



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**Μελέτη εγκατάστασης Αιολικού πάρκου για παραγωγή
ηλεκτρικής ενέργειας – Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Φωτίου Χρήστος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Ιούνιος 2022



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

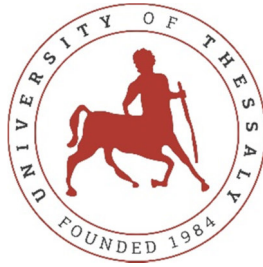
**Μελέτη εγκατάστασης Αιολικού πάρκου για παραγωγή
ηλεκτρικής ενέργειας – Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Φωτίου Χρήστος

Επιβλέπων: Μπαργιώτας Δημήτριος

Ιούνιος 2022



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF ENGINEERING

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND COMPUTER
ENGINEERING**

**Wind farm installation study for electricity generation -
Environmental effects**

MSc Thesis

Fotiou Christos

Supervisor: Bargiotas Dimitrios

June 2022

iii

Εγκρίνεται από την Επιτροπή Εξέτασης:

Επιβλέπων

Μπαργιώτας Δημήτριος

Αν. Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος 1

Πλέσσας Φώτιος

Αν. Καθηγητής, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών
Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Μέλος 2

Δασκαλοπούλου Ασπασία

Επίκουρος Καθηγήτρια, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και
Μηχανικών Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΠΕΡΙ ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΗΣ ΔΕΟΝΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΩΝ

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, δηλώνω ρητά ότι η παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, καθώς και τα ηλεκτρονικά αρχεία και πηγαίοι κώδικες που αναπτύχθηκαν ή τροποποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της εργασίας, αποτελούν αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλουν οποιασδήποτε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχουν έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης. Τα σημεία όπου έχω χρησιμοποιήσει ιδέες, κείμενο, αρχεία ή/και πηγές άλλων συγγραφέων αναφέρονται ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Δηλώνω επίσης ότι τα αποτελέσματα της εργασίας δεν έχουν χρησιμοποιηθεί για την απόκτηση άλλου πτυχίου. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Ο Δηλών

Φωτίου Χρήστος

DISCLAIMER ON ACADEMIC ETHICS AND INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS

Being fully aware of the implications of copyright laws, I expressly state that this MSc thesis, as well as the electronic files and source codes developed or modified in the course of this thesis, are solely the product of my personal work and do not infringe any rights of intellectual property, personality and personal data of third parties, do not contain work/contributions of third parties for which the permission of the authors/beneficiaries is required and are not a product of partial or complete plagiarism, while the sources used are limited to the bibliographic references only and meet the rules of scientific citing. The points where I have used ideas, text, files and/or sources of other authors are clearly mentioned in the text with the appropriate citation and the relevant complete reference is included in the bibliographic references section. I also declare that the results of the work have not been used to obtain another degree. I fully, individually and personally undertake all legal and administrative consequences that may arise in the event that it is proven, in the course of time, that this thesis or part of it does not belong to me because it is a product of plagiarism.

The Declarant

Fotiou Christos

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της Διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους που στάθηκαν δίπλα μου σε όλη μου την προσπάθεια που κατέβαλα.

Πρώτα από όλους θα ήθελα να ευχαριστήσω μέσα από την καρδιά μου τον επιβλέποντα, τον καθηγητή Μπαργιώτα Δημήτριο, για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε για την επιτυχή ολοκλήρωση και παρουσίαση της Διπλωματικής μου Εργασίας, καθώς και για την καθοδήγησή του, την εμπιστοσύνη και εκτίμηση που μου έδειξε και για την άψογη συνεργασία που είχαμε όλο αυτό το διάστημα.

Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω το ίδιο θερμά, τα μέλη της επιτροπής τους εξαιρετικούς καθηγητές, τον κ. Πλέσσα Φώτιο και την κα. Δασκαλοπούλου Ασπασία.

Επίσης θα ήταν παράλειψη να μην αναφερθώ στην οικογένεια μου. Πρώτα απ' όλα θέλω να ευχαριστήσω θερμά τη σύζυγο μου Σταματία, που στάθηκε δίπλα μου όλο αυτό το διάστημα που χρειάστηκε να εκπονήσω τη διπλωματική μου εργασία. Επίσης ευχαριστώ τα παιδιά μου Σοφία και Δημήτριο για την κατανόηση που δείξαν, όταν ήμουν απασχολημένος και δεν μπορούσα να ασχοληθώ μαζί τους όσο θα ήθελα.

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία
**Μελέτη εγκατάστασης Αιολικού πάρκου για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας –
Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**

Φωτίου Χρήστος

Περίληψη

Η αιολική ενέργεια, ως βασική συνιστώσα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και θεωρείται σημαντικός ενεργειακός πόρος σε παγκόσμιο επίπεδο και ιδιαίτερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και στον Καναδά. Στα ιδιαίτερα σημαντικά πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας συμπεριλαμβάνεται η κατάταξή της στις καθαρές πηγές καυσίμου, με μηδενική παραγωγή ρύπων επιβλαβών για την ατμόσφαιρα.

Με δεδομένη την παγκόσμια αύξηση του εφοδιασμού σε ενέργεια ως 50% μέχρι το 2050, η Ευρωπαϊκή Ένωση προχώρησε, με ορίζοντα το 2020, στην παραγωγή του 22% της συνολικής απαιτούμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) και ιδιαίτερα από την αιολική ενέργεια, δεδομένου και του γεγονότος ότι η παραγωγή ενέργειας από γεννήτριες με ορυκτά καύσιμα εκτιμάται ότι έχει κόστος κεφαλαίου υψηλότερο από το αντίστοιχο της παραγωγής ενέργειας από ανεμογεννήτριες. Είναι ενδεικτικό ότι το 75% του κόστους παραγωγής ενέργειας από ορυκτά καύσιμα αφορά στην κατασκευή του στροβίλου και του πύργου, το 20% αφορά στην θεμελίωση της εγκατάστασης, στον μετασχηματισμό της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική, στην σύνδεση της εγκατάστασης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, στην κατασκευή του απαραίτητου οδικού δικτύου, στην χρηματοδότηση των αναγκαίων κατασκευών, καθώς και της ασφάλισής τους, ενώ ποσοστό της τάξης του 5% αφορά στην αγορά των απαραίτητων για την συνολική εγκατάσταση γης και κατοικιών.

Πλέον, το ερευνητικό ενδιαφέρον εστιάζει στην νέα επαναστατική πρόταση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την αντίστοιχη αιολική. Σημαντικό σημείο εστίασης στην κατασκευή και λειτουργία των αιολικών πάρκων προκειμένου αυτά να λειτουργούν ως ηλεκτροπαραγωγικοί σταθμοί, αποτελεί η απαίτηση ακριβούς σχεδίασης τους, προκειμένου να καθίστανται λειτουργικά στην προσπάθεια αντιστάθμισης της παραγόμενης ενέργειας από μη ανανεώσιμες πηγές. Επιπρόσθετα, θα πρέπει, στο πλαίσιο της πρόβλεψης και της εκτίμησης της ταχύτητας και της ενέργειας του ανέμου, να λαμβάνεται από τους μελετητές η κατάλληλη μέριμνα, όσο και για την λειτουργία των συστημάτων τεχνικού ελέγχου, καθώς επίσης και των απαιτούμενων οικονομικών πόρων.

Η παρούσα εργασία εστιάζει στην περίπτωση της Δανίας, ως χώρας που διακρίνεται στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα.

Στη συγκεκριμένη εργασία γίνεται αναφορά στην περίπτωση της Δανίας, ως χώρας η οποία πρωταγωνιστεί στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα. Ειδικότερα, παρουσιάζεται μια οικονομοτεχνική μελέτη σχετικά με την εφαρμογή της αιολικής ενέργειας, ενώ δίνεται ιδιαίτερη βαρύτητα στην περίπτωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την λειτουργία των ανεμογεννητριών.

Λέξεις-κλειδιά: Αιολική ενέργεια, Ηλεκτρική ενέργεια, Ανεμογεννήτρια, Ρύπανση, Αιολικό πάρκο, Ισχύς ανέμου.

Wind farm installation study for electricity generation - Environmental effects

Fotiou Christos

Abstract

Wind energy, as a basic component of renewable energy sources, is considered an important energy resource globally and especially in the European Union (EU), the United States of America (USA) and Canada. Among the particularly important advantages of wind energy is its classification among clean fuel sources, with zero production of pollutants harmful to the atmosphere.

Given the global increase in energy supply up to 50% by 2050, the European Union proceeded, with a horizon of 2020, to produce 22% of the total required electricity from renewable sources and especially from wind energy, given the fact that power generation from fossil fuel generators is estimated to have a higher capital cost than that of wind power generation. It is indicative that 75% of the cost of energy production from fossil fuels concerns the construction of the turbine and the tower, 20% concerns the foundation of the installation, the transformation of chemical energy into electricity, the connection of the electricity production installation to the grid, the construction of the necessary road network, in the financing of the necessary constructions, as well as their insurance, while a percentage of the order of 5% concerns the purchase of the necessary for the overall establishment of land and housing.

Now, the research interest focuses on the new revolutionary proposal of electricity production from the corresponding wind. An important point of focus in the construction and operation of wind farms in order for them to function as power plants, is the requirement of their precise design, in order to make them functional in the attempt to offset the energy produced from non-renewable sources. Additionally, due care should be taken in the context of forecasting and estimating wind speed and energy, as well as the operation of technical control systems, as well as the required financial resources.

This paper focuses on the case of Denmark, as a example country that stands out in the production of electricity from wind farms.

In this particular work, reference is made to the case of Denmark, as a country which is the protagonist in the production of electricity from wind farms. In particular, an economic and

technical study is presented regarding the application of wind energy, while special emphasis is given to the case of the environmental impacts of the operation of the wind turbines.

Keywords: Wind energy, Electricity, Wind turbine, Pollution, Wind farm, Wind power.

Πίνακας περιεχομένων

Κατάλογος Εικόνων	xiv
Κατάλογος Σχημάτων.....	xv
Κατάλογος Πινάκων.....	xvi
Κεφάλαιο 1^ο: Εισαγωγή	1
1.1 Στόχος Διπλωματικής.....	1
1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής.....	1
Κεφάλαιο 2^ο: Η Αιολική ενέργεια και οι εφαρμογές της	3
2.1 Εννοιολογικός προσδιορισμός.....	3
2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας.....	3
2.2.1 Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας.....	4
2.2.2 Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας.....	6
2.3 Η Αιολική ενέργεια στην Ελληνική αγορά	7
Κεφάλαιο 3^ο: Αιολικές μηχανές.....	11
3.1 Εισαγωγική περιγραφή	11
3.2 Ισχύς του Ανέμου – Ωφέλιμη Αιολική Ισχύς	11
3.2.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Ανεμογεννητριών	12
3.3 Κατάταξη Αιολικών μηχανών	14
3.3.1 Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα.....	17
3.3.2 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα.....	21
3.3.3 Σύγκριση μεταξύ ανεμογεννητριών οριζοντίου και καθέτου άξονα	24
3.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη Αιολικών μηχανών	26
3.5 Αποτελούμενα μέρη ανεμογεννήτριας	28
Κεφάλαιο 4^ο: Αιολικά πάρκα - Μελέτη εγκατάστασης Αιολικών πάρκων.....	31
4.1 Ορισμός – Περιγραφή	31
4.2 Οφέλη από τη χρήση Αιολικών Πάρκων	33
4.3 Υπεράκτια Αιολικά πάρκα	34
4.3.1 Διαφορές χερσαίου και υπεράκτιου Αιολικού πάρκου	36
4.4 Επενδύσεις σε υπεράκτια Αιολικά πάρκα σε όλο τον κόσμο.....	38
4.5 Εξέλιξη των σύγχρονων ανεμογεννητριών	42
Κεφάλαιο 5^ο: Αιολικά πάρκα και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.....	51
5.1 Ενεργειακή μελέτη Αιολικού πάρκου	51
5.2 Μελέτη χωροθέτησης Αιολικού πάρκου	52
5.2.1 Οικονομικοί Λόγοι	52

5.2.2 Καταλληλότητα Θέσης Εγκατάστασης Α/Γ	53
5.2.3 Μετεωρολογικές Συνθήκες.....	53
5.3 Μελέτη Επιλογής του τόπου εγκατάστασης ενός Αιολικού Πάρκου	55
5.3.1 Επίδραση των Ανέμων στις Ανεμογεννήτριες	56
5.3.2 Αποδοχή Ανεμογεννήτριας από την Κοινή Γνώμη	57
5.4 Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ενέργειας από ανεμογεννήτριες.....	57
5.5 Σύνδεση του Αιολικού πάρκου στο ηλεκτρικό δίκτυο.....	62
5.6 Δανία: Μελέτη περίπτωσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Αιολική	64
Κεφάλαιο 6^ο: Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ανεμογεννητριών	68
6.1 Μελέτη εκτίμησης των επιπτώσεων Αιολικών πάρκων.....	68
6.1.1 Μορφολογία Εδάφους	69
6.1.2 Επίπτωση στη Χλωρίδα.....	70
6.1.3 Επιπτώσεις στα Επιφανειακά και Υπόγεια Νερά από την εγκατάσταση Α/Γ	71
6.1.4 Επιπτώσεις στον Υδροφόρο Ορίζοντα από τη Λειτουργία των Ανεμογεννητριών ..	72
6.1.5 Θόρυβος Κατασκευής Ανεμογεννήτριας	73
6.1.6 Θόρυβος Πτερυγίων Ανεμογεννήτριας	74
6.1.7 Αλλοίωση Τοπίου.....	75
6.1.8 Επίδραση Ανεμογεννήτριας σε Γεωργικές και Κτηνοτροφικές Δραστηριότητες	75
6.1.9 Επιπτώσεις στη Χλωρίδα και στην Πανίδα.....	76
6.2 Μέτρα Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από τις Ανεμογεννήτριες	77
6.3 Συμπερασματικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση Αιολικών πάρκων	79
6.4 Επιπτώσεις υπεράκτιων Αιολικών πάρκων	84
Κεφάλαιο 7^ο: Συμπεράσματα.....	86
Βιβλιογραφία.....	88

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 2.1 Αιολικό Πάρκο.....	9
Εικόνα 3.1 Ανεμογεννήτρια Οριζοντίου άξονα	17
Εικόνα 3.2 Ανεμογεννήτρια Κατακόρυφου άξονα.....	21
Εικόνα 3.3 Σύστημα με πολλαπλές Ανεμογεννήτριες τύπου Savonius	23
Εικόνα 4.1 Ένα από τα μεγαλύτερα Αιολικά Πάρκα της χώρας στην Κομοτηνή	32
Εικόνα 4.2 Μεγάλο Υπεράκτιο Αιολικό πάρκο στη Δανία.....	34
Εικόνα 4.3 Παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας στη Δανία μέσω του ανέμου.....	40
Εικόνα 4.4 Ανεμογεννήτρια τριπτέρυγη Οριζοντίου άξονα.....	43
Εικόνα 4.5 Μεταφορά Πύργου Ανεμογεννήτριας.....	45
Εικόνα 4.6 Ανεμογεννήτρια που έχει υποστεί λυγισμό	49
Εικόνα 5.1 Στάδια κατασκευής ανεμογεννήτριας	51
Εικόνα 5.2 Υπεράκτιο Αιολικό πάρκο στη Δανία.....	67
Εικόνα 6.1 Αποψίλωση δασών	70
Εικόνα 6.2 Υδροφόρος ορίζοντας	73
Εικόνα 6.3 Επιπτώσεις στη γλωρίδα και την πανίδα.....	77
Εικόνα 6.4 Ανεμογεννήτριες και μετανάστευση πουλιών	83

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 3.1 Δρομέας τύπου Darrieus	22
Σχήμα 3.2 Μέρη Ανεμογεννήτριας	28
Σχήμα 5.1 Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας ονομαστικής ισχύος 850kW.....	58
Σχήμα 5.2 Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου κατά Weibull...	58

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 5.1 Πιθανοί τρόποι σύνδεσης ανεμογεννητριών στο δίκτυο	64
--	----

Κεφάλαιο 1^ο

Εισαγωγή

1.1 Στόχος Διπλωματικής

Η διπλωματική αυτή εργασία έχει ως αντικείμενό της την μελέτη των ανεμογεννητριών, καθώς και των αιολικών πάρκων στο πλαίσιο της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αυτήν του ανέμου. Επιπρόσθετα, εστιάζει στις Περιβαλλοντικές επιπτώσεις που η εγκατάσταση και η λειτουργία ενός αιολικού πάρκου επιφέρει στο περιβάλλον που το φιλοξενεί.

Αρχικά, προσεγγίζεται ολόπλευρα το αντικείμενο της αιολικής ενέργειας, με ιδιαίτερη αναφορά στην ενέργεια που ο άνεμος διαθέτει και η οποία είναι αυτή που, ουσιαστικά, μετατρέπεται σε ενέργεια μέσω της λειτουργίας του αιολικού πάρκου. Ο προσδιορισμός και η ανάλυση του αιολικού δυναμικού, η ανεμογεννήτρια ως μηχανισμός παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και η δημιουργία και λειτουργία ενός αιολικού πάρκου αποτελούν αντικείμενα διερεύνησης αυτής της εργασίας. Ιδιαίτερη αναφορά πραγματοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού από την ενέργεια του ανέμου, όπως και για τον τρόπο σύνδεσης των αιολικών πάρκων στο ηλεκτρικό δίκτυο. Όπως και παραπάνω αναφέρθηκε, σημαντικό τμήμα της εργασίας αυτής αποτελεί η διερεύνηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δημιουργεί η εγκατάσταση και λειτουργία των ανεμογεννητριών, ενώ προσδιορίζονται τα μέτρα που λαμβάνονται στην κατεύθυνση της αντιμετώπισης των επιπτώσεων αυτών στο περιβάλλον.

1.2 Αντικείμενο της διπλωματικής

Η προσέγγιση του θεματικού αντικειμένου της παρούσας εργασίας πραγματοποιείται σταδιακά, μέσω της μεθοδικής του προσέγγισης ανά Κεφάλαιο.

Το πρώτο Κεφάλαιο περιέχει την εισαγωγή, στην οποία προσδιορίζεται το αντικείμενο της παρούσας ερευνητικής προσπάθειας. Στο δεύτερο Κεφάλαιο παρουσιάζεται η αιολική ενέργεια με τις εφαρμογές της, εστιάζοντας τόσο στα πλεονεκτήματά της όσο και στα μειονεκτήματά της. Παράλληλα, επιχειρείται προσέγγιση της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας στον ελληνικό χώρο. Αντικείμενο του τρίτου Κεφαλαίου είναι η αναλυτική περιγραφή των ανεμογεννητριών, του μηχανισμού τους, των χαρακτηριστικών τους μεγεθών, της κατηγοριοποίησής τους με βάση τον προσανατολισμό του κύριου άξονά

τους, ενώ επιχειρείται σύγκριση μεταξύ τους. Παράλληλα προσεγγίζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών, ως μηχανισμών αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας. Στο τέταρτο Κεφάλαιο παρατίθενται τα οφέλη αξιοποίησης των ανεμογεννητριών, καθώς και η εξέλιξη των ανεμογεννητριών, προσεγγίζοντας παράλληλα την ενότητα των επενδύσεων που αφορούν στα υπεράκτια πάρκα σε παγκόσμιο επίπεδο. Στο επίκεντρο αυτής της εργασίας τοποθετείται το περιεχόμενο του πέμπτου Κεφαλαίου, το οποίο έχει ως αντικείμενό του την διεξοδική μελέτη χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου, τον τρόπο εκτίμησης της ετήσιας παραγωγής αιολικής ενέργειας, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο συνδέεται ένα αιολικό πάρκο με το δίκτυο του ηλεκτρικού ρεύματος. Τέλος, στο κεφάλαιο αυτό επιχειρείται η προσέγγιση μελέτης περίπτωσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την αιολική στην Δανία, χώρα πρωτοπόρα σε αυτόν τον τομέα παραγωγής ενέργειας, η οποία διαθέτει τα μεγαλύτερα αιολικά πάρκα σε παγκόσμιο επίπεδο. Στο έκτο Κεφάλαιο προσεγγίζονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της εγκατάστασης και λειτουργίας των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον φιλοξενίας τους. Τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας αποτελούν το απαύγασμα της προσπάθειας αυτής.

Κεφάλαιο 2^ο

Η Αιολική ενέργεια και οι εφαρμογές της

2.1 Εννοιολογικός προσδιορισμός

Αιολική είναι η ενέργεια που οφείλεται στην αξιοποίηση της κίνησης των ρευμάτων του ανέμου. Θεωρείται ως ήπια μορφή ενέργειας, χαρακτηριζόμενη, επιπρόσθετα, ως καθαρή πηγή ενέργειας, με δεδομένο το γεγονός της εκπομπής μηδενικών ρύπων. Η αξιοποίησή της στην αρχαιότητα συναντάται στην εκμετάλλευσή της από τα πρώτα ιστιοφόρα, ενώ, πολύ αργότερα αξιοποιήθηκε και στην ξηρά από τους ανεμόμυλους, προκειμένου να αλέθονται τα σιτηρά, καθώς και να αντλείται το νερό από το υπέδαφος ή από διαθέσιμες πηγές. Το όνομα αυτής της μορφής ενέργειας («αιολική») αποδίδεται στον θεό του ανέμου, τον Αίοιο.

Στην εποχή μας η ενέργεια που προσφέρει ο άνεμος κερδίζει συνεχώς έδαφος ως μια από τις πλέον ενδιαφέρουσες και ελκυστικές προτάσεις στην προσπάθεια της αντιμετώπισης του προβλήματος παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με μικρότερο κόστος και την ελάχιστη δυνατή μόλυνση του περιβάλλοντος. Με δεδομένο το γεγονός των μηδενικών ρύπων κατά την μετατροπή της ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια, καθώς και το γεγονός του μικρότερου, συγκριτικά με τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κόστους, η αιολική ενέργεια αναδεικνύεται σε αξιοσημείωτη, επενδυτικά, πρόταση στον χώρο της ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, η ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας αποτελεί οικονομική επένδυση για τον τόπο που την φιλοξενεί (Ηλιάδης & Βουτσινάς, 2006).

Ένα πολύ μικρό ποσοστό (περίπου 0,2%) της προσπίπτουσας στο έδαφος ηλιακής ενέργειας δημιουργεί συνθήκες κίνησης του αέρα της γης και δημιουργίας ανέμου, ο οποίος αξιοποιείται ως αιολική ενέργεια. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας η αξιοποιήσιμη από τον άνεμο ισχύς σε ολόκληρο τον πλανήτη προσδιορίζεται σε $3,6 \times 10^9$ MW. Από αυτή την ισχύ, εκμεταλλεύσιμο είναι ποσοστό της τάξης του 1% (Ηλιάδης & Βουτσινάς, 2006).

2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας

Οι εφαρμογές της ενέργειας του ανέμου προσδιορίζονται από σειρά πλεονεκτημάτων, αλλά και μειονεκτημάτων. Η χρήση της κατά το παρελθόν, τόσο στον κλάδο της ναυτιλίας, όσο και εκμετάλλευσή της στην άρδευση, αλλά και στον χώρο της γεωργίας ανέδειξε εκτός των θετικών της στοιχείων και κάποια αρνητικά, γεγονός που οδήγησε

στην αντικατάστασή της από άλλες μορφές ενέργειας. Στην εποχή μας, αν και η βελτίωση των μηχανισμών που αξιοποιούν την αιολική ενέργεια έχει περιορίσει σε σημαντικό βαθμό τα όποια μειονεκτήματα καταγράφονται στην διαδικασία της αξιοποίησής της, κάποια από αυτά συνεχίζουν ακόμη να απασχολούν την όσους θεωρούν την μορφή αυτή ενέργειας ως μία από τις πλέον αξιοποιήσιμες και οικονομικά συμφέρουσες (Αλεξιάκης, 2001).

2.2.1 Πλεονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Ως πλεονεκτήματα της Αιολικής Ενέργειας καταγράφονται τα παρακάτω:

- Η Αιολική ενέργεια, ανήκοντας στις χαρακτηριζόμενες ως ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι, πρακτικά, ανεξάντλητη, κείμενη διαμετρικά αντίθετη με το σύνολο των μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα καύσιμα, τα αποθέματα των οποίων είναι πεπερασμένα και αναμενόμενα να οδηγηθούν σε εξάντλησή των αποθεμάτων τους στο κοντινό, σχετικά, μέλλον.
- Η Αιολική ενέργεια συμπεριλαμβάνεται στις καθαρές μορφές ενέργειας, αφού η αξιοποίησή της δεν αποτελεί επιβαρυντικό παράγοντα για τα οικοσυστήματα των περιοχών στα οποία εγκαθίστανται τα αιολικά πάρκα, αντικαθιστώντας παράλληλα τις ιδιαίτερα επιβαρυντικές πηγές ενέργειας για το περιβάλλον, όπως είναι το κάρβουνο, το πετρέλαιο, καθώς και η πυρηνική ενέργεια.
- Η πατρίδα μας διακρίνεται για το ιδιαίτερα υψηλό αιολικό της δυναμικό, το οποίο χαρακτηρίζεται ως ποιοτικά άριστο. Η μορφολογία της, με τα δεκάδες νησιά, καθώς και τις ημιορεινές περιοχές, όπου ο άνεμος εμφανίζει ισχύ εκμεταλλεύσιμης έντασης σε όλη, σχεδόν, την διάρκεια του έτους, αποτελεί ιδανικό τόπο επένδυσης στην αιολική ενέργεια.
- Οι δυνατότητες αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας στην χώρα μας είναι τεράστιες, λαμβάνοντας υπόψη την μέχρι τώρα περιορισμένη αξιοποίησή της στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο. Υπό αυτή την έννοια, η εγκατάσταση αιολικών πάρκων στον Ελλάδα αποτελεί μια ιδιαίτερα ελκυστική επένδυση.
- Στα πλεονεκτήματα της χρήσης της αιολικής ενέργειας προσμετράται η – αρνητική ως πραγματικότητα – σε μεγάλο ποσοστό εξάρτηση της πατρίδας μας από εισαγόμενες και, παράλληλα, ρυπογόνες, πηγές ενέργειας, όπως είναι τα καύσιμα, που από την μια αποτελούν συναλλαγματική αιμορραγία για την χώρα μας, εξαρτώντας την από χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης και από την άλλη αποτελώντας σημαντική πηγή περιβαλλοντικής μόλυνσης.

- Η εγκατάσταση πυρηνικών εργοστασίων, τα οποία θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν προκειμένου να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια στην πατρίδα μας, εκτός της αρνητικής της υπόστασης στην βάση της περιβαλλοντικής μόλυνσης, συναντά ισχυρά εμπόδια από το γεγονός της μεγάλης σεισμικότητας της χώρας μας, η οποία εγκυμονεί σημαντικούς κινδύνους σε ένα τέτοιο ενδεχόμενο. Οι κίνδυνοι αυτοί, αν και σε μέγεθος υποδεέστεροι, υφίστανται, φυσικά, και για τις θερμοηλεκτρικές εγκαταστάσεις.
- Με δεδομένη την μεγάλη διασπορά, καθώς και την υφιστάμενη διαφοροποίηση στο κόστος παραγωγής της ενέργειας σε ηλεκτρικά φορτία στις διάφορες περιοχές της Ελλάδας, το ενδεχόμενο η μέση διαθέσιμη τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος στην πατρίδα μας να είναι ελαφρά χαμηλότερη από την αντίστοιχη της ενέργειας που παράγεται από τον άνεμο δεν επιτρέπει αναθεωρητικές για την αξιοποίηση της τελευταίας, με δεδομένο ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από εναλλακτικές μορφές παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, όπως είναι η αιολική ενέργεια, είναι ιδιαίτερα ακριβή για τα νησιά. Μάλιστα, σε ορισμένα από αυτά το κόστος παραγωγής του ηλεκτρικού ρεύματος από μη ανανεώσιμες πηγές είναι ακόμη και υπερδεκαπλάσιο του οριακού κόστους από την αιολική ενέργεια.
- Η κατασκευή, στην χώρα μας, του απαραίτητου για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού αποτελεί σημαντική επιλογή τόνωσης της Ελληνικής οικονομίας, αφού η συνεισφορά της τόσο στην Ελληνική κατασκευαστική δραστηριότητα με προϊόντα, τα οποία προσδίδουν υψηλή Εγχώρια Προστιθέμενη Αξία (Ε.Π.Α.), ενώ έχουν μικρό, συγκριτικά, επενδυτικό κόστος, καθώς και στην μείωση της ανεργίας θα είναι αδιαμφισβήτητη.
- Ωφέλεια, η οποία προέρχεται από την αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου και, κατ' επέκταση, της αύξησης της παραγωγικής δραστηριότητας για την κατασκευή του απαραίτητου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού αποτελεί η υψηλή Εγχώρια Προστιθέμενη Αξία, η οποία αυτονόητα συμπορεύεται με την απόφαση της κατασκευής ανεμογεννητριών σε εγχώριο επίπεδο.
- Η απόκτηση μιας σημαντικά αξιόλογης εγχώριας ηλεκτρομηχανολογικής εμπειρίας, καθώς και η αξιοποίηση του σημαντικού επιστημονικό-ερευνητικού ενδιαφέροντος, αλλά και η αύξηση της γενικότερης δραστηριότητας στο γνωστικό πεδίο της παραγωγής ενέργειας από τον άνεμο.

- Οι δυνατότητες που δημιουργούνται στο πλαίσιο της αξιοποίησης σχετιζόμενων με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας επενδυτικών προγραμμάτων, τα οποία αντλούν την χρηματοδότησή τους σε ένα σημαντικό ποσοστό τόσο από Ελληνικούς όσο από και κοινοτικούς φορείς, με δεδομένες τις υψηλές επιδοτήσεις που προβλέπονται για την προώθηση και την ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, καθώς και του συγκριτικά χαμηλού κόστους για το είδος αυτό ενεργειακής επένδυσης, όπως είναι και η αιολική ενέργεια.
- Η επενδυτική απουσία από τον χώρο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σημαντικών οικονομικών συμφερόντων, τα οποία έχουν εστιάσει επενδυτικά σε διαφορετικού τύπου μορφές ενέργειας, όπως είναι η πυρηνική ενέργεια στη Γαλλία, καθώς και το πετρέλαιο στις Αραβικές χώρες (Αλεξιάκης, 2001).

2.2.2 Μειονεκτήματα Αιολικής Ενέργειας

Ως μειονεκτήματα της εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου προσμετρώνται τα παρακάτω:

- Η κινητική ενέργεια του ανέμου στην χώρα μας παρουσιάζει χαμηλή ροή αξιοποίησης (W/m^2), κατατάσσοντας την ενέργεια που «αντλείται» από τον άνεμο στις μορφές ενέργειας που χαρακτηρίζονται ως «αραιές». Με δεδομένο ότι οι συνηθισμένες τιμές ροής της εκμεταλλεζόμενης ισχύος που προσφέρουν τα αιολικά πάρκα στην χώρα μας κυμαίνονται μεταξύ $200W/m^2$ και $400 W/m^2$, απαραίτητη για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι η χρησιμοποίηση είτε σημαντικού πλήθους ανεμογεννητριών είτε η χρησιμοποίηση μεγάλου μεγέθους μηχανολογικών κατασκευών.
- Έχοντας ως δεδομένο ότι δεν είναι εφικτή η ακριβής εκτίμηση της ταχύτητας, καθώς και της διεύθυνσης του ανέμου, γίνεται κατανοητό ότι δεν είναι επίσης διαθέσιμη πάντα η απαιτούμενη προς κατανάλωση ενέργεια. Το γεγονός αυτό με την σειρά του καθιστά – τουλάχιστον με τα μέχρι σήμερα καταγεγραμμένα δεδομένα – την αιολική ενέργεια περισσότερο ως ενέργεια εφεδρικής μορφής, συνδυαζόμενη πάντα με μια άλλη μορφή ενέργειας, η οποία χαρακτηρίζεται ως κύρια.
- Έχει παρατηρηθεί ότι σε κάποιες περιπτώσεις που διασυνδέεται το αιολικό πάρκο με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, η παραγόμενη ενέργεια δεν ικανοποιεί πάντα τις απαιτούμενες τεχνικές προδιαγραφές του δικτύου, γεγονός που απαιτεί τοποθέτηση κατάλληλων ελεγκτικών αυτοματισμών, ειδικών κατασκευών ρύθμισης της τάσης, της συχνότητας, καθώς και αυτοματισμών για τον έλεγχο της άεργης ισχύος. Αν και η

τεχνολογική εξέλιξη προσφέρει πλέον τις απαραίτητες τεχνικές λύσεις για την αντιμετώπιση των παρατηρούμενων δυσλειτουργιών, ιδιαίτερα με την παραγωγή μηχανών ανεμογεννητριών με μεταβλητό βήμα, καθώς και μεταβλητές στροφές, τα προβλήματα τέτοιου είδους δεν έχουν ακόμη εξαλειφθεί, γεγονός που επιβαρύνει το κόστος της παραγόμενης από την ενέργεια του ανέμου ηλεκτρικής ενέργειας.

- Κατά την κατασκευή αυτόνομων μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες, απαραίτητη είναι η εγκατάσταση αποθηκευτικών συστημάτων της παραγόμενης ενέργειας, προκειμένου να επιτευχθεί ο απαραίτητος συγχρονισμός της ζήτησης με την διαθέσιμη ενέργεια.
- Υφίσταται συγκεκριμένη (και όχι απεριόριστη) δυνατότητα για την αξιοποίηση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας.
- Μόνο ένα ποσοστό της ενέργειας του ανέμου μετατρέπεται σε ηλεκτρική, γεγονός που καταγράφεται στα μειονεκτήματα της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας. Θα πρέπει πάντως να επισημανθεί ότι η εξέλιξη της τεχνολογίας επιτρέπει αισιόδοξες προβλέψεις στην αύξηση αυτού του ποσοστού στα πλέον ικανοποιητικά επίπεδα.
- Η αρχική επένδυση για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας είναι υψηλό. Ιδιαίτερα στις περιπτώσεις μεμονωμένων εγκαταστάσεων, καθώς και εγκαταστάσεων μικρού μεγέθους, τα αρχικά κόστη αναμένεται σημαντικά υψηλό (Αλεξιάκης, 2001).

2.3 Η Αιολική ενέργεια στην Ελληνική αγορά

Αν και η εξάντληση των συμβατικών καυσίμων, αλλά και η περιβαλλοντική επιβάρυνση που αυτά προκαλούν, έγιναν έγκαιρα αντιληπτές σε παγκόσμιο επίπεδο, όπως και στην Ελλάδα και στις υπόλοιπες Ευρωπαϊκές χώρες, η καθυστέρηση στην λήψη των απαραίτητων μέτρων υπήρξε χαρακτηριστική. Ειδικότερα, η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ως η πλέον κατάλληλη απάντηση στα παραπάνω προβλήματα παρουσίασε σημαντική καθυστέρηση αποδοχής. Στο ίδιο πνεύμα κινήθηκε και η αιολική ενέργεια.

Οι εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 1980 είχαν εκτιμηθεί σε λίγο περισσότερες από 30. Αν και η εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας παρουσίασε σημαντική αύξηση στα πρώτα έτη της δεκαετίας του 1990, εντούτοις, από τα τέλη του 1994 παρατηρήθηκε στασιμότητα την εξέλιξη της ένταξης της ενέργειας που προσφέρουν τα αιολικά πάρκα στο ισοζύγιο ενέργειας της Ελλάδας. Πλέον, η βαρύτητα στην αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου αναλήφθηκε από την ΔΕΗ, που ως τις αρχές

της δεκαετίας του 1998 είχε προχωρήσει στην εγκατάσταση στην Ελλάδα αιολικών πάρκων με συνολική ισχύ περίπου 25 MW (Εικόνα 2.1). Ο ΟΤΕ επίσης επέδειξε ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, κυρίως για την ενεργειακή ενίσχυση δικών του σταθμών που ήταν εγκατεστημένοι σε νησιά. Η ιδιωτική πρωτοβουλία στην επένδυση της εγχώριας αιολικής ενέργειας τα χρόνια αυτά χαρακτηρίζεται ως περιορισμένη (Δαγκαλίδης, 2010).

Σημαντική πρόοδος στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας παρουσιάστηκε μετά την εγκατάσταση από την ΔΕΗ το 1982 του πρώτου πάρκου αιολικής ενέργειας στο νησί της Κύθνου. Αν και τα εμπόδια, τόσο γραφειοκρατικής φύσης, καθώς και από θέματα τεχνικής φύσης ήταν αρκετά, η πρόοδος της ένταξης της αιολικής ενέργειας στις ενεργειακές επιλογές της χώρας συνεχίστηκε με ικανοποιητικούς ρυθμούς. Το χρονικό διάστημα 1998 - 2009 καταγράφηκε μέση ετήσια ανάπτυξη για την εγκατεστημένη ισχύ σε MW με ρυθμό της τάξης του 41%, ενώ για την ετήσια παραγωγή σε TWh της τάξης του 54%. Και πάλι όμως, παρατηρείται επιβράδυνση στους ρυθμούς ανάπτυξης μετά το 2007. Ως τα τέλη του 2009 είχαν εγκατασταθεί στην χώρα μας 1.245 ανεμογεννήτριες σε εβδομήντα τρία (73) αιολικά πάρκα, με ατομική ισχύ από 105 KW έως 3,0 MW. Οι ανεμογεννήτριες αυτές προέρχονταν από 17 διαφορετικούς κατασκευαστές. Πλέον, η συνολική εγκατεστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων που έχουν τεθεί σε λειτουργία εκτιμάται ότι είναι περίπου 1.087 MW. Επιπρόσθετα, έντεκα (11) αιολικά πάρκα, με καταγεγραμμένη συνολική ισχύ της τάξης των 238 MW έχουν υπογράψει συμβάσεις σύνδεσης με τον Διαχειριστή του Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας ΔΕΣΜΗΕ (Δαγκαλίδης, 2010).

Σύμφωνα με στοιχεία της ΕΛΕΤΑΕΝ, στα τέλη του 2019, το σύνολο ισχύος των αιολικών πάρκων εμπορικής ή δοκιμαστικής λειτουργίας ήταν της τάξης των 3.576,4 MW. Αυτή η καταγεγραμμένη ισχύς αυτή παρουσιάζει αύξηση της τάξης του 25,4% συγκριτικά με τα τέλη του 2018. Η αύξηση αυτή αποδίδεται στις πολυετείς προσπάθειες τόσο των επαγγελματιών και των επιστημόνων, όσο και των ίδιων των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στον κλάδο της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, οι οποίοι προχώρησαν στην μελέτη, στην ανάπτυξη, στην χρηματοδότηση και στην κατασκευή των νέων έργων. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, αυτές οι προσπάθειες είχαν χρονικό ορίζοντα άνω των 10 ετών.



Εικόνα 2.1: Αιολικό Πάρκο (Δαγκαλίδης, 2010)

Από τα νέα αιολικά πάρκα, η σύνδεση των οποίων πραγματοποιήθηκε το έτος 2019:

- Το 29%, με συνολική ισχύ 214 MW, έχει οριστεί να ορίστηκε να διαθέτουν την παραγόμενη ενέργειά τους με σταθερό τιμολόγιο.
- Το 71%, με συνολική ισχύ 513,5MW, αποτελούν έργα, τα οποία προβλέφθηκε να διαθέτουν την παραγόμενη από αυτά ενέργειά τους άμεσα στο υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο, μέσω ειδικών συμβάσεων.

Εκτός των ανωτέρω, οι θετικές εξελίξεις για την Αιολική Ενέργεια το 2019 έχουν, επιπρόσθετα, να επιδείξουν και τα παρακάτω:

- ✓ Συνδέθηκε στην νότια Εύβοια, στην περιοχή του Καφηρέα, το πλέον μεγάλο συγκρότημα από αιολικά πάρκα, με συνολική ισχύ 154,1MW.
- ✓ Η ΔΕΗ ολοκλήρωσε την εκ βάθρων ανακαίνιση των πρώτων 7 από τα αιολικά πάρκα, με αποτέλεσμα να καταγραφεί εντυπωσιακή μείωση στον αριθμό των μηχανών.
- ✓ Εγκαταστάθηκαν στον νομό Κοζάνης μηχανές με τη διάμετρο ρότορα τα 136, που είναι η μεγαλύτερη διάμετρος στον ελληνικό χώρο (136 μέτρα).
- ✓ Έχει τεθεί σε λειτουργία χρήση, στην νήσο Τήλο, ο πρώτος στην Ελλάδα Υβριδικός Σταθμός που παράγει ηλεκτρικό ρεύμα από την ενέργεια του ανέμου, ο οποίος αποθηκεύει την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια σε ηλεκτρικούς

συσσωρευτές (μπαταρίες). Επιπρόσθετα, ήδη λειτουργεί δοκιμαστικά ο πρώτος Υβριδικός Σταθμός στην νήσο Ικαρία.

Σε Περιφερειακό επίπεδο, την πρωτιά σε παραγόμενη ισχύ αιολικής ενέργειας κατέχει η Περιφέρεια της Στερεάς Ελλάδας, η οποία διαθέτει ισχύ 1.311 MW (36,7%), ακολουθούμενη από την Περιφέρεια της Πελοποννήσου με διατιθέμενη ισχύ τα 587 MW (16,4%), καθώς και την Περιφέρεια της Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης με καταγεγραμμένη συνολική ισχύ τα 466 MW (13%) (Δαγκαλίδης, 2010).

Κεφάλαιο 3^ο

Αιολικές μηχανές

3.1 Εισαγωγική περιγραφή

Οι μηχανισμοί που εκμεταλλεύονται την ενέργεια του ανέμου αποτελούν εφευρήματα του ανθρώπου, τα οποία έχουν προορισμό την μετατροπή της κινητικής του ενέργειας σε άλλη μορφή ωφέλιμης ενέργειας, εύχρηστης και αξιοποιήσιμης. Μετά τον εντοπισμό μιας περιοχής ως κατάλληλης από πλευράς αξιοποίησης της ενέργειας του ανέμου ακολουθούν οι απαραίτητες μελέτες και μετρήσεις, προκειμένου να διαπιστωθεί ο βαθμός καταλληλότητάς της για τον προαναφερθέντα σκοπό και, εν συνεχεία, ακολουθεί η τοποθέτηση πλήθους ανεμογεννητριών στο πλαίσιο της δημιουργίας αιολικού πάρκου.

Ως «Αιολικό Πάρκο» ή «Αιολικός Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας» (ΑΣΠΗΕ) χαρακτηρίζεται η έκταση στην ξηρά ή στην θάλασσα, όπου τοποθετούνται ανεμογεννήτριες προκειμένου να μετατρέψουν την κινητική ενέργεια των ρευμάτων του αέρα σε ηλεκτρική. Πρόκειται για εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, που απαρτίζονται από σειρά ανεμογεννητριών, από τις απαραίτητες καλωδιώσεις για την μεταφορά του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος, από τους αναγκαίους μετεωρολογικούς ιστούς, από τους σταθμούς μετασχηματισμού, καθώς και από βοηθητικές υποδομές, στις οποίες συμπεριλαμβάνεται το απαραίτητο οδικό δίκτυο για την πρόσβαση στις εγκαταστάσεις του αιολικού πάρκου.

Αν και μέχρι σήμερα έχει καταγραφεί εγκατάσταση μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών σε όλο το εύρος της χώρας, δεν έχει επιτευχθεί ακόμη το προσδοκώμενο ποσοστό επιτυχούς εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου (Ασημακόπουλος και συν., 2015).

3.2 Ισχύς του Ανέμου – Ωφέλιμη Αιολική Ισχύς

Η ισχύς (N) ενός ρεύματος αέρα με σταθερή ταχύτητα (V) και με πυκνότητα (ρ), η οποία διέρχεται από μια υποθετική επιφάνεια με εμβαδό (A) που είναι κάθετη στο διάνυσμα της ταχύτητας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$NA = 0,5 \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A$$

Στην υποθετική περίπτωση που παραβλεφθούν οι μηχανικές απώλειες ή οι απώλειες που προέρχονται από τους ανεπιθύμητους στροβιλισμούς, θεωρείται πως δεν είναι εφικτό να η συνολική ισχύς που προέρχεται από τον άνεμο, για τους παρακάτω λόγους:

1. Ο αέρας που κινητοποιεί την πτερωτή μιας ανεμογεννήτριας θα πρέπει να έχει επαρκή ταχύτητα, προκειμένου να είναι εφικτή η απομάκρυνσή του από αυτήν, σύμφωνα με το θεώρημα διατήρησης της μάζας. Το γεγονός αυτό επιφέρει το αποτέλεσμα ένα σημαντικό ποσοστό από την κινητική ενέργεια του αέρα, το οποίο προσπίπτει επάνω στην πτερωτή να χάνεται κατά την διαφυγή του.
2. Ενώ αναμένεται να είναι μικρή η ποσότητα της μάζας διαφυγής του αέρα από την επιφάνεια της πτερωτής, στην πράξη δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο, αφού πραγματοποιείται παράκαμψη της πτερωτής, εξαιτίας της απόκλισης των γραμμών ροής, απόκλιση που στην ουσία επιβάλλεται από αυτήν στον προσπίπτοντα επάνω της άνεμο.
3. Επιπρόσθετα, ένα μικρό ποσοστό από την κινητική ενέργεια του ανέμου παραμένει ανεκμετάλλευτο, με δεδομένη την χρονική υστέρηση του προσανατολισμού που έχει η πτερωτή ως προς την διεύθυνση του ανέμου. Αν και η σύγχρονη τεχνολογία επιτρέπει την, σχεδόν, ακαριαία απόκριση της ανεμογεννήτριας στην μεταβολή της διεύθυνσης του ανέμου, σε κάποιες περιπτώσεις που παρατηρείται συνεχής μεταβολή, η απώλεια μέρους της αιολικής ενέργειας είναι αναπόφευκτη (Ασημακόπουλος και συν., 2015).

3.2.1 Πλεονεκτήματα – Μειονεκτήματα Ανεμογεννητριών

Ακολουθεί παρακάτω περιληπτική αναφορά στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών.

A. Πλεονεκτήματα

Σημαντικό πλεονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι η δημιουργία της από καθαρές για το περιβάλλον και, ουσιαστικά, χωρίς κόστος φυσικές διεργασίες. Συγκεκριμένα, η ενέργεια του ανέμου προέρχεται με έμμεσο τρόπο από την ακτινοβολία του ήλιου, η οποία, θερμαίνοντας ανομοιόμορφα την επιφάνεια της γης, προκαλεί μετακινήσεις μεγάλων μαζών αέρα από τις θερμότερες περιοχές προς τις ψυχρότερες, δημιουργώντας ανέμους. Αυτή η ήπια μορφή ενέργειας, που είναι ακίνδυνη για το περιβάλλον είναι,

ουσιαστικά, ανεξάντλητη και για τον λόγο αυτό χαρακτηρίζεται ως «ανανεώσιμη». Τα χαρακτηριστικά αυτά καθιστούν την αιολική ενέργεια ιδιαίτερα ελκυστική λύση στο πρόβλημα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ιδιαίτερα στην εποχή μας, η οποία προσδιορίζεται τόσο από την αυξημένη ρύπανση του περιβάλλοντος εξαιτίας της μη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως είναι ο λιγνίτης και το πετρέλαιο, συνδυαστικά με το γεγονός ότι αυτές οι πηγές ενέργειας έχουν συγκεκριμένο όριο εξάντλησής τους, η οποία δεν προσδιορίζεται σε μεγάλο βάθος χρόνου, η αιολική ενέργεια, ως ανανεώσιμη, φτηνή και καθαρή μορφή ενέργειας είναι φυσικό να – πρέπει να – αποτελεί αντικείμενο επενδυτικής εκμετάλλευσης. Αν στους παραπάνω λόγους συμπεριληφθούν τα οικονομικά οφέλη που δημιουργούνται για τις περιοχές που θα φιλοξενήσουν αιολικά πάρκα και θα αποτελέσουν κέντρα της αιολικής βιομηχανίας, η προσπάθεια στροφής στην μορφή αυτή ενέργειας δικαιολογείται να αυξηθεί με έντονους ρυθμούς. Όσον αφορά στο κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών, αυτό πλέον είναι σημαντικά μειωμένο, γεγονός που επιτρέπει την υλοποίηση σημαντικών επενδυτικών σχεδίων στον τομέα αυτό παραγωγής ενέργειας, ο οποίος πλέον έχει καταστεί ανταγωνιστικός των αντίστοιχων συμβατικών μορφών.

B. Μειονεκτήματα

Στα μειονεκτήματα της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας προσμετρώνται αιτιάσεις με έρεισμα μικρότερο των αντίστοιχων πλεονεκτημάτων και, σε κάθε περίπτωση, πρόκειται για μειονεκτήματα που μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά.

Έχουν καταγραφεί τραυματισμοί και θανατώσεις πουλιών, κυρίως αποδημητικών από ανεμογεννήτριες που βρίσκονται σε περιοχές που αποτελούν μεταναστευτικούς δρόμους πουλιών. Αντίθετα, τα ενδημικά πουλιά, εξοικειώνονται με την παρουσία των ανεμογεννητριών και τις αποφεύγουν. Το πρόβλημα της θανάτωσης των αποδημητικών πτηνών μπορεί να αντιμετωπιστεί με την αποφυγή της εγκατάστασης αιολικού πάρκου επάνω στους μεταναστευτικούς δρόμους των πουλιών. Στην προσπάθεια αυτή, η προηγηθείσα Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων θα προσφέρει την κατάλληλη κάθε φορά λύση.

Το αναφερόμενο, επίσης, ως πρόβλημα της δημιουργίας θορύβου από τις ανεμογεννήτριες, θεωρείται πλέον ξεπερασμένο, αφού οι ανεμογεννήτριες σύγχρονης τεχνολογίας δεν δημιουργούν ενοχλητικό θόρυβο.

Το σημαντικό πρόβλημα της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης με την εγκατάσταση αιολικού πάρκου σε μια περιοχή και την πιθανή αναγκαστική κοπή μεγάλου αριθμού δέντρων ή την δέσμευση μεγάλης καλλιεργήσιμης έκτασης μπορεί επίσης να αντιμετωπιστεί με την αξιοποίηση των βέλτιστων προτάσεων της προηγηθείσας Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων, καθώς και της προσμέτρησης των πλεονεκτημάτων του εγχειρήματος της εγκατάστασης αιολικού πάρκου στην εν λόγω περιοχή έναντι των αντίστοιχων μειονεκτημάτων του.

Επιπρόσθετο σημαντικό μειονέκτημα είναι η δυσκολία διαχείρισης της αστάθειας της αιολικής ενέργειας, με την έννοια ότι εφόσον ο άνεμος δεν είναι πάντα δεδομένος ούτε φυσικά το μέγεθος της έντασής του, είναι δύσκολα διαχειρίσιμη η απόδοση της ισχύος του εκάστοτε συστήματος, με δεδομένη και την αδυναμία αποθήκευσης της αιολικής ενέργειας (Ηλιάδης & Βουτσινάς, 2006).

3.3 Κατάταξη Αιολικών μηχανών

Οι συνηθέστεροι τύποι ταξινόμησης ανεμογεννητριών βασίζονται τόσο στον προσανατολισμό που έχει ο άξονας της μηχανής τους ως προς την κατεύθυνση που έχει ο άνεμος, καθώς και ως προς την επιφάνεια του εδάφους, όσο και με βάση τον αριθμό στροφών τους.

Όσον αφορά στην διάκρισή τους σε σχέση με τον προσανατολισμό που έχει ο άξονας της μηχανής τους σε σχέση με τη ροή των ρευμάτων του αέρα, οι μηχανές διακρίνονται σε αυτές με οριζόντιο άξονα και με κατακόρυφο άξονα.

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν δρομέα τύπου έλικας, ο οποίος βρίσκεται συνεχώς παράλληλα τόσο προς την κατεύθυνση που έχουν τα ρεύματα του αέρα όσο και με την επιφάνεια της γης.

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα ότι προσαρμόζονται αυτόματα την κατεύθυνση του ανέμου με δεδομένης της κάθετης κατεύθυνσης του άξονά τους τόσο σε αυτήν όσο και στο έδαφος.

Όσον αφορά στην διάκριση των ανεμογεννητριών με βάση τον αριθμό των στροφών τους, αυτές διακρίνονται σε ανεμογεννήτριες πολλών στροφών (ταχύστροφες) και στις αντίστοιχες λίγων στροφών (αργόστροφες), ταχύτητα που προσδιορίζεται από την τιμή της παραμέτρου περιστροφής (λ) της μηχανής της ανεμογεννήτριας.

Επισημαίνεται ότι η ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται μια ανεμογεννήτρια συναρτάται τόσο με τις παραμέτρους που χαρακτηρίζουν την αεροδυναμική της, όσο και

με το μέγεθος που έχουν τα πτερύγια αυτής της ανεμογεννήτριας, γεγονός που καθιστά απαραίτητο κατά τους σχετικούς υπολογισμούς να λαμβάνονται υπόψη τα δεδομένα στατικότητάς της, τα φαινόμενα που σχετίζονται με τις δυναμικές καταπονήσεις και ταλαντώσεις, οι αναπτυσσόμενες φυγόκεντρες δυνάμεις κ.λπ. Επιπρόσθετα, ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στους σχετικούς υπολογισμούς έχει η δυνατότητα της σύνδεσης της εγκατάστασης με το δίκτυο του ηλεκτρικού ρεύματος, αφού είναι γνωστό ότι στις ηλεκτρογεννήτριες σύγχρονης κατασκευής που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο, το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται θα πρέπει να εμφανίζει την συχνότητα που έχει το κεντρικό δίκτυο διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή 50 Hz για τη χώρα μας, καθώς και για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, ενώ για τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής η αντίστοιχη συχνότητα είναι 60 Hz (Κατσαπρακάκης, 2018).

Η παράμετρος περιστροφής (λ) της μηχανής της ανεμογεννήτριας συνδέεται ως βασικό μέγεθος με την γωνιακή ταχύτητα της πτερωτής. Στον παρακάτω τύπο (1) δίνεται η σχέση μεταξύ αυτών των δύο μεγεθών:

$$\lambda = \omega_o \cdot R / V^*_w \quad (1)$$

Όπου:

R: είναι η ακτίνα που έχει η πτερωτή,

ω_o : η γωνιακή ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται ο δρομέας,

V^*_w : η ταχύτητα που έχει ο ανέμος.

Κατάταξη των ανεμογεννητριών υπάρχει και ανάλογα με το μέγεθος της μηχανικής ισχύος (N) που παρέχουν στην έξοδό τους οι ανεμοκινητήρες. Σύμφωνα με την κατάταξη αυτή οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε:

- a. Μικρές ανεμογεννήτριες, όταν για την ονομαστική τους ισχύ ισχύει ότι:
 $50W \leq N \leq 30kW$.
- b. Μεσαίες ανεμογεννήτριες, όταν διαθέτουν ονομαστική ισχύ στο εύρος:
 $30 kW \leq N_o \leq 200kW$.

c. Μεγάλες ανεμογεννήτριες, όταν παρουσιάζουν ονομαστική τους ισχύ που κυμαίνεται μεταξύ:

$$200\text{kW} \leq N_o \leq 4\text{MW}.$$

Μια ακόμη κατηγοριοποίηση των ανεμογεννητριών πραγματοποιείται με βάση τον αριθμό των πτερυγίων της πτερωτής τους. Με βάση αυτήν την παράμετρο οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε αυτές που η πτερωτή τους διαθέτει πολλά πτερύγια (πολυπτέρυγες) και σε αυτές που η πτερωτή αποτελείται από λίγα πτερύγια (ολιγοπτέρυγες). Οι ολιγοπτέρυγες ανεμογεννήτριες, οι οποίες διαθέτουν σε κάθε πτερωτή από ένα ως τρία πτερύγια, είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενες από τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες είτε οριζόντιου είτε κάθετου άξονα.

Η στιβαρότητα (σ) της κατασκευής του ανεμοκινητήρα μιας ανεμογεννήτριας αποτελεί επίσης παράμετρο ταξινόμησής τους. Για τις μηχανές που διαθέτουν οριζόντιο άξονα ισχύει η παρακάτω σχέση 2:

$$\sigma = Z \cdot C \cdot R / \pi \cdot R^2, \quad (2)$$

ενώ για τους αντίστοιχους κατακόρυφου άξονα ισχύει η παρακάτω σχέση 3:

$$\sigma = Z \cdot C / R, \quad (3)$$

όπου:

Z: ο αριθμός των πτερυγίων που διαθέτει η πτερωτή,

R: η ακτίνα που έχει η πτερωτή και

C: το πλάτος των πτερυγίων της πτερωτής.

Η παράμετρος στιβαρότητας προσδιορίζει το πηλίκο του εμβαδού που έχουν όλα τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας προς το εμβαδόν που διαγράφεται από τα πτερύγια της καθώς αυτά περιστρέφονται (Μπεργελές, 1995).

3.3.1 Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα

Όπως παραπάνω αναφέρθηκε, οι ανεμογεννήτριες που διαθέτουν οριζόντιο άξονα (Εικόνα 3.1) έχουν την κατεύθυνσή του άξονά τους παράλληλη προς την επιφάνεια της εδάφους και, επιπρόσθετα, παράλληλη στη διεύθυνση του πνέοντος ανέμου, αν και, σε κάποιες περιπτώσεις, δεν αποκλείεται η διεύθυνσή τους να είναι κάθετη, σχετικά με την αυτή που έχει ο άνεμος. Επιπρόσθετα, οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα μπορούν να διαθέτουν από ένα μέχρι και πενήντα πτερύγια, ενώ η πτερωτή αυτών των ανεμογεννητριών έχει την δυνατότητα τοποθέτησής της είτε μπροστά από τον πύργο στήριξης είτε πίσω από αυτόν, σε σχέση πάντα με την διεύθυνση που έχει ο άνεμος.



Εικόνα 3.1: Ανεμογεννήτρια Οριζοντίου άξονα (Μπεργελές, 2005).

Ιστορικά, στις ανεμογεννήτριες με οριζόντιο άξονα συμπεριλαμβάνονται και οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι, όπως είναι οι διάσημοι ανεμόμυλοι της Μυκόνου, καθώς και οι

αργόστροφες μηχανές με πολλά πτερύγια, που χαρακτηρίζονται ως «Αμερικάνικου τύπου», οι οποίες, επειδή έχουν περιορισμένες διαστάσεις και μικρή περιφερειακή ταχύτητα δεν χρησιμοποιούνται πλέον, αν και οι ροπές κατά την λειτουργία τους εμφανίζουν εντυπωσιακές επιδόσεις αναλογικά με την εποχή κατασκευής τους. Οι παραπάνω ανεμογεννήτριες αξιοποιήθηκαν σε ευρεία κλίμακα στο παρελθόν στην προσπάθεια των ανθρώπων να αντλήσουν νερό, να αλέσουν σιτάρι, καθώς και για ευρεία χρήση σε γεωργικές εφαρμογές.

Οι πλέον χρησιμοποιούμενες σήμερα ανεμογεννήτριες, όπως προϋπόθηκε, είναι αυτές που διαθέτουν οριζόντιο άξονα. Οι ανεμογεννήτριες αυτές καλούνται και ως ανεμογεννήτριες τύπου έλικας. Οι ανεμογεννήτριες του τύπου αυτού διακρίνονται για τις σημαντικές περιφερειακές τους ταχύτητες. Η κατασκευή των πτερυγίων τους, τα οποία κυμαίνονται σε αριθμό από ένα ως τρία, στηρίζεται στην τεχνολογία που διαθέτουν οι αεροπορικές έλικες, καθώς και στην αντίστοιχη που χρησιμοποιείται στους έλικες των ελικοπτέρων. Στα κύρια χαρακτηριστικά τους συγκαταλέγεται ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσης, καθώς και η βέλτιστη λειτουργία τους σε αυξημένες τιμές της παραμέτρου περιστροφής (λ), γεγονός που έχει ως συνέπεια την αρκετά υψηλή σχετική ταχύτητα με την οποία ο άνεμος συναντά τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας (Μπεργελές, 2005).

Η βιομηχανία κατασκευής ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα και ιδιαίτερα η κατασκευή μηχανών τύπου έλικα αντιμετωπίζει αρκετά προβλήματα, όπως παρακάτω αναφέρονται:

- Η σχεδίαση του δρομέα με τον βέλτιστο τρόπο, προκειμένου να βελτιωθούν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας της μηχανής. Στην προσπάθεια αυτή σταθερή επιδίωξη είναι ο βέλτιστος σχεδιασμός των παραμέτρων που άπτονται της σύνθεσης του δρομέα, όπως είναι ο αριθμός από τα πτερύγια του, η διατομή του πλάτους του πτερυγίου, η διαμόρφωση της κατάλληλης αεροτομής που συνθέτει το πτερύγιο, η συστροφή του πτερυγίου, κ.λπ.
- Ο τρόπος που λειτουργεί ο δρομέας σε ιδιαίτερες συνθήκες, όπως είναι η εκκίνησή του, η επιτάχυνσή του, η επιβράδυνσή του και, γενικότερα, η συμπεριφορά του σε δυναμικά φαινόμενα. Σημαντικό προς αντιμετώπιση θέμα είναι η ροπή με την οποία εκκινεί ο δρομέας, ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζει η συμπεριφορά που εμφανίζει η πτερωτή σε συνθήκες λειτουργίας χρονικά μεταβαλλόμενου πεδίου ροής σε συνθήκες τύρβης. Επιπρόσθετο ενδιαφέρον παρουσιάζει η λειτουργία της πτερωτής

με βάση την διανομή της ταχύτητας που έχει ένα οριακό στρώμα ανέμου εξαιτίας της τυρβώδους επίδρασης του εδάφους.

- Σημαντικό πρόβλημα προς αντιμετώπιση είναι η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων, καθώς και των αντίστοιχων αυτοματισμών που αφορούν στην λειτουργία της εκκίνησης και του σταματήματος του ανεμοκινητήρα. Η σχετική προσπάθεια εστιάζεται στο να ρυθμιστεί κατάλληλα το βήμα των πτερυγίων είτε σε ολόκληρη την έκταση του πτερυγίου είτε σε τμήμα του, με απώτερο στόχο από την μια να περιοριστεί η ισχύς κατά τις υψηλές ταχύτητες του ανέμου και από την άλλη η διατήρηση των στροφών της μηχανής σε σταθερό επίπεδο. Η επιδίωξη της μεταβολής του βήματος πραγματοποιείται στην βάση της επίτευξης του μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης της πτερωτής της ανεμογεννήτριας για τις διαφορετικές τιμές που λαμβάνει η ταχύτητα του ανέμου, όπως επίσης και στην επίτευξη της μεγιστοποίησης της ροπής προκειμένου να διευκολύνεται η εκκίνηση της μηχανής.
- Ο επιτυχής προσανατολισμός του άξονα δρομέα της πτερωτής προς την κατεύθυνση που λαμβάνει ο άνεμος επιτυγχάνεται είτε με την χρησιμοποίηση ενός καθοδηγητικού πτερυγίου είτε με την τοποθέτηση κατάλληλων αισθητήρων, οι οποίοι καταγράφουν την κάθε στιγμή την διεύθυνση του ανέμου, προσανατολίζοντας κατάλληλα την πτερωτή προς την διεύθυνση του ανέμου θέτοντας σε λειτουργία τον, ειδικά για τον λόγο αυτό, τοποθετημένο σερβομηχανισμό.
- Η αντιμετώπιση των προβλημάτων που αφορούν στην αντοχή των υλικών τόσο σχετικά με την κατασκευή όσο και με τον τρόπο της έδρασης των πτερυγίων επάνω στον κορμό. Προβλήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται τα πλέον σημαντικά στην προσπάθεια υψηλής αξιοπιστίας κατασκευής ανεμοκινητήρων, με δεδομένες τις σημαντικές δυνάμεις που αναπτύσσονται από τον άνεμο στα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, καθώς και στις εδράσεις τους στον κορμό της. Είναι αυτονόητο πως σε μεγαλύτερες κατασκευές οι αντίστοιχες αναπτυσσόμενες δυνάμεις είναι ανάλογα μεγαλύτερες, γεγονός που απαιτεί ιδιαίτερη μέριμνα στην μελέτη διασφάλισης της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας κάτω από συνθήκες ασφάλειας. Οι εναλλασσόμενες εξασκούμενες τάσεις, καθώς και ο αυξημένος κίνδυνος ιδιοσυντονισμού της πτερωτής αποτελούν επιπρόσθετο «πονοκέφαλο» για τους κατασκευαστές των ανεμογεννητριών.

- Ο προσδιορισμός του ύψους που θα τοποθετηθεί ο δρομέας σε σχέση με το έδαφος αποτελεί επιπρόσθετο προβληματισμό. Πρόκειται για μελέτη, που θα πρέπει να συνεκτιμήσει τη μορφή που λαμβάνει το πεδίο ροής του ανέμου, το οποίο κινητοποιεί την περωτή σε σχέση με την τραχύτητα του εδάφους, τα τυχόν παρακείμενα εμπόδια, κ.λπ.). με δεδομένο ότι όσο αυξάνεται η απόσταση από το έδαφος παρατηρείται αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, γίνεται κατανοητό πως μεγαλύτερη απόσταση του δρομέα από το έδαφος απαιτεί αύξηση της δαπάνης κατασκευής, προκειμένου η εγκατάσταση και η λειτουργία να διέπονται από πλήρη ασφάλεια. Η προσπάθεια αυτή διασφαλίζεται με την υλοποίηση πλήρους οικονομοτεχνικής μελέτης προκειμένου να καθοριστεί το βέλτιστο ύψος μιας ανεμογεννήτριας. Σήμερα, οι εταιρίες που κατασκευάζουν ανεμογεννήτριες, τις προσφέρουν σε συγκεκριμένα προκαθορισμένα ύψη, τα οποία προσδιορίζονται από το μέγεθος που έχει η διάμετρος του δρομέα της ανεμογεννήτριας.
- Η ασφαλής κατασκευή και θεμελίωση του πύργου στήριξης. Η απαίτηση αυτή απαιτεί τον κατάλληλο συνδυασμό του αεροδυναμικού του σχήματος με την απαίτηση της κατάλληλης σταθερότητας και της απαραίτητης αντοχής στις εκάστοτε καταπονήσεις, οι οποίες μεταβάλλονται με το χρόνο. Επιπρόσθετα, απαραίτητη είναι η μελέτη φαινομένων αστάθειας που μπορεί να εμφανιστούν κατά την αλληλεπίδραση των περιστρεφόμενων περυγίων με τον πύργο στήριξης, ενώ ιδιαίτερη προσοχή απαιτεί η θεμελίωση των ανεμοκινητήρων, όταν αυτοί θα πρέπει να εδραστούν σε εδάφη, τα οποία παρουσιάζουν επισφαλή στερεότητα, όπως είναι ο βυθός της θάλασσας.
- Με δεδομένο το γεγονός ότι σε ένα αιολικό πάρκο συνυπάρχει μεγάλος αριθμός ανεμογεννητριών, σημαντικό ρόλο διαδραματίζει η διαμόρφωση του πεδίου ροής, όπως αυτό σχηματίζεται στο πίσω μέρος της περωτής, η μελέτη του οποίου θα πρέπει να εστιάζει στην αλληλεπίδραση των ανεμοκινητήρων στις διάφορες μεταξύ τους διατάξεις, καθώς και στον προσδιορισμό της ελάχιστης απόστασης που θα πρέπει να απέχουν μεταξύ τους οι ανεμογεννήτριες προς αποφυγή ανεπιθύμητων δυσλειτουργιών, με τον αντίστοιχο προσδιορισμό του ελάχιστου δυνατού εμβαδού, προκειμένου να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή αξιοποίηση του χώρου εκμετάλλευσης (Αλεξιάκης, 2001).

3.3.2 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Συγκριτικά με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα οι αντίστοιχες κατακόρυφου άξονα (Εικόνα 3.2) διέπονται από ένα σημαντικό πλεονέκτημα, το οποίο τις καθιστά περισσότερο ανταγωνιστικές από τις πρώτες. Ειδικότερα, οι μηχανές κατακόρυφου άξονα είναι απλούστερες τόσο στην κατασκευή τους όσο και στη λειτουργία τους, ενώ χαρακτηρίζονται από την δυνατότητα αυτόματης προσαρμογής τους προς την διεύθυνση που έχει ο άνεμος.

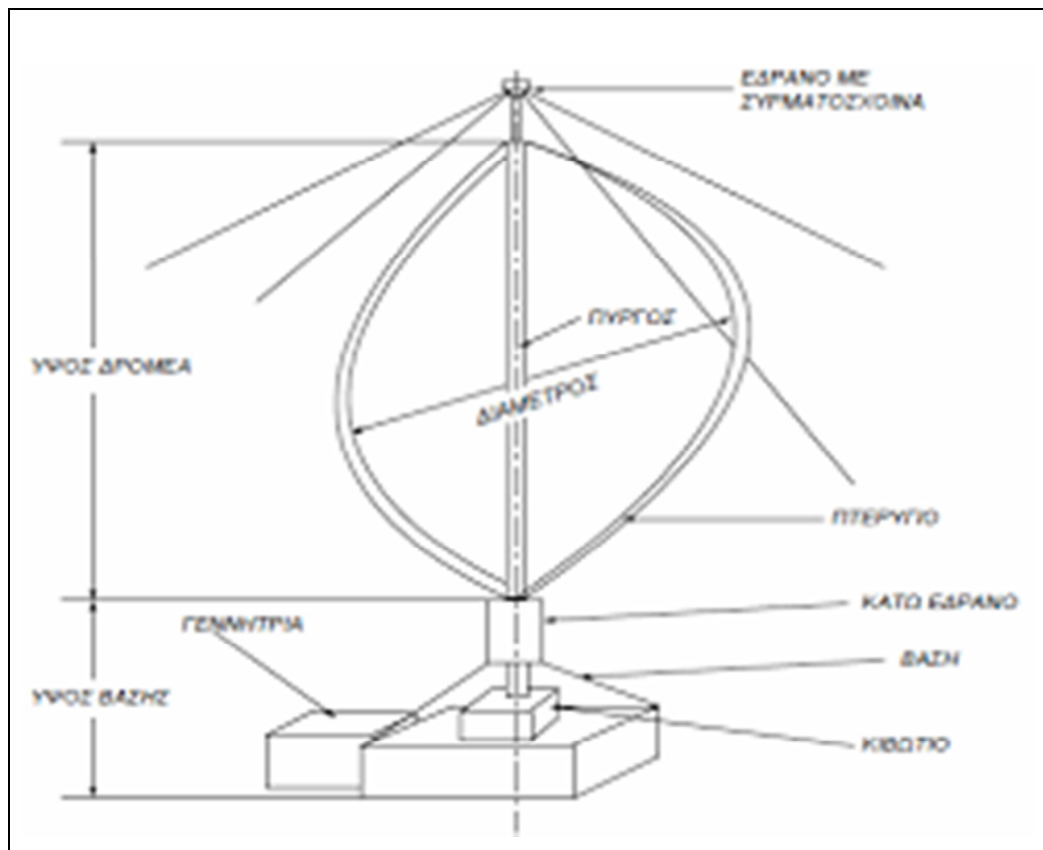


Εικόνα 3.2: Ανεμογεννήτρια Κατακόρυφου άξονα (Τσιλιγκιρίδης, 2007).

Η λειτουργία των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα χαρακτηρίζεται από την περιστροφή τους γύρω από άξονα, ο οποίος έχει κάθετο προσανατολισμό τόσο ως προς την διεύθυνση του προσπίπτοντος σε αυτές ανέμου όσο και ως προς το έδαφος., γεγονός που τους προσδίδει την δυνατότητα της εύκολης και γρήγορης περιστροφής τους σε κάθε είδος ανέμου, από όποιο σημείο του ορίζοντα μπορεί αυτός να προέρχεται. Η λειτουργία των ανεμογεννητριών του τύπου αυτού, συγκριτικά με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, χαρακτηρίζεται από ποιοτική αεροδυναμική απόδοση, αυτονομία σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής, απαίτηση απλών συστημάτων ελέγχου (Τσιλιγκιρίδης, 2007).

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα προσφέρονται σε μεγάλη ποικιλία δρομέων. Τέτοιος τύπος είναι ο δρομέας Darrieus (Σχήμα 3.1), ο οποίος θεωρείται μέχρι σήμερα ως

ο πλέον εξελιγμένος, γεγονός που τον έχει καθιερώσει στην σχετική αγορά. Ο συγκεκριμένος τύπος ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα, με δεδομένο ότι τόσο οι μηχανισμοί του όσο και η γεννήτρια βρίσκονται κατά κύριο λόγο στο έδαφος, γεγονός που απαιτεί ελαφρύτερο πυλώνα, αποτελεί ιδιαίτερα αξιόπιστη επιλογή για την κατασκευή μηχανής ονομαστικής ισχύος 1 MW. Επιπρόσθετα, αυτή η διαμόρφωσή του επιτρέπει την ευκολότερη λειτουργία και συντήρησή του.



Σχήμα 3.1: Δρομέας τύπου Darrieus (Τσιλιγκιρίδης, 2007).

Διαφοροποίηση μεταξύ των ανεμογεννητριών κατακόρυφου και οριζόντιου άξονα ως προς το σύστημα της μετάδοσης κίνησής τους δεν υφίσταται, τουλάχιστον σε σημαντικό βαθμό, παρά μόνο στο γεγονός ότι τα εξαρτήματα στο πρώτο είδος είναι τοποθετημένα κατακόρυφα. Η τοποθέτηση του δρομέα Darrieus της μηχανής της ανεμογεννήτριας κατακόρυφου τύπου σε κατάλληλο έδρανο της βάσης του προσδίδει την δυνατότητα να καταπονείται από εναλλασσόμενα φορτία ακόμη και σε σταθερή ταχύτητα του ανέμου.

Η τοποθέτηση σταθεροποιητικών καλωδιώσεων, οι οποίες συνδέουν την κορυφή μιας ανεμογεννήτριας με τη γη, επιτρέπουν την στήριξή της σε κατακόρυφη θέση. Ένα από τα

ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που διακρίνουν τις μηχανές Darrieus είναι οι πολύ μεγάλες ταχύτητες που μπορούν να αναπτύξουν κατά την διάρκεια της εκκίνησής τους, γεγονός που προσδίδει ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα στην επιλογή του, ιδιαίτερα στην περίπτωση μεγάλων συστημάτων ανεμογεννητριών, οι οποίες για την εκκίνηση της μηχανής τους απαιτούν την παρουσία βοηθητικού κινητήρα. Επιπρόσθετα, οι μηχανές τύπου Darrieus χαρακτηρίζονται από την παροχή χαμηλότερου μέσου ετήσιου συντελεστή ισχύος.

Η ανεμογεννήτρια τύπου Savonius (Εικόνα 3.3) αποτελεί επίσης είδος ανεμογεννήτριας κάθετου άξονα, παρουσιάζοντας χαμηλό συντελεστή ισχύος, χαμηλή ακραία περιφερειακή ταχύτητα, μικρό μέγεθος, ενώ διακρίνεται για την ιδιαίτερα απλή και οικονομική κατασκευή του, η οποία, συνδυαζόμενη με την απουσία απαίτησης ιδιαίτερου συστήματος προσανατολισμού της σχετικά με την διεύθυνση που κάθε φορά λαμβάνει ο άνεμος, την καθιστά ως μια πολύ καλή επενδυτική επιλογή. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά της, την έχουν θέσει στο οπτικό πεδίο των μελετητών, στην προσπάθειά τους να βελτιστοποιήσουν τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά παρόμοιων μηχανών (Καλδέλης, 2005).



Εικόνα 3.3: Σύστημα με πολλαπλές Ανεμογεννήτριες τύπου Savonius (Καλδέλης, 2005).

3.3.3 Σύγκριση μεταξύ ανεμογεννητριών οριζοντίου και καθέτου άξονα

Προκειμένου να σχηματιστεί επαρκής εικόνα της διαφοροποίησης των γεννητριών οριζόντιου και κατακόρυφου άξονα, θα γίνει προσπάθεια να καταγραφούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του κάθε τύπου.

Στην προσπάθεια αυτή, τα κυριότερα από τα πλεονεκτήματα και από τα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα αναφέρονται αμέσως παρακάτω:

1. Πλεονεκτήματα:

- ✓ Χάρη στο μεγάλο τους ύψος, οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν την δυνατότητα εκμετάλλευσης ανέμου μεγαλύτερης ταχύτητας.
- ✓ Η συναρμολόγησή τους δεν είναι απαιτητική.
- ✓ Παρουσιάζουν υψηλό συντελεστή αεροδυναμικότητας.
- ✓ Χαρακτηρίζονται από υψηλότερη αποδοτικότητα, καθώς και μεγαλύτερη απόδοση συγκριτικά με τις μηχανές που διαθέτουν κάθετο άξονα.

2. Μειονεκτήματα:

- ✓ Η θορυβώδης λειτουργίας τους
- ✓ Το μεγάλο κόστος κατασκευής και μεταφοράς τους, λόγω του μεγάλου μεγέθους κατασκευής τους.
- ✓ Η απαίτηση ύπαρξης μηχανισμού περιστροφής, προκειμένου να επιτυγχάνεται ο προσανατολισμός που έχουν τα πτερύγιά τους ως προς την διεύθυνση που έχει ο άνεμος, ώστε να διασφαλίζεται η μέγιστη απόδοσή της.

Τα κυριότερα από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των μηχανών κατακόρυφου άξονα δίνονται παρακάτω:

1. Πλεονεκτήματα:

- ✓ Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα προσφέρουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης του ανέμου από κάθε διεύθυνση που αυτός προέρχεται, χωρίς την απαίτηση ειδικού μηχανισμού προσανατολισμού τους, χάρη στην κατασκευή τους που επιτρέπει την αποδοτική τους λειτουργία ανεξάρτητα της διεύθυνσης που φυσά ο άνεμος. Το

γεγονός αυτό τις καθιστά καταλληλότερες σε τοποθεσίες όπου η διεύθυνση του ανέμου δεν είναι σταθερή.

- ✓ Η τοποθέτηση της γεννήτριας και του κιβωτίου ταχυτήτων στην βάση τους, καθιστά την συντήρηση των μηχανικών τους μερών ευκολότερη.
- ✓ Παρουσιάζουν χαμηλότερο θόρυβο λειτουργίας.
- ✓ Παρουσιάζουν την δυνατότητα της τοποθέτησής τους σε περισσότερα μέρη, χάρη στο μικρότερο μέγεθός τους, όπως, για παράδειγμα μέσα στην πόλη, στις ταράτσες, σε αυτοκινητόδρομους.
- ✓ Εξαιτίας του μικρού, συγκριτικά με τις ανταγωνιστικές τους ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, μεγέθους τους, η κατασκευή τους είναι απλούστερη και χαμηλότερου κόστους. Ειδικότερα, και σύμφωνα με τον εκάστοτε τύπο της μηχανής κάθετου άξονα, παρουσιάζουν πιο μεγάλη ευκολία στην κατασκευή τους, συγκριτικά πάντα με τις αντίστοιχες οριζόντιου άξονα, ενώ και η ευκολότερη κατασκευή των πτερυγίων τους, καθώς και η απουσία απαίτησης μηχανισμού φρεναρίσματος τους σε υψηλές ταχύτητες, αποτελούν επιπρόσθετους λόγους για μια απλή, ελαφριά και φθηνή κατασκευή.

2. Μειονεκτήματα:

- ✓ Ως σημαντικότερο μειονέκτημα των ανεμογεννητριών κάθετου άξονα αναδεικνύεται η χαμηλή τους απόδοση. Για τον τύπο Savonius, που είδαμε παραπάνω, ο βαθμός απόδοσης προσδιορίζεται σε ποσοστό μόλις 15%, ενώ σε άλλους τύπους ανεμογεννητριών κάθετου άξονα είναι ακόμη χαμηλότερος, όταν μια μικρή ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα παρουσιάζει μέσο βαθμό απόδοσης της τάξης του 30% - 40%.
- ✓ Παρουσιάζουν υψηλή ροπή εκκίνησης, γεγονός που τις χαρακτηρίζει από μικρή περιστροφική ταχύτητα.
- ✓ Εξαιτίας του μειωμένου τους μεγέθους, αδυνατούν να εκμεταλλευτούν ρεύματα αέρα που εμφανίζουν μεγάλες ταχύτητες.
- ✓ Εμφανίζουν δυσχέρειες στην συντήρηση ορισμένων μηχανικών μερών τους, όπως, για παράδειγμα, στην αλλαγή των εδράνων κύλισης (Καλδέλης, 2005).

3.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη Αιολικών μηχανών

Οι παράμετροι που θα πρέπει να προσμετρηθούν στην προσπάθεια σχεδιασμού και επιλογής μιας εγκατάστασης αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας και που αφορούν στις προδιαγραφές των υπό τοποθέτηση ανεμογεννητριών είναι:

1. Η διάμετρος της πτερωτής της μηχανής (D), που, ουσιαστικά, προσδιορίζει το απαιτούμενο εμβαδό σάρωσης της πτερωτής της και, κατ' επέκταση, την ενεργό επιφάνεια αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας. Ο προσδιορισμός της διαμέτρου της πτερωτής πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τόσο την απαιτούμενη ισχύ, όσο και την μέση ροή της ενέργειας που διαθέτει μια περιοχή (σε Watt/mm^2), όπως και το μέγιστο ποσοστό της ενέργειας αυτής που είναι εφικτό να αξιοποιηθεί.
2. Το ύψος τοποθέτησης (H), το οποίο για τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα αναφέρεται στην μηχανή τους, ενώ για τις αντίστοιχες κάθετου άξονα στο ύψος τοποθέτησης του δρομέα της μηχανής τους. Είναι γνωστό ότι η αύξηση του ύψους συνεπάγεται τόσο την αντίστοιχη αύξηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού, όσο και το βάρος της κατασκευής, καθώς και την συνακόλουθη αύξηση που παρουσιάζει το κόστος που έχει αυτή η εγκατάσταση. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι συνακόλουθοι περιορισμοί ελάχιστου ύψους τοποθέτησης, με δεδομένο ότι τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας δεν θα πρέπει να τοποθετούνται πολύ κοντά στη γη, προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα που σχετίζονται με την αλληλεπίδρασή τους με τη γη. Συγκεκριμένα, το ύψος μιας ανεμογεννήτριας προσδιορίζεται από την διάμετρο της πτερωτής, με τις συνηθέστερες τιμές της να κυμαίνονται μεταξύ του $H/D=1,0$ και $H/D=1,5$.
3. Ο αριθμός των πτερυγίων (Z) που έχει η πτερωτή, ο οποίος σχετίζεται με την ποιότητα της στιβαρότητας (σ) κατασκευής της ανεμογεννήτριας. Οι πτερωτές τριών πτερυγίων (τριπτέρυγες) και δύο πτερυγίων (διπτέρυγες) αποτελούν σήμερα τις πλέον αξιοποιήσιμες επιλογές.
4. Το είδος των πτερυγίων που διαθέτει η πτερωτή, το οποίο αναφέρεται τόσο στον τύπο κατασκευής αυτών των πτερυγίων (αν αυτά ανήκουν σε συγκεκριμένη τυποποίηση), στο πάχος τους, στη συστροφή τους, καθώς και στα υλικά που έχουν αξιοποιηθεί κατά την κατασκευή τους.
5. Η ονομαστική ταχύτητα της περιστροφής (n) της πτερωτής, που εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τη συχνότητα που έχει το ηλεκτρικό δίκτυο στην

περίπτωση της διασύνδεσης ανεμογεννητριών, καθώς και η αντοχή που διαθέτουν τα πτερύγια κατά την ανάπτυξη φυγόκεντρων τάσεων.

6. Το βήμα της πτερωτής [$\beta = \beta(r)$], που προσδιορίζεται από τη γωνία (β), η οποία σχηματίζεται μεταξύ της χορδής της αεροτομής και του επιπέδου που περιστρέφεται αυτή η πτερωτή. Το βήμα της πτερωτής, αποτελώντας γεωμετρικό προσδιοριστικό στοιχείο της, σε αρκετές περιπτώσεις αλλάζει από τη βάση των πτερυγίων ως την κεφαλή τους, με αποτέλεσμα να σχετίζεται συναρτησιακά με την γωνία β : $\beta = \beta(r)$. Το βήμα της έλικας βαίνει συνήθως μειούμενο από τη βάση της πτερωτής προς την κεφαλή της πτερύγωσης. Ο τρόπος με τον οποίο μεταβάλλεται το βήμα κατά το ύψος ενός πτερυγίου είναι βασικό σχεδιαστικό στοιχείο του δρομέα της ανεμογεννήτριας. Συνήθως, ο προσδιορισμός του βήματος μιας πτερωτής καθορίζεται στα 2/3 της απόστασης της ακτίνας της ανεμογεννήτριας από τον άξονά της.

7. Ο συντελεστής ισχύος (C_p) της ανεμογεννήτριας, ουσιαστικά προσδιορίζει το βαθμό της αεροδυναμικής απόδοσης της πτερωτής της. Επισημαίνεται ότι ακόμη και για μια, θεωρητικά, τέλεια έλικα, ο συντελεστής ισχύος της δεν επιτρέπεται να ξεπεράσει το όριο του Betz, δηλαδή:

$$C_p \leq 16/27 = 0,593. \quad (4).$$

Στην πράξη, ο συντελεστής ισχύος είναι πάντα αρκετά πιο μικρός από το όριο του Betz, εξαιτίας τόσο της συνεκτικότητας που χαρακτηρίζει τον εκάστοτε άνεμο και του συγκεκριμένου πλήθους των πτερυγίων μιας πτερωτής, όσο και της καταγραφόμενης απώλειας της κινητικής ενέργειας, η οποία δεν μπορεί να μετατραπεί σε στατική πίεση, εξαιτίας της αδυναμίας ή της απουσίας βέλτιστου σχεδιασμού των πτερυγίων της μηχανής.

8. Η ονομαστική ισχύς (N) της ανεμογεννήτριας, προσδιορίζει το μέγεθος μιας μηχανής, αποτελώντας παράλληλα το μέτρο που χαρακτηρίζει τη στιγμιαία ωφέλιμη παραγόμενη ενέργεια, η οποία προέρχεται από την αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου σε μια επιφάνεια με εμβαδό (A), με την ταχύτητα των ρευμάτων ανέμου να είναι (V) και την πυκνότητα του να είναι (ρ). Σε αυτή την περίπτωση, αξιοποιείται η παρακάτω σχέση (5):

$$N = 0,5 * C_p * n * \rho * A * V^3 \quad (5).$$

Ο βαθμός απόδοσης (η) συμπεριλαμβάνει τόσο τις απώλειες που έχει το μηχανικό σύστημα (η_M), όσο και τις απώλειες που προέρχονται από την ηλεκτρομηχανική

μετατροπή (η_{\square}). Ως απώλειες του μηχανικού συστήματος συνήθως προσδιορίζονται οι απώλειες τριβής, οι απώλειες έδρασης, οι απώλειες από τον πολλαπλασιαστή στρωψών, κ.λπ.

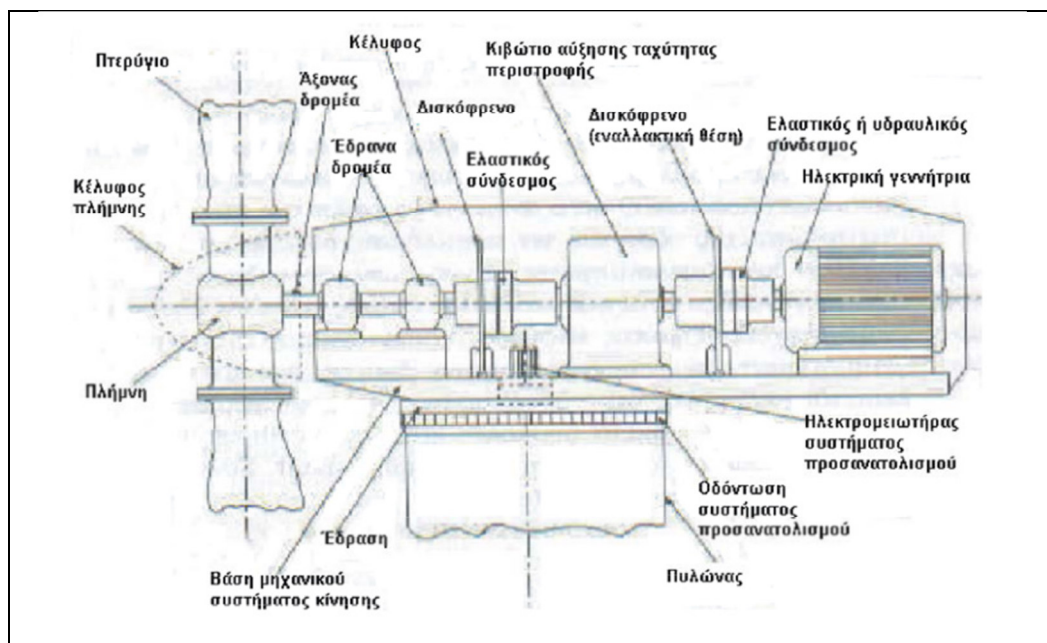
Τελικά, ο βαθμός απόδοσης (η) δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\eta = (\eta_M)^* (\eta_{\square}) \quad (6) \quad (\text{Ασημακόπουλος και συν., 2015}).$$

3.5 Αποτελούμενα μέρη ανεμογεννήτριας

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια (Σχήμα 3.2) είναι:

- Το ανεμόμετρο, το οποίο μετράει την αιολική ταχύτητα, μεταβιβάζοντας τα σχετικά δεδομένα σε έναν καταγραφέα – ελεγκτή.
- Τα πτερύγια, με τις περισσότερες ανεμογεννήτριες να διαθέτουν δύο ή τρία πτερύγια. Η περιστροφή των πτερυγίων επιτυγχάνεται με την άνωση που επιφέρει ο άνεμος πάνω στα πτερύγια, αποτέλεσμα της οποίας είναι να δημιουργείται ροπή δύναμης γύρω από τον άξονα της περιστροφής τους και, εντέλει, να επιτυγχάνεται η περιστροφή αυτών των πτερυγίων.
- Το φρένο, το οποίο αποτελείται ουσιαστικά από ένα δισκόφρενο, το οποίο λειτουργώντας είτε μηχανικά είτε ηλεκτρικά είτε υδραυλικά, χρησιμοποιείται προκειμένου να σταματάει τον κινητήρα σε περίπτωση ανάγκης.



Σχήμα 3.2: Μέρη Ανεμογεννήτριας (Χατζημπίρος, 2014).

- Ο ηλεκτρονικός ελεγκτής, ο οποίος επιτρέπει την μηχανή της ανεμογεννήτριας να ξεκινά όταν οι ταχύτητες του ανέμου καταγράφονται στα 8 μίλια μέχρι και 16 μίλια την ώρα, διακόπτοντας την περιστροφή της σε ταχύτητες του ανέμου που πλησιάζουν ή ξεπερνούν τα 65 μίλια την ώρα, με δεδομένο ότι η λειτουργία των ανεμογεννητριών σε τέτοιες μεγάλες ταχύτητες του ανέμου είναι απαγορευτικές, αφού υφίσταται κίνδυνος υπερθέρμανσής τους και θραύσης των πτερυγίων τους.
- Το κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο αποτελεί ακριβό και, κατά μία έννοια, ανεπιθύμητο μηχανισμό για τις ανεμογεννήτριες με δεδομένο ότι αυξάνουν εντυπωσιακά το κόστος τους. Το κιβώτιο ταχυτήτων χρησιμεύει στην σύνδεση του άξονα μικρής ταχύτητας με τον άξονα μεγάλης ταχύτητας προκειμένου να αυξάνεται η ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται μια ανεμογεννήτρια από τις 30 στροφές ως και τις 60 στροφές το λεπτό στις 1200 με 1500 στροφές σε κάθε λεπτό. Αυτή η αύξηση της ταχύτητας είναι, με τα σημερινά τεχνολογικά δεδομένα, απαραίτητη στις περισσότερες γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Με δεδομένο το μεγάλο κόστος του κιβωτίου ταχυτήτων, οι μηχανικοί επιδιώκουν την επίτευξη της λειτουργίας γεννητριών με χαμηλότερες ταχύτητες στην κατεύθυνση της απαλλαγής της ανεμογεννήτριας από το βαρύ κόστος του κιβωτίου ταχυτήτων.
- Η ηλεκτρική γεννήτρια, που παράγει ρεύμα εναλλασσόμενο συχνότητας 60 Hz.
- Ο άξονας υψηλής ταχύτητας, που λειτουργεί ως οδηγός για μια γεννήτρια.
- Ο άξονας μικρής ταχύτητας, με τον ρότορά του να τον κινεί σε επίπεδα χαμηλής ταχύτητας της τάξης των 30 με 60 στροφές το λεπτό περίπου.
- Το κέλυφος, στο οποίο συνδέεται ο ρότορας. Αυτό βρίσκεται επάνω από τον πύργο της ανεμογεννήτριας, περιλαμβάνοντας το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες μεγάλης και μικρής ταχύτητας, τη γεννήτρια, το φρένο, καθώς τον αυτόματο ελεγκτή. Ένα προστατευτικό κάλυμμα τοποθετείται για την προστασία των μερών που βρίσκονται εντός του κελύφους. Σε κάποια κελύφη το μέγεθός τους είναι τόσο μεγάλο που επιτρέπει στον τεχνικό συντήρησης να εργάζεται όρθιος μέσα σε αυτό.
- Η κλίση των πτερυγίων, η οποία επιτρέπει στα πτερύγια να πραγματοποιούν περιστροφή γύρω από τον διαμήκη άξονά τους, προκειμένου να επιτυγχάνεται η μείωση των αεροδυναμικών φορτίων που δημιουργούνται πάνω στα πτερύγια κατά τις υψηλές ταχύτητες του αέρα και, αντίστοιχα, να αυξάνουν αυτά τα αεροδυναμικά φορτία στις χαμηλές ταχύτητες.
- Ο ρότορας, που συμπεριλαμβάνει τα πτερύγια και το κεντρικό συνδετικό τους σημείο.

- Ο πύργος, ο οποίος κατασκευάζεται από χαλύβδινο κέλυφος. Με δεδομένο ότι όσο αυξάνεται το ύψος τοποθέτησης του πύργου αυξάνεται και η ταχύτητα του προσπίπτοντος σε αυτόν ανέμου, οι υψηλοί πύργοι εφοδιάζονται με γεννήτριες, προκειμένου να συλλέγεται περισσότερη ενέργεια και να παράγεται έτσι περισσότερο ηλεκτρικό ρεύμα.
- Το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης, όργανα, τα οποία αξιοποιούνται προκειμένου να αποστέλλονται τα κατάλληλα σήματα λειτουργίας στον ηλεκτρονικό ελεγκτή.
- Ο οδηγός εκτροπής, ο οποίος επιτρέπει στις ανεμογεννήτριες να στρέφονται προς την διεύθυνση του ανέμου, ρυθμίζοντας κατάλληλα την θέση του ρότορα, ώστε αυτός να βρίσκεται πάντα στην κατεύθυνση του ανέμου.
- Το σύστημα ψύξης, το οποίο περιλαμβάνει έναν ανεμιστήρα, προκειμένου να ψύχεται η γεννήτρια. Η ψύξη επιτυγχάνεται από την λειτουργία μονάδας λαδιού, ενώ μπορεί να προβλεφτεί υδρόψυκτη κατασκευή της ανεμογεννήτριας.
- Ο κινητήρας εκτροπής, ο οποίος προσφέρει ενέργεια στον οδηγό εκτροπής (Χατζημπίρος, 2014).

Κεφάλαιο 4^ο

Αιολικά πάρκα -Μελέτη εγκατάστασης αιολικών πάρκων

4.1 Ορισμός - Περιγραφή

Το αιολικό πάρκο (Εικόνα 4.1), αποτελείται από αριθμό ανεμογεννητριών, οι οποίες έχουν εγκατασταθεί σε περιοχή που παρουσιάζει αυξημένο αιολικό δυναμικό προκειμένου να μετατρέψουν την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική, την οποία διοχετεύουν στο υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο. Συνδέονται μεταξύ τους με παράλληλη ηλεκτρική σύνδεση. Τα αιολικά πάρκα διακρίνονται ως προς την τοποθεσία εγκατάστασής τους σε χερσαία (ξηράς) και υπεράκτια (θάλασσας).

Τα χερσαία αιολικά πάρκα, των οποίων η εγκατάσταση πραγματοποιείται στη στεριά, αποτελούν το 98% των λειτουργούντων σήμερα αιολικών πάρκων σε όλο τον πλανήτη. Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα, εγκαθίστανται στις θάλασσες και, μέχρι σήμερα, αποτελούν μικρό μόλις ποσοστό (2%) του συνόλου των λειτουργούντων αιολικών πάρκων παγκοσμίως.

Ένα αιολικό πάρκο είναι ουσιαστικά ένας αυτόνομος και ανεξάρτητος βιομηχανικός χώρος, ο οποίος αποτελείται από μηχανές με πυλώνες, των οποίων το ύψος φτάνει τα 50-75m, από πτερωτές (έλικες) που έχουν διάμετρο μέχρι 40 m και με συνολικό ύψος κατασκευής το οποίο αγγίζει τα 70-95m, όσο είναι το ύψος ενός ψηλού λόφου.

Η τοποθέτηση των ανεμογεννητριών απαιτεί την διάνοιξη δρόμων, προκειμένου να επιτευχθεί η διέλευση των βαρέων οχημάτων που μεταφέρουν τον μεγάλων διαστάσεων εξοπλισμό των ανεμογεννητριών στους χώρους εγκατάστασής τους. Σε κάθε ανεμογεννήτρια υπάρχει υποσταθμός, ο οποίος μεταφέρει το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα στον κεντρικό σταθμό του αιολικού πάρκου. Το ηλεκτρικό ρεύμα από τον κεντρικό σταθμό μεταφέρεται στο δίκτυο υψηλής τάσης, προκειμένου να διοχετευτεί στο κεντρικό δίκτυο της ΔΕΗ (Δαγκαλίδης, 2010).

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η αποδιδόμενη ισχύς μιας ανεμογεννήτριας και, κατ' επέκταση, η παραγόμενη από αυτή ενέργεια, έχει άμεση συνάρτηση με την ταχύτητα που παρουσιάζει ο άνεμος, με την πυκνότητά του και με τα τεχνικά χαρακτηριστικά της συνολικής κατασκευής. Με δεδομένο ότι η ταχύτητα των ρευμάτων του αέρα αυξάνεται με το ύψος τοποθέτησης των πτερυγίων, η τοποθέτηση των ανεμογεννητριών πραγματοποιείται πάντα στην κορυφή πύργων στήριξης μεγάλου ύψους. Σύμφωνα με τους θεωρητικούς υπολογισμούς, περίπου το 53,9% της συνολικής αιολικής

ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Αυτό το γεγονός, συνδυαζόμενο με το ότι η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια είναι ασυνεχής χρονικά, εξαρτώμενη πάντα από την διάρκεια πνοής του ανέμου, καθώς και το γεγονός ότι δεν υφίσταται πάντα σταθερή ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια όλου του εικοσιτετραώρου, θέτει σημαντικούς περιορισμούς στον βαθμό αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας. Παράλληλα, αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η παρουσία σημαντικών ταλαντώσεων στην αποδιδόμενη στο δίκτυο ηλεκτρική ισχύ, ακόμη και σε μικρής διάρκειας χρονικά διαστήματα, ενώ σε περιόδους άπνοιας ή ισχυρού ανέμου σταματάει η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 4.1: Ένα από τα μεγαλύτερα Αιολικά Πάρκα της χώρας στην Κομοτηνή (Δαγκαλίδης, 2010).

Κατά τις αρχές της δεκαετίας του 1980 υπήρξε η διαπίστωση ότι η εγκατάσταση πληθώρας ανεμογεννητριών σε μια τοποθεσία με την μορφή αιολικών πάρκων παρουσίαζε σειρά σημαντικών τεχνικών και οικονομικών πλεονεκτημάτων. Για παράδειγμα, η αποδιδόμενη ισχύς ενός αιολικού πάρκου παρουσιάζει μικρές ταλαντώσεις, σε αντίθεση με την διαχείριση μεμονωμένων ανεμογεννητριών, η αποδιδόμενη ισχύς των οποίων χαρακτηρίζεται από μεγάλο μεγέθους ταλαντώσεις, εξαιτίας της ασταθούς έντασης του ανέμου. Ως επιπρόσθετο πλεονέκτημα των αιολικών πάρκων αναφέρεται η μικρότερη επιφάνεια που απαιτείται για την εγκατάστασή του σε μια περιοχή, συγκριτικά με αυτήν που απαιτείται για την αντίστοιχη εγκατάσταση εκμετάλλευσης άλλων μορφών ενέργειας,

ενώ, παράλληλα, επισημαίνεται ότι το αιολικό πάρκο δεν εμποδίζει την εκμετάλλευση της γης που βρίσκεται εκατέρωθεν αυτού, αλλά και εντός των ορίων του (Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2006).

4.2 Οφέλη από τη χρήση Αιολικών Πάρκων

Ως σημαντικότερα οφέλη της χρήσης των αιολικών πάρκων καταγράφονται τα παρακάτω:

- Τα αιολικά πάρκα επιτρέπουν την εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου, ενέργεια που, πρακτικά, είναι ανεξάντλητη και, επιπρόσθετα, χωρίς κόστος αγοράς της (παρά μόνο ως κόστος των εγκαταστάσεων) προσφέρεται για να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από την αιολική ενέργεια είναι φθηνότερο από το αντίστοιχο που παράγεται από σταθμούς πυρηνικής ενέργειας ή από το πετρέλαιο. Αν η αιολική ενέργεια αντλείται από σταθμούς που είναι εγκατεστημένοι σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό, η απόδοσή της σε ηλεκτρική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερα ανταγωνιστική συγκριτικά με τους σύγχρονους σταθμούς παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας είτε από λιγνίτη είτε από φυσικό αέριο.
- Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την ενέργεια του ανέμου αποτελεί μια όψιμη τεχνολογική και επενδυτική επιλογή, οικονομικά ανταγωνιστική με άλλες, μη ανανεώσιμες, πηγές ενέργειας, η οποία διαθέτει επιπρόσθετα τόσο τα πλεονεκτήματα του μηδενικού κόστους αγοράς καύσιμων υλών, της φιλικής της παρουσίας προς το περιβάλλον, καθώς και της δυνατότητας υπόσχεσης ως ανεξάντλητης πηγής παραγωγής ενέργειας. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα συνεκτιμώνται ιδιαίτερα θετικά τόσο για τη χώρα μας, όσο και για τις χώρες της Ευρώπης και, φυσικά, σε παγκόσμιο επίπεδο.
- Η ιδιαίτερη αξία της αιολικής ενέργειας ως μη ρυπογόνου για το περιβάλλον πηγής ενέργειας έχει αναδειχθεί σε όλα τα επίπεδα. Υπολογίζεται ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα χρόνο από μια ανεμογεννήτρια ισχύος 550 KW ισοδυναμεί με την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την καύση ποσότητας πετρελαίου που αντιστοιχεί σε 2.700 βαρέλια, γεγονός που σημαίνει αποφυγή εκπομπής προς το περιβάλλον ποσότητας 735 περίπου τόνων CO₂ τον χρόνο, καθώς και δύο (2) επιπλέον τόνων άλλων επιβλαβών για το περιβάλλον αερίων, όπως είναι

το SO₂ και άλλων, εξίσου επικίνδυνων, καρκινογόνων μικροσωματίδιων (Καλδέλης, 2005).

4.3 Υπεράκτια Αιολικά πάρκα

Ως υπεράκτιο χαρακτηρίζεται το αιολικό πάρκο που έχει τις ανεμογεννήτριές του τοποθετημένες στην θάλασσα (Εικόνα 4.2). Το ειδοποιό στοιχείο που διακρίνει ένα αιολικό πάρκο ως παράκτιο ή υπεράκτιο είναι η απόσταση των ανεμογεννητριών του από το κοντινότερο στο ηλεκτρικό δίκτυο σημείο σύνδεσης. Αν και δεν υφίσταται συγκεκριμένη τιμή μιας τέτοιας απόστασης, μια αποδεκτή τάξη μεγέθους για την διάκριση αυτή είναι η απόσταση 20 – 30 χιλιόμετρα από το πλέον κοντινό σημείο σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο.



Εικόνα 4.2: Μεγάλο Υπεράκτιο Αιολικό πάρκο στη Δανία (Χατζημπίρος, 2014).

Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες, οι οποίες είναι αποκλειστικά οριζόντιου άξονα περιστροφής, διαθέτοντας συνήθως τρία πτερύγια, αποτελούν εξέλιξη των χερσαίων ανεμογεννητριών, η κατασκευή των οποίων είναι ευρέως διαδεδομένη. Αν και, όπως ειπώθηκε παραπάνω, αποτελούν μικρό ακόμη ποσοστό στην συμμετοχή τους στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αποτελούν μια από τις πλέον ελπιδοφόρες κατασκευές στην κατεύθυνση αυτή.

Σημαντικότερος λόγος εγκατάστασης των ανεμογεννητριών σε θαλάσσιο περιβάλλον είναι η ύπαρξη υψηλότερων αιολικών δυναμικών σε αυτό, αφού τα θαλάσσια ρεύματα του

ανέμου είναι περισσότερα και πολύ υψηλότερα από τα αντίστοιχα στα ηπειρωτικά. Επιπρόσθετα, η επιπεδότητα της επιφάνειας της θάλασσας διασφαλίζει καλύτερης ποιότητας ανέμου, χωρίς ιδιαίτερες αναταράξεις στη ροή του, γεγονός που προσδίδει ισχυρό πλεονέκτημα στα υπεράκτια πάρκα για το γεγονός ότι οι ανεμογεννήτριές τους έχουν την δυνατότητα της συνεχούς λειτουργίας, χωρίς την αναγκαιότητα της διακοπής της, εξαιτίας είτε μηδενικής έντασης του ανέμου είτε ισχυρής. Γίνεται κατανοητό ότι η συνεχής, ομαλή και απρόσκοπτη λειτουργία επιβαρύνει λιγότερο τα ηλεκτρονικά της μέρη και, γενικότερα, τον μηχανισμό μιας ανεμογεννήτριας, απαιτεί λιγότερες επανεκκινήσεις και, εν τέλει, διασφαλίζει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής.

Η μεγαλύτερη πρόκληση στην εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε θαλάσσιο χώρο ήταν η οικονομοτεχνική προσέγγιση της πάκτωσης των πυλώνων τους στον βυθό της θάλασσας. Σχετικές μελέτες έδειξαν ότι η εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε βάθος μεγαλύτερο των 30 μέτρων αποτελεί μια μη συμφέρουσα, από οικονομικής πλευράς, επιλογή, αν και το όριο αυτό δεν είναι δεσμευτικό, εξαρτώμενο πάντα από την ποιότητα του βυθού, καθώς και την τοποθεσία. Αν και είναι ξεκάθαρο πως η υπεράκτια αιολική ενέργεια διασφαλίζει μεγαλύτερο ενεργειακό δυναμικό συγκριτικά με την χερσαία, οι ιδιαίτερες θαλάσσιες συνθήκες εμφανίζουν εγγενείς δυσκολίες που δεν καθιστούν πάντα επιτρεπτή την δυνατότητα να υλοποιηθεί μια τέτοια εγκατάσταση. Προκειμένου να υπερκεραστούν οι δυσκολίες αυτές, η επιστήμη της μηχανικής έχει εστιάσει στην προσπάθεια της επανεξέτασης των διαμορφωτικών παραγόντων ενός τέτοιου εγχειρήματος. Επανεξετάζεται πλέον η κλίμακά τους, ο τύπος θεμελίωσής τους, ο τρόπος μεταφοράς τους, η κατασκευή τους, η συντήρησή τους. Αυτή η αναθεώρηση και η προσπάθεια επαναπροσδιορισμού με ζητούμενο τις πλέον κατάλληλες και συμφέρουσες συνθήκες λειτουργίας τους, έχουν θέσει την υπεράκτια αιολική ενέργεια σε πρώτης προτεραιότητας επιλογή ως ανανεώσιμη πηγή ενέργειας για τις βιομηχανίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Χατζημπίρος, 2014).

Κάθε κατασκευή που αφορά στην υπεράκτια αιολική ενέργεια παρουσιάζει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, τα οποία προσδιορίζονται από παράγοντες όπως είναι το αιολικό δυναμικό, η συνοχή που παρουσιάζει ο πυθμένας εγκατάστασης, το βάθος στην περιοχή εγκατάστασης, η απόσταση από την ακτή. Κατά την υλοποίηση της εγκατάστασης, οι αρμόδιοι μηχανικοί προχωρούν στην επιλογή του τύπου θεμελίωσης των ανεμογεννητριών έχοντας προσμετρήσει το αιολικό δυναμικό του ανέμου στην περιοχή εγκατάστασης. Παράγοντες όπως η απόσταση από την στεριά, καθώς και το βάθος της θάλασσας στην περιοχή τοποθέτησης, χαρακτηρίζονται ως ιδιαίτερα καθοριστικοί στην απόφαση

εγκατάστασης, με δεδομένο ότι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν άμεσα τόσο την μεταφορά των ανεμογεννητριών στην εν λόγω περιοχή, όσο και την διαχείριση, καθώς και την συντήρησή τους, ενώ το βάθος εγκατάστασης ίσως αποβεί απαγορευτικός παράγοντας, εφόσον αναφέρεται σε αυξημένο κόστος κατασκευής μεγαλύτερων ανεμογεννητριών, καθώς και εγκατάστασής τους. Γενικότερα, εφόσον το βάθος εμφανίζει αρνητικό αντισταθμιστικό κόστος από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, είναι πιθανό μια προσπάθεια εγκατάστασης υπεράκτιου πάρκου σε μια τέτοια περιοχή να εγκαταλειφτεί. Τα πρώτα υπεράκτια αιολικά πάρκα εκτός Ευρωπαϊκής Ένωσης κατασκευάστηκαν στην Κίνα, με αρχική δυναμικότητα 100MW και στην Ιαπωνία με αρχική δυναμικότητα 25 MW. Σήμερα, υπολογίζεται ότι η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στην Ευρωπαϊκή Ένωση αγγίζει σε μέγεθος ισχύος τα 40.000MW. Αν και συνηθίζεται τα υπεράκτια αιολικά πάρκα να έχουν τις ανεμογεννήτριές τους πακτωμένες στο βυθό της θάλασσας, εντούτοις δεν αποκλείεται και η λύση της εγκατάστασής τους σε πλωτές εξέδρες, λύση που ολοένα κερδίζει έδαφος τα τελευταία χρόνια, αφού προσφέρει την δυνατότητα να προσπεραστούν τα εμπόδια που αφορούν τόσο στην εγκατάσταση ανεμογεννητριών σε μεγάλα βάθη, όσο και σε ασταθή εδάφη του βυθού της θάλασσας. Οι πλέον διαδεδομένοι τύποι βάσεων για ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο είναι οι παρακάτω:

- Η θεμελίωση με πάκτωση μονού μεταλλικού σωλήνα.
- Η θεμελίωση με πάκτωση τρίποδου μεταλλικού σωλήνα.
- Η θεμελίωση με πάκτωση τετράποδου μεταλλικού σωλήνα.
- Η θεμελίωση Βαρύτητας (Χατζημπίρος, 2014).

Επισημαίνεται ότι το βάθος της θάλασσας, καθώς και η σύσταση του βυθού της είναι καθοριστικοί παράγοντες επιλογής του τύπου θεμελίωσης. Από τους τέσσερις παραπάνω τύπους θεμελίωσης κανείς δεν είναι κατάλληλος για όλα τα βάθη και τις συνθήκες βυθού.

4.3.1 Διαφορές χερσαίου και υπεράκτιου Αιολικού πάρκου

Οι σημαντικότερες διαφορές που παρουσιάζουν μεταξύ τους ένα χερσαίο με ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο είναι:

- Το ετήσιο αιολικό δυναμικό στην θάλασσα είναι διπλάσιο από το αντίστοιχο στην στεριά. Ειδικότερα, το ετήσιο αιολικό δυναμικό στην θάλασσα είναι 4000 ώρες αιχμής, όταν το αντίστοιχο στην ξηρά είναι 2000 ώρες αιχμής.

- Οι δυνατότητες εγκατάστασης μεγάλων αιολικών πάρκων στη στεριά είναι περιορισμένες, συγκριτικά με τις αντίστοιχες στην θάλασσα, όπου η εγκατάσταση μεγάλης έκτασης και δυναμικότητας αιολικών πάρκων παρουσιάζει ιδιαίτερα μεγάλες χωροταξικές δυνατότητες.
- Το επενδυτικό ύψος για τα χερσαία αιολικά πάρκα έχει προσδιοριστεί στο οικονομικό μέγεθος των 30-40 εκατομμυρίων ευρώ, τη στιγμή που το αντίστοιχο για τα θαλάσσια αιολικά πάρκα εκτιμάται στο μέγεθος των 1-3 δισεκατομμύρια ευρώ.
- Η πρόσβαση στα χερσαία αιολικά πάρκα είναι, σε αρκετές περιπτώσεις δύσκολη, όπως και οι συνθήκες πρόσβασης σε αυτά, με δεδομένο ότι τα περισσότερα αιολικά πάρκα κατασκευάζονται σε δύσβατες περιοχές, κυρίως ορεινές. Στα θαλάσσια αιολικά πάρκα η πρόσβαση είναι σαφώς περισσότερο διαχειρίσιμη.
- Η θεμελίωση των χερσαίων αιολικών πάρκων παρουσιάζει χαρακτηριστικές διαφορές από την αντίστοιχη των θαλάσσιων. Στα χερσαία αιολικά πάρκα η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών έχει πανομοιότυπη διαδικασία, με την θεμελίωση να αποτελεί κατά μία έννοια «ρουτίνα», αφού πρόκειται για πρότυπα θεμέλια από μπετόν σε στερεό έδαφος. Όσον αφορά στην θεμελίωση των θαλάσσιων αιολικών πάρκων, η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών παρουσιάζει ιδιαιτερότητες, προσδιοριζόμενη από παράγοντες που σχετίζονται τόσο με την ποιότητα του βυθού και τον βαθμό διάβρωσής του, όσο και με το βάθος της θάλασσας. Οι παράμετροι αυτοί προσδιορίζουν τον κατάλληλο, κάθε φορά, τύπο θεμελίωσης.

Η μελέτη κατασκευής ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου επιμερίζεται σε κατασκευαστικά στάδια. Κάθε στάδιο συμπεριλαμβάνει συγκεκριμένους παράγοντες, οι οποίοι λαμβάνονται υπόψη κατά την υλοποίηση του εγχειρήματος αυτής της κατασκευής.

Τρία είναι τα βασικά στάδια μελέτης κατασκευής ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου:

- Η μελέτη της τοποθεσίας εγκατάστασής του.
- Ο προσδιορισμός των μηχανημάτων που πρόκειται να εγκατασταθούν.
- Το συνολικό κατασκευαστικό κόστος.

Στο καθένα από τα στάδια αυτά, εμπεριέχονται στοιχεία, τα οποία χρήζουν ιδιαίτερα προσεκτικής μελέτης, προκειμένου να επιτευχθεί η βέλτιστη λειτουργική και βιώσιμη λύση.

Οι καθοριστικοί παράγοντες αναζήτησης της τοποθεσίας εγκατάστασης ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου σχετίζονται με τα αιολικά δεδομένα που χαρακτηρίζουν την κάθε περιοχή, καθώς και τη δυνατότητα της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου σε αυτήν. Ειδικότερα, η εξειδικευμένη αυτή μελέτη εγκατάστασης θα αναφέρεται στην δυνατότητα τοποθέτησης βάσεων ανεμογεννητριών στον βυθό της περιοχής, προσμετρώντας τόσο την δυνατότητα αυτή σε σχέση με την ποιότητα και τον βαθμό σαθρότητας του βυθού, όσο και σε σχέση με την διασφάλιση αποφυγής περιβαλλοντικών επιπτώσεων στην εν λόγω περιοχή, με δεδομένη την απαίτηση να μην καταστραφεί ο περιβάλλον υποθαλάσσιος βιότοπος.

Το επόμενο μελετητικό βήμα, συμπεριλαμβάνει την διαδικασία επιλογής του κατάλληλου για την εγκατάσταση ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Με ολοκληρωμένη την καταγραφή των δεδομένων της εγκατάστασης, πραγματοποιείται η επιλογή των κατάλληλων γεννητριών, των κινητήρων, του τρόπου της σύνδεσής τους με το ηλεκτρικό δίκτυο, ενώ υλοποιείται ο τοπογραφικός προσδιορισμός παράταξης των ανεμογεννητριών στην περιοχή εγκατάστασης.

Η οικονομοτεχνική μελέτη αποτελεί το τελευταίο στάδιο της συνολικής μελέτης κατασκευής ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου με τον προσδιορισμό των απαιτούμενων ποσών προκειμένου να υλοποιηθεί το έργο. Προσμετρώνται όλες οι οικονομικές παράμετροι, καθώς και οι επιλογές επιδότησης του έργου, ενώ προσδιορίζονται τα οφέλη για την γενικότερη επένδυση, όπως και για την περιοχή εγκατάστασης του έργου στην βάση της ανάπτυξής της, ενώ προσδιορίζονται οι όποιες επιβλαβείς επιπτώσεις μπορεί να προκύψουν στο περιβάλλον της περιοχής αυτής, με σκοπό τον περιορισμό τους στον ελάχιστο δυνατό βαθμό (Χατζημίρος, 2014).

4.4 Επενδύσεις σε υπεράκτια Αιολικά πάρκα σε όλο τον κόσμο

Από το 1991, χρονιά κατά την οποία εγκαταστάθηκε η πρώτη ανεμογεννήτρια σε θαλάσσιο χώρο της Δανίας, η υπεράκτια αιολική ενέργεια έχει καταγράψει μεγάλη πρόοδο. Στην παγκόσμια κατάταξη επενδύσεων στα υπεράκτια αιολικά πάρκα πρώτη βρίσκεται η Μεγάλη Βρετανία, παράγοντας το 34% της παγκόσμιας υπεράκτιας αιολικής ενέργειας, έχοντας ήδη στη φάση της κατασκευής ακόμη πέντε μεγάλα υπεράκτια αιολικά πάρκα, τα οποία αναμένεται όχι απλά να αυξήσουν και άλλο το ποσοστό συμμετοχής σε παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά, γενικότερα, να αλλάξουν το μέλλον του κλάδου.

Η Μεγάλη Βρετανία, με το έργο Hornsea One έχει βρεθεί στην κορυφή των επενδύσεων που αφορούν σε υπεράκτια αιολικά πάρκα. Το μεγαλεπήβολο αυτό έργο, το οποίο ολοκληρώθηκε το 2020, βρίσκεται εγκατεστημένο στις ακτές του Γιόρκσαϊρ, έχοντας έκταση μεγαλύτερης της Μάλτας, με ικανότητα να τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ενέργεια περισσότερες από 1 εκατομμύριο κατοικίες. Η ισχύς του έργου είναι 1,3 GW, ενώ η προοπτική πλήρους λειτουργίας του έχει προσδιοριστεί για το 2022. Το μεγαλεπήβολο αυτό έργο, δημιούργημα της Δανέζικης εταιρείας Orsted, έχοντας εγκατασταθεί στο πιο βαθύ σημείο, στον υποθαλάσσιο χώρο που επιλέχθηκε για το σκοπό αυτό, αποτελείται από 174 συνολικά αιολικές τουρμπίνες ισχύος 7MW η καθεμία, με ύψος που αγγίζει τα 100 μέτρα και με τη συνολική δυνατότητα παραγόμενης ισχύος να φτάνει στα 1,3GW.

Η Δανέζικη εταιρία Orsted έχει δυναμική παρουσία και στην Ολλανδία με την κατασκευή δυο υπεράκτιων αιολικών πάρκων: τα Borssele 1 και 2, τα οποία ολοκληρώθηκαν το 2020 και διαθέτοντας δυνατότητα συνολικής ισχύος 752 MW, ικανά να ηλεκτροδοτήσουν 1 εκατομμύριο νοικοκυριά. Παράλληλα, ετοιμάζονται δύο ακόμα έργα, τα οποία σχεδιάζεται να εγκατασταθούν στις βόρειες και στις νότιες ακτές της χώρας, που προβλέπεται να διπλασιάσουν την ηλεκτρική ισχύ μέχρι τα τέλη του 2023.

Στη Δανία, η Σουηδική Vattenfall έχει πραγματοποιήσει επίσης το 2020 την εγκατάσταση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου KriegersFlak, το οποίο έχει ισχύ 600 MW, με δυνατότητα ηλεκτροδότησης 600.000 σπιτιών. Η Γαλλία, διαθέτοντας μια από τις πλέον μεγάλες Ευρωπαϊκές ακτογραμμές, καθώς και ευνοϊκές αιολικές συνθήκες, προγραμματίζει να κατασκευάσει ένα αιολικό πάρκο στις ακτές της Νορμανδίας, το οποίο θα απαρτίζεται από ογδόντα (80) ανεμογεννήτριες με ισχύ 12 MW η καθεμία και συνολικής διαθέσιμης ισχύος το 1 GW. Στην Εικόνα 4.3 παρουσιάζεται ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο της Δανίας.

Στις Η.Π.Α. αν και τα σχέδια για την δημιουργία του υπεράκτιου αιολικού πάρκου Vineyard, το οποίο θα κατασκευαζόταν από τις εταιρίες Avangrid και Copenhagen Infrastructure Partners στις ακτές της Νέας Υόρκης με ισχύ τα 800 MW και προοπτική ολοκλήρωσής του μέχρι το 2021, έχουν παγώσει, εντούτοις οι Η.Π.Α. προβλέπεται μέχρι το 2030 να καταλάβουν την τέταρτη θέση παγκοσμίως στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος από τα υπεράκτια αιολικά πάρκα.

Η επιλογή της περιοχής εγκατάστασης ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου πραγματοποιείται πάντα κάτω από τις αυστηρές περιβαλλοντικές μελέτες επίπτωσης της εγκατάστασής του στο περιβάλλον.



Εικόνα 4.3: Παραγωγή Ηλεκτρικής ενέργειας στη Δανία μέσω του ανέμου

Επιπρόσθετα, για τη επιλογή κάποιας περιοχής, θα πρέπει να πληρούνται βασικά κριτήρια, όπως αυτά τίθενται από το κάθε ενδιαφερόμενο κράτος. Αυτά τα κριτήρια, συνήθως αφορούν στο βάθος εγκατάστασης του υπεράκτιου αιολικού πάρκου, το οποίο προσδιορίζεται έως τα 50 μέτρα, την απόστασή του από τις ακτές, η οποία εκτιμάται ως επιτρεπτή μέχρι τα 10 χιλιόμετρα, την οπτική όχληση που είναι πιθανόν να δημιουργεί, το γεγονός αν η περιοχή εγκατάστασης θεωρείται προστατευόμενη, την ύπαρξη ικανοποιητικών αιολικών συνθηκών.

Στην χώρα μας πρόκειται να επενδύσει στα υπεράκτια αιολικά πάρκα μία από τις κορυφαίες εταιρίες του κλάδου των υπεράκτιων αιολικών πάρκων σε παγκόσμιο επίπεδο, η Equinor. Η εν λόγω εταιρία είναι διαχειρίστρια του αιολικού πάρκου Hywindpark στη Σκωτία. Πρόκειται για το πρώτο πλωτό υπεράκτιο αιολικό πάρκο εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στον κόσμο, με την ισχύ του να αγγίζει τα 30MW.

Το πρώτο υπεράκτιο αιολικό πάρκο στη χώρα μας, το οποίο έλαβε αδειοδότηση βρίσκεται στα βορειοανατολικά της Λήμνου. Εκτιμάται ότι θα είναι το τρίτο μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό πάρκο παγκοσμίως. Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ) προχώρησε στην χορήγηση στην εταιρεία CITY OF CYPRUS A.E. άδειας κατασκευής υπεράκτιου αιολικού πάρκου ισχύος 498,15 MW, με το εν λόγω πάρκο να αποτελείται από ογδόντα μία (81) μηχανές, ατομικής ισχύος της τάξης των 6,15 MW. Η συνολική επένδυση αγγίζει

το ύψος των 2 δις ευρώ και προσδοκείται να επιφέρει οικονομική ανάπτυξη τόσο στην ευρύτερη περιοχή όσο και στην χώρα γενικότερα, καθώς και προβολή τόσο της περιοχής του βορειανατολικού Αιγαίου όσο και της νήσου Λήμνου (<http://www.rfenergy.gr/>).

Αν και το ενδιαφέρον για εγκατάσταση υπεράκτιων αιολικών πάρκων στην χώρα μας είναι σημαντικό, ενώ και το θαλάσσιο αιολικό δυναμικό, ιδιαίτερα στον χώρο του Αιγαίου, χαρακτηρίζεται ως υψηλό, μέχρι σήμερα στη χώρα μας δεν διαθέτουμε εγκατεστημένα υπεράκτια αιολικά πάρκα. Κύρια αιτία θεωρείται το υψηλό κόστος εγκατάστασης υπεράκτιων αιολικών πάρκων, το οποίο είναι ξεκάθαρα μεγαλύτερο από το αντίστοιχο που απαιτείται προκειμένου να εγκατασταθούν χερσαία αιολικά πάρκα, ακόμη και αν αυτή η σύγκριση συμπεριλάβει την εγκατάσταση υπεράκτιων αιολικών πάρκων σε μικρά βάθη και σε μικρή απόσταση από την ακτή. Θα πρέπει, στο αυξημένο αυτό κόστος, να προσμετρηθεί και η επιπρόσθετη δυσκολία για την διασύνδεση του αιολικού πάρκου με το ευρύτερο υφιστάμενο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, αφού, με εξαίρεση ορισμένα νησιά, όπως είναι η Άνδρος και η Σκιάθος, καθώς και τα περισσότερα από τα νησιά στο Ιόνιο Πέλαγος, τα οποία βρίσκονται διασυνδεδεμένα στο κεντρικό δίκτυο, τα υπόλοιπα είναι μη διασυνδεδεμένα, γεγονός που λειτουργεί περιοριστικά στην μέγιστη διατιθέμενη ισχύ, την οποία θα ήταν εφικτό να προσφέρουν τα υπεράκτια αιολικά πάρκα που θα σχεδιάζονταν προς εγκατάστασή τους στα νησιά αυτά. Επισημαίνεται ότι η διασύνδεση αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση τόσο για τη μεγιστοποίηση της διείσδυσης των Α.Π.Ε., για την προσδοκώμενη μείωση του συνολικού κόστους που προβλέπεται για την ηλεκτροπαραγωγή, για την απεξάρτηση από το πετρέλαιο, το οποίο χαρακτηρίζεται ως ακριβή και ρυπογόνος πηγή ενέργειας, καθώς και για την επιδιωκόμενη ελαχιστοποίηση της καταναλωτικής επιβάρυνσης.

Όπως προϋπόθηκε, το αιολικό δυναμικό τη χώρα μας χαρακτηρίζεται ως υψηλό και μάλιστα, σε ορισμένες ελληνικές θαλάσσιες περιοχές, το τοπικό δυναμικό αιολικής ενέργειας είναι από τα πλέον υψηλά σε όλη την Ευρώπη. Γεγονός είναι ότι η διείσδυση των Α.Π.Ε. στην Ελλάδα πραγματοποιήθηκε ως το 2010 με αρκετά αργούς ρυθμούς ανάπτυξης, γεγονός που καταγράφεται σε πλήρη αναντιστοιχία με το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό που διαθέτει η πατρίδα μας, καθώς και με το ιδιαίτερα αυξημένο επενδυτικό ενδιαφέρον, το οποίο είχε εκδηλωθεί αρκετά νωρίς, από τα πρώτα ήδη βήματα της απελευθέρωσης της συγκεκριμένης αγοράς ενέργειας, που εκδηλώθηκε το έτος 2000. Η υφιστάμενη εκτίμηση ήταν ότι μέγεθος 1.5 GW υπεράκτιας αιολικής ισχύος θα μπορούσε να εγκατασταθεί ως το 2020 στην χώρα μας, την στιγμή που ως το 2009 η αντίστοιχη έφθανε μόλις τα 1063 MW. Δυστυχώς, αυτή η προσδοκία δεν επιτεύχθηκε ακόμη. Σε

βάθος μιας δεκαετίας (2000-2010), η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς που αφορούσε σε όλες τις τεχνολογίες Α.Π.Ε. παρουσίασε αύξηση από τα 278 MW στα 1734 MW, σημειώνοντας, κατά μέσο όρο, ετήσια αύξηση της τάξης των 150 MW, κυρίως λόγω της εγκατάστασης χειρσαίων αιολικών πάρκων (Ευρωπαϊκή Επιτροπή, 2014).

4.5 Εξέλιξη των σύγχρονων ανεμογεννητριών

Σε αυτή την ενότητα πραγματοποιείται αναφορά στα στοιχεία αρχιτεκτονικής των σύγχρονων ανεμογεννητριών, καθώς και στην διαχρονική εξέλιξή τους, με ιδιαίτερη βαρύτητα να δίνεται στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, ως οι πλέον χρησιμοποιούμενες σε ευρεία κλίμακα.

1. Ο κύριος τύπος ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα, αποτελείται από έναν δρομέα με τρία πτερύγια (τριπτέρυγο), αν και αρχικά έγινε προσπάθεια αξιοποίησης δρομέα με δύο (διπτέρυγο) ή και ένα (μονοπτέρυγο) πτερύγιο. Η επικράτηση των δρομέων με τρία πτερύγια σχετίζεται τόσο με τη δημιουργία αεροδυναμικού θορύβου, όσο και με την γενικότερη αισθητική οπτική του. Οι μηχανές που φέρουν δρομέα με τρία πτερύγια (Εικόνα 4.4), διακρίνονται από μικρότερες ταχύτητες λειτουργίας του ακροπτερυγίου τους, με συνέπεια την παραγωγή χαμηλότερης στάθμης έντασης αεροδυναμικού θορύβου. Επιπρόσθετα, η οπτική τους αισθητική είναι περισσότερο αποδεκτή από τα άλλα δύο προτεινόμενα είδη (διπτέρυγο, μονοπτέρυγο). Από τεχνικής οπτικής, η διάταξη του δρομέα με τρία πτερύγια διασφαλίζει καλύτερη δυναμική συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας, συμπεριφορά που μετακυλιέται στην ομαλότερη κατανομή των φορτίων που εμφανίζονται τόσο στο δρομέα όσο και στην άτρακτο. Πάντως, οι ανεμογεννήτριες με δρομέα δύο πτερυγίων συνεχίζουν να παραμένουν μια βιώσιμη εναλλακτική πρόταση, ιδιαίτερα για τις απομακρυσμένες περιοχές και με την προϋπόθεση να μπορούν να προσφέρουν λύσεις χαμηλότερου κόστους, το οποίο δεν αποτελεί απόρροια των λιγότερων πτερυγίων, αλλά ενός γενικότερου και καλύτερου επανασχεδιασμού τους.



Εικόνα 4.4: Ανεμογεννήτρια τριπτέρυγη Οριζοντίου άξονα

2. Ο έλεγχος της ισχύος στις πρώτες ανεμογεννήτριες πραγματοποιούνταν, κυρίως παθητικά και συνδυαστικά με τη λειτουργία τους σε σταθερό αριθμό στροφών και με την παράλληλη διαχείριση της ροής στις μεγαλύτερες ταχύτητες του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες μεταβλητού βήματος αποτέλεσαν εναλλακτική λύση, προσφέροντας την δυνατότητα της ενεργητικής ρύθμισης του βήματος των πτερυγίων τους, σε συνάρτηση με την αιολική ταχύτητα, ρύθμιση που πραγματοποιούνταν μέσω κατάλληλου συστήματος ελέγχου. Με την δυνατότητα αυτής της ρύθμισης υπήρχε η προσδοκία της διασφάλισης καλύτερης δυνατότητας της ισχύος, καθώς και της δημιουργίας μικρότερων ανεπιθύμητων αεροδυναμικών φορτίων τα οποία οφείλονταν στις υψηλές ταχύτητες του αέρα. Τελικά, πρακτικά φάνηκε ότι οι ανεμογεννήτριες με μεταβλητό βήμα δε κατάφεραν να λειτουργούν με σταθερό αριθμό στροφών, με δεδομένο ότι κάθε φορά που προέκυπτε αποτυχία του συστήματος ελέγχου αποτύγχανε να παρακολουθήσει την διεύθυνση του ανέμου, παρατηρούνταν σημαντικές

αυξομειώσεις τόσο στην ισχύ όσο και στα φορτία. Η λύση στο πρόβλημα ήταν ο συνδυασμός του μεταβλητού βήματος με τις μεταβλητές στροφές. Προηγήθηκαν τέτοιου είδους συνδυασμοί με μικρής εμβέλειας μεταβολές στις στροφές, μεγέθους ποσοστού μόλις 10%, σε σχέση με τις ονομαστικές στροφές. Αυτούς τους αρχικούς συνδυασμούς εφάρμοσε το σύστημα OptiSlip της VSTAS, το οποίο βασίστηκε στην αξιοποίηση επαγωγικής γεννήτριας μεγάλης ολίσθησης. Είναι γνωστό ότι η μεταβολή των στροφών λειτουργεί ευνοϊκά στη ρύθμιση της ισχύος, ενώ παράλληλα ελαχιστοποιεί την ανάγκη επίτευξης ταχύτατων μεταβολών στο βήμα. Ακολούθησαν συνδυασμοί ελέγχου πλήρους δυνατότητας αυξομείωσης των στροφών, η οποία προσέφερε αρκετά πλεονεκτήματα, ενώ, παράλληλα, δημιούργησε και σειρά προβληματισμών σχετικά με το αυξημένο κόστος και την επισφαλή αξιοπιστία αυτής της λειτουργίας. Στην εξέλιξη, οι περισσότεροι από τους εν λόγω προβληματισμούς έχουν ήδη ξεπεραστεί, αφορώντας κυρίως, όχι τόσο στα πλεονεκτήματα της μεταβολής των στροφών ως προς την εξοικονόμηση της ενέργειας, όσο, κυρίως, στην επιπρόσθετη δυνατότητα εφαρμογής ελέγχου και επίτευξης ευελιξίας που αυτές οι μεταβολές προσφέρουν. Είναι αλήθεια πως η αρχιτεκτονική του σταθερού βήματος συνεχίζει να παραμένει μέχρι και σήμερα μια λύση που χαρακτηρίζεται ως βιώσιμη, ιδιαίτερα όταν η λύση αυτή εφαρμόζεται σε συνδυασμό με ασύγχρονες γεννήτριες δύο στροφών. Όμως, το γεγονός ότι οι μεταβλητές στροφές των ασύγχρονων γεννητριών προσφέρουν καλύτερη ποιότητα ισχύος στο δίκτυο, τις καθιστά οδηγούς στις εξελίξεις κατασκευής ανεμογεννητριών μεγάλων διαστάσεων. Αν και έχουν δοκιμαστεί συνδυασμοί μεταβλητών στροφών με σταθερό βήμα, αποδείχθηκε στην πράξη ότι οι μεταβλητές στροφές ταιριάζουν με την αρχιτεκτονική του μεταβλητού βήματος, έχοντας την δυνατότητα να διασφαλίσουν ιδιαίτερη ευελιξία στην προσπάθεια του ελέγχου της ηλεκτρικής ισχύος που παράγεται. Το γεγονός αυτό λαμβάνει ιδιαίτερη σημασία για την κατασκευή των μεγάλων αιολικών πάρκων του μέλλοντος, αφού αυτά θα πρέπει να λειτουργούν ως πραγματικοί σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, προσαρμόζοντας την απόδοσή τους στην εκάστοτε επιθυμητή ζήτηση (<https://energypress.gr/>).

3. Ο έλεγχος της ισχύος των ανεμογεννητριών μεταβλητού βήματος πλέον πραγματοποιείται με βάση τον αντίστοιχο έλεγχο των πτερυγίων, αντί του ελέγχου του δρομέα. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται με κατάλληλα πολυπαραμετρικά συστήματα ελέγχου. Η αλλαγή του τρόπου μέτρησης της ισχύος έγκειται στο γεγονός ότι η χρήση αυτής της τεχνικής καθιστά περισσότερο αξιόπιστο το σύστημα πέδησης

της μηχανής, ενώ, επιπρόσθετα, προσφέρει σημαντική ευχέρεια μείωσης των φορτίων με την κατάλληλη ρύθμιση της ημιτονοειδούς μεταβολής του βήματος κάθε πτερυγίου, τεχνική ήδη δοκιμασμένη στα στροφεία των ελικοπτέρων.

4. Ως κυρίαρχος τύπος πύργου για τις ανεμογεννήτριες αναδεικνύεται ο χαλύβδινος σωληνωτός πύργος, ο οποίος όμως παρουσιάζει σοβαρές δυσκολίες κατά την επίγεια μεταφορά του στοιχείου της βάσης του στον χώρο εγκατάστασής του (Εικόνα 4.5). Η εγγενής αυτή δυσκολία, ιδιαίτερα για τις μεγάλες ανεμογεννήτριες, δημιούργησε την ανάγκη μελέτης και κατασκευής υβριδικών πύργων, για τους οποίους το τμήμα της βάσης τους κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα, όπου προσαρμόζεται το επάνω μεταλλικό τους μέρος.



Εικόνα 4.5: Μεταφορά Πύργου Ανεμογεννήτριας

Ως κύριες κατευθύνσεις στην διαδικασία σχεδιασμού των σύγχρονων ανεμογεννητριών χαρακτηρίζονται οι παρακάτω:

- Ανεμογεννήτριες που προορίζονται για τις θέσεις χαμηλού, καθώς και υψηλού αιολικού δυναμικού.
- Ανεμογεννήτριες που παρουσιάζουν αυξημένο βαθμό συμβατότητας με το υφιστάμενο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.
- Η προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί η στάθμη του δημιουργούμενου θορύβου.
- Η προσπάθεια να αυξηθεί η αεροδυναμική απόδοση της ανεμογεννήτριας.
- Η μέριμνα για τη μείωση της οπτικής όχλησης (βελτίωση της οπτικής αισθητικής).
- Εστίαση στις υπεράκτιες αιολικές εφαρμογές (Γελεγένης & Αξαόπουλος, 2005).

Όπως και παραπάνω αναφέρθηκε, αν και τα υπεράκτια αιολικά πάρκα αντιστοιχούν σήμερα μόλις στο ελάχιστο ποσοστό της τάξης του 0,4% της παγκόσμια εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στη στεριά, οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας κατευθύνουν προς την αναδυόμενη αγορά της υπεράκτιας αιολική ενέργειας. Το γεγονός αυτό οδηγεί την τεχνολογία στην επιδίωξη σχεδιασμού ακόμα μεγαλύτερων και αποδοτικότερων ανεμογεννητριών. Ειδικότερα θέματα που αφορούν στην προσπάθεια αυτή της τεχνολογίας είναι:

α) Η προσπάθεια μείωσης της αναρτημένης στην ανεμογεννήτρια μάζας (τόσο του δρομέα όσο και της ατράκτου).

β) Η ανάπτυξη της τεχνολογίας κατασκευής πτερυγίων μεγάλων διαστάσεων, από νέα συνθετικά υλικά στην κατεύθυνση της μείωσης του συνολικού βάρους, σε συνδυασμό με την εφαρμογή τεχνικών επί τόπου συναρμολόγησης ορισμένων τμημάτων της ανεμογεννήτριας.

γ) Ο σχεδιασμός θεμελίων, τα οποία είναι καταλληλότερα για υπεράκτιες εφαρμογές, καθώς και η ανάπτυξη τεχνικών στην κατεύθυνση της γρηγορότερης ανέγερσης και ευκολότερης συντήρησης. (Γελεγένης & Αξιάπουλος, 2005).

Είναι κατανοητό πως, ιδιαίτερα για τα μεγάλα υπεράκτια αιολικά πάρκα, όσο αυξάνει η παρεχόμενη από κάθε εγκατεστημένη μονάδα ισχύς, τόσο μειώνεται το κόστος κατασκευής, εγκατάστασής και συντήρησής της. Ειδικότερα, η αύξηση της παρεχόμενης ισχύος λειτουργεί ενισχυτικά στην μείωση του κόστους θεμελίωση, της ηλεκτρικής διασύνδεσης με το δίκτυο, της πρόσβασης και της συντήρησης. Σχετικοί υπολογισμοί υποδεικνύουν την σκοπιμότητα σχεδιασμού κατασκευής ανεμογεννητριών με ονομαστική ισχύ άνω των 5 MW και σύμφωνα με την τρέχουσα αρχιτεκτονική, προκειμένου να είναι οικονομικά βιώσιμες. Θέτοντας ως υπόθεση κατά τον σχεδιασμό αεροδυναμικά όμοιων ανεμογεννητριών θα επιτυγχάνονται ίδιες ταχύτητες στο ύψος της πλήμνης, ενώ θα υφίσταται όμοια αρχιτεκτονική κατασκευής του αιολικού πάρκου, οδηγούμεστε στο συμπέρασμα ότι το μέγεθος των ανεμογεννητριών, κάτω από αυτές τις προϋποθέσεις αναδεικνύεται ως, σχεδόν, ασήμαντη παράμετρος κατά την λήψη απόφασης της κατασκευής τους. Ο καταλυτικός παράγοντας στην απόφαση αυτή είναι το αιολικό δυναμικό, το οποίο, αυξάνοντας με το ύψος, θέτει τις δικές του παραμέτρους στον

σχεδιασμό των ανεμογεννητριών. Καταληκτικά, φαίνεται πως η κατασκευή μεγαλύτερων ανεμογεννητριών οδηγεί σε αύξηση του κέρδους, λόγω της αντίστοιχης αύξησης του ύψους της κατασκευής, με δεδομένη την θετικά αναλογική σχέση μεταξύ του ύψους της περωτής και της αύξησης του αιολικού δυναμικού με την αντίστοιχη αύξηση του ύψους από το έδαφος.

Μια σειρά παραγόντων ωθεί στην απόφαση της υιοθέτησης της χρήσης μεγάλων ανεμογεννητριών. Έχει παρατηρηθεί ότι με την αύξηση του ύψους μειώνεται η ατμοσφαιρική τυρβώδης ροή, γεγονός που οδηγεί σε μείωση των φορτίων κόπωσης που ασκούνται στις ανεμογεννήτριες και, κατά συνέπεια, σε αύξηση της διάρκειας ζωής τους. Επιπρόσθετα, οι μεγαλύτερες κατασκευές ανεμογεννήτριες, ως πιο αργόστροφες, προκαλούν μικρότερη οπτική όχληση. Και ακόμη, αυτή η μικρότερη ταχύτητα λειτουργίας έχει ως συνέπεια την δημιουργία μικρότερου αεροδυναμικού θορύβου. Αν και οι παραπάνω λόγοι είναι ισχυροί στην λήψη της απόφασης κατασκευής μεγάλου μεγέθους ανεμογεννητριών, οι κατασκευάστριες εταιρίες προχωρούν σε κατασκευές μεγέθους πολλών ενδιάμεσων σταδίων για λόγους που σχετίζονται με την θεωρία της ομοιότητας. Ειδικότερα, προκειμένου να γίνει κατανοητή η λειτουργία της θεωρίας της ομοιότητας στην αντίστοιχη των ανεμογεννητριών, πραγματοποιούμε την παρακάτω υπόθεση: Περιστρέφουμε τους δρομείς δύο όμοιων ανεμογεννητριών με την ίδια ταχύτητα ακροπερυγίου, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα η μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια να περιστρέφεται με τον μισό αριθμό στροφών, σε σχέση με τη μικρότερη ανεμογεννήτρια. Κάτω από τις προϋποθέσεις αυτές, οδηγείται κανείς στα παρακάτω συμπεράσματα σε σχέση με την λειτουργία των δύο δρομέων (Γελεγένης, & Αξαόπουλος, 2005):

- ✓ Οι δύο δρομείς έχουν όμοια αεροδυναμική κατασκευή, παρουσιάζοντας την ίδια κατανομή C_p (συντελεστής ισχύος) και C_t (συντελεστής ώσης), συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου.
- ✓ Είναι μεταξύ τους όμοιοι δυναμικά, εμφανίζοντας τις ίδιες φυσικές αδιάστατες συχνότητες ως προς την περιστροφή τους.
- ✓ Είναι μεταξύ τους όμοιοι αεροελαστικά, με την έννοια ότι διατηρείται σταθερή η περιοχή αεροελαστικής ευστάθειας.
- ✓ Όσον αφορά στην αντοχή του υλικού κατασκευής των δύο δρομέων, οι οφειλόμενες στα αεροδυναμικά και αδρανειακά φορτία τάσεις διατηρούνται.

- ✓ Οι οφειλόμενες τάσεις στο ίδιο βάρος των πτερυγίων των δύο ανεμογεννητριών αυξάνονται αναλογικά σε σχέση με την αντίστοιχη αύξηση της διαμέτρου του δρομέα.
- ✓ Η παραγωγή ισχύος του μεγάλου δρομέα εμφανίζεται να είναι τετραπλάσια της αντίστοιχης του μικρού δρομέα, αναφορικά με την ίδια ταχύτητα του αέρα, όμως το βάρος του μεγάλου δρομέα είναι οκτώ φορές μεγαλύτερο του μικρού δρομέα. Αυξάνοντας την διάμετρο του δρομέα επιτυγχάνεται αύξηση της παραγωγής ενέργειας σε μικρότερο ρυθμό, πάντα σε σχέση με το αντίστοιχο βάρος της κάθε κατασκευής. Έχοντας ως δεδομένο ότι αύξηση του βάρους της κατασκευής συνεπάγεται αντίστοιχη αύξηση του κόστους της, καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η αύξηση του βάρους της ανεμογεννήτριας οδηγεί σε αύξηση του κόστους της παραγόμενης κιλοβατώρας. Από την άλλη, η αύξηση του βάρους των πτερυγίων μιας ανεμογεννήτριας διέπεται από τους περιορισμούς που θέτουν οι αναπτυσσόμενες εξαιτίας του ίδιου βάρους τους τάσεις, σε συνάρτηση πάντα και με το υλικό κατασκευής τους. Γίνεται κατανοητό ότι υφίσταται ένα συγκεκριμένο κρίσιμο όριο μεγέθους για τα πτερύγια, το οποίο δεν επιτρέπεται να ξεπεραστεί, αφού, σε διαφορετική περίπτωση θα υπάρξει κατάρρευση της κατασκευής (Εικόνα 4.6). Από τα παραπάνω, συνάγεται ότι η λογική της ομοιότητας δεν επιτρέπει άλματα μεγάλης κλίμακας. Σε περίπτωση που επιχειρηθεί κάποιο τεχνολογικό άλμα, στην προσπάθεια αναζήτησης των πλέον βέλτιστων λύσεων λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας, η προσπάθεια αυτή θα πρέπει να υλοποιείται με ιδιαίτερη προσοχή και σύμφωνα με τις επιταγές της σύγχρονης μηχανικής. Η αμφισβήτηση των επιπτώσεων των φυσικών μηχανισμών και η παράλειψη αξιοποίησης των κατάλληλων σχεδιαστικών εργαλείων μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικά αποτελέσματα. Η αιολική βιομηχανία, έχοντας λάβει υπόψη όλες τις παραπάνω παραμέτρους και προϋποθέσεις και προσμετρώντας όλους τους απαγορευτικούς περιορισμούς, οδηγήθηκε στην υιοθέτηση της κατασκευής ανεμογεννητριών μεγέθους πολλών ενδιάμεσων σταδίων, κινούμενη κάθε φορά με σταθερά, συντηρητικά βήματα.



Εικόνα 4.6: Ανεμογεννήτρια που έχει υποστεί λυγισμό

Έχοντας υπόψη τις παραπάνω παραμέτρους και τους αντίστοιχους περιορισμούς, το ερώτημα που απασχολεί τους σχεδιαστές ανεμογεννητριών εστιάζει στον τρόπο μείωσης του αναρτημένου βάρους με απώτερο στόχο την μείωση του κόστους κατασκευής, επομένων και του κόστους παραγωγής της κάθε κιλοβατώρας. Επιπρόσθετα «βασανιστικά» ερωτήματα σχετίζονται με την βελτίωση του αεροδυναμικού σχεδιασμού με την αντίστοιχη μείωση της επιφάνειας των πτερυγίων, με την επιλογή των κατάλληλων υλικών κατασκευής των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας, προκειμένου να διασφαλιστεί η αντοχή τους στις αναπτυσσόμενες τάσεις, η αποφυγή προβλημάτων δυναμικής ή αεροελαστικής αστάθειας κατά την υλοποίηση των παραπάνω σχεδιασμών. Έχει παρατηρηθεί ότι, ενώ η οπτική της ομοιότητας δεν προσφέρει τις βέλτιστες λύσεις κατά την αύξηση του μεγέθους κατασκευής μιας ανεμογεννήτριας ή των εξαρτημάτων της, οδηγεί σε καλύτερες λύσεις όταν πραγματοποιείται προς την αντίθετη κατεύθυνση, αφού επιτρέπει την επιθυμητή μείωση του κόστους της εκμεταλλεύσιμης αιολικής ενέργειας. Στο πλαίσιο αυτό, φαίνεται πως, όποιες λύσεις προταθούν για τις ανεμογεννήτριες μεγάλων διαστάσεων, θα έχουν άμεσο αντίκτυπο και στα μικρότερα μεγέθη των ανεμογεννητριών, τα οποία συνεχίζουν να απασχολούν τον κλάδο σε μεγαλύτερη ένταση.

Στις προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπίσει ο σχεδιαστής ενός αιολικού πάρκου, το οποίο αποτελείται από ανεμογεννήτριες μεγάλων διαστάσεων είτε στη στεριά (χερσαίες) είτε στη θάλασσα (υπεράκτιες) συμπεριλαμβάνεται η ποιότητα του αιολικού δυναμικού

και, ειδικότερα, η ατμοσφαιρική τυρβώδης ροή, η οποία είναι υπεύθυνη για έντονες καταπονήσεις της πλήμνης των ανεμογεννητριών. Προκειμένου να αντιμετωπίζονται σχετικά προβλήματα θα πρέπει να διασφαλίζεται η συνεχής μέτρηση των σχετικών μεγεθών, Ιδιαίτερα όταν αναφερόμαστε σε απαιτήσεις αντίστοιχων μετρήσεων, οι οποίες θα πρέπει να πραγματοποιούνται σε ύψη της τάξης των 100 – 120 μέτρων, οι δυσκολίες είναι ορατές και δύσκολα προσπελάσιμες. Είναι γνωστό στον χώρο της μηχανικής ότι τόσο στην στεριά, και ιδιαίτερα εκεί που η τοπογραφία είναι σύνθετη, όσο και στις θαλάσσιες περιοχές, για τις οποίες η εμπειρία είναι σαφώς πιο μικρή, η προσπάθεια των μετρήσεων αυτών από χαμηλά ύψη σε σημαντικά μεγαλύτερα ύψη δεν είναι ούτε μια προφανής ούτε μια ασφαλής διαδικασία. Επιπρόσθετα, το κόστος των μετρήσεων που πραγματοποιούνται στη θάλασσα με σταθερούς ιστούς είναι ιδιαίτερα αυξημένο. Η αναζήτηση τρόπων της μέτρησης του αιολικού δυναμικού ενός τόπου, καθώς και της ατμοσφαιρικής τυρβώδους ροής σε μεγάλα υψόμετρα και χωρίς τη χρήση μεγάλου ύψους σταθερού ιστού αποτελεί προτεραιότητα για τους σχεδιαστές των ανεμογεννητριών.

Η γνώση της αναμενόμενης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε εικοσιτετράωρη βάση θα αποτελούσε για τον χειριστή ενός αιολικού πάρκου σημαντικό πληροφοριακό στοιχείο, ιδιαίτερα στην περίπτωση που το αιολικό αυτό πάρκο είτε είναι ένα, μεγάλων διαστάσεων, πάρκο ισχύος μερικών εκατοντάδων MW είτε είναι ένα, μικρών διαστάσεων, αιολικό πάρκο εγκατεστημένο σε ένα αυτόνομο νησιωτικό ηλεκτρικό δίκτυο και έχοντας ενταχθεί σε συνθήκες σημαντικής διείσδυσης στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η γνώση αυτή θα προσέφερε την δυνατότητα στον εν λόγω χειριστή να προβεί στις κατάλληλες ενέργειες και ρυθμίσει προκειμένου να περιορίσει τα μειονεκτήματα της διατιθέμενης αιολικής ενέργειας. Τέτοια μοντέλα πρόγνωσης σήμερα ανήκουν στις θεματικές, στις οποίες καταγράφεται έντονη δραστηριοποίηση (Γελεγένης & Αξαόπουλος, 2005).

Κεφάλαιο 5^ο

Αιολικά πάρκα και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

5.1 Ενεργειακή μελέτη Αιολικού πάρκου

Η μέγιστη παραγόμενη ισχύς και η λειτουργία του στον μέγιστο βαθμό απόδοσης αποτελεί για τους ειδικούς πρώτη προτεραιότητα επιλογής στην απόφαση εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου (Εικόνα 5.1). Επιπρόσθετα, σοβαρά υπόψη λαμβάνεται η απαίτηση το αιολικό πάρκο να μην εμποδίζει την οικιστική ομορφιά της περιοχής στην οποία έχει εγκατασταθεί, αλλά η παρουσία του να έχει τύχει της ευρείας αποδοχής του κοινωνικού συνόλου.



Εικόνα 5.1:Στάδια κατασκευής ανεμογεννήτριας

Σε συνδυασμό με τα παραπάνω αναφερόμενα κριτήρια, υφίστανται, επιπρόσθετα, και άλλες σημαντικές προϋποθέσεις που πρέπει να ικανοποιούνται προκειμένου να θεωρηθεί ως εφικτή η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου σε μια περιοχή. Αυτές οι προϋποθέσεις είναι:

- ✓ Η εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας και, γενικότερα, ενός αιολικού πάρκου θα πρέπει να πραγματοποιείται σε περιοχή που είναι εύκολα προσπελάσιμη με τα συνηθισμένα μέσα μεταφοράς.
- ✓ Να είναι εφικτή η πρόσβαση σε λιμένες, καθώς και σε εύκολα προσβάσιμους συγκοινωνιακούς κόμβους.
- ✓ Σε περίπτωση σύνδεσης των ανεμογεννητριών με το υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο, θα πρέπει να λαμβάνεται η κατάλληλη μέριμνα, ώστε η εγκατάσταση να βρίσκεται κοντά στο εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο.
- ✓ Θα πρέπει να διασφαλιστεί η συναίνεση της τοπικής κοινωνίας, στην οποία θα μπορεί να δοθεί η διαβεβαίωση ότι η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου δεν θα προκαλέσει αλλοίωση της μορφολογίας του περιβάλλοντος. Επισημαίνεται ότι ο απαιτούμενος μέσος χρόνος προκειμένου να αξιολογηθεί και να επιλεγεί σε τελικό στάδιο η τοποθεσία εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου κυμαίνεται από 18 μήνες μέχρι και, περίπου, 24 μήνες.

Κάποιες παράμετροι, οι οποίες συμβάλλουν στη διαδικασία ολοκλήρωσης της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου περιγράφονται αμέσως παρακάτω (Γαρίνη, 2012).

5.2 Μελέτη χωροθέτησης Αιολικού πάρκου

5.2.1 Οικονομικοί Λόγοι

Η μείωση του κόστους της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί τον σημαντικότερο στόχο κατά την απόφαση κατασκευής και εγκατάστασής της. Σε αυτό το πλαίσιο, η μελέτη οικονομικής βιωσιμότητας αποτελεί ενέργεια πρωταρχικής σημασίας στην προσπάθεια να προσδιοριστεί αν η πρόταση για την θέση εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου σε μια περιοχή είναι εφικτό να γίνει αποδεκτή. Με δεδομένο ότι ένα αιολικό πάρκο παράγει ηλεκτρικό ρεύμα μόνο όταν υπάρχουν ευνοϊκές αιολικές συνθήκες, η αξιοποίησή του εστιάζει, κατά κύριο λόγο, στην οφελιμότητά του ως «εξοικονομητής» καυσίμου. Είναι γνωστό ότι το ενεργειακό κόστος διαφοροποιείται αναλόγως της ώρας της ημέρας λειτουργίας του αιολικού πάρκου, καθώς και με την εποχή του έτους, με δεδομένες τις συχνές και απρόβλεπτες διακυμάνσεις των αιολικών συνθηκών. Για να αξιολογηθεί η οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου, απαιτούνται συγκεκριμένες πληροφορίες που αφορούν στο μέγεθος της έντασης που έχει ο άνεμος, όπως και στις διακυμάνσεις του, κατά τη διάρκεια του έτους. Επίσης, έναν ακόμη

προσδιοριστικό οικονομικό παράγοντας αποτελεί το κόστος της εγκατάστασης, που μειώνεται χαρακτηριστικά, στην περίπτωση που η εγκατάσταση πραγματοποιηθεί πλησίον περιοχής όπου υφίστανται προσβάσιμοι δρόμοι και εγκατεστημένες γραμμές μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας (Μπαστάκης, & Παπαδάκη, 2006).

5.2.2 Καταλληλότητα Θέσης Εγκατάστασης Α/Γ

Για την επιλογή της καταλληλότητας μιας θέσης για την τοποθέτηση ενός αιολικού πάρκου, είτε πρόκειται για χερσαίο είτε για υπεράκτιο αιολικό πάρκο, υφίσταται σχετική νομοθεσία, στην οποία συμπεριλαμβάνονται νόμοι που άπτονται τόσο της προστασίας του περιβάλλοντος, της προστασίας των μνημείων ιστορικού ενδιαφέροντος, καθώς και των υφιστάμενων χώρων αρχαιολογικού ενδιαφέροντος. Οι ισχύοντες κανονισμοί, που θέτει το Υπουργείο Πολιτισμού, επιτρέπουν την πραγματοποίηση δημόσιων έργων, εφόσον τηρούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις. Ειδικότερα, είναι γνωστό ότι η επιτρεπτή απόσταση από το μνημείο θα πρέπει να πληροί τις προϋποθέσεις, που αποκλείουν τον κίνδυνο πρόκλησης βλάβης ή ζημίας σε αυτό από την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου. Στις βλάβες αυτές συμπεριλαμβάνεται η οπτική όχληση και ο ενοχλητικός θόρυβος. Γι' αυτόν τον λόγο, κρίνεται ως απαραίτητη προϋπόθεση η τήρηση των προβλεπόμενων από την νομοθεσία μέτρων, καθώς και των σχετικών κανονισμών, όπως είναι η επιτρεπόμενη απόσταση που θα πρέπει να υφίσταται μεταξύ του ιστορικού μνημείου και της εγκατάστασης του αιολικού πάρκου (Μπαστάκης, & Παπαδάκη, 2006).

5.2.3 Μετεωρολογικές Συνθήκες

Η πρόβλεψη των ακραίων μετεωρολογικών συνθηκών και των προβλημάτων που αυτές μπορούν να δημιουργήσουν αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση κατά την διαδικασία της επιλογής της θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας, αφού τυχόν παραμέλησή τους είναι δυνατόν να οδηγήσει σε ανεπανόρθωτες ζημιές στην κατασκευή, ενώ, επιπρόσθετα να επιβαρυνθεί απαγορευτικά το κόστος για τη συντήρηση, καθώς και να μειωθεί η διάρκεια ζωής μιας ανεμογεννήτριας. Κάποια από τα μετεωρολογικά φαινόμενα, στα οποία απαιτείται να εστιάσει η προσοχή των υπεύθυνων της απόφασης για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου αναφέρονται παρακάτω:

1. *Παγετός*: Η δημιουργία παγετού είναι σε θέση να λειτουργήσει επιβαρυντικά στην λειτουργία μιας μηχανής με διάφορους τρόπους. Κυριότερος και συχνότερος από τους τρόπους αυτούς είναι ο κίνδυνος συσσώρευσης πάγου στα εξαρτήματα μιας ανεμογεννήτριας, με αποτέλεσμα να αυξάνονται επικίνδυνα τα υφιστάμενα στατικά και δυναμικά φορτία, τα οποία, στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να συνεκτιμηθούν στις μελέτες αντοχής και στατικότητας, όπως και στον σχεδιασμό των γραμμών μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας. Εκτός από την μεγάλη αύξηση του βάρους κατά την συσσώρευση πάγων στα πτερύγια των ανεμογεννητριών, κίνδυνος εγκυμονεί για εκτόξευση κάποιου τμήματος πάγου κατά την περιστροφή των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας. Επομένως, όταν υφίσταται παγετός, είναι απαραίτητο να διακόπτεται η λειτουργία της ανεμογεννήτριας προκειμένου να καθαρίζονται τα πτερύγιά της. Αυτή η διακοπή της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας είναι κατανοητό πως επιφέρει ανεπιθύμητες επιπτώσεις στην διαδικασία παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας, ιδιαίτερα όταν η επιλεχθείσα περιοχή παρουσιάζει συχνά φαινόμενα παγετού και, κατά συνέπεια δημιουργεί τακτικά την αναγκαιότητα καθαρισμού των πτερυγίων μιας ανεμογεννήτριας. Επιπρόσθετα, είναι πάντα υπαρκτός ο ενδεχόμενος κίνδυνος, κατά το πάγωμα ανεμόμετρων, να υποστούν ζημιά τα συστήματα προστασίας και ελέγχου της μηχανής.
2. *Τύρβη*: Με τον όρο τύρβη, προσδιορίζεται η τυρβώδης ροή, η οποία δημιουργείται πάνω από το τραχύ και ανώμαλο έδαφος, όπως είναι τα βουνά, οι κοιλάδες, οι λόφοι και η είναι ικανή να επηρεάσει τόσο τη διάρκεια ζωής μιας ανεμογεννήτριας, όσο και το κόστος που προβλέπεται για τη συντήρησή της. Είναι γνωστό ότι η ύπαρξη τύρβης κατά τη ροή του ανέμου πάνω από τραχύ, ανώμαλο έδαφος διαφοροποιείται σε σχέση με την αντίστοιχη που παρατηρείται κατά τη ροή ρευμάτων αέρα πάνω από ένα επίπεδο και ομαλό έδαφος. Ωστόσο, δεν είναι επαρκή τα υφιστάμενα δεδομένα, που μπορούν να αποσαφηνίσουν αυτές τις διαφορές. Οι περισσότερες σχετικές μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί πάνω από έδαφος επίπεδης διαμόρφωσης, στο οποίο μπορούν να δημιουργηθούν μη εμπειριστατωμένες θεωρίες, που να περιγράφουν τον τρόπο συμπεριφοράς αυτής της ροής. Ακόμη και αν ήταν διαθέσιμες κατάλληλες μετρήσεις της τύρβης που υφίσταται πάνω σε μη επίπεδο έδαφος, θα ήταν εξίσου δύσκολη η συνεκτίμηση της επίδρασή της, τόσο στη διάρκεια ζωής μιας ανεμογεννήτριας, όσο και στο κόστος συντήρησής της. Η πραγματοποίηση τέτοιων μετρήσεων απαιτεί μεγαλύτερη και εξειδικευμένη εμπειρία, περισσότερες και ακριβέστερες μετρήσεις, καθώς και συνεκτίμηση πλήθους σχετιζόμενων παραγόντων, όπως και των εκάστοτε

ιδιαίτερων υφιστάμενων συνθηκών. Προς το παρόν, αποφεύγεται η επιλογή θέσεων με υψηλό επίπεδο τυρβώδους ροής.

3. *Μεταφερόμενα Υλικά με τον Αέρα:* Είναι γνωστό ότι η εγκατάσταση μεταλλικών κατασκευών στην θάλασσα, ακόμη και πλησίον αυτής, εγκυμονεί τον κίνδυνο της διάβρωσής τους, αφού ο άνεμος μεταφέρει σημαντικές ποσότητες αλάτων. Για τα αιολικά πάρκα που σχεδιάζεται να εγκατασταθούν κοντά σε παραθαλάσσιες περιοχές είναι απαραίτητο να λαμβάνεται η κατάλληλη μέριμνα, προκειμένου ορισμένα τμήματα της κατασκευής να προστατευθούν με κατάλληλη αντισκωριακή επεξεργασία. Αλλά και όταν μια ανεμογεννήτρια εγκατασταθεί μακριά από την θάλασσα, σε μια άγονη περιοχή, ο κίνδυνος φθοράς και ζημίας των πτερυγίων της δεν είναι μικρός, αφού υπάρχει πιθανότητα ο αέρας να μεταφέρει επάνω στην ανεμογεννήτρια φερτά υλικά, όπως είναι η σκόνη, η άμμος, κ.λπ. Αυτά τα φερτά υλικά είναι δυνατόν να προκαλέσουν ζημιές στα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, στα προστατευτικά της καλύμματα, κ.τ.λ. Στην προσπάθεια να επιτευχθεί ικανοποιητική ποιότητα συντήρησης μιας ανεμογεννήτριας και των εξαρτημάτων της όταν υφίστανται τέτοιες επιβαρυντικές συνθήκες, απαιτείται η ανάληψη σχεδιαστικών τροποποιήσεων, καθώς και η εφαρμογή ειδικών διαδικασιών συντήρησης, οι οποίες, σε συνδυασμό με τις απαραίτητες προβλεπόμενες τροποποιήσεις οδηγούν σε αύξηση του κόστους του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Η προληπτική και συντηρητική αυτή μέριμνα προφανώς διαφοροποιείται ανάλογα με τον τόπο εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου, εξαρτώμενη από τις τόσο από τις επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες σε αυτόν τον τόπο, όσο και από το ανάγλυφο που παρουσιάζει το έδαφος στον τόπο αυτό (Θυμάκης & Τσουνής, 2013).

5.3 Μελέτη Επιλογής του τόπου εγκατάστασης ενός Αιολικού Πάρκου

Τα κριτήρια για την επιλογή της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου συνοψίζονται παρακάτω:

1. Η εξασφάλιση της κατάλληλης έκτασης χώρου, προκειμένου να εγκατασταθεί ένα αιολικό πάρκο, έκταση, που θα πρέπει να πληροί από την μια τις προϋποθέσεις της επιθυμητής ονομαστικής ισχύος που θα αποδίδει αυτό το αιολικό πάρκο και από την άλλη το μοντέλο της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας.
2. Η μορφολογία της περιοχής στην οποία θα εγκατασταθεί το αιολικό πάρκο (προσβασιμότητα, ήπιες κλίσεις για την μικρότερη δυνατή τυρβώδη ροή, κ.λπ.).

3. Η δυνατότητα για την επίλυση θεμάτων που αφορούν στην ιδιοκτησία της θέσης εγκατάστασης του πάρκου.
4. Ο περιορισμός της οπτικής και της ακουστικής όχλησης
5. Η επιλογή του εγκατάστασης, σύμφωνα με τον υφιστάμενο χωροταξικό κανονισμό για τις Α.Π.Ε. (περιοχές NATURA).
6. Η επιλογή του χώρου εγκατάστασης θα πρέπει να διασφαλίζει την απαιτούμενη απόσταση από Μουσεία και Αρχαιολογικούς χώρους
7. Η διαθεσιμότητα καλού αιολικού δυναμική (Θυμάκης, & Τσουνής, 2013).

5.3.1 Επίδραση των Ανέμων στις Ανεμογεννήτριες

Είναι γνωστό ότι οι διακυμάνσεις που παρουσιάζει η ταχύτητα του ανέμου επιδρούν στη λειτουργία και στην γενικότερη απόδοση της ανεμογεννήτριας, λειτουργώντας παράλληλα επιβαρυντικά για την διάρκεια ζωής της. Το ίδιο πρόβλημα υφίσταται και στις αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου, οι οποίες, επίσης, επηρεάζουν τόσο τη λειτουργία, όσο και τη συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας. Μελέτη της NASA, που πραγματοποιήθηκε επάνω στο μοντέλο ανεμογεννήτριας Clayton MOD-OA, αποφάνθηκε ότι κατά την περιστροφή της ανεμογεννήτριας γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της, ώστε να μπορεί να συντονίζεται με τις αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου, αναπτύσσονται σημαντικά φορτία κάμψης στα πτερύγια της. Πρόκειται για φορτία, των οποίων η ύπαρξη επιβαρύνει σημαντικά την λειτουργία της ανεμογεννήτριας, μειώνει την απόδοσή της, αυξάνει τον κίνδυνο λειτουργικής ζημίας, μειώνει την διάρκεια ζωής της, απαιτεί επιπρόσθετες χρονοβόρες και κοστοβόρες συντηρήσεις. Γίνεται σαφές ότι η λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας σε μια περιοχή, που χαρακτηρίζεται από συχνές αλλαγές στη διεύθυνση του αέρα, είναι ξεκάθαρα λιγότερο αποδοτική από μια άλλη ανεμογεννήτρια, η οποία είναι τοποθετημένη σε περιοχή με σταθερότερη διεύθυνση των ανέμων. Επιπρόσθετο σημαντικό χαρακτηριστικό του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής αποτελεί ο βαθμός μεταβλητότητας των ποιοτικών αιολικών χαρακτηριστικών αυτής της περιοχής σε διαχρονικό επίπεδο.

Αν και οι σχετικές προβλέψεις δείχνουν ότι οι μεταβολές που παρουσιάζει η ταχύτητα του αέρα διαχρονικά είναι, συνήθως, πιο μικρές από τις μέσες εποχιακές ή ημερήσιες καταγραφόμενες διακυμάνσεις στη διάρκεια ενός συγκεκριμένου έτους, εντούτοις, αυτή η διαχρονική μεταβλητότητα, φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά το μέσο εκτιμώμενο κόστος της παραγόμενης ενέργειας σε όλη τη διάρκεια της ζωής μιας ανεμογεννήτριας. Με δεδομένο το γεγονός ότι η μέση διάρκεια της ζωής μιας μηχανής εκτιμάται στα 20 έτη,

διαφαίνεται ότι η διαχρονική μεταβλητότητα ίσως αποδειχθεί επικίνδυνη στην περίπτωση που οι αποφάσεις που πρόκειται να ληφθούν, για την επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας, θα στηριχτούν αποκλειστικά σε δεδομένα ενός «αρνητικού ή ιδιαίτερα ευνοϊκού αιολικού έτους» (Παπαζώτος & Χρόνη, 2016).

5.3.2 Αποδοχή Ανεμογεννήτριας από την Κοινή Γνώμη

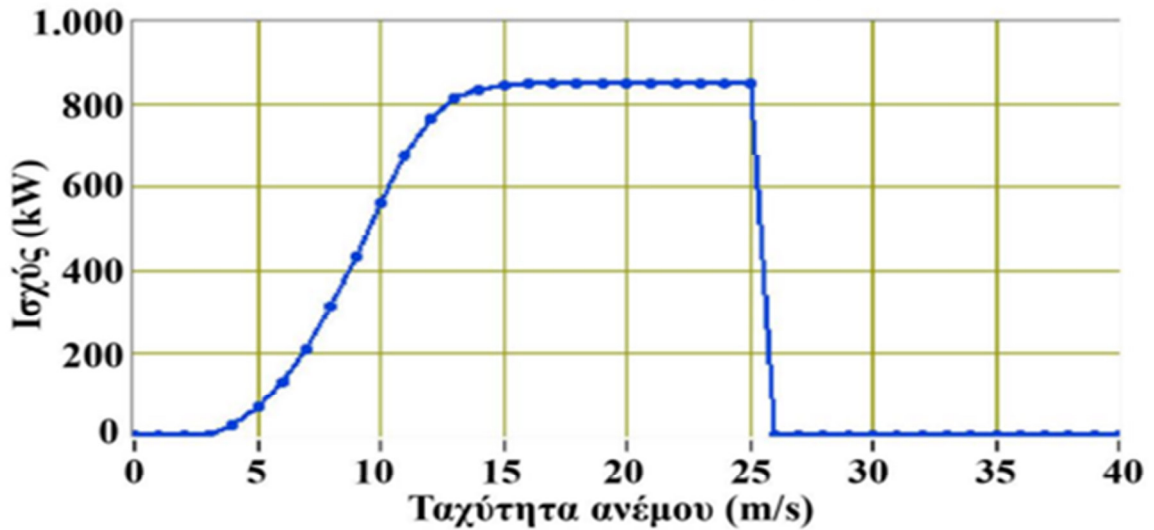
Η επιτυχημένη επιλογή της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου, εξαρτάται, εκτός των παραπάνω αναφερόμενων παραμέτρων, και από την συναίνεση της τοπικής κοινωνίας. Είναι αναγκαίο να γίνει εστιασμένη και μεθοδευμένη προσπάθεια, ώστε το κοινό να κατανοήσει ότι η δημιουργία έργων υποδομής στην περιοχή τους, για την εγκατάσταση και τη λειτουργία ενός αιολικού πάρκου, δεν θα αποτελέσει επιβαρυντικό παράγοντα για το περιβάλλον, δεν θα αλλοιώσει το ευρύτερο τοπίο, ενώ θα συνεισφέρει πολλαπλά στην οικονομία και στην ανάπτυξη της περιοχής, αφού, έχει μελετηθεί ότι η στάση της τοπικής κοινωνίας επηρεάζεται, τόσο από τις υφιστάμενες αντιλήψεις της για τα αιολικά πάρκα, όσο και από τις απόψεις της για τα εκτιμώμενα οικονομικά οφέλη, τα οποία πρόκειται να προκύψουν από την τοποθέτηση ενός αιολικού πάρκου ανεμογεννήτριας στην περιοχή τους. Τα μέχρι σήμερα δεδομένα εστιάζουν στο γεγονός ότι οι υφιστάμενες αντιλήψεις για τις ανεμογεννήτριες κρίνονται ως θετικές, αφού πιστεύεται ότι αυτές δεν δημιουργούν μόλυνση στο περιβάλλον, ότι αξιοποιούνται ως καθαρή και φθηνή πηγή ενέργειας και ότι συνδράμουν στην προσπάθεια εξοικονόμησης καυσίμων (Παπαζώτος, & Χρόνη, 2016).

5.4 Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ενέργειας από ανεμογεννήτριες

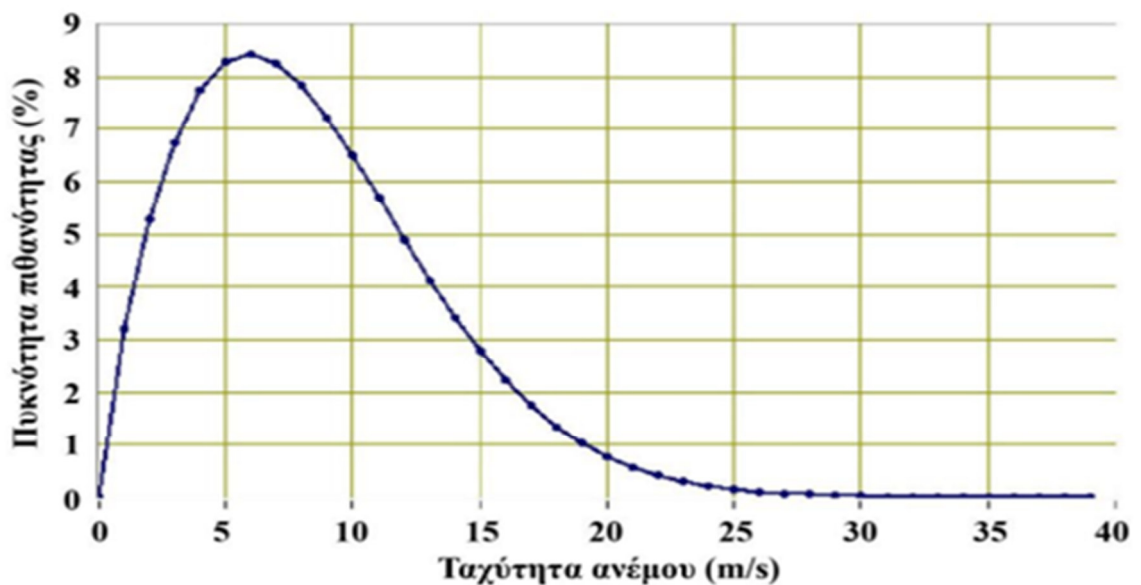
Ετήσια Εγκατεστημένη Ισχύς ενός Αιολικού Πάρκου: Η ετήσια υπολογιστική ενέργεια πραγματοποιείται μετά από την εκτίμηση της ποιότητας του αιολικού δυναμικού, καθώς και την οριστική χωροθέτηση του αιολικού πάρκου. Στην συνέχεια, πραγματοποιείται υπολογισμός της ετήσιας δυναμικότητας παραγωγής των ανεμογεννητριών, καθώς και των ακαθάριστων εσόδων μιας τέτοιας επενδυτικής απόφασης. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε ετήσια βάση πραγματοποιείται με την χρήση εξειδικευμένων λογισμικών με την αξιοποίηση του αντίστοιχου χάρτη που προσδιορίζει το αιολικό δυναμικό και ο οποίος προσφέρει τις αναγκαίες πληροφορίες για την υλοποίηση του υπολογισμού της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, κατόπιν επισταμένης μελέτης για την χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου.

Αυτές οι πληροφορίες αξιοποιούνται στη βάση των τιμών των συντελεστών C και k που αφορούν στην ετήσια κατανομή της πυκνότητας πιθανότητας Weibull (Σχήμα 5.2),

καθώς και της συνάρτησης Weibull της ταχύτητας του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή που εγκαθίσταται το αιολικό πάρκο. Με αυτά τα δεδομένα και με την αξιοποίηση της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας (Σχήμα 5.1) καθίσταται δυνατός ο υπολογισμός μια ετήσιας ηλεκτρικής παραγωγής αιολικής εγκατάστασης.



Σχήμα 5.1: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας ονομαστικής ισχύος 850kW (Καπέλλος, 2020).



Σχήμα 5.2: Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου κατά Weibull (Καπέλλος, 2020).

Η κατανομή Weibull δίνεται από τη σχέση:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right]$$

όπου:

c = παράμετρος κλίμακας ταχύτητας

k = παράμετρος μορφής

$f(v)$ = συχνότητα συμβάντος μιας ταχύτητας ανέμου

Επισημαίνεται ότι η κλίμακα της ταχύτητας σχετίζεται με την μέση ταχύτητα του ανέμου, ενώ η μορφή σχετίζεται με την μορφή κατανομής.

Με την αξιοποίηση των παραπάνω Σχημάτων 5.1 και 5.2 καθίσταται εφικτός ο υπολογισμός της ταχύτητας του αέρα, καθώς και ο σχεδιασμός της καμπύλης ισχύος της μηχανής, όπως, επίσης, και της κατανομής Weibull. Γνωρίζοντας την ταχύτητα του ανέμου είναι δυνατός ο υπολογισμός της ετήσιας πυκνότητας της πιθανότητας του ανέμου, σε συνάρτηση με τις γνωστές τιμές των C και k . Αυτή η πιθανότητα, αφορά σε ένα ετήσιο πλήθος ωρών, στις τις οποίες επιτυγχάνεται η συγκεκριμένη ταχύτητα. Ο υπολογισμός της συνολικής ετήσιας παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζεται από το γινόμενο των ετήσιων συνολικών ωρών, που προγραμματίζεται να λειτουργήσει η ανεμογεννήτρια επί της ισχύος της. Με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται ο υπολογισμός της ετήσιας παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ το άθροισμα του συνόλου των ανεμογεννητριών θα προσδιορίσει το συνολικό άθροισμα της ετήσιας παραγωγής ισχύος που αποδίδει ένα αιολικό πάρκο (Καπέλλος, 2020).

Στο εγχώριο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο συμπεριλαμβάνει την ηπειρωτική χώρα, καθώς και τα νησιά που είναι συνδεδεμένα σε αυτό, η συμμετοχή της ηλεκτρικής ενέργειας, που παράγεται από τα αιολικά πάρκα υπολογίστηκε στο 2,2% της συνολικά απαιτούμενης ενέργειας σε επίπεδο χώρας. Όμως στο αυτόνομο σύστημα της Κρήτης, το οποίο, ως σημειωθεί, δεν είναι διασυνδεδεμένο με το ηπειρωτικό δίκτυο, το αντίστοιχο ποσοστό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας αγγίζει το 12,5% της συνολικά απαιτούμενης ενέργειας, που είναι το υψηλότερο της Ελλάδας. Συγκριτικά, στη Δανία, η συμμετοχή της ενέργειας, που παράγεται από τα αιολικά πάρκα, στην συνολικά

απαιτούμενη για τη χώρα αυτή ενέργεια, φτάνει σε ποσοστό της τάξης του 20%, στην Ισπανία και στην Πορτογαλία στο 9%, στη Γερμανία στο 7%, ενώ στην Ιρλανδία στο 6%.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, συνεχίζοντας την προσπάθεια αξιοποίησής της από τον άνθρωπο, όπως αυτή είχε εκδηλωθεί με την λειτουργία των παραδοσιακών ανεμόμυλων, το τελευταίο χρονικό διάστημα βρίσκεται σε εντυπωσιακή ανάπτυξη, προσφέροντας στις χώρες που την εμπιστεύτηκαν, ποσά ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν να συγκριθούν με τα αντίστοιχα ποσά, τα οποία προέρχονται από την εκμετάλλευση των ορυκτών καύσιμων, όπως είναι ο λιγνίτης, το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο, το ουράνιο. Τα αιολικά πάρκα, όπως και οι άλλες εφαρμογές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προκαλούν ελάχιστη ως μηδαμινή επιβάρυνση στο περιβάλλον, συγκριτικά με τις συμβατικές θερμικές ή πυρηνικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αφού οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν παράγουν ανεπιθύμητους αέριους ρύπους, επικίνδυνα σωματίδια, απόβλητα, ραδιενεργά ή μη) (Καπέλλος, 2020).

Το μέγεθος των αιολικών πάρκων ποικίλει. Τα πιο μεγάλα σε μέγεθος αιολικά πάρκα απαρτίζονται από μεγάλο αριθμό ανεμογεννητριών, ενώ τα πιο μικρά, μπορεί να έχουν, μόλις, μία ανεμογεννήτρια. Όπως και παραπάνω περιγράφηκε, κάθε ανεμογεννήτρια αποτελείται από μια πτερωτή, από την άτρακτό της με την απαραίτητη ηλεκτρογεννήτρια, από τον πύργο, καθώς και από έναν μετασχηματιστή, που αξιοποιείται στην σύνδεση στο δίκτυο του αιολικού πάρκου, το οποίο συνδέεται με το υφιστάμενο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, στο οποίο διοχετεύεται η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

Έχει, επίσης, αναλυτικά αιτιολογηθεί παραπάνω, ότι η δυναμικότητα παραγόμενης ενέργειας κάθε ανεμογεννήτριας αποτελεί συνάρτηση του μεγέθους της, με δεδομένο ότι ο ρυθμός παραγωγής ενέργειας είναι ανάλογος με την επιφάνεια της έλικας. Ενώ στην αρχή της δεκαετίας του 1980, μια τυπική ανεμογεννήτρια διέθετε έλικα με διάμετρο που έφτανε τα 10 μέτρα και δυνατότητα παραγωγής ισχύος τα 25 kW, σήμερα, μια σύγχρονη ανεμογεννήτρια των 600 kW έχει διάμετρο έλικας που φτάνει τα 40 μέτρα, και ύψος πυλώνα που αγγίζει τα 45 μέτρα, ενώ, κερδίζουν συνεχώς έδαφος, μηχανές ακόμη μεγαλύτερων διαστάσεων και δυνατοτήτων, όπως είναι οι ανεμογεννήτριες με δυνατότητα παραγόμενης ισχύος τα 1,5 MW - 3 MW και με τη διάμετρο της έλικάς τους που φτάνει στα 70 ως και τα 90 μέτρα. Επισημαίνεται, ότι το μέγεθος των χρησιμοποιούμενων μηχανών εξαρτάται και από τη δυνατότητα της μεταφοράς τους στον χώρο που θα δημιουργηθεί το αιολικό πάρκο (Andersen, & Drejer, 2009).

Η απόσταση μεταξύ δύο ανεμογεννητριών σε ένα αιολικό πάρκο τυπικά εκτιμάται ως 3 με 5 φορές του μήκους της διαμέτρου της έλικάς τους. Η διάταξη των ανεμογεννητριών σε ένα αιολικό πάρκο πραγματοποιείται λαμβάνοντας μέριμνα για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του αιολικού πάρκου. Ειδικότερα, πραγματοποιείται προσπάθεια ώστε η μια ανεμογεννήτρια να μην "κρύβει" την γειτονική της, λαμβάνοντας υπόψη την συχνότερα καταγραφείσα διεύθυνση του ανέμου στην εν λόγω περιοχή. Είναι γνωστό, ότι τα αιολικά πάρκα επεκτείνονται σε μια έκταση περίπου 100 στρέμματα ανά εγκατεστημένη ποσότητα ηλεκτρικής ισχύος (MW), όμως το πιο μεγάλο μέρος από την έκταση αυτή, μπορεί να αξιοποιηθεί και για άλλες δραστηριότητες, όπως είναι η βοσκή, οι καλλιέργειες της γης, κ.ά., με δεδομένο ότι τα αιολικά πάρκα δεν περιφράζονται. Εξάλλου, έχει τονιστεί ότι στα πλεονεκτήματα των αιολικών πάρκων καταγράφεται και το γεγονός ότι αυτά δεν δεσμεύουν εξολοκλήρου την έκταση εγκατάστασής τους, επιτρέποντας την διεξαγωγή και άλλων δραστηριοτήτων πλησίον αυτών.

Η επιλογή της περιοχής που πρόκειται να εγκατασταθεί ένα αιολικό πάρκο πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη πολλούς προσδιοριστικούς παράγοντες, όπως είναι η ένταση του ανέμου, η δυνατότητα της σύνδεσής του με το δίκτυο της ηλεκτρικής ενέργειας, δυνατότητα που προσδιορίζεται από την απόσταση του αιολικού πάρκου από τις γραμμές μεταφοράς, την απόστασή του από βιότοπους, από δάση, από κατοικημένες περιοχές, την απόσταση του αιολικού πάρκου από προστατευμένες περιοχές (Natura), η απόστασή του από Μουσεία και Αρχαιολογικούς χώρους, η διασφάλιση της αποφυγής οπτικής και ακουστικής όχλησης κ.ά. Επιπρόσθετα, σήμερα δημιουργούνται αιολικά πάρκα και στις θαλάσσιες περιοχές. Τα θαλάσσια πάρκα συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω υποβρύχιων καλωδίων. Αν και το αιολικό πάρκο είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προξενούν οι ανεμογεννήτριες δεν μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες τόσο για τον προξενούμενο θόρυβο, τις επιπτώσεις στην πανίδα, τη διατάραξη του περιβάλλοντος με την κατασκευή δρόμων προσπέλασης, καθώς και με την ένταξή τους στο ευρύτερο περιβαλλοντικό τοπίο, ιδιαίτερα στις κορυφογραμμές. Έχουν καταγραφεί έντονες αντιδράσεις σε αρκετές περιοχές της χώρας σχετικά με την αλλοίωση της οπτικής εικόνας των κορυφογραμμών εξαιτίας της τοποθέτησης ανεμογεννητριών (Andersen, & Drejer, 2009).

Τέλος, επισημαίνεται ότι στα συστήματα αιολικής ενέργειας δεν είναι εφικτή η αποθήκευση της παραγόμενης από τον άνεμο ηλεκτρικής ενέργειας. Έχοντας ως επιπρόσθετο δεδομένο ότι η διαδικασία για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας από τα αιολικά πάρκα δεν είναι εφικτό να ρυθμιστεί όπως στις συμβατικές μονάδες παραγωγής

ηλεκτρικής ενέργειας, στις οποίες η ροή του καυσίμου είναι απολύτως ελεγχόμενη, τα αιολικά πάρκα δεν μπορούν να αντικαταστήσουν πλήρως τις συμβατικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, παρά, μόνο, να λειτουργούν υποστηρικτικά. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί για το Ελληνικό σύστημα το γεγονός ότι η μέγιστη ενεργειακή κατανάλωση εμφανίζεται συνήθως στις ιδιαίτερα ζεστές καλοκαιρινές εργάσιμες ημέρες, κατά τις οποίες υφίσταται μεγάλη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από τη λειτουργία των κλιματιστικών μηχανημάτων και η ένταση του ανέμου είναι ιδιαίτερα χαμηλή. Σε μια τέτοια περίπτωση, που, δυστυχώς, δεν είναι η μοναδική, γίνεται κατανοητό ότι οι συμβατικές μονάδες παραμένουν απαραίτητες. Σε κάθε περίπτωση όμως η παραγωγή αιολικής ενέργειας έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των ρυπογόνων καυσίμων, καθώς και την εκπομπή αερίων, τα οποία συμβάλουν στη δημιουργία του φαινομένου του θερμοκηπίου, όπως, επίσης, και άλλων, επιβαρυντικών για το περιβάλλον, ρύπων (Pourbeik, 2007).

5.5 Σύνδεση του αιολικού πάρκου στο ηλεκτρικό δίκτυο

Είναι γνωστό ότι το ελληνικό ηλεκτρικό όπως, άλλωστε, και σε όλη την Ευρώπη, λειτουργεί με τριφασικό ρεύμα συχνότητας 50 Hz, ενώ η αντίστοιχη συχνότητα στις ΗΠΑ είναι 60 Hz. Οι διαθέσιμες ηλεκτρικές τάσεις διακρίνονται σε τρία επίπεδα:

- Στην υψηλή τάση: 400 kV, 150 kV, 66 kV.
- Στη μέση τάση: 20 kV, 15 kV, 6,6 kV.
- Στη χαμηλή τάση: 400/230 V.

Στη χώρα μας, η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας, με ελάχιστες απώλειες, υλοποιείται μέσω του διασυνδεδεμένου δικτύου της υψηλής τάσης. Τα μεγάλα σε μέγεθος, αιολικά πάρκα, με συνολική ισχύ μεγαλύτερη των 10 MW ή 15 MW, θα πρέπει να συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο της υψηλής τάσης (110 kV). Σε μερικές, σπάνιες, περιπτώσεις η σύνδεση στο δίκτυο των 400 kV κρίνεται, επίσης, ως απαραίτητη. Γι' αυτή τη σύνδεση, απαιτείται κατάλληλος τεχνικός εξοπλισμός.

Τεχνικός εξοπλισμός - κόστος σύνδεσης: Ο τεχνικός εξοπλισμός, καθώς και το απαραίτητο κόστος της σύνδεσης του αιολικού πάρκου στο ηλεκτρικό δίκτυο, προσδιορίζονται από τους παρακάτω παράγοντες:

1. Από την απόσταση μεταξύ των μηχανών στο ηλεκτρικό δίκτυο.
2. Από την υφιστάμενη τάση του δικτύου, καθώς και από την μεταφορική ικανότητα του δικτύου.
3. Από τον έλεγχο μεταφοράς της ηλεκτρικής ισχύος, καθώς και από τον ηλεκτρικό εξοπλισμό που διαθέτουν οι ανεμογεννήτριες.
4. Από τις τεχνικές απαιτήσεις που έχουν οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι λειτουργούν παράλληλα με το δίκτυο.

Τα βασικά κριτήρια, καθώς και οι απαραίτητες προϋποθέσεις που προσμετρώνται, ώστε να επιτραπεί η σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο νέων εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, αναφέρονται παρακάτω:

- Η επάρκεια του ηλεκτρικού δικτύου σε γραμμές μεταφοράς, σε μετασχηματιστές, κ.λπ.
- Η συμμετοχή της εγκατάστασης στη στάθμη της βραχυκύκλωσης.
- Οι αργές μεταβολές που συμβαίνουν στην τάση μόνιμης κατάστασης.
- Οι ταχείες μεταβολές που παρατηρούνται στην ηλεκτρική τάση.
- Οι εκπομπές τύπου flicker.
- Οι εκπομπές των αρμονικών κυμάτων.
- Η μέριμνα διαμόρφωσης της προστασίας διασύνδεσης των εγκαταστάσεων με το ηλεκτρικό δίκτυο.
- Η επίπτωση που υφίσταται στη λειτουργία των συστημάτων για τον Τηλεχειρισμό της Ακουστικής Συχνότητας (Τ.Α.Σ.).

Τρόπος σύνδεσης Ανεμογεννητριών στο ηλεκτρικό δίκτυο με βάση την ισχύ τους: Η επιλογή του τρόπου της σύνδεσης στο δίκτυο (Πίνακας 5.1), ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τις ανεμογεννήτριες, αποτελεί ιδιαίτερο αντικείμενο μιας τεχνικοοικονομικής μελέτης, κατά την οποία λαμβάνεται υπόψη αφενός το κόστος του απαιτούμενου Κεφαλαίου για την υλοποίηση των απαιτούμενων έργων για την ενίσχυση και την επέκταση του δικτύου και αφετέρου οι απώλειες της ενέργειας των εναλλακτικών τρόπων διασύνδεσης και καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, καθώς και ο χρόνος, η δυνατότητα της κατασκευής των απαραίτητων έργων, η αναγκαία χρηματοδότησή τους.

Πίνακας 5.1: Πιθανοί τρόποι σύνδεσης ανεμογεννητριών στο δίκτυο

Ενδεικτική ισχύς (MW)	Πιθανοί τρόποι της σύνδεσης στο δίκτυο
Έως 0,1	Δίκτυο χαμηλής τάσης
Έως 4	Δίκτυο Μέσης Τάσης (MT) εγκατεστημένο σε υφιστάμενη γραμμή
Έως 6	Δίκτυο MT μέσω αποκλειστικής γραμμής απλού κυκλώματος
Έως 20	Δίκτυο MT μέσω αποκλειστικής γραμμής διπλού κυκλώματος
Άνω των 20	Δίκτυο MT με κατασκευή υποσταθμού Υ.Τ. ανύψωσης

5.6 Δανία: Μελέτη περίπτωσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Αιολική

Η δυναμικότητα ισχύος των αιολικών πάρκων της Δανίας ανέρχεται στα 5,3 GW συνολικής αιολικής ενέργειας, η οποία προέρχεται από αιολικά πάρκα που είναι εγκατεστημένα τόσο στην ξηρά όσο και στην ανοικτή θάλασσα, με τις περισσότερες υπεράκτιες μηχανές να έχουν εγκατασταθεί μετά από το έτος 2001. Το έτος 2020, η Δανία επέτυχε να παράγει, περίπου, το 50% από την τη αναγκαία ηλεκτρική της ενέργεια, από την ενέργεια του ανέμου και το 80% συνολικά, από τις Α.Π.Ε., συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας που παράγεται από τη βιομάζα, καθώς και από την ηλιακή ενέργεια.

Η Δανία κατάφερε να σημειώσει το μεγαλύτερο εθνικό ρεκόρ της κατά το έτος 2017. Ήταν η χρονιά που η χώρα αυτή κατάφερε να επιτύχει το 44,4 % των ενεργειακών της αναγκών από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, ξεπερνώντας το προηγούμενο δικό της εθνικό ρεκόρ της χρονιάς του 2015, το οποίο άγγιζε το, επίσης εντυπωσιακό, ποσοστό της τάξης του 42% και διπλασιάζοντας την αντίστοιχη απόδοση, όπως αυτή είχε καταγραφεί το έτος 2008. Τον Ιούλιο του 2015, εξ' αιτίας ασυνήθιστων καιρικών φαινομένων, τα αιολικά πάρκα στη Δανία όχι μόνο μπόρεσαν να καλύψουν τις ανάγκες της χώρας σε ηλεκτρική ενέργεια, αλλά κατάφεραν να παράξουν και πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας, για το οποίο υπήρξε πρόνοια εξαγωγής του στις γειτονικές της χώρες, στη Νορβηγία, στη Σουηδία και στη Γερμανία. Ειδικότερα, μέσω των διακρατικών καλωδίων, το 20% του πλεονάσματος της παραχθείσας από τον άνεμο ηλεκτρικής ενέργειας εξάχθηκε στη Σουηδία, ενώ το υπόλοιπο ποσοστό της τάξης του 80% μοιράστηκε μεταξύ της Γερμανίας και της Σουηδίας, η οποία έχει αναπτύξει κατάλληλες

υποδομές αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε υδροηλεκτρικές μονάδες για μελλοντική χρήση. Ο άνεμος στη Δανία εκείνη την ημέρα ήταν πολύ δυνατός, με αποτέλεσμα οι ανεμογεννήτριές της να «καλύψουν» το 140% της εγχώριας ζήτησης. Παρόλα αυτά, η καταγραφή έδειξε ότι τα αιολικά πάρκα της Δανίας δεν λειτουργούσαν ούτε καν στη μέγιστη ονομαστική ισχύ των 4,8 GW.

Η μεγαλύτερη κατασκευάστρια εταιρία ανεμογεννητριών στον κόσμο, η κατασκευαστική εταιρία Vestas Wind Systems, έχει την έδρα της στη Δανία, ενώ η κυβέρνηση αυτής της χώρας ελέγχει την εταιρεία Orsted (πρώην Dong), η οποία είναι η μεγαλύτερη εταιρεία στην εκμετάλλευση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, σε παγκόσμιο επίπεδο. Οι ανεμογεννήτριες στη Δανία, συνολικής επένδυσης της τάξης των 5,7 εκατομμυρίων, κατέγραψαν νέο ρεκόρ παραγωγής κατά το έτος 2017, παράγοντας συνολικά 14.700 GW σε χρονικό διάστημα 12 μηνών. Από το έτος 2001, η εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας στη Δανία έχει διπλασιαστεί, παρ' όλο που υφίστανται περίπου 20% πιο λίγες ανεμογεννήτριες στην επικράτεια της χώρας. Αυτό το γεγονός, οφείλεται στις σύγχρονες ανεμογεννήτριες, οι οποίες είναι μεγαλύτερες και πιο αποδοτικές. Κατά την εταιρία Danish Energy Authority, η Δανία είχε θέσει σε λειτουργία 6.100 ανεμογεννήτριες, αριθμός που ισοδυναμεί σε ημερήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας της τάξης των 5,3 GW, σημειώνοντας, έτσι, αύξηση, σχεδόν στο διπλάσιο από το έτος 2001. Όσον αφορά στην όχληση που δημιουργεί ο αεροδυναμικός θόρυβος, μελέτες έδειξαν ότι μπορεί να μειωθεί με την κατάλληλη παρέμβαση στα πτερύγια των ανεμογεννητριών. Ειδικότερα, αν τα ακροτελεύτια στοιχεία των πτερυγίων διαμορφωθούν λεπτότερα και σχεδιαστούν με το κατάλληλο προφίλ, η μείωση του αεροδυναμικού θορύβου θα είναι εντυπωσιακή. Έχει υπολογιστεί ότι μια τυπική, σύγχρονη ανεμογεννήτρια δυναμικότητας 300 kW, με καταγεγραμμένη ταχύτητα ανέμου 8 m/s, αναπτύσσει επίπεδο θορύβου, της τάξης των 45 dB σε ακτίνα 200 m (Li, & Chen, 2008). Οι κανονισμοί της Δανίας προτείνουν αυτήν την απόσταση ασφαλείας (των 200 m), μιας ανεμογεννήτριας από έναν κατοικημένο χώρο, ως την ελάχιστη δυνατή, επιτρεπτή απόσταση ασφαλείας, προκειμένου να είναι αποδεκτός ο αεροδυναμικός θόρυβος, καθώς και 500 μέτρα από έναν σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από την αντίστοιχη αιολική. Συγκεκριμένα, στις κατοικημένες περιοχές επιτρέπεται ένα εύρος θορύβου της τάξης των 37-39 dB, ενώ στον ανοιχτό χώρο το αντίστοιχο επιτρεπτό εύρος θορύβου είναι της τάξης των 42-44 dB.

Σε γενικές γραμμές, ως επίπεδο αποδεκτού θορύβου ορίζεται το όριο των 5 dB πάνω από τον υφιστάμενο θόρυβο του περιβάλλοντος, τόσο κατά τις ώρες της ημέρας, όσο και κατά τις αντίστοιχες της νύχτας.

Αιολικά πάρκα στη Δανία: Η Δανία, ως πρωτοπόρος χώρα, εδώ και δεκαετίες στην κατασκευή τεράστιων υπεράκτιων αιολικών πάρκων, εγκαινίασε το πρώτο αιολικό της πάρκο το έτος 1991. Η χώρα είχε θέσει ως στόχο της να αγγίξει το μερίδιο της αιολικής ενέργειας το 50% της συνολικά αναγκαίας για τη χώρα, και της βιομάζας το 20% μέχρι το 2020, κάτι που το κατάφερε, όπως επίσης κατάφερε να επιτύχει τον στόχο που είχε θέσει με χρονικό ορίζοντα το έτος 2020 για επίτευξη της μείωσης εκπομπής ρυπογόνων αερίων του θερμοκηπίου κατά 40%, σε σχέση με τα επίπεδα των εκπομπών αερίων του έτους 1990.

Η ενεργειακή εταιρεία της Δανίας, η Dong Energy, εγκαινίασε στη Βόρεια Θάλασσα το μεγαλύτερο θαλάσσιο αιολικό πάρκο στον κόσμο, με την ονομασία Horns Rev 2 (Εικόνα 5.2). Το νέο πάρκο, συνολικής έκτασης σχεδόν 35 km², βρίσκεται στη δυτική Δανία. Είναι εξοπλισμένο με 91 μηχανές ξηράς, οι οποίες κατασκευάστηκαν από την Γερμανική εταιρία Siemens, με ικανότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ανά ανεμογεννήτρια τα 2,3 MW/h. Η προσδοκία για το νέο αιολικό πάρκο είναι να καλύπτει τις ετήσιες ανάγκες της ηλεκτρικής ενέργειας για 200.000 νοικοκυριά. Πρόκειται για το πρώτο αιολικό πάρκο, το οποίο είναι εξοπλισμένο με μετασχηματιστή και με μία πλατφόρμα, η οποία φιλοξενεί τις κατοικίες για τους 24 εργαζομένους, που έχουν επιφορτιστεί τη συντήρηση της εγκατάστασης, καθώς και την επίβλεψη της παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, η οποία αναμένεται να φτάσει στα 800 GW, κατά μέσο όρο, ετησίως. Για την κατασκευή αυτού του θαλάσσιου πάρκου, το οποίο είναι το ένατο που κατασκευάζεται στη Δανία από το έτος 1991, δαπανήθηκαν, περίπου, 3,5 δισεκατομμύρια κορώνες (469 εκατομμύρια ευρώ).



Εικόνα 5.2: Υπεράκτιο Αιολικό πάρκο στη Δανία (Η Δανία παρουσιάζεται ως η χώρα που μεγαλουργεί στην παραγωγή αιολικής ενέργειας).

Κεφάλαιο 6^ο

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη χρήση ανεμογεννητριών

6.1 Μελέτη εκτίμησης των επιπτώσεων Αιολικών πάρκων

Με τον όρο «Περιβαλλοντική Επίπτωση», προσδιορίζεται είτε η μεταβολή που παρατηρείται στις περιβαλλοντικές συνθήκες ενός τόπου είτε η μεταβολή στις παραμέτρους του φυσικού και το ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, που υφίστανται σε μια περιοχή, εξαιτίας της υλοποίησης μιας παρέμβασης. Η μεταβολή αυτή, μπορεί να έχει είτε θετικό, είτε αρνητικό πρόσημο, αναβαθμίζοντας ή υποβαθμίζοντας, αντίστοιχα, την ποιότητα του περιβάλλοντος αυτής της περιοχής. Από τις πλέον απαραίτητες προϋποθέσεις αδειοδότησης της υλοποίησης μιας παρέμβασης σε μια περιοχή αποτελεί η διασφάλιση ότι οι επιπτώσεις αυτής της παρέμβασης δεν θα επιφέρουν αλλοιώσεις ή βλάβες στο περιβάλλον αυτής της περιοχής. Η διασφάλιση αυτή προσδιορίζεται στην απαραίτητη για την αδειοδότηση μιας επένδυσης εκπόνηση και κατάθεση στις αρμόδιες υπηρεσίες της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ).

Σκοπός της ΜΠΕ είναι να αποδείξει, να εγγυηθεί και να διασφαλίσει ότι η εγκατάσταση ενός επενδυτικού έργου σε μια περιοχή, όπως είναι το έργο της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου, δεν θα επιφέρει βλαβερές συνέπειες στο περιβάλλον αυτής της περιοχής, ενώ, παράλληλα, για την προσωρινή αναστάτωση που, τυχόν, θα δημιουργήσει μια τέτοια εγκατάσταση στο περιβάλλον της εκάστοτε περιοχής, θα αναφέρονται στην ΜΠΕ όλες οι προβλεπόμενες, επιστημονικά αποδεκτές ενέργειες, επαναφοράς της περιβαλλοντικής αναστάτωσης που δημιουργείται στην πρότερή της κατάσταση. Στην ΜΠΕ γίνεται επίσης αναφορά στις τυχόν προβλεπόμενες μελλοντικές επιπτώσεις που πιθανόν να ανακύψουν από την πολυετή λειτουργία ενός αιολικού πάρκου σε μια περιοχή, προνοώντας αναλυτικά και διεξοδικά για τον τρόπο ή τους τρόπους αντιμετώπισής τους στο πλαίσιο της οριστικής άρσης τους.

Οι σημαντικότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη λειτουργία ενός αιολικού πάρκου είναι:

- Η οπτική αισθητική όχληση.
- Ο ενοχλητικός θόρυβος.
- Οι ατμοσφαιρικές αναταράξεις.
- Η επίδραση στην γενικότερη παρουσία των πουλιών στη περιοχή και, γενικότερα στην πανίδα της γύρω περιοχής.

- Η επίδραση στην χλωρίδα του περιβάλλοντος χώρου.
- Οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.
- Η αλλοίωση της μορφολογίας του εδάφους.
- Οι πιθανές αρνητικές επιδράσεις στα επιφανειακά και στα υπόγεια νερά (GR□□NAG□NDA, 2019).

6.1.1 Μορφολογία Εδάφους

Η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου σε ένα χώρο είναι αναμενόμενο ότι θα προξενήσει αλλοιώσεις στο ανάγλυφο του εδάφους της περιοχής, κυρίως εξαιτίας της τοποθέτησης των πελμάτων των ανεμογεννητριών. Οι παρεμβάσεις που θα πραγματοποιηθούν στην γύρω περιοχή προβλέπεται να είναι μικρής κλίμακας, με ασήμαντη ως μηδαμινή αλλοίωση στα μορφολογικά χαρακτηριστικά αυτής της περιοχής.

Για την σκυροδέτηση των βάσεων των ανεμογεννητριών θα πραγματοποιηθούν μικρής έκτασης εκσκαφές. Ειδικότερα, προβλέπεται ότι για την σκυροδέτηση των πελμάτων των πυλώνων, με εμβαδό 256 τμ. ανά βάση, έπονται επιχωματώσεις προκειμένου να καλυφτεί η βάση και, στη συνέχεια, πραγματοποιείται πλήρης αποκατάσταση του περιβάλλοντα χώρου. Επιπρόσθετα, πραγματοποιείται εκσκαφή, προκειμένου να θεμελιωθεί το δωμάτιο ελέγχου. Όσον αφορά στο οδικό δίκτυο για την προσπέλαση των οχημάτων στην περιοχή εγκατάστασης, προηγείται ο απαραίτητος έλεγχος για τη δυνατότητα της πρόσβασής του. Οι παρεμβάσεις πραγματοποιούνται μόνον μετά από τη διαπίστωση της αναγκαιότητας υλοποίησης τυχόν απαραίτητων μετατροπών. Όσον αφορά στο πλάτος του δρόμου που θα χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά των ογκωδών εξαρτημάτων των μηχανών στο χώρο εγκατάστασής τους, το πλάτος αυτό θα πρέπει να είναι 5m, προκειμένου να καταστεί δυνατή την προσπέλαση των ανεμογεννητριών. Ως γενικότερο συμπέρασμα από τις μέχρι σήμερα μελέτες και την σχετική συσσωρευθείσα εμπειρία προκύπτει ότι στις περισσότερες των περιπτώσεων εγκατάστασης αιολικών πάρκων δεν έχει παρατηρηθεί κάποια ανησυχητική εξέλιξη όσον αφορά στην αύξηση της διάβρωσης του εδάφους, είτε από τον άνεμο, είτε από τα όμβρια ύδατα, με μοναδική, ίσως, εξαίρεση την σχετική αλλοίωση του τοπίου, για την οποία έχει παρατηρηθεί πως απαιτεί συνήθως αρκετά χρόνια επαναφοράς του στην πρότερή του κατάσταση, μετά την απεγκατάσταση των ανεμογεννητριών από την εν λόγω περιοχή (Παναγωπούλου, 2013).

6.1.2 Επίπτωση στη Χλωρίδα

Η δημιουργία ενός αιολικού πάρκου σε έναν χώρο είναι αναμενόμενο να δημιουργήσει μικρή αραίωση της βλάστησής της ή και αποψίλωσής της στην περιοχή εντός του αιολικού πάρκου, καθώς και γύρω από αυτό (Εικόνα 6.1). Ωστόσο, αυτή η αποψίλωση της βλάστησης λόγω της υλοποίησης της επένδυσης αναμένεται να είναι μικρής κλίμακας, ενώ, μετά το πέρας της κατασκευής, πραγματοποιείται στον περιβάλλοντα χώρο η κατάλληλη διαμόρφωση (στο παράδειγμα της Εικόνας 6.1 παρατηρείται η αναγκαστική αποψίλωση περιοχής του δάσους). Προκειμένου να επιτευχθεί ελαχιστοποίηση των αρνητικών επιπτώσεων που θα προκληθούν στη βλάστηση της περιοχής εγκατάστασης του αιολικού πάρκου, απαραίτητη είναι η αρχική εκτίμηση ως προς τον βαθμό παρέμβασης στη βλάστηση που αφορά στην εγκατάσταση του πάρκου αυτού. Ειδικότερα, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί καταγραφή των επιπτώσεων που απαιτούν ιδιαίτερης προσοχής, προκειμένου να μην θιγεί σε σημαντικό βαθμό η γύρω περιοχή.



Εικόνα 6.1: Αποψίλωση δασών (Παναγωπούλου, 2013).

Στην συγκεκριμένη περίπτωση της αποψίλωσης περιοχής δάσους, προτείνεται η πραγματοποίηση ειδικής μελέτης της χλωρίδας της περιοχής, προκειμένου να καταστεί δυνατή η διατήρηση των σπάνιων ειδών που, πιθανόν, να βρίσκονται σε αυτήν. Για την υλοποίηση της εγκατάστασης του αιολικού πάρκου πραγματοποιείται εκχέρσωση της γης στο σημείο που η σχετική μελέτη έχει προσδιορίσει, καθώς και αποψίλωση της έκτασης με ενδεικνυόμενη έκταση το 1,5 στρέμμα ανά ανεμογεννήτρια. Η αποψίλωση αφορά κυρίως σε θαμνώδη βλάστηση, καθώς και σε βραχώδεις εκτάσεις, αφού, τέτοιου είδους περιοχές προτιμώνται για τη δημιουργία ενός αιολικού πάρκου. Πρόκειται για περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλα ύψη, όπου το αιολικό δυναμικό είναι, επίσης, υψηλό. Σε κάθε περίπτωση, ξεκαθαρίζεται ότι, πάντα θα υπάρχει μια μικρή επίπτωση στο περιβάλλον της περιοχής όπου πραγματοποιείται η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου (Παναγοπούλου, 2013).

6.1.3 Επιπτώσεις στα Επιφανειακά και Υπόγεια Νερά από την εγκατάσταση Α/Γ

Το αιολικό πάρκο, λόγω του προσδιορισμού του ως εγκατάσταση παραγωγής ήπιας μορφής ενέργειας, καθώς και της καθαρότητάς του όσον αφορά στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον, αναμένεται να μην δημιουργήσει αρνητικές επιπτώσεις στην περιοχή εγκατάστασής του είτε αναφερόμαστε σε ένα χερσαίο είτε σε ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο. Στο πλαίσιο αυτό, θεωρείται ότι η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου δεν θα δημιουργήσει γενικότερες αναταράξεις στην υδρολογική δυναμική της ευρύτερης περιοχής, ενώ, όσον αφορά τόσο στην πορεία της ροής του νερού, καθώς και στο ρυθμό της απορρόφησής του, όσο και στην οδό της αποστράγγισής του, καθώς και στο ρυθμό της απόπλυσης του εδάφους, η μέχρι σήμερα εμπειρία, καθώς και οι σχετικές ΜΠΕ επιμένουν ότι δεν δημιουργείται καμία επίπτωση, με επιπρόσθετο δεδομένο ότι ο χώρος τον οποίο δεσμεύει κάθε ανεμογεννήτρια βρίσκεται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από τον αντίστοιχο χώρο των γειτονικών ανεμογεννητριών.

Αντίστοιχα, στις περισσότερες περιπτώσεις, οι ανεμώδεις περιοχές προσδιορίζονται από την χαρακτηριστική έλλειψη, τόσο σε υψηλή βλάστηση, όσο και σε δάση. Έτσι, τόσο η μορφολογία του εδάφους, όσο και τα φυτά, αλλά και τα δέντρα, δεν αλλοιώνονται από την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου, γεγονός που προδικάζει ότι δεν θα πρέπει να υφίστανται ανησυχίες σχετικά με την επίδρασή του, στη δυναμική της ροής των επιφανειακών υδάτων, σε περίπτωση βροχοπτώσεων. Επίσης, δεν υφίσταται κανένας κίνδυνος, σε περίπτωση πλημμυρών, με δεδομένο το γεγονός ότι για την ροή των υδάτων λαμβάνεται κάθε μέριμνα, ώστε αυτή να μην αλλάζει από την τοποθέτηση ενός αιολικού

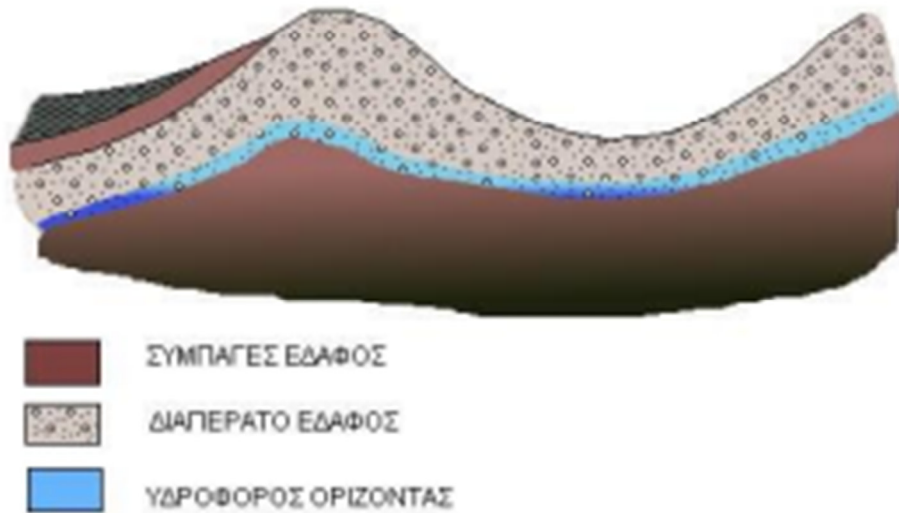
πάρκου σε μια περιοχή, ενώ, η θεμελίωση των ανεμογεννητριών, είναι τέτοιας κατασκευής, που δεν τίθεται κανένα πρόβλημα καταστροφής τους, σε περιπτώσεις πλημμυρικών φαινομένων. Επιπρόσθετα, όσον αφορά στην τυχόν επίδραση της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου στα υπόγεια ύδατα του χώρου του, από τις ΜΠΕ και την σχετική εμπειρία αναδεικνύεται η βεβαιότητα ότι τόσο τα νερά της επιφάνειας όσο και τα υπόγεια ύδατα επηρεάζονται σε ιδιαίτερο βαθμό από τη λειτουργία ενός αιολικού πάρκου, με δεδομένο ότι, για την λειτουργία των μετασχηματιστών, δεν θα απαιτηθεί η τακτική αλλαγή των λαδιών, ενώ, και στην περίπτωση που απαιτείται κάτι τέτοιο, αυτή η αλλαγή πραγματοποιείται μία φορά μετά από πολλά έτη, αφού οι μετασχηματιστές αυτοί είναι σύγχρονης τεχνολογίας χαρακτηριζόμενοι ως «ξηρού τύπου» με ελάχιστες ως μηδαμινές, σχεδόν, απαιτήσεις αντικατάστασης των λαδιών τους (Θεοδώρου και συν., 2010).

6.1.4 Επιπτώσεις στον Υδροφόρο Ορίζοντα από τη Λειτουργία των Ανεμογεννητριών

Σε συνέντευξη του σε ραδιοφωνικό σταθμό (ειδικότερα: στο ραδιοφωνικό σταθμό 9,84, στις 18/06/2014) ο καθηγητής περιβαλλοντικής Γεωλογίας, Γεώργιος Στουρνάρας, προσδιόρισε τον τρόπο, με τον οποίο μια ανεμογεννήτρια επιδρά στον υδρολογικό ορίζοντα κατά τη λειτουργία της. Στην ερώτηση που απευθύνθηκε στον καθηγητή, αν τα αιολικά πάρκα θα μπορούσαν να επιδράσουν στη μείωση των βροχοπτώσεων, η απάντηση ήταν θετική, συνεχίζοντας ότι, εκτός από όλες τις άλλες επιπτώσεις που προκαλούν οι μηχανές, οι οποίες χαρακτηρίζονται ως «ενεργειακές», «οικονομικές», «χωροταξικές» ή «αισθητικές», διαπιστώνεται ότι επηρεάζουν το υδατικό δυναμικό μιας περιοχής, από τη δημιουργία μιας βροχόπτωσης, μέχρι και τον εμπλουτισμό του υδροφόρου ορίζοντα (Εικόνα 6.2).

Ο καθηγητής γεωλογίας προχώρησε, στη συνέχεια, σε μια περιγραφική αναφορά σχετικά με τη λειτουργία των ελίκων των ανεμογεννητριών. Εξήγησε ότι κατά την περιστροφή των πτερυγίων των ανεμογεννητριών εμποδίζεται ο σχηματισμός του παγετού, της πάχνης, της ομίχλης (που προκαλείται, κυρίως, από τη χαμηλά υφιστάμενη νέφωση), χωρίς να επιτρέπει στους υδρατμούς να φτάσουν στη γη. Επέμενε ότι η συγκεκριμένη λειτουργία των ελίκων των μηχανών, δημιουργεί ιδιαίτερα σημαντικό πρόβλημα στον υδροφόρο ορίζοντα, ιδιαίτερα σε μέρη, τα οποία δε διαθέτουν αρκετό νερό, γιατί οι υδρατμοί αυτοί, η πάχνη, ο παγετός, η ομίχλη, η δρόσος καλύπτουν τις ανάγκες του εδάφους σε νερό, δηλαδή συμβάλλουν καταλυτικά στη συντήρηση της χλωρίδας και της πανίδας, ενώ,

επιπρόσθετα, εμποδίζουν τον υδροφόρο ορίζοντα να ανέλθει με τη μορφή του τριχοειδούς φαινομένου και να εξατμιστεί.



Εικόνα 6.2: Υδροφόρος ορίζοντας (Θεοδώρου και συν., 2010).

Ο καθηγητής τόνισε συγκεκριμένα πως: «Αν η εδαφική ζώνη είναι ξερή, το νερό που είναι στον υδροφόρο ορίζοντα ανεβαίνει τριχοειδώς και εξατμίζεται. Οι έλικες των ανεμογεννητριών λειτουργούν ως ανεπιθύμητοι ανεμομείκτες με αποτέλεσμα να έχουμε άνοδο της θερμοκρασίας και λιγότερες πιθανότητες βροχόπτωσης. Πιο συγκεκριμένα, ο ανεμοδείκτης προκαλεί την αναστροφή των αέριων μαζών και μεταφέρει τις θερμότερες αέριες μάζες». Επιπρόσθετα, ο καθηγητής ανέφερε ότι: «Οι υδρατμοί που είναι μαζεμένοι στα βουνά δεν μπορούν να συμπυκνωθούν και να δημιουργήσουν βροχή, γιατί δεν τους το επιτρέπει η δράση των ανεμογεννητριών. Επομένως έχουμε μια καταστροφή εν τη γενέσει των τοπικών βροχών και αποτροπή των υδρατμών να πλησιάσουν κοντά στο έδαφος και να πάρουν μέρος στον υδρολογικό κύκλο» (Θεοδώρου και συν., 2010).

6.1.5 Θόρυβος Κατασκευής Ανεμογεννήτριας

Κατά την υλοποίηση της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου, το περιβάλλον της περιοχής στην οποία πραγματοποιούνται οι εργασίες για την εγκατάστασή του, επιβαρύνεται με τις αναγκαίες χωματουργικές εργασίες, εξαιτίας κυρίως της αναγκαστικής διαμόρφωσης της περιοχής εγκατάστασης των ανεμογεννητριών, προκειμένου να είναι εφικτή η τοποθέτηση των βάσεων των ανεμογεννητριών, καθώς και την κατάλληλη

διαμόρφωση της γύρω περιοχής, προκειμένου να καταστεί προσπελάσιμη από τα οχήματα που μεταφέρουν τα τμήματα των ανεμογεννητριών, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η συναρμολόγησή τους. Οι εργασίες αυτές, συνήθως διαρκούν περίπου δύο μήνες. Με δεδομένο ότι το επίπεδο θορύβου που δημιουργεί ο εκσκαφέας των 5 τόνων, είναι της τάξης των 93 dB, σε απόσταση δύο μέτρα από την πηγή, γίνεται κατανοητή η αναγκαιότητα της λήψης μέτρων ατομικής προστασίας (ωτοασπίδες) από το χειριστή του εκσκαφέα, καθώς είναι σημαντική η πιθανότητα να επέλθει σοβαρή βλάβη στην ακοή του. Και ακόμη, επιπρόσθετος παράγοντας ακουστικής όχλησης είναι η λειτουργία τόσο της μπετονιέρας, η οποία απαιτείται για την δημιουργία των βάσεων των ανεμογεννητριών, όσο και των φορητών που μεταφέρουν τον εξοπλισμό των ανεμογεννητριών, τα οποία κινούνται συνεχώς στο χώρο του εργοταξίου και για όσο χρόνο απαιτεί η ολοκλήρωση των σχετικών εργασιών. Αυτό το γεγονός έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργείται ηχητική επιβάρυνση στη γύρω περιοχή, η οποία, όμως χαρακτηρίζεται ως μικρής κλίμακας, κυμαινόμενη στα 77 dB. Επιπρόσθετα, ηχητική επιβάρυνση ενδέχεται να συμβεί κατά τη λειτουργία του γερανού, ο οποίος θα ενεργοποιηθεί για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών (Θεοδώρου και συν., 2010). Από τα παραπάνω, γίνεται κατανοητή η έντονη ακουστική όχληση που προκαλείται στο περιβάλλον τους δύο αυτούς μήνες που απαιτούνται, κατά προσέγγιση, για την τοποθέτηση ενός αιολικού πάρκου σε μια περιοχή.

6.1.6 Θόρυβος Πτερυγίων Ανεμογεννήτριας

Ο ενοχλητικός θόρυβος, ως ένα από τα προβλήματα που ανακύπτουν κατά τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας, διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: στο μηχανικό θόρυβο και στον αεροδυναμικό θόρυβο. Ο μηχανικός θόρυβος προκαλείται από τη λειτουργία του μηχανισμού της ανεμογεννήτριας, καθώς και από τη λειτουργία του ηλεκτρικού της εξοπλισμού, ενώ ο αεροδυναμικός θόρυβος αποδίδεται στην αλληλεπίδραση της ροής του αέρα με τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας. Ο, πλέον, συνηθισμένος θόρυβος σε μια ανεμογεννήτρια είναι ο μηχανικός θόρυβος, ο οποίος μειώνεται, χρησιμοποιώντας ειδικά κιβώτια ταχυτήτων. Ο αεροδυναμικός θόρυβος παρουσιάζει αυξητικές τάσεις με την αντίστοιχη αύξηση της ταχύτητας περιστροφής των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας, και για το λόγο αυτό, λαμβάνεται μέριμνα, ώστε η λειτουργία των ανεμογεννητριών να πραγματοποιείται με ταχύτητες περιστροφής μικρότερου μέτρου.

Σε αρκετές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έχουν τεθεί συγκεκριμένα όρια στα όρια του επιτρεπόμενου θορύβου. Για παράδειγμα, στη Δανία, το μέγιστο επιτρεπόμενο επίπεδο

παραγόμενου θορύβου προς την πλησιέστερα κατοικούμενη περιοχή καθορίζεται στο πεδίο των 40-45 dB.

6.1.7 Αλλοίωση τοπίου

Η όχληση στο οπτικό πεδίο που δημιουργεί η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου, χαρακτηριζόμενη από υποκειμενικότητα, είναι δύσκολο να τεθεί κάτω από κοινά αποδεκτούς κανόνες ανεκτικότητας. Σχετικές έρευνες σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης επεσήμαναν την υποκειμενικότητα της οπτικής όχλησης. Ειδικότερα, για κάποιον που έχει άμεση αντίληψη τόσο της οπτικής όχλησης που δημιουργεί ένας λιγνιτικός σταθμός ή ένα πυρηνικό εργοστάσιο, καθώς και της αντίστοιχης όχλησης που δημιουργεί ένα αιολικό πάρκο, η όχληση από το αιολικό πάρκο χαρακτηρίζεται ως έντονα υποδεέστερη. Αν, μάλιστα, προσμετρηθούν και οι ωφέλειες, αλλά και οι αντίστοιχες επιπτώσεις που κάθε μία από τις παραπάνω πηγές ενέργειας επιφέρει, τόσο στο περιβάλλον όσο και στο κοινωνικό σύνολο, για το άτομο αυτό, δεν τίθεται πλέον καμία αμφιβολία για το ποια πηγή ενέργειας δημιουργεί την πραγματική οπτική όχληση. Αντίστοιχα, στην ίδια έρευνα δείχθηκε πως για κάποιον που δεν έχει τις παραπάνω πληροφορίες ή έχει ελλιπή σχετική πληροφόρηση, η οπτική όχληση από ένα αιολικό πάρκο αποτελεί για το άτομο αυτό παράγοντα διαπραγμάτευσης.

Συγκεκριλαιωτικά, η αλλοίωση της περιοχής εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου διέπεται από τους παρακάτω καθοριστικούς παράγοντες:

- Από τον αριθμό και από το μέγεθος των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου
- Από την υποκειμενική στάση του κοινωνικού συνόλου της περιοχής και τον συνακόλουθο βαθμό υποστήριξής τους απέναντι στην αιολική ενέργεια (Θεοδώρου και συν., 2010).

6.1.8 Επίδραση Ανεμογεννήτριας σε Γεωργικές και Κτηνοτροφικές Δραστηριότητες

Όσον αφορά στην επίδραση της λειτουργίας των αιολικών πάρκων στην γεωργία και στην κτηνοτροφία, δεν υπάρχουν ενδείξεις για τυχόν επιπτώσεις της στους δύο αυτούς κλάδους οικονομικής δραστηριότητας. Με δεδομένο ότι, περίπου, ποσοστό της τάξης του 99% της γης που φιλοξενεί ένα αιολικό πάρκο είναι, άμεσα και συνεχώς, διαθέσιμο για άλλες επαγγελματικές χρήσεις, γίνεται κατανοητό ότι οι αγροτικές και οι κτηνοτροφικές δραστηριότητες δεν διακόπτονται με την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου. Επιπρόσθετα, συνηθισμένες θέσεις εγκατάστασης για τα αιολικά πάρκα είναι οι ορεινές

περιοχές, εξαιτίας των μεγάλων ταχυτήτων του αέρα, που επικρατούν σε αυτές και ευνοούν την εγκατάστασή του. Στις περιοχές αυτές υπάρχει θαμνώδης βλάστηση, η οποία ενδείκνυται κυρίως για τη βοσκή των αιγοπροβάτων, μια επαγγελματική δραστηριότητα, που μπορεί να συνεχισθεί χωρίς κανένα, απολύτως, πρόβλημα, μετά την εγκατάσταση σε αυτή την περιοχή, του αιολικού πάρκου. Μάλιστα, είναι χαρακτηριστικό ότι σε κάποια αιολικά πάρκα έχει παρατηρηθεί οι ανεμογεννήτριες να αποτελούν πόλο έλξη για τα αιγοπρόβατα, τα οποία αναζητούν τη σκιά που δημιουργούν οι πύργοι των ανεμογεννητριών αυτών.

6.1.9 Επιπτώσεις στη Χλωρίδα και στην Πανίδα

Οι επιπτώσεις στη χλωρίδα και στην πανίδα μιας περιοχής από την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μηδαμινές, αφού επηρεάζεται τόσο το τοπίο, όσο και ο πληθυσμός των πουλιών, αλλά και των νυκτερίδων. Και ακόμη, όσον αφορά στα υπεράκτια αιολικά πάρκα, αυτά επιφέρουν επίσης επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον που τα φιλοξενεί, καθώς και στους πληθυσμούς των ψαριών. Γενικότερα, ο βιότοπος πολλών μικρών ζώων και εντόμων, όπως και η, γύρω από την εγκατάσταση και τις απαραίτητες υποδομές τοποθέτησης και προσπέλασης, βλάστηση είναι δυνατόν να επηρεαστούν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της κατασκευής αυτών των έργων. Όπως έχει αναφερθεί σε άλλα σημεία αυτής της εργασίας, η κατασκευή ενός αιολικού πάρκου προϋποθέτει την διάνοιξη δρόμων προσπέλασης για τα μεγάλα μηχανήματα μεταφοράς των μεγάλων διαστάσεων εξαρτημάτων των ανεμογεννητριών, ενώ για τις εργασίες θεμελίωσης των μηχανών οι, τυχόν, επιπτώσεις είναι περιορισμένες, αφού τα αιολικά πάρκα τοποθετούνται σε μεγάλες εκτάσεις, στις οποίες οι κατασκευαστικές παρεμβάσεις είναι, συγκριτικά, περιορισμένης έκτασης. Γενικά, η λειτουργία των ανεμογεννητριών βρίσκεται σε άμεση συνύπαρξη με πολλές χρήσεις γης, όπως αυτή της γεωργίας, αλλά και η βόσκησης (Εικόνα 6.3), ενώ, μόλις μικρές περιοχές που αφορούν στις θεμελιώσεις, στους στροβίλους και στα έργα υποδομής δεν είναι διαθέσιμες προς χρήση (Pourbeik, 2007).



Εικόνα 6.3: Επιπτώσεις στη γλωρίδα και την πανίδα Γ (Θεοδώρου και συν., 2010).

6.2 Μέτρα Αντιμετώπισης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων από τις Ανεμογεννήτριες

Έχει αναφερθεί ότι η Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ) αποτελεί σημαντική παράμετρο στην προσπάθεια αδειοδότησης της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου. Είναι σημαντική η λήψη όλων των απαραίτητων μέτρων, στην κατεύθυνση της αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, που πρόκειται να προκληθούν από την κατασκευή και τη θεμελίωση των ανεμογεννητριών, την κατασκευή των προβλεπόμενων κτιρίων για τον έλεγχο της λειτουργίας της εγκατάστασης, την υλοποίηση των έργων της οδοποιίας, την κατασκευή του δικτύου για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας. Μια από τις σημαντικές ενέργειες στην προσπάθεια αυτή είναι η συλλογή της γης που θα τύχει της διαδικασίας εκσκαφής για την δημιουργία των πελμάτων των βάσεων των ανεμογεννητριών και η διατήρησή της, προκειμένου να αξιοποιηθεί στην επικάλυψη των πρανών (μεταλλικών πλεγμάτων), των αποθεσιοθαλάμων, καθώς και του περιβάλλοντος χώρου, γύρω από τις ανεμογεννήτριες. Με αυτό τον τρόπο, θα εξασφαλιστεί η φυσική αναβλάστηση της, προσωρινά πληγείσας, περιοχής

Ο φορέας εκμετάλλευσης του χώρου, θα πρέπει να αναλάβει την ευθύνη για την αποκατάσταση της βλάστησης, καθώς και για την γενικότερη προκληθείσα διατάραξη της περιοχής αυτής, με τα παρακάτω μέτρα:

- Όταν ολοκληρωθούν οι κατασκευές, θα πρέπει να απομακρυνθούν όλες οι εργοταξιακές εγκαταστάσεις και να πραγματοποιηθεί η διαμόρφωση του χώρου, καθώς και η επαναφορά του στην πρότερή του κατάσταση.
- Οι εργοταξιακοί εξοπλισμοί και μηχανισμοί που θα χρησιμοποιηθούν, θα πρέπει να πληρούν όλες τις απαραίτητες προδιαγραφές, που αφορούν στα μηχανήματα και στον εξοπλισμό των εργοταξίων.
- Θα πρέπει να απαγορεύεται η παραμονή μη εχόντων εργασία στο χώρο του έργου.
- Δεν θα πρέπει να επιτρέπεται η χρησιμοποίηση μηχανημάτων που δεν διαθέτουν την κατάλληλη σήμανση C¹ της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τον θόρυβο που δημιουργείται από τα μηχανήματα αυτά. Επισημαίνεται ότι η μέση ενεργειακή τάση θορύβου για τη λειτουργία των εργοταξίων καθορίζεται στα 65 dB.
- Το πλάτος της ζώνης παρέμβασης για τη διάνοιξη των οδών διέλευσης των μηχανημάτων θα πρέπει να περιοριστεί στο απολύτως απαραίτητο, ενώ η οποιαδήποτε αναγκαία φθορά στη δασική βλάστηση θα πρέπει να περιορίζεται στην ελάχιστη δυνατή.
- Η χρονική διάρκεια της υλοποίησης των εργασιών, θα πρέπει να είναι, κατά το δυνατόν, πιο σύντομη, προκειμένου να αποφευχθεί η παρατεταμένη όχληση στην πανίδα της περιοχής εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.
- Για την κατασκευή των έργων, θα πρέπει να ληφθεί σχετική αδειοδότηση από το, εκάστοτε, αρμόδιο Δασαρχείο, από το οποίο, θα πρέπει, επίσης, να εγκριθεί, τόσο ο σχεδιασμός, όσο και η σύνδεση των δρόμων που θα διανοιχθούν σε δασικό περιβάλλον, και οι οποίες θα αξιοποιηθούν για την πρόσβαση στην περιοχή εγκατάστασης. Επιπρόσθετα, άδεια από τον ίδιο φορέα απαιτείται για την περίπτωση της βελτίωσης της υφιστάμενης δασικής οδού.
- Είναι αναγκαίο να προβλεφθούν όλα τα απαραίτητα μέτρα, για την πυροπροστασία της περιοχής κατά την κατασκευή και λειτουργία των σχετιζόμενων με την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου, έργων, καθώς και μέριμνα αντικεραυνικής προστασίας, σύμφωνα με τα προβλεπόμενα από την Πυροσβεστική Υπηρεσία.
- Είναι απαραίτητη η τοποθέτηση του προτεινόμενου από το Γενικό Επιτελείο Εθνικής Άμυνας (ΓΕΕΘΑ) νυκτερινού φωτισμού στις ανεμογεννήτριες.
- Είναι αναγκαία η πρόβλεψη και η κατασκευή όλων των απαραίτητων αντιπλημμυρικών έργων στην περιοχή παρέμβασης.
- Τόσο τα προϊόντα των εκσκαφών όσο και αυτά των επιχωματώσεων δεν θα πρέπει να αφήνονται ακάλυπτα για μεγάλα χρονικά διαστήματα, προκειμένου να παραμένει

ανεπηρέαστη η κατάδυση των υδάτων, καθώς και η απρόσκοπτη φυσική διαδικασία των επιφανειακών απορροών.

- Όσον αφορά στις γραμμές για τη μεταφορά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προς το εθνικό δίκτυο, είναι αναγκαία η τήρηση των απαραίτητων προδιαγραφών, προκειμένου να περιορίζεται στον ελάχιστο βαθμό η εκχέρσωση των εκτάσεων και, γενικότερα, η ανεπιθύμητη υποβάθμιση του περιβάλλοντος.
- Θα πρέπει να απομακρύνονται άμεσα τα κάθε είδους απορρίμματα και τα απόβλητα που έχουν δημιουργηθεί κατά τις εργασίες εγκατάστασης να πραγματοποιείται η συλλογή τους, σύμφωνα με τη σχετική νομοθεσία.
- Θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα ημερήσιας και νυχτερινής σήμανσης, όπως προβλέπουν οι οδηγίες της Υπηρεσίας Πολιτικής Αεροπορίας (ΥΠΑ) και να εφαρμόζεται με σχολαστικότητα η τήρηση των όρων που έχουν τεθεί για τις περιπτώσεις αυτές τόσο από την ΥΠΑ όσο και από το ΓΕΕΘΑ.
- Να παρακολουθείται σε ετήσια βάση το επίπεδο της δημιουργούμενης ηχητικής επιβάρυνσης της περιοχής εξαιτίας της λειτουργίας των ανεμογεννητριών, ενώ αυτές οι μετρήσεις να γνωστοποιούνται στις αρμόδιες Υπηρεσίες Περιβάλλοντος.
- Θα πρέπει να παρακολουθείται σε ετήσια βάση το επίπεδο της δημιουργούμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ενώ, οι σχετικές μετρήσεις, να γνωστοποιούνται στις αρμόδιες Υπηρεσίες.
- Προβλέπεται η τήρηση αρχείου, στο οποίο καταγράφονται τα περιστατικά θανάτων ή τραυματισμών πουλιών. Αυτά τα καταγεγραμμένα στοιχεία θα πρέπει να κοινοποιούνται στο γραφείο που είναι αρμόδιο για την Αντιμετώπιση των Περιβαλλοντικών Ζημιών του ΥΠΕΚΑ, προκειμένου να λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα, σε περίπτωση που απαιτηθεί κάτι τέτοιο (Χατζημπίρος, 2014).

6.3 Συμπερασματικές επιπτώσεις από την εγκατάσταση Αιολικών πάρκων

Αν και η λειτουργία των αιολικών πάρκων έχει συνεισφέρει σε ιδιαίτερα μεγάλο βαθμό στην επίλυση ενός σημαντικού μέρους του ενεργειακού προβλήματος με τη χρήση των ανεμογεννητριών, ωστόσο θα πρέπει να μην απαξιωθούν οι επιπτώσεις, οι οποίες είναι πιθανόν να προκληθούν από την εγκατάσταση των αιολικών πάρκων. Τέτοιες επιπτώσεις μπορεί να είναι:

- Είναι πιθανή η πρόκληση καταστροφής των εδαφών, των δασών και, γενικότερα, των βουνών, από τα τσιμέντα, τα οποία χρησιμοποιούνται, προκειμένου να

στερεωθούν οι πυλώνες των ανεμογεννητριών. Η τρύπα, η οποία δημιουργείται προκειμένου να τοποθετηθούν τα θεμέλια μιας ανεμογεννήτριας, έχει όγκο ανάλογο με μια πισίνα 25m², ενώ για όλο αυτό το υλικό που εξάγεται θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα τοποθέτησής του – και αξιοποίησής τους – σε άλλη τοποθεσία, είτε κοντά στην περιοχή εγκατάστασης του πάρκου είτε λίγο μακρύτερα. Η τρύπα «μπαζώνεται» με άμμο, με μίγμα από αδρανή υλικά και με τσιμέντο, υλικά που μεταφέρονται στον τόπο εγκατάστασης του αιολικού πάρκου με μεγάλες νταλίκες. Επιπρόσθετα, θα πρέπει να δημιουργηθούν πολλά χιλιόμετρα δρόμων, για τη μεταφορά των ανεμογεννητριών στον τόπο εγκατάστασής τους, ενώ θα πρέπει, επιπρόσθετα, να δημιουργηθούν πολλά επίσης χιλιόμετρα αυλακωμάτων για την τοποθέτηση των καλωδίων που προβλέπονται για την δικτύωση, αλλά και την λειτουργία ενός μεγάλου αιολικού πάρκου. Και ακόμη, σε περίπτωση που η περιοχή εγκατάστασης του πάρκου απέχει σημαντική απόσταση από το σταθμό παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα κατασκευής πυλώνων και υπέργειων γραμμών μετάδοσης, προκειμένου να διασφαλιστεί η απαραίτητη, μεταξύ τους, σύνδεση. Επιπλέον, απαιτούνται τεράστιες ποσότητες τσιμέντου, για την κατασκευή των θεμελίων, καθώς και μεγάλες ποσότητες πίσσας για την ασφαλτόστρωση των διανοιγόμενων δρόμων.

- Έχει διαπιστωθεί ότι από τους κραδασμούς προκαλούνται ρωγμές εδαφών. Είναι χαρακτηριστικό το γεγονός της εγκατάστασης ανεμογεννητριών ύψους 60m σε ορεινή και χέρσα έκταση της Ουαλίας, κατά την οποία προκλήθηκαν ρωγμές στο στρώμα βράχων της γύρω περιοχής, ενώ καταγράφηκε ακόμη και εκτροπή της φυσικής ροής των υδάτων. Επίσης, τα αυλάκια που κατευθύνονται προς τις ανεμογεννήτριες, καθώς και αυτά που κατασκευάστηκαν ανάμεσά τους μετατράπηκαν σε δεξαμενές συγκέντρωσης όμβριων υδάτων, σχηματίζοντας βαθιές λιμνούλες με στάσιμα ύδατα, τα οποία δεν μπορούν πλέον να εξατμιστούν ή να κυλήσουν, δημιουργώντας μια δυσάρεστη, δυσώδη ατμόσφαιρα.
- Πολλές φορές έχει παρατηρηθεί η τροποποίηση της υπόγειας ροής των υδάτων ή ακόμη και η εξαφάνισή τους.
- Σε κάποιες περιπτώσεις, οι ανεμογεννήτριες δημιουργούν παρεμβολές στις συχνότητες των τηλεοράσεων και, γενικότερα, των μέσων επικοινωνίας. Γενικά, έχει παρατηρηθεί ότι οι ανεμογεννήτριες μπορούν να δημιουργήσουν παρενοχλήσεις στην τηλεοπτική λήψη. Το σημαντικότερο πρόβλημα έχει καταγραφεί ότι προέρχεται από τα περιστρεφόμενα πτερύγια των μηχανών, τα

οποία μπορούν να προκαλέσουν αυξομείωση του σήματος που λαμβάνουν οι τηλεοράσεις ή τα άλλα μέσα επικοινωνίας λόγω των δημιουργούμενων αντανακλάσεων. Η ελληνική νομοθεσία έχει προβλέψει την αδειοδότηση ενός αιολικού πάρκου, μόνο στην περίπτωση που τηρούνται οι, ελάχιστες, προβλεπόμενες αποστάσεις από τους τηλεπικοινωνιακούς σταθμούς. Σε κάθε περίπτωση, πιθανά προβλήματα παρεμβολών μπορούν να αποφευχθούν με σωστό σχεδιασμό και κατάλληλη χωροθέτηση ή να διορθωθούν με μικρό σχετικά, κόστος, με την αξιοποίηση κατάλληλων τεχνικών μέτρων. Σύμφωνα, πάντως, με το κέντρο Α.Π.Ε., σπάνια εμφανίζονται προβλήματα με ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, αφού η υφιστάμενη νομοθεσία ορίζει ότι η εγκατάσταση των αιολικών πάρκων θα πρέπει να πραγματοποιείται σε αρκετά μεγάλη απόσταση από τους οικισμούς.

- Σε κάποιες περιπτώσεις, τα αιολικά πάρκα είναι υπεύθυνα για την πρόκληση οπτικής ρύπανσης. Η αλήθεια είναι πως, το γεγονός να αντικρίζει κανείς ένα αιολικό πάρκο, δεν αποτελεί το καλύτερο θέαμα, αφού, το αιολικό πάρκο είναι, ουσιαστικά, ένα βιομηχανικό τοπίο με τεράστιες διαστάσεις, αποτελούμενο από, επίσης, τεράστια και θορυβώδη μηχανήματα (Παναγωπούλου, 2013).
- Τα αιολικά πάρκα προκαλούν ανεπιθύμητη ηχορύπανση. Ο δημιουργούμενος ενοχλητικός θόρυβος προσδιορίζεται ως αποτέλεσμα των ελίκων των ανεμογεννητριών, όταν κινούνται με ταχύτητα «σκίζοντας» τον αέρα κατά την λειτουργία τους. Όσο πιο μεγάλη είναι η ανεμογεννήτρια, τόσο υψηλότερο είναι το επίπεδο του παραγόμενου θορύβου. Ο θόρυβος που δημιουργείται, είναι ένας διαπεραστικός, χαμηλής συχνότητας ήχος, ο οποίος, μπορεί να προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα, όπως είναι το κιβώτιο ταχυτήτων, η ηλεκτρογεννήτρια, τα έδρανα, κ.λπ. Βέβαια, οι σύγχρονες μηχανές έχουν πιο ήπια και λιγότερο θορυβώδη λειτουργία, γεγονός που οφείλεται στον λεπτομερή σχεδιασμό του έλικα, καθώς και στην προσεκτικότερη και εστιασμένη σχεδίαση για τα μηχανικά μέρη. Το επίπεδο του θορύβου σε απόσταση 40m από μία ανεμογεννήτρια είναι, συνήθως, της τάξης των 50-60dB, το οποίο αντιστοιχεί στην ένταση του ήχου μιας συζήτησης. Σε απόσταση 200m, η στάθμη του θορύβου «πέφτει» στο επίπεδο των 44dB, για καταγεγραμμένη ταχύτητα του ανέμου τα 8m/s. Σημειώνεται ότι για τις ταχύτητες του ανέμου που είναι μεγαλύτερες των 8m/s, ο θόρυβος που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες καλύπτεται από το φυσικό θόρυβο.

- Δεν υπάρχει πρόβλεψη για τη δημιουργία αρκετών θέσεων εργασίας. Ένα συνηθισμένο αιολικό πάρκο προβλέπεται να προσλάβει έναν, μόνο, υπάλληλο για τη συντήρηση των εγκαταστάσεών του. Είναι ενδεικτικό ότι το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο της Ευρώπης απασχολεί μόλις τρεις μόνιμους υπαλλήλους. Συνήθως προβλέπεται για κάθε μεγαβάτ εγκαταστημένης ισχύος αιολικής ενέργειας η δημιουργία 15 – 22 θέσεων εργασίας, ενώ από αυτές μία μόνο θέση είναι μόνιμη.
- Αναφέρεται στην εγχώρια και στη διεθνή βιβλιογραφία ότι όπου εγκαταστάθηκαν ανεμογεννήτριες, οι τιμές στα ακίνητα των γύρω περιοχών «έπεσαν» κατακόρυφα, ενώ, επίσης, μειώθηκε ο τουρισμός. Όσον αφορά στον αντίκτυπο που δημιουργεί η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου στην αξία των σπιτιών, φαίνεται πως, πράγματι, η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου κοντά σε κατοικημένη περιοχή ή σε απόσταση που θεωρείται – υποκειμενικά πάντα – ότι τίθεται θέμα οπτικής όχλησης, δημιουργείται θέμα μείωσης της αντικειμενικής τους αξίας. Εξάλλου, οποιαδήποτε κατασκευή θεωρείται ως αυθαίρετη στην ύπαιθρο, όπως είναι οι ηλεκτρικοί πυλώνες ή οι ανεμογεννήτριες, φαίνεται φυσικό να επιφέρει αρνητικές συνέπειες στην αξία της ιδιοκτησίας. Είναι προφανές ότι, στην περίπτωση αυτή, επηρεάζεται τόσο η αγοραστική αξία, όσο η δυνατότητα πώλησης. Είναι ενδεικτικό το γεγονός ότι, καθώς ανερχόμαστε στην κλίμακα της αξίας μιας ιδιοκτησίας, οι αγοραστές, γενικά, εμφανίζονται περισσότερο απαιτητικοί και η αξία μιας αγροτικής έκτασης μπορεί να μειωθεί, ακόμη και μέχρι 30%, αν η ιδιοκτησία αυτή βρίσκεται κοντά σε ανεμογεννήτρια. Η κύρια, όμως, αρνητική επίδραση, που αναμένεται να έχει η κατασκευή αιολικών πάρκων στην οικονομία μιας περιοχής, σχετίζεται με τον τουρισμό. Σε σχετική έρευνα Πανεπιστημίου της Ολλανδίας, δείχθηκε ότι ένα τοπίο χάνει το τουριστικό του ενδιαφέρον, όταν εγκαθίστανται ανεμογεννήτριες σε αυτό. Προφανώς, αν οι κατασκευαστές καταφέρουν να εγκαταστήσουν πλήθος ανεμογεννητριών, η αξία του καινούριου θα απολεσθεί, ενώ, όσοι επιζητούν την ηρεμία της υπαίθρου, θα κινηθούν προς τις περιοχές, που δεν έχουν υποβαθμιστεί από τις αιολικές εγκαταστάσεις. Έχει καταγραφεί από σχετικές μελέτες ότι η θέα των ανεμογεννητριών επηρεάζει ψυχολογικά τον άνθρωπο, ακόμα και όταν η εγκατάστασή τους βρίσκεται σε απόσταση 1,5 χιλιόμετρο από την κατοικία του.
- Οι ανεμογεννήτριες έχουν κατηγορηθεί ως κατασκευές για την θανάτωση πουλιών (Εικόνα 6.4). Είναι αλήθεια ότι τα αιολικά πάρκα είναι δυνατόν να επιφέρουν αρνητικές επιπτώσεις στην ορνιθοπανίδα μιας περιοχής. Η επιλογή της περιοχής εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου είναι καθοριστική της εμφάνισης αρνητικών

επιπτώσεων στην διαβίωση των πουλιών. Γενικά, όσο πιο κοντά βρίσκεται το πάρκο σε τόπους μετανάστευσης, κουρνιάσματος και φωλεοποίησης των πουλιών, τόσο μεγαλύτερη είναι η πιθανότητα της πρόκλησης αρνητικής επίδρασης στη διαβίωσή και στην καθημερινότητά τους. Τα πουλιά βρίσκουν, μοιραία, το θάνατο κατά την πρόσκρουσή τους στα πτερύγια ή στον κορμό των ανεμογεννητριών ή, ακόμη, και στις παρεμφερείς κείμενες υποδομές, όπως είναι τα υπερυψωμένα καλώδια ή το σύστημα περιστροφής των πτερυγίων. Το ζήτημα της προστασίας των πουλιών θα πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη, κατά το σχεδιασμό αιολικών πάρκων και, σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να αποτελεί αναπόσπαστο κεφάλαιο της Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Τα αιολικά πάρκα θα πρέπει να εγκαθίστανται με τρόπο τέτοιο, που να μην προκαλούν σημαντικές επιπτώσεις στα πουλιά, τα οποία έχουν αναγνωριστεί ως σημαντικό κεφάλαιο, τόσο για την εθνική όσο και για την παγκόσμια φυσική κληρονομιά (Θεοδώρου και συν., 2010). Με άλλη διατύπωση, η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου σε μια περιοχή, θα πρέπει να υλοποιείται με τέτοιο τρόπο, που δεν θα πρέπει να προξενούνται δυσάρεστες και, πιθανόν, μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στην πανίδα και στη χλωρίδα αυτού του τόπου που τα φιλοξενεί.



Εικόνα 6.4: Ανεμογεννήτριες και μετανάστευση πουλιών (Θεοδώρου και συν., 2010).

- Τα πτερύγια των ανεμογεννητριών αντιμετωπίζουν, τουλάχιστον θεωρητικά, τον κίνδυνο θραύσης τους και εκτίναξής τους σε απόσταση μεγαλύτερης των 400m, προκαλώντας καταστροφές σε παρακείμενες περιουσίες, σε αυτοκίνητα ή στα δάση. Βέβαια, αυτή η πιθανότητα - θα πρέπει να – είναι μηδαμινή, με δεδομένο το γεγονός ότι η μελέτη κατασκευής μιας ανεμογεννήτριας συμπεριλαμβάνει ενδελεχείς υπολογισμούς της αντοχής και της στιβαρότητας κατασκευής της, καθώς και των επιμέρους μερών της, όπως είναι τα πτερύγιά της.

6.4 Επιπτώσεις υπεράκτιων Αιολικών πάρκων

Αρκετά από τα παραπάνω αναφερθέντα για ένα χερσαίο αιολικό πάρκο προβλήματα υφίστανται, προφανώς, και για ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο, για το οποίο σαφώς υπάρχουν και κάποιες επιπρόσθετες επιπτώσεις που σχετίζονται με την ιδιαίτερη τοποθεσία εγκατάστασής τους και που θα πρέπει να προσμετρηθούν στα προηγούμενα αναφερθέντα προβλήματα. Αυτές οι επιπρόσθετες επιπτώσεις είναι οι παρακάτω:

- *Θαλάσσιοι οργανισμοί:* Με την πάροδο των ετών, είναι πιθανό να δημιουργηθούν στα θεμέλια των ανεμογεννητριών των υπεράκτιων αιολικών πάρκων τεχνητοί ύφαλοι, ως αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού των ψαριών, καθώς και άλλων θαλάσσιων οργανισμών, από την αναμενόμενη αύξηση της τροφής. Η αύξηση αυτή, του πληθυσμού μπορεί, με τη σειρά της, να επιφέρει αντίστοιχη αύξηση του αριθμού των πουλιών, τα οποία αναζητούν την τροφή τους στην περιοχή, με αποτέλεσμα τις ενδεχόμενες θανατηφόρες συγκρούσεις αυτών, με τους πύργους και με τα πτερύγια των ανεμογεννητριών και, κατά συνέπεια, την αύξηση των ανεπιθύμητων θανατώσεών τους.
- *Πιθανή αλλαγή της φυσιογνωμίας του φυσικού περιβάλλοντος, καθώς και μείωση των υφιστάμενων βιοκοινοτήτων:* Η κατασκευή της υποθαλάσσιας θεμελίωσης, η τοποθέτηση των υλικών για την προστασία των τμημάτων της ανεμογεννήτριας από τη διάβρωση, η χρήση διάφορων υλικών καθαρισμού και συντήρησης, η τοποθέτηση των συστημάτων αγκίστρωσης, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργείται από τη λειτουργία της, είναι ενδεχόμενο να προκαλέσουν τη μείωση του συνόλου των έμβιων οργανισμών του θαλάσσιου οικοσυστήματος, προκαλώντας αρνητικό αντίκτυπο σε όλη την τροφική αλυσίδα. Μια τέτοια εξέλιξη στην προσπάθεια εγκατάστασης ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου είναι πιθανό να

οδηγήσει σε ανεπιθύμητη αλλαγή στο φυσικό περιβάλλον, καθώς και σε δυσάρεστη υποβάθμιση της βιοποικιλότητας όλων των παρακείμενων θαλάσσιων οργανισμών.

- *Θαλάσσιες μεταφορές:* Η εγκατάσταση υπεράκτιων αιολικών πάρκων μεγάλων διαστάσεων είναι πιθανόν να επιφέρει αρνητικές επιπτώσεις στη διεξαγωγή των θαλάσσιων μεταφορών, αφού, όπως φαίνεται λογικό μα και υποχρεωτικό, τα πλοία θα χαράξουν νέες πορείες πλεύσης, προκειμένου να αποφεύγουν τις ανεμογεννήτριες, γεγονός που, ενδεχομένως, να επιφέρει επιπρόσθετο κόστος στις ακτοπλοϊκές εταιρίες, κόστος που, όπως είναι αναμενόμενο, θα μετακυλιστεί στους πελάτες τους. Επίσης, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που παράγεται κατά τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας, είναι πιθανόν να επηρεάζει τα ραντάρ των πλοίων, όπως, επίσης, και τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας (Χατζημπίρος, 2014) αν και κάτι τέτοιο είναι προβλέψιμο και αντιμετωπίσιμο από την σύγχρονη τεχνολογία επικοινωνιών.

Κεφάλαιο 7^ο

Συμπεράσματα

Η Αιολική ενέργεια, όπως είναι αναμενόμενο, θα εμφανίσει αλματώδη ανάπτυξη στα επόμενα χρόνια, στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Εκτιμάται ότι, μέχρι τα μέσα του 21^{ου} αιώνα, η αιολική ενέργεια θα αποτελεί την κύρια πηγή της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Η δημιουργία ανεμογεννητριών και αιολικών πάρκων στη χώρα μας την τελευταία εικοσαετία ήταν εντυπωσιακή. Η πατρίδα μας, διαθέτοντας ιδιαίτερα αυξημένο αιολικό δυναμικό, συγκριτικά με άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, αναμένεται, και πρέπει, να προχωρήσει με μεγαλύτερους βηματισμούς στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στο άμεσο μέλλον και, γιατί όχι, να πρωταγωνιστήσει στον τομέα αυτό. Δυστυχώς, παρά το πλούσιο αιολικό δυναμικό της χώρας μας, μέχρι σήμερα δεν κατέστη εφικτή η δημιουργία ελληνικών εταιριών κατασκευής ανεμογεννητριών, όπως έπραξαν άλλες Ευρωπαϊκές χώρες, οι οποίες διαθέτουν ανάλογο αιολικό δυναμικό. Είναι χαρακτηριστικό το παράδειγμα της Δανίας, η οποία, διαθέτοντας ανάλογο αιολικό δυναμικό με το αντίστοιχο της χώρας μας, κατέστη ηγέτης στην αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Σήμερα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση λειτουργούν αρκετές εκατοντάδες συνεταιρισμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τα αιολικά πάρκα, με τη συμμετοχή μεγάλου αριθμού πολιτών – συνεταιίρων.

Όσον αφορά στα υπεράκτια αιολικά πάρκα, αυτά αποτελούν σήμερα παγκόσμια πρόκληση στην αύξηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, από την δυναμική διαχείριση και εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου. Η, μέχρι τώρα, πρακτική της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο ήταν η εγκατάσταση των αιολικών πάρκων σε χερσαίες περιοχές, επειδή η κατασκευή υπεράκτιων ανεμογεννητριών απαιτεί εξειδικευμένη γνώση εφαρμοσμένης μηχανικής, όσον αφορά στην υποδομή, στην τοποθέτηση, στη συντήρηση, στην ηλεκτρική σύνδεση, καθώς και στη χρήση υλικών, τα οποία επιδεικνύουν αντοχή στο διαβρωτικό, θαλάσσιο περιβάλλον.

Εκτός από τις παραπάνω ιδιαιτερότητες, τόσο ο σκοπός, όσο και ο τρόπος της λειτουργίας των δύο ειδών αιολικών πάρκων, των χερσαίων και των υπεράκτιων, είναι ίδιος. Με αυτή την νέα πρακτική, της εγκατάστασης των υπεράκτιων αιολικών πάρκων, τοποθετούνται ανεμογεννήτριες σε θαλάσσιες περιοχές, οι οποίες αυξάνουν εντυπωσιακά τις υποψήφιες περιοχές για τη δημιουργία και την εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Εξάλλου, το θαλάσσιο περιβάλλον προσφέρει τεράστιες ευκαιρίες εκμετάλλευσής του στο

πλαίσιο της αιολικής ενέργειας. Με αυτόν τον τρόπο, αυξάνεται εντυπωσιακά για τις μικρές χώρες, όπως είναι η πατρίδα μας, η δυνατότητα παραγωγής ενέργειας, η οποία είναι φιλική προς το περιβάλλον. Ειδικότερα, για την Ελλάδα, η χώρα μας διαθέτει περιορισμένο αριθμό χερσαίων περιοχών, που χαρακτηρίζονται ως κατάλληλες για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων. Όμως, από την άλλη πλευρά, διαθέτει απέραντες θαλάσσιες εκτάσεις, που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν στο έπακρο για το σκοπό αυτό. Επιπρόσθετα, έχει δειχθεί, ότι η ταχύτητα του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας είναι συνήθως μεγαλύτερη από αυτήν στην ξηρά, γεγονός, που καθιστά ιδιαίτερα αποδοτική την λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας στο θαλάσσιο περιβάλλον και, κατ' επέκταση, αναδεικνύει το έντονο οικονομικό συμφέρον μιας τέτοιας επένδυσης.

Τόσο η ενθάρρυνση της προσπάθειας αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όσο και η αναγκαιότητα της σταδιακής απεξάρτησης από τα συμβατικά καύσιμα, θα πρέπει να αποτελέσει στο άμεσο μέλλον έναν δεσμευτικό στόχο για όλες τις χώρες του πλανήτη μας, στην προσπάθεια της διασφάλισης ενός καλύτερου μέλλοντος με βάθος προοπτικής. Η αναγκαιότητα αυτή, προκύπτει, όχι μόνο από την μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων, αλλά και από τη μόλυνση του περιβάλλοντος, την οποία, η υπερχρήση τους έχει, πλέον, επιφέρει και οδηγεί σε απαγορευτικά επίπεδα. Στις μέρες μας, η ενεργειακή ανεξαρτησία για την εκάστοτε χώρα, και, κατά συνέπεια, η απεξάρτησή της από τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αποτελεί επιτακτική ανάγκη. Σε αυτό το συμπέρασμα καταλήγει η πρόταση των Α.Π.Ε., η οποία καταδεικνύει ότι η αξιοποίησή τους, αποβλέπει στην ενεργειακή ανεξαρτησία, στην απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα, καθώς και στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος σε παγκόσμιο επίπεδο.

Συμφωνώντας ότι η μόλυνση του περιβάλλοντος αποτελεί κύρια αιτία της κλιματικής αλλαγής, καθώς και ότι δεν θα πρέπει πια να μιλάμε για το πώς θα αποτρέψουμε την κλιματική αλλαγή, αφού οι επιστήμονες επιμένουν ότι πλέον η κλιματική αλλαγή είναι ήδη εδώ, φαντάζει πλέον ως μονόδρομος η άμεση στροφή στις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, προκειμένου να προλάβουμε τον εγκλωβισμό του πλανήτη μας σε μια κατάσταση μη αναστρέψιμη. Μια κατάσταση που θα είναι επώδυνη για όλη την ανθρωπότητα.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση:

1. Αλεξιάκης, Σ., Α. (2001). «Αιολική Ενέργεια». Αθήνα. Εκδόσεις: Σιδέρη.
2. Ασημακόπουλος, Δ., Αραπατζής, Γ., Αγγελής-Δημάκης, Α., Καρταλίδης, Α., (2013). «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας». Θεσσαλονίκη: Σοφία. 2013, Σελ. 355.
3. Αιολική Γη Α.Ε. (n.d.). «Επιπτώσεις αιλικών πάρκων». Ανάκτηση από aioliki : <http://www.aiolikigi.gr/el/e-learning/wind-parks-impacts/>. Αθήνα Σεπτέμβριος 2021.
4. ΑΙΟΛΙΚΗ ΓΗ Α.Ε. (n.d.). «Ετήσια παραγωγή ενέργειας από αιολικό πάρκο». Ανάκτηση από <http://www.aiolikigi.gr/el/e-learning/wind-parks-annualelectricity-production>.
5. Γελεγένης, Ι., Αξαόπουλος, Ι. (2005). «Πηγές Ενέργειας. Συμβατικές και ανανεώσιμες». Αθήνα: Σύγχρονη Εκδοτική.
6. Γαρίνη, Ε. (2012). «Ανάλυση Διαθεσιμότητας και Βαθμού Χρησιμοποίησης Αιολικών Συστημάτων». Ανάκτηση από Ανάλυση Διαθεσιμότητας και Βαθμού Χρησιμοποίησης Αιολικών Συστημάτων:
7. Δαγκαλίδης, Α. (2010). «Αιολικά Πάρκα».
8. Ηλιάδης, Ν., Βουτσινός, Γ. *Τεχνολογία για μαθητές Α΄ Λυκείου*. Έκδοση β΄.
9. Θυμάκης, Γ., Τσουνής Δ. (2013). «Μελέτη Αιολικού Πάρκου Ισχύος 2.4MW». Ανάκτηση από Μελέτη Αιολικού Πάρκου Ισχύος 2.4MW: http://oceanis.lib.teipir.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/1109/hlg_00748.pdf?sequence=1, 2006.
10. Θεοδώρου, Μ., Αντωνίου, Α., Ρούσσοι, Ι., Χατζηευθυμίου Μ. «Μελέτη Εκτίμησης Επιπτώσεων στο Περιβάλλον». Ανάκτηση από Μελέτη Εκτίμησης Επιπτώσεων στο Περιβάλλον:[http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/All/780298D30141670C2257F37003FBD94/\\$file/MP20101750101.pdf?OpenElement](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/All/780298D30141670C2257F37003FBD94/$file/MP20101750101.pdf?OpenElement), 2010.
11. Καλδέλης, Ι. *Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας*. Αθήνα, 2005. Εκδόσεις: Σταμούλης.
12. Καπέλλος, Σ., (2020). «Οι προοπτικές της αγοράς των ΑΠΕ για το 2020- 2021». Ανάκτηση από <https://www.amna.gr/special/article/500774/SKapellos-Oi-prooptikes-tis-agoras-ton-AP-2020-2021>.
13. Μπινόπουλος, Ε., Χαβιαρόπουλος, Π. (2006). «Μύθος και πραγματικότητα. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)».
14. Μπεργελές, Γ. (1995). «Ανεμοκινητήρες». Αθήνα. Εκδόσεις: Συμεών.

15. Μπεργελές, Γ. (2005). «Ανεμοκινητήρες». Αθήνα. Νέα βελτιωμένη έκδοση. Εκδόσεις: Συμεών.
16. Μπαστάκης, Δ., Παπαδάκη, Ε. (2006). «Αξιολόγηση του αιολικού χάρτη της Κρήτης με στοιχεία ανέμου από αιολικά πάρκα σε λειτουργία». Αδημοσίευτη πτυχιακή εργασία, Πρόγραμμα Σπουδών Επιλογής "Ενεργειακή και Περιβαλλοντική Τεχνολογία" - ΤΕΙ Κρήτης, Ηράκλειο.
17. Παναγοπούλου, Θ., Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας. (2013). «Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων Περιφερειακού Συμβουλίου Δυτικής Ελλάδας». Ανάκτηση από Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων Περιφερειακού Συμβουλίου Δυτικής Ελλάδας: file:///C:/Users/artse/Desktop/Σχολή%20αυτοματισμού/Διπλωματική%20εργασία/μέτρ α%20αντιμετώπισης.pdf.
18. Παπαζώτος, Ι., Χρόνη Μ. «Μελέτη και Ανάπτυξη Αιολικού Πάρκου Ισχύος 2.2 MW windfarm». Ανάκτηση, από meletikaianaptyxiaiilikoyparkouishyow 2.2 mw:http://docplayer.gr/59965110-□leti-kai-anaptyxiaiilikoy-parkoy-ishyos-2mw.html, 2006.
19. Τσιλιγκιρίδης, Γ. (2007). «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας». Θεσσαλονίκη.
20. Τσιλιγκιρίδης Β. (2015). «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας». Στο Γ. Α.-Δ. Διονύσης
21. Χατζημπίρος, Κ. (2014). *Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα στην προοπτική του 2050*. Αθήνα.
22. GR□□NAG□NDA, (2019).«Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατασκευή και λειτουργία ανεμογεννητριών και αιολικών πάρκων». Ανάκτηση από GR□□NAG□NDA: https://greenagenda.gr/περιβαλλοντικές-επιπτώσεις-από-την-κ/

Ξενόγλωσση:

1. Andersen, P. H., & Drejer, □ “Together we share? Competitive and collaborative supplier interests in product development”. *Technovation*, 2009, 29 (10), 690-703.
2. Arcadiaportalgr,arcadiaportal.gr:https://www.arcadiaportal.gr/news/giati-katigorountai-ta-aiolika-parka-ti-lene-oiupermaxoi-tous-b-meros. 2011.
3. Kabouris, J., Hatzargyriou, N. "Wind power in Greece - Current situation, future developments and prospects", *Proceedings of IEEE PES General Meeting*, 2006.
4. Li, H., & Chen, Z. “Overview over Generator ropologies for Wind Turbines. *IET Proc. Renewable Power Generation*”.2008, 2(2), 123-138.

5. Pourbeik, P. *"Modeling and dynamic behavior of wind generation as it relates to power system control and dynamic performance"*. CIGRE Technical Report, WG C4.601, 2007.

Διαδικτυακές πηγές:

1. http://www.windpower.org/en/policy/planning_and_regulation.html
2. <http://www.windpower.org/en/policy/offshore.html>
3. <http://www.4coffshore.com/windfarms/horns-rev-2-denmark-dk10.html>
4. <https://m.naftemporiki.gr/story>
5. <https://medilab.pme.duth.gr/invonio/turbine-types.html>
6. <https://gr.euronews.com/>
7. <https://gr.euronews.com/>
8. <https://energypress.gr/>
9. <https://energypress.gr/>
10. <https://stateofgreen.com/en/partners/state-of-green/news/denmark-set-new-wind-record-in-2017/>
11. <https://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/5995/1/>
12. <https://www.theguardian.com/environment/2015/jul/10/denmark-wind-windfarm-power-exceed-electricity-demand>
13. <https://cleantechnica.com/2018/01/06/44-wind-denmark-smashed-already-huge-wind-energy-records-2017/>