



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"Διαχείριση και Ενεργειακή Βελτιστοποίηση Συστημάτων"

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ»



ΤΟΥ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΦΟΙΤΗΤΗ

ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ ΦΛΑΟΥΝΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΑΡΑΙΣΑΣ ΠΕΤΡΟΣ, ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Αθήνα, Ιούλιος 2019

Πίνακας περιεχομένων

Σύνοψη.....	4
Summary.....	5
Περίληψη.....	6
Abstract.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	8
1.1 Αιολική ενέργεια.....	8
1.2 Ιστορική αναδρομή της αιολικής ενέργειας	9
1.3 Αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών	12
1.3.1 Είδη ανεμογεννητριών	12
1.3.2 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα	13
1.3.3 Ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα	14
1.4 Η ιστορική αναδρομή και η εξέλιξη των υπεράκτιων αιολικών πάρκων	15
1.5 Στατιστικά στοιχεία της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας	16
1.6 Επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην τοπική κοινωνία	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	19
2.1 Ταχύτητα του ανέμου	19
2.2 Μεταβολή με τον χρόνο	19
2.2.1 Μεταβολή ανάλογα με το ύψος της μέτρησης	20
2.3 Τύποι υπολογισμού αιολικού δυναμικού	20
2.3.1 Το όριο του Betz	21
2.4 Η ισχύς του ανέμου	22
2.4.1 Η μέση ετήσια ισχύς της ανεμογεννήτριας	23
2.5 Ενεργειακή Απόδοση Ανεμογεννήτριας	25
2.5.1 Δυναμική συμπεριφορά ανεμογεννήτριας	26
2.5.2 Παράγοντας που καθορίζει την ισχύ της ανεμογεννήτριας	26
2.5.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτρια	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	28
3.1 Παράγοντες που οδηγούν στην ανάπτυξη της υπεράκτιας τεχνολογίας των αιολικών πάρκων	28
3.2 Συνθήκες παγετού	28
3.2.1 Η διάβρωση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων	28
3.2.2 Διαφοροποιήσεις των υπεράκτιων αιολικών πάρκων από εκείνες των Χερσαίων	29
3.3 Η θεμελίωση των πύργων των ανεμογεννητριών	29

3.3.1 Τα είδη θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών	30
3.3.2 Το θεμελιωμένο σύστημα	30
3.3.3 Τα πλωτά συστήματα	30
3.3.4 Το μονοπάσσαλο σύστημα	31
3.4 Η διασύνδεση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου	33
3.4.1 Υποσταθμός στην στεριά	34
3.4.2 Υπεράκτιος υποσταθμός στην στεριά	34
3.5 Οι κατασκευαστές της υπεράκτιας τεχνολογίας	35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ	37
4.1 Το νομοθετικό πλαίσιο για τα υπεράκτια αιολικά πάρκα	37
4.2 Η διαδικασία αδειοδότησης των αιολικών πάρκων	38
4.2.1 Άδεια παραγωγής της εγκατάστασης	38
4.2.2 Εκτίμηση του κόστους επένδυσης	39
4.2.3 Προσφορά Σύνδεσης στο Σύστημα	39
4.2.4 Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων	41
4.2.5 Άδεια εγκατάστασης αιολικού πάρκου	41
4.3 Σύμβαση Σύνδεσης στο Σύστημα	41
4.3.1 Σύμβαση Αγοραπωλησίας Ηλεκτρικής Ενέργειας	42
4.4 Δοκιμαστική Περίοδος και Άδεια Λειτουργίας	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 10 MW	43
5.1 Υπεράκτιο αιολικό πάρκο στην θαλάσσια περιοχή του δήμου Καρύστου	43
5.2 Το μοντέλο της ανεμογεννήτριας που θα εγκατασταθεί είναι Vestas V80 2 MW Offshore	43
5.3 Επιλογή της περιοχής εγκατάστασης του πάρκου	45
5.3.1 Βάθος θαλάσσιου οικοπέδου για την τοποθέτηση των πασσάλων	45
5.3.2 Επιλογή θαλάσσιου οικοπέδου και χωροθέτηση ανεμογεννητριών	47
5.4 Διασύνδεση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου με την στεριά	49
5.5 Πρόγραμμα εφαρμογής αιολικού πάρκου με το λογισμικό RETScreen	50
5.5.1 Εκκίνηση του προγράμματος	51
5.5.2 Επιλογή τοποθεσίας και λήψη κλιματικών δεδομένων	51
5.5.3 Εγκατάσταση υπεράκτιου αιολικού πάρκου	53
5.5.4 Επιλογή μοντέλου ανεμογεννήτριας και ενεργειακοί υπολογισμοί	55
5.6 Ανάλυση οικονομικών στοιχείων για την μελέτη του υπεράκτιου αιολικού πάρκου	58
5.6.1 Δαπάνες θεμελίωσης και ανέγερσης ανεμογεννητριών	59
5.6.2 Κόστος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού αιολικού πάρκου	60

5.6.3 Κόστος αγοράς ανεμογεννήτριας	60
5.6.4 Κόστος εκμίσθωσης οικοπέδου	61
5.6.5 Εγκατάσταση των ανεμογεννητριών	61
5.6.6 Διασύνδεσης του υπεράκτιου αιολικού πάρκου με το δίκτυο (Υποσταθμός ανύψωσης τάσης)	62
5.7 Μελέτες που είναι απαραίτητες για την υλοποίηση του αιολικού πάρκου	63
5.7.1 Σύστημα ελέγχου	63
5.7.2 Συντήρηση	64
5.7.3 Τραπεζικά έξοδα	64
5.8 Αξιολόγηση επένδυσης με τη χρήση λογισμικού PETSscreen	65
5.8.1 Ανάλυση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα	66
5.8.2 Οικονομική ανάλυση και βιωσιμότητα του υπεράκτιου αιολικού σταθμού ...	68
5.8.3 Οικονομικοί παράμετροι	68
5.9 Κόστος – Αποταμιεύσεις – Έσοδα	69
5.10 Οικονομική βιωσιμότητα	70
5.10.1 Οικονομική ανάλυση	71
5.11 Ανάλυση επικινδυνότητας	72
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	76
6.1 Συμπεράσματα	76
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	77

ΣΥΝΟΨΗ

Στην διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάζεται μια τεχνοοικονομική μελέτη, που θέμα της έχει το υπεράκτιο αιολικό πάρκο. Στο πρώτο σκέλος της εργασίας, αναλύεται η εξέλιξη της τεχνολογίας της ανεμογεννήτριας, όπως επίσης η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών στον θαλάσσιο χώρο. Επιπροσθέτως, περιγράφεται η νομοθεσία που είναι σε ισχύ και αφορά στην αδειοδότηση, τοποθέτηση και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω των υπεράκτιων αιολικών πάρκων. Γνωρίζουμε ότι στον ελλαδικό χώρο υπάρχουν μόνο χερσαία αιολικά πάρκα εγκατεστημένα και ο κύριος σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη εγκατάστασης ανεμογεννητριών στον θαλάσσιο χώρο του δήμου Καρύστου. Παράλληλα, θα πραγματοποιηθεί αναλυτική περιγραφή των δεδομένων με πραγματικά στοιχεία της περιοχής στην οποία θα εγκατασταθεί το θαλάσσιο αιολικό πάρκο και τα οποία είναι απαραίτητα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και το κόστος κατασκευής και συντήρησης ενός τέτοιου έργου. Για την υλοποίηση της μελέτης θα χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα RETscreen, το οποίο είναι κατάλληλο και αξιόπιστο στον υπολογισμό κατασκευαστικών έργων. Τέλος, από την εργασία αυτή θα προσπαθήσουμε να αναδείξουμε τα πλεονεκτήματα, τα οποία διαθέτουμε σαν χώρα και τα οποία μπορούμε να αξιοποιήσουμε για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού στο θαλάσσιο χώρο.

SUMMARY

In this thesis is presented a techno-economic study and the subject of it is the offshore wind park. In the first part it is analyzed the development of the technology of the wind generators and the installation of the wind generators in the sea space. In addition, it is described the legislation which is in effect and concerning licensing, placement and the production of electric energy through the offshore wind parks. We are aware that in the Greek space are installed only terrestrial wind farms and the main purpose of this thesis is the study of the installation of the wind generators in the sea space of Karystos area. In parallel, it will be accomplished a detailed description of the data with actual elements of the area in which the off shore wind park will be installed and these data are essential for the production of electric energy and the service cost and production of such a work. For the implementation of this study it will be utilized the program RETScreen, which is suitable and reliable as far as concerned the calculation of construction works. In conclusion, from this work we will try to point out the advantages that as a country we possess and which we can use for the best possible exploitation of the wind energy in the sea space.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, παρουσιάζεται μια τεχνοοικονομική προμελέτη με θέμα την εγκατάσταση ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου στον δήμο Καρύστου του νομού Ευβοίας. Κύριος σκοπός της εργασίας είναι ο υπολογισμός του κόστους κατασκευής και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του πάρκου αυτού.

Στο πρώτο κεφάλαιο τονίζεται η ιστορία και η εξέλιξη της αιολικής ενέργειας σε υπεράκτιο αιολικό πάρκο. Παρουσιάζονται τόσο τα πλεονεκτήματα όσο και τα μειονεκτήματα της κατασκευής και λειτουργίας αυτής της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι τρόποι υπολογισμού των διαφόρων μεγεθών της ανεμογεννήτριας, όπως επίσης και τα είδη τα οποία υπάρχουν. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα λειτουργικά και δομικά μέρη της ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα, εφόσον ο συγκεκριμένος τύπος θα χρησιμοποιηθεί για τη μελέτη του έργου αυτού.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναλυτική περιγραφή για την εξέλιξη της υπεράκτιας τεχνολογίας και επισημαίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της εφαρμογής της.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η νομοθεσία που ισχύει στη Ελλάδα για την υπεράκτια τεχνολογία και επίσης θα αναφερθούν οι διαδικασίες για την αδειοδότηση του.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μελέτη του αιολικού πάρκου στον θαλάσσιο χώρο του δήμου Καρύστου. Παράλληλα, γίνεται αναφορά όλων των ζωτικών στοιχείων, τα οποία χρειάζονται ώστε να υλοποιηθεί η τεχνοοικονομική μελέτη για την κατασκευή και συντήρηση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου. Με την χρήση του λογισμικού RETscreen θα υπολογίσουμε τα κατασκευαστικά και ενεργειακά κόστη για την τεχνοοικονομική μελέτη του υπεράκτιου αιολικού πάρκου.

ABSTRACT

In this thesis, is presented a techno-economic premeditation and includes as a subject the installation of an offshore wind-energy park at the area of Karystos. The main purpose of this thesis is the estimation of the cost about the construction and the production of electric energy of this park.

In the first chapter it is emphasized the history and the development of the wind-energy in an offshore wind park. There are introduced the advantages and the disadvantages of the construction and the function of this renewable energy source.

In the second chapter are analyzed the methods of calculation of a wind turbine's different sizes and as well as the varied types which exist. Furthermore, reference is made about the functional and structural parts of a horizontal axis wind turbine, provided that this particular type will be utilized for the study about this work.

In the third chapter an analytical description is made, concerning the evolution of the offshore technology and are pointed out the benefits and the disadvantages of its use as well.

In the fourth chapter is described the legislation, which is valid in Greece and it is related to the offshore technology. Also, will be referred the processes of its licensing.

In conclusion, in the fifth chapter it is presented the study about the wind park of township Karystos's sea room. In addition to, a reference is made about all the vital elements, that are needed so that the techno-economical study can be implemented in order to construct and maintain the offshore wind park. With the use of software, named Retscreen we will calculate the constructional and the energy costs of the technoeconomic study of the offshore wind park.

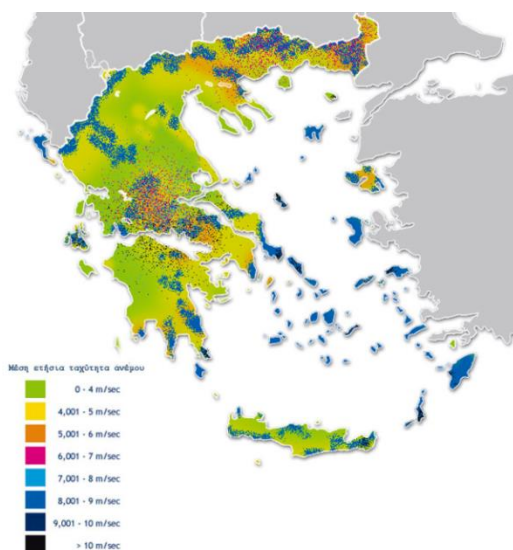
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Η αιολική ενέργεια

Η ονομασία της αιολικής ενέργειας προέρχεται από τον αρχαίο θεό Αίοιο, ο οποίος ήταν θεός του ανέμου στην ελληνική μυθολογία. Η συγκεκριμένη ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Σύμφωνα με μελέτες περίπου το 1-2% της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια της γης, μετατρέπεται σε άνεμο, καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από μια περιοχή σε μια άλλη. Η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως "ήπια μορφή ενέργειας", φιλική προς το περιβάλλον, πρακτικά ανεξάντλητη για αυτό είναι και ανανεώσιμη. Η αξιοποίηση αυτής γίνεται μέσω ανεμογεννητριών μετατρέποντας την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια.

Το ανάγλυφο μιας περιοχής και οι εποχές του χρόνου διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στην ταχύτητα του ανέμου. Για να θεωρηθεί μια περιοχή κατάλληλη για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας θα πρέπει η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου (μετρούμενη 10m από το έδαφος της γης) να είναι μεγαλύτερη από 4 m/s. Η εικόνα-1 παρουσιάζει τις περιοχές της Ελλάδας όπου λόγω της μεγάλης μέσης ετήσιας ταχύτητας των ανέμων μπορεί να αξιοποιηθεί η αιολική ενέργεια. Τέτοιες περιοχές είναι κυρίως τα νησιά του Αιγαίου και η Κρήτη.

Επίσης, τα τελευταία χρόνια λόγω του έντονου προβληματισμού για την μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών μορφών ενέργειας (πετρέλαιο, γαιάνθρακας κ.τ.λ.) και την μόλυνση του περιβάλλοντος από αυτές, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ήλιος, αέρας, υδρογόνο κ.τ.λ.) καταλαμβάνουν συνεχώς όλο και μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς. Με αποτέλεσμα να εξελιχθεί η αιολική ενέργεια σε μία από τις βασικότερες μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.



Εικόνα 1.1

Τέλος, η χρήση αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρκετά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Ορισμένα από αυτά είναι τα εξής:

Πλεονεκτήματα:

- Ο άνεμος που είναι και το κύριο «καύσιμο» είναι άφθονο και δωρεάν
- Δεν μολύνει το περιβάλλον
- Βοηθάει στην μείωση της χρήσης των ορυκτών πόρων

Μειονεκτήματα:

- Το κύριο πρόβλημα της αιολικής ενέργειας είναι ότι ο άνεμος είναι περιοδικά διακοπτόμενος οπότε έχουμε κενά στην παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος
- Τα κατάλληλα σημεία για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών είναι συνήθως σε απομακρυσμένες και μερικές φορές δύσβατες περιοχές, οπότε αυξάνεται το κόστος εγκατάστασης
- Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι επίσης η δημιουργία θορύβου από τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας

1.2 Ιστορική αναδρομή της αιολικής ενέργειας

Η πρώτη φορά που έγινε χρήση της αιολικής ενέργειας ήταν από τους Αιγύπτιους στον τομέα της ναυσιπλοΐας περίπου το 3500π.Χ.. Μεταγενέστερα τον 7ο με 10ο αιώνα μ.Χ. χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά οι ανεμόμυλοι στο σημερινό Ιράκ και Αφγανιστάν. Οι ανεμόμυλοι αυτοί ήταν κατακόρυφου άξονα και χρησίμευαν για την άντληση νερού και την άλεση σιτηρών.

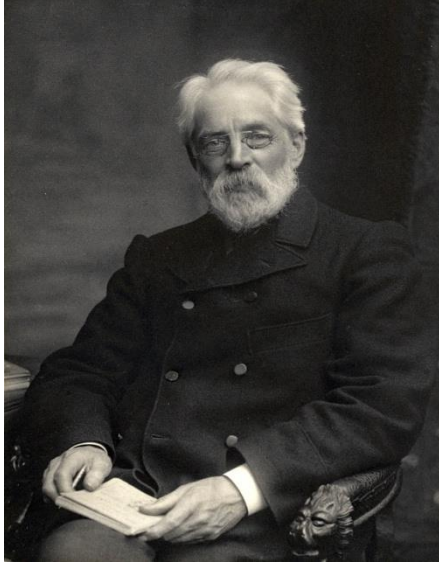
Ο πρώτος ανεμόμυλος ήρθε στην Ευρώπη από την Μέση Ανατολή με την διαφορά ότι ήταν οριζόντιου άξονα και είχε κλίση στα πτερύγια. Η χρήση της αιολικής ενέργειας, ξεκίνησε σε μια μεγάλη κλίμακα, από την Αγγλία και την Ολλανδία την περίοδο του Μεσαίωνα. Οι ανεμόμυλοι εκείνη την εποχή χρησιμοποιούνταν κυρίως για την άντληση του νερού και το άλεσμα των σιτηρών.



Εικόνα 1.2

Παρακάτω γίνεται αναφορά σε ορισμένους επιστήμονες, οι οποίοι επιχείρησαν να κατασκευάσουν τις πρώτες αιολικές μηχανές.

Ο James Blyth, στα τέλη του 19ου αιώνα, επιχείρησε να κατασκευάσει μια αιολική μηχανή για να παράξει ηλεκτρικό ρεύμα, δημιουργώντας μια ανεμογεννήτρια συνεχούς ρεύματος 12kW.



Εικόνα 1.3



Εικόνα 1.4

Ύστερα, το 1922 ο Σουηδός Sigurd Johannes Savonius κατασκεύασε την μηχανή Savonius, η οποία ήταν μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα που ήταν μια από τις πιο απλές ανεμογεννήτριες, αφού αποτελούνταν από δυο ημικυκλικά πτερύγια με ένα κενό ανάμεσά τους και η κάτοψή τους είχε το σχήμα "S".



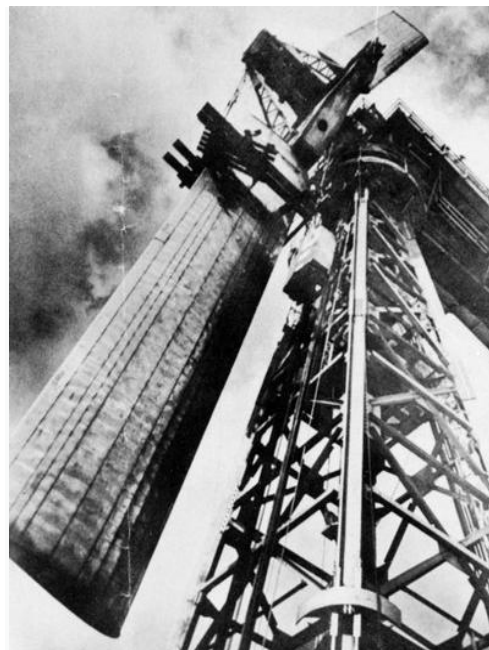
Εικόνα 1.5

Το 1931 ο G.J.M. Darrieus κατασκεύασε μια ανεμογεννήτρια καθέτου άξονα η οποία είχε καμπλωτά πτερύγια.



Εικόνα 1.6

Ο μηχανικός Palmer Putman, ο οποίος εργαζόταν για την εταιρεία Smith, το 1941 κατασκεύασε την μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα σε παραγωγή ρεύματος, η οποία ήταν σε θέση να παράγει MW.

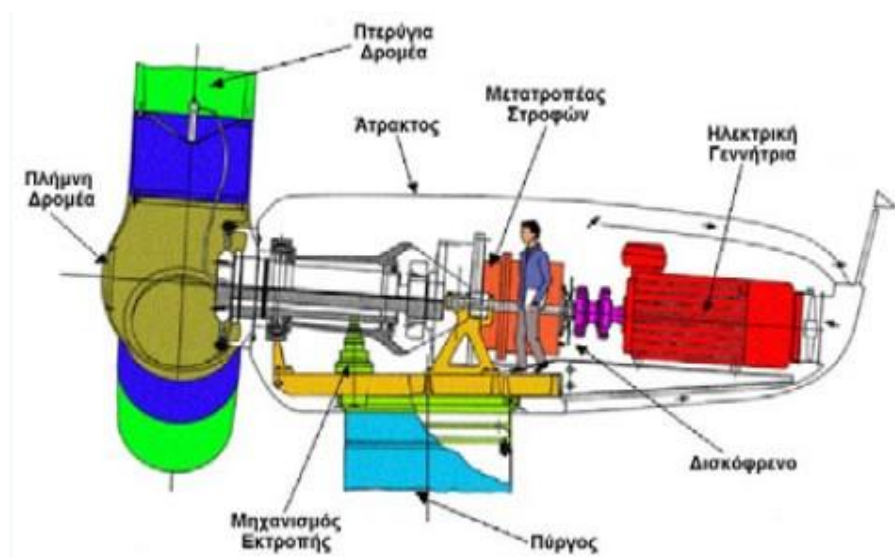


Εικόνα 1.7

Από εκείνη την εποχή και μετά έγιναν κάποιες προσπάθειες χρησιμοποίησης της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά εγκαταλείφθηκαν. Ωστόσο, την δεκαετία του '70 λόγω της απότομης αύξησης του πετρελαίου το ενδιαφέρον στράφηκε ξανά προς την αιολική ενέργεια και μέσω ορισμένων χρηματοδοτήσεων από τα κράτη, οι ανεμογεννήτριες άρχισαν να αναπτύσσονται με αργούς ρυθμούς και σε πολλές χώρες ξεκίνησε η δημιουργία αιολικών πάρκων.

1.3 Αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών

Η αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών είναι η μηχανή εκείνη που μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Η ανεμογεννήτρια λειτουργεί όταν ο αέρας περιστρέφει τα πτερύγια του δρομέα, τα οποία είναι συνδεδεμένα με έναν περιστρεφόμενο άξονα. Ο άξονας αυτός συνδέεται με ένα μετατροπέα στροφών και ακολουθεί με τη σειρά του το δισκόφρενο το οποίο συνδέεται με έναν άλλον άξονα μέσω του οποίου κινείται μια ηλεκτρική γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Οι σημερινές ανεμογεννήτριες μπορούν να παράγουν από μερικές δεκάδες W ή εκατοντάδες MW.



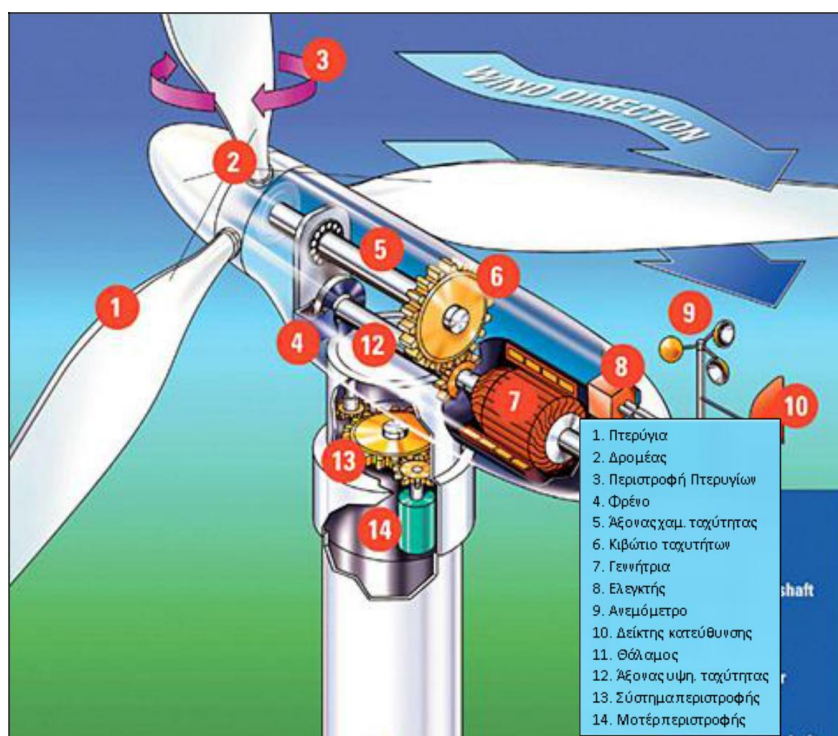
Εικόνα 1.8

1.3.1 Είδη ανεμογεννητριών

Τα τελευταία χρόνια, η βιομηχανία παραγωγής ανεμογεννητριών παρουσιάζει μεγάλη οικονομική άνθηση. Για τον λόγο αυτό έχουν κατασκευαστεί δεκάδες ανεμογεννήτριες για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Τις ανεμογεννήτριες αυτές μπορούμε να τις χωρίσουμε ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων αλλά κατά κύριο λόγο με την θέση του άξονα περιστροφής ως προς την γη. Ανάλογα με την θέση του άξονα υπάρχουν οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και οι καθέτου άξονα.

1.3.2 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλα και με την διεύθυνση του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια, σε αντίθεση με τους ανεμόμυλους που έχουν περισσότερα. Ένα χαρακτηριστικό των πτερυγίων αυτών είναι ότι έχουν μεγάλο αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης. Τα κύρια μηχανικά μέρη, όπως φαίνονται και στην εικόνα, είναι η φτερωτή, το σύστημα μετάδοσης κίνησης (κύριος άξονας και κιβώτιο ταχυτήτων), η γεννήτρια, ο πύργος στήριξης στον οποίο είναι τοποθετημένος ο δρομέας, το σύστημα πέδησης (η ανεμογεννήτρια πρέπει να μειώνει ταχύτητα όταν υπερβαίνει ένα όριο ταχύτητας, για να μην υποστεί κάποια βλάβη) και το σύστημα ελέγχου, σύνδεσης και αποθήκευσης (συσσωρευτές) της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, υπάρχει και το σύστημα προσανατολισμού ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου, το οποίο λειτουργεί είτε με αισθητήρες είτε με καθοδηγητικό πτερύγιο, το οποίο ονομάζεται ανεμοδείκτης.



Εικόνα 1.9

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα είναι τα εξής:

Πλεονεκτήματα:

- Λόγω του ύψους της, η ανεμογεννήτρια εκμεταλλεύεται άνεμο μεγαλύτερης ταχύτητας.
- Εύκολη συναρμολόγηση.
- Υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή.

- Υψηλότερη αποδοτικότητα και καλύτερη απόδοση σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα.

Μειονεκτήματα:

- Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία θορύβου.
- Λόγω του μεγέθους της κοστίζει σε αρκετά μεγάλο βαθμό η κατασκευή και η μεταφορά της.
- Για να εκμεταλλεύεται η ανεμογεννήτρια συνέχεια τον άνεμο, χρειάζεται έναν μηχανισμό περιστροφής για τον προσανατολισμό των πτερυγίων στην διεύθυνση του ανέμου.

1.3.3 Ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες αυτές περιστρέφονται γύρω από έναν κάθετο άξονα προς την κατεύθυνση του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα μπορούν να εκμεταλλευτούν τον άνεμο ανεξάρτητα από τη κατεύθυνσή του και δεν υπάρχει η ανάγκη ρύθμισης του δρομέα με αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου. Το παραγόμενο μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα στο έδαφος, όπου εγκαθίσταται η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 1.10

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα που αναπτύχθηκαν, είναι του τύπου των Savonius και Darrieus. Η διαφορά αυτών των δυο εκτός από τον σχεδιασμό τους είναι ότι η Savonius ξεκινάει πιο εύκολα και δεν είναι τόσο αποδοτική, ενώ η Darrieus δεν ξεκινάει με την ίδια ευκολία, αλλά είναι αποδοτική. Για τον λόγο αυτό έχουν κατασκευαστεί ανεμογεννήτριες που είναι συνδυασμός και των δυο αυτών τύπων, έτσι ώστε με την Savonius να έχουμε εύκολη εκκίνηση και με την Darrieus τα υπόλοιπα που αναφέραμε παραπάνω. Επιπλέον, υπάρχουν πολλές ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, όμως όλες βασίζονται στην λογική των Savonius και

Darrieus, με την διαφορά ότι γίνονται μετατροπές στον σχεδιασμό τους. Τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της ανεμογεννήτριας καθέτου άξονα είναι τα εξής:

Πλεονεκτήματα:

- Εκμεταλλεύεται τον άνεμο από όλες τις διευθύνσεις.
- Η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων είναι τοποθετημένο στην βάση και με αυτόν τον τρόπο είναι πιο εύκολη η τοποθέτηση και η συντήρηση των μηχανικών αυτών μερών.
- Δημιουργεί λιγότερο θόρυβο.
- Μπορεί να τοποθετηθεί σε περισσότερα μέρη λόγω του μεγέθους, όπως για παράδειγμα εντός των πόλεων, σε οροφές κτιρίων και σε αυτοκινητόδρομους.
- Η κατασκευή της είναι πιο απλή και χαμηλότερου κόστους

Μειονεκτήματα:

- Χαμηλή απόδοση.
- Ροπή εκκίνησης υψηλή που σημαίνει χαμηλή ταχύτητα περιστροφής.
- Λόγω του μικρού μεγέθους δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί άνεμο υψηλών ταχυτήτων.
- Υπάρχει δυσκολία συντήρησης σε κάποια μηχανικά μέρη, όπως παραδείγματος χάριν η αλλαγή των εδράνων κύλισης.

1.4 Η ιστορική αναδρομή και η εξέλιξη των υπεράκτιων αιολικών πάρκων

Το πρώτο υπεράκτιο αιολικό έργο, αποτελούταν από έντεκα ανεμογεννήτριες των 450kW η μια και εγκαταστάθηκαν στη Δανία το 1991. Σε σχέση με τα χερσαία έργα αιολικής ενέργειας, η κατασκευή υπεράκτιων ανεμογεννητριών απαιτεί σημαντική εφαρμοσμένη μηχανική όσον αφορά την υποδομή, τοποθέτηση, ηλεκτρική σύνδεση και την χρήση υλικών που αντέχουν στο διαβρωτικό θαλάσσιο περιβάλλον. Παρόλο που η ταχύτητα των υπεράκτιων ανέμων είναι γενικά μεγαλύτερη αυτής των ανέμων της στεριάς, οι προαναφερθέντες παράγοντες δεν επέτρεψαν την υπεράκτια χρήση των ανεμογεννητριών κατά το παρελθόν.

Όπως παρατηρούμε είναι δυνατή πλέον η κατασκευή αιολικών πάρκων εκτός από τα χερσαία και υπεράκτια πάρκα. Αυτή η μορφή ενέργειας θεωρείται πολλά υποσχόμενη για το μέλλον ειδικά για χώρες με μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα, διότι μειώνεται η πιθανότητα εύρεσης γης για δημιουργία αιολικού πάρκου. Παρά τα όποια προφανή μειονεκτήματα που παρουσιάζει ο συγκεκριμένος τρόπος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, όπως είναι η δυσκολία κατασκευής πύργων ανεμογεννητριών σε μεγάλα βάθη, το αυξημένο κόστος κατασκευής και συντήρησης, υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα που κάνουν την υπεράκτια αιολική ενέργεια μια πολύ καλή επένδυση για το μέλλον. Τα πλεονεκτήματα αυτά αναλύονται παρακάτω:

Πλεονεκτήματα υπεράκτιας αιολικής ενέργειας :

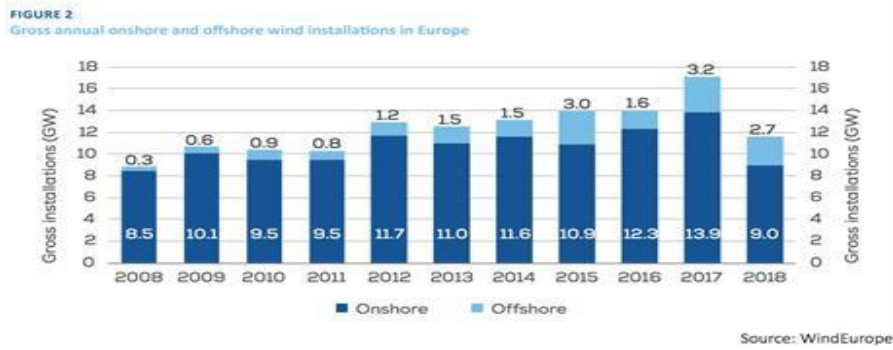
- Έλλειψη κατάλληλων περιοχών γης για την δημιουργία αιολικών πάρκων: όπως προαναφέρθηκε ένας από τους πλέον βασικούς λόγους δημιουργίας αιολικών πάρκων μακριά από την στεριά είναι η έλλειψη κατάλληλων περιοχών, φαινόμενο που γίνεται

πιο αισθητό σε πυκνοκατοικημένες χώρες με σχετικά επίπεδο τοπίο όπως είναι η Δανία και η Ολλανδία. Η έλλειψη αυτή οφείλεται στην ανάγκη χρήσης της γης για διαφορετικούς λόγους με συνηθέστερη την γεωργία. Επιπλέον η οπτική όχληση που δημιουργούν οι ανεμογεννήτριες σε κάποιες περιοχές καθώς και η ανάγκη διατήρησης του φυσικού περιβάλλοντος των περιοχών αυτών μπορεί να είναι αποτρεπτικός παράγοντας στην δημιουργία ενός αιολικού πάρκου.

- Υψηλότερες ταχύτητες ανέμου: Σημαντικό πλεονέκτημα είναι η αύξηση της ταχύτητας των ανέμων στις θάλασσες σε σχέση με την στεριά. Δεδομένου ότι η ενέργεια που φέρει ο άνεμος είναι ανάλογη της ταχύτητας του υψωμένη στον κύβο, μπορεί να αυξηθεί περίπου 73% καθώς απομακρυνόμαστε από την στεριά.
- Σταθερότεροι άνεμοι: Στην θάλασσα οι περίοδοι απόλυτης νηνεμίας είναι εξαιρετικά σπάνιες και διαρκούν ελάχιστα. Είναι προφανές ότι ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο θα λειτουργεί με καλύτερη απόδοση από ένα αντίστοιχης δυναμικότητας στην στεριά.
- Χαμηλή τραχύτητα στην επιφάνεια της θάλασσας: Καθώς η επιφάνεια της θάλασσας είναι γενικά πιο λεία από της γης η ταχύτητα του ανέμου δεν εμφανίζει μεγάλες διαφορές ως προς το υψόμετρο όπου γίνεται η μέτρηση. Στην στεριά, αντίθετα, λόγω της αυξημένης τραχύτητας η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται υπερβολικά όσο αυξάνεται το ύψος της ανεμογεννήτριας.
- Λιγότερες αναταράξεις στον άνεμο: Η θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στην επιφάνεια του νερού και στον αέρα είναι κατά πολύ μικρότερη από την αντίστοιχη στην στεριά, ειδικότερα κατά την διάρκεια της ημέρας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ο άνεμος να παρουσιάζει λιγότερες αναταράξεις στην θάλασσα. Όποτε έχουμε μικρότερα μηχανικά φορτία και μικρότερη καταπόνηση στις ανεμογεννήτριες. Επιπροσθέτως, υπολογίζεται ότι μια ανεμογεννήτρια είναι κατασκευασμένη, ώστε να έχει 20 χρόνια διάρκεια ζωής τοποθετημένη στην στεριά, ενώ στην θάλασσα μπορεί να φτάσει τα 25 έως 30 χρόνια.

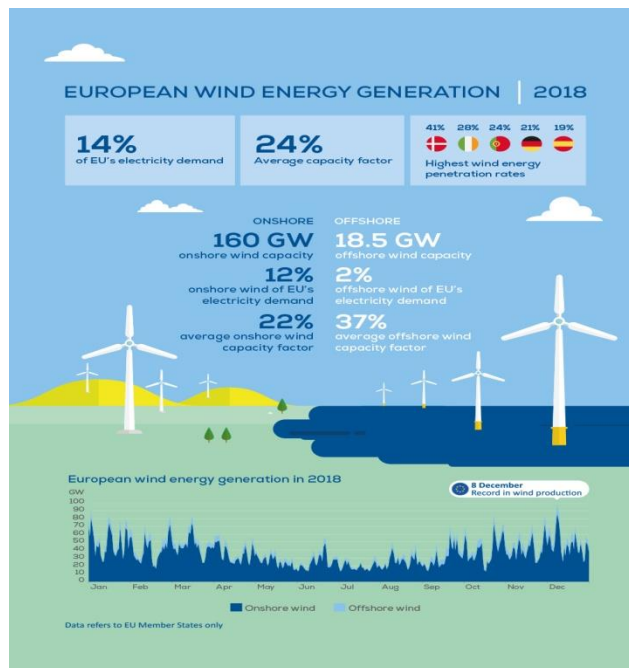
1.5 Στατιστικά στοιχεία της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας

Την χρονιά του 2018 κατασκευάστηκαν συνολικά 2,7 GW νέας υπεράκτιας αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη, εξέλιξη που συνιστά αύξηση κατά 18% σε ετήσια βάση. Το αποτέλεσμα αυτό ανακοινώθηκε από την WindEurope, δημοσιεύοντας στατιστικές σύμφωνα με τις οποίες 15 νέες υπεράκτιες αιολικές μονάδες τέθηκαν σε λειτουργία τη χρονιά που πέρασε.



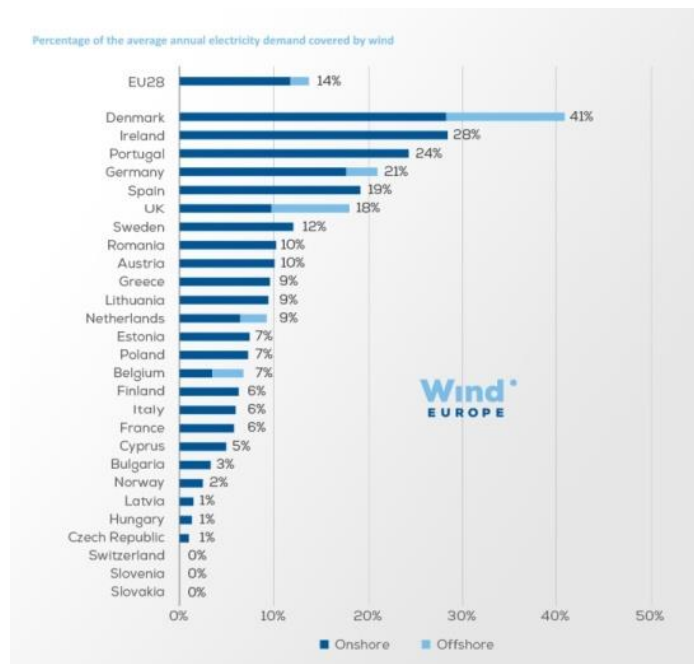
Γράφημα 1.1

Παράλληλα, στην παρακάτω εικόνα 1.11 παρατηρούμε, πως το 2018 η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας στα χερσαία αιολικά πάρκα ανήλθε στα 160 GW, ενώ στα υπεράκτια αιολικά πάρκα η παραγωγή κυμάνθηκε στα 18,5 GW. Επιπλέον, διακρίνεται στο διάγραμμα ότι το αιολικό δυναμικό στην στεριά υστερεί σε σχέση με το δυναμικό των θαλάσσιων πάρκων.



Εικόνα 1.11

Στο γράφημα 1.2 παρουσιάζονται τα στοιχεία αιολικής ενέργειας των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Επιπλέον, θα πρέπει να επισημάνουμε σε αυτό το σημείο, πως η Ελλάδα κατέχει την δέκατη θέση στην βαθμίδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα. Ωστόσο διακρίνουμε ότι δεν έχουν κατασκευαστεί υπεράκτια αιολικά πάρκα, παρόλο που η χώρα περιλαμβάνει 13.676 χιλιόμετρα ακτογραμμής.



Γράφημα 1.2

1.6 Επιπτώσεις στο περιβάλλον και στην τοπική κοινωνία

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα προκαλούν κάποιες επιπτώσεις τις οποίες τις συναντάμε σε κάθε υπεράκτια κατασκευή, όπως για παράδειγμα οι πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου. Τα προβλήματα τα οποία προκύπτουν είναι τα εξής: ο υποθαλάσσιος θόρυβος, τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από τα υποθαλάσσια καλώδια και η μεταβολή της μορφολογίας του πυθμένα. Κάποιες αρνητικές επιπτώσεις φυσικά υπάρχουν και στην τοπική κοινωνία καθώς μπορεί να επηρεάσει άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες όπως το αλιεία.

Επιγραμματικά οι επιπτώσεις των υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι:

- ❖ Μεταβολές στα θαλάσσια ρεύματα
- ❖ Θόρυβος
- ❖ Επιπτώσεις στον πληθυσμό των πτηνών
- ❖ Οπτική όχληση
- ❖ Προβλήματα στην εκμετάλλευση της θαλάσσιας ζώνης

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Ταχύτητα του ανέμου

Ο άνεμος είναι από την φύση του μεταβλητός, το οποίο υποδεικνύει ότι η κατεύθυνση του, η θερμοκρασία του και η ταχύτητα του αλλάζουν συνεχώς. Η ταχύτητα του παίζει σημαντικό ρόλο στην ενέργεια την οποία φέρει και συνεπώς το πιο βασικό στοιχείο το οποίο πρέπει να έχει μια υποψήφια περιοχή για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου είναι να έχει υψηλές ταχύτητες ανέμων. Η ταχύτητα αυτή σε μια συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να μεταβάλλεται ανάλογα με τον χρόνο, το ύψος και την επιφάνεια της γης ή της θάλασσας στο οποίο γίνεται η μέτρηση.

2.2 Μεταβολή με τον χρόνο

Στη χαμηλότερη περιοχή της ατμόσφαιρας, στην οποία βρίσκονται οι ανεμογεννήτριες η κίνηση του ανέμου επιβραδύνεται από δυνάμεις τριβής, μεγάλα εμπόδια στην επιφάνεια της γης και από φαινόμενα που οφείλονται στο στροβιλισμό. Ο στροβιλισμός, ο οποίος μπορεί να είναι μηχανικής ή θερμικής προέλευσης, προκαλεί απότομες μεταβολές στην ταχύτητα του ανέμου σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων και πλατών, οι οποίες ονομάζονται ριπές. Προκειμένου να διαχωριστούν οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου, που οφείλονται στο στροβιλισμό, χρησιμοποιείται το μέγεθος της μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου \bar{v} , η οποία δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\bar{v} = \frac{1}{T} \int_{t_0 - T/2}^{t_0 + T/2} v(t) dt \quad (2.1)$$

Όπου $v(t)$ είναι η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου και T είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο γίνεται η ολοκλήρωση ώστε να υπολογιστεί η μέση τιμή.

Η ενεργειακή φασματική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου έχει δύο περιοχές. Η περιοχή χαμηλών συχνοτήτων του φάσματος αντιστοιχεί στα μακρομετεωρολογικά φαινόμενα. Σε αυτήν περιλαμβάνονται οι μεταβολές του ανέμου που οφείλονται σε αλλαγές του καιρού από μέρα σε μέρα και οι μεταβολές του ανέμου κατά τη διάρκεια μιας ημέρας που οφείλονται σε θερμοκρασιακές διαφορές ανάμεσα στη στεριά και τη θάλασσα.

Η πλευρά των υψηλών συχνοτήτων αντιστοιχεί στα μικρομετεωρολογικά φαινόμενα και οι μεταβολές οφείλονται στο στροβιλισμό. Ο στροβιλισμός διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό και στην απόδοση των ανεμογεννητριών, όπως επίσης και στην ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος στο τροφοδοτούμενο δίκτυο.

2.2.1 Μεταβολή ανάλογα με το ύψος της μέτρησης

Η μεταβολή ανάλογα με την απόσταση από την γη ή την θάλασσα και το σημείο της μέτρησης οφείλεται στην αντίσταση που φέρουν τα δύο αυτά σώματα στην κίνηση του ανέμου. Η αντίσταση αυτή μεταβάλλεται ανάλογα την τραχύτητα του εδάφους ή της θάλασσας. Όπως είναι προφανές είναι απαραίτητη η γνώση της μεταβολής αυτής, ώστε να υπολογιστεί το ύψος των ανεμογεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν. Υπάρχουν πολλά μοντέλα για τον υπολογισμό της ταχύτητας ανάλογα με το ύψος της μέτρησης, το πιο συνηθισμένο είναι το παρακάτω:

$$\frac{V(z)}{V_{ref}} = \frac{z}{z_{ref}} \quad (2.2)$$

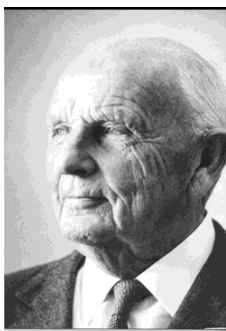
Όπου V_{ref} και z_{ref} είναι η ταχύτητα και το ύψος αναφοράς, V είναι η άγνωστη ταχύτητα και z το ύψος. Η παράμετρος α υπολογίζεται:

$$\alpha = \frac{1}{\ln \frac{z}{z_0}} \quad (2.3)$$

Όπου το z_0 αναφέρεται στην τραχύτητα της επιφάνειας πάνω στην οποία ρέει ο άνεμος. Τυπικές τιμές για το α είναι 0.15 για την θάλασσα και 0.4 για την ξηρά. Στην επόμενη εικόνα αναπαρίσταται η κάθετη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου και της ισχύος που φέρει για 3 διαφορετικά περιβάλλοντα. Όπως φαίνεται στην περίπτωση της θάλασσας η μεταβολή είναι μικρότερη.

2.3 Τύποι υπολογισμού αιολικού δυναμικού

Όπως γίνεται αντιληπτό, κάτι πολύ σημαντικό για τον εντοπισμό κατάλληλων περιοχών για την εγκατάσταση υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι η πιθανή κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στον χρόνο για κάθε περιοχή. Η μεταβολή του ανέμου για τυπικές περιοχές συνήθως περιγράφεται από την κατανομή Weibull, η οποία προτάθηκε από τον σουηδό Walodi Weibull το 1951.



Walodi Weibull 1887-1979
Photo by Sam C. Saunders

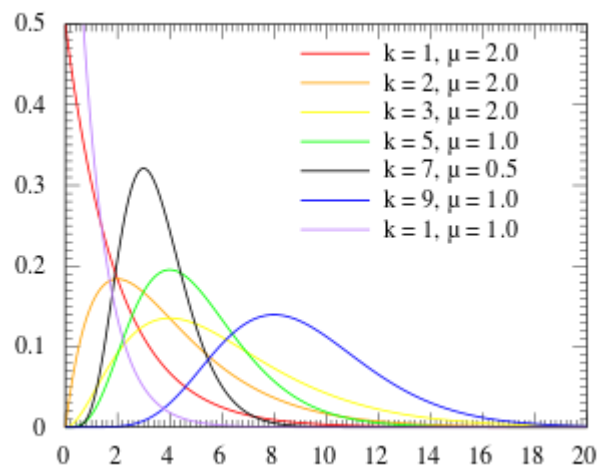
Εικόνα 2.1

$$p(V) = \frac{K}{V} \times \frac{V^{k-1}}{C} \times e^{-\frac{V^k}{C}} \quad (2.4)$$

Όπου $p(V)$ η συχνότητα εμφάνισης της ταχύτητας V , K μία παράμετρος μορφής και σε c μία παράμετρος που συνδέεται με την μέση ταχύτητα και την συνάρτηση γ του Euler:

$$c = \frac{V}{\gamma \left(1 + \frac{1}{K}\right)} \quad (2.5)$$

Στο γράφημα 2.1 φαίνεται η κατανομή Weibull και πώς αυτή επηρεάζεται από την παράμετρο k . Όταν το k αυξάνεται η συνάρτηση πιθανότητας βρίσκεται κοντά στην μέση τιμή. Με άλλα λόγια η πιθανότητα ενός πολύ αδύναμου ανέμου αλλά και ενός πολύ δυνατού μειώνεται.



Γράφημα 2.1

2.3.1 Το όριο του Betz

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ενέργεια υψηλής εντροπίας και χαμηλής ποιότητας εξαιτίας της τυχαίας κίνησης των μεμονωμένων μορίων του αέρα σε όλες τις κατευθύνσεις ακόμα και σε δυνατούς ανέμους. Επομένως, είναι δεδομένο ότι για την μετατροπή της αιολικής σε ηλεκτρική θα πρέπει να υπάρχει ένα όριο απόδοσης. Στις ανεμογεννήτριες η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται καθώς ο άνεμος γυρνάει τα πτερύγια της και μετατρέπει την κινητική του ενέργεια σε μηχανική. Η μέγιστη μηχανική ισχύς που μπορεί να παραχθεί από την αιολική αποδείχθηκε ότι είναι 59.3% από τον Albert Betz το 1919.



Εικόνα 2.2

2.4 Η ισχύς του ανέμου

Η κινητική ενέργεια του ανέμου μάζας m και ταχύτητας v είναι:

$$E = \frac{1}{2} m \times v^2 \quad (2.6)$$

Θεωρώντας την επιφάνεια A από την οποία διέρχεται ο άνεμος διαμέσου των πτερυγίων με ταχύτητα, η ροή του όγκου του ανέμου θα είναι :

$$\dot{V} = Av \quad (2.8)$$

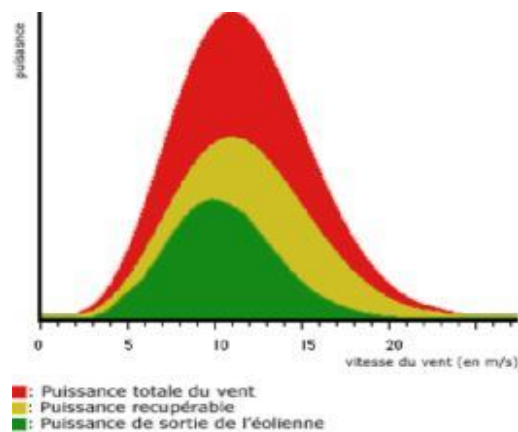
πολλαπλασιάζοντας την με την πυκνότητα του αέρα, βρίσκουμε την ροή της μάζας :

$$\dot{m} = \rho Av \quad (2.9)$$

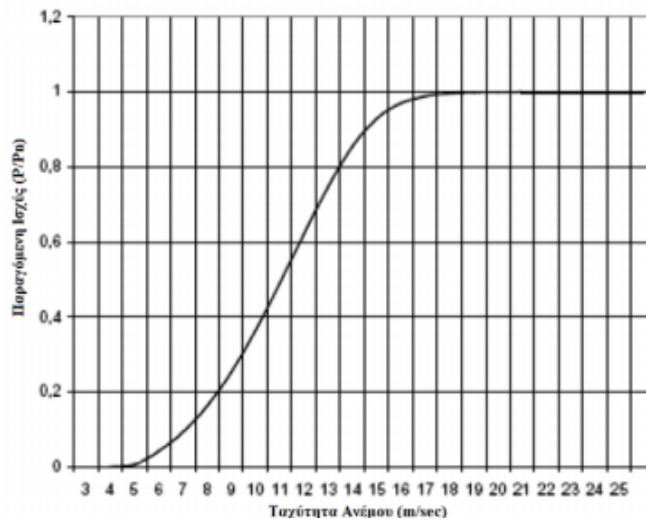
Η ισχύς είναι ενέργεια προς τον χρόνο, έτσι συνδυάζοντας της (2.8) και (2.9) :

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.10)$$

Από την σχέση και το γράφημα 2.2 γίνεται φανερό ότι οι υψηλές ταχύτητες του ανέμου είναι σπάνιες, αλλά συνεισφέρουν παραπάνω από αναλογικά στην παραγόμενη ισχύ.



Γράφημα 2.2: Συνάρτηση πυκνότητας ισχύος ανέμου



Γράφημα 2.3 : Τυπική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

Οπότε για τον υπολογισμό της ισχύος του ανέμου για κάποιο χρονικό διάστημα δεν χρησιμοποιούμε την μέση ταχύτητα, αλλά πολλαπλασιάζουμε την πιθανότητα για κάθε ταχύτητα από την συνάρτηση Weibull με την συγκεκριμένη ισχύ στην ίδια ταχύτητα. Με αυτόν τον τρόπο παίρνουμε την θεωρητική κατανομή της ισχύος για κάθε ταχύτητα, η οποία θα έχει την μορφή του γραφήματος 2.2, κόκκινη περιοχή. Όμως, ακόμα και αν δεν υπήρχε το όριο του Betz, που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο, μια ιδανική ανεμογεννήτρια δεν θα μπορούσε να λάβει όλη αυτή την ισχύ, διότι τότε ο άνεμος στην έξοδο της θα είχε κινητική ενέργεια ίση με 0. Άρα, θα ήταν ακίνητος εμποδίζοντας νέο άνεμο να εισχωρήσει μέσα από την ανεμογεννήτρια μας. Έχει υπολογιστεί ότι μια τέτοια ιδανική ανεμογεννήτρια θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει τα 2/3 της ολικής ισχύος του ανέμου. Στο γράφημα 2.2 η κίτρινη περιοχή αποτελεί το 59.3% της θεωρητικής.

2.4.1 Η μέση ετήσια ισχύς της ανεμογεννήτριας

Για τον προσδιορισμό της μέσης ετήσιας ισχύος πρέπει να πολλαπλασιαστούν οι αντίστοιχες τιμές της κατανομής Weibull και της καμπύλης ισχύος που ισχύουν για κάθε ταχύτητα ανέμου και μετά να αθροιστούν τα γινόμενα. Πιο συγκεκριμένα με το πολλαπλασιασμό της πιθανότητας εμφάνισης μιας ταχύτητας ανέμου με την ισχύ που αποδίδει η ανεμογεννήτρια σε αυτή προσδιορίζεται η συνεισφορά της κάθε ταχύτητας του ανέμου στην μέση ετήσια ισχύ της ανεμογεννήτριας.

Στην συνέχεια το άθροισμα αυτών των γινομένων πολλαπλασιάζεται με την διαθεσιμότητα της ανεμογεννήτριας και με τις 8760 ώρες ενός έτους. Εάν μια ανεμογεννήτρια βρίσκεται εκτός λειτουργίας για λόγους συντήρησης ή λόγω σφάλματος δικτύου, δεν παράγει ισχύ ανεξαρτήτως από το πόσο δυνατός είναι ο άνεμος εκείνη την στιγμή. Οι κατασκευαστές των ανεμογεννητριών συνήθως έχουν δεδομένα που βοηθάνε στον υπολογισμό της διαθεσιμότητας, η οποία κυμαίνεται από 95-98%.

Πολλές φορές πρέπει να χρησιμοποιήσουμε έναν ακόμη παράγοντα, την διαθεσιμότητα της τοποθεσίας, καθώς συντρέχουν άλλοι λόγοι που δεν εμπεριέχονται στην διαθεσιμότητα της ανεμογεννήτριας και επηρεάζουν την μέση ετήσια ισχύ. Για παράδειγμα τα δίκτυα διανομής λειτουργούν μέσα σε κάποια όρια ανοχής της τάσης και της συχνότητας τους. Όταν οι συνθήκες αυτές δεν καλύπτονται, η ανεμογεννήτρια αποσυνδέεται από το δίκτυο παρόλο που μπορεί εκείνη την στιγμή να παράγει ενέργεια. Κάτι τέτοιο μπορεί να συμβεί σε περιπτώσεις ακραίων ανέμων. Η διαθεσιμότητα τοποθεσίας κυμαίνεται και αυτή στο 95-98%.

Επιπλέον, λαμβάνεται υπόψη η μέση θερμοκρασία της περιοχής που εξετάζουμε καθώς η ισχύς του ανέμου εξαρτάται άμεσα από την πυκνότητα του. Η πυκνότητα του με την σειρά της εξαρτάται από την πίεση και την θερμοκρασία.

$$P=12\rho Av^3Cf \quad (2.11)$$

Η μέση αιολική ισχύς σε χρόνο T είναι:

$$P_T = 0.5XAX\rho XV^3 \quad (2.12)$$

Όπου C_f είναι ο συντελεστής άνωσης ή συντελεστής αεροδυναμικής απόδοσης και είναι χαρακτηριστικός για κάθε ανεμογεννήτρια. Ο C_f εκφράζει το ποσοστό της ενέργειας που έχει ο άνεμος και το οποίο μετατρέπεται σε μηχανικό έργο στον δρομέα. Υπολογίζεται από την σχέση:

$$Cf=4a(1-a)^2 \quad (2.13)$$

Όπου a ισούται με :

$$a=\frac{v1-v0}{v1} \quad (2.14)$$

και $V1, V0$ είναι οι ταχύτητες του ανέμου αρκετά μακριά και λίγο πριν τον δρομέα αντίστοιχα. Επίσης, ο συντελεστής C_f είναι σε συνάρτηση της γεωμετρίας των πτερυγίων και του λόγου λ της ταχύτητας περιστροφής προς την ταχύτητα του ανέμου.

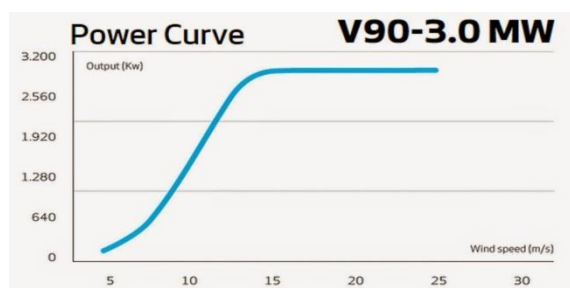
$$\lambda=\frac{\omega R}{v} \quad (2.15)$$

Όπου ω είναι η γωνιακή ταχύτητα των πτερυγίων και R η ακτίνα τους. Επίσης, πρέπει φυσικά να συνυπολογιστούν οι απώλειες τοποθεσίας. Η ποσότητα της ενέργειας που είναι πραγματικά διαθέσιμη στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο θα είναι μικρότερη από την παραγόμενη ενέργεια. Η αλλαγή του επιπέδου τάσης μέσω ενός μετασχηματιστή ή και η μεταφορά του ρεύματος μέσω των καλωδίων σίγουρα θα επιφέρει κάποιες απώλειες. Οι απώλειες αυτές υπάρχουν πάντα, αλλά το μέγεθος τους εξαρτάται από την τοποθεσία και τα ηλεκτρικά στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν.

2.5 Ενεργειακή Απόδοση Ανεμογεννήτριας

Η απόδοση της ανεμογεννήτριας αναφέρεται στο πόσο αποτελεσματικά μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Ο βαθμός απόδοσης υπολογίζεται διαιρώντας την ηλεκτρική ισχύ εξόδου με την αιολική ισχύ εισόδου. Αρχικά, η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας διαιρείται με την επιφάνεια A που καλύπτει ο δρομέας και λαμβάνουμε υπόψιν την ισχύ εξόδου ανά τετραγωνικό μέτρο.

Για κάθε ταχύτητα του ανέμου το αποτέλεσμα διαιρείται με την αιολική ισχύ ανά τετραγωνικό μέτρο. Στο γράφημα 2.4 φαίνεται η καμπύλη απόδοσης. Αν και η μέση απόδοση για αυτές τις ανεμογεννήτριες είναι περίπου 20%, η απόδοση της μπορεί να διαφέρει αρκετά ανάλογα με την ταχύτητα του ανέμου. Για παράδειγμα, στην συγκεκριμένη περίπτωση η απόδοση είναι 3000KW για ταχύτητα 14 m/s.



Γράφημα 2.4: Τυπική καμπύλη απόδοσης ανεμογεννήτριας

Είναι προφανές ότι κάθε ανεμογεννήτρια μπορεί να είναι βελτιστοποιημένη, ώστε να αποδίδει καλύτερα σε ένα εύρος ταχυτήτων. Μεταβάλλοντας μεγέθη όπως το ύψος της, την γωνία με την οποία δέχεται τον άνεμο, το μέγεθος των πτερυγίων της ή το μέγεθος της γεννήτριας, η ενεργειακή απόδοσή της μεταβάλλεται. Αλλάζοντας τα πτερύγια της ή το μέγεθος της γεννήτριας η καμπύλη ισχύος της μεταβάλλεται, ενώ το ύψος της επηρεάζει την ταχύτητα του ανέμου.

Γενικότερα οι ανεμογεννήτριες πρέπει να έχουν τον μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης στις ταχύτητες ανέμου που παράγεται η περισσότερη ενέργεια ετησίως, δηλαδή στο εύρος των συχνότερων υψηλών ταχυτήτων. Για δεδομένο μέγεθος έλικα, όσο πιο μεγάλη είναι η γεννήτρια τόσο πιο πολύ ενέργεια θα παράγεται, όμως συγχρόνως δεν θα αποδίδει ικανοποιητικά σε μικρές και μέσες ταχύτητες. Αντίθετα για τον ίδιο έλικα, όσο μικρότερη είναι η γεννήτρια τόσο καλύτερα θα αποδίδει σε αδύναμους ανέμους αλλά δεν θα αποδίδει ικανοποιητικά σε μεγάλες ταχύτητες. Οι μικρές ανεμογεννήτριες παράγουν μικρά ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, όμως δεν απαιτούν ισχυρό δίκτυο, παράγουν σχετικά πιο σταθερή ισχύ, διότι αποδίδουν καλύτερα σε μικρότερες ταχύτητες, απαιτούν μικρότερο κόστος θεμελίωσης και είναι αισθητικά πιο αποδεκτές από τους κατοίκους.

Επιπροσθέτως, τα αιολικά πάρκα είναι προφανώς πιο αξιόπιστα όταν έχουν πολλές μικρές ανεμογεννήτριες. Με βάση τα παραπάνω φαίνεται ότι μια μεγάλη ανεμογεννήτρια δεν είναι

πάντα η καλύτερη λύση λόγω της οικονομίας κλίμακας, αλλά εξαρτάται από την ταχύτητα των ανέμων και τις ανάγκες μας σε ηλεκτρική ενέργεια. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι οι ανεμογεννήτριες παραλαμβάνουν περίπου μέσα σε τέσσερις μήνες λειτουργίας όλη την ενέργεια που απαιτήθηκε για να κατασκευαστούν, ενώ οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες απαιτούν ακόμα λιγότερο χρόνο.

2.5.1 Δυναμική συμπεριφορά ανεμογεννήτριας

Η απόδοση μιας αιολικής μηχανής επηρεάζεται από την απόσταση μεταξύ των πτερυγίων για δεδομένες ταχύτητες ανέμου. Η συχνότητα περιστροφής των πτερυγίων πρέπει να προσαρμόζεται με την ταχύτητα του ανέμου.

2.5.2 Παράγοντας που καθορίζει την ισχύ της ανεμογεννήτριας

Χρόνος t_b για να μεταφερθεί το πτερύγιο από τη θέση που βρίσκεται στη θέση του επόμενου πτερυγίου. Για μια αιολική μηχανή με n πτερύγια που περιστρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω ισχύει:

$$t_b = \frac{2\pi}{n\omega} \quad (2.16)$$

Χρόνος t_w που μεσολαβεί για την αποκατάσταση του τυρβώδους στρώματος αέρα με στρώμα στρωτής ροής:

$$t_w = \frac{d}{\omega} \quad (2.17)$$

όπου d είναι το μήκος του στρώματος αέρα. Η μέγιστη ισχύς απορροφάται όταν: $t_b = t_w$ στην κορυφή των πτερυγίων.

2.5.3 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτρια

Η μέγιστη αιολική ενέργεια που δεσμεύει μια αιολική μηχανή είναι ένα τμήμα της κινητικής ενέργειας του ανέμου και ισούται με:

$$E_{max} = C_p \cdot E_{wind}, \text{ όπου } C_p = 0.59 \text{ το όριο του Betz} \quad (2.18)$$

Η ηλεκτρική ισχύς που παίρνουμε από την αιολική μηχανή είναι:

$$P_{electric} = C_p N_{gearbox} N_{generator} N_{accumulator} P_{wind} \quad (2.19)$$

όπου:

- $n_{gearbox}$ η απόδοση του πολλαπλασιαστή στροφών
- $n_{generator}$ η απόδοση της γεννήτριας
- $n_{accumulator}$ η απόδοση των συσσωρευτών

Η ετήσια αιολική ενέργεια είναι:

$$E_{\text{electric}} = P_{\text{electric}} * T \text{ όπου } T \text{ ένα έτος} \quad (2.20)$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

3.1 Παράγοντες που οδηγούν στην ανάπτυξη της υπεράκτιας τεχνολογίας των αιολικών πάρκων

Τα υπεράκτια αιολικά πάρκα δίνουν νέες προοπτικές εξέλιξης στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και στην απεξάρτηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τις κλασικές μεθόδους. Ταυτόχρονα δημιουργούν νέες προκλήσεις για την ανάπτυξη καινούριας τεχνολογίας που να ανταπεξέρχεται στις διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν στην θάλασσα και τις οποίες θα αναφέρουμε παρακάτω.

3.2 Συνθήκες παγετού

Σε τοποθεσίες όπου παρουσιάζονται συχνά χαμηλές θερμοκρασίες πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πιθανότητα δημιουργίας πάγου που μπορεί να είναι είτε θαλάσσιος, είτε ατμοσφαιρικός, επάνω στις ανεμογεννήτριες. Η εμφάνιση πάγου στα πτερύγια του δρομέα καθώς επίσης και σε άλλα μέρη της ανεμογεννήτριας διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον τρόπο σχεδίασης των υπεράκτιων ανεμογεννητριών, στη συντήρηση και στην οικονομική απόδοση των αιολικών πάρκων. Η ύπαρξη επιπλέοντα πάγου στην θάλασσα μπορεί να προκαλέσει περισσότερα μηχανικά φορτία στον πύργο της ανεμογεννήτριας και η παρουσία ατμοσφαιρικού πάγου δημιουργεί ιδιαίτερα πολύπλοκα φαινόμενα που εξαρτώνται και από το ύψος του δρομέα. Οπότε είναι αναγκαίο ο εξοπλισμός αυτός να περιλαμβάνει συστήματα αποφυγής της δημιουργίας πάγου πάνω στην ανεμογεννήτρια αλλά και συστήματα για το λιώσιμο του πάγου. Εν κατακλείδι, ο πάγος μπορεί να προκαλέσει διάφορες επιπλοκές όπως :

- δυσλειτουργία στις συσκευές μέτρησης του ανέμου, δραματική πτώση της απόδοσης
- κίνδυνο από εκτόξευση πάγου
- πρόβλημα προσβασιμότητας στην εγκατάσταση

3.2.1 Η διάβρωση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων

Ένα μέρος του κόστους συντήρησης των ανεμογεννητριών στη θάλασσα σχετίζεται με την διάβρωση των υλικών τους. Η διάβρωση των μετάλλων στην θάλασσα είναι ηλεκτροχημική διαδικασία, η οποία επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, όπως η ποσότητα του άλατος, η συγκέντρωση οξυγόνου και η θερμοκρασία. Για να μειωθεί η διάβρωση χρειάζονται ορισμένες μέθοδοι. Για παράδειγμα, μια μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της διάβρωσης είναι η επικάλυψη κάθε επιφάνειας που έρχεται σε επαφή με το γύρω περιβάλλον με μια επίστρωση ψευδαργύρου ή με κάποιο από τα παράγωγα του πετρελαίου που χρησιμοποιείται για αυτό τον σκοπό. Επίσης, μια άλλη μέθοδος για την μείωση της διάβρωσης είναι η χρήση υλικών που δεν διαβρώνονται όπως το ανοξείδωτο ατσάλι. Στο εσωτερικό της ατράκτου πρέπει να διατηρείται η ατμόσφαιρα σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας και σε θερμοκρασία όχι μικρότερη των

15,5°C, ώστε να προστατεύονται τα ηλεκτρονικά συστήματα και να μειώνονται η απαιτήσεις για το σύστημα θέρμανσης λαδιού. Με αυτόν τον τρόπο λοιπόν γίνεται απαραίτητο ένα σύστημα θέρμανσης και αφύγρανσης.

Ο εξωτερικός αέρας εισέρχεται στην άτρακτο μέσω φίλτρων τα οποία ευθύνονται για την αφύγρανση και θερμαίνονται σε δύο μονάδες που δουλεύουν παράλληλα. Ο ανεμομετρητής και ο ανεμοδείκτης θερμαίνονται μέσω ηλεκτρικών καλωδίων. Τα συστήματα ψύξης του κιβωτίου ταχυτήτων, της γεννήτριας και του μετασχηματιστή είναι ξεχωριστά και βρίσκονται έξω από την άτρακτο.

3.2.2 Διαφοροποιήσεις των υπεράκτιων αιολικών πάρκων από εκείνες των χερσαίων

Η κατασκευή των ανεμογεννητριών στα υπεράκτια αιολικά πάρκα δεν διαφέρει από τις αντίστοιχες στην ξηρά. Ειδικότερα, κύριες διαφορές στην τεχνολογία των δύο ειδών πάρκων αποτελούν η παραγόμενη ισχύς, η θεμελίωση των ανεμογεννητριών, το ύψος των πύργων και οι μέθοδοι συντήρησής τους. Το κόστος τοποθέτησης και συντήρησης της ανεμογεννήτριας είναι αρκετά υψηλό είναι προτιμότερο η τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας, η οποία παράγει μεγαλύτερη ηλεκτρική ισχύ.

Επίσης, η διαδικασία συντήρησης των υπεράκτιων ανεμογεννητριών έχει μεγάλο κόστος και είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη διότι χρειάζονται ειδικά διαμορφωμένοι χώροι, ώστε να επιβιβάζεται και να αποβιβάζεται η ομάδα συντήρησης.

Οι υπεράκτιες ανεμογεννήτριες ενδέχεται να περιλαμβάνουν ένα σύστημα παρακολούθησης της κατάστασής τους για τον εντοπισμό ηλεκτρολογικών και μηχανολογικών βλαβών. Με αυτό τον τρόπο, γίνεται δυνατός ο προγραμματισμός της επισκευής της ανεμογεννήτριας λαμβάνοντας υπόψη της καιρικές συνθήκες και επομένως μειώνονται οι μη προγραμματισμένες διακοπές.

Επιπλέον, σε υπεράκτια πάρκα συνηθίζεται η χρήση περισσότερων υλικών διότι η συντήρησή τους είναι πιο δύσκολη, λόγω της μειωμένης δυνατότητας πρόσβασης από το προσωπικό.

3.3 Η θεμελίωση των πύργων των ανεμογεννητριών

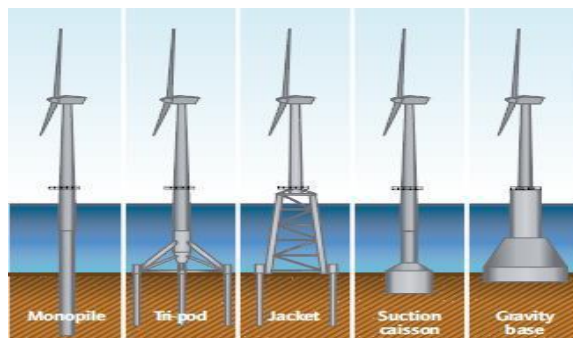
Η θεμελίωση των υπεράκτιων ανεμογεννητριών είναι ένας τομέας ο οποίος εξελίσσεται συνεχώς και διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από την θεμελίωση των αντίστοιχων πύργων σε αιολικά πάρκα στη ξηρά. Επίσης, το μέγεθος των ανεμογεννητριών όπως προαναφέρθηκε αυξάνεται, ώστε να παράγεται περισσότερη ενέργεια και να αποφέρει μεγαλύτερα οικονομικά κέρδη.

3.3.1 Τα είδη θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών

Το είδος θεμελίωσης και η μορφή του φορέα στήριξης της ανεμογεννήτριας αποτελεί κρίσιμη επιλογή για το σύνολο της κατασκευής όπου καθορίζει τη διαμόρφωση του συνολικού κόστους της επένδυσης. Υπάρχουν δύο βασικά είδη υποστήριξης των θαλάσσιων ανεμογεννητριών τα οποία είναι η θεμελίωση και το πλωτό σύστημα. Τα κριτήρια επιλογής σχετίζονται με το βάθος της θάλασσας, τα χαρακτηριστικά του εδάφους και την διαθέσιμη τεχνογνωσία.

3.3.2 Το θεμελιωμένο σύστημα

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών είναι τα στέρεα συστήματα και η επιλογή τους εξαρτάται από το βάθος της θάλασσας. Για ρηγά νερά έως 15 μέτρα, προτιμώνται συνήθως θεμελιώσεις βαρύτητας, οι οποίες κατασκευάζονται από οπλισμένο σκυρόδεμα. Για μεσαία βάθη 15 έως 50 μέτρα χρησιμοποιούνται κυρίως ο μονοπάσσαλος, η τρίποδη στήριξη και ο δικτυωτός πύργος.

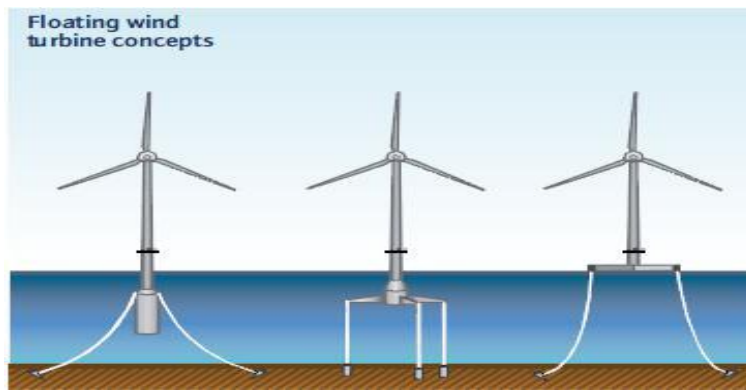


Εικόνα 3.1

3.3.3 Τα πλωτά συστήματα

Τα περισσότερα εγκατεστημένα υπεράκτια αιολικά πάρκα έχουν κατασκευασθεί με σταθερά συστήματα. Όμως, στις περισσότερες χώρες οι διαθέσιμες περιοχές για την κατασκευή θαλάσσιων ανεμογεννητριών έχουν μεγάλα βάθη θάλασσας, γεγονός που κάνει τα σταθερά συστήματα οικονομικά ασύμφορα. Επομένως, τα επόμενα χρόνια αναμένεται σημαντική ανάπτυξη των πλωτών συστημάτων. Πιο συγκεκριμένα, για βάθη θάλασσας άνω των 50 μέτρων εκτιμάται ότι θα αποτελούν την οικονομικότερη λύση.

Τα πλωτά συστήματα έχουν μερικά σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως μεγαλύτερη ευελιξία κατά την κατασκευή και εγκατάστασή τους. Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι πλωτών συστημάτων όπως παρατηρούμε στην εικόνα 3.2.



Εικόνα 3.2

3.3.4 Το μονοπάσσαλο σύστημα

Ένα από τα πιο διαδεδομένα συστήματα θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών είναι το μονοπάσσαλο σύστημα το οποίο αποτελείται από έναν μεταλλικό πάσσαλο κυκλικής διατομής, ο οποίος τοποθετείται με υδραυλικό σφυρί μέσα στο έδαφος. Η διάμετρος, το πάχος και το μήκος έμπηξης του πασσάλου καθορίζονται από το βάθος της θάλασσας, τα όρια αντοχής και λειτουργικότητας της ανεμογεννήτριας. Η συχνή χρήση του εν λόγω συστήματος οφείλεται κυρίως στην απλότητα του σχεδιασμού και της κατασκευής ενός τέτοιου συστήματος όπως και στην σημαντική τεχνογνωσία και εμπειρία που υπάρχει παγκοσμίως πάνω σε ένα τέτοιου είδους σύστημα. Σύμφωνα με στοιχεία του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Αιολικής Ενέργειας, το 81% του συνόλου των εγκατεστημένων ανεμογεννητριών μέχρι το 2016 θεμελιώθηκαν με μονοπάσσαλο σύστημα. Η συγκεκριμένη μέθοδος αποτελεί ιδανικό τρόπο θεμελίωσης υπεράκτιων ανεμογεννητριών για βάθη έως 35 μέτρα. Αντίθετα, σε μεγαλύτερα βάθη το κόστος κατασκευής αυξάνεται και η εγκατάσταση γίνεται ασταθής.

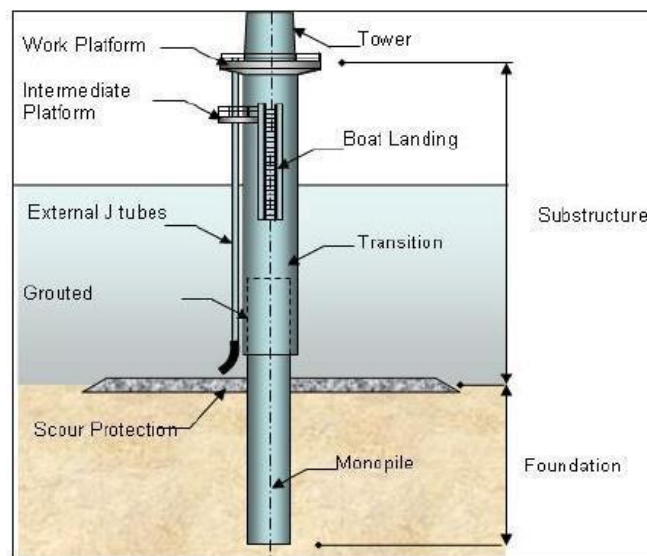


Εικόνα 3.3: Πάσσαλος



Εικόνα 3.4: Ειδικό σφυρί έμπηξης πασσάλου

Το μονοπάσσαλο σύστημα είναι το μοναδικό στο οποίο ο πάσσαλος αποτελεί ταυτόχρονα την θεμελίωση και τον φορέα στήριξης της ανεμογεννήτριας. Όπως προαναφέρθηκε ο πάσσαλος εμπεγνύεται στο έδαφος με την χρήση υδραυλικής σφύρας, η οποία ασκεί σημαντικό θλιπτικό φορτίο στην κεφαλή του πασσάλου.



Εικόνα 3.5

Ο πάσσαλος αυτός έχει συνήθως διάμετρο 4 έως 9 μέτρα. Το βασικό κριτήριο του σχεδιασμού είναι η οριζόντια φόρτιση που προκαλείται από τον άνεμο, το κύμα, τα θαλάσσια ρεύματα και έναν πιθανό σεισμό. Τα κατακόρυφα φορτία θεωρούνται σχεδόν είναι πάντοτε αμελητέα.

Οφείλεται να γίνει έλεγχος στο υπόστρωμα του πυθμένα πριν την θεμελίωση, γιατί για παράδειγμα, αν αυτό αποτελείται από λεπτό αμμόδες υλικό, σε περίπτωση σεισμού υπάρχει κίνδυνος ρευστοποίησης του. Είναι προφανές ότι σε τοποθεσίες τοποθέτησης υπεράκτιων αιολικών πάρκων οι οποίες βρίσκονται σε σεισμογενείς περιοχές είναι απαραίτητο να διεξάγεται μια μελέτη που να αφορά συγκεκριμένα τον παράγοντα αυτόν.

Το μήκος του πασσάλου συνήθως φθάνει στα 3/5 του ύψους της ανεμογεννήτριας. Το βασικό πρόβλημα που εμφανίζεται με την μονοπάσσαλη θεμελίωση σχετίζεται με την ευκαμψία της. Για να παραμείνει η ακαμψία του συστήματος στα ίδια επίπεδα αυξανόμενου του βάθους πρέπει να αυξηθεί η μάζα του στον κύβο (μεγαλώνοντας το μήκος, την διάμετρο και το πάχος) και συνεπώς το κόστος θα αυξηθεί περίπου με την ίδια αναλογία. Ταυτόχρονα απαιτούνται και μεγαλύτερα πλοία για την μεταφορά καθώς και μεγαλύτερα υδραυλικά σφυριά, κάτι που ισοδυναμεί με περαιτέρω αύξηση του κόστους. Αυτός είναι και ο λόγος όπου το μονοπάσσαλο σύστημα χρησιμοποιείται σε ρηχά νερά μέχρι 35 μέτρα.

Όταν η ανεμογεννήτρια ξεπεράσει τον αναμενόμενο χρόνο ζωής για τον οποίο σχεδιάστηκε και αποφασιστεί να αποσυρθεί τότε αποκόπτεται ο πύργος 3 μέτρα πάνω από την επιφάνεια του πυθμένα και το υπόλοιπο μέρος αφήνεται εκεί. Με σκοπό την προστασία του περιβάλλοντος, η διαδικασία εξόρυξης της θεμελίωσης πέρα από το πρόσθετο κόστος της θα επέφερε και περισσότερη αναστάτωση στον πυθμένα της θάλασσας.

3.4 Η διασύνδεση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου

Σε ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο το ηλεκτρικό σύστημα της σύνδεσής του με το δίκτυο χωρίζεται σε τρία μέρη. Ανάλογα το μέγεθος του αιολικού πάρκου, οι ανεμογεννήτριες μπορούν να χωριστούν σε υποομάδες. Η κάθε υποομάδα μπορεί να συνδεθεί ξεχωριστά με τον υπεράκτιο υποσταθμό. Οι ανεμογεννήτριες στην έξοδο τους έχουν χαμηλή τάση από 0.7 έως 3 kV, η οποία δεν είναι αρκετή για την μεταξύ τους σύνδεση. Επομένως, είναι απαραίτητο για κάθε ανεμογεννήτρια να έχει έναν μετασχηματιστή ο οποίος ανεβάζει το επίπεδο της τάσης. Οι μετασχηματιστές αυτοί τοποθετούνται στην άτρακτο ή στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Τελικά οι ανεμογεννήτριες συνδέονται συνήθως σε δίκτυο μέσης τάσης 35 kV αλλά σε μικρά πάρκα μπορεί να φτάσει και τα 10kV.

Η επιλογή του τρόπου σύνδεσης με την στεριά καθορίζεται από τεχνικούς, οικονομικούς και περιβαλλοντικούς λόγους. Η AC μεταφορά παρουσιάζει μεγαλύτερες διηλεκτρικές απώλειες, λόγω των διάσπαρτων χωρητικότητων, οι οποίες είναι ανάλογες του μήκους των καλωδίων ενώ η DC μεταφορά απαιτεί την ύπαρξη μετατροπέων οι οποίες έχουν μεγαλύτερο κόστος. Στην παρούσα μελέτη θα χρησιμοποιηθεί η HVAC τεχνολογία.



Εικόνα 3.6



Εικόνα 3.7

3.4.1 Υπεράκτιος υποσταθμός

Σε αυτό το σημείο συνδέονται όλες οι ανεμογεννήτριες. Στον υπεράκτιο υποσταθμό βρίσκεται και ο Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης (ΑΔΔ) του υπεράκτιου αιολικού πάρκου ο οποίος αποτελείται από μετασχηματιστές τάσεως και έντασης. Επίσης εδώ βρίσκονται οι διακόπτες φορτίου για κάθε γραμμή αναχώρησης προς τις ανεμογεννήτριες. Το επίπεδο τάσης μέσω μεγάλων μετασχηματιστών ανεβαίνει στα 132-400 kV και μέσω των υποβρύχιων καλωδίων υψηλής τάσης μεταφέρεται η ισχύς στην ξηρά. Ο υπεράκτιος υποσταθμός χρησιμοποιείται για την μείωση των ηλεκτρικών απωλειών μέσω της ανύψωσης της τάσης. Γενικά ένας τέτοιος σταθμός δεν είναι απαραίτητος στις ακόλουθες περιπτώσεις :

- Η εγκαταστημένη ισχύς του πάρκου να είναι χαμηλή
- Το πάρκο να βρίσκεται κοντά στην στεριά (<15 km)
- Η σύνδεση με το δίκτυο γίνεται στο επίπεδο της τάσης στο εσωτερικό του πάρκου αν είναι μέχρι 35 kv.

Επίσης σε περιπτώσεις σύνδεσης με χρήση της HVDC τεχνολογίας τοποθετούνται οι κατάλληλοι μετατροπείς και στον υπεράκτιο υποσταθμό και στον υποσταθμό στην στεριά.

3.4.2 Υποσταθμός στην στεριά

Στον υποσταθμό συνδέεται το αιολικό πάρκο με το κεντρικό δίκτυο. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές που θέτει η ΔΕΗ υπάρχει η δυνατότητα να συνδεθούν στον ίδιο υποσταθμό και περισσότερα του ενός αιολικά πάρκα, όπως επίσης τίθεται και ο περιορισμός να βρίσκεται σε υψόμετρο μικρότερο των 1000 μέτρων. Πιο συγκεκριμένα εκεί τοποθετούνται ο μετασχηματιστής, ο διακόπτης ισχύος, οι γειωτές και η μονάδα της απαραίτητης αντιστάθμισης.



Εικόνα 3.8

3.5 Οι κατασκευαστές της υπεράκτιας τεχνολογίας

Δύο από τις μεγαλύτερες κατασκευάστριες εταιρείες ανεμογεννητριών είναι η Siemens και η Vestas. Οι εταιρείες αυτές κατέχουν ένα μεγάλο μερίδιο αγοράς στον τομέα των αιολικών πάρκων.

Η Siemens είναι η πιο έμπειρη εταιρεία της βιομηχανίας στον τομέα της υπεράκτιας αιολικής ενέργειας. Με τη δημιουργία του πρώτου, παγκοσμίως, εργοστασίου αιολικής ενέργειας το 1991 στη Δανία, η Siemens εγκαθίδρυσε τον κλάδο. Η βιομηχανοποίηση των τελευταίων ετών είδε τη Siemens να θέτει και να καταρρίπτει τα ρεκόρ για τις μεγαλύτερες υπεράκτιες εργοστασιακές μονάδες αιολικής ενέργειας, το οποίο στον παρόντα χρόνο κατέχει το έργο της συστοιχίας του Λονδίνου με παραγωγή 630 MW. Περιλαμβάνει 175 ανεμογεννήτριες Siemens των 3,5 MW.



Εικόνα 3.9

Η Vestas κατέχει σε 80 χώρες 101 GW αιολικής παραγόμενης ενέργειας και αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες παγκοσμίως στην κατασκευή ανεμογεννητριών.



Εικόνα 3.10

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΥΠΕΡΑΚΤΙΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

4.1 Το νομοθετικό πλαίσιο για τα υπεράκτια αιολικά πάρκα

Για την εγκατάσταση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων στην Ελλάδα ισχύει ο νόμος 3851/2010 του άρθρου 6, σύμφωνα με τον οποίο επισημαίνεται « Η επιτάχυνση της ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και άλλες διατάξεις σε θέματα αρμοδιότητας του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής » που ψηφίστηκε στις 4 Ιουνίου 2010, και τροποποίησε τον ν.3864/2006.

Ο νόμος αυτός επέτρεψε την δημιουργία αιολικών πάρκων εντός του εθνικού θαλάσσιου χώρου και εγκαινίασε μια καινούργια διαδικασία για την αδειοδότηση τους. Το πρώτο βήμα της διαδικασίας ήταν η εκπόνηση στρατηγικών μελετών περιβαλλοντικών επιπτώσεων για διάφορες πιθανές περιοχές. Οι πιθανές αυτές περιοχές επιλέχθηκαν βάσει μιας προκαταρκτικής χωροθέτησης και παρουσιάστηκαν σε σχετική εκδήλωση του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής στις 6/6/2010. Στην συνέχεια οι αναλυτικές μελέτες αυτές υποβλήθηκαν σε μια διαδικασία στρατηγικής περιβαλλοντικής εκτίμησης και με αυτόν τον τρόπο καθορίστηκαν οι ακριβείς θέσεις, η θαλάσσια έκταση που καταλαμβάνουν και η μέγιστη εγκατεστημένη ισχύς των πιθανών υπεράκτιων θαλάσσιων πάρκων που θα μπορούσαν να έχουν κατασκευαστεί από το 2011 έως το 2018. Βάσει του νόμου αυτού (3851/2010) θεωρήθηκε ότι για να εξασφαλιστεί η οικονομική απόδοση μιας τέτοιας επένδυσης η οποία θα εξασφάλιζε με την σειρά της την ταχύτητα ανάπτυξης, επιλέχθηκαν ανεμογεννήτριες πακτωμένες στον πυθμένα και οι περιοχές που εξετάστηκαν ήταν με μικρά έως 30 μέτρα και μέσα βάθη έως 50 μέτρα.

Αφού κρίθηκαν υπόψη οι προτάσεις διαφόρων υποψήφιων επενδυτών τα κριτήρια για την επιλογή των θαλάσσιων περιοχών που τέθηκαν στην προκαταρκτική χωροθέτηση ήταν:

- το αιολικό δυναμικό της περιοχής
- οι επιπτώσεις στο περιβάλλον
- η υπάρχουσα τεχνολογία
- η δυνατότητα σύνδεσης με υποθαλάσσιο καλώδιο
- η οπτική όχληση

Αναφορικά με τις επιπτώσεις στο περιβάλλον, επειδή δεν ήταν δυνατή η εκπόνηση αναλυτικών μελετών, απορρίφθηκαν εξαρχής όλες οι περιοχές του δικτύου NATURA.

Για την οπτική όχληση και την αποφυγή συγκέντρωσης μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών κοντά σε ακτές, τέθηκαν ορισμένα κριτήρια καθορισμού της μέγιστης συγκέντρωσης σε συνάρτηση με το μέγεθος τους και την απόσταση από την ακτογραμμή.

Οι αποστάσεις που οφείλουν να τηρηθούν από τις ακτές για πάρκα μεγάλης ισχύος είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες στο εξωτερικό, λόγω του ότι στην Ελλάδα οι περιοχές με αβαθή νερά είναι πολύ λίγες και δεν υπήρχε η δυνατότητα απόρριψης περισσότερων περιοχών. Για αυτόν λοιπόν τον λόγο πριν από την κατασκευή ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου θα κρινόταν απαραίτητη η πραγματοποίηση μιας έρευνας για την αποδοχή της τοπικής κοινωνίας.

4.2 Η διαδικασία αδειοδότησης των αιολικών πάρκων

Για την κατασκευή και λειτουργία ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας απαιτείται η έκδοση των παρακάτω αδειών και συμβάσεων κατόπιν αιτήσεως του ενδιαφερόμενου παραγωγού. Συνοπτικά τα βήματα που χρειάζεται να γίνουν είναι τα ακόλουθα :

- Έκδοση Άδειας Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (αρμόδια αρχή Υπουργείο Ανάπτυξης)

Ταυτόχρονα πρέπει να γίνουν αιτήσεις για :

- Διατύπωση Προσφοράς Σύνδεσης του σταθμού στο σύστημα
 - Άδεια Επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση εφόσον απαιτείται, ή ευρύτερα των αναγκαίων αδειών για την απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου όπου η αρμόδια αρχή είναι η περιφέρεια.
 - Έκδοση Άδειας Εγκατάστασης
 - Έκδοση Οικοδομικών Αδειών
 - Υπογραφή Σύμβασης Σύνδεσης στο σύστημα
- Δοκιμαστική περίοδος και έκδοση Άδειας Λειτουργίας

4.2.1 Άδεια παραγωγής της εγκατάστασης

Πιο αναλυτικά, για την περίπτωση θαλάσσιων αιολικών πάρκων η άδεια παραγωγής σύμφωνα με τον ν.3468/2006 χορηγείται από το Υπουργείο Ανάπτυξης λαμβάνοντας πρώτα την σύμφωνη γνώμη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας. Η άδεια παραγωγής διαρκεί έως 25 έτη και μπορεί να ανανεωθεί για ίσο χρόνο. Σύμφωνα με το υπάρχον νομικό πλαίσιο, κατά τη φάση της έκδοσης της άδειας πρέπει να γίνει υποβολή σχετικής αίτησης προς την Ρυθμιστική Αρχή Ενέργεια συνοδευόμενη, σε περιπτώσεις που απαιτείται, από την Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων. Σύμφωνα με την απόφαση της ΡΑΕ υπ' αριθμόν 54/2012 « Οδηγός Αξιολόγησης Αιτήσεων για χορήγηση άδειας παραγωγής σε υπεράκτιους αιολικούς σταθμούς ως προς το κριτήριο της ενεργειακής αποδοτικότητας και οικονομικής βιωσιμότητας» η άδεια παραγωγής χορηγείται με βάση την ενεργειακή απόδοση του και την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Όσον αφορά το αιολικό δυναμικό, οι μετρήσεις θα πρέπει να εκτελούνται από πιστοποιημένους φορείς σύμφωνα με το πρότυπο DIN-EN ISO/17025/2000. Επίσης, σύμφωνα με την ίδια απόφαση δεδομένα που εκτιμώνται κατά την αξιολόγηση είναι :

Η τεκμηρίωση του αιολικού δυναμικού. Στα παράκτια πάρκα δεν ισχύει ο περιορισμός της μέγιστης απόστασης των μετρήσεων του αιολικού δυναμικού, όπως στα αντίστοιχα χερσαία, ο οποίος είναι 7 km. Επίσης, μετρήσεις επιτρέπεται να γίνουν ακόμα και στην ακτή πλησίον του προτεινόμενου θαλάσσιου χώρου με όσο το δυνατόν περισσότερο επίπεδη τοπογραφία. Φυσικά τότε θα πρέπει να συμπεριληφθούν στη μελέτη και τα απαραίτητα στοιχεία για την μεταφορά των μετρήσεων στον θαλάσσιο χώρο.

Η οικονομική βιωσιμότητα των έργων. Ισχύει το κριτήριο του Εσωτερικού Βαθμού Απόδοσης με ελάχιστο επίπεδο απόδοσης που έχει οριακή τιμή 4%. Για τους υπολογισμούς της οικονομικής βιωσιμότητας το κόστος της επένδυσης προσδιορίζεται κατά περίπτωση, το ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου λαμβάνεται ως 3.2% του κόστους επένδυσης και η τιμή πώλησης της ενέργειας προσδιορίζεται στα 98 €/MWh .

4.2.2 Εκτίμηση του κόστους επένδυσης

Για τον υπολογισμό του μοναδιαίου κόστους εγκατάστασης συναρτήσει του βάθους εγκατάστασης χρησιμοποιείται ο τύπος με K1, το μοναδιαίο κόστος ανεμογεννήτριας σε €/kW και B το βάθος της εγκατάστασης. Επιπροσθέτως, ο αιτών οφείλει να υποβάλει επαρκή τεχνική περιγραφή της διασύνδεσης του σταθμού, με συνοπτική αναφορά των ορισμένων τεχνικών χαρακτηριστικών των επιμέρους στοιχείων της, ώστε να γίνεται δυνατή η εκτίμηση του κόστους. Το ίδιο πρέπει να γίνει και για την εσωτερική διασύνδεση μεταξύ των ανεμογεννητριών εντός τους πάρκου.

Τέλος, ο αιτών άδειας πρέπει να διαμορφώσει την προτεινόμενη διασύνδεση με το δίκτυο, ώστε να συνάδει με τον Στρατηγικό Σχεδιασμό Διασυνδέσεων Νησιών, όπως αναφέρεται στον ν.3851/2010.

$$K1 = 0,45 \times B^2 - 2,5 \times B + 1700 \quad (4.1)$$

Από την ΡΑΕ επίσης συνιστάται οι αποστάσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών να μην είναι πολύ μικρές λόγω της έλλειψης ακριβών ανεμολογικών μετρήσεων και των ελιγμών που χρειάζονται να εκτελούνται από τα σκάφη που συμμετέχουν στην δημιουργία του πάρκου.

4.2.3 Προσφορά Σύνδεσης στο Σύστημα

Αρμόδιος διαχειριστής για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι ο ΑΔΜΗΕ. Για να συνταχθεί η προσφορά αυτή, ο κάτοχος Άδειας Παραγωγής πρέπει να υποβάλλει την σχετική αίτηση στον αρμόδιο διαχειριστή ο οποίος και την χορηγεί εντός χρονικού περιθωρίου των τεσσάρων μηνών. Στην περίπτωση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων η προσφορά η ισχύει για τέσσερα χρόνια και μπορεί να ανανεωθεί από τον διαχειριστή.

Η αίτηση για προσφορά σύνδεσης πρέπει να περιλαμβάνει τα ακόλουθα :
Περιγραφή της επιδιωκόμενης σύνδεσης:

- Την επιθυμητή ημερομηνία σύνδεσης και ημερομηνία λειτουργίας του προτεινόμενου έργου ανάπτυξης.
- Αντίγραφο αποδεικτικού καταβολής στον τραπεζικό λογαριασμό του ΑΔΜΗΕ του προβλεπόμενου τιμήματος για την εκπόνηση των βασικών μελετών σύνδεσης.

Τα στοιχεία που καθορίζονται στο Κεφάλαιο 56 του ΚΔΣ&ΣΗΕ :

- Απαιτούμενη αξιοπιστία της σύνδεσης με βάση σχετικά πρότυπα ασφάλειας και αξιοπιστίας Συστήματος
- Χάρτης υπό κλίμακα 1:50.000 με σημειωμένη τη θέση της εγκατάστασης και τις συντεταγμένες του Υ/Σ σύνδεσης
- Χάρτης ΓΥΣ με σημειωμένες τις γεωγραφικές συντεταγμένες του γηπέδου Ν του Υ/Σ σύνδεσης
- Σχέδιο τυπωμένο ή σε ψηφιακή μορφή του χώρου 1:200 ή 1:500 των προτεινόμενων εγκαταστάσεων, με υπόδειξη της θέσης του υποσταθμού, της θέσης του σημείου σύνδεσης, των μετασχηματιστών, των κτιρίων ελέγχου και κάθε άλλου αναγκαίου στοιχείου
- Ηλεκτρικό μονογραμμικό διάγραμμα τυπωμένο ή ενδεχομένως σε ψηφιακή μορφή της προτεινόμενης εγκατάστασης που να υποδεικνύει λεπτομερώς τον σημαντικό εξοπλισμό της εγκατάστασης

Με βάση τα στοιχεία της αίτησης ο ΑΔΜΗΕ εκπονεί τις απαραίτητες μελέτες, ώστε να αποφασίσει για τον βέλτιστο τεχνοοικονομικά τρόπο της σύνδεσης. Πιο συγκεκριμένα, εξετάζει αν οι συνθήκες που επικρατούν στα πιθανά σημεία σύνδεσης των εγκαταστάσεων του αιτούντος με το Σύστημα είναι επαρκείς. Η λειτουργία του νέου σταθμού παραγωγής θα πρέπει να εκτελείται χωρίς να προκαλεί διαταραχές, όπως η ευστάθεια, οι αρμονικές, η αναλαμπή - Flicker και απότομες μεταβολές τάσεως, τόσο στο ίδιο το Σύστημα, όσο και στη μεταφορά ισχύος από ή προς το Σύστημα στα σημεία σύνδεσης άλλων χρηστών. Για την εκπόνηση των μελετών σύνδεσης ο αιτών καταβάλλει στο ΑΔΜΗΕ το τίμημα του οποίου το ύψος προσδιορίζεται βάσει του εκάστοτε ισχύοντος Τιμολογίου Σύνδεσης.

Στην προσφορά σύνδεσης υπάρχουν οι απαιτήσεις που αφορούν στο πλήθος και το είδος των γραμμών μεταφοράς για τη σύνδεση από τον υποσταθμό του παραγωγού έως το σημείο του συστήματος στο οποίο πραγματοποιείται η σύνδεση, στο πλήθος των ζυγών του υποσταθμού, στο πλήθος και τον τύπο των πυλών των γραμμών μεταφοράς, καθώς και στη σύνθεση του υποσταθμού κατά το τμήμα του που αποτελεί μέρος του συστήματος μεταφοράς. Στην προσφορά σύνδεσης περιλαμβάνονται τα ακόλουθα :

- Περιγραφή του τρόπου της σύνδεσης
- Γενική περιγραφή του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στη σύνδεση
- Εκτίμηση των δαπανών για την υλοποίηση των έργων επέκτασης της προτεινόμενης σύνδεσης
- Την προθεσμία αποδοχής της προσφοράς σύνδεσης
- Το χρόνο ισχύος της προσφοράς σύνδεσης
- Ενδεικτική εκτίμηση του απαιτούμενου χρόνου υλοποίησης της σύνδεσης

4.2.4 Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων

Για την έκδοση της Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων ο κάτοχος πλέον Άδειας Παραγωγής υποβάλλει αίτηση στην αρμόδια αρχή της οικείας Περιφέρειας. Η αρχή αυτή εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα προτεινόμενα μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης και οφείλει να αποφασίσει για τη χορήγηση ή μη απόφασης μέσα σε τέσσερις μήνες από το χρόνο που ο φάκελος θεωρήθηκε πλήρης. Η έγκριση ισχύει για δέκα έτη και μπορεί να ανανεώνεται, με αίτηση που υποβάλλεται έξι μήνες πριν από τη λήξη της, για μία ή περισσότερες φορές, μέχρι ίσο χρόνο κάθε φορά.

Ειδικά για την περίπτωση θαλάσσιων αιολικών πάρκων σύμφωνα με τον ν. 2971/2001 όπως τροποποιήθηκε από τον ν. 3468/2006, επιτρέπεται η παραχώρηση θαλάσσιου χώρου, αλλά ο ενδιαφερόμενος πρέπει να υποβάλλει αίτηση προς την αρμόδια Κτηματική Υπηρεσία την οποία κοινοποιεί στον Υπουργό Ανάπτυξης.

4.2.5 Άδεια εγκατάστασης αιολικού πάρκου

Η έκδοση Άδειας Εγκατάστασης σύμφωνα με τον ν. 3468/2006 αρθ.7,8 προϋποθέτει την κατοχή της Άδειας Παραγωγής και της απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων. Χορηγείται μετά από αίτηση προς την Περιφέρεια στα όρια της οποίας εγκαθίσταται ο σταθμός. Η αίτηση πρέπει να συνοδεύεται από μια σειρά δικαιολογητικών, τα οποία δίνονται παρακάτω :

- Η Προσφορά Σύνδεσης του σταθμού στο Σύστημα ή σε Δίκτυο
- Στην περίπτωση θαλάσσιου αιολικού πάρκου η έγκριση επέμβασης είτε η παραχώρηση του δικαιώματος χρήσης του θαλάσσιου χώρου
- Μια σειρά από παραστατικά πληρωμής τελών, κρατήσεων και φόρων

Η Άδεια Εγκατάστασης εκδίδεται από τον Γενικό Γραμματέα της Περιφέρειας για όλα τα έργα που κατατάσσονται στις υποκατηγορίες A2, B3 ή B4 εντός προθεσμίας δεκαπέντε εργάσιμων ημερών ενώ για την υποκατηγορία A1 εκδίδεται με απόφαση του Υπουργού Ανάπτυξης εντός προθεσμίας τριάντα ημερών. Η συγκεκριμένη άδεια ισχύει για δύο έτη και μπορεί να παρατείνεται για το πολύ άλλα δύο υπό συγκεκριμένους περιορισμούς και μετά από αίτηση του κατόχου της.

4.3 Σύμβαση Σύνδεσης στο Σύστημα

Αφού καταστεί δεσμευτική η Προσφορά Σύνδεσης, ο δικαιούχος μπορεί να υποβάλλει αίτηση στον αρμόδιο διαχειριστή για σύναψη Σύμβασης Σύνδεσης. Η Σύμβαση Σύνδεσης υπογράφεται και ισχύει από την χορήγηση της Άδειας Εγκατάστασης. Εν συνεχεία ο ενδιαφερόμενος μπορεί να ξεκινήσει την υλοποίηση των έργων σύνδεσης.

4.3.1 Σύμβαση Αγοραπωλησίας Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η σύμβαση αγοραπωλησίας συνάπτεται μεταξύ του διαχειριστή και του ενδιαφερόμενου, έχει ισχύ είκοσι ετών και μπορεί να παρατείνεται, σύμφωνα με τους όρους της άδειας αυτής, εφόσον ισχύει η σχετική άδεια παραγωγής.

4.4 Δοκιμαστική Περίοδος και Άδεια Λειτουργίας

Η προσωρινή σύνδεση και δοκιμαστική λειτουργία είναι δυνατή μετά την σύναψη των συμβάσεων Αγοραπωλησίας και Σύνδεσης και αφού έχουν ολοκληρωθεί τα έργα της εγκατάστασης. Ο κάτοχος της Άδειας Εγκατάστασης πρέπει να υποβάλλει στον αρμόδιο διαχειριστή αίτηση για προσωρινή σύνδεση του σταθμού, προκειμένου να πραγματοποιηθούν οι απαιτούμενες δοκιμές. Εφόσον γίνει η ηλεκτρίση του σταθμού για 15 μέρες, γίνονται έλεγχοι της λειτουργίας και από τον διαχειριστή και από τον επενδυτή. Αν δεν προκύψει κάποιο τεχνικό πρόβλημα δίνεται βεβαίωση στον παραγωγό με την οποία πιστοποιείται ότι έχει περατωθεί επιτυχώς η φάση δοκιμαστικής λειτουργίας του σταθμού.

Η άδεια λειτουργίας δίνεται με απόφαση της ίδιας αρχής που χορήγησε την άδεια εγκατάστασης μετά από αίτηση. Είναι απαραίτητο να γίνει αυτοψία από τα αρμόδια όργανα όσον αφορά την τήρηση της Άδειας Εγκατάστασης και έλεγχος από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Μετά το τέλος των ελέγχων αυτών η άδεια δίνεται εντός 15 ημερών. Η άδεια λειτουργίας ισχύει για 20 χρόνια και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρονικό διάστημα. Ο κάτοχος μια τέτοιας άδειας υποχρεούται εντός του πρώτου διμήνου κάθε ημερολογιακού έτους να ενημερώνει το Υπουργείο Ανάπτυξης και τη ΡΑΕ για τα στοιχεία που ακολουθούν και που αφορούν το προηγούμενο έτος :

- Την ετήσια παραγωγή ενέργειας και τη μέγιστη ισχύ παραγωγής του σταθμού που καταγράφηκε κατά το διάστημα αυτό
- Το ετήσιο ποσοστό μη διαθεσιμότητας του σταθμού και τους λόγους στους οποίους οφείλεται αυτό
- Τυχόν προβλήματα λειτουργίας του σταθμού που οφείλονται στο σύστημα ή το δίκτυο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΕΡΑΚΤΙΟΥ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 10 MW

5.1 Υπεράκτιο αιολικό πάρκο στην θαλάσσια περιοχή του δήμου Καρύστου

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναπτύχθηκαν όλοι οι παράγοντες που επηρεάζουν την χωροθέτηση, εγκατάσταση και λειτουργία ενός υπεράκτιου αιολικού πάρκου. Έγινε φανερό ότι οι παράγοντες αυτοί, εκτός από τεχνικοί είναι και χωρικοί, περιβαλλοντικοί και νομικοί. Από το κεφάλαιο αυτό και στις επόμενες ενότητες πραγματοποιείται η τεchnοοικονομική ανάλυση της κατασκευής ενός πάρκου στον θαλάσσιο χώρο του δήμου Καρύστου.

5.2 Το μοντέλο της ανεμογεννήτριας που θα εγκατασταθεί είναι Vestas V80 2 MW Offshore.

Δεδομένα

- Ονομαστική ισχύς : 2MW
- Κοπή ταχύτητας ανέμου: 4.0 m/s
- Ονομαστική ταχύτητα ανέμου: 16 m/s
- Διακοπή ταχύτητας ανέμου: 25 m/s

Στροφείο

- Διάμετρος στροφείου: 80 m
- Περιοχή κάλυψης: 5027 m²
- Αριθμός λεπίδων: 3
- Ταχύτητα στροφέα max 19.1 u/m
- Τύπος: NACA 63 FFA-W3
- Υλικό: GFK
- Κατασκευαστής: Vestas
- Πυκνότητα ισχύος 1: 397.9 W/m²
- Πυκνότητα ισχύος 2: 2.5 m²/kw

Κιβώτιο ταχυτήτων

- Τύπος: κινητό/σφαιρικό
- Στάδια: 3

Γεννήτρια

- Τύπος: Ασύγχρονη
- Αριθμός: 1
- Ταχύτητα μέγιστη 2016.0 στροφές ανά λεπτό
- Τάση: 690.0 V

- Σύνδεση δικτύου: Θυρίστορ
- Συχνότητα δικτύου: 50 Hz

Πυλώνας

- Ύψος: 80 m
- Τύπος: Σωλήνας χάλυβα
- Σχήμα: Κωνικός
- Προστασία από την διάβρωση: επικάλυψη
- Κατασκευαστής: Vestas

Βάρος

- Λεπίδα: 6.5 t
- Στροφείο: 37.5 t
- Πύργος: 148 t



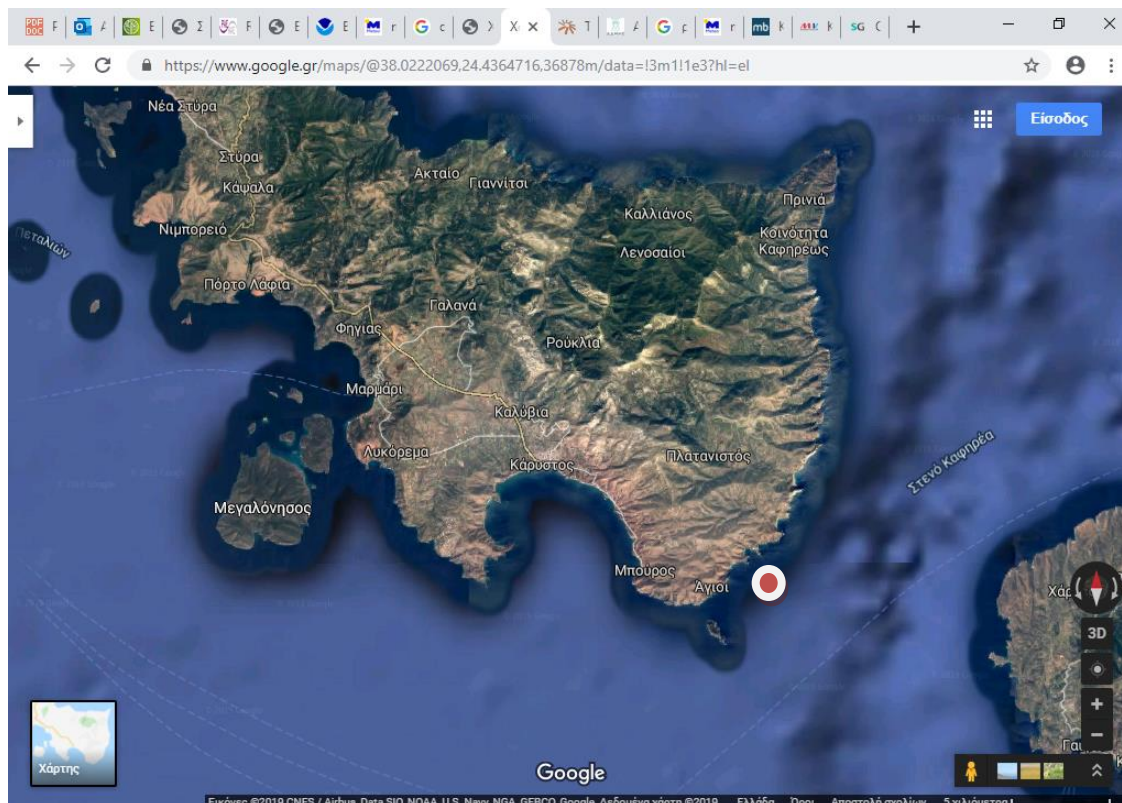
Εικόνα 5.1



Εικόνα 5.2

5.3 Επιλογή της περιοχής εγκατάστασης του πάρκου

Ο υπογήφιος χώρος είναι στο Δήμο Καρύστου στην περιοχή Καστρί.

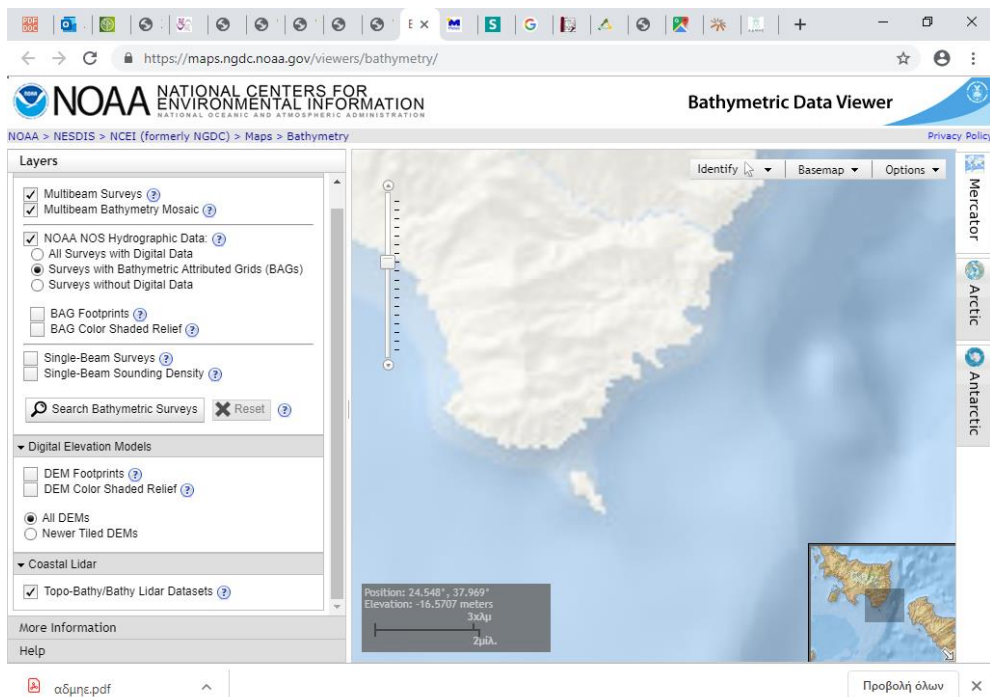


Εικόνα 5.3

Ο θαλάσσιος αυτός χώρος κρίθηκε κατάλληλος για την εγκατάσταση αιολικού πάρκου, διότι δεν επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί για άλλους λόγους, επίσης είναι δυνατή η σύνδεση του με το δίκτυο, περιορίζεται η οπτική όχληση και φυσικά έχει το απαιτούμενο αιολικό δυναμικό. Στην συνέχεια έγινε η επιλογή του συγκεκριμένου θαλάσσιου οικοπέδου στον χώρο του δήμου Καρύστου που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή του δικού μας αιολικού πάρκου. Στην εικόνα 5.3 φαίνεται η περιοχή του οικοπέδου.

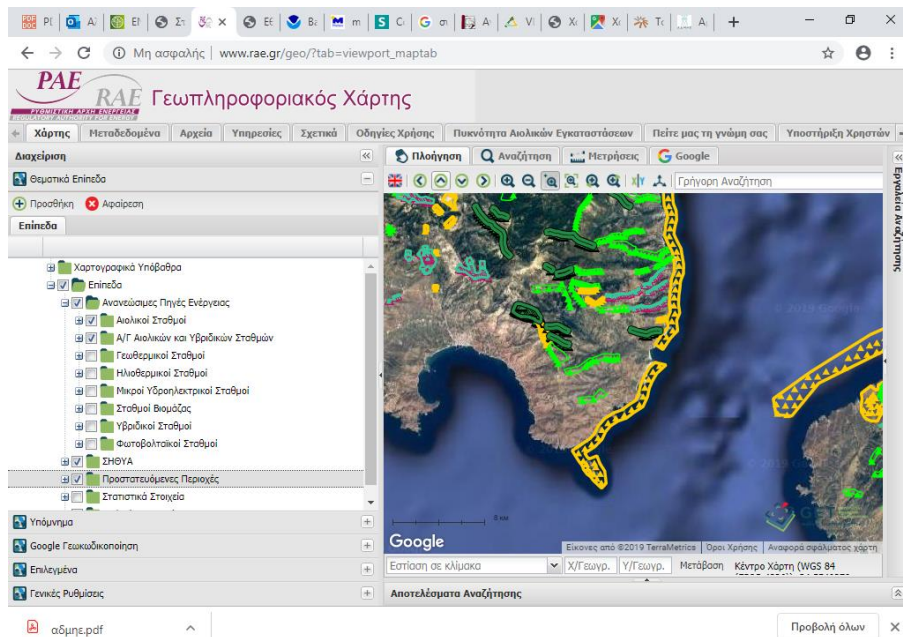
5.3.1 Βάθος θαλάσσιου οικοπέδου για την τοποθέτηση των πασσάλων

Το βάθος του θαλάσσιου οικοπέδου που επιλέξαμε σύμφωνα με τα στοιχεία στην εικόνα 5.4 είναι 16.5 μέτρα. Οπότε είναι κατάλληλο για την τοποθέτηση των ανεμογεννητριών, γιατί όπως προαναφέραμε και στο 3 κεφάλαιο το κατάλληλο βάθος είναι μεταξύ 15 και 30 μέτρων για την εύκολη εγκατάσταση των ανεμογεννητριών στο πυθμένα.



Εικόνα 5.4 : βυθομετρικός χάρτης της περιοχής

Επιπλέον, όπως φαίνεται και από την εικόνα 5.5, η ΡΑΕ δέχεται ήδη αιτήσεις για την δημιουργία υπεράκτιων αιολικών πάρκων στη συγκεκριμένη περιοχή.



Εικόνα 5.5: Η περιοχή όπου δέχεται ήδη αιτήσεις η ΡΑΕ για υπεράκτια αιολικά πάρκα

5.3.2 Επιλογή θαλάσσιου οικοπέδου και χωροθέτηση των ανεμογεννητριών

Η τυπική απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών σε υπεράκτια αιολικά πάρκα κυμαίνεται μεταξύ 6D και 10D όπου D είναι το μήκος του ρότορα των ανεμογεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν. Γενικότερα, διαλέγεται μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών που βρίσκονται σε διαφορετική γραμμή οριζόντια ως προς την κατεύθυνση του κύριου ανέμου και μικρότερη μεταξύ των στηλών δηλαδή κάθετα ως προς τον κύριο άνεμο. Η επιλογή της απόστασης αυτής είναι σημαντική, καθώς επηρεάζει την τελική ενεργειακή έξοδο του πάρκου.

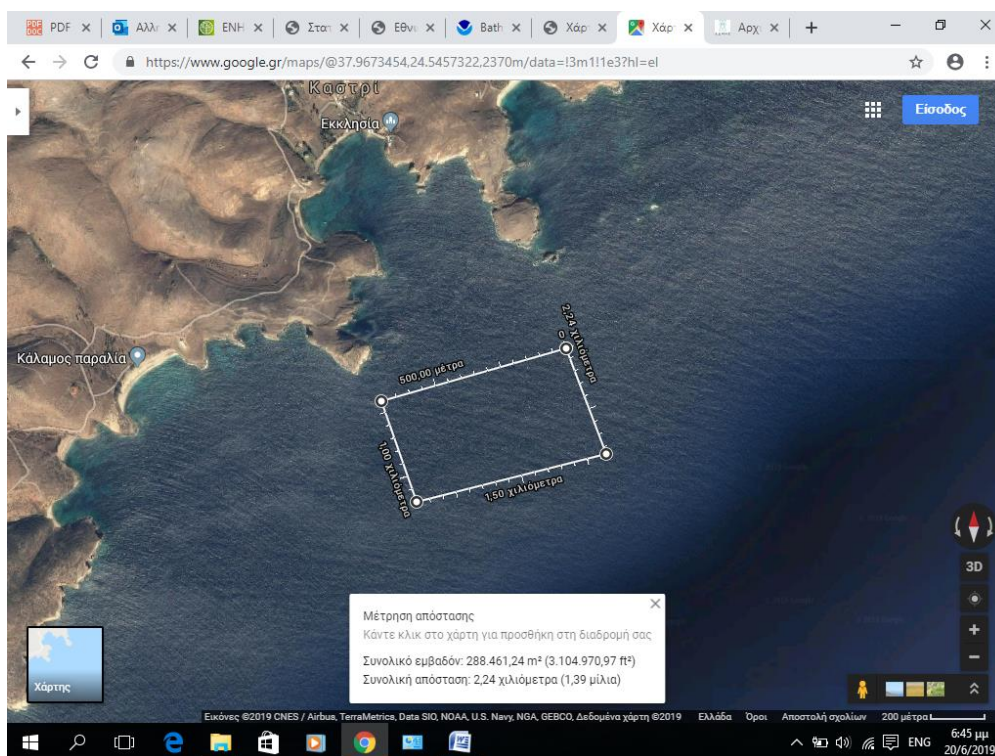
Σε περίπτωση που οι ανεμογεννήτριες είναι πολύ κοντά τότε κάποιες από αυτές θα δέχονται σαν είσοδο έναν «αδυνατισμένο» άνεμο, αφού μέρος της κινητικής του ενέργειας θα έχει χαθεί λόγω της μετατροπής του σε ηλεκτρική από κάποια άλλη ανεμογεννήτρια. Για τον υπολογισμό της βέλτιστης απόστασης απαιτείται η χρήση ειδικών software, τα οποία εκτελώντας πολλές προσομοιώσεις καταλήγουν στην επιλογή της απόστασης.

Επιλέγουμε: $D_{cw} = 3 * D_r$ και $10 d_w * r * D = D$ (5.1)

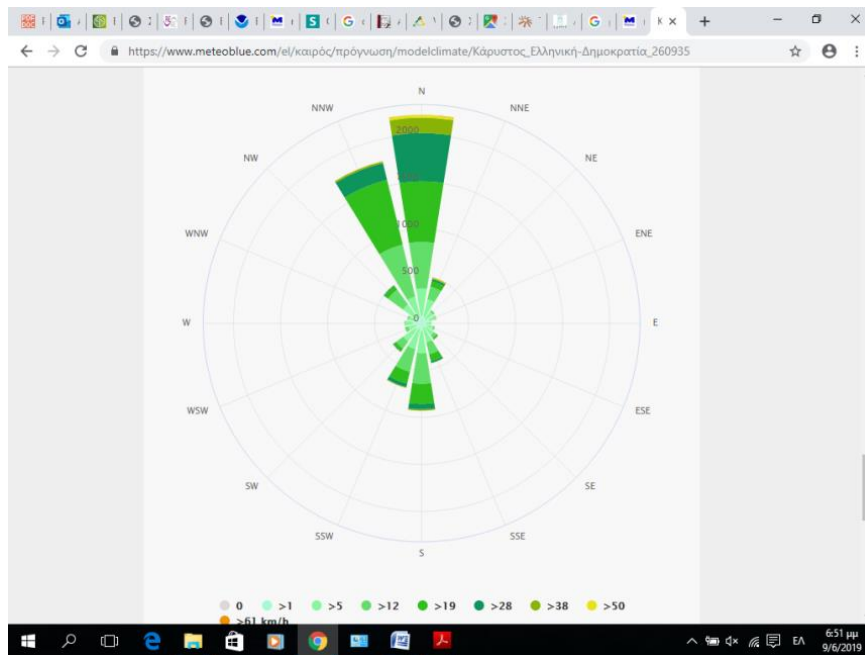
$$[((3.0 * D_r) * (N_r - 1) + (1.5 * D_r * 2)) * (1.5 * D_r * 2)] / 1000 =$$

$$[((3.0 * 80) * (5 - 1) + (1.5 * 80 * 2)) * (1.5 * 80 * 2)] / 1000 = \underline{288 \text{ στρέμματα}}$$

Στην εικόνα 5.6 παρατηρούμε το θαλάσσιο οικόπεδο που επιλέξαμε για την εγκατάσταση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου που θα περιέχει 5 ανεμογεννήτριες ισχύος 2 MW έκαστος. Το συνολικό εμβαδό του οικοπέδου είναι περίπου 288000 m². Το συγκεκριμένο εμβαδόν προέκυψε από την παραπάνω σχέση.

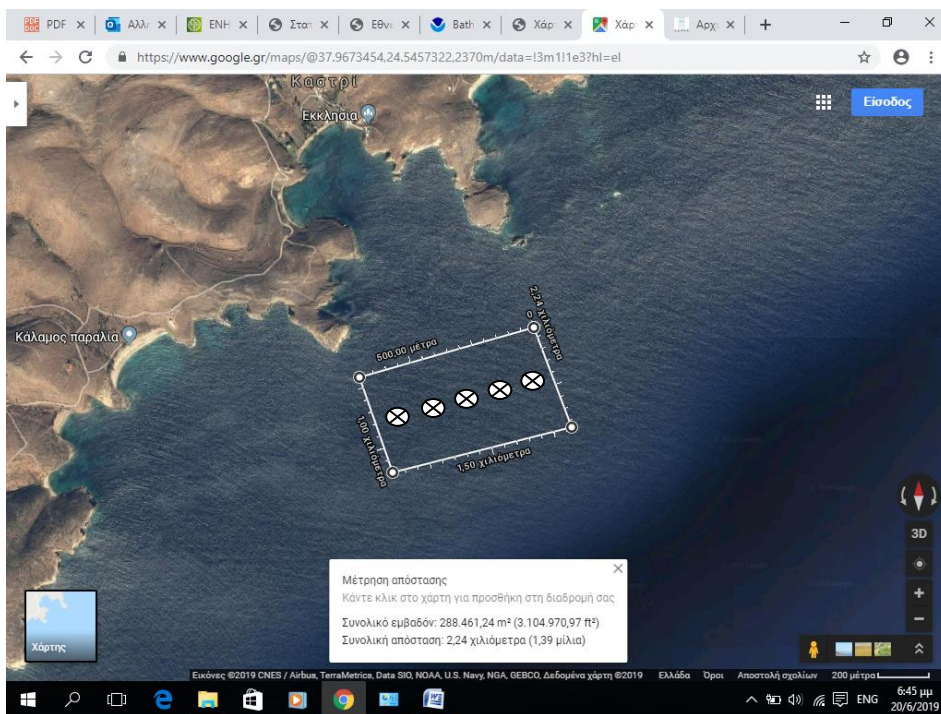


Εικόνα 5.6 : Χωροθέτηση θαλάσσιου οικοπέδου που επιλέξαμε στην περιοχή Καστρί 288 στρεμμάτων



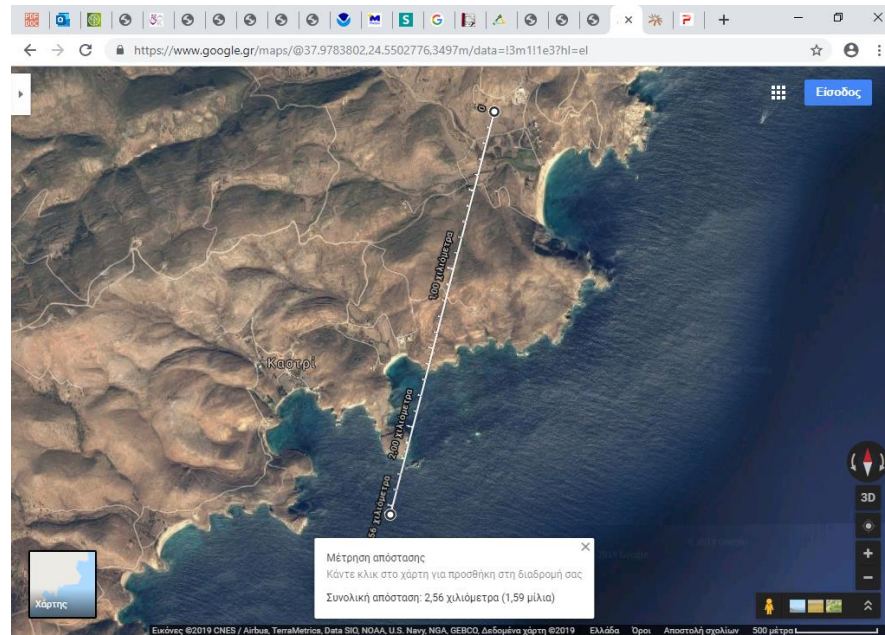
Εικόνα 5.7 : Ροδόγραμμα του ανέμου για χρονικό διάστημα ενός έτους

Το πάρκο μας επιλέχθηκε να έχει βόρειο-βορειοδυτικό προσανατολισμό, αφού όπως φαίνεται από την εικόνα 5.7 των μετρήσεων την ίδια κατεύθυνση έχει και ο άνεμος σαν μέση τιμή σε διάστημα ενός χρόνου. Το ροδόγραμμα θα καθορίσει την τοποθέτηση των ανεμογεννητριών σε σχέση με τον άνεμο.



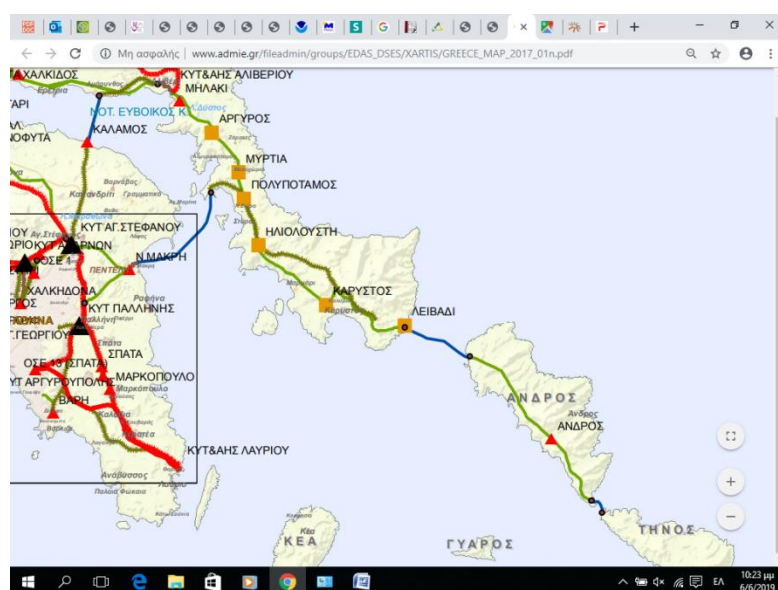
Εικόνα 5.8 : Η τοποθέτηση των 5 ανεμογεννητριών στον χώρο

5.4 Διασύνδεση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου με την στεριά



Εικόνα 5.9: Διασύνδεση υπεράκτιου αιολικού πάρκου

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία και τα υπάρχοντα πάρκα το επίπεδο τάσης στην εσωτερική σύνδεση του πάρκου, δηλαδή στην σύνδεση των ανεμογεννητριών σε συστάδες και στην σύνδεση των συστάδων με τον υπεράκτιο υποσταθμό το επίπεδο της τάσης θα είναι 33-36 kV. Ως σημείο στο οποίο είναι ο χερσαίος υποσταθμός της ΔΕΔΔΗΕ επιλέχθηκε το κοντινότερο σημείο της στεριάς, αφού ο χώρος απέχει από το κέντρο του πάρκου περίπου 2,56 χιλιόμετρα, όπως βλέπουμε και στην εικόνα 5.10.



Εικόνα 5.10 : Ο χερσαίος υποσταθμός στην περιοχή Λειβάδι

Η κατάλληλη επιλογή φαίνεται ότι είναι η HVAC. Σύμφωνα και πάλι με την βιβλιογραφία και τα υπεράκτια αιολικά πάρκα σε λειτουργία, η τάση και τα υποβρύχια καλώδια που θα χρησιμοποιηθούν φαίνονται στον επόμενο πίνακα για κάθε περίπτωση.

5.5 Πρόγραμμα εφαρμογής αιολικού πάρκου με το λογισμικό RETScreen

Το λογισμικό RETScreen θεωρείται σήμερα ως ένα από τα πιο αξιόπιστα λογισμικά, που διατίθεται για την οικονομική μελέτη των εγκαταστάσεων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το πρόγραμμα επιτρέπει την αξιολόγηση και βελτιστοποίηση της τεχνικής και οικονομικής βιωσιμότητας έργων ανανεώσιμης ενέργειας, τη μέτρηση της πραγματικής απόδοσης των εγκαταστάσεων και τις ευκαιρίες εξοικονόμησης παραγωγής ενέργειας.

Η πλατφόρμα του λογισμικού χρησιμοποιεί λεπτομερή και περιεκτικά στοιχεία για την εκτίμηση των έργων και περιλαμβάνει τη δυνατότητα ανάλυσης τους. Συμπεριλαμβάνει μιας παγκόσμιας βάσης δεδομένων κλιματολογικών συνθηκών που λαμβάνονται από 6.700 επίγειους σταθμούς και δορυφορικά δεδομένα της NASA. Επιπλέον, μία βάση δεδομένων αναφοράς, κόστους, κατασκευαστικών έργων και μία βάση δεδομένων προϊόντων.

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 έργου
- Τοποθεσία
- Εγκατάσταση
- Ενεργειακό μοντέλο
- Ανάλυση κόστους
- Ανάλυση εκπομπών
- Οικονομική ανάλυση
- Ανάλυση επικινδυνότητας

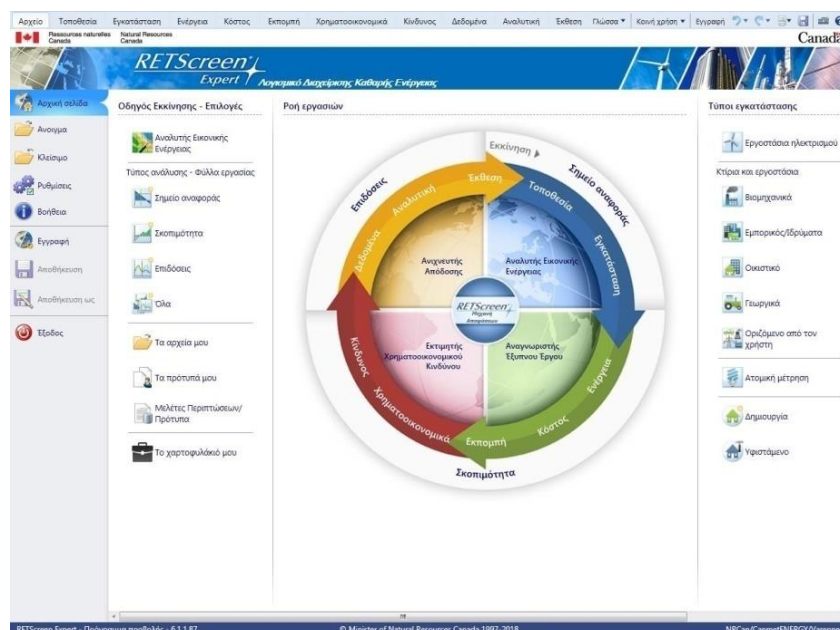
Στην επόμενη ενότητα το πρόγραμμα θα χρησιμοποιηθεί, για την τεχνοοικονομική μελέτη του υπεράκτιου αιολικού πάρκου 10MW στον δήμο Καρύστου.



Εικόνα 5.11

5.5.1 Εκκίνηση του προγράμματος

Στο φύλλο εκκίνησης έχουμε την δυνατότητα να παρακολουθήσουμε την ροή εργασιών ενός έργου, όπως επίσης και τις διαθέσιμες επιλογές που παρέχει το λογισμικό. Ο τύπος της εγκατάστασης που επιθυμούμε είναι «Εργοστάσια ηλεκτρισμού».



Εικόνα 5.12 : Φύλλο εκκίνησης προγράμματος

5.5.2 Επιλογή τοποθεσίας και λήψη κλιματικών δεδομένων

Πρώτα, επιλέγουμε την τοποθεσία εγκατάστασης. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, επιλέγουμε την θάλασσα περιοχή Καστρί. Για τη θέση λήψης κλιματολογικών δεδομένων επιλέγουμε το Athens observatory.



Εικόνα 5.13 : Τοποθεσία εγκατάστασης

Το πρόγραμμα εμφανίζει πληροφορίες όπως η θερμοκρασία του αέρα, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η ατμοσφαιρική πίεση, οι οποίες παρουσιάζονται αναλυτικότερα στον πίνακα 5.1. Επιπλέον, στο γράφημα 5.1 παρουσιάζεται η ταχύτητα του ανέμου κατά την διάρκεια όλου του χρόνου.

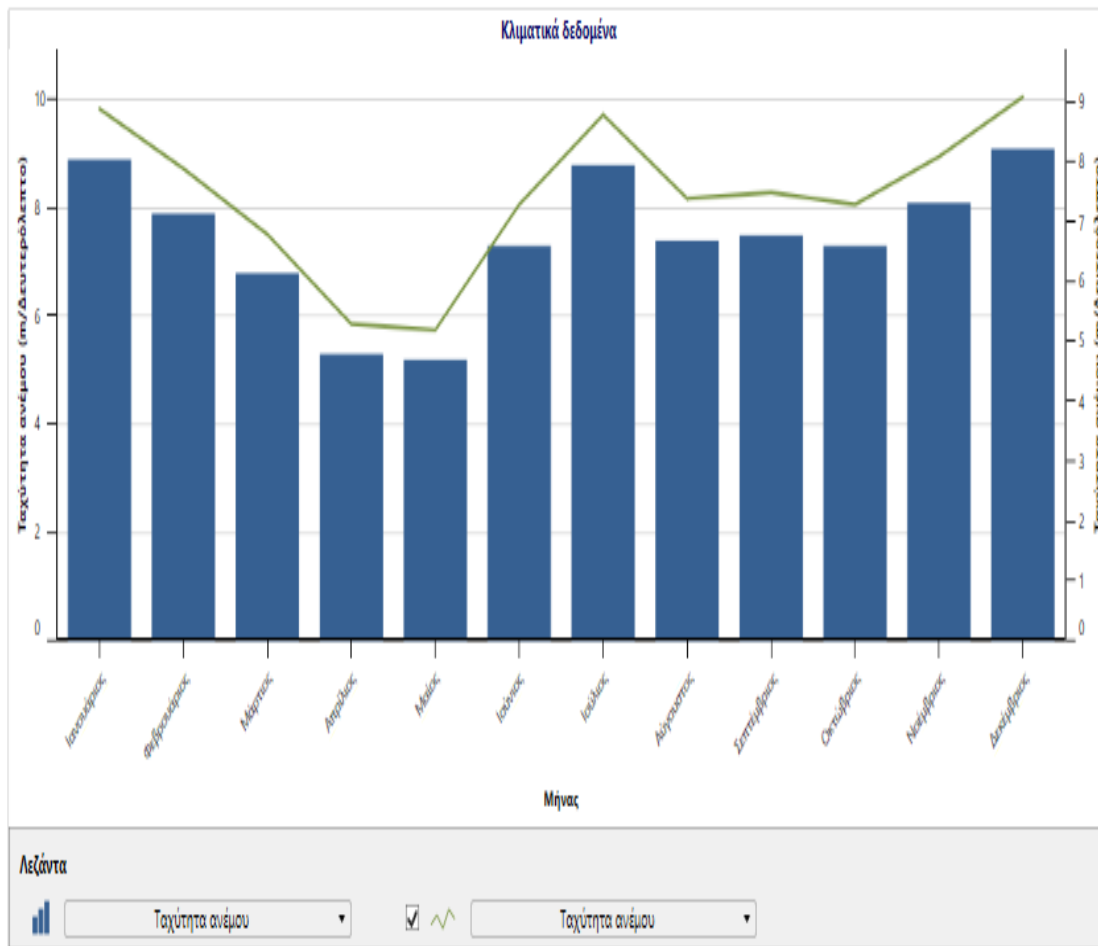
	Μονάδα	Θέση κλιματολογικών δεδομένων	Τοποθεσία εγκατάστασης	Πηγή
Γεωγραφικό πλάτος		37.5	38.0	
Γεωγραφικό μήκος		24.9	24.5	
Κλιματική ζώνη		3A - Θερμό - Υγρό		NASA
Υψόμετρο	m	16	16	NASA - NASA
Θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμού	°C	5.3		NASA
Θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού	°C	28.8		NASA
Πλάτος (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/m ² /ημ	kPa	m/Δευτερόλεπτο	°C	°C-ημ	°C-ημ
Ιανουάριος	12.6	76.2%	84.94	2.18	101.6	8.9	14.8	167	81
Φεβρουάριος	12.4	75.9%	77.28	3.03	101.5	7.9	14.6	157	67
Μάρτιος	13.4	76.0%	57.97	4.29	101.4	6.8	14.9	143	105
Απρίλιος	15.7	76.1%	31.80	5.84	101.2	5.3	16.2	69	171
Μαΐος	19.0	75.4%	16.74	6.98	101.2	5.2	18.9	0	279
Ιούνιος	23.0	71.4%	4.50	8.04	101.1	7.3	22.7	0	390
Ιούλιος	24.9	70.4%	2.79	7.96	100.9	8.8	24.5	0	462
Αύγουστος	25.2	71.5%	2.48	7.18	100.9	7.4	25.0	0	471
Σεπτέμβριος	23.4	70.9%	13.80	5.75	101.2	7.5	24.0	0	402
Οκτώβριος	20.1	74.8%	48.67	3.87	101.5	7.3	21.4	0	313
Νοέμβριος	16.8	77.0%	83.70	2.37	101.6	8.1	18.4	36	204
Δεκέμβριος	14.0	76.9%	93.93	1.81	101.6	9.1	16.0	124	124
Ετήσιο	18.4	74.4%	518.60	4.95	101.3	7.5	19.3	696	3,069
Πηγή	NASA	NASA	NASA	NASA	NASA	Οριζόμενο από τον χρήστη	NASA	NASA	NASA
Μετρημένο σε						m	10	0	

Πίνακας 5.1 : Κλιματικά δεδομένα περιοχής

Από τον πίνακα 5.1 διαθέτουμε τα εξής σημαντικά δεδομένα:

- 1) Θερμοκρασία αέρα: 18.4 C⁰
- 2) Σχετική υγρασία: 74.4%
- 3) Ατμοσφαιρική πίεση: 101.3 kra
- 4) Ημερήσια ηλιακή ακτινοβολία: 4.95 kwh/m²
- 5) Ταχύτητα του ανέμου: 7.5 m/s²
- 6) Θερμοκρασία εδάφους: 19.3 C⁰



Γράφημα 5.1 : Καμπύλη ταχύτητας ανέμου

5.5.3 Εγκατάσταση υπεράκτιου αιολικού πάρκου

Στο φύλλο αυτό 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. Σε αυτήν την περίπτωση επιλέγουμε:


- ❖ Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- ❖ Ανεμογεννήτρια
- ❖ Προσθέτουμε την περιγραφή του έργου υπεράκτιο αιολικό πάρκο 10 MW
- ❖ Χώρα εγκατάστασής τους (Ελλάδα).

Πληροφορίες για τις εγκαταστάσεις

Τύπος εγκαταστάσεων: Εργοστάσιο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
 Τύπος: Ανεμογεννήτρια
 Περιγραφή: Υπεράκτιο αιολικό πάρκο 10MW

Συντάχθηκε για: Συντάχθηκε για
 Συντάχθηκε από: Συντάχθηκε από

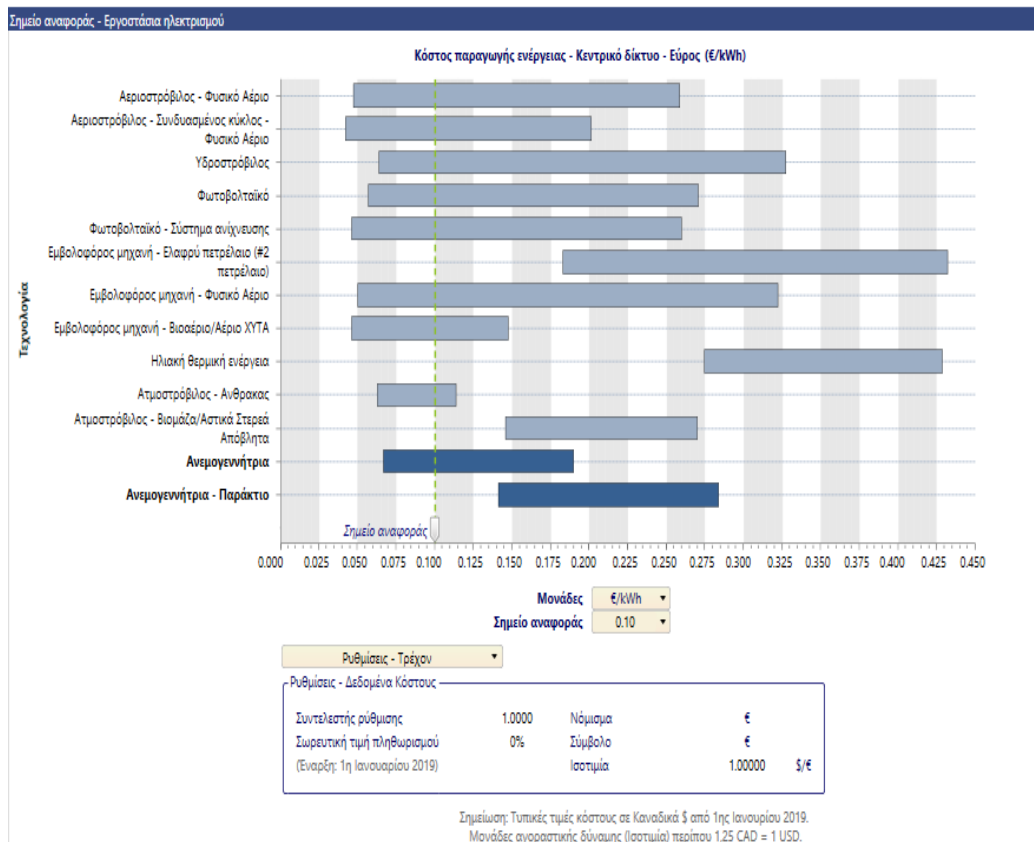
Όνομα εγκατάστασης: Καστρί
 Διεύθυνση: Διεύθυνση
 Πόλη/Δήμος: Κάρυστος
 Επαρχία/Νομός: Εύβοια
 Χώρα: Ελλάδα



Φωτογραφία - Κλαγος

Εικόνα 5.14 : Φύλλο εγκατάστασης

Στο παρακάτω διάγραμμα αναλύεται το κόστος παραγωγής ενέργειας σε €/kwh για κάθε εργοστάσιο ηλεκτρισμού.



Γράφημα 5.2 : Διάγραμμα κόστους ενέργειας

5.5.4 Επιλογή μοντέλου ανεμογεννήτριας και ενεργειακοί υπολογισμοί

Στο επόμενο φύλλο του ενεργειακού μοντέλου εισάγονται τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης του πάρκου και συμπληρώνονται τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών που πρόκειται να τοποθετηθούν, αυτά είναι:

Χαρακτηριστικά

- ✓ Ισχύς
- ✓ Ύψος
- ✓ Ο αριθμός των ανεμογεννητριών

Συντελεστές

- ✓ Απόδοση της ανεμογεννήτριας
- ✓ Απώλειες του συστήματος
- ✓ Το τελικό ποσό ενέργειας που παραδίδεται στο σύστημα.

Στην αξιολόγηση πηγών επιλέγουμε τη μέθοδο εκτίμησης φυσικών πόρων, που είναι η ταχύτητα ανέμου και ορίζουμε :

- ✓ Την ετήσια ταχύτητα του ανέμου
- ✓ Την θερμοκρασία του αέρα
- ✓ Την ατμοσφαιρική πίεση της περιοχής εγκατάστασης
- ✓ Από την βάση δεδομένων του RETScreen επιλέγουμε το μοντέλο Vestas V80 2MW

Ο αριθμός των στροβίλων ορίζεται σε πέντε. Το πρόγραμμα εμφανίζει αυτόματα τις πληροφορίες για το συγκεκριμένο μοντέλο ανεμογεννήτριας και μέσω αυτών των δεδομένων εμφανίζονται οι καμπύλες ισχύος και ενέργειας, όπως φαίνεται στους πίνακες 5.2, 5.3 και στο γράφημα 5.3.

Εργαστήριο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας - Υπεράκτιο αιολικό πάρκο 10MW - Ανεμογεννήτρια

Καύσιμα & προγράμματα

Ηλεκτρική ενέργεια και καύσιμα

Τεχνολογία

Ηλεκτρισμός

Ανεμογεννήτρια

Περίληψη

Να συμπεριληφθεί το σύστημα:

Καύσιμα

Αιολικό

Περιγραφή: Ανεμογεννήτρια

Σημείωση:

Επίπεδο: 1, 2, 3

Αιολικό - Επίπεδο 2

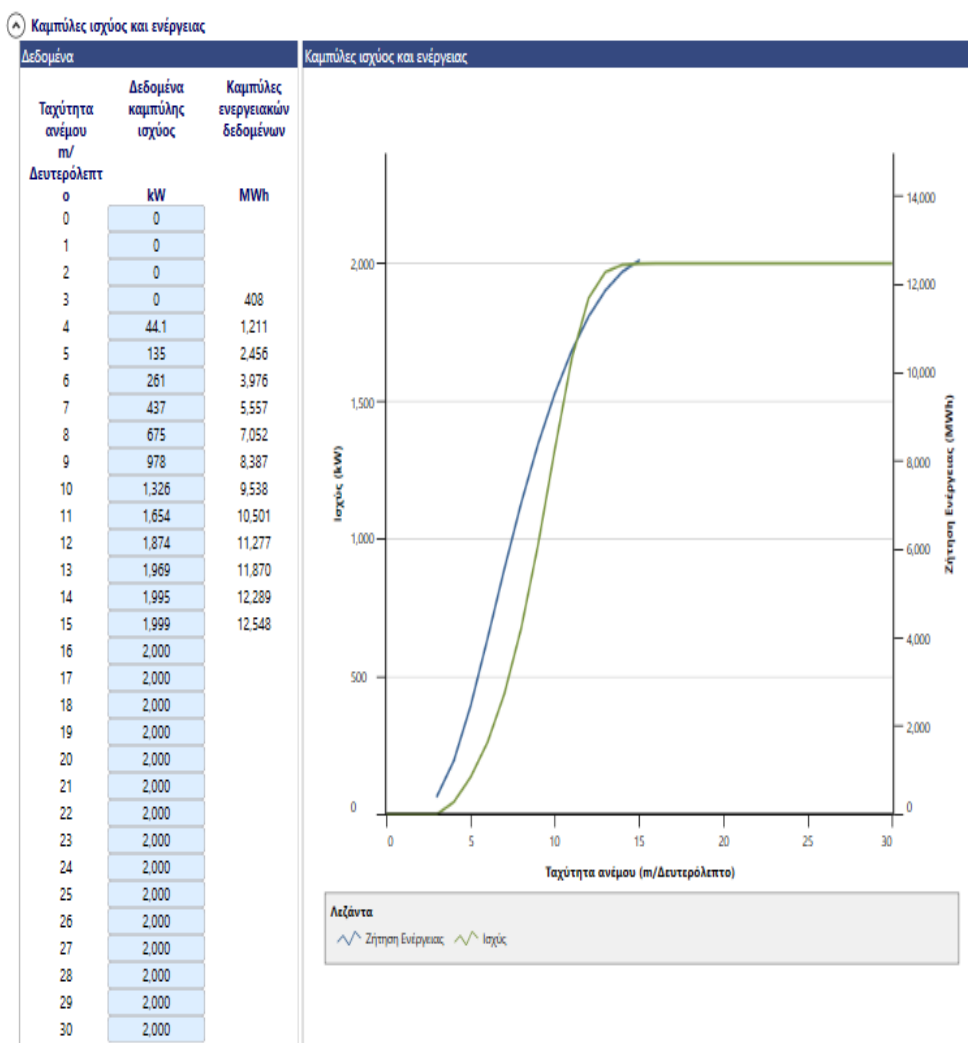
Αξιολόγηση πηγών

Μέθοδος (εκτίμηση) φυσικών πόρων	Ταχύτητα ανέμου	Κλιματικά δεδομένα
Ταχύτητα ανέμου - ετήσια	7.5 m/Δευτερόλεπτο	7.5
Μετρημένο σε	10 m	10
Εκθέτης παραμόρφωσης ανέμου	0.09	
Θερμοκρασία αέρα - ετήσια	18.4 °C	18.4
Ατμοσφαιρική πίεση - ετήσια	101.3 kPa	101

Ανεμογεννήτρια

Ισχύς ανά στρόβιλο	2.000 kW	
Κατασκευαστής	Vestas	
Μοντέλο	VESTAS V80-2.0 MW OFFSHORE	
Αριθμός στρόβιλων	5	
Ηλεκτρική ισχύς	10.000 kW	
Ύψος πύλων	80 m	9 m/Δευτερόλεπτο
Διάμετρος ρότορα ανά στρόβιλο	80 m	
Επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο	5.026.55 m ²	
Καμπύλες ενεργειακών δεδομένων	Τυποποιημένο	
Παράγων σχήματος	2	

Πίνακας 5.2 : Επιλογή μοντέλου ανεμογεννήτριας - χαρακτηριστικά - δεδομένα



Γράφημα 5.3: Καμπύλες ισχύος και ενέργειας

Καθορίζουμε το ποσοστό απωλειών διάταξης, που οφείλεται στην αλληλεπίδραση των ανεμογεννητριών μεταξύ τους, όμως για τον αριθμό μονάδων το ποσοστό αυτό περιορίζεται έως 5%, όπως στην περίπτωση του πάρκου μας. Οι τιμές για τις απώλειες πτερυγίου κυμαίνονται από 1% έως 9%. Στην περίπτωση μας θα ορίσουμε την τιμή ως 2%.

Οι υπόλοιπες απώλειες περιλαμβάνουν την έναρξη και διακοπή λειτουργίας των ανεμογεννητριών και απώλειες στην γραμμή μεταφοράς. Οι τιμές κυμαίνονται από 2% έως 7%. Στην συγκεκριμένη εγκατάσταση οι απώλειες αυτές ορίζονται σε 3%. Για την τιμή της διαθεσιμότητας ορίζεται σε 97%.

Από το RETScreen προκύπτει ότι ο συντελεστής ισχύος 41,7 % και η ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο είναι 36521 MWh, όπως φαίνεται στην εικόνα 5.3. Τα αρχικά κόστη τα επιλέγουμε από την βάση δεδομένων του προγράμματος και είναι 2500 €/kW.

Τέλος, τα κόστη λειτουργίας και συντήρησης τα επιλέγουμε από τον αντίστοιχο πίνακα και

είναι 75 €/Kw ανά έτος.

Απώλειες		
Απώλειες διάταξης	%	5%
Απώλειες πτερυγίου	%	2%
Λοιπές απώλειες	%	3%
Διαθεσιμότητα	%	97%
Περίληψη		
Συντελεστής ισχύος	%	41.7%
Αρχικά κόστη	€/KW	2.500
	€	25.000.000
Κόστη λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€/KW-έτος	75
	€	750.000
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού - ετήσι	
	€/kWh	0.10
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	36.521
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€	3.652.147
Άλλες πληροφορίες		
Μη διαρθρωμένη ενεργειακή παραγωγή	MWh	8.437
Συντελεστής πίεσης		1.000
Συντελεστής θερμοκρασίας		0.988
Συνολική ενεργειακή παραγωγή	MWh	8.338
Συντελεστής απωλειών		0.88
Ειδική παραγωγή	kWh/m ²	1.453

Πίνακας 5.3 : Απώλειες – οικονομικά κόστη

5.6 Ανάλυση οικονομικών στοιχείων για την μελέτη του υπεράκτιου αιολικού πάρκου.

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

Στο κόστος εγκατάστασης συμπεριλαμβάνονται τα εξής:

- Μελέτη
- Επίβλεψη
- Διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου
- Θεμελίωση και η ανέγερση των μηχανών
- Μεταφορά και εκτελωνισμός
- Άδειες
- Διασύνδεση με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο
- Αγορά ή ενοικίαση του χερσαίου ή θαλάσσιου οικοπέδου
- Χρηματοοικονομικά έξοδα

Για το κόστος αγοράς και εγκατάστασης μιας ανανεώσιμης ενεργειακής μονάδας, πρέπει να

διεξαχθεί έρευνα αγοράς και να συζητηθούν οι όροι εγγύησης και υποστήριξης από την εταιρεία που θα προμηθευτούμε τις ανεμογεννήτριες.

5.6.1 Δαπάνες θεμελίωσης και ανέγερσης ανεμογεννητριών

Η θεμελίωση μιας ανεμογεννήτριας αποτελεί βασικό στοιχείο για την επίτευξη επαρκούς στατικότητας. Το κόστος της περιλαμβάνει το εξειδικευμένο εργατικό δυναμικό και το κόστος των χρησιμοποιούμενων υλικών, όπως είναι το σκυρόδεμα και τα μεταλλικά πλέγματα, καθώς η εγκατάσταση στον πυθμένα χρειάζεται και άλλα κατάλληλα υλικά. Εκτιμάται ότι το κόστος θεμελίωσης για κάθε ανεμογεννήτρια ανέρχεται στα 30.000 ευρώ. Δηλαδή θα είναι:

$$30.000 * 5 \text{ A/}\Gamma = 150.000 \text{ ευρώ}$$



Εικόνα 5.15 : Θεμελίωση ανεμογεννήτριας

Το κόστος ανέγερσης κάθε ανεμογεννήτριας που ακολουθεί της θεμελίωσης, περιλαμβάνει το κόστος διεκπεραίωσης από το εργατικό δυναμικό και την εκμίσθωση του απαραίτητου εξοπλισμού. Στον ειδικό εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνεται και το πλοίο μεταφοράς. Στην περίπτωση αυτή χρειαζόμαστε ένα κατάλληλο πλοίο που να μπορεί να μεταφέρει και να τοποθετεί ανεμογεννήτριες.

Οπότε θα έχουμε:

$$14.000 * 5 \text{ A/}\Gamma = 70.000 \text{ ευρώ}$$



Εικόνα 5.16: Το μεγαλύτερο πλοίο στο κόσμο μεταφοράς ανεμογεννητριών της Samsung



Εικόνα 5.17: Μεταφορά ανεμογεννήτριας

5.6.2 Κόστος ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού του αιολικού πάρκου

Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός ενός αιολικού πάρκου αποτελείται από:

- ✓ Καλώδια οπτικών ινών
- ✓ Αγωγοί, σωλήνες
- ✓ Γειώσεις

Το κόστος για τον συγκεκριμένο εξοπλισμό ανέρχεται στις 200.000 ευρώ.

5.6.3 Κόστος αγοράς ανεμογεννήτριας

Μια εκτίμηση του κόστους των ανεμογεννητριών είναι η τιμή των 1000 ευρώ/kW και επομένως το συνολικό κόστος των πέντε Α/Γ ανέρχεται σε:

$5 * 2000 \text{ kw} * 1000 \text{ ευρώ} / \text{MW} = 10.000.000 \text{ ευρώ}$



Εικόνα 5.18

Στο κόστος αυτό συμπεριλαμβάνονται όλα τα εξαρτήματα, από τα οποία αποτελείται μια ανεμογεννήτρια. Τα ανταλλακτικά συνήθως συνοδεύουν τις ανεμογεννήτριες και εμπεριέχονται στο αρχικό κόστος αγοράς. Το κόστος των ανταλλακτικών καταλαμβάνει το 4% της αξίας των πέντε ανεμογεννητριών, οπότε θα έχουμε:

$4\% * 10.000.000 = 400.000 \text{ ευρώ}$

5.6.4 Κόστος εκμίσθωσης οικοπέδου

Η έκταση που θα εκμεταλλευτούμε για ένα τέτοιο υπεράκτιο αιολικό πάρκο, είναι περίπου 288 στρέμματα. Θα υποθέσουμε ότι κάνουμε μια εκμίσθωση του θαλάσσιου οικοπέδου με ετήσιο κόστος 11000 ευρώ. Τέλος, για τα 20 χρόνια ζωής του αιολικού πάρκου θα μας κοστίσει 240.000 ευρώ.

5.6.5 Εγκατάσταση των ανεμογεννητριών

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:

- Συναρμολόγηση των πύργων
- Τοποθέτηση του κώνου της πλήμνης
- Τοποθέτηση της ατράκτου στους πύργους
- Τοποθέτηση και σύνδεση καλωδίων στους πύργους
- Εγκατάσταση ανεμομέτρων και ανεμοδεικτών
- Συναρμολόγηση του κάθε πτερύγιου ξεχωριστά σε οριζόντια θέση
- Εγκατάσταση μετεωρολογικού σταθμού

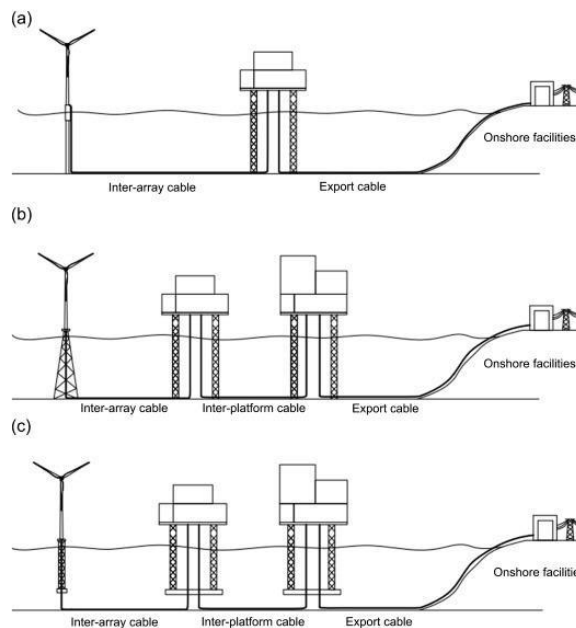
Το κόστος για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε στις 160.000 ευρώ και η μεταφορά και η συναρμολόγηση στις 40.000 ευρώ.



Εικόνα 5.19 : Συναρμολόγηση ανεμογεννητριών

5.6.6 Διασύνδεση του υπεράκτιου αιολικού πάρκου με το δίκτυο (Υποσταθμός ανύψωσης τάσης)

Το κόστος διασύνδεσης ενός αιολικού πάρκου 10 MW με το δίκτυο, κυμαίνεται στις 580.000 ευρώ. Το σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στις υπεράκτιες τεχνολογίες περιλαμβάνει καλώδια, που χρησιμοποιούνται μεταξύ των συστοιχιών των ανεμογεννητριών και μεταξύ των θαλάσσιων πλατφορμών και καλώδια εξαγωγής, που χρησιμοποιούνται κυρίως στους υπεράκτιους συλλέκτες ή υποσταθμούς και στις θαλάσσιες πλατφόρμες μετατροπέα. Η παρακάτω εικόνα 5.20 παρουσιάζει διαφορετικές λειτουργίες των συστημάτων καλωδίωσης των υπεράκτιων αιολικών πάρκων με σταθερή θεμελίωση ή πλωτή βάση.



Εικόνα 5.20 : Καλώδια υπεράκτιων αιολικών πάρκων για ανεμογεννήτριες με σταθερή βάση, για πλωτές Α/Γ, υποσταθμούς και θαλάσσιες πλατφόρμες μετατροπέων

5.7 Μελέτες που είναι απαραίτητες για την υλοποίηση του αιολικού πάρκου

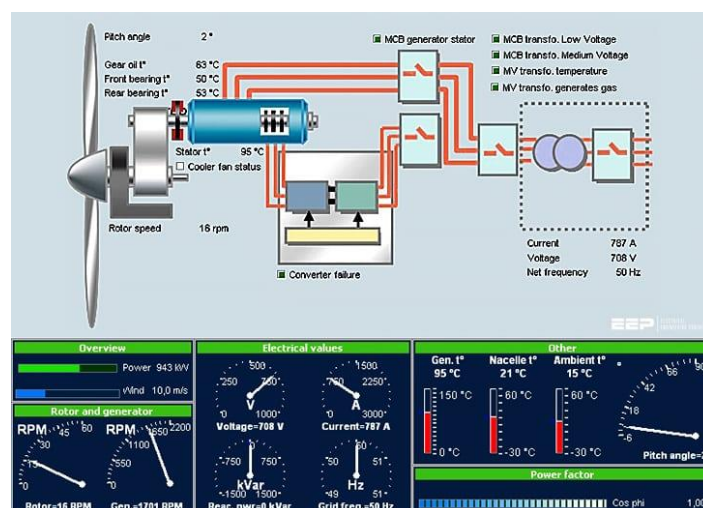
Οι μελέτες που πραγματοποιούνται για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου είναι οι παρακάτω:

- Τοπογραφικές μελέτες
- Γεωτεχνικές και γεωφυσικές μελέτες του αιολικού πάρκου
- Μελέτες έργων πολιτικού μηχανικού
- Μελέτες για πολεοδομικές άδειες
- Νομικοί και οικονομικοί σύμβουλοι
- Μελέτη άδειας εγκατάστασης
- Μελέτη άδειας παραγωγής
- Μελέτη εκτίμησης παραγωγής και αιολικού δυναμικού
- Μελέτες εγκατάστασης ηλεκτρικού και μηχανολογικού εξοπλισμού του υπεράκτιου αιολικού πάρκου

Το κόστος του συνόλου των μελετών και αδειών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Το κόστος, αν υποθέσουμε, του έργου ανέρχεται στις 230.000 ευρώ.

5.7.1 Σύστημα ελέγχου

Υπάρχουν διάφορα συστήματα ελέγχου για τα αιολικά πάρκα. Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιηθεί το σύστημα SCADA. Σε κάθε ανεμογεννήτρια θα υπάρχει το απαραίτητο εξειδικευμένο λογισμικό για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου και μετρήσεων. Το κόστος ανέρχεται στις 200.000 ευρώ.



Εικόνα 5.21 : SCADA

Τα συστήματα SCADA επιτρέπουν την απομακρυσμένη λειτουργία ενεργειακών εγκαταστάσεων, όπως των αιολικών σταθμών. Στην πραγματικότητα, οι περισσότεροι πωλητές ανεμογεννητριών σχεδίασαν και ανέπτυξαν το δικό τους σύστημα SCADA, προκειμένου να

εκτελέσουν τον έλεγχο των μηχανών τους. Οι πωλητές αναλαμβάνουν την απομακρυσμένη λειτουργία των αιολικών σταθμών μέχρι και 5 χρόνια , αλλά στη συνέχεια, η ευθύνη για τη σωστή απόδοση των συσκευών ανήκει στον ιδιοκτήτη του. Προκειμένου να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, πρέπει αρχικά να γίνουν ορισμένα καθήκοντα. Πρώτον, πρέπει να καθοριστεί το πεδίο εφαρμογής και να καθοριστούν οι λειτουργικές και τεχνικές προδιαγραφές.

5.7.2 Συντήρηση

Οι αναλώσιμες ύλες για την ομαλή λειτουργία και συντήρηση των ανεμογεννητριών είναι για παράδειγμα οι λιπαντικές ουσίες και άλλα υλικά που χρειάζονται ετησίως, για την εύρυθμη λειτουργία των ανεμογεννητριών. Το κόστος περίπου είναι στις 9.000 ευρώ ανά ανεμογεννήτρια ανά έτος.



Εικόνα 5.22 : Συντήρηση ανεμογεννήτριας Vestas

5.7.3 Τραπεζικά έξοδα

Το συνολικό κόστος για τα έξοδα αυτά ανέρχεται στις 750.000 ευρώ για αιολικά πάρκα έως 20 MW. Για το συγκεκριμένο έργο, το ποσό υπολογίστηκε στις 375.000 ευρώ.

- i. Συντήρησης εξοπλισμού 50.000 ευρώ
- ii. Ασφάλιστρα 5% του βασικού εξοπλισμού
- iii. Λογιστής 5.000 ευρώ
- iv. Συντηρητής 4.000 ευρώ
- v. Δημοτικοί φόροι 3,5%

Στον παρακάτω πίνακα έχουμε επιγραμματικά τα κόστη:

Τεχνικές εργασίες	Κόστος (Ευρώ)
Θεμελίωση και Ανέγερση	150000+70.000 € = 220.000 €
Ηλεκτρολογικός και μηχανολογικός εξοπλισμός	200.000 €
Κόστος αγοράς α/γ	10.000.000 € + 400.000 € = 10.400.000 €
Εκμίσθωση οικοπέδου	240.000 €
Κόστος μεταφοράς και συναρμολόγησης α/γ	160000+40000=560.000 €
Κόστος διασύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο	580.000 €
Μελέτες τεχνικών και άδειες	230.000 €
Συντήρηση	180.000€
Κόστος συστήματος SCADA	200.000 €
Τραπεζικά έξοδα	375.000 €
Σύνολο	13.185.000 €

5.8 Αξιολόγηση επένδυσης με τη χρήση λογισμικού RETScreen

Στη μελέτη σκοπιμότητας, η οποία ανέρχεται στο ποσό των 40.000 €, περιλαμβάνεται η μελέτη του χώρου, η αξιολόγηση των πηγών, η περιβαλλοντική αξιολόγηση, ο σχεδιασμός και η διαχείριση του έργου. Το κόστος για την ανάπτυξη το θέτουμε στις 100.000 € και περιλαμβάνει τις άδειες, τις νομικές και λογιστικές υπηρεσίες και τα ταξίδια τα οποία μπορεί να προκύψουν. Για τα μηχανολογικά έξοδα περιλαμβάνει τους διαγωνισμούς, τον κατασκευαστικό, τον ηλεκτρολογικό και τον μηχανολογικό σχεδιασμό και την επίβλεψη της κατασκευής. Το κόστος αυτό ανέρχεται στις 200.000 €.

Το μεγαλύτερο μέρος του αρχικού κόστους 82,9 % καλύπτεται από την ενότητα, που αφορά το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στη επόμενη ενότητα, περιλαμβάνει το κόστος για τις ανεμογεννήτριες, το οποίο είναι 10.000.000€. Επιπλέον, συμπεριλαμβάνεται το κόστος για τη γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού, το οποίο είναι 90.000 €, το κόστος για την κατασκευή του υποσταθμού, το οποίο αγγίζει τις 470.000 € και τα μέτρα ενεργειακής απόδοσης, τα οποία εκτιμώνται ότι φτάνουν τις 90.000 €.

Στη τελευταία ενότητα γίνεται αναφορά σχετικά με τα αρχικά κόστη, που αφορά τα ανταλλακτικά, τη μεταφορά και την εκπαίδευση του προσωπικού, καθώς υπολογίζονται και απρόβλεπτα κόστη της τάξεως του 6 % του συνόλου. Όποτε, τα συνολικά αρχικά κόστη ανέρχονται στα 13.030.429 €.

Αρχικό κόστος (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό	Σχετικό κόστος	Σημειώσεις/Εύρος
Μελέτη σκοπιμότητας						
- Μελέτη σκοπιμότητας	κόστος	1	€ 40.000	€ 40.000		
- Μελέτες και άδειες	κόστος	1	€ 230.000	€ 230.000		
Υπο-σύνολο:				€ 270.000	2.1%	
Ανάπτυξη						
- Ανάπτυξη	κόστος	1	€ 100.000	€ 100.000		
Υπο-σύνολο:				€ 100.000	0.8%	
Μηχανολογικά						
- Μηχανολογικά	κόστος	1	€ 120.000	€ 120.000		
- Ηλεκτρολογικά	κόστος	1	€ 80.000	€ 80.000		
- Θεμελίωση και ανέγερση Α/Γ	κόστος	1	€ 220.000	€ 220.000		
- Εγκατάσταση Α/Γ(συναρμολόγηση)	κόστος		€ 40.000	€ -		
Υπο-σύνολο:				€ 420.000	3.2%	
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας						
Ανεμογεννήτρια	kW	10,000	€ 1,000	€ 10,000,000		
Εργα οδοποιίας	km			€ -		
Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού	km	3	€ 90,000	€ 225,000		
Υποσταθμός	έργο	1	€ 470,000	€ 470,000		
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης		1	€ 90,000	€ 90,000		
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	25	€ 500	€ 12,500		
Υπο-σύνολο:				€ 10,797,500	82.9%	
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα						
Αυταύλακτικά	%	4.0%	€ 400,000	€ 16,000		
Μεταφορά	έργο	1	€ 160,000	€ 160,000		
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα			€ -		
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€ -		
-	κόστος			€ -		
Απόβλητα	%	6.0%	€ 11,763,500	€ 705,810		
Τόκος κατά την κατασκευή	9%	12 μήνας(ες)	€ 12,469,310	€ 561,119		
Υπο-σύνολο:				€ 1,442,929	11.1%	
Συνολικά αρχικά κόστη				€ 13,030,429	100.0%	
Ετήσια κόστη (πιστώσεις)						
Λειτουργία & Συντήρηση						
Δείξε δεδομένα				€ 750,000		
Τμήματα & Εργασία	έργο	1	€ 620,000	€ 620,000		
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€ -		
Απόβλητα	%	6.0%	€ 1,370,000	€ 82,200		
Υπο-σύνολο:				€ 1,452,200		
Ετήσια εξοικονόμηση						
- Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος	1	€ 650,000	€ 650,000		
Υπο-σύνολο:				€ 650,000		
Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)						
- Περιοδικά κόστη	κόστος	10	€ 800,000	€ 800,000		
Τέλος διάρκειας ζωής έργου	κόστος		€ 20	€ 20		

Πίνακας 5.4

Στον πίνακα 5.4 ορίζονται τα ετήσια κόστη, που αφορούν τη λειτουργία και τη συντήρηση της εγκατάστασης. Αυτά περιλαμβάνουν την ενοικίαση του θαλάσσιου οικοπέδου, τις αναγκαίες εργασίες συντήρησης και το κόστος επίβλεψης. Τα ετήσια κόστη, μαζί με ένα ποσοστό 6 % των απρόβλεπτων εξόδων, ανέρχονται στο 1.452.200 €. Οι προγραμματισμένες εργασίες είναι τα περιοδικά κόστη. Όπως για παράδειγμα, η αλλαγή του συστήματος μετάδοσης της ανεμογεννήτριας κάθε 10 έτη. Το κόστος ανέρχεται στις 800.000 €.

5.8.1 Ανάλυση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα

Το RETScreen υπολογίζει δυο συντελεστές εκπομπής αερίων του θερμοκηπίου. Οι συντελεστές αερίων του θερμοκηπίου, που υπολογιστήκαν είναι το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα το

οποίο δίνει το συνολικό μειούμενο όγκο εκπομπής αερίων θερμοκηπίου σε ισοδύναμους τόνους αερίου CO₂. Στο αιολικό πάρκου που μελετάμε έχουμε το αποτέλεσμα 22.840 tn CO₂ σύμφωνα με τον πίνακα 5.5 και το γράφημα 5.4.

RETScreen - Ανάλυση Εκπομπών Συνδρομητής: Πρόγραμμα προβολής

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)

Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Βαθμός απόδοσης παραγωγής ηλεκτρισμού %	Απώλειες M&Δ %	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO ₂ /MWh
Αιολικό	13.0%	0.0	0.0000	0.0000	100.0%	7.0%	0.000
Ηλιακό	7.0%	0.0	0.0000	0.0000	100.0%	7.0%	0.000
Πετρέλαιο (#6)	10.0%	74.1	0.0029	0.0019	28.6%	7.0%	1.012
Φυσικό Αέριο	30.0%	49.6	0.0010	0.0009	40.8%	7.0%	0.473
Ανθρακας	40.0%	92.7	0.0145	0.0029	33.8%	7.0%	1.073
Μίγμα Ηλεκτρισμού	100.0%	184.9	0.0203	0.0051		7.0%	0.672

Αλλαγές στο Σενάριο Αναφοράς κατά τη διάρκεια ζωής του έργου

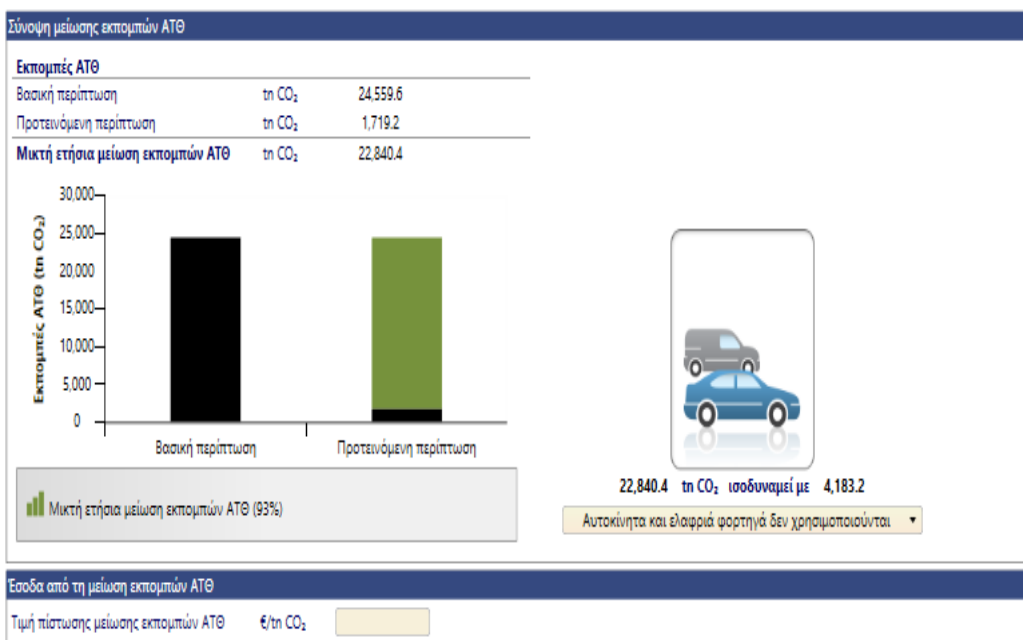
Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ βασικού σεναρίου (σεναρίου αναφοράς)

Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Κατανάλωση καυσίμου MWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO ₂ /MWh	Εκπομπές ΑΤΘ tn CO ₂
Ηλεκτρική ενέργεια	100.0%	184.9	0.0203	0.0051	36.521	0.672	24.559.6
Σύνολο	100.0%	184.9	0.0203	0.0051	36.521	0.672	24.559.6

Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ προτεινόμενη περίπτωσης

Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %	Συντελεστής εκπομπής CO ₂ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής CH ₄ kg/GJ	Συντελεστής εκπομπής N ₂ O kg/GJ	Κατανάλωση καυσίμου MWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO ₂ /MWh	Εκπομπές ΑΤΘ tn CO ₂
Αιολικό	100.0%	0.0	0.0000	0.0000	36.521	0.000	0.0
Σύνολο	100.0%	0.0	0.0000	0.0000	36.521	0.000	0.0
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	36.521		Απώλειες M&Δ 7.0%	2.557	0.672	1,719.2
						Σύνολο	1,719.2

Πίνακας 5.5: Ανάλυση εκπομπών



Γράφημα 5.4 : Ανάλυση εκπομπών

5.8.2 Οικονομική ανάλυση και βιωσιμότητα του υπεράκτιου αιολικού σταθμού

Στο φύλλο της οικονομικής ανάλυσης έχουμε πέντε παραμέτρους, οι οποίες είναι :

- ❖ Οικονομικοί παράμετροι
- ❖ Ετήσια έσοδα
- ❖ Σύνοψη κόστους έργου και εσόδων
- ❖ Οικονομική βιωσιμότητα
- ❖ Ετήσια χρηματορροή

Στα συγκεκριμένα φύλλα μας δίνεται η δυνατότητα να έχουμε μία γενική εικόνα όλων των οικονομικών δεδομένων, που μας αφορούν.

5.8.3 Οικονομικοί παράμετροι

1. Στη συνολική διάρκεια ζωής ενός έργου ορίζουμε τον πληθωρισμό στην τιμή 9 %
2. Το επιτόκιο αναγωγής και το ποσοστό επανεπένδυσης τα θεωρούμε στο 8%
3. Διάρκεια ζωής του συγκεκριμένου έργου ορίζονται τα 20 έτη
4. Το τοκοχρεολύσιο το θέτουμε στο 55%
5. Το ποσό των 7.166.736 € θα καλυφθεί από δάνειο
6. Το επιτόκιο δανεισμού είναι 10 %
7. Η περίοδος χρέους είναι τα 10 έτη
8. Οι πληρωμές του χρέους θα είναι 1.166.353 € / έτος
9. Στην ανάλυση φόρου εισοδήματος ορίζουμε το 35 %
10. Η φορολογική βάση απόσβεσης στο 97 %
11. Η απόσβεση στο 18 %
12. Τα ετήσια έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίστηκαν στα 3.652.147 €

RETScreen - Οικονομική Ανάλυση

Οικονομικοί Παράμετροι			
Γενικά			
Κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου			0%
Τιμή πληθωρισμού	%		9%
Επιτόκιο αναγωγής	%		8%
Ποσοστό επανεπένδυσης	%		8%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος		20
Χρηματοδότηση			
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	€		
Τοκοχρεολύσιο	%		55%
Χρέος	€	7,166,736	
Μετοχή	€	5,863,693	
Επιτόκιο δανεισμού	%		10%
Περίοδος χρέους	έτος		10
Πληρωμές χρέους	€/έτος	1,166,353	
Ανάλυση φόρου εισοδήματος			
		<input checked="" type="checkbox"/>	
Συντελεστής φόρου εισοδηματικής επίπτωσης	%		35%
Ζημιές εις μεταφορά:			Ναι ▾
Μέθοδος απόσβεσης			Αποκλίνον Ισοζύγιο ▾
Κανόνας μισού χρόνου - χρόνος 1	ναί/όχι		Όχι ▾
Φορολογική βάση απόσβεσης	%		97%
Ρυθμός απόσβεσης	%		18%
Υφίσταται φορολογική ατέλεια:	ναί/όχι		Όχι ▾
Ετήσια έσοδα			
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας			
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh ▾		36,521
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/kWh ▾		0.10
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€		3,652,147
Κυλιόμενος φόρος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας	%		2%
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ			
Μικτή μείωση ΑΤΘ	tn CO ₂ /έτος		22,840
Μικτή μείωση ΑΤΘ - 20 έτη	tn CO ₂		456,808
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ	€		0
Λοιπά έσοδα (έξοδα)			
		<input type="checkbox"/>	
Έσοδα παραγωγής Καθαρής Ενέργειας (ΚΕ)			
		<input type="checkbox"/>	

Πίνακας 5.6: Οικονομική Ανάλυση

5.9 Κόστος – Αποταμιεύσεις – Έσοδα

1. Τα συνολικά αρχικά κόστη είναι 13.030.429 €
2. Τα συνολικά ετήσια κόστη είναι 2.618.553 €
3. Οι συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα ανέρχονται στα 4.302.147 €

Κόστος Αποθηκεύσεις Έσοδο			
Αρχικά κόστη			
Μελέτη σκοπιμότητας	2.1%	€	270,000
Ανάπτυξη	0.77%	€	100,000
Μηχανολογικά	3.2%	€	420,000
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	82.9%	€	10,797,500
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα	11.1%	€	1,442,929
Συνολικά αρχικά κόστη	100%	€	13,030,429
Ετήσια χρηματοροφή - Έτος 1			
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους			
Λειτουργία & Συντήρηση		€	1,452,200
Πληρωμές χρέους - 10 έτη		€	1,166,353
Συνολικά ετήσια κόστη		€	2,618,553
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα			
Οριζόμενο από τον χρήστη		€	650,000
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας		€	3,652,147
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ		€	0
Λοιπά έσοδα (έξοδα)		€	0
Έσοδα παραγωγής ΚΕ		€	0
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα		€	4,302,147
Καθαρή ετήσια ταμειακή ροή - Έτος 1		€	1,683,594
Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)			
Περιοδικά κόστη - 10 έτη		€	800,000
Τέλος διάρκειας ζωής έργου - κόστος		€	20

Πίνακας 5.7

Ετήσια χρηματοροή			
Ετος	Προ-φόρων	Μετά-φόρων	Αθροιστικά
#	€	€	€
0	-5,863,693	-5,863,693	-5,863,693
1	1,684,439	1,684,439	-4,179,254
2	1,680,247	1,680,247	-2,499,007
3	1,670,463	1,508,698	-990,309
4	1,654,478	1,304,976	314,667
5	1,631,628	1,190,147	1,504,814
6	1,601,188	1,082,514	2,587,328
7	1,562,363	978,791	3,566,119
8	1,514,286	876,085	4,442,204
9	1,456,008	771,803	5,214,007
10	-507,396	-567,446	4,646,561
11	2,470,968	1,715,578	6,362,139
12	2,375,486	1,633,814	7,995,952
13	2,265,054	1,545,878	9,541,830
14	2,138,198	1,450,175	10,992,005
15	1,993,310	1,345,136	12,337,141
16	1,828,636	1,229,191	13,566,331
17	1,642,261	1,100,742	14,667,074
18	1,432,092	958,144	15,625,218
19	1,195,849	799,674	16,424,892
20	-3,552,600	-3,552,600	12,872,292

Πίνακας 5.8: Οικονομική Ανάλυση

5.10 Οικονομική Βιωσιμότητα

Το πρόγραμμα υπολογίζει αρχικά, έναν δείκτη αξιολόγησης και τον εσωτερικό βαθμό απόδοσης της επένδυσης 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 27,4 %, την στιγμή που το επιτόκιο αναγωγής το θέσαμε στο 8 %. Άρα, η επενδυτική επιλογή θεωρείται συμφέρουσα.

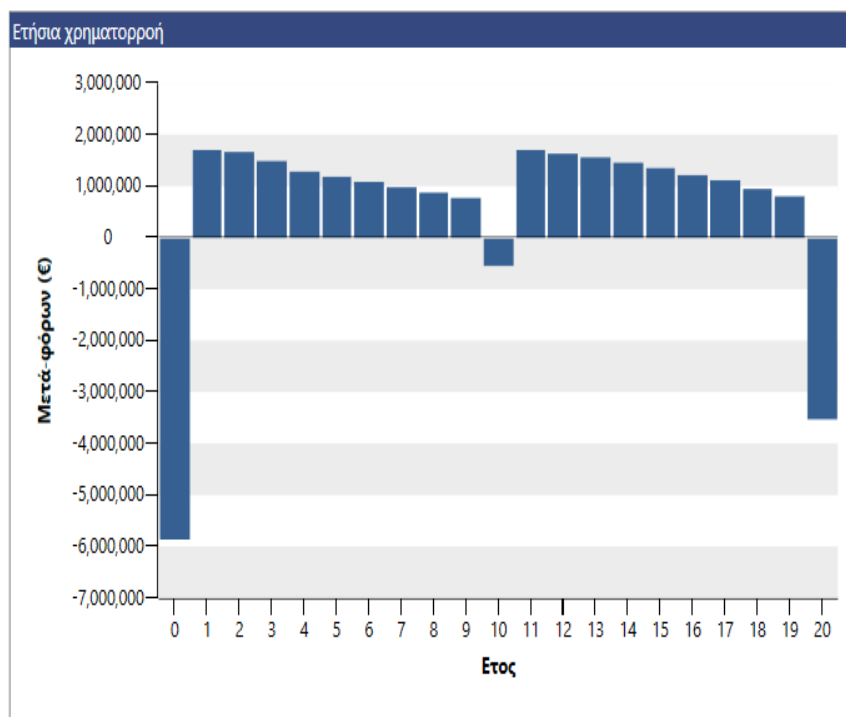
Στη συνέχεια, το πρόγραμμα υπολογίζει την άλλη αποπληρωμή σε έτη. Από το αποτέλεσμα διαπιστώνουμε ότι το απαιτούμενο χρονικό διάστημα, για να ανακτηθεί η αρχική επένδυση στην υπό μελέτη περίπτωση, είναι τα 4.6 έτη. Το πρόγραμμα παρακάτω, υπολογίζει την Καθαρή Παρούσα Αξία, η οποία αποτελεί έναν δείκτη οικονομικής αξιολόγησης της οικονομικής βιωσιμότητας μιας επένδυσης. Η Καθαρή Παρούσα Αξία είναι 5.143.147 € > 0. Οπότε, η επένδυση είναι βιώσιμη. Το ποσό εξοικονόμησης για κάθε έτος λειτουργίας του αιολικού πάρκου, ανέρχεται στις 523.841 €. Η δε αναλογία οφέλους κόστους είναι 1,9 οπότε, η επένδυση θεωρείται βιώσιμη, διότι μια πρόταση είναι βιώσιμη αν ο λόγος του οφέλους προς το κόστος είναι μεγαλύτερος ή ίσος με το 1.

Οικονομική Βιωσιμότητα		
(IRR) προ φόρου - μετοχές	%	27.4%
MIRR προ φόρου - μετοχές	%	12.6%
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	10.1%
MIRR προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	8.7%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές	%	22%
MIRR μετά φόρου - μετοχές	%	11.1%
(IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	5.2%
MIRR μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	7.2%
Απλή αποπληρωμή	έτος	4.6
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	3.8
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	5,143,147
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	523,841
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (O-K)		1.9
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		2.4
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tn CO ₂	-22.93
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/kWh	0.097

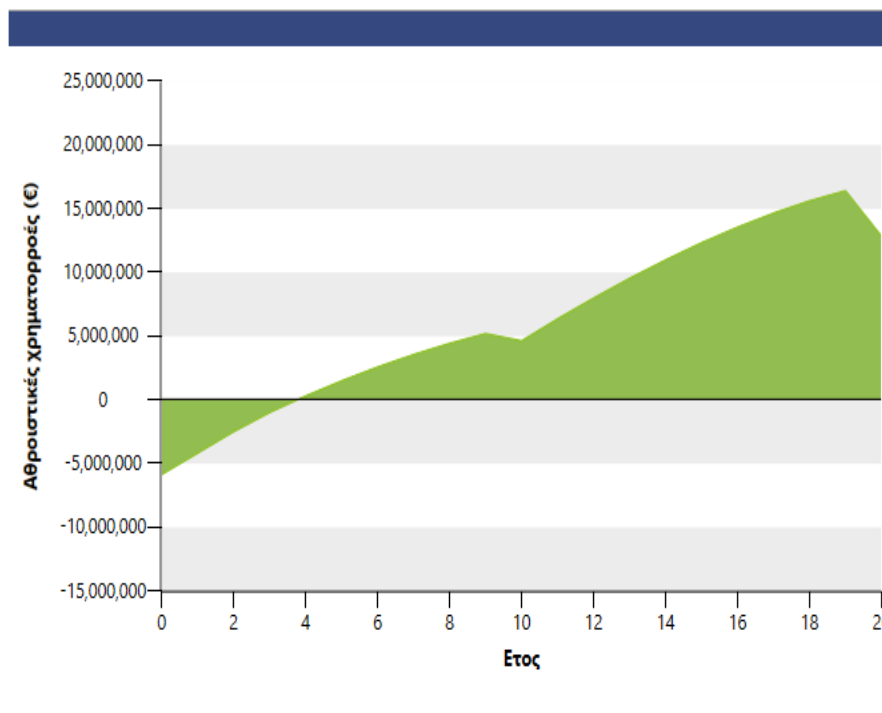
Πίνακας 5.9: Οικονομική Ανάλυση

5.10.1 Οικονομική Ανάλυση

Στην οικονομική ανάλυση παρουσιάζεται ο αναλυτικός πίνακας με τις ετήσιες χρηματοροές, και το γράφημα αθροιστικών χρηματοροών για τα 20 έτη. Τα τέσσερα πρώτα έτη παρατηρούνται αρνητικές ετήσιες χρηματοροές.



Γράφημα 5.5: γράφημα μετά-φόρων



Γράφημα 5.6: Αθροιστικές χρηματορροές

5.11 Ανάλυση επικινδυνότητας

Η ανάλυση επικινδυνότητας επιτρέπει στο χρήστη, να εκτιμήσει εάν η μεταβλητότητα του χρηματοοικονομικού δείκτη είναι αποδεκτή. Στο έργο αυτό, έχουμε επιλέξει να εκτελεστεί η ανάλυση της Καθαρής παρούσας Αξίας, θέτοντας 1.000 συνδυασμούς μεταβλητών εισροών και χωρίς να εισάγουμε τυχαία τιμή. Το δε εύρος, ορίστηκε στο 25 %, ενώ το επίπεδο κινδύνου στο 17%.

Ανάλυση ευαισθησίας

Εκτέλεση ανάλυσης σε Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)

Εύρος ευαισθησίας 25%

Κατώφλι 0 €

- Κατάργηση ανάλυσης Αρχικά κόστη €

Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού		9,772,822	11,401,625	13,030,429	14,659,233	16,288,036
€/MWh		-25.0%	-12.5%	0.0%	12.5%	25.0%
75.00	-25.0%	466,156	-788,270	-2,102,205	-3,501,067	-4,964,850
87.50	-12.5%	4,007,510	2,816,877	1,590,650	323,428	-985,416
100.00	0.0%	7,501,551	6,328,589	5,143,147	3,934,950	2,695,549
112.50	12.5%	10,988,786	9,818,442	8,646,508	7,465,525	6,265,892
125.00	25.0%	14,476,021	13,305,678	12,135,334	10,964,427	9,783,933

- Κατάργηση ανάλυσης Αρχικά κόστη €

Λειτουργία & Συντήρηση		9,772,822	11,401,625	13,030,429	14,659,233	16,288,036
€		-25.0%	-12.5%	0.0%	12.5%	25.0%
1,089,150	-25.0%	12,860,909	11,690,565	10,516,953	9,333,446	8,131,181
1,270,675	-12.5%	10,181,230	9,010,886	7,832,524	6,639,825	5,422,154
1,452,200	0.0%	7,501,551	6,328,589	5,143,147	3,934,950	2,695,549
1,633,725	12.5%	4,820,235	3,641,791	2,442,589	1,211,174	-61,696
1,815,250	25.0%	2,045,432	854,698	-369,437	-1,638,965	-2,957,740

- Κατάργηση ανάλυσης Επιτόκιο δανεισμού %

Τοκοχρεολύσιο		7.50%	8.75%	10.00%	11.25%	12.50%
%		-25.0%	-12.5%	0.0%	12.5%	25.0%
41%	-25.0%	5,414,631	5,224,265	5,028,723	4,828,007	4,619,701
48%	-12.5%	5,538,636	5,316,542	5,087,318	4,849,922	4,606,898
55%	0.0%	5,662,640	5,407,781	5,143,147	4,871,837	4,592,881
62%	12.5%	5,786,625	5,496,689	5,198,975	4,892,074	4,573,565
69%	25.0%	5,907,747	5,585,597	5,253,971	4,908,148	4,553,597

- Κατάργηση ανάλυσης Επιτόκιο δανεισμού %

Περίοδος χρέους		7.50%	8.75%	10.00%	11.25%	12.50%
έτος		-25.0%	-12.5%	0.0%	12.5%	25.0%
8	-25.0%	5,503,980	5,287,799	5,063,657	4,834,853	4,601,523
9	-12.5%	5,584,592	5,348,694	5,103,965	4,853,582	4,597,131
10	0.0%	5,662,640	5,407,781	5,143,147	4,871,837	4,592,881
11	12.5%	5,738,162	5,465,060	5,181,183	4,889,592	4,588,893
12	25.0%	5,811,198	5,520,534	5,218,062	4,906,492	4,584,231

+ Προσθήκη ανάλυσης

Πίνακας 5.10: Ανάλυση επικινδυνότητας

Ανάλυση επικινδυνότητας

Εκτέλεση ανάλυσης σε

Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ) ▼

Αριθμός συνδυασμών

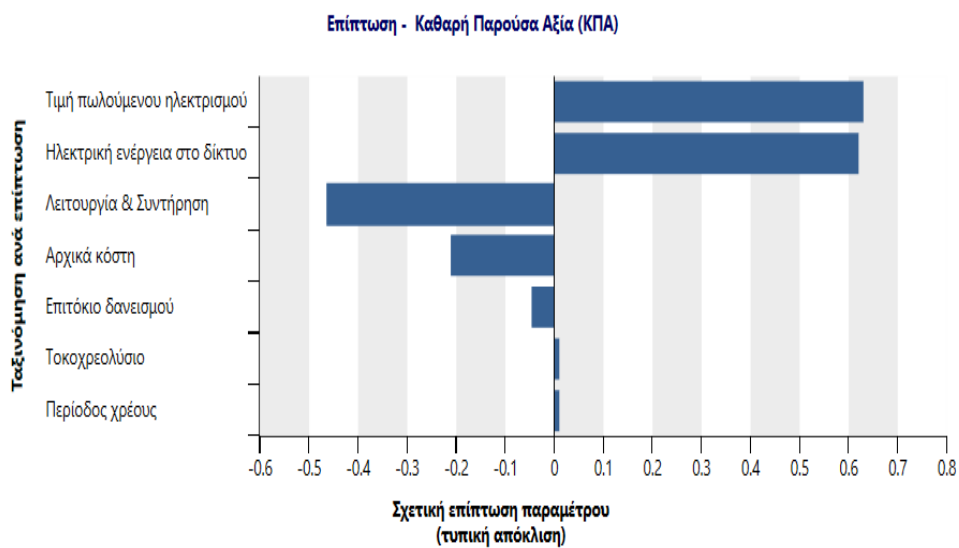
1000 ▼

Τυχαία τιμή

Όχι ▼

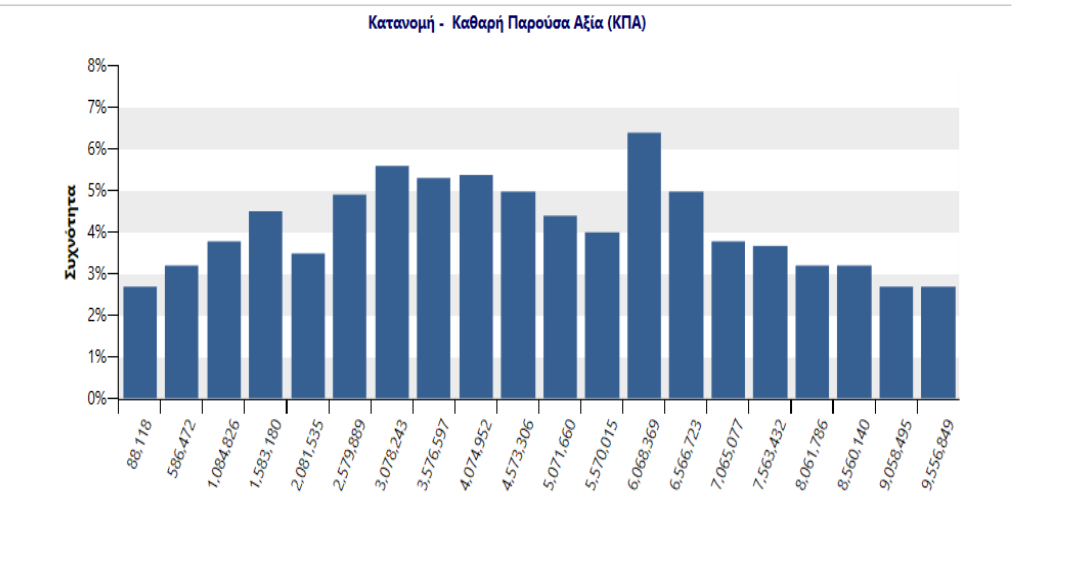
Παράμετρος	Μονάδα	Τιμή	Εύρος(+/-)	Ελάχιστο	Μέγιστο
Αρχικά κόστη	€	13,030,429	25%	9,772,822	16,288,036
Λειτουργία & Συντήρηση	€	1,452,200	25%	1,089,150	1,815,250
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	36,521.47	25%	27,391.11	45,651.84
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/MWh	100.00	25%	75.00	125.00
Τοκοχρεολύσιο	%	55.0%	25%	41.3%	68.8%
Επιτόκιο δανεισμού	%	10.00%	25%	7.50%	12.50%
Περίοδος χρέους	έτος	10	25%	8	13

Πίνακας 5.11: Ανάλυση επικινδυνότητας



Γράφημα 5.7

Μέσο	€	4,829,721
Επίπεδο κινδύνου	%	17%
Ελάχιστο επίπεδο εμπιστοσύνης	€	83,596
Μέγιστο επίπεδο εμπιστοσύνης	€	10,055,450



Γράφημα 5.8

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

6.1 Συμπεράσματα

Εν κατακλείδι, στην διπλωματική εργασία αυτή, κατανοήσαμε την υπεράκτια τεχνολογία για την κατασκευή αιολικών πάρκων στην θάλασσα. Στην χώρα μας εκτός από χερσαία αιολικά πάρκα, υπάρχουν απεριόριστες δυνατότητες για την υλοποίηση αιολικών πάρκων στον θαλάσσιο χώρο μας. Στην τεχνοοικονομική μελέτη της εργασίας αυτής, υπολογίσαμε με πραγματικά δεδομένα τα οφέλη που θα εισπράξουμε από ένα υπεράκτιο αιολικό πάρκο. Με την βοήθεια του λογισμικού RETscreen, αναλύσαμε τα συμφέροντα για την εγκατάσταση των υπεράκτιων ανεμογεννητριών και την υψηλή τους απόδοση στα ύδατά μας. Το μέλλον της αιολικής ενέργειας βρίσκεται στον θαλάσσιο χώρο μας, ο οποίος μένει αναξιοποίητος μέχρι σήμερα. Στα προσεχώς έτη προβλέπεται η κατασκευή τέτοιων έργων, που θα συνεισφέρουν στην ενεργειακή αυτάρκεια και στην οικονομική ενίσχυση της χώρας μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] <https://medilab.pme.duth.gr/invonio/operating-principle.html#>
- [2] <http://eletaen.gr/hwea-wind-statistics/>
- [3] <https://www.iene.gr/energyweek09>
- [4] <http://www.aquaret.com/index52ee.html?option=com>
- [5] http://www.barringer1.com/weibull_bio.htm
- [6] <http://www.terna-energy.com>
- [7] <http://www.meteo.gr>
- [8] <http://www.admie.gr/>
- [9] <https://maps.ngdc.noaa.gov/viewers/bathymetry/>
- [10] <http://aims.cres.gr>
- [11] www.meteoblue.com
- [12] <http://www.mhivestastoffshore.com/>
- [13] European Commission, <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/imports-and-secure-supplies>
- [14] European Wind Energy Association, Wind in Power 2015 European Statistics
- [15] European Wind Energy Association, The European offshore wind industry-key trends and statistics 2015
- [16] Γνωμοδότηση ΡΑΕ υπ' αριθμόν 1/2007, Έγκριση Όρων και Προϋποθέσεων Σύνδεσης Χρηστών στο Σύστημα Μεταφοράς
- [17] <https://www.nrcan.gc.ca/energy/retscreen/7465>
- [18] Πηγές ενέργειας συμβατικές και ανανεώσιμες Κ. ΓΕΛΕΓΕΝΗΣ, Κ. ΑΞΑΟΠΟΥΛΟΣ Σύγχρονη εκδοτική

- [19] Οικονομοτεχνικές μελέτες Κ. ΚΑΡΒΟΥΝΗΣ, ΔΗΜ ΓΕΩΡΓΑΚΕΛΛΟΣ
Εκδόσεις Σταμούλης
- [20] Θεμελιώσεις Τεχνικών Έργων- Καββαδάς Μ., Έκδοση Ε.Μ. Πολυτεχνείου,
2008
- [21] Επιφανειακές Θεμελιώσεις και Θεμελιώσεις με Πασσάλους – Α.Γ.
Αναγνωστόπουλος, Β.Π. Παπαδόπουλος , 2011