ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

“Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων”

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 2,4 MW”

Του Μεταπτυχιακού Φοιτητή

Μπαϊρακτάρη Κωνσταντίνου

Επιβλέπων

Καραϊσάς Πέτρος, Τμήμα Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

Copyright © Μπαϊρακτάρης Κωνσταντίνος 2018

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή κ. Καραϊσά Πέτρο, για την ανάθεση και επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, ο οποίος με τις κατευθυντήριες οδηγίες του βοήθησε στην εκπόνησή της. Ακόμα, αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου για την αγαστή συνεργασία που είχαμε στην διάρκεια αυτής της διαδρομής. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα την οικογένεια μου για την ενθάρρυνση και την υποστήριξή τους, στοιχεία όπως αποδείχθηκε καθοριστικά για να κατορθώσω να μετουσιώσω σε πράξη τους στόχους μου.

Μπαϊρακτάρης Κωνσταντίνος

Οκτώβριος 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σύνοψη……..7
Περίληψη……8
Abstract……...9
Summary……...10
Λίστα Πινάκων – Γραφημάτων……11
Λίστα Εικόνων……..……12

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ……14
1.1 Εισαγωγή……...14
1.2 Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα και στην Ευρώπη……15
1.2.1 Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα……15
1.2.2 Αιολική Ενέργεια στην Ευρώπη……...17

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ……..19
2.1 Γενικά……19
2.2 Είδη αιολικών πάρκων……..19
2.3 Λειτουργία και συντήρηση αιολικού πάρκου……...22
2.3.1 Λειτουργία αιολικού πάρκου……22
2.3.2 Συντήρηση αιολικού πάρκου……23

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ……...24
3.1 Κατηγορίες ανεμογεννητριών……...24
3.1.1 Διάρθρωση ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα……...28
3.1.2.1 Ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος……31
3.1.2.2 Βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος μικρής ισχύος……33
3.1.2.3 Μελέτη των χαρακτηριστικών στοιχείων των καμπυλών ισχύος και ενεργειακής παραγωγής……..33
3.1.3.1 Ανεμογεννήτριες μέσης και μεγάλης ισχύος……34
3.1.3.2 Βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος με Α/Γ μέσης ή μεγάλης ισχύος.....35
3.1.3.3 Θεμελίωση – Τοποθέτηση – Στήριξη Α/Γ……38
3.1.3.4 Διάταξη αιολικού πάρκου……38
3.1.3.5 Μέτρηση θορύβου στην ανεμογεννήτρια……39
3.1.3.6 Μέτρηση θορύβου στην α/γ ατην θέση του αποδέκτη……..39
3.2 Ιστορική εξέλιξη……40
3.2.1 Ανεμόμυλοι……...40
3.2.1.1 Ανεμόμυλοι στην Μέση Ανατολή……41
3.2.1.2 Οι πρώτοι ευρωπαϊκοί ανεμόμυλοι……...42
3.3 Γενική αρχή λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας……42

3.4 Ισχύς ανεμογεννήτριας……...43
3.4.1 Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας ανεμογεννήτριας…….44
3.4.2 Ταχύτητα διακοπής λειτουργίας ανεμογεννήτριας……...45
3.5 Εφαρμογές ανεμογεννητριών…….....45
3.6 Τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις στις ανεμογεννήτριες…….47
3.6.1 Ανεμογεννήτριες νέας τεχνολογίας……...47
3.6.1.1 Νέα τεχνολογία για ανεμογεννήτριες σε περιοχές με χαμηλούς ανέμους…….47
3.6.1.2 Ενεργειακό δένδρο (Ανεμογεννήτρια AirTurbo)……..48

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ……..51
4.1 Εισαγωγή……51
4.2 Χαρακτηριστικά του ανέμου……..51
4.3 Τύρβη και διάτμηση……...52
4.3.1 Μέθοδος υπολογισμού τύρβης……..53
4.4 Ανεμόμετρο……53
4.5 Ανεμοδείκτης……55
4.6 Μέτρηση αιολικού δυναμικού……56
4.7 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου……58
4.7.1 Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους……58
4.7.2 Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής……59
4.7.3 Επίδραση επιφανειακών εμποδίων……...61

5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ…….62
5.1 Κόστος αιολικού πάρκου……..62
5.2 Παράδειγμα εφαρμογής αιολικού παρκού με το λογισμικό διαχείρισης καθαρής ενέργειας RETScreen……69
5.2.1 Εκκίνηση……...71
5.2.2 Τοποθεσία……71
5.2.3 Εγκατάσταση……73
5.2.4 Ενεργειακό μοντέλο……..75
5.2.5 Ανάλυση κόστους……77
5.2.6 Ανάλυση εκπομπών……..80
5.2.7 Οικονομική ανάλυση……81
5.2.8 Ανάλυση ευαισθησίας και επικινδυνότητας……87

6 ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ…….91

Ιστοσελίδες……92

Σύνοψη

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η μελέτη ενός Αιολικού Πάρκου 2,4 MW για την κατασκευή του σε περιοχή της Άνω Σύρου και η αξιολόγηση του σαν επενδυτικό σχέδιο. Αυτή η μελέτη περιλαμβάνει στοιχεία των ανεμογεννητριών, καθώς και παράγοντες που επηρεάζουν αυτές. Στην συνέχεια γίνεται αναφορά στον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί και τα χαρακτηριστικά του. Τέλος, γίνεται μια οικονομοτεχνική μελέτη βάσει των στοιχείων και υπολογιστικών εργαλείων. Η ανάλυση αυτή οδηγεί σε συμπεράσματα τα οποία αφορούν τη βιωσιμότητα της επένδυσης ή όχι.

Περίληψη

Η παρούσα θεωρητική διπλωματική εργασία αφορά την μελέτη ενός αιολικού πάρκου 2,4 MW. Η εργασία αποτελείται από 6 κεφάλαια. Θα ασχοληθούμε γενικότερα με την αιολική ενέργεια και όσα αφορούν ένα αιολικό πάρκο. Θα εξετάσουμε τη μελέτη του αιολικού πάρκου σε επιλεγμένη περιοχή, αλλά και το αν η επένδυση στην επιθυμητή περιοχή είναι επικερδής ή επιζήμια.

Αρχικά, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή για την αιολική ενέργεια στην Ελλάδα, όπως επίσης και στην Ευρώπη.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, αναλύουμε τα είδη των αιολικών πάρκων, την λειτουργία και την συντήρησή τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται ιστορική αναδρομή, όπως επίσης και αναφορά στα είδη, τις εφαρμογές, καθώς και τις τεχνολογίες των ανεμογεννητριών.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύουμε το αιολικό δυναμικό, τους παράγοντες που επηρρεάζουν την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου, καθώς και την μέθοδο μέτρησης του αιολικού δυναμικού σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο, με την αρωγή του προγράμματος RETScreen παρουσιάζουμε μια ενδεικτική οικονομική ανάλυση κατασκευής ενός αιολικού πάρκου.

Λέξεις κλειδιά: Αιολικό Πάρκο, Αιολική Ενέργεια, Ανεμογεννήτρια, RETScreen.

Abstract

The purpose of this work is to study a 2.4 MW wind farm for its construction in the area of Ano Syros and its assessment as an investment project. This study includes components of wind turbines, as well as factors that affect them. Then reference is made to the equipment to be used and its characteristics. Finally, a technical and financial study is made on the basis of data and computational tools. This analysis leads to conclusions regarding the viability of the investment or not.

Summary

This theoretical diploma thesis concerns the study of a 2.4 MW wind farm. This work consists of 6 chapters. We will deal with wind energy in general and which concern a wind park. We will look at the study of the wind park in a selected area, but if the investment in the desired area is profitable or harmful.

Initially, the first chapter introduces wind energy in Greece as well as in Europe.

In the second chapter, we analyze the types of wind farms, their operation and maintenance.

In the third chapter, a historical overview is made, as well as a reference to the types, applications and technologies of wind turbines.

In the fourth chapter, we analyze the wind potential, the factors that affect the speed and direction of the wind, and the method of measuring the air capacity in a particular area.

Finally, in the fifth chapter, with the help of the RETScreen program, an indicative economic analysis of a wind farm is presented.

Keywords: Wind Farm, Wind Energy, Wind Turbine, RETScreen.

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ - ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

Γράφημα 2.1 Διαθεσιμότητα, προσβασιμότητα και αξιοπιστία των ανεμογεννητριών[9]……...23

Πίνακας 5.1 Ανάλυση κόστους αγοράς και εγκατάστασης αιολικού πάρκου 2,4MW[10]……...69

Γράφημα 5.2 Μετά-φόρων……...86

Γράφημα 5.3 Αθροιστικές Χρηματορροές……..86

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1 Μερίδια κρατών της Ε.Ε σε νέο εγκατεστημένο αιολικό δυναμικό κατά τη διάρκεια του 2017 επί συνόλου 15.680 MW[5]……18

Εικόνα 1.2 Μερίδιο νέας εγκατεστημένης χωρητικότητας επί συνόλου 28.310 MW[5]……..18

Εικόνα 2.1 Χερσαίο αιολικό πάρκο[13]……20

Εικόνα 2.2 Παράκτιο αιολικό πάρκο στη Σαγκάη στην Ανατολική Κίνα[14]……...21

Εικόνα 2.3 Υπεράκτιο αιολικό πάρκο[15]……22

Εικόνα 3.1 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα[9]……25

Εικόνα 3.2 Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα[6]……26

Εικόνα 3.3 Ανεμογεννήτρια Savonius[16]……27

Εικόνα 3.4 Ανεμογεννήτρια Darrieus[17]……..27

Εικόνα 3.5 Βασικά τμήματα ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα[8]……29

Εικόνα 3.6 Οικιακή ανεμογεννήτρια 1 KW / 2 KW[30]……32

Εικόνα 3.7 Ανεμογεννήτριες μέσης ισχύος 50 KW[32]……35

Εικόνα 3.8 Τα μηχανικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας[22]……43

Εικόνα 3.9 Νέες ανεμογεννήτριες φινλανδικής τεχνολογίας[20]……..47

Εικόνα 3.10 Ανεμογεννήτρια AirTurbo[21]……...49

Εικόνα 4.1 Ανεμόμετρο απλό[23]……..54

Εικόνα 4.2 Ανεμόμετρο έλικας[25]……55

Εικόνα 4.3 Ανεμοδείκτης[26]……56

Εικόνα 4.4 Καταγραφικό[28]……57

Εικόνα 4.5 Η επίδραση της τραχύτητας του εδάφους στην ταχύτητα του ανέμου –
- Αλλαγή επιφάνειας από ομαλή σε τραχεία[29]……...58

Εικόνα 4.6 Η επίδραση της τραχύτητας του εδάφους στην ταχύτητα του ανέμου –
- Αλλαγή επιφάνειας από τραχεία σε ομαλή[29]……...59

Εικόνα 4.7 Τυπική λοφοσειρά[6]……...60

Εικόνα 4.8 Πιθανή ζώνη υψηλής τύρβης[6]……..60

Εικόνα 5.1 Φύλλο εκκίνησης[34]……...71

Εικόνα 5.2 Συνθήκες αναφοράς τοποθεσίας[34]……72

Εικόνα 5.3 Κλιματικά δεδομένα περιοχής[34]……...72

Εικόνα 5.4 Επίπεδα ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και καμπύλη ταχύτητας ανέμου[34]……73

Εικόνα 5.5 Πληροφορίες για τις εγκαταστάσεις[34]……..74
Εικόνα 5.6 Σημείο αναφοράς – Εργοστάσια ηλεκτρισμού[34]……..74
Εικόνα 5.7 Αξιολόγηση πηγών – Επιλογή τύπου ανεμογεννήτριας[34]……75
Εικόνα 5.8 Καμπύλες ισχύος και ενέργειας[34]……76
Εικόνα 5.9 Απώλειες και λοιπές πληροφορίες[34]……77
Εικόνα 5.10 Ανάλυση κόστους[34]……79
Εικόνα 5.11 Ανάλυση κόστους[34]……79
Εικόνα 5.12 Ανάλυση εκπομπών[34]……80
Εικόνα 5.13 Ανάλυση εκπομπών[34]……81
Εικόνα 5.14 Οικονομική Ανάλυση[34]……..83
Εικόνα 5.15 Οικονομική Ανάλυση[34]……..84
Εικόνα 5.16 Οικονομική Ανάλυση[34]……..84
Εικόνα 5.17 Ετήσια Χρηματορροή[34]……..85
Εικόνα 5.18 Ανάλυση Ευαισθησίας[34]……88
Εικόνα 5.19 Ανάλυση Ευαισθησίας[34]……88
Εικόνα 5.20 Ανάλυση Επικινδυνότητας[34]……..89
Εικόνα 5.21 Ανάλυση Επικινδυνότητας[34].....90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Εισαγωγή

Η αιολική ενέργεια ανήκει στην κατηγορία των ήπιων μορφών ενέργειας και των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, γιατί συμβάλλει δραστικά στην μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος, επομένως μπορεί να χαρακτηριστεί «φιλική» προς αυτό. Ο άνθρωπος απολαμβάνει τα ευεργετικά αποτελέσματα της αιολικής ενέργειας από την αρχαιότητα στην ναυπηγική, εώς και τις μέρες μας με διάφορα μέσα (ανεμογεννήτριες, ανεμόμυλοι) όχι μόνο στη θάλασσα, αλλά και στην ξηρά. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας γίνεται με ειδικές μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Οι μηχανές αυτές ονομάζονται ανεμογεννήτριες.

Πρόκειται για μια εξαιρετικά επωφελή μορφή ενέργειας στην σύγχρονη εποχή. Πρώτα από όλα, είναι οικονομικά προσοδοφόρα, σε σημαντικό βαθμό, σε μια οποιαδήποτε περιοχή επιχειρηθεί η άντλησή της. Ακόμα, η κινητήρια δύναμή της, ο άνεμος, διατίθεται σε μεγάλη ποσότητα, συναντάται στην περιφέρεια και συμφέρει οικονομικά τον χρήστη να την προτιμήσει έναντι άλλων μορφών ενέργειας που επιβαρύνουν το περιβάλλον με τα απόβλητά τους. Επιπρόσθετα, η αιολική ενέργεια έχει μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα έναντι της βιομηχανικής παραγωγής όπου εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα δηλητηριώδη αέρια, καθώς και άλλοι ρύποι. Ένα άλλο πλεονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι ότι οι ανεμογεννήτριες τελευταίας γενιάς δεν παράγουν ιδιαίτερο θόρυβο κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους και εγκαθίστανται σε διάστημα ολίγων ημερών.

Από την άλλη μεριά, υπάρχουν κάποιοι παράγοντες οι οποίοι πρέπει να ληφθούν υπόψη στην επιλογή της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας. Καταρχάς, ο συντελεστής απόδοσης της έχει μέγιστη τιμή 30 % και η πυκνότητα της δεν φτάνει σε υψηλά επίπεδα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται το κόστος εφαρμογής, γιατί χρειάζεται ένας σημαντικός αριθμός ανεμογεννητριών για την παραγωγή αξιόλογης ισχύος. Επίσης, το κόστος έρευνας και εγκατάστασης ενός τέτοιου συστήματος ανέρχεται σε δυσθεώρητα ύψη. Μια ακόμα παράμετρος που εξετάζεται είναι η χρονοβόρα διαδικασία για να ευρεθούνοι πιο κατάλληλες τοποθεσίες για την αναζήτηση και την απεικόνιση σε χάρτη του αιολικού δυναμικού των περιοχών με την μεγαλύτερη έκταση. Επιβάλλεται, να γίνει η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου σε μια τεράστια έκταση για να μην αλλοιωθεί ιδιαίτερα η αισθητική του τοπίου. Παρατηρούνται ακόμα το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης και η απόδοση ισχύος εμφανίζει διακυμάνσεις λόγω της μη σταθερής έντασης του ανέμου. Τέλος, απαιτείται η εκπόνηση μιας

μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων πριν την εγκατάσταση του αιολικού πάρκουσε μια οποιαδήποτε τοποθεσία, γιατί υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να συμβεί σοβαρό ατύχημα στα πτηνά.

1.2 Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα και στην Ευρώπη

1.2.1 Αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Η χώρα μας ευνοείται σημαντικά στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας λόγω των πολυάριθμων νησιών και του πλήθους των ακτών που διαθέτει. Στις τοποθεσίες αυτές , όπως γίνεται αντιληπτό, λόγω των δυνατών ανέμων που συναντάμε, γίνεται απλούστερη η διαδικασία "άντλησης" του αιολικού δυναμικού. Εκτιμάται ότι το εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό ανέρχεται στο 13,6 % του συνόλου των αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια της χώρας. Η πλειονότητα των αιολικών πάρκων της Ελλάδας συναντάται στα νησιά του Ιονίου και του Αιγαίου, καθώς επίσης στην Πελοπόννησο, την Εύβοια και την Κρήτη. Επειδή στα αιολικά πάρκα αυτά οι ανεμογεννήτριες είναι τοποθετημένες στην καλύτερη δυνατή διάταξη, το αποτέλεσμα είναι το αιολικό δυναμικό που εκμεταλλευόμαστε να είναι βέλτιστο.

Το πρώτο αιολικό πάρκο σε ευρωπαϊκό επίπεδο, εγκαταστάθηκε στην χώρα μας (συγκεκριμένα στην Κύθνο) το 1982. Αποτελεί τον πρώτο υβριδικό (ντήζελ, αιολική και ηλιακή ενέργεια) σταθμό ενέργειας στον κόσμο. Στο νησί αυτό, βρίσκονται εγκατεστημένες 5 ανεμογεννήτριες των 20 KW η κάθε μία, οι οποίες από κοινού με 100 KW από φ/β συγκροτούν τον προαναφερόμενο σταθμό ενέργειας. Καλύπτει το 25 % των αναγκών της νήσου σε ΑΠΕ.

Εώς το 2008, η εγκατεστημένη ισχύ ανά την επικράτεια ανερχόταν στα 890 MW. Οι ετήσιες εγκαταστάσεις ήταν μικρότερες των 120 MW, ενώ τα υπό αξιολόγηση έργα ήταν στο επίπεδο των 13 GW κατά προσέγγιση. Τα στοιχεία αυτά κατέτασαν την Ελλάδα στην $10^{η}$ θέση πανευρωπαϊκά σε συνολική εγκατεστημένη ισχύ και στην $12^{η}$ θέση στην προσέλκυση επενδύσεων από τον οίκο Ernst & Young (E&Y).

Τα κυριότερα προβλήματα που προκύπτουν στην χώρα μας, εντοπίζονται:

- **Στο χωροταξικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ**. Οι αποφάσεις της Δικαιοσύνης λαμβάνονται αργότερα από ό,τι έχει καθοριστεί, λόγω της αργοπορημένης ολοκλήρωσής του προαναφερθέντος χωροταξικού πλαισίου.

- **Στην γραφειοκρατία.** Για να περατωθούν τα έργα, χρειάζεται ένας μεγάλος αριθμός από άδειες και μια χρονοβόρα διαδικασία.
- **Στο δίκτυο.** Το δίκτυο ενός σημαντικού αριθμού έργων συναντά εμπόδια στην διασύνδεσή του, εξαιτίας της αργοπορημένης εκτέλεσης της Μελέτης Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς (ΜΑΣΜ).
- **Στην τοπική κοινωνία.** Η εξέλιξη των έργων παρεμποδίζεται από την τοπική κοινωνία, η οποία είναι απληροφόρητη και ανενημέρωτη.

Οι στόχοι της Ελλάδας στον χώρο της αιολικής ενέργειας μέχρι το 2020, πρέπει να είναι:

- να εισέλθουν τα βιοκαύσιμα σε ένα ποσοστό της τάξης του 10 %.
- να μειωθούν οι εκπομπές αερίων φαινομένου του θερμοκηπίου συγκριτικά με το 2005 σε ένα ποσοστό της τάξης του 4 %.
- να περιοριστεί η δαπάνη της ενέργειας σε ένα ποσοστό της τάξης του 20 %.
- να εισέλθουν οι ΑΠΕ στην τελική δαπάνη ενέργειας σε ένα ποσοστό της τάξης του 18 % (αντιστοιχεί σε 10.000 MW εγκατεστημένης αιολικής ενέργειας κατά προσέγγιση, σε συνδυασμό με περίπου 700 MW εγκατεστημένης ισχύος το χρόνο).
- να απεξαρτητοποιηθεί ενεργειακά.
- να διασφαλιστεί η ενεργειακή τροφοδοσία.

Για να επιτευχθούν οι παραπάνω στόχοι, επιβάλλεται:

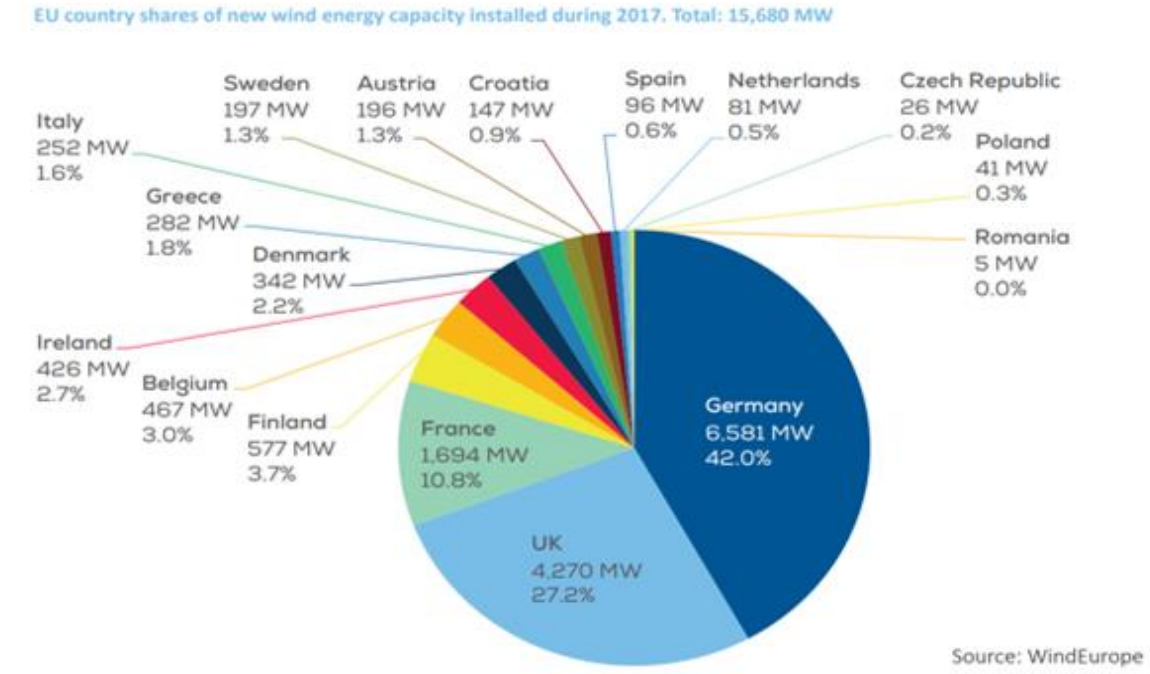
- να δημιουργηθούν νέες διασυνδέσεις διεθνώς.
- να περατωθεί με τρόπο ξεκάθαρο το ειδικό χωροταξικό πλαίσιο για τις ΑΠΕ.
- να κατασκευαστούν δίκτυα σε τοποθεσίες με ενεργό αιολικό δυναμικό.
- να δοθούν παροχές για τις ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος.
- να ελαττωθεί η καθυστέρηση στην διεκπεραίωση των διοικητικών υποθέσεων.
- το κράτος να μεριμνήσει προς την κατεύθυνση της εξέλιξης των τεχνολογιών ΑΠΕ, μέσα από την αντιμετώπιση των διαφόρων παθογενειών.

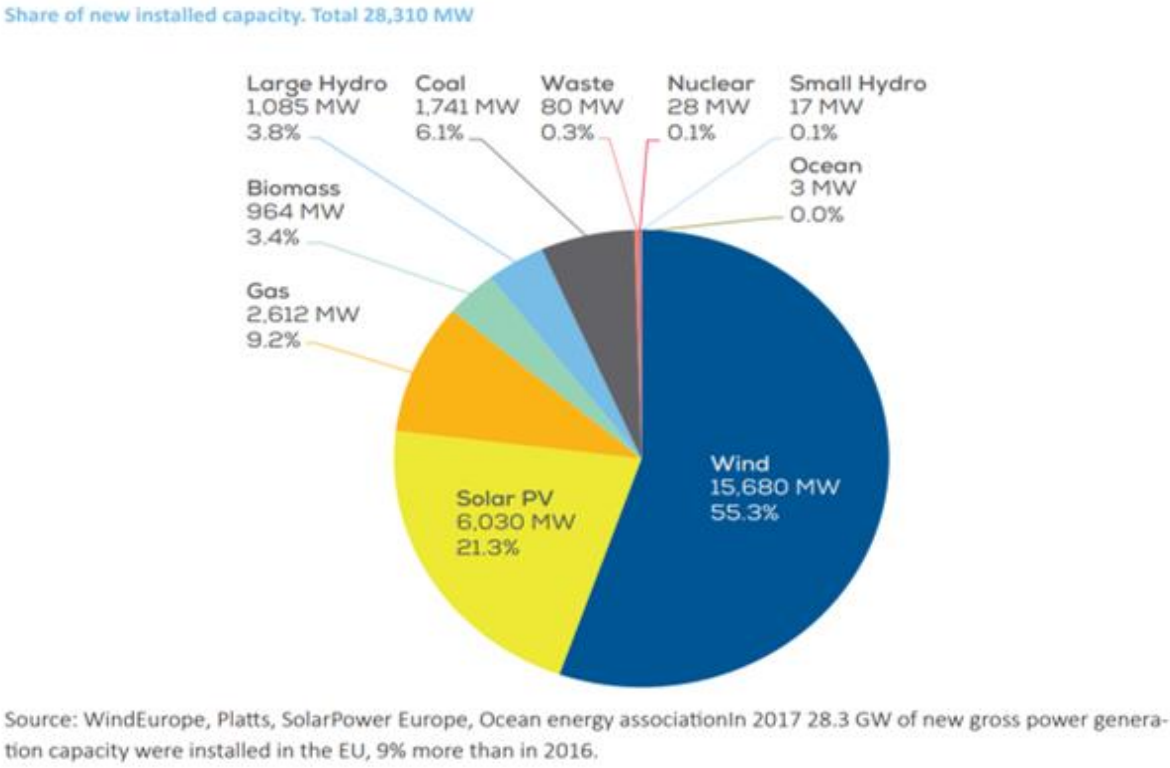
Η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα συμβάλλει στο μέγιστο βαθμό σε μια σειρά από πεδία, όπως είναι η εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων, η διάσωση του περιβάλλοντος, η λύση του προβλήματος της κλιματικής αλλαγής και η βιώσιμη ανάπτυξη. Στα πεδία αυτά, είναι σημαντική και η προσφορά της ταχύτατης εξέλιξης των τεχνολογιών

αναφορικά με τις σύγχρονες ανεμογεννήτριες. Η αιολική ενέργεια είναι μια πηγή ενέργειας, η οποία είναι δυνατό να αξιοποιείται επ' άπειρον στην πράξη.

1.2.2 Αιολική ενέργεια στην Ευρώπη

Τα τελευταία χρόνια έχουν συντελεστεί σημαντικές επενδύσεις στον τομέα των αιολικών στην Ευρώπη. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι οι συνολικές εγκαταστάσεις σε αιολικά πάρκα στην Ευρώπη το 2015 ήταν 142 GW. Ένα έτος στο οποίο η Κίνα ανέκτησε την πρωτοκαθεδρία, καθώς διαμόρφωσε τα τριπλάσια αιολικά πάρκα από την γηραιά ήπειρο και πλέον κατέχει 145 GW σε αντίστοιχες εγκαταστάσεις. Παρά το γεγονός αυτό, οι Ευρωπαίοι εξακολούθησαν να επενδύουν με αποτέλεσμα το 2017 να ήταν το έτος όπου η αιολική ενέργεια σημείωσε κορύφωση, λόγω της ανάγκης να ολοκληρωθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα οι επενδύσεις, προκειμένου τα ευρωπαϊκά κράτη να αποκομίσουν κέρδη από το παλαιό σύστημα των αμετάβλητων τιμών. Πιο συγκεκριμμένα, στην Ευρώπη εγκαταστάθηκαν 16.854 MW νέων αιολικών πάρκων, από τα οποία 15.680 MW στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Πιο αναλυτικά, σε όλη την Ευρωπαϊκή Ένωση οι ανάγκες ηλεκτρισμού καλύφθηκαν σε ποσοστό 11,6 % από την αιολική ενέργεια. Σύμφωνα με το διάγραμμα της εικόνας 1.1, οι χώρες που εγκατέστησαν το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό κατά τη διάρκεια του τρέχοντος έτους είναι η Γερμανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και η Γαλλία. Η Ελλάδα κατατάσσεται στην 8η θέση των κρατών μελών της ΕΕ με νέες εγκαταστάσεις ισχύος 2,8 MW και μερίδιο που αντιστοιχεί σε 1,8 % του συνόλου. Στο δε διάγραμμα της εικόνας 2.2, διαπιστώνουμε ότι η τάση για επενδύσεις στην αιολική ενέργεια κυριαρχεί, καθώς καταλαμβάνουν μερίδιο ίσο με 55,3 % με τις επενδύσεις στην ηλιακή ενέργεια να έπονται με ποσοστό 21,3 %. Την ίδια στιγμή οι άνθρωποι που δραστηριοποιούνται στον χώρο αυτό, εκφράζουν ανησυχίες και επιφυλάξεις για το μέλλον της προαναφερόμενης ενέργειας στην ήπειρο. Δηλώνουν ότι απαιτείται οργάνωση, σαφές σχέδιο για τις ΑΠΕ τις επόμενες δεκαετίες, καθώς και φιλοδοξία και διαφάνεια από τα κράτη-μέλη. Συνεπώς επιβάλλεται να υπάρχει μια εύρωστη εσωτερική αγορά.





Εικόνα 1.1 *Μερίδια κρατών της Ε.Ε σε νέο εγκατεστημένο αιολικό δυναμικό κατά τη διάρκεια του 2017 επί συνόλου 15.680 MW [5]*

Εικόνα 1.2 *Μερίδιο νέας εγκατεστημένης χωρητικότητας επί συνόλου 28.310 MW [5]*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

2.1 Γενικά

Ένα αιολικό πάρκο είναι μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, οι οποίες εγκαθίστανται και λειτουργούν σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύουν το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα.

2.2 Είδη αιολικών πάρκων

Τα αιολικά πάρκα διακρίνονται σε χερσαία, παράκτια και υπεράκτια ανάλογα με την περιοχή εγκατάστασης τους.

Τα χερσαία αιολικά πάρκα (onshore wind farms) είναι εγκατεστημένα στην ξηρά και σε απόσταση τριών χιλιόμετρων κατ' ελάχιστο προς το εσωτερικό από την πιο κοντινή ακτογραμμή. Ήταν η πρώτη κατηγορία που αναπτύχθηκε και έτσι σήμερα αποτελεί την πιο ευρεία διαδεδομένη μορφή αιολικών πάρκων. Είναι εφικτή η κατασκευή τους σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, αλλά και σε περιοχές με χαμηλό υψόμετρο. Συνήθως η κατασκευή τους πραγματοποιείται σε κορυφογραμμές μεγάλου υψομέτρου, λόγω των πολλών ταχυτήτων ανέμου που συναντάμε στα σημεία εκείνα. Από την άλλη, είναι δυνατό να κατασκευαστούν και σε πεδινές περιοχές, με την προϋπόθεση όμως ότι η εκμετάλλευση του ποσοστού αιολικού δυναμικού της περιοχής εγκατάστασης τους θα είναι η μέγιστη δυνατή.

Στην περίπτωση που το χερσαίο αιολικό πάρκο εγκαθίσταται σε μεγάλο υψόμετρο προκύπτει το πρόβλημα της μεταφοράς του εξοπλισμού στο σημείο τοποθέτησης, διότι τα μηχανήματα είναι ογκώδη και επιβάλλεται να μετεγκατασταθούν σε απρόσιτες περιοχές, όπου το οδικό δίκτυο δεν είναι επαρκές. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μερικές φορές, να πρέπει να δημιουργηθούν δρόμοι και το γεγονός αυτό με τη σειρά του αυξάνει το κόστος κατασκευής του πάρκου. Ένα άλλο ζήτημα είναι ότι, συχνά προκαλούνται αντιδράσεις, λόγω της παρέμβασης στο φυσικό τοπίο και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Οι περιοχές αυτές συνήθως δεν

προσφέρονται για άλλες χρήσεις με αποτέλεσμα να μειώνονται οι πιθανές διενέξεις με κατοίκους και φορείς.

Άν όμως, το χερσαίο αιολικό πάρκο εγκατασταθεί σε χαμηλό υψόμετρο, δεν υπάρχει τόσο υψηλό κόστος για την μεταφορά και την εγκατάσταση των μηχανημάτων. Από την άλλη, παρουσιάζεται πολύ συχνά το ζήτημα των πολλαπλών χρήσεων (γεωργία, κτηνοτροφία) των περιοχών αυτών οι οποίες είναι πυκνοκατοικημένες, με αποτέλεσμα να συναντάνε αντιδράσεις οι επενδυτές από τους κατοίκους και διάφορους φορείς. Το γεγονός αυτό δεν εμποδίζει τα αιολικά πάρκα να συνυπάρχουν με άλλες δραστηριότητες.

Εικόνα 2.1 *Χερσαίο αιολικό πάρκο στην Κάρυστο της Νότιας Εύβοιας [13]*

Τα παράκτια αιολικά πάρκα (nearshore wind farms) είναι τα πάρκα που βρίσκονται στην ξηρά εντός της ζώνης των τριών χιλιομέτρων από την ακτογραμμή ή στην θάλασσα εντός της ζώνης των δέκα χιλιομέτρων από την ακτογραμμή. Αυτές οι τοποθεσίες είναι αποδοτικές για εγκατάσταση λόγω του ανέμου που δημιουργείται από την θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ θάλασσας και ξηράς καθημερινά. Η τεχνολογία που χρησιμοποιούν τα παράκτια που είναι εγκατεστημένα στην ξηρά είναι όμοια με την αντίστοιχη των χερσαίων. Κάτι το οποίο δεν ισχύει στην περίπτωση των παράκτιων που είναι εγκατεστημένα στην θάλασσα, γιατί προκύπτει το πρόβλημα της στήριξης των ανεμογεννητριών. Παρά το προαναφερθέν πλεονέκτημα των παράκτιων, παρατηρούνται μια σειρά από προβλήματα, όπως φαινόμενα αντιδράσεων από κατοίκους και φορείς για λόγους ασφάλειας των λουόμενων, υποβάθμισης του τουριστικού προϊόντος, παρεμποδίσεις στην ναυσιπλοΐα, παρακώλυση της αλιείας και υποβάθμισης της ποιότητας και ποσότητας του αλιευτικού προϊόντος. Τέλος, η επένδυση επιβαρύνεται, διότι είναι υψηλό το κόστος των εκτάσεων των παραθαλάσσιων περιοχών.

Εικόνα 2.2 *Παράκτιο αιολικό πάρκο στη Σαγκάη στην Ανατολική Κίνα [14]*

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα (offshore wind farms) είναι εγκατεστημένα σε θαλάσσιες περιοχές πέραν των δέκα χιλιομέτρων από την ακτή. Η επινόηση τους θεωρήθηκε επιβεβλημένη, για τον λόγο ότι η διαθέσιμη χερσαία επιφάνεια που παρουσίαζε ενδιαφέρον είχε καλυφθεί σε συντριπτικό ποσοστό από τα αντίστοιχα αιολικά πάρκα. Πρόκειται για μια νέα πρακτική που επιτρέπει στους επενδυτές που δραστηριοποιούνται στον χώρο αυτό να επεκταθούν σε εκτάσεις που έως τώρα δεν μελετούσαν, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι διαθέσιμες περιοχές τοποθέτησης των αιολικών πάρκων. Μία από τις χώρες που ευνοείται σημαντικά από την εξέλιξη αυτή είναι η Ελλάδα, διότι διαθέτει αμέτρητες περιοχές στην θάλασσα που έχουν την δυνατότητα να εκμεταλλευτούν την ενέργεια του ανέμου, σε αντιδιαστολή με τις περιοχές που προσφέρονται στην ξηρά γι' αυτόν τον σκοπό, οι οποίες είναι ελάχιστες. Ακόμα, έχει αποδειχθεί ότι η ανεμογεννήτρια λειτουργεί πιο αποδοτικά στην επιφάνεια της θάλασσας σε σύγκριση με την ξηρά, για το λόγο ότι η ταχύτητα του ανέμου που συναντάται στα σημεία αυτά είναι πιο συχνά μεγαλύτερη. Επιπρόσθετα, το γεγονός που ενισχύει την καλύτερη απόδοση των ανεμογεννητριών σε θαλάσσιες περιοχές είναι ότι δεν εμφανίζεται ατμοσφαιρική τύρβη στον άνεμο, διότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ της ατμόσφαιρας και της θαλάσσιας επιφάνειας είναι ελάχιστη. Κάτι που έχει ώς συνέπεια, εκτός από την σημαντικά βελτιούμενη απόδοση των ανεμογεννητριών, να καταπονούνται λιγότερο οι μηχανές αυτές.

Εικόνα 2.3 *Υπεράκτιο αιολικό πάρκο ανοικτά των βόρειων ακτών της Ολλανδίας [15]*

2.3 Λειτουργία και συντήρηση αιολικού πάρκου

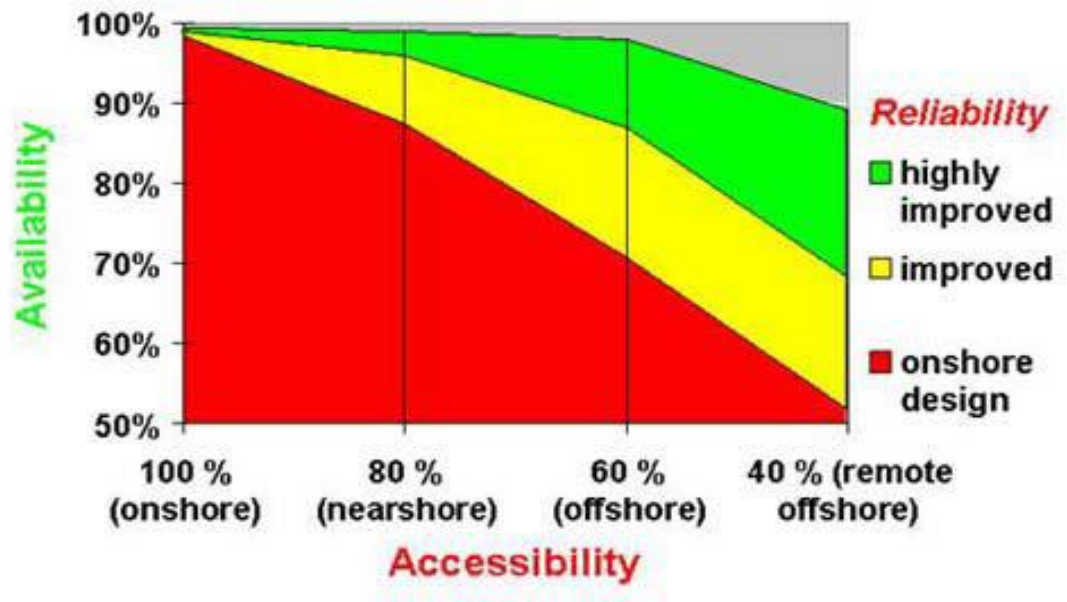
2.3.1 Λειτουργία αιολικού πάρκου

Η παρακολούθηση και ο έλεγχος της καθημερινής λειτουργίας ενός αιολικού πάρκου πραγματοποιείται με τη χρήση ενός συστήματος εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA). Το σύστημα αυτό διασυνδέει όλα τα συστατικά μέρη (δηλ. ανεμογεννήτριες, μετεωρολογικούς σταθμούς και υποσταθμούς) του αιολικού πάρκου σε έναν κεντρικό Η/Υ, που παρέχει τη δυνατότητα στο χειριστή να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία του αιολικού πάρκου. Το σύστημα παρέχει και αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του αιολικού πάρκου, με τρόπο τέτοιο ώστε να είναι εφικτή η διάγνωση αστοχιών ή προβλημάτων λειτουργίας συγκεκριμένων ανεμογεννητριών.

2.3.2 Συντήρηση αιολικού πάρκου

Η διαδικασία συντήρησης τόσο των υπεράκτιων ανεμογεννητριών όσο και των χερσαίων ανεμογεννητριών απαιτεί τεχνογνωσία παρόμοια, λόγω του ότι χρησιμοποιούν παρόμοιες συνιστώσες. Ωστόσο, οι συνιστώσες είναι συνήθως μεγαλύτερου μεγέθους στην περίπτωση των υπεράκτιων ανεμογεννητριών. Το παρακάτω γράφημα επιδεικνύει το πόσο σημαντική είναι η ύπαρξη αξιόπιστων ανεμογεννητριών, ιδίως για τις απομακρυσμένες υπεράκτιες τοποθεσίες, που μερικές φορές απέχουν 14 - 20 χλμ. από την ακτή, όπως στην περίπτωση του αιολικού πάρκου Horns Rev, το οποίο είναι εγκατεστημένο στη Δανία. Οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται έτσι ώστε να απαιτούνται περιοδικοί έλεγχοι μία εώς τρείς φορές κατ' έτος.

Συγκεκριμένα παρατηρούμε: Η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία των α/γ (γράφημα 2.1) χερσαίας σχεδίασης (κόκκινο χρώμα γραφήματος) μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από τη στεριά και ελαττώνεται στο 50% όταν εγκαθίστανται σε πολύ απομακρυσμένα από την ακτή αιολικά πάρκα. Αντίθετα, οι βελτιωμένης τεχνολογίας α/γ (κίτρινο χρώμα γραφήματος) και οι ακόμη περισσότερο βελτιωμένες τεχνολογικώς α/γ (πράσινο χρώμα γραφήματος) είναι πιο αξιόπιστες και έχουν αυξημένα ποσοστά λειτουργικής διαθεσιμότητας και επομένως το υπεράκτιο αιολικό πάρκο αν και έχει μεγαλύτερο κόστος από ένα χερσαίο, εφόσον λειτουργεί συνεχώς θα αντισταθμίζει το αρχικό κεφαλαιακό κόστος από τα αυξημένα έσοδα λόγω της μεγαλύτερης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και το μικρότερο κόστος συντήρησης λόγω των αξιόπιστων α/γ, όπως αναλύσαμε παραπάνω.



Γράφημα 2.1 *Διαθεσιμότητα, προσβασιμότητα και αξιοπιστία των ανεμογεννητριών [9]*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

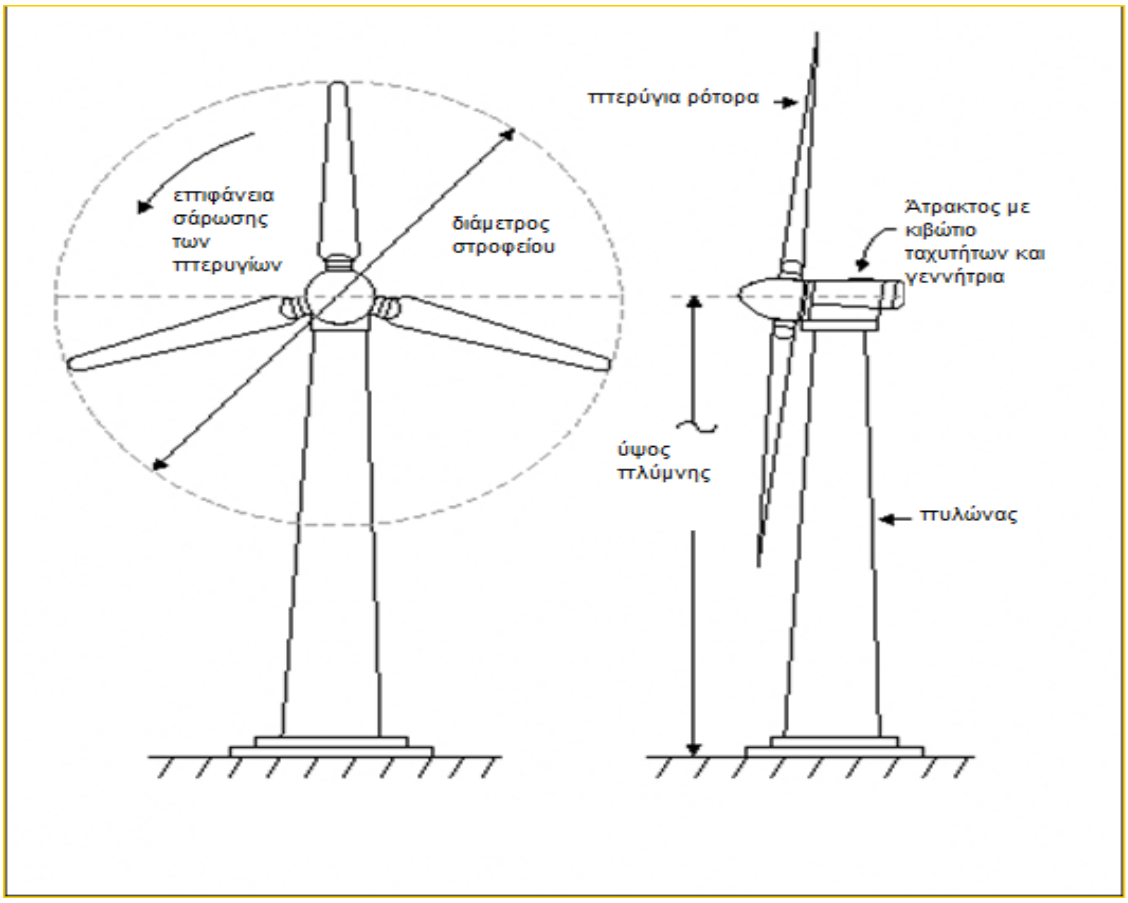
ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

3.1 Κατηγορίες ανεμογεννητριών

Τα τελευταία χρόνια, η βιομηχανία παραγωγής ανεμογεννητριών παρουσιάζει μεγάλη οικονομική άνθηση. Για αυτόν τον λόγο έχουν κατασκευαστεί δεκάδες ανεμογεννήτριες για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Αυτές τις ανεμογεννήτριες μπορούμε να τις διακρίνουμε ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων, αλλά κατά κύριο λόγο με την θέση του άξονα περιστροφής ως προς την Γη. Έτσι, συναντάμε τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και τις αντίστοιχες κάθετου άξονα.

α) Οριζόντιου άξονα.

Πρόκειται για την ευρύτερα χρησιμοποιημένη μορφή ανεμογεννήτριας. Έχουν τον άξονα τους παράλληλο προς την επιφάνεια της Γης και συνήθως παράλληλα και με την διεύθυνση του ανέμου. Αυτού του τύπου οι ανεμογεννήτριες έχουν συνήθως 2 ή 3 πτερύγια, σε αντίθεση με τους ανεμόμυλους που έχουν πολλά. Ένα χαρακτηριστικό των πτερυγίων αυτών είναι ότι έχουν μεγάλο αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης. Τα κύρια μηχανικά μέρη είναι ο πύργος στήριξης, η βάση στήριξης, το σύστημα προσανατολισμού, ο ηλεκτρικός (ή ηλεκτρονικός) πίνακας, η ηλεκτρική γεννήτρια, το σύστημα μετάδοσης κίνησης, το σύστημα πέδησης (ή φρένο δρομέα) και ο δρομέας (ή φτερωτή), τα οποία θα αναλύσουμε παρακάτω. Στην παρακάτω εικόνα (3.1) φαίνεται σε εμπρόσθια όψη και σε πλάγια όψη αντιστοίχως μια ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα.



Εικόνα 3.1 *Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα [9]*

Μια αιολική μηχανή οριζόντιου άξονα παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

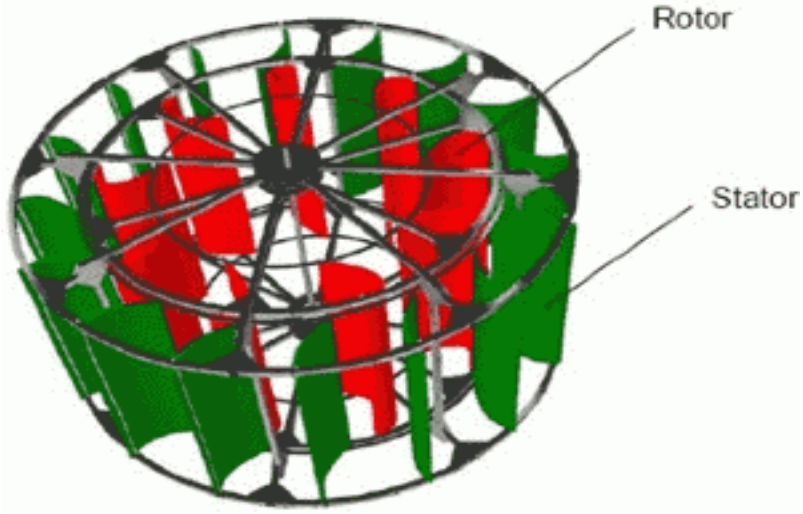
- Συναρμολογείται χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία.
- Έχει την δυνατότητα να αξιοποιεί και ανέμους με υψηλή ταχύτητα, εξαιτίας του ύψους της.
- Έχει μεγάλο αεροδυναμικό συντελεστή.
- Συγκρινόμενη με μια ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα, έχει καλύτερη απόδοση.

Αντίθετα, τα μειονεκτήματα μιας τέτοιας κατασκευής, εντοπίζονται σε:

- Μεγάλο κόστος κατασκευής και μεταφοράς, εξαιτίας του όγκου της.
- Παράγει θόρυβο, λόγω της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας.
- Απαιτεί ένα σύστημα περιστροφής για να ευθυγραμμιστούν τα πτερύγια με την διεύθυνση του ανέμου. Αυτό γίνεται γιατί η ανεμογεννήτρια επιβάλλεται να αξιοποιεί καθ' όλη την διάρκεια της ημέρας τον άνεμο.

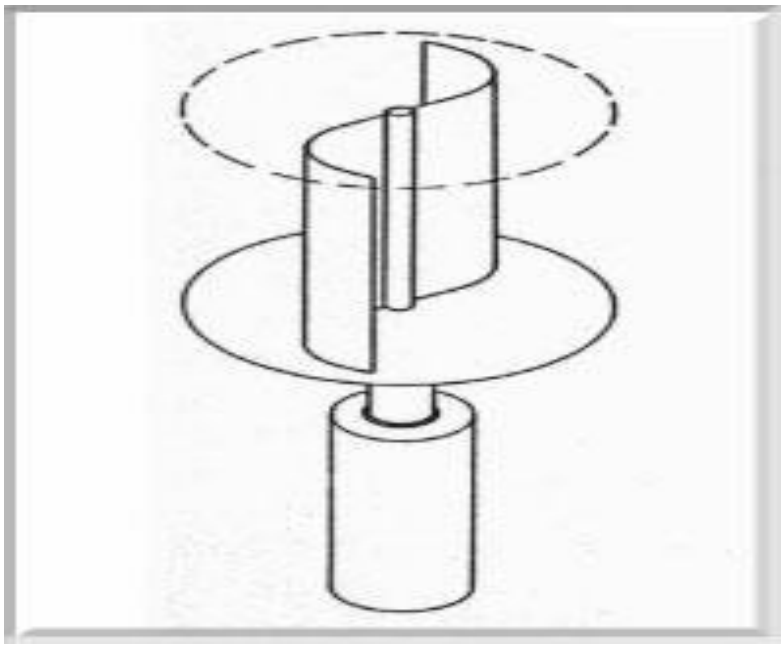
β) Κατακόρυφου άξονα.

Σε αντίθεση με την (α) περίπτωση, βρίσκεται καθ' όλη την διάρκεια κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους, χωρίς να μετακινείται. Περιστρεφόμενα πτερύγια στηρίζονται πάνω στον δρομέα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.2. Εδώ, δεν απαιτείται να προσαρμοστεί ο δρομέας με την αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου, για τον λόγο ότι οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου έχουν την δυνατότητα να αξιοποιήσουν τον άνεμο ανεξάρτητα από την κατεύθυνσή του.



Εικόνα 3.2 *Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα [6]*

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα που αναπτύχθηκαν είναι του τύπου Savonius και Darrieus. Η μεν Savonius δεν αποδίδει σε ικανοποιητικό βαθμό, αλλά έχει καλύτερη εκκίνηση, ενώ η δε Darrieus αποδίδει σε πολύ ικανοποιητικό βαθμό, αλλά έχει δύσκολη εκκίνηση. Στις παρακάτω εικόνες (3.3 και 3.4) μπορούμε να διακρίνουμε τις διαφορές ως προς τον σχεδιασμό τους.



Εικόνα 3.3 *Ανεμογεννήτρια Savonius [16]*

Εικόνα 3.4 *Ανεμογεννήτρια Darrieus [17]*

Ωστόσο, είναι εφικτό να κατασκευαστούν ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα που συνδυάζουν τα δυνατά σημεία του κάθε τύπου που αναφέραμε (Savonius, Darrieus).

Μια αιολική μηχανή κατακόρυφου άξονα παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Απλούστερη κατασκευή και πιο συμφέρουσα οικονομικά.
- Ευκολότερη στην εγκατάσταση λόγω του μεγέθους της.
- Λιγότερο θορυβώδης.
- Αξιοποιεί τον άνεμο από όλες τις διευθύνσεις.
- Πιο απλή η εγκατάσταση και η συντηρήση της γεννήτριας και του κιβωτίου ταχυτήτων, για τον λόγο ότι εγκαθίστανται στην βάση στήριξης.

Αντίθετα, τα μειονεκτήματα μιας τέτοιας κατασκευής, εντοπίζονται σε:

- Μη ικανοποιητική απόδοση.
- Η ταχύτητα περιστροφής είναι χαμηλή, γιατι είναι υψηλή η ροπή εκκίνησης.
- Ορισμένα μηχανικά μέρη παρουσιάζουν δυσκολία στην συντήρησή τους.
- Αδυναμία αξιοποίησης ανέμου υψηλών ταχυτήτων, εξαιτίας του μικρού μεγέθους της.

Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες εντάσσονται σε κατηγορίες ανάλογα με την ισχύ τους.

Έτσι, συναντάμε τις εξής:

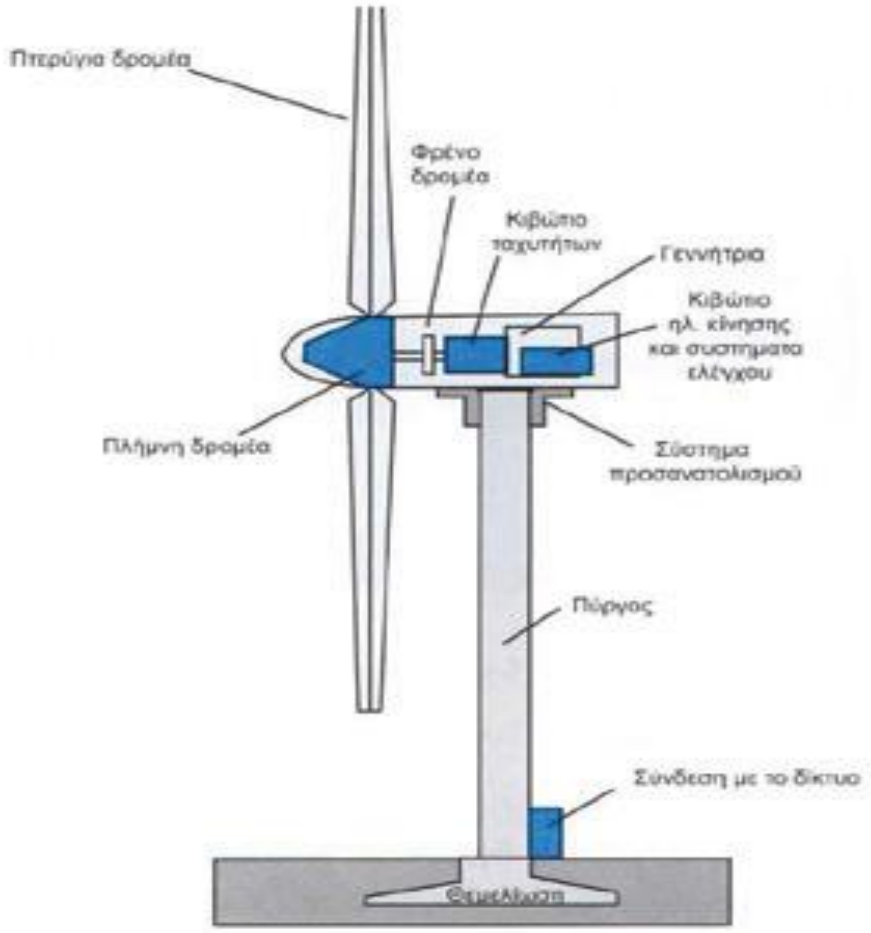
α) Μικρής ισχύος (αιολικά συστήματα με ονομαστική ισχύ εώς 10 kW).

β) Μέσης ισχύος (αιολικά συστήματα με ονομαστική ισχύ από 30 kW εώς 200 kW).

γ) Μεγάλης ισχύος (αιολικά συστήματα με ονομαστική ισχύ πάνω από 200 kW).

3.1.1 Διάρθρωση ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα

Τα τμήματα από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα φαίνονται στην παρακάτω εικόνα (3.5):



Εικόνα 3.5 *Βασικά τμήματα ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα [8]*

Πρόκειται για:

- <u>Τον πύργο στήριξης</u>

  Στηρίζει όλη την ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Διακρίνονται στους:

  α) σταθερούς

  β**)** ανακλινούμενους

  Στην περίπτωση των σταθερών πύργων, συναντάμε δύο είδη, τους δικτυωτούς και τους κυλινδρικούς. Οι κυλινδρικοί κατασκευάζονται είτε από ατσάλι είτε από οπλισμένο σκυρόδεμα. Συνήθως χρησιμοποιείται ο πύργος από ατσάλι, παρ' ότι ο πύργος από σκυρόδεμα έχει το πλεονέκτημα ότι περιορίζει τους θορύβους που προκαλούνται κατά την διάρκεια της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, εξαιτίας των περιστροφικών κινήσεων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην μικρότερη ελαστικότητα των πύργων από σκυρόδεμα έναντι

των αντίστοιχων μεταλλικών. Σκοπός του πύργου στήριξης, γενικά, είναι να εκμεταλλευτεί στο μέγιστο δυνατό βαθμό την ταχύτητα του ανέμου, περιορίζοντας ταυτόχρονα τον θόρυβο στο ελάχιστο δυνατό. Προϋπόθεση των συνθηκών αυτών είναι η τοποθέτηση της ατράκτου και του ρότορα στο κατάλληλο ύψος.

- Την βάση στήριξης (θεμελίωση)

  Η βάση κατασκευάζεται από οπλισμένο σκυρόδεμα μέσα στο οποίο ενσωματώνεται ο κορμός του πύργου στήριξης.

- Το σύστημα προσανατολισμού

  Αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Τοποθετείται στην κορυφή του πύργου στήριξης με την ανεμογεννήτρια να εδράζεται πάνω σ' αυτό. Το φαινόμενο όπου ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι κάθετος στην διεύθυνση του ανέμου, ονομάζεται σφάλμα περιστροφής και έχει σαν αποτέλεσμα η ανεμογεννήτρια να επωμίζεται μεγαλύτερα φορτία κόπωσης και η ανεμογεννήτρια θα εκμεταλλεύεται μικρότερο ποσοστό της αιολικής ενέργειας.

- Τον ηλεκτρικό / ηλεκτρονικό πίνακα

  Εγκαθίσταται στην βάση του πύργου και με τις κατάλληλες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές διατάξεις, παρακολουθεί, ελέγχει και συντονίζει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της.

- Την ηλεκτρική γεννήτρια

  Είναι επαγωγική ή σύγχρονη με 2 έως και 10 ζεύγη πόλων, συνδέεται με την έξοδο του κιβωτίου προσαρμογής με τη βοήθεια ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Εγκαθίσταται συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Στις περισσότερες των περιπτώσεων χρησιμοποιείται μηχανή εναλλασσομένου ρεύματος.

- Το σύστημα μετάδοσης κίνησης

  Αποτελείται από τα έδρανα στήριξης, από το κιβώτιο προσαρμογής των στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας της μηχανής. και από τον κύριο άξονα περιστροφής.

- Το σύστημα πέδησης (ή φρένο δρομέα)

  Είναι ένα τυπικό δισκόφρενο το οποίο εγκαθίσταται είτε στον άξονα της γεννήτριας είτε στον κύριο άξονα.

- Τον δρομέα (ή φτερωτή)

  Αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια που κατασκευάζονται από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια συνδέονται με την πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονά της μεταβάλλοντας το βήμα.

  Οι δίπτερες ανεμογεννήτριες (2 πτερύγια) κατασκευάζονται με ρότορα που ξεπερνά τα 10 μέτρα, έχουν μεγαλύτερη αντοχή στον χρόνο και έχουν πιο μικρό κόστος κατασκευής και συντήρησης από το κόστος των τρίπτερων ανεμογεννητριών αντίστοιχου μεγέθους.

  Οι τρίπτερες ανεμογεννήτριες (3 πτερύγια) μπορούν να αξιοποιήσουν ασθενές αιολικό δυναμικό και κατασκευάζονται με ρότορες είτε μεγάλων είτε μικρών διαστάσεων. Αυτό το είδος των ανεμογεννητριών προτιμάται περισσότερο στην ηλεκτροπαραγωγή, διότι θεωρούνται σταθερότερες έναντι άλλων με διαφορετικό αριθμό πτερυγίων, ενώ διανέμουν πιο ομοιόμορφα τις καταπονήσεις, ειδικά όταν ο άνεμος αλλάζει προσανατολισμό.

3.1.2.1 Ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος

Εγκαθίστανται σε αιολικά συστήματα τα οποία η ονομαστική τους ισχύ δεν ξεπερνά τα 10 KW. Η διάμετρος της φτερωτής τους κυμαίνεται από 0,58 m έως 8 m και συναρμολογούνται σε πύργους στήριξης, το ύψος των οποίων είναι στα 10 m κατ' ελάχιστο και στα 40 m το μέγιστο. Οι ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος διακρίνονται σε τρεις υποκατηγορίες (ανάλογα με την ονομαστική ισχύ εξόδου τους) :

α) Μικροανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος από 50 W εώς 1 KW.

β) Ανεμογεννήτριες μέσου εύρους ονομαστικής ισχύος από 1 KW εώς 5 KW.

γ) Ανεμογεννήτριες «μίνι» ονομαστικής ισχύος από 5 KW εώς 10 KW.

Μια ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος έχει ως κύρια μέρη τον δρομέα, την ηλεκτρογεννήτρια, το δισκόφρενο, τον πυλώνα, το σύστημα προσανεμισμού και το σύστημα λειτουργίας και ελέγχου.

Εικόνα 3.6 *Οικιακή ανεμογεννήτρια 1 KW / 2 KW [30]*

Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά της λειτουργίας μίας ανεμογεννήτριας μικρού μεγέθους που δίνονται από τον κατασκευαστή, εκτός από την καμπύλη ισχύος που αποτελεί το πιο κρίσιμο χαρακτηριστικό, είναι:

α) Η ονομαστική ισχύς σε W ή KW.

β) Η ταχύτητα εκκίνησης της ανεμογεννήτριας σε m/sec.

γ) Η ταχύτητα στην οποία έχουμε την ονομαστική ισχύ σε m/sec.

δ) Η μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας σε m/sec.

ε) Η διάμετρος του ρότορα.

στ) Η ονομαστική τάση.

ζ) Ο αριθμός των πτερυγίων.

η) Το σύστημα λειτουργίας και ασφάλειας.

θ) Το ύψος του ιστού.

3.1.2.2 Βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος μικρής ισχύος

i. Η σωστή εκτίμηση των κλιματολογικών συνθηκών της περιοχής που πρόκειται να γίνει η εγκατάσταση.

ii. Η σωστή επιλογή του τύπου και του μεγέθους της ανεμογεννήτριας, με βάση τα υπάρχοντα ή μετρούμενα ανεμολογικά στοιχεία. Θα πρέπει να γίνεται σύγκριση των στοιχείων των προδιαγραφών της α/γ με όρους όπως η ένταση του ανέμου, η μέση και η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου, η τραχύτητα και τα χαρακτηριστικά του εδάφους.

iii. Η κατάλληλη θέση εγκατάστασης της α/γ, με βάση τη μορφολογία του εδάφους και της περιοχής που την περιβάλλει.

iv. Ο σωστός υπολογισμός του πύργου εγκατάστασης της α/γ. Ο υπολογισμός θα πρέπει να γίνεται με βάση τα ακραία στατικά και κοπωτικά φορτία. Οι χαλύβδινοι πυλώνες να μελετηθούν και να κατασκευαστούν σύμφωνα με τα αναγνωρισμένα διεθνή πρότυπα. Οι χαλύβδινοι πυλώνες και τα συρματόσχοινα χρειάζονται την πιο τακτική συντήρηση, γιατι "απειλούνται" περισσότερο από τη διάβρωση.

v. Ο σωστός υπολογισμός της θεμελίωσης του πύργου της εγκατάστασης.

vi. Αξιόπιστο σύστημα ελέγχου και ασφάλειας της λειτουργίας της α/γ. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να καθορίζει με ακρίβεια τις συνθήκες κάτω από τις οποίες θα μπορεί να λειτουργεί ή να τίθεται εκτός λειτουργίας με ασφάλεια μία Α/Γ.

3.1.2.3 Μελέτη των χαρακτηριστικών στοιχείων των καμπυλών ισχύος και ενεργειακής παραγωγής

i. Από την μηδενική ταχύτητα εώς την ταχύτητα 3,5 m/sec, η Α/Γ δεν λειτουργεί και επομένως για το χρονικό διάστημα σε ώρες, σε ετήσια βάση, που έχουμε αυτή την περιοχή ταχυτήτων, η Α/Γ δεν μας παρέχει ηλεκτρική ενέργεια.

ii. Για ταχύτητα V = 13,5m/sec, η Α/Γ μας δίνει την ονομαστική ισχύ ($P_η$ = 5000 W) και όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό εμφάνισης, σε ετήσια βάση, της ονομαστικής ταχύτητας, τόσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής φορτίου της γεννήτριας.

iii. Για την περιοχή ταχυτήτων 13,5-25m/sec (25m/sec είναι η ταχύτητα αποκοπής της Α/Γ), η Α/Γ μας δίνει ισχύ περίπου στο μέγεθος της ονομαστικής και όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό εμφάνισης, σε ετήσια βάση, αυτών των τιμών ταχύτητας του ανέμου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ενέργεια που μας παρέχει η Α/Γ.

iv. Για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από 25m/sec, η γεννήτρια για λόγους ασφάλειας (κίνδυνος από την αντοχή του δρομέα), δεν λειτουργεί και όσο μικρότερο είναι το ποσοστό εμφάνισης, σε ετήσια βάση, αυτών των τιμών ταχύτητας, τόσο μικρότερη είναι η καταπόνηση των μηχανικών μερών της Α/Γ.

v. Για ταχύτητες ανέμου, πολύ υψηλής τιμής (V>= 65 m/sec), υπάρχει κίνδυνος καταστροφής των μηχανικών μερών του ρότορα της Α/Γ.

3.1.3.1 Ανεμογεννήτριες μέσης και μεγάλης ισχύος

Οι α/γ μέσης ισχύος εγκαθίστανται σε αιολικά συστήματα, τα οποία η ονομαστική τους ισχύ κυμαίνεται από 30 KW έως 200 KW, ενώ οι α/γ μεγάλης ισχύος τοποθετούνται σε αντίστοιχα συστήματα, τα οποία η ονομαστική τους ισχύ υπερβαίνει τα 200 KW.

Και στις δύο κατηγορίες α/γ, συνηθίζεται να είναι σύγχρονες, οριζόντιου άξονα και διακρίνονται σε μονόπτερες, δίπτερες και τρίπτερες.

Οι ανεμογεννήτριες μεγάλης ισχύος προσφέρουν μια σειρά από πλεονεκτήματα, όπως:

- Εκμεταλλεύονται σε μεγαλύτερο βαθμό το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής απ' ότι οι αντίστοιχες μικρότερης ισχύος.
- Συνηθίζεται να εγκαθίστανται σε αιολικά πάρκα, με αποτέλεσμα να αποτελούν μια συμφέρουσα λύση στο πεδίο της αιολικής ενέργειας, διότι ελαττώνεται σε μεγάλο βαθμό το κόστος κατασκευής και συντήρησης.
- Είναι πολύ πιο αποδοτική (απ' ότι οι αντίστοιχες μικρότερης ισχύος), για τον λόγο ότι παράγει αρκετά περισσότερη ισχύ, γεγονός που απορρέει από την μέση ταχύτητα του ανέμου που συναντά στο μεγάλο ύψος στο οποίο εγκαθίσταται.

Εικόνα 3.7 *Ανεμογεννήτριες μέσης ισχύος 50 KW [32]*

3.1.3.2 Βασικές προϋποθέσεις για την εγκατάσταση αιολικού συστήματος με α/γ μέσης ή μεγάλης ισχύος

α) Επιλογή της θέσης εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας

Η επιλογή της θέσης εγκατάστασης των ανεμογεννητριών εξαρτάται από τους παρακάτω παράγοντες:

- Τα απαιτούμενα έργα υποδομής και την δυνατότητα πρόσβασης.
- Το αιολικό δυναμικό. (θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο)

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού γίνεται με βάση δεδομένα από:

- Τυχόν αιολικούς χάρτες της περιοχής.
- Τους διαθέσιμους ανεμογράφους της περιοχής .
- Δείκτες εκτίμησης του αιολικού δυναμικού της περιοχής (εφόσον υπάρχουν).
- Τα υφιστάμενα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην υπό μελέτη περιοχή. Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ) θα πρέπει να δώσει δεδομένα μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου, όπως χάρτες και άλλα τεχνικά στοιχεία και αφού μελετηθούν προσεκτικά, επιβάλλεται να γίνει:
- Προεκτίμηση της θέσης σύνδεσης του αιολικού πάρκου, με το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς.

- Προεκτίμηση του τρόπου σύνδεσης του αιολικού πάρκου, με το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς.
- Η ιδιοκτησία των απαιτούμενων εδαφικών πεδίων για την τοποθέτηση και η δυνατότητα χρήσης γης.
- Η απαιτούμενη διαδικασία για την αδειοδότηση της εγκατάστασης ενέχει την πιθανότητα να παρουσιαστούν ορισμένα εμπόδια, όπως είναι οι αρχαιολογικοί χώροι, οι στρατιωτικές εγκαταστάσεις, οι τουριστικές εγκαταστάσεις κ. α.

β) Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

γ) Ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας

Για να επιλέξουμε τον κατάλληλο τύπο και το ταιριαστό μεγέθος των Α/Γ, επιβάλλεται να συγκρίνουμε τα χαρακτηριστικά στοιχεία και την καμπύλη ισχύος με τα υπάρχοντα ή μετρούμενα μεγέθη.

δ) Πλήθος ανεμογεννητριών – Χωροθέτηση

Ο αριθμός των Α/Γ που θα εγκατασταθούν εξαρτάται από τη διαθέσιμη έκταση. Με την προϋπόθεση ότι θα αποφεύγεται η σκίαση και θα επιλεγούν τα προσοδοφόρα σημεία εγκατάστασης.

Η διαθέσιμη έκταση επιβάλλεται να εντάσσεται σε περιοχή η οποία πληροί τις παρακάτω ιδιότητες:

i. Έχει επαρκές αιολικό δυναμικό, ώστε να έχουμε οικονομική βιωσιμότητα.

ii. Έχει σταθερούς ανέμους σε θέσεις χωρίς εμπόδια (φυσικά ή τεχνητά).

iii. Έχει ομογενή τοπογραφικά χαρακτηριστικά.

Για να προσδιορισθούν τα σημεία εγκατάστασης των Α/Γ, μέσα στη διαθέσιμη έκταση της ευρύτερης περιοχής, θα πρέπει:

- Να εξετάσουμε προσεκτικά τη διαθέσιμη έκταση, λαμβάνοντας υπόψη όλα τα υπάρχοντα δεδομένα.
- Να εντοπίσουμε τις τοποθεσίες με τα υψηλότερα αιολικά δυναμικά εντός της διαθέσιμης έκτασης.
- Να επιλέξουμε τα σημεία εγκατάστασης για κάθε τοποθεσία.

Για κάθε σημείο τοποθέτησης θα πρέπει να προσδιοριστούν:

i) Το υψόμετρο.

ii) Το ύψος του πύργου της α/γ.

iii) Οι συντεταγμένες χ και ψ.

iv) Η ταχύτητα του ανέμου για το ύψος του πύργου.

ε) Έργα υποδομής

Τα απαιτούμενα έργα υποδομής για την εγκατάσταση και λειτουργία των Α/Γ είναι:

- Πλατείες ανέγερσης Α/Γ.
- Οδοποϊία.
- Θεμελίωση Α/Γ (βάσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα).
- Κτίριο ελέγχου (κύριοι, βοηθητικοί και αποθηκευτικοί χώροι).

στ) Ηλεκτρολογικά έργα

Τα απαιτούμενα ηλεκτρολογικά έργα για την εγκατάσταση και λειτουργία των Α/Γ είναι:

- Υποσταθμός χαμηλής τάσης /μέσης τάσης (Χ.Τ./Μ.Τ) για κάθε Α/Γ, που τοποθετείται δίπλα ή εσωτερικά στη βάση του πύργου.
- Υπόγειες γραμμές μέσης τάσης (20 KV), από κάθε υποσταθμό της Α/Γ προς το κεντρικό υποσταθμό στο χώρο του κτιρίου ελέγχου.
- Κεντρικός υποσταθμός μέσης τάσης (20 KV) στο κτίριο ελέγχου.
- Τηλεπικοινωνίες και συστήματα τηλεπαρακολούθησης.
- Εναέρια γραμμή διασύνδεσης μέσης τάσης 20 KV.

ζ) Επιλογή του βασικού εξοπλισμού

Η επιλογή του βασικού εξοπλισμού γίνεται με βάση:

- Τη συνολική ονομαστική ισχύ των Α/Γ (ισχύς αιολικού πάρκου).
- Το μέγεθος των Α/Γ και τη δυνατότητα μεταφοράς και εγκατάστασης στα σημεία που έχουν καθορισθεί.
- Τις τεχνικές προδιαγραφές των Α/Γ και τη δυνατότητα εναρμόνισης με το δίκτυο.
- Τις οικονομικές προσφορές των εταιρειών για τις Α/Γ και τις πρόσθετες παροχές.

η) Επιπτώσεις στο περιβάλλον

Οι βασικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις τις οποίες πρέπει να αναφέρουμε είναι:

- Ηλεκτρομαγνητικά κύματα.
- Εκπομπές θορύβου.

- Επιδράσεις σε πτηνά.

θ) Οικονομική ανάλυση

3.1.3.3 Θεμελίωση – Τοποθέτηση – Στήριξη Α/Γ

Είναι επιτακτική ανάγκη εκπόνησης μιας στατικής μελέτης για την εγκατάσταση της α/γ, τόσο για την θεμελίωση της, όσο και για τη συνολική στήριξη.

Τα στάδια που απαιτούνται είναι τα ακόλουθα:

- Κατασκευή της θεμελίωσης
- Ανύψωση του πυλώνα της Α/Γ. Ο πύργος ανυψώνεται και τοποθετείται τμηματικά πάνω στα θεμέλια.
- Εγκατάσταση ατράκτου. Η άτρακτος ανυψώνεται και εγκαθίσταται στην κορυφή του πύργου.
- Εγκατάσταση δρομέα. Ο δρομέας (συνήθως δίπτερος ή τρίπτερος) συναρμολογείται στη βάση του πυλώνα και στη συνέχεια ανυψώνεται και συνδέεται με την άτρακτο.

3.1.3.4 Διάταξη αιολικού πάρκου

Η διάταξη των Α/Γ στο έδαφος (θέσεις και αποστάσεις) εξαρτάται από τον διαθέσιμο χώρο για την εγκατάσταση, καθώς επίσης και από τα χαρακτηριστικά σημεία με τα ευνοϊκότερα ανεμολογικά στοιχεία.

Στην πράξη, όταν υπάρχει διαθέσιμος χώρος και η περιοχή χαρακτηρίζεται από τα ίδια ανεμολογικά στοιχεία, τοποθετούμε τις Α/Γ σε απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον ίση με το δεκαπλάσιο της διαμέτρου του ρότορα ($L \geq 10D$).

Η απόσταση από τα όρια του αιολικού πάρκου, για λόγους ασφαλείας και σύμφωνα με την ισχύουσα νομοθεσία για περιοχές εκτός της οικιστικής ζώνης, θα πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τη διάμετρο του ρότορα ($L \geq D$).

3.1.3.5 Μέτρηση θορύβου στην ανεμογεννήτρια

Για να εξακριβώσουμε τα επίπεδα του θορύβου που παράγονται από μία ανεμογεννήτρια νέου τύπου, διεξάγουμε μετρήσεις στην ανεμογεννήτρια. Η ενέργεια αυτή αποσκοπεί στην επιβεβαίωση της εγγύησης ακουστικών εκπομπών τις οποίες παρέχει ο κατασκευαστής και οι τιμές της οποίας λαμβάνονται υπόψη για την εκτίμηση των αναμενόμενων επιπέδων θορύβου στον περιβάλλοντα χώρο. Ακόμα, διενεργούμε μετρήσεις για να εφαρμοστούν στη διαδικασία πιστοποίησής της ανεμογεννήτριας. Τα μεγέθη που μετράμε είναι:

- η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς της α/γ,
- η ταχύτητα περιστροφής δρομέα της α/γ,
- ακουστικά μεγέθη,
- θερμοκρασία,
- διεύθυνση ανέμου,
- βαρομετρική πίεση,
- ταχύτητα ανέμου.

Η μέτρηση γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα:

- MEASNET: Acoustic Noice Measurement Procedure, Version 2, January 2005.
- IEC 61400-11: "Wind turbine generator systems - Part 11: Acoustic noice measurement techniques" (2nd edition, 12/2002).
- IEC 61400-11, 2002: Amendment 1(05/2006).

3.1.3.6 Μέτρηση θορύβου στην α/γ στην θέση του αποδέκτη

Η μέτρηση του θορύβου της ανεμογεννήτριας στη θέση του αποδέκτη είναι μία διαδικασία η οποία επιτρέπει την καταγραφή της ηχοστάθμης του θορύβου, που εκπέμπεται από μία ή περισσότερες ανεμογεννήτριες και γίνεται αντιληπτός σε μία συγκεκριμένη θέση στην γύρω περιοχή. Η διαδικασία αυτή γίνεται κυρίως για να ελεγχθεί αν ο θόρυβος που παράγεται από την ανεμογεννήτρια ή το πάρκο είναι εντός των αποδεκτών επιπέδων θορύβου, που ορίζονται από τη σχετική νομοθεσία.

Η μέτρηση των επιπέδων του θορύβου, που εκπέμπεται από τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας ή αιολικού πάρκου στη θέση του αποδέκτη, εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό

από τα ποσοτικά και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του ανέμου που συναντάμε στην περιοχή που εργαζόμαστε. Η μέτρηση γίνεται σύμφωνα με τα πρότυπα:

- ISO 1996-1: 2003, Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures.
- ISO 1996-2: 2007, Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels.
- IEA Recommendations, part 10 (1997), Recommended practices for wind turbine testing. Part 10: Measurement of noise immission from wind turbines at noise receptor locations.

3.2 Ιστορική εξέλιξη

3.2.1 Ανεμόμυλοι

Ο ανεμόμυλος, πάνω στον οποίο οφείλουν την επινόησή τους οι ανεμογεννήτριες έπειτα, είναι αιολική μηχανή (δηλαδή μηχανή που μπορεί να εκμεταλλευτεί την κινητική ενέργεια του ανέμου για να παράγει έργο) οριζόντιου άξονα περιστροφής (δηλαδή ο ρότορας τους είναι ελικοειδής και βρίσκεται διαρκώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους). Χρησιμοποιήθηκε για την άλεση των δημητριακών και την άντληση νερού. Γνωστός από τα αρχαία χρόνια, διαδόθηκε σημαντικά στον ευρωπαϊκό και ελληνικό κόσμο.

Η πρώτη γνωστή περίπτωση χρήσης τροχού που κινείται από τον άνεμο για την λειτουργία μηχανής είναι ο ανεμόμυλος που σχεδιάστηκε τον 1ο αιώνα μ.Χ. από τον Ήρωνα της Αλεξάνδρειας. Ήταν οριζόντιου άξονα περιστροφής και είχε τέσσερα πτερύγια.

Γύρω στο 700 μ.Χ., στη Μεσοποταμία και την Κίνα άρχισαν να χτίζουν ανεμόμυλους κατακόρυφου άξονα περιστροφής. Αυτούς τους ανεμόμυλους έφεραν στην Ευρώπη καταρχήν οι Σταυροφόροι, μετά την Α΄ Σταυροφορία και αργότερα οι εξερευνητές της Κίνας. Γνώρισαν εξάπλωση στην Ιβηρική χερσόνησο και τη Νότια Ευρώπη. Αργότερα, γύρω στο 1500, χρησιμοποιήθηκαν στην Ολλανδία σαν μέρος του αντιπλημμυρικού συστήματος της χώρας. Η κύρια χρήση τους ήταν για την άλεση γεωργικών προϊόντων και την άντληση νερού.

Άν και είχαν εμφανιστεί πολλούς αιώνες πριν, η χρήση τους καθιερώθηκε κατά τη Βυζαντινή περίοδο, γνωρίζοντας ακόμα μεγαλύτερη διάδοση κατά την περίοδο της Φραγκοκρατίας, κυρίως στο ανατολικό Αιγαίο, αλλά και στην ηπειρωτική χώρα. Κατά κανόνα στεγάζονταν σε κυλινδρικά, πέτρινα, διώροφα κτίρια. Στον επάνω όροφο βρισκόταν ο άξονας και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, ενώ στον κάτω όροφο γινόταν η άλεση και

αποθήκευση των σιτηρών. Τα πτερύγιά τους ήταν πάνινα, 5-15 μέτρα σε μήκος και πλάτος το 1-3 μέτρα του μήκους τους. Ένας ανεμόμυλος μπορούσε να αλέσει 20-70 κιλά σιτηρών την ώρα, ανάλογα με την ένταση και τη φορά του ανέμου.

Στην Ελλάδα, η χρήση των ανεμόμυλων υπήρξε αρκετά εκτεταμένη, λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού της χώρας (υψηλές συγκεντρώσεις έντονων βαρομετρικών αυξομειώσεων που δημιουργούσαν ανέκαθεν πολλούς ανέμους, ιδίως στα νησιά του Αιγαίου). Σήμερα οι περισσότεροι ανεμόμυλοι έχουν ερειπωθεί και διατηρούνται ελάχιστοι, τους οποίους έχουν συντηρήσει για τουριστικούς λόγους.

Μια παραλλαγή ανεμόμυλου χρησιμοποιήθηκε στο οροπέδιο του Λασιθίου στην Κρήτη, για την άντληση νερού. Αυτοί ήταν σιδερένιες κατασκευές με πάνινα πτερύγια. Από τους 6.000 που υπολογίζεται ότι υπήρχαν στις αρχές του 20ού αιώνα, σήμερα λειτουργούν περίπου οι χίλιοι. Πολλοί από αυτούς διαθέτουν τέσσερα πτερύγια.

3.2.1.1 Ανεμόμυλοι στην Μέση Ανατολή

Ο ανεμόμυλος είναι μια διάταξη που χρησιμοποιεί ως κινητήρια δύναμη την κινητική ενέργεια του άνεμου (αιολική ενέργεια). Χρησιμοποιείται για την άλεση σιτηρών, την άντληση νερού και σε άλλες εργασίες. Φαίνεται ότι οι αρχαίοι λαοί της Ανατολής χρησιμοποιούσαν ανεμόμυλους, αν και η πρώτη αναφορά σε ανεμόμυλο (ένα περσικό συγκρότημα ανεμόμυλων του 644 μ.Χ.) εμφανίζεται σε έργα Αράβων συγγραφέων του 9ου μ.Χ. αιώνα. Αυτό το συγκρότημα των ανεμόμυλων βρισκόταν στο Σειστάν, στα σύνορα της Περσίας και Αφγανιστάν και ήταν "οριζόντιου τύπου", δηλαδή με ιστία (φτερά) τοποθετημένα ακτινικά σε έναν "κατακόρυφο άξονα". Ο άξονας αυτός στηριζόταν σε ένα μόνιμο κτίσμα με ανοίγματα σε αντιδιαμετρικά σημεία για την είσοδο και την έξοδο του αέρα. Κάθε μύλος έδινε απευθείας κίνηση σε ένα μόνο ζεύγος μυλόπετρες. Οι πρώτοι μύλοι είχαν τα ιστία κάτω από τις μυλόπετρες, όπως δηλαδή συμβαίνει και στους οριζόντιους νερόμυλους από τους οποίους φαίνεται ότι προέρχονταν. Σε μερικούς από τους μύλους που σώζονται σήμερα τα ιστία τοποθετούνται πάνω από τις μυλόπετρες. Τον 13ο αιώνα οι μύλοι αυτού του τύπου ήταν γνωστοί στην Βόρεια Κίνα, όπου μέχρι και τον 16ο αιώνα τους χρησιμοποιούσαν για εξάτμιση του θαλασσινού νερού στην παραγωγή αλατιού. Τον τύπο αυτό του μύλου χρησιμοποιούσαν επίσης στην Κριμαία, στις περισσότερες χώρες της Δυτικής Ευρώπης και στις ΗΠΑ, μόνο που λίγοι από αυτούς διασώζονται σήμερα. Ο πιο αντιπροσωπευτικός από όλους αυτούς τους τύπους των ανεμόμυλων είναι ο τύπος με το "στροφείο σχήματος S'' (S-Rotor) (εφευρέτης ο Φιλανδός S.J. Savinious) που ακόμη και σήμερα χρησιμοποιείται σε φτωχές ή απομονωμένες περιοχές, λόγω της φτηνής και εύκολης κατασκευής του.

3.2.1.2 Οι πρώτοι ευρωπαϊκοί ανεμόμυλοι

Ο ανεμόμυλος έφτασε στην Ευρώπη από τους Άραβες, χρησιμοποιήθηκε δε στον τύπο του κατακόρυφου ρωμαϊκού υδραυλικού τροχού, με τη διαφορά ότι ο ανεμόμυλος είχε στην θέση του τροχού κατακόρυφα φτερά που μετέδιδαν την κίνηση στις μυλόπετρες με ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών. Οι πρώτοι τέτοιοι περιστρεφόμενοι μύλοι εμφανίστηκαν στη Γαλλία το 1180, στην Αγγλία το 1191 και στη Συρία την εποχή των Σταυροφοριών (1190). Στις αρχές του 14ου αιώνα αναπτύχθηκε στη Γαλλία ο ανεμόμυλος σε σχήμα πύργου (ξετροχάρης). Σε αυτόν τον τύπο ανεμόμυλου οι μυλόπετρες και οι οδοντωτοί τροχοί ήταν τοποθετημένοι σε έναν σταθερό πύργο με κινητή οροφή ή "κάλυμμα", στην οποία στηρίζονταν τα ιστία και η οποία μπορούσε να στραφεί επάνω σε ειδική τροχιά, στην κορυφή του πύργου. Ο "περιστρεφόμενος ανεμόμυλος με κοίλο εσωτερικά άξονα" επινοήθηκε στις Κάτω Χώρες στις αρχές του 15ου αιώνα. Διέθετε έναν κατακόρυφο άξονα με γρανάζια στα δύο του άκρα ο οποίος περνούσε μέσα από τον κοίλο άξονα και κινούσε ένα τροχό με περιφερειακά διαταγμένα σκαφίδια που μετέφερε το νερό σε υψηλότερη στάθμη.

3.3 Γενική αρχή λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας

Μία ανεμογεννήτρια λειτουργεί ακριβώς αντίθετα από έναν ανεμιστήρα. Αντί να χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να δημιουργηθεί άνεμος, εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια του ανέμου για να παράγει ηλεκτρισμό. Η γενική αρχή λειτουργίας είναι η εξής:

Ο αέρας περιστρέφει τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι συνδεδεμένα με έναν περιστρεφόμενο άξονα χαμηλής ταχύτητας περιστροφής. Ο άξονας διαπερνά ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης στο οποίο αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Το κιβώτιο συνδέεται με έναν άξονα μεγαλύτερης ταχύτητας περιστροφής, ο οποίος κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Τα σύρματα μεταφοράς ρεύματος καταλήγουν σε έναν υποσταθμό όπου οι μετασχηματιστές του μετατρέπουν την υψηλή τάση σε χαμηλή για να μπορέσουν να λειτουργήσουν οι ηλεκτρικές καταναλώσεις. Οι σημερινές ανεμογεννήτριες μπορούν να παράγουν από μερικές δεκάδες ή εκατοντάδες W μέχρι μερικά MW.

Οι ανεμογεννήτριες έχουν διακόπτη κλεισίματος έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση ανεμοθύελλας ή ενός ανεμοστρόβιλου.

Εικόνα 3.8 *Τα μηχανικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας [22]*

3.4 Ισχύς ανεμογεννήτριας

Η ισχύς που αποδίδει και κατ' επέκταση η ενέργεια που παράγει μια ανεμογεννήτρια, είναι συνάρτηση της πυκνότητας του αέρα, των τεχνικών χαρακτηριστικών του συγκροτήματος και του κύβου της ταχύτητας του αέρα. Αυτό φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$P_{av} = (½) * \rho_{\alpha} * A * V^3 \quad (1)$$

όπου:

P_{av} = Ισχύς του αέρα ή θεωρητική ισχύς σε KW.

ρ_{α} = Πυκνότητα του αέρα σε Kgr / m^3.

A = Εμβαδόν του κύκλου που δημιουργείται από τη σάρωση των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας σε m^2.

V = Ταχύτητα του ανέμου σε m / sec.

- Η πυκνότητα του αέρα (ρ_{α}), υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$\rho_{\alpha} = [P_{\alpha} / (R_g * T_{\alpha})]$$

όπου:

P_{α} = Πίεση περιβάλλοντος σε Nt / m^2.

(1 atm = 10^5 Nt / m^2, 1 atm = 750,058 mmHg, l mmHg = 133,323 Nt / m^2)

R_g = Σταθερά αερίων, για τον ξηρό αέρα ισοδυναμεί με 287 J / Kgr * °K.

T_{α} = Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε °K.

$$(T_{\alpha} = \theta_{\alpha} + 273)$$

- Το εμβαδόν του κύκλου που δημιουργείται από τη σάρωση των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας, υπολογίζεται από τον τύπο:

$$A = [(\Pi * D^2) / 4]$$

όπου:

D = Διάμετρος πτερωτής ανεμογεννήτριας σε m (D = 2r).

Πρακτικά, μια ανεμογεννήτρια δεν είναι δυνατό να δεχτεί το σύνολο της ισχύος που υπολογίζεται από την σχέση (1), διότι θα παρέμενε ο αέρας που θα διερχόταν πίσω από τον έλικα και η κινητική ενέργεια στην έξοδο θα ήταν μηδενική.

Η παραγόμενη μηχανική ισχύς από την αιολική ενέργεια, καθορίζεται από την εξής σχέση:

$$P_{\mu\eta\chi.} = (½) * \rho_{\alpha} * A * V^3 * C_p$$

όπου:

C_p = Συντελεστής ισχύος, με τιμή ίση ή κατώτερη από 0,593 ($C_p \leq 0,593$).

Πρακτικά, ο συντελεστής ισχύος ισοδυναμεί κατά κανόνα με 0,385 (0,65 * 0,593).

Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς της γεννήτριας - με δεδομένο ότι οι μηχανικές απώλειες στους ανεμοκινητήρες υπολογίζονται στο 5 % (n_m = 95 %), ενώ οι ηλεκτρικές κυμαίνεται από το 2 % εώς το 5 % (n_H = 95 % εώς 98 %) - δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$P_{\eta\lambda.} = (½) * \rho_{\alpha} * A * V^3 * C_p * n_H * n_m$$

3.4.1 Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας ανεμογεννήτριας

Η ταχύτητα έναρξης λειτουργίας της Α/Γ Vmi ,εξαρτάται από τις απώλειες κενού φορτίου και υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P_{\kappa\varphi} = (½) * \rho_{\alpha} * C_p * A * V^3 * mi$$

οπότε:

$$V_{mi} = [P_{κφ} / ((1/2) * ρ_α * C_p * A)]^{⅓}$$

Επειδή: $P_{κφ} = 0,1 * P_n$, θα έχουμε:

$$V_{mi} = [(0,2 * P_n) / (ρ_α * C_p * A)]^{⅓}$$

όπου:

$ρ_α$ = Πυκνότητα αέρα σε Kg/m^3 (Η πιο σύνηθης τιμή του είναι: $ρ_α$ =1,25Kg/m^3).

C_p = Συντελεστής ισχύος (Η πιο σύνηθης τιμή του είναι: C_p = 0,385).

A = Επιφάνεια σάρωσης της φτερωτής της Α/Γ σε nr.

P_n = Ονομαστική ισχύς της Α/Γ σε W.

V_{mi} = Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας σε m/sec.

3.4.2 Ταχύτητα διακοπής λειτουργίας ανεμογεννήτριας

Η ταχύτητα διακοπής της λειτουργίας της Α/Γ, V_{mo}, καθορίζεται για το ύψος αναφοράς των 10 m και κυμαίνεται από 22 μέχρι 25 m/sec.

Οι κατασκευαστές στα χαρακτηριστικά στοιχεία της Α/Γ μας δίνουν την ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας, την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας και την ταχύτητα διακοπής. Στην πράξη για Α/Γ μέσης ισχύος, συνήθως έχουμε:

α) Ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας 12-15 m/sec.

β) Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας 3-5 m/sec.

γ) Ταχύτητα διακοπής λειτουργίας 20-25 m/sec.

3.5 Εφαρμογές ανεμογεννητριών

Απαιτείται σύνεση στην επιλογή του χώρου εγκατάστασης των ανεμογεννητριών, αλλά και γενικότερα στις εφαρμογές εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ώστε να μην αλλοιώνεται, με οποιονδήποτε τρόπο, η ποιότητα του περιβάλλοντος

της ευρύτερης περιοχής. Στην σύγχρονη εποχή, εξαιτίας της αλματώδους ανόδου της τεχνολογίας, η λειτουργία των ανεμογεννητριών έχει εξελιχθεί σε αθόρυβη στην πράξη. Σαν αποτέλεσμα, σήμερα, ο θόρυβος έχει σχεδόν εξαλειφθεί. Είναι αξιοσημείωτο ότι, ο σχεδιασμός των αιολικών πάρκων διαμορφώνεται, στις μέρες μας, με τρόπο τέτοιο ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή αρμονική συνύπαρξη εγκατάστασης και τοπίου.

Για την εξαγωγή αιολικής ενέργειας η ευρύτερα χρησιμοποιημένη μέθοδος είναι η ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα.. Η ονομαστική ισχύς κυμαίνεται από μερικά Watt έως MWatt σε μια συστοιχία μεγάλων ανεμογεννητριών που συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο. Ανάμεσα στο αιολικό πάρκο και το ηλεκτρικό δίκτυο παρεμβάλλεται υποσταθμός στον οποίο εγκαθίστανται οι μετασχηματιστές ανύψωσης τάσης και τα υπόλοιπα απαραίτητα συστήματα προστασίας.

Εναλλακτικά, οι ανεμογεννήτριες μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα:

- για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν τροφοδοτούνται από μια τέτοια μορφή ενέργειας.
- στα αντλιοστάσια για παραγωγή απαραίτητης μηχανικής ενέργειας.
- για παραγωγή θερμότητας.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες συνεχούς ρεύματος μπαίνουν σε λειτουργία από κοινού με συστοιχία συσσωρευτών για να αποθηκευτεί η ενέργεια που περισσεύει και να χρησιμοποιηθεί στο μέλλον σε συνθήκες άπνοιας. Οι ανεμογεννήτριες των μερικών Watt είναι χρήσιμες σε απομονωμένες εξοχικές ή αγροτικές κατοικίες όπου οι ενεργειακές απαιτήσεις δεν είναι μεγάλες. Στην πλειοψηφία των εφαρμογών, το αιολικό πάρκο διαθέτει ντηζελογεννήτρια, η οποία διοχετεύει την αδιάλειπτη παροχή ρεύματος.

Το μέρος της ανεμογεννήτριας που μετατρέπει την ενέργεια από τον άνεμο σε μηχανική ενέργεια είναι ο ρότορας. Η περιοχή που καλύπτει ο ρότορας είναι η περιοχή που καταγράφει την ενέργεια από τον άνεμο. Ο έλεγχος βήματος μιας ανεμογεννήτριας επιτρέπει τη ρύθμιση της άντλησης ενέργειας σε συνθήκες υψηλής ταχύτητας ανέμου. Από την άλλη πλευρά, η χρήση μεταβλητής ταχύτητας καθιστά τα συστήματα πιο δαπανηρά για την κατασκευή και συντήρηση. Ο κύριος στόχος της γεννήτριας είναι να μετασχηματίσει τη μηχανική ενέργεια που προσλαμβάνει ο ρότορας της ανεμογεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια που θα εγχυθεί στο ηλεκτρικό δίκτυο. Οι ασύγχρονες γεννήτριες χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές ανεμογεννητριών με στρατηγικές σταθερής ταχύτητας ή μεταβλητής ταχύτητας. Οι ηλεκτρομαγνήτες του δρομέα τροφοδοτούνται με ρεύμα συνεχούς ρεύματος διορθώνοντας μέρος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα άλλο είδος γεννήτριας που χρησιμοποιήθηκε πρόσφατα είναι ο μόνιμος μαγνήτης.

3.6 Τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις στις ανεμογεννήτριες

3.6.1 Ανεμογεννήτριες νέας τεχνολογίας

3.6.1.1 Νέα τεχνολογία για ανεμογεννήτριες σε περιοχές με χαμηλούς ανέμους

Συνηθίζεται τα επίγεια αιολικά πάρκα να είναι εγκατεστημένα σε σημεία που δεν παρεμβάλλονται εμπόδια, στα οποία μπορούμε να διοχετεύσουμε αρκετή ποσότητα αιολικής ενέργειας. Στην περίπτωση όμως, που οι άνεμοι δεν είναι ισχυροί, δεν παράγεται επαρκή ισχύς. Η εταιρεία VTT με έδρα την Φινλανδία, έλυσε το ζήτημα αυτό με την χρήση μεγαλύτερων λεπίδων συγκριτικά με τις αντίστοιχες της προηγούμενης γενιάς ανεμογεννητριών. Η μελέτη της VTT απέδειξε ότι οι ανεμογεννήτριες νέας τεχνολογίας θα αποδίδουν και σε μη ισχυρούς ανέμους. Σαν συνέπεια αυτού, οι εν λόγω μηχανές θα έχουν την δυνατότητα να εγκατασταθούν και σε πιο κλειστούς χώρους (π.χ. δασικές εκτάσεις). Η νέα τεχνολογία θα συμβάλλει στην θεαματική αύξηση της αιολικής ενέργειας. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι, από υπολογισμούς που έγιναν, η νέα τεχνολογία έχει την δυνατότητα να καλύψει το σύνολο της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας της Φινλανδίας (86 TWh), σε αντίθεση με την παλαιά τεχνολογία που πετύχαινε γύρω στις 16 TWh. Κάτι το οποίο ισοδυναμεί με πενταπλάσια αύξηση του προσφερόμενου αιολικού δυναμικού, γεγονός ιδιαίτερα προσοδοφόρο, παρότι η επενδυτική δαπάνη των νέων αιολικών πάρκων είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με το πρόσφατο παρελθόν.

Είκονα 3.9 *Νέες ανεμογεννήτριες φινλανδικής τεχνολογίας [20]*

3.6.1.2 Ενεργειακό δένδρο (Ανεμογεννήτρια AirTurbo)

Πρόκειται για μια ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα, που ανακαλύφθηκε πρόσφατα από Έλληνα επιστήμονα. Το γεγονός που κάνει την διαφορά συγκριτικά με τις τυπικές ανεμογεννήτριες είναι ότι μπορεί να αξιοποιήσει ανέμους οποιασδήποτε κατεύθυνσης, ενώ εκμεταλλεύεται ρεύματα αέρα που ανεβαίνουν ή κατεβαίνουν. Αξίζει να σημειωθεί ακόμη, ότι το ενεργειακό δένδρο έχει την δυνατότητα να αξιοποιεί το σύνολο της αιολικής ενέργειας που δέχεται η κατασκευή, μειώνοντας στο μέτρο του εφικτού-την ίδια στιγμή-τις αντίρροπες δυνάμεις.

Παρουσιάζει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Έχει αεροδυναμικό σχήμα.
- Ξεκινά να παράγει από την ένταση των 2 μποφόρ.
- Μικρότερη αλλοίωση του υλικού της σε σφοδρούς ανέμους.
- Τριφασική γεννήτρια μόνιμου μαγνήτη τελευταίας τεχνολογίας.
- Υλικά που αντέχουν στον χρόνο.
- Μικρότερη δαπάνη ανά Watt παραγόμενης ενέργειας.
- Δεν χρειάζεται συχνή συντήρηση.
- Αποθηκεύει περισσότερη κινητική ενέργεια στον σφόνδυλο της από οποιαδήποτε άλλη ανεμογεννήτρια.
- Υπό οποιεσδήποτε συνθήκες λειτουργίας παραμένει εντελώς αθόρυβη.
- Δυνατή κατασκευή, με υλικά άριστης ποιότητας που δεν σκουριάζουν, που έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και δεν αλλοιώνονται σε περιόδους κακοκαιρίας.
- Έχει 20ετή εγγύηση.
- Η ονομαστική τάση εξόδου της είναι: 12,24 και 48 Volts.

Εικόνα 3.10 *Ανεμογεννήτρια AirTurbo [21]*

Το ωστικό κύμα που παράγεται από την κίνηση των αυτοκινήτων σε μια πόλη, σε συνδυασμό με τον άνεμο που συναντά περιστρέφουν την ανεμογεννήτρια η οποία, χάρις στο σχήμα κατασκευής της, λειτουργεί με ανέμους από διαφορετικές κατευθύνσεις και με διαφορετικές ταχύτητες.

Συνίσταται για χρήση σε πόλη, για μια σειρά από λόγους:

α) Δεν είναι ογκώδης, δεν καταλαμβάνει μεγάλη έκταση.

β) Δεν ρυπαίνει το περιβάλλον.

γ) Μπορεί να λειτουργεί αδιαλείπτως με ανέμους οποιασδήποτε κατεύθυνσης και ταχύτητας, καθώς επίσης να τοποθετείται σε κατασκευές διαφόρων ειδών.

Ακόμα, η μορφή δένδρου που έχει, της επιτρέπει να διεισδύει χωρίς πρόβλημα στο περιβάλλον, αφού δεν δημιουργεί οπτική μόλυνση.

Το ενεργειακό δένδρο με την ενσωμάτωσή του σε εθνικές οδούς, θα έχει ακόμα πιο ευεργετικά αποτελέσματα όσον αφορά την λειτουργία του, διότι θα έχει την δυνατότητα να εκμεταλλεύεται την πίεση και την ταχύτητα που μετακινούνται οι αέριες μάζες σε σαφώς μεγαλύτερο βαθμό, αφού η ταχύτητα των αυτοκινήτων θα είναι και αυτή πολύ μεγαλύτερη.

Η ανεμογεννήτρια AirTurbo παρουσιάζει πληθώρα εφαρμογών, όπως οι παρακάτω:

- Σε κινητές και ακίνητες μονάδες διάσωσης.
- Σε μονάδες αντιμετώπισης φυσικών καταστροφών.

- Σε μονάδες παροχής ανθρωπιστικής βοήθειας σε μη διασυνδεδεμένα σημεία.
- Σε εξοχικές κατοικίες.
- Σε τροχόσπιτα.
- Σε ψύξη γάλακτος.
- Σε αφαλατώσεις.
- Σε διαφημιστικές κατοικίες.
- Σε γεωτρήσεις.
- Σε αυτόματο σύστημα άρδευσης.
- Σε δημόσια και ιδιωτικά κτήρια.
- Στον Στρατό.
- Σε σχολεία.
- Σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις.
- Σε ναυσιπλοϊκές γραμμές.
- Σε ορεινά καταφύγια.
- Σε αγροτικές αποθήκες και κτηνοτροφικές μονάδες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

4.1 Εισαγωγή

Η μέτρηση του αιολικού δυναμικού είναι το κρισιμότερο στάδιο στην ανάπτυξη κάθε εφαρμογής της αιολικής ενέργειας. Έχει στόχο τον προσδιορισμό των ανεμολογικών χαρακτηριστικών μια περιοχής υποψήφιας για εγκατάσταση ανεμογεννητριών.

Επίσης, αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή επιλογή θέσης ενός αιολικού πάρκου, καθώς και τη βέλτιστη διάταξη των ανεμογεννητριών σε αυτό.

Ως αιολικό δυναμικό ορίζεται η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου που μπορεί να δεσμευτεί ανά μονάδα επιφάνειας που προσβάλλεται από τον άνεμο. Ο προσδιορισμός του αιολικού δυναμικού μιας θέσης γίνεται σε ετήσια βάση με βάση την κατανομή της ταχύτητας (εντάσεως) του ανέμου, η οποία καθορίζεται πλήρως όταν είναι δεδομένες (κατ' ελάχιστον) οι ωριαίες τιμές της έντασης του ανέμου, καθώς και η συχνότητα εμφάνισης τους στη διάρκεια του έτους.

Πρακτικά, η καταγραφή των δεδομένων που απαρτίζουν το αιολικό δυναμικό μιας θέσης γίνεται μέσω της μέτρησης και καταγραφής της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου κατά τη διάρκεια ενός με δύο ετών το μέγιστο, με τη χρήση μετεωρολογικού ιστού, ο οποίος με τα όργανα που φέρει, λαμβάνει όλες τις απαραίτητες μετρήσεις.

4.2 Χαρακτηριστικά του ανέμου

Άνεμος είναι η οριζόντια, κυρίως, κίνηση μεγάλων μαζών του ατμοσφαιρικού αέρα και τρεις είναι οι κύριοι παράγοντες στην δημιουργία και την διαμόρφωση των κινήσεων του ατμοσφαιρικού αέρα:

α) η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονα της.

β) η ηλιακή ενέργεια που απορροφά η ατμόσφαιρα και η επιφάνεια του εδάφους.

γ) η ανομοιομορφία του γήινου ανάγλυφου.

Εξαιτίας αυτών των τριών παραγόντων, η κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της γης είναι ανομοιόμορφη και η διαφορά πιέσεων που δημιουργείται, εξαναγκάζει τις αέριες μάζες να κινηθούν, για να αντισταθμίσουν αυτήν τη διαφορά.

Επιβάλλεται να καταγραφούν τα δύο βασικά χαρακτηριστικά του ανέμου:

i) η διεύθυνσή του.

ii) η ταχύτητα ή έντασή του.

Η διεύθυνση του ανέμου καθορίζεται σε σχέση με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, και σαν αποτέλεσμα της καταγραφής της διεύθυνσης του ανέμου προκύπτει το πολικό διάγραμμα.

Στα προαναφερθέντα χαρακτηριστικά είναι σημαντικό να καταγραφεί η ύπαρξη ριπών ανέμου, η ύπαρξη στροβιλισμού και αναταράξεων, καθώς και το επίπεδο της τύρβης του ανέμου.

Έπειτα από την καταγραφή των δύο βασικών χαρακτηριστικών του ανέμου (έντασης και διεύθυνσης), ακολουθεί η επεξεργασία των ανεμολογικών στοιχείων με στόχο την κατασκευή του ιστογράμματος συχνότητας πιθανότητας του ανέμου, της ετήσιας καμπύλης διάρκειας, του πολικού διαγράμματος και των καμπυλών των διαστημάτων νηνεμίας της περιοχής. Η επεξεργασία αυτή, συνήθως είναι ετήσια.

Από το σύνολο των κινήσεων του ανέμου, η κρισιμότερη όσον αφορά τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, είναι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου.

4.3 Τύρβη και διάτμηση

Για την περιγραφή των χαρακτηριστικών του ανέμου, χρησιμοποιούμε στατιστικές τεχνικές, διότι οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι τυχαίες και δεν μπορούν να προβλεφθούν και να αναλυθούν με ασφαλή τρόπο. Τύρβη καλείται η διαταραχή της ταχύτητας σε περίοδο μικρότερη από την απαιτούμενη περίοδο ολοκλήρωσης της μέσης τιμής. Συνηθίζεται να υπολογίζουμε την τύρβη δεκαλέπτου, για να έχουμε ένα κοινό σημείο αναφοράς. Η διάτμηση μας δείχνει αν έχουμε πρόβλημα με μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου στη βάση της ανεμογεννήτριας σε σχέση με την ταχύτητα στο κέντρο (πλήμνη) της ανεμογεννήτριας. Διάτμηση καλείται η κλίση της καμπύλης της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος από το έδαφος. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να εξετάσουμε τη συγκεκριμένη παράμετρο όταν χωροθετούμε τις ανεμογεννήτριες, γιατί αν η κλίση της καμπύλης πάρει μια ορισμένη αρνητική τιμή, τότε υπάρχει το ρίσκο της πρόσκρουσης των πτερυγίων στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Αρνητική διάτμηση είναι πιθανότερο να εμφανιστεί σε περιοχές με έντονη ορογραφία.

4.3.1 Μέθοδος υπολογισμού τύρβης

Ο υπολογισμός της τύρβης στο σημείο εγκατάστασης είναι πολύ σημαντικός και γίνεται με βάση την γνωστή θεωρία περί ανάπτυξης τυρβώδους ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Κριτήριο για την επιλογή των σχέσεων για τους υπολογισμούς υπήρξε η μορφή της κατανομής της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου. Η κατανομή της κλίσης αυτής στο χώρο είναι ένδειξη της κατανομής της παραγωγής και της απόσβεσης της τύρβης. Μια λογαριθμική κατανομή, όπως αυτή παρουσιάζεται στο πεδίο που εξετάζουμε, μακριά από απόκρημνες πλαγιές αναμένεται να δώσει κατανομή τύρβης όπως αυτή των ομογενών πεδίων. Η σχέση που περιγράφει την κατανομή της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου είναι η εξής:

$$I = \frac{1}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}$$

όπου: z η τρέχουσα απόσταση ενός σημείου στην ατμόσφαιρα από το έδαφος και

z_o το μήκος τραχύτητας του εδάφους

4.4 Ανεμόμετρο

Για την μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιείται το ανεμόμετρο. Το απλό ανεμόμετρο αποτελείται από έναν κατακόρυφο άξονα στον οποίο είναι συμμετρικά εγκατεστημένοι τρείς (ή τέσσερις) βραχίονες που σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 120°. Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι προσαρμοσμένο ένα κοίλο μεταλλικό ημισφαίριο, με τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κάθετη. Με δεδομένο ότι η αεροδυναμική αντίσταση της κοίλης πλευράς είναι σημαντικά μεγαλύτερη της κυρτής, το σύστημα αρχίζει να περιστρέφεται με τέτοια φορά, ώστε να προηγείται το κυρτό μέρος των ημισφαιρίων. Ο αριθμός των περιστροφών του συστήματος καταγράφεται σε έναν κατάλληλο μετρητή που υπάρχει στην βάση του άξονα περιστροφής, και με αυτόν τον τρόπο προσδιορίζει την σχετική ταχύτητα του ανέμου.

Εικόνα 4.1 *Ανεμόμετρο απλό [23]*

Ακόμα υπάρχει και το ανεμόμετρο που αποτελείται από μια μικρή έλικα και από ένα μικρό πτερύγιο στην οπίσθια όψη του. Η ταχύτητα του ανέμου, σε αυτήν την περίπτωση, υπολογίζεται από την ταχύτητα περιστροφής της έλικας. Ταυτόχρονα, το πτερύγιο μας πληροφορεί για την διεύθυνση του ανέμου σε οποιαδήποτε στιγμή.

Διακρίνονται σε μόνιμα και φορητά.

Άλλοι τύποι ανεμομέτρου είναι :

- Ανεμόμετρο ταχύτητας.
- Ανεμόμετρο με ψύξη.
- Ανεμόμετρο με πίεση.

Αξίζει να σημειωθεί επιπλέον ότι, στην πλειοψηφία των οργάνων αυτών, υπάρχει και η δυνατότητα μέτρησης της υγρασίας και της θερμοκρασίας.

Εικόνα 4.2 *Ανεμόμετρο έλικας [25]*

4.5 Ανεμοδείκτης

Το όργανο αυτό μας επιτρέπει να εντοπίσουμε την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου. Πρόκειται για έναν υφασμάτινο σωλήνα κωνικού σχήματος, η μορφή του οποίου μοιάζει με μια γιγάντια κάλτσα.

Η διεύθυνση του ανέμου προσδιορίζεται από την αντίθετη κατεύθυνση που υποδεικνύει το όργανο. Για να γίνει πιο αντιληπτό αυτό, στην περίπτωση που ο ανεμοδείκτης σημαδεύει την Ανατολή, εξάγουμαι το συμπέρασμα ότι πρόκειται για Δυτικό άνεμο. Όσον αφορά δε την ταχύτητα του ανέμου, αυτή καθορίζεται από την γωνία του ανεμοδείκτη σε σχέση με την βάση στήριξης. Δηλαδή, άν πνέει ασθενής άνεμος, τότε ο ανεμοδείκτης χαλαρώνει. Αντίθετα, άν πνέει ισχυρός άνεμος, τότε το όργανο διατηρείται σε οριζόντια θέση.

Αρχικά, οι λευκές και πορτοκαλί χρώματος ρίγες του οργάνου, χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της ταχύτητας του ανέμου. Κάθε λωρίδα του ανεμοδείκτη αντιστοιχούσε σε εκτιμώμενη ταχύτητα ανέμου περίπου ίση με 5,55 χλμ./ώρα. Επομένως, στην περίπτωση του ανεμοδείκτη της παρακάτω εικόνας (4.3), όπου παρατηρούμε ότι το όργανο είναι σε πλήρη έκταση, διαπιστώνουμε ότι η εκτιμώμενη ταχύτητα του ανέμου είναι κατά προσέγγιση ίση με 22 χλμ./ώρα [5,55 * 4 (αριθμός ριγών) = 22,2].

Ο ανεμοδείκτης συνήθως χρησιμοποιείται σε αεροδρόμια για να υποδεικνύει στους πιλότους την ένταση και την διεύθυνση του ανέμου και σε χημικές βιομηχανίες όπου ελλοχεύει ο κίνδυνος της διαρροής αερίων. Ορισμένες φορές δε, ενδέχεται να τοποθετηθούν παραπλεύρως εθνικών οδών σε σημεία που πνέουν ισχυροί άνεμοι.

Εικόνα 4.3 *Ανεμοδείκτης [26]*

4.6 Μέτρηση αιολικού δυναμικού

Ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής βασίζεται σε μαθηματικούς τύπους, οι οποίοι εξαρτώνται από την μορφολογία του εδάφους. Πρόκειται για μια χρονοβόρα διαδικασία, η οποία συνηθίζεται να υλοποιείται σε περιοχές με έντονη ορογραφία. Σε παρόμοιες περιπτώσεις, φροντίζουμε ώστε η περιοχή που μας ενδιαφέρει να μην απέχει περισσότερο από 10 χιλιόμετρα περιμετρικά του ανεμόμετρου, έτσι ώστε να καταλήξουμε σε ακριβείς διαπιστώσεις για την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου.

Οι μετρήσεις αιολικού δυναμικού αποτελούν την πολυτιμότερη πληροφορία για το σχεδιασμό και την προετοιμασία για την εύρυθμη λειτουργία ενός αιολικού σταθμού.

Αρχικά, οι μετρήσεις προϋποθέτουν την χωροθέτηση ενός μεταλλικού ιστού σε ύψος κατ' ελάχιστο 10 μέτρων από το έδαφος και αποφεύγοντας (όπου αυτό είναι δυνατό) τα εμπόδια που πιθανόν να συναντήσει. Με αυτόν τον τρόπο κατορθώνουμε να εντοπίσουμε την καταλληλότερη θέση μέτρησης. Έπειτα, χρειαζόμαστε ακριβέστερες μετρήσεις, οπότε τοποθετούμε ιστούς σε μεγαλύτερο ύψος των 30 μέτρων (60 μέτρων κατά μέγιστο) από το έδαφος για να προσεγγίσουμε, όσο αυτό είναι εφικτό, το ύψος της πτερωτής της κάθε ανεμογεννήτριας που θα εγκατασταθεί. Στον μετεωρολογικό ιστό εγκαθιστούμε συνήθως ένα

ανεμόμετρο και έναν ανεμοδείκτη, έτσι ώστε στο ενδεχόμενο απώλειας ή φθοράς κάποιου οργάνου από τα προαναφερθέντα, να αναπληρωθεί από το έτερο όργανο, όσον αφορά τις μετρήσεις. Τα όργανα συνδέονται σε ένα καταγραφικό αναλογικού τύπου, το οποίο απεικονίζει τις μετρήσεις στην οθόνη του. Για εφαρμογές όπως η ανέγερση ενός αιολικού πάρκου, οι μετρήσεις διεξάγονται ανά 1 δευτερόλεπτο και ολοκληρώνονται με την συμπλήρωση 10 λεπτών. Με τον τρόπο αυτό έχουμε μέσες δεκάλεπτες τιμές για την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου.

Στην περίπτωση, όμως, που οι μετρήσεις διεξάγονται σε επίπεδα εδάφη, τότε τα αποτελέσματα χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ακρίβεια.

Οι μετρήσεις πρέπει να διαρκούν ένα έτος κατ' ελάχιστο για να είναι εφικτό να καταγραφούν όλες οι εποχιακές διακυμάνσεις που είναι πιθανό να εμφανίζονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή.

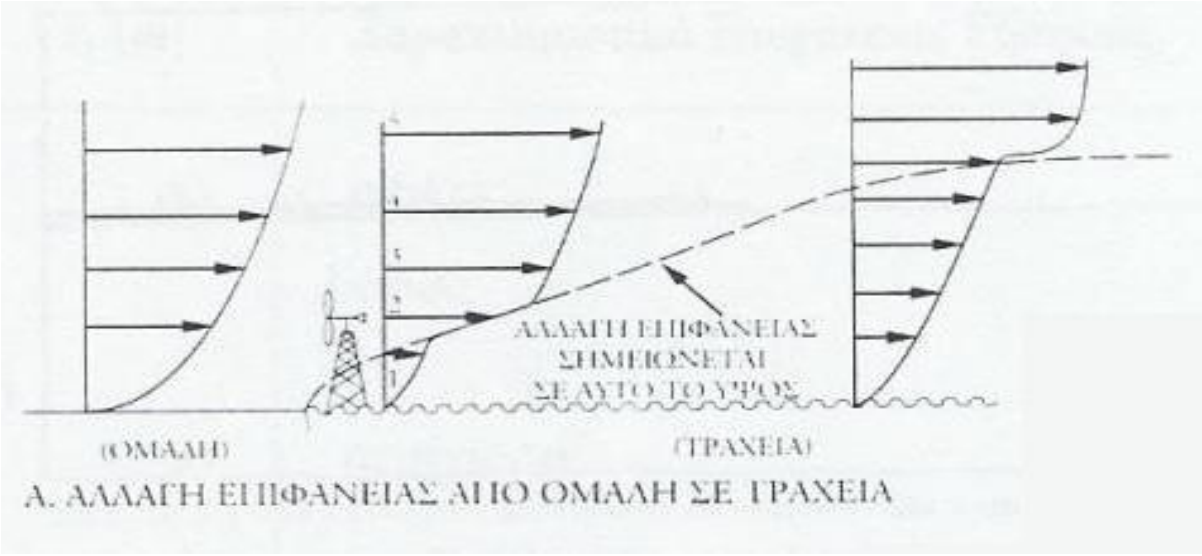
Εικόνα 4.4 *Καταγραφικό [28]*

4.7 Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου

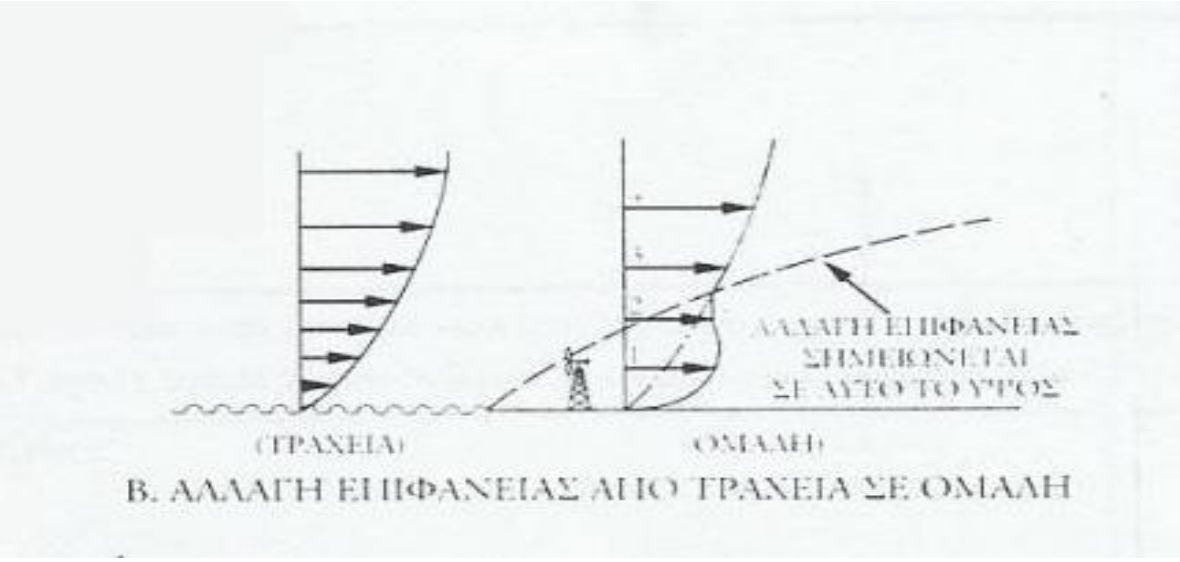
4.7.1 Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους

Το πόσο σημαντική επίδραση έχει στη συμπεριφορά του ανέμου το αντιλαμβανόμαστε αν αναλογιστούμε ότι καμιά φορά παρόλο που έχουμε ένα αιολικό πάρκο σε μια περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό, η απόδοσή του είναι μέτρια. Η αιτία γι' αυτό είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, η ανεμογεννήτρια λειτουργεί σε έντονα μεταβαλλόμενο πεδίο ροής λόγω της υψηλής τύρβης της περιοχής, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την ύπαρξη μεμονωμένων κτιρίων ή άλλων εμποδίων όσο και από την τραχύτητα του εδάφους της περιοχής.

Στις παρακάτω εικόνες παρατίθενται δύο παραδείγματα της επίδρασης της τραχύτητας του εδάφους, την στιγμή που αλλάζει η επιφάνεια του εδάφους.



Εικόνα 4.5 *Η επίδραση της τραχύτητας του εδάφους στην ταχύτητα του ανέμου – Αλλαγή επιφάνειας από ομαλή σε τραχεία [29]*

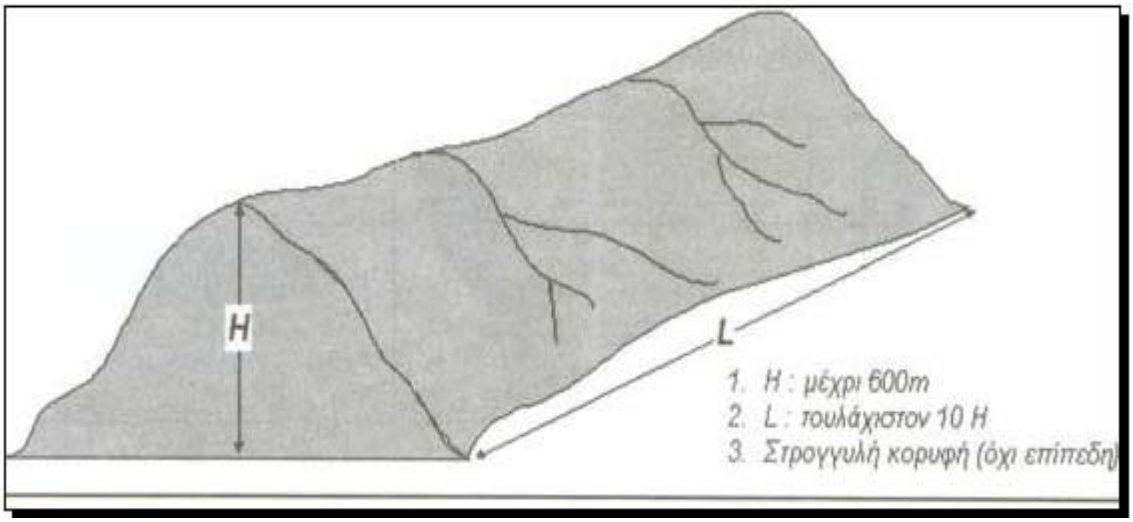


Εικόνα 4.6 *Η επίδραση της τραχύτητας του εδάφους στην ταχύτητα του ανέμου – Αλλαγή επιφάνειας από τραχεία σε ομαλή [29]*

4.7.2 Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής

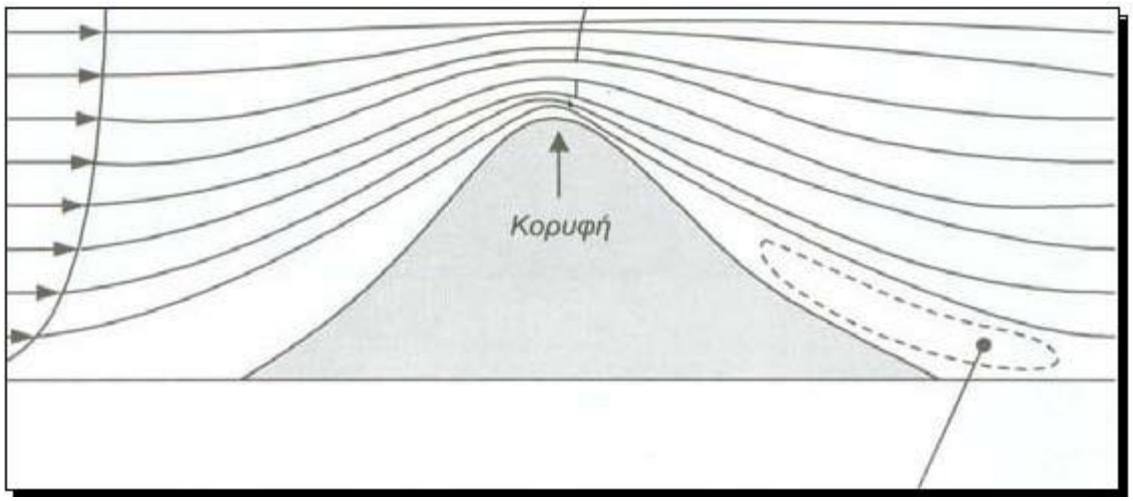
Άν επιχειρήσουμε να εφαρμόσουμε σε πραγματικές συνθήκες, τις αναλυτικές σχέσεις που αναφέρονται στη διανομή της ταχύτητας, θα παρατηρήσουμε ότι υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις από αυτά που θα αναμέναμε σύμφωνα με τα νούμερα που εξάγονται από τους τύπους. Αυτό εξηγείται εύκολα αν λάβουμε υπόψη μας ότι όλες αυτές οι σχέσεις ισχύουν σε ιδανικές συνθήκες και σε περιοχές που χαρακτηρίζονται «επίπεδες επιφάνειες». Στην πραγματικότητα όμως, δεν είναι δυνατό να συναντήσουμε μια τέτοια περιοχή. Μεγάλη επίδραση λοιπόν έχει και η μορφολογία του εδάφους στη συμπεριφορά του ανέμου και στην επιλογή κατάλληλης θέσης για την τοποθέτηση ανεμογεννήτριας.

Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε ορισμένα στοιχεία που αφορούν στην παρουσία λοφοσειρών και περασμάτων στην περιοχή την οποία εξετάζουμε. Για ακριβέστερες αναλύσεις, απαιτείται η μελέτη του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής είτε υπό κλίμακα σε αεροδυναμική σήραγγα είτε με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων πλήρους ανάλυσης του πεδίου ροής. Η έννοια της λοφοσειράς λαμβάνεται κάθετη στην επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (4.6). Το μέγιστο ύψος της λοφοσειράς δεν υπερβαίνει τα εξακόσια (600 m) μέτρα, ενώ το πλάτος της είναι τουλάχιστον δεκαπλάσιο του ύψους της λοφοσειράς. Η ανάλυσή μας βασίζεται στην υπόθεση ότι ο άνεμος περνάει επάνω από τη λοφοσειρά και δεν την παρακάμπτει κινούμενος πλαγίως.



Εικόνα 4.7 *Τυπική λοφοσειρά [6]*

Βασιζόμενοι στους κλασικούς νόμους της αεροδυναμικής υποηχητικών ταχυτήτων (π.χ εξίσωση Bernoulli), μπορούμε να πούμε ότι η κορυφή της λοφοσειράς είναι μια πολύ καλή θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας, δεδομένης της συμπίεσης των γραμμών ροής, η οποία ισοδυναμεί με επιτάχυνση της αέριας δέσμης. Ένας πιθανός διπλασιασμός της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή της κορυφής, ισοδυναμεί με οκταπλασιασμό της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου στην περιοχή αυτή. Συχνά είναι προτιμότερο να εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια λίγο πριν την κορυφή της λοφοσειράς, ώστε να αποφευχθούν αφενός αρνητικές κλίσεις της ταχύτητας που συνοδεύουν τυχόν αποκόλληση της ροής, αφετέρου περιοχές υψηλής τύρβης, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.7.



Εικόνα 4.8 *Πιθανή ζώνη υψηλής τύρβης [6]*

4.7.3 Επίδραση επιφανειακών εμποδίων

Με τον ορό επιφανειακό εμπόδιο εννοούμε κάθε εμπόδιο που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης είτε αυτό είναι φυσικό είτε τεχνητό και το οποίο εμποδίζει την ελεύθερη κυκλοφορία του ανέμου. Για την καλύτερη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας, είναι καλύτερο η πτερωτή της ανεμογεννήτριας να βρίσκεται εκτός περιοχής επίδρασης των επιφανειακών εμποδίων και αυτό γιατί έτσι έχουμε μεγιστοποίηση της διαθέσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου, το πεδίο ροής του ανέμου είναι ελεύθερο στροβιλισμού και η τύρβη του ανέμου ελάχιστη. Άρα είναι σημαντικό και σκόπιμο προτού κάνουμε οτιδήποτε να εντοπίσουμε αυτές τις περιοχές επιρροής των επιφανειακών εμποδίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

5.1 Κόστος αιολικού πάρκου

Η αξία του κόστους μιας ενεργειακής εγκατάστασης στην πορεία των χρόνων εξαρτάται από το αρχικό κόστος επένδυσης και από το αντίστοιχο κόστος συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης.

Το αρχικό κόστος μιας αιολικής εγκατάστασης περιλαμβάνει την αγορά, μεταφορά και εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, καθώς και του απαραίτητου ηλεκτρονικού-ηλεκτρικού εξοπλισμού, είτε για την αυτόνομη διαχείριση και αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, είτε για τη σύνδεση με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Πιο συγκεκριμένα, το αρχικό κόστος ίδρυσης μιας αιολικής μονάδας συνίσταται από το κόστος αγοράς των ανεμογεννητριών, καθώς και από το κόστος εγκατάστασης. Στο κόστος εγκατάστασης συμπεριλαμβάνονται τα κόστη μελέτης, επίβλεψης, διαμόρφωσης περιβάλλοντος χώρου, το κόστος θεμελίωσης και ανέγερσης των μηχανών, το κόστος μεταφοράς και εκτελωνισμού, το κόστος των απαραιτήτων αδειών και εγκρίσεων, το κόστος διασύνδεσης με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο ή τις καταναλώσεις, το κόστος αγοράς ή ενοικίασης του οικόπεδου του υπό κατασκευή αιολικού σταθμού, όπως επίσης και τα πιθανά χρηματοοικονομικά έξοδα.

Για τον καθορισμό του κόστους αγοράς και εγκατάστασης μιας ανανεώσιμης ενεργειακής μονάδας, επιβάλλεται να διεξαχθεί συστηματική έρευνα αγοράς, να συζητηθούν οι όροι εγγύησης και υποστήριξης από τον πωλητή και να ληφθεί υπόψη η συναλλαγματική ισοτιμία σε περιπτώσεις εισαγωγής του εξοπλισμού από χώρες με διαφορετικό νόμισμα.

Τα έξοδα που περιλαμβάνονται στο αρχικό κόστος του αιολικού πάρκου και αφορούν την κατασκευή και την εγκατάσταση του είναι τα ακόλουθα:

- Μελέτες και Άδειες

Όλες οι μελέτες, οι άδειες και τα παράβολα που απαιτούνται μέχρι και την άδεια λειτουργίας του πάρκου.

- Αγορά αιολικού πάρκου

Το κόστος των μηχανών, συμπεριλαμβανόμενου και του κόστους των πύργων ή του κόστους κατασκευής τους, στην περίπτωση που δεν αγοραστούν από την εταιρεία παραγωγής των ανεμογεννητριών.

- Μετεωρολογικός Ιστός

Περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του Ιστού στην θέση του πάρκου.

- Συναρμολόγηση και Εγκατάσταση

Όλα τα απαιτούμενα έξοδα για την ανέγερση του αιολικού πάρκου.

- Έργα Πολιτικού Μηχανικού

Εκσκαφές, επιχώσεις, διαμόρφωση πλατειών για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, διάνοιξη δρόμων, κτίριο ελέγχου.

- Γενικός Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός

Ο απαιτούμενος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός για όλο το αιολικό πάρκο.

- Ειδικός Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός

Επιπλέον εξοπλισμός για κάθε ανεμογεννήτρια. Μετασχηματιστές, γειώσεις , αντικεραυνική προστασία, σύστημα διόρθωσης κ.τ.λ.

- Σύνδεση με το Δίκτυο

Γραμμή μεταφοράς ενέργειας και κόστος υποσταθμού.

- Μετρητικές διατάξεις

Καλωδιώσεις και λογισμικά για την παρακολούθηση της λειτουργίας του πάρκου.

- Μεταφορά και ασφάλιστρα

Μεταφορά των ανεμογεννητριών από την εταιρεία παραγωγής στη θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.

- Εκπαίδευση προσωπικού

Το κόστος εκπαίδευσης του προσωπικού που θα αναλάβει τη συντήρηση και την επίβλεψη του αιολικού πάρκου.

Επίσης, υπάρχει η πιθανότητα κατά την πορεία εκτέλεσης του έργου να προκύψουν και επιπλέον δαπάνες.

1) Δαπάνες έργων πολιτικού μηχανικού

Τα δομικά έργα πολιτικού μηχανικού ενός αιολικού πάρκου είναι τα εξής:

- Θεμελιώσεις βάσεων των ανεμογεννητριών.
- Πλατείες ανέγερσης των ανεμογεννητριών.
- Δωμάτιο ελέγχου αιολικού πάρκου.
- Τάφροι όδευσης καλωδίων κατά μήκος του αιολικού πάρκου και για τη σύνδεση με τον υποσταθμό.

Η θεμελίωση μιας ανεμογεννήτριας αποτελεί βασικό στοιχείο για την επίτευξη επαρκούς στατικότητας. Το κόστος της περιλαμβάνει το κόστος διεκπεραίωσης από το εργατικό δυναμικό και το κόστος των χρησιμοποιούμενων υλικών όπως το σκυρόδεμα και τα μεταλλικά πλέγματα. Εκτιμάται ότι το κόστος θεμελίωσης για κάθε ανεμογεννήτρια ανέρχεται σε 15.000 ευρώ. Δηλαδή θα είναι:

$$15.000 * 3 \text{ Α/Γ} = 45.000 \text{ ευρώ}$$

Το κόστος ανέγερσης κάθε ανεμογεννήτριας που ακολουθεί της θεμελίωσης, περιλαμβάνει το κόστος διεκπεραίωσης από το εργατικό δυναμικό, καθώς και την εκμίσθωση του απαραιτήτου εξοπλισμού. Στον ειδικό εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνονται γερανοφόρο όχημα και βαρούλκα. Το κόστος της εκμίσθωσης του εξοπλισμού μπορεί να επιβαρυνθεί σημαντικά σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας του απαραιτήτου εξοπλισμού στην τοποθεσία εγκατάστασης. Στην περίπτωση αυτή, ο ειδικός εξοπλισμός θα πρέπει να μεταφερθεί στην εν λόγω περιοχή και αυτό συνεπάγεται επιπρόσθετο κόστος μεταφοράς και μεγαλύτερη χρονική διάρκεια εκμίσθωσης αυτού. Στο παράδειγμά μας, το κόστος ανέρχεται σε 15.000 ευρώ για κάθε ανεμογεννήτρια. Οπότε θα έχουμε:

$$3 \text{ Α/Γ} * 15.000 = 45.000 \text{ ευρώ.}$$

2) Δαπάνες ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού αιολικού πάρκου (προμήθεια – μεταφορά - εγκατάσταση)

Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός ενός αιολικού πάρκου αποτελείται από:

- Καλώδια οπτικών ινών.
- Αγωγοί, σωλήνες.
- Μικροί υποσταθμοί ζεύξης κλάδων κ.τ.λ.
- Γειώσεις.

Το κόστος για τον συγκεκριμένο εξοπλισμό είναι 190.000 ευρώ.

3) Κόστος αγοράς Α/Γ

Μια εκτίμηση του κόστους των ανεμογεννητριών παρέχει την ανηγμένη τιμή των 1000 ευρώ/kW και επομένως το συνολικό κόστος των 3 Α/Γ ανέρχεται σε:

3 * 800 KW * 1000 ευρώ / KW = 2.400.000 ευρώ.

Στο κόστος αυτό συμπεριλαμβάνονται όλα τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια:

- Ο κύριος άξονας και τα συστήματα κίνησης.
- Τα μηχανικά συστήματα πέδησης.
- Ο πύργος ύψους 65 μέτρων.
- Τα 3 πτερύγια που αντιστοιχούν σε κάθε ανεμογεννήτρια.
- Το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας.
- Το κιβώτιο ταχυτήτων και το σύστημα μετάδοσης ισχύος στη φυγοκεντρική αντλία.
- Το κάλυμμα.

Τα ανταλλακτικά συνήθως συνοδεύουν τις ανεμογεννήτριες και εμπεριέχονται στο αρχικό κόστος αγοράς. Η αγορά των ανταλλακτικών συγχρόνως με την αγορά των ανεμογεννητριών προτιμάται λόγω της ακριβότερης διάθεσης των πρώτων σε κάποια μεταγενέστερη χρονική περίοδο. Η έκταση του καταλόγου των ανταλλακτικών εξαρτάται κυρίως από την αξιοπιστία των ανεμογεννητριών, την εγγύηση που τις συνοδεύει, τη δυσκολία μεταφοράς στον τόπο εγκατάστασης καθώς και τη διαθεσιμότητα ορισμένων ανταλλακτικών. Το κόστος των ανταλλακτικών καταλαμβάνει το 3% της αξίας των 3 ανεμογεννητριών, οπότε θα έχουμε:

3% * 2.400.000 = 72.000 ευρώ.

4) Κόστος εκμίσθωσης οικοπέδου

Η έκταση που θα εκμεταλλευτούμε για ένα τέτοιο αιολικό πάρκο είναι περίπου 65 στρέμματα. Θα θεωρήσουμε ότι κάνουμε μια εκμίσθωση του οικοπέδου με ετήσιο κόστος 8000 ευρώ. Συνολικά για τα 20 χρόνια ζωής του αιολικού πάρκου θα μας κοστίσει 160.000 ευρώ.

5) Κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης Ανεμογεννήτριας

Οι δαπάνες μεταφοράς και εγκατάστασης εξαρτώνται από τον αριθμό των ανεμογεννητριών, τη διαδρομή που ακολουθείται και από τη δυσκολία της εγκατάστασης. Οι κυριότερες εργασίες προετοιμασίας και εγκατάστασης είναι οι ακόλουθες:

- Προετοιμασία και συναρμολόγηση πύργων.
- Προετοιμασία της πλήμνης.
- Τοποθέτηση του κώνου της πλήμνης.
- Προετοιμασία της ατράκτου.
- Εγκατάσταση ατράκτου στους πύργους.
- Κλείδωμα του ρότορα.
- Τοποθέτηση και σύνδεση καλωδίων στους πύργους και εγκατάσταση του ελεγκτή.
- Τοποθέτηση ανεμομέτρων και ανεμοδεικτών.
- Τοποθέτηση του κάθε πτερύγιου ξεχωριστά σε οριζόντια θέση.
- Εγκατάσταση Μ/Σ.

Το κόστος για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε σε 170.000 ευρώ.

6) Κόστος διασύνδεσης αιολικού πάρκου με το δίκτυο (Υ/Σ ανύψωσης τάσης)

Το κόστος διασύνδεσης ενός αιολικού πάρκου 10 MW με το δίκτυο κυμαίνεται στις 580.000 ευρώ. Για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε η τιμή των 139.200 ευρώ.

7) Οδοποιία πρόσβασης και εσωτερική οδοποιία

Η πρόσβαση σε κάθε μια ανεμογεννήτρια βρίσκεται σε συνάρτηση με την ποιότητα και τη μορφολογία του εδάφους της περιοχής εγκατάστασης. Στην περίπτωση όπου η τοποθεσία είναι δύσβατη και δεν επιτρέπει την απρόσκοπτη προσέγγιση σε κάθε ανεμογεννήτρια απαιτείται έργο οδοποιίας. Το κόστος υπολογίζεται σε 11.000 ευρώ / km.

8) Μελέτες, έξοδα τεχνικών και νομικών συμβούλων

Οι διαφορές μελέτες που πραγματοποιούνται για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου είναι οι παρακάτω:

- Τοπογραφικές μελέτες.
- Χάρτες ψηφιοποίησης.
- Τεχνοοικονομική μελέτη για ένταξη στο Ν.3299 η μελέτη οικονομικής χρηματοδότησης μέσω ΚΠΣ.
- Γεωτεχνικές μελέτες αιολικού πάρκου.
- Γεωφυσικές μελέτες αιολικού πάρκου.
- Μελέτες έργων πολιτικού μηχανικού αιολικού πάρκου.
- Νομικοί και Οικονομικοί σύμβουλοι.
- Μελέτες για πολεοδομικές άδειες.
- Μελέτες οδοποιίας.
- Μελέτη άδειας εγκατάστασης.
- Μελέτη αίτησης στον Αναπτυξιακό Νόμο ή οικονομικής χρηματοδότησης μέσω του Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης.
- Μελέτη άδειας παραγωγής.
- Μελέτη εκτίμησης παραγωγής και αιολικού δυναμικού.
- Μελέτες Η/Μ έργων αιολικού πάρκου.

Το κόστος του συνόλου των μελετών εξαρτάται από τις δυσκολίες των μελετών, όπως επίσης και από το βαθμό δυσκολίας των νομικών,τεχνικών και χωροταξικών θεμάτων. Το κόστος του έργου ανέρχεται σε 170.000 ευρώ.

9) Κόστος συστήματος SCADA

Στο κτίριο ελέγχου του αιολικού πάρκου θα εγκατασταθεί πλήρες Σύστημα Ελέγχου, Εποπτείας και Μετρήσεων (SCADA), το οποίο θα περιλαμβάνει κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, εκτυπωτή, modem, interface κλπ., περιφερειακές μονάδες με επεξεργαστή (RTU) σε κάθε ανεμογεννήτρια και κάθε μετεωρολογικό ιστό και το απαραίτητο εξειδικευμένο λογισμικό για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου και μετρήσεων. Μέσω του συστήματος SCADA το αιολικό πάρκο θα έχει τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας με το Κέντρο Κατανομής φορτίου της Δ.Ε.Η. Το κόστος του ανέρχεται στις 150.000 ευρώ.

10) Εγγυητική επιστολή περιοχής ανέγερσης – Αγορά οικοπέδου Υποσταθμού

Η έκταση ενός αιολικού πάρκου εξαρτάται από τον αριθμό των ανεμογεννητριών και τη χωροθέτηση τους. Για το αιολικό πάρκο που εξετάζουμε έχουμε υπολογίσει 65 στρέμματα. Για την παραχώρηση της έκτασης αυτής εκδίδεται εγγυητική επιστολή 2% επί του θεωρημένου προϋπολογισμού του έργου προς τον δημόσιο φορέα στον οποίο ανήκει.

11) Έξοδα Συντήρησης

Ώς βοηθητικές ύλες μπορούν να θεωρηθούν οι αναλώσιμες ύλες για την ομαλή λειτουργία και συντήρηση των ανεμογεννητριών, όπως π.χ. λιπαντικές ουσίες, υδραυλικά υγρά κ.λ.π. Οι βοηθητικές για τα πέντε πρώτα έτη λειτουργίας είναι περίπου 7.000 ευρώ ανά ανεμογεννήτρια ανά έτος.

12) Διάφορα γενικά και τραπεζικά έξοδα

Το συνολικό κόστος για τα έξοδα αυτά ανέρχεται στα 1.200.000 ευρώ για αιολικά πάρκα έως 30 MW. Για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε στα 125.000 ευρώ.

13) Ετήσιες επιπλέον δαπάνες

- ✓ Σύμβαση συντήρησης εξοπλισμού 45.000 ευρώ
- ✓ Ασφάλιστρα 3% του βασικού εξοπλισμού
- ✓ Αμοιβή λογιστή 3.000 ευρώ
- ✓ Συντηρητής 3.200 ευρώ
- ✓ Δημοτικοί φόροι και τέλη 3% (ετήσια έσοδα)
- ✓ Φόροι 20% από τα κέρδη

Εργασίες	Κόστος (Ευρώ)
Έργα πολιτικού μηχανικού	45.000 € + 45.000 € = 90.000 €
Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός	190.000 €
Κόστος αγοράς α/γ	2.400.000 € + 72.000 € = 2.472.000 €
Κόστος εκμίσθωσης οικοπέδου	160.000 €
Κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης α/γ	170.000 €
Κόστος διασύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο	139.200 €
Μελέτες, έξοδα τεχνικών και νομικών συμβούλων	170.000 €
Κόστος συστήματος SCADA	150.000 €
Γενικά και τραπεζικά έξοδα	125.000 €
Σύνολο	**3.666.200 €**

Πίνακας 5.1 *Ανάλυση κόστους αγοράς και εγκατάστασης αιολικού πάρκου 2,4 MW [10]*

5.2 Παράδειγμα εφαρμογής αιολικού πάρκου με το λογισμικό διαχείρισης καθαρής ενέργειας RETScreen

Το λογισμικό RETScreen θεωρείται σήμερα ως ένα από τα ελάχιστα εργαλεία λογισμικού, και με διαφορά το πιο αξιόπιστο, που διατίθεται για την οικονομική αξιολόγηση των εγκαταστάσεων ανανεώσιμης ενέργειας, αλλά και ως ένα εργαλείο για την ενίσχυση της συνοχής της αγοράς στην καθαρή ενέργεια παγκοσμίως. Η έκδοση που χρησιμοποιούμε στην εργασία είναι η RETScreen Expert, η οποία αποτελεί την τρέχουσα έκδοση του λογισμικού.

Το πρόγραμμα επιτρέπει την ολοκληρωμένη αναγνώριση, αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της τεχνικής και οικονομικής βιωσιμότητας δυνητικών έργων ανανεώσιμης ενέργειας και ενεργειακής απόδοσης, καθώς επίσης και τη μέτρηση και επαλήθευση της πραγματικής απόδοσης των εγκαταστάσεων και την αναγνώριση των ευκαιριών εξοικονόμησης ή παραγωγής ενέργειας.

Σε αντίθεση με προγενέστερες εκδόσεις, το RETScreen Expert αποτελεί μια ολοκληρωμένη πλατφόρμα λογισμικού: χρησιμοποιεί λεπτομερή και περιεκτικά αρχέτυπα για την εκτίμηση των

έργων και περιλαμβάνει τη δυνατότητα ανάλυσης χαρτοφυλακίου. Η εν λόγω έκδοση ενσωματώνει μια σειρά από βάσεις δεδομένων για να βοηθήσει το χρήστη, συμπεριλαμβανομένης μιας παγκόσμιας βάσης δεδομένων κλιματολογικών συνθηκών που λαμβάνονται από 6.700 επίγειους σταθμούς και δορυφορικά δεδομένα της NASA, μιας βάσης δεδομένων αναφοράς, μιας βάσης δεδομένων κόστους, μιας βάσης δεδομένων έργων, μιας υδρολογικής βάσης δεδομένων και μιας βάσης δεδομένων προϊόντων.

Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τέσσερις διαφορετικούς τύπους κελιών στο Excel τα οποία ξεχωρίζουν από την απόχρωση τους. Αυτοί οι τύποι κελιών είναι οι παρακάτω:

- Τα μπέζ κελιά που είναι απαραίτητα για να τρέξει το μοντέλο και είναι δεδομένα που τα εισάγει ο χρήστης.
- Τα γκρι κελία που δεν είναι απαραίτητα για να τρέξει το μοντέλο και τα συμπληρώνει ο χρήστης μόνο για μια απλή αναφορά.
- Τα γαλάζια κελία, που είναι απαραίτητα για να τρέξει το μοντέλο, και υπάρχουν σε αυτά πληροφορίες από τη βάση δεδομένων του προγράμματος και τα εισάγει ο χρήστης.
- Τα λεύκα κελιά που περιλαμβάνουν τα αποτελέσματα που βγάζει το μοντέλο και συμπληρώνονται αυτόματα από το πρόγραμμα.

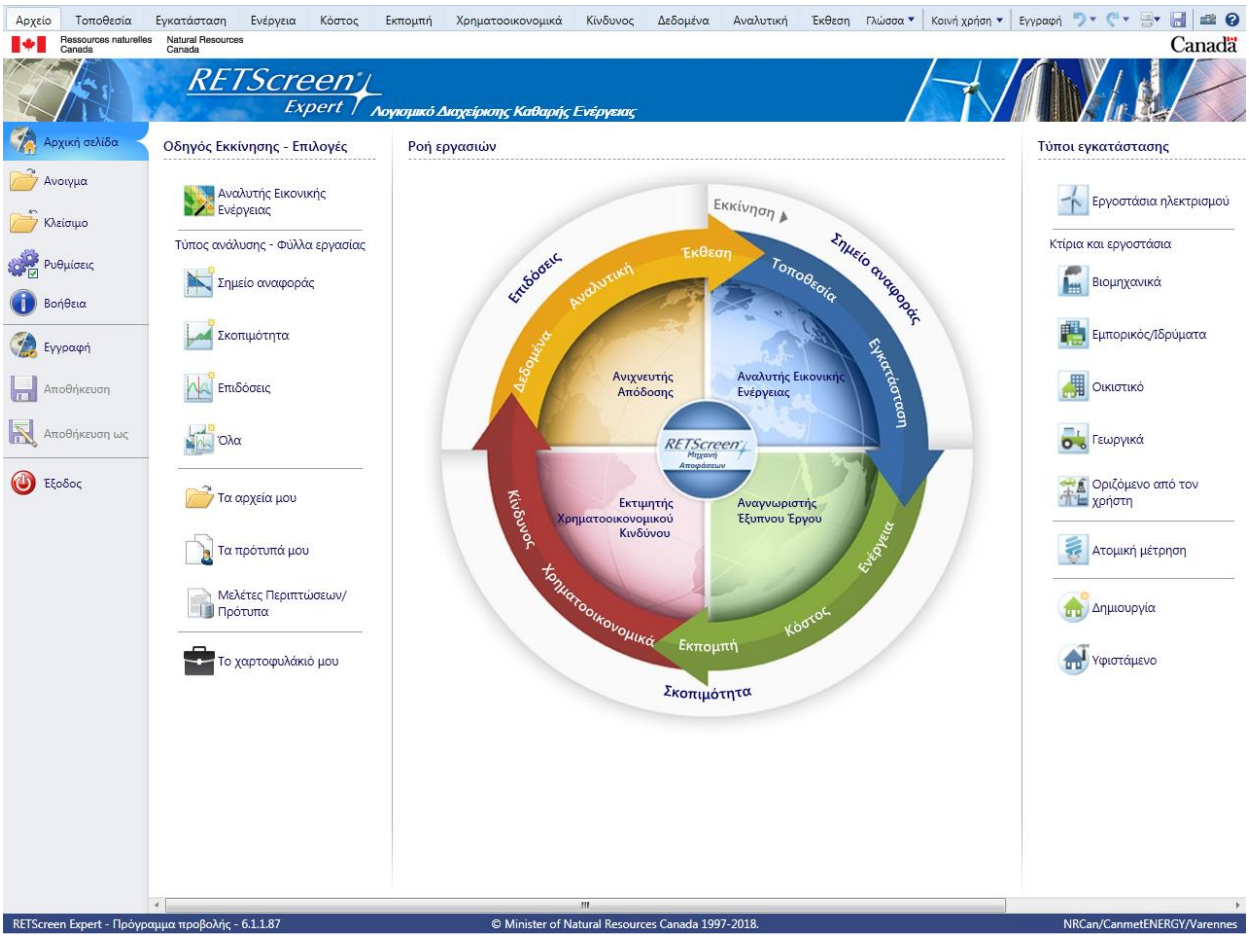
Το πρόγραμμα αποτελείται από μια σειρά από φύλλα εργασίας και χρησιμοποιεί το περιβάλλον εργασίας του Excel. Αυτά τα φύλλα εργασίας ακολουθούν μια τυποποιημένη προσέγγιση για όλα τα πρότυπα RETScreen και είναι τα εξής:

- Εκκίνηση
- Τοποθεσία
- Εγκατάσταση
- Ενεργειακό μοντέλο
- Ανάλυση κόστους
- Ανάλυση εκπομπών
- Οικονομική ανάλυση
- Ανάλυση ευαισθησίας και επικινδυνότητας

Έπειτα ακολουθεί μια πιο συνοπτική περιγραφή των βασικών λειτουργιών του προγράμματος λαμβάνοντας ως παράδειγμα ένα αιολικό πάρκο 2,4 MW στην Σύρο.

5.2.1 Εκκίνηση

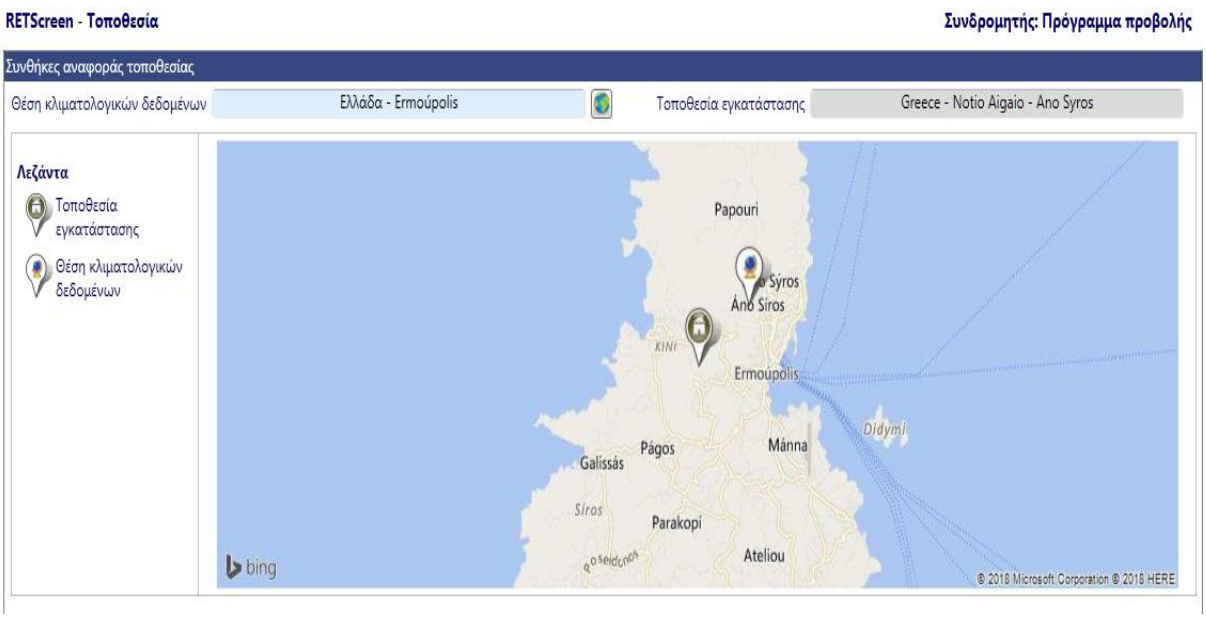
Αρχικά, στο φύλλο εκκίνησης έχουμε την δυνατότητα να παρακολουθήσουμε την ροή εργασιών (ενταγμένες σε ενότητες κάθεμία από αυτές) ενός έργου, καθώς επίσης και τις διαθέσιμες επιλογές που παρέχει το πρόγραμμα. Το κρισιμότερο σημείο σε αυτό το φύλλο είναι να επιλέξουμε τον τύπο της εγκατάστασης που επιθυμούμε. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγουμε «Εργοστάσια ηλεκτρισμού».



Εικόνα 5.1 *Φύλλο εκκίνησης [34]*

5.2.2 Τοποθεσία

Αρχικά, επιλέγουμε την τοποθεσία εγκατάστασης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα επιλέγουμε την Άνω Σύρο. Όσον αφορά τη θέση λήψης κλιματολογικών δεδομένων, επιλέγουμε ‘’Ermoupolis, Greece’’ ως την καταλληλότερη από τις επιλογές που διαθέτει το RETScreen.



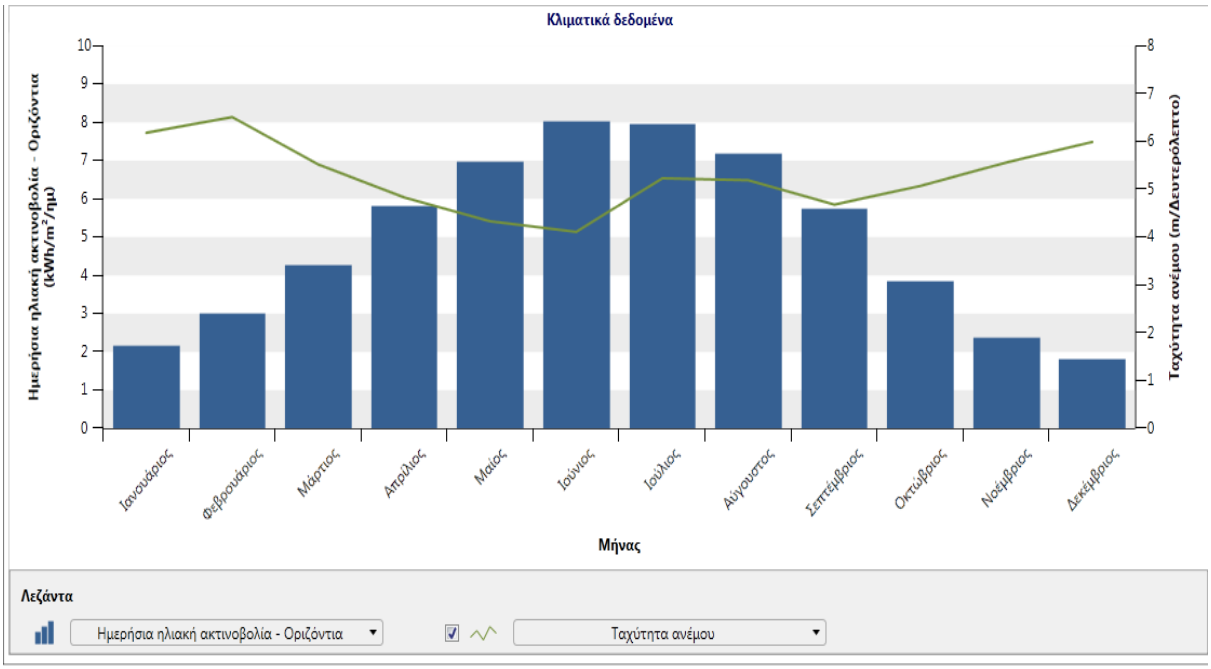
Εικόνα 5.2 *Συνθήκες αναφοράς τοποθεσίας [34]*

Το πρόγραμμα εμφανίζει διάφορες πληροφορίες σχετικά με τον συγκεκριμένο σταθμό, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου κ.α., οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικότερα στην Εικόνα 5.3. Επιπρόσθετα, έχουμε την δυνατότητα να απεικονίσουμε γραφικά όποια από τα προαναφερθέντα μεγέθη επιθυμούμε, όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.4. Στην εν λόγω εικόνα παρατίθενται η ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου κατά την διάρκεια των 12 μηνών του έτους.

	Μονάδα	Θέση κλιματολογικών δεδομένων	Τοποθεσία εγκατάστασης	Πηγή
Γεωγραφικό πλάτος		37.5	37.4	
Γεωγραφικό μήκος		24.9	24.9	
Κλιματική ζώνη		3A - Θερμό - Υγρό		NASA
Υψόμετρο	m	21	237	NASA – Χάρτης
Θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμού	°C	5.3		NASA
Θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού	°C	28.8		NASA
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους	°C	10.6		NASA

Μήνας	Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	Κατακρήμνιση	Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία - Οριζόντια	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμό-ημέρες θέρμανσης 18 °C	Βαθμο-ημέρες ψύξης 10 °C
	°C	%	mm	kWh/m²/ημ	kPa	m/Δευτερόλεπτ	°C	°C-ημ	°C-ημ
Ιανουάριος	11.1	67.6%	89.23	2.18	101.1	6.2	11.9	214	34
Φεβρουάριος	10.8	65.8%	66.13	3.03	101.0	6.5	12.1	202	22
Μάρτιος	12.5	63.8%	62.24	4.29	100.8	5.5	13.6	171	78
Απρίλιος	15.8	62.4%	42.32	5.84	100.6	4.8	16.3	66	174
Μαίος	20.0	59.2%	33.79	6.98	100.6	4.3	20.0	0	310
Ιούνιος	24.1	55.9%	13.59	8.04	100.5	4.1	23.6	0	423
Ιούλιος	26.0	55.4%	7.65	7.96	100.3	5.2	25.3	0	496
Αύγουστος	25.9	56.9%	11.95	7.18	100.4	5.2	25.3	0	493
Σεπτέμβριος	23.4	58.2%	36.08	5.75	100.7	4.7	23.3	0	402
Οκτώβριος	19.6	62.5%	55.09	3.87	101.0	5.1	19.9	0	298
Νοέμβριος	15.4	67.5%	99.61	2.37	101.0	5.6	15.9	78	162
Δεκέμβριος	12.2	69.1%	105.44	1.81	101.0	6.0	13.0	180	68
Ετήσιο	**18.1**	**62.0%**	**623.12**	**4.95**	**100.7**	**5.3**	**18.4**	**910**	**2,960**
Πηγή	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA
Μετρημένο σε					m	10	0		

Εικόνα 5.3 *Κλιματικά δεδομένα περιοχής [34]*



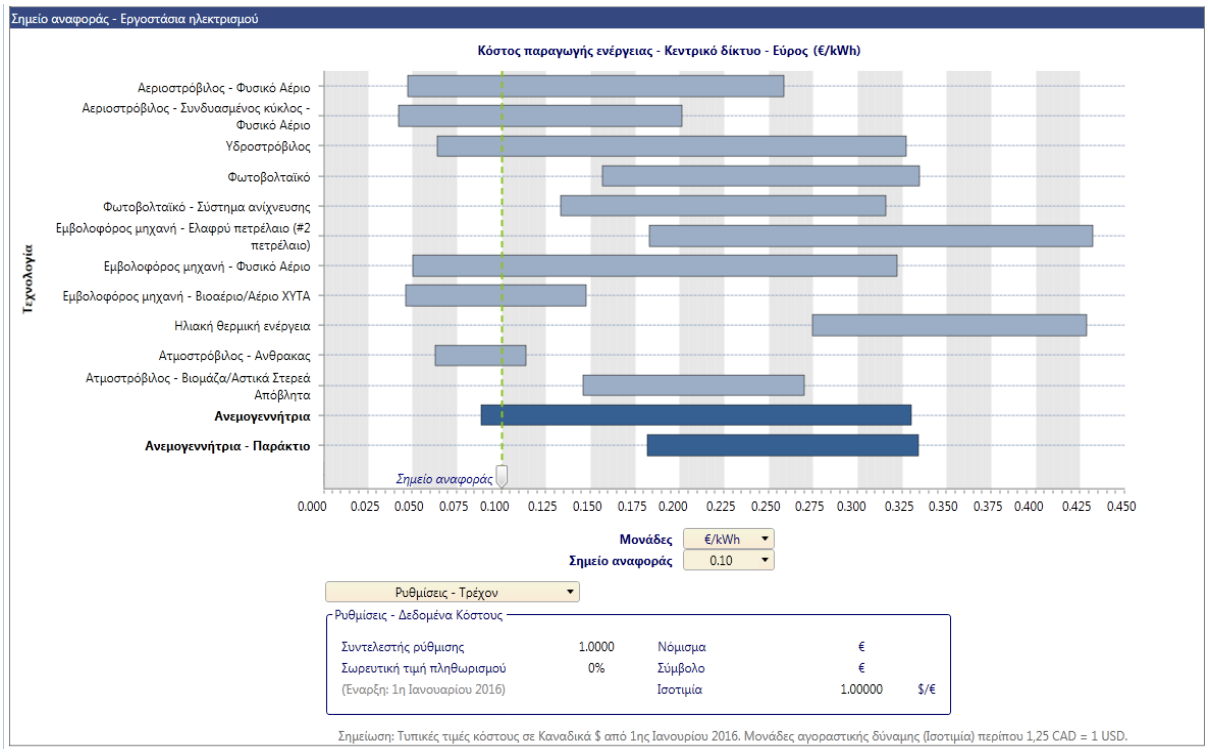
Εικόνα 5.4 *Επίπεδα ημερήσιας ηλιακής ακτινοβολίας και καμπύλη ταχύτητας ανέμου [34]*

5.2.3 Εγκατάσταση

Σε αυτό το φύλλο συμπληρώνονται τα βασικά χαρακτηριστικά του έργου που θέλουμε να υλοποιήσουμε. Όσον αφορά το πρώτο τμήμα του συγκεκριμένου φύλλου, επιλέγουμε αρχικά τον τύπο της εγκατάστασης και τον τύπο του έργου. Στην προκειμένη περίπτωση επιλέγουμε «Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας» και «Ανεμογεννήτρια». Έπειτα, συμπληρώνουμε την περιγραφή του έργου (Αιολικό πάρκο 2,4 MW) και επιλέγουμε την χώρα εγκατάστασής τους (Ελλάδα).

Εικόνα 5.5 *Πληροφορίες για τις εγκαταστάσεις [34]*

Στο φύλλο εγκατάστασης υπάρχει ακόμα η δυνατότητα εμφάνισης του σημείου αναφοράς. Στο διάγραμμα αυτό αποτυπώνεται το κόστος παραγωγής ενέργειας σε € / kWh για κάθε εργοστάσιο ηλεκτρισμού.



Εικόνα 5.6 *Σημείο αναφοράς – Εργοστάσια ηλεκτρισμού [34]*

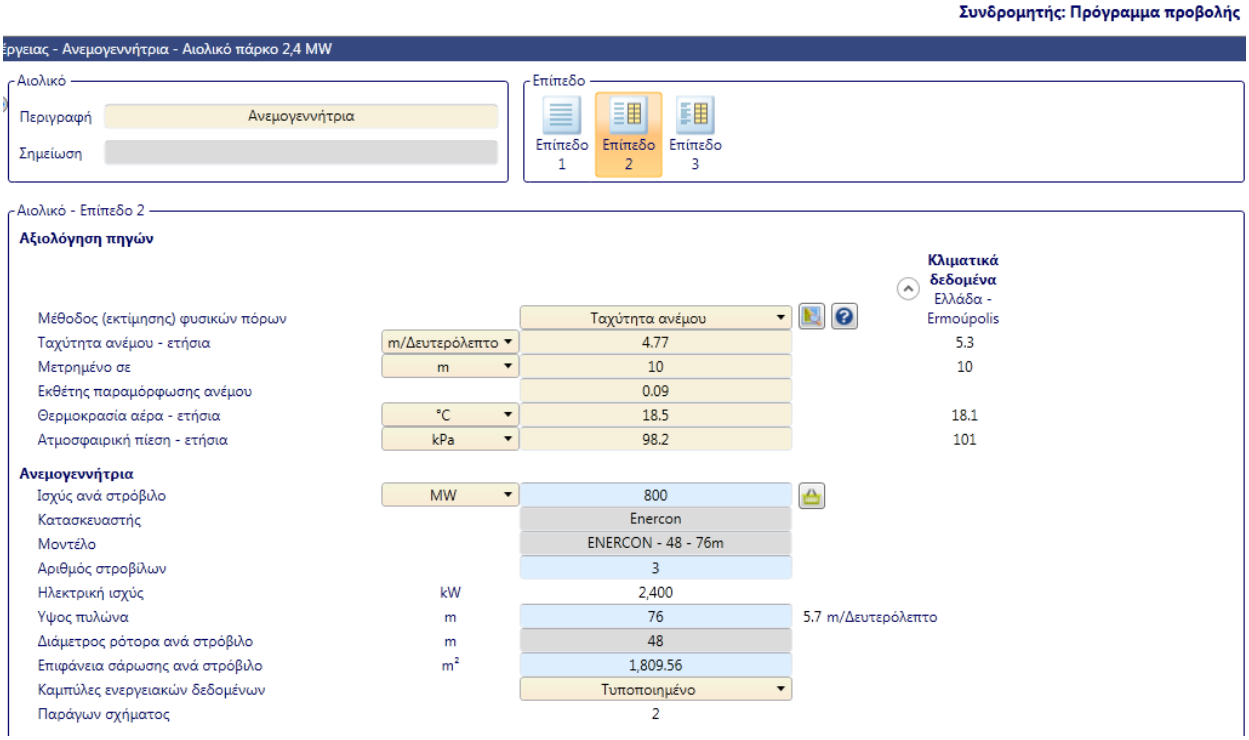
5.2.4 Ενεργειακό μοντέλο

Στο φύλλο του ενεργειακού μοντέλου εισάγονται τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης και συμπληρώνονται τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών που πρόκειται να εγκατασταθούν, η ισχύς, το ύψος και ο αριθμός τους, καθώς και οι διάφοροι συντελεστές που σχετίζονται με την απόδοση της ανεμογεννήτριας, τις απώλειες του συστήματος και την τελική ενέργεια που παραδίδεται στο σύστημα.

Στο κελί που αφορά την τεχνολογία που χρησιμοποιείται επιλέγουμε ανεμογεννήτρια, ενώ στο επίπεδο ανάλυσης επιλέγουμε το 2^{ο} επίπεδο. Ακόμα, ως μέθοδος εκτίμησης φυσικών πόρων επιλέγουμε την ταχύτητα του ανέμου.

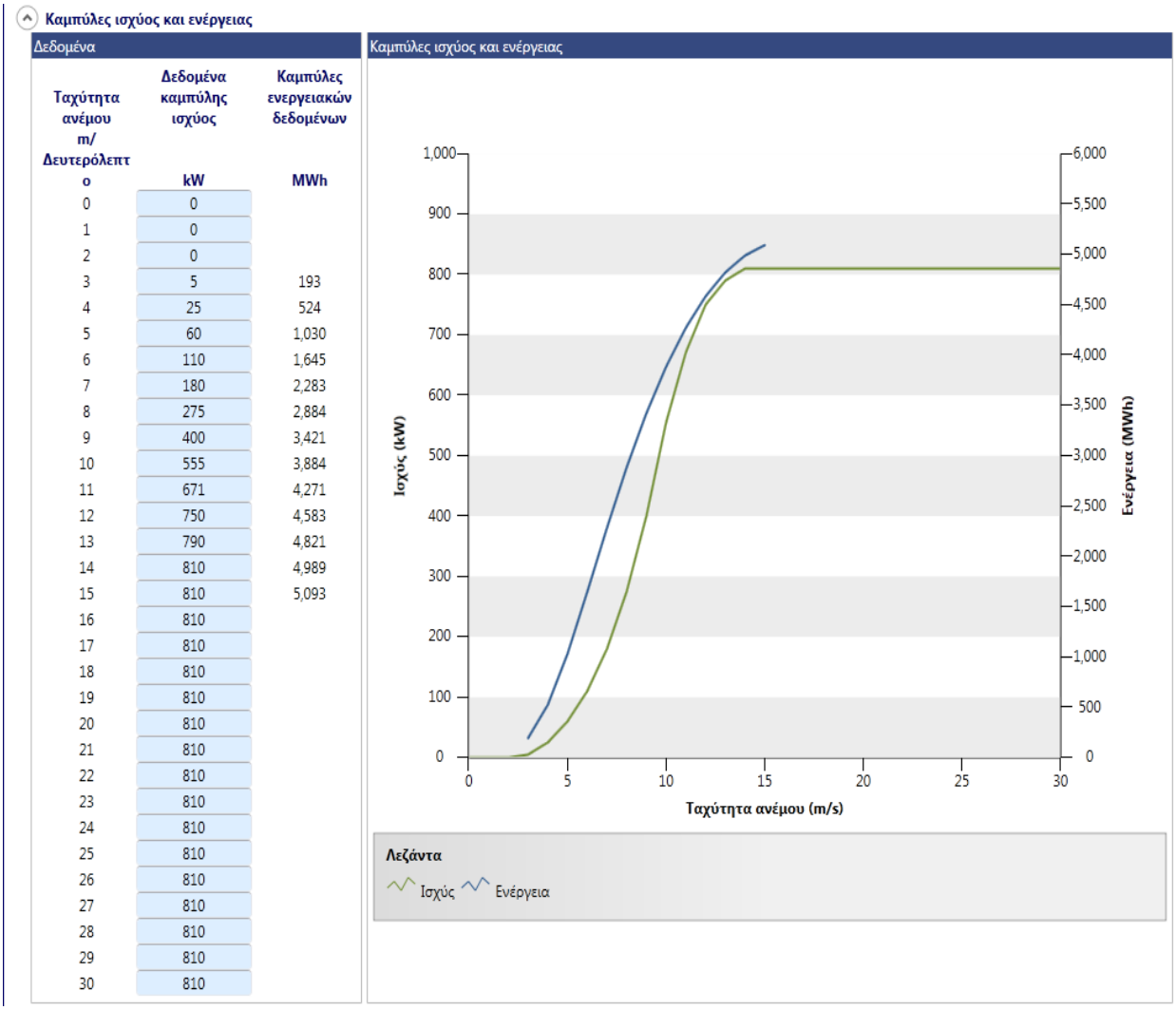
Στην «**αξιολόγηση πηγών»**, επιλέγουμε η Μέθοδος (εκτίμησης) φυσικών πόρων να είναι η ταχύτητα ανέμου και ορίζουμε την ετήσια «Ταχύτητα ανέμου», «Θερμοκρασία αέρα» και «Ατμοσφαιρική πίεση» της περιοχής εγκατάστασης του έργου.

Ακολούθως, στο πεδίο «**Ανεμογεννήτρια**» επιλέγουμε από την βάση δεδομένων του RETScreen το μοντέλο ENERCON - 48 - 76m και ο αριθμός των στροβίλων ορίζεται σε 3. Το πρόγραμμα εμφανίζει αυτόματα διάφορες πληροφορίες για το συγκεκριμένο μοντέλο ανεμογεννήτριας και μέσω αυτών των δεδομένων εμφανίζονται οι καμπύλες ισχύος και ενέργειας, όπως παρουσιάζεται στις Εικόνες 5.7, 5.8 και 5.9.



Εικόνα 5.7 *Αξιολόγηση πηγών – Επιλογή τύπου ανεμογεννήτριας [34]*

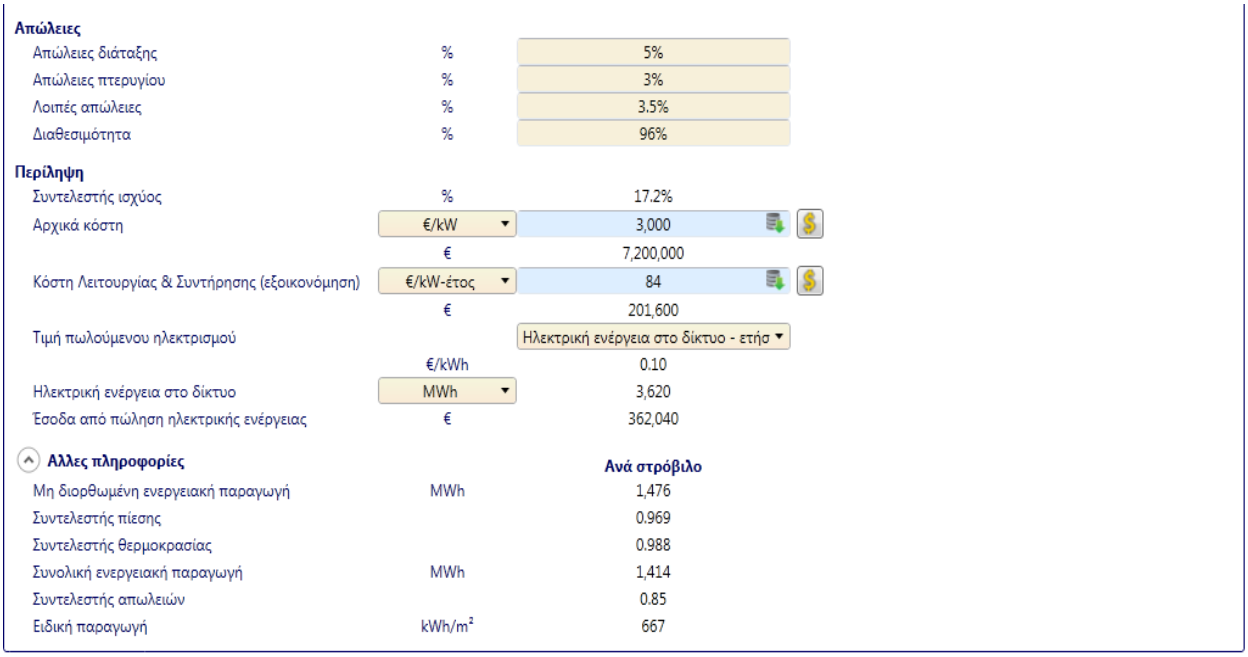
Έπειτα, καθορίζουμε το ποσοστό απωλειών διάταξης, που οφείλεται στην αλληλεπίδραση των ανεμογεννητριών μεταξύ τους μέσω των κυματισμών τους. Συνηθίζεται να λαμβάνει τιμές από 0 % εώς 20 %, όμως για μικρό αριθμό μονάδων το ποσοστό αυτό περιορίζεται έως 5 %, όπως στην περίπτωση που εξετάζουμε. Οι απώλειες πτερυγίου σχετίζονται με την μείωση της αεροδυναμικής απόδοσης των πτερυγίων των ανεμογεννητριών λόγω δημιουργίας πάγου κ.α. Τυπικές τιμές για τις απώλειες πτερυγίου κυμαίνονται από 1 % έως 10 %. Ορίζουμε 3 %. Οι λοιπές απώλειες περιλαμβάνουν τις απώλειες λόγω έναρξης και διακοπής λειτουργίας των ανεμογεννητριών, απώλειες στην γραμμή μεταφοράς κ.α. και οι τυπικές τιμές διαμορφώνονται από 2 % έως 6 %. Στην συγκεκριμένη εγκατάσταση οι απώλειες αυτές ορίζονται 3,5 %. Όσο για την τιμή της διαθεσιμότητας ορίζεται σε 96 %, διότι το μέγεθος αυτό σε ένα αιολικό πάρκο ενδέχεται να επηρεαστεί από τις τοπολογικές συνθήκες οι οποίες κυμαίνονται από 93-98 %.



Ταχύτητα ανέμου m/ Δευτερόλεπτο	Δεδομένα καμπύλης ισχύος (kW)	Καμπύλες ενεργειακών δεδομένων (MWh)
0	0	
1	0	
2	0	
3	5	193
4	25	524
5	60	1,030
6	110	1,645
7	180	2,283
8	275	2,884
9	400	3,421
10	555	3,884
11	671	4,271
12	750	4,583
13	790	4,821
14	810	4,989
15	810	5,093
16	810	
17	810	
18	810	
19	810	
20	810	
21	810	
22	810	
23	810	
24	810	
25	810	
26	810	
27	810	
28	810	
29	810	
30	810	

Εικόνα 5.8 *Καμπύλες ισχύος και ενέργειας [34]*

Στο τελευταίο τμήμα του φύλλου εργασίας υπάρχει η περίληψη. Από την ανάλυση του RETScreen προκύπτει ότι ο συντελεστής ισχύος 17,2 % και η ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο είναι 3.620 MWh, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.9. Έπειτα, στα αρχικά κόστη από τον αντίστοιχο πίνακα επιλέγουμε 3.000 €/kW, διότι αυτό προβλέπει η νομοθεσία για ανεμογεννήτριες άνω των 1.000 kW ισχύος. Τέλος, στα κόστη λειτουργίας και συντήρησης (εξοικονόμηση) από τον αντίστοιχο πίνακα επιλέγουμε 84 €/kW-έτος, διότι, ομοίως, αυτό προβλέπει η νομοθεσία για ανεμογεννήτριες άνω των 1.000 kW ισχύος.



Απώλειες		
Απώλειες διάταξης	%	5%
Απώλειες πτερυγίου	%	3%
Λοιπές απώλειες	%	3.5%
Διαθεσιμότητα	%	96%
Περίληψη		
Συντελεστής ισχύος	%	17.2%
Αρχικά κόστη	€/kW	3,000
	€	7,200,000
Κόστη Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€/kW-έτος	84
	€	201,600
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού		Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο - ετήσ
	€/kWh	0.10
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	3,620
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	362,040
Αλλες πληροφορίες		**Ανά στρόβιλο**
Μη διορθωμένη ενεργειακή παραγωγή	MWh	1,476
Συντελεστής πίεσης		0.969
Συντελεστής θερμοκρασίας		0.988
Συνολική ενεργειακή παραγωγή	MWh	1,414
Συντελεστής απωλειών		0.85
Ειδική παραγωγή	kWh/m²	667

Εικόνα 5.9 *Απώλειες και λοιπές πληροφορίες [34]*

5.2.5 Ανάλυση κόστους

Το συγκεκριμένο φύλλο βοηθά τον χρήστη να εκτιμήσει τα κόστη και τις πιστώσεις που συνδέονται με το εκάστοτε έργο που μελετάται. Αρχικά, στο πεδίο των ρυθμίσεων, επιλέγουμε την 2η Μέθοδο Ανάλυσης, η οποία δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα απαιτώντας λιγότερες πληροφορίες από την 3η Μέθοδο.

Έπειτα, συμπληρώνουμε τα κελιά που αφορούν τα αρχικά κόστη. Η μελέτη σκοπιμότητας, η οποία ανέρχεται στα 34.000 €, περιλαμβάνει την διερεύνηση χώρου, την αξιολόγηση πηγών, την περιβαλλοντική αξιολόγηση, τον προκαταρκτικό σχεδιασμό. Περιλαμβάνει ακόμη, την αναλυτική εκτίμηση κόστους, την μελέτη σεναρίου αναφοράς για την ανάλυση των αερίων του θερμοκηπίου, την προετοιμασία της έκθεσης, τη διαχείριση του έργου, καθώς και τα ταξίδια που ενδέχεται να προκύψουν.

Το κόστος για την ανάπτυξη το θέτουμε στα 150.000 € και περιλαμβάνει τις διαπραγματεύσεις συμβολαίων, τις άδειες, την επισκόπηση του χώρου,την διαχείριση του έργου, τις νομικές και λογιστικές υπηρεσίες, καθώς και ταξίδια που μπορεί να προκύψουν και σχετίζονται με τα παραπάνω.

Η ενότητα που αφορά τα μηχανολογικά έξοδα περιλαμβάνει τους διαγωνισμούς και τις συμβάσεις, τον οικοδομικό, τον ηλεκτρολογικό και τον μηχανολογικό σχεδιασμό, καθώς και την επίβλεψη της κατασκευής. Το κόστος αυτό ανέρχεται στα 65.000 €.

Το μεγαλύτερο μέρος του αρχικού κόστους (92,6 %) καλύπτεται από την ενότητα που αφορά το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενότητα αυτή περιλαμβάνει το κόστος για τις ανεμογεννήτριες, το οποίο είναι 2.400.000 € (1000 €/KW), όπως επίσης και το κόστος για τα έργα οδοποιίας πέντε χιλιομέτρων, το οποίο ανέρχεται στις 75.000 € (15.000 €/km). Περιλαμβάνει ακόμα το κόστος για τη γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού, το οποίο είναι 180.000 €, το κόστος για την κατασκευή του υποσταθμού (το οποίο ανέρχεται σε 360.000 €) και τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης, τα οποία εκτιμώνται στα 80.000 €.

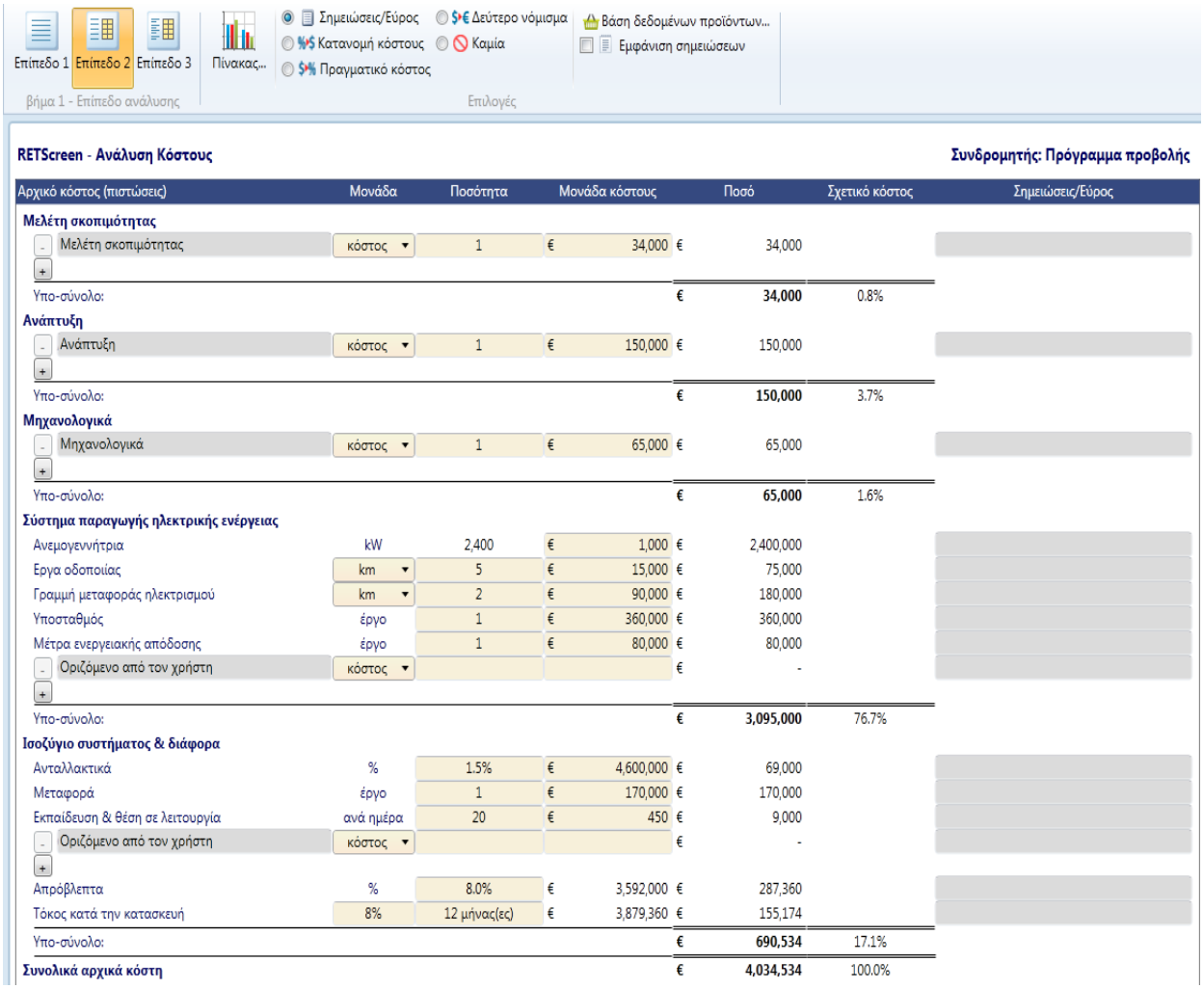
Η τελευταία ενότητα σχετικά με τα αρχικά κόστη, αφορά τα ανταλλακτικά, τη μεταφορά, την εκπαίδευση του προσωπικού, ενώ συνυπολογίζονται και κάποια απρόβλεπτα κόστη που ορίζονται ως το 8 % του συνόλου. Έτσι, τα συνολικά αρχικά κόστη ανέρχονται στα 4.034.534,4 €.

Στο φύλλο ανάλυσης κόστους ορίζονται επιπλέον τα ετήσια κόστη που αφορούν τη λειτουργία και τη συντήρηση της εγκατάστασης. Αυτά περιλαμβάνουν το ποσοστό των ασφαλίστρων, τον φόρο ιδιοκτησίας, την ενοικίαση γης, το κόστος για έκτακτες εργασίες συντήρησης, το κόστος επίβλεψης, καθώς και κάποια γενικά και διοικητικά έξοδα. Τα ετήσια κόστη, μαζί με ένα ποσοστό 8 % απρόβλεπτων εξόδων, ανέρχονται στα 260.928 €.

Επιπρόσθετα, στο συγκεκριμένο φύλλο παρουσιάζονται τα διάφορα έργα, τεχνολογίες ή / και περιφερειακά που δεν καλύπτονται από τις παρεχόμενες γενικές πληροφορίες. Με άλλα λόγια, περιλαμβάνονται πληροφορίες που αφορούν την ετήσια εξοικονόμηση του έργου. Το έργο μπορεί να πιστωθεί για το κόστος υλικού και / ή εργασίας που θα δαπανηθεί για την βασική περίπτωση, ή το συμβατικό ενεργειακό σύστημα. Στην προκειμένη περίπτωση, έχουμε κόστος το οποίο ανέρχεται σε 400.000 €, διότι έχουμε αντίστοιχη δαπάνη ανά έτος από την λειτουργία του αιολικού πάρκου.

Τέλος, όσον αφορά τα περιοδικά κόστη, πρόκειται για απαραίτητες προγραμματισμένες εργασίες, όπως η αλλαγή του συστήματος μετάδοσης της ανεμογεννήτριας κάθε 10 έτη. Το κόστος ανέρχεται στα 500.000 €.

Στις Εικόνες 5.10 και 5.11 παρουσιάζεται αναλυτικά η ανάλυση κόστους για την κατασκευή του αιολικού πάρκου που εξετάζουμε.



Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	Σχετικό κόστος	Σημειώσεις/Εύρος
Μελέτη σκοπιμότητας						
Μελέτη σκοπιμότητας	κόστος	1	€ 34,000	€ 34,000		
Υπο-σύνολο:				**€ 34,000**	0.8%	
Ανάπτυξη						
Ανάπτυξη	κόστος	1	€ 150,000	€ 150,000		
Υπο-σύνολο:				**€ 150,000**	3.7%	
Μηχανολογικά						
Μηχανολογικά	κόστος	1	€ 65,000	€ 65,000		
Υπο-σύνολο:				**€ 65,000**	1.6%	
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας						
Ανεμογεννήτρια	kW	2,400	€ 1,000	€ 2,400,000		
Εργα οδοποιίας	km	5	€ 15,000	€ 75,000		
Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού	km	2	€ 90,000	€ 180,000		
Υποσταθμός	έργο	1	€ 360,000	€ 360,000		
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης	έργο	1	€ 80,000	€ 80,000		
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€ -		
Υπο-σύνολο:				**€ 3,095,000**	76.7%	
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα						
Ανταλλακτικά	%	1.5%	€ 4,600,000	€ 69,000		
Μεταφορά	έργο	1	€ 170,000	€ 170,000		
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα	20	€ 450	€ 9,000		
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€ -		
Απρόβλεπτα	%	8.0%	€ 3,592,000	€ 287,360		
Τόκος κατά την κατασκευή	8%	12 μήνας(ες)	€ 3,879,360	€ 155,174		
Υπο-σύνολο:				**€ 690,534**	17.1%	
Συνολικά αρχικά κόστη				**€ 4,034,534**	100.0%	

Εικόνα 5.10 *Ανάλυση κόστους [34]*

Συνολικά αρχικά κόστη				**€ 4,034,534**	100.0%	
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό		Σημειώσεις/Εύρος
Λειτουργία & Συντήρηση						
Δείξε δεδομένα				€ 201,600		
Τμήματα & Εργασία	έργο	1	€ 40,000	€ 40,000		
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€ -		
Απρόβλεπτα	%	8.0%	€ 241,600	€ 19,328		
Υπο-σύνολο:				**€ 260,928**		
Ετήσια εξοικονόμηση	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό		Σημειώσεις/Εύρος
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	1	€ 400,000	€ 400,000		
Υπο-σύνολο:				**€ 400,000**		
Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ετος	Μονάδα κόστους	Ποσό		Σημειώσεις/Εύρος
Περιοδικά κόστη	κόστος	10	€ 500,000	€ 500,000		
Τέλος διάρκειας ζωής έργου	κόστος			€ -		

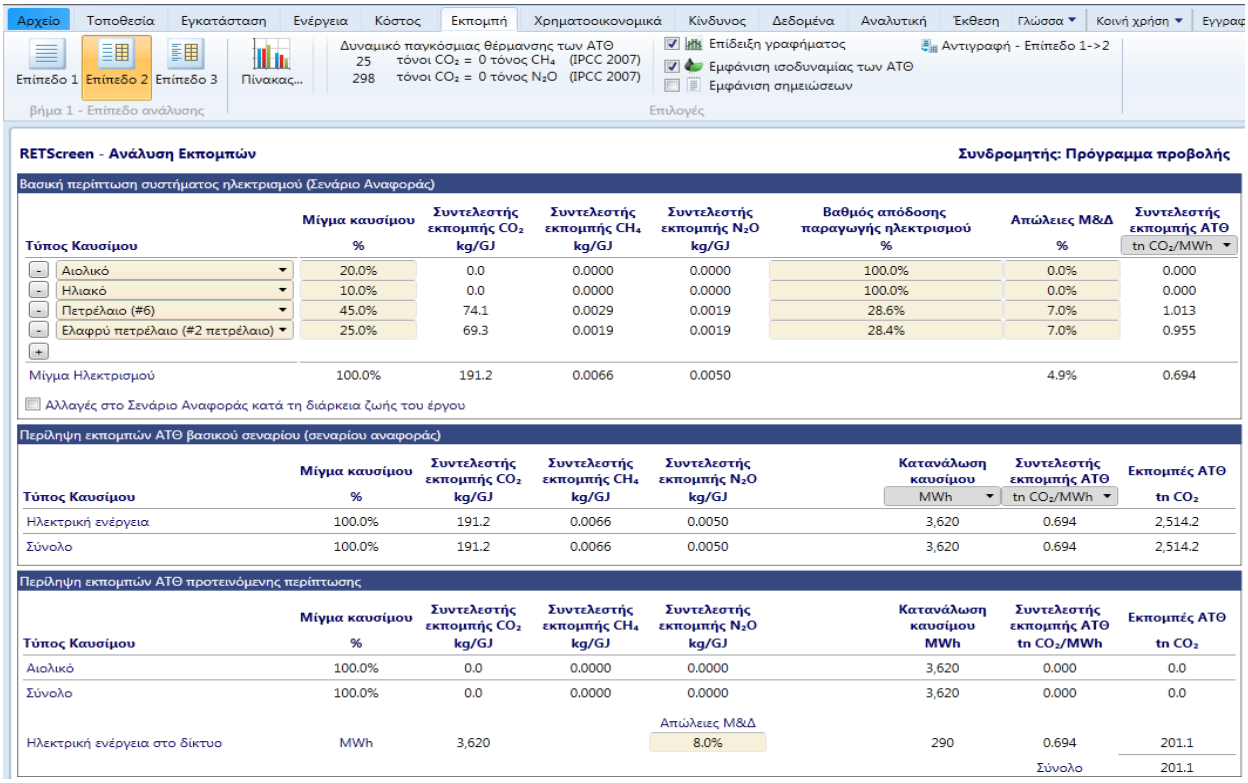
Εικόνα 5.11 *Ανάλυση κόστους [34]*

5.2.6 Ανάλυση εκπομπών

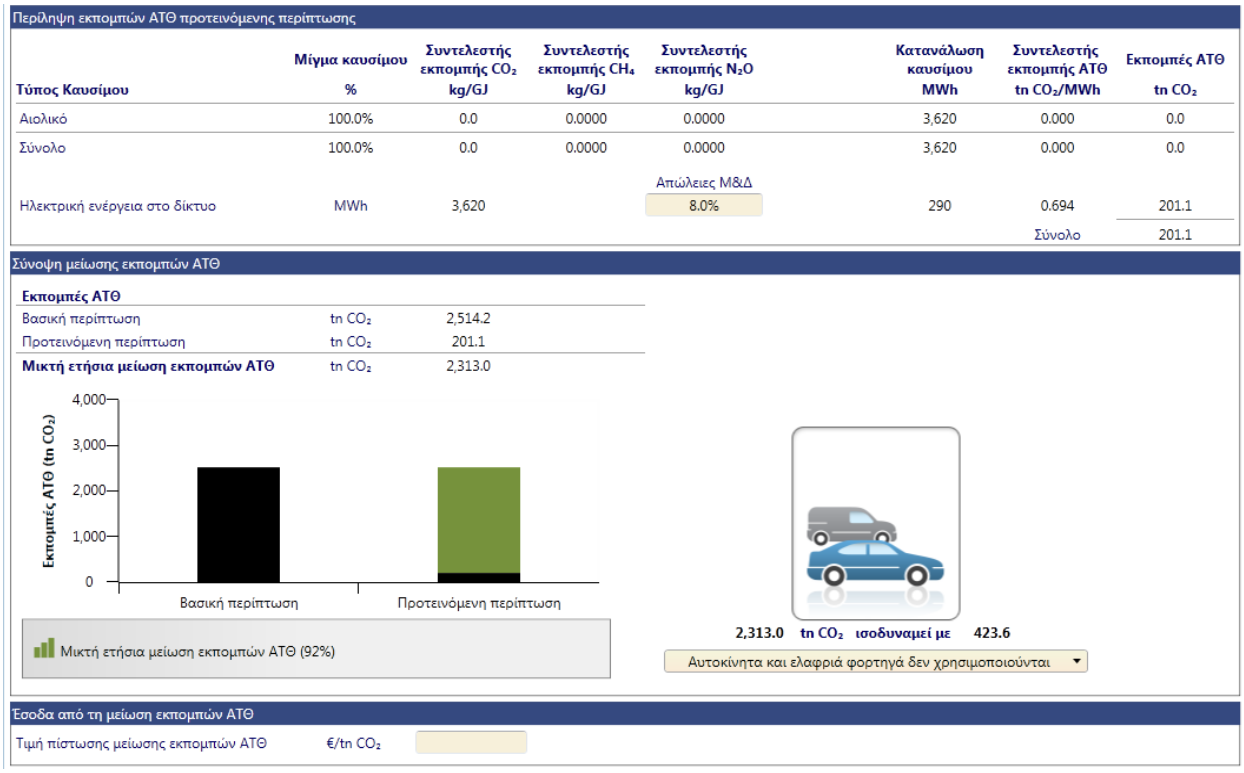
Το συγκεκριμένο φύλλο δεν είναι απαραίτητο να συμπληρωθεί, διότι τα εισαγόμενα στοιχεία και τα επακόλουθα αποτελέσματα, δεν επηρεάζουν τις υπόλοιπες φάσεις της μελέτης. Στο τρέχον φύλλο έχουμε την δυνατότητα να εκτιμήσουμε τα αέρια του θερμοκηπίου με απώτερο σκοπό τον περιορισμό τους. Και εδώ, επιλέγουμε το 2^{ο} επίπεδο ανάλυσης.

Το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), το μεθάνιο (CH_4) και το υποξείδιο του αζώτου (N_2O) αποτελούν τα αέρια του θερμοκηπίου που εξετάζονται στο φύλλο ανάλυσης μείωσης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου του RETScreen και σχετίζονται με την ανάπτυξη ενεργειακών έργων. Κάθε τύπος καυσίμου έχει το δικό του συντελεστή εκπομπής αερίων θερμοκηπίου. Ο καθορισμός της παραγωγής αερίων θερμοκηπίου από κάθε καύσιμο, πραγματοποιείται λαμβάνοντας υπόψη τη συμμετοχή του κάθε τύπου καυσίμου στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Το RETScreen υπολογίζει δυο συντελεστές εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου, έναν για το συμβατικό σύστημα που δίνεται κάθε φορά και έναν για το προτεινόμενο σύστημα που εξετάζουμε στην προκειμένη περίπτωση. Η διάφορα των συντελεστών αερίων του θερμοκηπίου που υπολογιστήκαν δίνει το συνολικό μειούμενο όγκο εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε ισοδύναμους τόνους αερίου CO_2. Στην περίπτωση του αιολικού πάρκου που μελετάμε, εξάγουμε σαν αποτέλεσμα 2.313 tn CO_2, όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.13.



Εικόνα 5.12 *Ανάλυση εκπομπών [34]*



Εικόνα 5.13 *Ανάλυση εκπομπών [34]*

5.2.7 Οικονομική Ανάλυση

Το φύλλο της οικονομικής ανάλυσης αποτελείται από εφτά ενότητες, οι οποίες είναι:

- Οικονομικές παράμετροι
- Ετήσια έσοδα
- Σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων / εσόδων
- Οικονομική βιωσιμότητα
- Ετήσια χρηματορροή
- Γράφημα Μετά-φόρων
- Γράφημα αθροιστικών χρηματορροών

Το φύλλο αυτό εξυπηρετεί τον χρήστη, παρουσιάζοντας συγκεντρωτικά τα έσοδα και τα έξοδα του έργου μέσω διαφόρων παραμέτρων.

Αρχικά, στην ενότητα "**Οικονομικοί Παράμετροι**" ορίζουμε την τιμή του πληθωρισμού. Επειδή η τιμή αυτή είναι δύσκολο να προβλεφθεί για την συνολική διάρκεια ζωής ενός έργου, ορίζουμε την τιμή στο 10 %. Ακόμη, το επιτόκιο αναγωγής και το ποσοστό επανεπένδυσης τα θεωρούμε στο 9 %, ενώ ως διάρκεια ζωής του συγκεκριμένου έργου ορίζονται τα 3`0 έτη.

Έπειτα, στην υποενότητα της χρηματοδότησης, θεωρούμε μηδενικό το ποσό που καλύπτεται από επιχορηγήσεις και κίνητρα. Όσο για το τοκοχρεολύσιο, το θέτουμε στο 60%, συνεπώς το ποσό των 2.420.720,64 € θα καλυφθεί από δάνειο. Θεωρούμε το επιτόκιο δανεισμού στο επίπεδο του 12 % και ώς περίοδο χρέους τα 15 έτη. Σύμφωνα με το αποτέλεσμα που εξάγεται από την ανάλυση του RETScreen, οι πληρωμές του χρέους θα είναι 355.420 € / έτος.

Τέλος, όσον αφορά την υποενότητα της ανάλυσης φόρου εισοδήματος, ορίζουμε στο 35 % τον συντελεστή φόρου εισοδηματικής επίπτωσης, θεωρούμε ότι συνέβησαν ζημιές σε μεταφορά, επιλέγουμε την μέθοδο απόσβεσης σαν αποκλίνον ισοζύγιο με απενεργοποιημένο τον κανόνα μισού χρόνου. Επίσης, θέτουμε την φορολογική βάση απόσβεσης στο 95 %, τον δε ρυθμό απόσβεσης στο 20 % και δηλώνουμε ότι δεν υφίσταται φορολογική ατέλεια.

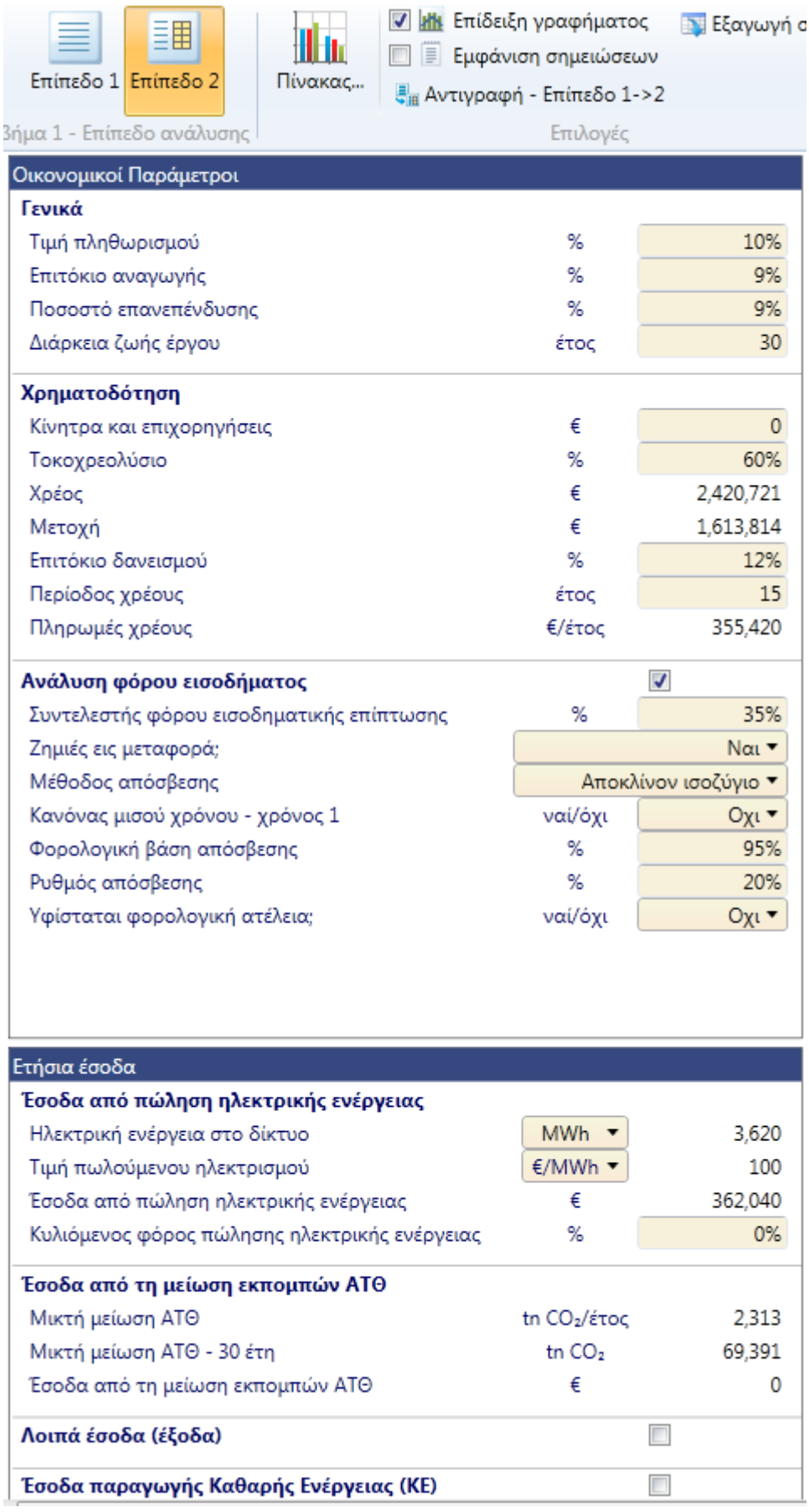
Όσον αφορά την ενότητα **"Ετήσια Έσοδα"**, τα ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκαν σε 362.040 €, ενώ τα αντίστοιχα έσοδα από την μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου (ΑΤΘ) είναι μηδενικά. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται αναλυτικά στην εικόνα 5.14.

Στην ενότητα **"Κόστος - Αποθηκεύσεις - Έσοδο"**, τα συνολικά αρχικά κόστη είναι 4.034.534 €, τα συνολικά ετήσια κόστη ισοδυναμούν με 616.348 €, ενώ οι συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα ανέρχονται σε 762.040 €. Στην εικόνα 5.15 αποτυπώνονται τα προαναφερθέντα αποτελέσματα.

Στην ενότητα **"Οικονομική Βιωσιμότητα"**, τα πεδία συμπληρώνονται άμεσα από το RETScreen με βάση τα στοιχεία που καταχωρήσαμε και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στην εικόνα 5.16. Το πρόγραμμα υπολογίζει αρχικά έναν δείκτη αξιολόγησης, τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης της επένδυσης (Internal Rate of Return) προ φόρου – μετοχές. Για να θεωρηθεί αποδεκτή η επένδυση, επιβάλλεται ο IRR να είναι μεγαλύτερος από το επιτόκιο αναγωγής. Στην περίπτωση που εξετάζουμε, ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης είναι 16,7 % την στιγμή που το επιτόκιο αναγωγής το θέσαμε στο 9 %. Επομένως, η επενδυτική επιλογή θεωρείται συμφέρουσα.

Στη συνέχεια, το πρόγραμμα υπολογίζει την απλή αποπληρωμή σε έτη. Από το αποτέλεσμα διαπιστώνουμε ότι το απαιτούμενο χρονικό διάστημα για να ανακτηθεί η αρχική επένδυση, στην υπό μελέτη περίπτωση, είναι 8,1 έτη. Η μέθοδος αυτή έχει το μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να υποδείξει εάν μία επενδυτική επιλογή είναι πιο προσοδοφόρα από κάποια άλλη.

Το πρόγραμμα παρακάτω υπολογίζει την Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ), η οποία αποτελεί, με την σειρά της, έναν δείκτη οικονομικής αξιολόγησης της οικονομικής βιωσιμότητας μιας επένδυσης.



Εικόνα 5.14 *Οικονομική Ανάλυση [34]*

Κόστος | Αποθηκεύσεις | Έσοδο			
Αρχικά κόστη			
Μελέτη σκοπιμότητας	0.84%	€	34,000
Ανάπτυξη	3.7%	€	150,000
Μηχανολογικά	1.6%	€	65,000
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	76.7%	€	3,095,000
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα	17.1%	€	690,534
Συνολικά αρχικά κόστη	**100%**	**€**	**4,034,534**
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους			
Λειτουργία & Συντήρηση		€	260,928
Πληρωμές χρέους - 15 έτη		€	355,420
Συνολικά ετήσια κόστη		**€**	**616,348**
Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)			
Περιοδικά κόστη - 10 έτη		€	500,000
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα			
Οριζόμενο από τον χρήστη		€	400,000
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας		€	362,040
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα		**€**	**762,040**

Εικόνα 5.15 *Οικονομική Ανάλυση [34]*

Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - μετοχές	%	16.7%
MIRR προ φόρου - μετοχές	%	11.2%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	8.7%
MIRR προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	8.9%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	14.2%
MIRR μετά φόρου - μετοχές	%	10.2%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	5.9%
MIRR μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	8%
Απλή αποπληρωμή	έτος	8.1
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	7.4
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	1,127,030
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	109,701
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		1.7
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		-1.1
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tn CO_2	-47
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	61.00

Εικόνα 5.16 *Οικονομική Ανάλυση [34]*

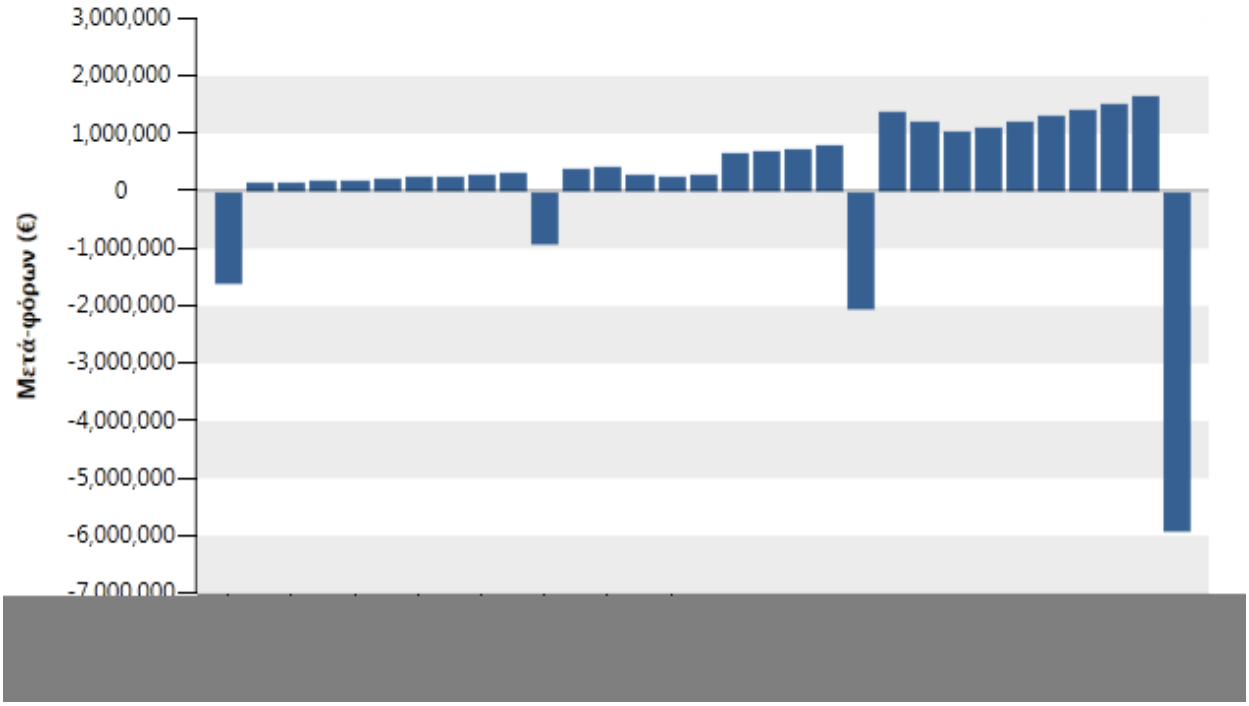
Στην προκειμένη περίπτωση η ΚΠΑ είναι 1.127.030 € > 0. Συνεπώς η επένδυση θεωρείται βιώσιμη. Όσο για τις ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής, οι οποίες αποτελούν το ποσό εξοικονόμησης για κάθε έτος λειτουργίας του αιολικού πάρκου, ανέρχονται στις 109.701 €. Η δε αναλογία οφέλους – κόστους είναι 1,7, οπότε η επένδυση θεωρείται βιώσιμη, διότι μια πρόταση θεωρείται βιώσιμη με την προϋπόθεση ότι ο λόγος του οφέλους προς το κόστος είναι μεγαλύτερος ή ίσος με το 1.

Τέλος, στο φύλλο "Οικονομική Ανάλυση" παρουσιάζεται ο αναλυτικός πίνακας με τις ετήσιες χρηματορροές, καθώς και το γράφημα αθροιστικών χρηματορροών (Εικόνες 5.17 και Γραφήματα 5.2 και 5.3) για τα 30 έτη. Τα επτά πρώτα έτη, όπως και κατά τη διάρκεια του 10^{ου} και του 11^{ου} έτους παρατηρούνται αρνητικές ετήσιες χρηματορροές. Αντίθετα, κατά τη διάρκεια του 8^{ου} και του 9^{ου} έτους, καθώς επίσης και από το δωδέκατο έτος και έπειτα παρατηρούνται θετικές ετήσιες χρηματορροές με μία κάμψη στην διάρκεια του εικοστού και του τελευταίου έτους του έργου.

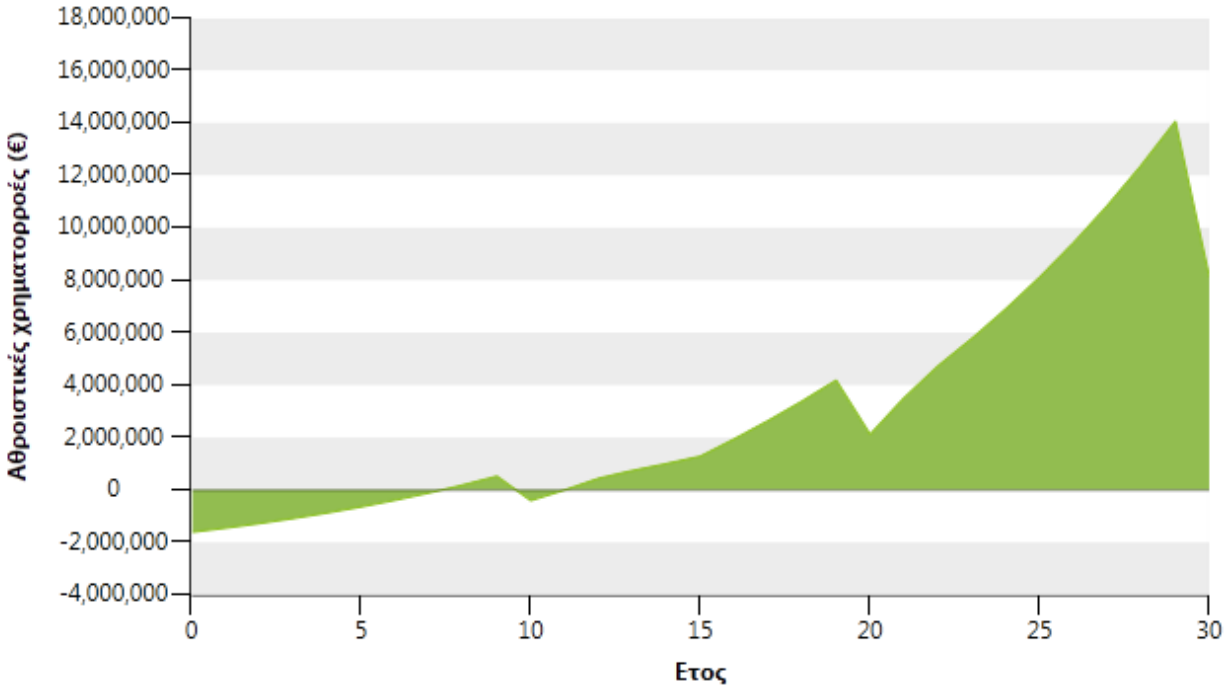
Ετήσια χρηματορροή

Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-1,613,814	-1,613,814	-1,613,814
1	159,599	159,599	-1,454,215
2	174,896	174,896	-1,279,319
3	191,724	191,724	-1,087,595
4	210,235	210,235	-877,360
5	230,596	230,596	-646,764
6	252,994	252,994	-393,770
7	277,631	277,631	-116,139
8	304,733	304,733	188,594
9	334,544	334,544	523,138
10	-929,535	-929,535	-406,397
11	403,408	403,408	-2,989
12	443,087	443,087	440,097
13	486,734	298,831	738,929
14	534,745	263,165	1,002,094
15	587,558	282,643	1,284,738
16	1,001,072	660,137	1,944,874
17	1,064,975	699,786	2,644,660
18	1,135,269	743,966	3,388,626
19	1,212,591	793,018	4,181,644
20	-2,066,103	-2,066,103	2,115,540
21	1,391,207	1,391,207	3,506,748
22	1,494,124	1,216,829	4,723,576
23	1,607,333	1,046,746	5,770,322
24	1,731,862	1,127,294	6,897,616
25	1,868,844	1,216,016	8,113,632
26	2,019,524	1,313,704	9,427,336
27	2,185,273	1,421,238	10,848,574
28	2,367,596	1,539,586	12,388,161
29	2,568,152	1,669,818	14,057,978
30	-5,935,938	-5,935,938	8,122,040

Εικόνα 5.17 *Ετήσια Χρηματορροή [34]*



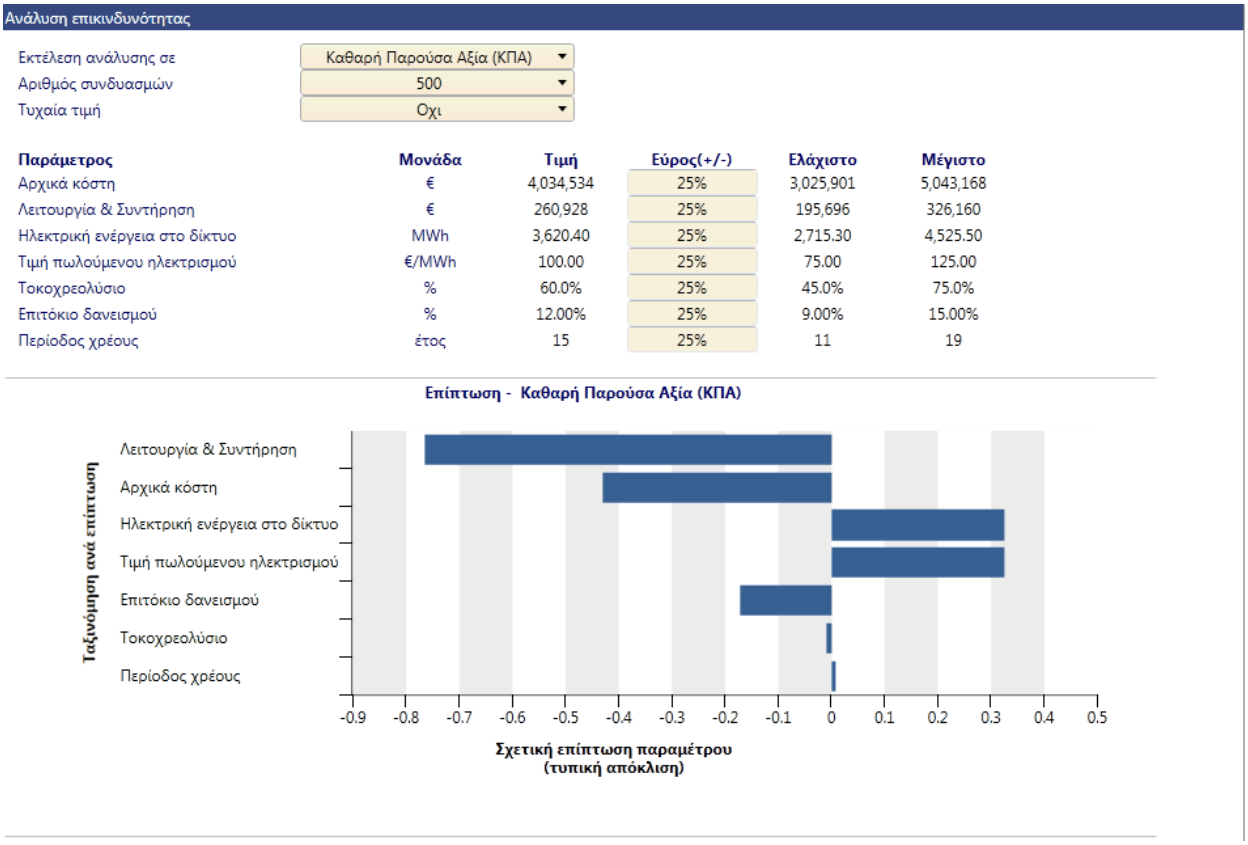
Γράφημα 5.2 *Μετά-φόρων [34]*



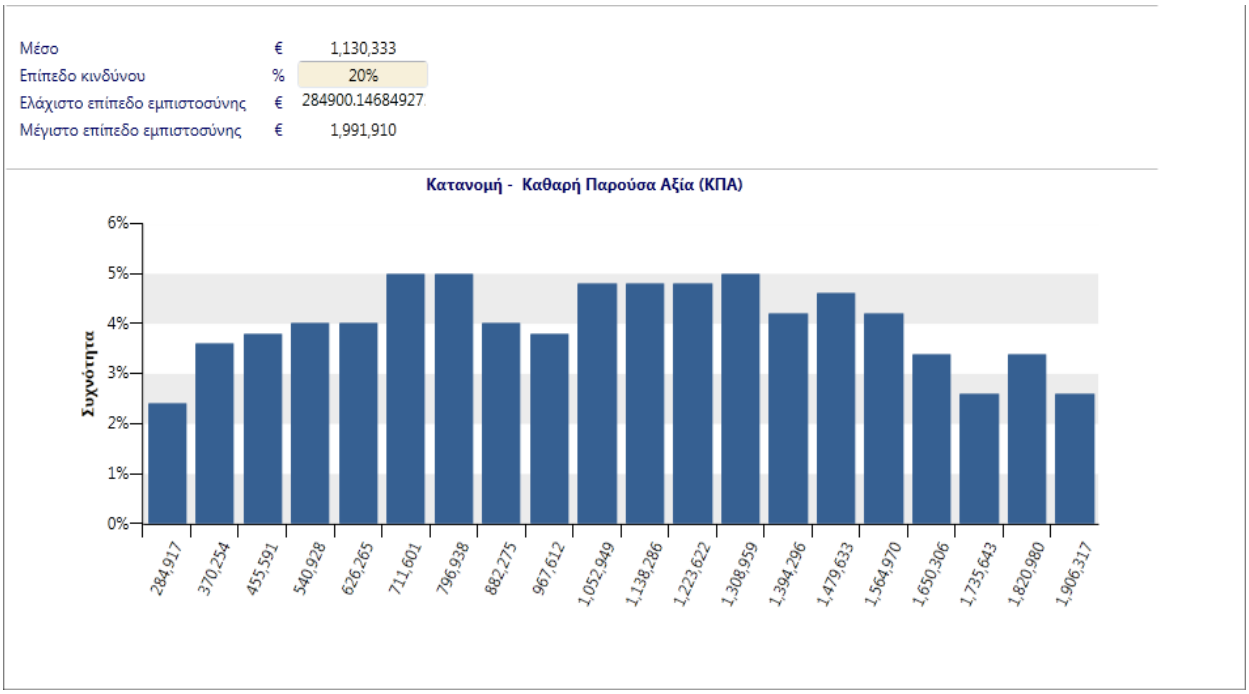
Γράφημα 5.3 *Αθροιστικές Χρηματορροές [34]*

αποτέλεσμα 500 έως 5.000 μετοχών IRR προ φόρων και μετά φόρων, αποπληρωμών ιδίων κεφαλαίων, τιμών ΚΠΑ ή κόστη παραγωγής ενέργειας. Η ανάλυση επικινδυνότητας επιτρέπει στο χρήστη να εκτιμήσει εάν η μεταβλητότητα του χρηματοοικονομικού δείκτη είναι αποδεκτή ή όχι, εξετάζοντας τη διανομή των πιθανών αποτελεσμάτων. Μια μη αποδεκτή μεταβλητότητα θα αποτελέσει ένδειξη προς την κατεύθυνση να καταβληθεί μεγαλύτερη προσπάθεια για τη μείωση της αβεβαιότητας που συνδέεται με τις παραμέτρους εισόδου που έχουν προσδιοριστεί να έχουν την μεγαλύτερη επίπτωση στον οικονομικό δείκτη.

Στο υπό εξέταση έργο έχουμε επιλέξει να εκτελεστεί η ανάλυση στην ΚΠΑ, θέτωντας παράλληλα 500 συνδυασμούς μεταβλητών εισροών και χωρίς να εισάγουμε τυχαία τιμή. Το δε εύρος ορίστηκε στο 25 %, ενώ το επίπεδο κινδύνου στο 20 %. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στις παρακάτω εικόνες 5.20 και 5.21.



Εικόνα 5.20 *Ανάλυση επικινδυνότητας [34]*



Εικόνα 5.21 *Ανάλυση επικινδυνότητας [34]*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε η μελέτη για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου 2,4 MW σε επιλεγμένη περιοχή, με την χρήση του λογισμικού RETScreen.

Όσον αφορά το οικονομικό σκέλος, από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια του λογισμικού RETScreen, για την περίπτωση της εγκατάστασης των τριών ανεμογεννητριών ENERCON - 48 - 76m των 800 KW η καθεμία, η επένδυση θεωρείται αποδεκτή, διότι τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η προοπτική κατασκευής αιολικών πάρκων στην Ελλάδα φαντάζει ως προσοδοφόρα, καθώς το τεράστιο αιολικό δυναμικό της επικράτειας αποτελεί εχέγγυο για θετικά οικονομικά αποτελέσματα. Οι οικονομικοί δείκτες που προέκυψαν είναι ιδιαίτερα θετικοί, διότι η αποπληρωμή του δανείου πραγματοποιείται σε 8,1 έτη. Αυτή η διαδικασία πρέπει να ακολουθηθεί για όλες τις υποψήφιες τοποθεσίες, έτσι ώστε να επιλεγεί η αποδοτικότερη για την πραγματοποίηση της επένδυσης.

Τέλος, είναι αξιοσημείωτο ότι, έκτος από το οικονομικό όφελος από την εγκατάσταση του συγκεκριμένου αιολικού πάρκου, μπορούν να προκύψουν και άλλα λιγότερο εμφανή, αλλά σημαντικά οφέλη. Η δημιουργία νέων θέσεων εργασίας απορροφώντας εξειδικευμένο προσωπικό, η ανάπτυξη της τεχνογνωσίας των εργοστασίων με αποτέλεσμα την κατασκευή πιο αποτελεσματικών ανεμογεννητριών όπως και την εξαγωγή τους, έτσι ώστε η οικονομία να ωθείται προς την κατεύθυνση της γενικής ανάπτυξης, αλλά και το ερέθισμα που προσφέρεται στους κατοίκους της περιοχής ώστε να αποκτήσουν ενεργειακή συνείδηση, συμβάλλοντας έτσι στην γενικότερη ιδέα προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, είναι τρία ιδιαίτερα σημαντικά στοιχεία. Εξίσου σημαντική είναι και η μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου που ανέρχεται στους 2.313 tn CO_2 ετησίως, γεγονός το οποίο συμβάλλει στην αναβάθμιση της ποιότητας ζωής των ανθρώπων και στην προστασία του περιβάλλοντος.

ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

[1] Βικιπαιδεία, η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια (2017). *Αιολική Ενέργεια.* https://el.wikipedia.org/wiki/ (updated 12 November 2017, accessed 12 November 2017)

[2] Παρμαξής Ν. (2009). *Αιολική Ενέργεια. Τα υπέρ και τα κατά.* Retrieved from: http://www.sigmalive.com/archive/simerini/environment/170879

[3] Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. *Αιολική Ενέργεια.* Retrieved from: http://ypeka.gr/Default.aspx?tabid=287

[4] Ευρωπαϊκός Σύνδεσμος Αιολικών (2016). *Η Ευρώπη κινδυνεύει να χάσει την πρωτοπορία στα αιολικά από την Κίνα*. Retrieved from: http://greenagenda.gr/

[5] ΕΛΕΤΑΕΝ (2018). *Δελτίο Τύπου: Η Στατιστική της Αιολικής Ενέργειας στην Ευρώπη.* Retrieved from: http://eletaen.gr/dt-wind-europe-statistics-2017/

[6] Θυμάκης Γ., Τσούνης Δ. (2013). *Μελέτη αιολικού πάρκου ισχύος 2,4 MW.* Retrieved from: file:///F:/%CE%94%CE%B9%CF%80%CE%BB%CF%89%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE/%CE%9C%CE%91%CE%A0%202,4%20MW.pdf

[7] Ελληνική Ένωση Προστασίας Θαλάσσιου Περιβάλλοντος (2010). *Υπεράκτια αιολικά πάρκα.* Retrieved from: http://www.helmepacadets.gr/files/YperaktiaAiolikaParka.pdf

[8] Καραϊσάς Π. *Φωτοβολταϊκά Συστήματα και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας*. ΙΜΕ ΓΣΕΒΕΕ (2014). Retrieved from: https://imegsevee.gr/wp-content/uploads/2018/01/fotovoltaika_systimata.pdf

[9] Χασικίδη Ε. – Φ. (2010). *Αιολική Ενέργεια σε Ελλάδα και Ευρώπη.* Retrieved from: http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/4111/3/Nimertis_Chasikidi(de).pdf

[10] Αθανασόπουλος Ι., Χριστάκης Ι. (2016). *ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ.* Retrieved from: http://okeanis.lib.puas.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3025/wind%20energy.pdf?sequence=1

[11] Φαϊτατζόγλου Κ. (2008). *Η Αιολική Ενέργεια στην Ελλάδα.* Retrieved from: http://www.cres.gr/kape/publications/pdf/ENERGYRES_08/5th%20session/5.1_ELETAEN%20Faitatzoglou_ELETAEN.pdf

[12] Invonio (2013). *Powering the future.* Retrieved from: http://medilab.pme.duth.gr/invonio/turbine-types.html

[13] Ευβοϊκή γνώμη online (2017). *ΚΑΡΥΣΤΟΣ. Παγώνει η κατασκευή οχτώ αιολικών πάρκων.* Retrieved from: https://www.egnomi.gr/article/84216/karystos_pagwnei_kataskeyi_oktw_aiolikwn_parkwn.html

[14] Dreamstime (2013). *Παράκτιο αιολικό πάρκο.* Retrieved from: https://gr.dreamstime.com/

[15] Fanpage (2017). *Η Ολλανδία εγκαινίασε το μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό πάρκο στον κόσμο.* Retrieved from: http://fanpage.gr/plus/enimerosi/

[16] Universiti Malaysia Perlis. *Potential of Wind as an Alternative Energy in Perlis*. Retrieved from: https://www.unimap.edu.my/

[17] Barnard M. (2017). *What is the most efficient design for a Darrieus wind turbine?* Retrieved from: http://www.quora.com/

[18] Carrasco J. M., Galván E., Portillo R. (2015). Wind Turbine Applications. *Alternative Energy in Power Electronics*, pp. 177-230. Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124167148000044

[19] World Energy News (2018). *Νέα τεχνολογία για ανεμογεννήτριες σε περιοχές με χαμηλούς ανέμους.* Retrieved from: http://worldenergynews.gr/index.php/%CE%B4%CE%B9%CE%B5%CE%B8%CE%BD%CE%AE/item/23002-nea-technologia-gia-anemogennhtries-se-perioches-me-chamhloys-anemoys

[20] VTT (2018). *New wind turbines are even efficient in low winds – the benefits are fivefold.* Retrieved from: https://www.vttresearch.com/media/news/new-wind-turbines-are-even-efficient-in-low-winds

[21] Κόκκινο καμίνι (2017). *Το πρώτο ενεργειακό δένδρο στον κόσμο.* Retrieved from: https://kokinokamini.blogspot.com/2017/09/blog-post_84.html

[22] Wikidot (2010). *Αιολική Ενέργεια.* http://aioliki-energeia.wikidot.com/sel7 (updated 5 February 2010, accessed 5 February 2010)

[23] Antoniadis LTD (2012). *Κάνουμε την γνώση δημιουργία.* Retrieved from: http://www.antoniadis.com.cy/site-product-4382-el.php

[24] Πέλλης Σ. (2012). *Physic Lessons: Βιβλιοθήκη της Φυσικής*. Retrieved from: http://physiclessons.blogspot.com/2012/03/blog-post_8343.html#.W1dfr9SLTGg

[25] Μοντελισμός RC – Αερομοντελισμός (2018). *Το ανεμόμετρο. Ένα χρήσιμο εργαλείο για το χόμπι του αερομοντελισμού, αλλά όχι απαραίτητο.* Retrieved from: http://www.rcmod.gr/2015/11/blog-post.html

[26] Pixabay (2018). *Wind sock wind direction anemometer*. Retrieved from: https://pixabay.com/en/wind-sock-wind-direction-anemometer-57985/

[27] Wikipedia, the free encyclopedia (2018). *Windsock.* https://en.wikipedia.org/wiki/Windsock (updated 27 April 2018, accessed 27 April 2018)

[28] ScientAct (2018). *Καταγραφικά - Data Loggers*. Retrieved from: http://www.scientact.gr/el/244BE02E

[29] Γεωργάλα Γ. (2007). *Υπολογισμός της ταχύτητας του ανέμου σε μια περιοχή μελέτης.* Retrieved from: http://ecodomisi.gr/arthra/ipologismos-tis-tachititas-tou-anemou-se-mia-periochi-meletis

[30] Aeolos Wind Turbine (2012). *Ανεμογεννήτρια – Μικρή ανεμογεννήτρια*. Retrieved from: http://www.windturbinestar.com/Anemogenni-tria-spitiou-Mikri--anemogenni-tria-Oikiaki--anemogenni-tria.html

[31] Αιολική Ενέργεια – ΚΑΠΕ (2006). *Μετρήσεις θορύβου από Α/Γ στη θέση του αποδέκτη*. Retrieved from: http://www.cres.gr/services/istos.chtm?prnbr=24812&locale=el

[32] Βικιπαιδεία, η ελεύθερη εγκυκλοπαίδεια (2018). *RETScreen* https://el.wikipedia.org/wiki/RETScreen (updated 28 April 2018, accessed 28 April 2018)

[33] 4green.gr (2012). *Επενδύοντας στον Αίολο*. Retrieved from: https://www.4green.gr/news/data/diafora/91543.asp

[34] Natural Resources Canada (2018). *RETScreen Expert*. https://www.nrcan.gc.ca/energy/software-tools/7465 (updated 25 January 2018, accessed 25 January 2018)

[35] Μακρυγιωργάκης Μ. (2015) ΧΡΗΜΑΤΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ. Retrieved from: https://eclass.teicrete.gr/modules/document/file.php/