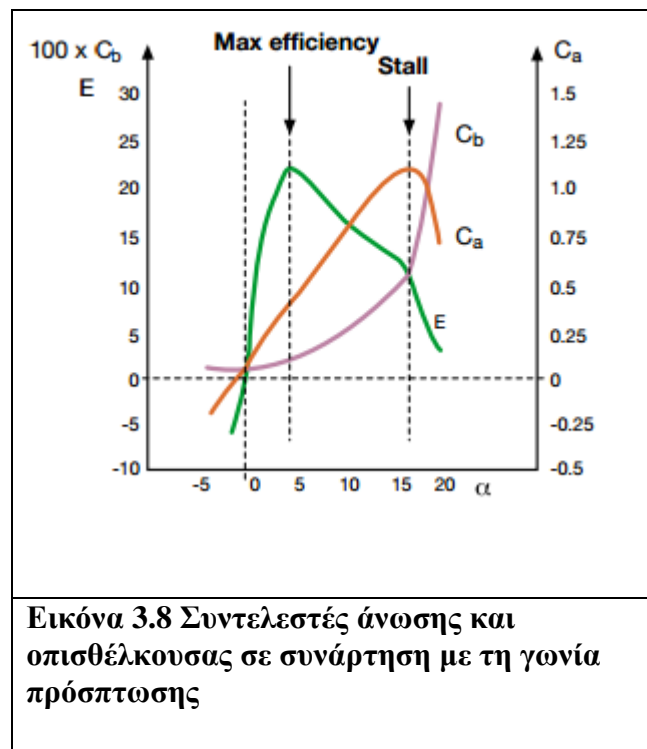
$$\delta = \alpha + \beta \text{ είναι η γωνία κατασκευής.}$$

Η άνωση και η οπισθέλκουσα δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$F_p = \frac{1}{2} \cdot C_a \cdot A \cdot \rho \cdot V^2 \quad (\text{Άνωση})$$

$$F_r = \frac{1}{2} \cdot C_b \cdot A \cdot \rho \cdot V^2 \quad (\text{οπισθέλκουσα})$$

Όπου: V η ταχύτητα του ανέμου
A η επιφάνεια του πτερυγίου
C_a ο συντελεστής άνωσης
C_b ο συντελεστής οπισθέλκουσας
ρ η πυκνότητα του αέρα



Το σχήμα δείχνει τις καμπύλες των δυο συντελεστών C_a και C_b ως συνάρτηση της γωνίας πρόσπτωσης. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι συντελεστής άνωσης C_a είναι περίπου ανάλογος με την γωνία πρόσπτωσης για τιμές μικρότερες από 15° και σε αντίθεση με τον συντελεστή οπισθέλκουσας C_b, μπορεί να γίνει αρνητική με συνέπεια η δύναμη ανύψωσης να μπορεί να αλλάξει κατεύθυνση (αρνητική άντωση).

Λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου

Είναι ο λόγος της γραμμικής ταχύτητας, λόγω περιστροφής, των ακροπτερυγίων προς την αιολική ταχύτητα.

$$\lambda = \frac{Vt}{V1} = \frac{\omega r \cdot R}{V1}$$

όπου: R το μήκος του πτερυγίου

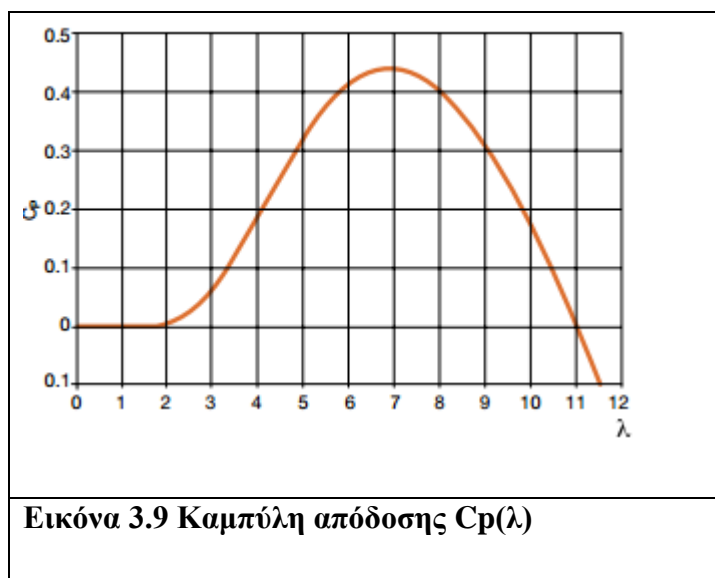
Ω η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας

Η γωνιακή ταχύτητα καθορίζεται από την ταχύτητα περιστροφής n (r/min) από την εξίσωση

$$\omega r = \frac{2\pi n}{60}$$

Ο συντελεστής απόδοσης ισχύος C_p μίας ανεμογεννήτριας δεν είναι μία σταθερά, αλλά ποικίλει με την αιολική ταχύτητα u, την ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας ωr και τις παραμέτρους των πτερυγίων, όπως είναι η γωνία πρόσπτωσης α και η γωνία βήματος πτερυγίου β .

Ο συντελεστής C_p εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του Α/Κ και στην απλούστερη περίπτωση είναι μία συνάρτηση του λόγου ακροπτερυγίου λ και της κλίσης β των πτερυγίων, (εικόνα 3.9) δηλαδή $C_p = f(\lambda, \beta)$, ενώ στην πράξη δεν ξεπερνάει την τιμή 0,5 λόγω των αεροδυναμικών απωλειών. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να λάβει είναι $C_{p,max} = 16/27 = 0,59$ ή 59% και καλείται «όριο Betz». Η πιο συνηθής μέθοδος παρουσίασης της απόδοσης ισχύος είναι μία αδιάστατη καμπύλη $C_p - \lambda$. Ο συντελεστής απόδοσης ισχύος C_p και παίρνει μέγιστη τιμή για μία συγκεκριμένη τιμή του λ . Η τιμή αυτή του λ καλείται βέλτιστη τιμή του λόγου ταχύτητας ακροπτερυγίου λ_{opt} .



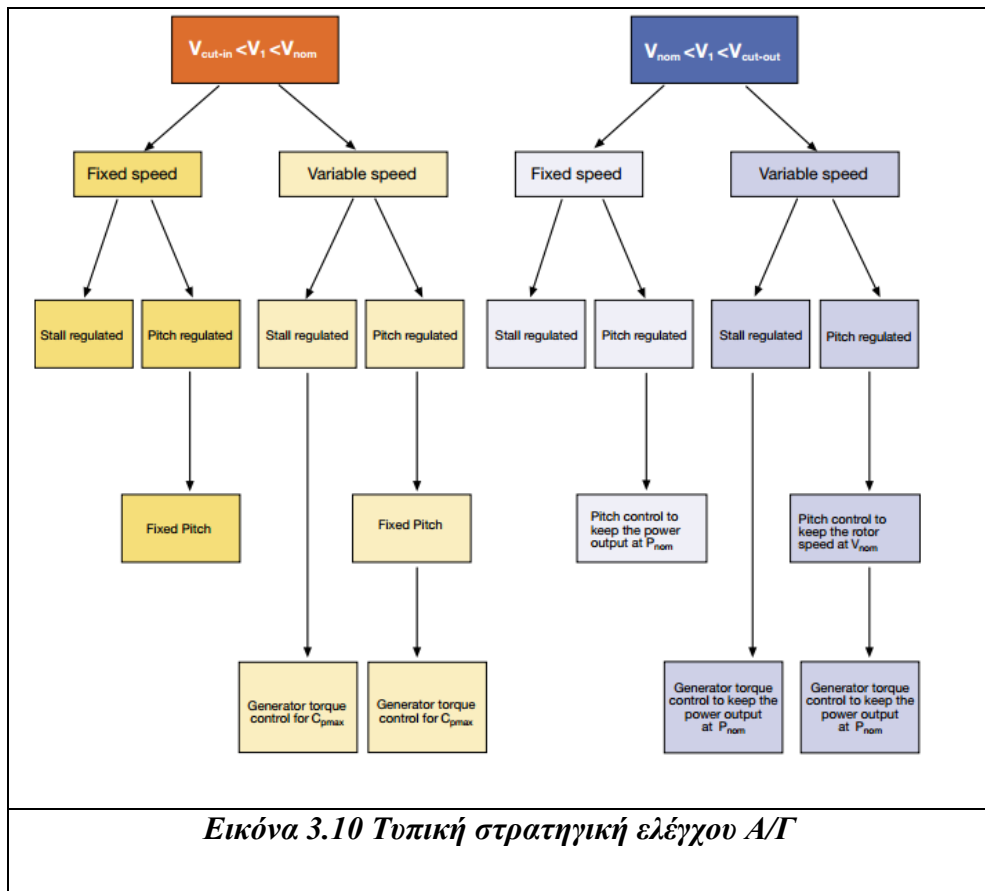
3.6 Αεροδυναμικός έλεγχος ισχύος Α/Γ

3.6.1 Οι στρατηγικές ελέγχου

Σε γενικές γραμμές, οι στόχοι των στρατηγικών ελέγχου των ανεμογεννητριών είναι:

- μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, διατηρώντας παράλληλα τη λειτουργία εντός των ορίων
- πρόληψη στα ακραία φορτία
- παροχή αποδεκτής ποιότητας ισχύος στο δίκτυο
- διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας του στροβίλου

Οι εν λόγω στόχοι επηρεάζονται από το λειτουργικό σύστημα του στροβίλου: στην πραγματικότητα, για ταχύτητες ανέμου χαμηλότερες από την ονομαστική, ο κύριος σκοπός είναι η μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας, ενώ για μεγαλύτερες ταχύτητες ο στόχος είναι ο περιορισμός της παραγόμενης ενέργειας κρατώντας τις τιμές κοντά στα ονομαστικά. Το παρακάτω σχήμα δείχνει μία τυπική στρατηγική ελέγχου ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου για ανεμογεννήτριες σταθερής και μεταβλητής ταχύτητας με Έλεγχο του βήματος πτερυγίου (pitch control) και Έλεγχο παθητικής απώλειας στήριξης (passive stall control).

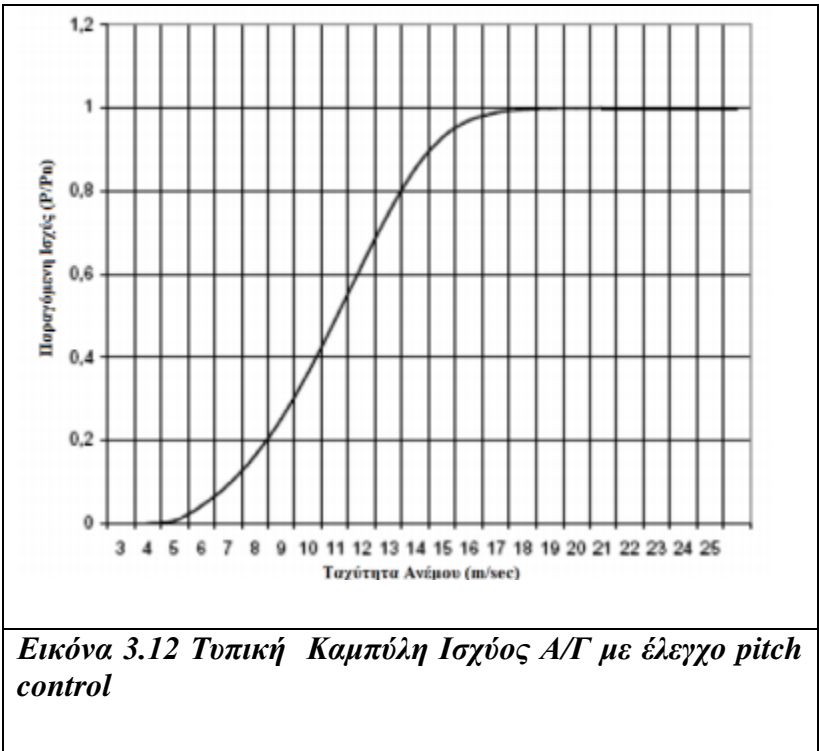


3.6.2 Τύποι ελέγχου των πτερυγίων των ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα συναντώνται με ένα ,δύο ή τρία πτερύγια, που αποτελούν τη φτερωτή ή αλλιώς την έλικα. Η επιλογή συνήθως των τριών πτερυγίων δεν είναι αυθαίρετη, αλλά αποτελεί συνδυασμό διάφορων παραγόντων. Βασικό κριτήριο είναι ο αεροδυναμικός συντελεστής που παίρνει μεγάλες τιμές για αριθμό πτερυγίων ίσο με 3, το κόστος κατασκευής τους, τα δυναμικά φορτία που αναπτύσσονται στην πλήμνη του δρομέα, την ταχύτητα περιστροφής τους, τα επίπεδα θορύβου και το συνολικό βάρος τους. Πέραν όμως του αριθμού των πτερυγίων, το σημαντικότερο με το οποίο διαχωρίζονται οι ανεμογεννήτριες είναι ο τύπος ελέγχου των πτερυγίων που χρησιμοποιούνται. Διακρίνονται τρεις βασικοί τύποι ελέγχου πτερυγίων που αναλύονται παρακάτω.

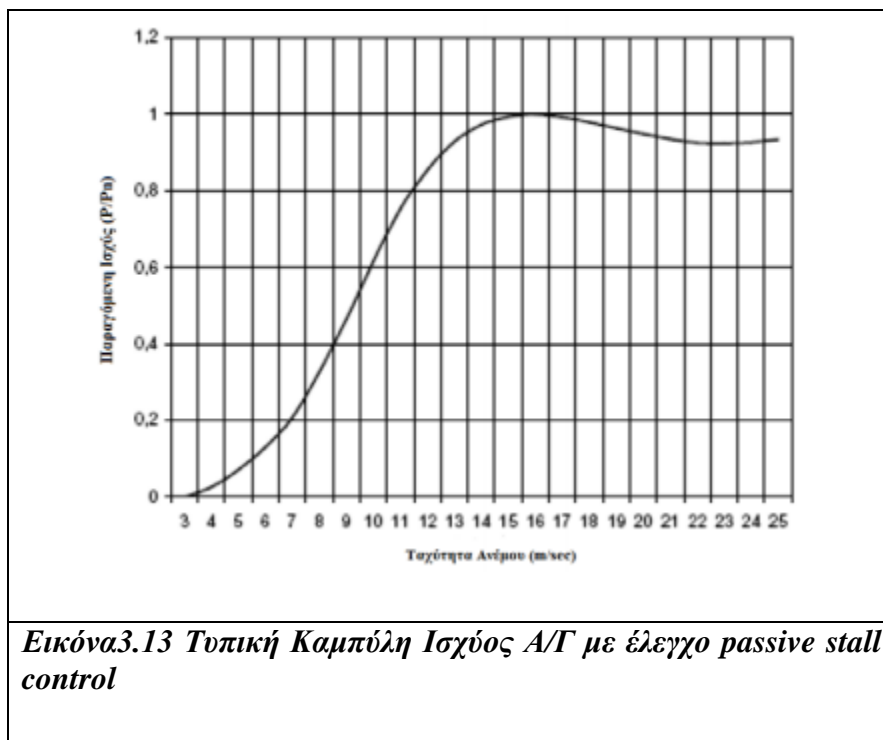
3.6.2.1 Έλεγχος του βήματος πτερυγίου (pitch control)

Το χαρακτηριστικό αυτών των πτερυγίων είναι η δυνατότητα περιστροφής κατά το διαμήκη άξονα τους. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατός ο έλεγχος της γωνίας πρόσπτωσης του ανέμου και κατά προέκταση της απορριφθείσας αεροδυναμικής ισχύος από το δρομέα. Σε αυτού του τύπου πτερύγια ο αεροδυναμικός συντελεστής ισχύος c_p αποτελεί συνάρτηση εκτός του λ και της γωνίας pitch. Έτσι επιτυγχάνεται περιορισμός της ισχύος πάνω από την ονομαστική ταχύτητα ανέμου, για λόγους ασφαλείας, ώστε η ανεμογεννήτρια να παράγει την ονομαστική ισχύ για μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου λειτουργώντας στο νέο μέγιστο αεροδυναμικό συντελεστή που ορίζεται για τις διαφορετικές γωνίες pitch . Με αυτόν τον τρόπο, η ανεμογεννήτρια λειτουργεί σε αυτό το φάσμα ταχυτήτων ανέμου, στις ονομαστικές της στροφές, που αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα αυτού του τύπου. Άλλα πλεονεκτήματα είναι η καλύτερη απόδοση σε χαμηλούς ανέμους και η μείωση των φορτίων κόπωσης στα πτερύγια και γενικότερα σε όλο το σύστημα της ανεμογεννήτριας . Στα μειονεκτήματα συγκαταλέγονται η αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω του συστήματος ελέγχου τους, αλλά και λόγω της χρήσης υδραυλικών κι ηλεκτρομηχανικών μέσων, τα οποία αυξάνουν και την ανάγκη συντήρησης αυτών των πτερυγίων, καθώς κι η κόπωση των πτερυγίων λόγω αδρανειακής φόρτισης.



3.6.2.2 Έλεγχος παθητικής απώλειας στήριξης (passive stall control)

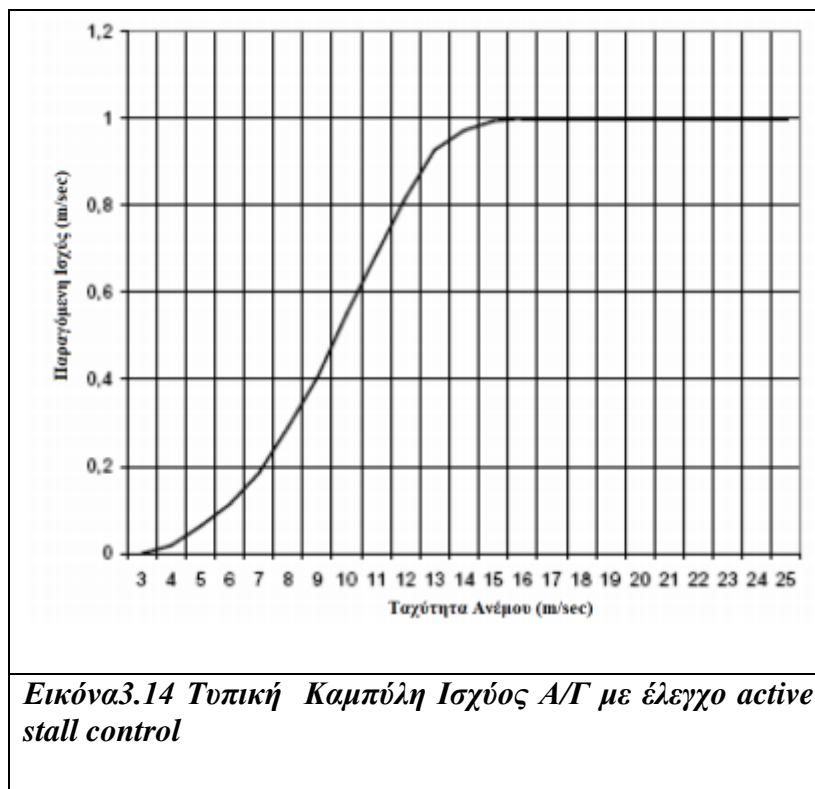
Οι ανεμογεννήτριες με αεροδυναμικό έλεγχο (stall control) της ροής και της ισχύος που δεσμεύει ο δρομέας διαθέτουν πτερύγια με σταθερή γωνία, τα οποία παρουσιάζουν απώλεια αεροδυναμικής στήριξης σε υψηλούς ανέμους. Με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η αναπτυσσόμενη ροπή κι άρα η παραγόμενη ισχύς. Τύπος παθητικού stall αποτελεί και το furling, το οποίο συναντάται συχνά στις μικρές ανεμογεννήτριες, εδώ ο περιορισμός της ισχύος επιτυγχάνεται μέσω αλλαγής της γωνίας πρόσπτωσης της κύριας κατεύθυνσης ανέμου προς τη φτερωτή, το οποίο βασίζεται στην ουρά που διαθέτουν αυτού του τύπου ανεμογεννήτριες. Τα θετικά αυτών των πτερυγίων αφορούν στην απλότητα, στο χαμηλό κόστος, στην αξιοπιστία και στην ελάχιστη ανάγκη συντήρησής τους. Τα κύρια μειονεκτήματά τους είναι τα υψηλότερα δυναμικά φορτία που δέχεται ο δρομέας κι η αδυναμία ελέγχου και ρύθμισης της ισχύος εξόδου. Επιπλέον, υπάρχει ελλιπής κατανόηση του δυναμικού φαινομένου stall κι είναι δυνατόν να εμφανιστούν μεταβολές της καμπύλης ισχύος με την πάροδο του χρόνου.



3.6.2.3 Έλεγχος ενεργητικής απώλειας στήριξης (active stall control)

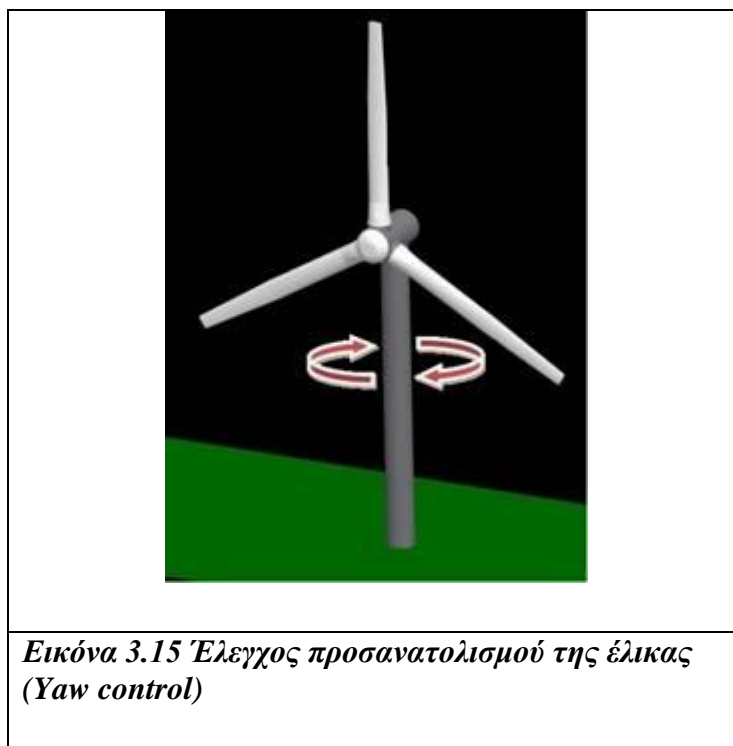
Τα τελευταία χρόνια έχει εμφανιστεί ο ενεργός έλεγχος της γωνίας βήματος των πτερυγίων. Ο έλεγχος active stall συνδυάζει ουσιαστικά τα θετικά των δύο παραπάνω ελέγχων, αφού βασίζεται στην ίδια αρχή με αυτή του pitch, αλλά χρησιμοποιώντας την ικανότητα της απώλειας της αεροδυναμικής στήριξης (stall) των πτερυγίων, αποφεύγονται τα μεγάλα δυναμικά φορτία κι οι διακυμάνσεις της ισχύος, τα οποία λαμβάνουν χώρα στον κλασικό έλεγχο του βήματος των πτερυγίων. Η διαφορά τους έγκειται στο ότι η γωνία

pitch μεταβάλλεται αντίθετα στον ενεργό έλεγχο, μειώνοντας κατά αυτόν τον τρόπο το πλεόνασμα της αεροδυναμικής ισχύος που απορροφάται από την έλικα. Επομένως, παρουσιάζει γενικά μεγαλύτερη παραγωγή από τον παθητικό έλεγχο, αφού η γωνιά των πτερυγίων βελτιστοποιείται σύμφωνα με τον υπάρχον άνεμο. Η ικανότητα των πτερυγίων να αλλάζουν μέχρι και 90 μοίρες τη γωνία τους (feathering) μειώνει την ύπαρξη χαρακτηριστικά μεγάλων φορτίων κόπωσης, με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους. Με τη ρύθμιση της γωνίας των πτερυγίων είναι πιθανή η πιο ομαλή έγχυση ισχύος στο δίκτυο κατά την ταχύτητα ένταξης και η διακοπή παροχής ισχύος κατά το "κλείσιμο" της ανεμογεννήτριας στην ταχύτητα αποκοπής (cut-off speed), έχοντας ως αποτέλεσμα δημιουργία μικρότερου θορύβου στο δίκτυο σε αυτές τις δύο ακραίες περιπτώσεις. Ο έλεγχος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως σε μεγάλης ονομαστικής ισχύος ανεμογεννήτριες της τάξεως των MW.



3.6.2.4 Έλεγχος προσανατολισμού της έλικας (Yaw control)

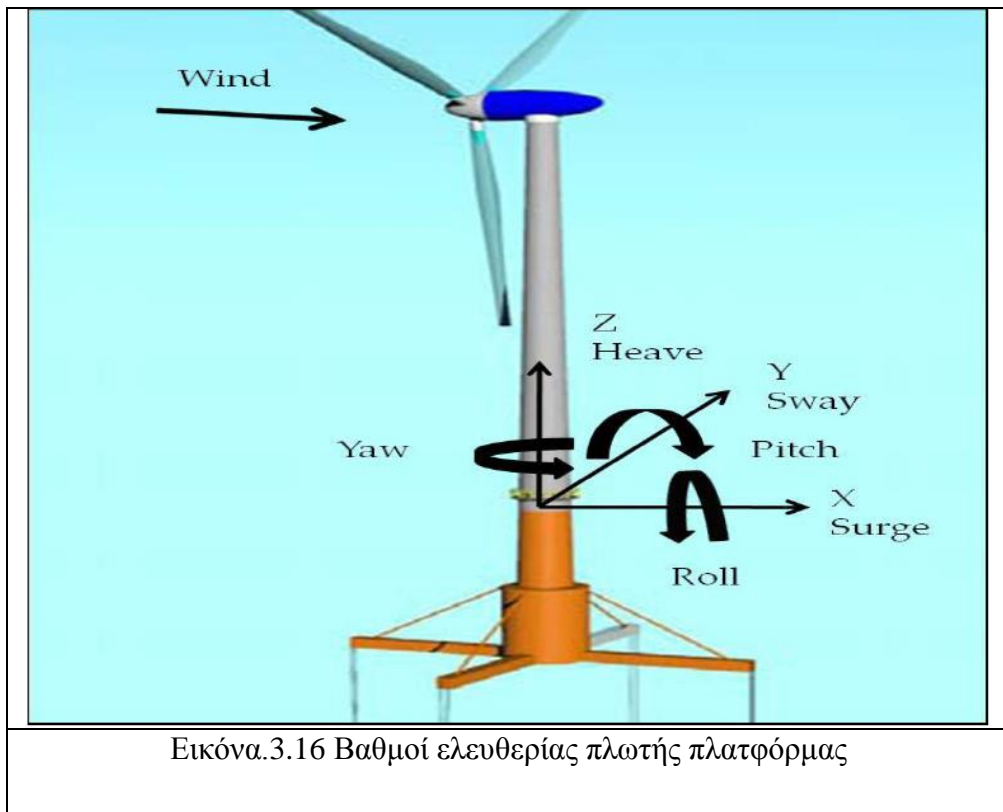
Εκτροπής είναι η γωνία περιστροφής της ατράκτου γύρω από τον κάθετο άξονά του. Αποτελεσματικός έλεγχος εκτροπής είναι απαραίτητη για να εξασφαλιστεί ότι οι ανεμογεννήτριες πάντα αντιμετωπίζουν άμεσα στον άνεμο. Bonfiglioli κιβώτια ευθυγράμμιση της ατράκτου με ακρίβεια με την κατεύθυνση του ανέμου. Αρά τις μικρές διαστάσεις τους και το χαμηλό βάρος, αυτά τα κιβώτια είναι εξαιρετικά ανθεκτικά και διαδραματίζουν θεμελιώδη ρόλο στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας σε όλο τον κόσμο.



3.7 Υδροδυναμική ανάλυση

Η υδροδυναμική ανάλυση αφορά το υδροδυναμικό και το κινηματικό φορτίο της πλατφόρμας καθώς και το σύστημα αγκυροβόλησης, κατά την ανάλυση αυτή γίνονται δύο παραδοχές. Η πρώτη παραδοχή είναι ότι η πλατφόρμα θεωρείται άκαμπτο σώμα με 6 βαθμούς ελευθερίας (εικόνα 3.16), 3 περιστροφικούς (περιστροφή, πρόνευση, και γωνιακή απόκλιση) και 3 μεταφορικούς (ταλάντωση εμπρός πίσω, πλευρική ταλάντωση, και ταλάντωση πάνω κάτω) και η δεύτερη παραδοχή αφορά τον τρόπο αντιμετώπισης του υδροδυναμικού προβλήματος, σύμφωνα με τον οποίο γίνεται γραμμικοποίηση του προβλήματος με τις εξής επιμέρους παραδοχές:

- το πλάτος του κύματος είναι πολύ μικρότερο από το μήκος του
- οι μετατοπίσεις της πλατφόρμας είναι μικρές σε σχέση με το μέγεθος της
- δεν υπάρχει θαλάσσιο ρεύμα
- αγνοείται το φορτίο που προκαλείται από τα επιπλέοντα θραύσματα και τον πάγο



Εικόνα.3.16 Βαθμοί ελευθερίας πλωτής πλατφόρμας

Με την ενσωμάτωση και των 6 βαθμών ελευθερίας της πλωτής πλατφόρμας γίνεται η σύζευξη στην κίνηση της πλατφόρμας και της ανεμογεννήτριας. Έτσι το αδρανειακό σύστημα συντεταγμένων (XYZ) μετατρέπεται στο κινούμενο σύστημα (xyz) και οι κινηματικές εξισώσεις της θέσης, της ταχύτητας και της επιτάχυνσης εξαρτώνται από τους βαθμούς ελευθερίας αυτής.

$$M_{ij}(q, u, t)\ddot{q}_j = f_i(q, \dot{q}, u, t)$$

Η παραπάνω σχέση είναι η μη-γραμμική εξίσωση κίνησης στο πεδίο του χρόνου

Όπου ***M_{ij}***: μητρώο αδρανειακής μάζας

q: βαθμοί ελευθερίας

u: δεδομένα εισόδου

t: χρόνος

f_i: εξίσωση δύναμης

Το φορτίο που ασκείται στην πλωτή πλατφόρμα είναι:

$$F_i = -A_{ij} \cdot \ddot{q}_j + F_i(\text{υδρο}) + F_i(\text{γραμμών})$$

Όπου A_{ij} : το μητρώο υδροδυναμικής μάζας

$F_i(\text{υδρο})$: η υδροδυναμική δύναμη στην πλατφόρμα

$F_i(\text{γραμμών})$: η δύναμη στην πλατφόρμα όλων των σχοινηών πρόσδεσης

Η εξίσωση του γραμμικοποιημένου υδροδυναμικού φορτίου συναρτήσει του χρόνου χωρίζεται σε τρία απλούστερα προβλήματα: σκέδασης, υδροστατικής, και ακτινοβολίας.

$$f_i = F_i^{\text{waves}} + F_i^{\text{lines}} + \rho g V_0 \delta_{i3} - C_{ij}^{\text{hydrostatic}} q_j - \int_0^t K_{ij}(t-\tau) \dot{q}_j(\tau) dt$$

Όπου $\rho g V_0 \delta_{i3}$: αντιπροσωπεύει την άνωση από την αρχή του Αρχιμήδη.

Ο όρος $C_{ij}^{\text{hydrostatic}} q_j$ αντιπροσωπεύει την αλλαγή της υδροστατικής δύναμης και ροπής λόγω της επίδρασης της ίσαλου επιφάνειας και του κέντρου άνωσης της κινούμενης πλατφόρμας. Η εξίσωση του όρου $C_{ij}^{\text{hydrostatic}}$ μας παρέχει την πληροφορία ότι η υδροστατική μπορεί να επαναφέρει μόνο τις μετατοπίσεις της πάνω-κάτω ταλάντωσης (heave), της περιστροφής (roll) και της πρόνευσης (pitch). Ελαχιστοποίηση της κίνησης στους άλλους βαθμούς ελευθερίας επιτυγχάνεται μέσω του συστήματος αγκυροβόλησης.

Ο όρος $\int_0^t K_{ij}(t-\tau) \dot{q}_j(\tau) dt$ αναφέρεται στο πρόβλημα ακτινοβολίας και αντιπροσωπεύει το φορτίο της απόσβεσης της ακτινοβολίας του κύματος. Για να μειωθεί το φορτίο από την ακτινοβολία του κύματος, η πλατφόρμα πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο μέρος της έξω από την επιφάνεια της θάλασσας

Οι υδροδυναμικές φορτίσεις είναι φορτίσεις που προκαλούνται από κυματισμούς και προκαλούνται από τους εξής μηχανισμούς:

Δυνάμεις Froude-Kryloff

Ασκούνται στο νοητό περίγραμμα της κατασκευής από τους θαλάσσιους κυματισμούς. Κύρια θεώρηση για τον προσδιορισμό τους είναι ότι η παρουσία της κατασκευής δεν παραμορφώνει το πεδίο ροής. Για τον υπολογισμό τους, γίνεται ολοκλήρωση της πίεσης του πεδίου ροής του απλού αρμονικού κυματισμού στη βρεχόμενη επιφάνεια της κατασκευής.

Δυνάμεις περίθλασης

Σε αυτή την περίπτωση δυνάμεων, λαμβάνεται υπόψη η παρουσία της κατασκευής και η παραμόρφωση που υφίσταται το πεδίο ροής λόγω αυτής. Εάν θεωρηθεί πως το σώμα είναι ακίνητο, τότε στο δυναμικό της ροής του απλού αρμονικού κυματισμού προστίθεται και το δυναμικό περίθλασης, το οποίο οφείλεται στην παραμόρφωση της ροής. Το άθροισμα αυτών, δίνει τις δυνάμεις περίθλασης.

Δυνάμεις ακτινοβολίας

Εάν θεωρηθεί πως το σώμα κινείται, τότε το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία κυματισμών και κατ' επέκταση η δημιουργία ενός δυναμικού ροής που προκαλεί στο σώμα δυνάμεις. Αυτό το δυναμικό προστίθεται με τη σειρά του στα προηγούμενα δυναμικά επάγοντας τις δυνάμεις ακτινοβολίας.

Δυνάμεις αντίστασης

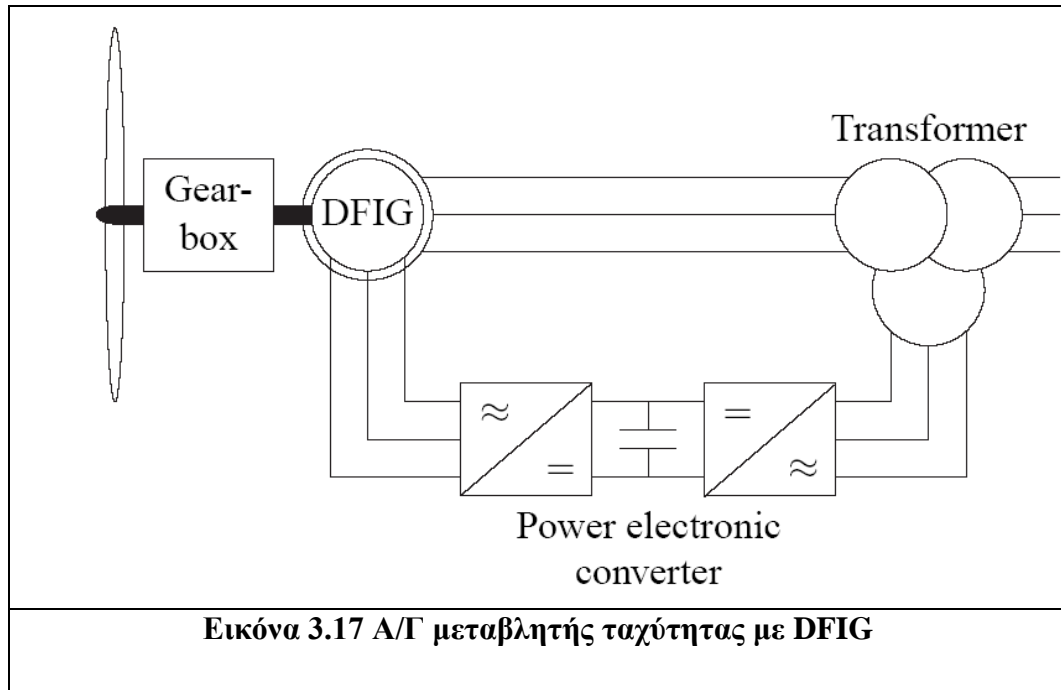
Οφείλονται στη συνεκτικότητα του πεδίου ροής και είναι ανάλογες με το τετράγωνο της ταχύτητας.

3.8 Ανεμογεννήτρια μεταβλητής ταχύτητας με επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδοσίας δακτυλοφόρου δρομέα (DFIG)

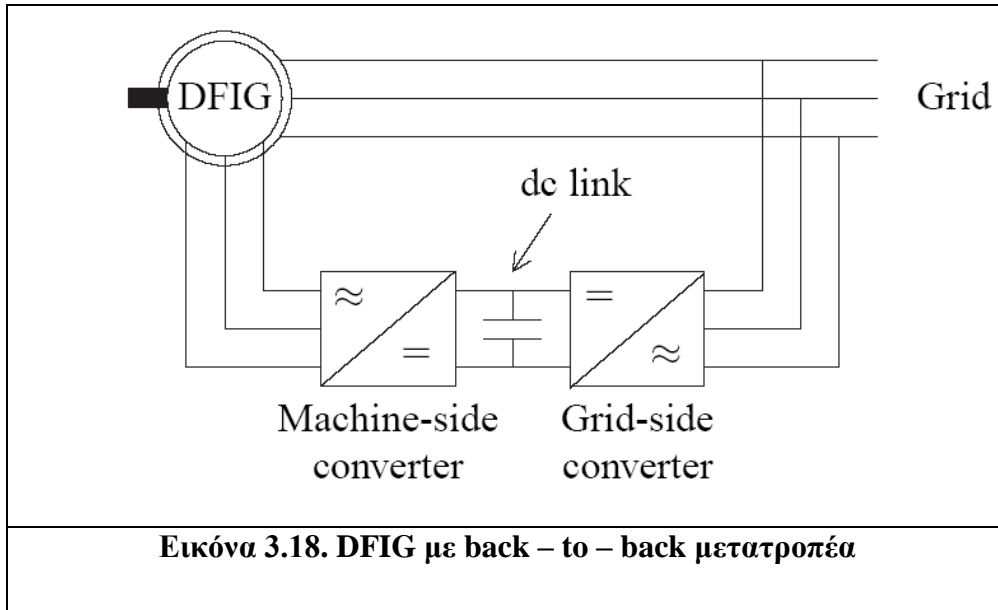
Η γεννήτρια επαγωγής διπλής τροφοδότησης (DFIG), κερδίζει συνεχώς έδαφος στη σημερινή αγορά. Η επαγωγική γεννήτρια διπλής τροφοδότησης (DFIG) δεν είναι παρά μια γεννήτρια δακτυλοφόρου δρομέα. Ο στάτης συνδέεται απευθείας στο δίκτυο, ενώ ο δρομέας συνδέεται με αυτό μέσω ενός back-to-back μετατροπέα ισχύος. Η σύνδεση με πηγή τάσης τόσο του στάτη, όσο και του δρομέα δικαιολογεί την έννοια της διπλής τροφοδότησης (doubly fed). Ο όρος “doubly fed” αναφέρεται στο γεγονός ότι η τάση στο στάτη εφαρμόζεται από το δίκτυο και η τάση στο δρομέα προκαλείται από το μετατροπέα ισχύος. Το σύστημα αυτό επιτρέπει λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας γύρω από ένα μεγάλο αλλά με συγκεκριμένα όρια εύρος. Ο μετατροπέας εξισορροπεί τη διαφορά ανάμεσα στη μηχανική και την ηλεκτρική συχνότητα δίνοντας ένα ρεύμα δρομέα με μεταβλητή συχνότητα.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται αποτελείται από μια ανεμογεννήτρια με DFIG, όπου ο στάτης είναι απευθείας συνδεδεμένος με το δίκτυο ενώ τα τυλίγματα του δρομέα είναι συνδεδεμένα διαμέσου δακτυλιδιών ολίσθησης με έναν μετατροπέα. Το σύστημα αυτό έχει γίνει πολύ δημοφιλές τελευταία διότι εδώ ο μετατροπέας χειρίζεται μόνο ένα κλάσμα 20-30% της συνολικής ισχύος. Έτσι οι απώλειες στον ηλεκτρονικό μετατροπέα μπορούν

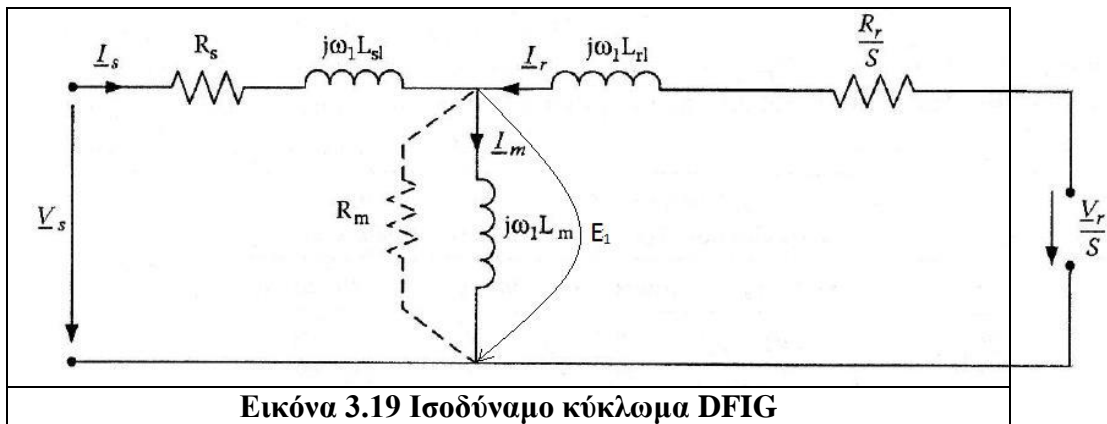
να μειωθούν σε σχέση με ένα σύστημα του οποίου ο μετατροπέας έχει να χειριστεί τη συνολική ισχύ.



Ο back-to-back μετατροπέας ισχύος αποτελείται από δύο όμοιους τριφασικούς μετατροπείς πηγής τάσης με διακόπτες IGBT ελεγχόμενους από ρεύμα. Οι δύο επιμέρους μετατροπείς συνδέονται μεταξύ τους σε έναν DC κλάδο. Έχουμε δηλαδή την κλασική τοπολογία μετατροπέα AC/DC/AC με το DC κλάδο να δημιουργείται μέσω πυκνωτή. Η χρήση αυτής της διάταξης προσφέρει την δυνατότητα αμφίδρομης ροής ισχύος. Με βάση τις συνθήκες λειτουργίας, ισχύς ρέει μέσα ή έξω από το δρομέα. Σε μια υπερ-σύγχρονη κατάσταση, η ισχύς ρέει από το δρομέα διαμέσου του μετατροπέα προς το δίκτυο, ενώ σε μια υπο-σύγχρονη κατάσταση έχουμε ροή προς την αντίθετη κατεύθυνση. Και στις δυο περιπτώσεις ο στάτης τροφοδοτεί με ενέργεια το δίκτυο.



Το ισοδύναμο κύκλωμα της DFIG στην μόνιμη κατάσταση με τα μεγέθη ανηγμένα στον στάτη δίνεται στην (εικόνα 3.19)



Ροή ισχύος στην DFIG

Στην υπερσύγχρονη λειτουργία ο δρομέας τροφοδοτεί το δίκτυο (μέσω του back-to-back μετατροπέα) με ισχύ, ενώ στην υποσύγχρονη λειτουργία απορροφά ισχύ από αυτό. Η επιθυμητή λειτουργία είναι αυτή με μικρή ολίσθηση όπως βλέπουμε από την παρακάτω σχέση η οποία δίνει την ισχύ ολίσθησης.

$$Pr = -sPs$$

Όπου s : η ολίσθηση

P_s : η ισχύς του στάτη

Η συνολική ηλεκτρική ισχύ που παρέχει η γεννήτρια στο δίκτυο δίνεται από την σχέση:

$$P_{εξόδου} = P_{στάτη} - sP_{στάτη}$$

Η ισχύς αυτή, αυξάνεται για ταχύτητες δρομέα μεγαλύτερες από τη σύγχρονη και παίρνει τη μέγιστη τιμή της, στη μέγιστη αρνητική ολίσθηση. Η γεννήτρια διπλής τροφοδότησης παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα. Έχει την ιδιότητα να ελέγχει ανεξάρτητα την πραγματική από την άεργο ισχύ μέσω του ρεύματος στο ρότορα. Δεν είναι αναγκαίο να μαγνητιστεί από το δίκτυο, απαιτώντας άεργο ισχύ από αυτό καθώς μπορεί να εξασφαλίσει το απαραίτητο ρεύμα μαγνήτισης μέσα από το κύκλωμα του δρομέα. Έχει επίσης την ικανότητα να παράγει άεργο ισχύ, η οποία τροφοδοτείται στο δίκτυο μέσω του μετατροπέα που βρίσκεται προς την πλευρά του δικτύου. Παρόλα αυτά αυτός ο μετατροπέας υπό κανονικές συνθήκες λειτουργεί υπό μοναδιαίο συντελεστή ισχύος και δεν εμπλέκεται σε ανταλλαγή άεργου ισχύος ανάμεσα στην ανεμογεννήτρια και το δίκτυο. Στην περίπτωση που το δίκτυο είναι ασθενές με διακυμάνσεις στην τάση, η γεννήτρια διπλής τροφοδότησης μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να παράγει ή να καταναλώνει ένα ποσό άεργου ισχύος με σκοπό τον έλεγχο της τάσης. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της ΓΕΔΤ είναι η διαδικασία είναι η διαδικασία εκκίνησης και συγχρονισμού της γεννήτριας με το δίκτυο. Ο συγχρονισμός είναι γρήγορος και εύκολος γιατί μπορεί να γίνει σε οποιαδήποτε ταχύτητα $\omega_r = \omega_1 \cdot (1 - |S_{max}|)$ ελέγχοντας το μετατροπέα από την πλευρά του δρομέα και επιδιώκοντας να συγχρονίσει τις τάσεις του στάτη και του δικτύου τόσο σε μέτρο όσο και σε φάση. Η όλη διαδικασία είναι σύντομη μιας και τα ρεύματα του δρομέα ελέγχονται γρήγορα, χωρίς να απαιτείται κανένας έλεγχος και συμβολή του μηχανικού μέρους της μηχανής (pitch control).

Το βασικό μειονέκτημα της γεννήτριας αυτής είναι η χρήση δαχτυλιδιών και ψηκτρών στο κύκλωμα του δρομέα, που έχει ως αποτέλεσμα πέρα από τις απώλειες που εισάγουν, η φθορά τους να απαιτεί συχνό έλεγχο και συντήρηση. Επιπλέον απαιτεί κυκλώματα αυξημένης προστασίας των μετατροπέων σε περιπτώσεις σφαλμάτων.

3.9 Κριτήρια για την κατάλληλη τοποθεσία

Για την κατάλληλη τοποθέτηση εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου πρέπει να τηρούνται κάποια κριτήρια όπως:

Αιολικό δυναμικό

Ο βασικός σκοπός κατά το σχεδιασμό του έργου είναι η μεγιστοποίηση της παραγόμενης ενέργειας. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητο να εξετάζονται και να αξιολογούνται οι μετεωρολογικές συνθήκες και οι ανεμολογικές προβλέψεις στην ευρύτερη περιοχή που θα εγκατασταθούν οι ανεμογεννήτριες. Προκειμένου να βρούμε τις βέλτιστες περιοχές για τη τοποθέτηση των ανεμογεννητριών, χρησιμοποιούνται πληροφορίες από χάρτες υπεράκτιου αιολικού δυναμικού, από μετεωρολογικούς ιστούς, δορυφορικά αρχεία ή και δεδομένα από κοντινές περιοχές προσαρμοσμένα κατάλληλα. Είναι δυνατή η προσομοίωση των χαρακτηριστικών του ανέμου σε κάθε σημείο εγκατάστασης στη δεδομένη περιοχή για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας κάθε ανεμογεννήτριας.

Βάθος και μορφολογία πυθμένα

Το βάθος και η φύση του βυθού της θάλασσας είναι παράγοντες που πρέπει να εξετάζονται. Οι επιλογές που υπάρχουν όσον αφορά τις κατασκευές έδρασης είναι περιορισμένες και αυτό έχει σημαντική επίπτωση στο συνολικό κόστος εγκατάστασης. Το βασικότερο κριτήριο 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. Οι περιπτώσεις που εξετάζονται, ανάλογα με το βάθος εγκατάστασης είναι:

- 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 μέσα βάθη (< 50m). Παρουσιάζει μεγαλύτερες τεχνικές δυσκολίες αλλά θεωρείται σχετικά βαθιά τεχνολογία που σίγουρα θα μπορεί να εφαρμοστεί στον χρονικό ορίζοντα ενδιαφέροντός μας χωρίς ιδιαίτερα τεχνικά προβλήματα.
- Εγκατάσταση σε μεγάλα βάθη (> 50m). Η αντίστοιχη τεχνολογία είναι ακόμα σε επίπεδο ανάπτυξης και επίδειξης.

Πρόσβαση για συντήρηση

Οι ανεμογεννήτριες θα πρέπει να είναι εύκολα προσβάσιμες για τις εργασίες της συντήρησης και επισκευής. Θα πρέπει λοιπόν, να εξετάζεται η απόσταση από την ακτή και τους σταθμούς εξυπηρέτησης, αφού μπορεί να επηρεάσουν τόσο το χρόνο όσο και το κόστος ανέγερσης του αιολικού πάρκου, καθώς και τις εργασίες συντήρησης. Επιπλέον, μπορεί να οδηγήσουν στην ανάγκη κατασκευής πλωτών εγκαταστάσεων συντήρησης, ιδίως για τα μεγάλα αιολικά πάρκα.

Οπτική όχληση

Προκειμένου να αποφευχθεί η συγκέντρωση μεγάλου αριθμού Α/Γ πολύ κοντά στην ακτή υιοθετήθηκαν κριτήρια καθορισμού της μέγιστης συγκέντρωσης μηχανών σε συνάρτηση με το μέγεθός τους και την απόστασή τους από την ακτογραμμή. Προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν οι περιορισμοί αυτοί ορίζουμε (Εικόνα 3.20)

Ύψος της μηχανής το μέγιστο ύψος αυτής $H = \text{ύψος πλήμνης} + \frac{1}{2} \text{ της διαμέτρου (D) του δρομέα}$

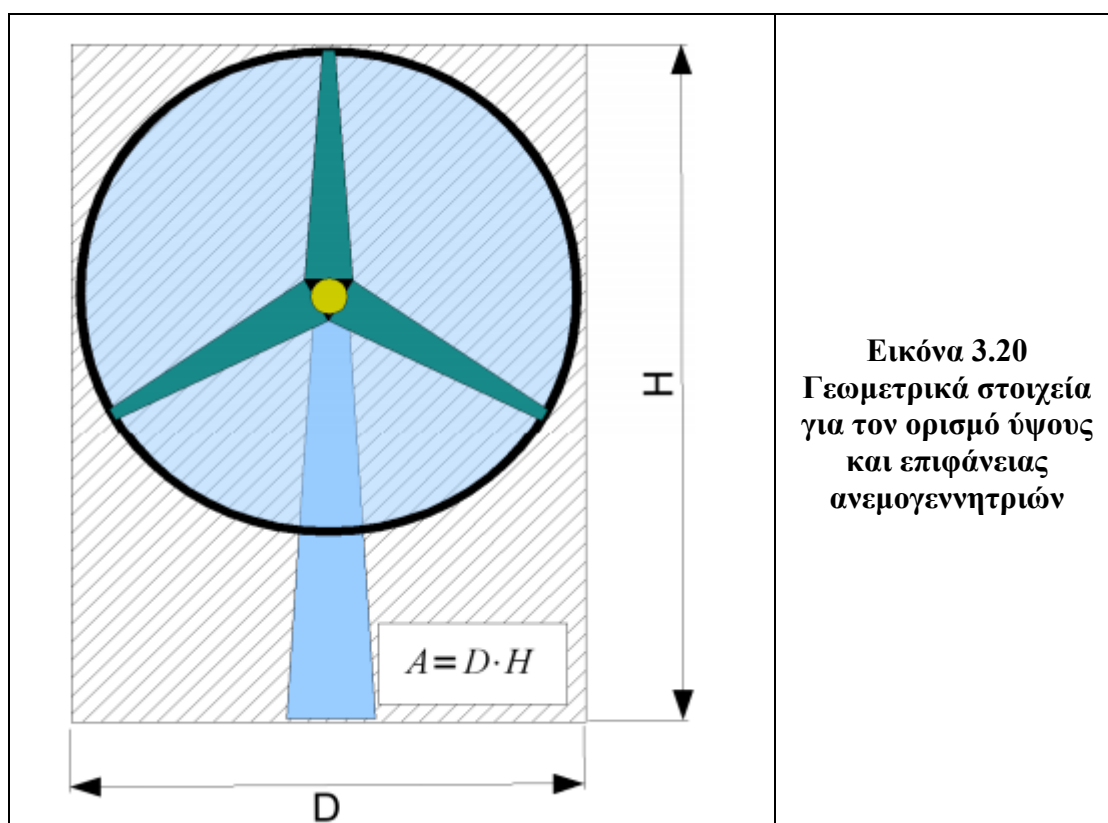
Επιφάνεια της μηχανής (A) το γινόμενο του μέγιστου ύψους (H) επί τη διάμετρο (D) του δρομέα.

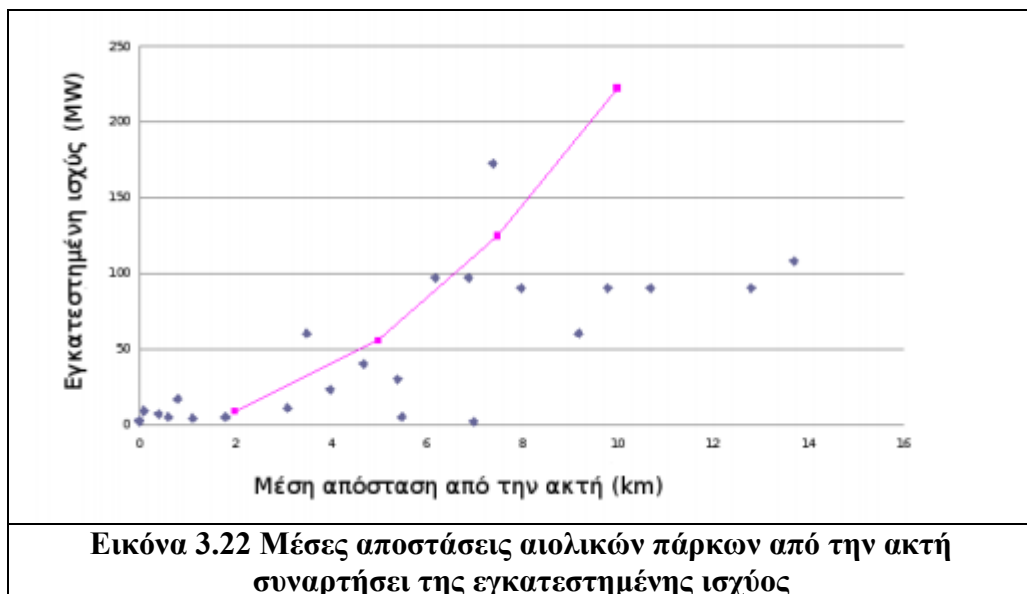
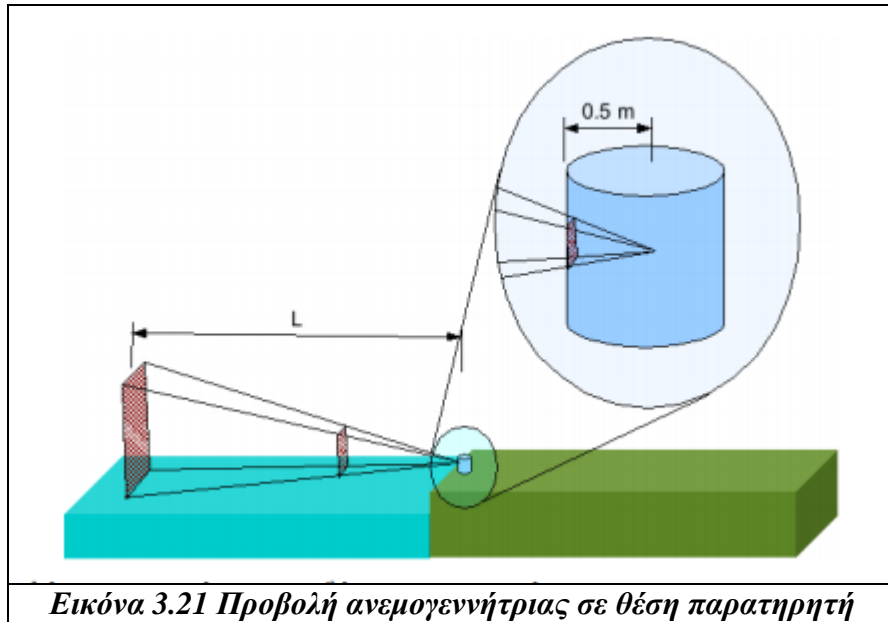
Για να ορίσουμε το επίπεδο της οπτικής όχλησης που δημιουργεί μία μηχανή τοποθετημένη σε απόσταση L από τη θέση παρατήρησης χρησιμοποιούμε την προβολή του ύψους και της επιφάνειας σε απόσταση 0,5m από τη θέση παρατήρησης (Σχήμα 2). Κατ' αυτό τον τρόπο ορίζουμε

$$\text{Ορατό ύψος της μηχανής} \quad H_{op} = (0.5m/L) * H$$

$$\text{Ορατή επιφάνεια της μηχανής} \quad A_{op} = (0.5m/L)^2 * A$$

Θα πρέπει να επισημανθεί ότι, όπως φαίνεται και στο σχήμα, σε πάρκα μεγάλης ισχύος οι περιορισμοί που έχουν τεθεί οδηγούν σε αποστάσεις που είναι κάποιες φορές μικρότερες από αυτές στις οποίες έχουν χωρομετρηθεί αντίστοιχα πάρκα σε άλλες χώρες. Αυτό κρίθηκε απαραίτητο δεδομένου ότι στον ελλαδικό χώρο υπάρχουν ελάχιστες εκτάσεις με αβαθή ύδατα σε μεγάλη απόσταση από την ακτογραμμή, ενώ και ο περιορισμός των 6 ναυτικών μιλίων μειώνει ακόμα περισσότερο τις διαθέσιμες περιοχές.





Θόρυβος

Αυτός ο παράγοντας δεν είναι σημαντικός, δεδομένου ότι ο θόρυβος που δημιουργείται από τις ανεμογεννήτριες έχει μειωθεί. Τα επίπεδα του θορύβου μπορούν επίσης να υπολογιστούν και να εξεταστούν ώστε το πάρκο να είναι συμβατό με τα αποδεκτά επίπεδα ήχου όπως ορίζονται από την εθνική νομοθεσία, κυρίως για την επιρροή τους στη θαλάσσια ζωή.

Απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών

Υπάρχει μια ελάχιστη αποδεκτή απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών, λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις από τη δημιουργία ομίχρας μεταξύ των ανεμοκινητήρων.

Τύπος ανεμοκινητήρα

Ο τύπος του ανεμοκινητήρα που θα χρησιμοποιηθεί στις διάφορες τοποθεσίες εξαρτάται από τις συνθήκες του ανέμου, των κυμάτων, του βάθους και της μορφολογίας του βυθού.

Επιπτώσεις στο οικοσύστημα

Το αιολικό πάρκο ενδέχεται να έχει επιπτώσεις στο οικοσύστημα, καθώς μπορεί να ταράξει την μέχρι τώρα ζωή των ψαριών, των θαλάσσιων θηλαστικών και των πτηνών που βρίσκονται στην περιοχή.

Θεσμικοί περιορισμοί

Πρέπει να λαμβάνονται υπόψη η ναυσιπλοΐα, η αλιεία και οι δρόμοι του θαλάσσιου εμπορίου. Ανάλογα με το μέγεθος του αιολικού πάρκου, είναι πιθανό να επηρεάζονται τα δρομολόγια των εμπορικών πλοίων. Υπάρχουν διάφοροι περιορισμοί, που διαφοροποιούνται από χώρα σε χώρα, στην τοποθέτηση των υπεράκτιων κατασκευών, που συνοψίζονται στους παρακάτω τίτλους:

- εμπορική ναυτιλία
- αλιεία και αναπαραγωγή ψαριών
- βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου
- προστατευόμενες περιοχές
- εθνική άμυνα
- αισθητική παρέμβαση

3.10 Διασύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο

3.10.1 Ηλεκτρικές Υποδομές

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 στους εξής τομείς:

- 1) Το εσωτερικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου.
- 2) Ο υπεράκτιος σταθμός μετατροπής τάσης

3) Το κύκλωμα καλωδίων συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης

3.10.2 Τοπολογίες Σύνδεσης

Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να αναφερθούμε στο πώς συνδέονται οι ανεμογεννήτριες μεταξύ τους αλλά και σε επίπεδο αιολικού πάρκου.

Σύνδεση AC

Σε αυτή την τοπολογία οι ανεμογεννήτριες συνδέονται μεταξύ τους και συγκεντρώνονται ακτινικά σε ένα δίκτυο. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω καλωδίου σε σειρά με όλες τις ανεμογεννήτριες και ο κόμβος φτάνει στον Μ/Σ. Με αυτόν τον τρόπο έχουμε σύνδεση των Α/Γ μεταξύ τους αλλά και με το δίκτυο. Ένας άλλος τρόπος σύνδεσης AC για Α/Γ που ανήκουν σε μεγάλα πάρκα είναι να συνδέονται οι Α/Γ σε έναν κόμβο όπως και πριν με την διαφορά ότι κάθε γεννήτρια επικοινωνεί ξεχωριστά. Έχουμε δηλαδή εσωτερικά δίκτυα με τάση μικρότερη μέχρι τον κόμβο και στη συνέχεια παρεμβάλλεται ένας μετασχηματιστής πριν τη διασύνδεση με το δίκτυο διανομής ο οποίος ανεβάζει την τάση αυτών των δικτύων.

Σύνδεση DC

Σε αυτή την τοπολογία οι ανεμογεννήτριες συνδέονται μεταξύ τους και συγκεντρώνονται ακτινικά σε ένα δίκτυο όπως και την περίπτωση της σύνδεσης AC, η διαφορά είναι ότι η κάθε ανεμογεννήτρια χρησιμοποιεί έναν ανορθωτή και αντί του μετασχηματιστή μπαίνουν ένας μετατροπέας και ένας αντιστροφέας.

Σύνδεση AC/DC

Αυτή η τοπολογία έχει εφαρμογή σε αιολικά πάρκα που είναι μακριά από το χερσαίο δίκτυο. Λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως στην AC σύνδεση με την μόνη διαφορά ότι μεταξύ των ανεμογεννητριών και του δικτύου παρεμβάλλεται γραμμή DC και μετατροπείς DC/DC , DC/AC. Με αυτόν τον τρόπο σύνδεσης η ποιότητα της μεταφερόμενης ισχύος είναι καλύτερη απ' ότι στην A/C σύνδεση.

3.10.3 Συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από υπερακτια αιολικά πάρκα προς το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο αποτελεί μείζων ζήτημα. Εξετάζονται διάφορες δυνατές επιλογές σύνδεσης στο δίκτυο.

Η επιλογές διασύνδεσης στο δίκτυο σε γενικές γραμμές είναι ίδιες με αυτές των χερσαίων εγκαταστάσεων. Η διασύνδεση μπορεί να γίνει με συνεχές ρεύμα υψηλής τάσης (HVDC)

ή με εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής τάσης (HVAC). Για υπερακτια αιολικά πάρκα (>60Km) η μεταφορά του εναλλασσόμενου ρεύματος δεν είναι η καλύτερη λύση λόγω της χωρητικότητας του καλωδίου και λόγω κόστους, γι' αυτό σοβαρή υποψηφιότητα έχει το σύστημα μεταφοράς συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης. Αυτή η λύση παρέχει εξίσου καλή ποιότητα ισχύος, ευστάθεια συστήματος και πιο οικονομική λύση. Το κόστος κατασκευής (HVDC) μειώνεται στο 1/3 αφού είναι ένα σύστημα με 2 καλώδια αντί για 3 καλώδια όπως έχει ένα σύστημα (HVAC) (Εικόνα 3.2), επίσης οι ανάγκες για μόνωση είναι μικρότερες για την ίδια ονομαστική τάση.



Παρακάτω αναφέρονται αναλυτικότερα τα συστήματα (HVDC-HVAC)

3.10.3.1 Διασύνδεση HVAC

Τα συστήματα μεταφοράς υψηλής τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος (HVAC) αποτελούν απλή και οικονομικότερη λύση για αιολικά πάρκα μικρής κλίμακας και μικρής απόστασης από την στεριά. Συγκεκριμένα περιορίζονται για πάρκα μέγιστης ισχύος 200MW και μήκος γραμμής για αποστάσεις μέχρι 100Km. Στις διασυνδέσεις HVAC ένας υπεράκτιος σταθμός συγκεντρώνει το ακτινικό δίκτυο των ανεμογεννητριών που αποτελείται από υποθαλάσσια καλώδια και μεταφέρει σε έναν χερσαίο υποσταθμό την αιολική παραγωγή μέσω κάποιου υποθαλάσσιου καλωδίου. Η μεταφορά από τον υπεράκτιο στον χερσαίο υποσταθμό γίνεται συνήθως σε υψηλή τάση, σε περιπτώσεις μικρών πάρκων κοντά στην ακτή ο υποσταθμός μπορεί να παραλειφθεί και η διασύνδεση να γίνει απευθείας με μέση τάση. Στο τέλος της γραμμής τοποθετούνται αντισταθμιστές άεργου ισχύος με σκοπό την καλύτερη ποιότητα παρεχόμενης ισχύος και την αποφυγή εισχώρησης αρμονικών στο δίκτυο.

Πλεονεκτήματα HVAC:

- Απλός εξοπλισμός
- Πιο διαδεδομένη τεχνολογία ηλ. Ενέργειας
- Χαμηλό κόστος επένδυσης, όταν η γραμμή συνδέεται σε γραμμή μεταφοράς μεγάλης ισχύος.
- Αξιόπιστη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Μειονεκτήματα HVAC:

- Δημιουργία έργου ισχύος σε μεταφορά με υπόγεια ή υποβρύχια καλώδια.
- Η αύξηση του μήκους του καλωδίου αυξάνει την χωρητικότητά του και συνεπώς την παραγόμενη έργου ισχύ.
- Ανάγκη αντιστάθμισης της χωρητικότητας των καλωδίων διασύνδεσης.
- Μεταφορά σφαλμάτων σε γειτονικά δίκτυα, χωρίς να αναγνωρίζουν σύνορα κρατών.
- Μη έγκαιρη διάγνωση σφαλμάτων που μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση φαινομένου αλυσιδωτής αντίδρασης και σε γενική διακοπή παροχής ρεύματος (black out).

3.10.3.2 Διασύνδεση HVDC

Η HVAC μας είναι γνώριμη από το 1950 όταν οι αρχές ενέργειας της Μ. Βρετανίας και της Γαλλίας συμφώνησαν στο σχεδιασμό ενός συστήματος μεταφοράς ενέργειας μέσω της θάλασσας της Μάγχης και διάλεξαν επίσης την HVDC μεταφορά, αυτή τη φορά για μία σύνδεση των 160MW.

Κατά τη δεκαετία του 1960 πολλές ήταν οι νέες συνδέσεις HVDC που υλοποιήθηκαν:

- Konti-Skan μεταξύ Σουηδίας και Δανίας (1964)
- Sakuma στην Ιαπωνία (με μμετατροπείς 50/60Hz) (1965)
- Διασύνδεση Νέας Ζηλανδίας μεταξύ των Βόρειων και των Νότιων νησιών (1965)
- Διασύνδεση Ιταλίας-Σαρδηνίας (1965)
- Vancouver Island link στον Καναδά (1968)

Στην τεχνολογία HVDC λαμβάνεται η ηλεκτρική ενέργεια από ένα τριφασικό AC δίκτυο, έπειτα μετατρέπεται σε DC στον σταθμό μετατροπής, μεταφέρεται με HVDC αγωγούς προς το δίκτυο και τέλος μετατρέπεται πάλι σε AC στον σταθμό μετατροπής (converter station)(Εικόνα 3.3), ο οποίος είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο AC οι σταθμοί μετατροπής είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με ένα δίκτυο DC εναέριας, υπόγειας ή υποθαλάσσιας καλωδίωσης . Η μεταφορά HVDC μπορεί να γίνει είτε με μετατροπείς πηγών ρεύματος LCC (Line Commutated Converter) είτε με μετατροπέα πηγής τάσης VSC (Voltage Source Control).



Εικόνα 3.24 Υπεράκτιος σταθμός μετατροπής SylWin Alpha platform Siemens

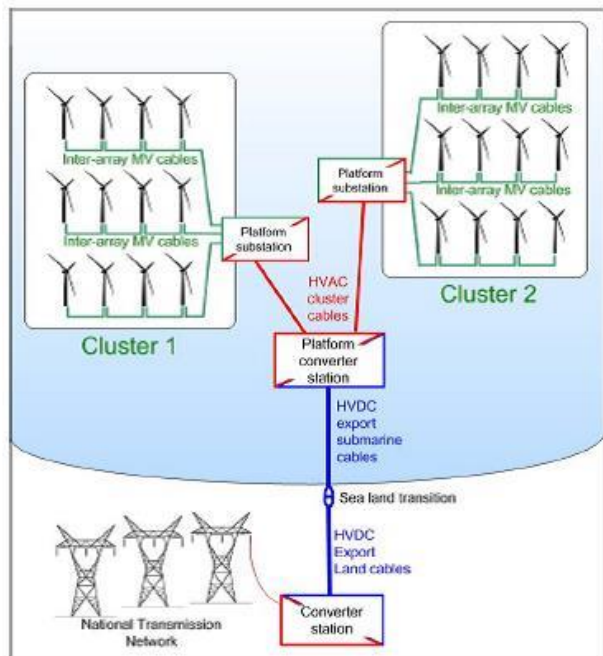
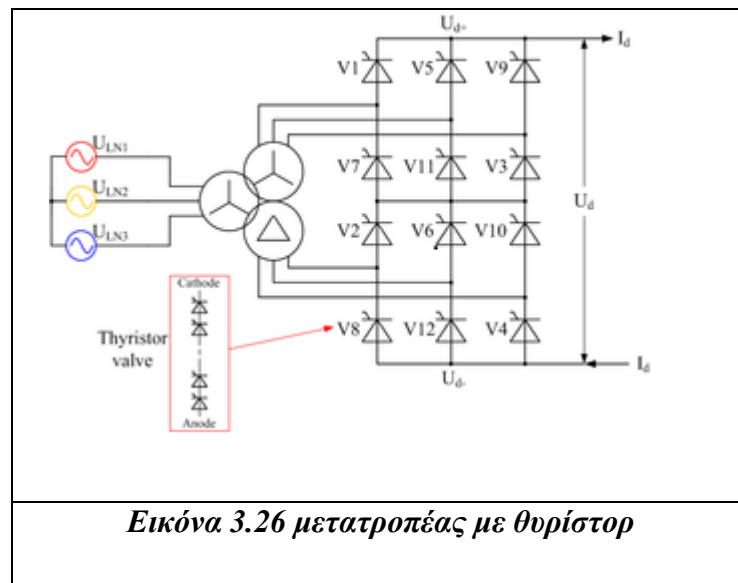


Fig. 1 – Simplified scheme of an off-shore windfarm cluster connection

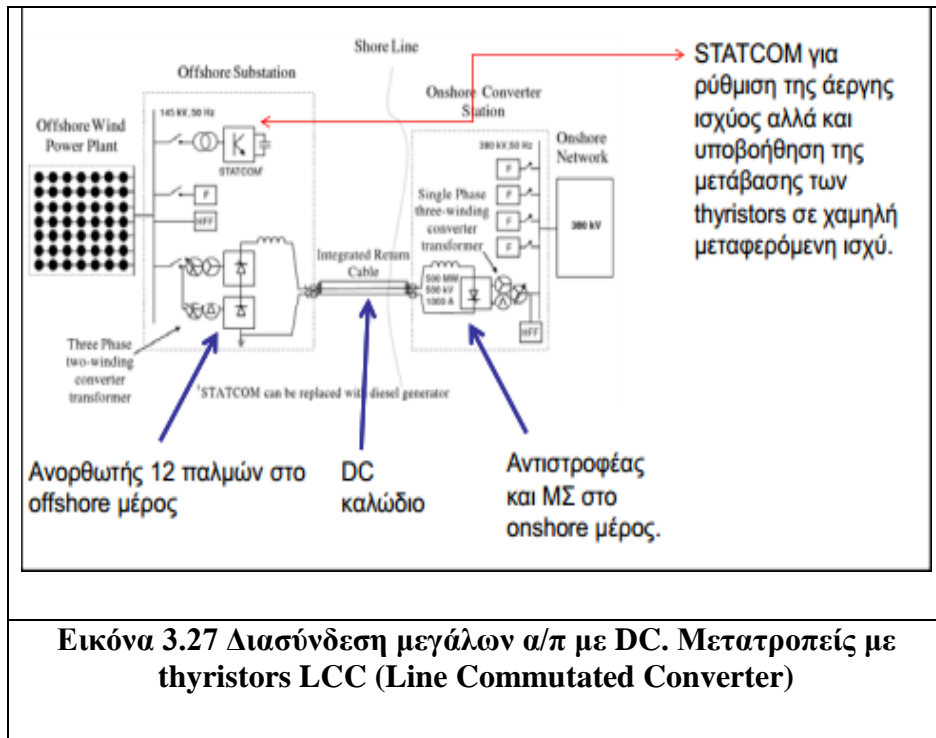
**Εικόνα 3.25
Σύστημα
διασύνδεσης
HVDC**

3.10.3.3 Σύστημα μεταφοράς HVDC-LCC

Η τεχνολογία μεταφοράς συνεχούς ρεύματος υψηλής τάσης με χρήση μετατροπέων πηγών ρεύματος είναι σήμερα η πιο διαδεδομένη και αποτελεί την μόνη λύση για διασυνδέσεις μεγαλύτερες των 800MW. Αποτελείται από γέφυρες thyristor που είναι και το σημαντικότερο μειονέκτημα σε ένα σύστημα μεταφοράς, επειδή δεν μπορούμε να ελέγξουμε την ενεργό και άεργο ισχύ που μεταφέρεται. Η τεχνολογία LCC στηρίζεται στη χρήση κυρίως εξαπαλμικών μετατροπέων δύο επιπέδων αποτελούμενων από thyristor. Επειδή τα thyristor καταναλώνουν άεργο ισχύ λόγω του ότι η τάση προπορεύεται του ρεύματος, πρέπει να γίνει αντιστάθμιση. Η λύση στο πρόβλημα αυτό ήταν η τοποθέτηση ενός στατικού αντισταθμιστή STATCOM ή με πυκνωτές. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ένα σύστημα μεταφοράς HVDC-LCC με STATCOM αντισταθμιστή για ρύθμιση της άεργης ισχύος αλλά και υποβοήθηση της μετάβασης των thyristor σε χαμηλή μεταφερόμενη ισχύ.



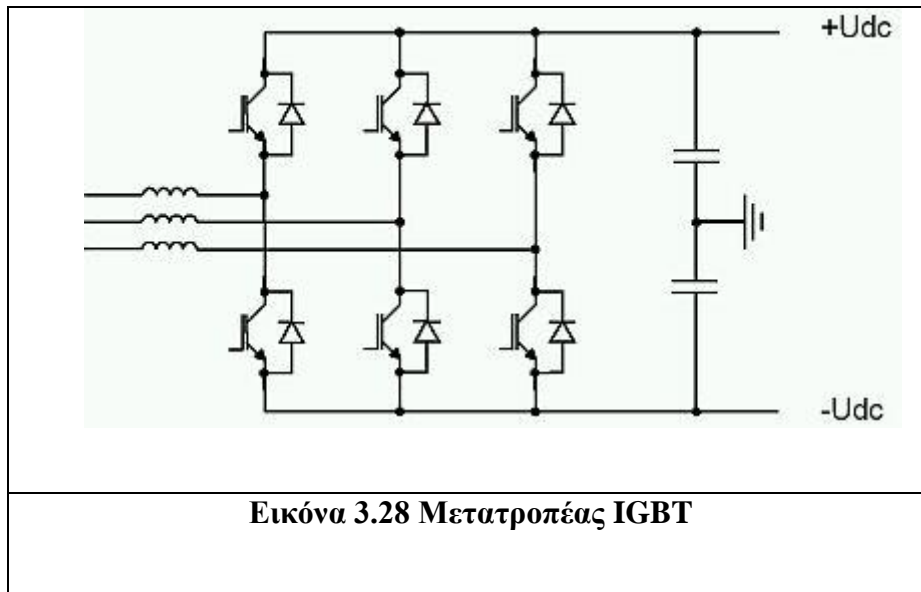
Εικόνα 3.26 μετατροπέας με thyristor



Ένα άλλο βασικό μειονέκτημα είναι η μεταφορά ανώτερων αρμονικών στο δίκτυο με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η χρήση φίλτρων αντιστάθμισης στους μετατροπείς. Τα πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι ότι έχουν μικρές απώλειες σε σχέση με τα AC συστήματα, η αξιοπιστία και ο μεγάλος χρόνος ζωής.

3.10.3.4 Σύστημα μεταφοράς HVDC-VSC

Η τεχνολογία HVDC-VSC (Voltage Source Control) είναι η πιο εξελίξιμη μορφή στις μεταφορές υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος και διεισδύει όλο και περισσότερο στον χώρο των υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Βασίζεται στους μετατροπείς πηγών τάσης (VSC) και αντί για θυρίστορ όπως στην τεχνολογία LCC χρησιμοποιεί τρανζίστορ IGBT (Insulated gate bipolar transistor-διπολικά τρανζίστορ μονωμένης πύλης) με συχνότητες 1-2 KHz (Εικόνα 3.5).



Τα στοιχεία IGBT έχουν μεγαλύτερες συχνότητες λειτουργίας και πλήρως ελεγχόμενες διακοπτικές διαδικασίες, δηλαδή την δυνατότητα ελέγχου όχι μόνο της έναυσης (όπως στο θυρίστορ) αλλά και της σβέσης. Το μεγάλο κέρδος είναι ότι έχουμε μια γραμμή που λειτουργεί ανεξάρτητα από την διαφορά δυναμικότητας των δύο άκρων της, δηλαδή δεν χρειάζεται κάποιος σταθεροποιητής ούτε από την μεριά του πάρκου αλλά και ούτε από την μεριά του δικτύου.

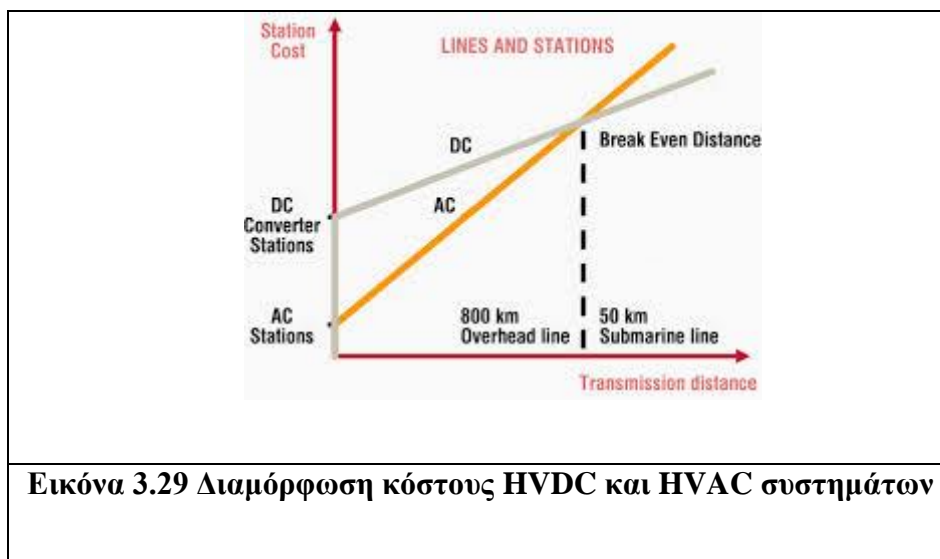
Πλεονεκτήματα HVDC –VSC

- Καλύτερος και άμεσος έλεγχος ενεργού και άεργου ισχύος
- Δεν απαιτούνται αντισταθμιστές
- Μείωση αρμονικών που εισέρχονται στο δίκτυο (Δεν χρειάζονται φίλτρα αρμονικών)
- Ο έλεγχος της άεργου ισχύος επιτρέπει τη σύνδεση σε πολύ αδύναμα AC δίκτυα
- Ο μετατροπέας μπορεί να λειτουργήσει μέχρι μηδενική ισχύ
- Οι σταθμοί μετατροπής μπορούν να λειτουργήσουν και σαν αντισταθμιστές αν δεν έχουμε μεταφορά ισχύος

Σύγκριση HVAC-HVDC

Τα HVDC και HVAC συστήματα μεταφοράς παρουσιάζουν διαφορές μεταξύ τους. Η σύγκριση μεταξύ αυτών των δύο συστημάτων δεν είναι απλή και όταν συμβαίνει πρέπει να λάβουμε υπόψιν τα οικονομικά στοιχεία της μεταφοράς ισχύος και στα δύο συστήματα, τα τεχνικά χαρακτηριστικά καθενός από τα δύο συστήματα και πώς αυτά επηρεάζουν την απόδοσή τους, τη σταθερότητα και την αξιοπιστία των δύο συστημάτων και τα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά των δύο συστημάτων.

Γενικά, το κόστος για την κατασκευή ενός HVDC υποσταθμού είναι μεγαλύτερο σε σχέση με το αντίστοιχο για έναν HVAC υποσταθμό. Επιπλέον, για μια δεδομένη ποσότητα μεταφερόμενης ισχύος το κόστος του σταθμού μετατροπής αυξάνεται ανάλογα με την τάση κάτω από την οποία θα γίνεται η μεταφορά, ενώ την ίδια στιγμή η γραμμή μεταφοράς παρουσιάζει ένα ελάχιστο κόστος για μια δεδομένη τάση. Επίσης, στην περίπτωση ενός HVAC συστήματος οι απώλειες στη γραμμή μεταφοράς είναι μεγαλύτερες σε σχέση με ένα HVDC σύστημα. Αυτό συμβαίνει, πρώτον επειδή μία HVAC γραμμή μεταφοράς χρειάζεται περισσότερους αγωγούς για τη μεταφορά της ίδιας ισχύος σε σύγκριση με μία HVDC γραμμή μεταφοράς και άρα οι απώλειες θα είναι μεγαλύτερες στο HVAC σύστημα. Δεύτερον, επειδή οι απώλειες κορώνων είναι μεγαλύτερες σε ένα HVAC σύστημα μεταφοράς. Παρακάτω δίνεται ένα διάγραμμα σχετικά με το πώς διαμορφώνεται το κόστος των HVDC και HVAC συστημάτων μεταφοράς, ανάλογα με το μήκος της γραμμής μεταφοράς που χρησιμοποιείται.



Όπως μπορούμε να δούμε στην παραπάνω εικόνα, υπάρχει μία κρίσιμη απόσταση (“break-even distance”) στην οποία τα κόστη και των δύο συστημάτων είναι ίσα, ενώ πέρα από αυτήν το κόστος ενός HVDC συστήματος είναι χαμηλότερο από το αντίστοιχο του HVAC συστήματος. Η κρίσιμη αυτή απόσταση συνήθως βρίσκεται μεταξύ των 500 – 800km. Επίσης οι απώλειες στο HVDC σύστημα είναι μικρότερες σε σχέση με αυτές του

HVAC συστήματος. Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω και λόγω τις πολυπλοκότητας των δύο συστημάτων, η σύγκριση αυτών γίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 3.1 HVAC-HVDC		
	HVAC	HVDC
Αξιοπιστία	Ναι	Ναι
Απώλειες	Μεγάλες	Μικρές
Χρόνος ζωής	Μεγάλος	Μεγάλος
Κόστος	Χαμηλό	Μεσαίο
Διατομή των αγωγών	Μεγάλη	Μικρή
Μεταφερόμενη ισχύς	Μικρή	Μεγάλη
Φιλτράρισμα αρμονικών	Όχι	Ναι
Ανάγκη αντιστάθμισης	Ναι	Ναι
Δυνατότητα υπερφόρτισης	Ναι	Ναι
Χωρητικότητα καλωδίων	Ναι	Όχι

3.10.4 Καλώδια για Πλωτές Ανεμογεννήτριες

Για να συγκομιδή της ενέργεια που παράγεται από τις πλωτές ανεμογεννήτριες χρειάζονται υποβρύχια καλώδια, που ονομάζονται "δυναμικά καλώδια». Τα καλώδια αυτά έχουν σχεδιαστεί ειδικά για να αντέχουν τις μηχανικές καταπονήσεις που προκαλούνται από την επίμονη κίνηση της πλατφόρμας καθ' όλη την αναμενόμενη διάρκεια ζωής του καλωδίου. Υποβρύχια καλώδια που υιοθετήθηκαν για παράκτια αιολικά πάρκα είναι κατά βάση με εξηλασμένη μόνωση. Τα καλώδια μπορεί να είναι EPR (ελαστικό αιθυλενίου προπυλενίου) ή XLPE (δικτυωμένο πολυαιθυλένιο). Μπορούμε να πούμε γενικά ότι XLPE ένωση έχει μικρότερες διηλεκτρικές απώλειες, αντέχει καλύτερα στις υπερτάσεις και είναι ουσιαστικά πιο κατάλληλο για να χρησιμοποιηθεί σε καλώδια υψηλής τάσης από τον EPR. Από την άλλη πλευρά η EPR έχει μια καλύτερη συμπεριφορά στην υγρασία. Παρακάτω αναφέρονται οι τεχνολογίες των υποβρύχιων καλωδίων.

1. Καλώδια ελαίου (Oil-filled cables, OF)
2. Καλώδια αερίου υπό πίεση (Gas-pressurized cables, GP)
3. Καλώδια χαρτιού εμβαπτισμένου σε λάδι (Mass-impregnated cables, MI)
4. Καλώδια δικτυωμένου πολυαιθυλενίου (Cross-linked Polyethylene, XLPE)

3.10.5 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(Εικόνα3.3). 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. Οι μετασχηματιστές υψηλής τάσης είναι συνήθως ελαιόψυκτοι. Οι πίνακες μεταγωγής πρέπει να έχουν μόνωση αερίου.

3.10.6 Σύστημα ελέγχου SCADA

Πρόκειται για ένα σύστημα εποπτικού ελέγχου που συνδέει τις ανεμογεννήτριες τους μετεωρολογικούς σταθμούς και τον υποσταθμό σε έναν κεντρικό Η/Υ και που παρέχει τη δυνατότητα στον χειριστή να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία των ανεμογεννητριών και 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.

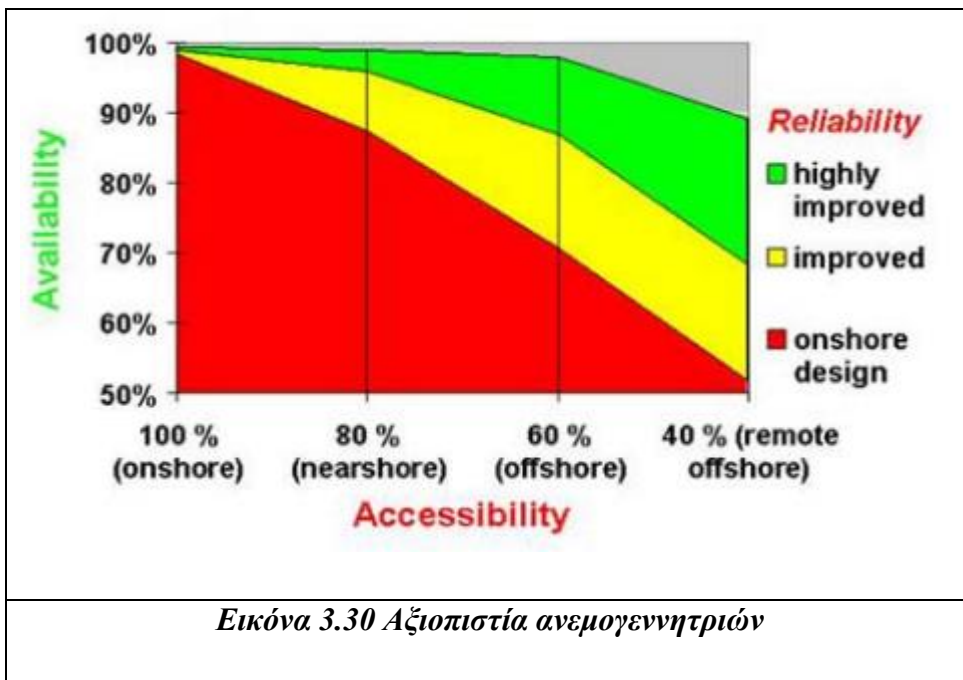
3.11 Συντήρηση ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες είναι αρκετά πολύπλοκες μηχανές και η σωστή λειτουργία τους επηρεάζεται από πλήθος παραγόντων όπως είναι οι καιρικές συνθήκες, η ταχύτητα του ανέμου, οι δονήσεις των πτερυγίων κ.α. Επομένως είναι πολύ σημαντική η ορθή και τακτή συντήρηση τους προκειμένου να προληφθούν καταστάσεις που μπορεί να οδηγήσουν σε ανεπανόρθωτες ζημιές.

Για την εξάλειψη των προβλημάτων και την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας λειτουργικής αστοχίας ή ατυχήματος είναι απαραίτητη η εκτέλεση της κατάλληλης προληπτικής συντήρησης. 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 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 – 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.

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. Το παρακάτω σχήμα δείχνει πόσο σημαντική είναι η ύπαρξη αξιόπιστων ανεμογεννητριών, ιδίως για τις απομακρυσμένες υπεράκτιες τοποθεσίες, που απέχουν αρκετά χιλιόμετρα από την στεριά.



Εικόνα 3.30 Αξιοπιστία ανεμογεννητριών

Κεφάλαιο 4. Οικονομική μελέτη/αξιολόγηση

4.1 Εισαγωγή

Σήμερα το κόστος παραγωγής ηλεκτρισμού ή θερμότητας από ανανεώσιμες πηγές κυμαίνεται σε μεγάλο εύρος ανάλογα με την πηγή και την συγκεκριμένη τεχνολογία. Οι επενδύσεις σε ΑΠΕ απαιτούν ένα σημαντικό κεφάλαιο και χρηματοδότηση για την υλοποίησή τους, αλλά χαρακτηρίζονται από ελάχιστο κόστος συντήρησης και λειτουργίας. Πέραν όμως αυτών, σημαντικό πλεονέκτημά τους είναι ότι το κόστος της παραγόμενης ενέργειας (θερμικής ή ηλεκτρικής) είναι σε μεγάλο βαθμό γνωστό από την αρχή και δεν εξαρτάται από την εξέλιξη των τιμών των συμβατικών καυσίμων. Ένα από τα μακροσκοπικά ζητούμενα, είναι αν μακροπρόθεσμα η προώθηση της χρήσης των ΑΠΕ θα επηρεάσει αρνητικά το κόστος παραγωγής της ενέργειας και επομένως το κόστος διαβίωσης των πολιτών και την ανταγωνιστικότητα των εγχώριων προϊόντων. Οι διεθνείς τάσεις δείχνουν ξεκάθαρα ότι το κόστος των τεχνολογιών ΑΠΕ μειώνεται ραγδαία με την επέκταση της χρήσης τους και συνεπώς με την μαζική παραγωγή τους. Ορισμένες τεχνολογίες είναι ήδη ανταγωνιστικές και προβλέπεται ότι το ίδιο να συμβεί και με πολλές από τις υπόλοιπες στο άμεσο μέλλον.

Η οικονομική σκοπιμότητα των επενδύσεων σε ενεργειακά συστήματα εξετάζεται με σύγκριση των βαθμών μακροπρόθεσμης οικονομικής απόδοσης των διαφόρων εναλλακτικών λύσεων (επενδύσεων) για την παραγωγή ηλεκτρικών και θερμικών φορτίων για ίδια κατανάλωση και για εμπορική διάθεση. Οι επενδύσεις σε ενεργειακά συστήματα είναι επομένως οικονομικά σκόπιμες, εάν η μείωση των λειτουργικών δαπανών για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μπορεί να αποσβέσει το αρχικό κεφάλαιο σε εύλογο χρονικό διάστημα ή αν τα έσοδα από τη διάθεση της παραγόμενης ενέργειας οδηγούν σε κέρδη ικανά να ικανοποιήσουν τους επιχειρηματικούς στόχους του επενδυτή.

4.2 Βασικές οικονομικές έννοιες

Παρακάτω αναφέρονται απαραίτητες βασικές ορολογίες οικονομικών(δείκτες, κριτήρια) για την οικονομική αξιολόγηση ενεργειακών συστημάτων.

Κεφάλαιο επένδυσης: Το συνολικό κεφάλαιο της επένδυσης μπορεί να διακριθεί στο κεφάλαιο προ εγκατάστασης και στο κεφάλαιο εγκατάστασης της μονάδας. Το κεφάλαιο προ εγκατάστασης συνίσταται στην αγορά οικοπέδων, στις ερευνητικές δαπάνες και στις δαπάνες της απαραίτητης υποδομής π.χ. δρόμοι για την προσπέλαση της περιοχής που θα κατασκευαστεί το έργο. Το κεφάλαιο εγκατάστασης περιλαμβάνει την αγορά του εξοπλισμού, την κατασκευή των κύριων και βοηθητικών κτιριακών εγκαταστάσεων, τα

συστήματα ασφάλειας, κ.λπ. Επιπλέον, στο κόστος αυτό θα πρέπει να προστίθεται ένα επιπλέον κεφάλαιο, το κεφάλαιο κίνησης, το οποίο αφορά στο κόστος κάλυψης των λειτουργικών δαπανών της επιχείρησης συνήθως για ένα χρονικό διάστημα 3 – 6 μηνών μέχρις ότου αρχίσουν οι εισπράξεις.

Οι πηγές προέλευσης των απαιτούμενων κεφαλαίων διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

- Ίδια κεφάλαια (μετοχικό κεφάλαιο, αδιανέμητα κέρδη, κ.λπ.).
- Δανειακά κεφάλαια (τραπεζικά ή ομολογιακά).
- Επιδοτήσεις, οι οποίες χορηγούνται κυρίως από το Κράτος, χωρίς να υπάρχει υποχρέωση επιστροφής αυτών ή πληρωμής αναλογούντων τόκων.

Επιτόκιο: ο τόκος του κεφαλαίου για μια νομισματική μονάδα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Συνήθως εκφράζεται επί τοις εκατό (%) για περίοδο ενός έτους, π.χ. ετήσιο επιτόκιο 10% υποδηλώνει αύξηση κεφαλαίου 100 νομισματικών μονάδων κατά 10 νομισματικές μονάδες σε ένα έτος.

Πληθωρισμός: εκφράζει τη μείωση της αγοραστικής δύναμης του χρήματος, δηλ. το γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου με το ίδιο ποσό μπορούν να αγοραστούν ολοένα και λιγότερα αγαθά. Η πτώση της αξίας του χρήματος προκαλείται από την αύξηση των τιμών των διαφόρων αγαθών και για το λόγο αυτό ο δείκτης του πληθωρισμού μπορεί να εκτιμηθεί στην πράξη, καταγράφοντας τις τιμές ενός συγκεκριμένου συνόλου καταναλωτικών αγαθών και υπηρεσιών (δείκτης τιμών καταναλωτή, δ), με τη βοήθεια του ακόλουθου τύπου:

$$f = \frac{\delta 1}{\delta 2 - 1}$$

όπου δ0 και δ1 η αξία των αγαθών πριν από 1 έτος και σήμερα, αντίστοιχα.

Μελλοντική αξία: Έστω ένα ποσό K, το οποίο επενδύεται σήμερα (χρόνος 0) με επιτόκιο αναγωγής ε. Η αξία που θα παράγει μετά από ένα έτος (δηλ. ο τόκος για το αντίστοιχο χρονικό διάστημα) θα είναι K*ε, το δε ποσό θα έχει ανέλθει σε K+K*ε ή K*(1+ε).

Εάν ο τόκος δεν εισπραχθεί αλλά ενσωματωθεί στο αρχικό Κεφάλαιο (κεφαλαιοποίηση του τόκου), τότε το δεύτερο έτος ο τόκος θα ανέλθει σε (K+K*ε)*ε ή K*ε*(1+ε). Η πρόσθεση του τόκου μιας χρονικής περιόδου στο κεφάλαιο και ο τοκισμός του καινούριου κεφαλαίου που πρόκυψε από την πρόσθεση αυτή (σύνθετος τόκος) καλείται και ανατοκισμός.

Το ποσό, στην περίπτωση αυτή, θα διαμορφωθεί ως ακολούθως:

$$K+K*\epsilon+ K*\epsilon*(1+\epsilon) = K*[1+\epsilon+\epsilon*(1+\epsilon)] = K*(1+\epsilon+\epsilon+\epsilon^2) = K*(1+\epsilon)^2$$

Ακολουθώντας την πρακτική της κεφαλαιοποίησης του τόκου, η τελική (ή μελλοντική) αξία του αρχικού ποσού K μετά από t έτη με ετήσιο επιτόκιο ε είναι:

$$MA_k = K * (1 + \varepsilon)^t$$

Το επιτόκιο ε , όπως αναφέρθηκε καλείται επιτόκιο ανατοκισμού και ο συντελεστής $(1 + \varepsilon)^t$ καλείται συντελεστής ανατοκισμού.

Παρούσα αξία: Από την εξίσωση της Μελλοντικής Αξίας είναι προφανές ότι εάν πρόκειται να πληρωθεί ένα ποσό X μετά από t έτη, τότε η αξία του ποσού σήμερα (τη χρονική στιγμή 0), η οποία καλείται Παρούσα Αξία, θα είναι:

$$PA_x = X * (1 + \varepsilon)^{-t}$$

Ο συντελεστής $(1 + \varepsilon)^{-t}$ καλείται συντελεστής προεξόφλησης και το επιτόκιο ε επιτόκιο προεξόφλησης.

Ετήσια έσοδα: Τα έσοδα ισούνται γενικά με το γινόμενο της τιμής πώλησης του προϊόντος επί την αντίστοιχη ετήσια παραγωγή. Το πρόβλημα της εκτίμησης των ετήσιων εσόδων είναι ένα αντικείμενο με ιδιαίτερες απαιτήσεις, καθώς προϋποθέτει τόσο την εκτίμηση της ζήτησης όσο και της τιμής πώλησης. Οι διακυμάνσεις στην τιμή του προϊόντος για κάποιες επενδύσεις μπορεί να μικρές. Το πρόβλημα αφορά κυρίως σε σφάλματα κακής εκτίμησης της μελλοντικής ζήτησης εξαιτίας μεταβολών στην αγορά.

Ετήσιο κόστος λειτουργίας: Το κόστος λειτουργίας καλύπτει όλη τη διαδικασία παραγωγής, σε σχέση με το είδος του παραγόμενου προϊόντος ή υπηρεσιών καθώς και τα γενικά έξοδα διάθεσης, διοίκησης, κ.λπ. Το κόστος του κεφαλαίου για την αγορά του εξοπλισμού συμπεριλαμβάνεται στο συνολικό κόστος της επένδυσης, ενώ το κόστος λόγω φθοράς του μηχανήματος εκφράζεται μέσα από τη, συνήθως μηδενική, υπολειμματική αξία. Αφετηρία υπολογισμού του κόστους λειτουργίας αποτελεί το σχέδιο εργασιών της επένδυσης, με τη βοήθεια του οποίου καταρτίζονται οι πίνακες των απαιτούμενων μηχανημάτων και του προσωπικού. Συχνά, το λειτουργικό κόστος εκφράζεται σε χρηματικές μονάδες ανά μονάδα παραγόμενου προϊόντος. Η πρακτική αυτή μολονότι είναι εύχρηστη θα πρέπει να χρησιμοποιείται με προσοχή για την αποφυγή σφαλμάτων ειδικά, όταν χρησιμοποιούνται πληθωριστικές τιμές με διαφορετικό ρυθμό αύξησης ανά κατηγορία δαπάνης (π.χ. προσωπικό, καύσιμα). Πάντως, τα περισσότερα σφάλματα κατά την κοστολόγηση οφείλονται σε:

- παραδοχές σχετικά με την απόδοση του εξοπλισμού,
- παραλήψεις κατά τον υπολογισμό των γενικών εξόδων
- λανθασμένες εκτιμήσεις για το κόστος ανταλλακτικών και συντήρησης των μηχανημάτων.

Τόκοι και χρεολύσια: Οι τόκοι αναφέρονται στο κόστος του δανειακού κεφαλαίου για τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο κι εξαρτώνται από το ύψος του δανείου, το επιτόκιο δανεισμού, τον χρόνο εξόφλησης του δανείου και την περίοδο χάριτος (δηλ. το χρονικό διάστημα που δεν υπάρχει υποχρέωση καταβολής χρεολυτικών δόσεων). Τα χρεολύσια αναφέρονται στην ετήσια δόση αποπληρωμής του κεφαλαίου.

Απόσβεση: Οι αποσβέσεις είναι η λογιστική διαπίστωση της ζημιάς που προκαλείται στην αξία του ενεργητικού με τη χρήση ή με την πάροδο του χρόνου. Η πρακτική των αποσβέσεων συνίσταται στην αφαίρεση ενός συγκεκριμένου ποσού από τα ακαθάριστα κέρδη σε ετήσια βάση, μέχρις ότου το άθροισμα των ετήσιων αποσβέσεων να γίνει ίσο με την αξία αγοράς των πάγιων στοιχείων.

Φορολογητέο εισόδημά-φόροι: Οι φόροι που πληρώνονται από μια επιχείρηση αποτελούν μια εκροή, η οποία υπάρχει μόνο σε περίπτωση κερδοφορίας (δηλ. όταν η επιχείρηση εμφανίζει ζημιά δεν πληρώνει φόρους). Οι φόροι αντιστοιχούν σε ένα ποσοστό επί του φορολογητέου εισοδήματος της επιχείρησης, το ύψος του οποίου καθορίζεται από την αντίστοιχη νομοθεσία.

Κριτήρια αξιολόγησης-ανάλυσης επενδύσεων

Τα συνηθέστερα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τον σκοπό αξιολόγησης επενδυτικών σχεδίων είναι:

- Καθαρή παρούσα αξία (Net Present Value – NPV)
- Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (Internal Rate of Return – IRR)

Η Καθαρή Παρούσα Αξία

Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) ορίζεται ως η διαφορά της παρούσας αξίας των ετήσιων εισοδημάτων μείον την παρούσα αξία των ετήσιων εξόδων, συμπεριλαμβανομένων των επενδύσεων. Στην πράξη κι εφόσον έχει καταστρωθεί ο πίνακας των ταμειακών ροών, η ΚΠΑ υπολογίζεται ως η διαφορά των χρηματικών εισροών (καθαρών ταμειακών ροών μετά φόρων) μείον το κόστος των επενδύσεων, όπως, δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$NPV = -C + \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1+i)^t} + \frac{SV_N}{(1+i)^N}$$

Όπου

C	η αρχική επένδυση
F_t	η ετήσια ΚΤΡ(καθαρή ταμειακή ροή)
N	η διάρκεια οικονομικής ζωής της επένδυσης
I	το επιτόκιο αναγωγής σε παρούσα αξία
SVN	η απομένουσα αξία της επένδυσης

- Αν $NPV > 0$, η απόδοση των επενδυμένων κεφαλαίων είναι μεγαλύτερη από το ελάχιστο κόστος ευκαιρίας, δηλαδή το επιτόκιο αναγωγής.

- Αν $NPV < 0$, η απόδοση της επένδυσης είναι μικρότερη από το επιτόκιο προεξόφλησης, και τότε ενδείκνυται η απόρριψή της.
- Αν $NPV = 0$, τότε σημαίνει ότι η επένδυση είναι «αδιάφορη». Ταυτόχρονα το γεγονός αυτό υποδεικνύει την ανάγκη για διενέργεια ανάλυσης ευαισθησίας, η οποία όπως θα εξεταστεί και παρακάτω, θα αναδείξει τους «προβληματικούς» καθοριστικούς παράγοντες της επενδυτικής αξιολόγησης. Συνήθως σε μια τέτοια περίπτωση μηδενικής Καθαρής Παρούσας Αξίας, λαμβάνονται υπόψη και άλλα κριτήρια εκτός της βέλτιστης οικονομικής αποτελεσματικότητας.

Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης

Όταν το επιτόκιο προεξόφλησης για μια συγκεκριμένη χρηματοροή αυξάνει, η ΚΠΑ αξία της χρηματοροής μειώνεται. Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης (IRR) του κεφαλαίου μπορεί να οριστεί ως το επιτόκιο προεξόφλησης που μηδενίζει τη χρηματοροή, δηλ. εκείνο το επιτόκιο που εξισώνει την αρχική επένδυση με την αξία όλων των μελλοντικών ταμιακών ροών. Η διαφορά μεταξύ του επιτοκίου που δίνεται από τον IRR και του επιτοκίου της προεξόφλησης έγκειται στο γεγονός ότι το πρώτο προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του πίνακα των ταμιακών ροών (για το λόγο αυτό καλείται και εσωτερική απόδοση) ενώ το επιτόκιο προεξόφλησης καθορίζεται εξωγενώς από τον επενδυτικό φορέα.

Ο τύπος που δίνει τον IRR είναι ο ακόλουθος:

$$NPV = \sum_{t=1}^N \frac{F_t}{(1 + EBA)^t} - E_0$$

όπου

F_t = η Καθαρή Ταμιακή Ροή το έτος t

E_0 = η αρχική επένδυση το χρόνο $t=0$

N = η διάρκεια ζωής του επενδυτικού σχεδίου

EBA = το επιτόκιο προεξόφλησης που καθιστά την ΚΠΑ = 0

Όταν: $EBA >$ από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται συμφέρουσα.

$EBA =$ με το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση θεωρείται οριακή, εφαρμόζεται όταν δεν υπάρχει καλύτερη εναλλακτική λύση.

$EBA <$ από το ελάχιστο αποδεκτό επιτόκιο προεξόφλησης, η επένδυση απορρίπτεται.

4.3 Δείκτες κόστους

Το κόστος μπορεί να υπολογιστεί με έναν αριθμό από διαφορετικούς τρόπους, και κάθε τρόπος της λογιστικής για το κόστος της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας φέρνει τις ιδέες του. Οι δαπάνες που μπορούν να εξεταστούν περιλαμβάνουν το κόστος εξοπλισμού (π.χ. ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, ηλιακή ανακλαστήρες, κλπ), το κόστος χρηματοδότησης, το συνολικό κόστος εγκατάστασης, σταθερό και μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης (O&M), το κόστος των καυσίμων, και προβλεπόμενο μέσο κόστους της ενέργειας (LCOE).

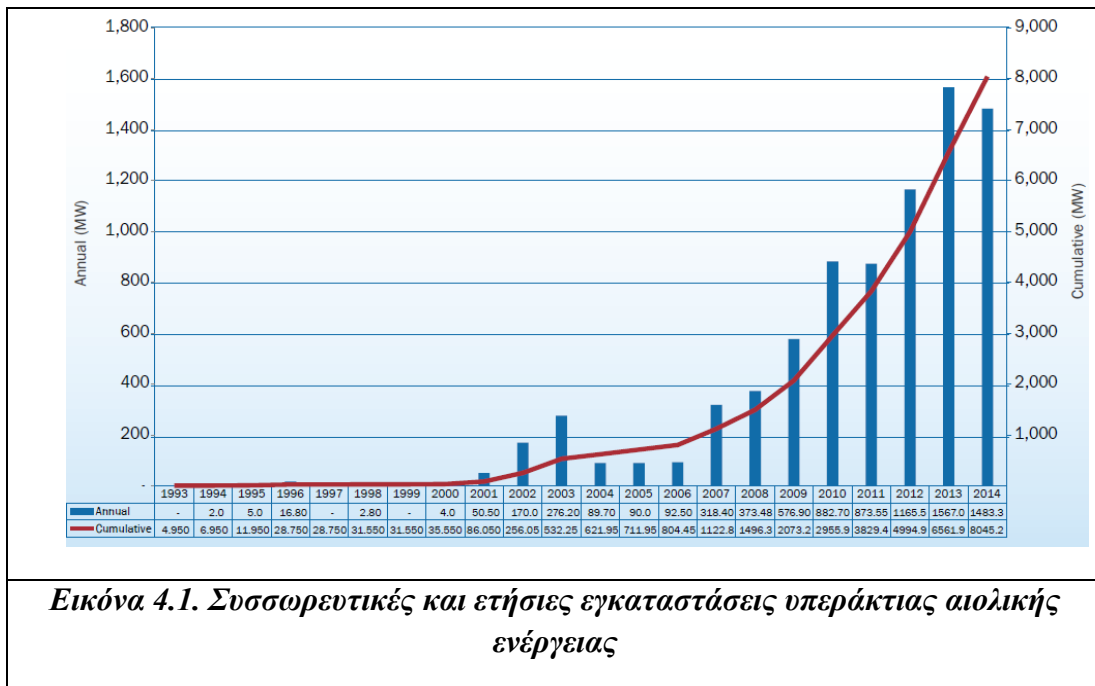
Η ανάλυση του κόστους μπορεί να είναι πολύ λεπτομερής, αλλά για λόγους σύγκρισης και της διαφάνειας, η προσέγγιση που χρησιμοποιείται εδώ είναι μια απλοποιημένη έκδοση. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερο έλεγχο των σχετικών στοιχείων και παραδοχών, βελτίωση της διαφάνειας και της εμπιστοσύνης για τη συνολική ανάλυση, καθώς και τη διευκόλυνση της σύγκρισης του κόστους με τη χώρα ή την περιοχή για τις ίδιες τεχνολογίες με σκοπό να προσδιορίσει βασικούς παράγοντες σε οποιοσδήποτε διαφορές.

Οι τρεις δείκτες που έχουν επιλεγεί είναι:

- Το κόστος του εξοπλισμού
- Το συνολικό κόστος της εγκατάστασης συμπεριλαμβανομένων των πάγιων εξόδων χρηματοδότησης
- Το προβλεπόμενο μέσο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (LCOE)

4.4 Συσσωρευτική αγορά στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Ο κλάδος της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας το 2014 σημείωσε πτώση 5,34% ως προς τη νέα ισχύ, σε συνέχεια της πρωτοφανούς ανάπτυξης αυτής της τεχνολογίας ΑΠΕ το 2013. Συνολικά 2.488 ανεμογεννήτριες έχουν εγκατασταθεί και συνδεθεί στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας σε 74 υπεράκτια αιολικά πάρκα 11 έντεκα χώρες σε όλη την Ευρώπη. Συνολική εγκατεστημένη ισχύ στο τέλος του 2014 ανήλθε σε 8,045.3 MW, αρκετή για να καλύψει το 1% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της ΕΕ. Το 2014 εγκαταστάθηκαν 408 νέες ανεμογεννήτριες, προσθέτοντας 1.483 MW στην ευρωπαϊκή υπεράκτια αιολική ενέργεια, 84 MW λιγότερα σε σύγκριση με το προηγούμενο έτος (πτώση 5,34%).

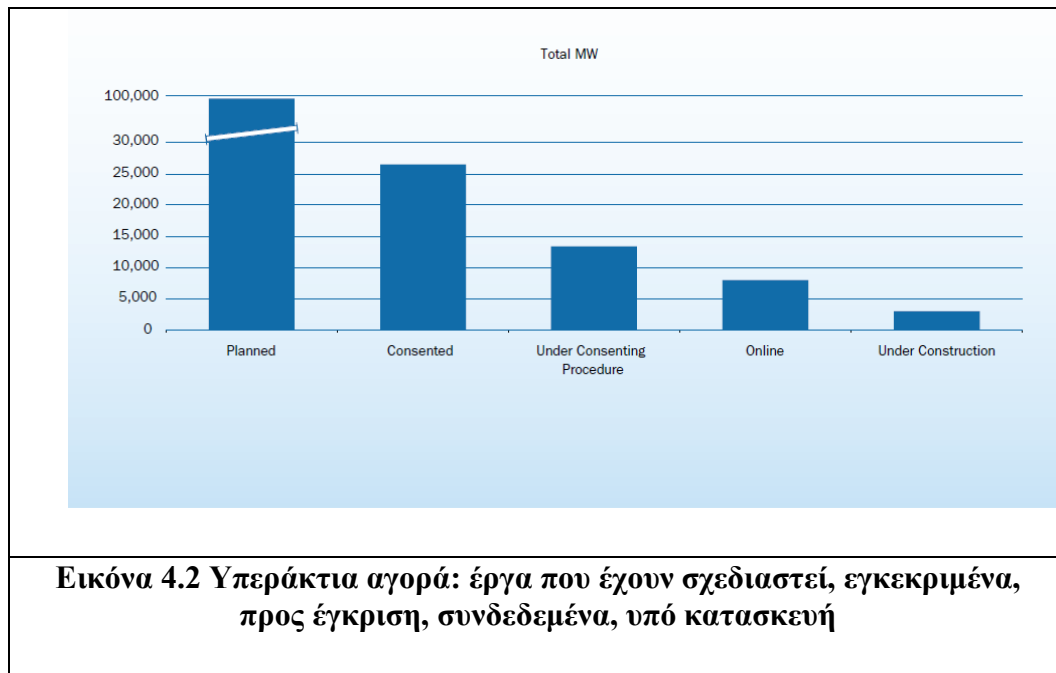


Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει τη μεγαλύτερη ποσότητα της εγκατεστημένης υπεράκτιας αιολικής δυναμικότητας στην Ευρώπη (4,494.4 MW) - 55,9% του συνόλου των εγκαταστάσεων. Η Δανία ακολουθεί με 1.271 MW (15,8%). Με 1,048.9 MW (13% των συνολικών ευρωπαϊκών εγκαταστάσεων), η Γερμανία είναι τρίτη ακολουθούμενη από το Βέλγιο (712 MW: 8,8%), την Ολλανδία (247 MW: 3,1%), Σουηδία (212 MW: 2,6%), η Φινλανδία (26MW: 0,3%), την Ιρλανδία (25 MW), την Ισπανία (5 MW), η Νορβηγία (2 MW) και την Πορτογαλία (2 MW).

4.5 Προοπτικές της αγοράς για το 2015 και το 2016

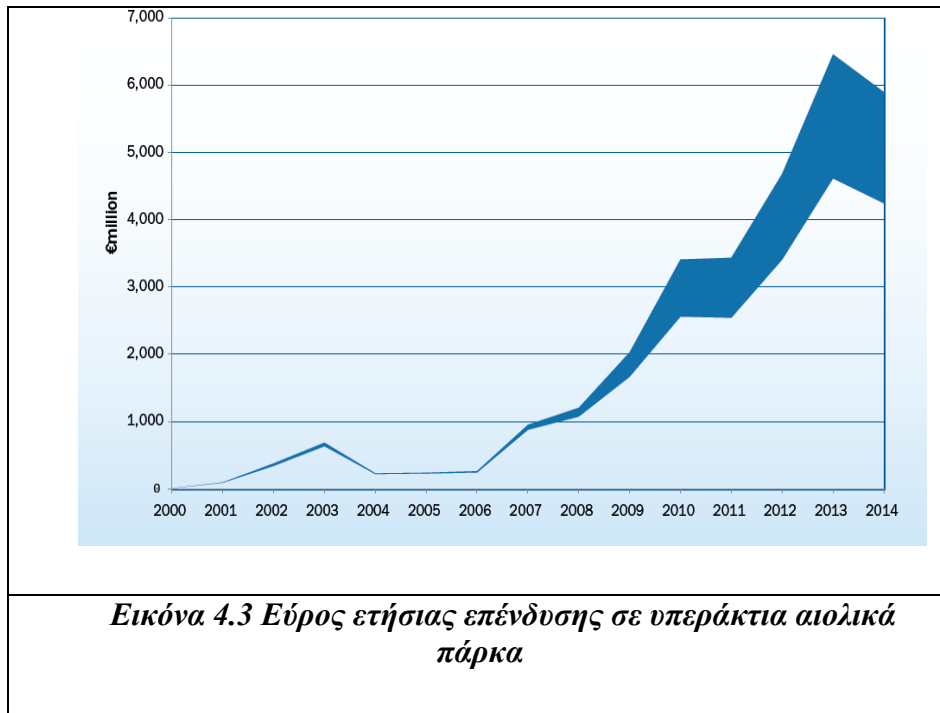
Η αιολική ενέργεια στην Ευρώπη και ειδικά στη Βρετανία θα λάβει μεγάλη ώθηση αφού ανακοινώθηκε η κατασκευή του μεγαλύτερου υπεράκτιου πάρκου στον κόσμο. Το υπουργείο Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής της Βρετανίας ενέκρινε μια αιολική συστοιχία 400 ανεμογεννητριών που θα εγκατασταθούν στη θαλάσσια περιοχή 120 χιλιόμετρα από την ακτή του Γιόρκσαϊρ της βόρειας Αγγλίας. Το έργο με την ονομασία Dogger Bank Creyke Beck με συνολική ισχύ 2,4 GW θα καλύψει μια επιφάνεια 1.100 τετραγωνικών χιλιομέτρων και θα κοστίσει από 9 έως 12 δισ. δολάρια. Όταν ολοκληρωθεί αναμένεται να καλύψει το 2,5% των ενεργειακών αναγκών της Βρετανίας, που μεταφράζονται σε δύο εκατομμύρια νοικοκυριά. Εάν και εφόσον το έργο ολοκληρωθεί θα πρόκειται για το πιο απομακρυσμένο από την ακτή υπεράκτιο αιολικό πάρκο, το οποίο μάλιστα θα έχει τη δυνατότητα να αναπτυχθεί σε τριπλάσια κλίμακα από αυτή που προβλέπει ο αρχικός σχεδιασμός.

Ωστόσο οι τάσεις τις αγοράς για το 2015 υποδεικνύουν πως η Γερμανία θα ξεπεράσει το Ηνωμένο Βασίλειο σε νέες εγκαταστάσεις, παίρνοντας την πρωτοκαθεδρία μετά από τρία έτη βρετανικής πρωτιάς. Η Γερμανία αναμένεται να ηγηθεί των νέων εγκαταστάσεων αυτό το έτος. Το Ηνωμένο Βασίλειο έχει εγκαταστήσει περισσότερες ανεμογεννήτριες από ότι όλος ο υπόλοιπος κόσμος μαζί, όμως το 2015 ξεκίνησε δείχνοντας πως και άλλες χώρες στην Ευρωπαϊκή Ένωση πραγματοποιούν σημαντικές επενδύσεις στον χώρο. Τα μεγαλύτερα υπεράκτια αιολικά πάρκα που αναμένεται να ολοκληρωθούν σύντομα είναι το Gwynt y Mor ισχύος 576 MW στη Βόρεια Ουαλία και το γερμανικό Global Tech 1 ισχύος 400 MW στη Βόρεια Θάλασσα.



4.6 Ετήσιες επενδύσεις σε υπεράκτια αιολικά πάρκα

Το 2014, οι επενδύσεις σε υπεράκτια αιολικά πάρκα κυμάνθηκαν από 4.2 δις € έως 5.9 δις €. Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κατά μέσο όρο εγκατάστασης ανά MW, οι ετήσιες επενδύσεις σε υπεράκτια αιολικά πάρκα στην Ευρώπη από 2000 παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



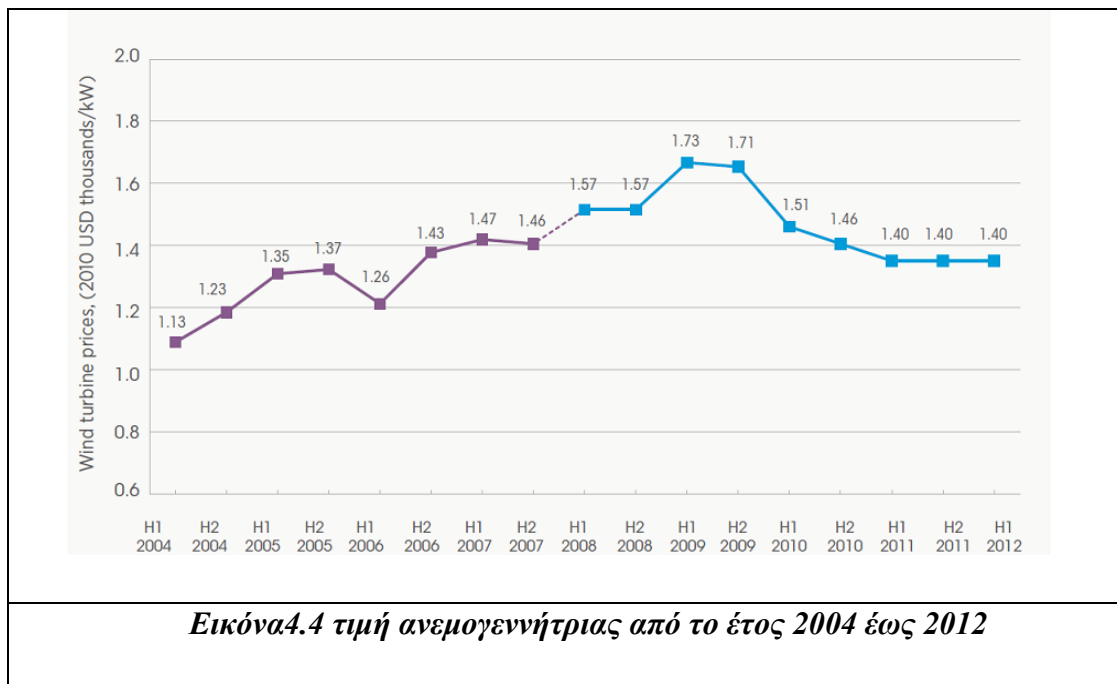
4.7 Το κόστος της ανεμογεννήτριας

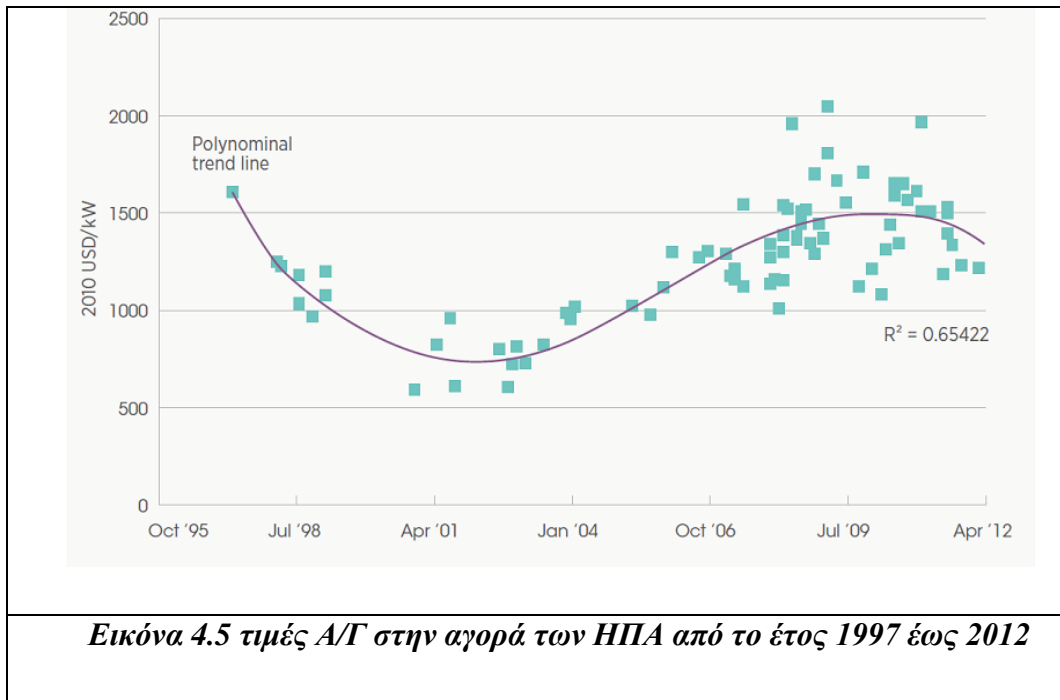
Η ανεμογεννήτρια αποτελεί το μεγαλύτερο κόστος του συνολικού κόστους εγκατάστασης εντός αιολικού πάρκου. Οι τιμές των ανεμογεννητριών αυξανόταν σταθερά κατά τα τελευταία χρόνια, ωστόσο φαίνεται να έχουν κορυφωθεί το 2009. Στο διάστημα των ετών 2000 και 2002 η τιμή της τουρμπίνας υπολογίστηκε κατά μέσο όρο στα 700 δολάρια/kw με την τιμή να ανέρχεται το 2009 στις Η.Π.Α. και στην Ευρώπη στα 1800 δολάρια/kw. Από το σημείο αιχμής στα 1800 δολάρια/kw το 2009 που αφορούσε συμβάσεις με παράδοση, οι τιμές για συμβάσεις με προγραμματισμένη παράδοση μειώθηκαν κατά 18% το πρώτο εξάμηνο του 2010 (εικόνα 1). Το δεύτερο εξάμηνο του 2010 και το πρώτο εξάμηνο του 2011 η τιμή των διεθνών συμβάσεων ανεμογεννητριών με παράδοση είναι κατά μέσο όρο στα 1470 δολάρια /kw μειωμένη κατά 15% σε σχέση με την τιμή αιχμής των 1730 δολαρίων/kw (BNEF, 2011).

Η τιμή των ανεμογεννητριών που αναφέρεται στις πρόσφατες συναλλαγές των ανεπτυγμένων χωρών κυμαίνεται κατά μέσο όρο από 1100 ως 1400 δολάρια / kw. Η πρόσφατη πτώση της τιμής των ανεμογεννητριών αντανακλά την αύξηση του ανταγωνισμού μεταξύ των κατασκευαστών Α/Γ, καθώς επίσης και τη χαμηλότερη τιμή των βασικών προϊόντων όπως ο χάλυβας, ο χαλκός και το τσιμέντο. Τα δεδομένα της αγοράς των ΗΠΑ μας δείχνουν ότι ακολούθησαν μια παρόμοια τάση. Η μέση τιμή των ανεμογεννητριών από 700 δολάρια /kw μεταξύ των ετών 2000-2002 υπερδιπλασιάστηκε σε 1500 δολάρια / kw τα έτη 2008-2009 (εικόνα 4.5). Ανάλυση των διαφορών αγορών

δείχνει ότι υπάρχει αρκετά μεγάλη διακύμανση στις τιμές των ανεμογεννητριών, ανάλογα με το κόστος της δομής της τοπικής αγοράς.

Η Κίνα φαίνεται να έχει την χαμηλότερη τιμή με την τιμή της αιολικής μηχανής να φτάνει με τα βίαια τα 644 δολάρια /kw το έτος 2010. Σε αντίθεση, η Ιαπωνία και η Αυστρία φαίνεται να έχουν το υψηλότερο κόστος, με την τιμή της τουρμπίνας να φτάνει περίπου από 2000δολάρια έως 2100 δολάρια /kw το έτος 2010. Από τις ανεπτυγμένες χώρες, οι ΗΠΑ και η Πορτογαλία φαίνεται να έχουν τις χαμηλότερες τιμές. Οι λόγοι γι' αυτή την μεγάλη διακύμανση οφείλονται στο χαμηλότερο κόστος εργασίας σε ορισμένες χώρες, τον ανταγωνισμό που υπάρχει σε μια συγκεκριμένη αγορά, τη διαπραγματευτική δύναμη των φορέων της αγοράς, όπως και από τοποειδικούς παράγοντες.





4.7.1 Ανάλυση του κόστους των ανεμογεννητριών

Η ανεμογεννήτρια αποτελεί το ακριβότερο τμήμα του αιολικού πάρκου. Στην παρακάτω εικόνα αναφέρεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα κατανομής του κόστους για μια μεγάλη υπεράκτια ανεμογεννήτρια. Στην πραγματικότητα το κόστος ποικίλει ανάλογα με τη χώρα, την ωριμότητα του κλάδου της αιολικής ενέργειας και τις λεπτομέρειες του έργου. Τα δύο κυριότερα και πιο ακριβά μέρη της A/Γ είναι ο πύργος και τα πτερύγια, τα οποία φτάνουν περίπου στο ήμισυ του συνολικού κόστους. Η επόμενη μεγαλύτερη συνιστώσα του κόστους είναι το κιβώτιο των ταχυτήτων, που ωστόσο απαιτεί εκτενή συντήρηση. Το κόστος βέβαια εξαρτάται από το μέγεθος της ανεμογεννήτριας.



4.7.2 Το κόστος σύνδεσης με το δίκτυο

Τα αιολικά πάρκα μπορούν να συνδεθούν με τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του δικτύου μεταφοράς ή διανομής. Εάν το σημείο σύνδεσης με το δίκτυο δεν είναι μακριά από το αιολικό πάρκο, η σύνδεση γίνεται συνήθως με σύνδεση υψηλής τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος (HVAC).

Σε μεγάλες αποστάσεις γίνεται η χρήση σύνδεσης με συνεχές ρεύμα υψηλής τάσης (HVDC), σε αυτή την περίπτωση σύνδεσης οι μειωμένες απώλειες μεταφοράς αντισταθμίζουν τις απώλειες κατά τη μετατροπή από εναλλασσόμενο σε συνεχές ρεύμα και αντίστροφα σε εναλλασσόμενο ρεύμα ξανά. Έχει υπολογιστεί ότι η HVDC σύνδεση είναι ελκυστική για αποστάσεις πάνω 50 χιλιόμετρα.

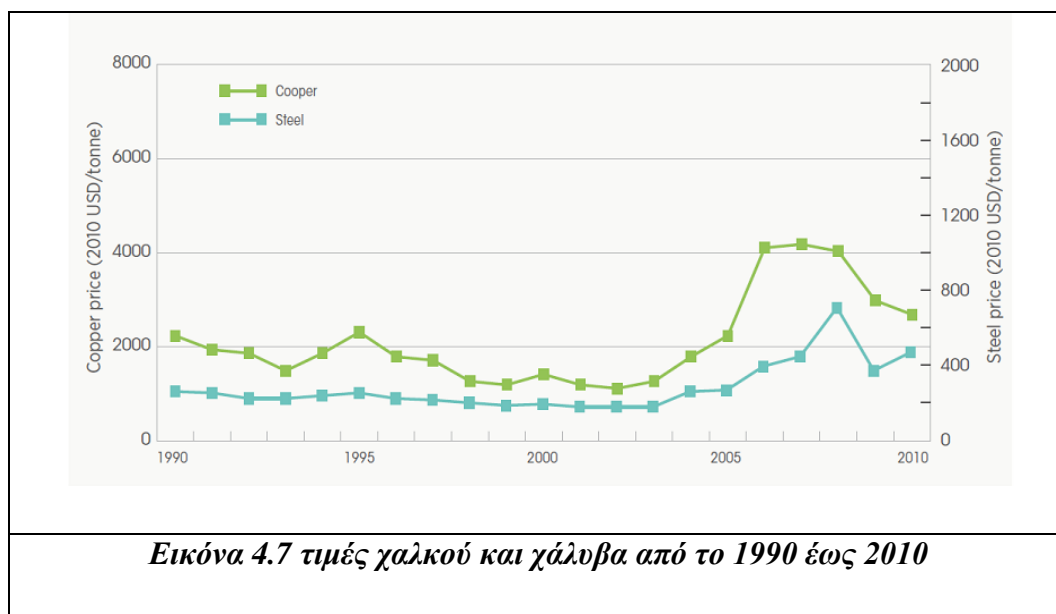
Το κόστος σύνδεσης στο δίκτυο μπορεί επίσης να διαφέρει σημαντικά από χώρα σε χώρα, ανάλογα με το ποιος αναλαμβάνει το κόστος σύνδεσης.

Για παράδειγμα, σε ορισμένες συστήματα, ο διαχειριστής είναι αυτός που αναλαμβάνει το κόστος της κάθε αναβάθμισης του συστήματος μεταφοράς που απαιτείται για την σύνδεση του αιολικού πάρκου, σε κάποια άλλα συστήματα, ο ιδιοκτήτης του αιολικού πάρκου θα πρέπει να πληρώσει για τα έξοδα αυτά. Το κόστος σύνδεσης στο δίκτυο (συμπεριλαμβανομένου των ηλεκτρολογικών εργασιών, τις γραμμές ηλεκτρικού ρεύματος και του σημείου σύνδεσης) είναι συνήθως 11% έως 14% του συνολικού κόστους κεφαλαίου στα χερσαία αιολικά πάρκα και 15% έως 30% στα υπεράκτιων αιολικά πάρκα.

4.7.3 Κόστος πολιτικού μηχανικού και κατασκευής

Το κόστος κατασκευής περιλαμβάνει τη μεταφορά και εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, την κατασκευή της θεμελίωσης των ανεμογεννητριών (πύργος), την κατασκευή δρόμων πρόσβασης και άλλων συναφών υποδομών που απαιτούνται για το αιολικό πάρκο.

Ο κύριος τύπος θεμελίωσης στην ξηρά είναι από σκυρόδεμα, ενώ υπεράκτια από χάλυβα. Ωστόσο, άλλοι τύποι θεμελιώσεων είναι πιθανόν να απαιτούνται για τις εξελίξεις των υπεράκτιων ανεμογεννητριών σε βαθιά νερά (π.χ. αναρρόφηση, υδατοστεγές κιβώτιο, στερεωμένους πύργους, πλωτά θεμέλια). Τα θεμέλια είναι υλικό-υψηλής έντασης, με το 45% έως 50% του κόστους των θεμελίων μονοριπλε αποδίδεται στην απαίτηση χάλυβα. Η μείωση του κόστους για τη θεμελίωση μπορεί να γίνει μέσω οικονομικών κλίμακας, τη μείωση της κατανάλωσης υλικών και μειωμένο κόστος υλικού. Η (εικόνα 4.7) παρουσιάζει την εξέλιξη των τιμών των βασικών εμπορευμάτων μεταξύ του 1990 και του 2010 για το χαλκό και χάλυβα, τα οποία αποτελούν ουσιώδη μέταλλα για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας. Η τιμή αγοράς των προϊόντων αυτών έχει υποστεί μια σημαντική αύξηση από το 2005, με κορύφωση το 2007/2008 που ξεπέρασε περίπου τρεις φορές τις τιμές του 2005. Ενώ οι τιμές των δύο μετάλλων στη συνέχεια μειώθηκαν, το 2010 ήταν ακόμα περίπου διπλάσια από ότι ήταν καθ' όλη τη δεκαετία του 1990.



Εικόνα 4.7 τιμές χαλκού και χάλυβα από το 1990 έως 2010

Η μεταφορά και εγκατάσταση των ανεμογεννητριών και των πύργων είναι επίσης ένα σημαντικό στοιχείο κόστους. Η αύξηση του μέσου μεγέθους των ανεμογεννητριών έχει αυξήσει το απόλυτο κόστος ανά ανεμογεννήτρια, ωστόσο το κόστος μεταφοράς και το κόστος εγκατάστασης δεν έχουν αναπτυχθεί αναλογικά με το μέγεθος της τουρμπίνας, συμβάλλοντας στη μείωση της σχετικής σημασίας των εν λόγω δαπανών σε χερσαία αιολικά πάρκα. Στις Υπεράκτιες ανεμογεννήτριες οι δαπάνες αυτές είναι πολύ υψηλότερες από ότι στις χερσαίες γιατί υπάρχει έλλειψη στις ειδικές κατασκευές σκαφών και γερανών. Επομένως, η κατασκευή των πλοίων και γερανών που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών προσφέρει την δυνατότητα να μειωθεί ο χρόνος και το κόστος εγκατάστασης. Συγκεκριμένα στην Δανία η χρήση των πλοίων και γερανών που

έχουν σχεδιαστεί ειδικά για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών μείωσε τον χρόνο εγκατάστασης ανά ανεμογεννήτρια από 3 σε 1.4 μέρες.

4.7.4 Κόστος συντήρησης και λειτουργίας

Το σταθερό και μεταβλητό κόστος λειτουργίας και συντήρησης (O & M) είναι ένα σημαντικό μέρος του συνολικού προβλεπόμενου μέσου κόστους αιολικής ενέργειας (LCOE). Τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης (O & M) είναι δύσκολα προσδιορίσιμα. Ακόμα και όταν υπάρχουν διαθέσιμα στοιχεία, πρέπει δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην προέκταση των ιστορικών δαπανών (O & M) αφού είναι δραματικές οι αλλαγές στην τεχνολογία των ανεμογεννητριών που έχουν συμβεί κατά τη διάρκεια των δύο τελευταίων δεκαετιών. Ωστόσο, είναι σαφές ότι το μέσο ετήσιο κόστος (O & M) των συστημάτων της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί σημαντικά από το 1980. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, τα στοιχεία για τα ολοκληρωμένα έργα δείχνουν ότι το συνολικό κόστος (O & M πάγιο και μεταβλητό) έχει μειωθεί από περίπου 33 USD / MWh για 24 έργα που ολοκληρώθηκαν το 1980 σε 22 USD / MWh για 27 έργα που ολοκληρώθηκαν στη δεκαετία του 1990 και σε 10 USD / MWh για το 65 έργα που εγκαταστάθηκαν στη δεκαετία του 2000.

Λόγω των διαφορετικών δεδομένων το κόστος συντήρησης, ή τουλάχιστον αναφοράς τους, απέχει πολύ από έργο σε έργο. Ωστόσο, από το έτος 2000 οι δαπάνες (O&M) φαίνεται να είναι χαμηλότερες και να είναι πιο ομοιόμορφες σε όλα τα έργα από ότι συνέβαινε πριν από το 2000. Αυτή η μείωση στο κόστος λειτουργίας και συντήρησης μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα πιο πρόσφατα έργα χρησιμοποιούν μεγαλύτερες πιο εξελιγμένες ανεμογεννήτριες και έχουν υψηλότερους παράγοντες ικανότητας (μείωση του σταθερού κόστους (O & M) ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας). Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για την αιολική ενέργεια είναι το γεγονός ότι το κόστος συντήρησης δεν είναι ομοιόμορφα κατανομημένος με τον χρόνο.

Μεταβλητό κόστος (O & M) συνήθως περιλαμβάνει προγραμματισμένη και μη προγραμματισμένη συντήρηση. Οι συντήρησης μπορεί να είναι μικρές και συχνές (αντικατάσταση των μικρών εξαρτημάτων, περιοδικές διαδικασίες επαλήθευσης, κλπ), ή μεγάλες και σπάνιες (μη προγραμματισμένη αποκατάσταση των σημαντικών ζημιών ή η αντικατάσταση των κύριων συνιστωσών). Οι δαπάνες λειτουργίας και συντήρησης φαίνεται να είναι η χαμηλότερες στις Ηνωμένες Πολιτείες περίπου 0,01 / kWh (USD 10 / MWh), ίσως αυτό οφείλεται στο μέγεθος της αγοράς και την πολύχρονη εμπειρία με την αιολική ενέργεια. Ευρωπαϊκές χώρες τείνουν να έχουν υψηλότερο κόστος λειτουργίας και συντήρησης για τα χερσαία αιολικά έργα.

Οι O & M δαπάνες για υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι σημαντικά υψηλότερα από ό, τι για τα χερσαία αιολικά πάρκα λόγω του υψηλότερου το κόστους πρόσβασης και της εκτέλεση εργασιών συντήρησης ανεμογεννήτριας, καλωδίωσης και του πύργου. Το κόστος συντήρησης είναι επίσης υψηλότερο λόγω του σκληρού θαλάσσιου περιβάλλοντος και το υψηλότερο αναμενόμενο ποσοστό αποτυχίας για μερικά εξαρτήματα. Συνολικά αυτό οι κόστος αναμένεται να είναι της τάξης των 0.027 έως USD 0,054 / kWh (USD 27 USD 54 / MWh).

Δεδομένου ότι τα υπεράκτια και συγκεκριμένα τα πλωτά αιολικά πάρκα είναι στην αρχή της φάσης εγκατάστασης τους, θα χρειαστεί χρόνος για την μείωση του κόστους. Εντούτοις,

είναι σαφές ότι η μείωση των δαπανών λειτουργίας και συντήρησης για υπεράκτια αιολικά πάρκα παραμένει βασική πρόκληση και θα συμβάλει στη βελτίωση των οικονομικών της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας.

4.8 Συνολικό κόστος εγκατάστασης συστημάτων αιολικής ενέργειας

Χερσαία αιολική ενέργεια

Το κόστος κεφαλαίου για τα συστήματα αιολικής ενέργειας ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με την ωριμότητα της αγοράς και η τοπική διάρθρωση του κόστους. Η Κίνα και η Δανία έχουν το μικρότερο δυνατό κόστος κεφαλαίου για νέα χερσαία έργα που κυμαίνονται μεταξύ 1 300 USD / kW και USD 1 384 / kW. Άλλες χώρες χαμηλού κόστους περιλαμβάνουν την Ελλάδα, την Ινδία και την Πορτογαλία. Μια λεπτομερής ανάλυση της αγοράς των Ηνωμένων Πολιτειών δείχνει ότι το κόστος εγκατάστασης της αιολικής ενέργειας μειώθηκε σταθερά από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 έως το 2001, πριν αυξηθεί το κόστος των πρώτων υλών και άλλων βασικών εμπορευμάτων, σε συνδυασμό με πιο εξελιγμένα συστήματα αιολικής που ανέβασε το κόστος των ανεμογεννητριών. Τα στοιχεία των τελευταίων αιτών δείχνουν μια ελαφρά μείωση στο κόστος εγκατάστασης, λόγω του χαμηλότερου κόστους της τουρμπίνας.

Η μετάβαση σε μεγαλύτερα μεγέθη τουρμπίνας με ψηλότερους πύργους και μεγαλύτερα πτερύγια συνέβαλε στην αύξηση της παραγωγής και σε χαμηλότερο προβλεπόμενο μέσο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (LCOE). Κατά συνέπεια, το κύριο όφελος των μεγάλων ανεμογεννητριών είναι ότι είναι εφικτή η λειτουργία τους σε υψηλότερες μέσες ταχύτητες ανέμου, έχουν μεγαλύτερες περιοχές σάρωσης για τους ρότορες και ως εκ τούτου την επίτευξη υψηλότερων συντελεστών φέρουσας ικανότητας.

Υπεράκτια αιολική ενέργεια

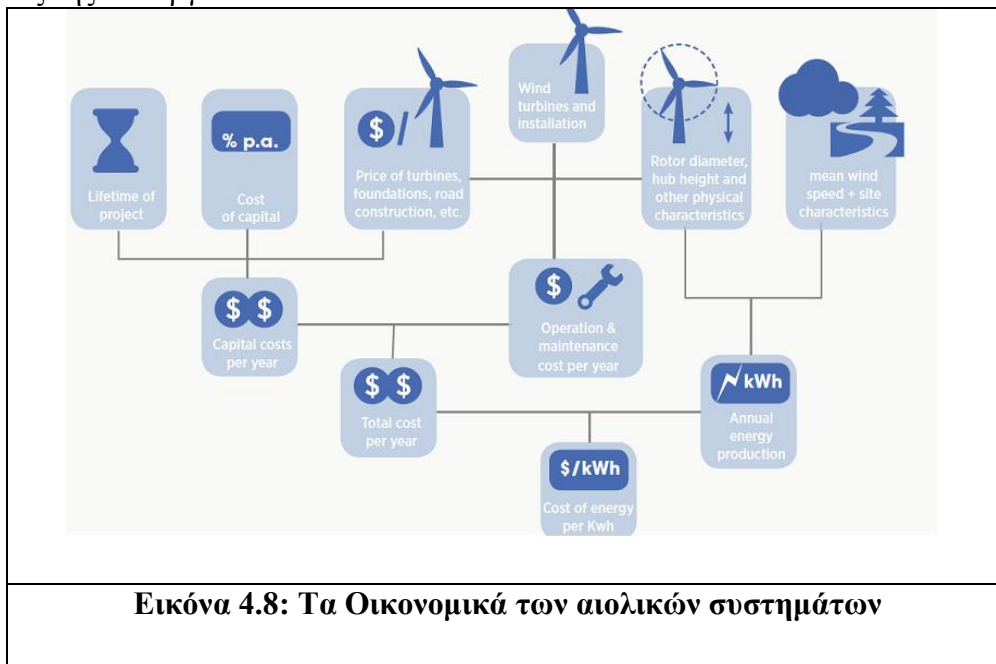
Το κόστος κεφαλαίου της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας είναι περίπου δύο φορές μεγαλύτερο σε σχέση με την χερσαία αιολική ενέργεια, παρόλο που ο σχεδιασμός των υπεράκτιων ανεμογεννητριών βασίζεται στα σχέδια των χερσαίων. Το υψηλότερο κόστος είναι λόγω των αυξημένων επενδύσεων σε υπεράκτια εγκατάσταση καλωδίων, της ακριβότερης κατασκευής θαλάσσιας θεμελίωσης, την μεταφορά υλικών και ανεμογεννητριών στο αιολικό πάρκο, την εγκατάσταση θεμελίων, του εξοπλισμού και των τουρμπινών. Θα πρέπει να σχεδιαστεί με επιπλέον προστασία από τη διάβρωση και το σκληρό θαλάσσιο περιβάλλον για να βοηθήσει στη μείωση του κόστους συντήρησης, που είναι επίσης υψηλότερο στην περίπτωση της υπεράκτιας ανεμογεννήτριας.

Μια πρόσφατη μελέτη των Ντάγκλας-Westwood που ξεκίνησε από το Συμβούλιο Ερευνών της Νορβηγίας (RCN) παρέχει λεπτομερή ανάλυση της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας (Ντάγκλας-Westwood). Η μελέτη περιγράφει τις πρόσφατες τάσεις στην εγκατεστημένη υπεράκτια αιολική ενέργεια, την απόδοση των ανεμογεννητριών και το κόστος λειτουργίας και συντήρησης.

Το μεγαλύτερο τμήμα του κόστους για υπεράκτια αιολικά πάρκα εξακολουθεί να είναι η ανεμογεννήτρια, αλλά αντιπροσωπεύει λιγότερο από το ήμισυ (44%) του συνολικού κεφαλαίου. Με βάση την εκτίμηση των τιμών των ανεμογεννητριών από τους μεγάλους κατασκευαστές και άλλες έρευνες για το κόστος υπολογίζεται ότι η μέση τιμή της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας τουρμπίνα είναι περίπου 1 970 USD / kW. Σύμφωνα με τις εκτιμήσεις των Ντάγκλας-Westwood, το τρέχον κεφαλαιουχικό κόστος της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας για ρηγά νερά στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι 4 471 USD / kW που είναι περίπου 2,5 φορές υψηλότερο από ό, τι στην ξηρά. Οι πρόσθετες δαπάνες λόγω της μεταβλητότητας που μπορούν να προστεθούν στο προβλεπόμενο μέσο κόστος ηλεκτρικής ενέργειας (LCOE) είναι περιορισμένες οι οποίες είναι περίπου 0,003 USD / kWh.

4.9 Συνολικό προβλεπόμενο μέσο κόστος αιολικής ενέργειας (LCOE)

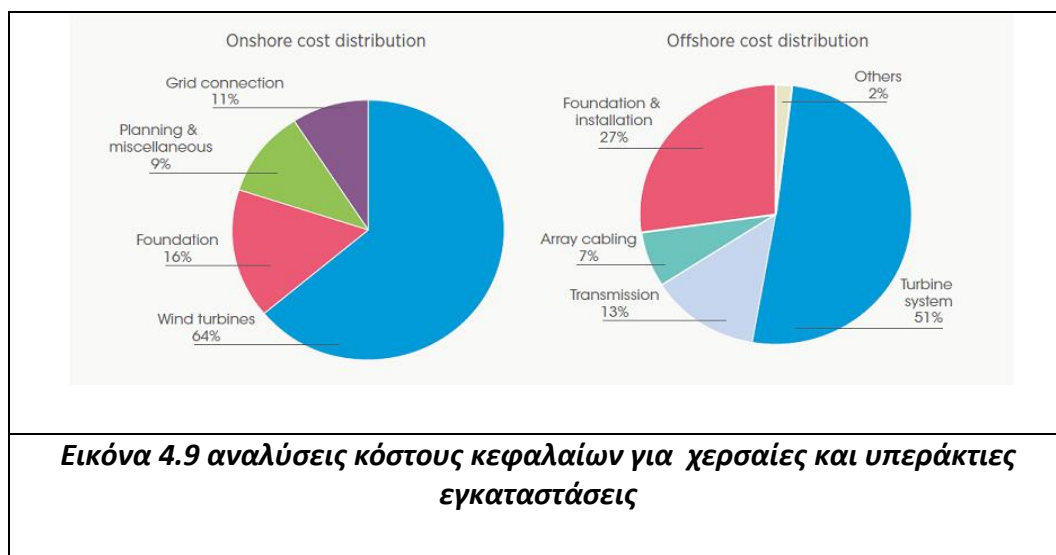
Το προβλεπόμενο μέσο κόστος της ενέργειας (LCOE) είναι η κύρια μέτρηση για την περιγραφή και τη σύγκριση οικονομικών μεγεθών στα έργων ηλεκτρικής ενέργειας. Για την αιολική ενέργεια, ο LCOE αντιπροσωπεύει το άθροισμα όλων των δαπανών ενός πλήρως λειτουργικού συστήματος αιολική ενέργεια κατά τη διάρκεια ζωής του έργου. Τα κύρια στοιχεία του LCOE στα συστημάτων αιολικής ενέργειας περιλαμβάνουν το κόστος του κεφαλαίου, το κόστος λειτουργίας και συντήρησης και την αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας (εικόνα 4.8). Η εκτίμηση του κόστους του συστήματος αιολικής ενέργειας απαιτεί προσεκτική αξιολόγηση όλων αυτών των δεικτών καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του έργου



4.9.1 Δομή κόστους σε αιολικά πάρκα μεγάλης κλίμακας

Οι βασικές παράμετροι που καθορίζουν την LCOE για τα συστήματα αιολικής ενέργειας είναι το κόστος κεφαλαίου, η ποιότητα του ανέμου, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των

ανεμογεννητριών και το προεξοφλητικό επιτόκιο. Άλλες δαπάνες είναι το μεταβλητό κόστος, συμπεριλαμβανομένων του κόστους λειτουργίας και συντήρησης. Από αυτές τις παραμέτρους, το κόστος του κεφαλαίου είναι το πιο σημαντική παράμετρος, με την ανεμογεννήτρια αντιπροσωπεύει το 64% έως 84% της συνολικής επένδυσης για τα χερσαία αιολικά πάρκα στην Ευρώπη. Μια ανάλυση της δομής του κεφαλαίου για χερσαία και υπεράκτια συστήματα αιολικής ενέργειας φαίνεται στην εικόνα 4.9



4.10 Οικονομική ανάλυση πλωτών ανεμογεννητριών

Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής

Οι αναλύσεις κόστους κύκλου ζωής είναι πολύ χρήσιμες κατά τη λήψη αποφάσεων μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων με διαφορετικά δεδομένα και το κόστος λειτουργίας, αλλά και στην ικανοποίηση των απαιτήσεων όσον αφορά την απόδοση. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος του κύκλου ζωής, πρέπει να ελαχιστοποιηθούν οι συνολικές δαπάνες σε σχέση με την παραγόμενη ενέργεια, και αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη ζύγιση και τη σύγκριση των εξόδων σε διάφορες φάσεις κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του έργου. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η αξιολόγηση των επενδυτικών δαπανών ως το μόνο κριτήριο για επενδυτικές αποφάσεις είναι μια κακή ιδέα, όπως λύσεις που περιλαμβάνουν μικρότερα κόστη κεφαλαίου μακροπρόθεσμα θα μπορούσαν να είναι πιο ακριβά από ό, τι οι εναλλακτικές λύσεις.

Οι κοινές εφαρμογές για τις αναλύσεις LCC (Life Cycle Cost) περιλαμβάνουν:

- Σύγκριση μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων και στρατηγικών σε σχέση με την, παραγωγή, λειτουργία, συντήρηση κ.λπ.
- Αξιολόγηση της οικονομικής βιωσιμότητας ενός έργου.

- Οικονομικός σχεδιασμός.

Οι Φάσεις του κύκλου ζωής και Στοιχεία Κόστους είναι:

- 1)Αξιοποίηση του έργο που σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε.
- 2)Αγορά απαραίτητων εξαρτημάτων
- 3)Εγκατάσταση
- 4)Λειτουργία και συντήρηση, όπου λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα για να εξασφαλιστεί η εκμετάλλευση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- 5)Απόσυρση,

Οι ροές κόστους σε σχέση με την οικονομική διάρκεια ζωής του έργου αξιολογούνται σε πρώιμο στάδιο του έργου, που φέρει κατά νου την διαχρονική αξία του χρήματος.

Έξοδα εξαρτημάτων και προσωπικού

Οι δαπάνες για ορισμένα εξαρτήματα αναμένεται να συμβάλλουν σε μεγάλο βαθμό στο συνολικό κεφαλαίου σε ένα αιολικό πάρκο. Τα μεγαλύτερα κόστη είναι αυτά των υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των ανεμογεννητριών, τα οποία αποτελούνται κυρίως από ατσάλι. Επιπλέον και το κόστος των καυσίμων συμβάλλει στις δαπάνες για την εγκατάσταση, τη λειτουργία και τη συντήρηση και τον παροπλισμό του αιολικού πάρκου.

Το κόστος του χάλυβα: 1000 €/ τόνο

Το κόστος των καυσίμων: 640€ / τόνο

Αμοιβές προσωπικού: 67 000 €/ έτος (370 €/ ημέρα, για 12 ώρες εργασίας)

Δαπάνες σκαφών

Πίνακας4.1 προσεγγιστικές ημερήσιες τιμές των διαφόρων σκαφών για την εγκατάσταση, περιλαμβανομένης της μέσης κατανάλωσης καυσίμου. οι τιμές είναι για το έτος € 2.013

<i>τύπος πλοίου/τιμή</i>	<i>χαμηλή</i>	<i>μεσαία</i>	<i>υψηλή</i>
<i>γερανός</i>	€ 431 000	€ 531 000	€ 631 000
<i>Φορτηγό-γερανός για κοντινές αποστάσεις</i>	€ 45 000	€ 55 000	€ 65 000

<i>Ρυμουλκό σκάφος</i>	€ 16 000	€ 17 000	€ 18 000
<i>Κινητός γερανός</i>	€ 5 000	€ 6 000	€ 7 000
<i>Ρυμουλκό αγκυρών</i>	€ 81 000	€ 91 000	€ 101 000

Πίνακας 4.2 Ετήσιο πάγιο κόστος για τα πλοία συντήρησης, συμπεριλαμβανομένων μέση κατανάλωση καυσίμου. Έτος 2013

<i>Τύπος πλοίου/τιμή</i>	<i>χαμηλή</i>	<i>μεσαία</i>	<i>υψηλή</i>
<i>Εξειδικευμένο σκάφος συντήρησης</i>	€1 850 000	€1 900 000	€1 950 000
<i>Κύριο σκάφος</i>	€ 12 800 000	€13 100 000	€13 500 000

Κόστος ανεμογεννήτριας

	<i>Πίνακας4.3 Κόστος υπεράκτιας Α/Γ 5 MW</i>					
	The Crown Estate	RCN2	Scottish Enterprise3	NVE4	The Crown Estate5	Average
<i>Ατρακτί διο</i>	€3.159.000	€2 821 000	€ 3 178 000	-	-	-
<i>Ρότορας</i>	€1 895 000	€2 015 000	€ 2 241 000	-	-	-
<i>Πύργος</i>	€1 263 000	€2 015 000	€ 1 598 000	-	-	-
<i>Διάφορα</i>	€ 1 23 000	€1 209 000	€ 514 000	-	-	-
<i>Τουρμπίνα</i>	€7 580 000	€8 060 000	€ 7 531 000	€6 956 000	€7249 000	€7475000
<i>Τουρμπίνα Χωρίς φ.π.α</i>	€6 317 000	€6 851 000	€ 7 017 000	€5 797 000	€6 041 000	€640500

Πηγές: 1. (The Crown Estate 2010)

2. (Douglas Westwood 2010)

3. (Scottish Enterprise / Douglas Westwood 2011)

4. (Multiconsult 2012) Διεύθυνση Ενέργειας και Υδατικών Πόρων Νορβηγίας

5. (Howard 2012) - MS Excel LCOE model

Πίνακας 4.4. Εκτιμήσεις κόστους για Α/Γ πυρακτωμένη στον πυθμένα (bottom-fixed substructures)

<i>concept</i>	<i>Monopile</i>	<i>Jacket/piles(πάσσαλοι)</i>
<i>Κατανάλωση υλικού (σε τόνους)</i>	1 200	510/315
<i>Κόστος υλικών</i>	€ 1 200 000	€ 510 000/€ 315 000
<i>Το κόστος κατασκευής</i>	€ 2 400 000	€ 3 180 000

Πίνακας 4.5: εκτιμήσεις του κόστους κατασκευής για πλωτές υποδομές

<i>Concept</i>	<i>TLB B</i>	<i>TLB X3</i>	<i>Hywind II</i>	<i>WindFloa</i>	<i>SWAY</i>
<i>t</i>				<i>t</i>	
<i>Αναλώσεις υλικών (έξοδα)</i>	445(1)	521(1)	1 700(2)	2 500(3)	1 100(4)
<i>Κόστος υλικών</i>	€ 445 000	€ 521 000	€ 1 700 000	€ 2 500 000	€ 1 100 000
<i>Επιπλέον κόστος κατασκευής</i>	110 %(5)	130% (5)	120 % (2,5)	200 % (5,6)	150 % (6)
<i>Το κόστος κατασκευής</i>	€ 489 500	€ 677 300	€ 2 040 000	€ 5 000 000	€ 1 650 000
<i>Συνολικό κόστος κατασκευής</i>	€ 934 500	€ 1 198 300	€ 3 740 000	€ 7 500 000	€ 2 750 000

Πηγές: 1) (Myhr & Nygaard 2012),

2) (Byklum 2013),

3) Weinstein 2009),

4) (Jorde

2013), 5)(Myhr 2013), 6) (Borgen 2010)

Συνολικό κόστος πρόσδεσης

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει το συνολικό κόστος συστήματος πρόσδεσης για κάθε μία μονάδα των πλωτών κατασκευών, με σημείο αναφοράς το βάθος των 200 μέτρων. Στις παρακάτω τιμές δεν συμπεριλαμβάνονται τα έξοδα εγκατάστασης για τα συστήματα πρόσδεσης.

Πίνακας 4.6 κόστος συστήματος πρόσδεσης πλωτών κατασκευών για βάθος 200μέτρα (€ 2013)

<i>Concept</i>	<i>TLB B / TLB</i> <i>X3</i>	<i>Hywind</i>	<i>WindFloa</i> <i>t</i>	<i>SWAY</i>
<i>Άγκυρες</i>	3 x VLA	3 x DPA	4 x DPA	1 x SPA
<i>Κόστος άγκυρας</i>	€ 834 000	€ 342 000	€ 456 000	€ 1 435 000
<i>Μήκος σχοινιών</i>	1 766 m	-	-	-
<i>Μήκος αλυσίδας</i>	-	1 800 m	2 640 m	-
<i>Μήκος συρμάτων</i>	-	150 m	200 m	-
<i>Μήκος σωληνώσεων</i>	-	-	-	101 m
<i>Το κόστος σχοινιών πρόσδεσης</i>	€ 1 077 000	€ 119 000	€ 169 000	€ 191 000
<i>Συνολικό κόστος πρόσδεσης</i>	€ 1 911 000	€ 461 000	€ 625 000	€ 1 626 000

Κόστος λειτουργίας και συντήρησης

Στον παρακάτω πίνακα αναφέρεται το κόστος λειτουργίας και συντήρησης ανά έτος πλωτών και παρακτωμένων Α/Γ (Floating, Bottom-fixed)

Πίνακας 4.7 Ο & Μ κόστος ανά έτος

<i>Το κόστος της επισκευής ανά έτος</i>	<i>Floating</i>	<i>Bottom-fixed</i>
<i>Κόστος υλικών</i>		
<i>Μη προγραμματισμένο</i>	€ 5 372 000	€ 5 381 000
<i>προγραμματισμένο</i>	€ 131 000	€ 131 000

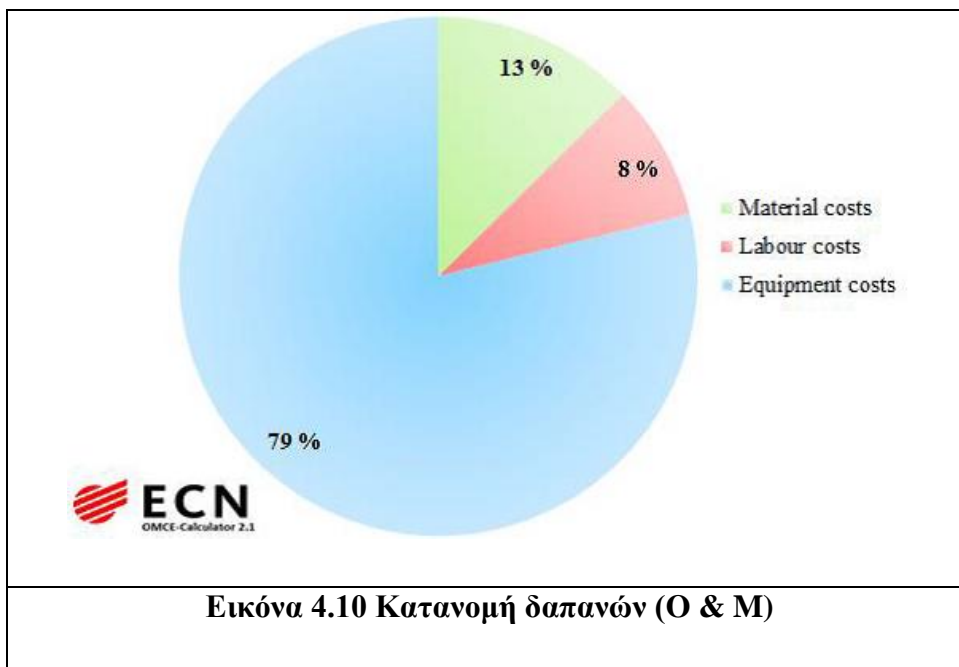
<i>Με βάση το χρονοδιάγραμμα</i>	€ 1 600 000	€ 1 600 000
<i>Το κόστος εργασίας</i>		
<i>Μη προγραμματισμένη εργασία</i>	€ 4 766 000	€ 4 766 000
<i>Προγραμματισμέ νη εργασία</i>	€ 32 000	€ 32 000
<i>Το κόστος εξοπλισμού</i>		
<i>Μη προγραμματισμένο</i>	€ 42 888 000	€ 35 165 000
<i>Προγραμματισμένο</i>	€ 1 490 000	€ 1 456 000
<i>Συνολικό κόστος της επισκευής ανά έτος</i>	€ 56 280 000	€ 48 532 000

Πίνακας 4.8 Σταθερό ετήσιο κόστος εργασίας για τα αιολικά πάρκα

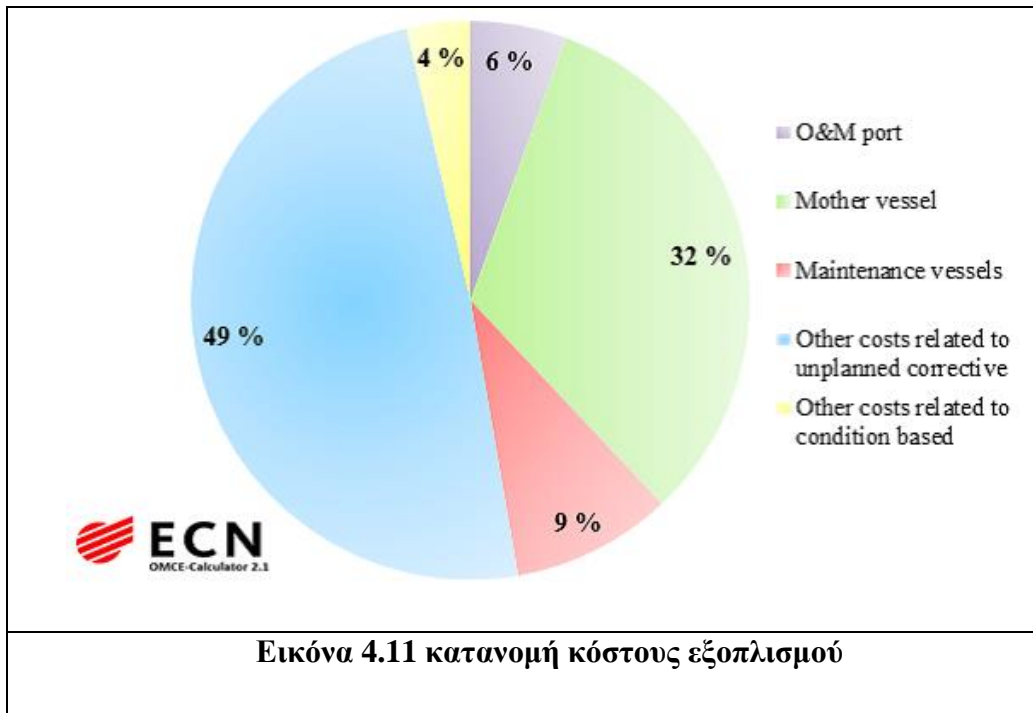
<i>Εργασία</i>	<i>εργαζόμενοι</i>	<i>Σταθερές ετήσιες αμοιβές</i>	<i>Συνολικό ετήσιες αμοιβές</i>
<i>Τεχνικοί (Offshore)</i>	60	€ 67 000	€ 4 020 000
<i>Διαχειριστές (Offshore)</i>	2	€ 118 000	€ 236 000

Διοικητικό προσωπικό(Onshore)	6	€ 60 000	€ 360 000
Τεχνικό προσωπικό(Onshore)	3	\$ 50 000	\$ 150 000
Συνολικό ετήσιο κόστος εργασίας	71	-	€ 4 766 000

Οι συνολικές λειτουργίας και συντήρησης (O & M δαπάνες) παρουσιάζονται στην παρακάτω εικόνα. Από αυτή την ανάλυση φαίνεται ξεκάθαρα ότι το κόστος του εξοπλισμού αντιπροσωπεύει την πλειοψηφία του συνολικού κόστους συντήρησης και λειτουργίας (O & M) αιολικού πάρκου σε ποσοστό πάνω από τα τρία τέταρτα.



Οι κατανομές του κόστους του εξοπλισμού αξιολογούνται περαιτέρω στην εικόνα, όπου το κόστος του εξοπλισμού για τα πλωτά αιολικά πάρκα χωρίζεται περαιτέρω σε πέντε κατηγορίες.



Όπως φαίνεται στην παραπάνω εικόνα, το κόστος για την ενοικίαση πλοίων για μη προγραμματισμένη συντήρηση (μπλε χρώμα) αντιπροσωπεύει σχεδόν το ήμισυ του ετήσιου κόστους του εξοπλισμού, ενώ το κόστος που συνδέεται με το κύριο σκάφος για προγραμματισμένη συντήρηση (πράσινο χρώμα) αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μέρος των υπολοίπων δαπανών.

Στάδιο απόσυρσης

Είναι το τελευταίο στάδιο του κύκλου ζωής, στο οποίο γίνεται η απόσυρση των ανεμογεννητριών και αντικατάστασή τους με καινούργιες. Το στάδιο αυτό είναι πολύ σημαντικό για το περιβάλλον καθώς είναι πολύ επικίνδυνο σε περίπτωση κακής διαχείρισης, αφού τα υλικά των ανεμογεννητριών είναι αρκετά βλαβερά για το περιβάλλον.

Κόστος απόσυρσης

Πίνακας 4.9 κόστος απόσυρσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Concept	TLB B	TLB X3	Hywind	WindFloat	SWAY	Monopile	Jacket
Κόστος απόσυρσης	€207000	€207000	€205000	€195000	€172000	€ 304 000	€371000

Από τον παραπάνω πίνακα παρατηρούμε ότι όσο πιο βαριά και πιο ακριβή η κατασκευή μιας ανεμογεννήτριας τόσο πιο ακριβή είναι και η απόσυρσή της.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι πλωτές πλατφόρμες για ανεμογεννήτριες έχουν προταθεί πρὶν πολλά χρόνια, αλλά πρόσφατα έχει ωριμάσει αρκετά η τεχνολογία ἔτσι ὥστε να μπορεί να εξεταστεί σοβαρά το ενδεχόμενο της υπέρβασης των τεχνικών προκλήσεων που απαιτούνται για τον σχεδιασμό πλωτών ανεμογεννητριών, καθώς έχει αποδειχθεί από την υπεράκτια βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου ὅτι αυτές οι τεχνικές προκλήσεις μπορούν να ξεπεραστούν. Η μεγαλύτερη πρόκληση είναι κυρίως οικονομικής φύσεως. Η παρούσα εργασία παρέχει οικονομική ανάλυση διάφορων πλωτών εξεδρών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μια πρακτική μέθοδος για την μελέτη και την ανάλυση οικονομικών ζητημάτων σε ένα ευρύ φάσμα πλωτών ανεμογεννητριών.

Τα πλωτά συστήματα προσφέρουν τη δυνατότητα να εκτελεστεί το μεγαλύτερο μέρος της διαδικασίας συναρμολόγησης στην ξηρά, πράγμα που μπορεί να μεγιστοποιήσει τα πλεονέκτηματά αυτών των συστημάτων. Για μεγάλες παραγωγές είναι δυνατή η επίτευξη χαμηλότερου κόστους στα πλωτά συστήματα απ' ὅτι στα σταθερά συστήματα βυθού. Οι πλωτές ανεμογεννήτριες μπορούν να τοποθετηθούν σε περιοχές που έχουν ισχυρότερους ανέμους και συνεπώς μεγαλύτερη παραγωγή κάτι το οποίο αντισταθμίζει το μεγάλο τους κόστος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μαυράκος, Σ., «Μελέτη και σχεδίαση πλωτών κατασκευών», Πανεπιστημιακές Σημειώσεις, Ε.Μ.Π., Αθήνα 1999
- [2] A.N. Robertson and J.M. Jonkman ‘Loads Analysis of Several Offshore Floating Wind Turbine Concepts’
- [3] J. M. Jonkman, ‘Dynamics Modeling and Loads Analysis of an Offshore Floating Wind Turbine’, Technical Report NREL/TP-500-41958, November 2007
- [4] J. Jonkman, M. Musial, ‘Offshore Code Comparison Collaboration (OC3) for IEA Task 23 Offshore Wind Technology and Deployment’, NREL/TP-500-48191. December 2010.
- [5] Jonkman, J, Butterfield, S, Musial, W, and Scott, G Definition of a 5-MW Reference Wind Turbine for Offshore System Development. NREL/TP-500-38060. NREL: Golden, CO. 2009.
- [6] Mehran Ahmadi ‘Analysis and Study of Floating Offshore Wind Turbines’ December 2013
- [7] N.Kuljaca, M.Marelli, E.Zaccone; ‘High voltage and medium voltage submarine cables for offshore windfarms’
- [8] Βραχίμης, Μ. Ξονίκης, Α Παπγιωτίης, Μ ‘Υπεράκτιες Ανεμογεννήτριες Ζητήματα Διασύνδεσης τους στο Δίκτυο’
- [9] Δ. Καλιαμπάκος. Δ. Δαμίγος ‘Χρηματοοικονομική και κοινωνικοοικονομική αξιολόγηση επενδύσεων’, αθήνα 2008.
- [10] R. Fadaeinedjad, M. Moallem, G. Moschopoulos, "Simulation of a Wind Turbine With Doubly Fed Induction Generator by FAST and Simulink," Energy Conversion, IEEE Transactions on , vol.23, no.2, pp.690,700, June 2008
- [11] L. Pao, K. Johnson, “A tutorial on the dynamics and control of wind turbines and wind farms”, Proceedings of 2009 American control conference, St. Louis, MO (USA) (2009)
- [12] Μπεργελές, Γ. , Ανεμοκινητήρες, νέα βελτιωμένη έκδοση 2005, Εκδόσεις Συμεών

- [13] W. Yu; H. Qian; J. Lai, ‘Design of High-Efficiency Bidirectional DC–DC Converter and High-Precision Efficiency Measurement,’ IEEE Transactions on Power Electronics, vol.25, no.3, pp.650-658, March 2010
- [14] S. K. Naqvi, ‘Scale model experiments on floating offshore wind turbines’, Ph.D Thesis, Worcester polytechnic institute , May 2010
- [15] Καρδοματέας Δ. Κωσταντίνος – Αλέξανδρος ‘Αεροελαστική ανάλυση πλωτών ανεμογεννητριών με χρήση προτύπων ιδιοδιανυσματικής ανάλυσης’, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2013
- [16] Riziotis, V.A., Politis, E.S., ‘Methods for linearizing the servo-aero-elastic equations of the full wind turbine.’ Center for Renewable Energy Sources and Saving, National Technical University of Athens, 2010
- [17] Ριζιώτης, Β. ‘Αεροδυναμική και Αεροελαστική Ανάλυση της απώλειας στήριξης σε δρομείς Ανεμογεννητριών’, διδακτορική διατριβή, ΕΜΠ 2003.
- [18] Μαυράκος, Σ.Α, Μελέτη και σχεδίαση πλωτών κατασκευών, Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου
- [19] Archer, C. and M. Jacobson ‘Evaluation of global wind power’, Journal of Geophysical Research, American Geophysical Union, 2005.
- [20] Blanco, M.I. ‘The economics of wind energy, Renewable and Sustainable Energy Reviews’, Elsevier, Vol. 13, Issues 6-7, pp. 1372–1382, 2009.
- [21] Energy Research Centre of the Netherlands (ECN), ‘Properties of the O&M Cost Estimator’, ECN, Petten, 2011.
- [22] RENEWABLE ENERGY TECHNOLOGIES: COST ANALYSIS SERIES Volume 1: Power Sector, Issue 5/5, June 2012.
- [23] EWEA The European offshore wind industry - key trends and statistics 2014 January 2015
- [24] ΠΑΧΥ, Π. ‘ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΠΑΡΚΟΥ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΤΑΕΥΡΙΣΤΙΚΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ’ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ Αθήνα, Ιούλιος 2012)
- [25] Κ. ΜΑΚΡΗ, ‘ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΚΥΜΑΤΑ ΣΕ ΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΕΔΡΑΣΗΣ ΠΛΩΤΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΤΥΠΟΥ ΤΟΥ MORISON’ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΑΘΗΝΑ 2013)
- [26] Ηλιόπουλος, Α. ‘ΑΝΑΛΥΣΗ-ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΥΠΕΡΑΚΤΙΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΙΩΣΗ ΤΟΥΣ’ Αθήνα, Οκτώβριος 2012)

Ηλεκτρονικές πηγές

<http://www.imerisia.gr/article.asp?catid=26515&subid=2&pubid=113319085>

<http://energypress.gr/news/nomiko-plaisio-adeiodotiseon-aiolikon-parkon>

<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=pnhppGnURds%3D>

[http://www08.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/3325cb4054a22738c125766400471fd5/\\$file/HVDC%20Light%20Cables%20for%20long%20distance%20grid%20connection.pdf](http://www08.abb.com/global/scot/scot221.nsf/veritydisplay/3325cb4054a22738c125766400471fd5/$file/HVDC%20Light%20Cables%20for%20long%20distance%20grid%20connection.pdf)

<http://www.ynfpublishers.com/>

<http://www.ewea.org/>

<http://www.vestas.com>

<http://www.energia.gr/>

<http://www.eletaen.gr>

<http://www.wikipedia.org/>

<http://www.rae.gr>

<http://www.ypeka.gr>

<http://www.cves.gr>

<http://www.ecotimes.gr>

<http://www.statoil.com>

<http://www.abb.com/>