



**Διπλωματική Εργασία Τόσκας Κωνσταντίνος- Μάρης Λάμπρος
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ
ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ**

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ
ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ**



**ΦΟΙΤΗΤΕΣ: ΤΟΣΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ (Α.Μ:7591)
ΜΑΡΗΣ ΛΑΜΠΡΟΣ (Α.Μ:7619)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΠΑΤΡΑ 2022



Διπλωματική Εργασία Τόσκας Κωνσταντίνος- Μάρης Λάμπρος
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ
ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το συγκεκριμένο τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που πραγματοποιήθηκε για το Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου, και πιο συγκεκριμένα για το Τμήμα των Μηχανολόγων Μηχανικών, με έδρα την Πάτρα. Αναλυτικότερα γίνεται αναφορά στην διαδικασία δημιουργίας και εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου, όπου μέσω της εγκατάστασης ανεμογεννητριών, θα μετατρέψουν την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Το συγκεκριμένο έργο κατηγοριοποιείται στις ήπιες μορφές ενέργειας. Όπως παρατηρούμε άλλωστε όλοι μας, με το πέρασμα του χρόνου όλο και περισσότερα αιολικά πάρκα κατασκευάζονται, αξιοποιώντας την ενέργεια του ανέμου αφού δεν αποτελεί επιβλαβή ενέργεια προς το περιβάλλον.

Αρχικά γίνεται αναφορά στην αιολική ενέργεια τόσο στην Ελλάδα καθώς και στην Ευρώπη. Στη συνέχεια καταγράφονται μετρήσεις ανεμολογικών δεδομένων και τη διαδικασία επιλογής της περιοχής εγκατάστασης των ανεμογεννητριών. Επίσης θα αναφερθούν διαφορετικά σενάρια για τον τύπο ανεμογεννητριών που θα εγκατασταθούν. Παράλληλα γίνονται κάποιοι υπολογισμοί, όπως η συνολική ενέργεια των ανεμογεννητριών, της άνωσης, της αντίστασης των πτερυγίων της Α/Γ κλπ.

Στο τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Ιωάννη Καλογήρου, Επίκουρου Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου για την χρήσιμη βοήθεια του καθώς και για τις οδηγίες και για τις πολύτιμες συμβουλές, πάνω στο θέμα της εργασίας μας, που μας έδωσε για να πραγματοποιηθεί η εργασία μας.

Τόσκας Κωνσταντίνος
Μάρης Λάμπρος
Φεβρουάριος 2022

Υπεύθυνη Δήλωση Φοιτητών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι Φοιτητές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Διπλωματικής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι Φοιτητές

(Ονοματεπώνυμο)

(Ονοματεπώνυμο)

Κωνσταντίνος Τόσκας

Λάμπρος Μάρης

.....
(Υπογραφή)

.....
(Υπογραφή)



**Διπλωματική Εργασία Τόσκας Κωνσταντίνος- Μάρης Λάμπρος
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ
ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ**

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία έχει αντικείμενο την μελέτη Αιολικού Πάρκου στο Αραχναίο του Νομού Αργολίδας. Η ανάπτυξη της Πτυχιακής Εργασίας μας γίνεται σε έξι κεφάλαια.

Αρχικά στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στο θέμα της εργασίας μας και στη συνέχεια αναλύονται συνοπτικά οι έννοιες του περιβάλλοντος και της ενέργειας.

Στη συνέχεια στο δεύτερο κεφάλαιο, γίνεται αναφορά στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, στην ενέργεια τόσο στην Ελλάδα όσο και στην Ευρώπη καθώς και το πως επιδρούν στην αγορά ενέργειας.

Μετάπειτα στο τρίτο κεφάλαιο, περιγράφουμε τη θέση όπου θα εγκατασταθεί το αιολικό πάρκο, αλλά και τα απαιτούμενα κριτήρια που εξετάστηκαν και αξιολογήθηκαν προκειμένου να κατασκευαστεί το αιολικό πάρκο. Ακόμη, σε αυτό το κεφάλαιο, αναφέραμε τις περιβαλλοντικές και κοινωνικές συνθήκες της συγκεκριμένης περιοχής, τα κλιματολογικά χαρακτηριστικά με τη βοήθεια του μετεωρολογικού ιστού.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, περιγράφουμε τα είδη των ανεμογεννητριών, την επιλογή της ανεμογεννήτριας για το συγκεκριμένο αιολικό πάρκο, αξιολογώντας τα στοιχεία του κατασκευαστή της, τα μέρη από τα οποία αποτελείται κλπ.

Έπειτα στο πέμπτο κεφάλαιο, αναλύουμε κάποια σημαντικά στοιχεία που σχετίζονται με την κατασκευή του έργου, όπως η κατασκευή οδοποιίας και οι βάσεις θεμελίωσης των ανεμογεννητριών.

Τέλος, στο τελευταίο και έκτο κεφάλαιο, συνοψίζουμε αναφέροντας το συνολικό κόστος καθώς και το εισόδημα του αιολικού πάρκου, αλλά και το χρόνο όπου θα πραγματοποιηθεί η απόσβεση του συγκεκριμένου έργου.



**Διπλωματική Εργασία Τόσκας Κωνσταντίνος- Μάρης Λάμπρος
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ
ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ**

ABSTRACT

This Thesis is about the study of a Wind Farm in Arachnaio, of the prefecture in Argolida. The development of our thesis is done in six chapters.

Initially, the first chapter introduces the topic of our thesis and then briefly analyzes the concepts of environment and energy.

In the second chapter, we refer to Renewable Energy Sources, both in Greece and in Europe and how they affect in the energy market.

Then, in the third chapter, we describe the location where the wind farm will be installed, as well as the required criteria that were examined and evaluated in order to build the wind farm. Furthermore, in this chapter, we reported the environmental and social conditions of the specific area, the climatic characteristics with the help of the meteorological web.

In the fourth chapter, we described the types of wind turbines, the selection of the wind turbine for the specific wind farm, evaluating the manufacturer's data, the parts of which it consists, etc.

In chapter five, we discuss some important elements related to the construction of the project, such as the road construction and the foundation bases of the wind turbines.

Finally, in the last and sixth chapter, we summarize by mentioning the total cost as well as the income of the wind farm and the time when the amortization of this project will be realized.



Περιεχόμενα

| | |
|--|----------|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | ii |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | iii |
| ABSTRACT | iv |
| Περιεχόμενα | v |
| Εικόνες..... | viii |
| Πίνακες | ix |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 1 |
| 1.2)ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ..... | 2 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 4 |
| 2.1)Η ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ | 4 |
| 2.2) Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ..... | 5 |
| 2.2.1) Ορισμός ανανεώσιμης ενέργειας | 6 |
| 2.2.2) Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας | 6 |
| 2.2.3) Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας..... | 6 |
| 2.2.4) Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα | 7 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΘΕΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ..... | 9 |
| 3.1) ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ | 9 |
| 3.2) ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ..... | 11 |
| 3.3) ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ..... | 11 |
| 3.3.1) Απόσταση από Οδικό Δίκτυο..... | 12 |
| 3.3.2) Απόσταση από Ηλεκτρικό Δίκτυο | 13 |
| 3.3.3)Απόσταση από Κατοικημένες Περιοχές | 13 |
| 3.3.4) Απόσταση από Υδάτινους Όγκους | 13 |
| 3.3.5) Απόσταση από Περιοχές Οικολογικού Ενδιαφέροντος | 13 |
| 3.3.6) Απόσταση από Περιοχές Κοινωνικού Ενδιαφέροντος..... | 14 |
| 3.3.7) Χρήση Γης | 15 |
| 3.4) ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ | 16 |
| 3.4.1) Μορφολογία εδάφους | 16 |
| 3.4.2) Γεωλογία εδάφους..... | 17 |
| 3.4.3) Υδρολογικά χαρακτηριστικά περιοχής | 17 |
| 3.4.4) Σεισμολογικά χαρακτηριστικά..... | 18 |
| | 18 |
| 3.5) ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΤΟΥ..... | 19 |
| 3.5.1) Ανεμόμετρο..... | 20 |
| 3.5.2)Ανεμοδείκτης ή Διευθυνσιόμετρο | 21 |



Διπλωματική Εργασία Τόσκας Κωνσταντίνος- Μάρης Λάμπρος
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ
ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ

| | |
|---|-----------|
| 3.5.3) Υγρόμετρο | 22 |
| 3.5.4) Βαρόμετρο | 22 |
| 3.5.5) Καταγραφικό κιβώτιο | 23 |
| 3.6) ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ..... | 24 |
| 3.6.1) Θερμοκρασία..... | 24 |
| 3.6.2) Βροχόπτωση..... | 25 |
| 3.6.3) Κάλυψη από συννεφιά..... | 26 |
| 3.6.4) Κλίση εδάφους | 26 |
| 3.7) ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ..... | 27 |
| 3.7.1) Άνεμος..... | 27 |
| 3.7.2) Τύρβη | 29 |
| 3.7.3) Τραχύτητα και Διάτμηση..... | 29 |
| 3.7.4) Κατανομή Weibull..... | 32 |
| 3.7.5) Ταχύτητα Ανέμου..... | 35 |
| 3.7.6) Ποιότητα αέρα | 36 |
| 3.8) ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WINDOGRAPHER | 37 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ | 39 |
| 4.1) ΕΙΔΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ..... | 39 |
| 4.1.1) Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα..... | 39 |
| 4.1.2) Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα | 41 |
| 4.2) ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΡΗ Α/Γ | 42 |
| 4.3) ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ | 43 |
| 4.4) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ | 46 |
| 4.5) ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ | 48 |
| 4.6) ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ..... | 53 |
| 4.7) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ C_p ΚΑΙ C_T | 55 |
| 4.7.1) Υπολογισμός συντελεστή C_p | 55 |
| 4.7.2) Υπολογισμός συντελεστή C_T | 56 |
| 4.8) ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΤΕΡΥΓΙΟΥ..... | 57 |
| 4.9) ΡΟΠΗ ΑΞΟΝΑ ΙΣΧΥΟΣ..... | 59 |
| 4.10) ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΛΟΓΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ (TSR) | 59 |
| 4.11) ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ | 61 |
| 4.12) ΘΟΡΥΒΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ | 63 |
| 4.13) ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΙΩΣΗΣ..... | 65 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ | 67 |
| 5.1) ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΔΟΠΟΙΑΣ..... | 67 |
| 5.2) ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΛΑΤΕΙΩΝ Α/Γ | 70 |
| 5.3) ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΕΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ Α/Γ | 70 |



Διπλωματική Εργασία Τόσκας Κωνσταντίνος- Μάρης Λάμπρος
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ
ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ

| | |
|--|-----------|
| 5.3.1)Είδη Θεμελίωσης..... | 71 |
| 5.3.2) Θεμελίωση σε Βράχο..... | 73 |
| 5.3.3) Δυνάμεις Θεμελίωσης..... | 73 |
| 5.3.4)Καθορισμός Γεωμετρίας Θεμελίων..... | 75 |
| 5.3.5) Ελαστική Ανάλυση Πλάκας Θεμελίωσης..... | 77 |
| 5.3.6) Περιστροφική δυσκαμψία των Βάσεων Θεμελίωσης..... | 79 |
| 5.4)ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ..... | 80 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6:ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ..... | 81 |
| 6.1)ΚΟΣΤΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ..... | 81 |
| 6.1.1) Κόστος Ανεμογεννήτριας..... | 82 |
| 6.1.2) Λοιπά Έξοδα..... | 86 |
| 6.2)ΙΣΟΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ..... | 87 |
| 6.3) ΕΤΗΣΙΟ ΕΙΣΟΔΗΜΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ..... | 87 |
| 6.4) ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ..... | 88 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 90 |

Εικόνες

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1: Εξέλιξη του μεγέθους των ανεμογεννητριών και της ονομαστικής ισχύος από τη δεκαετία του 1980 έως το 2025(πηγή:Bloomberg New Energy Finance)..... | 2 |
| Εικόνα 2: Κατανομή εκπομπών CO ₂ του τομέα ηλεκτρικής ενέργειας της Ε.Ε. | 3 |
| Εικόνα 3: Ισχύς νέων αιολικών πάρκων ανά χώρα για το έτος 2020 | 4 |
| Εικόνα 4: Χωρική κατανομή αιολικής ισχύος | 8 |
| Εικόνα 5: Απεικόνιση περιοχής εγκατάστασης Α/Γ | 10 |
| Εικόνα 6: Καταφύγια Άγριας Ζωής στην ευρύτερη περιοχή του έργου | 14 |
| Εικόνα 7: Περιβαλλοντική απεικόνιση ευρύτερης περιοχής εγκατάστασης του αιολικού πάρκου σύμφωνα με τον Περιβαλλοντικό χάρτη της Ελλάδος | 15 |
| Εικόνα 8:Μορφολογικός χάρτης..... | 17 |
| Εικόνα 9: Υδρολιθολογικός χάρτης (πηγή: Μυλωνάς, 2019) | 18 |
| Εικόνα 10: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας (Πηγή: Ο.Α.Σ.Π.)..... | 18 |
| Εικόνα 11: Απεικόνιση μετεωρολογικού ιστού στο Α/Π Αραχναίου | 19 |
| Εικόνα 12: Ανεμόμετρο Theis..... | 20 |
| Εικόνα 13:Ανεμοδείκτης Theis | 21 |
| Εικόνα 14:Υγρόμετρο Rotronic | 22 |
| Εικόνα 15: Βαρόμετρο Setra | 23 |
| Εικόνα 16:Καταγραφικό κιβώτιο | 23 |
| Εικόνα 17: Ροδόγραμμα ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου στη θέση του Α/Π (ύψος:42m)..... | 27 |
| Εικόνα 18: Ροδόγραμμα ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου στη θέση του Α/Π (ύψος:42m)..... | 28 |
| Εικόνα 19:Λογότυπο λογισμικού Windographer | 37 |
| Εικόνα 20:Είδη κατακόρυφων ανεμογεννητριών(Πηγή ResearchGate) | 40 |
| Εικόνα 21:Είδη οριζόντιων ανεμογεννητριών(πηγή Mechanical Boost) | 41 |
| Εικόνα 22: Μέρη Ανεμογεννήτριας | 42 |
| Εικόνα 23: Κατανομή αισθητήρων στην Α/Γ | 42 |
| Εικόνα 24: Απόσταση S μεταξύ των ανεμογεννητριών..... | 44 |
| Εικόνα 25: Όψη ανεμογεννήτριας 4MW | 46 |
| Εικόνα 26: Νασέλα Ανεμογεννήτριας..... | 47 |
| Εικόνα 27: Τρισδιάστατη απεικόνιση ατράκτου Ανεμογεννήτριας..... | 47 |
| Εικόνα 28: Ροή αέρα μέσω του ρότορα της Α/Γ | 48 |
| Εικόνα 29: Έλεγχος Ανεμογεννήτριας | 62 |
| Εικόνα 30:Τοπογραφικό διάγραμμα με θέσεις Α/Γ,όρια πολύγωνων, οριζοντιογραφία προτεινόμενης και υφιστάμενης οδοποιίας και προτεινόμενο δίκτυο διασύνδεσης..... | 67 |
| Εικόνα 31: Τυπική διατομή οδού | 68 |
| Εικόνα 32:Βάση Θεμελίωσης με πασσάλους | 71 |
| Εικόνα 33: Κυκλικό Πέδιλο Α/Γ | 72 |
| Εικόνα 34:Ορθογώνιο Πέδιλο..... | 72 |
| Εικόνα 35: Θεμελίωση σε Βράχο | 73 |
| Εικόνα 36: Βασικές Γεωμετρικές Παράμετροι της Θεμελίωσης | 75 |
| Εικόνα 37:Ανάλυση Θεμελίωσης Πλάκας..... | 77 |
| Εικόνα 38:Κρίσιμες τομές για διάτρηση και διάτμηση δοκού | 79 |

Πίνακες

| | |
|--|----|
| Πίνακας 1:Ενεργειακό Μείγμα Παραγωγής 2020 και εκπομπές CO ₂ gr/KWh .5 | |
| Πίνακας 2: Αποστάσεις από εγκατάσταση Α/Γ | 11 |
| Πίνακας 3: Βαθμός Σημασίας διαφόρων κριτηρίων | 12 |
| Πίνακας 4:Τιμές μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας σύμφωνα με τα δεδομένα του Μ.Σ. Αραχναίου | 24 |
| Πίνακας 5: Μέσες μηνιαίες και μέσες ετήσιες τιμές ύψους βροχής (mm) για έξι μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ. Οι τιμές αφορούν στο χρονικό διάστημα λειτουργίας του κάθε σταθμού. (Πηγή: Σενή, 2007) | 25 |
| Πίνακας 6: Κατανομή ταχυτήτων αέρα ανά κατεύθυνση (ύψος:42m)..... | 28 |
| Πίνακας 7: Μήκος τραχύτητας για διάφορους τύπους εδαφών | 30 |
| Πίνακας 8: Εκθετικός συντελεστής για διάφορους τύπους εδαφών (Πηγή: Zoba, Bansal, 2011) | 31 |
| Πίνακας 9: Λογαριθμικές Τιμές Ταχύτητας Ανέμου(m/s) συναρτήσει του Ύψους(m)..... | 32 |
| Πίνακας 10: Υπολογισμός συντελεστή k (Πηγή: Justus et al., 1977)..... | 33 |
| Πίνακας 11: Μέγιστη και ελάχιστη ταχύτητα ανέμου | 34 |
| Πίνακας 12: Ταχύτητα ανέμου για τα έτη 04/05/2015-04/05/2016 και 04/05/2016-04/05/2017 | 36 |
| Πίνακας 13: Παράμετροι ποιότητας του αέρα (ύψος:10m)..... | 37 |
| Πίνακας 14: Χαρακτηριστικά κάθε τύπου Α/Γ | 43 |
| Πίνακας 15: Απώλειες σε σχέση με την απόσταση των Α/Γ | 43 |
| Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά αέρα..... | 51 |
| Πίνακας 17: Διόρθωση συντελεστή υψομέτρου C _A | 51 |
| Πίνακας 18: Διόρθωση συντελεστή θερμοκρασίας C _T | 52 |
| Πίνακας 19: Απώλειες σε ένα αιολικό πάρκο kWh/year..... | 54 |
| Πίνακας 20: Συνολική ισχύς εξόδου αιολικού πάρκου 44MW..... | 54 |
| Πίνακας 21: Τιμές ταχύτητας ανέμου και συντελεστών C _p , C _t | 56 |
| Πίνακας 22: Τιμές C _L , C _D σε διάφορες γωνίες προβολής για τύπο πτερυγίου NACA0012..... | 58 |
| Πίνακας 23: Τιμές Ταχύτητας Ανέμου και Επίπεδο Θορύβου στο ύψος του ρότορα..... | 64 |
| Πίνακας 24:Επίπεδα θορύβου ανεμογεννήτριας σε σύγκριση με άλλους θορύβους..... | 65 |
| Πίνακας 25: Τιμές Παραμέτρων Θεμελίωσης | 76 |
| Πίνακας 26: Χαρακτηριστικά τσιμέντου | 76 |
| Πίνακας 27: Χαρακτηριστικά Χάλυβα..... | 76 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1:ΕΙΣΑΓΩΓΗ

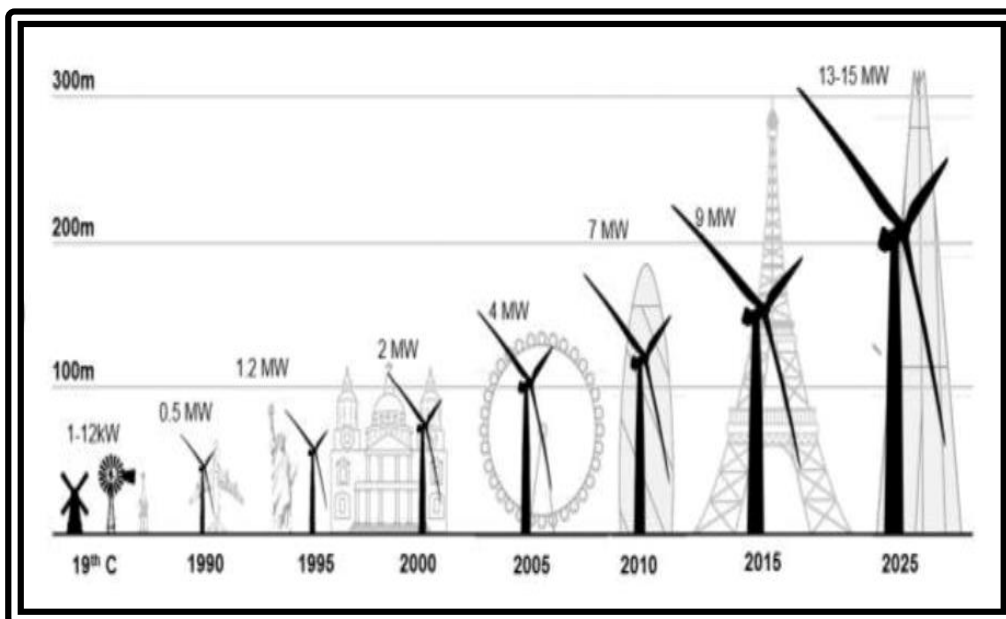
1.1)ΓΕΝΙΚΑ

Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας ως έναν πολύ σημαντικό ενεργειακό πόρο κερδίζει ολοένα και μεγαλύτερη απήχηση μεταξύ των υπευθύνων για τη λήψη αποφάσεων τα τελευταία χρόνια, λόγω της συνεχούς αυξανόμενης ανάγκης για βιώσιμη ανάπτυξη. Η ενέργεια σχετίζεται ολοκληρωτικά με τον άνθρωπο. Κατά την τελευταία δεκαετία η αιολική ενέργεια αποτελεί τον δεύτερο μεγαλύτερο συντελεστή της νέας δυναμικότητας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρωπαϊκή Ένωση, που μεταφράζεται σε περίπου 30% της καθαρής αύξησης της δυναμικότητας.

Για αυτό το λόγο, οι χώρες οφείλουν να παράγουν μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει είτε μέσω των ορυκτών καυσίμων, είτε με πυρηνικούς σταθμούς ή μέσω των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Η πλειονότητα των χωρών αξιοποιεί τον ορυκτό της πλούτο (λιγνίτης, φυσικό αέριο). Όπως και στην χώρα μας ,μέσω των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που βρίσκονται σε διάφορες περιοχές (Πτολεμαΐδα, Μεγαλόπολη ,Αττική, Εύβοια κλπ). Ωστόσο αυτές οι μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα ρυπογόνες προς το περιβάλλον, ενώ ταυτόχρονα παρατηρείται και εξάντληση των συγκεκριμένων κοιτασμάτων.

Έτσι οι χώρες, της Ευρώπης κυρίως, ξεκίνησαν να στρέφονται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρισμού τείνει να καθιερωθεί ως μια σημαντική πηγή ενέργειας, παρά το γεγονός ότι κοστίζει περισσότερο σε σχέση με τον λιγνίτη και το φυσικό αέριο, και να αποτελεί παράλληλα σημαντικό παράγοντα στην παγκόσμια αγορά ενέργειας.

Όπως συμβαίνει με όλες τις αναπτυσσόμενες τεχνολογίες, έτσι και οι ανεμογεννήτριες έχουν διανύσει μέχρι σήμερα μια μεγάλη πορεία όσον αφορά την ονομαστική ισχύ και κατά συνέπεια το μέγεθος της ίδιας της εγκατάστασης. Από δομική άποψη αυτό σημαίνει ότι τα φορτία που ασκούνται στο σύστημα έχουν αυξηθεί κατ' αντιστοιχία, απαιτώντας έτσι περισσότερη σκέψη για το πώς μπορεί να παρέχεται η απαιτούμενη δομική ασφάλεια, προκειμένου να μην προκύψουν προβλήματα. Είναι απολύτως φυσιολογικό και αναμενόμενο το γεγονός ότι η ανάπτυξη των ανεμογεννητριών και γενικότερα της αιολικής ενέργειας δεν θα σταματήσει καθώς θα σημειωθεί ακόμη μεγαλύτερη εξέλιξη.



Εικόνα 1: Εξέλιξη του μεγέθους των ανεμογεννητριών και της ονομαστικής ισχύος από τη δεκαετία του 1980 έως το 2025(πηγή: Bloomberg New Energy Finance)

1.2) ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

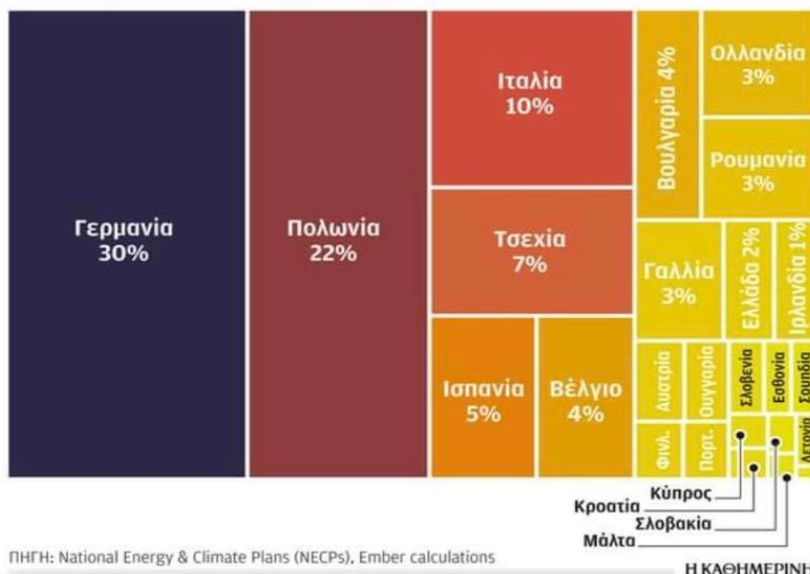
Όντας σε μια εποχή όπου η συνεχής αύξηση του πληθυσμού επιφέρει την αύξηση της κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, κρίνοντας και με βάση την κλιματική αλλαγή, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι αναγκαίο να συμβάλλουν στην μείωση των αρνητικών αποτελεσμάτων που θα προκύψουν από μια γενικότερη υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα χώρες όπως η Δανία, η Γερμανία, η Κίνα αλλά και οι Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής, όπου η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας ολοένα και αυξάνεται δραματικά, αποτελούν "ηγέτες" στον τομέα της ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας το 1930, όταν κατασκευάστηκαν δηλαδή οι πρώτες ανεμογεννήτριες για να μετατρέψουν την ενέργεια από αιολική σε ηλεκτρική. Στη σημερινή εποχή, η αξιοποίηση των αιολικών πηγών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβάνεται σαν κλάδος στον ενεργειακό τομέα, στον οποίο παρατηρείται ραγδαία και συνεχής αύξηση.

Η αιολική ενέργεια με την βοήθεια της τεχνολογίας, που κυριαρχεί στις μέρες μας, αποτελεί ένα είδος ενέργειας που μπορεί να αξιοποιηθεί για μια πληθώρα σκοπών. Η μετατροπή της ενέργειας από αιολική σε ηλεκτρική μέσω των ανεμογεννητριών, δεν έχει αρνητικό αντίκτυπο στο περιβάλλον καθώς δεν παράγονται αέρια του θερμοκηπίου. Παρά το γεγονός ότι το ύψος

των ανεμογεννητριών είναι μεγάλο, η έκταση γης που καταλαμβάνουν είναι μικρή.

Γερμανία, Πολωνία, Ιταλία και Τσεχία θα αντιπροσωπεύουν το 70% των εκπομπών από ηλεκτρική ενέργεια στην Ε.Ε. το 2030



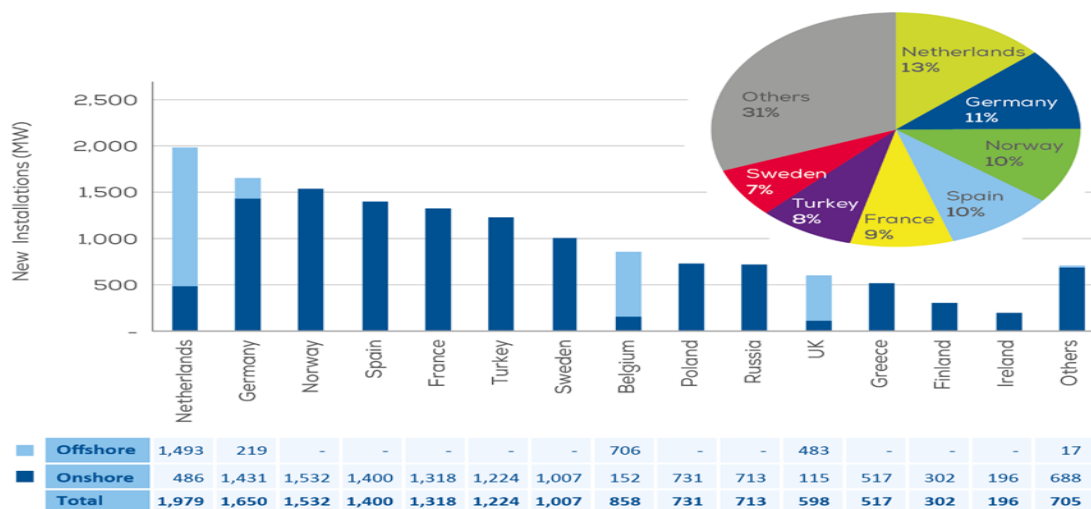
Εικόνα 2: Κατανομή εκπομπών CO₂ του τομέα ηλεκτρικής ενέργειας της Ε.Ε

Ένας από τους υψηλότερους ρυθμούς ανάπτυξης εντός των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, προέρχεται από την αιολική ενέργεια. Είναι προφανές ότι η αιολική ενέργεια είναι ένας από τους πιο υποσχόμενους λόγους για την παραγωγή, με σχετικά χαμηλό κόστος, ηλεκτρικής ενέργειας με βιώσιμο τρόπο. Κατασκευή νέων αιολικών σταθμών ή αιολικών πάρκων απαιτεί, μεταξύ πολλών άλλων παραγόντων, τοποθεσίες οι οποίες μπορούν να παρέχουν καλές συνθήκες ανέμων. Η μέθοδος που παρουσιάζεται σε αυτή τη μελέτη χρησιμοποιεί μακροπρόθεσμα δεδομένα ταχύτητας ανέμου, από αρχεία δεδομένων ανάλυσης για την ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1) Η ΑΓΟΡΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΥΡΩΠΗ

Σύμφωνα με την Wind Europe, το 2020 η Ευρώπη εγκατέστησε 14,7GW (10,5GW στην Ε.Ε 27) νέας αιολικής ισχύος. Πρόκειται για μείωση 6% συγκριτικά με το 2019. Το 80% των νέων αιολικών εγκαταστάσεων ήταν χερσαία. Η Ολλανδία ήταν η χώρα η οποία εγκατέστησε τη μεγαλύτερη σε δυναμικότητα αιολική ενέργεια το 2020 σε υπεράκτιες εγκαταστάσεις, ενώ η Νορβηγία κατέγραψε τις μεγαλύτερες χερσαίες εγκαταστάσεις. Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει υπολογίσει ότι στην επόμενη 5ετία θα έχουν εγκατασταθεί 105 GW. Μεγαλύτερη προσοχή έχει δοθεί το τελευταίο διάστημα σε ΑΠΕ σε σύγκριση με τα ορυκτά καύσιμα. Η συνεχής αύξηση του πετρελαίου και γενικότερα των καυσίμων αλλά και των μεταφορών έχουν οδηγήσει τις ΑΠΕ σε ένα πιο ωφέλιμο περιβάλλον. Σε πολλές απομακρυσμένες περιοχές, η εγκατάσταση συστημάτων ΑΠΕ μπορεί να είναι λιγότερο κοστοβόρα από τη διασύνδεση τους με καλώδια. Η ανάπτυξη των ΑΠΕ δημιουργεί νέες θέσεις εργασίας, τεχνολογιών καθώς και δεξιοτήτων. Μέσα στο 2020 περισσότερο από 1,2 εκατομμύρια άνθρωποι ζουν σε "πράσινα" σπίτια. Μέχρι το 2030, σύμφωνα με την Ε.Ε., οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα πρέπει να έχουν μειωθεί κατ'ελάχιστο 40%. Οι μη ανανεώσιμοι πόροι χρησιμοποιούνται κυρίως στις μεταφορές (πετρέλαιο), ενώ η χρήση τους σε άλλους τομείς έχει μειωθεί.



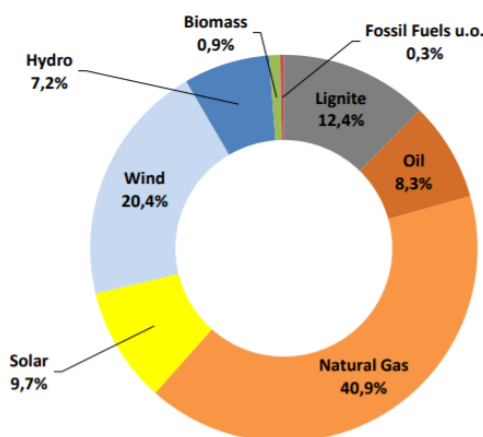
Εικόνα 3: Ισχύς νέων αιολικών πάρκων ανά χώρα για το έτος 2020

2.2) Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η ταχεία αύξηση της ενεργειακής ζήτησης εν μέσω ανησυχιών για ενεργειακή κρίση και των αυξανόμενων κλιματικών αλλαγών δίνει στην Ελλάδα τη δυνατότητα να εξετάσει το ενεργειακό της μείγμα, περιοχή που είναι προικισμένη με τεράστια ενεργειακά αποθέματα, τόσο ορυκτά όσο και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στον τομέα της παραγωγής ενέργειας, ο λιγνίτης που αποτελεί σε μεγάλο βαθμό ως βασικό παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας, έχει πλέον υποκατασταθεί από το φυσικό αέριο και τις ΑΠΕ. Η αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται κυρίως στην οικονομική ανάπτυξη, την αστικοποίηση, το υψηλότερο βιοτικό επίπεδο και την επιτυχή επέκταση της πρόσβασης στην ηλεκτρική ενέργεια. Στην χώρα μας η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού γίνεται κυρίως με τη χρήση ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα. Σύμφωνα με την HWEA Wind Energy Statistics για το πρώτο εξάμηνο του 2021, η εγκατεστημένη αιολική ισχύς ήταν ίση με 4374MW, δηλαδή ποσοστό 20.5% της συνολικής καταναλωθείσας ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 1:Ενεργειακό Μείγμα Παραγωγής 2020 και εκπομπές CO₂ gr/KWh

Production Mix 2020



| 2020 | Lignite | Oil | Natural Gas ¹ | Fossil Fuels U. O. ² | Sum of Fossil Fuels | Solar | Wind | Hydro | Biomass | RES of U. O. ² | Sum of RES | Total | CO ₂ Emissions(gCO ₂ /KWh) |
|------|---------|-------|--------------------------|---------------------------------|---------------------|-------|--------|-------|---------|---------------------------|---------------|---------------|--|
| % | 12,37% | 8,29% | 40,91% | 0,30% | 61,86% | 9,67% | 20,35% | 7,19% | 0,93% | 0,00% | 38,14% | 100,0% | 405,62 |
| TWh | 5,72 | 3,83 | 18,92 | 0,14 | 28,61 | 4,47 | 9,41 | 3,33 | 0,43 | 0,00 | 17,64 | 46,25 | |

2.2.1) Ορισμός ανανεώσιμης ενέργειας

Ως ανανεώσιμη ενέργεια ορίζουμε σε γενικές γραμμές την ενέργεια που προέρχεται από πόρους οι οποίοι με τη σειρά τους αναπληρώνονται με φυσική διεργασία, όπως είναι το ηλιακό φως, ο άνεμος, η βροχή, τα κύματα, η γεωθερμία και άλλα πολλά. Η ανανεώσιμη ενέργεια αντικαθιστά τα συμβατικά καύσιμα σε τομείς οι οποίοι είναι οι εξής: παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θέρμανση ζεστού νερού αλλά και χώρων και καύσιμα κίνησης. Επίσης στον ορισμό της ανανεώσιμης ενέργειας συμπεριλαμβάνεται η ηλεκτρική ενέργεια καθώς και η θερμότητα η οποία παράγεται από την ηλιακή ενέργεια, την αιολική, την υδροηλεκτρική, την ενέργεια από τη βιομάζα αλλά και η γεωθερμική ενέργεια.

2.2.2) Μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οι φυσικοί πόροι που είναι διαθέσιμοι στη γη και δεν μπορούν να ανανεωθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα. Άρα αυτοί οι τύποι πόρων μόλις εξαντληθούν δεν θα είναι πλέον διαθέσιμοι για μελλοντικές ανάγκες. Η μη ανανεώσιμη ενέργεια έχει ορισμένα χαρακτηριστικά που την καθιστά χρήσιμη σε χώρες όπως είναι η Ελλάδα. Δυστυχώς, η κοινωνία μας εξαρτάται προς το παρόν από τις μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ως κύρια πηγή ενέργειας. Το μεγαλύτερο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιείται παγκοσμίως προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα, επειδή είναι πλούσια σε ενέργεια και οικονομικά στον τομέα της επεξεργασίας. Επιπλέον ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα είναι ότι μετά την καύση τους απελευθερώνουν στην ατμόσφαιρα διοξείδιο του άνθρακα(CO₂) με αποτέλεσμα να εγκλωβίζονται στην ατμόσφαιρα και να αποτελούν κύρια αιτία για την υπερθέρμανση του πλανήτη μας. Περίπου το 12% ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα προέρχεται από λιγνίτη. Δίνει ρεύμα σε όλες τις οικιακές μας συσκευές και σε οτιδήποτε άλλο χρησιμοποιούμε. Όταν καίγεται ο λιγνίτης αφήνει υποπροϊόντα τα οποία είναι πολύτιμα για την παρασκευή σκυροδέματος, πλαστικών και άλλα πολλά. Η χρήση του είναι μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας στην οποία μπορούμε να βασιστούμε οποιαδήποτε στιγμή.

2.2.3) Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Εναλλακτικές πηγές ενέργειας, αποτελούν η ηλιακή και η αιολική ενέργεια μια πιθανή λύση που μπορεί να αξιοποιηθεί για την αποτροπή εξάντλησης των μη ανανεώσιμων πηγών. Και οι δυο αυτές πηγές καθαρής ενέργειας είναι διαθέσιμες σε απεριόριστη προσφορά. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και οι τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να δώσουν λύσεις στα μακροχρόνια ενεργειακά προβλήματα που αντιμετωπίζουν οι αναπτυσσόμενες χώρες. Οι ΑΠΕ όπως η αιολική ενέργεια, η ηλιακή, η γεωθερμική και η ενέργεια από βιομάζα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ξεπεραστεί η έλλειψη ενέργειας σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η **αιολική ενέργεια** παράγει ηλεκτρική ενέργεια περιστρέφοντας τις ανεμογεννήτριες. Ο άνεμος σπρώχνει τα πτερύγια της τουρμπίνας και μια γεννήτρια μετατρέπει αυτή τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να παρέχει ρεύμα σε σπίτια και άλλα κτίρια και μπορεί ακόμη και να αποθηκευτεί στο ηλεκτρικό δίκτυο .

Η **ηλιακή ενέργεια** είναι ενέργεια από τον ήλιο με τη μορφή ακτινοβολίας. Η ακτινοβολία του ήλιου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παροχή φωτισμού και θερμότητας στα κτίρια και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ιστορικά, η ηλιακή ενέργεια έχει αξιοποιηθεί μέσω ηλιακών τεχνολογιών. Συνήθως, αυτές αφορούν τη στρατηγική θέση των κτιρίων και διάφορα στοιχεία αυτών των κτιρίων, όπως παράθυρα, προεξοχές και θερμικές μάζες. Τέτοιες πρακτικές εκμεταλλεύονται τον ήλιο για φωτισμό και θέρμανση χώρου για να μειώσουν σημαντικά τη χρήση ηλεκτρικού ή μηχανολογικού εξοπλισμού. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο κατά τη διάρκεια της ημέρας και μόνο εάν το φως του ήλιου δεν εμποδίζεται από σύννεφα, κτίρια ή άλλα εμπόδια.

Η **γεωθερμική ενέργεια** προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται βαθιά μέσα στον πυρήνα της Γης. Γεωθερμικές δεξαμενές μπορούν να βρεθούν στα όρια των τεκτονικών πλακών κοντά στην ηφαιστειακή δραστηριότητα. Η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί με τη δημιουργία γεώτρησης φρεατίων για την άντληση ζεστού νερού ή ατμού σε μια μονάδα παραγωγής ενέργειας. Αυτή η ενέργεια χρησιμοποιείται στη συνέχεια για θέρμανση και ηλεκτρική ενέργεια.

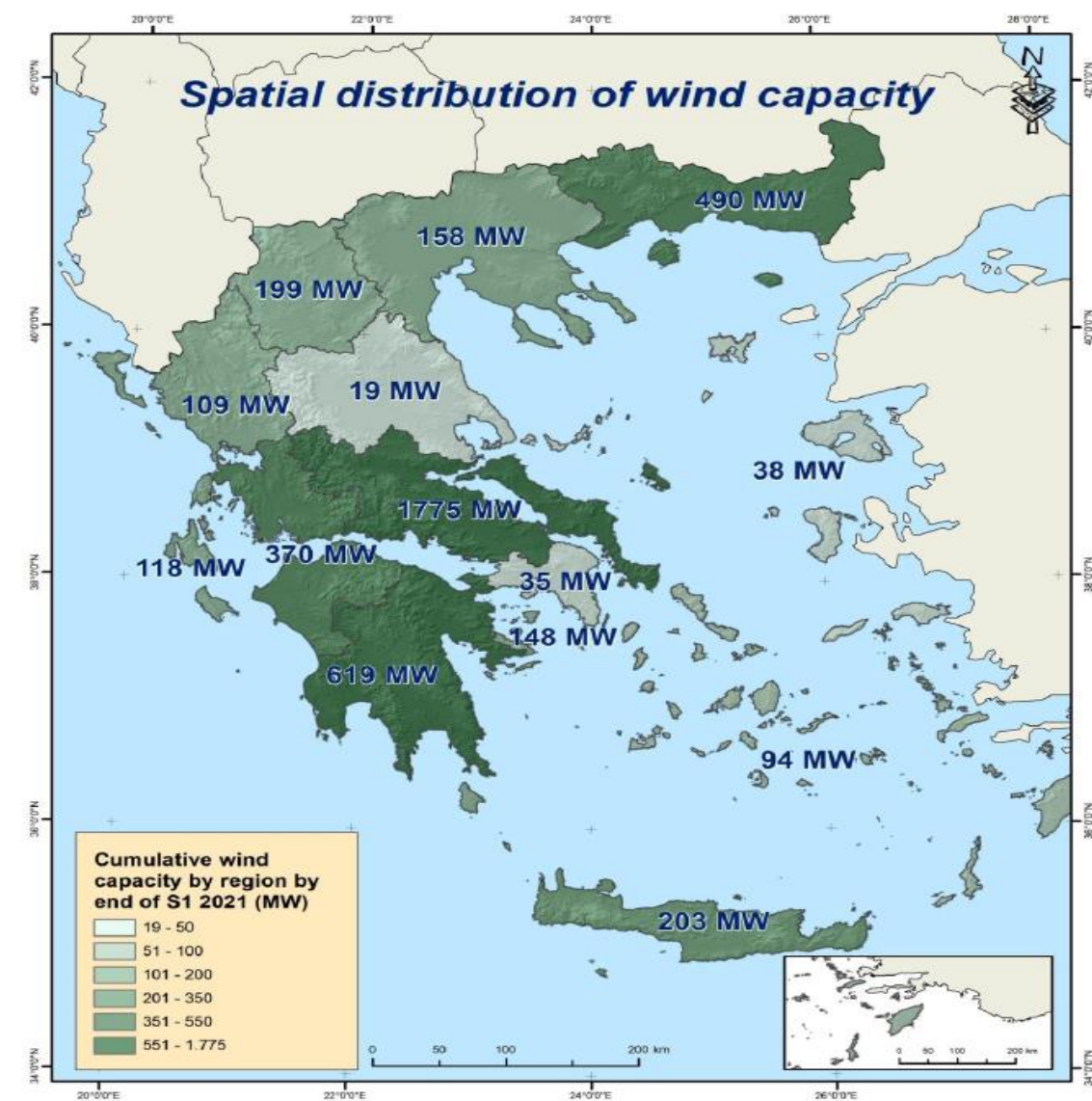
Η **βιομάζα** αναφέρεται σε οργανικό υλικό από φυτά ή ζώα. Αυτό περιλαμβάνει το ξύλο, τα λύματα και την αιθανόλη (η οποία προέρχεται από καλαμπόκι ή άλλα φυτά). Η βιομάζα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας επειδή αυτό το οργανικό υλικό έχει απορροφήσει ενέργεια από τον ήλιο. Αυτή η ενέργεια, με τη σειρά της, απελευθερώνεται ως θερμική ενέργεια όταν καίγεται.

2.2.4) Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από έναν αιολικό σταθμό πραγματοποιείται μέσω της μετατροπής της κινητικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Όταν ο άνεμος φτάσει σε ορισμένα επίπεδα ταχύτητας, θα κινήσει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας και την πλήμνη σε περιστροφή. Τα πτερύγια της τουρμπίνας και η πλήμνη συνθέτουν τον ρότορα και συνδέονται με έναν άξονα που κινεί μια γεννήτρια. Ενώ ο ρότορας περιστρέφεται, η κινητική ενέργεια εξάγεται από τον άνεμο και στη συνέχεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια από τη γεννήτρια. Η ηλεκτρική ενέργεια πριν διανεμηθεί στο δίκτυο, πρέπει να μετατραπεί στην κατάλληλη τάση, σύμφωνα με την τιμή τάσης του δικτύου. Όταν η ηλεκτρική ενέργεια έχει το κατάλληλο επίπεδο τάσης, μπορεί να διανεμηθεί στο δίκτυο και να παρέχει στους τελικούς πελάτες ηλεκτρική ενέργεια. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ αποτελεί δραστηριότητα δημοσίου συμφέροντος. Η αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, ως εναλλακτική πηγή ενέργειας,

είναι η πιο αποδοτική από άποψη κόστους, ταχύτατα εφαρμόσιμη και πρωτοποριακή ενεργειακή τεχνολογία, η οποία προσφέρει γρήγορη και μακροπρόθεσμη εξάλειψη των επιβλαβών εκπομπών ρύπων στο περιβάλλον.

Κατά τη διάρκεια της χρήσης, οι αιολικοί σταθμοί δεν εκπέμπουν επιβλαβείς ή τοξικές ουσίες και εκπομπές στο περιβάλλον. Ο τρόπος λειτουργίας τους δεν συμβάλλει στην εξάντληση των φυσικών πόρων (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο), δηλαδή δεν προκαλούν βλάβες στο περιβάλλον μέσω της εξόρυξης ή της μεταφοράς των πόρων. Η διάρκεια ζωής των μονάδων αυτών είναι 20 έως 30 χρόνια, μετά την οποία μπορούν να αποσυναρμολογηθούν και τα μέρη τους να ανακυκλωθούν και να επαναχρησιμοποιηθούν. Επειδή είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας, η αιολική ενέργεια μειώνει το περιβαλλοντικό κόστος που σχετίζεται με την υγειονομική περίθαλψη και την ατμοσφαιρική ρύπανση.



Εικόνα 4: Χωρική κατανομή αιολικής ισχύος

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΘΕΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

3.1) ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Η επιλογή σχετικά με την θέση που θα εγκατασταθεί το αιολικό πάρκο, αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές αποφάσεις του γενικότερου έργου, καθώς έχει να κάνει και με θέματα τα οποία αφορούν την οικονομική βιωσιμότητα γύρω από το συγκεκριμένο έργο καθώς και την ομαλή συγκατάθεση του μεγαλύτερου μέρους των πολιτών της περιοχής αυτής. Αρχικά θα πρέπει να καλύπτονται κάποιες προϋποθέσεις όπως η εύκολη πρόσβαση στην περιοχή εγκατάστασης. Επίσης πολύ σημαντική είναι η κάλυψη των ανεμολογικών δεδομένων (ταχύτητα ανέμου). Όπως είναι εύκολα αντιληπτό, η επιλογή της θέσης του αιολικού πάρκου, δεν αποτελεί σε καμία περίπτωση μια βατή και απλή διαδικασία εξετάζοντας πολλούς παράγοντες από κάθε πλευρά.

Παρακάτω βρίσκονται τα βήματα που θα πρέπει να ακολουθηθούν έτσι ώστε να αποφασιστεί, η κατά το δυνατόν, καλύτερη επιλογή σχετικά με την θέση του αιολικού πάρκου.

Στο πρώτο στάδιο, θα πρέπει να συλλεχθούν στοιχεία τα οποία θα προσδιορίζουν με σαφήνεια το αιολικό δυναμικό για την ευρύτερη περιοχή, αλλά και συγκεκριμένα για κάθε μια ξεχωριστά. Κάτι τέτοιο μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω της βοήθειας κάποιων ανεμολογικών χαρτών καθώς και χάρτες μορφολογικοί οι οποίοι θα μας δίνουν πληροφορίες για το ανάγλυφο της περιοχής

Στο δεύτερο στάδιο, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μια λεπτομερής ανάλυση για τις υποψήφιες θέσεις εγκατάστασης του αιολικού πάρκου. Κάτι τέτοιο, μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο διαφορετικούς τρόπους. Στην πρώτη περίπτωση, μπορεί να βρεθούν οι περιοχές για τις οποίες δεν καλύπτουν τις ανεμολογικές προϋποθέσεις και εν τέλει να εξεταστεί το αιολικό τους δυναμικό. Στην δεύτερη περίπτωση, μπορεί να βρεθούν οι περιοχές που καλύπτουν τις ανεμολογικές προϋποθέσεις που έχουν τεθεί, και συνεπώς να έχουν πολύ καλό αιολικό δυναμικό.

Στο τρίτο στάδιο, πραγματοποιείται μια ταξινόμηση, των υποψήφιων θέσεων, από την "καλύτερη" στη λιγότερο "καλή", και στην συνέχεια εντοπίζονται κάποιες από αυτές προκειμένου να πραγματοποιηθεί ευρύτερη μελέτη από μηχανικούς οι οποίοι με τη σειρά τους συλλέγουν χρήσιμες πληροφορίες και πραγματοποιούν τους απαραίτητους υπολογισμούς. Επίσης γίνεται προσπάθεια να προσδιοριστεί το κατά πόσο είναι πιθανή η εμφάνιση δυσμενών καιρικών συνθηκών. Την ίδια στιγμή, οικονομολόγοι συλλέγουν στοιχεία για να εντοπιστεί, σε γενικές γραμμές, το συνολικό κόστος της εγκατάστασης.

Η διάρκεια υλοποίησης των τεσσάρων αυτών σταδίων είναι κατ' ελάχιστο 18 μήνες (τα 2 τελευταία στάδια απαιτούν περισσότερο χρόνο συγκριτικά

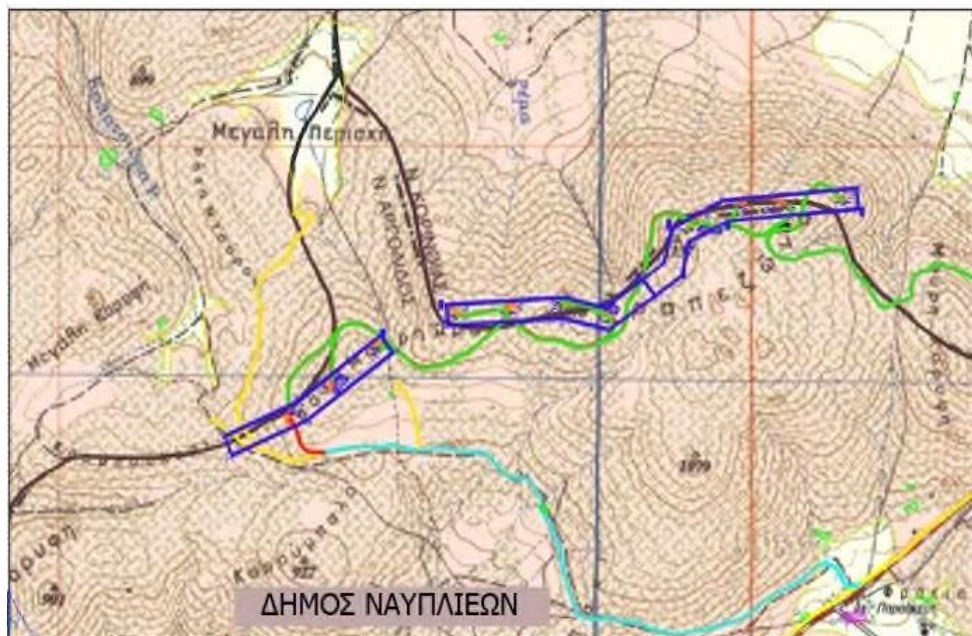
με τα στάδια 1,2) ενώ σύμφωνα με εκτιμήσεις από καταξιωμένους και έμπειρους αναλυτές το ιδανικό χρονικό περιθώριο είναι από τρία έως 5 χρόνια.

Στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο, προκειμένου να είμαστε σίγουροι για τα αποτελέσματα που έχουν συλλεχθεί έως τώρα, γίνονται μετρήσεις και υπολογισμοί ακριβώς στις περιοχές που είναι υποψήφιος για την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου. Οι μετρήσεις αυτές πρέπει να είναι, όσο πιο ακριβείς γίνεται και να ελαχιστοποιηθεί το περιθώριο λάθους για την επιλογή μας. Επίσης πραγματοποιούνται σχέδια από τοπογράφους για κάθε μια υποψήφια θέση ξεχωριστά. Στο τέλος αφού έχουν συλλεχθεί όλες αυτές οι πληροφορίες, επιλέγεται η θέση όπου θα πραγματοποιηθεί, τελικώς, η εγκατάσταση.

Η προτεινόμενη τοποθεσία του αιολικού πάρκου βρίσκεται 20km βορειοανατολικά της πόλης του Ναυπλίου στο δήμο Ναυπλίου, στην αυτόνομη επαρχία του Αραχναίου. Το ελάχιστο υψόμετρο της περιοχής είναι περίπου 922 m πάνω από το επίπεδο της θάλασσας ενώ το μέγιστο υψόμετρο είναι 1112 m και καλύπτει έκταση περίπου 222.000 m², η οποία αντιστοιχεί στην έκταση του λεπτομερούς σχεδίου ρύθμισης.

Οι αποστάσεις των γειτονικών οικισμών από τις Α/Γ :

- Από τον οικισμό του Αραχναίου 2,6 km περίπου
- Από τον οικισμό του Αγγελοκάστρου 3 km περίπου
- Από τον οικισμό των Λιμνών 5,3 km περίπου
- Από τον οικισμό του Σοφικού 10 km περίπου



Εικόνα 5: Απεικόνιση περιοχής εγκατάστασης Α/Γ

3.2) ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Η επιλογή τοποθεσίας για κάθε αιολικό πάρκο είναι ένα από τα πιο βασικά κριτήρια μεταξύ των άλλων διαδικασιών. Η απόφαση επιλογής τοποθεσίας είναι μια μακροπρόθεσμη απόφαση, γεγονός που καθιστά δύσκολη την αντιμετώπιση της. Κατά τη διάρκεια των διαδικασιών επιλογής της τοποθεσίας πρέπει να ληφθούν υπόψιν πολλοί παράγοντες όπως τεχνικοί, οικονομικοί και περιβαλλοντικοί. Ειδικά για τις ανεμογεννήτριες δεν παίζει μεγάλο ρόλο μόνο η φυσική τοποθεσία, αλλά και το περιβάλλον. Ως εκ τούτου οι Α/Γ πρέπει να τοποθετηθούν σε κατάλληλο ύψος για την μείωση της τύρβης και την καλή ταχύτητα του ανέμου. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλα πρόσθετα κριτήρια που πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν κατά την επιλογή της κατάλληλης θέσης για εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Στις επόμενες παραγράφους θα δοθεί ευρύτερη εικόνα για τα κριτήρια αυτά.

Η επιλογή τοποθεσίας είναι από τα πρώτα βήματα στα αιολικά πάρκα. Η επιλογή του χώρου για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών περιλαμβάνει πολλά κριτήρια, κυρίως χωρισμένα σε 4 ομάδες: οικονομικά, περιβαλλοντικά, σχεδιαστικά, φυσικά και τεχνικά κριτήρια. Κάθε ένα από αυτά τα κριτήρια περιλαμβάνει υποκριτήρια, όπως δρόμους και δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας (οικονομικά κριτήρια), η τοποθέτηση σε ορισμένη απόσταση από υδάτινα σώματα, δηλαδή ποτάμια και λίμνες (περιβαλλοντικά κριτήρια) και η τοποθέτηση σε ορισμένη απόσταση από κατοικημένες περιοχές.

Πίνακας 2: Αποστάσεις από εγκατάσταση Α/Γ

| Περιοχή | Απόσταση(m) |
|------------------------------|-------------|
| Εθνικοί δρυμοί(Natura 2000) | 600-3,000 |
| Ποτάμια, Λίμνες | 600-3,000 |
| Αρχαιολογικοί Χώροι | 2,000-7,000 |
| Κεραίες και Ραντάρ | 1,200-5,000 |
| Αεροδρόμια | 1,200-5,000 |
| Σιδηρόδρομοι | 500 |
| Γραμμές υψηλής τάσης | 120-2,000 |
| Οδικό δίκτυο | 120(1,5D) |
| Κατοικημένες περιοχές | 1,500-8,000 |
| Μοναστήρια | 500 |

3.3) ΠΟΛΥΚΡΙΤΗΡΙΑΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Στο επόμενο βήμα της ανάλυσης, καθορίζονται τα βασικά κριτήρια για την εύρεση των βέλτιστων θέσεων για την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου. Τα κριτήρια που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της καταλληλότητας των περιοχών απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα. Τα κριτήρια αυτά

περιγράφονται αναλυτικά στη συνέχεια. Για κάθε κριτήριο αναφέρεται και ο βαθμός σημασίας προκειμένου να καταστεί δυνατή η αξιολόγηση των πιθανών θέσεων.

Πίνακας 3: Βαθμός Σημασίας διαφόρων κριτηρίων

| Κριτήρια | Βαθμός Σημασίας (%) |
|---|---------------------|
| Αιολικό Δυναμικό | 21.6 |
| Απόσταση από οδικό δίκτυο | 7.4 |
| Απόσταση από ηλεκτρικό δίκτυο | 8.0 |
| Απόσταση από κατοικημένες περιοχές | 18.5 |
| Απόσταση από περιοχές κοινωνικού ενδιαφέροντος | 7.2 |
| Απόσταση από περιοχές οικολογικού ενδιαφέροντος | 20.4 |
| Απόσταση από επιφανειακούς υδάτινους όγκους | 5 |
| Χρήσεις γης | 18.4 |

3.3.1) Απόσταση από Οδικό Δίκτυο

Η ιδιαιτερότητα του εξοπλισμού εγκατάστασης καθώς και της επακόλουθης συντήρησης του αιολικού πάρκου αντικατοπτρίζεται στην ανάγκη για ασφαλή χρήση του οδικού δικτύου με τη μέγιστη δυνατή χρήση του υπάρχοντος δικτύου. Οι δρόμοι πρέπει να έχουν ελάχιστο πλάτος 4m και συμπαγές οδόστρωμα. Σύμφωνα με τους κανονισμούς πρέπει να τηρείται ελάχιστη απόσταση 20m από τους δρόμους έως την άκρη των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας.

Στην περίπτωση των εθνικών και περιφερειακών οδών οι ανεμογεννήτριες πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση των 20m. Στις περισσότερες εκτιμήσεις χωροθέτησης των αιολικών πάρκων οι περιοχές που βρίσκονται πιο μακριά από τους δρόμους θεωρούνται λιγότερο βολικές από εκείνες που βρίσκονται κοντά. Όμως, δεν υπάρχει γενικά προσδιορισμός της μέγιστης απόστασης των ανεμογεννητριών από το οδικό δίκτυο. Όσο πιο κοντά βρίσκονται οι ανεμογεννήτριες στο υπάρχον δίκτυο, τόσο λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις θα έχουμε.

Σε απόσταση 2km περίπου βορειοανατολικά των θέσεων εγκατάστασης διέρχεται επαρχιακό οδικό δίκτυο που συνδέει το Αραχναίο.

3.3.2) Απόσταση από Ηλεκτρικό Δίκτυο

Οι ανεμογεννήτριες πρέπει να τοποθετούνται κοντά στο σύστημα του ηλεκτρικού δικτύου καθώς με αυτό τον τρόπο μειώνεται το κόστος της διασύνδεσης του με αυτό αλλά και το κόστος απωλειών της ηλεκτρικής ενέργειας. Το αιολικό μας πάρκο θα έχει εγκατεστημένη ισχύ 44MW, άρα θα συνδεθεί απευθείας με το δίκτυο υψηλής τάσης.

Για τη σύνδεση του Α/Π με το Σύστημα Μεταφοράς προβλέπεται η κατασκευή υπόγειου δικτύου Μέσης Τάσης (ΜΤ) που θα συνδέει τις Α/Γ του Α/Π με τον υφιστάμενο υποσταθμό ανύψωσης τάσης. Το υπόγειο δίκτυο διασύνδεσης Μέσης Τάσης χωρίζεται στο Εσωτερικό δίκτυο Μέσης Τάσης το οποίο διασυνδέει τις ανεμογεννήτριες (Α/Γ) μεταξύ τους και με το πινακοστάσιο Μέσης Τάσης που θα βρίσκεται εντός του Οικίσκου Ελέγχου (Ο.Ε.) του Α/Π και το Εξωτερικό δίκτυο Μέσης Τάσης το οποίο διασυνδέει το πινακοστάσιο Μέσης Τάσης που θα βρίσκεται εντός του Οικίσκου ελέγχου με τον υφιστάμενο Υ/Σ.

3.3.3) Απόσταση από Κατοικημένες Περιοχές

Τα αιολικά πάρκα κοντά σε αστικές περιοχές μπορεί να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στον τοπικό πληθυσμό μιας περιοχής. Ορισμένες παράμετροι που πρέπει να αξιολογούνται πριν από τη χωροθέτηση αιολικού πάρκου κοντά σε αστικές περιοχές είναι ο θόρυβος, σκιές-αντανακλάσεις και οπτικές επιπτώσεις στο ευρύτερο κοινό. Ωστόσο προκειμένου να αξιολογηθούν και να εξεταστούν αυτές οι παράμετροι θα πρέπει να υπάρξει μια εκτεταμένη και αναλυτική ανασκόπηση σχετικά με τους νόμους και τους κανονισμούς που ισχύουν στην εκάστοτε χώρα όπως και στη περίπτωση που αφορούν την Ελλάδα.

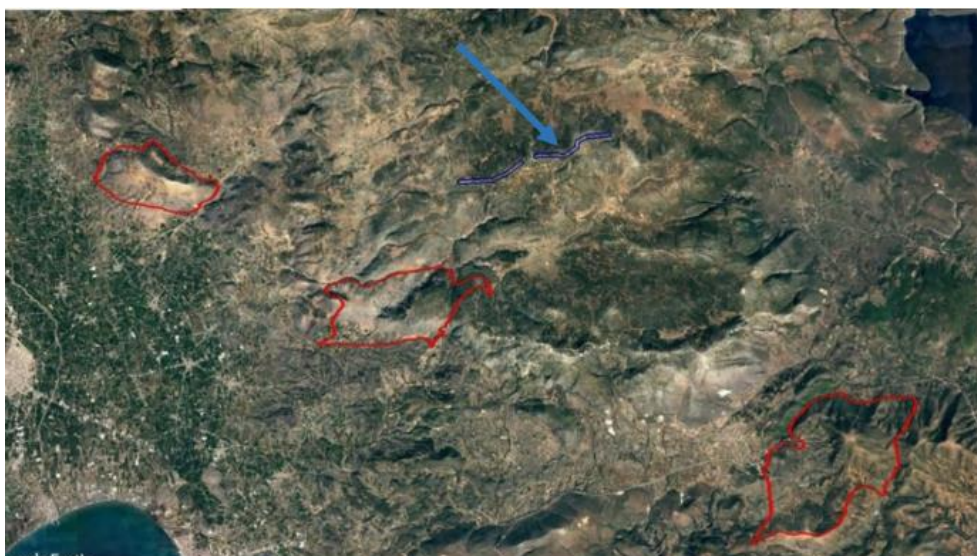
3.3.4) Απόσταση από Υδάτινους Όγκους

Στις θέσεις εγκατάστασης των Α/Γ αλλά και στις θέσεις κατασκευής των συνοδών έργων της ΜΤ και της οδού πρόσβασης, δεν παρατηρήθηκαν σημαντικές πηγές ή επιφανειακές απορροές που θα μπορούσαν να επηρεαστούν από το έργο, πέραν των εποχικών απορροών. Χαρτογραφημένα ρέματα περιοδικής ροής εντοπίζονται διάσπαρτα στη βάση των πρηνών περιμετρικά της κορυφογραμμής εγκατάστασης.

3.3.5) Απόσταση από Περιοχές Οικολογικού Ενδιαφέροντος

Ως περιοχές απολύτου προστασίας της φύσης (Strict nature reserves) χαρακτηρίζονται οι εκτάσεις με εξαιρετικά ευαίσθητα οικοσυστήματα, ενδιαιήματα σπάνιων ή απειλούμενων με εξαφάνιση ειδών της αυτοφυούς χλωρίδας ή άγριας πανίδας ή εκτάσεις που έχουν σημαίνουσα θέση στον

κύκλο ζωής σπάνιων ή απειλούμενων με εξαφάνιση ειδών της άγριας πανίδας . Η χλωρίδα και οι χρήσεις γης γενικότερα, στις θέσεις εγκατάστασης των Α/Γ, ελάχιστα επηρεάζονται από τις αιολικές εγκαταστάσεις οι οποίες καταλαμβάνουν περί το 1% επί του συνόλου της έκτασης. Τα όρια του κοντινότερου Καταφυγίου Άγριας Ζωής 'Μάλιζα-Τούρνεζα', συνολικής έκτασης 12.110 στρεμμάτων βρίσκονται σε απόσταση 4km περίπου νοτιοδυτικά του υπό εξέταση Αιολικού Πάρκου.



Εικόνα 6: Καταφύγια Άγριας Ζωής στην ευρύτερη περιοχή του έργου

3.3.6) Απόσταση από Περιοχές Κοινωνικού Ενδιαφέροντος

Η θέση εγκατάστασης του Α/Π και των συνοδών έργων αυτού, αλλά και η ευρύτερη περιοχή μελέτης γενικότερα (ακτίνα 5km περίξ του έργου) δε βρίσκεται εντός ή πλησίον αρχαιολογικών χώρων ή μνημείων ιστορικού και πολιτιστικού ενδιαφέροντος. Σε απόσταση 10 km περίπου νοτιοδυτικά από τα όρια του Α/Π, βρίσκεται ο αρχαιολογικός χώρος της Μιδέας.

Επίσης, ως προς τις αποστάσεις του έργου από άλλα σημεία ενδιαφέροντος:

- Από την Ι.Μ. Ταλαντίου 4,2km περίπου
- Από τα όρια του Αρχαιολογικού χώρου της Μιδέας 10km περίπου
- Από το Κάστρο Αγιονορίου 8km περίπου
- Από το θέατρο και τον αρχαιολογικό χώρο της Επιδαύρου 13,3km περίπου

3.3.7) Χρήση Γης

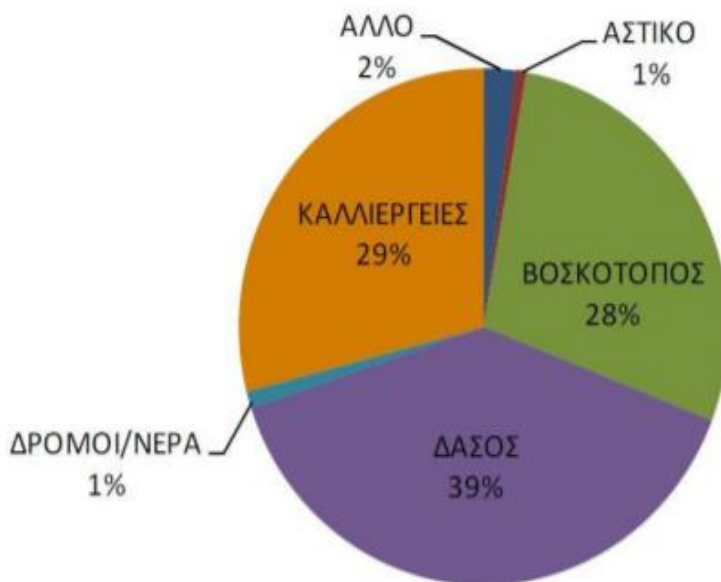
Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας, σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μορφές ενέργειας ανάπτυξης, είναι ότι οι προϋπάρχουσες χρήσεις της γης, όπως οι καλλιέργειες και οι βοσκότοποι, μπορούν να συνδυαστούν χωρίς προβλήματα. Οι ανεμογεννήτριες θα πρέπει να εγκαθίστανται, χωρίς να επηρεάζουν και να προκαλούν αλλαγές στις χρήσεις της υφιστάμενης γης. Η γη αποτελεί, χωρίς καμία αμφιβολία, έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες που αφορούν τις ενεργειακές επενδύσεις, όπως η δημιουργία ενός αιολικού πάρκου. Σύμφωνα με τους ειδικούς, τα αιολικά πάρκα θα πρέπει να εγκαθίστανται σε συγκεκριμένα μέρη. Πιο αναλυτικά δεν θα πρέπει να εγκαθίστανται σε προστατευμένες περιοχές, σε υγροτόπους, σε υδάτινες περιοχές καθώς και σε δασικές περιοχές. Έτσι στην περίπτωση όπου εγκατασταθεί το αιολικό πάρκο στις παραπάνω περιπτώσεις, αναμένεται να προκύψουν σημαντικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και κυρίως στο έδαφος.



Εικόνα 7: Περιβαλλοντική απεικόνιση ευρύτερης περιοχής εγκατάστασης του αιολικού πάρκου σύμφωνα με τον Περιβαλλοντικό χάρτη της Ελλάδος

Όπως παρατηρούμε από την παραπάνω εικόνα, η περιοχή όπου θα πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου αποτελείται κυρίως από οροσειρές, από καλλιέργειες και λιγότερο από περιοχές με υψηλό γρασίδι.

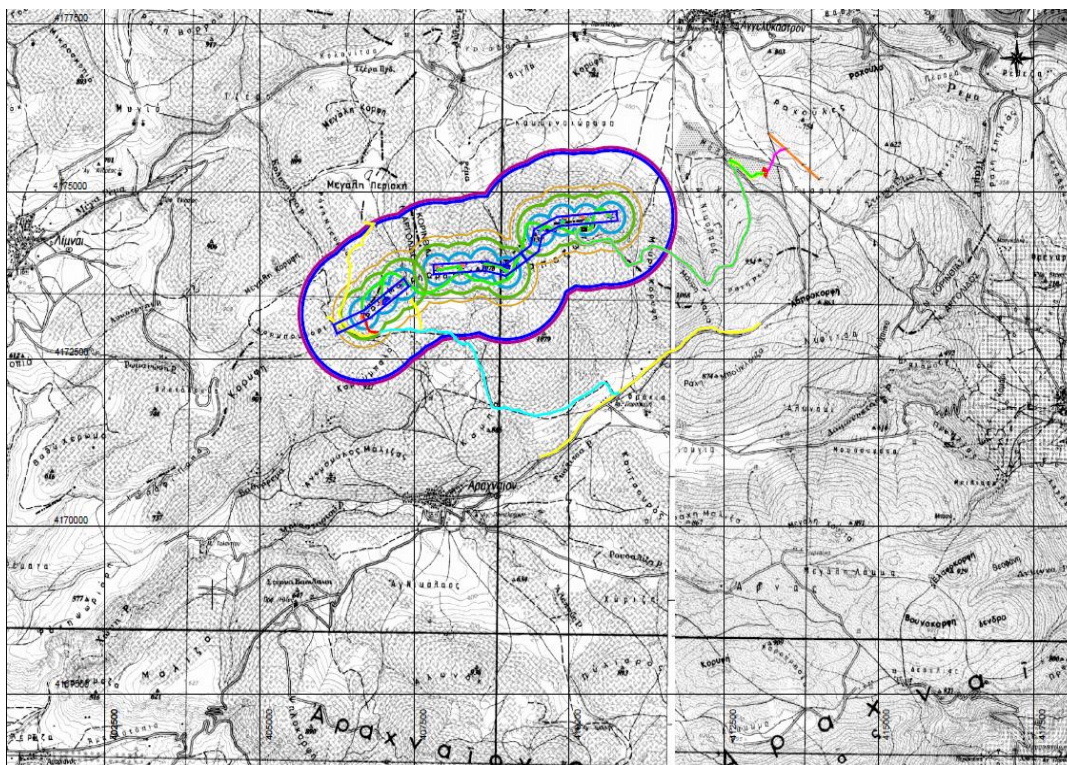
Διάγραμμα 1: Κατανομή χρήσεων γης στη Λεκάνη Απορροής Ρεμάτων του Αργολικού κόλπου



3.4) ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

3.4.1) Μορφολογία εδάφους

Ο χώρος στον οποίο θα εγκατασταθεί το αιολικό πάρκο, βρίσκεται στο βορειοανατολικό τμήμα του Δήμου Ναυπλίου. Η μορφολογική διάταξη του εδάφους στην συγκεκριμένη περιοχή, αποτελείται κατά μήκος της κορυφογραμμής από βουνά και λόφους, όπου σε ορισμένα σημεία συναντούμε και πεδινές εκτάσεις χαμηλότερο υψόμετρου και καλύπτεται κυρίως από το όρος Αραχναίο. Το ελάχιστο υψόμετρο από την επιφάνεια της θάλασσας είναι 922 m ενώ το μέγιστο υψόμετρο είναι 1112 m.



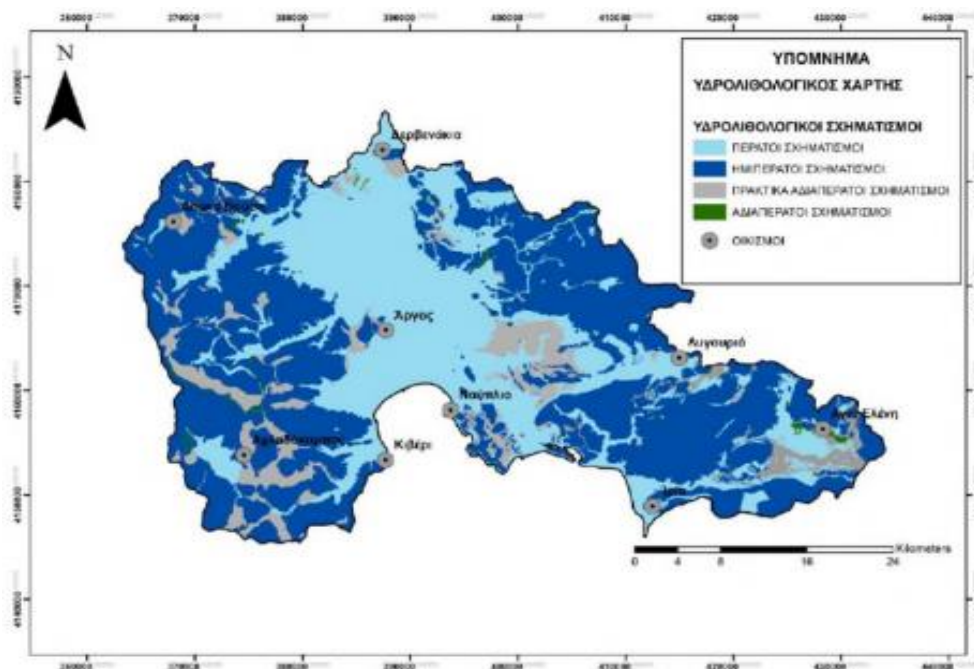
Εικόνα 8:Μορφολογικός χάρτης

3.4.2) Γεωλογία εδάφους

Το έδαφος είναι βραχώδες, πράγμα που διαπιστώνεται κοντά στις κορυφές ή στις εκτάσεις με θαμνώδη βλάστηση. Οι γεωλογικές έρευνες που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή του έργου, δείχνουν ότι θα υπάρχουν κάποιες επιπτώσεις λόγω των εκσκαφών από τις προτεινόμενες δραστηριότητες του έργου. Δεν αναμένεται διάβρωση του εδάφους και καθιζήσεις κατά την περίοδο κατασκευής του.

3.4.3) Υδρολογικά χαρακτηριστικά περιοχής

Τα υδρογεωλογικά χαρακτηριστικά του χώρου που προορίζονται για την κατασκευή του αιολικού πάρκου εξαρτώνται από ορισμένα στοιχεία. Πρώτα απ' όλα πρόκειται για στοιχεία που απορρέουν από τη γεωλογική σύνθεση του εδάφους αλλά και τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους που επηρεάζουν άμεσα και έμμεσα τον σχηματισμό των συγκεκριμένων γεωλογικών μορφών. Η υδρολογική διάταξη, επίσης, του εδάφους εξαρτάται από το επίπεδο των υφιστάμενων πορώδη πετρωμάτων, επιτρέποντας κατά συνέπεια τη δυνατότητα διείσδυσης και κυκλοφορίας του νερού και τον σχηματισμό υδροφόρων ζωνών.



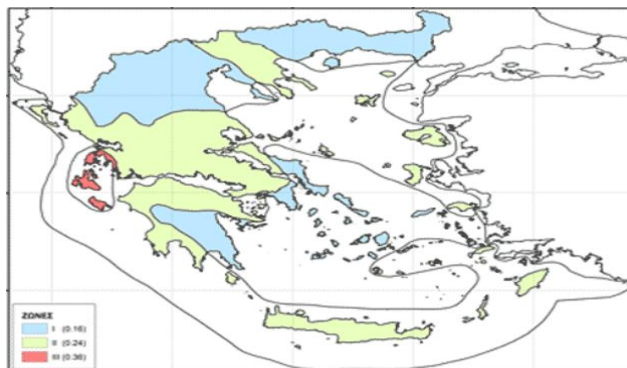
Εικόνα 9: Υδρολιθολογικός χάρτης (πηγή: Μυλωνάς, 2019)

Στην περιοχή της Αργολίδας υπάρχουν τέσσερις κυρίαρχες υδρογεωλογικές ενότητες που διαφοροποιούνται με βάση τον τύπο του υδροφόρου:

- Το Καρστικό σύστημα του Αραχναίου Όρους
- Το ρωγμώδες – Καρστικό σύστημα στις περιοχές Τραχειά – Ερμιονίδα
- Το Καρστικό σύστημα της Δυτικής Αργολίδας
- Οι κοκκώδεις υδροφορείς του βυθίσματος του Αργολικού πεδίου και της Ασίνης.

3.4.4) Σεισμολογικά χαρακτηριστικά

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Αντισεισμικό Κανονισμό, ο χώρος εγκατάστασης αιολικού πάρκου βρίσκεται στη δεύτερη ζώνη σεισμικής επικινδυνότητας με εδαφική επιτάχυνση ανηγμένη στην επιτάχυνση της βαρύτητας για τη ζώνη αυτή ισούται με $\alpha=0,24$.



Εικόνα 10: Χάρτης σεισμικής επικινδυνότητας (Πηγή: Ο.Α.Σ.Π.)

3.5) ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΟΥ ΙΣΤΟΥ

Στο στάδιο της έναρξης των εργασιών του συγκροτήματος του αιολικού πάρκου, δηλαδή κατά την έναρξη της παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες στο σύστημα μεταφοράς, οι διακυμάνσεις της τάσης και της ισχύος μπορεί να εμφανιστούν μέχρι την τελική σταθεροποίηση του συστήματος. Για τους σκοπούς της παρακολούθησης και διόρθωσης των στοιχείων του συστήματος, και προκειμένου να εδραιωθεί η σταθερότητά του για την κανονική λειτουργία, εντός του συγκροτήματος αιολικού πάρκου προβλέπεται η ενδεχόμενη κατασκευή μεμονωμένων μετεωρολογικών ιστών(μετεωρολογικών στύλων) ως προσωρινών στοιχείων, οι οποίοι θα χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση των τρεχουσών χαρακτηριστικών του ανέμου στη προαναφερόμενη περιοχή. Το ύψος αυτών των στύλων είναι περίπου 43.5m και οι θέσεις τους εντός του συγκροτήματος θα καθοριστούν σύμφωνα με την εγκεκριμένη διάταξη των πύργων των ανεμογεννητριών σε σχέση με τα χαρακτηριστικά του ανέμου στη περιοχή. Προκειμένου να επιτευχθεί ανάπτυξη των αιολικών σταθμών, θεωρείται απολύτως αναγκαίος ο προσδιορισμός των ανεμολογικών χαρακτηριστικών, το οποίο θα πραγματοποιηθεί με την βοήθεια του μετεωρολογικού ιστού.



Εικόνα 11: Απεικόνιση μετεωρολογικού ιστού στο Α/Π Αραχναίου

Ωστόσο προκειμένου να προσδιορίσουμε τα χαρακτηριστικά του ανέμου, θα πρέπει να δώσουμε στον μετεωρολογικό ιστό όλα όσα χρειάζεται- τον απαραίτητο εξοπλισμό:

- Ανεμόμετρο
- Ανεμοδείκτης (Διευθυνσιόμετρο)
- Υγρόμετρο
- Βαρόμετρο
- Καταγραφικό Κιβώτιο

3.5.1) Ανεμόμετρο

Το ανεμόμετρο είναι ένα όργανο, το οποίο χρησιμοποιούμε για να προσδιορίσουμε την ταχύτητα και την πίεση του ανέμου σε διάφορες καταστάσεις όπου έχουμε ροή αέρα. Πρόκειται για όργανα πολύ σημαντικά καθώς βοηθούν σημαντικά στους τομείς της μετεωρολογίας ή ακόμα και της φυσικής. Το πιο γνωστό ανεμόμετρο είναι το ηλεκτρονικό, μαζί με ένα περιστρεφόμενο "κύπελλο". Ωστόσο υπάρχει και ηλεκτρονικό ανεμόμετρο όπου έχει περισσότερα από ένα κύπελλα (συνήθως 3 ή 4), που περιστρέφονται με τον αέρα, τοποθετημένα σε βραχίονες. Με αυτό τον τρόπο, το ανεμόμετρο έχει την ικανότητα μέσω των περιστροφών που έχουν πραγματοποιηθεί να προσδιορίζει την ακριβή ταχύτητα του ανέμου που είναι και το ζητούμενο του οργάνου. Όμως υπάρχουν και ανεμόμετρα με διαφορετικό τρόπο υπολογισμού της ταχύτητας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα διαφορετικού τύπου ανεμομέτρων είναι το ανεμόμετρο με ένα ηλεκτρικά θερμαινόμενο σύρμα, και ανεμόμετρο με σωλήνα αξιοποιώντας την πίεση του αέρα.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση προσδιορισμού της ταχύτητας του ανέμου, χρησιμοποιήθηκαν 5 ανεμόμετρα για τρία διαφορετικά ύψη(30m, 42m και 43,5m).



Εικόνα 12: Ανεμόμετρο Theis

3.5.2) Ανεμοδείκτης ή Διευθυνσιόμετρο

Ο ανεμοδείκτης είναι ένα όργανο, το οποίο είναι ικανό να προσδιορίσει τον προσανατολισμό σύμφωνα με τον οποίο φυσά ο αέρας. Από τα παλαιότερα χρόνια, υπήρχαν ανεμοδείκτες σε εκκλησίες ή ακόμα και σε αχυρώνες, όμως στις μέρες μας αποτελεί ένα σημαντικό εργαλείο για έναν μετεωρολογικό σταθμό. Το κύριο χαρακτηριστικό των ανεμοδεικτών είναι το υψηλό ποσοστό ακριβείας που διαθέτουν και για αυτό το λόγο μπορούν να αντιληφθούν οποιαδήποτε μεταβολή σε σχέση με τον προσανατολισμό του ανέμου. Συνήθως τοποθετούνται σε άξονα και πάντα βρίσκεται σε ύψος συγκριτικά με την επιφάνεια του εδάφους.

Ένας ανεμοδείκτης προκείμενου να θεωρείται ακριβής πρέπει να πληροί τα εξής χαρακτηριστικά:

- Η περιστροφή γύρω από τον άξονα του δεν παρουσιάζει τριβές
- Παρουσιάζει ελάχιστες κλίσεις προς έναν προσανατολισμό
- Η ροπή στρέψης σε σχέση με την αδράνεια του οργάνου είναι μέγιστη
- Αποκρίνεται γρήγορα σε οποιαδήποτε μεταβολή της κατεύθυνσης του ανέμου

Στην δική μας περίπτωση, για τον προσδιορισμό του προσανατολισμού του ανέμου χρησιμοποιήθηκαν 4 ανεμοδείκτες για 2 διαφορετικά ύψη (30m και 42m).



Εικόνα 13: Ανεμοδείκτης Theis

3.5.3) Υγρόμετρο

Το υγρόμετρο είναι ένα βασικό όργανο της μετεωρολογικής επιστήμης. Έχει πολυάριθμες εμπορικές χρήσεις, αλλά ο πρωταρχικός σκοπός της συσκευής είναι η μέτρηση της ποσότητας υγρασίας στον αέρα. Με την πάροδο των αιώνων, τα όργανα αυτά έχουν αλλάξει, έχουν εξελιχθεί και έχουν πάρει διάφορες ποικιλίες για να ανταποκρίνονται στις ανάγκες των χρηστών. Εμφανίστηκε αρχικά το 1400 από τον Λεονάρντο Ντα Βίντσι ο οποίος προσπάθησε να μετρήσει την υγρασία του αέρα. Σήμερα, υπάρχουν διάφοροι τύποι υγρομέτρων και ο τρόπος λειτουργίας τους εξαρτάται από τον σχεδιασμό τους. Για παράδειγμα, ένας από τους τύπους είναι το χωρητικό υγρόμετρο. Οι συσκευές που κατατάσσονται σε αυτή τη μορφή χρησιμοποιούν διαφορετικούς τύπους αισθητήρων. Τα χωρητικά υγρόμετρα έχουν δημιουργηθεί για εφαρμογές όπου η τιμή, η ευθραυστότητα ή ο χώρος αποτελούν πρόβλημα, οπότε συχνά διακινδυνεύουν την ακρίβεια της ανάγνωσης της υγρασίας.

Για τον προσδιορισμό της υγρασίας της δικής μας εγκατάστασης, χρησιμοποιήθηκε ένα υγρόμετρο σε ύψος 2.5m.



Εικόνα 14:Υγρόμετρο Rotronic

3.5.4) Βαρόμετρο

Το βαρόμετρο είναι ένα επιστημονικό όργανο που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης, η οποία ονομάζεται βαρομετρική πίεση. Αυτός ο αέρας έχει βάρος και πιέζει οτιδήποτε αγγίζει, καθώς η βαρύτητα τον έλκει προς τη Γη. Τα βαρόμετρα μετρούν αυτή την πίεση. Υπάρχουν τρία βασικά είδη βαρομέτρου:

• **Βαρόμετρο υδραργύρου.** Το βαρόμετρο υδραργύρου είναι ο παλαιότερος τύπος βαρομέτρου, που εφευρέθηκε από τον Ιταλό φυσικό Evangelista Torricelli το 1643.

• Το 1844, ο Γάλλος επιστήμονας Lucien Vidi εφηύρε το **αναροειδές βαρόμετρο**. Ένα αναροειδές βαρόμετρο διαθέτει έναν σφραγισμένο μεταλλικό θάλαμο που διαστέλλεται και συστέλλεται, ανάλογα με την ατμοσφαιρική πίεση γύρω του.

• **Ψηφιακό βαρόμετρο.** Τα σημερινά ψηφιακά βαρόμετρα μετρούν και εμφανίζουν πολύπλοκα ατμοσφαιρικά δεδομένα με μεγαλύτερη ακρίβεια και ταχύτητα από ποτέ. Πολλά ψηφιακά βαρόμετρα εμφανίζουν τόσο τις τρέχουσες βαρομετρικές μετρήσεις όσο και τις προηγούμενες μετρήσεις 1, 3, 6 και 12 ωρών σε μορφή ραβδογράμματος, όπως ένας βαρογράφος. Λαμβάνουν επίσης υπόψη άλλες ατμοσφαιρικές ενδείξεις, όπως ο άνεμος και η υγρασία, για να κάνουν ακριβείς καιρικές προβλέψεις. Τα δεδομένα αυτά αρχειοθετούνται και αποθηκεύονται στο βαρόμετρο και μπορούν επίσης να μεταφορτωθούν σε υπολογιστή για περαιτέρω ανάλυση. Τα ψηφιακά βαρόμετρα χρησιμοποιούνται από μετεωρολόγους και άλλους επιστήμονες που θέλουν ενημερωμένες ατμοσφαιρικές μετρήσεις κατά τη διεξαγωγή πειραμάτων στο εργαστήριο ή στο πεδίο.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση για τον προσδιορισμό της ατμοσφαιρικής πίεσης χρησιμοποιήθηκε βαρόμετρο σε ύψος.



Εικόνα 15: Βαρόμετρο Setra

3.5.5) Καταγραφικό κιβώτιο

Το καταγραφικό κιβώτιο είναι ένα όργανο-μια συσκευή την οποία χρησιμοποιούμε για να καταγράψουμε μια σειρά δεδομένων για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Μπορεί να εφαρμοστεί σε διάφορες περιπτώσεις όπως η θερμοκρασία, η υγρασία και άλλα. Δουλεύουν με μπαταρία και διαθέτουν εύκολο στη χρήση λογισμικό για τον εντοπισμό και την ανάλυση των δεδομένων που χρειαζόμαστε.



Εικόνα 16:Καταγραφικό κιβώτιο

3.6) ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

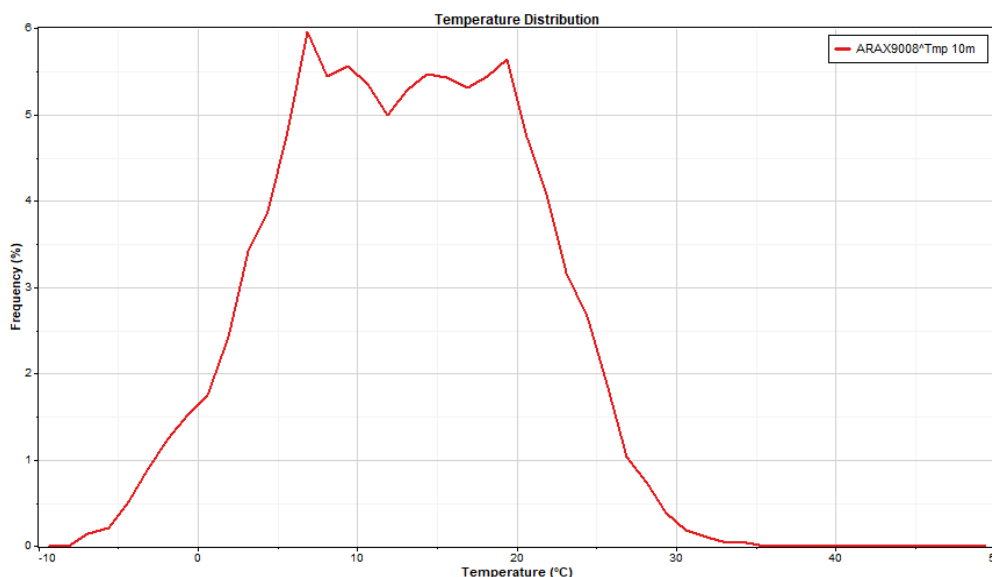
3.6.1) Θερμοκρασία

Πολύ σημαντικός παράγοντας που συμβάλλει καθοριστικά στην διαμόρφωση του κλίματος είναι η θερμοκρασία του αέρα. Ο συγκεκριμένος παράγοντας σε συνδυασμό με την υγρασία συμβάλλουν στην ανάπτυξη της βλάστησης μιας περιοχής. Ένα χαρακτηριστικό της γεωγραφικής κατανομής της μέσης μηνιαίας θερμοκρασίας, αλλά και κατά επέκταση και των άλλων χαρακτηριστικών θερμοκρασιών είναι η ελάττωσή της με την αύξηση του γεωγραφικού πλάτους και του υψομέτρου. Τα θερμοκρασιακά δεδομένα που μετρήθηκαν από τον μετεωρολογικό σταθμό (Μ.Σ) απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 4: Τιμές μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας σύμφωνα με τα δεδομένα του Μ.Σ. Αραχναίου

| | Lower | Upper | Occurrences | Frequency (%) |
|---|-------|-------|-------------|---------------|
| 1 | -10 | -2,5 | 3586 | 2,351 |
| 2 | -2,5 | 5 | 26117 | 17,124 |
| 3 | 5 | 12,5 | 46311 | 30,365 |
| 4 | 12,5 | 20 | 45809 | 30,036 |
| 5 | 20 | 27,5 | 27661 | 18,137 |
| 6 | 27,5 | 35 | 3004 | 1,970 |
| 7 | 35 | 42,5 | 26 | 0,017 |
| 8 | 42,5 | 50 | 1 | 0,001 |
| | ALL | | 152515 | 100% |

Διάγραμμα 2: Θερμοκρασίας-Συχνότητας στη θέση του Α/Π (ύψος:10m)



Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει ότι η μέση θερμοκρασία είναι ίση με 12,81°C. Ο θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος και ο ψυχρότερος είναι ο Ιανουάριος, ενώ αντίστοιχα η μέγιστη θερμοκρασία είναι 46.12 °C και η ελάχιστη -7.8 °C.

Η θερμοκρασία γενικότερα δρα ως περιβαλλοντικός παράγοντας και με άμεσο και με έμμεσο τρόπο. Ως προς τις άμεσες συνέπειες επηρεάζει σχεδόν όλες τις λειτουργίες των φυτών μέσω του ελέγχου των ρυθμών των χημικών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα. Η θερμοκρασία επίσης επηρεάζει έμμεσα τις συνθήκες των άλλων παραγόντων και ιδιαίτερα της παροχής νερού. Η θερμοκρασία καθορίζει το ρυθμό εξάτμισης και ως εκ τούτου όχι μόνο την αποτελεσματικότητα των βροχοπτώσεων αλλά επίσης και το ρυθμό απώλειας της υγρασίας από τους οργανισμούς.

3.6.2) Βροχόπτωση

Ο παράγοντας αυτός σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό του κλίματος μιας περιοχής. Για την πλήρη περιγραφή και κατανόηση της επίδρασης της βροχής στην ευρύτερη περιοχή μελέτης χρησιμοποιείται το μέσο ετήσιο βροχομετρικό ύψος, η κατανομή των βροχοπτώσεων καθώς και η ένταση τους. Από οικολογικής άποψης ιδιαίτερη σημασία έχει το συνολικό ύψος στις βροχής, η κατανομή των βροχοπτώσεων κατά τη διάρκεια του έτους, η ένταση καθώς και η διάρκεια των βροχών .

Τα βασικά κλιματολογικά χαρακτηριστικά της ευρύτερης περιοχής μελέτης αντλήθηκαν από την εργασία της Σενή (2007) με δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς της Ελληνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (ΕΜΥ), εγκατεστημένους σε διάφορα σημεία της ΠΕ Αργολίδας, κάποιοι εκ των οποίων καταγράφουν από το 1974 αλλά οι περισσότεροι πλέον δεν είναι σε λειτουργία. Τα διαθέσιμα κλιματολογικά δεδομένα παρατίθενται στους πίνακες που ακολουθούν:

Πίνακας 5: Μέσες μηνιαίες και μέσες ετήσιες τιμές ύψους βροχής (mm) για έξι μετεωρολογικούς σταθμούς της ΕΜΥ. Οι τιμές αφορούν στο χρονικό διάστημα λειτουργίας του κάθε σταθμού. (Πηγή: Σενή, 2007)

| Σταθ- μός/Μήνε ς | Ι. | Φ. | Μ. | Α. | Μ. | Ι. | Ι. | Α. | Σ. | Ο. | Ν. | Δ. | Έτος |
|------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|-------|
| Άργος | 67,9 | 52,1 | 55,3 | 35,4 | 20,1 | 9,1 | 13 | 19,8 | 15,9 | 41,4 | 93,2 | 71,3 | 494,5 |
| Άστρος | 67,9 | 75,8 | 43,3 | 27,5 | 16 | 6,8 | 8,4 | 5,3 | 8 | 61,2 | 76,6 | 81 | 489,3 |
| Λεωνίδιο | 72,9 | 58,3 | 50,4 | 18,3 | 17,4 | 4,7 | 4,2 | 3,3 | 9,2 | 44,7 | 79,9 | 75,5 | 438,8 |
| Ναύπλιο | 68 | 71,4 | 51,9 | 42,9 | 23,9 | 13,9 | 7,9 | 6,7 | 18,3 | 75,7 | 85,8 | 71,3 | 537,7 |
| Πυργέλα | 73,1 | 55,4 | 49,8 | 36,8 | 23 | 10,7 | 11 | 15,6 | 13,3 | 55,2 | 78,5 | 62,9 | 485,3 |

Στην περιοχή μελέτης το ετήσιο ύψος βροχής παρουσιάζει τα μέγιστα κατά την περίοδο Νοέμβριος - Ιανουάριος, και μάλιστα με ιδιαίτερα ομαλή διαβάθμιση του ετήσιου υετού στη διάρκεια του έτους. Η καλύτερη κατανομή των βροχοπτώσεων με την αύξηση του υπερθαλάσσιου ύψους σε μια περιοχή που διαμορφώνονται ορεινοί όγκοι, αποτελεί ένα από τα τυπικά γνωρίσματα του οροκλίματος.

3.6.3) Κάλυψη από συννεφιά

Η μέση ετήσια νεφοκάλυψη για το Αραχναίο και τα περίχωρά του είναι 40%. Η συννεφιά μειώνεται από τους χειμερινούς προς τους καλοκαιρινούς μήνες. Είναι η υψηλότερη τον Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο 71%, και η χαμηλότερη τον Ιούλιο 19% και τον Αύγουστο 21%. Ο αριθμός των ημερών με συννεφιά στο μέσο ημερήσιο επίπεδο νέφωσης είναι 70% και το υψηλότερο είναι 92%. Η ηλιοφάνεια σχετίζεται στενά με τη συννεφιά δηλαδή το μήκος της ηλιοφάνειας είναι αντιστρόφως ανάλογη με τη συννεφιά. Η διάρκεια της ηλιοφάνειας έχει μεγάλη σημασία για τη βλάστηση. Σύμφωνα με τα στοιχεία, η υψηλότερη ηλιοφάνεια είναι τον Ιούλιο και τον Αύγουστο και η χαμηλότερη τον Δεκέμβριο. Με βάση τα δεδομένα θεωρήσαμε ότι η διάρκεια της ηλιοφάνειας είναι ικανοποιητική.

3.6.4) Κλίση εδάφους

Η κλίση του εδάφους είναι στενά συνδεδεμένη με εκείνη της έκθεσης. Σε εδάφη με ισχυρή κλίση το νερό απορρέει γρηγορότερα από ότι σε αντίστοιχα με ήπια κλίση, με αποτέλεσμα την εντονότερη έκπλυση και διάβρωσή τους. Στην περιοχή μελέτης όπου οι κλίσεις των πρανών είναι μέτριες προς μεγάλες, της τάξης του 15-40%, ευνοείται η θέρμανση του εδάφους στις νότιες πλαγιές με αποτέλεσμα να εντείνεται η εξάτμιση του εδαφικού νερού και η διαπνοή των φυτών. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με την ισχυρή ανθρωπογενή παρέμβαση συναποτελούν καίριους παράγοντες για την υποβάθμιση του οικοσυστήματος, δίνοντας στον παράγοντα κλίση σημαίνοντα ρόλο.

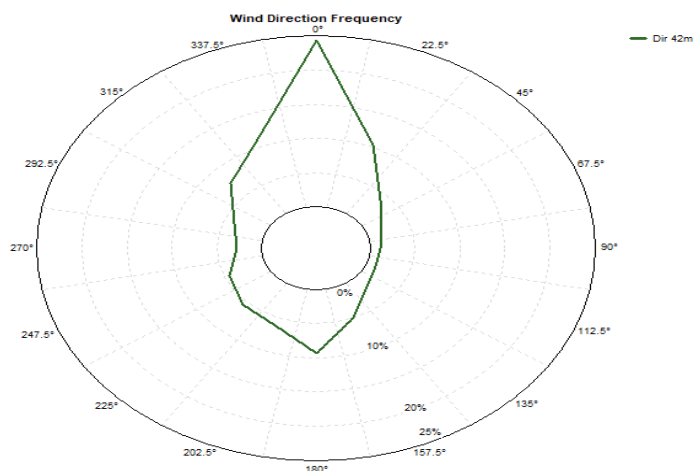
Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα εμφανές στις προσνότιες εκθέσεις όπου οι κλίσεις είναι μικρότερες σε σχέση με τα βόρεια πρανή. Στην προκειμένη περίπτωση εκτιμάται ότι το ιδιαίτερα έντονα βραχώδες υπόστρωμα που απαντάται λιγότερο ή περισσότερο τόσο στις πλαγιές όσο και κατά μήκος της κορυφογραμμής του έργου, έχει τη δική του συνεισφορά στον βαθμό αξιοποίησης της περιοχής μελέτης από τον άνθρωπο αλλά και στο βαθμό της φυσικής ανάκαμψης της βλάστησης στην πορεία του χρόνου, σε συνδυασμό με τις διαφορετικές κλίσεις.

3.7) ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

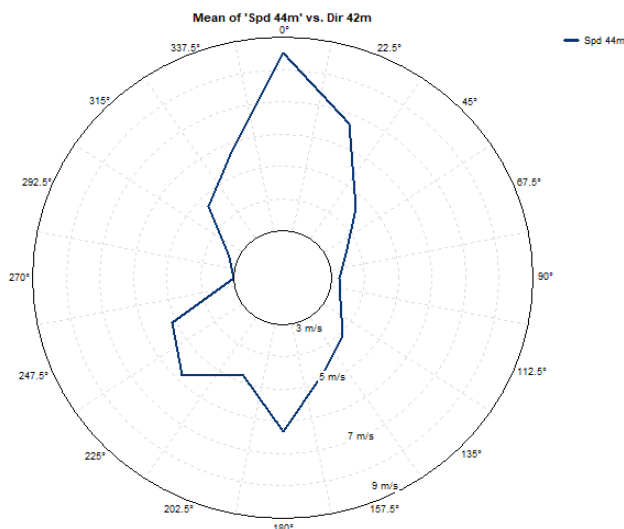
3.7.1) Άνεμος

Ο άνεμος αποτελεί ένα από τους κύριους παράγοντες που διαμορφώνουν άμεσα το κλίμα μιας περιοχής και μακροπρόθεσμα επηρεάζουν και την φυτοκάλυψή της. Συγκεκριμένα, οι άνεμοι ανήκουν στους βασικούς μετεωρολογικούς παράγοντες που διαμορφώνουν μέσα σε μεγάλες χρονικές περιόδους τους κλιματικούς χαρακτήρες μιας περιοχής και επηρεάζουν την χλωρίδα και τη βλάστηση των περιοχών όπου πνέουν. Αυτοί ασκούν φυσιολογική και μηχανική επίδραση στα φυτικά είδη και στη βλάστηση. Η ένταση και η διεύθυνσή τους επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό τη διαμόρφωση της κόμης, του κορμού και των ριζών των δασοπονικών ειδών. Οι κυριότεροι παράγοντες που διαμορφώνουν την ετήσια πορεία του ανέμου είναι τα επικρατέστερα βαρομετρικά συστήματα κατά εποχές και οι εποχικοί άνεμοι. Εκτός από το γενικό βαρο-βαθμιδικό πεδίο, εκδηλώνονται και τοπικοί άνεμοι, πολύ χαρακτηριστικοί για το κλίμα των διαφόρων περιοχών της Ελλάδας. Οι επικρατέστεροι άνεμοι που πνέουν στην ευρύτερη περιοχή, έχουν αποκλειστικά βόρεια κατεύθυνση μέτριας ή και μικρής έντασης. Σύμφωνα, με τα στοιχεία του μετεωρολογικού ιστού που βρίσκεται εγκατεστημένος στην κορυφογραμμή ανάπτυξης του έργου, οι επικρατούσες διευθύνσεις ανέμων είναι του βόρειου – βορειοανατολικού τομέα.

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται το ροδόγραμμα συχνότητας διεύθυνσης και το ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου, από δεδομένα που συλλέχθηκαν σε μια περίοδο περίπου 5 ετών για την περιοχή μελέτης. Από αυτές εξάγεται το συμπέρασμα ότι στην περιοχή εγκατάστασης του Α/Π οι άνεμοι με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης είναι βόρειας κατεύθυνσης και δευτερευόντως νότιας - νοτιοδυτικής κατεύθυνσης. Όσον αφορά τις ταχύτητες ανέμου, αυτές εμφανίζονται αντίστοιχης έντασης τόσο στις βόρειες όσο και στις νότιες διευθύνσεις.



Εικόνα 17: Ροδόγραμμα ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου στη θέση του Α/Π (ύψος:42m)



Εικόνα 18: Ροδόγραμμα ταχύτητας και διεύθυνσης ανέμου στη θέση του Α/Π (ύψος:42m)

Πίνακας 6: Κατανομή ταχυτήτων αέρα ανά κατεύθυνση (ύψος:42m)

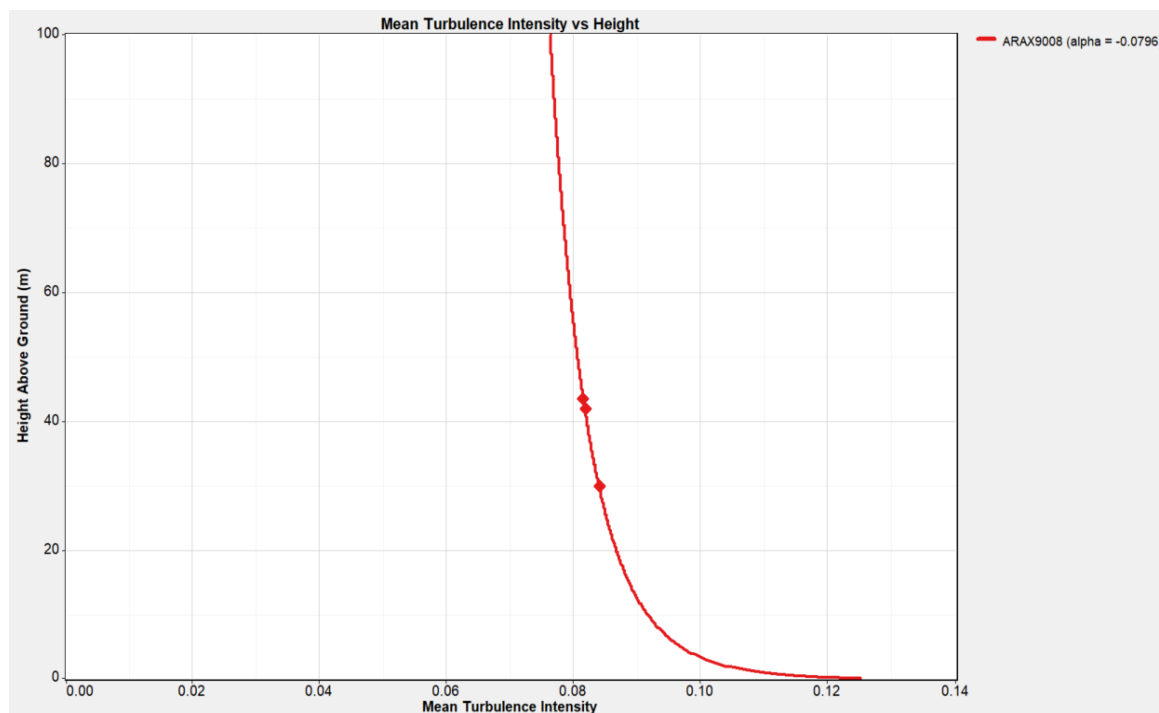
| Mean (m/s) vs. 'Dir 42m' | Sector | Mean (m/s) vs. 'Dir 42m' | FREQUENCY | OCCURRENCES |
|--------------------------|----------|--------------------------|-----------|-------------|
| Sector | Midpoint | Spd 44m | | |
| 1 | N | 8,53 | 24,38 | 4834 |
| 2 | NNE | 6,76 | 10,38 | 20581 |
| 3 | NE | 4,62 | 4,07 | 8069 |
| 4 | ENE | 3,58 | 1,86 | 3694 |
| 5 | E | 3,20 | 1,01 | 2 |
| 6 | ESE | 3,42 | 0,98 | 1942 |
| 7 | SE | 4,06 | 1,78 | 3534 |
| 8 | SSE | 4,73 | 5,01 | 9929 |
| 9 | S | 6,30 | 9,20 | 18249 |
| 10 | SSW | 4,77 | 6,03 | 11959 |
| 11 | SW | 5,84 | 5,47 | 10841 |
| 12 | WSW | 5,15 | 4,43 | 8789 |
| 13 | W | 3,01 | 2,75 | 5449 |
| 14 | WNW | 3,32 | 3,88 | 7692 |
| 15 | NW | 4,71 | 7,50 | 14866 |
| 16 | NNW | 5,71 | 11,27 | 2235 |
| | All | 4,86 | 100% | 132665 |

Το ροδόγραμμα δείχνει το γενικό άνεμο, την κατεύθυνση και την ταχύτητα για κάθε περίοδο δειγματοληψίας. Η κυκλική μορφή του ανεμολογίου δείχνει την κατεύθυνση από την οποία πνέουν οι άνεμοι και το μήκος κάθε "ακτίνας" γύρω από το κύκλο δείχνει πόσο συχνά πνέει ο άνεμος από τη συγκεκριμένη κατεύθυνση.

3.7.2) Τύρβη

Η τύρβη είναι ένα από τα πιο απρόβλεπτα καιρικά φαινόμενα τα οποία είναι πολύ σημαντικά για τις ανεμογεννήτριες. Ο στροβιλισμός που δημιουργείται είναι μία ακανόνιστη κίνηση του αέρα που προκύπτει από δίνες και κατακόρυφα ρεύματα. Η τύρβη προκαλεί διακυμάνσεις στην μηχανική φόρτιση (μηχανική κόπωση) των ανεμογεννητριών. Η κόπωση των εξαρτημάτων μιας ανεμογεννήτριας, όπως τα πτερύγια ή ο πύργος προέρχεται από την αεροδυναμική δύναμη στα πτερύγια του ρότορα. Στην πραγματικότητα η τύρβη θεωρείται ότι είναι απαραίτητη για την ενεργειακή απόδοση των ανεμογεννητριών και συνεπώς όλου του αιολικού πάρκου. Η υψηλή τύρβη εξαρτάται τόσο από την τραχύτητα του εδάφους μιας περιοχής, όσο και από τους υπόλοιπους ατμοσφαιρικούς παράγοντες. Με αυτό τον τρόπο διαπιστώνουμε ότι τα αιολικά πάρκα είναι προτιμότερο να εγκαθίστανται σε περιοχές με ελάχιστη τύρβη.

Διάγραμμα 3 :Τύρβης συναρτήσεσι του Ύψους



Από το παραπάνω διάγραμμα προκύπτει ότι ο συντελεστής τριβής είναι $\alpha=0,0796$.

3.7.3) Τραχύτητα και Διάτμηση

Σε υψόμετρο μεγαλύτερο του ενός χιλιομέτρου από την επιφάνειας της θάλασσας, ο άνεμος δεν επηρεάζεται καθόλου από την επιφάνεια της γης.

Όσο στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας και κοντά στην επιφάνεια της γης, οι ταχύτητες του ανέμου δέχονται μεγάλες μεταβολές λόγω της τριβής. Σε γενικές γραμμές, όσο πιο έντονη είναι η τραχύτητα της επιφάνειας, τόσο περισσότερο επιβραδύνεται ο άνεμος. Ακόμα η τραχύτητα επηρεάζεται από την τριβή. Τα δάση αλλά και οι μεγάλες πόλεις, επιβραδύνουν σημαντικά τον άνεμο, ενώ την ίδια στιγμή οι επιφάνειες του νερού έχουν μικρότερη επίδραση στον άνεμο, σε αντίθεση με το ψηλό γρασίδι, τους θάμνους και τις καλλιέργειες.

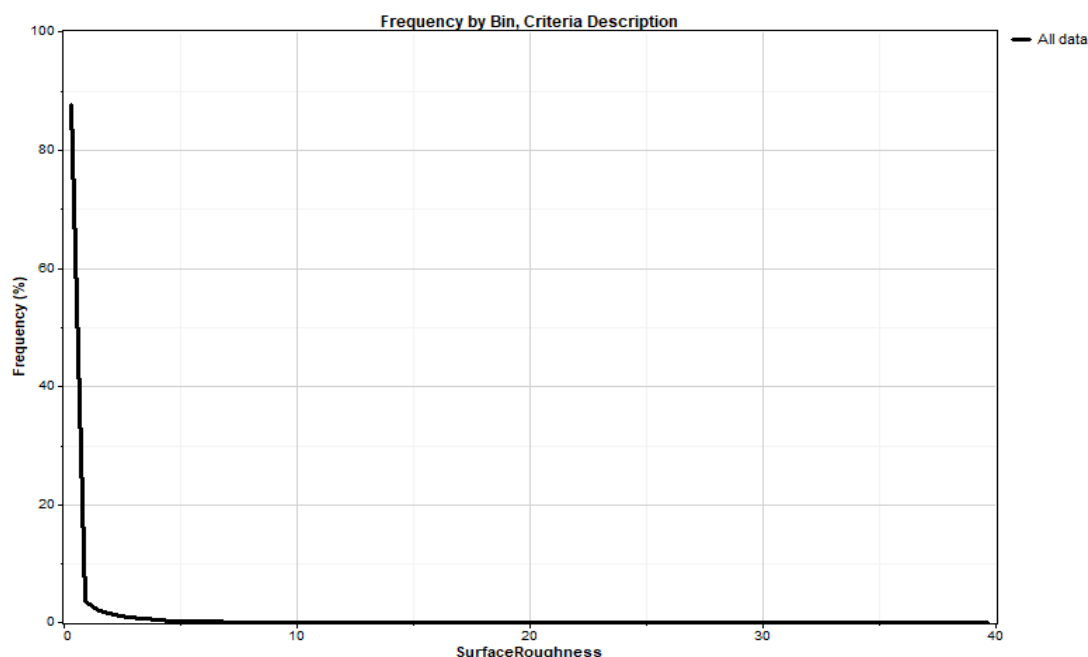
Η τοπιολογική τραχύτητα στην περιοχή μελέτης εκφράζεται μέσω του ιδιαίτερα έντονα βραχώδους χαρακτήρα του ορεινού σχηματισμού, του είδους της βλάστησης που παραμένει χαμηλή σκληροφυλλικού χαρακτήρα, ως αποτέλεσμα της άσκησης της βόσκησης και των μεταβολών του ανάγλυφου με τις εναλλαγές των κλίσεων.

Πίνακας 7: Μήκος τραχύτητας για διάφορους τύπους εδαφών

| Είδος εδάφους | Μήκος τραχύτητας(z₀) |
|-----------------------------|--|
| Θάλασσα | 0,0001 |
| Πεδιάδα | 0,05 |
| Ύπαιθρο (κτίρια, θάμνοι) | 0,2 |
| Ύπαιθρο (δάση, ψηλά δέντρα) | 0,8 |

Η διάτμηση του ανέμου είναι η αλλαγή της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου σε μικρή απόσταση. Μπορεί να συμβεί είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα και συνδέεται συχνότερα με έντονες θερμοκρασιακές αλλαγές ή μεταβολές της πυκνότητας. Την διάτμηση μπορούμε να τη συναντήσουμε σε μεγάλο ή και μικρό υψόμετρο.

Διάγραμμα 4: Τραχύτητα εδάφους



Η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου που χρησιμοποιείται συχνά για να χαρακτηρίσει την επίδραση της τραχύτητας στην ταχύτητα του ανέμου για την επιφάνεια της γης δίνεται ως:

$$\frac{V}{V_0} = \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha \quad (3.1)$$

V: ταχύτητα ανέμου σε ύψος H (ύψος πύργου)

V₀: ταχύτητα ανέμου σε ύψος H₀ (ύψος αναφοράς 10m)

α: εκθετικός συντελεστής

Ο εκθετικός συντελεστής α υπολογίζεται συναρτήσει του εδάφους στο οποίο φυσά ο άνεμος. Ο Πίνακας 12 δίνει μερικές τυπικές τιμές για καθορισμένους τύπους εδάφους.

Πίνακας 8: Εκθετικός συντελεστής για διάφορους τύπους εδαφών (Πηγή: Zobaa, Bansal, 2011)

| Χαρακτηριστικά εδάφους | Εκθετικός Συντελεστής (α) |
|----------------------------------|---------------------------|
| Ομαλό, σκληρό έδαφος, ήρεμα νερά | 0,10 |
| Ψηλό γρασίδι σε επίπεδο εδάφους | 0,15 |
| Καλλιέργειες, φράκτες και θάμνοι | 0,20 |
| Δασώδης περιοχή, δέντρα | 0,25 |
| Μικρή πόλη με δέντρα και θάμνους | 0,30 |
| Μεγάλη πόλη με ψηλά κτίρια | 0,40 |

Στην περιοχή μας έχουμε σκληρό έδαφος και θάμνους και σε ύψος H=10m, έχουμε ταχύτητα V₀=8m/s. Άρα η ταχύτητα στα 105m θα είναι ίση με:

$$V_1 = V_0 \left(\frac{H}{H_0}\right)^\alpha = 11.65\text{m/s} \quad (3.2)$$

Εναλλακτικά και ακριβέστερα η ταχύτητα υπολογίζεται και με μία λογαριθμική εξίσωση για καλύτερη προσέγγιση με την κατακόρυφη διάτμηση του ανέμου,

$$V_1 = V_0 \frac{\ln\left(\frac{H_0}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{H}{z_0}\right)} = 11.68, \text{ όπου:} \quad (3.3)$$

V₀: ταχύτητα ανέμου σε ύψος H₀ (ύψος αναφοράς 10 m)

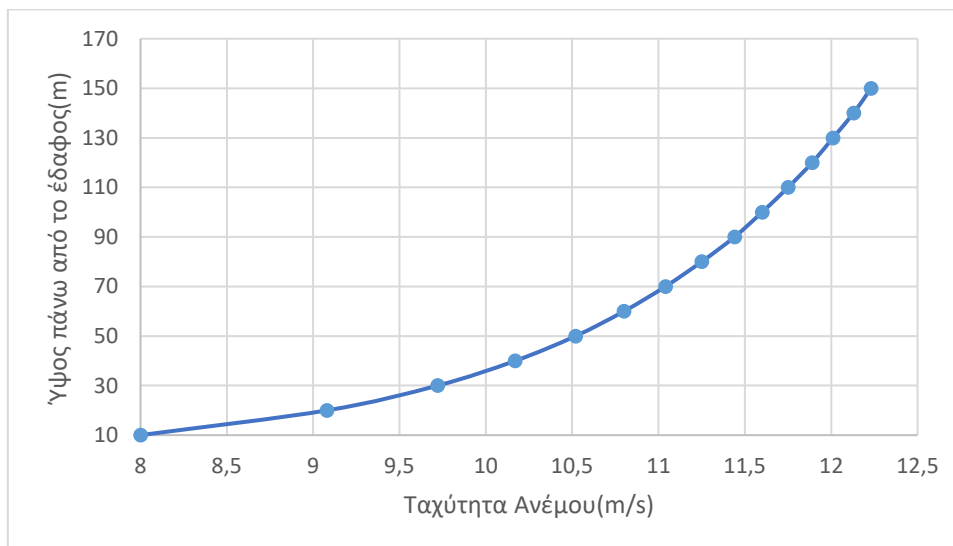
V₁: ταχύτητα ανέμου σε ύψος H (ύψος αναφοράς 105 m)

Παρατηρούμε μια μικρή απόκλιση, συγκριτικά με την αριθμητική τιμή της ταχύτητας V₁ που υπολογίσαμε παραπάνω.

Πίνακας 9: Λογαριθμικές Τιμές Ταχύτητας Ανέμου(m/s) συναρτήσει του Ύψους(m)

| Ύψος πάνω από το έδαφος(m) | Ταχύτητα Ανέμου(m/s) | Ύψος πάνω από το έδαφος(m) | Ταχύτητα Ανέμου(m/s) |
|----------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| 150 | 12,23 | 70 | 11,04 |
| 140 | 12,13 | 60 | 10,80 |
| 130 | 12,01 | 50 | 11,52 |
| 120 | 11,89 | 40 | 10,17 |
| 110 | 11,75 | 30 | 9,72 |
| 100 | 11,6 | 20 | 9,08 |
| 90 | 11,44 | 10 | 8,00 |

Διάγραμμα 5: Ταχύτητα Ανέμου συναρτήσει του Ύψους της Α/Γ



3.7.4) Κατανομή Weibull

Προκειμένου να γίνει εφικτός ο υπολογισμός του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού της περιοχής που μας ενδιαφέρει, πρέπει να έχουμε στα χέρια μας χρήσιμα στοιχεία για την διάταξη της πιθανότητας σχετικά με τις ταχύτητες του ανέμου σε διάφορες στιγμές μέσα στο χρόνο αλλά και τις στιγμές όπου παρατηρείται εμφάνιση έντονου αέρα. Γι' αυτό το λόγο, λίγο πριν οριστεί η τελική απόφαση όσον αφορά την εγκατάσταση της Α/Γ, οφείλουμε να σχεδιάσουμε κάποια διαγράμματα πυκνότητας-πιθανότητας. Επίσης απαιτείται η εύρεση των χρονικών στιγμών κατά των οποίων παρατηρούνται χαμηλές ταχύτητες, με αποτέλεσμα την παύση λειτουργίας της Α/Γ.

Ωστόσο, όπως είναι λογικό και αναμενόμενο, για να γίνει εφικτή η κατάληξη σε σίγουρα συμπεράσματα, χρειάζεται μεγάλος αριθμός μετρήσεων, με την σειρά τους αυτές οι μετρήσεις απαιτούν μεγάλα έξοδα και πολύ χρόνο.

Έτσι είναι αναγκαία η χρησιμοποίηση κάποιων μοντέλων, τα οποία θα συμβάλλουν στην ανάλυση του αιολικού δυναμικού, που αποτελεί και το αρχικό μας ζήτημα, με ελάχιστες παραμέτρους. Όσον αφορά τα πιο γνωστά μοντέλα ανάλυσης, ένα από αυτά είναι η κατανομή Weibull, η οποία μας δίνει τα χαρακτηριστικά του αέρα για την περιοχή που μας ενδιαφέρει.

Η κατανομή Weibull ορίζεται ως εξής:

$$f(V) = \frac{k}{c} \cdot \left[\frac{V}{c}\right]^{k-1} \cdot \exp\left\{-\left[\frac{V}{c}\right]^k\right\}, \quad (3.4)$$

όπου C παράμετρος η οποία συνδέεται με το V, όπου V η μέση ταχύτητα.

Πίνακας 10: Υπολογισμός συντελεστή k (Πηγή: Justus et al., 1977)

| Δεδομένα | Ταχύτητα | k |
|----------|----------|--------|
| Χαμηλή | V>4 m/s | 1,05√V |
| Μέτρια | V>4 m/s | 0,94√V |
| Υψηλή | V<4 m/s | 0,93√V |

Αφού η ταχύτητα του αιολικού πάρκου μας είναι μεγαλύτερη από 4 m/s ο συντελεστής k υπολογίζεται:

$$k = 0,94\sqrt{V} = 0,94\sqrt{9,64} = 2,92 \quad (3.5)$$

Η κατανομή Weibull του συντελεστή C είναι μια χαρακτηριστική ταχύτητα που σχετίζεται με τη μέση ταχύτητα του ανέμου στην τοποθεσία:

$$C = \left(\frac{V}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)}\right) \quad (3.6)$$

όπου Γ μια αριθμητική συνάρτηση και k παράμετρος

•Όσο πιο μεγάλη τιμή παίρνει η παράμετρος k, τόσο πιο μικρή είναι και η διασπορά για την ταχύτητα του αέρα.

•Όσο πιο μεγάλη τιμή παίρνει η παράμετρος C, τόσο πιο μικρή είναι και η τιμή που αφορά την μέγιστη πιθανότητα.

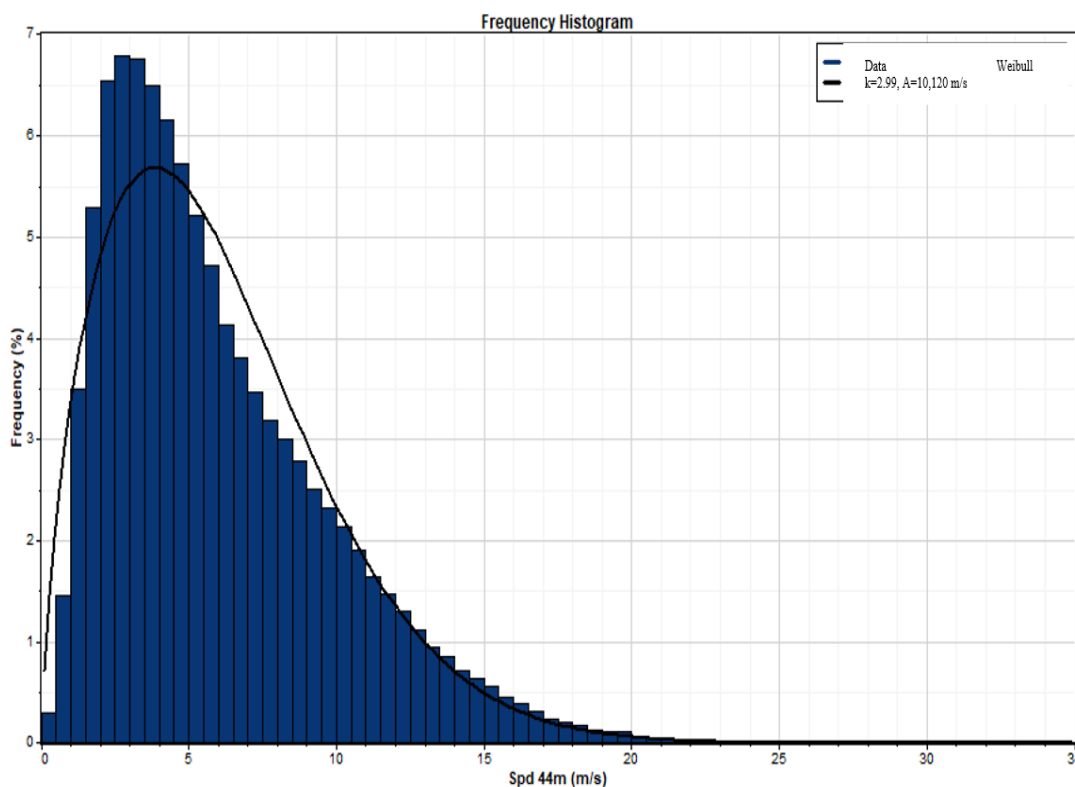
$$C = \left(\frac{V}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)}\right) = \left(\frac{9,64}{\Gamma\left(1+\frac{1}{2,92}\right)}\right) = \left(\frac{9,64}{(0,912)}\right) = 10,57 \text{ m/s} \quad (3.7)$$

$$p(V) = \frac{k}{c} \cdot \left[\frac{V}{c}\right]^{k-1} \cdot \exp\left\{-\left[\frac{V}{c}\right]^k\right\} = \left(\frac{2,92}{10,57}\right) \left(\frac{V}{10,57}\right)^{2,92-1} \cdot \exp\left\{-\left(\frac{V}{10,57}\right)^{2,92}\right\} \quad (3.8)$$

Πίνακας 11: Μέγιστη και ελάχιστη ταχύτητα ανέμου

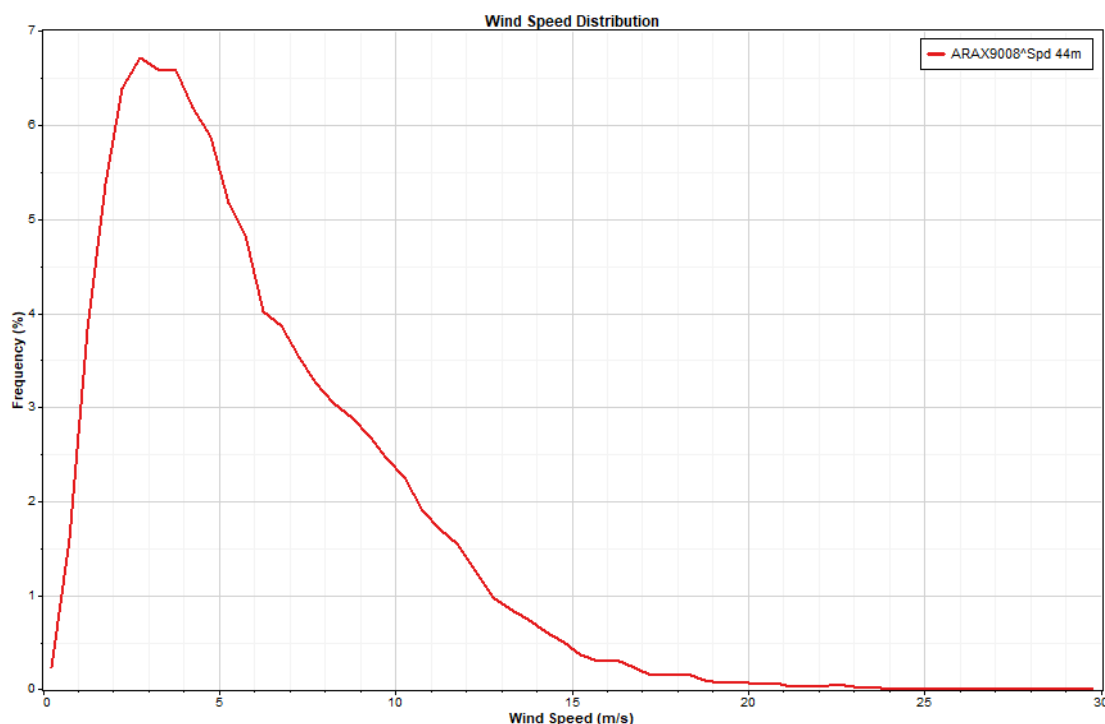
| Lower | Upper | Occurency | Frequency |
|-------|-------|-----------|-----------|
| 0 | 3,5 | 60765 | 36,777 |
| 3,5 | 7 | 53494 | 32,376 |
| 7 | 10,5 | 24849 | 15,039 |
| 10,5 | 14 | 18399 | 11,136 |
| 14 | 17,5 | 5652 | 3,421 |
| 17,5 | 21 | 1689 | 1,022 |
| 21 | 24,5 | 318 | 0,192 |
| 24,5 | 28 | 57 | 0,034 |
| 28 | 31,5 | 4 | 0,002 |
| 31,5 | 35 | 0 | 0,000 |
| | All | 165227 | 100% |

Διάγραμμα 6: Κατανομή Weibull (ύψος:44m)



3.7.5) Ταχύτητα Ανέμου

Διάγραμμα 7: Κατανομή ταχυτήτων ανέμου (ύψος:44m)



Ωστόσο για την συγκεκριμένη περιοχή έγινε σύγκριση ταχυτήτων ανέμου για δυο διαφορετικά έτη για να παρατηρήσουμε τυχόν μεταβολές. Παρακάτω αναφέρονται το πλήθος των κυμάνσεων των ταχυτήτων για τα έτη 04/05/2015-04/05/2016 και 04/05/2016-04/05/2017.

Η κατανομή Rayleigh μας δίνει τον συνολικό αριθμό ωρών όταν ο άνεμος πνέει με ταχύτητα ανέμου V και η μέση ταχύτητα ανέμου είναι V_m στη συγκεκριμένη τοποθεσία. Μια γραφική παράσταση αυτής της σύνθετης εξίσωσης παρουσιάζεται παρακάτω. Για να λάβουμε το αποτέλεσμα σε ώρες ανά έτος, πολλαπλασιάζουμε επί 8,760. Έτσι μπορούμε να διαβάσουμε το ποσοστό του χρόνου από το γράφημα. Η κατανομή Rayleigh είναι μειωμένη σε υψηλές ταχύτητες ανέμου και αυξημένη σε χαμηλές ταχύτητες ανέμου.

$$\Omega_{\rho\epsilon\varsigma} = 8,760 \times \frac{\pi}{2} \times \frac{V}{V_m^2} \times e^{-k} \quad (3.9)$$

Όπου: V =ταχύτητα ανέμου

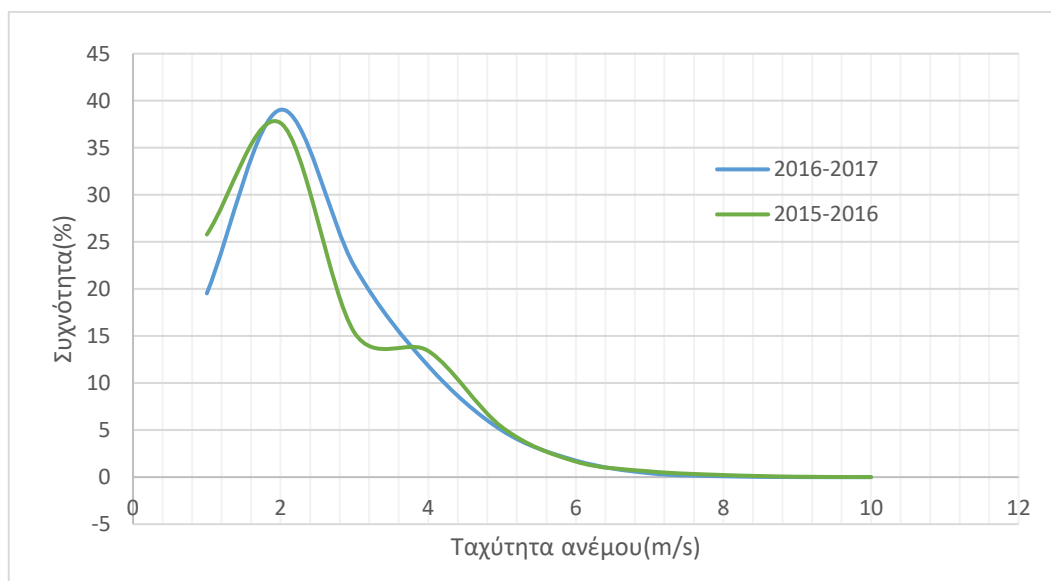
V_m =μέση ταχύτητα ανέμου

$$k = \frac{\pi}{4} \times \left(\frac{V}{V_m}\right)^2 \quad (3.10)$$

Πίνακας 12: Ταχύτητα ανέμου για τα έτη 04/05/2015-04/05/2016 και 04/05/2016-04/05/2017

| a/a | Low-er | Up-per | Occurrence s | Frequency (%) | a/a | Lo wer | Up-per | Occurrences | Fre- quency (%) |
|-----|----------|--------|--------------|---------------|-----|----------|--------|-------------|-----------------|
| 1 | 0 | 3 | 12241 | 25,78 | 1 | 0 | 3 | 9599 | 19,52 |
| 2 | 3 | 6 | 17865 | 37,62 | 2 | 3 | 6 | 19195 | 39,04 |
| 3 | 6 | 9 | 7290 | 15,35 | 3 | 6 | 9 | 11010 | 22,39 |
| 4 | 9 | 12 | 6368 | 13,41 | 4 | 9 | 12 | 5815 | 11,83 |
| 5 | 12 | 15 | 2517 | 5,30 | 5 | 12 | 15 | 2435 | 4,95 |
| 6 | 15 | 18 | 783 | 1,65 | 6 | 15 | 18 | 865 | 1,76 |
| 7 | 18 | 21 | 289 | 0,61 | 7 | 18 | 21 | 202 | 0,41 |
| 8 | 21 | 24 | 105 | 0,22 | 8 | 21 | 24 | 46 | 0,09 |
| 9 | 24 | 27 | 21 | 0,04 | 9 | 24 | 27 | 3 | 0,01 |
| 10 | 27 | 30 | 3 | 0,01 | 10 | 27 | 30 | 0 | 0,00 |
| | All bins | | 47482 | 100% | 0 | All bins | | 49170 | 100% |

Διάγραμμα 8: Κατανομή ταχυτήτων ανέμου για τα έτη 04/05/2015-04/05/2016 και 04/05/2016-04/05/2017 (ύψος:44m)



3.7.6) Ποιότητα αέρα

Η προτεινόμενη περιοχή του έργου στο Αραχναίο έχει κατοικίες. Σε απόσταση άνω των 10 km βρίσκονται βιομηχανίες, τουριστικά καταλύματα και στρατόπεδο. Τα εδάφη στην περιοχή του έργου αποτελούνται από χαμηλή βλάστηση και θάμνους. Ως εκ τούτου, η ατμοσφαιρική ρύπανση δεν λαμβάνει χώρα στην περιοχή του έργου. Υπάρχουν όμως τρακτέρ και φορτηγά που χρησιμοποιούνται συχνά για κτηνοτροφικές και αγροτικές δραστηριότητες και κινούνται κατά μήκος της περιοχής εγκατάστασης. Ωστόσο, η συμβολή αυτών

των πηγών στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι αμελητέα, καθώς επικρατούν άνεμοι σε όλη τη διάρκεια του έτους.

Μια επισκόπηση των φυσικών παραμέτρων ποιότητας του αέρα είναι η πίεση του αέρα, η υγρασία και η πυκνότητα του αέρα στην περιοχή του αιολικού πάρκου παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 13: Παράμετροι ποιότητας του αέρα (ύψος:10m)

| Δεδομένα | Ύψος (m) | Μέσος όρος | Min | Max |
|--|-----------------|-------------------|------------|------------|
| Πίεση (mbar) | 10 | 894.8 | 0.0 | 915.6 |
| Υγρασία RH (%) | 10 | 60 | 32 | 100 |
| Πυκνότητα αέρα (kg/m³) | 10 | 1.087 | -0.002 | 1.179 |

3.8) ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WINDOGRAPHER

Το Windographer είναι λογισμικό ανάλυσης δεδομένων ανέμου. Χρησιμοποιείται, για την εξέταση των δεδομένων που καταγράφονται από αισθητήρες εγκατεστημένους σε μετεωρολογικούς πύργους που βρίσκονται σε πιθανές περιοχές αιολικών πάρκων. Οι χρήστες μπορούν να βλέπουν χρονοσειρές δεδομένων, κατανομές συχνότητας και ροδογραμμάτων ανέμου, να αφαιρούν λανθασμένα δεδομένα και να εκτελούν υπολογισμούς όπως κατακόρυφη διάτμηση, ένταση τύρβης και ακραίες ριπές ανέμων.

Το λογισμικό Windographer έχει σχεδιαστεί για την εισαγωγή, ανάλυση και οπτικοποίηση αιολικών δεδομένων που μετρούνται για μια αιολική εγκατάσταση. Αυτό το λογισμικό έχει τη δυνατότητα γρήγορης εισαγωγής δεδομένων από μια ποικιλία διαφορετικών μορφών που επιτρέπουν γρήγορο ποιοτικό έλεγχο και στατιστικές αναλύσεις, συμπεριλαμβανομένης της πρόβλεψης μέτρησης-συσχέτισης και τη λειτουργικότητα εξαγωγής δεδομένων σε σχεδόν οποιοδήποτε μοντέλο ροής ανέμου που χρησιμοποιείται συνήθως στη βιομηχανία αιολικής ενέργειας.



Εικόνα 19: Λογότυπο λογισμικού Windographer



**Διπλωματική Εργασία Τόσκας Κωνσταντίνος- Μάρης Λάμπρος
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ
ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ**

Το Windographer αποτελεί αποκλειστικό δημιούργημα της Mistaya Engineering, μιας εταιρείας που έχει ως έδρα τον Καναδά, η οποία πρωτοεμφάνισε το συγκεκριμένο λογισμικό για πρώτη φορά στην διεθνή αγορά το 2006. Η τρέχουσα έκδοση που χρησιμοποιήθηκε για τις μετρήσεις μας είναι η 3.1.10.

Πιο συγκεκριμένα, μέσω του λογισμικού Windographer έχουμε τη δυνατότητα να υπολογίσουμε κάποια σημαντικά μεγέθη (ταχύτητα του ανέμου, χαρακτηριστικά του αέρα) που μας είναι αναγκαία για την σύνθεση μιας οικονομοτεχνικής μελέτης. Επιπλέον μπορούμε να προσδιορίσουμε, σε γενικές γραμμές, πως είναι ο αιολικός χάρτης για το μέρος που μας ενδιαφέρει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

4.1) ΕΙΔΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Η επιλογή των ανεμογεννητριών γίνεται σύμφωνα με καθορισμένα κριτήρια, λαμβάνοντας υπόψη την ισχύ της γεννήτριας, την διάμετρο του ρότορα, το ύψος του πύργου καθώς και η κατάλληλη ισχύς του ανέμου.

Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε 2 μεγάλες κατηγορίες:

- κατακόρυφου άξονα
- οριζόντιου άξονα

Στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, τα πτερύγια περιστρέφονται σε έναν άξονα παράλληλο προς το έδαφος. Στις ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, τα πτερύγια περιστρέφονται σε έναν άξονα κάθετο προς το έδαφος. Υπάρχει πλήθος σχεδίων και για τους δύο τύπους Α/Γ και κάθε τύπος έχει σημαντικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

4.1.1)Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

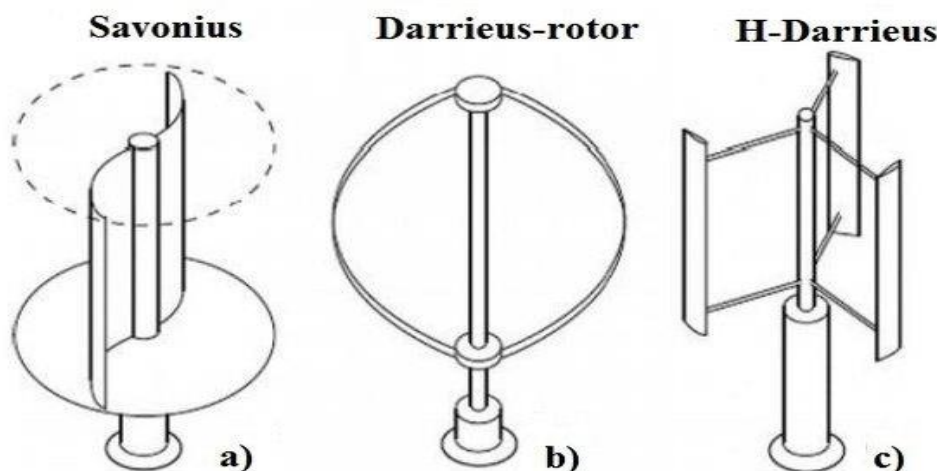
Αν και οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα(VAWT) υπάρχουν εδώ και αιώνες, δεν είναι τόσο κοινές όσο οι οριζόντιες αντίστοιχα. Ο κύριος λόγος σχετικά με αυτό είναι ότι δεν εκμεταλλεύονται τις μεγαλύτερες ταχύτητες σε μεγαλύτερα υψόμετρα σε αντίθεση με τις οριζόντιες Α/Γ.

Οι κατακόρυφες ανεμογεννήτριες μπορούν να λειτουργήσουν σε συνθήκες με χαμηλές ταχύτητες ανέμου. Αυτοί οι τύποι ανεμογεννητριών είναι τοποθετημένοι κοντά στο έδαφος και αντιμετωπίζουν την τύρβη του ανέμου με καλύτερο τρόπο σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

Επίσης ένα ακόμη πλεονέκτημα τους, είναι ότι δέχονται ανέμους από οποιαδήποτε διεύθυνση, όποτε δεν υπάρχει ανάγκη ύπαρξης μηχανισμού εκτροπής, εξάρτημα που χρησιμοποιείται για την περιστροφή των οριζόντιων. Η γεννήτρια, το κιβώτιο ταχυτήτων και το φρένο βρίσκονται στη βάση της Α/Γ στο έδαφος, πράγμα που κάνει τη συντήρηση της εύκολη.

Έχουμε τρία είδη κατακόρυφων ανεμογεννητριών:

- Savonius A/Γ
- Darrieus A/Γ
- H-Darrieus A/Γ



Εικόνα 20:Είδη κατακόρυφων ανεμογεννητριών(Πηγή ResearchGate)

Savonius A/Γ

Κατασκευάστηκε αρχικά για να τροφοδοτήσει με ηλεκτρική ενέργεια ειδικά σχεδιασμένα ιστιοφόρα. Οι Savonius A/Γ αποτελείται από μία κατακόρυφη επιφάνεια σχήματος τύπου S και περιστρέφεται γύρω από έναν κεντρικό άξονα. Επιβραδύνει τον αέρα από τη μία μεριά και τον επιταχύνει από την άλλη αναγκάζοντας τη μηχανή να περιστρέφεται προς μια κατεύθυνση και ο άνεμος αφήνεται να περάσει μεταξύ των πτερυγίων. Οι Savonius είναι μία VAWT τύπου αντίστασης, που σημαίνει ότι δεν μπορεί να περιστραφεί πιο γρήγορα από την ταχύτητα του ανέμου.

Darrieus A/Γ

Η βασική αρχή της Darrieus είναι ότι η ταχύτητα του πτερυγίου, πολλαπλασιάζεται με την ταχύτητα του ανέμου. Αποτελείται από κατακόρυφα προσανατολισμένα πτερύγια που είναι τοποθετημένα σε κάθετο ρότορα. Δεν είναι αυτοεκκινούμενος στρόβιλος και ως εκ τούτου απαιτείται ένας μικρός κινητήρας προκειμένου να ξεκινήσει η περιστροφή. Η Darrieus A/Γ έχει δύο ή περισσότερα καμπύλα πτερύγια που περιστρέφονται σε μία κυκλική τροχιά γύρω από ένα κατακόρυφο άξονα ισχύος στο κέντρο του. Είναι κατασκευασμένος από αλουμίνιο και τα αεροδυναμικά πτερύγια του έχουν στρογγυλεμένη μπροστινή άκρη.

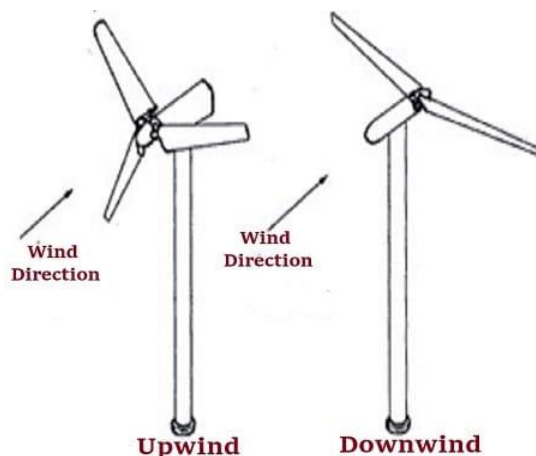
H-Darrieus A/Γ

Οι H-Darrieus A/Γ ονομαζόμενες και ως Giromill, είναι μια βελτιωμένη σχεδίαση του Darrieus με υψηλότερη απόδοση. Είναι κατάλληλες για τοποθεσίες όπου υπάρχουν ταχείες μεταβολές της διεύθυνσης του ανέμου, όπως σε οικιστικές περιοχές. Λόγω της περιστροφής της ανεμογεννήτριας γύρω από έναν κατακόρυφο άξονα, η αεροδυναμική της είναι πιο πολύπλοκη από ό,τι σε μια συγκρίσιμη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα και η γνώση και η κατανόηση αυτών των ανεμογεννητριών δεν είναι ακόμη καθόλου πλήρης.

4.1.2) Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

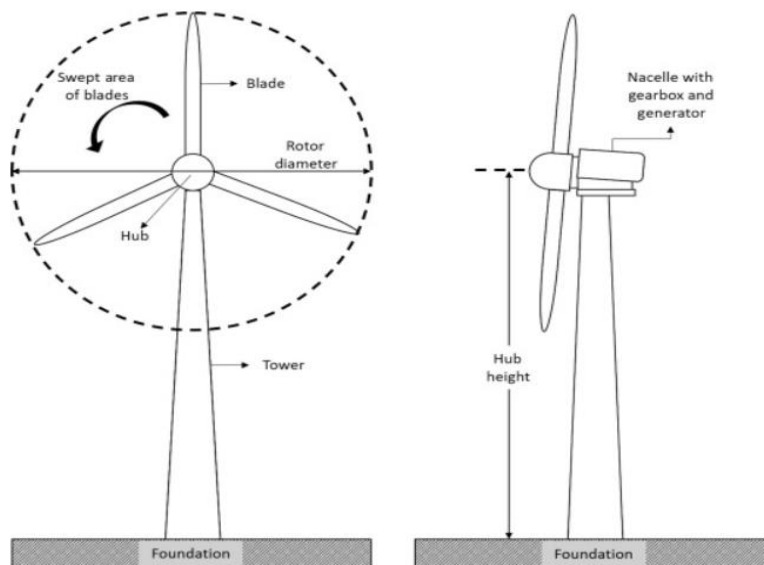
Ο πιο κοινός τύπος ανεμογεννητριών είναι αυτές του οριζόντιου άξονα (HAWT). Ο βασικός λόγος είναι ότι οι οριζόντιες ανεμογεννήτριες κυριαρχούν έναντι των καθέτων λόγω του μεγάλης τιμής που παίρνει ο συντελεστής C_p . Οι περισσότερες HAWT σήμερα είναι δύο ή τριών πτερυγίων, αν και ορισμένες μπορεί να έχουν λιγότερα ή περισσότερα πτερύγια. Το πλεονέκτημα των HAWT, είναι ότι μπορούν να παράγουν περισσότερη ηλεκτρική ενέργεια από μια συγκεκριμένη ένταση ανέμου.

Για να επιτευχθεί η μέγιστη απόδοση, οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα πρέπει να τοποθετηθούν στην κατεύθυνση του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες περιλαμβάνουν ένα μετρητή εκτροπής για τη διόρθωση της θέσης της ανεμογεννήτριας, ώστε να διατηρείται ευθυγραμμισμένη με το ρεύμα του ανέμου. Συνεπώς, πρέπει να είναι σταθερή η ροή του ανέμου για να έχουμε μια οικονομικά αποδοτική λύση.



Εικόνα 21: Είδη οριζόντιων ανεμογεννητριών (πηγή Mechanical Boost)

4.2) ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΜΕΡΗ Α/Γ



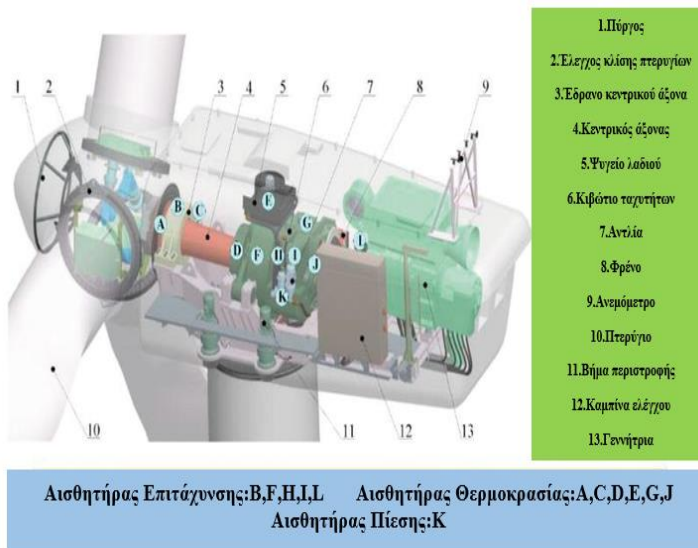
Εικόνα 22: Μέρη Ανεμογεννήτριας

Πύργος: το ύψος του πύργου κυμαίνεται από 25m έως 130m. Ο πύργος είναι κατασκευασμένος από χάλυβα και έχει διάμετρο από 3m-7m. Οι υψηλότεροι πύργοι πρέπει να έχουν μεγαλύτερες διαμέτρους βάσεων.

Νασέλα: Περιέχει τα μηχανικά εξαρτήματα της Α/Γ που είναι η γεννήτρια και ο πολλαπλασιαστής.

Διάμετρος ρότορα: Η διάμετρος ρότορα μπορεί να φτάσει τα 150m και να τα ξεπεράσει. Οι ανεμογεννήτριες έχουν 1 ή 2 ή 3 πτερύγια.

Πτερύγια: Τα πτερύγια περιστρέφονται λόγω του ανέμου. Τις περισσότερες φορές κατασκευάζεται από πλαστικό και σπάνια από αλουμίνιο ή χάλυβα. Τα πτερύγια περιστρέφονται με ταχύτητα από 10-30rpm. Οι ανεμογεννήτριες σε υψηλές ταχύτητες ανέμου σταματούν τη λειτουργία τους αυτόματα ώστε να αποφευχθούν βλάβες.



Εικόνα 23: Κατανομή αισθητήρων στην Α/Γ

Μετασχηματιστής: μετασχηματίζει το ρεύμα σύμφωνα με την προβλεπόμενη τάση του δικτύου.

4.3)ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Για να επιλέξουμε κατάλληλη ανεμογεννήτρια για την περιοχή θα πάρουμε 3 διαφορετικά μοντέλα ανεμογεννητριών.

Πίνακας 14: Χαρακτηριστικά κάθε τύπου Α/Γ

| Τύπος Α/Γ | Ισχύς P_R (MW) | Ύψος H(m) | Διάμετρος στροφέα D(m) | Πλήθος Α/Γ N |
|-----------|------------------|-----------|------------------------|-----------------|
| 1) 4.2MW | 4 | 105 | 150 | 11 |
| 2) 3.45MW | 3.45 | 91.5 | 117 | 12 |
| 3) 2MW | 2 | 80 | 110 | 22 |

Όλες οι εκδόσεις ανεμογεννητριών είναι εξοπλισμένες με την ίδια εργονομικά σχεδιασμένη και πολύ ευρύχωρη νασέλα που την κάνει πιο εύκολη στα συνεργεία συντήρησης για να αποκτήσουν πρόσβαση, ώστε να μπορούν να μειώσουν το χρόνο που δαπανάται για σέρβις μεγιστοποιώντας τον χρόνο λειτουργίας χωρίς συμβιβασμούς και με ασφάλεια. Όλες οι ανεμογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν και να συντηρηθούν χρησιμοποιώντας τυποποιημένα εργαλεία - εξοπλισμό εγκατάστασης και σέρβις για περαιτέρω μείωση του κόστους λειτουργίας και συντήρησης ελαχιστοποιώντας το επίπεδο αποθέματος ανταλλακτικών.

Το αιολικό πάρκο, για το οποίο γίνεται η μελέτη μας θα έχει συνολική ισχύ 44MW. Στην περιοχή εγκατάστασης του αιολικού πάρκου μετρήθηκε ταχύτητα ανέμου $V_0=8m/s$ σε υψόμετρο $H_0=42m$. Έτσι καλούμαστε να απαντήσουμε στα εξής ερωτήματα:

- 1) Πόση ενέργεια παράγει κάθε τύπος ανεμογεννητριών σε ένα χρόνο χωρίς να συνυπολογίσουμε τις απώλειες ορόρου;
- 2) Πόση ενέργεια παράγει κάθε τύπος ανεμογεννητριών σε έκταση $A=2km^2$ σε ένα χρόνο συνυπολογίζοντας τις απώλειες ορόρου;

Δεδομένα

•Συντελεστής εκθετικού νόμου $\alpha=0.0796$

Πίνακας 15: Απώλειες σε σχέση με την απόσταση των Α/Γ

| Απόσταση μεταξύ Α/Γ(x D) | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------------------|----|----|----|----|------|----|------|----|
| Απώλειες λόγω ορόρου | 7% | 5% | 3% | 2% | 1,5% | 1% | 0,5% | 0% |

ΛΥΣΗ

Ερώτημα 1

Η μέση ταχύτητα του ανέμου στο ύψος των ανεμογεννητριών είναι:

$$V = V_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^a = 8.605 \text{ m/s για τον τύπο A/Γ 4.2MW} \quad (4.1)$$

$$V = V_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^a = 8.511 \text{ m/s για τον τύπο A/Γ 3.45MW} \quad (4.2)$$

$$V = V_0 \left(\frac{H}{H_0} \right)^a = 8.421 \text{ m/s για τον τύπο A/Γ 2MW} \quad (4.3)$$

Γνωρίζουμε, από τα στοιχεία του κατασκευαστή, ότι η ετήσια ενέργεια που παράγει κάθε τύπος από τα 3 είδη ανεμογεννητριών είναι:

$$E_1 = 17 \text{ GWh για τον τύπο A/Γ 4.2MW}$$

$$E_2 = 14 \text{ GWh για τον τύπο A/Γ 3.45MW}$$

$$E_3 = 10 \text{ GWh για τον τύπο A/Γ 2MW}$$

Έτσι στο σύνολο των ανεμογεννητριών, χωρίς τις απώλειες, η συνολική ενέργεια είναι:

$$E_{\text{tot1}} = E_1 \cdot N_1 = 17 \cdot 11 = 187 \text{ GWh για τον τύπο A/Γ 4.2MW} \quad (4.4)$$

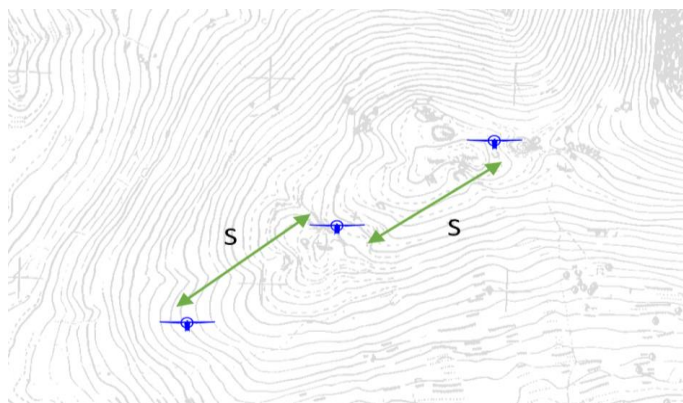
$$E_{\text{tot2}} = E_2 \cdot N_2 = 12 \cdot 13 = 156 \text{ GWh για τον τύπο A/Γ 3.45MW} \quad (4.5)$$

$$E_{\text{tot3}} = E_3 \cdot N_3 = 8 \cdot 22 = 176 \text{ GWh για τον τύπο A/Γ 2MW} \quad (4.6)$$

Ερώτημα 2

Για κάθε τύπο ανεμογεννήτριας υπολογίζεται ξεχωριστά η απόσταση S ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$\text{Demanded Area} = 4 \cdot S \cdot D \cdot (N-1) \quad (4.7)$$



Εικόνα 24: Απόσταση S μεταξύ των ανεμογεννητριών

Επειδή ισχύει ότι $Demanded\ Area=A$, η σχέση που δίνει την απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών είναι η εξής:

$$S = \frac{A}{4D(N-1)} \quad (4.8)$$

Άρα για τον πρώτο τύπο ανεμογεννήτριας θα έχουμε:

$$S_1 = \frac{A}{4D_1(N_1-1)} = \frac{3.000.000}{4 \cdot 150(11-1)} = 500m \quad (4.9)$$

Για τον δεύτερο τύπο ανεμογεννήτριας θα έχουμε:

$$S_2 = \frac{A}{4D_2(N_2-1)} = \frac{3.000.000}{4 \cdot 117(13-1)} = 534m \quad (4.10)$$

Για τον τρίτο τύπο ανεμογεννήτριας θα έχουμε:

$$S_3 = \frac{A}{4D_3(N_3-1)} = \frac{3.000.000}{4 \cdot 110(22-1)} = 325m \quad (4.11)$$

Στη συνέχεια για να υπολογίσουμε τον λόγο της απόστασης προς τη διάμετρο χρησιμοποιούμε τον εξής τύπο:

$$X = \frac{S}{D} \quad (4.12)$$

Για την πρώτη περίπτωση θα έχουμε:

$$x_1 = \frac{S_1}{D_1} = \frac{500}{150} = 3.33 \quad (4.13)$$

Για την δεύτερη περίπτωση θα έχουμε:

$$x_2 = \frac{S_2}{D_2} = \frac{534}{117} = 4.56 \quad (4.14)$$

Για την τρίτη περίπτωση θα έχουμε:

$$x_3 = \frac{S_3}{D_3} = \frac{325}{110} = 2.98 \quad (4.15)$$

Χρησιμοποιώντας την συνάρτηση linterp , ο πίνακας 2 μπορεί να γραφεί ως συνάρτηση των απωλειών ορόρου προς την απόσταση από τη διάμετρο:

$$\text{Losses}(x) = \text{linterp}(\text{Distance}^T \cdot \text{Losses}^T, x), \text{ εάν } x < 10 \quad (4.16)$$

$$\text{Losses}(x) = 0, \text{ εάν } x > 10 \quad (4.17)$$

Για την πρώτη περίπτωση όπου $x_1=3.33$, οι απώλειες θα είναι:

$$\text{Coef}_{\text{Loss}1} = \text{Losses}(X_1) = 0.08 \quad (4.18)$$

Για την δεύτερη περίπτωση όπου $x_2=4.56$, οι απώλειες θα είναι:

$$\text{Coef}_{\text{Loss}2} = \text{Losses}(X_2) = 0.03 \quad (4.19)$$

Για την τρίτη περίπτωση όπου $x_3=2.98$, οι απώλειες θα είναι:

$$\text{Coef}_{\text{Loss}3} = \text{Losses}(X_3) = 0.07 \quad (4.20)$$

Έτσι η ετήσια ενέργεια του δικτύου είναι:

$$E_{net} = [E_{tot} \cdot (1 - CoefLoss)] \quad (4.21)$$

Στην πρώτη περίπτωση:

$$E_{net1} = [E_{tot1} \cdot (1 - CoefLoss1)] = 187 \cdot (1 - 0.08) = 172.04 \text{ GWh} \quad (4.22)$$

Στην δεύτερη περίπτωση:

$$E_{net2} = [E_{tot2} \cdot (1 - CoefLoss2)] = 156 \cdot (1 - 0.071) = 144.92 \text{ GWh} \quad (4.23)$$

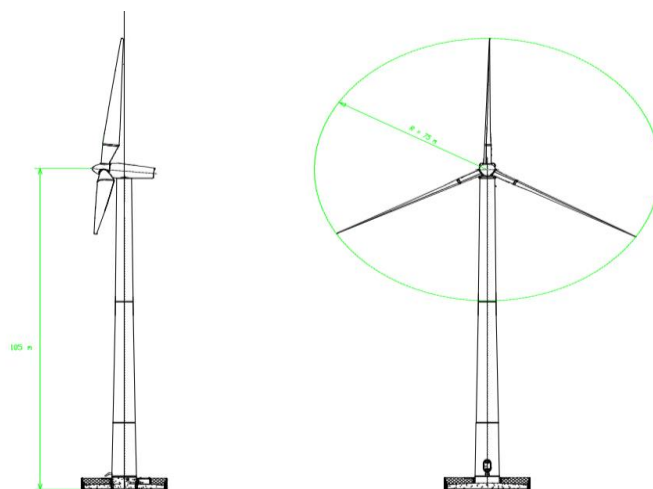
Στην τρίτη περίπτωση:

$$E_{net3} = [E_{tot2} \cdot (1 - CoefLoss3)] = 154 \cdot (1 - 0.07) = 143.22 \text{ GWh} \quad (4.24)$$

Άρα συμπεραίνουμε ότι η καλύτερη επένδυση θα ήταν η τοποθέτηση 11 ανεμογεννητριών που καθεμιά από αυτές θα είχε ισχύ 4MW, καθώς η συνολική ετήσια ενέργεια του δικτύου, που υπολογίστηκε για την συγκεκριμένη περίπτωση υπερτερεί έναντι των άλλων.

4.4) ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

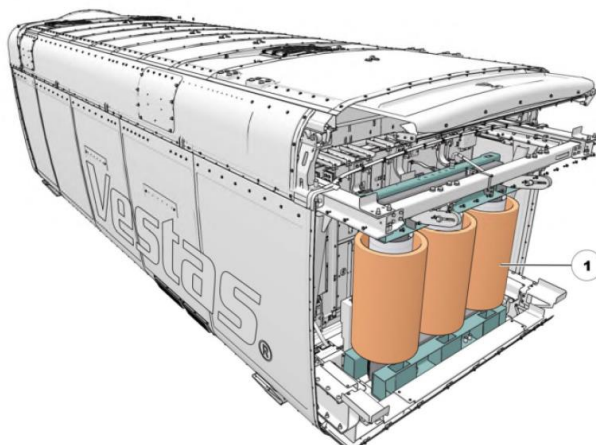
Το αιολικό πάρκο όπως έχουμε αναφέρει θα έχει συνολική ισχύ 44MW και θα αποτελείται από συνολικά 11 Α/Γ, μία εκ των οποίων ονομαστικής ισχύος 4MW εκάστη. Η ανεμογεννήτρια μας είναι τριών πτερυγίων, οριζοντίου άξονα, με μεταβλητό βήμα πτερυγίου (pitch regulated) για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας σε ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου. Τα πτερύγια έχουν μήκος 75m και κατασκευάζονται από οπλισμένο με υαλόνημα πολυεστέρα ενισχυμένο και εποξικές ρητίνες οπλισμένες με ίνες άνθρακα. Η διάμετρος του ρότορα είναι 150m η επιφάνεια σάρωσης του ρότορα είναι 17.671 m^2 ενώ το βήμα του πτερυγίου είναι μεταβλητό επιτρέποντας την καλύτερη δυνατή προσαρμογή της γωνίας του πτερυγίου συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου και των εκπομπών θορύβου.



Εικόνα 25: Όψη ανεμογεννήτριας 4MW

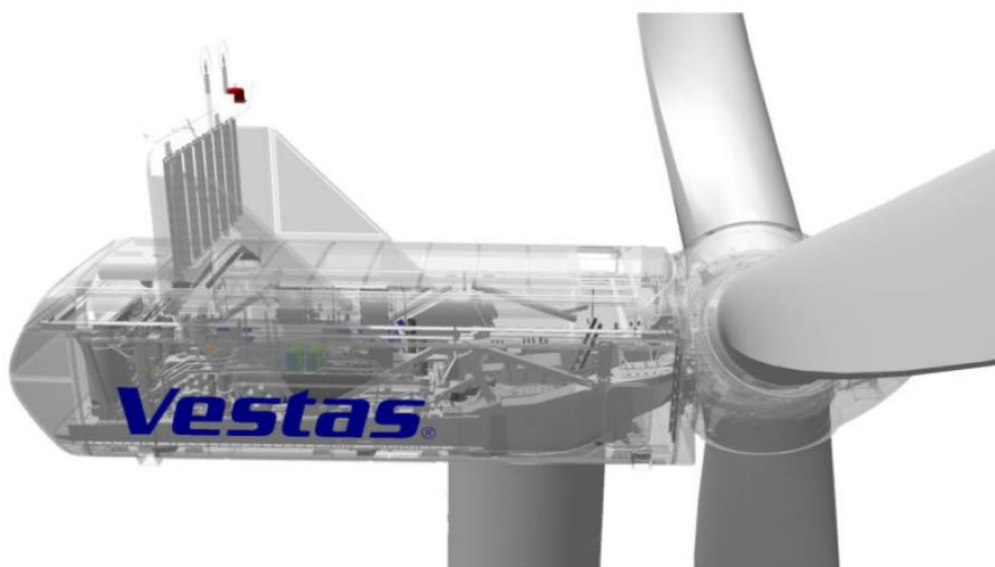
Η ανεμογεννήτρια μας έχει στην διάθεση της Anti-Icing System (αντιπαγετικό σύστημα) για βέλτιστη παραγωγή ενέργειας σε ψυχρά κλίματα. Έχει καλύτερη απόδοση σε τοποθεσίες με χαμηλή ταχύτητα ανέμου. Ο μεγαλύτερος ρότορας επιτρέπει μεγαλύτερη σύλληψη ανέμου, η οποία με τη σειρά της παράγει περισσότερη ενέργεια για να μειώσει το κόστος ενέργειας

Η ανεμογεννήτρια μας των 4MW, διαθέτει ενεργό σύστημα προσανατολισμού (yaw system) του οποίου η λειτουργία βασίζεται σε πληροφορίες που λαμβάνονται από τα ανεμόμετρα στη νασέλα της Α/Γ.



Εικόνα 26: Νασέλα Ανεμογεννήτριας

Οι πύργοι είναι ύψους 105m, μεταλλικοί, σχήματος κόλουρου κώνου, με πλήρη εσωτερική ηλεκτρολογική και φωτιστική υποδομή και με δυνατότητα εσωτερικής πρόσβασης στην άτρακτο. Η άνοδος στην άτρακτο γίνεται με τη χρήση εσωτερικού ανελκυστήρα ενώ εντός του πύργου υπάρχουν πατάκια για την ασφαλή πρόσβαση του προσωπικού και τη διεξαγωγή εργασιών. Σε αυστηρά προκαθορισμένες θέσεις υπάρχουν οι βάσεις των πινάκων καθώς και των καλωδίων της Α/Γ.



Εικόνα 27: Τρισδιάστατη απεικόνιση ατράκτου Ανεμογεννήτριας

Οι πύργοι είναι σχεδιασμένοι με την πλειοψηφία των εσωτερικών συγκολλημένων συνδέσεων ώστε να αντικαθίστανται από μαγνητικά στηρίγματα για να δημιουργηθεί ένας πύργος με κυρίως λείο τοίχωμα. Οι μαγνήτες παρέχουν στήριξη φορτίου στην οριζόντια κατεύθυνση και τα εσωτερικά στα στοιχεία, όπως πλατφόρμες, σκάλες κ.λπ., που υποστηρίζονται κατακόρυφα (δηλαδή στη κατεύθυνση του βάρους) με μηχανική σύνδεση. Ο λείος σχεδιασμός του πύργου μειώνει το απαιτούμενο πάχος χάλυβα, καθιστώντας τον πύργο ελαφρύτερο σε σύγκριση με έναν πύργο με όλα τα εσωτερικά στοιχεία συγκολλημένα στο κέλυφος του πύργου

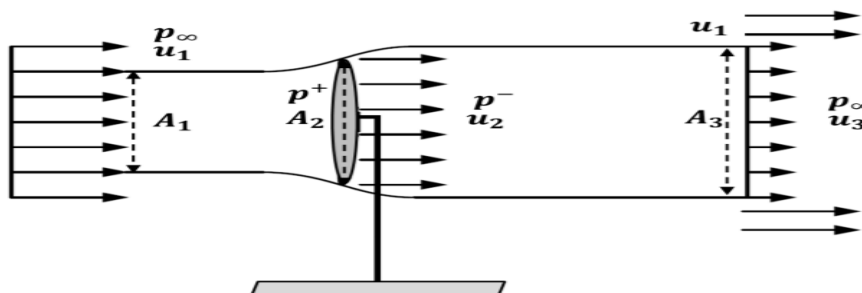
Το κάλυμμα της νασέλας είναι κατασκευασμένο από υαλοβάμβακα. Στο δάπεδο υπάρχουν θυρίδες για την καθέλκυση ή ανύψωση εξοπλισμού στην νασέλα και την έξοδο του προσωπικού. Το τμήμα της οροφής είναι εξοπλισμένο με αισθητήρες ανέμου και φωταγωγούς. Οι φωταγωγοί μπορούν να ανοίξουν από το εσωτερικό της νασέλας για πρόσβαση στην οροφή και από εξωτερικά. Η πρόσβαση από τον πύργο στην νασέλα γίνεται μέσω του συστήματος ανύψωσης.

Το κιβώτιο ταχυτήτων και τα υδραυλικά συστήματα ψύξης συνδέονται παράλληλα. Η βαλβίδα ροής είναι τοποθετημένη στο κύκλωμα ψύξης του κιβωτίου ταχυτήτων και κατανέμει το υγρό ψύξης. Το υγρό ψύξης απομακρύνει τη θερμότητα από το κιβώτιο ταχυτήτων και από την υδραυλική μονάδα ισχύος μέσω εναλλακτών θερμότητας και ενός ψυγείου ελεύθερης ροής αέρα που τοποθετείται στην κορυφή της νασέλας. Εκτός από τους εναλλάκτες θερμότητας και το ψυγείο, η μονάδα περιλαμβάνει μια ηλεκτρική αντλία και μια θερμοστατική βαλβίδα τριών οδών.

Ο μετασχηματιστής είναι εξοπλισμένος με ψύξη μέσω εξαναγκασμένου αέρα. Το σύστημα εξαερισμού αποτελείται από έναν κεντρικό ανεμιστήρα, που βρίσκεται κάτω από τον μετασχηματιστή και έναν αεραγωγό που οδηγεί τον αέρα σε θέσεις κάτω και μεταξύ των τυλιγμάτων υψηλής και χαμηλής τάσης του μετασχηματιστή.

4.5) ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΣΧΥΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Η ανάλυση της μέγιστης δυνατής απόδοσης για ανεμογεννήτριες έγινε από τον Betz το 1927. Στην παρακάτω εικόνα διακρίνουμε ότι ο ρότορας αντλεί ισχύ από την ταχύτητα του αέρα επιβραδύνοντας την ελεύθερη ροή της ταχύτητας του ανέμου V σε μια ταχύτητα V_2 , πολύ χαμηλότερη από την ταχύτητα των πτερυγίων.



Εικόνα 28: Ροή αέρα μέσω του ρότορα της Α/Γ

Έστω ότι ο ρυθμός ροής της μάζας του ανέμου μέσω του σωλήνα είναι ίσος με m . Τότε:

$$m = \rho V_1 A_1 = \rho V_2 A_2 = \rho V_3 A_3, \text{ όπου } \rho \text{ η πυκνότητα του αέρα.} \quad (4.25)$$

Η εξαγόμενη ισχύς που παράγεται είναι η διαφορά της ενέργειας του ανέμου αντίθετα στο ρεύμα και ως προς την κατεύθυνση του.

$$P_{max} = \frac{1}{2} m_2 V_1^2 = \frac{1}{2} (\rho A_2 V_1) V_1^2 = \frac{1}{2} \rho A_2 V_1^3 \quad (4.26)$$

$$P_{ext} = \frac{1}{2} m V_1^2 - \frac{1}{2} m V_3^2 = \frac{1}{2} \rho A_2 V_2 (V_1^2 - V_3^2) \quad (4.27)$$

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση Bernoulli έχουμε:

$$\frac{1}{2} \rho V_1^2 + p_{\infty} = \frac{1}{2} \rho V_2^2 + p^+ \quad (4.28)$$

$$\frac{1}{2} \rho V_2^2 + p^- = \frac{1}{2} \rho V_3^2 + p_{\infty} \quad (4.29)$$

Από τις 2 παραπάνω εξισώσεις έχουμε:

$$p^+ - p^- = \frac{1}{2} \rho V_1^2 - \frac{1}{2} \rho V_3^2 \quad (4.30)$$

Χρησιμοποιώντας την εξίσωση ορμής, η αξονική ώθηση $F = (p^+ - p^-) A_2$, που ασκείται από την τοποθέτηση του στροβίλου, ισούται με τον ρυθμό μεταβολής της ορμής του:

$$(p^+ - p^-) A_2 = m(V_1 - V_3) \quad (4.31)$$

$$\text{Άρα } \rho A_2 V_2 (V_1 - V_3) = A_2 \left(\frac{1}{2} \rho V_1^2 - \frac{1}{2} \rho V_3^2 \right), \text{ όπου } V_2 = \frac{1}{2} (V_1 + V_3) \quad (4.32)$$

$$C_p = \frac{P_{ext}}{P_{max}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{V_3}{V_1} \right) \left(1 - \frac{V_3^2}{V_1^2} \right) \quad (4.33)$$

$$\text{Θέτουμε } \frac{V_3}{V_1} = y \quad (4.34)$$

$$\text{Επομένως } C_p = \frac{1}{2} (1 + y)(1 - y^2) \quad (4.35)$$

Η μέγιστη τιμή του συντελεστή ισχύος εμφανίζεται όταν:

$$\frac{dC_p}{dy} = 0 \quad (4.36)$$

$$\frac{dC_p}{dy} = \frac{1}{2} (1 - y^2) + \frac{1}{2} (1 + y)(-2y) \quad (4.37)$$

$$\frac{1}{2} (1 + y)(1 - 3y) = 0 \quad (4.38)$$

$$y = \frac{V_3}{V_1} \neq -1 \quad (4.39)$$

$$\text{Άρα } y = \frac{1}{3}$$

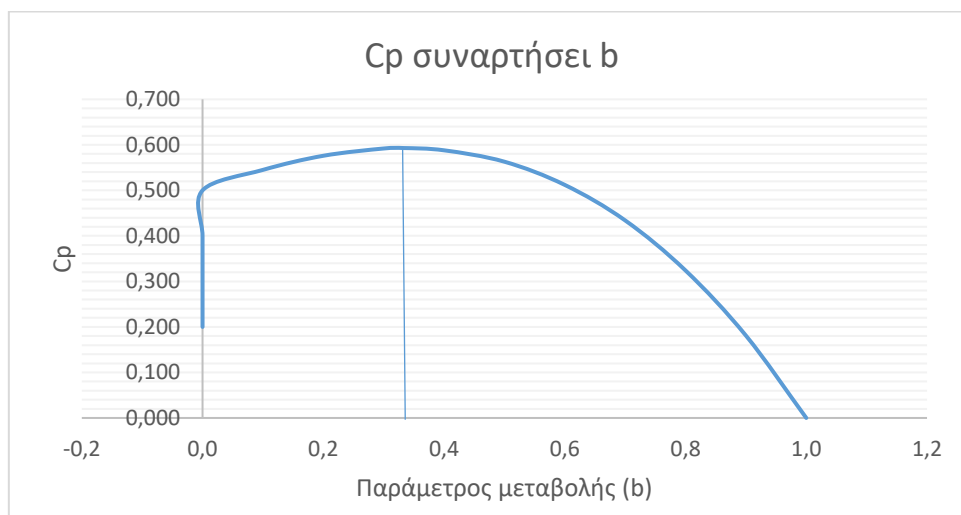
Αυτό δίνει τη μέγιστη τιμή του συντελεστή ισχύος ως:

$$C_{p,max} = C_p \left(y = \frac{1}{3} \right) = \frac{16}{27} \quad (4.40)$$

Τότε η μέγιστη ισχύς σύμφωνα με το διάγραμμα ισούται με:

$$\text{Μέγιστη Ισχύς} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \times \frac{16}{27} \quad (4.41)$$

Διάγραμμα 9: Ισχύς εξόδου ανεμογεννήτριας



| | | | | | | | | | | | |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| b | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,33 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 | 0,90 | 1,00 |
| Cp | 0,545 | 0,576 | 0,592 | 0,593 | 0,588 | 0,563 | 0,512 | 0,434 | 0,324 | 0,181 | 0,000 |

Έτσι η μέγιστη δυνατή (θεωρητική) απόδοση της Α/Γ είναι $\frac{16}{27}$ ή 59.3%

Στην πραγματικότητα οι στροβιλισμοί περιορίζουν την αποτελεσματικότητα και την απόδοση της.

Σημαντικός παράγοντας επιλογής της ανεμογεννήτριας είναι και η καμπίλη ισχύος, καθώς μας δείχνει πόση ενέργεια παράγεται σε διάφορες ταχύτητες ανέμου.

Η πυκνότητα είναι η μάζα του υλικού που περιέχεται σε μία μονάδα όγκου. Εμείς συνήθως θέλουμε να ξέρουμε πόση ποσότητα αέρα ή πόσα μόρια αλληλοεπιδρούν σε ένα ρότορα καθώς ο αέρας περνά από αυτόν. Η κινητική ενέργεια του αέρα είναι μία εξίσωση της μάζας του αέρα και της ταχύτητας. Για αυτό το λόγο χρειάζεται να ξέρουμε την πυκνότητα του αέρα για να υπολογίσουμε την αιολική ενέργεια και την ισχύ. Η πυκνότητα βασίζεται στην θερμοκρασία του αέρα και στο υψόμετρο.

Συνήθως οι προδιαγραφές των ανεμογεννητριών εκφράζονται με αναφορά σε μια τυπική πυκνότητα αέρα, η οποία είναι $1,2256[\text{kg}/\text{m}^3]$ και σταθερή θερμοκρασία $15\text{ }^\circ\text{C}$ δεδομένου ότι οι συνθήκες αυτές δεν συμπίπτουν με τα δικά μας μετεωρολογικά δεδομένα, είναι απαραίτητο να προσαρμόσουμε την πυκνότητα του αέρα κατά υψόμετρο και θερμοκρασία.

Πίνακας 16: Χαρακτηριστικά αέρα

| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΕΡΑ | |
|----------------------------|---------------------------|
| Θερμοκρασία | T=12.81 °C |
| Πίεση | d=8.94mbar |
| Πυκνότητα | $\rho=1.056\text{kg/m}^3$ |
| Υψόμετρο | H=1031m |

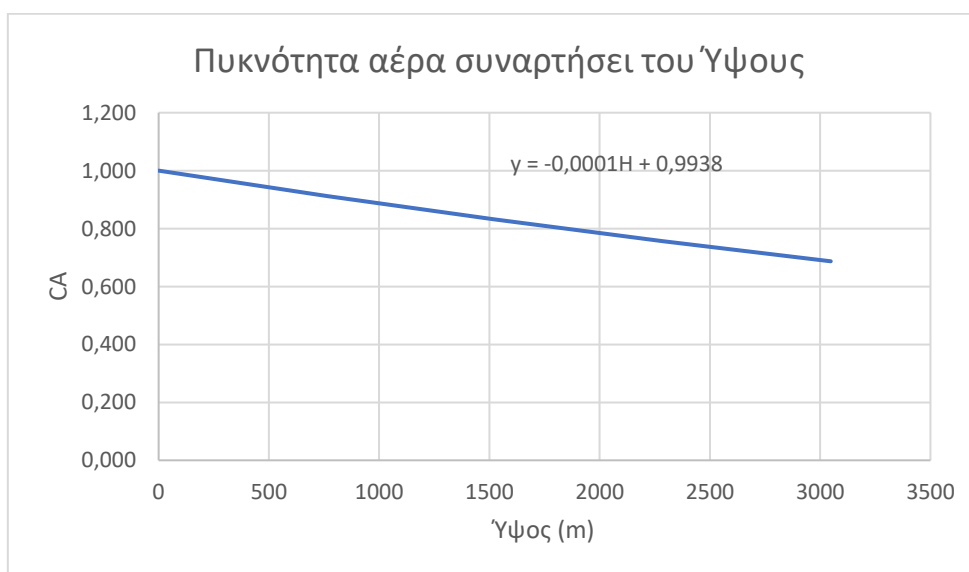
Για να υπολογίσουμε την πυκνότητα αέρα(ρ), στο συγκεκριμένο αιολικό πάρκο, χρειαζόμαστε το ακριβές υψόμετρο και θερμοκρασιακές διαφορές από τις κανονικές συνθήκες.

Ο C_A είναι ο συντελεστής διόρθωσης υψομέτρου σε m και ο C_T ο συντελεστής θερμοκρασίας σε °C.

Πίνακας 17: Διόρθωση συντελεστή υψομέτρου C_A

| Υψόμετρο(m) | C_A |
|--------------------|-------------------------|
| 0 | 1.000 |
| 762 | 0.912 |
| 1524 | 0.832 |
| 2286 | 0.756 |
| 3048 | 0.687 |

Διάγραμμα 10: Πυκνότητα αέρα συναρτήσει του ύψους



$$C_A = -0.0001H + 0.9938 \quad (4.42)$$

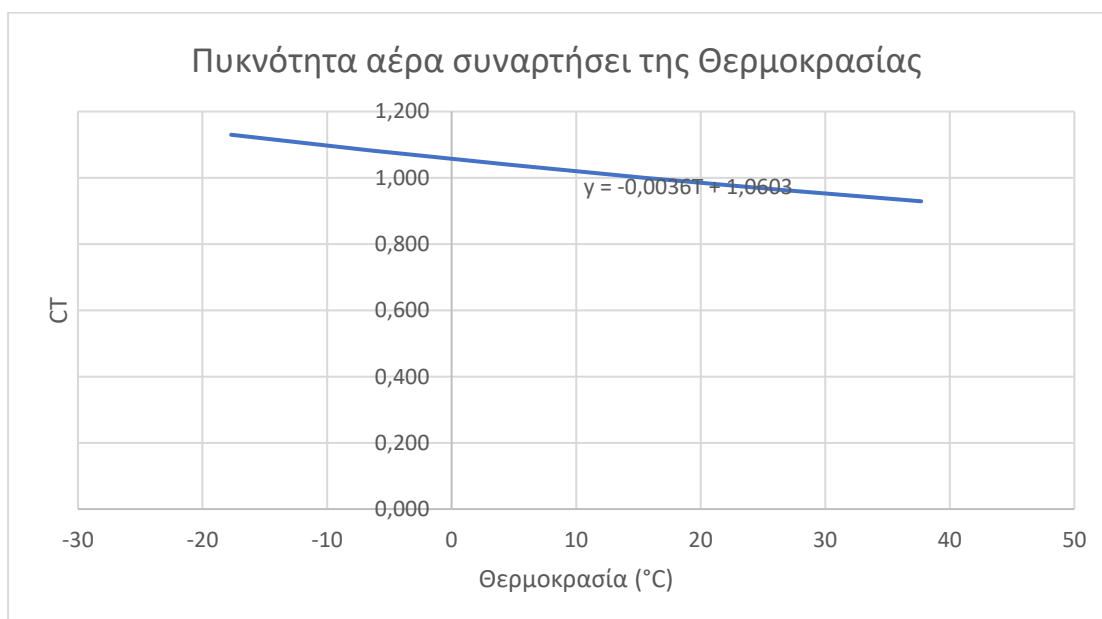
$$C_A = -0.0001 \cdot 1031m + 0.9938 \quad (4.43)$$

$$C_A = 0.8907$$

Πίνακας 18: Διόρθωση συντελεστή θερμοκρασίας C_T

| Θερμοκρασία (°C) | C_T |
|------------------|-------|
| -17.7 | 1.130 |
| -6.6 | 1.083 |
| 4.4 | 1.040 |
| 15.5 | 1.000 |
| 26.6 | 0.963 |
| 37.7 | 0.929 |

Διάγραμμα 11: Πυκνότητα αέρα συναρτήσει της θερμοκρασίας



$$C_T = -0.0036T + 1.0603 \quad (4.44)$$

$$C_T = -0.0036 \cdot 12.81 \text{ } ^\circ\text{C} + 1.0603 \quad (4.45)$$

$$C_T = 1.01418$$

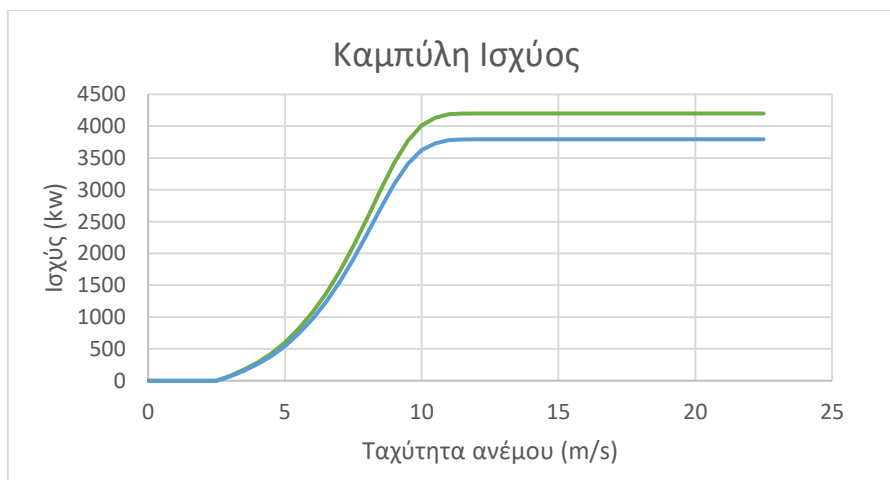
Άρα

$$\rho = 0.8907 \times 1.01418 \times \frac{1.2256 \text{kg}}{\text{m}^3} = 1.0931 \text{ kg/m}^3 \quad (4.46)$$

Η τιμή της πυκνότητας σύμφωνα με το υπολογιστικό πρόγραμμα Windographer είναι $\rho=1.087 \text{ kg/m}^3$.

Στο παρακάτω διάγραμμα ισχύος, αποτυπώνεται η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας προσαρμοσμένη με το υψόμετρο και τη θερμοκρασία του αιολικού πάρκου.

Διάγραμμα 12: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 4MW(προσαρμοσμένη στα χαρακτηριστικά του αιολικού πάρκου)



4.6) ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται από ορισμένους παράγοντες που οφείλονται στο κλίμα ή στις ανεμογεννήτριες:

- Απώλειες λόγω ομόρου που οφείλονται στην επίδραση σκίασης των ανεμογεννητριών, με αποτέλεσμα την μείωση του ανέμου μετά την επαφή του με τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας. Έτσι η ταχύτητα του ανέμου που θα φτάσει στην επόμενη ανεμογεννήτρια θα είναι μικρότερη και συνεπώς θα παράγει λιγότερη ενέργεια.

- Απώλειες λόγω πλαγιολίσθησης του πτερυγίου, η οποία ορίζεται ως η στροφή περί τον κάθετο της διεύθυνσης της κίνησης του άξονα, η οποία στρέφει παραλλήλως της διεύθυνσης του επιπέδου της ανεμογεννήτριας.

- Απώλειες ηλεκτρικού δικτύου λόγω θερμοκρασίας στο μετασχηματιστή και στο μήκος των καλωδίων μέσα στο Α/Π.

•Απώλειες λόγω του συντελεστή τεχνικής διαθεσιμότητας όπως οι ριπές ανέμου, τυχαίες βλάβες, προβλήματα συχνότητας-τάσης

•Απώλειες λόγω απότομων αλλαγών στη διεύθυνση του ανέμου

Συνήθως οι κατασκευαστές υπολογίζουν το σύνολο των ενεργειακών απωλειών σε ποσοστό 10-15(%) κάτω από το θεωρητικό ποσοστό, για τις καμπύλες ισχύος, που προβλέπονται για τις ανεμογεννήτριες.

Έτσι θα μπορούσαμε να χωρίσουμε τις απώλειες σε 2 κατηγορίες:

•στις απώλειες της ανεμογεννήτριας

•στις απώλειες της περιοχής εγκατάστασης της Α/Γ

Πίνακας 19: Απώλειες σε ένα αιολικό πάρκο kWh/year

| Συνιστώσες / Παράμετροι | Απώλειες % | kWh/χρόνο |
|--------------------------------|-------------------|-------------------|
| Ανεμογεννήτρια | | |
| Κιβώτιο ταχυτήτων | 0,9% | 1,595,722 |
| Λόγω σκόνης στα πτερύγια | 1,2% | 2,127,629 |
| Μετασχηματιστής | 0,9% | 1,595,722 |
| Πλαγιολίσθηση πτερυγίου | 2,0% | 3,546,048 |
| Περιοχή Εγκατάστασης | | |
| Τεχνικές απώλειες | 1,1% | 1,950,326 |
| Τεχνικής διαθεσιμότητας | 1,0% | 1,773,024 |
| Απώλειες ορόρου | 4,0% | 7,092,096 |
| Λόγω ασφάλειας | 1,9% | 3,368,746 |
| Απώλειες δικτύου | 2,0% | 3,546,048 |
| Σύνολο | 15,0% | 26,595,360 |

Συνολική Ισχύς Εξόδου=44MW×365×24×0.46=177,302,400

Πίνακας 20: Συνολική ισχύς εξόδου αιολικού πάρκου 44MW

| Α/Π (11 Ανεμογεννήτριες 4MW) | kWh/χρόνο |
|---|------------------|
| Συνολική ισχύς εξόδου | 177,302,400 |
| Απώλειες (15% της ισχύος εξόδου) | 26,595,360 |
| Συνολική ισχύς | 150,707,040 |



4.7) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ C_p ΚΑΙ C_T

4.7.1) Υπολογισμός συντελεστή C_p

Ο συντελεστής ισχύος που ορίζεται ως C_p , είναι ο λόγος που εκφράζει την σχέση μεταξύ της συνολικής διαθέσιμης ισχύος στον άνεμο και της ποσότητας ισχύος που πραγματικά παράγει ή παρέχει ο ρότορας.

$$\text{Άρα} \\ C_p = \frac{P}{\frac{\rho A V^3}{2}} \text{ όπου:} \quad (4.47)$$

C_p = ο συντελεστής ισχύος,

ρ =η πυκνότητα του αέρα,

A =η περιοχή της ανεμογεννήτριας,

V = η ταχύτητα του ανέμου

Η ανεμογεννήτρια δεν έχει τη δυνατότητα να εκμεταλλευτεί όλη τη διαθέσιμη αιολική ενέργεια, και να τη μετατρέψει 100% από αυτή σε ηλεκτρική. Σύμφωνα με το όριο Betz, καμία ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να μετατρέψει περισσότερο από 59% της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική ενέργεια περιστρέφοντας το ρότορα.

Αν η ανεμογεννήτρια μετατρέπει το 70% σε μηχανική ισχύ, τότε ο συντελεστής ισχύος C_p φτάνει την τιμή $0,7 \times 0,59 = 41\%$

$$C_p = 0,7 \times 0,59 = 0,41 = 41\%$$

Ωστόσο, αυτοί οι υπολογισμοί δεν λαμβάνουν υπόψη τη διαδικασία της μετατροπής της μηχανικής ισχύος του ρότορα σε ηλεκτρική. Η συνολική μετατροπή και η απόδοση του συστήματος αιολικής ενέργειας εξαρτάται από την απόδοση του κιβωτίου ταχυτήτων, της γεννήτρια και του μετασχηματιστή ισχύος. Σε κάθε στάδιο όπου η ισχύς μετακινείται από το ένα στοιχείο στο άλλο, το σύστημα χάνει ενέργεια. Η αύξηση της απόδοσης σε κάθε σύστημα μετάδοσης κίνησης αντιπροσωπεύει μία ευκαιρία για μείωση του συνολικού κόστους ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια.

4.7.2) Υπολογισμός συντελεστή C_T

Οι ακτινικές δυνάμεις είναι αρκετά χρήσιμες καθώς βοηθούν στην περιστροφή του ρότορα της ανεμογεννήτριας. Αν και προκαλούν κραδασμούς στην ανεμογεννήτρια, δεν αποτελούν ιδιαίτερο πρόβλημα για μια σωστά σχεδιασμένη ανεμογεννήτρια.

Αντίθετα η κατά μήκος δύναμη, μπορεί να είναι μια καταστροφική δύναμη με αποτέλεσμα το χτύπημα του πύργου, την κατάρρευση του πύργου ή ακόμα και την αποθεμελίωση του. Είναι πιο έντονη στην κορυφή του πτερυγίου, όπου οι ταχύτητες του ανέμου είναι υψηλότερες.

Έτσι χρησιμοποιούμε το συντελεστή C_T .

$$C_T = \frac{F_T}{\frac{\rho A V^2}{2}}, \text{ όπου:} \quad (4.48)$$

C_T = ο συντελεστής ώσης,

ρ =η πυκνότητα του αέρα,

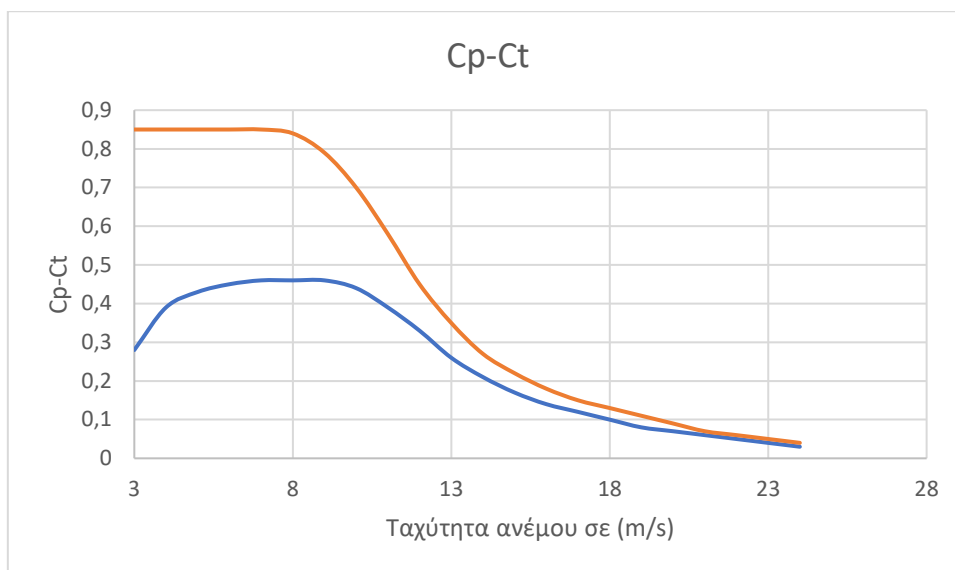
A =η περιοχή της ανεμογεννήτριας,

V = η ταχύτητα του ανέμου

Πίνακας 21: Τιμές ταχύτητας ανέμου και συντελεστών C_p , C_t

| Ταχύτητα ανέμου | C_p | C_t | Ταχύτητα ανέμου | C_p | C_t |
|-----------------|-------|-------|-----------------|-------|-------|
| 3 | 0,28 | 0,85 | 14 | 0,21 | 0,27 |
| 4 | 0,39 | 0,85 | 15 | 0,17 | 0,22 |
| 5 | 0,43 | 0,85 | 16 | 0,14 | 0,18 |
| 6 | 0,45 | 0,85 | 17 | 0,12 | 0,15 |
| 7 | 0,46 | 0,85 | 18 | 0,1 | 0,13 |
| 8 | 0,46 | 0,84 | 19 | 0,08 | 0,11 |
| 9 | 0,46 | 0,79 | 20 | 0,07 | 0,09 |
| 10 | 0,44 | 0,7 | 21 | 0,06 | 0,07 |
| 11 | 0,39 | 0,58 | 22 | 0,05 | 0,06 |
| 12 | 0,33 | 0,45 | 23 | 0,04 | 0,05 |
| 13 | 0,26 | 0,35 | 24 | 0,03 | 0,04 |

Διάγραμμα 13: Καμπύλη Cp-Ct



4.8) ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΤΕΡΥΓΙΟΥ

Τα πτερύγια είναι αρκετά δυνατά ώστε να αντισταθούν στις ακραίες δυνάμεις αλλά και αρκετά εύκαμπτα για να μη σπάσουν. Το φορτίο ως προς τη λεπίδα ποικίλλει σημαντικά κατά μήκος της. Τα μεγαλύτερα πτερύγια σήμερα, μπορούν να λυγίσουν από 4m-6m κοντά στις άκρες τους κατά τις έντονες ριπές ανέμου.

Η αεροδυναμική άνωση μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο:

$$\text{Άνωση} = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A \times C_L, \quad (4.49)$$

Όπου ρ η πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3

V η ταχύτητα του ανέμου σε m/s

A το εμβαδό σε m^2

C_L ο συντελεστής άνωσης του πτερυγίου

Η δύναμη αντίστασης (οπισθέλκουσα) στο πτερύγιο εμφανίζεται με κατεύθυνση παράλληλη στον άνεμο και δρα επιβραδυντικά στην κίνηση του πτερυγίου προς την εμπρός κίνηση. Η τιμή της υπολογίζεται αντικαθιστώντας το συντελεστή άνωσης στην προηγούμενη εξίσωση με το συντελεστή C_D .

Η "γωνία προβολής" είναι η γωνία μεταξύ της χορδής και της ροής του ανέμου που πλησιάζει την μπροστινή άκρη. Η "ροπή κλίσης" είναι το μέτρο της τάσης ενός πτερυγίου που γέρνει την άκρη προβολής του προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Είναι σημαντική για τον δομικό σχεδιασμό των πτερυγίων. Το γράφημα που παρουσιάζεται παρακάτω δίνει τιμές της άνωσης και της αντί-

στασης για ένα συγκεκριμένο τυπικό σχήμα πτερυγίου το NACA0012. Οι τιμές που παρουσιάζονται εδώ δίνουν το συντελεστή άνωσης C_L συναρτήσει της γωνίας προβολής και περιλαμβάνουν μια "πολική αντίσταση" που δείχνει πώς ο συντελεστής αντίστασης C_D μεταβάλλεται με τον συντελεστή άνωσης. Η μέγιστη άνοση εμφανίζεται όταν η γωνία προβολής είναι 8° και ο συντελεστής $h/c=0.2$ και ότι η ελάχιστη αντίσταση εμφανίζεται σε $C_D = 0.011781$, που αντιστοιχεί σε συντελεστή άνωσης $C_L = -0.0479$.

Πίνακας 22: Τιμές C_L , C_D σε διάφορες γωνίες προβολής για τύπο πτερυγίου NACA0012

| $\alpha(^{\circ})$ | h/c | C_L | C_D | C_L/C_D |
|--------------------|-------|----------|----------|-----------|
| 0 | 0.2 | -0.27124 | 0.014698 | -18.45 |
| 0 | 0.5 | -0.06215 | 0.01223 | -5.08 |
| 0 | 1.0 | -0.0479 | 0.011781 | -0.4 |
| 4 | 0.2 | -0.45471 | 0.021619 | 21.3 |
| 4 | 0.5 | -0.42817 | 0.021712 | 19.75 |
| 4 | 1.0 | -0.39020 | 0.021493 | 18.15 |
| 8 | 0.2 | 1.0757 | 0.031047 | 34.65 |
| 8 | 0.5 | 0.85732 | 0.030974 | 27.68 |
| 8 | 1.0 | 0.79180 | 0.033440 | 23.68 |

Όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως οι ανεμογεννήτριες που θα εγκατασταθούν στο συγκεκριμένο αιολικό πάρκο είναι τριών πτερυγίων, με διάμετρο ρότορα $D=150m$, εμβαδό $A=17,671m^2$, πυκνότητα αέρα $\rho=1,085kg/m^3$ και μέση ταχύτητα ανέμου $V=8m/s$. Από το διάγραμμα παίρνουμε για γωνία προβολής 8° $C_D=0.030974$ και $C_L=0.85732$

$$\text{Άνοση} = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A \times C_L = \quad (4.50)$$

$$0,5 \times 1,085 \times 64 \times 17,671 \times 0,85732 = 526KN$$

$$\text{Αντίσταση} = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \times A \times C_D = \quad (4.51)$$

$$0,5 \times 1,085 \times 64 \times 17,671 \times 0,030974 = 19KN$$

Ο λόγος της άνωσης προς την αντίσταση είναι $:\frac{526}{19}=27.7$

Φυσικά, αυτό είναι το ίδιο αποτέλεσμα που θα λαμβάναμε αν παίρναμε απλώς τον λόγο του συντελεστή άνωσης προς τον συντελεστή οπισθέλκουσας. Η καλύτερη απόδοση του πτερυγίου εμφανίζεται σε γωνία προβολής όπου ο λόγος άνωσης προς την οπισθέλκουσα είναι μέγιστος. Εκεί έχουμε τη μέγιστη άνοση για ελάχιστη αντίσταση, αλλά όχι απαραίτητα την απόλυτη μέγιστη δυνατή άνοση.

4.9) ΡΟΠΗ ΑΞΟΝΑ ΙΣΧΥΟΣ

Ενώ η αντίσταση του ρότορα χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κάμψης του πτερυγίου στην κατεύθυνση του ανέμου, η ροπή του άξονα ισχύος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της κάμψης του πτερυγίου στην κατεύθυνση της ώσης. Η ροπή δεν είναι στην πραγματικότητα μια δύναμη, αλλά το αποτέλεσμα μιας δύναμης που εφαρμόζεται σε μια ακτίνα από το κέντρο περιστροφής - μια δύναμη στρέψης. Η άνωση του πτερυγίου προκαλεί στον άξονα ισχύος ροπή που στρέφει τον άξονα αντίθετα στο φορτίο της γεννήτριας. Η ροπή σχετίζεται άμεσα με την κάμψη του πτερυγίου ενώ προσπαθεί να στρέψει τον άξονα ισχύος και να αποκολλήσει την πλήμνη του πτερυγίου από αυτόν.

Όταν έχει υπολογιστεί η συνολική ροπή, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι κάθε πτερύγιο συμβάλλει σε αυτήν. Για παράδειγμα, σε μια ανεμογεννήτρια με τρία πτερύγια, το ένα τρίτο της ροπής αντιπροσωπεύει το φορτίο κάμψης του πτερυγίου σε κάθε πτερύγιο. Χρησιμοποιούμε επίσης τη συνολική τιμή ροπής για να σχεδιαστεί ο άξονας ισχύος. Αυτός ο άξονας πρέπει να μεταφέρει φορτία ροπής μεταξύ του δρομέα και του φορτίου του χωρίς να περιστρέφεται κατά μήκος του και να αστοχεί.

Η ανεμογεννήτρια μας είναι ισχύος 4,2MW και ο λόγος του μειωτήρα της Α/Γ είναι 1/100. Επίσης έχει ταχύτητα περιστροφής 1500rpm.

$$\text{Άρα } P=M \cdot \omega \text{ όπου:} \quad (4.52)$$

P η ισχύς εξόδου της Α/Γ σε Watt

M η ροπή στρέψης σε Nm

ω η γωνιακή ταχύτητα σε s^{-1}

$$\omega = \pi \times \frac{N}{30}, \quad (4.53)$$

Όπου N η ταχύτητα περιστροφής σε rpm

Συνεπώς:

$$M = \frac{P}{N} \times \frac{30}{\pi} \Rightarrow M = \frac{4200000}{1500} \times \frac{30}{\pi} = 26,738 Nm \quad (4.54)$$

4.10) ΒΕΛΤΙΣΤΟΣ ΛΟΓΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ (TSR)

Μια άλλη σημαντική έννοια που σχετίζεται με την ισχύ των ανεμογεννητριών είναι η βέλτιστη αναλογία ταχύτητας κορυφής (άκρη πτερυγίου), η οποία ορίζεται ως η αναλογία της ταχύτητας του άκρου του ρότορα προς την ταχύτητα του ανέμου ελεύθερης ροής. Εάν ένας ρότορας περιστρέφεται πολύ αργά, επιτρέπει σε μεγάλη ποσότητα ανέμου, να περάσει ανενόχλητος και έτσι δεν εξαγάγει όση ενέργεια θα μπορούσε, εντός των ορίων του κριτηρίου Betz. Από



Διπλωματική Εργασία Τόσκας Κωνσταντίνος- Μάρης Λάμπρος ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ

την άλλη πλευρά, εάν ο ρότορας περιστρέφεται πολύ γρήγορα, εμφανίζεται στον άνεμο ως ένας μεγάλος επίπεδος δίσκος, ο οποίος δημιουργεί μεγάλη αντίσταση.

Ο λόγος της ταχύτητας στροφείου του ρότορα, TSR εξαρτάται από το προφίλ αεροτομής των πτερυγίων που χρησιμοποιείται, τον αριθμό των πτερυγίων και τον τύπο της ανεμογεννήτριας. Γενικά, οι ανεμογεννήτριες με τρία πτερύγια λειτουργούν σε TSR μεταξύ 6 και 8, με το 7 να είναι η ευρέως αναφερόμενη τιμή.

Εκτός από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω, επιβάλλονται και άλλοι παράμετροι για το TSR για να σχεδιαστεί μια ανεμογεννήτρια. Σε γενικές γραμμές, μία υψηλή τιμή TSR είναι επιθυμητή, καθώς οδηγεί σε υψηλή ταχύτητα περιστροφής του άξονα που επιτρέπει την αποδοτική λειτουργία της ηλεκτρικής γεννήτριας. Ωστόσο, τα μειονεκτήματα μιας υψηλής τιμής TSR περιλαμβάνουν:

- Τα άκρα των πτερυγίων που λειτουργούν με ταχύτητα 80 m/s ή μεγαλύτερη, υπόκεινται σε διάβρωση των μπροστινών άκρων από σωματίδια σκόνης και άμμου και απαιτούν ειδικές επεξεργασίες της άκρης που προσβάλλεται για τον μετριασμό τέτοιων ζημιών.

- Δημιουργείται θόρυβος.

- Δονήσεις.

- Μειωμένη Απόδοση του ρότορα λόγω αντίστασης και απωλειών στην κορυφή

Οι στροφείς υψηλών ταχυτήτων απαιτούν πολύ μεγάλο σύστημα πέδησης για να αποτρέψουν καταστροφή των πτερυγίων της Α/Γ. Ο λόγος ταχύτητας του στροφείου ορίζεται:

$$TSR = \lambda = \frac{\text{ταχύτητα του άκρου του ρότορα}}{\text{ταχύτητα ανέμου}} = \frac{v}{V} = \frac{\omega R}{V} \quad (4.55)$$

V =ταχύτητα ανέμου[m/sec]

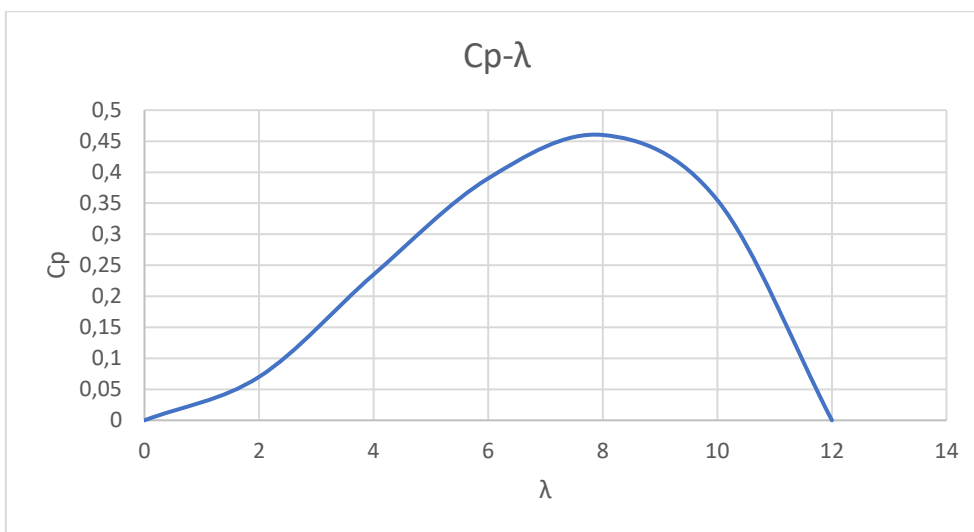
$u=\omega R$ =ταχύτητα άκρου ρότορα[m/sec]

R =ακτίνα ρότορα[m]

$\omega=2\pi f$ =γωνιακή ταχύτητα[rad/sec]

f =συχνότητα περιστροφής [Hz],[sec⁻¹]

Διάγραμμα 14: Καμπύλη Cp-λ



Σε ταχύτητα ανέμου 13 m/sec, για ακτίνα πτερυγίου δρομέα 75 m, που περιστρέφεται με

$$f = \frac{RPM}{60} = \frac{12}{60} = 0.2 Hz \quad (4.56)$$

$$\omega = 2\pi f = 0,4\pi \text{ rad/sec} \quad (4.57)$$

$$u = \omega R = 0,4\pi \text{ rad/sec} \cdot 75\text{m} = 30\pi \text{ m/sec} \quad (4.58)$$

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} = \frac{30\pi}{13} = 7,2 \quad (4.59)$$

Οπότε TSR=7 .

4.11) ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Ο αποτελεσματικός έλεγχος των ανεμογεννητριών θέτει μεγάλες προκλήσεις επειδή οι ρότορες αντιμετωπίζουν μία "άτακτη" πηγή ενέργειας (άτακτος άνεμος). Τυπικά, μια μεγάλη ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια σε εύρος 6:1 σε μέση ταχύτητα ανέμου που ισοδυναμεί με εύρος ισχύος μεγαλύτερο από 200:1. Πρέπει να σταματά κατάλληλα στις απότομες ριπές του ανέμου. Οι λειτουργίες ελέγχου περιλαμβάνουν:

- Βελτιστοποίηση της πρόσληψης ανέμου από τον ρότορα και την αποτελεσματική μετατροπή σε ηλεκτρική ενέργεια.
- Προστασία από μηχανικές και ηλεκτρικές υπερφορτώσεις
- Εποπτεία και αλληλουχία των λειτουργιών της ανεμογεννήτριας
- Παρακολούθηση της απόδοσης και της υγιούς λειτουργίας των εξαρτημάτων της Α/Γ.

Όλες αυτές οι λειτουργίες ελέγχου πρέπει να ενταχθούν σε ένα αξιόπιστο λειτουργικό σύστημα επειδή οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα χωρίς ανθρώπινη επίβλεψη.

Σε υψηλές ταχύτητες ανέμου το σύστημα ελέγχου, καθώς και το σύστημα μεταβλητού βήματος πτερυγίου κρατούν την παραγόμενη ισχύ στην ονομαστική τιμή της, ανεξάρτητα από την θερμοκρασία και την πυκνότητα του αέρα. Σε χαμηλότερες ταχύτητες ανέμου, το σύστημα μεταβλητού βήματος πτερυγίου και το σύστημα ελέγχου μεγιστοποιούν την παραγόμενη ισχύ επιλέγοντας τον βέλτιστο συνδυασμό ταχύτητας ρότορα και βήματος πτερυγίου η οποία οδηγεί στον μέγιστο βαθμό απόδοσης.

Ο έλεγχος όλων των λειτουργιών της Α/Γ γίνεται μέσω μονάδας ελέγχου πολυεπεξεργαστή (VMP). Η αντιστάθμιση της άεργου ισχύος καθώς και ο έλεγχος του συντελεστή ισχύος γίνεται με τη χρήση ηλεκτρονικών ισχύος. Έτσι, ο συντελεστής ισχύος (συνφ) διατηρείται στα προβλεπόμενα από τον διαχειριστή του συστήματος επίπεδα ενώ είναι δυνατόν να ρυθμιστεί σε ικανό εύρος ανάλογα με τις απαιτήσεις του. Οι μονάδες ελέγχου των Α/Γ συνδέονται μέσω δικτύου οπτικών ινών που καταλήγει σε κεντρικό πίνακα στον οικίσκο ελέγχου. Τα σήματα μεταφέρονται και επεξεργάζονται σε Η/Υ με χρήση κατάλληλου λογισμικού (VoB) που λειτουργεί σε περιβάλλον Windows, μέσω καλωδίου Ethernet. Έτσι, από τον οικίσκο ελέγχου γίνεται πλήρης τηλεχειρισμός του Α/Π.



Εικόνα 29: Έλεγχος Ανεμογεννήτριας

4.12) ΘΟΡΥΒΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Ο ήχος αποτελείται από τη συχνότητα (Hertz) και την πίεση (Desibels). Οι ανεμογεννήτριες παράγουν τέσσερις τύπους ήχου: ευρυζωνικός, παλμικός, υπέρηχος και τονικός. Ο ευρυζωνικός είναι ένας σταθερός θόρυβος που αποτελείται από ένα συνδυασμό ηχητικών κυμάτων.

Στις ανεμογεννήτριες, ο ευρυζωνικός θόρυβος περιλαμβάνει ένα βουητό ή ρυθμικό θόρυβο. Τα περισσότερα από τα ηχητικά κύματα στις Α/Γ έχουν συχνότητες μεγαλύτερες από 100Hz αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορούν να εκπέμπονται και σε χαμηλότερες συχνότητες (20-100Hz).

Οι παλμικοί ήχοι είναι απότομοι και σύντομοι όπως το χτύπημα μιας πόρτας. Στην περίπτωση της ανεμογεννήτριας ο ήχος εμφανίζεται ως κανονικός χτύπος ή παλμός. Αυτό συμβαίνει όταν οι συνεχείς άνεμοι συγχρονίζουν τις ανεμογεννήτριες προκαλώντας στροβιλισμούς.

Ο υπέρηχος ήχος είναι χαμηλής συχνότητας και είναι υπαρκτός στο περιβάλλον αλλά συνήθως μη αντιληπτός στο ανθρώπινο αυτί, το οποίο αρχίζει να ανιχνεύει υπέρηχα κύματα στα 90dBA περίπου. Παραδείγματα υπέρηχου ήχου είναι τα θαλάσσια κύματα και οι ανεμιστήρες εξαερισμού. Ο υπέρηχος ήχος καταγγέλλεται πολλές φορές ότι επηρεάζει την υγεία των ανθρώπων κοντά σε αιολικά πάρκα. Ορισμένοι άνθρωποι θεωρούν ότι η συγκεκριμένη ταλάντωση είναι ανυπόφορη ακόμα και όταν η ανεμογεννήτρια βρίσκεται σε απόσταση μεγαλύτερη των 600m.

Οι τονικοί ήχοι είναι συνεχείς και μπορούν να έχουν ένα διακριτικό τόνο όπως μια μουσική νότα. Στις ανεμογεννήτριες η φυσική συχνότητα (συντονισμός) των περιστρεφόμενων μηχανικών εξαρτημάτων της, μπορεί να προκαλέσει τονικούς ήχους.

Ο θόρυβος των ανεμογεννητριών κατέχει σημαντική θέση στην κατάταξη των αρνητικών συνεπειών για το περιβάλλον που προέρχονται από την τεχνολογική ανάπτυξη. Ο θόρυβος παράγεται συχνότερα από την κυκλοφορία και τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή. Η μέτρηση και η παρακολούθηση του θορύβου απαιτείται για να επιτευχθούν και να διατηρηθούν, τα επίπεδα του θορύβου, σε καθορισμένα και φυσιολογικά επίπεδα με απώτερο σκοπό την προστασία της υγείας και της ευημερίας του ανθρώπινου πληθυσμού. Τα όρια θορύβου ισχύουν για τον συνολικό θόρυβο από όλες τις ανεμογεννήτριες και ορίζονται τόσο για ασθενείς ανέμους, όταν ο θόρυβος είναι πιο ενοχλητικός όσο και για τους ισχυρότερους ανέμους. Όταν ο θόρυβος πληροί τα όρια θορύβου δεν σημαίνει ότι ο θόρυβος δεν ακούγεται. Τα όρια έχουν τεθεί για να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει σημαντική διαταραχή.

Η ηχητική εκπομπή από μια ανεμογεννήτρια είναι περίπου 100dB και κυμαίνεται από 95 έως 108dB. Οι τελευταίες ανεμογεννήτριες είναι πολύ πιο αθόρυβες από τα πρώτα μοντέλα της δεκαετίας του 1970 και του 1980. Ένας τυπικός στρόβιλος της δεκαετίας του 1980 που παράγει 100 kW και ένας στρόβιλος του 1990 που παράγει 500 kW εκπέμπουν και οι δύο περίπου 100 dB. Συγκεκριμένα, ο θόρυβος από τα γρανάζια και τη γεννήτρια έχει μειωθεί. Η θήκη της σύγχρονης ανεμογεννήτριας είναι ηχομονωμένη και η γεννήτρια και τα γρανάζια είναι τοποθετημένα έτσι ώστε ο θόρυβος να μειώνεται όσο το δυ-

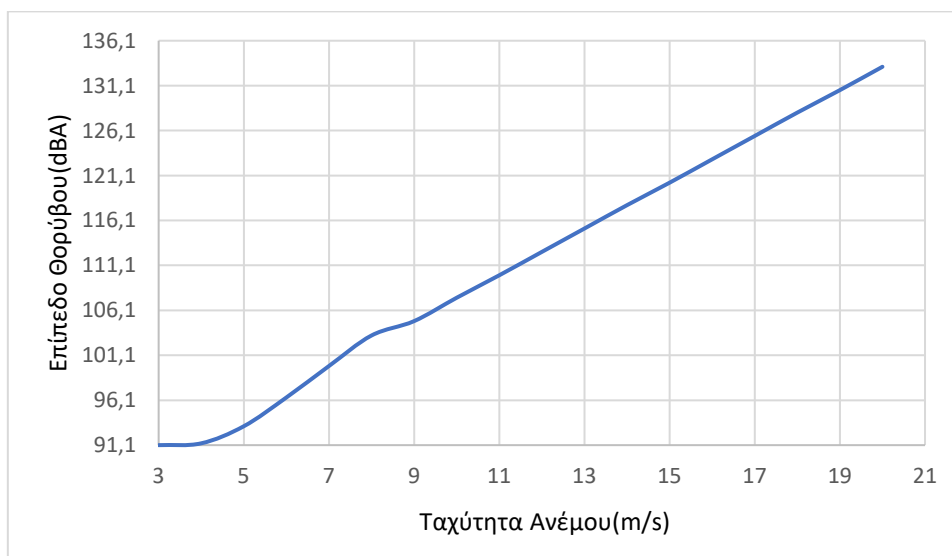
νατόν περισσότερο. Ο σχεδιασμός των λεπίδων έχει αναπτυχθεί για τον μετρισμό του θορύβου.

Όσον αφορά την περίπτωση του αιολικού πάρκου για το οποίο γίνεται η εγκατάσταση, βάσει της θέσης του, αλλά και των προδιαγραφών του τύπου των Α/Γ που θα χρησιμοποιηθούν, δεν πρόκειται να δημιουργήσει ιδιαίτερη ακουστική όχληση στην περιοχή. Υπάρχουν δύο βασικές πηγές θορύβου από Α/Γ, ο μηχανικός θόρυβος από τη γεννήτρια τους, τους βοηθητικούς μειωτήρες, τον πολλαπλασιαστή στροφών και ο αεροδυναμικός θόρυβος που παράγεται από την περιστροφή των πτερυγίων. Οι επιλεγμένοι τύποι Α/Γ λειτουργούν σε εξαιρετικά χαμηλά επίπεδα θορύβου.

Πίνακας 23: Τιμές Ταχύτητας Ανέμου και Επίπεδο Θορύβου στο ύψος του ρότορα

| Ταχύτητα Ανέμου(m/s) | Επίπεδο Θορύβου(dBA) | Ταχύτητα Ανέμου(m/s) | Επίπεδο Θορύβου(dBA) |
|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 3 | 91,1 | 12 | 112,6 |
| 4 | 91,3 | 13 | 115,2 |
| 5 | 93,2 | 14 | 117,8 |
| 6 | 96,4 | 15 | 120,3 |
| 7 | 99,9 | 16 | 122,9 |
| 8 | 103,3 | 17 | 125,5 |
| 9 | 104,9 | 18 | 128,1 |
| 10 | 107,5 | 19 | 130,6 |
| 11 | 110,0 | 20 | 133,2 |

Διάγραμμα 15: Ταχύτητα Ανέμου(m/s) συναρτήσει θορύβου(dBA)



Ο μηχανικός θόρυβος είναι πρακτικά μηδενικός εξαιτίας της πολύ καλής σχεδίασης των μηχανικών μερών της μηχανής (ειδική μέριμνα έχει ληφθεί για τη γεννήτρια, η οποία είναι τοποθετημένη πάνω σε βάση από πλαστικό για να απορροφά τους κραδασμούς ούτως ώστε η λειτουργία της να είναι αθόρυβη). Ο αεροδυναμικός θόρυβος βρίσκεται επίσης σε χαμηλά επίπεδα, εξαιτίας της τεχνολογικά προηγμένης σχεδίασης των πτερυγίων.

Τα αποτελέσματα του μοντέλου θορύβου που εφαρμόστηκε για το υπό εξέταση Α/Π αλλά και το γειτονικά υπό κατασκευή Α/Π και σύντομα εν λειτουργία, δείχνουν ότι ο θόρυβος ο οποίος παράγεται από τη λειτουργία των Α/Γ είναι, ήδη, σε μέγιστη απόσταση περί τα 500m από τις θέσεις εγκατάστασης, στη στάθμη των 45dB.

Πίνακας 24:Επίπεδα θορύβου ανεμογεννήτριας σε σύγκριση με άλλους θορύβους

| Πηγή θορύβου | dBA |
|-------------------------------|-------|
| Όριο ακοής | 0 |
| Ήσυχο υπνοδωμάτιο | 35 |
| Ανεμογεννήτρια στα 350m | 35-50 |
| Ψυγείο | 40 |
| Κλιματιστικό | 50 |
| Αυτοκίνητο με 65km/h στα 100m | 55 |
| φορτηγό με 50km/h στα 100m | 65 |
| Κίνηση πόλης | 90 |
| Αεροπλάνο στα 250m | 105 |

4.13) ΣΥΣΤΗΜΑ ΓΕΙΩΣΗΣ

Πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό προστασίας των ανεμογεννητριών είναι το σύστημα γείωσης. Οποιαδήποτε αιολική μηχανή είναι στόχος για τους κεραυνούς καθώς βρίσκεται στο υψηλότερο σημείο μιας περιοχής. Ένας τυπικός κεραυνός μεταφέρει 20,000AMP σε ένα microsecond.

Οι Α/Γ εκ της κατασκευής τους αποτελούν εξοπλισμό που έλκουν το κεραυνικό πλήγμα αφού εγκαθίστανται σε ασκεπείς βουνοκορφές. Για την προστασία επισκεπτών, προσωπικού, πανίδας αλλά και του ίδιου του εξοπλισμού έχουν ληφθεί τα παρακάτω μέτρα:

- Ακίδα συλλογής κεραυνικού ρεύματος σε όλα τα ακραία τμήματα της Α/Γ στην άτρακτο και στα πτερύγια ώστε η απαγωγή του κεραυνικού ρεύματος να γίνεται με ασφάλεια και ταχύτητα

- Απαραίτητο σύστημα γείωσης ώστε να γίνεται η απαγωγή του κεραυνικού ρεύματος εντός του κατάλληλου χρονικού διαστήματος. Το σύστημα γείωσης περιλαμβάνει την θεμελιακή γείωση της Α/Γ την περιμετρική γείωση, πιθανό πλέγμα βελτίωσης και τη διασύνδεση των γειώσεων όλων των Α/Γ μεταξύ τους. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται:

- i. η ασφαλής εργασία των τεχνικών
- ii. η ασφαλής διάβαση πεζών και λοιπών επισκεπτών
- iii. η ασφαλής επαφή με τα μεταλλικά τμήματα του εξοπλισμού εργαζομένων, περιοίκων και πανίδας, έχοντας εξασφαλίσει τις τιμές των βηματικών τάσεων και των τάσεων επαφής να είναι εντός των επιτρεπτών ορίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ

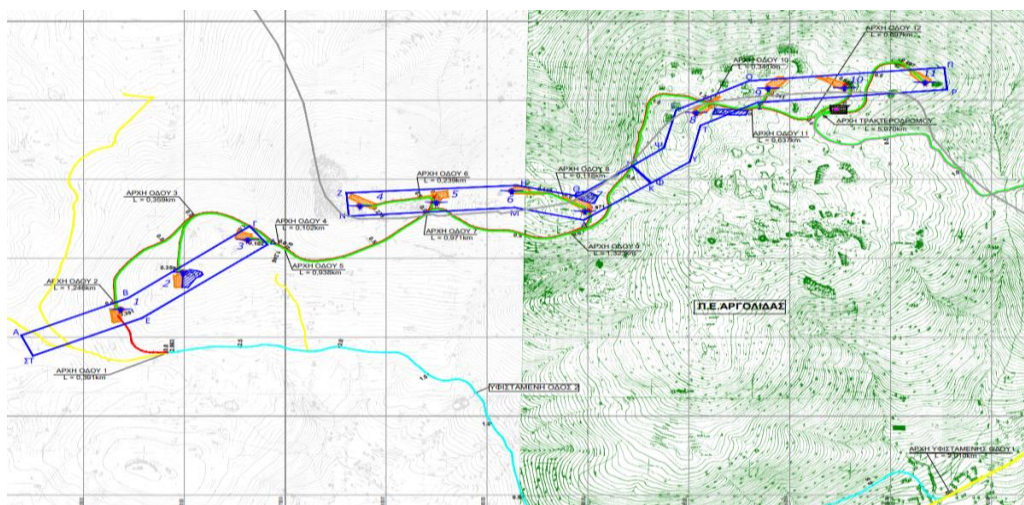
5.1) ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΟΔΟΠΟΙΙΑΣ

Για την προσέγγιση στο Α/Π θα χρησιμοποιηθεί ο υφιστάμενος επαρχιακός δρόμος. Στη συνέχεια θα κατασκευαστούν νέα οδικά τμήματα και θα αξιοποιηθούν τα υφιστάμενα οδικά δίκτυα της περιοχής, στα οποία θα πραγματοποιηθούν βελτιώσεις, ώστε ο δρόμος στην τελική του μορφή να πληροί όλες τις απαιτούμενες προδιαγραφές για τη διέλευση βαρέων οχημάτων.

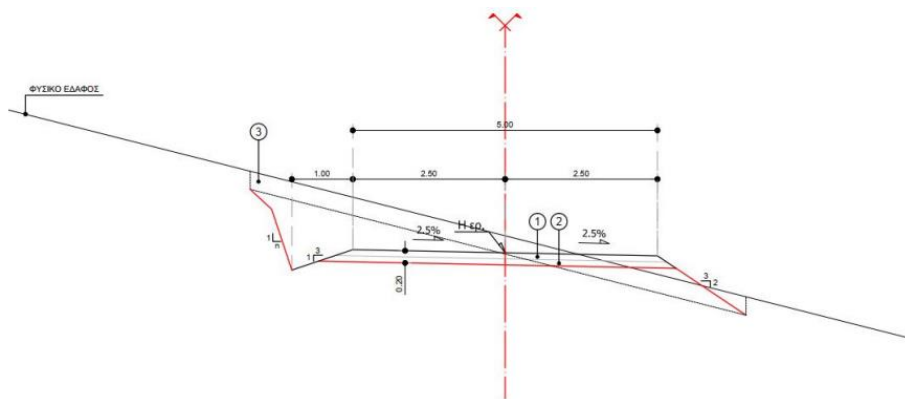
Οι υφιστάμενοι δρόμοι θα βελτιωθούν και θα διανοιχθούν νέοι, για την πρόσβαση των οχημάτων μεταφοράς των τμημάτων του πύργου της κάθε Α/Γ και των πτερυγίων της, καθώς και των μηχανημάτων που είναι απαραίτητα για την εγκατάστασή τους.

Το πλάτος καταστρώματος των δρόμων είναι 5m. Οι τάφροι αποχέτευσης θα ακολουθούν την κλίση της οδού, θα είναι τριγωνικής διατομής, και θα κατασκευαστούν όπου απαιτείται αμφίπλευρα. Η κλίση στα ευθύγραμμα τμήματα διαμορφώνεται ως αμφικλινής με κλίση 2%.

Οι νέες οδοί επιτρέπουν τη μεταφορά των ανεμογεννητριών με τη μικρότερη δυνατή επέμβαση στο περιβάλλον. Αυτό επιτυγχάνεται στη φάση του σχεδιασμού των οδών, λαμβάνοντας υπόψη τις φυσικές κλίσεις του ανάγλυφου, τις προδιαγραφές της δασικής οδοποιίας και τις προδιαγραφές των εταιριών μεταφοράς του εξοπλισμού. Τα μήκη και οι χωματισμοί της νέας οδοποιίας κρατούν στο απολύτως αναγκαίο καθώς και η προσαρμογή της με το φυσικό ανάγλυφο να είναι η καλύτερη δυνατή.



Εικόνα 30: Τοπογραφικό διάγραμμα με θέσεις Α/Γ, όρια πολύγωνων, οριζοντιογραφία προτεινόμενης και υφιστάμενης οδοποιίας και προτεινόμενο δίκτυο διασύνδεσης



Εικόνα 31: Τυπική διατομή οδού

Στα νέα τμήματα της οδού προτείνεται η εφαρμογή του παρακάτω οδοστρώματος, συνολικού πάχους 20cm.

- Μια (1) στρώση υπόβασης συμπυκνωμένου πάχους 10cm
- Μια (1) στρώση βάσης συμπυκνωμένου πάχους 10cm

Η κατασκευή των στρώσεων βάσης και υπόβασης οδοστρώματος θα γίνει από θραυστά αδρανή υλικά σταθεροποιημένου τύπου. Τα υλικά για τη βάση και την υπόβαση θα προέλθουν από τη θραύση της περίσσειας βραχωδών υλικών.

Σύμφωνα με το Βιβλίο AASHTO 1993, ο σχεδιασμός των δρόμων δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right]}{1 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10}(MR) - 8.07 \quad (5.1)$$

Όπου:

W_{18} = Προβλεπόμενος αριθμός ESAL 80 kN των ισοδύναμων φορτίων μονού άξονα. Ουσιαστικά όλων των τύπων οχήματα (αυτοκίνητα, φορτηγά, ποδήλατα, κ.λπ.) θα χρησιμοποιούν το δρόμο. Για να απλοποιηθεί ο υπολογισμός, όλοι αυτοί οι διαφορετικοί άξονες εναρμονίζονται με τους «τυποποιημένους άξονες».

Z_R = Τυπική απόκλιση.

S_0 = Συνδυασμένο τυπικό σφάλμα της πρόβλεψης της κίνησης και της πρόβλεψης της απόδοσης. Και οι δύο επιλογές και S_0 και Z_R εξαρτώνται από τον τύπο του δρόμου.

SN = Κατασκευαστικός αριθμός (δείκτης που είναι ενδεικτικός του συνολικού πάχους του οδοστρώματος που απαιτείται).

Βασικά, κάθε στρώμα έχει ένα πάχος (D) και έναν «συντελεστή στρώσης» (a) που αντιπροσωπεύει την ποιότητα του υλικού. Στην κατασκευή αιολικών πάρκων συνήθως χρησιμοποιούνται μόνο μία ή δύο στρώσεις χαλικιού.

Επομένως η εξίσωση $SN=a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3+...$ θα απλοποιηθεί και θα γίνει $SN=a_1D_1$

a_1 = Συντελεστής στρώσης. Το χαλίκι έχει συντελεστή στρώσης 0,14

D_1 = Πάχος στρώσης.

ΔPSI = Διαφορά μεταξύ του αρχικού δείκτη λειτουργικότητας σχεδιασμού, ρ_0 , και του δείκτη λειτουργικότητας του σχεδιασμού, ρ_t . Αυτή η έννοια χρειάζεται για να ενσωματωθεί στην εξίσωση η ποιότητα του δρόμου στην αρχή του εξεταζόμενου χρονικού διαστήματος, ρ_0 και η ποιότητα του δρόμου στο τέλος της διάρκειας ζωής (ρ_t).

MR = μέτρο ελαστικότητας(ρ_{si}). Αυτός ο αριθμός δείχνει την ποιότητα του εδάφους.

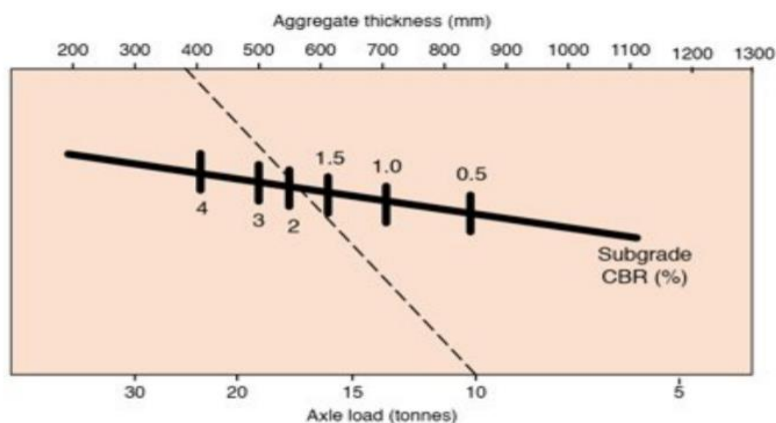
Αυτή η εξίσωση δίνει ως αποτέλεσμα τον «δομικό αριθμό» (SN) - έναν αριθμό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του απαιτούμενου πάχους του οδοστρώματος.

Η παραπάνω εξίσωση έχει μικρή χρησιμότητα για την κατασκευή αιολικών πάρκων. Ωστόσο είναι σημαντική ως ένα βαθμό για τη δημιουργία των δρόμων. Αυτός ο τύπος ισχύει για δρόμους που διέρχονται βαρέα οχήματα.

Αυτό που συνήθως προκαλεί ζημιές στους εσωτερικούς δρόμους των αιολικών πάρκων χωρίς έντονη κυκλοφορία είναι η κακή αποστράγγιση, η λανθασμένη επιλογή υλικών οδοστρώματος ή η κακή κατασκευή (π.χ. λανθασμένη συμπίεση), όχι τα περιοδικά μηχανικά φορτία που υπερβαίνουν τα όρια ελαστικότητας.

Ως εκ τούτου, συνήθως σχεδιάζουμε το οδόστρωμα με βάση την τιμή CBR: γνωρίζουμε ότι με πολύ καλό CBR σε ξηρά κλίματα 20cm είναι συνήθως αρκετά, ενώ για πολύ χαμηλό CBR (>5) χρησιμοποιούμε 40cm έως 50cm. Όταν CBR=3% απαιτούνται συνήθως ειδικές λύσεις.

Διάγραμμα 16: Διάγραμμα σχέσης μεταξύ CBR, φορτίου άξονα, πάχους στρώσης χαλικιού



Σύμφωνα με το διάγραμμα, για παράδειγμα, με φορτίο άξονα 10 τόνων και CBR 2%, θα χρειαστούν περίπου 35cm.

5.2) ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΛΑΤΕΙΩΝ Α/Γ

Στην θέση εγκατάστασης της κάθε Α/Γ, θα διαμορφωθεί «πλατεία εργασίας» με σκοπό την εναπόθεση των προς ανέγερση μηχανημάτων (τμήματα Α/Γ) όσο και την εγκατάσταση των ανυψωτικών μηχανημάτων (γερανοί) και την ασφαλή λειτουργία τους. Σημειώνεται ότι στην μελέτη οδοποιίας σχεδιάζονται και οι πλατείες, οι διαστάσεις των οποίων θα είναι περίπου 90m x 45m και σε ορισμένες περιπτώσεις μεγαλύτερες ή μικρότερες λόγω σημειακών συνθηκών (κλίσεων, ανάγλυφου).

Οι πλατείες θα πατηθούν από κατάλληλα οχήματα(οδοστρωτήρες). Σημειώνεται ότι στην θέση που θα τοποθετηθεί το θεμέλιο της κάθε ανεμογεννήτριας καθώς και τα ανυψωτικά μηχανήματα θα πρέπει η πλατεία να βρίσκεται σε στέρεο έδαφος και όχι σε επίχωμα με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερες επεμβάσεις επί του φυσικού εδάφους στις θέσεις των πλατειών.

Το αιολικό πάρκο θα αποτελείται από 11 ανεμογεννήτριες και αφού γνωρίζουμε ότι χρειαζόμαστε 1 πλατεία για κάθε ανεμογεννήτρια, θα έχουμε 11 πλατείες. Η συνολική επιφάνεια που θα καταλαμβάνουν οι πλατείες των Α/Γ θα είναι 73,000m².

Ως Προσωρινοί χώροι απόθεσης υλικών αλλά και ως Εργοταξιακοί χώροι θα χρησιμοποιηθούν οι πλατείες των Α/Γ.

5.3) ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΕΩΝ ΘΕΜΕΛΙΩΣΗΣ Α/Γ

Η θεμελίωση του πύργου καθορίζεται από το μέγεθος της ανεμογεννήτριας και από τις τοπικές εδαφικές συνθήκες. Όσον αφορά τη φόρτιση, αρχικά φορτίζονται τα υψηλότερα φορτία ώθησης του ρότορα που ασκούνται στην ανεμογεννήτρια, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη. Η πρώτη περίπτωση φόρτισης που πρέπει να ελεγχθεί είναι αυτή που αφορά τα υψηλότερα φορτία κατά τη διάρκεια λειτουργίας της. Κατά τη λειτουργίας, η μέγιστη ροπή κλίσης για τη θεμελίωση καθορίζεται από την ώθηση του ρότορα. Στις ανεμογεννήτριες με έλεγχο του βήματος των πτερυγίων, η ώθηση του δρομέα φτάνει στο μέγιστο της ονομαστικής ισχύος, ενώ στις ανεμογεννήτριες με έλεγχο ακινητοποίησης συνεχίζει να αυξάνεται ακόμη και μετά την επίτευξη της ονομαστικής ισχύος.

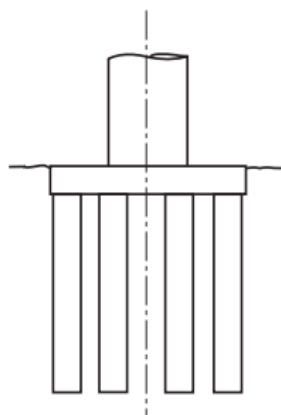
Μια δεύτερη περίπτωση φορτίου της ανεμογεννήτριας είναι στη μέγιστη ταχύτητα του ανέμου

Για τις ανεμογεννήτριες υπάρχουν 2 βασικοί τύποι θεμελίωσης:

- Επιφανειακή Θεμελίωση
- Βαθιάς Θεμελίωσης

5.3.1) Είδη Θεμελίωσης

Η βαθιά θεμελίωση με πασσάλους συχνά κάνει πιο αποτελεσματική την χρήση των υλικών από ό,τι σε μια επιφανειακή θεμελίωση. Όταν το έδαφος αποτελείται από χώμα(άργιλο) τότε χρησιμοποιείται βαθιά θεμελίωση με πασσάλους, έτσι ώστε να αντέξει τα φορτία που μεταφέρονται από την κατασκευή. Με τη χρήση γεωτρύπανου, ανοίγονται τρύπες στο έδαφος για να τοποθετηθούν οι πάσσαλοι. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει μια θεμελίωση που αποτελείται από ένα πέδιλο τσιμέντου που στηρίζεται σε οκτώ κυλινδρικούς πασσάλους τοποθετημένους κυκλικά. Η ροπή αντιστέκεται τόσο στα κατακόρυφα όσο και στα πλευρικά φορτία των πασσάλων. Κατά συνέπεια η διάταξη των πασσάλων πρέπει να είναι διατεταγμένη έτσι ώστε να παρέχει πλήρη ροπή μεταξύ των πασσάλων και στο πέδιλο.



Εικόνα 32: Βάση Θεμελίωσης με πασσάλους

Ωστόσο η πιο συνήθης μορφή θεμελίωσης είναι η επιφανειακή θεμελίωση και χρησιμοποιείται όταν το έδαφος είναι αρκετά ανθεκτικό για να αντέξει τα φορτία της ανεμογεννήτριας. Είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη το πόσο βαθιά βρίσκεται ο υδροφόρος ορίζοντας κάτω από το έδαφος. Η θεμελίωση αυτή αποτελείται από μια μεγάλη επιφάνεια σκυροδέματος στο κάτω μέρος της κατασκευής της ανεμογεννήτριας. Η περιοχή αυτή μπορεί να ποικίλλει από κυκλικό και ορθογώνιο πέδιλο ή από οχταγωνική ρηχή θεμελίωση.

Τα πέδιλα μπορεί να είναι επίπεδα ή κωνικά και συχνά τοποθετούνται ομόκεντρα κάτω από τον πύργο. Τα κωνικά πέδιλα θεμελίωσης απαιτούν συνήθως μικρότερη ποσότητα σκυροδέματος, οπότε είναι και πιο οικονομικά. Επιπλέον το κωνικό πέδιλο έχει ως αποτέλεσμα την μικρότερη καταπόνηση του οπλισμού του και διασφαλίζει ότι το νερό στα πέδιλα αποστραγγίζεται. Η μεγαλύτερη επιφάνεια και η μάζα της επιφανειακής θεμελίωσης παρέχει σταθερότητα και προστατεύει από ροπές ανατροπής.

Η βαθιά θεμελίωση έχει ως αποτέλεσμα οι εδαφικές δυνάμεις να βρίσκονται πιο κοντά στον πύργο, μειώνοντας την ροπή ανατροπής και επιτρέπει επίσης την ομαλότερη μετάβαση των δυνάμεων της κατασκευής στο έδαφος, έχοντας μεγάλη επιφάνεια επαφής η οποία εξασφαλίζει ότι δεν υπερβαίνει την φέρουσα ικανότητα του εδάφους. Αυτός ο τύπος θεμελίωσης είναι κατάλληλος ακόμη και για εδάφη με χαμηλότερη φέρουσα ικανότητα,

υπό την προϋπόθεση ότι το έδαφος είναι αρκετά σκληρό, ώστε να αποτρέπονται οι ανεπιθύμητες καθιζήσεις. Η θεμελίωση πρέπει να είναι σε θέση να αντιστέκεται με ασφάλεια στη ροπή κάμψης και τη διατμητική δύναμη που προκαλείται από τον πύργο με αποτέλεσμα να απαιτείται κατάλληλη λεπτομερής επεξεργασία και διαστασιολόγηση.



Εικόνα 33: Κυκλικό Πέδιλο Α/Γ



Εικόνα 34: Ορθογώνιο Πέδιλο

5.3.2) Θεμελίωση σε Βράχο

Η περιοχή στην οποία θα εγκατασταθεί το αιολικό πάρκο είναι βραχώδης και αποτελείται από υγιείς βράχους και η θεμελίωση των ανεμογεννητριών θα γίνει, με κυκλικής διατομής, πέδιλα. Για να καταλήξουμε σε αυτό τον τύπο θεμελίωσης, έχει προηγηθεί μια δειγματοληπτική γεώτρηση βάθους 20m και πλάτους 130mm, όπου εκτελέστηκαν εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό των φυσικών και μηχανικών παραμέτρων των σχηματισμών και τον προσδιορισμό του βάθους συνάντησης των υπογείων υδάτων.

Κατά τη διάρκεια της γεώτρησης η δειγματοληψία πραγματοποιήθηκε για την περίπτωση συνάντησης εδαφικών σχηματισμών “εν ξηρώ” με διακοπή παροχής υδάτων ή με χρήση ειδικού δειγματολήπτη τύπου Shelby, ενώ στην περίπτωση συνάντησης βραχωδών σχηματισμών με τη χρήση αδαμαντοκορώνας.



Εικόνα 35: Θεμελίωση σε Βράχο

5.3.3) Δυνάμεις Θεμελίωσης

Υπάρχουν πολλοί τύποι φορτίων που ασκούνται σε μια ανεμογεννήτρια που θεμελιώνεται σε ένα ρηχό θεμέλιο. Εκτός από το ίδιο το βάρος της και την πίεση επαφής με το έδαφος, ο πύργος μεταδίδει πίεση και ροπές στο έδαφος. Επιπλέον οι δυνάμεις του ανέμου που προκαλούνται από την περιστροφή των πτερυγίων, δημιουργούν κυκλικές φορτίσεις μεταβλητών παραμέτρων στο θεμέλιο.

Ο πύργος συνδέεται με το θεμέλιο μέσω του δακτυλίου αγκύρωσης ο οποίος λειτουργεί σαν άκαμπτη σύνδεση που επιτρέπει τη μεταφορά οριζόντιων και κατακόρυφων δυνάμεων αλλά και ροπών κάμψης και στρέψης. Οι οριζόντιες δυνάμεις προκαλούνται από πλευρικές δυνάμεις του ανέμου που δρουν κατά μήκος του ύψους του πύργου, ενώ οι κατακόρυφες δυνάμεις ασκούνται από το ίδιο το βάρος του πύργου και των εξαρτημάτων τους. Έτσι αυτές οι πλευρικές δυνάμεις προκαλούν ροπή ανατροπής στη θεμελίωση η οποία μπορεί να μετατοπίσει το κέντρο βάρους της ανεμογεννήτριας από την ισορροπία και να το ανατρέψει.

Το έδαφος ασκεί πίεση στο θεμέλιο στις περιοχές επαφής. Το έδαφος πρέπει να έχει επαρκή φέρουσα ικανότητα και περιστροφική δυσκαμψία για να παραλάβει τα μεταφερόμενα φορτία, χωρίς να προκαλεί υπερβολικές καθιζήσεις. Η περιστροφική δυσκαμψία του εδάφους αναφέρεται στην ικανότητά του να ελέγχει και να περιορίζει τις περιστροφές γύρω από τους οριζόντιους άξονες, αποτρέποντας την ανατροπή. Η οριζόντια δυσκαμψία του εδάφους απαιτείται επίσης για την αποτροπή της ολίσθησης. Ουσιαστικά, η συνδυασμένη δυσκαμψία του εδάφους και της κατασκευής ελέγχεται για να εξασφαλιστεί η ευστάθεια- η συνολική δυσκαμψία της θεμελίωσης εξαρτάται από τη δυσκαμψία και την αντοχή του εδάφους καθώς και από τα δομικά στοιχεία της θεμελίωσης

Σε αντίθεση με άλλους τύπους θεμελίων, τα επιφανειακά θεμέλια είναι πιο ογκώδη για να εξασφαλίσουν ομαλότερη μεταφορά των δυνάμεων στο έδαφος και αντιστέκονται στην ανατροπή. Ως εκ τούτου, το ίδιο βάρος της θεμελίωσης είναι πιο έντονο και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό. Εάν η θεμελίωση είναι επίπεδη πλάκα, τότε το ίδιο βάρος θα είναι ένα ομοιόμορφα κατανομημένο φορτίο. Ωστόσο, θεμέλια όπως το οκταγωνικό είναι κωνικά, με αποτέλεσμα η κατανομή του ίδιου βάρους να είναι υψηλότερη στις περιοχές όπου υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση μάζας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το βάρος του εδάφους επικάλυψης λαμβάνεται επίσης λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό. Το ίδιο βάρος της θεμελίωσης μειώνει την εκκεντρότητα της φόρτισης και ένα τμήμα του, το οποίο βρίσκεται πίσω από τη γραμμή μηδενικής ροπής, αντιστέκεται στη ροπή ανατροπής.

Η περιστροφή των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας λόγω του ανέμου προκαλεί κυκλική φόρτιση κόπωσης στη θεμελίωση, καθιστώντας την επιρρεπή σε αστοχία λόγω κόπωσης. Το μέγεθος και οι παράμετροι της εν λόγω φόρτισης διαφέρουν ανάλογα με τις ποικίλες ταχύτητες του ανέμου, την κατεύθυνση και την ποσότητα της τύρβης. Στη μία πλευρά του πύργου, όπου τα πτερύγια περιστρέφονται προς το θεμέλιο, ασκείται θλιπτική φόρτιση κόπωσης και στην άλλη πλευρά όπου τα πτερύγια απομακρύνονται από το θεμέλιο, προκύπτουν εφελκυστικές δυνάμεις κόπωσης. Η δύναμη του εδάφους μαζί με τη θλιπτική φόρτιση κόπωσης δημιουργούν ένα διατμητικό πεδίο στην απόσταση μεταξύ τους, προκαλώντας πιθανή διατμητική αστοχία κόπωσης του θεμελίου. Αυτός ο τύπος αστοχίας είναι κρίσιμος για τα επιφανειακά.

5.3.4) Καθορισμός Γεωμετρίας Θεμελίων

Το πρώτο βήμα για το σχεδιασμό του θεμελίου μετά τη λήψη των απαραίτητων πληροφοριών και φορτίων (δηλαδή διαφορετικών τύπων φορτίων και κρίσιμων συνδυασμών φορτίων) είναι η επιλογή των αρχικών διαστάσεων του. Οι διαστάσεις αυτές επιλέγονται συνήθως με βάση την εμπειρία και παρόμοια έργα. Τα θεμέλια που βασίζονται στη βαρύτητα έχουν συνήθως πλάτος 15 έως 20 μέτρα (ή ακτίνα 18 έως 24 μέτρα) και πάχος 1,5 έως 2,5 μέτρα και συνήθως ενσωματώνονται μεταξύ 2,4 και 5,0 μέτρων κάτω από το τελικό επίπεδο. Η θεμελίωση περιέχει μια κωνική πλάκα βάσης που συνδέεται άκαμπτα με ένα βάθρο, στο οποίο αγκυλώνεται ο πύργος. Οι βασικές παράμετροι της γεωμετρίας της θεμελίωσης παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.1.

$$W_f = \left[\frac{\pi P^2}{4} (H_p + H_2 - H_1) + \frac{1}{2} \frac{\pi(B^2 - P^2)}{4} (H_2 - H_1) + \frac{\pi B^2}{4} H_1 \right] \gamma_c \quad (5.2)$$

$$W_b = \left[\frac{1}{2} \frac{\pi(B^2 - P^2)}{4} (H_2 - H_1) + \frac{\pi(B^2 - P^2)}{4} H_p \right] \gamma_s \quad (5.3)$$

Όπου:

W_f = βάρος θεμελίωσης

W_b =βάρος επιχώματος

P =ακτίνα ή μήκος βάθρου

H_p = ύψος βάθρου

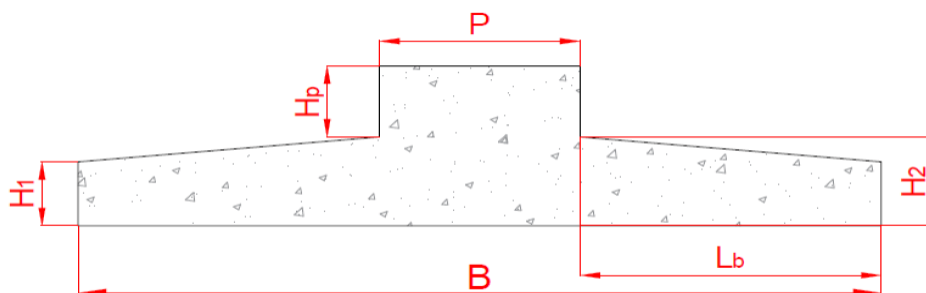
H_1, H_2 = ελάχιστο και μέγιστο πάχος πλάκας βάσης

L_b =κλίση κωνικότητας και η απόσταση από το άκρο του βάθρου έως εκείνο της θεμελίωσης

B =η συνολική ακτίνα ή μήκος θεμελίωσης

γ_c = μοναδιαίο βάρος σκυροδέματος

γ_s = μοναδιαίο βάρος εδάφους



Εικόνα 36: Βασικές Γεωμετρικές Παράμετροι της Θεμελίωσης

Πίνακας 25: Τιμές Παραμέτρων Θεμελίωσης

| | |
|-------------------------|---|
| P=5.5m | B=18m |
| H₁=4m | L_p=6.25m |
| H₂=5m | γ_c=24KN/m³ |
| H_p=3m | γ_s=19KN/m³ |

$$W_f = \left[\frac{\pi 5.5^2}{4} (3 + 5 - 4) + \frac{1}{2} \frac{\pi (18^2 - 5.5^2)}{4} (5 - 4) + \frac{\pi 18^2}{4} 4 \right] 24 = 29,478K \quad (5.4)$$

$$W_b = \left[\frac{1}{2} \frac{\pi (18^2 - 5.5^2)}{4} (5 - 4) + \frac{\pi (18^2 - 5.5^2)}{4} 3 \right] 19 = 15,342KN \quad (5.5)$$

Ο σχεδιασμός της πλάκας θεμελίωσης γίνεται βάση των χαρακτηριστικών που αναφέρονται και αναλύονται στους επόμενους πίνακες:

Πίνακας 26: Χαρακτηριστικά τσιμέντου

| C35/45 Ποιότητα Σκυροδέματος | | | |
|-------------------------------------|-----|----------|---|
| f_{cm} | Mpa | 35 | Μέση θλιπτική αντοχή σκυροδέματος σε 28 ημέρες |
| f_{ctm8} | Mpa | 2.7 | Εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος σε 28 ημέρες |
| E_{diff} | Mpa | 12,120.9 | Μέτρο Ελαστικότητας Επιβράδυνσης |
| E_{inst} | Mpa | 35,981.7 | Στιγμιαίο Μέτρο Ελαστικότητας |
| σ_b | Mpa | 21 | Θλιπτική Αντοχή σε θραύση SLS |
| σ_{buF} | Mpa | 19.8 | Θλιπτική Αντοχή σε θραύση θεμελίωσης ULS |
| σ_{buA} | Mpa | 25.9 | Θλιπτική Αντοχή σε θραύση θεμελίωσης τυχαία ULS |

Ο χάλυβας του δαχτυλιδιού που χρησιμοποιείται είναι:
S355NL/S355J2+N/S355NL+Z25.

Πίνακας 27: Χαρακτηριστικά Χάλυβα

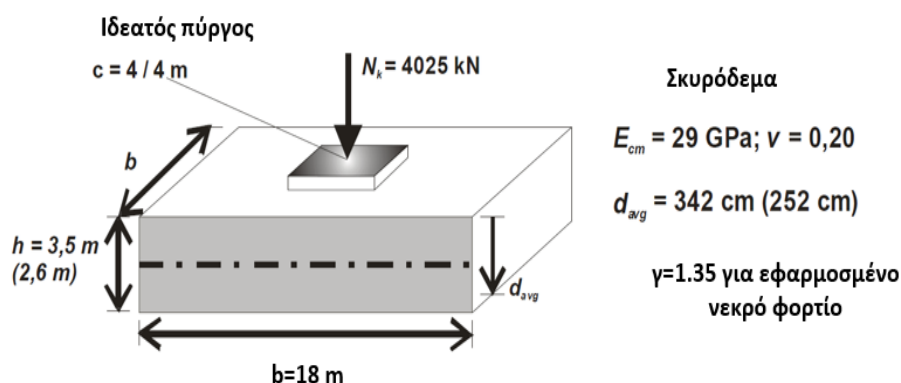
| Ποιότητα Χάλυβα | | | |
|---|-----|---------|----------------------|
| Πάχος Κελύφους 4cm S355NL/EN10025-2 | | | |
| f_y | Mpa | 345 | Πλαστική Παραμόρφωση |
| f_u | Mpa | 370 | Όριο διαρροής |
| E_a | Mpa | 210,000 | Μέτρο Ελαστικότητας |
| Πάχος κάτω φλάντζας 8cm S355NL+Z25/EN10025-2 | | | |
| f_y | Mpa | 325 | Πλαστική Παραμόρφωση |
| f_u | Mpa | 470 | Όριο διαρροής |
| E_a | Mpa | 210,000 | Μέτρο Ελαστικότητας |

5.3.5) Ελαστική Ανάλυση Πλάκας Θεμελίωσης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τον υπολογισμό των δυνάμεων σε τυπικές πλάκες θεμελίωσης ανεμογεννητριών. Η ανάλυση αυτή βασίζεται στη γραμμική ελαστική συμπεριφορά των δομικών υλικών και του εδάφους. Αρχικά θα ελέγξουμε την πλάκα θεμελίωσης όπου ασκείται ομόκεντρα η δύναμη από την ανεμογεννήτρια και στο δεύτερο μέρος θα αναλύσουμε, σύμφωνα με την δύναμη της ανεμογεννήτριας, τη στιγμή της ανατροπής.

Ομόκεντρο Φορτίο

Στην πραγματικότητα η θεμελίωση μας είναι κυκλική με κωνική διατομή. Ωστόσο σε αυτή την ανάλυση η δομή της θα είναι ορθογώνια (4m x 4m). Μελετώνται 2 διαφορετικά είδη πλακών με διαφορετικά πάχη. Οι πλάκες αντιπροσωπεύουν τυπικά τετραγωνικά θεμέλια για πύργο ανεμογεννητριών ύψους 105m. Στο σύστημα ασκείται ομόκεντρη δύναμη η οποία αντιστοιχεί στο νεκρό φορτίο από τον πύργο των ανεμογεννητριών.



Εικόνα 37: Ανάλυση Θεμελίωσης Πλάκας

Η μέγιστη τιμή κάμψης προς μια κατεύθυνση μπορεί να υπολογιστεί από την κατάσταση ισορροπίας:

$$M_{Ed} = \frac{N_d b}{8} = \frac{1.35 \times 4827 \times 18}{8} = 14662 \text{ kNm} \quad (5.6)$$

Διατμητική Τάση

h=3.5m

$$v_{Ed} = \frac{N_d}{A} \left(\frac{b}{2} - \frac{c}{2} - d_{avg} \right) = \frac{6516}{\pi 9^2} \left(\frac{18}{2} - \frac{4}{2} - 3.42 \right) = 72 \text{ kN/m} \quad (5.7)$$

h=2.6m

$$v_{Ed} = \frac{6516}{\pi^2} \left(\frac{18}{2} - \frac{4}{2} - 2.32 \right) = 94.12 \text{ kN/m} \quad (5.8)$$

Αυτή η αναπαράσταση του ελέγχου διάτμησης στο DIN 1045-1(2001)/11. Η διατμητική τάση που αντιπροσωπεύει την διάτρηση υπολογίζεται σε απόσταση $1.5d$ από την ιδεατό πύργο($u_{1.5d}$) με αφαίρεση 50% της άνω πίεσης του εδάφους που ασκείται στην περιοχή με περίμετρο ($A_{1.5d}$).

Διατρητική Τάση

h=3.5m

$$v_{Ed} = \frac{N_d - 0.5 \times \frac{N_d}{A} \times A_{1.5d}}{u_{1.5d}} = \frac{6516 - 0.5 \times \frac{6516}{18^2} \times 180.76}{48.29} = 97.29 \text{ kN/m} \quad (5.9)$$

h=2.6m

$$v_{Ed} = \frac{6516 - 0.5 \times \frac{6516}{18^2} \times 121.37}{39.75} = 133.22 \text{ kN/m} \quad (5.10)$$

Μια εναλλακτική μέθοδος αλλά παρ' όλα αυτά απλή θα ήταν απλώς να ληφθεί η κρίσιμη περίμετρος σε απόσταση $1,0d$ από την όψη του πύργου και να επιτραπεί η 100% αφαίρεση της ενεργού εδαφικής πίεσης εντός της περιοχής. Η προκύπτουσα δύναμη είναι τότε ισοδύναμη με την κύρια διατμητική δύναμη που ενεργεί κατά μήκος της περιμετρικής διατομής επιτρέποντας άμεσες συγκρίσεις και με αριθμητικές αναλύσεις, χωρίς την ανάγκη περίπλοκων και ανακριβών ολοκληρώσεων της αντίδρασης του εδάφους. Έχοντας πει τα παραπάνω, η διατρητική δύναμη διάτμησης σε απόσταση $1,0d$ από την επιφάνεια του πύργου ισούται με:

Διατρητική Τάση

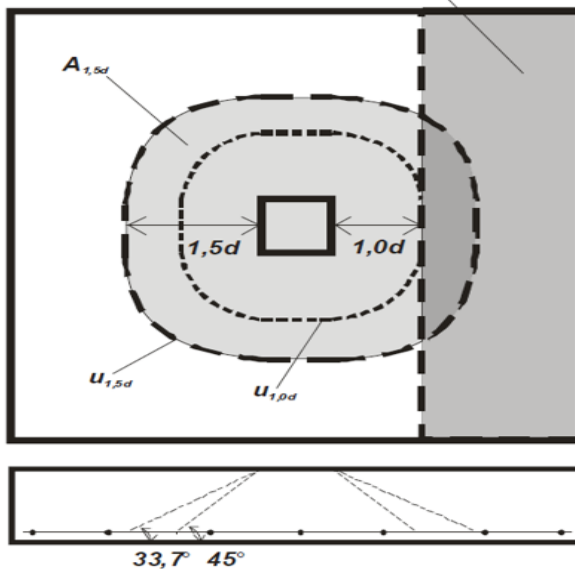
h=3.5m

$$v_{Ed} = \frac{N_d - \frac{N_d}{A} \times A_{1.0d}}{u_{1.0d}} = \frac{6516 - \frac{6516}{18^2} \times 107.5}{37.49} = 116.13 \text{ kN/m} \quad (5.11)$$

h=2.6m

$$v_{Ed} = \frac{6516 - \frac{6516}{18^2} \times 76.3}{31.83} = 156,50 \text{ kN/m} \quad (5.12)$$

Παραπλήσια αντίδραση για διάτμηση δράσης

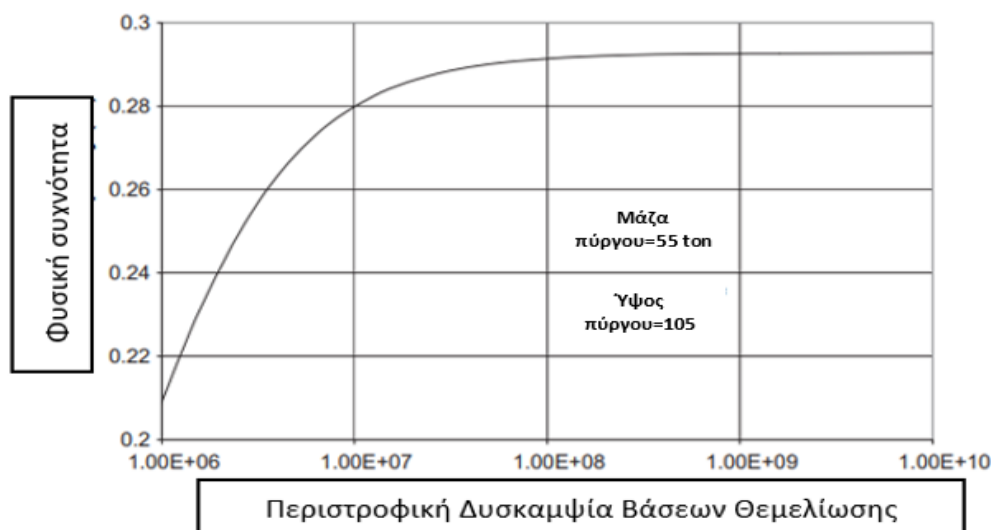


Εικόνα 38:Κρίσιμες τομές για διάτμηση και διάτμηση δοκού

5.3.6) Περιστροφική δυσκαμψία των Βάσεων Θεμελίωσης

Η εκτίμηση της περιστροφικής δυσκαμψίας των βάσεων θεμελίωσης των ανεμογεννητριών αποτελεί σημαντικό μέρος της διαδικασίας σχεδιασμού, λόγω της επίδρασής τους στη συχνότητα και, ως εκ τούτου, στη φόρτιση λόγω κόπωσης. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει την επίδραση της μεταβολής της περιστροφικής δυσκαμψίας του θεμελίου για έναν πύργο που φέρει μια τουρμπίνα 55 τόνων σε ύψος 105 μέτρων.

Διάγραμμα 17: Περιστροφική Δυσκαμψία Βάσεων Θεμελίωσης συναρτήσει της Φυσικής Συχνότητας



5.4)ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΤΙΡΙΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η εγκατάσταση λειτουργίας και επιχείρησης είναι ζωτικό μέρος ενός συστήματος ανεμογεννητριών. Το κτίριο ελέγχου στεγάζει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για τη συντήρηση του συστήματος και είναι υπεύθυνο τόσο για τη λειτουργία όσο και για τη συντήρηση των ανεμογεννητριών και όλων των εξαρτημάτων της. Το κτίριο επίσης παρακολουθεί συνέχεια την ηλεκτρική παραγωγή των ανεμογεννητριών. Στο κτίριο υπάρχει χώρος συντήρησης ο οποίος έχει όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό για τη συντήρηση των Α/Γ.

Στο αιολικό πάρκο θα κατασκευαστεί κτίριο ελέγχου εντός του οικοπέδου. Θα τοποθετηθεί σε θέση έτσι ώστε να έχουμε εικόνα ολόκληρου του αιολικού πάρκου. Ειδικότερα, το κτίριο ελέγχου θα εξυπηρετεί τις ανάγκες διασύνδεσης του Α/Π με τον υποσταθμό με την κατασκευή ειδικού χώρου εντός του κτιρίου, (Πινακοστάσιο Μέσης Τάσης), όπου θα εγκατασταθεί ο απαραίτητος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός του Α/Π.

Η κατασκευή θα γίνει ακολουθώντας τη σχετική νομοθεσία και τους κανονισμούς. Ο φέρων οργανισμός και η σκεπή του κτιρίου θα κατασκευαστούν από οπλισμένο σκυρόδεμα. Για την εξυπηρέτηση των οδεύσεων των καλωδίων ισχύος και ελέγχου στο Πινακοστάσιο Μέσης Τάσης θα κατασκευαστεί στο δάπεδο της αντίστοιχης αίθουσας, κανάλι καταλλήλων διαστάσεων για την εξυπηρέτηση εισόδου και εξόδου των καλωδίων. Η διαμόρφωση του καναλιού καλωδίων θα είναι τέτοια που να αποτρέπει την είσοδο υγρασίας στο κτίριο.

Γενικά, το δάπεδο του κτιρίου θα είναι επιστρωμένο με πλακίδια δαπέδου βαρέως τύπου. Οι εξωτερικές πόρτες του κτιρίου θα είναι βιομηχανικού τύπου. Θα έχουν ωφέλιμες διαστάσεις, (χρήσεως), επαρκείς για να διακινείται με ευχέρεια ο προς εγκατάσταση εξοπλισμός.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

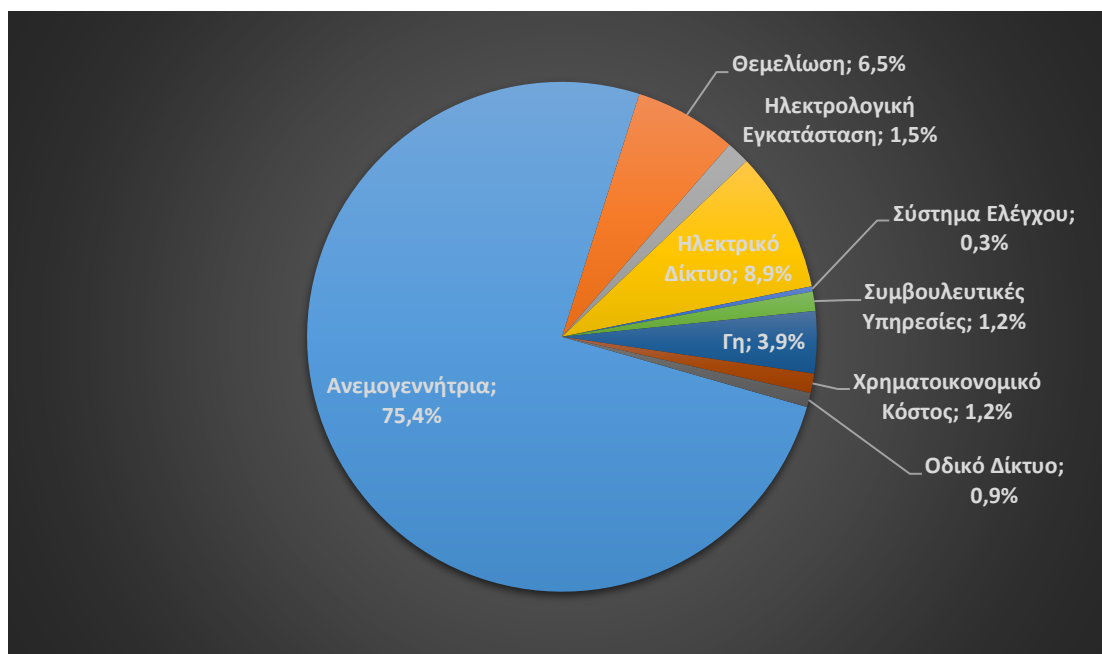
6.1) ΚΟΣΤΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Το συνολικό κόστος του αιολικού πάρκου προκύπτει από το άθροισμα των ακόλουθων δαπανών:

- Τη μελέτη σκοπιμότητας όπου περιλαμβάνει τα ανεμολογικά δεδομένα, την περιβαλλοντική μελέτη και τα οικονομικά μοντέλα.
- Τη μηχανική μελέτη, με τον κατασκευαστικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό.
- Τα τεχνικά έξοδα που σχετίζονται με την συμφωνία αγοράς ενέργειας, νομικές άδειες.
- Την αγορά ανεμογεννητριών.
- Το υπόλοιπο της εγκατάστασης που είναι η θεμελίωση, το οδικό δίκτυο, τα καλώδια Μέσης Τάσης και ο υποσταθμός.
- Λοιπά Έξοδα όπως το χρηματοοικονομικό κόστος και η ασφάλιση.

Στη συνέχεια όταν ολοκληρωθεί το αιολικό πάρκο και μπει σε λειτουργία, τότε δημιουργούνται και άλλα κόστη όπως αυτά της λειτουργίας και της συντήρησης.

Διάγραμμα 18 : Κόστος κατασκευής Α/Γ 4ΜW



6.1.1) Κόστος Ανεμογεννήτριας

Πτερύγιο

Το κόστος του πτερυγίου είναι το κόστος ενός μεμονωμένου πτερυγίου. Η μάζα του πτερυγίου δίνεται επίσης παρακάτω επειδή χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του κόστους άλλων εξαρτημάτων. Η σχέση της μάζας των πτερυγίων αναπτύχθηκε σύμφωνα με τη μελέτη WindPACT. Τα σχέδια αυτά βασίστηκαν σε μια ανεμογεννήτρια κλάσης III του IEC.

$$\text{Μάζα Πτερυγίου} = 0.1452R^{2.9158} = 42,586\text{kg}, \quad (6.1)$$

για κάθε πτερύγιο

Οπότε η **συνολική μάζα** των 3 πτερυγίων θα είναι 127,758kg

$$\text{Κόστος Πτερυγίου} = 0.5582R^3 + 3.8118R^{2.5025} - 955.24 = 422,238\text{€} \quad (6.2)$$

Πλήμνη Δρομέα

Σύμφωνα με τη μελέτη σχεδιασμού(WindPACT) του ρότορα, η πλήμνη υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Μάζα πλήμνης δρομέα} = 0,954 \times (\text{μάζα πτερυγίου}) + 5680.3 = 46,307\text{kg} \quad (6.3)$$

$$\text{Κόστος πλήμνης δρομέα} = \text{Μάζα πλήμνης δρομέα} \times 4.025 = 196,806\text{€} \quad (6.4)$$

Μηχανισμοί Βήματος και Ρουλεμάν

Το μοντέλο μηχανισμού βήματος ξεκίνησε με τα δεδομένα μελέτης σχεδιασμού ρότορα(WindPACT) και επαυξήθηκε με άλλα δεδομένα. Η μάζα του υπολογίστηκε ως συνάρτηση της μάζας του πτερυγίου(και τα 3 πτερύγια)

$$\text{Συνολική μάζα έδρασης βήματος} = 0.1295 \times (3 \times \text{Μάζα πτερυγίων}) + 491.31 = 17,036\text{kg} \quad (6.5)$$

$$\text{Συνολική μάζα συστήματος βήματος} = \text{συνολική μάζα ρουλεμάν} \times 1.328 + 555 = 17,591\text{kg} \quad (6.6)$$

Το κόστος του ρουλεμάν βήματος υπολογίστηκε ως συνάρτηση της διαμέτρου του ρότορα.

$$\text{Κόστος συνολικού βήματος} = 2.28 \times (0.2106 \times D^{2.6578}) = 291,768\text{€} \quad (6.7)$$

Κώνος Μύτης

$$\text{Μάζα κώνου μύτης} = 18.5 \times D - 520.5 = 2,255\text{kg} \quad (6.8)$$

$$\text{Κόστος κώνου μύτης} = \text{Μάζα κώνου μύτης} \times 5.57 = 12,560\text{€} \quad (6.9)$$

Άξονας Χαμηλής Ταχύτητας

Η μάζα και το κόστος του άξονα χαμηλής ταχύτητας προέκυψαν με βάση τη διάμετρο του ρότορα.

$$\text{Μάζα άξονα χαμηλής ταχύτητας} = 0.0142 \times D^{2.888} = 27,343 \text{ kg} \quad (6.10)$$

$$\text{Κόστος άξονα χαμηλής ταχύτητας} = 0.01 \times D^{2.887} = 191,591 \text{ €} \quad (6.11)$$

Κύρια Έδρανα

Η μάζα του κελύφους του ρουλεμάν θεωρήθηκε ότι είναι ίση με τη μάζα του ρουλεμάν.

$$\text{Μάζα εδράνου} = ((D \times 8) / 600 - 0.033) \times 0.0092 \times D^{2.5} = 4,987 \text{ kg} \quad (6.12)$$

$$\text{Κόστος συστήματος εδράνου} = 2 \times \text{Μάζα εδράνου} \times 17.6 = 175,542 \text{ €} \quad (6.13)$$

Κιβώτιο Ταχυτήτων

Το κόστος του κιβωτίου ταχυτήτων δίνεται παρακάτω ως συνάρτηση της ονομαστικής ισχύος της μηχανής, η οποία είναι η ίδια με την ισχύ της γεννήτριας. Το κόστος του κιβωτίου ταχυτήτων που δίνεται παρακάτω αφορά μόνο ένα τριτοβάθμιο κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο είναι το πιο δημοφιλές στις ανεμογεννήτριες. Ωστόσο, ορισμένοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν και άλλα σχέδια κιβωτίων ταχυτήτων.

$$\text{Κόστος κιβωτίου ταχυτήτων} = 16.45 \times MR^{1.249} = 551,574 \text{ €} \quad (6.14)$$

Όπου MR η ονομαστική ισχύς της Α/Γ (4200kW)

Μηχανικό Φρένο και λοιπά εξαρτήματα

$$\text{Κόστος φρένου} = 1.9894 \times MR - 0.1141 = 8,355 \text{ €} \quad (6.15)$$

Όπου MR η ονομαστική ισχύς της Α/Γ (4200kW)

Γεννήτρια

Το κόστος της γεννήτριας δίνεται παρακάτω ως συνάρτηση της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ. Αυτό το κόστος είναι μόνο για γεννήτρια τυλιγμένου δρομέα υψηλής ταχύτητας. Υπάρχει και για άλλες γεννήτριες, αλλά η γεννήτρια τυλιγμένου δρομέα υψηλής ταχύτητας σε συνδυασμό με ένα τριπλής κλίμακας κιβώτιο ταχυτήτων είναι ο συνηθέστερος τύπος.

$$\text{Μάζα γεννήτριας} = 6.47 \times MR^{0.9223} = 14.211 \text{ kg} \quad (6.16)$$

$$\text{Κόστος γεννήτριας} = 65 \times MR = 273,000 \text{ €} \quad (6.17)$$

Όπου MR η ονομαστική ισχύς της Α/Γ (4200kW)

Ηλεκτρονικά Συστήματα

Όλα τα σχέδια σε αυτό το μοντέλο θεωρείται ότι διαθέτουν μετατροπέα ισχύος ικανό να χειρίζεται την πλήρη ισχύ εξόδου. Αυτό επιτρέπει τόσο τη λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας όσο και τη λειτουργία χαμηλής τάσης. Όλοι οι μετατροπείς υπολογίζονται ως συνάρτηση της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ.

$$\text{Κόστος ηλεκτρονικού συστήματος}=79 \times MR=331,800\text{€} \quad (6.18)$$

Όπου MR η ονομαστική ισχύς της Α/Γ(4200kW)

Σύστημα Προσανατολισμού

$$\text{Μάζα συστήματος προσανατολισμού}=1.6 \times 0.0009 \times D^{3.314} = 23,438\text{kg} \quad (6.19)$$

$$\text{€ Κόστος συστήματος προσανατολισμού}=2 \times 0.0339 \times D^{2.964}=191,058 \quad (6.20)$$

Σύστημα Κεντρικού Υπολογιστή

Το κόστος του κεντρικού υπολογιστή δίνεται παρακάτω ως συνάρτηση της διαμέτρου του ρότορα. Το κόστος του κεντρικού υπολογιστή εξαρτάται από το σχεδιασμό του συστήματος κίνησης. Η συνάρτηση κόστους που δίνεται παρακάτω είναι για ένα τριτοβάθμιο ρότορα υψηλής ταχύτητας. Η μάζα του κεντρικού υπολογιστή δίνεται επίσης παρακάτω.

$$\text{Μάζα συστήματος κεντρικού υπολογιστή}=2.33 \times D^{1.953}=39,700\text{kg} \quad (6.21)$$

$$\text{€ Κόστος συστήματος κεντρικού υπολογιστή}=9.489 \times D^{1.953}=168,705\text{€} \quad (6.22)$$

Κιγκλιδώματα και Εξέδρες

$$\text{Μάζα κιγκλιδωμάτων και εξέδρων}=0.125 \times \text{Μάζα συστήματος κεντρικού υπολογιστή}=4,963\text{kg} \quad (6.23)$$

$$\text{€ Κόστος κιγκλιδωμάτων και εξέδρων}= \text{Μάζα κιγκλιδωμάτων και εξεδρών} \times 8.7=43,178\text{€} \quad (6.24)$$

Ηλεκτρικές Συνδέσεις

Οι ηλεκτρικές συνδέσεις συμπεριλαμβανομένων των διακοπών και τυχόν καλωδιώσεων του πύργου, που πήραμε από το WindPACT και υπολογίζονται ως 30€/kW της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ.

$$\text{Κόστος ηλεκτρικής σύνδεσης}=30 \times MR=126,000\text{€} \quad (6.25)$$

Όπου MR η ονομαστική ισχύς της Α/Γ(4200kW)

Υδραυλικά Συστήματα και συστήματα ψύξης

Οι εκτιμήσεις για το υδραυλικό σύστημα και το σύστημα ψύξης ελήφθησαν από τις εκθέσεις LWST. Η μάζα είναι συνάρτηση

της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ σε kW. Το κόστος είναι συνάρτηση της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ επί €/kW.

$$\text{Μάζα υδραυλικών συστημάτων και συστημάτων ψύξης} = 0.08 \times MR = 0.08 \times 4,200 = 336 \text{ kg} \quad (6.26)$$

$$\text{Κόστος υδραυλικών συστημάτων και συστημάτων ψύξης} = 10 \times MR = 10 \times 4,200 = 42,000 \text{ €} \quad (6.27)$$

Όπου MR η ονομαστική ισχύς της Α/Γ (4200kW)

Κάλυμμα Νασέλας

Το κόστος κάλυψης της νασέλας προέκυψε από τα δεδομένα της μελέτης του ρότορα στο WindPACT, τα δεδομένα του συστήματος μετάδοσης κίνησης και της έκθεσης LWST. Μια ενιαία συνάρτηση προέκυψε για όλα τα συστήματα μετάδοσης κίνησης, καθώς τα δεδομένα ήταν πολύ λίγα για να αναπτυχθούν μεμονωμένοι τύποι για διαφορετικά συστήματα μετάδοσης κίνησης. Οι υπολογισμοί είναι συνάρτηση της ονομαστικής ισχύος της Α/Γ σε kW. Η μάζα καλύμματος της νασέλας προέκυψε από το κόστος του καλύμματος της νασέλας. Το κόστος ανά kg για το κάλυμμα της νασέλας ελήφθη από τη μελέτη του ρότορα στο WindPACT.

$$\text{Κόστος καλύμματος νασέλας} = 11.537 \times MR + 3849.7 = 52,305 \text{ €} \quad (6.28)$$

$$\text{Μάζα καλύμματος νασέλας} = 52,305 \text{ kg} / 10 = 5,230 \text{ kg} \quad (6.29)$$

Όπου MR η ονομαστική ισχύς της Α/Γ (4200kW)

Πύργος

Το κόστος του πύργου δίνεται παρακάτω ως συνάρτηση της επιφάνειας περιστροφής του ρότορα και του ύψους της πλήμνης.

$$\text{Μάζα πύργου} = 0,3973 \times \text{εμβαδό που σαρώνεται από τα πτερύγια} \times \text{ύψος πλήμνης} - 1414 = 735,758 \text{ kg} \quad (6.30)$$

Παίρνουμε τιμή σιδήρου 1€/kg

$$\text{Κόστος πύργου} = 1 \text{ €/kg} \times 735,758 \text{ kg} = 735,758 \text{ €} \quad (6.31)$$

Θεμελίωση

$$\text{Κόστος Θεμελίωσης} = 303.24 \times (\text{εμβαδό που σαρώνεται από τα πτερύγια} \times \text{ύψος πλήμνης})^{0.4037} = 102,887 \text{ €} \quad (6.32)$$

Σύστημα Ελέγχου

Κόστος συστήματος ελέγχου=25,000€

Άρα αν αθροίσουμε όλα τα παραπάνω κόστη, συμπεραίνουμε ότι το συνολικό κόστος της ανεμογεννήτριας ανέρχεται στα 3,942,125€. Επομένως για 11 ανεμογεννήτριες το συνολικό κόστος θα είναι 43,363,375€.

6.1.2) Λοιπά Έξοδα

Μεταφορά Εξοπλισμού

Η εκτίμηση της μεταφοράς λήφθηκε από τη μελέτη WindPACT και είναι συνάρτηση της ονομαστικής ισχύος του μηχανήματος. Το κόστος αυτό αντικατοπτρίζει τις μεγάλες αυξήσεις κόστους που απαιτούνται για τις ανεμογεννήτριες των 3 έως 5 MW εάν μεταφερθούν και ανεγερθούν στην ξηρά.

$$\text{Συντελεστής κόστους μεταφοράς (€/kW)}=1.581 \times 10^{-5} \times MR^2 - 0.375 \times MR + 54.7 \quad (6.33)$$

$$\text{Κόστος μεταφοράς} = MR \times \text{Συντελεστής κόστους μεταφοράς} = 738,830 \text{€} \quad (6.34)$$

Όπου MR η ονομαστική ισχύς της Α/Γ(4200kW)

Οδικό Δίκτυο

$$\text{Συντελεστής οδικού δικτύου (€/kW)} = 2.17 \times 10^{-6} \times MR^2 - 0.0145 \times MR + 69.54 \quad (6.35)$$

$$\text{Κόστος οδικού δικτύου} = MR \times \text{Συντελεστής οδικού δικτύου} = 197,058 \text{€} \quad (6.36)$$

Όπου MR η ονομαστική ισχύς της Α/Γ(4200kW)

Συναρμολόγηση και Εγκατάσταση

$$\text{Κόστος συναρμολόγησης και εγκατάστασης} = 1.965 \times (\text{εμβαδό που σαρώνεται από τα πτερύγια} \times \text{ύψος πλήμνης})^{1.1736} = 165,688 \text{€} \quad (6.37)$$

Ηλεκτρική Σύνδεση με Δίκτυο Μέσης και Χαμηλής Τάσης

$$\text{Συντελεστής ηλεκτρικής σύνδεσης (€/kW)} = 3.49 \times 10^{-6} \times MR^2 - 0.0221 \times MR + 109.7 \quad (6.38)$$

$$\text{Κόστος ηλεκτρικής σύνδεσης} = MR \times \text{Συντελεστής ηλεκτρικής σύνδεσης} = 329,463 \text{€} \quad (6.39)$$

Όπου MR η ονομαστική ισχύς της Α/Γ(4200kW)



Διπλωματική Εργασία Τόσκας Κωνσταντίνος- Μάρης Λάμπρος
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ
ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ

Άδειες Μηχανικών

$$\begin{array}{llll} \text{Συντελεστής} & \text{άδειας} & \text{μηχανικών} & \text{(€/kW)=} \\ 9.94 \times 10^{-4} \times MR + 20.31 & & & (6.40) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Κόστος άδειας μηχανικών} = MR \times \text{Συντελεστής άδειας μηχανικών} & \\ = 102,836\text{€} & (6.41) \end{array}$$

Όπου MR η ονομαστική ισχύς της Α/Γ(4200kW)

Άρα αν αθροίσουμε όλα τα παραπάνω κόστη, συμπεραίνουμε ότι το συνολικό κόστος των λοιπών εξόδων ανέρχεται στα 1,533,875€. Επομένως για 11 ανεμογεννήτριες το συνολικό κόστος θα είναι 16,872,625€.

Συνεπώς το κόστος του αιολικού πάρκου θα ισούται με 60,236,000€.

6.2) ΙΣΟΣΤΑΘΜΙΣΜΕΝΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας είναι το πραγματικό κόστος παραγωγής μιας κιλοβατώρας(kWh) ηλεκτρικής ενέργειας. Περιλαμβάνει το συνολικό κόστος κατασκευής, την ετήσια παραγωγή ενέργειας και τα έτη λειτουργίας του αιολικού πάρκου.

$$\text{Ισοσταθμισμένο Κόστος Ενέργειας} = \sum \frac{\frac{\text{Συνολικό Κόστος}}{\text{Έτη λειτουργίας Α/Π}}}{\text{Ετήσια παραγωγή ενέργειας}} \quad (6.42)$$

$$\text{Ισοσταθμισμένο Κόστος Ενέργειας} = \frac{\frac{60,236,000}{20}}{187 \times 10^6 \text{ kWh}} = 0.026\text{€/kWh} \quad (6.43)$$

6.3) ΕΤΗΣΙΟ ΕΙΣΟΔΗΜΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

$$\text{Ετήσιο Εισόδημα} = \frac{E_{\text{net}}}{\text{yr}} \times EP \quad (6.44)$$

Όπου E_{net} =ενέργεια δικτύου και

EP=τιμή πώλησης ενέργειας στο δίκτυο

$$\text{Ετήσιο Εισόδημα} = (172,04 \times 10^6) \text{ kWh} \times 0,06 \frac{\text{Euro}}{\text{kWh}} = 8,602,000\text{€} \quad (6.45)$$

6.4) ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ

Ένα μέρος αυτής της μελέτης είναι να ληφθεί υπόψη η ωριαία χρόνο-εξαρτώμενη αποτίμηση της ηλεκτρικής ενέργειας για τον προσδιορισμό του βέλτιστου σχεδιασμού. Σε αυτή την περίπτωση, το ισοσταθμισμένο κόστος ενέργειας δεν αποτελεί κατάλληλο αξιολογικό μέγεθος. Χρειάζεται ένας δείκτης αξίας που να λαμβάνει υπόψη τα έσοδα. Η παρούσα μελέτη χρησιμοποιεί την απόσβεση. Η απόσβεση είναι ο αριθμός των ετών που απαιτούνται για την ανάκτηση του αρχικού κόστους κεφαλαίου μιας επένδυσης χωρίς προεξόφληση των μελλοντικών κερδών.

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι το μοντέλο αυτό θεωρεί ότι η ανεμογεννήτρια θα παράγει την ίδια ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χρόνο. Ως αποτέλεσμα, η ανάλυση αυτή υποθέτει σταθερή ροή εσόδων. Δεδομένου ότι η απόσβεση δεν λαμβάνει υπόψη το προεξοφλητικό επιτόκιο ή τη διάρκεια ζωής του έργου, ο βέλτιστος σχεδιασμός που προκύπτει με τη χρήση της ανάλυσης της απόσβεσης δεν θα εξαρτάται από αυτές τις τιμές. Η απόσβεση προτιμάται συχνά ως αριθμοδείκτης λόγω της απλότητάς της.

Η απόσβεση υπολογίζεται με την ακόλουθη εξίσωση:

$$\text{Απόσβεση} = \frac{\text{Κόστος Αιολικού Πάρκου}}{\text{Ετήσιο Εισόδημα}} = \frac{60,236,000}{8,602,000} = 7 \text{ χρόνια} \quad (6.46)$$

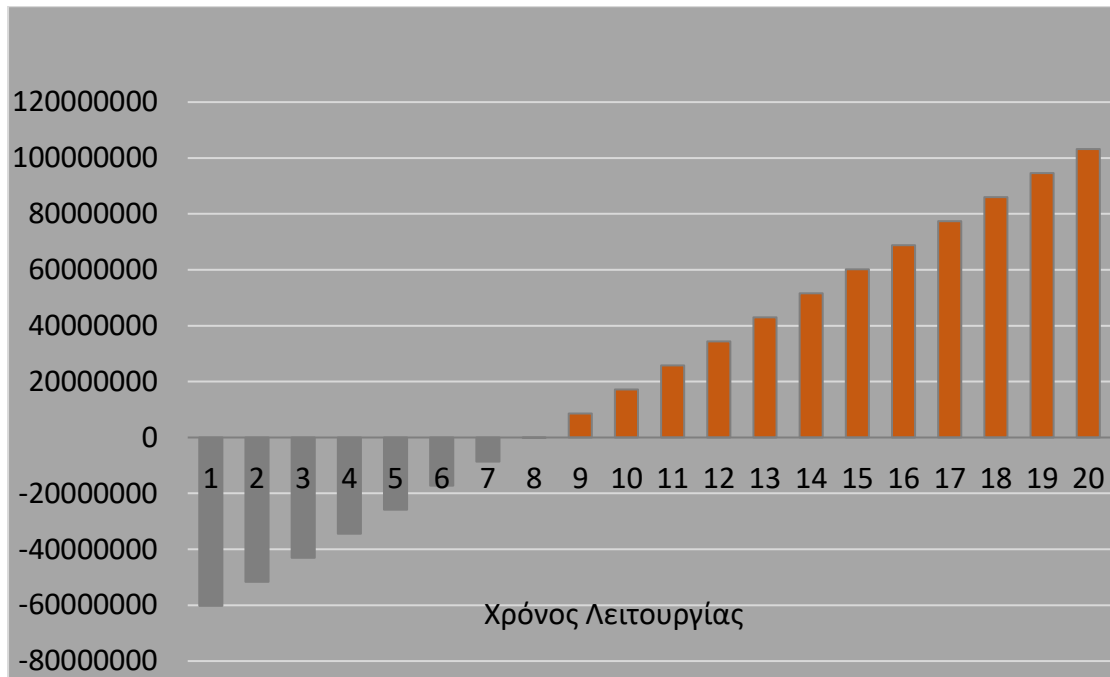
Επομένως η απόσβεση του έργου θα γίνει στα 6 χρόνια.

Η ανάλυση της χρηματοροής είναι μια χρήσιμη μέθοδος για τον υπολογισμό του οικονομικού αποτελέσματος ανά έτος. Δείχνει την χρηματοροή κατά τη διάρκεια της οικονομικής ζωής του έργου. Η τεχνική αυτή λαμβάνει εύκολα υπόψη της περίπλοκους παράγοντες όπως η κλιμάκωση των καυσίμων, η απόσβεση, το κόστος περιοδικής συντήρησης. Στην ανάλυση περιλαμβάνονται πληροφορίες σχετικά με την υπολογιζόμενη παραγωγή ενέργειας, την τιμή της ενέργειας, τα δάνεια, τα επιτόκια και άλλους παράγοντες που έχουν αντίκτυπο στην οικονομία του έργου, καθώς και τα ποσοστά πληθωρισμού και τις αυξήσεις στην τιμή αγοράς ενέργειας. Η εφαρμογή της εξίσωσης επιτρέπει τον υπολογισμό λεπτομερών πληροφοριών για κάθε έτος κατά μήκος του αιολικού πάρκου, ενώ η χρηματοροή θα πρέπει να είναι πάντα θετική.

$$\sum \text{Χρηματοροή}_N = \sum \text{Ετήσιο Εισόδημα}_N - \sum \text{Κόστους Αιολικού Πάρκου}_N \quad (6.47)$$

Όπου N τα έτη λειτουργίας του αιολικού πάρκου=20 έτη

Διάγραμμα 19: Χρηματοροή αιολικού πάρκου 44MW



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Wind energy handbook Tony Burton, David Sharpe, Nick Jenkins, εκδότης Chichester John Wiley & Sons, 2001
- 2) Wind power plants: fundamentals, design, construction and operation R.Gasch, J.Twele, εκδότης Solarpraxis, 2002
- 3) Wind energy explained: Theory, Design, and Application J.F. Manwell, J.G. McGowan, A.L. Rogers, εκδότης Chichester New York, 2002
- 4) Εργαστηριακές εφαρμογές ήπιων μορφών ενέργειας: Αιολική ενέργεια, ηλιακή ενέργεια, υδάτινο δυναμικό, βιομάζα, γεωθερμία, Ιωάννης Καλδέλλης Κοσμάς Καββαδίας, Αθήνα 2001
- 5) Ήπιες μορφές ενέργειας. Περιβάλλον και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Σωκράτης Καπλάνης, Αθήνα 2003
- 6) Ήπιες μορφές ενέργειας. Ηλιακή Μηχανική. Σωκράτης Καπλάνης, Αθήνα 2004
- 7) Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: δυναμικό και τεχνολογίες, Διονύσης Ασημακόπουλος, Θεσσαλονίκη 2015
- 8) Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας, Ιωάννης Καλδέλλης, εκδότης Αθ. Σταμούλης
- 9) Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων Για Το Αιολικό Πάρκο Ισχύος 44 Mw 'Αραχναίο Ι' Στη Θέση 'Κορμπούλορι / Μαύρη Ώρα / Τραπεζώνα', Δήμων Ναυπλιέων & Άργους-Μυκηνών Π.Ε. Αργολίδας & Δήμου Κορινθίων Π.Ε. Κορινθίας. by Rokas Renewables.
- 10) Wind Turbine Technology Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering, εκδότης David A. Spera
- 11) Wind Energy Technology, John Walker, Nicholas Jenkins
- 12) Tsoutsos, T., Tsitoura, I., Kokologos, D. & Kalaitzakis, K., 2014. Sustainable siting process in large wind farms case study in Crete. Renewable Energy, 29 October, pp. 474-480
- 13) Latinopoulos, D. & Kechagia, K., 2015. A GIS-based multi-criteria evaluation for wind farm site selection. A regional scale application in Greece. Renewable Energy, 6 February, pp. 550-560.
- 14) Kalogirou, S. A., 2014. Wind Energy Systems. In: Solar Energy Engineering (Second Edition). Oxford: Academic Press, p. 735–762.
- 15) IRENA, 2012. s.l.: International Renewable Energy Agency (IRENA).
- 16) Clark, R. N., 2014. Small Wind. Planning and Building Successful Installations. s.l.:Elsevier.



Διπλωματική Εργασία Τόσκας Κωνσταντίνος- Μάρης Λάμπρος
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ
ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ

- 17) Structural analysis of complex wind turbine blades : Flexo-Torsional Vibrational modes. Alejandro D. Otero, Fernando L. Ponta, Lucas I. Lago. s.l. : INTECH, 2012.
- 18) Optimization Design, Modeling and Dynamic Analysis for Composite Wind Turbine Blade. Fangfang Song, Yihua Ni, Zhiqiang Tan. 369-375, China : Procedia Engineering-ELSEVIER, 2011, Vol. 16.
- 19) PARAMETRIC STUDY FOR LARGE WIND TURBINE BLADES WindPACT Blade System Design Studies. TPI Composites, Inc. US : s.n., 2002.
- 20) Estimating Wind Turbines Mechanical Constants. A.G et A. Gonzalez Rodriguez, M. Burgos Payan. Espagne : s.n.
- 21) Analysis and design of the prototype of a steel 1 MW wind turbine tower. I. Lavassas, G. Nikolaidis, P.Zervas, E. Efthimiou, I.N. Doudoumis, C.C. Baniotopoulos. Greece : Engineering Structure, 2003
- 22) Optimisation of a steel tower for a wind turbine structure. P.E. Uys, J. Farkas, K. Jarmai, F. van Tonder. s.l. : Engineering structure, 2006.
- 23) Structural design optimisation of wind turbine towers. Hani M. Negm, Karam Y. Maalawi. Egypt : Computers and Structures - PERGAMON, 1999
- 24) Hassanzadeh, Manouchehr. Craks in onshore wind power foundations : Causes and consequences. Stockholm : Elforsk, 2012. 11:56.
- 25) Svensson, Henrik. Design of foundations for wind turbines. Sweden : Lund University, 2010
- 26) American Wind Energy Association. (2013, November). Anatomy of a Wind Turbine. Retrieved from American Wind Energy Association: <http://www.awea.org/Issues/Content.aspx?ItemNumber=5083>
- 27) Bowles, J. E. (1997). Foundation Analysis and Design; Fifth Edition. Singapore: The McGraw-Hill Companies, Inc.
- 28) Harrison, R.; Jenkins, G.; Cost Modeling of Horizontal Axis Wind Turbines. ETSU W/34/00170/REP. University of Sunderland, School of Environment, December 1993
- 29) Griffin, D. A. WindPACT Turbine Design Scaling Studies Technical Area 1 -- •Composite Blades for 80- to 120-Meter Rotor; 21 March 2000 - 15 March 2001. NREL/SR-500-29492. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, April 2001.
- 30) Smith, K. WindPACT Turbine Design Scaling Studies Technical Area 2: Turbine, Rotor and Blade Logistics; 27 March 2000 - 31 December 2000. NREL/SR-500-29439. Work performed by Global Energy Concepts, LLC, Kirkland, WA. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, June 2001.
- 31) WindPACT Turbine Design Scaling Studies Technical Area 3 -- Self-Erecting Tower and Nacelle Feasibility: March 2000 - March 2001.



Διπλωματική Εργασία Τόσκας Κωνσταντίνος- Μάρης Λάμπρος
ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΟ
ΑΡΑΧΝΑΙΟ ΑΡΓΟΛΙΔΑΣ

- (2001). NREL/SR-500-29493. Work performed by Global Energy Concepts, LLC, Kirkland, WA. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, May 2001.
- 32) Shafer, D. A.; Strawmyer, K. R.; Conley, R. M.; Guidinger, J. H.; Wilkie, D. C.; Zellman, T. F.; Bernadett, D. W. WindPACT Turbine Design Scaling Studies: Technical Area 4 -- Balance-of-Station Cost; 21 March 2000 - 15 March 2001. NREL/SR-500-29950. Work performed by Commonwealth Associates, Inc., Jackson, MI. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, July 2001.
- 33) Malcolm, D. J.; Hansen, A. C. WindPACT Turbine Rotor Design Study: June 2000--June 2002 (Revised). NREL/SR-500-32495. Work performed by Global Energy Concepts, LLC, Kirkland, WA; and Woodward Engineering, Salt Lake City, UT. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, April 2006 (revised).
- 34) Poore, R.; Lettenmaier, T. Alternative Design Study Report: WindPACT Advanced Wind Turbine Drive Train Designs Study; November 1, 2000 -- February 28, 2002. NREL/SR-500-33196. Work performed by Global Energy Concepts, LLC, Kirkland, WA. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory, August 2003.
- 35) Wind Turbine Design Cost and Scaling Model. L. Fingersh, M. Hand, and A. Laxson Technical Report NREL/TP-500-40566 December 2006
- 36) Design of Wind Turbine Foundations Slabs. Pekka Maunu
- 37) Burton, T. Wind Energy Handbook, 2. ed.; Wiley: Chichester, 2011.
- 38) Busby, R. L. Wind Power. The Industry Grows Up, 1st ed.; Pen Well Corporation: Tulsa, Oklahoma, 2012.
- 39) Chen, Y.; Yu, J.; Khan, S. Spatial sensitivity analysis of multi-criteria weights in GIS-based land suitability evaluation. Environmental Modelling & Software 2010, 25 (12), 1582–1591. DOI: 10.1016/j.envsoft.2010.06.001
- 40) EWEA. The Economics of Wind Energy: A report by the European Wind Energy Association [Online] 2009
- 41) Höfer, T.; Sunak, Y.; Madlener, R.; Siddique, H. Wind Farm Siting Using a Spatial Analytic Hierarchy Process Approach: A Case Study of the Städtereion Aachen. E.ON Energy Research Center [Online] 2014, 1–52.
- 42) Jain, P. Wind energy engineering; McGraw-Hill: New York, NY u.a., 2011.
- 43) Justus, C.; W, H.; Amir, M.; Denise, G. Methods for Estimating Wind Speed Frequency Distribution. Journal of Applied Meteorology [Online] 1977, N° 17.
- 44) Park, J. The Wind Power Book; Chesire Books; Florence: Palo Alto, Calif., 1981

- 45) Saaty, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 1977, 15 (3), 234–281. DOI: 10.1016/0022-2496(77)90033-5.
- 46) Saaty, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research* 1990, 48 (1), 9–26. DOI: 10.1016/0377-2217(90)90057-1.
- 47) Tegou, L.; Polatidis, H.; Haralambopoulos, A. Environmental management framework for wind farm siting: Methodology and case study. *Journal of Environmental Management* [Online] 2010, No. 91, 2134–2147
- 48) Zobaa, A. F.; Bansal, R. C. *Handbook of renewable energy technology*; World Scientific: Hackensack, NJ, 2011
- 49) AASHTO. *Roadside Design Guide, Fourth Edition with 2015 Errata, RSDG-4*. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2011
- 50) <https://www.windfarmbop.com/wp-content/uploads/2014/11/Correlazione-CBR-aggregate-thickness.pdf>
- 51) Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (<http://www.rae.gr/>)
- 52) Ηλεκτρονική Βιβλιοθήκη Συγγραμμάτων Πανεπιστημίου Πατρών - Νημερτής
- 53) (<http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/>)
- 54) Εθνική Στατιστική Υπηρεσία της Ελλάδας (www.esye.gr).
- 55) Εθνική Τράπεζα Υδρολογικής & Μετεωρολογικής Πληροφορίας Ε.Μ.Π., Δικτυακός τόπος (<http://ndbhmi.chi.civil.ntua.gr>)