

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ

Τ. Ε. Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ: ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

Επιβλέπων: ΠΕΤΡΟΣ Γ. ΒΕΡΝΑΔΟΣ, Ομότιμος Καθηγητής

Συνεπιβλέπουσα: ΕΡΙΕΤΤΑ Ι. ΖΟΥΝΤΟΥΡΙΔΟΥ, Παν. Υπότροφος

Μελέτη βιωσιμότητας πλωτού υπεράκτιου αιολικού πάρκου στην Ελλάδα

Feasibility study for offshore floating wind farms in Greece

**Πτυχιακή Εργασία:
Αρόνη Α. Γεωργίου (Α.Μ. 41544)**

ΑΙΓΑΛΕΩ, Φεβρουάριος 2014

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας είναι να μελετήσει τις υπάρχουσες τεχνολογίες για τα αιολικά πάρκα και κυρίως για τις υπεράκτιες μορφές αυτών, όπως επίσης και τα σχετικά κόστη. Για το σκοπό αυτό η πτυχιακή αναπτύσσεται σε δυο μέρη. Το πρώτο καλύπτει τις απαραίτητες θεωρητικές γνώσεις για τη σχεδίαση ενός πλωτού υπεράκτιου αιολικού πάρκου και το δεύτερο, στο οποίο επιχειρείται η μελέτη υποθετικού σχεδίου εγκατάστασης του εν λόγω συστήματος. Στη συνέχεια, δίνεται η σύνοψη κάθε κεφαλαίου:

Στο 1^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα παγκόσμια ενεργειακά αποθέματα, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των αιολικών μηχανών και οι προοπτικές ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα και γίνεται σύγκριση των χερσαίων έναντι των υπεράκτιων κατασκευών.

Στο 2^ο κεφάλαιο αναλύεται το εθνικό νομοθετικό πλαίσιο που αφορά τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γενικά και ειδικά για την αιολική ενέργεια. Έπειτα, παρουσιάζονται τα κριτήρια χωροθέτησης αιολικών πάρκων στην ελληνική επικράτεια και οι επιλογές ασφάλισης των εγκαταστάσεων αυτών.

Στο 3^ο κεφάλαιο εξετάζεται το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας και παρουσιάζεται το σύστημα Ποσειδών. Επίσης, αναπτύσσονται τα χαρακτηριστικά του ανέμου, πως μεταβάλλονται οι τιμές του αιολικού δυναμικού και από ποιους παράγοντες επηρεάζεται.

Στο 4^ο κεφάλαιο αναλύονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των κατακόρυφων και οριζόντιων τύπων ανεμογεννητριών και παρουσιάζονται οι μορφές των δομών στήριξης και τα αγκυροβόλια για της υπεράκτιες κατασκευές.

Στο 5^ο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα απαραίτητα έργα υποδομής για τα υπεράκτια αιολικά πάρκα και η σημασία επιλογής κατάλληλης τοποθεσίας για την κατασκευή του έργου με σκοπό την εύκολη και ασφαλή πρόσβαση.

Στο 6^ο κεφάλαιο μελετώνται οι δυνατότητες διασύνδεσης των ανεμογεννητριών με το εθνικό σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μεθόδου καθώς ο απομακρυσμένος έλεγχος τους με το σύστημα Scada.

Στο 7^ο κεφάλαιο περιγράφονται η λειτουργία και η συντήρηση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα που τοποθετούνται.

Στο 8^ο κεφάλαιο γίνεται μια τεχνοοικονομική μελέτη για την κατασκευή ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου και μελετάται η οικονομική βιωσιμότητα του έργου.

Στο 9^ο κεφάλαιο παραθέτονται τα συμπεράσματα από την παρούσα εργασία.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα, ΑΠΕ, Βιωσιμότητα, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις, Μονός Πυλώνας, Τρίποδα, Πλωτήρες Ανεμογεννητριών.

ABSTRACT

The aim of this study is to examine the current technologies of wind farms and mainly for the offshore forms, as well as the related costs. For this purpose, this work is developed in two parts. The first part covers the necessary theoretical knowledge for the design of a floating offshore wind farm and the second part attempts to elaborate a hypothetical plan of installing such a system. Below is given a summary of each chapter:

The 1st chapter presents the global energy reserves, the advantages and disadvantages of wind machines and prospects for the development of wind farms in Greece. Additionally, it compares the land based wind turbines versus the offshore structures.

The 2nd chapter analyses the national legislative framework for renewable energy in general and more specific for wind energy. Apart from this, it presents the criteria of arrangement of wind farms in the Greek territory and insurance options for the facility.

The 3rd chapter examines the wind power potential in Greece and presents the Poseidon system. Furthermore, it develops the characteristics of the wind.

The 4th chapter analyses the technical characteristics of the vertical and horizontal wind turbine types and presents the types of support structures and anchorages for the offshore structures.

The 5th chapter presents the necessary infrastructure for offshore wind farms and the importance of selecting a suitable site for the construction of the project for easy and safe accessibility.

The 6th chapter studies the interconnection of wind turbines with the national electricity transmission system, the advantages and disadvantages of each method as well as the remote control of these with Scada system.

The 7th chapter describes the operation and maintenance of offshore wind farms and the environmental impact on the ecosystem placed.

The 8th chapter is a techno-economic study for the construction of an offshore wind farm in Greece. Besides, it reviews the economic viability of the project.

The 9th chapter demonstrates the conclusions of this work.

KEY WORDS

Offshore Wind Farms, RES, Sustainability, Environmental Impacts, Single Pillar, Tripods, Floating Wind Turbines.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Υπ. Διδάκτωρ Εριέττα Ζουντουρίδου για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας εργασίας καθώς και για τη βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια εκπόνηση της.

Ευχαριστώ, επίσης, την Υπ. Διδάκτωρ Εριέττα Ζουντουρίδου και τον καθηγητή Πέτρο Βερνάδο για την αξιολόγηση της εργασίας μου σαν μέλη της επιτροπής αξιολόγησης.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω όλους τους καθηγητές του τμήματος Ηλεκτρολογίας του ΤΕΙ Πειραιά για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια της φοίτησης μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Εισαγωγή	
1.2 Γενικά.....	1
1.2 Παγκόσμια Ενεργειακή Κατανάλωση – Ενεργειακά Αποθέματα	2
1.3 Μειονεκτήματα – Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας - Εφαρμογές των ανεμοκινητήρων σήμερα	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
1.4 Παγκόσμια Χερσαία Αιολική Ενέργεια	6
1.5 Παγκόσμια Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια - Ιστορική Αναδρομή της Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα	7
1.6 Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα – Προοπτικές	7
1.7 Offshore vs onshore wind parks.....	8
1.8 Βιβλιογραφία.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Νομοθεσία και Ασφάλιση	
2.1 Εθνική νομοθεσία.....	12
2.2 Άδεια Παραγωγής.....	13
2.3 Εγκατάσταση και λειτουργία σταθμών παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ.....	14
2.4 Άδεια Εγκατάστασης και Λειτουργίας.....	14
2.5 Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων.....	14
2.6 Ένταξη σταθμών ΑΠΕ στο σύστημα ή το διασυνδεδεμένο δίκτυο.....	15
2.7 Ένταξη σταθμών ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά.....	15
2.8 Σύνδεση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ με το σύστημα ή το δίκτυο	15
2.9 Σύμβαση Πώλησης	15
2.10 Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ	15
2.11 Επιτροπή Προώθησης Επενδυτικών Σχεδίων Μεγάλης Κλίμακας για ΑΠΕ.....	18
2.12 Χωροθέτηση αιολικών πάρκων στην Ελλάδα	20
2.13 Κριτήριο χωροθέτησης αιολικών εγκαταστάσεων στο θαλάσσιο χώρο.....	21
2.13.1 Κριτήρια χωροθέτησης υπεράκτιων ανεμογεννητριών.....	21
2.13.2 Κριτήρια χωροθέτησης ανεμογεννητριών στις ακατοίκητες περιοχές	22
2.14 Ασφάλιση του έργου.....	23
2.14.1 Ασφαλιστήριο συμβόλαιο μηχανικών βλαβών	23
2.14.2 Ασφαλιστήριο συμβόλαιο απώλειας κερδών.....	24
2.15 Βιβλιογραφία	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Το Αιολικό δυναμικό και οι παράμετροι του	
3.1 Αιολικό δυναμικό της Ελλάδος.....	26
3.2 Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ.....	30
3.3 Διαθέσιμη και απολήξιμη ισχύς ανέμου	33
3.4 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος	36
3.5 Μέτρηση ταχύτητας ανέμου – η κλίμακα Beaufort	37
3.6 Η κατανομή Weibull.....	38
3.7 Η κατανομή Rayleigh.....	39
3.8 Βιβλιογραφία	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ανεμογεννήτριες.....	
4.1 Κατάταξη αιολικών μηχανών	41
4.2 Μηχανές οριζόντιου άξονα.....	42
4.2.1 Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα	43
4.2.2 Υλικά και προβλήματα αντοχής των πτερυγίων	44
4.2.3 Σύστημα προσανατολισμού.....	44
4.2.4 Κατασκευή του πύργου και θεμελίωση του	45
4.2.5 Πλήμνη και κύριος άξονας της ανεμογεννήτριας.....	45
4.2.6 Συστήματα πέδησης της πλήμνης.....	47
4.2.7 Κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών.....	47
4.3 Ηλεκτρολογικό σύστημα ανεμοκινητήρα.....	48
4.3.1 Η γεννήτρια	48
4.3.2 Σύγχρονη γεννήτρια με μαγνητικούς πόλους	49
4.3.3 Γεννήτρια συνεχούς ρεύματος	49
4.3.4 Μικροί κινητήρες.....	50
4.3.5 Αυτόματοι διακόπτες και ηλεκτρικές συσκευές	50
4.4 Μηχανές κατακόρυφου άξονα	52
4.5 Ανεμογεννήτριες σε υπεράκτιες κατασκευές.....	53
4.6 Θεμελίωση και στήριξη.....	54
4.6.1 Θεμελίωση βαρύτητας από σκυρόδεμα (<i>Gravity base structures</i>).....	54
4.6.2 Μονός πυλώνας (<i>Monopile</i>).....	55
4.6.3 Τρίποδο (<i>Tripod</i>).....	56
4.7 Κατασκευές έδρασης σε ενδιάμεσα βάθη νερού (30 έως 50 m)	57
4.8 Πλωτή έδραση	57
4.8.1 Πλωτήρες πολλών ανεμογεννητριών	58
4.8.2 Πλωτήρες μιας ανεμογεννήτριας	59
4.9 Αγκυροβόληση της πλατφόρμας.....	59
4.10 Βιβλιογραφία.....	66
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Έργα υποδομής και προσβασιμότητα.....	
5.1 Έργα υποδομής.....	67
5.1.1 Υποδομές για τη σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο	67
5.1.2 Χώροι αποθήκευσης και εφοδιασμού ανεμογεννητριών στο λιμάνι	67
5.2 Κατασκευή.....	68
5.3 Διαδικασία μεταφοράς.....	68
5.4 Συναρμολόγηση	69
5.5 <i>Marinisation</i>	69
5.6 Τοποθεσία αιολικού πάρκου, μέγεθος και χωροθέτηση ανεμογεννητριών.....	69
5.7 Προσβασιμότητα στη περιοχή.....	70
5.8 Σχεδιασμός και προγραμματισμός	70
5.9 Βιβλιογραφία.....	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Διασύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο	
6.1 Γενικά.....	73
6.2 Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ισχύος	74
6.3 Ηλεκτρικά συστήματα μετατροπής ισχύος.....	75

6.4 Ηλεκτρική διασύνδεση με υποβρύχια καλώδια	75
6.4.1 HVAC (High Voltage Alternative Current).....	76
6.4.2 HVDC (High Voltage Direct Current).....	77
6.5 Εξοπλισμός διανομής και μετασχηματιστές	79
6.6 Σύστημα έλεγχου SCADA	80
6.7 Προβλήματα σύνδεσης ανεμογεννητριών στο ΣΗΕ	80
6.8 Βιβλιογραφία.....	81
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: Λειτουργία, συντήρηση και περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	
7.1 Γενικά.....	82
7.2 Λειτουργία του αιολικού πάρκου.....	83
7.3 Συντήρηση και μεταφορά πληρώματος	84
7.4 Στρατηγικές συντήρησης των αιολικών πάρκων.....	84
7.4.1 Προληπτική και Διορθωτική συντήρηση (Preventive and Corrective maintenance)	
.....	84
7.4.2 Ευκαιριακή συντήρηση (Opportunity based maintenance).....	84
7.4.3 Περιστασιακή συντήρηση (Condition based maintenance).....	84
7.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	85
7.6 Βιβλιογραφία.....	89
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: Τεχνοοικονομική Μελέτη.....	
8.1 Εκτίμηση κόστους επένδυσης.....	90
8.2 Έξοδα	97
8.3 Πόροι για τη χρηματοδότηση του έργου.....	99
8.4 Βιωσιμότητα του επενδυτικού σχεδίου.....	99
8.5 Βιβλιογραφία	102
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: Συμπεράσματα	103
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ :	105

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) αποτελεί ένα από τα βασικά μέσα για την αποφυγή της ενεργειακής εξάρτησης και την αντιμετώπιση των κλιματικών αλλαγών. Οι ΑΠΕ θεωρούνται, παράλληλα, εναλλακτική επιλογή ζωτικής σημασίας έναντι στα αδιέξοδα που προκαλεί η μετατροπή ενέργειας από την πυρηνική σχάση. Όλες οι τεχνολογίες εκμετάλλευσης ενέργειας προκαλούν, σε ορισμένο βαθμό περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις (κατά την οικονομική ορολογία). Μια σειρά περιβαλλοντικών κριτηρίων περιγράφει ποια τεχνολογία θεωρείται ότι μετέχει – συμβάλει στην αειφόρο ανάπτυξη. Τα κριτήρια της αειφόρας είναι:

- Αποφυγή χρήσης καύσιμων που εξαντλούνται
- Η αποδοτική μετατροπή και χρήση ενέργειας από ορυκτά καύσιμα ως προσωρινό μετρώ για το χρονικό διάστημα που απαιτείται έως ότου ύπαρξη πλήρη εκμετάλλευση από τις ΑΠΕ.
- Ο σχεδιασμός τεχνολογίας και συστημάτων ενεργειακής μετατροπής ούτως ώστε να χρησιμοποιούν με αποδοτικό τρόπο την ενέργεια
- Η ελαχιστοποίηση των τοπικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των ενεργειακών τεχνολογιών και ο συμψηφισμός των όποιων τοπικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων με τα ευρύτερα περιβαλλοντικά οφέλη σε παγκόσμια κλίμακα που συνεπάγονται τις τεχνολογίες αυτές.
- Η αποφυγή απόσπασης από τις φυσικές ενεργειακές ροές ποσότητας ενέργειας μεγαλύτερης από αυτή που χρειάζονται τα τοπικά οικοσυστήματα
- Ο συνυπολογισμός στον ενεργειακό σχεδιασμό των απόψεων των τοπικών πληθυσμών σχετικά με τις χρήσεις γης και τις επιπτώσεις στα αισθητικά στοιχεία του τοπίου
- Η ανάπτυξη τεχνολογιών που θα διασφαλίζουν ότι οι ανθρώπινες δραστηριότητες δεν θα υπερβαίνουν την ενεργειακή φέρουσα ικανότητα του πλανήτη, δεδομένου ότι υπάρχουν τεχνητά όρια ακόμα και στην απόσπαση ενέργειας από τις φυσικές ενεργειακές ροές.
- Η συνεκτίμηση του περιβαλλοντικού κόστους των διαφόρων ενεργειακών επιλογών μαζί με τα καθαρά οικονομικά κόστη
- Η παρακολούθηση εκπομπών άνθρακα της κάθε ενεργειακής επιλογής καθώς και άλλων αερίων μέσα από πλήρη ανάλυση του ενεργειακού κύκλου ζωής.

Οι περισσότερες ενεργειακές πηγές προέρχονται άμεσα ή έμμεσα από τον ήλιο. Το ορυκτά καύσιμα είναι άπλα μια αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια, παγιδευμένη στο υπέδαφος για χιλιάδες χρόνια με τη μορφή γαιάνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου. Εντούτοις, μόλις τα σχετικά αποθέματα των πηγών αυτών εξαντληθούν δεν αντικαθίστανται και χάνονται για πάντα.

Αντιθέτως οι περισσότερες ΑΠΕ βασίζονται σε συνεχείς ηλιακές εισροές, οι οποίες δημιουργούν ανεξάντλητες φυσικές ενεργειακές ροές παρέχοντας άμεση θέρμανση, δημιουργώντας άνεμους ή κύματα, υδάτινες ροές σε ποταμούς και λίμνες ή αποθηκευμένες βραχυπρόθεσμα σε φυτικούς ιστούς μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως καύσιμο με τη μορφή βιομάζας.

Οι κυριότερες μορφές ΑΠΕ είναι:

- Ηλιακή ενέργεια
- Αιολική ενέργεια
- Κινητική ενέργεια κυμάτων
- Παλιρροϊκή ενέργεια
- Γεωθερμική ενέργεια
- Ενεργειακές καλλιέργειες – υπολείμματα βιομάζας
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Οικονομικά του υδρογόνου (fuel cells)

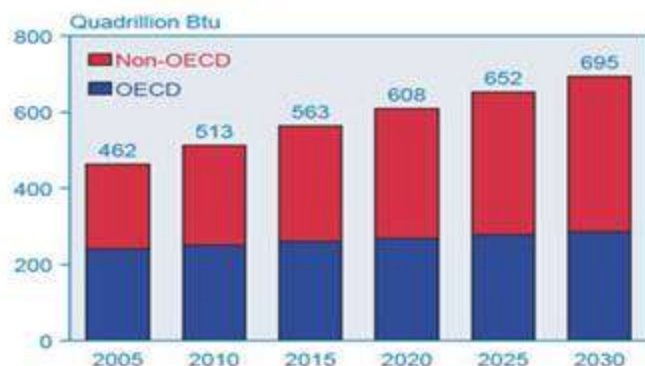
1.2 Παγκόσμια Ενεργειακή Κατανάλωση – Ενεργειακά Αποθέματα

Τα τελευταία χρόνια η μέση ετήσια παγκόσμια αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας κυμαίνεται μεταξύ του 4% και 5%, ενώ η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας προβλέπεται να αυξηθεί στο διπλάσιο έως το 2030. Πιο συγκεκριμένα, η συνολική ζήτηση ενέργειας προβλέπεται ότι θα αυξηθεί κατά 85% στις εκτός ΟΟΣΑ (OECD) χώρες, λόγω της ραγδαίας οικονομικής ανάπτυξης τους και κατά 19 % στις χώρες του ΟΟΣΑ. Η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας θα συνεχίζει να μεγαλώνει, παρά την αυξητική τάση των τιμών του πετρελαίου που προβλέπεται να παραμείνουν υψηλές κατά τη διάρκεια της μακροπρόθεσμης εκτίμησης¹. Το γεγονός αυτό από μόνο του είναι αρκετά ανησυχητικό, ιδίως εάν συνδυασθεί με την αναμενόμενη εξάντληση των βεβαιωμένων αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων².

¹ Ινστιτούτο Εργασίας ΓΣΕΕ

² Καλδέλης σελ 30

Figure 1. World Marketed Energy Consumption, 2005-2030



Sources: 2005: Energy Information Administration (EIA), *International Energy Annual 2005* (June-October 2007), web site www.eia.doe.gov/iea. Projections: EIA, *World Energy Projections Plus* (2008).

Σχεδιάγραμμα 1.1³

Όσο αφορά τα ενεργειακά αποθέματα του πλανήτη, αυτά χωρίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και σε ορυκτά - συμβατικά καύσιμα. Τα συμβατικά καύσιμα (γαιάνθρακες, πετρέλαιο, φυσικό αέριο και σχάσιμα πυρηνικά υλικά) είναι μη ανανεώσιμα, γιατί η χρονική περίοδος επαναδημιουργίας τους υπερβαίνει τα ένα εκατομμύρια έτη, ενώ ταυτόχρονα απαιτούνται ειδικές συνθήκες πίεσεως και θερμοκρασίας. Με βάση μελέτες, τα βεβαιωμένα αποθέματα πετρελαίου περιορίζονται σε 137 δισεκατομμύρια τόνους ενώ αυτά του φυσικού αερίου μόλις σε 108 δισεκατομμύρια τόνους. Συνεπώς, είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα εξαντληθούν μέσα στα μέσα του εικοστού πρώτου αιώνα. Τα αποθέματα άνθρακα υπολογίζονται σε 720×10^9 τόνους ενώ το 88% αυτών βρίσκονται στις ΗΠΑ, την πρώην Σοβιετική Ένωση και την Κίνα. Αυτά επαρκούν για να καλύψουν τις παγκόσμιες ανάγκες για ενέργεια με βάση τη σημερινή ζήτηση για τα επόμενα 200 έως 300 χρόνια. Τέλος, η πυρηνική ενέργεια και συγκεκριμένα τα αποθέματα ουρανίου 235 υπολογίζονται σε 4 εκατομμύρια τόνους, ήτοι 400 χρόνια επάρκειας⁴. Η πυρηνική ενέργεια, θα μπορούσε να αποτελέσει μια μεσοπρόθεσμη λύση στο ενεργειακό πρόβλημα του πλανήτη. Σαφώς όμως υπάρχει πάντα ο κίνδυνος ενός πυρηνικού ατυχήματος, ακόμα και στα πλέον προηγμένα τεχνολογικά κράτη (πχ. Φουκουσίμα, Ιαπωνία), ενώ πάντοτε ελλοχεύει και η κρυφή απειλή της παράλογης χρήσης της πυρηνικής ενέργειας από τρομοκράτες.

³ Ευρωπαϊκή Επιτροπή

⁴ Καλδέλης σελ 30

1.3 Μειονεκτήματα – Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας - Εφαρμογές των ανεμοκινητήρων σήμερα

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν τόσο στη ναυτιλία όσο στην άρδευση και τη γεωργία. Όμως, αντικαταστάθηκε γρήγορα από άλλες μορφές ενέργειας λόγω σημαντικών μειονεκτημάτων που παρουσίαζε. Βέβαια οι μηχανές που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν, όπως παραδείγματος χάριν στους ανεμόμυλους, δεν έχουν καμία σχέση με τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Εντούτοις, είναι χρήσιμο να αναφερθούν τα μειονεκτήματα αυτών των γεννητριών⁵.

1. Η αιολική ενέργεια θεωρείται ως αραιή μορφή ενέργειας λόγω της μικρής αξιοποίησης της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε $\frac{Watt}{m^2}$. Σήμερα υπάρχουν αιολικές μηχανές που υπερβαίνουν τα $500 \frac{Watt}{m^2}$.
2. Δεν υπάρχει η δυνατότητα ακριβούς πρόβλεψης της ταχύτητας του ανέμου και της κατεύθυνσης του με συνέπεια να μην μπορούμε να έχουμε την απαραίτητη αιολική ενέργεια τη στιγμή που τη χρειαζόμαστε.
3. Η παραγόμενη ενέργεια αυτών των μηχανών πολλές φορές δεν πληροί τις τεχνικές απαιτήσεις του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητη η χρήση μηχανημάτων ρύθμισης τάσεως και συχνότητας καθώς και ελέγχου της άεργου ισχύος με συνέπεια να αυξάνεται το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης.
4. Σε περιπτώσεις αυτόνομων μονάδων ανεμογεννητριών είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας που παρομοίως αυξάνει το κόστος.
5. Οι ανεμογεννήτριες έχουν περιορισμένη δυνατότητα αξιοποίησης τους διαθέσιμου αιολικού δυναμικού ενώ ταυτόχρονα ένα μόνο μέρος της απορροφημένης αιολικής ενέργειας μετατρέπεται σε ωφέλιμη ενέργεια.
6. Ακόμα, το κόστος της αρχικής επένδυσης και συντήρησης τους είναι αρκετά υψηλό για την ώρα αλλά με την πρόοδο της τεχνολογίας αυτό ενδέχεται να μειωθεί⁶.
7. Καθώς γυρίζει η φτερωτή παράγει κάποιο θόρυβο και για τον λόγο αυτό αποφεύγεται η τοποθέτηση ανεμογεννητριών κοντά σε κατοικημένες περιοχές.
8. Αν χτυπηθούν πουλιά από τα περιστρεφόμενα φτερά τραυματίζονται ή πεθαίνουν.
9. Το βασικότερο μειονέκτημα των θαλάσσιων εγκαταστάσεων είναι ότι ταλαντεύονται, όπως ένα καράβι όταν έχει μεγάλα κύματα στη θάλασσα. Όσο πιο βαριές λοιπόν οι εγκαταστάσεις, τόσο πιο σταθερές. Αυτό όμως συνεπάγεται από την άλλη πλευρά μεγαλύτερο κόστος κατασκευής. Για αυτό και οι ειδικοί αναζητούν εναλλακτικές λύσεις. Έτσι θα μπορούσαν, για παράδειγμα, τα καλώδια με τα οποία στερεώνονται οι πλατφόρμες στο βυθό να τεντωθούν έτσι, ώστε να ταλαντεύεται λιγότερο η εγκατάσταση που βρίσκεται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας⁷.

⁵ Καλδέλης σελ 64

⁶ Garyfallidou website

⁷ Skai website

Από την άλλη πλευρά, είναι σημαντικό να αναφερθούν και τα πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών που σε πολλές περιπτώσεις αντισταθμίζουν τα μειονεκτήματα τους:

1. Καταρχάς, δεν μολύνουν το περιβάλλον και δεν δημιουργούν καυσαέρια, αφού η αιολική ενέργεια είναι μια ώριμη τεχνολογία φιλική προς το περιβάλλον
2. Ο άνεμος είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας η οποία παρέχεται δωρεάν. (ελευθέρια αγαθά κατά την πολιτική οικονομία)
3. Ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια
4. Βοηθάει στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας.
5. Βασικό πλεονέκτημα των μεγάλων ανεμογεννητριών είναι η οικονομία χώρου. Το 80% των ανεμογεννητριών εγκαθίσταται είτε σε πεδινές περιοχές (Δανία, Γερμανία κ.α.), είτε σε παράκτια αιολικά πάρκα. Ο κύριος αυτός όγκος της αγοράς ευνοεί τη χρήση μεγάλων ανεμογεννητριών για τους παρακάτω λόγους:
 - **Παράκτια πάρκα:** Το κόστος θεμελίωσης μέσα στη θάλασσα είναι σημαντικό, γι' αυτό και τα παράκτια αιολικά πάρκα είναι οικονομικά βιώσιμα μόνο με την εκμετάλλευση μεγάλης επιφάνειας σάρωσης ανά εγκατάσταση.
 - **Πεδινές περιοχές:** Το κόστος χρήσης της γης για την ανάπτυξη αιολικών μονάδων στη βόρεια και κεντρική Ευρώπη είναι αυξημένο λόγω κυρίως της αγροτικής και οικιστικής εκμετάλλευσης των περιοχών αυτών. Στις περιπτώσεις αυτές η εξοικονόμηση χώρου που επιτυγχάνεται με τη χρήση μεγάλων μηχανών έχει θετικό αντίκτυπο στα οικονομικά της επένδυσης⁸.
6. Μια επίσης σημαντική παράμετρος πέρα της οικονομίας χώρου είναι η καθ' ύψος αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, την οποία η μεγάλη ανεμογεννήτρια εκμεταλλεύεται καλύτερα λόγω του ψηλότερου πυλώνα που διαθέτει.
7. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα που σχετίζεται με τις υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, πέραν του ότι μπορούν να εγκατασταθούν σε βαθιά νερά, μακριά από τις ακτές, είναι ότι η συναρμολόγησή τους γίνεται στη στεριά και έτσι πρέπει απλώς να μεταφερθούν στα ανοιχτά, όπου και θα γίνει η τελική εγκατάστασή τους. Έτσι μπορεί να περιοριστεί το κόστος⁹.
8. Τέλος να σημειωθεί ότι οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν καινούργιες τεχνολογίες ως προς τα υλικά κατασκευής των πτερυγίων, «έξυπνους» αισθητήρες για τον περιορισμό των ακραίων φορτίων και βελτιωμένες αεροδυναμικές ιδιότητες.

Οι ανεμοκινητήρες μπορούν με βάση την ισχύ τους να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες:

⁸ Technicalreview website

⁹ Skai website

Μικρής ισχύος <20KW

Μέσης ισχύος 20 - 250KW

Μεγάλης ισχύος >KW

Οι μικρής ισχύος ανεμοκινητήρες χρησιμοποιούνται σε απομονωμένες περιοχές για κάλυψη αγροτικών και κτηνοτροφικών αναγκών (άντληση και θερμότητα νερού θέρμανση κατοικίας, φωτισμός κα). Οι ανεμογεννήτριες αυτές λειτουργούν και σε μικρές ταχύτητες ανέμου, έχουν απλή και ανθεκτική κατασκευή και για τις ανάγκες φωτισμού όταν υπάρχει άπνοια χρησιμοποιούν συστοιχία συσσωρευτών.

Οι μέσης και μεγάλης ισχύος ανεμοκινητήρες, σε συνεργασία με το δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται:

α) για εξοικονόμηση καυσίμου. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη νησιωτική Ελλάδα όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι και το κόστος της παραγόμενης KWH είναι υψηλό λόγω του αυξημένου κόστους του καυσίμου εξαιτίας της θαλάσσια μεταφοράς του και του μικρού μεγέθους του σταθμού.

β) για λειτουργία ως σταθμού βάσης θεωρώντας ότι η εγκατεστημένη ισχύς της diesel μηχανής μειώνεται κατά το ποσοστό της ονομαστικής ισχύος του ανεμοκινητήρα.

γ) για λειτουργία ως αντλητικού σταθμού για την αποθήκευση νερού και χρησιμοποίηση του στην υδροηλεκτρική εκμετάλλευση.

1. 4 Παγκόσμια Χερσαία Αιολική Ενέργεια

Ο άνεμος έχει χρησιμοποιηθεί σαν πηγή ενέργειας από τα αρχαία χρόνια είτε με την εφαρμογή στα ιστιοφόρα πλοία είτε στην ξηρή για την άντληση νερού ή την άλεση σιτηρών με την χρήση των ανεμόμυλων.

Η κινητική ενέργεια του ανέμου οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία και περίπου το 2% της ηλιακή ενέργεια που προσπίπτει στη γη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια¹⁰. Η ισχύς των ανέμων σε όλη τη γη υπολογίζεται σε $3610 \times 10^9 MW$. Κατά τον Μπεργελέ, οι ανάγκες των ΗΠΑ είναι μόλις το 10% τις ενέργεια των ανέμων που πνέουν εκεί, γεγονός που αποδεικνύει πόσο πλούσια πηγή ενέργεια είναι ο άνεμος. Η ισχύς ρεύματος (νερού, αέρα) είναι ανάλογη της πυκνότητας του και του κύβου της ταχύτητας του, συνεπώς, για την ίδια ταχύτητα και διατομή ένα ρεύμα αέρα θα έχει περίπου 800 φορές μικρότερη ενέργεια από αντίστοιχη δέσμη νερού. Άρα η αιολική ενέργεια είναι μια αραιή ή ήπια μορφή ενέργειας, δηλαδή είναι μικρή η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου που μπορεί να δεσμευτεί σε κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας

¹⁰ Μπεργελέσ σελ 12

που προσβάλλεται από τον άνεμο. Για παράδειγμα, άνεμος 5 μποφόρ, περίπου $9,5 \frac{m}{s}$ έχει ισχύ $500 \frac{W}{m^2}$ προσβαλλόμενης επιφάνειας, ενώ ένας ανεμοκινητήρας μπορεί στην καλύτερη περίπτωση να δέσμευση το 48% της ενέργειας αυτής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη κατασκευής μονάδων μεγάλων διαστάσεων.

1.5 Παγκόσμια Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια - Ιστορική Αναδρομή της Αιολικής Ενέργειας στην Ελλάδα

Στην Ελλάδα δεν είναι γνωστό πότε άρχισαν να κατασκευάζονται ανεμόμυλοι. Ιστορικές μαρτυρίες δείχνουν την ύπαρξη ανεμόμυλων πολλές εκατοντάδες χρόνια προ Χριστού. Κατά την Βυζαντινή περίοδο, μετά την υποδούλωση στους Τούρκους και κατά τη διάρκεια του 19^{ου} αιώνα, η άλεση των δημητριακών γινόταν αποκλειστικά με τη χρήση ανεμόμυλων. Ο αριθμός των τελευταίων ήταν μεγάλος ιδιαίτερα στα νησιά του Αιγαίου. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της εκτεταμένης χρήσης των μηχανών αυτών για την άντληση ποτιστικού νερού από πηγάδια είναι η ανατολική Κρήτη όπου ο αριθμός τους είχε φθάσει προπολεμικά της 6000¹¹.

1.6 Υπεράκτια Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα – Προοπτικές

Η Ελλάδα βρίσκεται στην εύκρατη ζώνη όπου επικρατούν καλής ταχύτητας άνεμοι συγχρόνως όμως έχει και ευνοϊκή διαμόρφωση εδάφους που συμβάλλει στην επαύξηση της αιολικής ενέργειας. Οι παραλιακές περιοχές προσφέρονται για εκμετάλλευση του ανέμου και εξασφαλίζουν ικανοποιητικό συντελεστή χρησιμοποίησης της εγκατάστασης. Η εκμετάλλευση του ανέμου θα μπορούσε να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των αναγκών των ελληνικών νησιών και να γίνει πηγή εθνικού πλούτου. Στο νησιωτικό χώρο εξάλλου δεν εμφανίζονται τυφώνες και υπάρχει πνοή ανέμου όλο το χρόνο με ελάχιστες μέρες άπνοιας¹². Σήμερα οι ανάγκες των νησιών καλύπτονται από αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι είναι τοπικοί diesel-ηλεκτρικοί εκτός από Κρήτη και Ρόδο, ενώ μερικά νησιά που είναι κοντά στην ηπειρωτική Ελλάδα έχουν συνδεθεί και τροφοδοτούνται από τα κεντρικά δίκτυα. Οι δαπάνες για την προμήθεια και εγκατάσταση μονάδων παραγωγής, αγορά και μεταφορά καυσίμων, λειτουργία και συντήρηση μονάδων, στρεφόμενη και εγκατεστημένη εφεδρεία για την εξυπηρέτηση μικρών φορτίων με μεγάλες μεταβολές, επιβαρύνουν υπέρμετρα το κόστος παραγωγής. Αλλά και η ανάγκη επέκτασης των δικτύων αυτών για την εξυπηρέτηση διασπαρμένων καταναλωτών δημιουργεί κόστος¹³. Συνεπώς, περιοχές που βρίσκονται μακριά από τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και μικρά νησάκια που δεν δικαιολογείται η εγκατάσταση αυτόνομου σταθμού μπορούν να εξυπηρετηθούν με αυτόνομες μικρής ισχύος

¹¹ ο.π σελ 19

¹² ο.π. σελ 25

¹³ ο.π. σελ 26

ανεμογεννήτριες ικανές να καλύψουν ανάγκες φωτισμού, άντλησης νερού, θέρμανσης νερού και κατοικίας και ψύξη και συντήρηση τροφίμων.

Στην Ελλάδα κυρίως μας ενδιαφέρει ο τύπος των ανεμογεννητριών μέσης ισχύος που θα είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο. Το ενδιαφέρον μάλιστα για αυτές αναζωπυρώθηκε πρόσφατα ύστερα από την προθυμία της κυβέρνησης να συνδέσει την Κρήτη με την ηπειρωτική Ελλάδα με υποθαλάσσιο αγωγό¹⁴. Η εκτεταμένη χρήση μηχανών Diesel από τα νησιά, θα μπορούσε να περιορισθεί με την εγκατάσταση τέτοιων ανεμοκινητήρων, έτσι θα γινόταν περιορισμός στην κατανάλωση καυσίμου ενώ οι ντιζελομηχανές θα συμπληρώνουν την ανεμογεννήτρια στο δίκτυό όταν η πνοή του ανέμου είναι χαμηλή και θα κάλυπταν τα φορτία αιχμής ων νησιών.

1.7 Offshore vs onshore wind parks

Οι offshore (θαλάσσιες) ανεμογεννήτριες κερδίζουν όλο και περισσότερο έδαφος έναντι των onshore ανεμογεννητριών, καθώς υπερτερούν σε βασικά σημεία¹⁵.

Πρώτον, οι ελεύθερες χερσαίες εκτάσεις είναι αισθητά πιο περιορισμένες σε σχέση με θαλάσσιες εκτάσεις. Ιδίως σε πυκνοκατοικημένες χώρες όπως είναι η πλειοψηφία των ευρωπαϊκών χωρών, η εύρεση εκτάσεων κατάλληλων για τοποθέτηση αιολικών πάρκων αποτελεί ένα ισχυρό τροχοπέδη δημιουργία νέων αιολικών πάρκων.

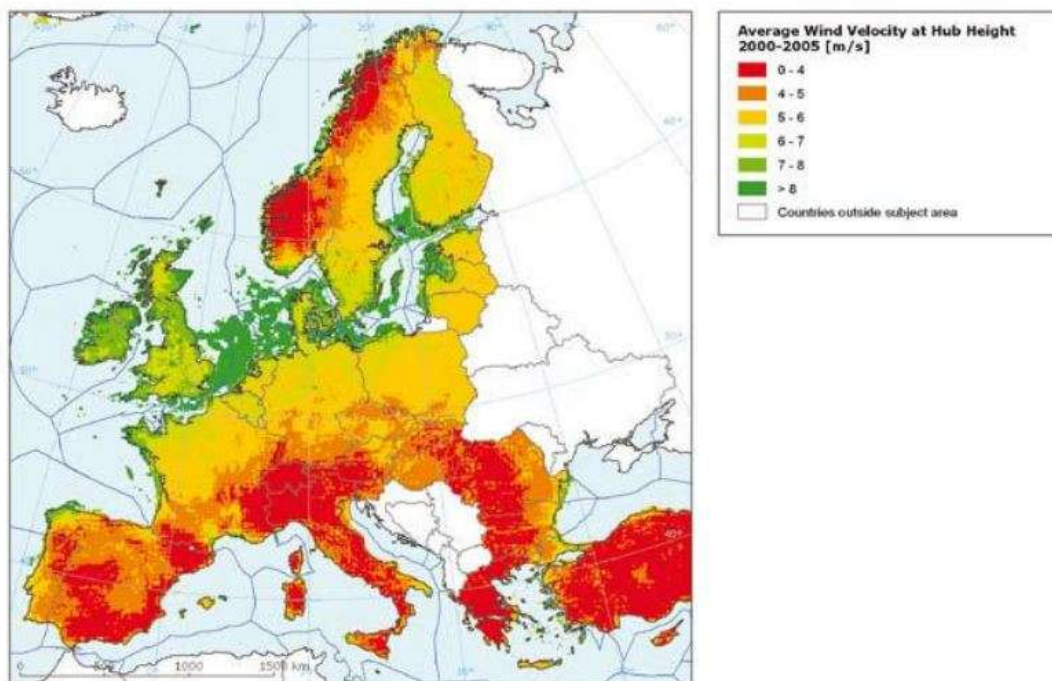
Το δεύτερο σημαντικό πλεονέκτημα των offshore ανεμογεννητριών είναι η σταθερή ροή του ανέμου με χαμηλά επίπεδα τύρβης στην ανοικτή θάλασσα. Η συνεχής ροή του ανέμου με σταθερή ταχύτητα βελτιστοποιεί την απόδοση της ανεμογεννήτριας και περιορίζει το οικονομικό ρίσκο. Η ροή του ανέμου επηρεάζεται ιδιαίτερα από την γεωμορφολογία της περιοχής (βουνά, κοιλάδες κτλ.) και από το μέσο ύψος των κτηρίων κοντά σε κατοικημένες περιοχές. Στην εικόνα 1.1 απεικονίζεται η μέση ταχύτητα ανέμου στο ύψος του ρότορα (80m για onshore και 120m για offshore ανεμογεννήτριες) για το σύνολο των χωρών της Ευρώπης για το διάστημα 2000-2005. Όπως είναι εμφανές, στην ηπειρωτική Ευρώπη η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι σχετικά μικρή (0-5 m/s), ενώ το μεγάλο μέρος των παράκτιων περιοχών βρίσκεται στην πράσινη περιοχή (>8m/s). Την πρώτη θέση σε αεροδυναμικότητα κατέχουν το Ηνωμένο Βασίλειο και η Δανία, ενώ πολύ υψηλά βρίσκεται και η Ελλάδα, λόγω του Αιγαίου Πελάγους (εικόνα 1.2). Επίσης, αρκετές είναι οι περιπτώσεις κατοίκων που έχουν αναφέρει την οπτική και ακουστική όχληση που δημιουργείται από την λειτουργία ανεμογεννητριών. Αν και η αισθητική ενός τοπίου είναι κάτι υποκειμενικό, οι offshore ανεμογεννήτριες αποτελούν την καλύτερη λύση αυτού του προβλήματος, αφού εκ των πραγμάτων είναι τοποθετημένες αρκετά χιλιόμετρα από την ακτή και μακριά από κατοικημένες περιοχές.

¹⁴ Energypress website

¹⁵ Χρήστου Όλγας – Λύδας σελ 12

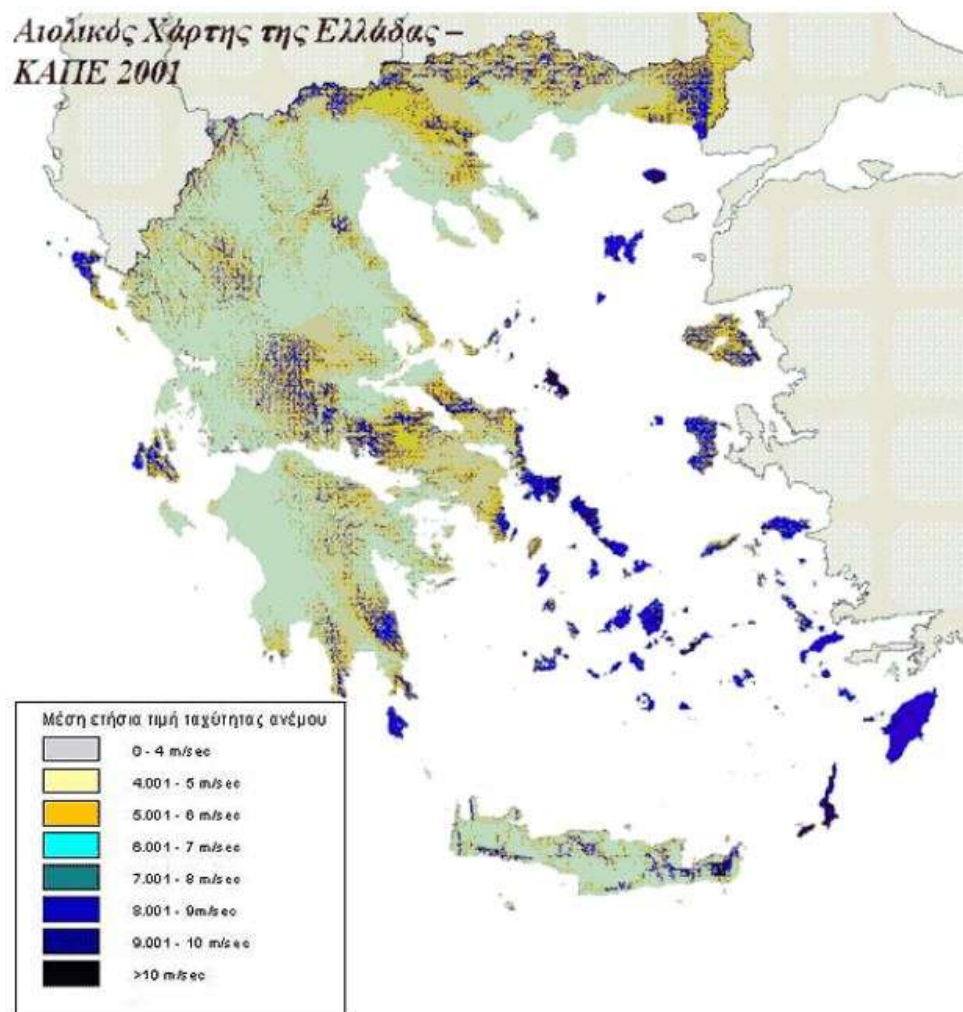
Τέλος, περιβαλλοντικές οργανώσεις αναφέρουν έντονα ότι οι onshore ανεμογεννήτριες έχουν αρνητικές επιπτώσεις στις παρακείμενες καλλιέργειες και στην πανίδα του εγγύς οικοσυστήματος (θάνατοι πτηνών).

Το μειονέκτημα των offshore ανεμογεννητριών είναι το πολύ μεγαλύτερο κόστος κατασκευής και συντήρησης τους (2 με 3.5 φορές περισσότερα από τις onshore). Επίσης στην στεριά υπάρχει ήδη διαθέσιμο δίκτυο για την παροχή της παραγόμενης ενέργειας, ενώ στην θάλασσα συνήθως θα πρέπει να κατασκευαστεί, γεγονός που συντελεί ακόμα περισσότερο στην αύξηση του κόστους των υπεράκτιων αιολικών πάρκων.



Εικόνα 1.1¹⁶: Χάρτης απεικόνισης της μέσης ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του ρότορα (80m για onshore και 120m για offshore) στην Ευρώπη το χρονικό διάστημα 2000 -2005.

¹⁶ ο.π. σελ 13



Εικόνα 1.2¹⁷: Αιολικό δυναμικό Ελλάδας από καταγραφές του έτους 2001. Η διαβάθμιση των χρωμάτων απεικονίζει την μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου με τα πιο σκούρα χρώματα (μπλε και μαύρο) να δείχνουν τις μεγαλύτερες ταχύτητες.

¹⁷ ο.π. σελ 17

1.8 Βιβλιογραφία

1. Διαχείριση της αιολικής ενέργειας, Καλδέλης Ι, εκδόσεις Σταμούλης, 1999
2. Ανεμοκινητήρες, Μπεργελές Γ., εκδόσεις Συμεών 2005
3. Αριθμητική ανάλυση της θεμελίωσης θαλάσσιων ανεμογεννητριών με Μονοπασφάλους, Πτυχιακή Εργασία, Χρήστου Όλγας,- Λύδας, ΕΜΠ, 2012, σελ 12
4. Skai website <http://www.skai.gr/news/environment/article/222367/pleonektimata-meionektimata-ton-ploton-anemogennitron/>
5. Technicalreview website
http://www.technicalreview.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=290
6. Ινστιτούτο Εργασίας ΓΣΕΕ, <http://www.inegsee.gr/pdxb/INE%202008/diethni.htm>
7. Garyfallidou website
http://www.garyfallidou.org/elec_prod/gr_windmills_advantages.html
8. Ευρωπαϊκή Επιτροπή: Έρευνα της Ευρωπαϊκής επιτροπής για τις τάσεις της ενέργειας έως το 2030, <http://bit.ly/123FejP>
9. Energypress website
<http://www.energypress.gr/news/article/Problhmata-sthn-energeiakh-diasyndesh-twn-nhsw>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΙΣΗ

2.1 Εθνική νομοθεσία

Στην Ελλάδα τα θέματα που σχετίζονται με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ ρυθμίζονται με τους νόμους 3468/2006 (ΦΕΚ 129/27.06.2006), άρθρο 4 και 2773/1999 άρθρο 9. Με τις διαδικασίες του νόμου, αφενός μεταφέρεται στο ελληνικό δίκαιο η οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2009/28/ΕΚ και αφετέρου, προωθείται στην εσωτερική αγορά η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και μονάδες Συμπααραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ) κατά προτεραιότητα.

2.2 Άδεια Παραγωγής

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ απαιτείται σχετική άδεια. Η άδεια αυτή χορηγείται από το Υπουργείο Ανάπτυξης μετά από τη σύμφωνη γνώμη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- της εθνικής ασφάλειας
- της εν γένει ασφάλειας των εγκαταστάσεων και του σχετικού εξοπλισμού του συστήματος και του δικτύου
- της ενεργειακής αποδοτικότητας του έργου για το οποίο υποβάλλεται η σχετική αίτηση
- της ωριμότητας της διαδικασίας υλοποίησης του έργου, όπως αυτή προκύπτει από μελέτες που έχουν εκπονηθεί
- της εξασφάλισης του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου
- της δυνατότητας του αιτούντος να υλοποιήσει το έργο με βάση την οικονομική, επιστημονική και τεχνική επάρκεια του
- της διασφάλισης παροχής υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και προστασίας των πελατών
- της προστασίας του περιβάλλοντος σύμφωνα με την κείμενη νομοθεσία και το ειδικό πλαίσιο χωροταξικού σχεδιασμού και αειφόρου ανάπτυξης για τις ΑΠΕ

Το τελευταίο κριτήριο επαληθεύεται με την Προκαταρκτική Περιβαλλοντική Εκτίμηση και Αξιολόγηση (ΠΠΕΑ) που υποβάλλεται στο Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής (ΥΠΕΚΑ) ή στην Υπηρεσία Περιβάλλοντος της οικείας Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης ανάλογα με την κατάταξη του έργου. Η ισχύουσα νομοθεσία που εφαρμόζεται για την σύνταξη της (ΠΠΕΑ) είναι¹:

¹ Μπιτζιώνης σελ 517-539

- Νόμος 3010/2002 για την κατάταξη των δημόσιων και ιδιωτικών έργων και δραστηριοτήτων για την εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων.
- Νόμος 1650/1985 για την προστασία του περιβάλλοντος.
- Κοινή Υπουργική Απόφαση (ΚΥΑ) 104248/2006 (ΦΕΚ 663/Β/26.05.2006) για τα περιεχόμενα, τα δικαιολογητικά και τα λοιπά στοιχεία των Προμελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, των Μελετών Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων και συναφών μελετών περιβάλλοντος, έργων ΑΠΕ.
- ΚΥΑ 1726/2003 σχετικά με την έγκριση περιβαλλοντικών όρων για έργα ΑΠΕ.
- ΚΥΑ 104247/2006 (ΦΕΚ 663/Β/26.05.2006) για τη διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης, Αξιολόγησης και Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων έργων ΑΠΕ.

Η άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ χορηγείται για χρονικό διάστημα μέχρι εικοσιπέντε χρόνια με δυνατότητα ανανέωσης για ίσο χρόνο και περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- τον κάτοχο της, φυσικό ή νομικό πρόσωπο
- τον τόπο εγκατάστασης του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- την εγκατεστημένη ισχύ και τη μέγιστη ισχύ παραγωγής
- τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία
- τη διάρκεια ισχύος της
- τους χρηματοδότες για την υλοποίηση του έργου

Η χορήγηση άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ δεν απαλλάσσει τον κάτοχο της από την υποχρέωση λήψης άλλων αδειών ή εγκρίσεων που προβλέπονται από την κείμενη νομοθεσία, όπως οι Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων και οι Άδειες Εγκατάστασης και Λειτουργίας. Αντιθέτως, η χορήγηση Άδειας Παραγωγής αποτελεί προϋπόθεση για τη χορήγηση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (ΕΠΟ).

2.3 Εγκατάσταση και λειτουργία σταθμών παραγωγής ενέργειας από ΑΠΕ

Οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ καθώς και κάθε έργο που συνδέεται με την κατασκευή και λειτουργία τους, συμπεριλαμβανόμενων των έργων οδοποιίας πρόσβασης και των έργων σύνδεσης τους με το σύστημα ή το δίκτυο επιτρέπεται να εγκαθίστανται και να λειτουργούν:

- σε γήπεδο ή σε χώρο στα όποια ο αιτών έχει το δικαίωμα νόμιμης χρήσης
- σε δάση ή δασικές εκτάσεις, εφόσον έχει επιτραπεί η εκτέλεση σε αυτά έργων σύμφωνα με τα άρθρα 45 και 58 του νόμου 998/1979 (ΦΕΚ 289 Α), το άρθρο 13 του νόμου 1734/1987 (ΦΕΚ 189 Α) και την τροποποίηση του άρθρου 2 του νόμου 2941/2001. (Βεβαίωση Χρήσης Γης).

- σε αιγιαλό, παραλία, θάλασσα ή σε πυθμένα της, εφόσον έχει παραχωρηθεί το δικαίωμα χρήσης τους, σύμφωνα με το νόμο 3468/2006 περιλαμβανομένων και των τροποποιήσεων του νόμου 2971/2001 (ΦΕΚ 285 Α).

Για την εγκατάσταση αιολικών σταθμών και ανεμογεννητριών δεν απαιτείται έκδοση οικοδομικής άδειας. (Νόμος 2951/2001)

2.4 Άδεια Εγκατάστασης και Λειτουργίας

Για την εγκατάσταση ή επέκταση σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ απαιτείται η σχετική άδεια. Η άδεια αυτή εκδίδεται με απόφαση της διεύθυνσης Σχεδιασμού και Ανάπτυξης της οικείας Περιφέρειας στα όρια της οποίας εγκαθίσταται ο σταθμός σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 3 του νόμου 1650/1986 (ΦΕΚ 160 Α) και του νόμου 3468/2006 (ΦΕΚ 129/27.06.2006). Η άδεια εγκατάστασης έχει ισχύ για δυο έτη και μπορεί να παρατείνεται, κατά ανώτατο όριο, για ίσο χρόνο μετά από αίτηση του κάτοχου της, εφόσον:

- Κατά τη λήξη της διετίας έχει εκτελεσθεί το έργο, οι δαπάνες του οποίου καλύπτουν το 50% της επένδυσης
- Δεν έχει γίνει έναρξη εκτέλεσης του έργου για λόγους που αποδεδειγμένα δεν οφείλονται σε παράλειψη ή άλλης μορφής υπαιτιότητα του κατόχου της Άδειας Εγκατάστασης

Εκτός από την Άδεια Εγκατάστασης απαιτείται και Άδεια Λειτουργίας, που εκδίδεται από την ίδια Αρχή με της Άδειας Εγκατάστασης και έχει ισχύ είκοσι τουλάχιστο χρόνια που μπορούν να επεκταθούν σε ίσο χρονικό διάστημα. (άρθρο 8, νόμου 3468/2006 (ΦΕΚ 129/27.06.2006), Υπουργική Απόφαση 2000/2002, άρθρο 14 και 15 (ΦΕΚ Β158/13.02.2002)).

Για σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ που εξαιρούνται από την υποχρέωση λήψης Άδειας Παραγωγής δεν απαιτείται η λήψη Αδειών Εγκατάστασης και Λειτουργίας, παρά μόνο περιβαλλοντική αδειοδότηση, σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία.

2.5 Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων

Η Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ έχει ισχύ για δέκα χρόνια και μπορεί να ανανεώνεται μια ή περισσότερες φορές, μέχρι ίσο χρόνο, κάθε φορά. Η νομοθεσία που διέπει τις εγκρίσεις αυτές είναι η ίδια με αυτή των ΠΠΕΑ που προαναφέρθηκαν.

2.6 Ένταξη σταθμών ΑΠΕ στο σύστημα ή το διασυνδεδεμένο δίκτυο

Με την προϋπόθεση ότι δεν τίθεται θέμα ασφάλειας του συστήματος ή του δικτύου, ο αρμόδιος διαχειριστής τους υποχρεούται κατά την κατανομή του φορτίου να δίνει προτεραιότητα σε διαθέσιμες εγκαταστάσεις παραγωγής, στις οποίες η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από ΑΠΕ, ανεξάρτητα από την εγκατεστημένη ισχύ τους.

2.7 Ένταξη σταθμών ΑΠΕ στα μη διασυνδεδεμένα νησιά

Στα μη διασυνδεδεμένα νησιά ο αρμόδιος διαχειριστής υποχρεούται να απορρόφα, κατά προτεραιότητα, την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από σταθμούς ΑΠΕ.

2.8 Σύνδεση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ με το σύστημα ή το δίκτυο

Αν συνδέεται στο σύστημα ή στο δίκτυο νέος σταθμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ, μέσω υποσταθμού μέσης προς υψηλή τάση, που βρίσκεται έκτος των χώρων του σταθμού, ο κάτοχος της Άδειας Παραγωγής του συνδεδεμένου σταθμού δύναται να κατασκευάζει τα έργα σύνδεσης, από τα όρια του σταθμού μέχρι τα όρια του συστήματος ή δικτύου σύμφωνα με την παράγραφο 4 του άρθρου 2 του νόμου 2941/2001 και να αποκτάει τη διαχείριση των έργων αυτών, σύμφωνα με όσα προβλέπονται στους αντίστοιχους Κώδικες Διαχείρισης. Για την κατασκευή των έργων σύνδεσης, ο κάτοχος της Άδειας Παραγωγής εκπονεί μελέτη, σύμφωνα με τους όρους και τις προδιαγραφές σύνδεσης που ορίζει ο αρμόδιος Διαχειριστής, ο οποίος και εγκρίνει την μελέτη αυτή.

2.9 Σύμβαση Πώλησης

Για την ένταξη σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στο σύστημα ή το δίκτυο, περιλαμβανόμενου και του δικτύου των μη διασυνδεδεμένων νησιών, ο Διαχειριστής του συστήματος ή ο Διαχειριστής των μη διασυνδεδεμένων νησιών υποχρεούνται να συνάπτουν Σύμβαση Πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας με τον κάτοχο της Άδειας Παραγωγής της. Η σύμβαση αυτή ισχύει για δέκα έτη και μπορεί να παρατείνεται για ισο χρονικό διάστημα μονομερώς.

2.10 Τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς ΑΠΕ

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται μέσω σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και απορροφάται από το σύστημα ή το δίκτυο τιμολογείται με βάση τον παρακάτω πίνακα. Οι

τιμές που περιλαμβάνονται στον πίνακα αναπροσαρμόζονται κάθε έτος με βάση τη μεσοσταθμική μεταβολή των εγκεκριμένων τιμολογίων της ΔΕΗ. Ως μεσοσταθμική μεταβολή των τιμολογίων της ΔΕΗ νοείται ο μέσος όρος των επί μέρους εγκεκριμένων μεταβολών, ανά κατηγορία τιμολογίου, όπως ο όρος αυτός σταθμίζεται ανάλογα με την αντίστοιχη κατά το είδος της ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται το προηγούμενο έτος.

Πίνακας 2.1² Τιμολόγηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο σύστημα	Μη διασυνδεδεμένα νησιά
Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος > 50 kW	87,85	99,45
Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος ≤ 50 kW	250	
Φωτοβολταϊκά έως 10 KW στον οικιακό τομέα και σε μικρές επιχειρήσεις (σύμφωνα με το ειδικό πρόγραμμα για Φ/Β σε κτίρια - ΚΥΑ.12323/4.6.2009, Β'1079)	550	
Υδραυλική ενέργεια που αξιοποιείται από μΥΗΣ με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 15 MW	87,85	
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από Ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	264,85	
Ηλιακή ενέργεια που αξιοποιείται από Ηλιοθερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής με σύστημα αποθήκευσης το οποίο εξασφαλίζει τουλάχιστον 2 ώρες λειτουργίας στο ονομαστικό φορτίο	284,85	
Γεωθερμική ενέργεια χαμηλής θερμοκρασίας (Ν.3175/2003,	150	

² ΔΕΣΜΗΕ

A'207, άρθρο 2)	
Γεωθερμική ενέργεια υψηλής θερμοκρασίας (N.3175/2003, A'207, άρθρο 2)	99,45
Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 1 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	200
Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ > 1 MW και ≤ 5 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	175
Βιομάζα που αξιοποιείται από σταθμούς με εγκατεστημένη ισχύ ≥ 5 MW (εξαιρουμένου του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων)	150
Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και Βιοαέρια από Βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ ≤ 2 MW	120
Αέρια εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής και από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και Βιοαέρια από Βιομάζα (συμπεριλαμβανομένου και του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αποβλήτων), με εγκατεστημένη ισχύ > 2 MW	99,45
Βιοαέριο που προέρχεται από Βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με	220

εγκατεστημένη ισχύ ≤ 3 MW		
Βιοαέριο που προέρχεται από Βιομάζα (κτηνοτροφικά και αγροτοβιομηχανικά οργανικά υπολείμματα και απόβλητα) με εγκατεστημένη ισχύ > 3 MW	200	
Λοιπές ΑΠΕ (συμπεριλαμβανομένων και των σταθμών ενεργειακής αξιοποίησης του βιοαποδομήσιμου κλάσματος αστικών αποβλήτων που πληρούν τις προδιαγραφές της Ευρωπαϊκής νομοθεσίας όπως εκάστοτε αυτές ισχύουν)	87,85	99,45
Συμπαγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης (ΣΗΘΥΑ)	87,85 x ΣΡ ^(*)	99,45 x ΣΡ ^(*)

2.11 Επιτροπή Προώθησης Επενδυτικών Σχεδίων Μεγάλης Κλίμακας για ΑΠΕ

Στο Υπουργείο Ανάπτυξης συνίσταται Επιτροπή Προώθησης Επενδυτικών Σχεδίων Μεγάλης Κλίμακας στους τομείς ΑΠΕ με αποστολή την ταχεία προώθηση επενδύσεων σε έργα ΑΠΕ που αφορούν σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με εγκατεστημένη ισχύ ίση ή μεγαλύτερη των 30 MW ή συνολικό προϋπολογισμό άνω των τριάντα εκατομμυρίων ευρώ (Επενδυτικά Σχεδία Μεγάλης Κλίμακας για ΑΠΕ) καθώς και την επίλυση κάθε ζητήματος που προκύπτει κατά τη διαδικασία έκδοσης Αδειών Εγκατάστασης και Λειτουργίας σταθμών ΑΠΕ. Στον παρακάτω πίνακα υπάρχει εν συντομία η γενική νομοθεσία σχετική με ΑΠΕ.

Πίνακας 2.2³ Νομοθεσία για ΑΠΕ

N.3851/2010 (ΦΕΚ Α' 85/4-6-2010)	Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και
----------------------------------	---

³ Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

	Κλιματικής Αλλαγής
N.3734/2009 (ΦΕΚ Α' 8/28.1.2009)	Προώθηση της συμπαραγωγής δύο ή περισσότερων χρήσιμων μορφών ενέργειας, ρύθμιση ζητημάτων σχετικών με το Υδροηλεκτρικό Έργο Μεσοχώρας και άλλες διατάξεις
N.3468/2006 (ΦΕΚ Α' 129/27.6.2006)	Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαραγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις
N. 2941/2001 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 201/12.09.2001)	Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. «ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ» και άλλες διατάξεις.
N. 2244/1994 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 168/07.10.1994)	Ρύθμιση θεμάτων Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις
N. 2773/1999 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 286/22.12.1999)	Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας-Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις
N. 2647/1998 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 237/22.10.1998)	Μεταβίβαση αρμοδιοτήτων στις περιφέρειες και την αυτοδιοίκηση και άλλες διατάξεις
Υ.Α. ΣΕ 2708/17.12.1987 ΥΒΕΤ (Τεύχος ΦΕΚ Β' 761)	<p>Δικαιολογητικά που απαιτούνται για την έκδοση αδειών ίδρυσης, εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής»</p> <p>Η υπουργική απόφαση τροποποιήθηκε από τις :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Υ.Α. Δ6/Φ1/ΟΙΚ12230/3.8.1999 ΥΠΑΝ (Τεύχος ΦΕΚ Β' 1560/04-08-1999): Τροποποίηση διαδικασίας έκδοσης αδειών εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση ΑΠΕ μη εγγυημένης ισχύος στα ηλεκτρικά συστήματα Κρήτης, Ρόδου και Κω της ΔΕΗ και λοιπές ρυθμίσεις • Υ.Α. 8860/11.5.1998 ΥΠΑΝ: Τροποποίηση διατάξεων της απόφασης του Υπουργού ΒΕΤ

	<p>8295/19.4.1995</p> <ul style="list-style-type: none"> • Υ.Α. Δ6/Φ1/51298/2.8.1996 ΥΠ.ΑΝ (Τεύχος ΦΕΚ Β 766/28.08.1996): Τροποποίηση και αντικατάσταση διατάξεων καθώς και διόρθωση παροραμάτων της απόφασης του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας με αριθμό πρωτοκόλλου Δ6/Φ1/ΟΙΚ.8295/19.4.1995. • Υ.Α. Δ6/Φ1/ΟΙΚ.8295/19.4.1995 ΥΒΕΤ (Τεύχος ΦΕΚ Β 385/10.5.1995): <ul style="list-style-type: none"> α) Διαδικασίες και δικαιολογητικά που απαιτούνται για την έκδοση των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, τα καταβλητέα παράβολα καθώς και κάθε άλλη αναγκαία λεπτομέρεια. β) Καθορισμός γενικών τεχνικών και οικονομικών όρων των συμβάσεων μεταξύ παραγωγών και ΔΕΗ, λεπτομέρειες διαμόρφωσης των τιμολογίων καθώς και όροι διασύνδεσης
<p>Υ.Α. Δ6/Φ1/ΟΙΚ.13129/2.8.1996 ΥΠ.ΑΝ (Τεύχος ΦΕΚ Β 766/28.8.1996)</p>	<p>Προσδιορισμός παραβάσεων και καθορισμός διαδικασίας επιβολής σχετικών κυρώσεων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής</p>

2.12 Χωροθέτηση αιολικών πάρκων στην Ελλάδα

Οι δυνατότητες ανάπτυξης θαλάσσιων αιολικών πάρκων στην Ελλάδα, αν και υπαρκτές, δεδομένου του υψηλού αιολικού δυναμικού του Αιγαίου πελάγους, αλλά και του λοιπού θαλάσσιου χώρου της, εξαρτώνται από την πορεία εξέλιξης της τεχνολογίας ως προς το βάθος της θάλασσας, μέχρι του οποίου μπορεί να εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες με οικονομικό τρόπο. Αυτό συμβαίνει γιατί, λόγω του βυθογραφικού ανάγλυφου των ελληνικών θαλασσών (έντονο ανάγλυφο βυθού, απότομα βάθη και κλίσεις), δεν φαίνεται να προσφέρονται πολλές τεχνικές δυνατότητες εγκατάστασης ανεμογεννητριών στη θάλασσα, σε αντίθεση με ότι

συμβαίνει σε άλλες βόρειες Ευρωπαϊκές χώρες, όπου η τοπογραφία του βυθού είναι εντελώς διαφορετική (ομαλές κλίσεις, μικρά βάθη κλπ). Έτσι, οι ελληνικές θάλασσες χαρακτηρίζονται γενικά από βάθη που, με τη σημερινή τεχνολογία είναι απαγορευτικά για τα θαλάσσια αιολικά πάρκα, χωρίς όμως να αποκλείονται μεμονωμένες περιπτώσεις σχετικών αβαθών περιοχών με ικανό αιολικό δυναμικό. Όμως, τα τελευταία χρόνια η ταχεία ανάπτυξη της τεχνολογία των πλωτήρων πολλαπλών ανεμογεννητριών καθιστά πλέον εφικτή την προοπτική εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών πάρκων στο θαλάσσιο χώρο της Ελλάδος.

Περαιτέρω σημαντικές είναι οι προοπτικές εκμετάλλευσης του πλούσιου αιολικού δυναμικού των ελληνικών θαλασσών με εγκατάσταση αιολικών πάρκων σε ακατοίκητες νησίδες και η διοχέτευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, μέσω υποθαλάσσιων καλωδίων, στο διασυνδεδεμένο σύστημα.

Και οι δυο αυτές προοπτικές αντιμετωπίζουν σε ένα βαθμό μια σειρά ζητημάτων που έχουν εντοπιστεί την τελευταία δεκαετία στην Ελλάδα και σχετίζονται με τη χωροθέτηση των αιολικών πάρκων:

- Θέματα αποφυγής εντόνων συγκρούσεων σε σχέση με την ένταξη στο τοπίο, λόγω μεγαλύτερης εν γένει φέρουσας ικανότητας του θαλάσσιου τοπίου
- Θέματα αποφυγής εντόνων συγκρούσεων με άλλες χρήσεις, δεδομένου ότι οι σχετικοί ανταγωνισμοί είναι σαφώς περιορισμένοι (ναυσιπλοΐα, προστατευμένες θαλάσσιες περιοχές, εθνική άμυνα) και σαφώς πιο εύκολα διαχειρίσιμοι στη φάση σχεδιασμού του κάθε έργου.

2.13 Κριτήριο χωροθέτησης αιολικών εγκαταστάσεων στο θαλάσσιο χώρο⁴

Τα κριτήρια χωροθέτησης αφορούν σε δυο ειδικότερες κατηγορίες:

- Στις θαλάσσιες περιοχές (υπεράκτιες)
- Στις ακατοίκητες βραχονησίδες.

2.13.1 Κριτήρια χωροθέτησης υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Καθορίζονται τα εξής κριτήρια χωροθέτησης:

- Επιτρέπεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε όλες τις έκτος ακτών θαλάσσιες περιοχές, που διαθέτουν προϋποθέσεις αιολικής εκμεταλλευσιμότητας, εφόσον αυτές δεν εντάσσονται σε ιδιαίτερο θεσμικό καθεστώς ρητής απαγόρευσης της εγκατάστασης ή δεν

⁴ Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής

αποτελούν ζώνη αποκλεισμού, όπως θεσμοθετημένα θαλάσσια ή υποθαλάσσια πάρκα ή βεβαιωμένες γραμμές επιβατικής ναυσιπλοΐας.

- Ελάχιστο δυναμικό εγκατάστασης 2 MW
- Ελάχιστες αποστάσεις για τη διασφάλιση της λειτουργικότητας και απόδοσης των αιολικών πάρκων
- Απαγορεύεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε απόσταση μικρότερη των 500 μέτρων από οργανωμένες ή διαμορφωμένες ακτές λουόμενων ή άλλες αξιόλογες ακτές και παραλίες
- Απαγορεύεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε μικρούς κλειστούς κόλπους με εύρος ανοίγματος μικρότερο από 1100 μέτρα.
- Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από περιοχές και στοιχεία της πολιτιστικής κληρονομιάς
- Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από οικισμούς
- Ελάχιστη απόσταση εγκατάστασης από παραγωγικές ζώνες ή δραστηριότητες του τριτογενή τομέα
- Πρέπει να αποδεικνύεται η δυνατότητα ασφαλούς διασύνδεσης και μεταφοράς της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.
- Εφαρμόζονται οι κανόνες του τοπίου που ισχύουν για τις Περιοχές Αιολικής Προτεραιότητας (ΠΑΠ)

2.13.2 Κριτήρια χωροθέτησης ανεμογεννητριών στις ακατοίκητες περιοχές

- Επιτρέπεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε όλες τις ακατοίκητες νησίδες, εφόσον αυτές δεν εντάσσονται σε ιδιαίτερο θεσμικό καθεστώς ρητής απαγόρευσης της εγκατάστασης ή δεν αποτελούν ζώνη αποκλεισμού
- Ελάχιστο δυναμικό εγκατάστασης 2MW
- Κατά τα λοιπά, εφαρμόζονται κατά περίπτωση οι κανόνες χωροθέτησης που καθορίζονται για τις εγκατάστασης στις θαλάσσιες περιοχές (ελάχιστες αποστάσεις, κανόνες τοπίου κλπ)

Ας σημειωθεί ότι και στις δυο κατηγορίες, λόγω έλλειψης καταγραφής αιολικού δυναμικού και επειδή η χωροθέτηση τους εξαρτάται από τεχνικούς παράγοντες στο πλαίσιο των ως άνω κριτηρίων, δεν είναι δυνατόν να υπολογισθεί η φέρουσα ικανότητα ευρύτερων περιοχών, οι οποίες άλλωστε δεν αποτελούν περιοχές εντόνων συγκρούσεων ευρύτερων χρήσεων. Αντιστοίχως, δεν τίθεται θέμα εκ των πρότερων προσδιορισμού πυκνότητας εγκατάστασης των ανεμογεννητριών και οι όποιες πυκνότητες προσδιορίζονται σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του έκαστου έργου.

2.14 Ασφάλιση του έργου^{5 6 7}

Οι ανεμογεννήτριες καλύπτονται πάντα από εγγύηση προϊόντος από τον κατασκευαστή για δυο έως πέντε χρόνια από την αγορά - εγκατάστασή τους. Επιπλέον, οι εταιρείες που αναλαμβάνουν την μελέτη και υλοποίηση του έργου συνάπτουν συμφωνητικό συντήρησης με τον ιδιοκτήτη – επενδύτη με το οποίο συνήθως παρέχουν μια πρόσθετη εγγύηση για τις βλάβες που θα επέλθουν στα πρώτα χρόνια λειτουργίας του έργου. Οι εγγυήσεις αυτές όμως δεν καλύπτουν ζημιές από φυσικά φαινόμενα ή κακόβουλες ενέργειες τρίτων. Επειδή η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών γίνεται κατά κανόνα σε εξωτερικούς εκτεθειμένους χώρους και με δεδομένο το μεγάλο κόστος του εξοπλισμού είναι απαραίτητη η σύναψη ασφαλιστηρίου συμβολαίου που θα καλύπτει όλους τους πιθανούς κινδύνους. Το συμβόλαιο αυτό, εφόσον διατηρείται σε ισχύ, εξασφαλίζει την αποζημίωση βλαβών που σχετίζονται με αστοχία του εξοπλισμού και μετά τη λήξη των κατασκευαστικών εγγυήσεων.

Σαφώς, η ασφαλιστική κάλυψη δημιουργεί ένα προσθετό λειτουργικό κόστος και θα πρέπει να προσαρμόζεται στο μέγεθος και τις ιδιαιτερότητες του υπεράκτιου αιολικού πάρκου. Για μεγάλης κλίμακας έργα είναι απαραίτητη η σύναψη δυο συμβολαίων, ένα για τις μηχανικές βλάβες και ένα για την απώλεια κερδών για όσο χρονικό διάστημα διακόπτεται η λειτουργία του σταθμού.

2.14.1 Ασφαλιστήριο συμβόλαιο μηχανικών βλαβών

Ο ορός μηχανικές βλάβες είναι γενικός και αναφέρεται σε βλάβες ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Το ασφαλιστικό ποσό θα πρέπει να είναι ίσο με την αξία αντικατάστασης του μηχανήματος με καινούργιο, ίδιου είδους και ικανότητας, περιλαμβανομένων μεταφορικών, τελωνειακών δασμών (αν υπάρχουν) και δαπανών συναρμολόγησης. Οι γενικοί οροί ασφάλισης μηχανικών βλαβών είναι κοινοί στην ασφαλιστική αγορά και προβλέπουν τα ακόλουθα για τον εξοπλισμό:

Καλύψεις

Καλύπτεται οποιαδήποτε απρόοπτη και αιφνίδια φυσική απώλεια ή ζημία που συνεπάγεται την ανάγκη επισκευής ή αντικατάστασης οφειλόμενης σε αιτίες όπως:

- Ελαττώματα χυτεύσεως και υλικού
- Ελαττωματικό σχέδιο
- Σφάλματα εργαστηρίου ή ανεγέρσεως

⁵ Solarinsure website

⁶ Valentine website

⁷ Northernalliance website

- Κακοτεχνία, αδεξιότητα, αμέλεια ή απροσεξία
- Φυσική έκρηξη
- Βραχυκύκλωμα
- Θύελλα
- Οποιαδήποτε άλλη αιτία η οποία δεν αναφέρεται ρητώς στις εξαιρέσεις του ασφαλιστηρίου

Το ασφαλιστήριο καλύπτει τα μηχανήματα μετά την επιτυχή συμπλήρωση των δοκιμών λειτουργίας κατά την παραλαβή τους, είτε βρίσκονται σε λειτουργία, είτε σε αδράνεια, ή είναι αποσυναρμολογημένα με σκοπό τον καθαρισμό, ή την συντήρηση τους, είτε κατά τη διάρκεια αυτών των εργασιών, είτε κατά τη διάρκεια μετακίνησης τους μέσα στο χώρο εγκατάστασης τους. Για κάθε ζημία, η οποία εμπίπτει στις πιο πάνω καλύψεις, ο ασφαλιστής υποχρεώνεται να αποζημιώσει τον ασφαλιζόμενο.

2.14.2 Ασφαλιστήριο συμβόλαιο απώλειας κερδών

Με το συμβόλαιο αυτό καλύπτεται η απώλεια ακαθάριστων κερδών σαν αποτέλεσμα της μείωσης του κύκλου εργασιών και της αύξησης του κόστους εργασίας συνέπεια μηχανικής βλάβης. Ακαθάριστο κέρδος είναι το ποσό κατά το οποίο το άθροισμα της αξίας του κύκλου εργασιών και της αξίας του αποθέματος «λήξης» υπερβαίνει το άθροισμα της αξίας του αποθέματος «έναρξης» και των ειδικών λειτουργικών δαπανών. Οι αξίες των αποθεμάτων «έναρξης» και «λήξης» διαπιστώνονται σύμφωνα με τις συνήθειες λογιστικές μεθόδους του ασφαλιζόμενου, ενώ λαμβάνονται υπόψη οι αποσβέσεις. Κύκλος εργασιών είναι τα χρήματα που δεν πληρώθηκαν ή είναι πληρωτέα στον λήπτη της ασφάλισης για τα εμπορεύματα που πουλήθηκαν και παραδόθηκαν (εν προκειμένω για την ηλεκτρική ενέργεια που πουλήθηκε στη ΔΕΣΜΗΕ).

Καλύψεις

Ισχύουν οι ιδέες καλύψεις με το συμβόλαιο μηχανικών βλαβών και όποιες επιπλέον συμφωνούν με ειδικούς όρους.

Όπως ισχύει γενικά στην ασφαλιστική αγορά, ο σωστός καθορισμός του συνολικού ασφαλιζόμενου κεφαλαίου εξασφαλίζει τον λήπτη της ασφάλισης ότι δεν θα αναγκαστεί να καλύψει μέρος της ζημιάς με δικά του έξοδα. Στην περίπτωση του αιολικού πάρκου το ποσό αυτό πρέπει να καθαρισθεί με βάση τα θεωρητικώς αναμενόμενα μεικτά έσοδα για τον πρώτο χρόνο λειτουργίας και μπορεί να αναπροσαρμόζεται κάθε επόμενο χρόνο με βάση τα πραγματικά μεικτά έσοδα που επετεύχθησαν.

2.15 Βιβλιογραφία

1. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής www.minenv.gr
2. Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
<http://www.minenv.gr/4/42/00/sxedio.kya.ape.pdf>
3. Οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου
<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=f1ZekDiD%2Brg%3D&tabid=446&language=el-GR>
4. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας http://www.rae.gr/old/SUB2/2_4.htm
5. ΔΕΣΜΗΕ <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periechomena/timologisi-energeias-apo-ape/>
6. Εναλλακτικές μορφές ενέργειας, Β. Μπιτζιώνης, Δ. Μπιτζιώνης, εκδόσεις Τζιόλα, 2011
7. Northernalliance website <http://www.northernalliance.co.uk/wind-turbine-insurance/>
8. Valentine website <http://windturbineins.com/>
9. Solarinsure website <http://www.solarinsure.com/wind-power-plant-insurance>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΚΑΙ ΟΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥ

3.1 Αιολικό δυναμικό της Ελλάδος

Για τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού της Ελλάδας έγινε έρευνα του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, στην οποία αρχικά χαράχθηκαν καμπύλες ισοταχυτήτων ανέμου σε ολόκληρο τον Ελλαδικό χώρο σε χάρτη κλίμακας 1:100000. Για τη χάραξη των καμπυλών μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου στην Ελλάδα χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις της Μετεωρολογικής υπηρεσίας και της ΔΕΗ. Στο εσωτερικό όμως της χώρας δεν υπάρχει επαρκές δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών για τη χάραξη των ισοταχυτήτων ανέμου. Έπειτα, θεωρήθηκε μέση απόσταση θέσεως εγκατάστασης ανεμοκινητήρων μεγάλου μεγέθους τα 5km όπου οι κορυφές των ισοπλεύρων τριγώνων αποτελούσαν πιθανές θέσεις εγκατάστασης ανεμογεννητριών. Στη συνέχεια, πάνω στο χάρτη οριοθετήθηκαν οι γραμμές μέσης τάσης του εθνικού ηλεκτρικού δικτύου και σημειώθηκαν οι θέσεις εκείνες εγκατάστασης ανεμογεννητριών που γειτνιάζουν στο δίκτυο. Οι θέσεις αυτές είναι οι οικονομικότερες από άποψη κόστους για διασύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο. Από την έρευνα αυτή προέκυψε ο χάρτης αιολικού δυναμικού της Ελλάδας.

Πινάκας 3.1¹ Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμων (10m από το έδαφος, Μετρήσεις ΔΕΗ)

α/α	Περιοχή	V (m/s) Περίοδος μετρήσεων
1	Άνδρος (Καλυβάρι)	9.7 (1981 - 90)
2	Τήνος (Αγ. Μαρίνα)	9.5 (1987 - 90)
3	Μύκονος (Φάρος)	10.8 (1983 - 90)
4	Κρήτη (Άνω Μούλια)	8.1 (1981 - 83)
5	Λήμνος (Βούναρος)	8.1 (1986 - 90)
6	Λέσβος (Ματανήλι)	8.7 (1987 - 90)
7	Χίος (Ποταμά)	8.1 (1986 - 89)
8	Σάμος (Μαραθόκαμπος)	10.4 (1986 - 90)
9	Εύβοια (Αγ. Σπυρίδων)	9.2 (1989 - 90)
10	Κάρπαθος (Σπία)	9.6 (1983 - 89)
11	Σκύρος (Ασπούς)	6.5(1987 - 89)
12	Σαμοθράκη (Αγ. Ανδρέας)	6.6 (1986 - 89)

¹ Μπεργελές σελ 84

Πίνακας 3.2². Πλήθος Α/Κ και ενεργειακή αποδοχή

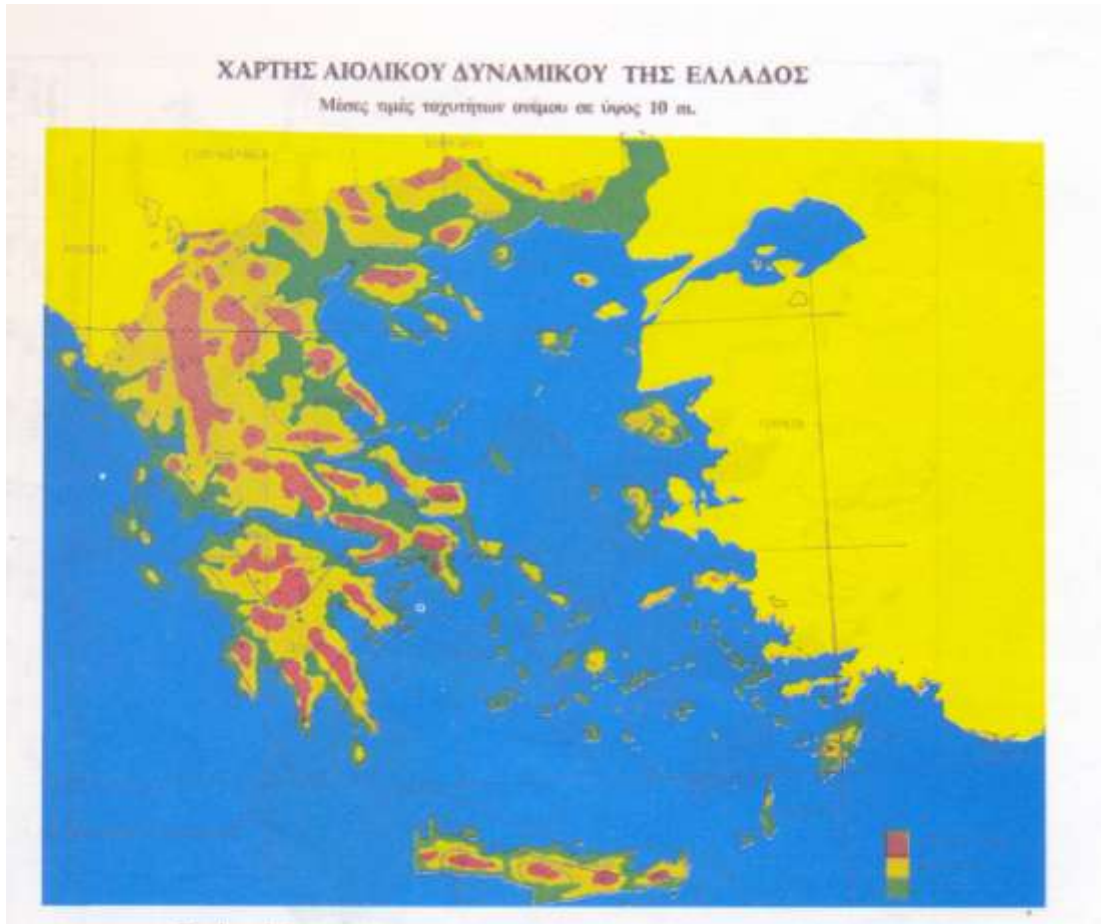
Περιοχή ή νησί	Α/Γ μεγάλου μεγέθους	Α/Γ μικρού μεγέθους	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)		Ενέργεια ετησίως (MWh)	
			Αιολική (kw)	Ηλεκτρική (kw)	Αιολική (ΑΓ)	Ηλεκτρική
Πελοπόννησος πλην Βορείου τμήματος	479	98	369000	—	1213	—
Βόρειος Πελοπόννησος	311	54	238650	—	613	—
Στερεά Ελλάδα	66	22	51700	—	872	—
Εύβοια	47	25	35250	—	1213	—
Θεσσαλία	264	42	202200	—	613	—
Ήπειρος	19	4	14650	—	875	—
Χαλκιδική - Θεσσαλονίκη Πιερία	106	14	80900	—	1197	—
Κρήτη	240	86	188000	—	1213	—
Κάσος	4	2	3200	400	2666	528
Κάρπαθος	15	5	11750	3144	2666	3313
Κύθηρα	14	5	11000	—	1892	2076
Φολέγανδρος	2	1	1600	185,6	1894	140
Μήλος	9	3	1050	3400	2428	4402
Σίφνος	4	2	3200	1328	2666	1510
Αμοργός	7	3	1350	707	3330	469
Ίος	7	—	5250	1192	3330	1394
Ανάφη	1	1	850	139,2	3330	92
Θήρα	6	3	4800	3200	2792	5227
Σύανος	2	1	1600	196	2666	147
Κάλυμνος	4	2	3200	18224	3330	23202
Αστυπάλαια	5	1	3850	400	3330	568
Ρόδος	46	16	36100	11168	1614	7770
Κως	10	5	7900	—	2311	6395
Καστελόριζο	1	—	750	86,4	1213	—
Ζάκυνθος	20	5	15500	1000	2787	—
Σπέτσες	1	—	750	—	143	—
Πόρος	3	—	2250	—	143	—
Αίγινα	4	—	3000	—	143	—

² οπ σελ 84

Πίνακας 3.3³ Μέσες ταχυτητες ανεμου

Θέση	Μέση ταχύτητα (τυπική απόκλιση)			Ετησίως δεσμευομένη αιολική ενέργεια kwh/m ²
	(3) (ΔΕΗ)	(4) (ΕΜΥ)	(5)	
Αθήνα		4.0 (± 0.2)		141
Αθήνα (Αστεροσκοπείο)		2.3 (± 0.1)		27
Αλεξανδρούπολη		3.5 (± 0.5)		94
Άνδρος		–	6.7	662
Βόλος		3.9 (± 0.4)		130
Ζάκυνθος		–	6.6	632
Ηράκλειο		4.6 (± 0.8)		14
Θεσσαλονίκη		2.90 (± 0.6)		54
Θήρα		6.6 (± 0.8)		632
Καβάλα		1.6 (± 0.2)		9
Κύθηρα	6.2	5.4 (± 0.4)		429
Κύθνος		–	6.8	691
Κύμη		2.5 (± 0.1)		34
Κως	6.2	6.2 (± 0.5)		524
Λαύριο		–	6.4	576
Λήμνος	6.0	5.2 (± 0.4)		386
Μήλος		6.3 (± 0.4)		550
Μυτιλήνη	5.2	5.0 (± 0.6)		291
Νάξος	7.0	7.2 (± 0.6)		787
Ναύπλιο		3.9 (± 0.7)		130
Ρόδος		5.3 (± 0.6)	5.7	366
Σάμος	6.0	6.3 (± 0.5)		511
Σκύρος	7.0	6.5 (± 0.8)		677
Σητεία		3.3 (± 0.5)		79
Χανιά		2.4 (± 0.8)		30
Χίος		4.0 (± 0.3)	6.2	524

³ οπ σελ 83



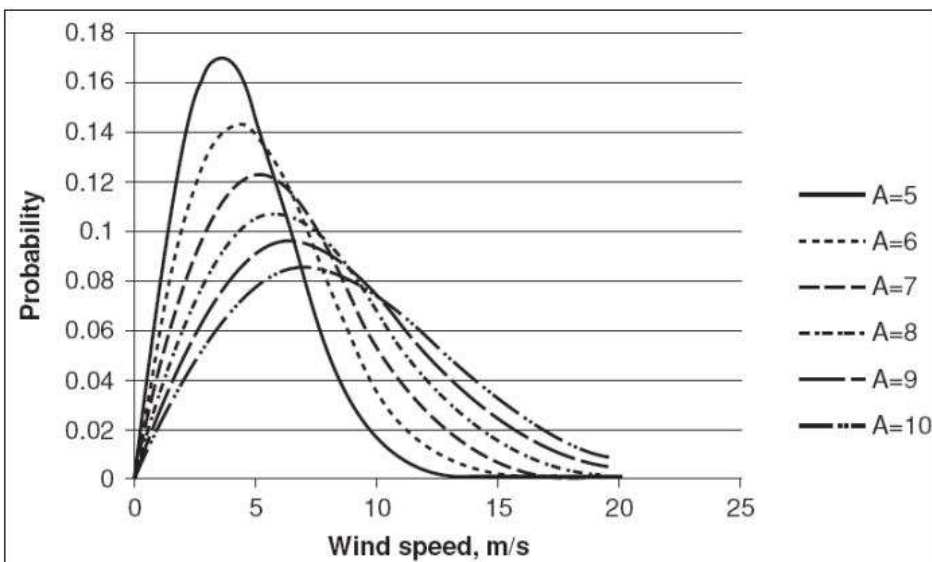
Εικόνα 3.1⁴ Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στον ελληνικό χώρο (ο αιολικός χάρτης συντάθηκε από τους Γ. Μπεργελέ και Ν Αθανασιάδη)

Η ερεύνα κατέληξε στο ασφαλές συμπέρασμα ότι υπάρχει υψηλό αιολικό δυναμικό στον νησιωτικό χώρο. Για την περιοχή αυτή η πυκνότητα πιθανής διανομής ταχύτητας εκφράζεται ικανοποιητικά με την καμπύλη διανομής Weibull και ότι η παράμετρος k είναι περίπου σταθερή ίση με $k=2$. Παραμετρική μελέτη αναφορικά με την επίδραση του k στο ετήσιο δεσμευόμενο αιολικό δυναμικό από ανεμοκινητήρα δείχνει ότι η παράμετρος αυτή έχει μικρή επίδραση και ότι τα ετήσια δεσμευόμενα αιολικά KWh στο ύψος των 10m δίνονται από την έκφραση

$$E=10.5V^3 \text{ kWh/ετησίως/m}^2$$

όπου V είναι η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου σε m/s. Συνεπώς, με τις ισοταχείς καμπύλες της παραπάνω εικόνας και με τη βοήθεια της παραπάνω σχέσης μπορεί να εκτιμηθεί το αιολικό δυναμικό που μπορεί να δεσμευθεί από ανεμογεννήτριες σε μια περιοχή.

⁴ οπ σελ 85



Σχήμα 3.1⁵ Συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας Weibull για $k=2$ και διαφορετικές τιμές του A (m/s)

3.2 Σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ

Αλλά και από το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ⁶ έγιναν αρκετές μετρήσεις για το αιολικό δυναμικό του θαλάσσιου χώρου της Ελλάδος και κατέληξαν σε παρόμοια συμπεράσματα με την προηγούμενη έρευνα. Το σύστημα ΠΟΣΕΙΔΩΝ έχει εγκαταστήσει στο Αιγαίο δίκτυο μετρητικών σταθμών τύπου Sea Watch. Κάθε σταθμός Sea Watch είναι εφοδιασμένος με μετεωρολογικούς αισθητήρες (θερμοκρασία, ατμοσφαιρική πίεση, διεύθυνση ανέμου, ταχύτητα και ριπή ανέμου), αισθητήρα μέτρησης κυματικών παραμέτρων (Seatex MRU-Motion Reference Unit), ακουστικό ρευματογράφο σε βάθος τριών 3m με επιπλέον αισθητήρες θερμοκρασίας και αλατότητας. Η ενέργεια του εξασφαλίζεται από ηλιακές κυψέλες και επαναφορτιζόμενες μπαταρίες. Η συλλογή των δεδομένων γίνεται κάθε τρεις ώρες και ακολουθεί η αποστολή τους με το δορυφορικό σύστημα Inmarsat-C και με κινητή τηλεφωνία GSM. Το δορυφορικό σύστημα έχει παγκόσμια κάλυψη και μεγάλη αξιοπιστία. Το πλεονέκτημα της κινητής τηλεφωνίας είναι η δυνατότητα μεταφοράς του πλήρους σετ δεδομένων αλλά το σύστημα λειτουργεί μόνο όπου υπάρχει σχετική κάλυψη. Το δίκτυο είναι σε λειτουργία από τις αρχές του 1999 και κάθε 3-4 μήνες πραγματοποιείται η συντήρηση του από το ωκεανογραφικό σκάφος Αιγαίο (Ανεμολογικά δεδομένα: Τα ανεμολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση του υπεράκτιου αιολικού δυναμικού συνίστανται σε χρονοσειρές της ταχύτητας ανέμου, διεύθυνσης ανέμου και ριπής ανέμου καλύπτοντας μια περίοδο που κυμαίνεται από 5 έως 12 χρόνια (1999-2011). Οι μετρήσεις ανέμου έχουν διάρκεια καταγραφής 600s και διενεργούνται κάθε 3 ώρες. Ειδικότερα,

⁵ Φυτίλης σελ 37

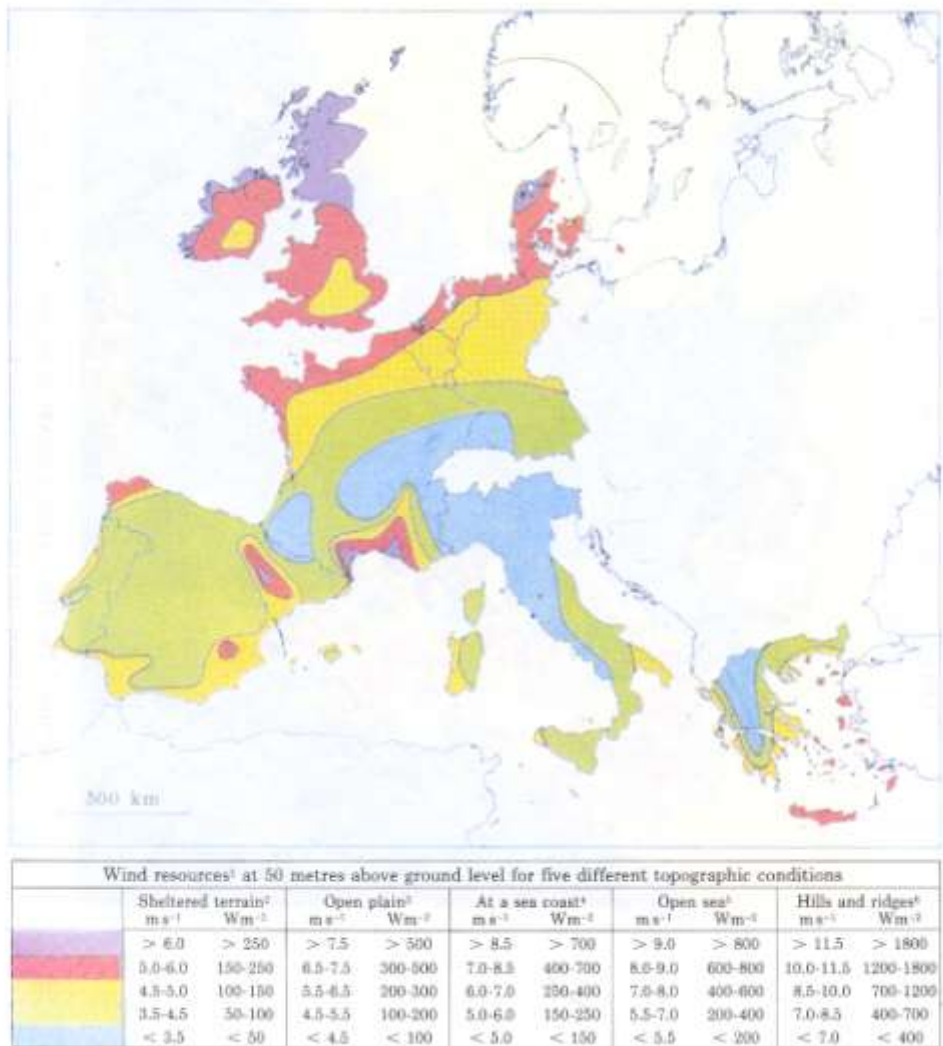
⁶ οπ σελ 29 κε

οι μετρήσεις έχουν αποκτηθεί από 5 πλωτούς μετρητικούς σταθμούς (buoys) του συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στις περιοχές βαθέων υδάτων: Άθως [39.9635 Β, 24.7226 Α], Μύκονος [37.5113 Β, 25.4590 Α], ΕΙΜ3Α [35.7860 Β, 24.9199 Α], Πύλος [36.8359 Β, 21.6113 Α] και Ζάκυνθος [37.9541 Β, 20.6104 Α].



Εικόνα 3.2⁷ Μετρητικοί σταθμοί (buoys) συστήματος ΠΟΣΕΙΔΩΝ.

⁷ Φυτίλης σελ 41



Εικόνα 3.2⁸ Ευρωπαϊκός αιολικός χάρτης

⁸ Μπεργελές σελ 86

3.3 Διαθέσιμη και απολήψιμη ισχύς ανέμου

Η ισχύς που μεταφέρει ρεύμα αέρα ταχύτητας w ($\frac{m}{s}$) και πυκνότητας ρ ($\frac{kg}{m^3}$) που προσπίπτει σε επιφάνεια A (m^2) (πχ η επιφάνεια που σαρώνει ο δρομέας αεροκινητήρα) είναι W :

$$P = \frac{1}{2} * \rho * w^3 * A$$

Όπως προκύπτει από την κινητική ενέργεια του ρεύματος ($\frac{1}{2} * w^2$). Η πυκνότητα του αέρα είναι μια συνάρτηση της πίεσης του και της θερμοκρασίας του:

$$P = \rho_{αρχ} * \left(\frac{288B}{760T}\right)$$

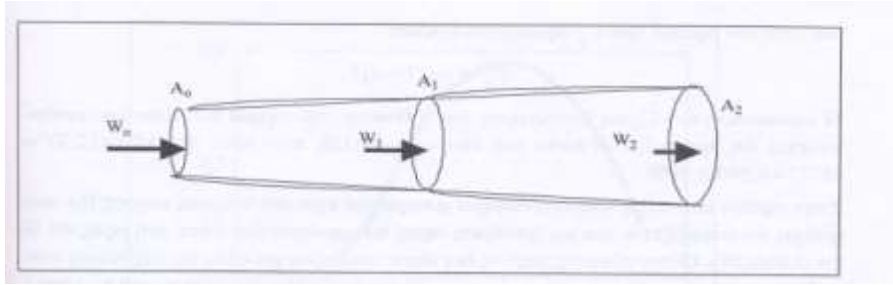
όπου $\rho_{αρχ} = 1.266 * \frac{kg}{m^3}$ (η πυκνότητα του αέρα σε συνήθεις συνθήκες, δηλαδή θερμοκρασίας 288K, πίεση 760mmHg), B η βαρομετρική πίεση σε mmHg και Tα η απόλυτη θερμοκρασία, όπου και οι δυο αυτές παράμετροι μεταβάλλονται με το υψόμετρο. Για το επίπεδο της θάλασσας μπορεί να θεωρείται μια τυπική τιμή

$$\rho = 1,2 * \frac{kg}{m^3}.$$

Η παραπάνω ενέργεια δεν είναι πλήρως αξιοποιήσιμη από μια ανεμογεννήτρια, αφού το ρεύμα του αέρα θα πρέπει και να απομακρύνεται από τον δρομέα της με κάποια έστω και μικρότερη ταχύτητα. Επομένως, η αξιοποιήσιμη ισχύς θα είναι:

$$P = \frac{1}{2} * C_p * w^3 * A$$

Όπου C_p ορίζεται ο συντελεστής ισχύος του ανεμοκινητήρα. Εξαρτάται από τον τύπο του (πχ οριζοντίου ή κατακόρυφου άξονα, δίπτερος, πολύπτερος κα) και από το ρυθμό περιστροφής και συμφώνα με το κριτήριο του Betz δεν ξεπερνά το 59%. Για την απόδειξη του περιορισμού αυτού θεωρούμε το παρακάτω σχήμα, όπου ο δρομέας της ανεμογεννήτριας σαρώνει την επιφάνεια A_1 , το ρεύμα αέρα που περνά την ανεμογεννήτρια είναι αδιατάρακτο αριστερά ρέοντας μέσα από μια μικρότερη επιφάνεια A_0 με την ταχύτητα w_0 (επομένως η ταχύτητα του αέρα στην A/Γ θα είναι μικρότερη $w_1 < w_0$, όπως προκύπτει από την εξίσωση συνέχειας και θεωρώντας τον αέρα ασυμπίεστο) ενώ μακρύτερα της A/Γ οι ροϊκές γραμμές έχουν ανοίξει ακόμα περισσότερο (επιφάνεια A_2) και η ταχύτητα εμφανίζει την ελάχιστη τιμή της w_2 .



Σχήμα 3.2⁹ Διεύρυνση ροϊκών γραμμών σύμφωνα με το μοντέλο του Betz

Θεωρώντας ότι η ροή μάζας του αέρα είναι m , τότε υπολογίζεται η ώση που ασκείται από την A/Γ , και η οποία συμπίπτει με το ρυθμό μείωσης της ορμής:

$$F = m * w_0 - m * w_2$$

Η δύναμη αυτή ασκείται από ένα ρεύμα αέρα ταχύτητας w_1 και επομένως η ισχύς που απορροφάται από την A/Γ είναι:

$$P = F * w_1 = m * (w_0 - w_2) * w_1$$

Η ίδια ισχύς όμως μπορεί να υπολογιστεί ως η απώλεια κινητικής ενέργειας από το ρεύμα:

$$P = \frac{1}{2} * m * (w_0^2 - w_2^2) = m * \frac{1}{2} * (w_0 + w_2) * (w_0 - w_2)$$

Εξισώνοντας τις δυο τελευταίες σχέσεις για την ισχύ P προκύπτει:

$$w_1 = \frac{1}{2} * (w_0 + w_2)$$

Θέτοντας a το συντελεστή αξονικής επαγωγής ή τον παράγοντα μείωσης της ταχύτητας του ανέμου στην A/Γ :

$$a = (w_0 - w_1)/w_0$$

Βρίσκουμε $w_1 = w_0 * (1 - a)$ και $w_2 = w_0 * (1 - 2a)$

Η ροή μάζας βρίσκεται στη θέση της A/Γ :

$$m = \rho * w_1 * A_1$$

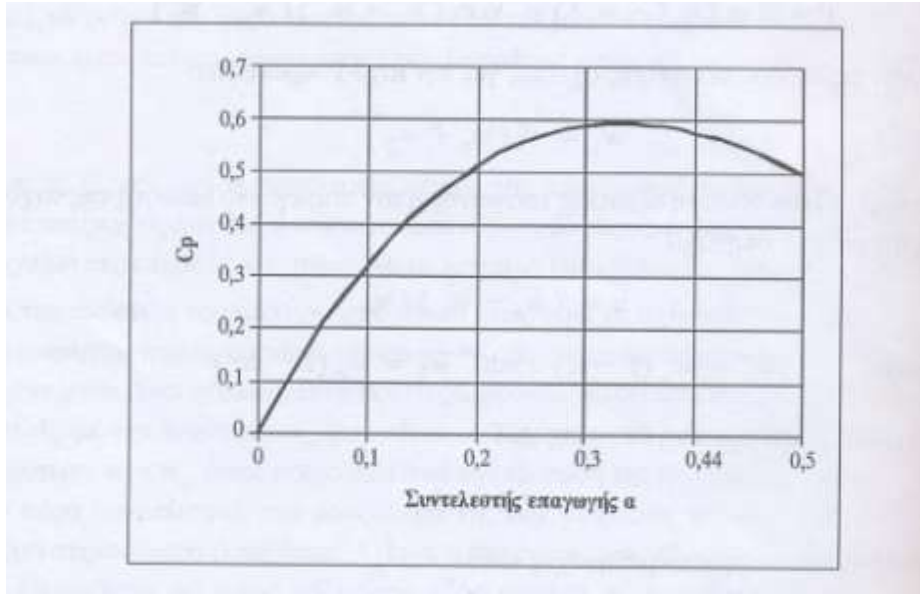
Και επομένως η απορροφούμενη ισχύς είναι:

$$P = \frac{1}{2} * m * (w_0^2 - w_2^2) = \frac{1}{2} * \rho * w_1 * A_1 * (w_0^2 - w_2^2) = \frac{1}{2} * A_1 * w_0^3 * \rho * 4a * (1 - a)^2$$

⁹ Γελεγένης σελ 287

Και από τον ορισμό του C_p προκύπτει ότι: $C_p = 4a * (1 - a)^2$

Η απεικόνιση του C_p συνάρτηση του a δίνεται από το παρακάτω σχήμα. Εύκολα αποδεικνύεται ότι εμφανίζει μέγιστο για την τιμή $a=1/3$ που είναι $4 * (1/3) * (2/3)^2 = 0,593 = 59\%$



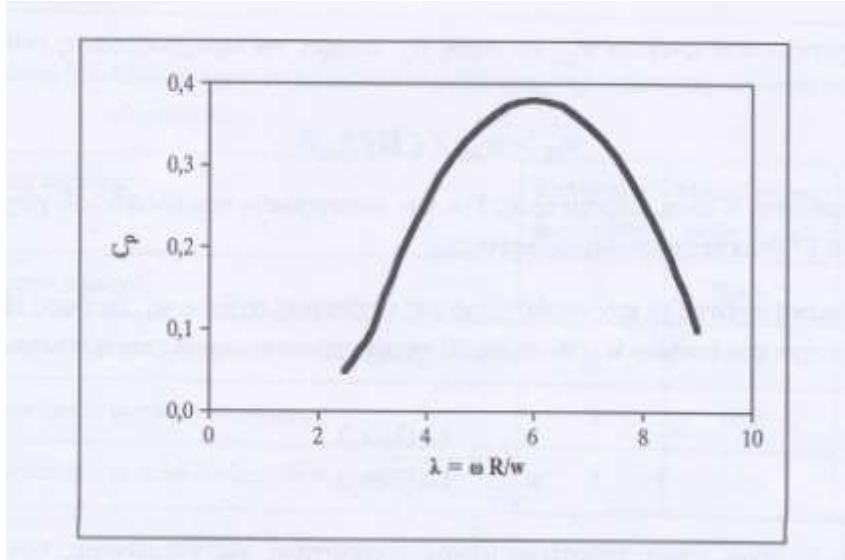
Σχήμα 3.3¹⁰ Ο συντελεστής ισχύος ΑΓ σε συνάρτηση με τον συντελεστή αξονικής επαγωγής a .

Στην πράξη μια καλή ανεμογεννήτρια μπορεί να έχει συντελεστή ισχύος 0,4 που μπορεί να εκφράζεται και ως απόδοση προς το κριτήριο του Betz, ίση προς $68\% = (0,4/0,59)$. Ο συντελεστής ισχύος δεν είναι σταθερός για όλες τις ταχύτητες ανέμου και ρυθμούς περιστροφής της ανεμογεννήτριας, αλλά εξαρτάται από το λόγο λ της ταχύτητας του ακροπτερυγίου της ανεμογεννήτριας προς την ταχύτητα του ανέμου, το οποίο ορίζεται ως πηλίκο ταχύτητας ακροπτερυγίου:

$$\lambda = v/w = \omega R/w$$

όπου λ το πηλίκο ταχύτητας ακροπτερυγίου (αδιάστατο μέγεθος), v είναι η ταχύτητα ακροπτερυγίου (m/s), w η ταχύτητα του ανέμου πριν την Α/Γ (m/s), ω η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα της Α/Γ (1/s) και R η ακτίνα του πτερυγίου του δρομέα (m). Έτσι το C_p εμφανίζει μέγιστο για κάποια τιμή του λ , όπως φαίνεται ενδεικτικά στο παρακάτω σχήμα, μέγιστο που δεν ξεπερνά βέβαια το 0,59 (κριτήριο Betz).

¹⁰ Γελεγένης σελ 288



Σχήμα 3.4¹¹ Ο συντελεστής ισχύος ΑΓ σε συνάρτηση με το πηλίκo ακροπτέρυγου $\lambda = \omega R/w$

3.4 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος

Η σχέση

$$P = \frac{1}{2} * C_p * w^3 * A$$

εφαρμόζεται για την ταχύτητα του ανέμου που δέχεται ο δρομέας του ανεμοκινητήρα στον άξονα του. Η θέση του δρομέα κατά την κατακόρυφο εξαρτάται από τον πύργο στήριξης. Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος, και μάλιστα ταχύτερα κοντά στο έδαφος ενώ ψηλότερα ο ρυθμός αύξησης μειώνεται και στα 2km μηδενίζεται. Καθώς και η ισχύς του ανέμου αυξάνεται περαιτέρω με την ταχύτητα, εφόσον εξαρτάται από την τρίτη δύναμη αυτής (για παράδειγμα, αύξηση της ταχύτητας του ανέμου κατά 25% προκαλεί διπλασιασμό της ισχύος του), είναι επιθυμητό η Α/Γ να έχει σημαντικό ύψος.

Οι περισσότεροι ανεμοκινητήρες βρίσκονται σε πύργους ύψους από 5 έως 50m, ενώ στους μετεωρολογικούς σταθμούς είναι συνήθης πρακτική να καταγράφουν την ταχύτητα του ανέμου στα 10m. Προκύπτει λοιπόν το πρόβλημα αναγωγής της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος άλλο από αυτό που έχει ληφθεί η μέτρηση και για το σκοπό αυτό έχουν προταθεί μια εκθετική και μια λογαριθμική σχέση με παραμέτρους που εξαρτώνται από την τοπογραφία και τα χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής.

Εκθετική σχέση: Για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου w_H σε ύψος H , από την ταχύτητα του ανέμου w_{h_0} σε ύψος h_0 , μπορεί να εφαρμόζεται η εκθετική σχέση

¹¹ Γελεγένης σελ 289 κε

$$w_H = w_{h0} * \left(\frac{H}{h_0}\right)^b$$

Όπου ο εκθέτης b είναι παράμετρος. Για την τοπογραφία του ελληνικού χώρου, η τιμή $b=0,17$ είναι αντιπροσωπευτική.

Λογαριθμική σχέση: Για τον υπολογισμό της ταχύτητας ανέμου w_H σε ύψος H , από την ταχύτητα του ανέμου w_{10} σε ύψος $10m$, μπορεί να εφαρμόζεται η λογαριθμική σχέση:

$$\frac{w_H}{w_{10}} = \frac{\text{Ln}\left(\frac{h}{z_0}\right)}{\text{Ln}\left(\frac{10}{z_0}\right)}$$

Όπου το Z_0 είναι χαρακτηριστικό μήκος ταχύτητας της επιφάνειας του εδάφους.

Πίνακας 3.4¹² Παράμετροι υπολογισμού της ταχύτητας του ανέμου κατά την κατακόρυφο

Τύπος περιοχής	Κατηγορία ταχύτητας	Μήκος ταχύτητας $z_0(m)$	Εκθέτης b
Υδάτινες περιοχές	0	0.001	0.01
Ανοικτή έκταση με λίγα επιφανειακά χαρακτηριστικά	1	0.12	0.12
Αγροκτήματα με κτήρια και φράκτες	2	0.05	0.16
Αγροκτήματα με πολλά δένδρα, δάση, χωριά	3	0.3	0.28

3.5 Μέτρηση ταχύτητας ανέμου – η κλίμακα Beaufort

Στους χάρτες αιολικού δυναμικού ή σε πίνακες κλιματικών στοιχείων αναγράφεται η μέση ταχύτητα ανέμου της κάθε περιοχής. Στην υπό εξέταση περιοχή μπορεί να φυσά κατά διαστήματα άνεμος με πολλαπλάσια ταχύτητα της μέσης τιμής και να υπάρχουν και μακρές περίοδοι άπνοιας. Με δεδομένο ότι η λαμβανόμενη ισχύς από τον άνεμο δε βρίσκεται σε γραμμική σχέση με την ταχύτητα του (αλλά με την τρίτη δύναμη της), προκύπτει ότι για τον υπολογισμό της ετήσιας απόδοσης της ανεμογεννήτριας δεν αρκεί η γνώση της μέσης ταχύτητας του ανέμου αλλά απαιτείται αναλυτικά η κατανομή της. Για αυτό το σκοπό εφαρμόζονται σχετικές συστηματικές μετρήσεις.

¹² Γελεγένης σελ 291

Αν δεν υπάρχουν συστηματικές μετρήσεις τιμών ταχύτητας ανέμου μπορεί να εφαρμόζεται θεωρητική συνάρτηση κατανομής πυκνότητας πιθανότητας $f(w)$. Πρόκειται για μια συνεχή συνάρτηση, που φανερώνει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε κάποια περιοχή τιμών. Η συνάρτηση αυτή συνήθως εμφανίζει ένα μέγιστο κοντά στη μέση ταχύτητα και μηδενίζεται για μεγάλες τιμές ταχύτητας.

Γενικά για τις κατανομές πυκνότητας – πιθανότητας ισχύουν:

$$\int_0^{\infty} f(w) dx = 1$$

$$\langle w \rangle = \int_0^{\infty} f(w) * w dx$$

$$\langle w^3 \rangle = \int_0^{\infty} f(w) w^3 dw$$

$$\langle P \rangle = 0,5 * \rho * \langle w^3 \rangle * A$$

Επίσης, από την $f(w)$ προκύπτει η πιθανότητα η w να είναι όντος μια περιοχής τιμών από w_1 έως w_2 :

$$P(w_1 < w < w_2) = \int_{w_1}^{w_2} f(w) dw$$

Από την παραπάνω συνάρτηση $f(w)$ προκύπτει η συνάρτηση:

$$\Phi(w) = \int_0^w f(w) dw$$

Που ορίζεται ως καμπύλη διάρκειας πνοής του ανέμου ή καμπύλη αθροιστικής πιθανότητας, και φανερώνει την πιθανότητα η ταχύτητα να ξεπερνά μια τιμή.

Συνήθως, χρησιμοποιούνται δυο εναλλακτικές κατανομές για την απόδοση της εξέλιξης της ταχύτητας του ανέμου, οι κατανομές Weibull και Rayleigh.

3.6 Η κατανομή Weibull

Η διακύμανση του ανέμου για μια χαρακτηριστική περιοχή περιγράφεται συνήθως χρησιμοποιώντας την αποκαλούμενη κατανομή Weibull. Η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας ταχύτητας ανέμου $f_w(w)$ κατά Weibull έχει τη μορφή:

$$f_w(w) = (k/c) * (w/c)^{k-1} * \exp(-(w/c)^k)$$

όπου k , c είναι παράμετροι της κατανομής.

3.7 Η κατανομή Rayleigh

Η κατανομή αυτή προκύπτει από την κατανομή Weibull εφαρμόζοντας για k την τιμή k=2:

$$f_R(w)=(2*w/c^2)*\exp(-(w/c)^2)$$

η κατανομή Rayleigh χρησιμοποιείται συχνά ως απλούστερη της Weibull, διότι απαιτεί ουσιαστικά μόνο μια παράμετρο που μπορεί να υπολογίζεται από τη μέση ταχύτητα στην περιοχή.

3.8 Βιβλιογραφία

1. Ανεμοκινητήρες, Μπεργελές Γ., εκδόσεις Συμεών, 2005
2. Πηγές ενέργειας, Συμβατικές και Ανανεώσιμες, Γελεγένης Ι, Αξαόπουλος Π, εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική, 2005
3. Εκτίμηση αιολικού δυναμικού στον Ελληνικό Θαλάσσιο χώρο και προτάσεις για Υπεράκτια Αιολικά πάρκα, Μεταπτυχιακή εργασία, Φυτίλης Δημήτριος, ΕΜΠ, 2012

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

4.1 Κατάταξη αιολικών μηχανών

Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν ανθρώπινες κατασκευές που έχουν σα σκοπό την αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού της κινητικής ενέργειας του ανέμου. Οι επικρατέστεροι τύποι ανεμογεννητριών ταξινομούνται σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου σε ανεμογεννήτριες οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα.

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι οι συνηθέστερες και έχουν συνήθως τον άξονα τους παράλληλο προς την κατεύθυνση του ανέμου, ενώ σε μερικές περιπτώσεις υπάρχουν ανεμογεννήτριες των οποίων ο άξονας είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης και κάθετος προς την κατεύθυνση του ανέμου.

Οι υπάρχουσες αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης σε ταχύστροφες και σε αργόστροφες ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους, που μεταφράζεται στην τιμή της παραμέτρου (λ), η οποία είναι η ταχύτητα περιστροφής. Η ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας εξαρτάται εκτός από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής, δεδομένου ότι πρέπει να ληφθούν υπόψιν λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγόκεντρες δυνάμεις κλπ. Επιπλέον, καθοριστικό ρολό διαδραματίζει και η διασύνδεση ή μη της εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο, αφού σε περιπτώσεις σύγχρονων ηλεκτρογεννητριών διασυνδεδεμένων με το δίκτυο το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να έχει τη συχνότητα του κεντρικού δικτύου, δηλαδή 50-60Hz για την Ελλάδα¹.

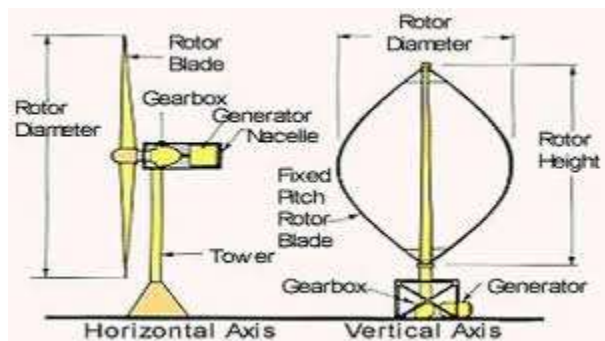
Τέλος, οι υφιστάμενες αιολικές μηχανές κατατάσσονται και βάσει του αριθμού των πτερυγίων που διαθέτει η πτερωτή τους. Ως εκ τούτου, οι ανεμογεννήτριες διαχωρίζονται σε πολυπτερυγες και ολιγοπτερυγες με τις δεύτερες να αποτελούν την πλειοψηφία των σύγχρονων ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα με αριθμό πτερυγίων που κυμαίνεται από ένα έως τρία σε κάθε πτερωτή. Μια παράμετρος που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των ανεμογεννητριών είναι η παράμετρος στιβαρότητας (σ) (solidity) της κατασκευής, η οποία για μηχανές οριζόντιου άξονα ορίζεται ως:

$$\sigma = \left(\frac{z * c * R}{\pi * R^2} \right)$$

όπου z ο αριθμός των πτερυγίων, R η ακτίνα της πτερωτής, και c η χορδή (πλάτος) των πτερυγίων της πτερωτής. Η παράμετρος στιβαρότητας δίνει τον λόγο του εμβαδού όλων των

¹Καλδέλης σελ 179 κε

περυγίων προς το εμβαδό της επιφανείας που διαγράφουν τα πτερύγια κατά την περιστροφή τους.



Εικόνα 4.1. Βασικοί τύποι ανεμογεννητριών²

4.2 Μηχανές οριζόντιου άξονα

Στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζόντιου άξονα περιλαμβάνονται οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα (περίπου 90% του συνόλου των εγκατεστημένων παγκοσμίως μηχανών), οι οποίες ονομάζονται ανεμογεννήτριες τύπου έλικας. Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγια τους βασίζονται στην κατηγορία των αεροπορικών ελίκων και τις έλικας των ελικοπτέρων. Βασικό τους γνώρισμα είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσης τους, αλλά και η βέλτιστη λειτουργία τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου περιστροφής (λ), με αποτέλεσμα την αρκετά μεγάλη σχετική ταχύτητα προσβολής των πτερυγίων από τον άνεμο.

Η κίνηση του ανεμοκινητήρα αρχίζει λόγο των δυνάμεων και ροπών που ενεργούν στο στρεφόμενο τμήμα του καθώς ο άνεμος διέρχεται διάμεσου του δρομέα. Αυτές οι δυνάμεις μπορεί να οφείλονται στην αντίσταση που ο δρομέας του ανεμοκινητήρα προβάλλει στη ροή του ανέμου ή σε δυνάμεις άνωσης. Οι δυνάμεις αντίστασης έχουν την ίδια φορά με αυτή του ανέμου, ενώ οι δυνάμεις άνωσης είναι κάθετες ως προς την κατεύθυνση του ανέμου.

Ακόμα, σύμφωνα με την αεροδυναμική, η δύναμη άνωσης που αναπτύσσεται πάνω σε μια αεροτομή (πτέρυγα) που βρίσκεται σε γωνιά πρόσπτωσης ως προς το ρεύμα του αέρα είναι πολλαπλάσια της δύναμης αντίστασης που εφαρμόζεται στην αεροτομή. Για αυτό το λόγο οι ανεμοκινητήρες, που η λειτουργία τους βασίζεται στην εκμετάλλευση των δυνάμεων άνωσης, είναι αποδοτικότεροι σε σχέση με τους ανεμοκινητήρες των οποίων η λειτουργία βασίζεται σε δυνάμεις αντίστασης.

Στις μηχανές τύπου έλικας είναι δυνατή η ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής και για λόγους προστασίας της σε περίπτωση ισχυρών ανεμών, είτε με τη χρήση ειδικών αεροδυναμικών βοηθημάτων (πχ flaps) στην άκρη των πτερυγίων, είτε με της στροφή της

².buildings website

περωτής υπό γωνιά σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. Η αιολική ισχύς από την περωτή μεταφέρεται, είτε μέσω συστήματος μετάδοσης της κίνησης (οδοντωτοί τροχοί) στη βάση του πύργου στήριξης, είτε από τον άξονα της περύγωσης στην ηλεκτρική γεννήτρια, που βρίσκεται συνήθως επάνω στον πύργο στήριξης.

Ολοκληρώνοντας, πρέπει να γίνει μια αναφορά στα προβλήματα που αντιμετωπίζει η βιομηχανία κατασκευής ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα και κυρίως στις μηχανές τύπου έλικας. Ανάμεσα στα προβλήματα που διερευνώνται σήμερα είναι³:

- Ο βέλτιστος σχεδιασμός του δρομέα με σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών λειτουργίας της μηχανής
- Η συμπεριφορά του δρομέα σε ειδικές καταστάσεις, όπως η κίνηση, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση καθώς και αλλά δυναμικά φαινόμενα
- Η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων και οι αντίστοιχοι αυτοματισμοί, που σχετίζονται με την έναρξη και την παύση λειτουργίας του ανεμοκινητήρα
- Προσανεμισμός του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου
- Προβλήματα κατασκευής των υλικών που αφορούν την κατασκευή και έδραση των πτερυγίων
- Καθορισμός του ύψους του δρομέα επάνω από το έδαφος
- Κατασκευή του πύργου στήριξης και θεμελίωση του
- Μελέτη του πεδίου ροής πίσω από την περωτή και η επίδραση της ανεμογεννήτριας στο περιβάλλον καθώς και σε πιθανές επόμενες ανεμογεννήτριες

4.2.1 Χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα

Για να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν χρησιμοποιούνται συστήματα μεταβολής του βήματος του δρομέα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας αλλά και η γρήγορη προσαρμογή της στις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας. Τα συστήματα αυτά είναι:

1. Υδραυλικά – μηχανικά

Είναι τα πρώτα ολοκληρωμένα συστήματα αυτοματισμού και χρησιμοποιήθηκαν σε πολλές κατασκευές της δεκαετίας του 1960. Τα συστήματα αυτά είναι αρκετά αξιόπιστα αλλά έχουν και αρκετά προβλήματα στις ακραίες καταστάσεις εναλλασσομένων φορτίων, χωρίς να εξασφαλίζουν ακρίβεια προσαρμοστικότητας.

2. Ηλεκτρονικά συστήματα αυτόματου έλεγχου

Αποτελούν την πιο εξελιγμένη μορφή έλεγχου και τείνουν να αποτελούν τη μόνη λύση στις μεσαίου και μεγάλου μεγέθους ανεμογεννήτριες. Αποτελούνται από πολλές εφαρμογές όπως

³ Καλδελης σελ 184 κε

είναι τα ψηφιακά κυκλώματα, οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC) και ο έλεγχος από συστήματα υπολογιστών, όπου είναι δυνατή η ρύθμιση από ένα λογισμικό αλλά και η παρακολούθηση από κεντρικό σταθμό μέσω μεταφοράς δεδομένων με τις τηλεφωνικές γραμμές.

3. Συστήματα με ελαστική έδραση των πτερυγίων

Με τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου αλλάζει η ροπή γύρω από τις εδράσεις των πτερυγίων. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να χρησιμοποιηθεί με την τοποθέτηση μηχανισμού με ελαστικούς συνδέσμους στην έδραση των πτερυγίων με την πλήμνη, ώστε να επιτευχτεί το επιθυμητό βήμα σε κάθε ταχύτητα του ανέμου.

4. Σύστημα αντίβαρων

Τα αντίβαρα μεταβάλλουν την απόσταση από τον άξονα ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής, ώστε να μεταβάλλεται ο βηματισμός του κινητήρα και να ρυθμίζονται έτσι οι στροφές και η ισχύς, μέσω ενός μηχανισμού.

4.2.2 Υλικά και προβλήματα αντοχής των πτερυγίων

Στους μικρούς ανεμοκινητήρες χρησιμοποιούνται σαν κύρια υλικά το υαλόνημα και το ξύλο με εσωτερική γέμιση την πολουρεθάνη που είναι ασταθη στα εναλλασσομενα φορτια αλλά ανθεκτικα στη διάβρωση. Σε μεγαλύτερες κατασκευές συναντάται υαλόνημα με ακτινική και παράλληλη διάταξη σε πολλαπλά στρώματα καθώς και ανθρακόνημα για μεγαλύτερη αντοχή σε εναλλασσομενα φορτία. Ένα από τα συνηθισμένα προβλήματα των ανεμογεννητριών είναι η εμφάνιση ταλαντώσεων από την επίδραση των εναλλασσομένων φορτίσεων του ανέμου που μπορεί να έχουν δυσάρεστα και απρόβλεπτα αποτελέσματα στην ανεμογεννήτρια.

4.2.3 Σύστημα προσανατολισμού

Σε μικρές κατασκευές για λόγους χαμηλού κόστους χρησιμοποιείται καθοδηγητικό πτερύγιο τοποθετημένο πίσω από το δρομέα παράλληλα με την πλήμνη. Αυτό το πτερύγιο χρησιμοποιείται ώστε σε απόκλιση του ανέμου κατά κάποιες μοίρες να ασκείται τάση επαναπροσανατολισμού του δρομέα στον άνεμο ικανή να υπερνικήσει την αντιρροπή λόγω γυροσκοπικού φαινομένου. Σε μεγάλες κατασκευές χρησιμοποιείται σύστημα αυτόματου ελέγχου την διεύθυνσης του ανέμου με τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και ένα σερβομηχανισμό που προσανατολίζει ανάλογα το δρομέα. Τέλος, ένα άλλο σύστημα προσανατολισμού που έχει εξελιχθεί αρκετά είναι μια βοηθητική έλικα κάθετη στο δρομέα, η οποία περιστρεφόμενη με τον αέρα, όταν ο δρομέας δεν είναι κάθετος στη διεύθυνση του ανέμου, κινεί με γρανάζια την ανεμογεννήτρια.

4.2.4 Κατασκευή του πύργου και θεμελίωση του

Ο πύργος στήριξης είναι συνήθως κατασκευασμένος από μεταλλικό δικτύωμα ή μια κολόνα από μέταλλο ή μπετόν σε κυκλική ή πολυγωνική μορφή σε κωνικό σχήμα. Πρέπει να έχει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα ώστε να παρεμβάλεται ελάχιστα στη ροή του ανέμου και να προσδίδει την απαραίτητη σταθερότητα και αντοχή στην κατασκευή. Η κατασκευή των πύργων που προορίζονται για υπεράκτιες ανεμογεννήτριες γίνεται στο εργοστάσιο και στο θαλάσσιο χώρο απλώς συναρμολογούνται. Το δεδομένο αυτό κάνει την μεταφορά και κατασκευή τους πιο εύκολη με τον τύπο του δικτυώματος να υπερτερεί σε ευκολία όσο αφορά τη συναρμολόγηση και την ανάρτηση του.

Ο τύπος του σωληνωτού πύργου είναι αισθητικά καλύτερος, προστατεύει όλα τα όργανα της ανεμογεννήτριας στο εσωτερικό του, ενώ έχει εσωτερική σκάλα πρόσβασης στο κουβούκλιο. Αρνητικό του χαρακτηριστικό είναι το υψηλό κατασκευαστικό του κόστος, αλλά έχει χαμηλή ιδοσυχνότητα, για αυτό το λόγο, η περιοχή της ιδοσυχνότητας του πρέπει να ξεπερνιέται γρήγορα κατά την εκκίνηση του δρομέα για αποφυγή φαινομένων συντονισμού.

Δεδομένου ότι ο χάλυβας ως υλικό υπόκειται σε διάβρωση και κόπωση, στην περίπτωση των μεταλλικών πύργων, επιβάλλεται η προστασία έναντι της διάβρωσης με εν θερμώ επιψευδαργύρωση ή με ειδική βαφή. Σύμφωνα με έρευνα του Πανεπιστημίου του Κέμπριτζ, επισημαίνεται η ανάγκη για χρήση ελαφρύτερων, ανθεκτικότερων και αντιοξειδωτικών υλικών. Προκαταρκτικές έρευνες έδειξαν ότι οι στηριζόμενοι σε ιστούς χάλυβα πύργοι θα μπορούσαν να αποτελέσουν μια πολύ καλύτερη λύση από τους συμβατικούς. Η χρήση χαλύβδινων καλωδίων για την στήριξή τους στον θαλάσσιο πυθμένα θα μπορούσε να οδηγήσει σε ελαφρύτερες και ανθεκτικότερες κατασκευές και σε αύξηση του λόγου εκμετάλλευσης του ανέμου σε 25 προς 1. Σε μια δεύτερη φάση, η έρευνα προτείνει τη χρήση σύνθετων υλικών για την κατασκευή των θεμελίων, αντί για τον ενεργοβόρο χάλυβα και το τσιμέντο, με στόχο ο λόγος εκμετάλλευσης του ανέμου να αυξηθεί περαιτέρω σε 32 προς 1⁴.

Τέλος, το ύψος του πύργου για την τοποθέτηση του δρομέα εξαρτάται από τη μορφολογία του έδαφους και την ταχύτητα του αέρα στο επιλεγμένο ύψος, όπως επίσης και στα τυχόν εμπόδια στη ροή του αέρα (κτίρια, δέντρα κλπ.)

4.2.5 Πλήμνη και κύριος άξονας της ανεμογεννήτριας

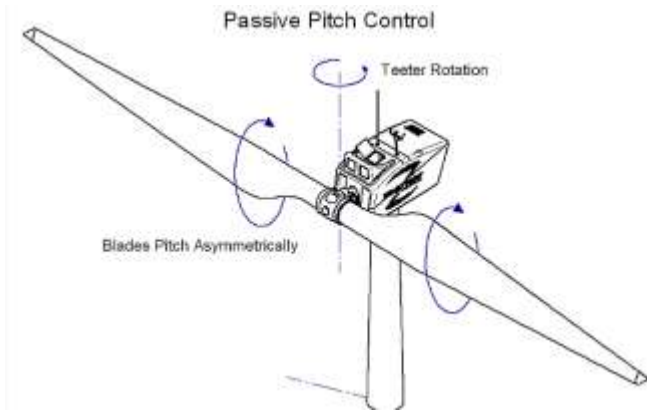
Η πλήμνη μεταφέρει την μηχανική ισχύ από τα πτερύγια στον κύριο άξονα της ανεμογεννήτριας. Κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή χάλυβα αποφεύγοντας τις συγκολλήσεις οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν σημεία αδυναμίας της κατασκευής.

⁴ parapona-rodou website

Στους δίπτερους δρομείς μεγάλης διαμέτρου, η πλήμνη πρέπει να έχει ειδική κατασκευή για να περιορίζεται η καταπόνηση του άξονα και να επιτρέπει την περιστροφή των πτερυγίων υπό μικρή γωνία ως προς το κατακόρυφο επίπεδο. Η πλήμνη αυτή ονομάζεται και αιωρούμενη πλήμνη (teetering hub) όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 4.2 Αιωρούμενη πλήμνη σε δίπτερη ανεμογεννήτρια⁵



Εικόνα 4.3 Αιωρούμενη πλήμνη σχεδιάγραμμα⁶

Ο κύριος άξονας μεταφέρει την μηχανική ισχύ του δρομέα στο κιβώτιο πολλαπλασιασμό στροφών. Είναι συμπαγής ή κοίλος και κατασκευάζεται από χάλυβα υψηλής αντοχής με κύριες προσμίξεις χρωμίου, νικελίου και μολυβδένιου. Στο ένα άκρο του καταλήγει σε σχήμα φλάντζας μέσω της οποίας συνδέεται με την πλήμνη, ενώ στο άλλο άκρο εδράζεται το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών.

⁵ Aerostarwind website

⁶ Windpowerengineering website

Ο κύριος άξονας στηρίζεται σε δυο έδρανα μέσω των οποίων μεταφέρονται οι ακτινικές και οι ωστικές δυνάμεις στην άτρακτο και από εκεί μέσω του πύργου στη θεμελίωση. Για τον περιορισμό του όγκου και του βάρους της κατασκευής ο κύριος άξονας μπορεί να συνδεθεί στο κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών χωρίς την παρεμβολή εδράνων. Το κιβώτιο όμως πρέπει να είναι μεγαλύτερης ισχύος, επειδή σε αυτή την περίπτωση θα δέχεται απευθείας τα φορτία του δρομέα.

4.2.6 Συστήματα πέδησης της πλήμνης

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι επιβράδυνσης του δρομέα του ανεμοκινητήρα, όπως:

- Μεταβολή του βήματος του πτερυγίου ή του ακροπτερυγίου ή ενεργοποίησης της αεροπέδης του ακροπτερυγίου
- Στροφή του ίδιου το δρομέα παράλληλα με το ρεύμα του αέρα
- Αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης του πτερυγίου
- Πέδηση του άξονα

Ο προτιμότερος τρόπος ακινητοποίησης της μηχανής είναι η σταδιακή μείωση των αεροδυναμικών φορτίων της με παράλληλη αύξηση της αντιρροπής, ώστε να μην αναπτύσσονται κρουστικά φορτία κατά τη διαδικασία της πέδησης.

4.2.7 Κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών

Το κιβώτιο αυτό μεταφέρει τη μηχανική ισχύ από τον κύριο άξονα της ανεμογεννήτριας στη γεννήτρια μέσω ενός συστήματος οδοντωτών τροχών. Επειδή η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας είναι συνήθως 1000 – 1500 στροφές ανά λεπτό (σαλ) και η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα μικρότερη από 50 σαλ, η σχέση μετάδοσης του κιβωτίου είναι από 20 έως 50 προς 1. Το κιβώτιο περιλαμβάνει δυο ή τρεις βαθμίδες οδοντωτών τροχών παράλληλων αξόνων ελικοειδούς οδόντωσης για περιορισμό του θορύβου. Στις ανεμογεννήτριες μεγάλης ισχύος (τάξεως του MW) προτιμάται η χρήση κιβωτίου πλανητικού τύπου λόγω μικρότερου βάρους, μικρότερου όγκου και μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης. Στον παρακάτω πίνακα γίνεται σύγκριση των δυο τύπων κιβωτίων προοριζόμενα για ανεμοκινητήρα 750 KW.

Σύγκριση κιβωτίων	Κιβώτιο παράλληλων αξόνων	Κιβώτιο πλανητικού τύπου
Βάρος	7000kg	5000kg
Διαστάσεις	2,4x1,5m	1,3x1,3m
Ποσότητα λάδιού λίπανσης	825lt	190lt

Η σχεδίαση και κατασκευή του κιβωτίου πρέπει να είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση των απότομων μεταβολών της ροπής του δρομέα που προέρχονται από τις ριπές του ανέμου. Για λόγους ασφαλείας η ονομαστική ισχύς του κιβωτίου λαμβάνεται 1.5 έως 2 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας. Για την εξομάλυνση της μηχανικής ροπής και κατ' επέκταση της παραγόμενης ισχύος συνήθως η έδραση του κιβωτίου επιτρέπει την ταλάντωση του. Το κιβώτιο εδράζεται στον κύριο άξονα της ανεμογεννήτριας, αλλά το κέλυφος του μπορεί να στραφεί γύρω από αυτόν κατά μια μικρή γωνία. Σε άλλες περιπτώσεις η σύνδεση μεταξύ άξονα και κιβωτίου γίνεται με πτυσσόμενο δίσκο.

4.3 Ηλεκτρολογικό σύστημα ανεμοκινητήρα

Το ηλεκτρολογικό σύστημα την ανεμογεννήτριας περιλαμβάνει:

- Την ηλεκτρική γεννήτρια
- Μικρούς κινητήρες (πχ τον κινητήρα προσανατολισμού)
- Αυτομάτους διακόπτες και ασφάλειες

4.3.1 Η γεννήτρια

Η Γεννήτρια συνδέεται μέσω εύκαμπτων καλωδίων με τη βάση του πύργου της ανεμογεννήτριας όπου βρίσκεται ο πίνακας διακοπών και ασφαλειών. Από τον πίνακα αυτό στη συνέχεια αναχωρούν καλώδια προς την κατανάλωση. Στην περίπτωση σύνδεσης της ανεμογεννήτριας σε υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο, μεταξύ της ανεμογεννήτριας και του δικτύου παρεμβάλλεται μετασχηματιστής ανύψωσης της τάσης. Οι συνηθέστεροι τύποι γεννητριών είναι:

1. Ασύγχρονη Γεννήτρια

Αυτή παρέχει την πιο οικονομική λύση, έχει εύκολη σύνδεση με το δίκτυο, απλή κατασκευή και απουσία ταλαντώσεων συχνότητας. Διεγείρεται παίρνοντας ρεύμα μαγνήτισης από το δίκτυο στο οποίο παραλληλίζεται. Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα όταν η εγκαταστημένη ισχύς είναι μικρότερη από την ισχύ του δικτύου. Εμφανίζονται όμως προβλήματα όταν η εγκατεστημένη ισχύς είναι συγκρίσιμη με την ισχύ του δικτύου. Όταν η ανεμογεννήτριας είναι συνδεδεμένη σε ηλεκτρικό δίκτυο τότε η άεργος ισχύς προσφέρεται από το δίκτυο. Συνήθως εγκαθίστανται στον πίνακα της ανεμογεννήτριας πυκνωτές για την κάλυψη μέρους της άεργου ισχύος συμβάλλοντας έτσι στη βελτίωση του συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης. Αν η ανεμογεννήτρια λειτουργεί αυτόνομα (μη συνδεδεμένη σε ηλεκτρικό δίκτυο), αλλά τροφοδοτεί μια χρονικά μεταβαλλόμενη κατανάλωση, η λειτουργία της γεννήτριας είναι προβληματική, λόγω της δυσκολίας της ρύθμισης της άεργου ισχύος, μέσω

συστήματος πυκνωτών. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται σύγχρονες ή συνεχούς ρεύματος γεννήτριες.

2. Σύγχρονη γεννήτρια

Έχει το πλεονέκτημα της αυτοδιέγερσης γεγονός που επιτρέπει τη χρησιμοποίηση της όταν η εγκατεστημένη ισχύς είναι περίπου ίση με την ισχύ του δικτύου. Εκτός από την μηχανική ρύθμιση ισχύος στην περύγωση, η οποία είναι απαραίτητη ανεξάρτητα από το είδος της γεννήτριας, η σύγχρονη γεννήτρια απαιτεί και ηλεκτρική ρύθμιση ισχύος. Το βασικό όμως πρόβλημα της σύγχρονης γεννήτριας είναι ότι για να διατηρούνται οι στρόφες σταθερές απαιτούνται συστήματα αυτόματου ελέγχου τα οποία έχουν υψηλό κόστος.

4.3.2 Σύγχρονη γεννήτρια με μαγνητικούς πόλους

Χρησιμοποιούνται κυρίως για αυτόνομες οικιακές εφαρμογές, απαιτούν συσσωρευτή εκκίνησης για την διέγερσή τους και οι απώλειες του τυλίγματος δεν υπερβαίνουν για μικρές γεννήτριες το 5 έως 10% της ονομαστικής ισχύος λειτουργίας τους. Αξίζει να σημειωθεί ότι μετά από μεγάλη διακύμανση του ανέμου οι στρόφες αυξομειώνονται με συνέπεια οι μέσες απώλειες του τυλίγματος διέγερσης να φθάνουν το 20 έως 30% εκτός και αν παρέχεται ρεύμα στη διέγερση πάνω από μια ταχύτητα ανέμου. Επίσης, έχουν τη δυνατότητα να κατασκευαστούν με μεγάλο αριθμό πόλων και έτσι περιορίζεται σημαντικά η απαιτούμενη σχέση μετάδοσης 1:1 (πχ 250 σαλ). Αυτό σημαίνει πλήρη απουσία του κιβωτίου πολλαπλασιασμού στροφών με αντίστοιχη μείωση του κόστους.

4.3.3 Γεννήτρια συνεχούς ρεύματος

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος είναι εύκολο να ελεγχθούν και συνεπώς προσφέρονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο, ιδίως για μικρές αυτόνομες μονάδες. Στην περίπτωση αυτή, είτε τροφοδοτούν απευθείας συσκευές συνεχούς ρεύματος, είτε φορτίζουν συσσωρευτές στους οποίους με τη βοήθεια Inverter το ρεύμα μετατρέπεται σε εναλλασσόμενο για την τροφοδότηση συνηθισμένων οικιακών συσκευών. Βέβαια παρουσιάζουν κάποια μειονεκτήματα, κυρίως όσο αφορά την ευπάθεια και τη συντήρηση του συστήματος ψηκτρών - συλλέκτη, αλλά το μικρό κόστος τους τις έχει καθιερώσει στις εφαρμογές αυτές.

4.3.4 Μικροί κινητήρες

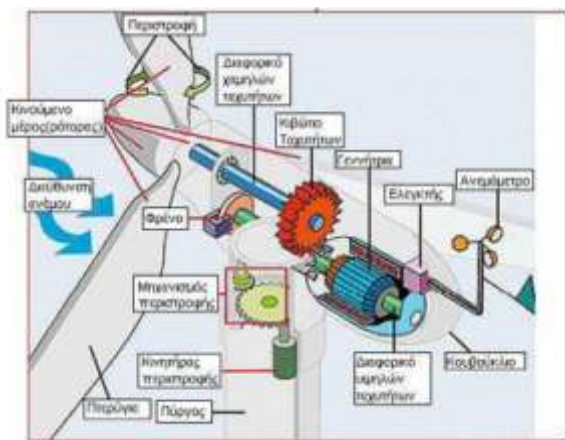
Ο κινητήρας προσανατολισμού είναι ασύγχρονος τριφασικός και ισχύος συνήθως 1 KW στρεφόμενος και κατά τις δυο φορές περιστροφής. Σε πολλές κατασκευές οι κινητήρες αυτοί είναι υδραυλικοί με καλύτερη απόκριση και ακρίβεια αλλά υψηλότερο κόστος.

4.3.5 Αυτόματοι διακόπτες και ηλεκτρικές συσκευές

Οι αυτόματοι διακόπτες είναι τοποθετημένοι στον ηλεκτρικό πίνακα της ανεμογεννήτριας για το άνοιγμα ή κλείσιμο των κυκλωμάτων κατόπιν εντολών που προέρχονται από το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας, ασφάλειες για την προστασία του ηλεκτρικού της κυκλώματος έναντι υπερέντασης και βραχυκυκλώματος και το σύστημα ελέγχου της. Το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας σε νεότερη μορφή, μπορεί να αποτελείται από PLC ή μικρούς υπολογιστές (EPROM). Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα μέρη μιας τυπικής ανεμογεννήτριας αιολικού πάρκου και συνοπτικά η λειτουργία καθενός από αυτά.

- Ανεμόμετρο (Anemometer): μετράει την ταχύτητα του ανέμου και μεταφέρει τα δεδομένα στον ελεγκτή.
- Πτερύγια (Blades): οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν δύο ή τρία πτερύγια. Ο άνεμος φυσώντας πάνω στα πτερύγια οδηγεί στην άνωση τους και συνακόλουθα στην περιστροφή τους.
- Ρότορας (Rotor): τα πτερύγια και η πλήμνη ονομάζονται ρότορας.
- Φρένο (Brake): πρόκειται για δισκόφρενο, το οποίο μπορεί να λειτουργήσει με τρόπο μηχανικό, ηλεκτρικό ή υδραυλικό, ώστε να σταματάει ο ρότορας σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης.
- Ελεγκτής (Controller): ο ελεγκτής εκκινεί τη μηχανή για ταχύτητες ανέμου περίπου 8-16 μίλια/ώρα και διακόπτει τη λειτουργία της περίπου στα 55 μίλια/ώρα. Οι τουρμπίνες δε μπορούν να δουλεύουν σε ταχύτητες ανέμου πάνω απ' τα 55 μίλια/ώρα για λόγους υπερθέρμανσης της γεννήτριας ή φθοράς των πτερυγίων.
- Κιβώτιο ταχυτήτων (Gear box): τα γρανάζια αυτά συνδέουν τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνουν την ταχύτητα περιστροφής από 30 έως 60 σαλ στις 1000 με 1500 σαλ που είναι η απαιτούμενη ταχύτητα περιστροφής από τις περισσότερες γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρισμού.
- Γεννήτρια (Generator): παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα 50 έως 60Hz.
- Διαφορικό υψηλών ταχυτήτων (High-speed Shaft): οδηγός για τη γεννήτρια.

- Διαφορικό χαμηλών ταχυτήτων (Low-speed Shaft): ο ρότορας κινεί τον άξονα χαμηλής ταχύτητας από 30 έως 60 σαλ περίπου.
- Κουβούκλιο (Nacelle): βρίσκεται πάνω από τον πύργο και περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες υψηλής και χαμηλής ταχύτητας, τη γεννήτρια, τον ελεγκτή και το φρένο. Ένα κάλυμμα προστατεύει τα στοιχεία μέσα στο κουβούκλιο.
- Περιστροφή (Pitch): τα πτερύγια στρέφονται γύρω από τον άξονα τους, ανεξάρτητα από τον άνεμο, ώστε να ελέγχουν την ταχύτητα του ρότορα και να τον εμποδίζουν να στρίβει σε ανέμους πολύ ισχυρούς ή ασθενείς.
- Πύργος (Tower): οι πύργοι κατασκευάζονται από ατσάλι σε σωληνοειδή μορφή, τσιμέντο ή ατσάλι σε καφασωτή μορφή, σαν πλέγμα. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος, οι υψηλότεροι πύργοι δίνουν τη δυνατότητα στις ανεμογεννήτριες να αιχμαλωτίσουν περισσότερο αέρα και ως εκ τούτου να παράγουν περισσότερο ηλεκτρισμό.
- Ανεμοδείκτης (Wind vane): μετράει τη διεύθυνση του ανέμου και επικοινωνεί με τον οδηγό εκτροπής για να προσανατολίζεται την ανεμογεννήτρια σωστά στον άνεμο.
- Μηχανισμός περιστροφής (Yaw drive): οι ανεμογεννήτριες που λειτουργούν με πνοή ανέμου προς τα επάνω «upwind», είναι στραμμένες προς τον άνεμο. Ο οδηγός αυτός εξασφαλίζει ότι ο ρότορας θα είναι πάντα στραμμένος προς τον άνεμο καθώς ο αέρας αλλάζει κατεύθυνση. Οι ανεμογεννήτριες που είναι κατασκευασμένες να λειτουργούν με πνοή ανέμου προς τα κάτω «downwind», δεν χρειάζονται αυτόν τον οδηγό, γιατί ο άνεμος φύσει και στρέφει το ρότορα προς τα κάτω.
- Κινητήρας περιστροφής (Yaw motor): δίνει ενέργεια στον οδηγό εκτροπής



Εικόνα 4.4 Μέρη ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα⁷

⁷ Τριανταφυλλίδου σελ 29

4.4 Μηχανές κατακόρυφου άξονα

Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν το πλεονέκτημα της αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου και ως εκ τούτου πρόκειται για πιο απλές κατασκευές. Οι πιο γνωστοί τύποι τέτοιων μηχανών είναι οι μηχανές τύπου Darrieus και Savonius.

Οι μηχανές αυτές περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα κάθετο, τόσο στη διεύθυνση του ανέμου όσο και στο έδαφος, πράγμα που τους δίνει καλή αεροδυναμική απόδοση, ανεξαρτησία ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής και απλά συστήματα αυτόματου έλεγχου. Ένα άλλο πλεονέκτημα των μηχανών αυτών είναι ότι οι μηχανισμοί και η γεννήτρια βρίσκονται συνήθως στο έδαφος, με αποτέλεσμα να απαιτείται ελαφρότερος πυλώνας και να απλοποιείται η λειτουργία και η συντήρηση της κατασκευής⁸.

Όσο αφορά το σύστημα μετάδοσης της κίνησης τους, δεν παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφορές σε σύγκριση με το αντίστοιχο σύστημα των μηχανών οριζόντιου άξονα, εκτός βέβαια από το γεγονός ότι τα εξαρτήματα είναι τοποθετημένα κατακόρυφως. Ο δρομέας στηρίζεται σε κατάλληλη έδρανο στη βάση του, το οποίο ακόμα και σε σταθερή ταχύτητα ανέμου καταπονείται από εναλλασσόμενα φορτία. Επίσης, η μηχανή διατηρείται σε κατακόρυφη θέση με τη βοήθεια ενταντήρων, οι οποίοι συνδέουν την κορυφή του άξονα της μηχανής με το έδαφος⁹.

Τέλος, οι μηχανές τύπου Darrieus έχουν ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες εκκίνησης και για μεγάλα συστήματα χρησιμοποιείται βοηθητικός κινητήρας εκκίνησης, ενώ έχουν χαμηλό ετήσιο συντελεστή ισχύος. Αντίστοιχα, οι ανεμογεννήτριες τύπου Savonius παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή ισχύος, μικρή ακραία περιφερειακή ταχύτητα, περιορισμένο μέγεθος και απλότητα κατασκευής.

Εντούτοις, οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα εγκαταλείφθηκαν στα μέσα της δεκαετίας του 1990 λόγω της αεροδυναμικής τους ανεπάρκειας, καθότι το εύρος της γωνίας προσβολής μεταξύ του ανέμου και των πτερυγίων του ρότορα είναι πολύ μεγάλο¹⁰.

⁸ Μπεργελες σελ 143 κε

⁹ Καλδελης σελ 195 κε

¹⁰ Aquaret website



Εικόνα 4.5 Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα τύπου Darrieus¹¹

4.5 Ανεμογεννήτριες σε υπεράκτιες κατασκευές

Ανάλογες ανεμογεννήτριες με τις χερσαίες που αναλυθήκαν παραπάνω χρησιμοποιούνται και στη θάλασσα. Τα υλικά στο εξωτερικό της ανεμογεννήτριας αλλάζουν προκειμένου να μην πραγματοποιείται οξείδωση τους από το θαλασσινό αλάτι. Επίσης, πρέπει να αντέχουν στην πίεση του νερού, στα κύματα και στις δυσμενείς καιρικές συνθήκες. Έκτος από τα υλικά κατασκευής τους, διαφέρουν και ως προς τη βάση, αφού δεν τοποθετούνται στην στεριά αλλά σε αμμώδεις έδαφος, σε βραχώδεις περιοχές ή επιπλέουν.

Οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται στις υπεράκτιες εφαρμογές είναι πιο ψηλές από τις χερσαίες. Ένα μέρος του πυλώνα τους βρίσκεται μέσα στη θάλασσα και επομένως χρειάζεται μεγαλύτερο ύψος για να εκμεταλλευτεί το αιολικό δυναμικό της περιοχής.

Η τεχνολογία στοχεύει στον αποδοτικότερο σχεδιασμό ακόμα μεγαλύτερων μηχανών. Ειδικότερα θέματα ερευνάς και ανάπτυξης είναι: α) η μείωση της ανηρτημένης μάζας (δρομέας και άτρακτος) β) η χρήση μεγάλων πτερυγίων από σύνθετα υλικά σε συνδυασμό με τεχνικές επιτόπου συναρμολόγησης γ) σχεδιασμός θεμέλιων για υπεράκτιες εφαρμογές, τεχνικές ανέγερσης και συντήρησης.

Για τα μεγάλα υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι φανερό ότι τα κόστη που σχετίζονται με την λεγόμενη ισορροπία του συστήματος «balance of plant», όπως το κόστος θεμελίωσης, το κόστος ηλεκτρικής διασύνδεσης, της πρόσβασης και συντήρησης και γενικά οτιδήποτε δεν σχετίζεται με τα μέρη της κυρίας κατασκευής, μειώνονται (ανά εγκατεστημένο kW) καθώς η ισχύς κάθε εγκατεστημένης μονάδας αυξάνεται.

¹¹ Zeroenergybuildings website

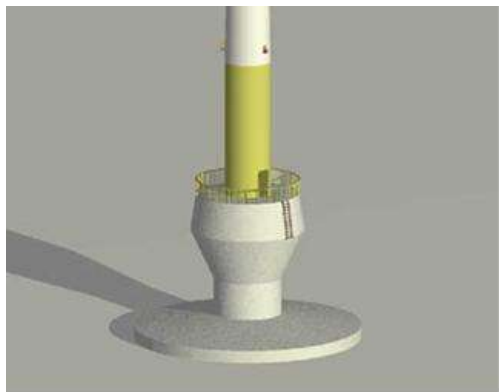
4.6 Θεμελίωση και στήριξη

Ενώ οι χερσαίες ανεμογεννήτριες απαιτούν μεγάλες κατασκευές έδρασης από σκυρόδεμα, οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες απαιτούν διαφορετικούς τύπους κατασκευών έδρασης αναλόγως του βάθους και του υλικού του θαλάσσιου βυθού. Οι πιθανές δυνατότητες έδρασης για μία υπεράκτια ανεμογεννήτρια είναι ο μονός πυλώνας (monopile), το τρίποδο (tripod), η έδραση που βασίζεται στη βαρύτητα από σκυρόδεμα (gravity based), και η πλωτή κατασκευή. Παρακάτω παρουσιάζεται η κάθε έδραση ξεχωριστά.

Επιλογές θεμελίωσης	Βάθος νερού σε μετρά
Θεμελίωση βαρύτητας	0-10
Μονός πυλώνας	0-30
Τρίποδο	>20
Πλωτή	>50

4.6.1 Θεμελίωση βαρύτητας από σκυρόδεμα (Gravity base structures)

Ο τρόπος αυτός θεμελίωσης αποτελείται από μια μεγάλη επίπεδη βάση από σκυρόδεμα η οποία μπορεί να αντιστέκεται στα φορτία που επιβάλλονται από τον άνεμο και τα κύματα. Το αποτέλεσμα της σταθερότητας της οφείλεται στο ίδιο της το βάρος. Επίσης, δύναται να υπάρξει ένα κωνικό κομμάτι στο επίπεδο της επιφάνειας της θάλασσας, ώστε στη περίπτωση σχηματισμού πάγου να το θρυμματίζει και να τον οδηγεί προς τα κάτω μειώνοντας έτσι την επιπλέον φόρτιση. Η κατασκευή αυτής της δομής γίνεται στη ξηρά, σε ειδικές λιμενικές εγκαταστάσεις, συνήθως σε χερσαίες δεξαμενές. Όταν είναι έτοιμη η κατασκευή, η δεξαμενή πλημμυρίζει και η τσιμεντένια βάση σύρεται στη περιοχή που θα τοποθετηθεί επωφελούμενη της δικής της πλευστότητας. Ο πύργος μπορεί να είναι, είτε από χάλυβα, είτε από ενισχυμένο σκυρόδεμα. Ο πύργος και ο ανεμοκινητήρας μπορούν να συναρμολογηθούν στη διάρκεια που η βάση βρίσκεται στο εργοστάσιο, και η πλήρης ανεμογεννήτρια να εγκατασταθεί ενιαία. Μπορεί όμως να συναρμολογηθούν και υπεράκτια μετά τη τοποθέτηση της βάσης. Μια πρόσθετη ενίσχυση απαιτείται προκειμένου να σταθεροποιηθεί καλύτερα η βάση στον πυθμένα της θάλασσας, ώστε να παρέχει την απαραίτητη αντίσταση σε πιθανή ανατροπή. Η ενίσχυση αυτή συνήθως είναι από άμμο και τοποθετείται στη βάση, όταν ο ανεμοκινητήρας είναι στη τελική του θέση, αλλά σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να χρειαστεί ένα πιο συμπαγές υλικό (χαλίκι και τσιμέντο). Οι βάσεις αυτές έχουν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο αριθμό πλατφόρμων πετρελαίου και η τεχνολογία τους είναι εύκολα διαθέσιμη. Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται μια τέτοια δομή θεμελίωσης.



Εικόνα 4.6 Δομή βάσης στήριξης βαρύτητας από σκυρόδεμα¹²

4.6.2 Μονός πυλώνας (Monopile)

Αποτελείται από ένα χαλύβδινο πυλώνα που βυθίζεται στο έδαφος. Ουσιαστικά ανοίγεται μια υποδοχή στον πυθμένα με ειδικό γεωτρύπανο, γίνεται εγκατάσταση του πυλώνα και το κενό γεμίζεται με σκυρόδεμα. Η άτρακτος του κινητήρα και ο δρομέας εγκαθίστανται μετά, με τη βοήθεια πλωτού γερανού. Αυτή η δομή έχει χρησιμοποιηθεί σε πρόσφατα έργα υπεράκτιων αιολικών πάρκων και αποτελεί τη βάση σε πολλά προκαταρκτικά σχέδια που έχουν αναλάβει ήδη υπεύθυνοι για την μελλοντική υπεράκτια ανάπτυξη. Η λύση αυτή μπορεί να είναι λιγότερο οικονομική για μηχανές μεγάλου μεγέθους και για μεγάλα βάθη, εντούτοις, για ανεμογεννήτριες μέχρι 2 MW και για βάθη από 10-20 μέτρα μια τέτοια προσέγγιση είναι πολύ εφικτή. Ωστόσο, εάν αυτή η λύση επιλεγεί για έναν μεγάλο αριθμό έργων μεσαίου και μεγάλου μεγέθους, μπορεί να καθιερωθεί η βιομηχανική τυποποίηση της και στη συνέχεια να ακολουθήσει η απαραίτητη ανάπτυξη της τεχνολογίας για αιολικά πάρκα πολύ μεγαλύτερου μεγέθους.

Όσο αφορά τον πύργο, αυτός είναι εξοπλισμένος με ένα ενδιάμεσο κομμάτι μεταξύ αυτού και της έδρασης για να αφομοιώνει τις ανοχές από την κλίση του πυλώνα και να μειώσει το χρόνο συναρμολόγησης του στο υπεράκτιο περιβάλλον. Ο χαλύβδινος σωλήνας μεταφέρει με τη βοήθεια της κάθετης και παράπλευρης πίεσης όλα τα φορτία στο έδαφος. Η αναμφίβολη όμως φύση του υλικού του εδάφους και τα αυλάκια που δημιουργούνται δια ροής της άμμου γύρω από το πυλώνα στο πυθμένα της θάλασσας, μπορεί να οδηγήσουν σε μια κατασκευή με αρκετά διαφορετική απόκριση από τη προβλεπόμενη. Για τους λόγους αυτούς, ο σχεδιασμός μιας τέτοιας έδρασης παραμένει ακόμα μία πρόκληση.

¹² Offshorewindenergy website



Εικόνα 4.7 Δομή υποστήριξης τύπου Μονού πυλώνα¹³

4.6.3 Τρίποδο (Tripod)

Αποτελείται από ένα κεντρικό χαλύβδινο άξονα και τρεις κυλινδρικούς χαλύβδινους σωλήνες που καταλήγουν σε χαλύβδινους πυλώνες βυθισμένους στο πυθμένα. Το κεντρικό μέρος διανέμει τα φορτία στους κυλινδρικούς σωλήνες που λειτουργούν σαν το ενδιάμεσο κομμάτι για το πύργο. Το χαλύβδινο τρίποδο χρησιμοποιείται περισσότερο για μεσαίου μεγέθους υπεράκτιες κατασκευές. Όλα τα μέρη κατασκευάζονται σε ναυπηγείο και μεταφέρονται ύστερα στην περιοχή με φορτηγίδα. Το χαμηλότερο μέρος του τριπόδου τοποθετείται στο βυθό με τη βοήθεια ενός πλωτού γερανού και οι στύλοι οδηγούνται μέσω των ποδιών του τριπόδου μέσα στο βυθό. Οι δομές τριπόδου παρουσιάζουν περισσότερα προβλήματα πρόσβασης από της βάσεις σκυροδέματος που οφείλονται εν μέρει στη δυσκολία πλεύσης κοντά στα πόδια του τριπόδου ιδιαίτερα στις περιοχές που παρουσιάζουν μεγάλο εύρος παλίρροιας. Το πλεονέκτημα αυτής της έδρασης είναι η πρόσθετη ακαμψία και σταθερότητα που δίνουν οι τρεις χαλύβδινοι σωλήνες, αυξάνοντας την ικανότητα της κατασκευής να ανθίσταται στις ροπές ανατροπής. Επίσης, απαιτεί λιγότερη προστασία σε σχέση με την έδραση μονού πυλώνα ενάντια στα αυλάκια που σχηματίζονται με το καιρό από τη κίνηση του αμμώδους πυθμένα.

¹³ Offshorewindenergy website



Εικόνα 4.8 Δομή τρίποδης βάσης¹⁴

4.7 Κατασκευές έδρασης σε ενδιάμεσα βάθη νερού (30 έως 50 m)

Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες που μπορούν να επιλεγούν για ενδιάμεσα βάθη νερού (transitional water) είναι, είτε μια jacket, είτε μια τρίποδη κατασκευή, οι οποίες καταλαμβάνουν μεγάλο χώρο και έχουν μικρότερη διάμετρο σωληνοειδών (tubulars)¹⁵. Η έδραση jacket έχει κατασκευαστεί στο Beatrice της Σκωτίας (Θαλάσσιο Αιολικό Πάρκο σε απόσταση 22 km από την ακτή και βάθος 45 μέτρων). Δύο υπεράκτιες ανεμογεννήτριες 5 MW έχουν εγκατασταθεί εκεί ως υποδειγματικό σχέδιο υπεράκτιας αιολικής ενέργειας με τη μέθοδο γενικής εγκατάστασης (overall installation). Μια έδραση jacket κατασκευάστηκε με συνολικό ύψος 70 m και 43.5 m κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας. Το συνολικό ύψος της ανεμογεννήτριας είναι 145 m πάνω από τη θάλασσα με μήκος πτερυγίων 63 m. Ο πρώτος πύργος έχει μήκος 68 m και βάρος 4000 tons, ενώ ο δεύτερος πύργος έχει μήκος 82 m και βάρος 3256 tons¹⁶.

4.8 Πλωτή έδραση

Η πλωτή έδραση είναι περισσότερο γνωστή στη βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου σε βάθη νερού μέχρι 200m, αν και πρόσφατα διάφορες εταιρείες έχουν εγκαινιάσει τις πρώτες πλωτές ανεμογεννήτριες μεγάλης κλίμακας. Αποτελείται από μία επιπλέον πλατφόρμα και το σταθερό σύστημα που δένεται μαζί της για να τη σταθεροποιήσει. Η πλατφόρμα έχει ενδιάμεσο κομμάτι για την εγκατάσταση του πύργου πάνω σε αυτήν. Η διαμόρφωση της μπορεί να είναι απλή ή πολλαπλών ανεμοκινητήρων.

¹⁴ Imare website

¹⁵ Wang and Bai, 2010

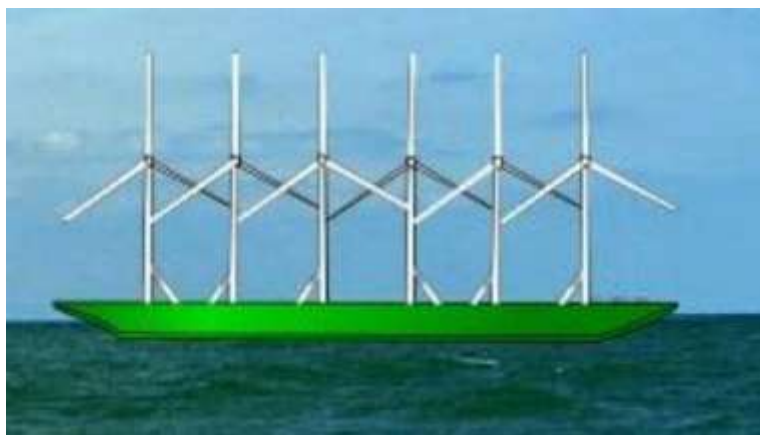
¹⁶ οπ

Συνεπώς, τα διάφορα πλωτά συστήματα κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες:

- Αν είναι πλωτήρες μιας ή περισσότερων ανεμογεννητριών
- Με βάση το σύστημα αγκυροβόλησης

4.8.1 Πλωτήρες πολλών ανεμογεννητριών

Αυτού του είδους τα πλωτά συστήματα αποτελούνται από ένα πλωτήρα με πολλές ανεμογεννήτριες επάνω του, προκειμένου να μοιράζεται το κόστος της αγκυροβόλησης και να παρέχεται ευστάθεια. Επειδή η απόσταση των ανεμογεννητριών μεταξύ τους πάνω στον κοινό πλωτήρα δεν μπορεί να βελτιωθεί πολύ, είναι απαραίτητο, είτε όλη η πλατφόρμα να περιστρέφεται με βάση τις αλλαγές της κατεύθυνσης του ανέμου, είτε να παράγεται λιγότερη ενέργεια, όταν ο αέρας δεν έχει την επικρατούσα κατεύθυνση.



Εικόνα 4.9 Πλωτήρας πολλών ανεμογεννητριών¹⁷

Ο επόμενος πίνακας παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των πλωτήρων μιας και περισσότερων ανεμογεννητριών¹⁸.

	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Πλωτήρας πολλαπλών ανεμογεννητριών	<ol style="list-style-type: none"> 1. Κοινά αγκυροβόλια 2. Δυνατότητα βελτιστοποίησης ολοκλήρου του συστήματος 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Υψηλό κόστος στήριξης της κατασκευής 2. Φορτίο λόγω κυματισμού
Πλωτήρας μιας ανεμογεννήτριας	<ol style="list-style-type: none"> 1. Απλότητα σχεδιασμού 2. Τυποποίηση κατασκευής 3. Χαμηλότερες κατασκευαστικές απαιτήσεις 4. Έλεγχος περιστροφικής κίνησης 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ξεχωριστό κόστος για το σύστημα αγκυροβόλησης

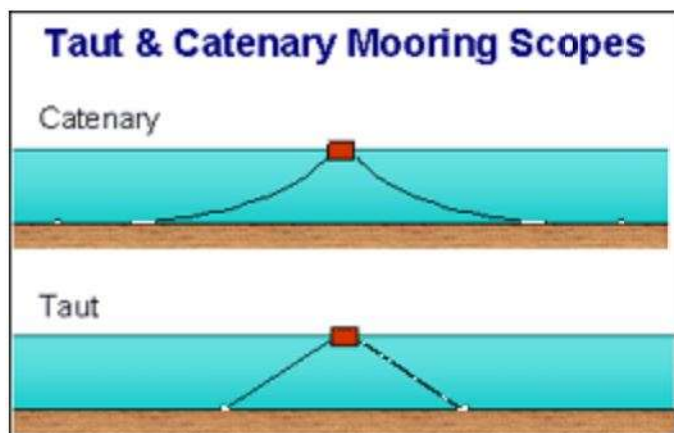
¹⁷ Oedsonline website

¹⁸ Κούκουρα σελ 54

4.8.2 Πλωτήρες μιας ανεμογεννήτριας

Αυτού του είδους τα πλωτά συστήματα διαχωρίζονται με βάση τον τρόπο αγκυροβόλησης. Οι πιο συνηθισμένοι τρόποι είναι οι ακόλουθοι:

- Με αλυσοειδή καμπύλα συρματόσχοινα (catenary moorings)
- Με τεντωμένα συρματόσχοινα (taut-leg moorings)



Εικόνα 4.10 Καμπύλα και τεντωμένα συρματόσχοινα¹⁹

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των πλωτών πλατφορμών με καμπύλα αλυσοειδή αγκυροβόλια είναι το αρκετά χαμηλό κόστος των αγκυρών και η δυνατότητα εγκατάστασής τους και σε πιο ρηχά νερά. Το μεγαλύτερο πρόβλημα είναι ότι η κάθετη δύναμη στην άγκυρα είναι ανεπαρκής για να εξασφαλίσει ότι η πλατφόρμα δε θα αναποδογυρίσει, κυρίως όταν το βάρος της ανεμογεννήτριας και οι οριζόντιες δυνάμεις ασκούνται τόσο μακριά από το κέντρο άνωσης.

Η αγκυροβόληση των πλωτήρων με τεντωμένα συρματόσχοινα παρουσιάζει περισσότερα πλεονεκτήματα καθώς αυξάνει το βάθος της θάλασσας. Συστήματα με κάθετα τεντωμένα συρματόσχοινα έχουν τη δυνατότητα να βυθίζονται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας ένα μεγάλο μέρος της κατασκευής, εξασφαλίζοντας με αυτόν τον τρόπο περισσότερη ευστάθεια.

4.9 Αγκυροβόληση της πλατφόρμας

Το μέγιστο φορτίο κάθε άγκυρας εξαρτάται από την κατάσταση του πυθμένα της θάλασσας. 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

¹⁹ Offshoremoorings website

αγκυροβόλια δέχονται οριζόντιες δυνάμεις απαιτεί λιγότερη ακρίβεια καθιστώντας την εγκατάσταση λιγότερο ακριβή. Οι πλατφόρμες με τέτοιου είδους αγκυροβόληση κινούνται προς όλες τις κατευθύνσεις σε σχέση με τη χρήση των τεντωμένων συρματόσχοινων. Οι άγκυρες στις οποίες ασκείται κάθετη δύναμη εξαρτώνται από τη βαθιά εμφύτευση τους, ώστε να σφηνώνονται στον πυθμένα, για αυτό το λόγο και η εγκατάστασή τους είναι πιο ακριβή. Στα συστήματα (tension-leg platform TLP) χρησιμοποιούνται ράβδοι οπλισμού προεντεταμένου σκυροδέματος που επιτρέπουν την κίνηση μόνο στην επιφάνεια του νερού (κίνηση εμπρός-πίσω (surge) και πλευρική (sway)), απορροφώντας μερικώς το φορτίο του ανέμου και του κυματισμού. Το κόστος του συστήματος αγκυροβόλησης εξαρτάται από το κόστος του υλικού που είναι κατασκευασμένη η άγκυρα και το κόστος εγκατάστασης.

Τα διάφορα είδη αγκυρών είναι τα ακόλουθα²⁰:

- 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)

Η τεχνολογία για τις πλωτές δομές έδρασης των υπεράκτιων ανεμογεννητριών εξελίσσεται. Σύμφωνα με τους περισσότερους ειδικούς η βιομηχανία υπεράκτιων αιολικών θα παρουσιάσει σημαντική αύξηση δραστηριότητας στο κοντινό μέλλον. Οι σταθερές υπεράκτιες ανεμογεννήτριες είναι περιορισμένες σε βάθη νερού 30-50 m. Η μετάβαση της αγοράς σε βαθύτερα νερά είναι αναπόφευκτη, εάν οι κατάλληλες τεχνολογίες μπορούν να αναπτυχθούν. Αυτήν την περίοδο, υπάρχουν διάφορες πλωτές δομές έδρασης υπεράκτιων ανεμογεννητριών που βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης²¹. Αυτές διαιρούνται σε δύο κύριες κατηγορίες: spars και semi submersible/υβριδικά συστήματα.

i) Spar buoys (Hywind Demo).

Η Hywind spar buoy είναι σχέδιο της Statoil για τις πλωτές δομές έδρασης υπεράκτιων αιολικών. Η Hywind Demo εγκαταστάθηκε στο δυσμενές ωκεάνιο περιβάλλον της δυτικής ακτής της Νορβηγίας το Σεπτεμβρίου 2009. Η Hywind Demo είναι εξοπλισμένη με μια 2.3 MW ανεμογεννήτρια μεταβλητής ταχύτητας από τη Siemens Wind Power και είναι η πρώτη πολύ-μεγαβάτ (multi-megawatt) πλωτή ανεμογεννήτρια στον κόσμο. Η Hywind Demo παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα και τα κύρια χαρακτηριστικά της δίνονται στον πιο κάτω

²⁰ Κούκουρα Χ., σελ 53-58

²¹ Roddier et al, 2010

πίνακα. Ο σκελετός έχει κατασκευαστεί από χάλυβα και πάνω από το τμήμα του σκελετού τοποθετείται ένας χαλύβδινος πύργος²². Όλη η εργασία κατασκευής εκτελέστηκε σε προφυλαγμένα ύδατα, ενώ η πλήρης δομή ρυμουλκήθηκε στη μόνιμη θέση της όπου οι μόνες διεργασίες που εκτελέστηκαν στην ανοιχτή θάλασσα ήταν η σύνδεση των γραμμών αγκύρωσης και του ηλεκτρικού καλωδίου. Το σύστημα δένεται από τρεις γραμμές αγκύρωσης που αποτελούνται από τα χαλύβδινα σύρματα και τα βάρη μάζας (clump weights). Ακόμη, η ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από την ανεμογεννήτρια μεταφέρεται με καλώδιο στην ακτή. Τέλος η Hywind απέδωσε 7.3 GWh το 2010 και αντέχει μέχρι σήμερα σε κύματα 11 μέτρων φαινομενικά χωρίς φθορές²³.

Ισχύς τουρμπίνας	2.3MW
Ύψος κουβούκλιου πάνω από το νερό	65m
Διάμετρος του ρότορα	84.2m
Θαλάσσιο βάθος	220m
Εκτόπισμα	5300m ³
Αγκυροβόλια	3m

Πίνακα 4.1 Κύρια χαρακτηριστικά της πλωτής ανεμογεννήτριας Hywind²⁴.



Εικόνα 4.11 Hywind (Spar buoy), η πρώτη παγκόσμια πολύ-μεγαβάτ πλωτή ανεμογεννήτρια²⁵.

ii) Semi submersible (WindFloat).

Μια ημιβυθισμένη πλατφόρμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πλωτή δομή έδρασης για ανεμογεννήτριες (multi-megawatt), και καλείται WindFloat. Το σχέδιο WindFloat που περιγράφεται παρακάτω είναι βασισμένο επί του παρόντος στις διαθέσιμες ανεμογεννήτριες των

²² Skaare et al, 2010

²³ οπ

²⁴ οπ

²⁵ οπ

5 MW με σκοπό την δημιουργία ενός Θαλάσσιου αιολικού πάρκου 150 MW στη δυτική ακτή της Πορτογαλίας σε βάθος νερού 80 m.



Εικόνα 4.12 Καλλιτεχνική απόδοση του Θαλάσσιου Αιολικού Πάρκου 150 MW στην Πορτογαλία (WindFloat)²⁶.

Τα κύρια τμήματα της πλατφόρμας WindFloat περιγράφονται εν συντομία: υπάρχουν τρεις κατακόρυφες κυκλικές κολόνες αλληλοσυνδεόμενες με οριζόντια σωληνοειδή μέλη και κάθετες ενισχύσεις. Οι κολόνες είναι σκληρού περιβλήματος κατασκευές με δοκούς, δακτύλιο και κάθετα ενισχυτικά ελάσματα. Μία πλάκα παγίδευσης-νερού (water-entrapment plate) βρίσκεται στη βάση των κολόνων και εκτείνεται οριζόντια προς τα έξω. Είναι κατασκευασμένη από σκληρές πλάκες με ακτινωτά ενισχυτικά ελάσματα στερεωμένα στη βάση των κολόνων και υποστηρίζεται από τις κάθετες ενισχύσεις (bracing) συνδέοντας το εξωτερικό άκρο της πλάκας με τις κολόνες. Η πλάκα παγίδευσης-νερού αυξάνει στη πλατφόρμα την πρόσθετη-μάζα και την απόσβεση του πλάτους ταλάντωσης. Αποτελεί βασικό συστατικό υδροδυναμικής απόδοσης της πλατφόρμας. Ο πύργος της ανεμογεννήτριας τοποθετείται σε μια από τις κολόνες. Τα πετρώγια του ρότορα και η άτρακτος είναι σταθερά στην κορυφή του πύργου. Το ύψος της πλήμνης είναι 80m πάνω από τη μέση στάθμη του νερού. Η πλατφόρμα είναι αγκυρωμένη στο βυθό της θάλασσας με τέσσερις έως έξι γραμμές αγκύρωσης. Υπάρχει μια πολύ μικρή γέφυρα μεταξύ των κολόνων που χρησιμοποιείται για συντήρηση του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Ένα ενεργό σύστημα έρματος νερού είναι εγκατεστημένο στην πλατφόρμα για να μεταφέρει το νερό μεταξύ των κολόνων, ώστε να αντισταθμίσει τη μεταβολή της ροπής ανατροπής λόγω της αλλαγής στη μέση ταχύτητα ή κατεύθυνση του ανέμου. Έχει τη δυνατότητα να μεταφέρει μέχρι 200 τόνους νερού έρματος σε περίπου 30 λεπτά χρησιμοποιώντας δύο ανεξάρτητες πορείες ροής με μεγάλη ικανότητα άντλησης. Ένα ενεργό διαμέρισμα έρματος βρίσκεται στον άνω μισό της κάθε

²⁶ Cermelli et al, 2010

κολόνας²⁷. Η WindFloat που περιγράφεται παραπάνω, έχει τις διαστάσεις που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα.

Column diameter	35	ft	10.7	m
Length of heave plate edge	45	ft	13.7	m
Column center to center	185	ft	56.4	m
Pontoon diameter	6	ft	1.8	m
Operating draft	75	ft	22.9	m
Airgap	35	ft	10.7	m
Bracing diameter	4	ft	1.2	m
Displacement	7833	st	7105	ton

Πίνακας 4.2 Κύριες διαστάσεις της πλατφόρμας WindFloat²⁸

²⁷ Cermelli et al, 2010

²⁸ Roddier et al, 2010

Τύποι υπεράκτιων ανεμογεννητριών	Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Βάση βαρύτητας (gravity base)	<ul style="list-style-type: none"> • Κατασκευή στην ξέρα • Χρησιμοποίηση σε όλους τους τύπους πυθμένων της θάλασσας • Οικονομικά αποδοτικότερη κατασκευή στα ρηγά νερά 	<ul style="list-style-type: none"> • Προετοιμασία του πυθμένα της θάλασσας • Δαπανηρότερο σε περιοχές με μεγάλη διάβρωση • Πολύ βαρύτερα και ακριβότερα για βάθη μεγαλύτερα των 10m
Μονού πυλώνα (Monopile)	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν είναι απαραίτητη η προετοιμασία του πυθμένα της θάλασσας • Η διάβρωση δεν είναι πρόβλημα 	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν είναι κατάλληλο για πυθμένα θάλασσας σκληρού υποστρώματος • Η εφαρμογή του περιορίζεται μέχρι 25m βάθος
Τρίποδο (Tripod)	<ul style="list-style-type: none"> • Καταλληλότερη για βάθη μεγαλύτερα των 20m • Δεν χρειάζεται μεγάλη προετοιμασία του πυθμένα της θάλασσας 	<ul style="list-style-type: none"> • Δεν είναι κατάλληλο για βάθη μικρότερα από 6m • Ακατάλληλο για πυθμένα θάλασσας με ογκολίθους • Δυσκολία μεταφοράς
Jacket	<ul style="list-style-type: none"> • Οικονομικότερη εγκατάσταση μέχρι τα βάθη των 60m 	<ul style="list-style-type: none"> • Απαραίτητη η προετοιμασία του πυθμένα της θάλασσας • Μη εγκατάσταση σε μεγάλα βάθη λόγω παρουσίας υδρογονανθράκων
Spar Buoy (Hywind)	<ul style="list-style-type: none"> • Συναρμολόγηση στην ξηρά • Σταθερά χαρακτηριστικά κίνησης κατά τη διάρκεια λειτουργίας πάνω από την 	<ul style="list-style-type: none"> • Παρουσία pitch και roll κινήσεων

	εκτιμώμενη ταχύτητα άνεμου	
Semi submersible (WindFloat)	<ul style="list-style-type: none"> • Συναρμολόγηση στην ξέρα • Η χαμηλή pitch και yaw κίνηση παρέχει στατική και δυναμική σταθερότητα • Ρυμούλκηση σε περιοχή μεγάλου βάθους μη ορατή από την ακτή 	<ul style="list-style-type: none"> • Αυξημένο κόστος

Πίνακας 4.3 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υπεράκτιων ανεμογεννητριών

4.10 Βιβλιογραφία

1. Διαχείριση της αιολικής ενέργειας, Καλδέλης Ι, εκδόσεις Σταμούλης, 1999,
2. Buildings website
http://www.buildings.gr/greek/aiforos/ananeosimes/wind_energy/eoliki.htm
3. Parapona-rodou website http://parapona-rodou.blogspot.com/2012/09/blog-post_3.html#.UqMOAvRdV1F
4. Aerostarwind website
<http://www.aerostarwind.com/Why%20Two%20Bladed%20Rotors%20Make%20Sense.html>
5. Windpowerengineering website <http://www.windpowerengineering.com/design/teetering-toward-two-blade-turbines/>
6. Περιβαλλοντική διερεύνηση των παράκτιων εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με έμφαση στις βιολογικές επιπτώσεις, Πτυχιακή εργασία, Τριανταφυλλίδου Μαριάννα, ΕΜΠ, 2012
7. Ανεμοκινητήρες, Μπεργελές Γ., εκδόσεις Συμεών,
8. Υπεράκτια Αιολικά, Aquaret website
http://www.aquaret.com/index.php?option=com_content&view=article&id=162&Itemid=305&lang=el
9. Zeroenergybuildings website
http://www.zeroenergybuildings.org/2012/03/blog-post_17.html
10. Offshorewindenergy website http://www.offshorewindenergy.org/ca-owee/indexpages/Offshore_technology.php
11. Wang W. and Bai Y. (2010). Investigation on Installation of Offshore Wind Turbines. Journal Marine Science, DOI: 10.1007/s11804-010-9076-y, pp 1-6.
12. Imare website
http://www.imare.de/en/marine_structures/technology_transfer/ofe_offshore_foundation/
13. Oedsonline website <http://oedsonline.com>
14. Offshoremoorings website www.offshoremoorings.org
15. Roddier D., Cermelli C., Aubault A. and Weinstein A (2010). WindFloat: A floating foundation for offshore wind turbines. Journal of Renewable and Sustainable Energy 2, pp 1-34.
16. Skaare B., Hanson TD, Yttervik R. and Nielsen, FG (2010). Dynamic Response and Control of the Hywind Demo Floating Wind Turbine. Statoil ASA Trondheim Norway, <http://www.ewec2010proceedings.info/ewea2011/papers/43.pdf>
17. Cermelli C., Aubault A., DominiqueRoddier D. and McCoy T (2010). Qualification of a Semi-Submersible Floating Foundation for Multi-Megawatt Wind Turbines. Offshore Technology Conference held in Houston, OTC- 20674-PP, Texas, USA.
18. Εναλλακτικές μορφές ενέργειας, Β. Μπιτζιώνης, Δ. Μποτζιώνης, εκδόσεις Τζιόλα, 2011

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΈΡΓΑ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΒΑΣΙΜΟΤΗΤΑ

5.1 Έργα υποδομής

Το πρώτο στάδιο που αφορά στην εγκατάσταση των ανεμογεννητριών είναι τα έργα υποδομής και η προετοιμασία της τοποθεσίας. Αυτό περιλαμβάνει όλες τις απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να γίνουν, έτσι ώστε να εξοικονομηθεί χρόνος και να βελτιστοποιηθούν οι διαδικασίες των επόμενων σταδίων¹.

5.1.1 Υποδομές για τη σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο

Μια παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη πριν αρχίσει η διαδικασία της εγκατάστασης των ανεμογεννητριών είναι η κατασκευή υποδομών για τη μετέπειτα σύνδεση τους με το ηλεκτρικό δίκτυο. Έτσι, πρέπει να γίνουν κατασκευές, όπως δημιουργία υπεράκτιων υποσταθμών μετασχηματισμού τάσης, όπως και σταθμών μετασχηματισμού και στη στεριά. Επίσης, πρέπει να πραγματοποιηθούν έργα, όπως διάνοιξη καναλιών στο πυθμένα της θάλασσας και στη στεριά για την υποδοχή των καλωδίων μεταφοράς ρεύματος².

5.1.2 Χώροι αποθήκευσης και εφοδιασμού ανεμογεννητριών στο λιμάνι

Απαραίτητη είναι και η δημιουργία κατάλληλων λιμενικών υποδομών κοντά στα υπεράκτια αιολικά πάρκα για τις διάφορες διεργασίες που γίνονται στη ξηρά, όπως η κατασκευή των βάσεων, καθώς και κατάλληλου χώρου φύλαξης και αποθήκευσης των επιμέρους εξαρτημάτων των ανεμογεννητριών και του υπόλοιπου εξοπλισμού. Αυτή η τοποθεσία μπορεί να είναι, είτε κάποιες από τις αποθήκες του λιμανιού, είτε προβλήτα. Με αυτόν τον τρόπο, συνδυάζεται η εκφόρτωση - φόρτωση τους από και προς τα σκάφη μεταφοράς καθώς και η ασφαλής αποθήκευση και ταξινόμηση των εξαρτημάτων των ανεμογεννητριών. Τέλος, εφόσον τα κομμάτια των ανεμογεννητριών βρίσκονται όλα συγκεντρωμένα σε έναν χώρο, τότε, συνακολούθως, απλοποιείται η διαδικασία συναρμολόγησης τους και μεταφοράς στην συγκεκριμένη υπεράκτια τοποθεσία εγκατάστασης³.

¹ Cristian Kjaer

² οπ

³ οπ

5.2 Κατασκευή

Η κατασκευή ενός υπεράκτιου πάρκου απαιτεί περισσότερο χρόνο από ότι ένα αντίστοιχο χερσαίο πάρκο, λόγω δυσχερέστερων συνθηκών. Η κατασκευή των περισσότερων τμημάτων του υπεράκτιου πάρκου γίνεται στην ξηρά. Η άτρακτος συνήθως συναρμολογείται εξ ολοκλήρου πριν τη μεταφορά της στο σημείο εγκατάστασης. Όλα τα άλλα συστατικά τμήματα μεταφέρονται με ειδικά σκάφη και στη συνέχεια συναρμολογούνται επιτόπου, μετά την ασφαλή κατασκευή και εγκατάσταση των εδράσεων. Τα ηλεκτρικά καλώδια πρέπει να βρίσκονται ήδη στη θέση εγκατάστασης για να μπορέσει να ξεκινήσει η συναρμολόγηση της ανεμογεννήτριας. Η μονταρισμένη άτρακτος, ο πύργος, η πλήμνη και τα πτερύγια του ρότορα μεταφέρονται στο σημείο εγκατάστασης και αρχίζει η συναρμολόγηση κατά τον ίδιο τρόπο όπως και στα χερσαία αιολικά πάρκα. Ο πύργος ανυψώνεται και στερεώνεται στις δομές έδρασης. Μετά ακολουθεί η άτρακτος και τα πτερύγια.

5.3 Διαδικασία μεταφοράς

Οι περισσότερες δυσκολίες προκύπτουν κατά τη μεταφορά των τμημάτων των ανεμογεννητριών στο σημείο εγκατάστασης, αφού απαιτείται ειδικός εξοπλισμός μεταφοράς αποτελούμενος από ειδικά διαμορφωμένα σκάφη. Πιο εξειδικευμένος εξοπλισμός απαιτείται για να ολοκληρωθεί η τελική συναρμολόγηση στο υπεράκτιο περιβάλλον. Στον εξοπλισμό αυτό περιλαμβάνονται γερανοί και άλλα ανυψωτικά μηχανήματα⁴.



Εικόνα 5.1 Συναρμολόγηση ανεμογεννήτριας⁵

⁴ Cristian Kjaer pp 13 -52

⁵ Danish energy authority

5.4 Συναρμολόγηση

Για να γίνει κατανοητός ο τρόπος συναρμολόγησης θα δοθεί ένα παράδειγμα τυπικού υπεράκτιου αιολικού πάρκου: το αιολικό πάρκο Horns Rev, στην δυτική ακτή της Δανίας. Σε αυτό το έργο κατασκευής αιολικού πάρκου επελέγη η έδραση μονού πυλώνα.

Η πρώτη φάση κατασκευής της έδρασης απαιτούσε την προετοιμασία του θαλάσσιου βυθού. Για ελαχιστοποίηση της διάβρωσης, τοποθετήθηκε ένα στρώμα από σκύρα για τη θεμελίωση. Κατόπιν, τοποθετήθηκε ο μονός πυλώνας στην απαιτούμενη θέση και στερεώθηκε μέσω του στρώματος στον πυθμένα. Η βύθιση του μονού πυλώνα στον πυθμένα της θάλασσας είναι περίπου 25 μέτρα. Χρησιμοποιήθηκαν ειδικά σχεδιασμένες φορτηγίδες, εξοπλισμένες με ενισχυμένο καταδυτικό έμβολο. Τα τεμάχια μεταβατικής ζεύξης ποντίστηκαν μαζί με τους μονούς πυλώνες, αναδεικνύοντας τις διατάξεις αποβίβασης του πλοίου και την καθοδική προστασία. Οι αγωγοί καλωδίων για τα υποβρύχια καλώδια σφραγίστηκαν με σκυρόδεμα και το στρώμα των σκύρων καλύφθηκε με χαλίκια και πέτρες. Για την ανέγερση των ανεμογεννητριών χρησιμοποιήθηκαν ειδικές ανυψωτικές εξέδρες με βυθιζόμενα υποστηρίγματα, εφοδιασμένες με ανυψωτικό εξοπλισμό για την ανύψωση όλων των τμημάτων των ανεμογεννητριών και την απευθείας συναρμολόγηση τους⁶.

5.5 Marinisation

Η τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας στη θάλασσα απαιτεί κάποια μέτρα για τη προστασία της από το εχθρικό θαλάσσιο περιβάλλον. Η διαδικασία αυτή στην αγγλική ορολογία ονομάζεται marinisation. Λόγου χάριν, κάποια από αυτά τα μέτρα είναι η πρόσθετη προστασία των εξωτερικών επιφανειών της με την επίστρωση υλικού κατά της διάβρωσης, η στεγανοποίηση αεροστεγώς των εδράνων, η χρήση συστημάτων ψύξης για να αποφευχθεί η επαφή των εσωτερικών τμημάτων (π.χ. γεννήτρια, κιβώτιο ταχυτήτων κλπ) με το αλμυρό νερό ή αέρα, και η χρήση ενός αεροστεγούς θαλάμου των ηλεκτρομηχανικών μερών της ανεμογεννήτριας, εγκατεστημένο πολύ υψηλότερα από το επίπεδο της θάλασσας⁷.

5.6 Τοποθεσία αιολικού πάρκου, μέγεθος και χωροθέτηση ανεμογεννητριών

Η δυνατότητα ανάπτυξης μεγάλης κλίμακας αιολικών πάρκων είναι μεγαλύτερη στην ανοιχτή θάλασσα από ότι στη στεριά. Η χωρική έκταση ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου είναι μεγαλύτερη από αυτήν ενός ισοδύναμου χερσαίου λόγω του διαθέσιμου ελεύθερου χώρου γνωρίζοντας ότι με την αύξηση της απόστασης μεταξύ των μηχανών μειώνονται οι αεροδυναμικές επιπτώσεις από τη δημιουργία του ομόρρους των ανεμοκινητήρων. Ομόρρους

⁶ aquaret. website

⁷ Καλογεροπούλου σελ 32

είναι η στροβιλή περιοχή που δημιουργείται κατάντι της ροής της αεροτομής όταν αυτή βρίσκεται σε μη μόνιμες συνθήκες ροής. Η εμφάνισή του αποτελεί φυσική συνέπεια του θεωρήματος του Kelvin, σύμφωνα με το οποίο κάθε χρονική στιγμή, αποβάλλεται τόση στροβιλότητα από μια αεροτομή, όση είναι η μεταβολή της κυκλοφορίας γύρω από αυτή⁸. Προφανώς αυξάνει και το απαιτούμενο μήκος των καλωδίων για την εσωτερική διασύνδεσή τους. Επομένως, στη χωροταξική διάταξη του πάρκου θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, από τη μία μεριά, οι ηλεκτρικές απώλειες κατά τη μεταφορά (μεγάλο μήκος καλωδίων) και από την άλλη, οι αεροδυναμικές απώλειες από τους ομόρρους. Ακόμα, η απόσταση από την ακτή και το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύς καθορίζει το τρόπο διασύνδεσης με συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα.

5.7 Προσβασιμότητα στη περιοχή

Εκτός από το μέγεθος του υπεράκτιου αιολικού πάρκου, τη δυσκολότερη και δαπανηρότερη εγκατάσταση του, μία ακόμα σημαντική διαφορά από τα χερσαία πάρκα είναι η δυνατότητα πρόσβασης. Είναι πολύ πιθανό η πρόσβαση στο πάρκο να μην είναι εφικτή, είτε με σκάφος είτε με ελικόπτερο, για διαστήματα κάποιων μηνών, λόγω των αντίξοων καιρικών συνθηκών. Αλλά ακόμα και όταν ο καιρός επιτρέπει τη πρόσβαση το κόστος της υπεράκτιας συντήρησης είναι πολύ μεγάλο. Οι διαδικασίες ανύψωσής είναι ιδιαίτερα δύσκολες σε ένα τέτοιο περιβάλλον και απαιτούνται ειδικές τεχνικές και πολλά έξοδα, ενώ υπάρχει και περιορισμένη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού συντήρησης στα υπεράκτια έργα. Αυτό καθιστά αναπόφευκτη την εκτίμηση των απαιτήσεων της λειτουργίας και της συντήρησης του υπεράκτιου αιολικού πάρκου σε συνδυασμό με όλες τις άλλες σχεδιαστικές παραμέτρους⁹.

5.8 Σχεδιασμός και προγραμματισμός

Καταρχάς, θα πρέπει να βρεθεί η κατάλληλη τοποθεσία και να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στα παρακάτω:

- Είναι σημαντική η μετεωρολογία όσον αφορά τα χαρακτηριστικά του ανέμου, που βοηθούν τους φορείς ανάπτυξης στην επιλογή των ανεμογεννητριών. Η μετεωρολογία είναι σημαντική και όσον αφορά τα επίπεδα υγρασίας. Η υγρασία στα ανοιχτά της θάλασσας μπορεί να περιέχει πολύ αλάτι, το οποίο μπορεί να προκαλέσει διάβρωση¹⁰.
- Θα πρέπει, ακόμα, να εξεταστεί προσεκτικά η φύση και το βάθος του θαλάσσιου βυθού, καθώς αυτά μπορούν να επηρεάσουν την επιλογή του συστήματος έδρασης.

⁸ Βουτσινάς, σελ 2.2

⁹ Cristian Kjaer

¹⁰ Καλογεροπούλου σελ 33

- Πρέπει, επίσης να εξετάζεται η απόσταση από την ξηρά ή άλλο σταθμό εξυπηρέτησης, για ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής και συντήρησης. Η απόσταση αυτή επηρεάζει το κόστος υποδομών σε σχέση με τη μεταφορά της παραγόμενης ισχύος καθώς και την απαιτούμενη για τη σύνδεση με το δίκτυο τάση και συχνότητα.
- Επιπλέον, εξετάζονται οι επιπτώσεις στο περιβάλλον και το οικοσύστημα. Πρέπει να διερευνώνται οι επιπτώσεις στα θαλάσσια θηλαστικά, τα ψάρια, τα αποδημητικά πτηνά καθώς και οι διάδρομοι πτήσης τους.
- Τέλος, στην περίπτωση ενός αιολικού πάρκου απαιτείται η ύπαρξη συστήματος εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA). Το σύστημα αυτό διασύνδεει όλες τα στοιχεία (π.χ. μετεωρολογικούς σταθμούς και υποσταθμούς της ανεμογεννήτριας) του αιολικού πάρκου με έναν κεντρικό Η/Υ που παρέχει τη δυνατότητα στο χειριστή να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία του αιολικού πάρκου¹¹.

¹¹ Zande, E

5.9 Βιβλιογραφία

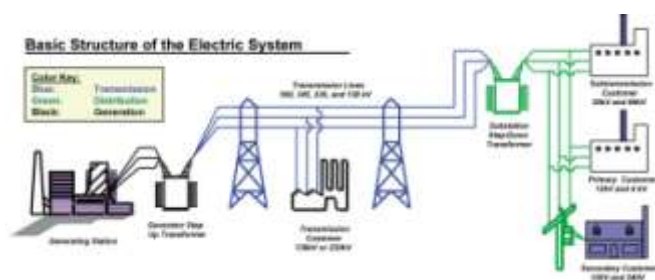
1. Wind Directions, Christian Kjaer, Sept. 2009, Opening up offshore, Vol. 28
2. Zande, Elker. Designing a wind farm. Wind Directions.
http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WD/2009_july/Wind_energy_basics_July_2009.pdf
3. Υπεράκτια Αιολικά, Aquaret website
http://www.aquaret.com/index.php?option=com_content&view=article&id=156&Itemid=299&lang=el
4. Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα, Πτυχιακή εργασία, Καλογεροπούλου Τζαννέτα, ΕΜΠ, 2010
5. Αεροελαστική Ανάλυση Τυπικής Διάταξης Αεροτομής Με Παραμορφούμενη Γωνία Εκφυγής, Πτυχιακή εργασία, Σπύρος Βουτσινάς, ΕΜΠ 2007
6. Danish energy authority webpage
<http://188.64.159.37/graphics/Publikationer/Havvindmoeller/kap03.htm>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

6.1 Γενικά

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί την προσφορότερη για χρήση μορφή ενέργειας. Για το λόγο αυτό πρωταρχική επιδίωξη για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας αποτέλεσε από την αρχή η μετατροπή της σε ηλεκτρική. Η παραγόμενη από τον άνεμο ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιείται σε αυτόνομα συστήματα. Τότε όμως προκύπτει θέμα, είτε αποθηκεύσεως, που δεν ενδείκνυται οικονομικά για μεγάλες ισχύς, είτε συνεργασίας με άλλες συμβατικές πηγές, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα συνεχούς καλύψεως των αναγκών. Συνηθέστερα όμως, η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ), δεδομένου ότι στις ανεπτυγμένες τουλάχιστον χώρες, τα ΣΗΕ καλύπτουν με τα δίκτυά τους το σύνολο σχεδόν της επιφάνειάς τους. Η δομή του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα



Εικόνα 6.1¹ Σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Όμως, η χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας απαιτεί την παραγωγή της υπό σταθερή τάση και συχνότητα, ενώ ο άνεμος παρουσιάζει συνεχή αστάθεια. Επίσης, όταν οι μετατροπείς αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική λειτουργούν παράλληλα με τα ΣΗΕ, συνδεδεμένες συνήθως στο Δίκτυο Διανομής αυτών, δεν πρέπει να δημιουργούν σημαντικές διαταραχές στην τάση ή/και τη συχνότητά τους. Για σταθερή λειτουργία του δικτύου, η παραγόμενη ισχύς πρέπει οποιαδήποτε στιγμή να εξισορροπείται με το φορτίο του δικτύου το οποίο μεταβάλλεται συνεχώς. Οι βασικές λειτουργίες του ηλεκτρικού συστήματος αφορούν κυρίως τον έλεγχο της ισχύος, τον έλεγχο της τάσης και την προστασία. Η μέθοδος του ελέγχου της τάσης, δηλαδή η συνεχής προσαρμογή της παραγόμενη ισχύος με το φορτίο του δικτύου είναι η θεμελιώδης αρχή της λειτουργίας του ηλεκτρικού συστήματος. Η σταθεροποίηση της τάσης μπορεί να επιτευχθεί με την αντιστάθμιση της μειωμένης τάσης κατά μήκος των γραμμών μετάδοσης, με τη προσαρμογή της τάσης στη πηγή και με την εισαγωγή της άεργου ισχύος. Από την άλλη μεριά, η σταθερότητα της συχνότητας στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές πηγές, επιτυγχάνεται με τον έλεγχο των στροφών της κινητήριας μηχανής, μέσω του ελέγχου της παροχής καυσίμου,

¹ Iowa State University website

με κατάλληλους ρυθμιστές στροφών. Στις ανεμογεννήτριες, αντίθετα, επιθυμητό είναι οι στροφές να προσαρμόζονται, έτσι ώστε να είναι δυνατή η κατά το δυνατόν μεγαλύτερη μετατροπή από τη διατιθέμενη ενέργεια του ανέμου και ταυτόχρονα να εξασφαλίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας υπό σχετικά σταθερή συχνότητα και τάση.

Η τάση λειτουργίας της γεννήτριας είναι γενικά χαμηλή (συνήθως κάτω από 1kV, σπανίως 3kV, και συχνά 690V²). Αυτό το επίπεδο της τάσης δεν είναι αρκετά υψηλό για την αλληλοσύνδεση με τις υπόλοιπες ανεμογεννήτριες, αλλά ούτε και με το δίκτυο στο οποίο πρόκειται να συνδεθεί. Είναι απαραίτητο λοιπόν κάθε ανεμογεννήτρια να έχει ένα μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης, για να ανεβάζει τη τάση σε μεσαίο επίπεδο (10 έως 35 kV). Επιπλέον, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη διακόπτη για την αποσύνδεση της ανεμογεννήτριας σε περίπτωση βραχυκυκλώματος για την αποφυγή της λεγόμενης νησιδοποίησης, κατάσταση κατά την οποία ένα μικρό τμήμα του δικτύου λειτουργεί με τοπική ισορροπία μεταξύ παραγωγής και φορτίου, αλλά χωρίς σύνδεση στο κύριο σύστημα. Η κατάσταση αυτή λειτουργίας είναι ανεπιθύμητη καθώς προκύπτουν τάσεις και συχνότητες έξω από τα επιτρεπτά όρια καθώς και κίνδυνος για το τεχνικό προσωπικό που αναλαμβάνει την επισκευή του σφάλματος στη νησιδοποιημένη περιοχή. Τις περισσότερες φορές οι ανεμογεννήτριες είναι αλληλοσυνδεδεμένες με υπόγεια καλώδια.

Στα μεγάλα αιολικά πάρκα ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός περιλαμβάνει τα τρία βασικά υποσυστήματα : τους ανεμοκινητήρες, την εσωτερική δομή στο αιολικό πάρκο και τη σύνδεση στο δίκτυο. Επιπλέον, επειδή τα μεγάλης κλίμακας αιολικά πάρκα παράγουν μεγαλύτερες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας, συνδέονται σε υψηλότερα επίπεδα τάσης από ότι οι μεμονωμένες ανεμογεννήτριες. Επειδή, όμως, τα δίκτυα υψηλής τάσης είναι λιγότερο πυκνά από τα δίκτυα χαμηλής τάσης, συχνά πρέπει να καλυφθεί μεγάλη απόσταση μέχρι το σημείο σύνδεσης στο δίκτυο³.

6.2 Μεταφορά και διανομή ηλεκτρικής ισχύος

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύος γίνεται σε υψηλές τάσεις (110kV-1.1MV) και έτσι έχουμε λιγότερες απώλειες στις μεγάλες αποστάσεις, ενώ η διανομή της ηλεκτρικής ισχύος γίνεται σε χαμηλές τάσεις (190V – 50kV) και, λόγω των μικρότερων αποστάσεων, πάλι επιτυγχάνονται λιγότερες απώλειες. Η κύρια λειτουργία του συστήματος ηλεκτρικής ισχύος είναι η διανομή του απαιτούμενου ποσού ηλεκτρικής ισχύος διατηρώντας παράλληλα τις αποκλίσεις της συχνότητας του συστήματος και της τάσης στους κόμβους μέσα στο απαραίτητο περιθώριο από τις ονομαστικές τους τιμές (καμπύλη φορτίου).

² Vestas website

³ Sathyajith M.

6.3 Ηλεκτρικά συστήματα μετατροπής ισχύος

Τα βασικά ηλεκτρικά συστήματα μετατροπής ισχύος των ανεμογεννητριών είναι:

- Σύστημα επαγωγικής γεννήτριας (κλωβού) και κιβώτιου ταχυτήτων άμεσα συνδεδεμένα με το δίκτυο.
- Σύστημα επαγωγικής γεννήτριας διπλής τροφοδοτήσεως (doubly fed) και κιβώτιου ταχυτήτων, όπου ο στάτορας συνδέεται άμεσα με το δίκτυο, ενώ ο ρότορας συνδέεται μέσω ενός μετατροπέα.
- Σύστημα σύγχρονης γεννήτριας, χωρίς κιβώτιο ταχυτήτων (direct drive) που είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο μέσω ενός ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος.

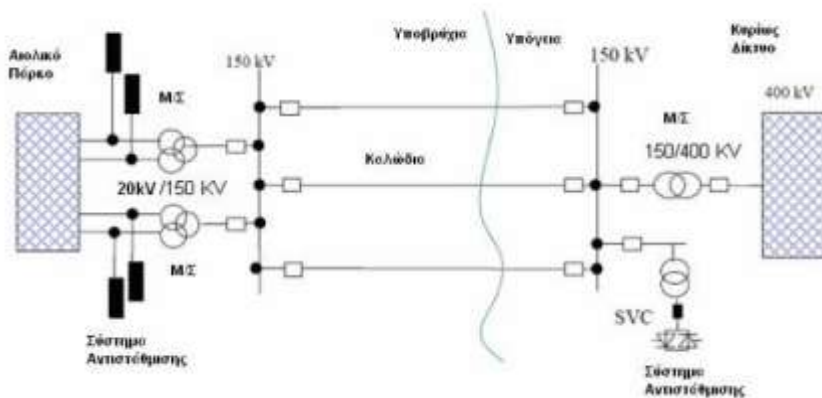
Οι κατασκευαστές σήμερα παράγουν γεννήτριες άμεσης οδήγησης (direct drive), πράγμα που καταργεί το κιβώτιο ταχυτήτων από την άτρακτο. Με τον τρόπο αυτό, λόγω της απουσίας κιβωτίου ταχυτήτων, βελτιώνεται η αποδοτικότητα των ανεμογεννητριών καθώς και η αξιοπιστία τους. Εξάλλου έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται αναστροφείς ή άλλα μέσα μετασχηματισμού της ισχύος για να παρέχεται η δυνατότητα λειτουργίας των ανεμοκινητήρων σε μεταβλητές ταχύτητες, απόσπασης περισσότερης αιολικής ισχύος και αύξησης του χρόνου λειτουργίας.

6.4 Ηλεκτρική διασύνδεση με υποβρύχια καλώδια

Για τα απομακρυσμένα υπεράκτια αιολικά πάρκα (>60-100Km) η μεταφορά εναλλασσομένου ρεύματος δεν είναι εφικτή λόγω της χωρητικότητας του καλωδίου, ενώ σε περίπτωση μεγάλων αιολικών πάρκων, μια σύνδεση DC (συνεχούς ρεύματος) για τη σύνδεση του πάρκου στο δίκτυο μπορεί να είναι πιο συμφέρουσα. Οι απώλειες στις συμβατικές AC (εναλλασσομένου ρεύματος) συνδέσεις, και κατά συνέπεια το λειτουργικό κόστος, αυξάνονται πιο πολύ με το μήκος από ότι στην περίπτωση των DC συνδέσεων. Πάνω από ένα όριο απόστασης, η χρήση σύνδεσης συνεχούς ρεύματος, παρά την αρχικά μεγαλύτερη επένδυση, είναι προτιμητέα λόγω του χαμηλού λειτουργικού κόστους. Το τελευταίο οφείλεται στους μετατροπείς ισχύος που χρησιμοποιούνται: τα καλώδια από μόνα τους είναι φθηνότερα σε DC από ότι σε AC από τη στιγμή που απαιτούνται δύο αντί για τρία καλώδια και γιατί οι ανάγκες σε μόνωση είναι μικρότερες για την ίδια ονομαστική τάση. Επίσης, το άεργο ρεύμα σε ένα μεγάλου μήκους AC καλώδιο φαίνεται να θέτει τεχνικό όριο στο μήκος των AC συνδέσεων⁴.

⁴ Offshore technology website

6.4.1 HVAC (High Voltage Alternative Current)



Εικόνα 6.2⁵ Τυπικό παράδειγμα HVAC γραμμής από αιολικό πάρκο

Μια τυπική γραμμή μεταφοράς HVAC (High Voltage Alternative Current) παρουσιάζεται στο παραπάνω σχήμα και αποτελείται από:

- Μετασηματιστές ανύψωσης – υποβιβασμού τάσης στα δύο άκρα της.
- Εναέριους, υπόγειους, υποβρύχιους αγωγούς ή συνδυασμούς αυτών.
- Συστήματα αντιστάθμισης (SVC, Statcoms, Πηνία αντιστάθμισης) και στα δύο άκρα ή και ενδιάμεσα.

Τα πλεονεκτήματα της HVAC είναι τα εξής:

- Η παλαιότερη και πιο διαδεδομένη τεχνολογία μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.
- Σχετικά απλός εξοπλισμός, ειδικά για εναέριες γραμμές και μικρές αποστάσεις.
- Αξιοπίστη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας
- Σχετικά χαμηλό κόστος επένδυσης, όταν η γραμμή συνδέεται σε γραμμή μεταφοράς μεγάλης ισχύος (ισχυρό δίκτυο).

Τα μειονεκτήματα της HVAC είναι τα εξής:

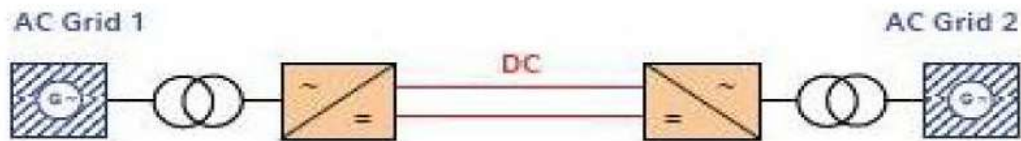
- Σε περίπτωση μεταφοράς με υπόγεια ή υποβρύχια καλώδια παρουσιάζονται προβλήματα με τη δημιουργία άεργου ισχύος.
- Η αύξηση του μήκους του καλωδίου αυξάνει τη χωρητικότητα του και συνεπώς την παραγόμενη από αυτό άεργο ισχύ.
- Απαραίτητη η χρήση συστημάτων αντιστάθμισης άεργου ισχύος (Statcoms, SVC, πηνία αντιστάθμισης) στα άκρα της γραμμής αλλά και σε ενδιάμεσα τμήματα εφόσον αυτό είναι δυνατό.

⁵ Κοροβέσης Ε

- Απαραίτητη κατασκευή πυλώνων για εναέριες γραμμές μεταφοράς – οπτική όχληση, δέσμευση μεγάλων εκτάσεων γης.
- Τα AC διασυνδεδεμένα δίκτυα μεταφέρουν τυχόν σφάλματα σε γειτνιάζοντα δίκτυα, χωρίς να αναγνωρίζουν σύνορα κρατών.
- Σε περίπτωση έντονων σφαλμάτων υπάρχει η πιθανότητα εμφάνισης του φαινομένου της νησιδοποίησης (αποκοπή καταναλωτών ή μονάδων παραγωγής για τη διαφύλαξη της ευστάθειας)
- Μη έγκαιρη διάγνωση έντονων σφαλμάτων και λήψη μέτρων είναι πιθανό να οδηγήσει σε εμφάνιση φαινομένου αλυσιδωτής αντίδρασης και γενική διακοπή παροχής ρεύματος.
- Τα προβλήματα αυτά γίνονται εντονότερα σε περιπτώσεις κατανεμημένης παραγωγής. Δηλαδή μικρές σε μέγεθος μονάδες, με μη προβλέψιμη και πολλές φορές μη προγραμματιζόμενη παραγωγή, συνδεδεμένες σε όχι και τόσο ισχυρό δίκτυο⁶.

6.4.2 HVDC (High Voltage Direct Current)

Σε ένα HVDC σύστημα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, η ηλεκτρική ενέργεια λαμβάνεται από ένα τριφασικό AC δίκτυο, μετατρέπεται σε DC με τη βοήθεια ενός σταθμού μετατροπής (converter station), μεταφέρεται με τη βοήθεια των HVDC αγωγών στο σημείο λήψης και τελικά μετατρέπεται πάλι σε AC με τη βοήθεια ενός σταθμού μετατροπής, ο οποίος είναι συνδεδεμένος σε AC δίκτυο. Στο σταθμό μετατροπής (converter station) γίνεται η μετατροπή της υψηλής τάσης από AC σε DC και αντίστροφα χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικές ημιαγωγίμες βαλβίδες υψηλής τάσης. Οι ημιαγωγίμες αυτές βαλβίδες, (thyristor valves, IGBTs) βοηθούν στην απρόσκοπτη μετατροπή από AC σε DC και αντίστροφα μέσα από ένα σύστημα ελέγχου εγκατεστημένο σε υπολογιστές. Το γεγονός αυτό επιτρέπει τον ακριβή έλεγχο της μεταφερόμενης ενέργειας και αποτελεί μοναδικό χαρακτηριστικό της τεχνολογίας HVDC (Στην τεχνολογία AC αυτό δεν μπορεί να ελεγχθεί άμεσα διότι εξαρτάται από εξωτερικούς παράγοντες)⁷.



Εικόνα 6.3⁸ HVDC σύστημα

⁶ Κοροβέσης E

⁷ Zande E

⁸ Κοροβέσης E

Οι αγωγοί HVDC:

- Συνήθως λειτουργούν με διπολικό τρόπο, δηλαδή υπάρχει ένας αγωγός με θετική και ένας με αρνητική πολικότητα.
- Έχουν πολυμερές μονωτικό υλικό το οποίο είναι ανθεκτικό και εύρωστο. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται διάφορα είδη αγωγών HVDC.
- Η αντοχή και η ελαστικότητα που έχουν επιτρέπει την εγκατάστασή τους ακόμη και σε θαλάσσιο πυθμένα με μεγάλο βάθος ενώ παράλληλα μειώνεται το κόστος εγκατάστασης.
- Δεν περιέχουν λάδια ή άλλα τοξικά στοιχεία, δεν επηρεάζουν τους θαλάσσιους οργανισμούς και δε δημιουργούν ηλεκτρικά πεδία και γενικά δεν έχουν περιβαλλοντικές επιπτώσεις.
- Μετά το πέρας του χρόνου ζωής τους μπορούν να αντικατασταθούν και να ανακυκλωθούν.



Εικόνα 6.4⁹ Αγωγοί HVDC

Τα πλεονεκτήματα της HVDC τεχνολογίας είναι τα ακόλουθα:

- Τα συστήματα HVDC μπορούν να συνδέουν δίκτυα με ασύγχρονο τρόπο, μεταφέροντας δηλαδή μόνο ενέργεια και όχι σφάλματα.
- Μικρές απώλειες ισχύος. Ο κάθε σταθμός μετατροπής έχει απώλειες της τάξεως των 0,6% ενώ ο DC αγωγός έχει απώλειες της τάξεως των 0,3-0,4% ανά 100km.
- Δεν υπάρχει περιορισμός στην απόσταση μεταφοράς καθώς το φαινόμενο της άεργου ισχύος υφίσταται στη συνεχή τάση.
- Η κατασκευή των συστημάτων παρουσιάζει συγκεντρωτική δομή βελτιώνοντας έτσι τη διαδικασία συντήρησης¹⁰.

⁹ Κοροβέσης Ε

¹⁰ Μπεργελές Γ

Πίνακας 6.1 Σύγκριση AC και DC τεχνολογίας

Αγωγοί DC	Αγωγοί AC
Δεν έχουν όριο μήκους αγωγού	Η χωρητικότητα του αγωγού περιορίζει το πρακτικό μήκος του
Δε χρειάζονται ενδιάμεσοι σταθμοί	Χρειάζεται αντιστάθμιση της άεργους ισχύος
Δεν αυξάνουν τη χωρητικότητα του AC δικτύου	Μεγαλύτερες απώλειες ισχύος
Τάση DC σημαίνει μικρότερη γήρανση του αγωγού και άρα μεγαλύτερος χρόνος ζωής	Δυσκολία στη διαχείριση του αγωγού λόγω μεγέθους
Είναι ελαφρύτεροι από τους AC αγωγούς για την ίδια μεταφορική ικανότητα.	

6.5 Εξοπλισμός διανομής και μετασχηματιστές

Εάν η τάση που χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση με τη στεριά είναι μεγαλύτερη από 33 kV, τότε απαιτείται και ένας υπεράκτιος υποσταθμός στο αιολικό πάρκο. Ο υποσταθμός αυτός είναι μια αρκετά μεγάλη κατασκευή που απαιτεί προσωπικό για το συνεχή του έλεγχο. Οι χερσαίοι μηχανισμοί διανομής και οι μετασχηματιστές για μεταφορά σε υψηλές τάσεις είναι γενικά υπαίθριοι, ώστε να εκμεταλλεύονται τα μεγάλα κενά αέρος για μόνωση. Οι υπεράκτιοι υποσταθμοί απαιτούν ακριβότερο εσωτερικό εξοπλισμό και πρόσθετη προστασία από το εξωτερικό περιβάλλον. Ένας τέτοιος σταθμός φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6.5¹¹ Υπεράκτιος σταθμός μετατροπής AC/DC

Επίσης, ο μηχανισμός διανομής θα χρειαστεί για να απομονώσει τα τμήματα του αιολικού πάρκου σε περίπτωση συντήρησης ή επισκευής, παρέχοντας έτσι επαρκή προστασία. Στην αγορά υπάρχουν διαθέσιμοι συσκευασμένοι υποσταθμοί, αν και αυτοί χρησιμοποιούνται συνήθως για αντικατάσταση σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης ή για γρήγορη εγκατάσταση στις

¹¹ Wagengineering website

απομονωμένες περιοχές. Οι κατασκευαστές είναι επιφυλακτικοί στην προσφορά αυτών για υπεράκτια τοποθέτηση¹².

6.6 Σύστημα έλεγχου SCADA

Το σύστημα SCADA λειτουργεί σαν ένα “κέντρο νευρών” για το έργο. Συνδέει τις ανεμογεννήτριες, τον υποσταθμό και τους μετεωρολογικούς σταθμούς με ένα κεντρικό υπολογιστή. Το σύστημα αυτό επιτρέπει στο διαχειριστή να επιβλέπει τη συμπεριφορά όλων των ανεμογεννητριών και όλου του αιολικού πάρκου συνολικά. Επίσης, κρατάει ένα αντίγραφο όλων των ενεργειών και επιτρέπει στο διαχειριστή να καθορίζει τι διορθωτικές ενέργειες που πρέπει να ληφθούν. Ακόμα, καταγράφει την ενεργειακή απόδοση, την διαθεσιμότητα και τα σήματα σφάλματος/βλάβης που θα ενεργήσουν σε βάση για οποιαδήποτε εγγυήσεις υπολογισμών και απαιτήσεων. Το σύστημα SCADA εφαρμόζει, τέλος, οποιαδήποτε αίτηση σε απάντηση του διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου¹³.

6.7 Προβλήματα σύνδεσης ανεμογεννητριών στο ΣΗΕ

Είναι πιθανό σε μία χώρα όπως Ελλάδα να μεταβληθεί σε αρκετά σύντομο χρονικό διάστημα ο άνεμος και έτσι η ισχύς που θα παρείχαν τα αιολικά πάρκα να πρέπει να παραχθεί από τις συμβατικές μονάδες παραγωγής. Αυτό το ζήτημα είναι κυρίως μετεωρολογικό και δεν χρειάζονται να παρθούν πρόσθετα μέτρα για την προστασία του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας.

Έκτος όμως από το πρόβλημα της αβεβαιότητας της αιολικής παραγωγής υπάρχει και το πρόβλημα που θα διοχετευτεί πιθανή περίσσεια ενέργειας. Για αυτό το λόγο χρειάζονται ισχυρές διασυνδέσεις με γειτονικές χώρες έτσι ώστε και να μπορεί να διοχετευτεί η περίσσεια ενέργειας, αλλά και να είναι ικανές να σταθεροποιήσουν το σύστημα σε ξαφνικές διακυμάνσεις της παραγωγής, οι οποίες θα είναι ολοένα και πιο πιθανές όσο η αιολική διείσδυση αυξάνει¹⁴.

¹² Offshore technology website

¹³ Υπεράκτια Αιολικά, Aquaret website

¹⁴ Squrr Energy website

6.8 Βιβλιογραφία

1. Iowa State University website
www2.econ.iastate.edu/classes/econ458/tesfatsion/Home458team.htm
2. Κοροβέσης Ε, Ανάπτυξη και περιβάλλον, σημειώσεις συνεδρίου, 2009
www.rfenergy.gr/images/pdfs/GridConnectionPresentationMrKorovesis.pdf
3. Sathyajith Mathew. Wind Energy fundamentals, resource analysis and economics. Berlin : Springer, 2006. 978-3-540-30905-5
4. Offshore technology website
www.offshorewindenergy.org/ca-owee/indexpages/Offshore_technology.php
5. Zande, Elker. Designing a wind farm. Wind Directions
http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WD/2009_july/Wind_energy_basics_July_2009.pdf
6. Ανεμοκινητήρες, Μπεργελές Γ., εκδόσεις Συμείων, 2005
7. Wagengineering website wagengineering.blogspot.gr/2013/08/offshore-substationsconverters-for-wind.html
8. Υπεράκτια Αιολικά, Aquaret website
www.aquaret.com/index.php?option=com_content&view=article&id=156&Itemid=299&lang=el
9. Offshore Risk Quantification Analysis, Squrr Energy website
<http://www.sgurrenergy.com/Products/ORQA.php>
10. Vestas website www.vestas.com

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ, ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

7.1 Γενικά

Η συντήρηση έχει ως σκοπό τη διατήρηση των μηχανών σε καλή κατάσταση και την επισκευή τους, όταν σταματούν λόγω βλάβης, ώστε να επιτευχθεί υψηλή διαθεσιμότητα. Οι διαχειριστές των υπεράκτιων αιολικών πάρκων προσδοκούν διαθεσιμότητες της τάξης του 98% όπως και στα χερσαία πάρκα. Ωστόσο, η συντήρηση στην ανοικτή θάλασσα είναι πιο δύσκολη και πιο δαπανηρή, αφού χρειάζεται ειδική μεταφορά του πληρώματος και του εξοπλισμού από και προς το αιολικό πάρκο, την οποία πολλές φορές δυσχεραίνουν οι αντίξοες καιρικές συνθήκες¹. Συνεπώς, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός σημαντικών παραγόντων που πρέπει να εξετασθούν για να βρεθεί μια βέλτιστη λύση όπως:

- Το μέρος που θα γίνεται η βασική συντήρηση. Οι δύο επιλογές που υπάρχουν είναι, είτε σε λιμενικές εγκαταστάσεις, είτε υπεράκτια πάνω σε πλωτά μέσα.
- Η μεταφορά του πληρώματος. Μπορεί να γίνει με ελικόπτερο ή με σκάφος. Το ελικόπτερο απαιτεί εγκατάσταση προσγείωσης, ενώ η μεταφορά με σκάφος είναι πιο οικονομική.
- Ο ανυψωτικός μηχανισμός για τις περισσότερες επισκευές είναι υψίστης σημασίας. Μπορεί να επιτευχθεί είτε με ελικόπτερο, είτε με ανυψωτικές φορηγίδες (lifting barges), είτε τέλος με αυτοπροωθούμενες ανυψωτικές πλατφόρμες (self propelled jack-up platforms) που έχουν το πλεονέκτημα να προσφέρουν σταθερότητα κατά την διαδικασία της επισκευής ή της αποσυναρμολόγησης.

Η όσο το δυνατό μεγαλύτερη διαθεσιμότητα των μηχανών είναι βασικό στόχος για τους διαχειριστές του αιολικού πάρκου και επηρεάζει κρίσιμα ζητήματα όσον αφορά τα οικονομικά του αιολικού πάρκου:

- Όσο πιο απόμακρη είναι η περιοχή τόσο πιο δύσκολες και δαπανηρές είναι οι επισκέψεις σε αυτήν.
- Όσο πιο αντίξοες είναι οι συνθήκες που επικρατούν (θύελλες, καταιγίδες κλπ) τόσο πιο πολλές οι πιθανές αστοχίες του υλικού και συγχρόνως γίνεται δυσκολότερη η προσέγγιση για επισκευή.

Τέλος, ο σχεδιασμός της μηχανής είναι πολύ σημαντικός για τη μείωση των δαπανών κατά τη λειτουργία και τη συντήρηση καθόλα τη διάρκεια ζωής του πάρκου. Γι' αυτό το λόγο, η συντήρηση είναι πλήρως συσχετισμένη με τις μηχανικές και ηλεκτρικές συνισταμένες του ανεμοκινητήρα, μιας και αυτές είναι που παρουσιάζουν βλάβη πιο συχνά και όχι με τη κατασκευή υποστήριξης (πύργος, έδραση) και το σύστημα εκμετάλλευσης της ενέργειας.

¹ Bousel G.

Συμπερασματικά, ο ανεμοκινητήρας πρέπει να σχεδιαστεί έτσι, ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι ανάγκες για προληπτικές και διορθωτικές επισκέψεις². Επίσης, θα πρέπει να εξετασθεί η αλληλεπίδραση μεταξύ του σχεδιασμού της μηχανής και της αξιοπιστίας, της προσβασιμότητας και της «σύλληψης» ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τους παρακάτω παράγοντες³:

- Η βελτιωμένη αξιοπιστία της μηχανής μειώνει το κόστος λειτουργίας και συντήρησης και αυξάνει τη διαθεσιμότητα και την ενεργειακή απόδοση και, εν τέλει, μειώνει και το μοναδιαίο κόστος κεφαλαίου.
- Περισσότερες επισκέψεις για συντήρηση αυξάνουν το κόστος, μειώνουν τις αποδόσεις, αυξάνουν τη διαθεσιμότητα και τη συλλεγόμενη ενέργεια.
- Κινούμενοι περισσότερο υπεράκτια, αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου και το αιολικό δυναμικό αλλά μειώνεται η διαθεσιμότητα των μηχανών, λόγω των πιο συχνών και έντονων καιρικών φαινομένων (καταιγίδες, θύελλες κλπ).
- Με βάση τελευταίες έρευνες, δεν υπάρχει κανένα πλεονέκτημα στη μετακίνηση σε λιγότερο προσβάσιμες περιοχές που έχουν όμως μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου.

7.2 Λειτουργία του αιολικού πάρκου

Με την έννοια commissioning εννοούμε όλες αυτές τις δραστηριότητες που λαμβάνουν μέρος αμέσως μετά την εγκατάσταση όλων των συνισταμένων της υπεράκτιας ανεμογεννήτριας. Χρειάζονται περίπου δύο με τρεις μέρες, περιλαμβάνοντας τις τυπικές ηλεκτρικές δοκιμές των ηλεκτρικών υποδομών και του ανεμοκινητήρα, καθώς και τη συνήθη επιθεώρηση. Ουσιαστικά είναι η πρώτη δοκιμή λειτουργίας του αιολικού πάρκου. Έπειτα, χρειάζονται περίπου έξι μήνες μέχρι την ολοκληρωμένη εμπορική λειτουργία του. Αυτό σημαίνει ότι η διαθεσιμότητα του αυξάνεται από το 80-90%, αμέσως μετά την έναρξη, κατά μέσο όρο στο 97% στο μακροπρόθεσμο επίπεδο⁴. Η καθημερινή λειτουργία ενός αιολικού πάρκου παρακολουθείται και ελέγχεται με τη χρήση ενός συστήματος εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA). Το σύστημα αυτό συνδέει όλα τα συστατικά μέρη (δηλ. ανεμογεννήτριες, μετεωρολογικούς σταθμούς και υποσταθμούς) του αιολικού πάρκου με έναν κεντρικό υπολογιστή, που παρέχει τη δυνατότητα στο χειριστή να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία του αιολικού πάρκου. Το σύστημα παρέχει και αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του αιολικού πάρκου και έτσι μπορούν να εντοπιστούν αποτυχίες ή προβλήματα λειτουργίας συγκεκριμένων ανεμογεννητριών.

² Offshore technology website

³ Harrison R. et al

⁴ Kjaer C.

7.3 Συντήρηση και μεταφορά πληρώματος

Η διαδικασία συντήρησης των υπεράκτιων ανεμογεννητριών απαιτεί τεχνογνωσία παρόμοια με αυτή των χερσαίων ανεμογεννητριών, λόγω του ότι χρησιμοποιούνται παρόμοιες συνισταμένες, αλλά σαφώς μεγαλύτερου μεγέθους. Η διαδικασία συντήρησης απαιτεί τη μεταφορά του πληρώματος και του εξοπλισμού στο πάρκο, είτε με ελικόπτερο είτε με σκάφος. Εάν η συντήρηση απαιτήσει ανταλλακτικά που δεν περιλαμβάνονται στο συνηθισμένο εξοπλισμό πρέπει να μεταφερθούν και αυτά από τη θέση αποθεμάτων τους στο πάρκο.

7.4 Στρατηγικές συντήρησης των αιολικών πάρκων

Η συντήρηση μιας χερσαίας ανεμογεννήτριας απαιτεί μία επίσκεψη κάθε έξι μήνες και δυο κατά μέσο όρο μη προσχεδιασμένες κάθε χρόνο. Επίσης, προγραμματίζεται συνήθως και μία ενδελεχής επισκευή συνήθως κάθε πέντε χρόνια. Οι διάφορες πιθανές στρατηγικές λειτουργίας και συντήρησης που μπορούν να αποδειχθούν κατάλληλες για τα υπεράκτια αιολικά πάρκα είναι οι εξής:

7.4.1 Προληπτική και Διορθωτική συντήρηση (Preventive and Corrective maintenance)

Ουσιαστικά είναι η συνέχεια της χερσαίας πρακτικής για τη συντήρηση και την επισκευή. Είναι εφικτή στις περιπτώσεις που η αξιοπιστία των ανεμογεννητριών είναι σημαντικά βελτιωμένη και που η απαίτηση τους για συντήρηση μειώνεται σε μία ανά δώδεκα μήνες.

7.4.2 Ευκαιριακή συντήρηση (Opportunity based maintenance)

Με βάση αυτήν την πρακτική, οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν μέσα σε ένα ευέλικτο διάστημα μεταξύ των συντηρήσεων και η προληπτική συντήρηση εκτελείται στις περιπτώσεις που έχει εμφανιστεί κάποια βλάβη και μπορεί να διορθωθεί μόνο με επίσκεψη του προσωπικού. Συνδυάζοντας έτσι την επισκευή και τη συντήρηση μειώνονται οι επισκέψεις στο πάρκο. Η πρακτική αυτή συνηθίζεται σε υπεράκτιες κατασκευές.

7.4.3 Περιστασιακή συντήρηση (Condition based maintenance)

Σε αυτή τη περίπτωση, ένα σύστημα παρακολούθησης όλων των στοιχείων της ανεμογεννήτριας υπαγορεύει την αναγκαιότητα επίσκεψης του προσωπικού, όταν η κατάσταση ενός στοιχείου υπερβαίνει κάποια θεωρούμενα όρια. Τότε πραγματοποιείται η επισκευή και η συντήρηση. Αυτός είναι ένας ακόμα τρόπος για να μειωθεί ο αριθμός των επισκέψεων, αλλά απαιτείται πρόσθετη αρχική δαπάνη στα συστήματα παρακολούθησης. Πάντως, ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός ανεμοκινητήρα για υπεράκτια εφαρμογή απαιτεί ριζική αλλαγή στη φιλοσοφία του σχεδιασμού που ακολουθείται στη χερσαία εφαρμογή.

7.5 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Όπως γνωρίζουμε σήμερα η αιολική ενέργεια είναι μία από τις πιο καθαρές περιβαλλοντικά πηγές ενέργειας. Τα αιολικά πάρκα χρησιμοποιούν μόνο την κίνηση του ανέμου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, οπότε δεν προκύπτουν καυσαέρια από καύση ορυκτών καυσίμων, όπως συμβαίνει με τους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής. Αυτό συμβάλλει στον καταπολέμηση της υπερθέρμανσης του πλανήτη, λόγω της μείωσης των εκπομπών των CO₂, SO_x, NO_x και άλλων αέριων ρύπων.

Στην τοποθεσία του υπεράκτιου αιολικού πάρκου, εντούτοις, υπάρχει περιβαλλοντική αλληλεπίδραση με τη θαλάσσια ζωή. Ενδέχεται, λοιπόν, το αιολικό πάρκο και οι υποδομές του να επηρεάσουν το οικοσύστημα της περιοχής. Στον παρακάτω πίνακα εξετάζονται, για το κάθε στάδιο ανάπτυξης του υπεράκτιου αιολικού πάρκου, οι επιπτώσεις που μπορεί να έχει η εγκατάσταση και η λειτουργία ανεμογεννητριών και κυρίως οι επιδράσεις στα θαλάσσια θηλαστικά, στην αποδημία και την αναπαραγωγή των πουλιών, στα ψάρια και τη θαλάσσια χλωρίδα, καθώς επίσης και οι επιδράσεις στον άνθρωπο από τη φυσική παρουσία των ανεμογεννητριών και την οπτική όχληση^{5 6}.

⁵ Koeller J. et al

⁶ Τριανταφυλλίδου Μ σελ 77 - 100

Φάση ανάπτυξης	Δραστηριότητα	Μηχανισμός επίδρασης	Αλληλεπιδράσεις με το φυσικό περιβάλλον	Αλληλεπιδράσεις με το βιολογικό περιβάλλον	Αλληλεπιδράσεις με την οικολογία (οικολογικοί χαρακτηρισμοί, φυσική κληρονομιά, ανθρωπογενής κληρονομιά, κλπ.)	Αλληλεπιδράσεις με το κοινωνικό-οικονομικό περιβάλλον
Προκαταρκτικές εργασίες	Έρευνα	Όχληση του πυθμένα λόγω της δειγματοληψίας	Δευτερεύουσες επιδράσεις μπορούν να προκύψουν από βασικές περιβαλλοντικές έρευνες παραδείγματος χάριν, εντοπισμένη απώλεια υποστρωμάτων, φυτών και ζώων στις εκβολές των ποταμών μέσω της διάσπασης και της δειγματοληψίας, όχληση των θηλαστικών από τις στερεοκίβες έρευνες και άλλες έρευνες με την χρήση σκαφών.	Αλληλεπιδράσεις με την οικολογία (οικολογικοί χαρακτηρισμοί, φυσική κληρονομιά, κλπ.)	Μπορεί να απασχοληθούν τοπικοί ανάδοχοι και εμπνευσμένοι για να διεκδικούν και να υποστηρίξουν βασικές έρευνες, π.χ. ως χειριστές σκαφών, συμβούλοι και δύτες, κλπ.	Μπορεί να απασχοληθούν τοπικοί ανάδοχοι και εμπνευσμένοι για να διεκδικούν και να υποστηρίξουν βασικές έρευνες, π.χ. ως χειριστές σκαφών, συμβούλοι και δύτες, κλπ.
		Ηχητική όχληση λόγω αυξημένης δραστηριότητας των σκαφών και έρευνας μέσω sonar / σεσμικής έρευνας	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Καμία προβλεπόμενη βασική αλληλεπίδραση	Διατήραση της συμπεριφοράς των θαλάσσιων θηλαστικών	Καμία προβλεπόμενη βασική αλληλεπίδραση
Κατασκευή και εγκατάσταση	Υποδομή κατασκευής και εγκατάστασης	Διασπαράξη του πυθμένα και της υδάτινης στήλης κατά τη διάρκεια και μετά το πέρας της βυθοσκοπήσης	Μεγάλες περιοχές των εκβολών του ποταμού μπορούν να βυθοκορηθούν επιδρώντας στη μορφολογία του πυθμένα και αυξάνοντας την θολότητα των υδάτων.	Αμεση εντοπισμένη επιπτώση στους βιότοπους και στα είδη του πυθμένα	Μπορεί να επιηρεαστούν τα προστατευόμενα μεταναστευτικά είδη ψαριών και τα προστατευόμενα αρπακτικά είδη πουλιών.	Προσωρινή διασπαράξη άλλων χρηστών της θάλασσας και της ναυσιπλοΐας ως αποτέλεσμα της δραστηριότητας των σκαφών και των θαλάσσιων εργασιών
		Αυσική παρουσία σκαφών και σχετικών εξοπλισμών/ δόμων	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Πιθανή όχληση για τα θαλάσσια θηλαστικά	Πιθανός αυξημένος κίνδυνος πλοήγησης για άλλους χρήστες της θάλασσας
Κατασκευή και εγκατάσταση	Υποδομή κατασκευής και εγκατάστασης	Διασπαράξη του πυθμένα και ηχορύπανση μέσω της συσσώρευσης	Εντοπισμένη επίδραση στην μορφολογία του πυθμένα – θα δημιουργηθούν εκχώσεις στον πυθμένα. Αυτές μπορεί στη συνέχεια να επεκταθούν σε μια ευρύτερη περιοχή.	Αμεση εντοπισμένη επιπτώση στους βιότοπους και στα είδη του πυθμένα	Ο υποβρύχιος θόρυβος μπορεί να επηρεάσει τα είδη των θαλάσσιων θηλαστικών για σημαντικές αποστάσεις	Τα άγνωστα σκάφη και οι υπέρ κατασκευές που συνδέονται με την επίσημη κατασκευή και εγκατάσταση θα είναι ορατά εντός της τοπικής θαλασσογραφίας για εκτεταμένες χρονικές περιόδους
		Διασπαράξη του πυθμένα και της υδάτινης στήλης λόγω της εγκατάστασης των θημελιών	Τροποποίηση των υδρολογικών και ιζηματογενών μορφών	Οι εγκαταστάσεις μπορεί να λειτουργήσουν ως τεχνητοί σκόπελοι και διαστάξεις συνάφησης ψαριών	Πιθανή όχληση για τα θαλάσσια θηλαστικά	Πιθανός αυξημένος κίνδυνος πλοήγησης για άλλους χρήστες της θάλασσας
Κατασκευή και εγκατάσταση	Υποδομή κατασκευής και εγκατάστασης	Διασπαράξη του πυθμένα και άλλων χρηστών του θαλάσσιου χώρου λόγω της εγκατάστασης υποθαλάσσιων καλωδίων	Αιωρήση εκ νέου ιζημάτων και μεμονωμένων συμπακτιδίων στην υδάτινη στήλη	Αμεση εντοπισμένη επιπτώση στους βιότοπους και στα είδη του πυθμένα	Πιθανή όχληση για τα θαλάσσια θηλαστικά	Πιθανός αυξημένος κίνδυνος πλοήγησης για άλλους χρήστες της θάλασσας

Φάση ανάπτυξης	Δραστηριότητα	Μηχανισμός επίδρασης	Αλληλεπιδράσεις με το φυσικό περιβάλλον	Αλληλεπιδράσεις με το βιολογικό περιβάλλον	Αλληλεπιδράσεις με την οικολογία (οικολογικοί χαρακτηρισμοί, φυσική κληρονομιά, ανθρωπογενής κληρονομιά, κλπ.)	Αλληλεπιδράσεις με το κοινωνικό-οικονομικό περιβάλλον
Εκκίνηση λειτουργίας του έργου, λειτουργία και συντήρηση	Εγκατάσταση των ανεμογεννητριών	Φυσική παρουσία δομών επάνω από την επιφάνεια	Δημιουργία 'ομβόρου' κατόπιν των εγκαταστάσεων	Σύγκρουση μεταξύ πτηνών (όσο αποδομητικών όσο και ενδημητικών) και περιγώντων των ανεμογεννητριών	Μπορούν να επιρραστούν τα προστατευόμενα είδη πτηνών	Αλλαγές στον χαρακτήρα της τοπογραφίας και της θαλάσσογραφίας Οπτική παρέμβαση Παρέμβαση στην πρόσβαση σε ψυχολογικές σχετικές με την νουσιπλόδα δραστηριότητες Πιθανός αυξημένος κίνδυνος πλάνησης για άλλους χρήστες της θάλασσας Δημιουργία ζωνών αποκλεισμού σε κοινούς χώρους της θάλασσας συμπεριλαμβανομένων και των υφαρδών
	Απόσταση της οικιακής ενέργειας και παραγωγή ισχύος	Μείωση των αερίων του θερμοκηπίου και των καυσαερίων από την καύση ορυκτών καυσίμων Μεθόδση ηλεκτρικής ενέργειας μέσω υποθάλασσας καλωδίας	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Κίνδυνος σύγκρουσης με πτηνά Εννοσημένη αποφυγή από μερικά είδη ψαριών	Μπορούν να επιρραστούν τα προστατευόμενα είδη πτηνών	Παρέμβαση με εγκαταστάσεις ραντάρ, τηλεσκοπίων και τηλεοράσεων Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση (που να εξαρτάται από την απόσταση από την ακτή) Παραγωγή καθαφής ενέργειας που θα βοηθήσει να εκπληρωθούν 'έθνικολ' διεθνείς στόχοι
Τυχαιο συμβόνα	Ποριστικό που οδηγεί σε έγχυση χημικών	Αυξημένη δραστηριότητα σκαφών για συντήρηση Τοπικές επιγερφρες και ευκαριές απασχόλησης	Τοπικές/εκτεταμένες αλλαγές στην χημεία των υδάτων και των κημάτων	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Πιθανή όχληση για τα θαλάσσια θηλαστικά Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Κανονική πρόσθετη δραστηριότητα σκαφών εντός της τοπικής θαλάσσογραφία Πιθανές ευκαριές απασχόλησης για τους ντόπιους κατοίκους και οφέλη για την τοπική οικονομία
	Απώλεια εξοπλισμού/	Χημική ρύπανση Πετρελαιοκή ρύπανση	Παροδικές κηλίδες πετρελαιοι στα ύδατα επιφάνειας και κίνδυνος για μικροπρωτόζωα ρύπανση του πυθμένα και των ακτογραμμών.	Τα είδη και οι βιότοποι μπορεί να καταστραφούν και να βλαφτούν από την χημική ρύπανση Τα είδη και οι βιότοποι μπορούν να καταστραφούν και να βλαφτούν από την πετρελαιοκή ρύπανση	Η χημική ρύπανση μπορεί επιρραστεί άλλους χρήστες των εφρών παραδεδιγματος χόριν γηνοκαλλιεργητές, τουριστές και ναυτικούς κλπ. Η πετρελαιοκή ρύπανση μπορεί επιρραστεί άλλους χρήστες των εφρών παραδεδιγματος χόριν γηνοκαλλιεργητές, τουριστές και ναυτικούς κλπ.	Πρόσθετος κίνδυνος για την νουσιπλόδα, διαπάρηση των χημίστων

Φάση ανάπτυξης	Δραστηριότητα	Μηχανισμός επίδρασης	Άλλη/επιδράσεις με το φυσικό περιβάλλον	Άλλη/επιδράσεις με το βιολογικό περιβάλλον	Άλλη/επιδράσεις με την οικολογία (οικολογικοί χαρακτηρισμοί, φυσική κληρονομιά, ανθρωπογενής κληρονομιά, κλπ.)	Άλλη/επιδράσεις με το κοινωνικό-οικονομικό περιβάλλον
Παροπλισμός	Δομικών συστατικών	Ρύπανση των επιφανειακών υδάτων και των ακτογραμμών από επιπλέοντα συντρίμια	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Διάσπαση στους βιότοπους των ακτογραμμών λόγω πηγιμονής και καταστροφή των ειδών μέσω της λήψης τροφής/εμπλοκής	Κίνδυνος απελευθέρωσης πετρελαίου, κασιφιών και άλλων ρυπαντών Κίνδυνος απελευθέρωσης ουσιών (π.χ. υδραυλικά ρευστά)	
	Συνολική απομάκρυνση της εγκατάστασης	Επαναφορά στις βασικές συνθήκες	Διασπορά συσσωρευμένων ιζημάτων γύρω από την εγκατάσταση Απίεση και περιοχές 'υπόρφου' γύρω από την εγκατάσταση Απίεση οποιωνδήποτε καταπραυντικών επιδράσεων γύρω από την εγκατάσταση (τρέχουσα κίνηση και κυματική δράση)	Πιθανή διατάραξη των οικοσυστημάτων που έχουν καθιερωθεί και προσομοιωθεί στις προ της εγκατάστασης υδρογραφικές συνθήκες Οι επιδράσεις ΗΜΠ στα είδη των ψαριών θα εξολε�θθούν	Τα προστατευόμενα είδη που αναζητούν την τροφή τους και μεταναστεύουν εντός της υδάτινης στήλης μπορεί να διαταραχθούν. Θα εξολε�θούν οι επιδράσεις από την παραγωγή θορύβου στα θαλάσσια θηλαστικά Τα προστατευόμενα είδη πτηνών δεν επηρεάζονται πλέον από την παρουσία των κινήτων μερών της ανεμογεννήτριας	Απομάκρυνση των κινδύνων πλόησης Απομάκρυνση των 'ζωνών αποκλεισμού'
	Αντικατάσταση των ανεμογεννητριών	Αυξημένη δραστηριότητα σκαφών	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Πιθανή προσωρινή όχληση των θαλάσσιων θηλαστικών	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση
		Τοπικές επιχειρήσεις και ευκαιρίες απασχόλησης	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Καμία βασική προβλεπόμενη αλληλεπίδραση	Πλέοντα οικονομικά οφέλη από την αξιοποίηση των τοπικών πόρων, των εταιριών υποστήριξης και των υπηρεσιών

7.6 Βιβλιογραφία

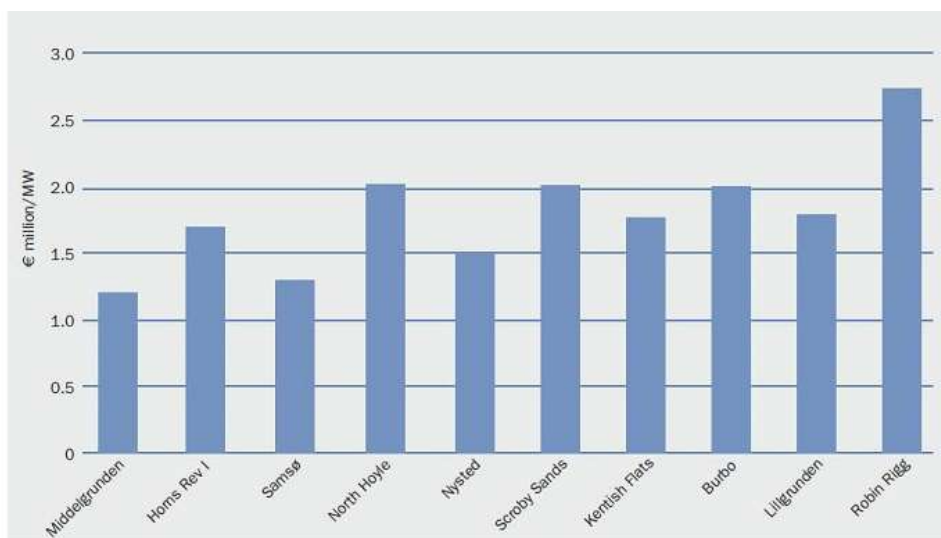
1. Offshore wind energy, Gerand Van Bousel, The Netherlands, 2003.
2. Offshore technology website
http://www.offshorewindenergy.org/ca-owee/indexpages/Offshore_technology.php
3. Wind Directions, Christian Kjaer, Sept. 2009, Opening up offshore, Vol. 28, σελ. 13-52
4. Large wind turbines, Design and Economics, Robert Harrison, Erich Hau, Herman Snel, Wiley, 2000
5. Offshore wind energy- research on environmental impacts, Julia Koeller, Johann Koepfel, Peters Wolfgang, Berlin, Springer, 2006.
6. Περιβαλλοντική διερεύνηση των παράκτιων εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με έμφαση στις βιολογικές επιπτώσεις, Πτυχιακή εργασία, Τριανταφυλλίδου Μαριάννα, ΕΜΠ, 2012

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

8.1 Εκτίμηση κόστους επένδυσης

Όπως προκύπτει από πολλές αναφορές το κόστος εγκατάστασης των θαλάσσιων αιολικών πάρκων διαφοροποιείται από πάρκο σε πάρκο ακόμα και στην ίδια χώρα, παραδείγματος χάρι στη Δανία, όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα.



Εικόνα 7.1¹ Κόστος εγκατάστασης θαλάσσιων αιολικών πάρκων στην Δανία

Όμως, διαφοροποιήσεις προκύπτουν και στις εκτιμήσεις φορέων με εμπειρία στον χώρο των οικονομοτεχνικών αναλύσεων ως προς το κόστος εγκατάστασης των θαλάσσιων αιολικών πάρκων, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

	Φορείς		
	EWEA	(RODSAND II)	Ernst & Young
Κόστος (€/kW)	1680	2077	3680

Πίνακας 7.1² Διαφορετικές εκτιμήσεις κόστους για το ίδιο θαλάσσιο πάρκο

Διαπιστώνεται επίσης ότι, σε όλες τις περιπτώσεις το κόστος εγκατάστασης θαλάσσιων αιολικών πάρκων είναι γενικά αυξημένο σε σχέση με αυτό των αιολικών πάρκων στη ξηρά

¹ Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

² ENERTECH 2009

ακόμα και για μικρά βάθη εγκατάστασης και μικρή απόσταση από την ακτή (βάθος μικρότερο των 10 μέτρων, απόσταση έως 10 χιλιόμετρα από την ακτή). Καθώς το βάθος αυξάνει και η απόσταση από την ακτή μεγαλώνει, το κόστος εγκατάστασης αυξάνει ραγδαία υπερδιπλασιάζοντας σε πολλές περιπτώσεις το κόστος σε σχέση με αυτό των αιολικών πάρκων στην ξηρά.

Σύμφωνα με μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Περιβάλλοντος (European Environment Agency) , το βάθος επηρεάζει πολύ το κόστος εγκατάστασης αφού ένα θαλάσσιο πάρκο σε βάθος 40-50 μέτρα μπορεί να έχει έως και 40% μεγαλύτερο κόστος σε σχέση με ένα παρόμοιο πάρκο σε μικρότερο βάθος (έως 20 μέτρα). Στην ίδια μελέτη διαπιστώνεται ότι και η απόσταση από την ακτή και ιδιαίτερα από το σημείο της τελικής προσαιγιάλωσης του υποβρύχιου καλωδίου σύνδεσης επηρεάζει σημαντικά το κόστος εγκατάστασης των θαλάσσιων αιολικών πάρκων. Έτσι, ενώ για αποστάσεις έως 10 χιλιόμετρα δεν υπάρχει επιβάρυνση του κόστους βάσης που υπολογίζεται σε 1800 €/KW, για αποστάσεις 20-30 χιλιόμετρα υπολογίζεται μια επιβάρυνση 4% ενώ για αποστάσεις 50-100 χιλιόμετρα η επιβάρυνση ξεπερνά το 18%. Η επιβάρυνση αυτή είναι αποτέλεσμα τόσο του αυξημένου κόστους διασύνδεσης, όσο και των επιπλέον δυσκολιών που αντιμετωπίζονται κατά την ανέγερση του σταθμού, αφού αυξάνεται ο χρόνος διαδρομής από και προς το πάρκο και μικραίνουν τα χρονικά περιθώρια, καθώς δεν επικρατούν πάντα οι κατάλληλες για την εγκατάσταση των σταθμών, κλιματολογικές συνθήκες.

Για τον υπολογισμό του μοναδιαίου κόστους εγκατάστασης συναρτήσει του βάθους εγκατάστασης χρησιμοποιείται η παρακάτω εξίσωση για κάθε ανεμογεννήτρια ξεχωριστά. Η σχέση αυτή βασίζεται στα στοιχεία της μελέτης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Περιβάλλοντος και τις εκτιμήσεις σχετικά με το κόστος εγκατάστασης ανεμογεννητριών στη θάλασσα συναρτήσει του βάθους. Εφόσον δεν μπορεί να εκτιμηθεί με σχετική ακρίβεια το βάθος στη θέση εγκατάστασης, υπολογίζεται η δυσμενέστερη περίπτωση.

$$K = 0.45 * B^2 - 2.5 * B + 1700$$

όπου

K : μοναδιαίο κόστος ανεμογεννήτριας σε €/KW και

B: βάθος εγκατάστασης ανεμογεννήτριας σε m

Το μοναδιαίο κόστος εγκατάστασης προκύπτει από τον μέσο όρο του κόστους μετά την εφαρμογή της παραπάνω σχέσης για το σύνολο των προτεινόμενων προς χωροθέτηση ανεμογεννητριών. Η παραπάνω σχέση εφαρμόζεται για θαλάσσιους αιολικούς σταθμούς με βάθος εγκατάστασης έως και 80 m. Πέραν του βάθους αυτού, η μόνη τεχνολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι αυτή των πλωτών κατασκευών.

Εκτός από το βάθος, το κόστος εγκατάστασης ενός θαλάσσιου αιολικού πάρκου επηρεάζεται και από την απόσταση από την ακτή. Η απόσταση από την ακτή επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το

κόστος διασύνδεσης του πάρκου με το δίκτυο καθώς μεταβάλλεται ο σχεδιασμός της εφαρμοζόμενης λύσης διασύνδεσης. Το κόστος αυτό διαφοροποιείται ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία διασύνδεσης DC ή AC, τη μεταφορική ικανότητα και τον αριθμό των χρησιμοποιούμενων καλωδίων. Ως εκ τούτου, κρίνεται ότι ο υπολογισμός του κόστους διασύνδεσης ενός θαλάσσιου αιολικού πάρκου, ενδείκνυται να γίνεται με βάση το τεκμαρτό κόστος των βασικών στοιχείων διασύνδεσης, όπως αυτό προκύπτει από τυποποιήσεις των διαθέσιμων λύσεων της αγοράς³.

Στην Ελλάδα δεν έχει κατασκευαστεί ακόμα υπεράκτιο αιολικό πάρκο. Για αυτό το λόγο δεν υπάρχουν και διαθέσιμα στοιχεία για τις ακριβείς τιμές των εξόδων εγκατάστασης και λειτουργίας. Βεβαίως, υπάρχουν μελέτες βάση των όποιων στηριχτήκαν οι αιτήσεις που κατατέθηκαν στη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας αλλά δυστυχώς μετά από επικοινωνία δεν καταστεί δυνατή η συνεργασία για παροχή πληροφοριών.

Για τους παραπάνω λόγους η τεχνοοικονομική μελέτη βασίζεται σε παραδοχές των περισσότερων στοιχείων σε προσέγγιση και σε δεδομένα που υπάρχουν από παλαιότερη μελέτη που αφορά την θαλάσσια περιοχή κοντά στη βραχονησίδα Ψείρα του νομού Λασιθίου Κρήτης⁴.

Παραδοχές

- Χρησιμοποιήθηκαν 10 ανεμογεννήτριες τύπου Vestas V80 offshore με ονομαστική ισχύ 2MW
- Οι υπολογισμοί έγιναν με ενδεικτικές τιμές και με βάση ότι σε σχέση με το συνολικό κόστος η εγκατάσταση αιολικού πάρκου απαιτείται το 30 % των συνολικών δαπανών, το υποθαλάσσιο κύκλωμα το 27 %, το ηλεκτρικό σύστημα επίβλεψης και ελέγχου το 12 %, οι ανεμογεννήτριες το 11 %, η συλλογή πληροφοριών και η ανάλυσή τους το 6 %, η λειτουργία και η συντήρηση το 5 %, ο σχεδιασμός και η μελέτη της περιοχής το 5 % και η ασφάλεια της εγκατάστασης το 4%.
- Λόγω του ότι η περιοχή που θα κατασκευαστεί το αιολικό πάρκο είναι θαλάσσια η τραχύτητα του εδάφους που λαμβάνουμε είναι μηδέν
- Η θαλάσσια περιοχή που θα κατασκευαστεί το υπεράκτιο αιολικό πάρκο θα απέχει από τη στεριά περίπου 10Km, θα είναι έκτασης 2Km και πλάτους 5-10 μέτρων.
- Η περιοχή έχει αξιόλογο αιολικό δυναμικό
- Οι ανεμογεννήτριες θα τοποθετηθούν σε πλωτές πλατφόρμες, αφού το βάθος της θάλασσας στο σημείο εγκατάστασης είναι 60 μέτρα.
- Οι υπολογισμοί για το αιολικό δυναμικό παρήχθησαν από ανεμόπτερα σε ύψος 80 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας.

³ Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

⁴ Βελγάκη Ε, Βασιλειάδης Α

- Οι υπολογισμοί που έγιναν με τη χρήση του λογισμικού WASP ήταν η εκτίμηση αιολικού δυναμικού και ο υπολογισμός της ετησίας παράγωγης ανεργίας από τις 10 ανεμογεννήτριες των 2MW η καθεμία.
- Η δυνατότητα πρόσβασης στο αιολικό πάρκο (accessibility) καθορίστηκε χρησιμοποιώντας τα παρακάτω κριτήρια:
 1. Η πρόσβαση στις ανεμογεννήτριες δεν είναι δυνατή για ταχύτητες ανέμου πάνω από 10m/s.
 2. Ο υπολογισμένος χρόνος μη δυνατής πρόσβασης θα πολλαπλασιαστεί με έναν παράγοντα 2.5 λόγω των κυμάτων που προκαλούνται από τους ισχυρούς ανέμους.
- Η διαθεσιμότητα (availability) του αιολικού πάρκου καθορίστηκε με βάση τα παρακάτω:
 1. Κάθε ανεμογεννήτρια χρειάζεται μια προγραμματισμένη ετήσια επίσκεψη για service που απαιτεί τη διακοπή λειτουργίας για 3 ημέρες (72 ώρες)
 2. Κάθε ανεμογεννήτρια υπόκειται σε δύο μη αναμενόμενες διακοπές λειτουργίες μέσα στο χρόνο, όπου απαιτείται επισκευή (repair) ή πρόσθετη συντήρηση (maintenance). Ο απαιτούμενος χρόνος είναι πάλι 72 ώρες.

Τα δεδομένα που εισήχθησαν στο WASP είναι:

- Ο χάρτης σε format WASP (.map) όπου έχουν επεξεργαστεί και έχουν οριστεί ισοϋψείς που ορίζουν τη διαφορετική τραχύτητα στην ξηρά και στη θάλασσα. Έτσι για την ισοϋψή γύρω από την κορυφογραμμή εγκατάστασης του ανεμογράφου ορίστηκε τραχύτητα εδάφους $z=0.03m$ ενώ στη θάλασσα όπου είναι οι ανεμογεννήτριες είναι μηδέν⁵.
- Ο Wind Atlas που περιέχει το μετεωρολογικό σταθμό (ανεμογράφο) και δεδομένα των μετρήσεων.
- Η καμπύλη παραγωγής μιας τυπικής ανεμογεννήτριας Vestas V80 offshore 2MW βάση της οποίας υπολογίσθηκε η παραγόμενη ενέργεια.
- Και, τέλος, η χωροθέτηση του αιολικού πάρκου (offshore) που περιέχει τις ακριβείς συντεταγμένες των Α/Γ .

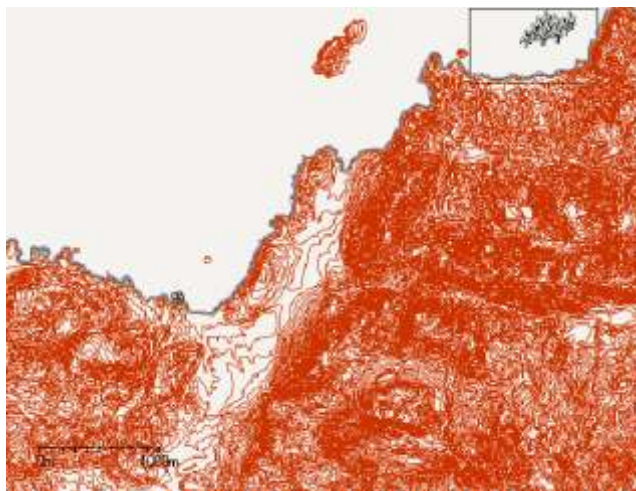
A/A	X	Y
A/Γ 01	675603	3895441
A/Γ 02	675833	3895664
A/Γ 03	676061	3895889
A/Γ 04	676286	3896114

⁵ Μπιτζιώνης Β και Δ, σελ 418 κε

A/Γ 05	676122	3895527
A/Γ 06	676349	3895751
A/Γ 07	676576	3895976
A/Γ 08	676631	3895609
A/Γ 09	676858	3895833
A/Γ 10	677085	3896058

Πίνακας 7.2⁶ Συντεταγμένες των ανεμογεννητριών στο υπεράκτιο αιολικό πάρκο

Το WAsP μπορεί να μας δώσει προβλέψεις για την παραγόμενη ετήσια ενέργεια του πάρκου στα 80m από την επιφάνεια της θάλασσας καθώς και αναλυτικά στοιχεία για κάθε ανεμογεννήτρια που έχουν να κάνουν με τη μέση ταχύτητα, σκίαση από γειτονικές ανεμογεννήτριες και απώλειες ανά περιοχή διεύθυνσης του ανέμου. Παρακάτω φαίνεται ο χάρτης με την χωροθέτηση των ανεμογεννητριών, την περιοχή ενδιαφέροντος και η περιοχή όπου βρίσκεται ο ανεμογράφος.



Εικόνα 7.2 Χάρτης περιοχής εγκατάστασης υπεράκτιου αιολικού πάρκου

Στον ακόλουθο πίνακα παρατίθενται οι παραδοχές για την κατασκευή του υπεράκτιου αιολικού πάρκου.

Αριθμός Ανεμογεννητριών	10
Τύπος Ανεμογεννητριών	Vestas V80 offshore
Ισχύς Αιολικού Πάρκου	20MW
Μέση Ταχύτητα Ανέμου	5,94m/s
Ύψος μετρήσεων από το έδαφος	60m
Συνολική παραγωγή ενέργειας	18400MWh

Πίνακας 7.3⁷ Παραδοχές κατασκευής υπεράκτιου αιολικού πάρκου

⁶ Βελγάκη Ε, Βασιλειάδης Α

Συμφώνα με υπολογισμούς του εργαστηρίου μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών οι παράμετροι C και K της κατανομής Weibull για την εν λόγω περιοχή είναι $C_0 = 5,53$ και $K_0 = 1.32$ ⁸. Συμφώνα με τα υπάρχοντα στοιχεία θα έχουμε $\alpha=0,1$, παράμετρος εκθετικής κατανομής ταχύτητας που υπολογίζεται από την εξίσωση Justus (1978) και που είναι:

$$\alpha = \frac{0.37 - 0.088 * \ln(V_z)}{1 - 0.088 * \ln\left(\frac{h_z}{10}\right)}$$

Θεωρώντας ύψος αναφοράς $h_z = 10m$ και ύψος τοποθέτησης ανεμογεννητριών $h_x = 60m$ θα έχουμε:

$$\frac{C_{12}}{C_0} = \left(\frac{h_x}{h_z}\right)^\alpha \Rightarrow C_{12} = 6.62m/s$$

$$K_{12} = K_0 * \frac{1 - 0.088 * \ln\left(\frac{h_z}{10}\right)}{1 - 0.088 * \ln\left(\frac{h_x}{10}\right)} \Rightarrow K_{12} = 1.57$$

Η μέση ταχύτητα του ανέμου, υπολογίζεται από την εμπειρική σχέση του Lysen (1983)⁹ και σε ύψος 12m κατά προσέγγιση θα είναι:

$$V_{\mu 12} = C_{12} * \left(0.568 + \frac{0.433}{K_{12}}\right)^{\frac{1}{K_{12}}} \Rightarrow V_{\mu 12} = 5.94m/s$$

Για πυκνότητα του αέρα $\rho_a = 1.25 \frac{kg}{m^3}$, διάμετρο πτερυγίων $D=80m$ (στοιχεία κατασκευαστή), συντελεστή ισχύος $C_p = 0.38$ (συνήθως), συντελεστή απόδοσης της ανεμογεννήτριας $C_{H/M} = 0.9$, που εξαρτάται από τις απώλειες κενού φορτίου, οι οποίες λαμβάνονται στο 10% της ονομαστικής ισχύος, έχουμε:

$$P_{\mu 12} = \frac{1}{2} * \rho_a * A * V_{\mu 12}^3 * C_p * C_{H/M}$$

$A=$ η επιφάνεια σάρωσης της φτερωτής της ανεμογεννήτριας σε m^2

$$A = \pi * \frac{D^2}{4} = 5026m^2$$

και

$$P_{\mu 12} = 228121W = 228,12KW$$

⁷ Μπιτζιάνης Β και Δ, σελ 436 κε

⁸ οπ

⁹ Μπιτζιάνης Β και Δ, σελ 449

Για τη διάρκεια όλου του χρόνου θα έχουμε $t=365*24=8760$ ώρες

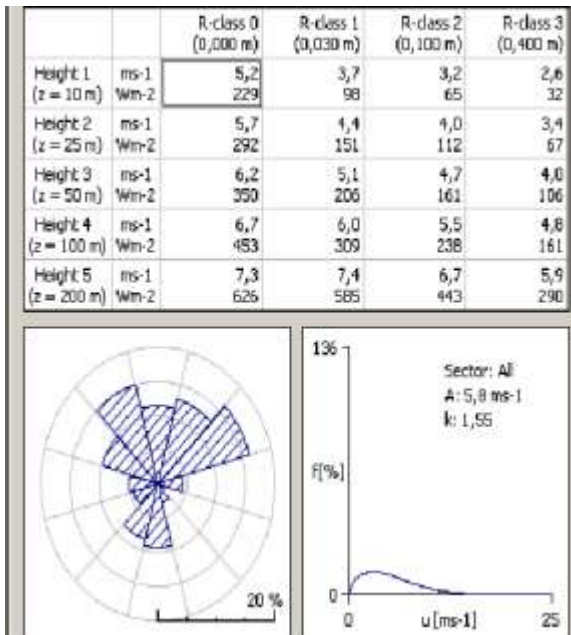
$$E_{12} = P_{12} * t = 1998340KWh = 1998,3MW$$

για τη μια ανεμογεννήτρια κατά μέσο όρο και για τις δέκα ανεμογεννήτριες

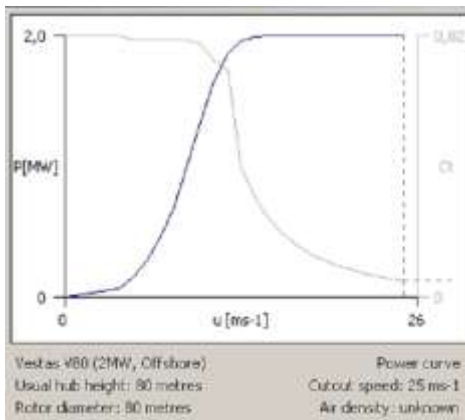
$$1998,3MW * 10 = 19983MW$$

Αφαιρώντας τις απώλειες λόγω μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας $\eta_{γρ} = 3\%$ και το συντελεστή μηχανικής διάθεσης $\eta_{\Delta} = 95\%$ η τελική συνολική παραγόμενη ισχύς θα είναι $18400MW$

Τα ανεμολογικά δεδομένα δίνουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά ανέμου



Εικόνα 7.3 Χαρακτηριστικά ανέμου στην περιοχή μελέτης



Εικόνα 7.4¹⁰ Καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας Vestas offshore 2MW

Με βάση τις προσομοιώσεις λειτουργίας του υπεράκτιου αιολικού πάρκου, η ετησία παράγωγή ενέργειας θα είναι 18400GWh και σύμφωνα με το διαδικτυακό χώρο της ΔΕΣΜΗΕ¹¹ η τιμή αγοράς της παραγόμενης ενέργειας είναι 90 ευρώ/MWh και προσαρμόζεται ετησίως με βάση τη μεσοσταθμική μεταβολή των τιμολογίων της ΔΕΗ. Για τις ανάγκες της εργασίας γίνεται η παραδοχή σταθερής τιμής αγοράς της παραγόμενης ενέργειας για όλο το χρόνο λειτουργίας του έργου (25 έτη). Συνεπώς, για την παραπάνω τιμή η ετησία εισροή χρημάτων θα είναι: 1,656,000 ευρώ.

8.2 Έξοδα

Τα έξοδα αυτά χωρίζονται σε έργα υποδομής και σε ηλεκτρομηχανολογικά έργα που αφορούν μόνο το υπεράκτιο αιολικό πάρκο (εξοπλισμός, μελέτες, εγκατάσταση).

Όσο αφορά τα έργα υποδομής, έχουν να κάνουν κυρίως με κρητικές εγκαταστάσεις. Υπολογίζεται ότι ένα κτήριο σόλικης επιφάνειας 250m² αρκεί για να στεγάσει τον υποσταθμο, το προσωπικό και τους απαιτητούς αποθηκευτικούς χώρους.

Στους παρακάτω πίνακες γίνεται προσπάθεια υπολογισμού των εξόδων με βάση τιμές τιμοκαταλόγου εταιρειών, τιμές δημοσίων έργων για το 1 τρίμηνο του 2014 (ΥΠΕΚΑ), τον κανονισμό προεκτιμημένων αμοιβών μελετών και υπηρεσιών σύμφωνα με τον νομό 3316/2005 και ορισμένες εμπειρικές εκτιμήσεις.

A. Κτηριακές εγκαταστάσεις	Κόστος σε €
Κτήριο στέγασης υποσταθμού, προσωπικού, αποθήκες	150,000
Εξοπλισμός	50,000
Σύνολο A	200,000

B. Η/Μ εξοπλισμός	Κόστος σε €
Ανεμογεννήτρια (Vestas V80, 2MW offshore κοστίζει 800,000 €. Θα χρησιμοποιηθούν 10 τεμάχια.	8,000,000
Ηλεκτρικό σύστημα επίβλεψης και έλεγχου	3,000,000
Σύνολο B	11,000,000

Γ. Έξοδα θαλασσιών κατασκευών	Κόστος σε €
Εγκατάσταση αιολικού πάρκου σε πλωτήρα πολλαπλών ανεμογεννητριών	10,150,430

¹⁰ Μπιτζιώνης Β και Δ, σελ 475

¹¹ ΔΕΣΜΗΕ

Υποθαλάσσιο κύκλωμα	8,035,570
Σύνολο Γ	18,186,200

Δ. Έξοδα Μελετών	Κόστος σε €
Σχεδιασμός και μελέτη περιοχής	500,000
Μελέτη Περιβαλλοντικών επιπτώσεων	200,000
Σύνολο Δ	700,000

Σύνολο κόστους επένδυσης (Α+Β+Γ+Δ) = 30,086,000 €

Ετήσιες λειτουργικές δαπάνες	
Πληρωμές προσωπικού	Κόστος σε €
Για τη λειτουργία του σταθμού κατά τη διάρκεια του έτους απαιτούνται ένας μηχανικός και ένας τεχνικός σε τρεις βάρδιες. Οι βάρδιες θα καλυφτούν από τέσσερα άτομα. Θεωρώντας μηνιαίο μισθό μηχανικού 1500 € και τεχνικού 1200 € η ετησία επιβάρυνση θα είναι: 4 τεχνικοί x 14 μήνες x 1200 € = 67200 € 1 μηχανικός x 14 μήνες x 1500 € = 21000 €	88,200
Αμοιβή προσωπικού γραφείου: Εκτιμάται ότι για τη λειτουργία του τμήματος λογιστηρίου θα απαιτηθούν δυο άτομα. Θεωρώντας μισθό 1000 € η ετησία επιβάρυνση της εταιρείας θα είναι: 2 άτομα x 14 μήνες x 1000€= 28,000 €	28,000
Έξοδα ασφάλισης	200,630
Έξοδα συντήρησης	150,670
Γενικά έξοδα (λογαριασμοί ηλεκτρικού ρεύματος, νερού, θέρμανσης κλπ)	10,000
Σύνολο λειτουργικών εξόδων	477,500

8.3 Πόροι για τη χρηματοδότηση του έργου

Με βάση τους αναπτυξιακούς νομούς 3299/2004 και 3908/2011 αλλά και τον επενδυτικό νομό 4146/2013¹² και σύμφωνα με την ως άνω οικονομική ανάλυση του έργου, αυτό ανήκει στην κατηγορία των μεσαίων επιχειρήσεων. Η περιοχή εγκατάστασης του έργου υπάγεται στην Β γεωγραφική ζώνη, σύμφωνα με τη νομοθεσία, και τα ποσοστά επιχορήγησης ή / και επιδότησης χρηματοδοτικής μίσθωσης (leasing) ή επιδότησης του κόστους της δημιουργούμενης απασχόλησης είναι 50% ενώ το ποσοστό φορολογικής απαλλαγής είναι 100% (ίδια ποσοστά για μικρές και πολύ μικρές επιχειρήσεις) για τα πρώτα 10 έτη. Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης, θεωρείται ότι η επιχείρηση που θα συσταθεί θα λειτουργεί ως ανώνυμη (Α.Ε) και θα λάβει επιχορήγηση 50% για τις δαπάνες που προβλέπονται και επιπλέον φορολογική απαλλαγή 100% για τα εισοδήματα της πρώτης 10ετίας λειτουργίας. Η ίδια συμμετοχή θα ανέλθει σε 35% και το υπολειπόμενο ποσό, 15%, θα καλυφτεί με τραπεζικό δάνειο με περίοδο αποπληρωμής 10 έτη και σταθερό επιτόκιο 6%.

Συνεπώς, το κόστος επένδυσης θα καλυφτεί ως εξής:

- Επιχορήγηση: το 50% του κόστους της επένδυσης: 15,043,000 €
- Ίδια κεφάλαια: το 35% του κόστους της επένδυσης: 10,530,100 €
- Τραπεζικός δανεισμός: το 15% του κόστους της επένδυσης: 4,512,900 €

Παραδοχές

- Ο δανεισμός θα είναι 10 ετών, με επιτόκιο ευκαιρίας 6% και σταθερό για όλη τη διάρκεια του δανεισμού
- Η φορολογία θα αντιστοιχεί σε ποσοστό 25% των καθαρών κερδών της επιχείρησης
- Ο καθορισμός του κόστους KWh έγινε χρησιμοποιώντας τις παρακάτω υποθέσεις:
 1. Το κόστος συντήρησης είναι το 12.5% του συνολικού κόστους επένδυσης ανά χρόνο.
 2. Η διάρκεια ζωής της επένδυσης του αιολικού πάρκου είναι 25 έτη.
 3. Οι αποσβέσεις του κεφαλαίου επένδυσης θα γίνουν σε 10 έτη προκειμένου να αξιοποιηθεί η ευνοϊκή απαλλαγή τους από τη φορολόγηση και για κάθε έτος θα είναι κόστος επένδυσης – ποσό επιχορήγησης/10 έτη = 1,504,300 €

8.4 Βιωσιμότητα του επενδυτικού σχεδίου

Στον παρακάτω πίνακα γίνεται υπολογισμός βασικών οικονομικών μεγεθών από τους οποίους μπορούν να γίνουν πρώτες εκτιμήσεις ως προς τη βιωσιμότητα της επένδυσης. Από της χρηματοροές και ειδικότερα από την τελευταία στήλη των συνολικών ροών προκύπτουν

¹² Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας

καταρχάς ενθαρρυντικά μεγέθη ως προς την σκοπιμότητα της επένδυσης, καθότι αυτή παραμένει θετική σε όλη τη διάρκεια της επένδυσης και συνολικά για την εικοσιπενταετία προκύπτει 18,545,610 €. Εάν στο ποσό αυτό προστεθεί και η απομένουσα αξία της επένδυσης, εκτιμώμενη στο 15% της αρχικής (δηλαδή 4,512,900 €) τότε η επένδυση φαίνεται κερδοφόρα¹³. Ο επενδυτής θα προβεί φυσικά σε αναλυτικότερη οικονομική μελέτη που θα περιλαμβάνει και μελέτη κόστους/οφέλους όπως και σε αναλυτική τεχνική μελέτη.

¹³ Καλδέλης Ι σελ 377 - 418

Έτη	Έσοδα από πώληση ενέργειας	Λειτουργικές δαπάνες	Κέρδη (προ αποσβέσεων, τόκων και φόρων)	Τόκοι δανείων	Υπολειπόμενο δάνειο	Αποσβέσεις	Φορολογητέο	Φόροι	Πληρωμές δανείου	Σύνολο εισροών
1	1656000	477500	1178500	270774	4512900	1504300			902580	275920
2	1656000	477500	1178500	232866	3881094	1504300			776219	402281
3	1656000	477500	1178500	200264	3337741	1504300			734303	444197
4	1656000	477500	1178500	168222	2803702	1504300			700926	477574
5	1656000	477500	1178500	136260	2270999	1504300			567750	610750
6	1656000	477500	1178500	110371	1839509	1504300			735804	442696
7	1656000	477500	1178500	72845	1214076	1504300			485630	692870
8	1656000	477500	1178500	85603	1426723	1504300			856034	322466
9	1656000	477500	1178500	26619	443645	1504300			443645	734855
10	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
11	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
12	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
13	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
14	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
15	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
16	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
17	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
18	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
19	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
20	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
21	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
22	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
23	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
24	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
25	1656000	477500	1178500				1178500	294625		883875
Σύνολα	41400000	11937500	29462500	1303823	21730390	13538700	18856000	4714000	6202890	18545610

8.5 Βιβλιογραφία

1. Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
http://www.rae.gr/site/file/categories_new/about_rae/actions/decision/2012_A0054?p=files&i=0
2. ENERTECH 2009, Athens, Sten Frandsen (Riso DTU), WPM etc
<http://www.dei.com.gr/Images/FRANDSEN.pdf>
3. Βελγάκη Ελένη, Βασιλειάδης Αθανάσιος, Τεχνοοικονομική Μελέτη Θαλάσσιου Αιολικού Πάρκου 20 MW Στη Θέση Μόγλος του Δήμου Σητείας Του Νομού Λασιθίου
4. Εναλλακτικές μορφές ενέργειας, Β. Μπιτζιώνης, Δ. Μπιτζιώνης, εκδόσεις Τζιόλα, 2011
5. ΔΕΣΜΗΕ
<http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periexomena/timologisi-energeias-ape/>
6. Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας
http://www.mindev.gov.gr/?page_id=3739
7. Vestas website www.vestas.com
8. Διαχείριση της αιολικής ενέργειας, Καλδέλης Ι, εκδόσεις Σταμούλης, 1999

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- Κατά την τελευταία δεκαετία το ενδιαφέρον της Ευρωπαϊκής κοινότητας ΑΠΕ έχει στραφεί στην μελέτη και κατασκευή υπεράκτιων αιολικών πάρκων, γιατί διαπιστώθηκε ότι αποτελούν μια ελκυστική λύση, που θα συμβάλλει στο να επιτύχει η Ευρωπαϊκή Ένωση το στόχο της για το 2020, που είναι το 20% της παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας να προέρχεται από ΑΠΕ.
- Για να επιτευχθεί ο στόχος των 40 GW υπεράκτιας αιολικής ενέργειας μέχρι το 2020 στην Ευρώπη θα πρέπει να γίνουν ουσιαστικές αλλαγές στη τεχνολογία που χρησιμοποιείται σήμερα, σύμφωνα με την EWEA (The European Wind Energy Association).
- Σήμερα είναι εγκατεστημένα 1.6 GW στην Ευρώπη και αυτό δείχνει ότι ο τομέας είναι ακόμα σε πειραματικό στάδιο. Συνεπώς, η υπεράκτια ενέργεια πρέπει να ληφθεί υπόψη θεωρηθεί σαν ένας ξεχωριστός και ευδιάκριτος τομέας από τη καθιερωμένη χερσαία βιομηχανία.
- Ως κύριος σκοπός στα επόμενα χρόνια θα πρέπει να είναι η τυποποίηση των διαδικασιών εγκατάστασης και η ανάπτυξη αποκλειστικών υπεράκτιων ανεμογεννητριών.
- Η υπεράκτια αγορά σήμερα εφοδιάζεται από έξι κύριους κατασκευαστές κυρίως με προσαρμογές των χερσαίων μηχανών. Αφού το υπεράκτιο περιβάλλον δεν περιορίζει σε μεγάλο βαθμό το σχεδιασμό των μηχανών σε επίπεδο αισθητικό και θορύβου, οι τομείς που θα πρέπει να εξελιχθούν οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες είναι οι θαλάσσιες συνθήκες, η διάβρωση και η αξιοπιστία.
- Σε βάθος χρόνου, αυτό θα οδηγήσει σε μια σημαντική τροποποίηση των χερσαίων μηχανών και εν τέλει σε ανεμογεννήτριες ειδικά σχεδιασμένες για το υπεράκτιο περιβάλλον.
- Μια τέτοια τάση απεικονίζεται στη νέα γενιά υπεράκτιων ανεμοκινητήρων που έρχονται στην αγορά να αντικαταστήσουν τις τυπικές μηχανές των 2-3 MW. Αυτοί οι μεγαλύτεροι σχεδιασμοί (της τάξης περίπου των 5 MW) προορίζονται μόνο για το υπεράκτιο περιβάλλον.
- Με τη συνεχή εξέλιξη της υπεράκτιας βιομηχανίας θα υπάρχει τάση για κατασκευές σε όλο και σε μεγαλύτερα βάθη με κλασικές μεθόδους στήριξης αλλά και με τη χρήση πλωτήρων πολλαπλών ανεμογεννητριών
- Στον αντίποδα αυτής της τάσης, υπάρχει η τεκμηριωμένη άποψη ότι κινούμενοι περισσότερο υπεράκτια, αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου και το αιολικό δυναμικό αλλά μειώνεται η διαθεσιμότητα λόγω των πιο συχνών και έντονων καιρικών φαινομένων (καταιγίδες, θύελλες κλπ).

- Ακόμα, ένα βασικό σημείο στην υπεράκτια κατασκευαστική διαδικασία είναι η διαθεσιμότητα αποτελεσματικότερων σκαφών για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, των καλωδίων και των διαφόρων υποδομών. Τα σκάφη που χρησιμοποιούνται σήμερα δεν είναι ιδανικά για τη γρήγορη επέκταση της υπεράκτιας βιομηχανίας. Ο υπεράκτιος τομέας χρειάζεται αποκλειστικά σκάφη για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών στα μεσαία βάθη και σκάφη που θα λειτουργούν περισσότερες ημέρες το χρόνο σε σύγκριση με τις 180 ημέρες που υπολογίζονται σήμερα.
- Επιπλέον, χρειάζονται λιμενικές εγκαταστάσεις που θα έχουν μεγάλο βάθος και ενισχυμένες αποβάθρες για να μπορούν να δέχονται τον μεγάλο όγκο και βάρος των ανεμογεννητριών. Επίσης μεγάλες αποθηκευτικές περιοχές θα χρειαστούν, αλλά και κατάλληλοι οδικοί άξονες για τη μετακίνηση των βάσεων και των γερανών.
- Ένα σημαντικό πρόβλημα των υπεράκτιων αιολικών πάρκων ενδέχεται να έχει επιπτώσεις στο οικοσύστημα. Συνεπώς, θα πρέπει να εξετάζεται η κατάσταση όσον αφορά τα ψάρια, τα θαλάσσια θηλαστικά και πτηνά στην περιοχή.
- Στην Ελλάδα επιλέγονται επενδύσεις σε χερσαίες μονάδες αιολικών πάρκων, λόγω εμπειρίας και χαμηλότερου κόστους αλλά και έλλειψη ενθάρρυνσης από το Κράτος ή και προσκόμματα που δημιουργούν κενά και ασάφειες του νόμου.
- Συνέπεια τούτου, είναι η απουσία καταγραφής του αιολικού δυναμικού στον θαλάσσιο χώρο της Ελλάδος και, ως εκ τούτου, οι πιθανές περιοχές εκμεταλλευσιμότητας περιορίζονται σε ηπειρωτικές ή νησιωτικές περιοχές που διαθέτουν διαπιστωμένο εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό.
- Προβληματισμοί, επίσης, εκφράζονται για το κατά πόσο θα παραμείνει μακροπρόθεσμα η υψηλή τιμή αγοράς της παραγόμενης από ΑΠΕ ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Διαχείριση της αιολικής ενέργειας, Καλδέλης Ι, εκδόσεις Σταμούλης, 1999
- [2] Ανεμοκινητήρες, Μπεργελές Γ., εκδόσεις Συμεών, 2005
- [3] Αριθμητική ανάλυση της θεμελίωσης θαλάσσιων ανεμογεννητριών με Μονοπασσάλους, Πτυχιακή Εργασία, Χρήστου Όλγας,- Λύδας, ΕΜΠ, 2012
- [4] Εναλλακτικές μορφές ενέργειας, Β. Μπιτζιώνης, Δ. Μπιτζιώνης, εκδόσεις Τζιόλα, 2011
- [5] Εισαγωγή στην ανάλυση πτερυγίων Ανεμογεννήτριας, Μεταπτυχιακή εργασία, Παύλου Ευαγγελία, ΕΜΠ, 2011
- [6] Πηγές ενέργειας, Συμβατικές και Ανανεώσιμες, Γελεγένης Ι, Αξαόπουλος Π, εκδόσεις Σύγχρονη Εκδοτική, 2005
- [7] Εκτίμηση αιολικού δυναμικού στον Ελληνικό Θαλάσσιο χώρο και προτάσεις για Υπεράκτια Αιολικά πάρκα, Μεταπτυχιακή εργασία, Φυτίλης Δημήτριος, ΕΜΠ, 2012
- [8] Περιβαλλοντική διερεύνηση των παράκτιων εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας με έμφαση στις βιολογικές επιπτώσεις, Πτυχιακή εργασία, Τριανταφυλλίδου Μαριάννα, ΕΜΠ, 2012
- [9] Αεροελαστική Ανάλυση Τυπικής Διάταξης Αεροτομής Με Παραμορφούμενη Γωνία Εκφυγής, Πτυχιακή εργασία, Σπύρος Βουτσινάς, ΕΜΠ 2007
- [10] Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα, Πτυχιακή εργασία, Καλογεροπούλου Τζαννέτα, ΕΜΠ, 2010
- [11] Αεροδυναμική Ανάλυση Πλωτών Ανεμοκινητήρων, Πτυχιακή εργασία, Κούκουρα Χριστίνα, ΕΜΠ, 2011
- [12] Υπολογισμός φορτίσεων από τα κύματα σε θαλάσσιες κατασκευές έδρασης πλωτών ανεμογεννητριών με χρήση του τύπου του Morison, Πτυχιακή εργασία, Μακρή Κ, ΕΜΠ, 2013
- [13] Οικονομική μελέτη και αξιολόγηση κατασκευής αιολικών πάρκων στην Ελληνική επικράτεια, Πτυχιακή εργασία, Αργυρός Νικόλαος, ΕΜΠ, 2011
- [14] Αριθμητική ανάλυση της θεμελίωσης θαλάσσιων ανεμογεννητριών με Μονοπασσάλους, Πτυχιακή Εργασία, Χρήστου Όλγας,- Λύδας, ΕΜΠ, 2012
- [15] Βελγάκη Ελένη, Βασιλειάδης Αθανάσιος, Τεχνοοικονομική Μελέτη Θαλάσσιου Αιολικού Πάρκου 20 MW Στη Θέση Μόχλος του Δήμου Σητείας του Νομού Λασιθίου

- [16] Wang W. and Bai Y. (2010). Investigation on Installation of Offshore Wind Turbines. Journal Marine Science, DOI: 10.1007/s11804-010-9076-y
- [17] Roddier D., Cermelli C., Aubault A. and Weinstein A (2010). WindFloat: A floating foundation for offshore wind turbines. Journal of Renewable and Sustainable Energy 2,
- [18] Cermelli C., Aubault A., Dominique Roddier D. and McCoy T (2010). Qualification of a Semi-Submersible Floating Foundation for Multi-Megawatt Wind Turbines. Offshore Technology Conference held in Houston, OTC- 20674-PP, Texas, USA
- [19] Wind Directions, Christian Kjaer, Sept. 2009, Opening up offshore, Vol. 28
- [20] Large wind turbines, Design and Economics, Robert Harrison, Erich Hau, Herman Snel, Wiley, 2000
- [21] Offshore wind energy- research on environmental impacts, Julia Koeller, Johann Koepfel, Peters Wolfgang, Berlin, Springer, 2006
- [22] Offshore wind energy, Gerand Van Bousel, The Netherlands, 2003.
- [23] Sathyajith Mathew. Wind Energy fundamentals, resource analysis and economics. Berlin : Springer, 2006. 978-3-540-30905-5

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ – ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

ΔΕΣΜΗΕ

- <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periechomena/timologisi-energeias-apo-ape/>
- <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periechomena/timologisi-energeias-apo-ape/>

Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας

- http://www.rae.gr/old/SUB2/2_4.htm
- http://www.rae.gr/site/file/categories_new/about_rae/actions/decision/2012_A0054?p=files&i=0

Υπουργείο Ανάπτυξης και Ανταγωνιστικότητας

- http://www.mindev.gov.gr/?page_id=3739

Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής

- www.minenv.gr

Οδηγία 2009/28/EK του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου

- <http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=fIZekDiD%2Brg%3D&tabid=446&language=el-GR>

Υπεράκτια Αιολικά, Aquaret website

- www.aquaret.com/index.php?option=com_content&view=article&id=156&Itemid=299&lang=e

Σκάι website

- <http://www.skai.gr/news/environment/article/222367/pleonektimata-meionektimata-ton-ploton-anemogennitron/>

Ινστιτούτο Εργασίας ΓΣΕΕ

- <http://www.inegsee.gr/pdxb/INE%202008/diethni.htm>

Ευρωπαϊκή Επιτροπή: Έρευνα της Ευρωπαϊκής επιτροπής για τις τάσεις της ενέργειας έως το 2030,

- <http://bit.ly/123FejP>

Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

- <http://www.minenv.gr/4/42/00/sxedio.kya.ape.pdf>

Κοροβέσης Ε, Ανάπτυξη και περιβάλλον, σημειώσεις συνεδρίου, 2009

- www.rfenergy.gr/images/pdfs/GridConnectionPresentationMrKorovesis.pdf

Skaare B., Hanson TD, Yttervik R. and Nielsen, FG (2010). Dynamic Response and Control of the Hywind Demo Floating Wind Turbine. Statoil ASA Trondheim Norway,

- <http://www.ewec2010proceedings.info/ewea2011/papers/43.pdf>

Zande, Elker. Designing a wind farm. Wind Directions

- http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/WD/2009_july/Wind_energy_basics_July_2009.pdf

Technicalreview website

- http://www.technicalreview.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=290

Garyfallidou website

- http://www.garyfallidou.org/elec_prod/gr_windmills_advantages.html

Energypress website

- <http://www.energypress.gr/news/article/Problhmata-sthn-energeiakh-diasyndesh-twn-nhsiw>

Northernalliance website

- <http://www.northernalliance.co.uk/wind-turbine-insurance/>

Valentine website

- <http://windturbineins.com/>

Solarinsure website

- <http://www.solarinsure.com/wind-power-plant-insurance>

Buildings website

- http://www.buildings.gr/greek/aiforos/ananeosimes/wind_energy/eoliki.htm

Parapona-rodou website

- http://parapona-rodou.blogspot.com/2012/09/blog-post_3.html#.UqMOAvRdV1F

Aerostarwind website

- <http://www.aerostarwind.com/Why%20Two%20Bladed%20Rotors%20Make%20Sense.html>

Windpowerengineering website

- <http://www.windpowerengineering.com/design/teetering-toward-two-blade-turbines/>

Zeroenergybuildings website

- http://www.zeroenergybuildings.org/2012/03/blog-post_17.html

Offshorewindenergy website

- http://www.offshorewindenergy.org/ca-owee/indexpages/Offshore_technology.php

Imare website

- http://www.imare.de/en/marine_structures/technology_transfer/ofe_offshore_foundation/

Oedsonline website

- <http://oedsonline.com>

Offshoremoorings website

- www.offshoremoorings.org

Danish energy authority webpage

- <http://188.64.159.37/graphics/Publikationer/Havvindmoeller/kap03.htm>

Iowa State University website

- www2.econ.iastate.edu/classes/econ458/tesfatsion/Home458team.htm

Wagengineering website

- wagengineering.blogspot.gr/2013/08/offshore-substationsconverters-for-wind.html

Offshore Risk Quantification Analysis, Squerr Energy website

- <http://www.sgurreenergy.com/Products/ORQA.php>

Vestas website

- www.vestas.com

Offshore technology website

- http://www.offshorewindenergy.org/ca-owee/indexpages/Offshore_technology.php

ENERTECH 2009, Athens, Sten Frandsen (Riso DTU), WPM etc

- <http://www.dei.com.gr/Images/FRANDSEN.pdf>