

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ: ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 12MW (ΚΑΡΥΣΤΟΣ)**



**ΦΟΙΤΗΤΕΣ: ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΑΣΛΑΝΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ**

**ΠΑΤΡΑ ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2020**



## Ευχαριστίες

”Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας κ. Ανδρέα Βούρο κυρίως για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε, και την υπομονή που έκανε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας μας. Όπως επίσης και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση της, για την επίλυση διάφορων θεμάτων. Τέλος θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε και την οικογένεια μας καθώς τους ανθρώπους μας για την στήριξη που μας πρόσφεραν ο καθένας με τον τρόπο του.”

Κυριακόπουλος Ιωάννης

Ασλάνης Δημήτριος



## Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	- 2 -
Πίνακας περιεχομένων .....	- 3 -
Πίνακας Εικόνων .....	- 5 -
Κατάλογος Πινάκων.....	- 7 -
Περίληψη .....	- 8 -
Εισαγωγή.....	- 9 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ενέργεια.....	- 10 -
1.1 Εισαγωγή.....	- 10 -
1.2 Ορισμός Ενέργειας.....	- 10 -
1.2.1 Μορφές Ενέργειας.....	- 11 -
1.3 Ορισμός Αιολικής Ενέργειας.....	- 11 -
1.3.1 Πλεονεκτήματα.....	- 13 -
1.3.2 Μειονεκτήματα .....	- 13 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ).....	- 16 -
2.1 Ορισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .....	- 16 -
2.2 Μορφές Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) .....	- 16 -
2.3 Πλεονεκτήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.....	- 17 -
2.4 Μειονεκτήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας .....	- 17 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τύποι ανεμογεννητριών και τα μηχανικά τους μέρη.....	- 20 -
3.1 Τύποι ανεμογεννητριών.....	- 20 -
3.1.1: Α/Γ οριζοντίου άξονα.....	- 21 -
3.1.2 Ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα .....	- 22 -
3.1.3 Α/Γ τύπου Savonius.....	- 22 -
3.1.4 Α/Γ τύπου Darrieus .....	- 23 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αιολικό δυναμικό και χωροθέτηση Α/Γ .....	- 28 -
4.1 Εισαγωγή.....	- 28 -
4.2 Μετρήσεις Ανεμολογικών Χαρακτηριστικών Αιολικού Δυναμικού .....	- 29 -
4.2.1 Ισχύς του ανέμου .....	- 30 -
4.2.2 Μεταβολή ταχύτητας συναρτήσει του ύψους.....	- 31 -
4.2.3 Εκτίμηση αιολικού Δυναμικού από παραμόρφωση δέντρων.....	- 33 -
4.2.4 Κατανομή Weibull.....	- 34 -
4.3 Μορφολογία εδάφους .....	- 38 -



4.3.1 Επίπεδη επιφάνεια εδάφους .....	- 38 -
4.3.2 Ανώμαλη επιφάνεια εδάφους .....	- 40 -
4.4 Χωροθέτηση Αιολικού Πάρκου .....	- 41 -
4.4.1 Επιλογή Ανεμογεννήτριας .....	- 42 -
4.4.2 Χωροθέτηση Ανεμογεννητριών .....	- 42 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Οικονομική ανάλυση με το πρόγραμμα Retscreen .....	- 44 -
5.1 Εισαγωγή.....	- 44 -
5.2 Αρχή του προγράμματος -Εισαγωγή. ....	- 45 -
5.3 Ενεργειακό Μοντέλο. ....	- 51 -
5.3.1 Αξιολόγηση Πηγών.....	- 51 -
5.3.2 Τύπος Ανεμογεννήτριας.....	- 52 -
5.3.3 Περίληψη .....	- 55 -
5.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ.....	- 57 -
5.4.1 Ρυθμίσεις .....	- 57 -
5.4.2 Αρχικό κόστος.....	- 57 -
5.4.3 Ετήσια κόστη:.....	- 63 -
5.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ.....	- 63 -
5.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ .....	- 64 -
5.6.1 Οικονομικοί παράμετροι.....	- 64 -
5.6.2 Σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων/εσόδων .....	- 66 -
5.6.3 Ετήσια έσοδα .....	- 67 -
5.6.4 Οικονομική Βιωσιμότητα .....	- 68 -
5.6.5 Ετήσια Χρηματοροή .....	- 68 -
5.6.6 Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών .....	- 69 -
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα.....	- 71 -
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....	- 74 -
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	- 86 -



## Πίνακας Εικόνων

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ενέργεια

Εικόνα 1. Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας ..... - 10 -

Εικόνα 2. Αρχή λειτουργίας Ανεμογεννήτριας..... - 12 -

Εικόνα 3. Μέσες ταχύτητες άνεμου ανά δευτερόλεπτο, ..... - 12 -

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

Εικόνα 4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας ..... - 17 -

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τύποι ανεμογεννητριών και τα μηχανικά τους μέρη

Εικόνα 5. Τύποι ανεμογεννητριών. .... - 20 -

Εικόνα 6. Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα..... - 21 -

Εικόνα 7. Ανεμογεννήτρια τύπου Savonius ..... - 22 -

Εικόνα 8. Ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus ..... - 23 -

Εικόνα 9. Πύργος ανεμογεννήτριας ..... - 24 -

Εικόνα 10. Άτρακτος ανεμογεννήτριας ..... - 25 -

Εικόνα 11. Δρομέας-ρότορας ανεμογεννήτριας..... - 25 -

Εικόνα 12. Ανεμογεννήτρια τριών πτερυγίων ..... - 26 -

Εικόνα 13. Ηλεκτρογεννήτρια ανεμογεννήτριας..... - 26 -

Εικόνα 14 Σύστημα Προσανατολισμού Ανεμογεννήτριας. .... - 27 -

Εικόνα 15. Μηχανικά μέρη ανεμογεννήτριας. .... - 27 -

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αιολικό δυναμικό και χωροθέτηση ΑΓ

Εικόνα 16. Μετεωρολογικός ιστός ..... - 28 -

Εικόνα 17. Σκαρίφημα Μετεωρολογικού Ιστού ύψους 40 μέτρων ..... - 29 -

Εικόνα 18. Ανεμογεννήτριες Νότιας Εύβοιας..... - 30 -

Εικόνα 19. Διαθέσιμη ισχύς ανέμου..... - 31 -

Εικόνα 20. Ταχύτητα ανέμου συναρτήσει ισχύος ανέμου-ύψους  
ανεμογεννήτριας..... - 32 -

Εικόνα 21. Όριο Bentz..... - 33 -

Εικόνα 22. Παραμορφώσεις σχήματος κωνικών δέντρων κατά Griggs- Putnan... - 33 -

Εικόνα 23. Παραμορφώσεις σχήματος οβάλ δέντρων κατά Barcsh ..... - 33 -

Εικόνα 24. Κατανομή χαμηλού αιολικού δυναμικού..... - 36 -

Εικόνα 25. Κατανομή μέτριου αιολικού δυναμικού..... - 36 -

Εικόνα 26. Κατανομή Weibull υψηλού αιολικού δυναμικού..... - 37 -

Εικόνα 27. Παράδειγμα ροδογράμματος ..... - 37 -

Εικόνα 28. Επίπεδο έδαφος με εμπόδια..... - 38 -

Εικόνα 29. Παράδειγμα προσπίπτουσας ροής ανέμου σε οξεία γωνία κτηρίου. ... - 39 -

Εικόνα 30. Κτηριακό εμπόδιο στο ρεύμα αέρα. .... - 39 -

Εικόνα 31. Παράδειγμα τυπικής λοφοσειράς ..... - 40 -

Εικόνα 32. Παράδειγμα τύπου περασμάτων και διάσελων..... - 41 -

Εικόνα 33. Τοποθεσία εγκατάστασης ανεμογεννητριών..... - 41 -

Εικόνα 34. Αποστάσεις μεταξύ ανεμογεννητριών..... - 43 -

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Οικονομική ανάλυση με το πρόγραμμα Retscreen

Εικόνα 35. Ροδογράμμα Καρύστου ..... - 47 -

Εικόνα 36. Μέσος όρος θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στην Κάρυστο ..... - 49 -



Εικόνα 37. Νεφελώδης, αίθριος και ήμερες βροχόπτωσης.....	- 49 -
Εικόνα 38. Μέγιστες θερμοκρασίες.....	- 50 -
Εικόνα 39. Ταχύτητα ανέμου .....	- 50 -
Εικόνα 40. RETScreen Καμπύλη ισχύος του ανεμοστρόβιλου .....	- 54 -
Εικόνα 41. RETScreen Διάγραμμα αθροιστικών χρηματορροών .....	- 69 -
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα</b>	
Εικόνα 42. RETScreen Διάγραμμα αθροιστικών χρηματορροών (8*1650 KW)....	- 72 -
Εικόνα 43. RETScreen Διάγραμμα αθροιστικών χρηματορροών (4*3000KW).....	- 73 -



## Κατάλογος Πινάκων

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αιολικό δυναμικό και χωροθέτηση ΑΓ

Πίνακας 1. Τιμές για τον εκθετικό συντελεστή και το μήκος τραχύτητας .....	- 32 -
Πίνακας 2. Εκτίμηση μέσης ετήσιας ταχύτητας μια περιοχής με βάση τους δείκτες παραμόρφωσης δέντρων Griggs-Putnan και Barsch.....	- 34 -
Πίνακας 3. Παράμετροι c,k ως προς διάφορες περιοχές της Ελλάδας .....	- 35 -

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Οικονομική ανάλυση με το πρόγραμμα RetScreen

Πίνακας 4. RETScreen Φύλλο Εκκίνησης .....	- 45 -
Πίνακας 5. RETScreen Κλιματικά Δεδομένα Καρύστου.....	- 46 -
Πίνακας 6. Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ανέμου, Πηγή: TOTEE.....	- 46 -
Πίνακας 7.Ετήσιες ώρες ανέμου ανά διεύθυνση.....	- 48 -
Πίνακας 8. RETScreen Αξιολόγηση Πηγών.....	- 51 -
Πίνακας 9. Τιμή Ενέργειας, Πηγή: ΔΕΣΜΗΕ.....	- 52 -
Πίνακας 10. RETScreen Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ανεμογεννήτριας.....	- 52 -
Πίνακας 11. RETScreen Δεδομένα ενεργειακής καμπύλης ανεμογεννήτριας.....	- 53 -
Πίνακας 12. Απώλειες και Διαθεσιμότητα .....	- 55 -
Πίνακας 13. RETScreen περίληψη .....	- 56 -
Πίνακας 14. RETScreen Δεδομένα.....	- 56 -
Πίνακας 15. Κατηγορίες κόστους υποσταθμού.....	- 61 -
Πίνακας 16. Κόστος συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας .....	- 61 -
Πίνακας 17. Κόστος ισοζυγίου συστήματος & διάφορα .....	- 63 -
Πίνακας 18 Ετήσια κόστη (πιστώσεις) .....	- 63 -
Πίνακας 19. Ανάλυση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.....	- 64 -
Πίνακας 20. RETScreen Οικονομικοί Παράμετροι .....	- 66 -
Πίνακας 21. RETScreen Σύνοψη κόστους και αποταμιεύσεων/εσόδων .....	- 67 -
Πίνακας 22. RETScreen Ετήσια έσοδα.....	- 67 -
Πίνακας 23. RETScreen Οικονομική Βιωσιμότητα.....	- 68 -
Πίνακας 24. RETScreen Ετήσια χρηματοροπή.....	- 68 -

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα

Πίνακας 25. RETScreen Σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων/εσόδων (8X1650KW).....	- 71 -
Πίνακας 26. RETScreen Σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων/εσόδων (4*3000 KW) .....	- 72 -
Πίνακας 27. RETScreen Ετήσια έσοδα-έξοδα-κέρδη.....	- 73 -



## Περίληψη

Η διπλωματική εργασία αποτελείται συνολικά από 6 κεφάλαια με την εξής δομή:

Στο Κεφάλαιο 1 γίνεται η ανάλυση της ενέργειας. Γίνεται η περιγραφή του ορισμού της μαζί με τις μορφές ενέργεια που υπάρχουν, καθώς και τα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας.

Το Κεφάλαιο 2 αναφέρεται στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Τί είναι τελικά ΑΠΕ , ποιες μορφές είναι ΑΠΕ και αναλύονται τα θετικά και αρνητικά των Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στο Κεφάλαιο 3 γίνεται η γνωριμία με τις Ανεμογεννήτριες. Θα συναντήσουμε κάποιους τύπους Α/Γ και αναλύονται μαζί με τα μηχανικά τους μέρη.

Το Κεφάλαιο 4 αναφέρει το αιολικό δυναμικό πως γίνεται η Χωροθέτηση των Α/Γ σε ένα αιολικό πάρκο αλλά και τι παράγοντες υπάρχουν για να γίνει εγκατάσταση του πάρκου. Επίσης θα ασχοληθεί με τη μορφολογία του εδάφους και πώς γίνεται η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού

Στο κεφάλαιο 5 θα γίνει η τεχνοοικονομική ανάλυση του αιολικού πάρκου με τη βοήθεια του προγράμματος RETScreen. Θα αναλυθεί πως χρησιμοποιείται το πρόγραμμα, τι τύπος ανεμογεννήτριας θα χρησιμοποιηθεί , ανάλυση εκπομπών και στο τέλος θα υπάρχει η καμπύλη ευαισθησίας και η επεξήγησή της.

Το Κεφάλαιο 6 όπου είναι και το τελευταίο θα αναφέρει τα συμπεράσματα που προκύπτουν μέσα από το πρόγραμμα RETScreen όπως διαγράμματα αθροιστικών χρηματοροών, ετήσια έσοδα και έξοδα για ένα βιώσιμο αιολικό πάρκο καθώς και παραλλαγές στον αριθμό Α/Γ αν θα ήταν πιο αποτελεσματικό η όχι. Στο τέλος του κεφαλαίου 6 υπάρχει ένα παράρτημα με την Ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιήθηκε με όλα της τα χαρακτηριστικά αναλυμένα.





## Εισαγωγή

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας γίνονται όλο και πιο αναγκαίες στην εποχή που βρισκόμαστε δημιουργώντας έτσι την ανάγκη για τη συνεχή ανάπτυξη μεθόδων παραγωγής ενέργειας. Μία από τις σημαντικότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας θεωρείται η αιολική ενέργεια καθώς η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια επιτυγχάνεται με τις ανεμογεννήτριες. Συγκεκριμένα στην χώρα μας το αιολικό δυναμικό σύμφωνα με πηγές της ΔΕΗ, έχει την ικανότητα να καλύψει έως και 15% των ενεργειακών αναγκών της χώρας σε ηλεκτρικό ρεύμα. Ωστόσο μαζί με τις άλλες ανανεώσιμες μορφές ενέργειας η αιολική ενέργεια μπορεί να συμβάλει στην προσπάθεια αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής, αφού απελευθερώνει στην ατμόσφαιρα ρύπους που επιδεινώνουν το νομοτελικό ρόλο του φαινομένου του θερμοκηπίου. Εκτιμάται ότι πως κάθε ΚWh αιολικής ενέργειας μειώνει την εκπομπή των αερίων θερμοκηπίου κατά 1kg το διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), 0.0015 kg τα οξείδια του Αζώτου (NO<sub>x</sub>) και 0.012 kg το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>). Εκτιμάται ότι το 2100 οι ΑΠΕ θα έχουν καλύψουν το 70% της παγκόσμιας ενεργειακής κατανάλωσης. Επιπλέον, η ΕΕ στη δέσμη μέτρων, που υιοθετεί το 2008 για το κλίμα και την ενέργεια, προβλέπει μείωση των ΑΤΘ κατά 20% και συμμετοχή 20% των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση ενέργειας, ως το 2020. Στο πλαίσιο αυτό, η Ελλάδα καλείται να αυξήσει τη διείσδυση των ΑΠΕ στην τελική ενεργειακή κατανάλωση σε 18% έως το 2020. Η συμβολή της αιολικής ενέργειας στην επίτευξη των παραπάνω στόχων αναμένεται καθοριστική, αφού σύμφωνα με πρόσφατες μελέτες υπάρχει πλανήτη μας αρκετή ενέργεια μέσω των ανέμων για να καλυφθούν όλες οι παγκόσμιες ενεργειακές ανάγκες. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι βέβαια να υπάρξει η ανάλογη πολιτική βούληση υπέρ της αιολικής ενέργειας και, παράλληλα, αναγκαίες τεχνολογικές βελτιώσεις.

Συγκεκριμένα κεντρικός σκοπός της παρούσης πτυχιακής εργασίας είναι κατανόηση της έννοιας της ενέργειας και των μορφών της αλλά στη συνέχεια γίνεται λόγος και για την μελέτη ενός αιολικού πάρκου στην περιοχή της Εύβοιας και ειδικότερα στην Κάρυστο. Επιπλέον με την βοήθεια του προγράμματος RETScreen γίνεται τεχνική ανάλυση του τρόπου δημιουργίας του αιολικού πάρκου καθώς και της οικονομικής ανάλυσης αυτού αφού πραγματοποιείται η αποτίμηση της ενεργειακής παραγωγής και της εξοικονόμησης ενέργειας, το κόστος κύκλου ζωής του έργου, η μείωση των εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου αλλά και η ενεργειακή απόδοση του αιολικού πάρκου.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Ενέργεια

### 1.1 Εισαγωγή

Η ενέργεια αποτελεί βασικό αγαθό πρώτης ανάγκης για τον άνθρωπο εφόσον απαιτείται για την ανάπτυξη του πολιτισμού του και συνάμα και την διευκόλυνση της ζωής του. Όσο επιδιώκει τα δύο προαναφερθέντα στοιχεία σε τόσο μεγαλύτερες ποσότητες χρειάζεται την ενέργεια. Αυτό συμβαίνει για το λόγο ότι στην σημερινή εποχή όλα όσα συμβαίνουν γύρω μας σχετίζονται με το φαινόμενο που αποκαλείται "ενέργεια" καθώς το γεγονός ότι ο άνθρωπος περπατάει, ότι τα αυτοκίνητα κινούνται, ότι τα αεροπλάνα πετούν καθημερινά, ότι η ηλιακή ακτινοβολία θερμαίνει τα σώματα στα όποια προσπίπτει πάνω είναι ενέργεια η όποια εμφανίζεται με διαφορετική μορφή. Έτσι επειδή η κατά κεφαλήν ζήτηση άρα και κατανάλωση της ενέργειας κατά κύριο λόγο τους τελευταίους δύο αιώνες έχει αυξηθεί κατά μεγάλο ποσοστό, η οποία καλυπτόταν από τα ορυκτά καύσιμα όπως για παράδειγμα το 2005 όπου κάλυπταν το 80% της κατανάλωσης της ενέργειας, οι βλέψεις έχουν στράψει στην διεύρυνση της χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας σε συνδυασμό με την Ορθολογική Χρήση και την Εξοικονόμηση Ενέργειας.



Εικόνα 1. Εναλλακτικές Μορφές Ενέργειας Πηγή: [nea-acropolis-athens.gr](http://nea-acropolis-athens.gr)

### 1.2 Ορισμός Ενέργειας.

Κάθε φυσικό σύστημα πάνω στην γή περιέχει ή εναλλακτικά αποθηκεύει μια ποσότητα γνωστή ως "ενέργεια". Συνεπώς ενέργεια καλείται η ικανότητα ενός σώματος ή συστήματος να παράγει έργο. Η ενέργεια χαρακτηρίζεται τόσο στην θεωρία όσο και στην πράξη, περισσότερο ως μια λογιστική έννοια, που δίνει την δυνατότητα πρόβλεψης της εξέλιξης ή της κίνησης ενός συστήματος. Ορίζεται σαν το ποσό του έργου που απαιτείται προκειμένου το σύστημα να πάει από μια αρχική σε μια τελική κατάσταση. Ακριβώς πόσο ενέργεια περιέχεται σε ένα σύστημα μπορεί να υπολογισθεί παίρνοντας το άθροισμα ή το ολοκλήρωμα ενός αριθμού ειδικών



εξισώσεων, καθεμιά από τις οποίες δίνει την ενέργεια που έχει αποθηκευτεί κατά έναν ιδιαίτερο τρόπο.

### 1.2.1 Μορφές Ενέργειας

Η μελέτη της ενέργειας χαρακτηρίζεται από την πολυπλοκότητα της αλλά προσεγγίζεται και αισθητοποιείται από τις ιδιότητες που έχουν σε σχέση με τον τρόπο τον οποίο έχει αποκτηθεί, ανταλαχθεί ή αποθηκευτεί. Συνεπώς και σύμφωνα με τα παραπάνω μπορούμε να μιλάμε για τις παρακάτω γνωστές μορφές ενέργειας:

- Η κινητική ενέργεια που έχει ένα σώμα λόγω της ταχύτητάς του
- Η φωτεινή ενέργεια που έχει το φως
- Η ηχητική ενέργεια που μεταφέρει ο ήχος
- Η πυρινική ενέργεια που περικλείεται στον πυρήνα του ατόμου και ελευθερώνεται με την διάσπαση του
- Η θερμική ενέργεια που σχετίζεται με την θερμοκρασία του σώματος
- Η χημική ενέργεια που υπάρχει στις χημικές ουσίες και απελευθερώνεται με τις χημικές αντιδράσεις. Παραδείγματα αντικειμένων που περικλύουν χημική ενέργεια είναι τα τρόφιμα, τα καύσιμα, οι μπαταρίες κ.α.
- Η δυναμική ενέργεια που έχει ένα σώμα λόγω της παραμόρφωσης του ή λόγω της θέσης του (ύψος). Όπως για παράδειγμα τα ελάτηρια που παραμορφώνονται με συμπίεση περικλύουν δυναμική ενέργεια η οποία ελευθερώνεται μόλις επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση.

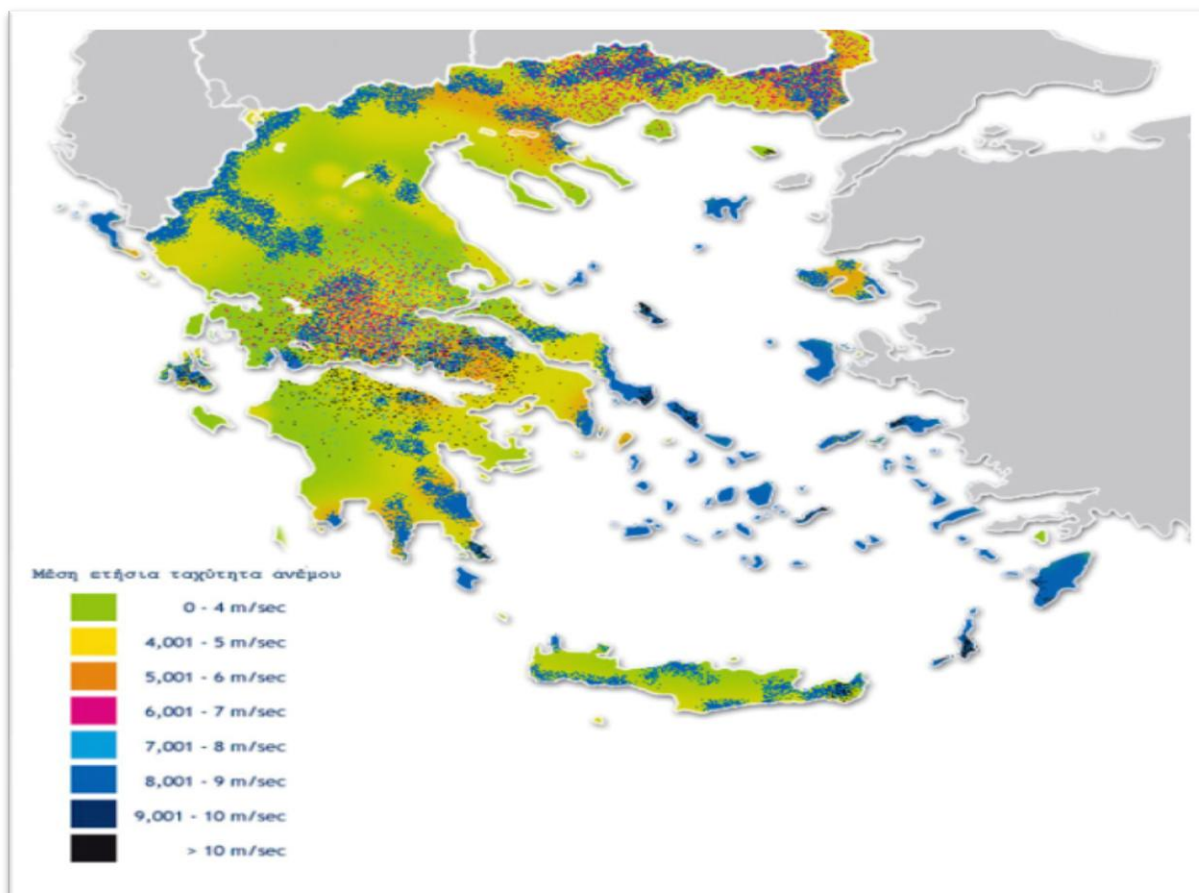
Αξίζει να σημειωθεί επίσης ότι η ενέργεια δεν παράγεται ούτε καταστρέφεται. Αυτό σημαίνει ότι η ενέργεια του σύμπαντος είναι σταθερή και όταν μια μορφή ενέργειας εξαφανίζεται πρέπει στην θέση της να εμφανιστεί μια άλλη μορφή ενέργειας με το ίδιο ποσό όπως αναφέρει χαρακτηριστικά το πρώτο θερμοδυναμικό αξίωμα.

### 1.3 Ορισμός Αιολικής Ενέργειας

“Αιολική” ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του ανέμου συνήθως με τη χρήση ανεμογεννητριών. Οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε θέσεις που φυσούν ικανοποιητικοί άνεμοι όπου οι άνεμοι αυτοί περιστρέφουν τους έλικες των ανεμογεννητριών με αποτέλεσμα να παράγεται ηλεκτρική ενέργεια. Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, περιλαμβάνεται στις «καθαρές» πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους και είναι πρακτικά ανεξάντλητη. Αν υπήρχε η δυνατότητα, με τη σημερινή τεχνολογία, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό αιολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα (Αιολική ενέργεια, ΚΑΠΕ 1998). Υπολογίζεται ότι στο 25 % της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1 m/sec, σε ύψος 10 m πάνω από το έδαφος.



Εικόνα 2. Αρχή λειτουργίας Ανεμογεννήτριας  
Πηγή: <https://medilab.pme.duth.gr/invonio/operating-principle.html>



Εικόνα 3. Μέσες ταχύτητες άνεμου ανά δευτερόλεπτο,  
Πηγή: <https://medilab.pme.duth.gr/invonio/wind-power.html>



### 1.3.1 Πλεονεκτήματα

Η αιολική ενέργεια παρουσιάζει μια πλειάδα πλεονεκτημάτων που αξίζει να σημειωθούν. Αυτά είναι τα εξής:

- Το "καύσιμο" στην προκείμενη περίπτωση ο άνεμος είναι άφθονο και δωρεάν.
- Δεν εκλύονται στην ατμόσφαιρα αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και έτσι οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Χαρακτηριστικά όπως θα φανεί και σε παρακάτω κεφάλαιο με αναλυτική ανάλυση η χρήση μιας ανεμογεννήτριας 2000KW, σε κανονικές συνθήκες αποτρέπει την ελευθέρωση 2460 τόνων CO<sub>2</sub> ετησίως που ισοδυναμεί με 1,056,994 μη καταναλωθέντα λίτρα βενζίνης ή 5721μη καταναλωθέντα λίτρα Αργου πετρελαίου.
- Τα οικονομικά οφέλη μια περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα
- Η αιολική ενέργεια είναι η φθηνότερη μορφή ενεργείας σήμερα αφού κυμαίνεται από 87-95 €/MWh (ανάλογα το αν είναι διασυνδεδεμένο στο σύστημα η βρίσκεται σε μη διασυνδεδεμένα νησιά το αιολικό πάρκο)
- Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να εγκατασταθούν σε αγροκτήματα η γενικά σε αγροτικές περιοχές, όπου βρίσκουμε συνήθως και τις ιδανικές περιοχές από θέμα ταχύτητας άνεμου με αποτέλεσμα να συμβάλουν στην αύξηση της οικονομίας των αγροτικών περιοχών αφού οι εταιρίες νοικιάζουν με ικανοποιητικά ποσά τους χώρους αυτούς. Επίσης οι αγρότες θα μπορούν να συνεχίσουν την δουλειά τους καθώς οι ανεμογεννήτριες πιάνουν μόνο ένα μικρό χώρο μέσα στα αγροκτήματα τους.
- Ο εξοπλισμός των ανεμογεννητριών είναι σχετικά απλός στην κατασκευή και στην συντήρηση καθώς επίσης έχει μεγάλη χρονική διάρκεια ζωής.
- Η αιολική ενέργεια ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία αρά και την ασφάλεια σε διεθνή επίπεδο
- Έχουμε αύξηση της παράγωγης της ηλεκτρικής ενεργείας με ταυτόχρονη εξοικονόμηση σημαντικών ποσοτήτων συμβατικών καύσιμων που επιφέρει συναλλαγματικά οφέλη
- Η αιολική ενέργεια δημιουργεί προϋποθέσεις για την διασφάλιση ενός βιώσιμου μέλλοντος τόσο για τους παλιούς όσο και για τους νέους ανθρώπους που ψάχνουν μια θέση εργασίας καθώς εκτιμάται ότι για κάθε νέο μεγαβάτ αιολικής ενεργείας δημιουργούνται 14 νέες θέσεις εργασίας.

### 1.3.2 Μειονεκτήματα

Παρόλα τα πολλά παραπάνω πλεονεκτήματα της αιολικής ενεργείας υπάρχουν και σημαντικά μειονεκτήματα που κρίνεται επιτακτική η επιδίωξη για την μη εξάπλωση τους καθώς επηρεάζουν σημαντικά το οικοσυστήματος όπως:

- Ο θόρυβος που χωρίζεται σε δυο κατηγορίες τον μηχανικό και τον αεροδυναμικό θόρυβο. Ο μηχανικός θόρυβος προκαλείται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα (κιβώτιο ταχυτήτων, έδρανα κτλ.) ενώ ο αεροδυναμικός από την περιστροφή των πτερυγίων η από την κίνηση του αέρα γύρω από τον πυλώνα. Αυτό είναι μια σχετικά σημαντική όχληση με αποτέλεσμα να μην χρησιμοποιούνται κοντά σε κατοικημένες περιοχές καθώς



τα επίπεδα θορύβου σε απόσταση 40m από αυτήν είναι της τάξης των 50dB.

- Οι ανεμογεννήτριες που προκαλούν όπως σε αρκετές περιπτώσεις έχουν αναφερθεί τραυματισμούς η ακόμα και θανατώσεις πτηνών από προσκρούσεις αυτών πάνω στα πτερύγια, κυρίως αποδημητικών γιατί τα ενδημικά συνηθίζουν τις μηχανές και τις αποφεύγουν. Για αυτό αποφεύγεται η εγκατάσταση τους σε μεταναστευτικούς δρόμους αποδημητικών πουλιών. Από σχετική μελέτη εκτιμήθηκε πως ανά παραγόμενη GWh από αιολική ενέργεια αντιστοιχούν 0.269 θάνατοι πτηνών ενώ από ορυκτά καύσιμα ο αριθμός αυτός εκτιμάται 9.36 θανάτους ανά παραγόμενη GWh. Σε κάθε περίπτωση όμως ο αριθμός αυτός είναι μικρός σε σχέση με τους θανάτους πτηνών από μια απλή πρόσκρουση σε κτήρια και άλλες κατασκευές η από φυτοφάρμακα.
- Οπτική όχληση που αποτελεί μάλλον το πλέον αμφιλεγόμενο από όλα τα περιβαλλοντικά θέματα που επηρεάζουν την ανάπτυξη της αιολικής ενεργείας καθώς έχουμε αλλοίωση της μορφολογίας και των αισθητικών χαρακτηριστικών της ευρύτερης εγκατάστασης
- Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση αφού δημιουργείται από την ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια της πτερωτής.
- Τα αιολικά συστήματα έχουν πολύ υψηλό κόστος ερευνάς και εγκατάστασης
- Απαιτούν μεγάλο χρονικό διάστημα για την χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού μεγάλων περιοχών για την μέγιστη αξιοποίηση του των ευνοϊκών σημείων.



**Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου Ιωάννη- Ασλάνη Δημήτριου  
ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 12MW (ΚΑΡΥΣΤΟΣ)**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ)

### 2.1 Ορισμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργεια (ΑΠΕ) ή ήπιες μορφές ενέργειας ή πράσινη ενέργεια είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού, η ενέργεια των κυμάτων και το βιοαέριο. Με τον όρο <<ήπιες>> αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους. Καταρχάς για την εκμετάλλευσή τους δεν χρειάζεται κάποια ενεργητική παρέμβαση όπως εξόρυξη, άντληση ή καύση αλλά παρά μόνο η χρήση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση. Δεύτερων πρόκειται για <<καθαρές>> μορφές ενέργειας πολύ <<φιλικές>> για το περιβάλλον που δεν αποδεδειγμένα υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά απόβλητα όπως οι άλλες μορφές που χρησιμοποιούνται ήδη και έτσι θεωρούνται μια λύση για τα οικολογικά προβλήματα που αντιμετωπίζει η γη.

### 2.2 Μορφές Ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ)

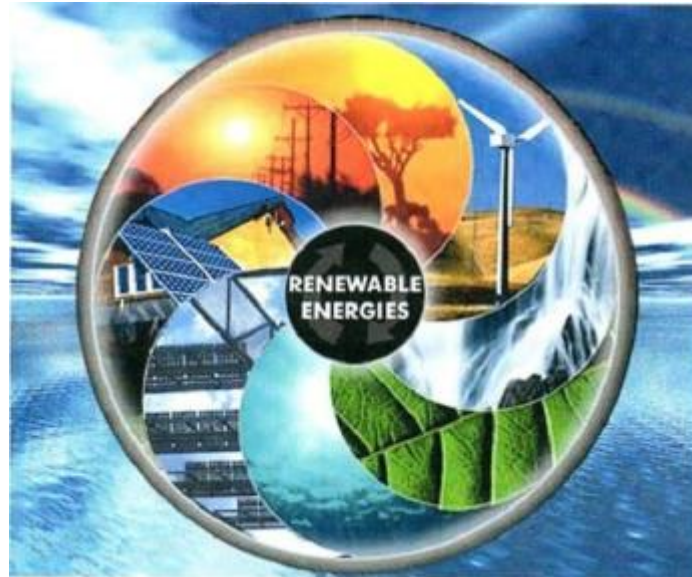
Οι κύριες ήπιες μορφές ενέργεια κατηγοριοποιούνται γενικά σε:

- **Αιολική ενέργεια:** Σήμερα χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και βρίσκεται σε εξέλιξη ενώ παλαιότερη χρησιμοποιούσαν και για την άλεση σιτηρών με ανεμόμυλους.
- **Ηλιακή ενέργεια:** Χαρακτηρίζεται το σύνολο των διάφορων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον ήλιο. Τέτοιες είναι το φως, η θερμότητά και η ενέργεια ακτινοβολίας. Η ηλιακή ενέργεια πρακτικά στο σύνολο της είναι ανεξάντλητη αφού προέρχεται από τον ήλιο. Τώρα όσον αφορά την εκμετάλλευσή της μπορεί να χωριστεί σε κατηγορίες εφαρμογών όπως παθητικά ηλιακά, ενεργητικά ηλιακά ή ηλιοθερμικά συστήματα και φωτοβολταϊκά. Τα παθητικά και ενεργητικά συστήματα εκμεταλλεύονται τη θερμότητα μέσω της ηλιακής ακτινοβολίας ενώ τα φωτοβολταϊκά στηρίζονται στην μετατροπή της ηλιακής ακτινοβολίας σε ηλεκτρικό ρεύμα.
- **Υδραυλική ενέργεια:** Η συγκεκριμένη μορφή ενέργειας αναφέρεται πάνω στα υδροηλεκτρικά έργα και εκμεταλλεύεται τη δυναμική ενέργεια μέσα σε βαρυτικό πεδίο μεγάλων ποσοτήτων νερού σε υψομετρική διαφορά συνέχισης της ροής και αποδίδεται ως κινητική μέσα από το φαινόμενο της υδατόπτωσης. Αποτελεί σημαντικό κομμάτι τον ΑΠΕ και υπάρχουν πολλές εφαρμογές ειδικά στην Κίνα που εμφανίζει μεγάλη ανάπτυξη.
- **Βιομάζα:** Είναι μια μορφή ενέργειας η οποία χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών για να απελευθερώσει την ενέργεια που δεσμεύτηκε από το φυτό κατά την διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Τα καύσιμα που παράγονται είναι η βιοαιθανόλη και το βιοαέριο τα οποία είναι πιο φιλικά για το περιβάλλον από τα γνωστά καύσιμα. Είναι ένας κλάδος που είναι πολλά υποσχόμενος απλά βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο.
- **Γεωθερμική ενέργεια:** Αυτή η μορφή ενέργειας προέρχεται από τη θερμότητα του εσωτερικού της Γης. Συνήθως χρησιμοποιείται για θερμικές εφαρμογές ή για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η Ισλανδία είναι μια χώρα η οποία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών αναγκών με γεωθερμία όσον αφορά τη θέρμανση.





- **Ενέργεια από τη θάλασσα:** Η ενέργεια που προκύπτει από το φαινόμενο της παλίρροιας ονομάζεται ενέργεια από τη θάλασσα. Η βαρύτητα του ηλίου μαζί με αυτή της σελήνης έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωση της στάθμης της θάλασσας. Αν εκείνη την ώρα της ανύψωσης αποθηκευτεί το νερό και έπειτα περάσει μέσα από έναν στρόβιλο θα υπάρξει παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ένα παραπλήσιο κομμάτι είναι η **ενέργεια των κυμάτων** που είναι το αποτέλεσμα της κινητικής ενέργειας της θάλασσας.



Εικόνα 4. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

### 2.3 Πλεονεκτήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

- Είναι στην πραγματικότητα ανεξάντλητες πηγές ενέργειας οι οποίες είναι φιλικές ως προς το περιβάλλον χωρίς να έχουν απόβλητα.
- Δεν περιορίζονται σε γεωγραφικές εκτάσεις και είναι παντού σε όλο τον πλανήτη
- Εφόσον υπάρχει ποικιλία στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ανάλογα με το μέρος που θα γίνει η εφαρμογή υπάρχει η δυνατότητα επιλογής της πιο κατάλληλης μορφής για την συγκεκριμένη περίπτωση.
- Η τεχνολογία τους, ο εξοπλισμός τους και η συντήρησή τους είναι σχετικά απλή, διαχρονική και υπάρχουν πολλές περιπτώσεις που ποικίλουν ανάλογα το μέγεθος των εφαρμογών.
- Το λειτουργικό τους κόστος είναι σχετικά χαμηλό
- Έχουν θετική αντιμετώπιση από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

### 2.4 Μειονεκτήματα Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

- Το κόστος σε σχέση με τις συμβατικές μορφές ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερο αλλά υπάρχει εξέλιξη και συνεχώς οι ΑΠΕ κερδίζουν έδαφος.



- Η διαθεσιμότητα τους είναι ένα θέμα από την άποψη ότι εάν σε ένα ηλιακό πάρκο δεν υπάρχει ηλιοφάνεια θα χρειαστούν δαπανηροί τρόποι για να αποθηκευτεί η ενέργεια.
- Ο βαθμός απόδοσης σε κάποιες από τις εφαρμογές είναι συνδεδεμένος με την εποχή του έτους, την γεωγραφική θέση και την κλιματική αλλαγή
- Υπάρχουν πολλές απόψεις για τα αιολικά πάρκα και συγκεκριμένα τις ανεμογεννήτριες ότι είναι θορυβώδεις και έχουν την ευθύνη για τον θάνατο πολλών πτηνών.
- Τέλος για το θέμα των υδροηλεκτρικών ότι συντελούν αρνητικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου επειδή εκλύετε μεθάνιο στην ατμόσφαιρα από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω από την επιφάνεια του νερού.



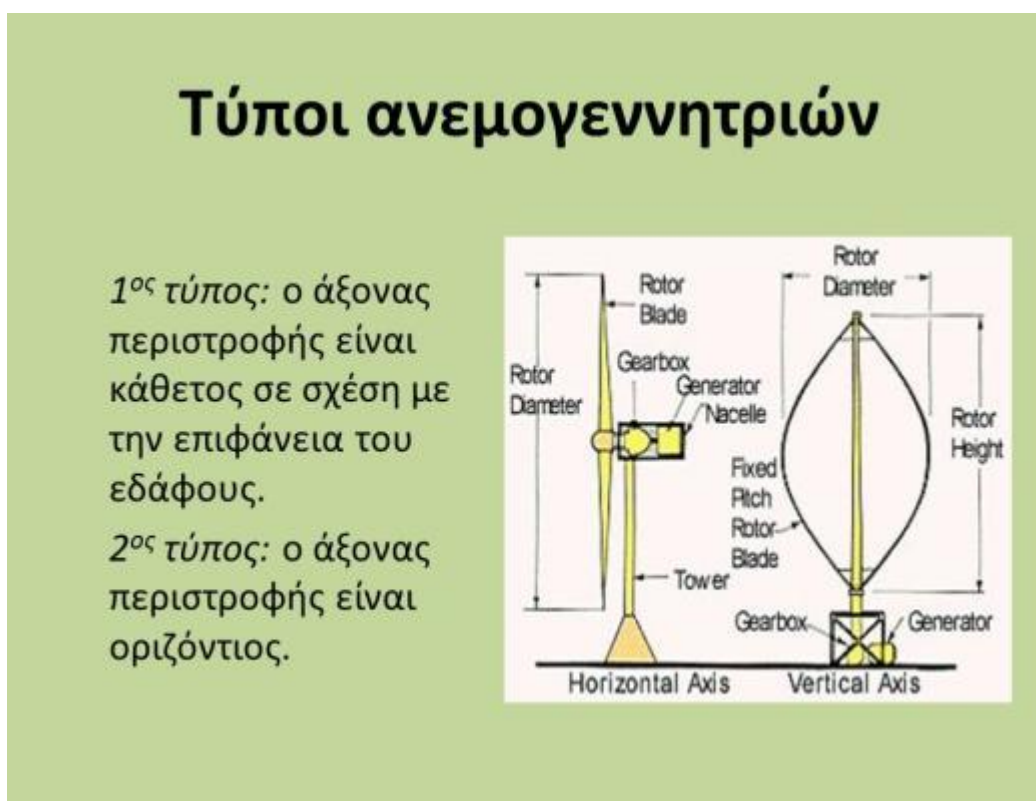
**Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου Ιωάννη- Ασλάνη Δημήτριου  
ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 12MW (ΚΑΡΥΣΤΟΣ)**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: Τύποι ανεμογεννητριών και τα μηχανικά τους μέρη.

### 3.1 Τύποι ανεμογεννητριών.

Οι Ανεμογεννήτριες διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο περιστροφής των πτερυγίων σε οριζοντίου και κατακόρυφου άξονα οι οποίες είναι και από τις πιο διαδεδομένες λόγω του υψηλού βαθμού απόδοσης που έχουν. Οι ίδιες αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης και σε πολύστροφες ή αργόστροφες ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής ή για να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια ανάλογα την τιμή της παραμέτρου περιστροφής  $\lambda$ . Η παράμετρος αυτή ορίζεται ως  $\omega \cdot R / V$  όπου  $R$  η ακτίνα της πτερωτής,  $\omega$  η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα και  $V$  η ταχύτητα του ανέμου. Η ταχύτητα περιστροφής εξαρτάται επίσης και από το μέγεθος των πτερυγίων αφού πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι φυγοκεντρικές δυνάμεις, οι ταλαντώσεις, οι στατικές και δυναμικές καταπονήσεις αλλά και η στατική αντοχή. Ένα καθοριστικό ρόλο παίζει και η διασύνδεση ή μη της εγκατάστασης στο ηλεκτρικό δίκτυο. Σε περίπτωση διασύνδεσης με το δίκτυο το ηλεκτρικό ρεύμα θα πρέπει να έχει συχνότητα 50 Hz για Ελλάδα και 60 Hz για Η.Π.Α. Ένας επιπλέον διαχωρισμός ανάμεσα στις Α/Γ είναι ανάλογα με τη λειτουργία και τον έλεγχο των στροφών οι οποίες είναι σταθερών στροφών ή μεταβλητών.



Εικόνα 5. Τύποι ανεμογεννητριών.



1. Σταθερών στροφών: Λειτουργούν σε ένα μικρό εύρος στροφών λίγο πάνω από την σύγχρονη ταχύτητα που σχετίζεται με την ταχύτητα του δικτύου. Η σύνδεση αυτού του τύπου Α/Γ γίνεται απευθείας με το δίκτυο και δεν υπάρχει άμεσος τρόπος για τον έλεγχο της ποιότητας ισχύος.
2. Μεταβλητών στροφών: Λειτουργούν σε ένα μεγάλο εύρος στροφών κάτω και πάνω από την σύγχρονη ταχύτητα. Η ταχύτητα περιστροφής βελτιώνεται ανάλογα την τιμή του εισερχόμενου ανέμου με αποτέλεσμα την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης. Για την λειτουργία αυτή είναι απαραίτητη η χρήση ηλεκτρονικών ισχύος. (AC/DC/AC μετατροπέα).

### 3.1.1: Α/Γ οριζοντίου άξονα.

Είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος ανεμογεννήτριας στην πιο συνηθισμένη του εκδοχή με τα 3 πτερύγια . Αυτή η διάταξη περιλαμβάνει τον πύργο στήριξης , ο δρομέας , τα πτερύγια , το κιβώτιο ταχυτήτων , το σύστημα πέδησης αλλά και το σύστημα προσανατολισμού. Επίσης ο δρομέας σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου μπορεί να βρίσκεται ανάντη δηλαδή μπροστά από τον πύργο ή κατάντη που είναι πίσω από τον πύργο όπως φαίνεται στο σχήμα.



Εικόνα 6. Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες στρέφονται προς τον άνεμο με έναν απλό δείκτη κατεύθυνσης ανέμου ενώ οι μεγαλύτερες Α/Γ έχουν ένα αισθητήρα ανέμου σε συνδυασμό με ένα σερβομοτέρ. Οι περισσότερες διαθέτουν και κιβώτιο ταχυτήτων ώστε να μετατρέπει την αργή περιστροφή από τα πτερύγια σε μια πιο γρήγορη που είναι καταλληλότερη για την λειτουργία της γεννήτριας. Οι Α/Γ που χρησιμοποιούνται στα αιολικά πάρκα για εμπορική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι με τρία πτερύγια και στρέφονται προς τον άνεμο με ένα μοτέρ το οποίο ελέγχεται από ηλεκτρονικό υπολογιστή. Έχουν υψηλές ταχύτητες περιστροφής πάνω από 320 Km/h με υψηλή απόδοση και μέση ροπή με αποτέλεσμα την αξιοπιστία.



### 3.1.2 Ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα

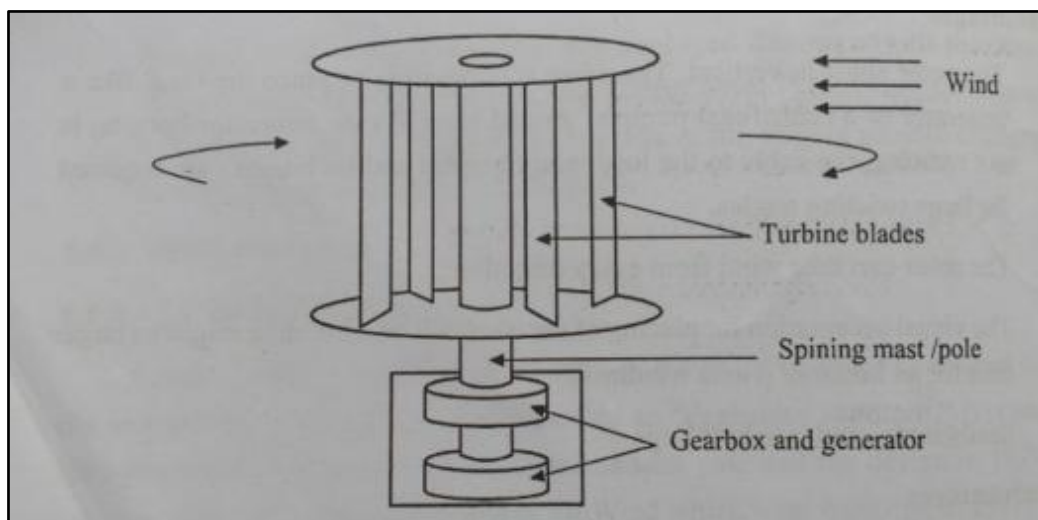
Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα έχουν τον δρομέα τους κάθετα στο επίπεδο του εδάφους. Ένα πλεονέκτημα αυτών των Α/Γ είναι πως η απόδοσή τους δεν εξαρτάται από την διεύθυνση του ανέμου. Μπορούμε δηλαδή σε περιοχές με απροσδιόριστη διεύθυνση ανέμου να αξιοποιήσουμε το αιολικό δυναμικό. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι πως υπάρχει εύκολη πρόσβαση στα μηχανικά μέρη όπως το κιβώτιο ταχυτήτων και η γεννήτρια αφού βρίσκονται στη βάση στο έδαφος, για αυτό τον ιδιαίτερο λόγο τα λειτουργικά έξοδα είναι λιγότερα από τις κλασικές ανεμογεννήτριες. Η Α/Γ αυτού του τύπου συνδέεται και με κάποια μειονεκτήματα όπως:

- Χαμηλότερη αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού σε σχέση με του οριζοντίου άξονα άρα έχουν και μικρότερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αυτές του κλασικού τύπου
- Η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι σχετικά χαμηλή
- Έχουν σχετικά ακριβή γεννήτρια
- Δυσκολία στην κατασκευή του δρομέα.
- Έχουν χαμηλότερο κέντρο βάρους και παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με μικρότερο κόστος από τις συμβατικές
- Η κατασκευή του πύργου στήριξης είναι απλή ενώ στις Α/Γ οριζοντίου άξονα η κατασκευή έχει ειδικές απαιτήσεις .

Στη συνέχεια θα αναλυθούν περισσότερο κάποιοι συγκεκριμένοι τύποι Α/Γ κάθετου άξονα.

### 3.1.3 Α/Γ τύπου Savonius.

Αυτές οι Α/Γ εμφανίστηκαν το 1931 από τον Savonius. Δεν χρειάζονται σύστημα προσανατολισμού αφού θα ασκηθεί η δύναμη σε όποιο <<φλιτζάνι >> έχει την ανοιχτή του επιφάνεια στον άνεμο για να τεθεί η κίνηση στον δρομέα. Είναι πιο αθόρυβες και δεν έχουν προβλήματα με αναταράξεις και δονήσεις, είναι ιδανικές για περιοχές με παραχώδη ανέμους. Το σχήμα τους φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 7. Ανεμογεννήτρια τύπου Savonius



Κάποια μειονεκτήματα που παρουσιάζουν είναι :

- Η χαμηλή τους απόδοση
- Υψηλή αρνητική ροπή
- Χαμηλό συντελεστή ισχύος
- Η παραγόμενη ισχύς είναι ανάλογη της επιφάνειας σάρωσης και του μεγέθους της

Ωστόσο εξαιτίας της απλότητας της κατασκευής και του μικρού μεγέθους της είναι οικονομικά ανταγωνιστικές σε μεγάλο βαθμό.

### 3.1.4 Α/Γ τύπου Darrieus

Η ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus εφευρέθηκε το 1931 από τον Γάλλο μηχανικό Darrieus και διαδόθηκε κυρίως το 1970 στον Καναδά . Η διαμόρφωση της θεωρητικά είναι αποτελεσματική όπως η έλικα ενός ελικοπτερου υπό σταθερή ταχύτητα ανέμου. Στα πραγματικά σχέδια υπήρχαν κάποια προβλήματα ως προς την απόδοση της αφού η αρχική ροπή εκκίνησης είναι χαμηλή και ως αποτέλεσμα να θέλει βοήθεια για να ξεκινήσει. Παρόλα αυτά αν γίνει ένας συνδυασμός του Darrieus με τον Savonius δίνει λύση στο πρόβλημα της εκκίνησης. Όσον αφορά τον πύργο στήριξης έχει και τον ρόλο του άξονα περιστροφής με αποτέλεσμα να μην είναι υποστηριζόμενη και σε πολλές περιπτώσεις να χρειάζεται τη βοήθεια συρματόσχοινων. Η κατασκευή της φαίνεται στο σχήμα.

Τα μηχανικά της μέρη είναι κοινά με αυτά των Α/Γ κατακόρυφου άξονα και τοποθετούνται στο έδαφος όπως στην περίπτωση Savonius. Λόγο του μεγέθους και της απλότητας τους χαρακτηρίζονται ως φτηνές κατασκευές.



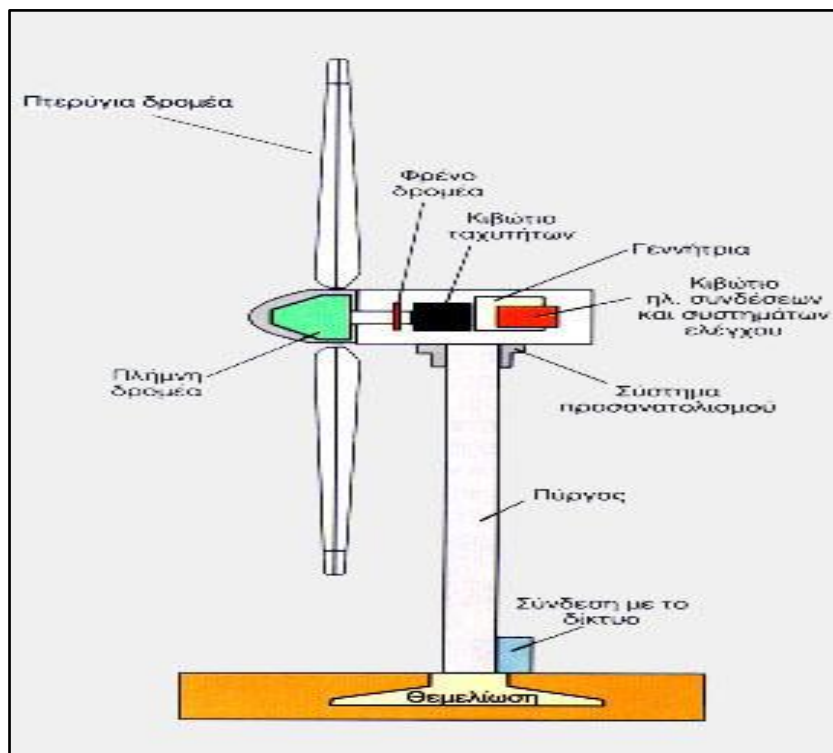
Εικόνα 8. Ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus

## 3.2 Μηχανικά Μέρη Α/Γ

Σε αυτό το κεφάλαιο πρόκειται να αναλυθούν τα μέρη που απαρτίζουν μια ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα καθώς είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος στον κόσμο. Στη συνέχεια οι εικόνες που παρατίθενται απεικονίζουν και αναλύουν ένα προς ένα αυτά σημαντικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας τα όποια χωρίς ένα από αυτά μια



ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να τεθεί σε λειτουργία για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Εικόνα 9. Πύργος ανεμογεννήτριας

- Πύργος ανεμογεννήτριας: Ο πύργος αποτελεί το βασικό μέρος όλης της κατασκευής αφού στηρίζει πάνω του το κέλυφος και τον ρότορα δηλαδή όλη την μηχανολογική και ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Το υλικό του είναι χάλυβας σε μορφή κυλίνδρου τύπου δικτυώματα αλλά και σε λίγες περιπτώσεις από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το κωνικό σχήμα αυξάνει την αντοχή του αλλά μειώνει και το κόστος παραγωγής αφού χρησιμοποιούνται λιγότερα υλικά. Για την θεμελίωση θα μιλήσουμε με λεπτομέρειες σε επόμενο κεφάλαιο εν ολίγης όμως γίνεται πάνω σε συγκεκριμένο σκυρόδεμα και σταθεροποιείται με κοχλίες. Τα τυπικά ύψη του πύργου είναι 60-80 μέτρα και είναι τέτοια ώστε ο αέρας που θα προσπίπτει πάνω να είναι σε ομαλή ροή και όχι τυρβώδη με αποτέλεσμα την μείωση του θορύβου. Στο εσωτερικό του μπορεί να υπάρχει και ανελκυστήρας για την συντήρηση της Α/Γ η και σκάλες.
- Άτρακτος ανεμογεννήτριας: Η άτρακτος της Α/Γ είναι ένα στοιχείο που μοιάζει με κουτί το οποίο είναι πάνω στον πύργο και είναι συνδεδεμένο με τον ρότορα. Περιέχει όλες τις συνιστώσες της αιολικής μηχανής όπως το κιβώτιο ταχυτήτων, την γεννήτρια και γενικά όλο τον ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό της αιολικής μηχανής. Το υλικό που είναι κατασκευασμένη είναι από ανθρακωνήματα για να προστατεύει το εσωτερικό εξοπλισμό από το περιβάλλον.





Εικόνα 10. Άτρακτος ανεμογεννήτριας

- Δρομέας ή ρότορας: Ο ρότορας χωρίζεται σε δυο μέρη τα πτερύγια και την πλήμνη. Η πλήμνη είναι το μέρος που στεγάζονται επάνω της τα πτερύγια. Οι σπές που θα έχει επάνω της η πλήμνη εξαρτώνται από τον αριθμό των πτερυγίων.



Εικόνα 11. Δρομέας-ρότορας ανεμογεννήτριας.

- Πτερύγια : Μια Α/Γ μπορεί να φέρει μια, δυο ή και τρεις πτέρυγες όπου τρεις είναι και το πιο σύνηθες. Η περιστροφή των πτερυγίων οφείλεται στην συνδυασμένη δύναμη της άνωσης και της πίεσης του αέρα που προκύπτει όταν προσπίπτουν οι μάζες αέρα επάνω στα πτερύγια. Το σχήμα του είναι όσο πιο αεροδυναμικό γίνεται και το υλικό κατασκευής τους είναι από ενισχυμένο πολυεστέρα η ανθρακονήματα.



Εικόνα 12. Ανεμογεννήτρια τριών πτερυγίων

- Ηλεκτρογεννήτρια: Η ηλεκτρική γεννήτρια η οποία είναι σύγχρονη η επαγωγική συνδέεται με τον πολλαπλασιαστή στην έξοδο του μέσω υδραυλικού ή ελαστικού συνδέσμου για να μετατρέψει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Οι κλασσικές ηλεκτρογεννήτριες λειτουργούν από 1000 έως 3600 περιστροφές/ δευτερόλεπτο. Οι στροφές αυτές είναι πολύ υψηλές για αυτό το λόγο το πρόβλημα μπορεί να λυθεί με το κιβώτιο ταχυτήτων.



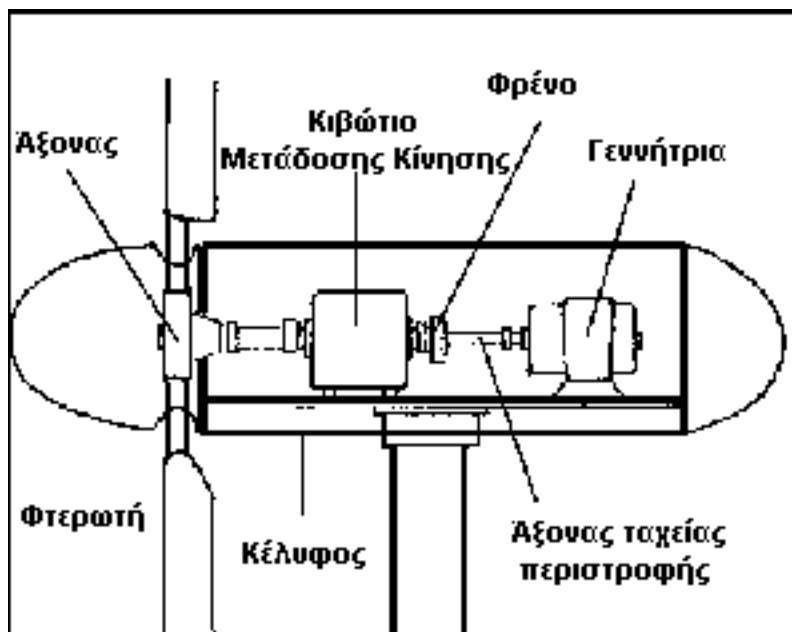
Εικόνα 13. Ηλεκτρογεννήτρια ανεμογεννήτριας.

- Σύστημα προσανατολισμού : Το σύστημα του προσανατολισμού ανιχνεύει μέσα από τη βοήθεια του ανεμομέτρου και αισθητήρων τη διεύθυνση του ανέμου ώστε να αναγκάζει τον δρομέα να είναι πάντα παράλληλα με αυτή.



Εικόνα 14 Σύστημα Προσανατολισμού Ανεμογεννήτριας.

- Μηχανικό φρένο: Το μηχανικό φρένο χρησιμοποιείται για να σταματήσει η να μειώσει την περιστροφή του ρότορα σε καταστάσεις έκτακτης ανάγκης όπως ριπές ανέμων, ακραία καιρικά φαινόμενα ή ταχύτητες περιστροφής πάνω από το όριο της Α/Γ. Επιπλέον μια δυνατότητα του μηχανικού φρένου είναι ότι ακινητοποιεί το ρότορα σε περίπτωση συντήρησης.



Εικόνα 15. Μηχανικά μέρη ανεμογεννήτριας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Αιολικό δυναμικό και χωροθέτηση Α/Γ

### 4.1 Εισαγωγή.

Ο άνεμος, δηλαδή η κίνηση των αερίων μαζών εμπεριέχει ένα σημαντικό ποσό κινητικής ενέργειας που ονομάζεται αιολική ενέργεια την οποία μπορούν να εκμεταλλευθούν οι αιολικές μηχανές (ανεμογεννήτριες). Τα βασικά χαρακτηριστικά του ανέμου είναι η ταχύτητα και η διεύθυνση του. Η μελέτη των χαρακτηριστικών αυτών αποτελεί το βασικότερο κομμάτι της μελέτης του αιολικού δυναμικού καθώς μεταβάλλονται στο χώρο και το χρόνο. Η μελέτη αυτή προϋποθέτει την εγκατάσταση ιστού και τη λήψη των ανεμολογικών στοιχείων βάση προτύπου τυποποίησης ISO 17025:2005. Ωστόσο έχοντας τα απαραίτητα στοιχεία και τον κατάλληλο διαμορφωμένο ψηφιακό χάρτη της περιοχής μέσω του προγράμματος Wasp μπορεί να υπολογιστεί ο αιολικός χάρτης της περιοχής. Τέλος παρακάτω στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν αναλυτικότερα, ο τρόπος μέτρησης του αιολικού δυναμικού καθώς και χαρακτηριστικά που το επηρεάζουν.



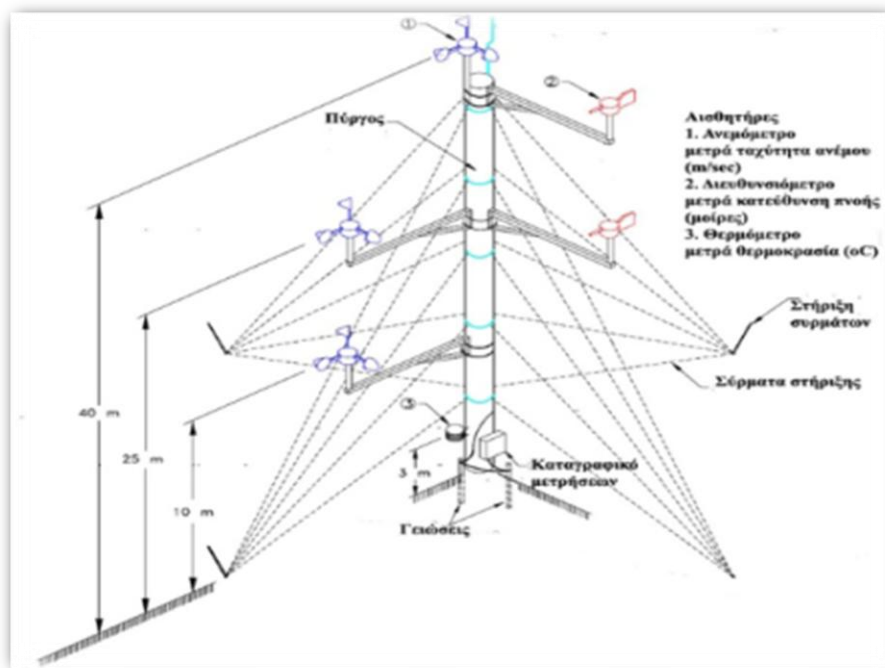
Εικόνα 16. Μετεωρολογικός ιστός



## 4.2 Μετρήσεις Ανεμολογικών Χαρακτηριστικών Αιολικού Δυναμικού

Η μέτρηση της έντασης και της κατεύθυνσης της ταχύτητας ανέμου αλλά και άλλων μετεωρολογικών χαρακτηριστικών, όπως θερμοκρασία και η ατμοσφαιρική πίεση, είναι απαραίτητη για την εξαγωγή του αιολικού δυναμικού. Εκτιμήσεις του αιολικού δυναμικού από μοντέλα προσομοίωσης της ροής του ανέμου γίνονται με βάση τις διαθέσιμες μετρήσεις καθώς μετρήσεις σε κάθε πιθανή θέση είναι πρακτικά και οικονομικά αδύνατο. Για την μέτρηση χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα κατάλληλα πιστοποιημένα και βαθμονομημένα.

Με τον όρο Αιολικό Δυναμικό νοείται η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου που μπορεί να δεσμευτεί ανά μονάδα επιφάνειας που προσβάλλεται από τον άνεμο. Ο προσδιορισμός του αιολικού δυναμικού γίνεται σε ετήσια βάση με βάση την κατανομή της ταχύτητας (ένταση) του ανέμου, η οποία καθορίζεται όταν είναι δεδομένες οι ωριαίες τιμές της έντασης του ανέμου καθώς και η συχνότητα εμφάνισης τους στην διάρκεια του έτους. Έτσι πρακτικά η καταγραφή των δεδομένων που απαρτίζουν το αιολικό δυναμικό γίνεται μέσω της μέτρησης όπως προαναφέραμε της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου κατά την διάρκεια ενός με δύο έτη το μέγιστο με την χρήση του μετεωρολογικού ιστού που φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 2.11.



Εικόνα 17. Σκαρίφημα Μετεωρολογικού Ιστού ύψους 40 μέτρων  
Πηγή: <http://www.aiolikigi.gr/el/e-learning/wind-potential-evaluation/>

Συμπαιραίνουμε έτσι ότι για την βέλτιστη επιλογή θέσης εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου σε σχέση με το αιολικό δυναμικό της περιοχής προυποθέτει την επιλογή ενός μερούς με:

- Υψηλή μέση ταχύτητα ανέμου
- Αιολικό δυναμικό υψηλής ποιότητας, δηλαδή μεγάλης διάρκειας ισχυρών ανέμων και περιορισμένη ύπαρξη νηνεμίας
- Απουσία αποφράξεων του ανέμου καθώς και υψηλών εμποδίων



Ωστόσο σύμφωνα με τα παραπάνω το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε μέρη τα οποία αποτελούν κορυφές λείων και κυκλοτερών λόφων με ελαφρές κατωφέρειες και ανοιχτό ορίζοντα καθώς και σε ανοιχτές πεδιάδες, ακρογιαλιές και σε ανοίγματα βουνών που δημιουργούνται φυσικοί επιταχυτές ανέμου.



Εικόνα 18. Ανεμογεννήτριες Νότιας Εύβοιας  
Πηγή: <http://oikologikoblog.blogspot.com/2017/11/h.html>

#### 4.2.1 Ισχύς του ανέμου

Η ενέργεια που μεταφέρεται με τον άνεμο είναι κινητική και ορίζεται ως:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4.1)$$

Η ροή μάζας του ανέμου πυκνότητας  $\rho$  που διέρχεται από μια επιφάνεια  $A$  δίνεται από τη σχέση:

$$\dot{m} = \rho Av \quad (4.2)$$

Ωστόσο συνδυάζοντας τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει η σχέση η οποία μας δίνει την ισχύ του ανέμου που διέρχεται από μια επιφάνεια εμβαδού  $A$  και είναι η εξής:

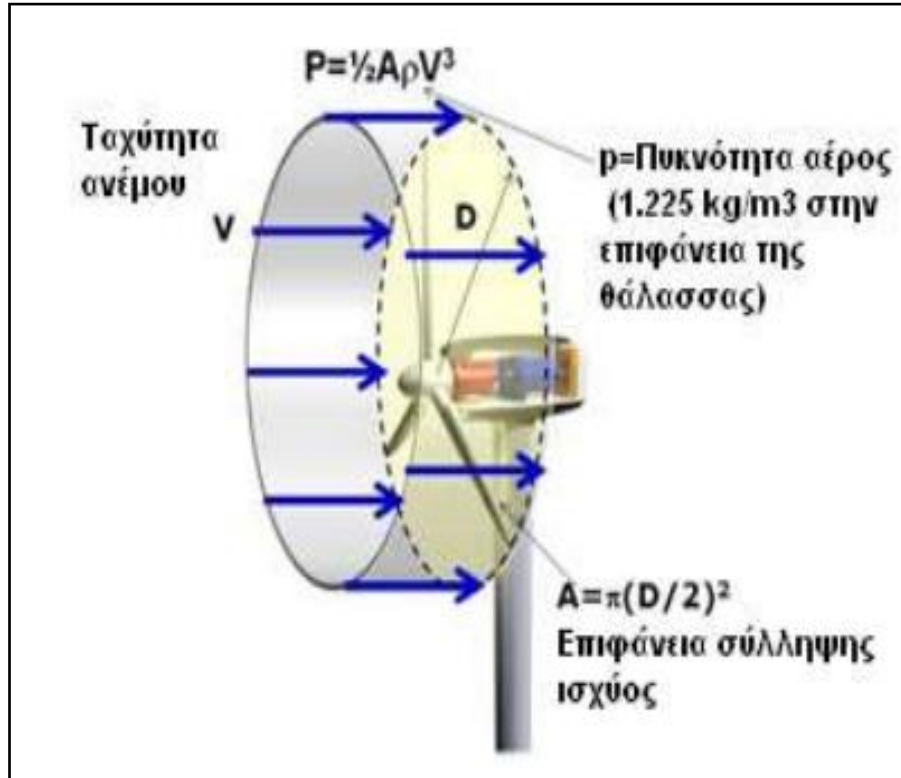
$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (4.3)$$

Όπου,

$\rho$ : Η πυκνότητα του αέρα

$A$ : Η επιφάνεια σύλληψης ισχύος από τα πτερύγια

$v$ : Η ταχύτητα του ανέμου



Εικόνα 19. Διαθέσιμη ισχύς ανέμου

#### 4.2.2 Μεταβολή ταχύτητας συναρτήσει του ύψους

Γενικά μέσα στο οριακό στρώμα η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται καθώς αυξάνεται το ύψος από την επιφάνεια του εδάφους καθώς τα φυσικά ή τεχνητά εμπόδια που βρίσκονται στην επιφάνεια του εδάφους την επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό. Για να γίνει αναγωγή της ταχύτητας από το ύψος που πάρθηκαν οι μετρήσεις  $Z_r$  σε κάποιο άλλο ύψος  $Z$  χρησιμοποιείται συνήθως ο εκθετικός νόμος:

$$V(z) = Vr \left( \frac{z}{Z_r} \right)^a \quad (4.4)$$

Όπου

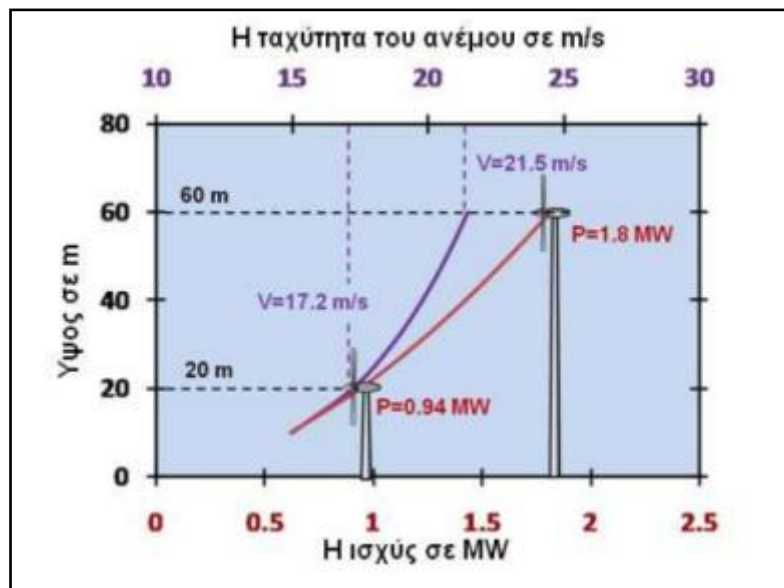
$Z_r$ : το ύψος αναφοράς που είναι 10 μέτρα, καθώς είναι το ύψος που χρησιμοποιείται για την μετεωρολογική αναφορά της ταχύτητας ανέμου,

$V(z)$ : ταχύτητα σε ύψος  $z$ ,

$Vr$ : η ταχύτητα στο ύψος αναφοράς  $Z_r$ ,

$a$ : ο εκθέτης-δείκτης ισχύος,

Για παράδειγμα στο παρακάτω διάγραμμα ταχύτητας ανέμου συναρτήσει ισχύος ανέμου-ύψους ανεμογεννήτριας βλέπουμε ότι σε ύψος 10 μέτρων η ταχύτητα του ανέμου είναι 15 m/s ενώ σε ύψος 20 μέτρων η ταχύτητα είναι περίπου 17.2 m/s έχοντας διαθέσιμο ισχύς στον άνεμο 0.94 MW. Στα 60 μέτρα ύψος έχουμε 21.5 m/s και διαθέσιμη ισχύς 1.8 MW.



Εικόνα 20. Ταχύτητα ανέμου συναρτήσει ισχύος ανέμου-ύψους ανεμογεννήτριας

Για αναγωγή ύψους χρησιμοποιείται και ο λογαριθμικός νόμος:

$$V(z) = Vr \frac{\ln(Z/Z_0)}{\ln(Zr/Z_0)} \quad (4.5)$$

Όπου,  $Z_0$  το μήκος τραχύτητας του εδάφους.

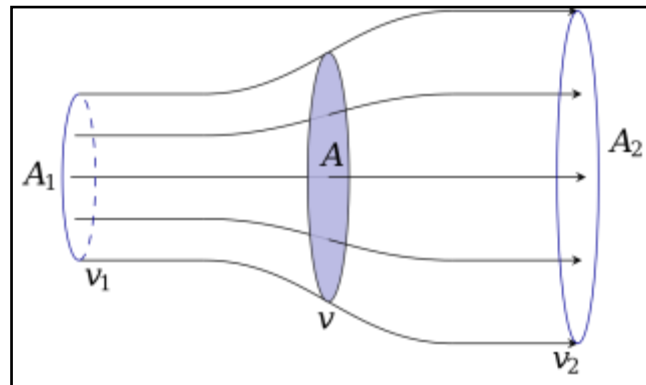
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται κάποιες χαρακτηριστικές τιμές για τον εκθετικό συντελεστή  $\alpha$  και την τραχύτητα του εδάφους καθώς αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι η αναγωγή αυτή είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της ταχύτητας στο ύψος της ανεμογεννήτριας.

Πίνακας 1. Τιμές για τον εκθετικό συντελεστή και το μήκος τραχύτητας

Είδος εδάφους	Εκθετικός συντελεστής ( $\alpha$ )	Μήκος τραχύτητας ( $z_0$ )
Θάλασσα	0.01	0.0001
Πεδιάδα	0.12	0.05
Υπαιθρο (Κτίρια, θάμνοι)	0.16	0.2
Υπαιθρο (Δάση, ψηλά δέντρα)	0.28	0.8

Ωστόσο γίνονται αντιληπτά όλα τα παραπάνω που αναφέραμε όσον αφορά την μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει του ύψους καθώς επίσης πρέπει να αναφέρουμε ότι δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε όλη την ισχύ του ανέμου λόγω φυσικών ορίων (όριο Betz= 0,539) άλλα και λόγω απωλειών στο στροφέα, στη γεννήτρια και στο κιβώτιο ταχυτήτων.





Εικόνα 21. Όριο Bentz.

#### 4.2.3 Εκτίμηση αιολικού δυναμικού από παραμόρφωση δέντρων.

Για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μπορούμε να καταφύγουμε είτε στους χάρτες αιολικού δυναμικού που διαθέτονται από εξειδικευμένα και πιστοποιημένα ερευνητικά εργαστήρια όπως για παράδειγμα του ΤΕΙ Κρήτης ([www.wel.teicrete.gr](http://www.wel.teicrete.gr)) είτε από προφορικές μαρτυρίες των κατοίκων είτε την υφιστάμενη παραμόρφωση της βλάστησης από τον άνεμο της συγκεκριμένης περιοχής.

Για αυτό το λόγο έχουν δημιουργηθεί κάποιοι δείκτες όσον αφορά την παραμόρφωση των δέντρων που δίνουν σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια του αιολικού δυναμικού. Παρακάτω φαίνονται δυο πίνακες με τους συγκεκριμένους δείκτες και με την ανάλογη παραμόρφωση που τους αναλογεί. Ο πρώτος πίνακας αφορά τις παραμορφώσεις κατά Griggs-Putnan που είναι για κωνικού σχήματος δέντρα. Ο δεύτερος πίνακας αφορά παραμορφώσεις κατά Barsch οι οποίες είναι για δέντρα σχήματος οβάλ. Μην ξεχνάμε όμως ότι η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε πρώιμο στάδιο για τον εντοπισμό του αιολικού δυναμικού σε μια περιοχή καθώς έπειτα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο θεωρητικός υπολογισμός και όλη η διαδικασία καταγραφής.

Βαθμός παραμόρφωσης δέντρου	Δείκτης	Βαθμός παραμόρφωσης δέντρου	Δείκτης
	0		4
	1		5
	2		6
	3		7

Εικόνα 22. Παραμορφώσεις σχήματος κωνικών δέντρων κατά Griggs- Putnan

Βαθμός παραμόρφωσης δέντρου	Δείκτης	Βαθμός παραμόρφωσης δέντρου	Δείκτης
	0-1		5
	2		6
	3		7
	4		

Εικόνα 23. Παραμορφώσεις σχήματος οβάλ δέντρων κατά Barsch



Με βάση το βαθμό παραμόρφωσης των δέντρων της εξεταζόμενης περιοχής για εγκατάσταση αιολικού πάρκου, από πίνακες όπως τον παρακάτω, είναι δυνατή μία πρώτη προσεγγιστική εκτίμηση της μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου που επικρατεί στην εξεταζόμενη περιοχή.

Πίνακας 2. Εκτίμηση μέσης ετήσιας ταχύτητας μια περιοχής με βάση τους δείκτες παραμόρφωσης δέντρων Griggs-Putnam και Barsch

Είδος δέντρου	Δείκτης	Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/sec) και 95% όριο αξιοπιστίας (±m/sec)								
		Τιμή Δείκτη								
		0	1	2	3	4	5	6	7	
Έλατο	Griggs - Putnam	6.0±2.0	6.7±1.9	7.4±1.8	8.1±1.8	8.8±1.8	9.5±1.8	10.2±1.9	10.9±2.0	
Άρκενθος (είδος πεύκου)	Griggs - Putnam	4.4±2.1	5.0±2.0	5.6±1.9	6.2±1.9	6.8±2.0	7.4±2.1	8.0±2.2	8.6±2.5	
Έλατο	Griggs - Putnam	3.0±2.8	4.2±2.6	5.4±2.5	6.6±2.4	7.8±2.5	9.0±2.6	10.2±2.8	11.4±3.0	
Πεύκο	Griggs - Putnam	3.3±1.9	4.0±1.8	4.7±1.7	5.4±1.8	6.1±1.8	6.8±2.0	7.5±2.1	8.2±2.3	
Pseudotsuga (Douglas Fir)	Griggs - Putnam	3.3±1.7	4.1±1.6	4.9±1.5	5.7±1.5	6.5±1.5	7.3±1.6	8.1±1.8	8.9±1.9	
Σφένδαμνος	Barsch	3.4±1.5	4.3±1.0	5.2±1.4	6.1±2.2	7.0±3.1	7.9±4.1	8.8±5.1	9.7±6.1	
Βελανιδιά	Barsch	3.0±1.8	4.1±1.7	5.2±1.7	6.3±1.8	7.4±1.9	8.5±2.1	9.6±2.3	10.7±2.5	
Ακακία	Barsch	3.7±1.2	4.4±1.0	5.1±1.0	5.8±1.3	6.5±1.7	7.2±2.1	7.9±2.5	8.6±3.0	
Πτελέα	Barsch	3.3±1.5	4.4±1.4	5.5±1.4	6.6±1.6	7.7±2.0	8.8±2.4	9.9±2.9	11.0±3.4	

#### 4.2.4 Κατανομή Weibull.

Η κατανομή Weibull είναι ένα μοντέλο το οποίο μπορεί να περιγράψει το αιολικό δυναμικό μια περιοχής βάσει του μικρού αριθμού παραμέτρων, ώστε να εκτιμηθεί η ενέργεια που μπορούμε να πάρουμε από τον άνεμο. Η κατανομή Weibull περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολόγια χαρακτηριστικά σε περιοχές εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100 μέτρα και εκφράζεται από δύο παραμέτρους. Το "κ" που είναι η παράμετρος της μορφής και το "c" που είναι η παράμετρος της κλίμακας. Γενικά μεγάλες τιμές αυτών προϋποθέτουν την ύπαρξη υψηλού αιολικού δυναμικού. Η μέθοδος Weibull εκφράζεται από την σχέση:

$$f(V) = \left(\frac{c}{k}\right) \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right] \quad (4.6)$$

Όπου,

V: Η ταχύτητα του ανέμου, k: Η παράμετρος κλίμακας, η παράμετρος μορφής. Η ποσότητα  $f(V) dV$  εκφράζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται



μεταξύ της τιμής  $V-dV$  και  $V+dV$ . Είναι φανερό ότι η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι:

$$\bar{V}\mu = \int_0^{\infty} V f(V) dV \quad (4.7)$$

Μετά από εκτέλεση πράξεων οδηγούμαστε στη σχέση:

$$\bar{V}\mu = c\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right) \quad (4.8)$$

Όπου,  $\Gamma$  η συνάρτηση Γαμμα που δίνεται από την σχέση:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt \quad (4.9)$$

Οι παράμετροι  $c$  και  $k$  μεταβάλλονται με το ύψος και για τα πρώτα 100 μέτρα υψομέτρου και μπορούν να εκτιμηθούν με καλή ακρίβεια. Από το εργαστήριο μετεωρολογίας του πανεπιστημίου Αθηνών έχουν υπολογιστεί οι παράμετροι  $c$ ,  $k$  της κατανομής Weibull για διάφορες τοποθεσίες της χώρας, είναι όμως χονδρικές τιμές και εξαρτώνται κάθε φορά από την συγκεκριμένη τοποθεσία που μελετάμε. Με βάση τη μέση ταχύτητα της επιλεγείσας προς μελέτη περιοχής, μπορούμε να υπολογίσουμε εμείς τις παραμέτρους  $C$  και  $k$  της πιθανοτικής κατανομής Weibull χρησιμοποιώντας τις παρακάτω σχέσεις:

$$c = \frac{1.39\bar{V}^2}{\bar{V}-2} - 2^{0.089} \quad (4.10)$$

$$k = 1 + 0.48(\bar{V}-2) \quad (4.11)$$

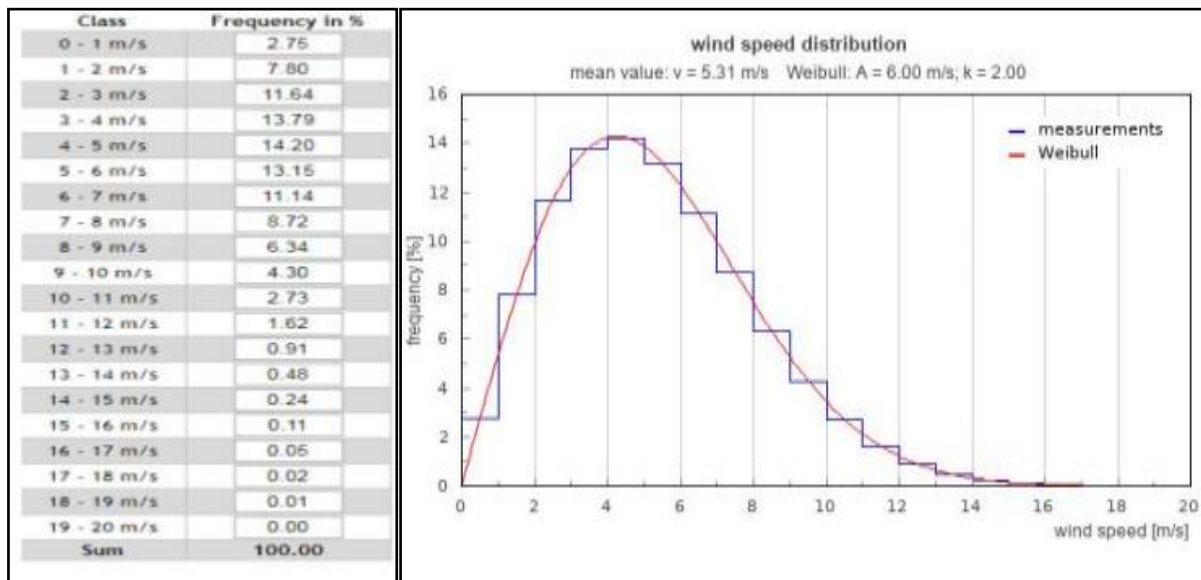
Πίνακας 3. Παράμετροι  $c, k$  ως προς διάφορες περιοχές της Ελλάδας

Τοποθεσία	$k$	$c$
Σητεία	1,32	5,53
Ηράκλειο	1,63	4,72
Χανιά	1,52	4,60
Κύθηρα	1,27	5,78
Μήλος	1,41	5,86
Ρόδος	2,15	7,24
Θήρα	1,20	5,20

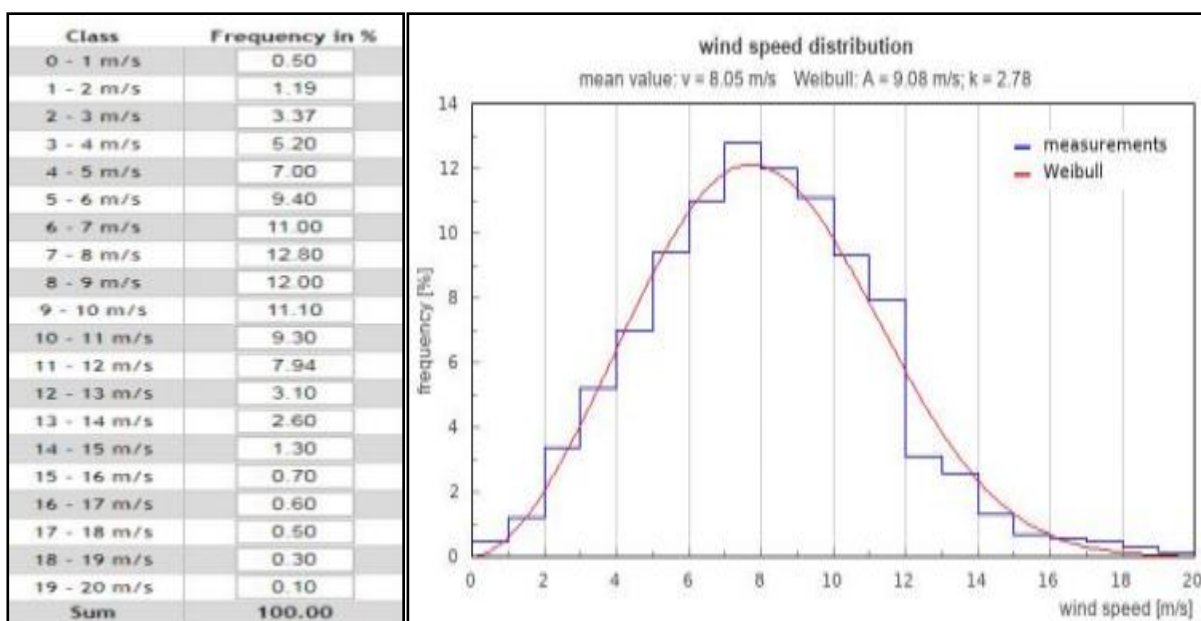


Παρακάτω δίνονται οι κατανομές Weibull θα ήταν σε περιοχές της Ελλάδας ανάλογα με το αιολικό δυναμικό (χαμηλό, μεσαίο και υψηλό).

Εικόνα 24. Κατανομή χαμηλού αιολικού δυναμικού

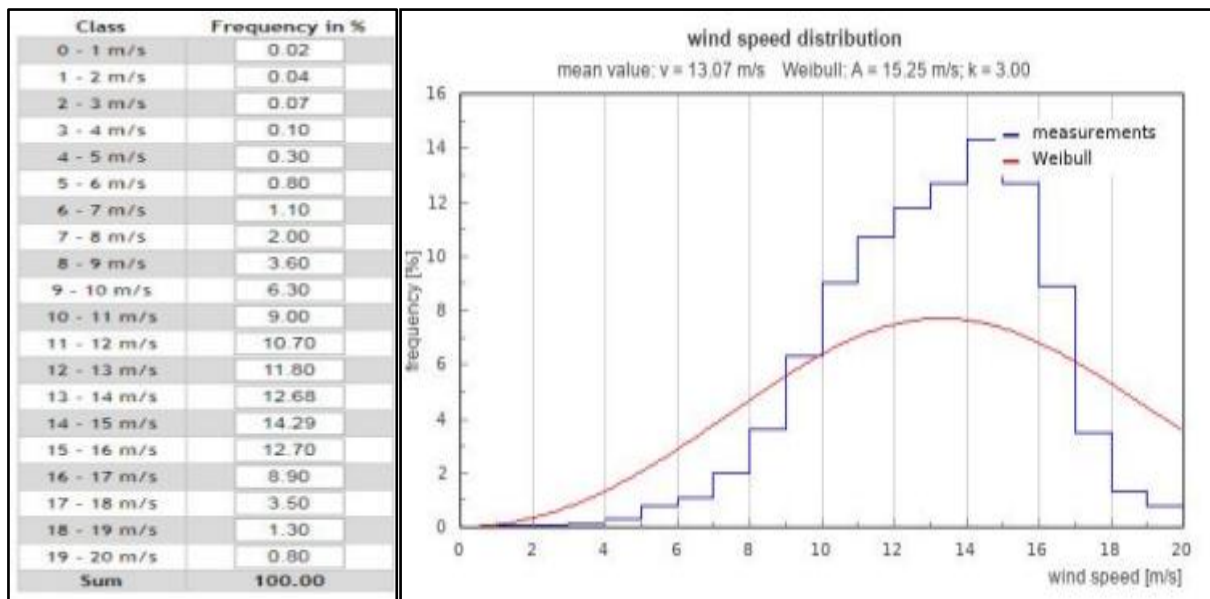


Εικόνα 25. Κατανομή μέτριου αιολικού δυναμικού

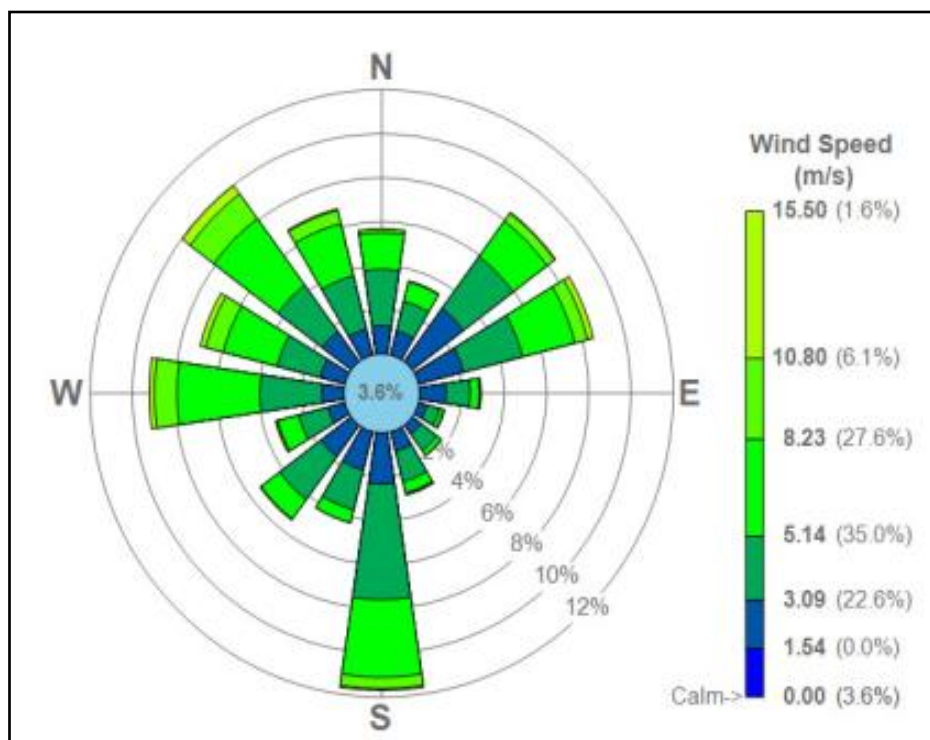




Εικόνα 26. Κατανομή Weibull υψηλού αιολικού δυναμικού



Έτσι μετά την προσεγγιστική και τελική εκτίμηση του αιολικού δυναμικού τόσο από την μέθοδο που είδαμε παραπάνω όσο και από την διαδικασία συλλογής δεδομένων από μετεωρολογικό ιστό ακολουθεί η στατιστική επεξεργασία διδομένων τα όποια απεικονίζονται στο λεγόμενο ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου της περιοχής.



Εικόνα 27. Παράδειγμα ροδόγραμματος

Το ροδόγραμμα είναι ένα γραφικό εργαλείο που χρησιμοποιείται από τους μετεωρολόγους για να δώσει μια συνοπτική εικόνα του τρόπου με τον οποίο η ταχύτητα και η κατεύθυνση του ανέμου διανέμονται συνήθως σε μια



συγκεκριμένη τοποθεσία. Το πώς διαβάζεται ένα ροδόγραμμα εξαρτάται από τι στοιχειά απεικονίζει. Συνήθως ένα ροδόγραμμα χρησιμοποιεί ένα πολικό σύστημα συντεταγμένων του πλέγματος με ακτινικές γραμμές όπου πάνω σε αυτές καταγράφεται η εκατοστιαία συχνότητα των ανέμων. Η συχνότητα των ανέμων σε μια χρονική περίοδο, σχεδιάζεται από την κατεύθυνση του ανέμου, και με χρωματικές ζώνες που δείχνουν και τις κλίμακες ταχύτητας ανέμου. Η κατεύθυνση της μεγαλύτερης ακτίνας δείχνει την κατεύθυνση του ανέμου με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Ωστόσο σε παρακάτω κεφάλαιο θα παραθέσουμε και το ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου της Καρύστου την περιοχή την οποία και μελετάμε για ένα αιολικό πάρκο.

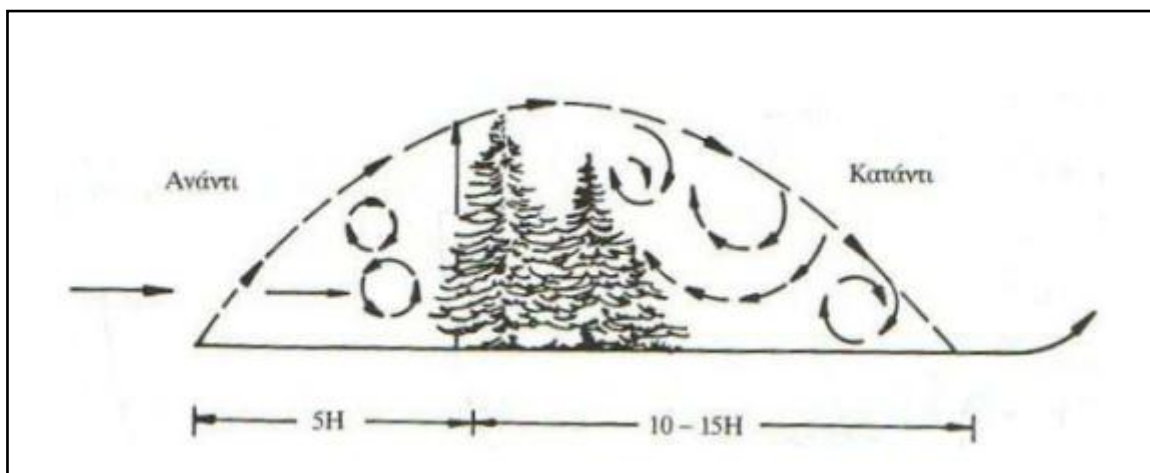
### 4.3 Μορφολογία εδάφους

Είναι σύνηθες φαινόμενο η μη καλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας αν και έχει εγκατασταθεί σε περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό. Αυτό γίνεται γιατί τις περισσότερες από τις φορές αυτές η ανεμογεννήτρια λειτουργεί κάτω από έντονο μεταβαλλόμενο πεδίο ροής λόγω της υψηλής τύρβης της περιοχής. Η τύρβη οφείλεται από την ύπαρξη μεμονωμένων κτηρίων ή άλλων εμπόδιων άλλα και από την τραχύτητα του εδάφους. Έτσι αφού γίνουν τα παραπάνω και βρεθεί η περιοχή για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών θα πρέπει να μελετηθεί σε δύο βασικές μορφολογικές κατηγορίες του εδάφους οι οποίες είναι:

- Η μορφολογία του εδάφους να είναι επίπεδη
- Η μορφολογία του εδάφους να είναι ανώμαλη

#### 4.3.1 Επίπεδη επιφάνεια εδάφους

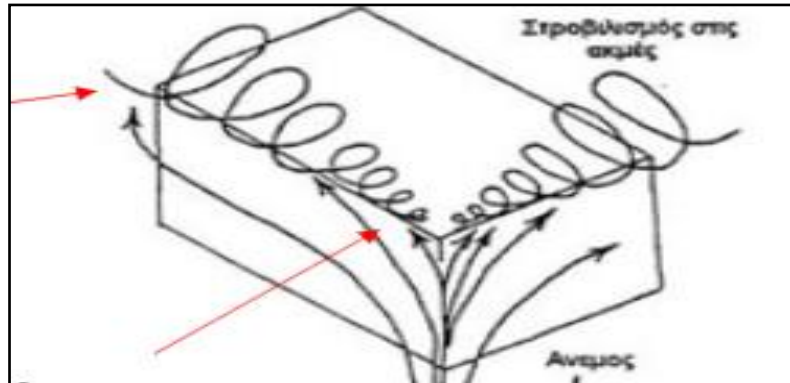
Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ελέγξουμε την ύπαρξη τυχόν ανεμοφρακτών οι οποίοι προστατεύουν από τους δυνατούς ανέμους που επικρατούν. Τέτοιοι είναι τα δέντρα τα όποια η παρουσία τους έχει ως αποτέλεσμα τον μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου μέχρι και το ύψος της κορυφή τους, ενώ το οριακό στρώμα φαίνεται να αναπτύσσεται από το ύψος της κορυφής τους και κατόπιν όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα 2.11.



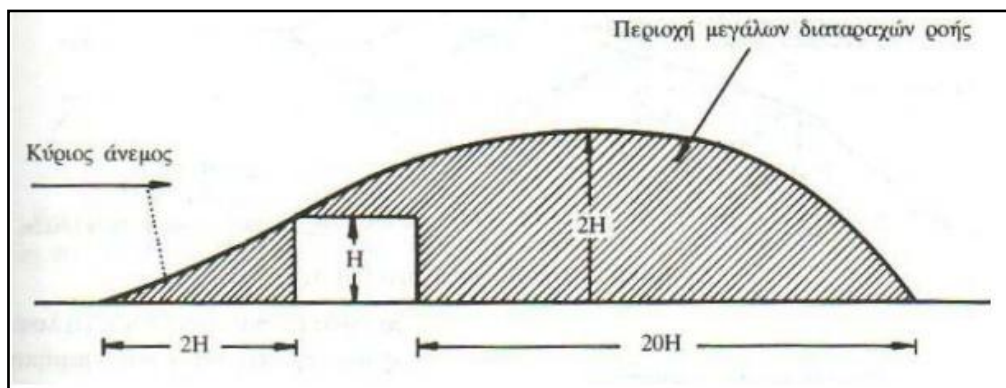
Εικόνα 28. Επίπεδο έδαφος με εμπόδια.



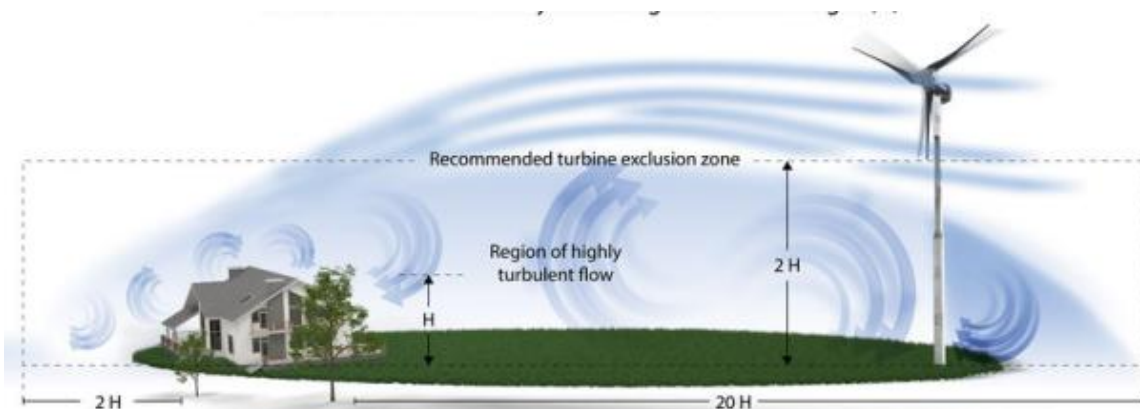
Επίσης τέτοιοι μπορεί να είναι και παρακείμενα κτήρια τα οποία αποτελούν και αυτά ένα είδος εμπόδιων καθώς η παρουσία τους διαταράσσει σε σημαντική έκταση το πεδίο ροής του ανέμου. Επίπλυν οι οξείες γωνίες των κτηρίων αποτελούν την πηγή εκροής μεμονωμένων στροβίλων με αποτέλεσμα την πλήρη τροποποίηση των χαρακτηριστικών του ανέμου.



Εικόνα 29. Παράδειγμα προσπίπτουσας ροής ανέμου σε οξεία γωνία κτηρίου.



Εικόνα 30. Κτηριακό εμπόδιο στο ρεύμα αέρα.





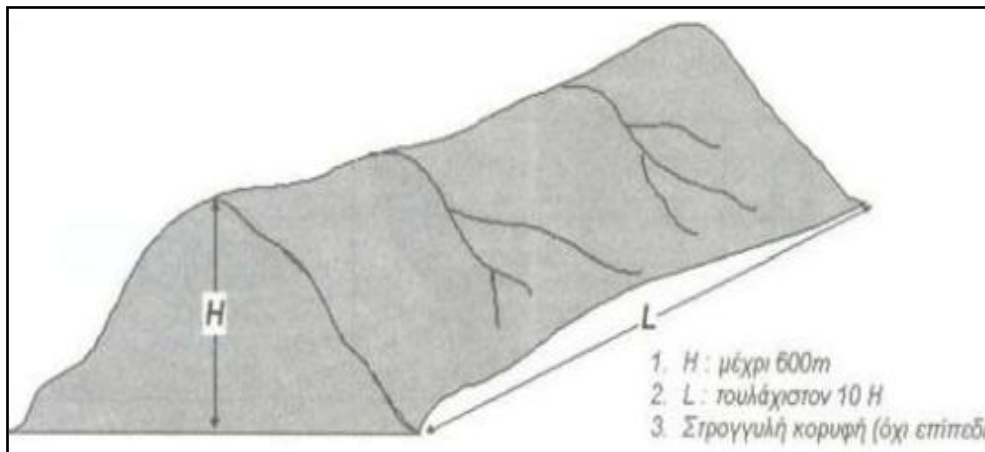
#### 4.3.2 Ανώμαλη επιφάνεια εδάφους

Στην συγκεκριμένη περίπτωση επειδή δεν υπάρχει σαφής τρόπος εξέτασης τέτοιου εδάφους επειδή κάθε περίπτωση είναι ξεχωριστή, ο τρόπος με τον οποίο γίνεται είναι η δημιουργία ανάγλυφου της περιοχής μέσα σε αεροδυναμική σήραγγα ή με εφαρμογή μαθηματικών μοντέλων μέσω υπολογιστών.

Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες τοπογραφικές κατηγορίες σε αυτή την μορφολογία του εδάφους που μπορούν να τυποποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως κατευθυντήρια γραμμή. Αυτές είναι:

##### ➤ **Λοφοσειρά**

Η λοφοσειρά πρέπει να είναι κάθετη στην κατεύθυνση του ανέμου και επιμήκης. Αν δεν είναι επιμήκης αντί να περάσει από πάνω ο άνεμος, θα περάσει κυρίως από τα πλάγια. Στην κορυφή της λοφοσειράς ο άνεμος αναπτύσσει σημαντικά πιο μεγάλες ταχύτητες, οπότε η κορυφή προτείνεται για εγκατάσταση ανεμοκινητήρα. Επίσης η λοφοσειρά δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα εξακόσια μέτρα, ενώ το πλάτος της θα πρέπει να είναι τουλάχιστον δεκαπλάσιο του ύψους της.



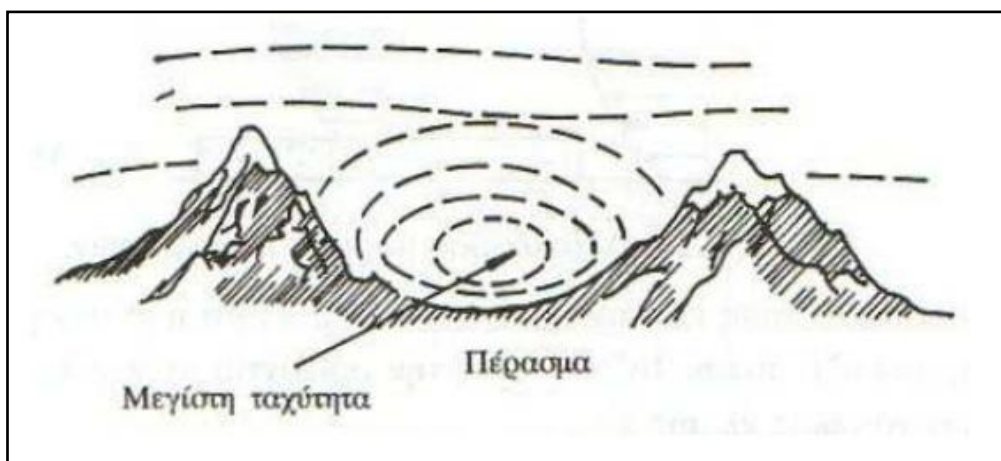
Εικόνα 31. Παράδειγμα τυπικής λοφοσειράς

##### ➤ **Περάσματα και Διάσελα**

Πολύ καλή θέση για τοποθέτηση αεροκινητήρων είναι τα περάσματα και τα διάσελα ειδικά αν η ροή του ανέμου είναι τέτοια ώστε να διέρχεται μέσα από το άνοιγμα. Οι θέσεις αυτές είναι εύκολες ως προς την πρόσβαση τους και προσφέρουν ιδανικές υψηλές ταχύτητες ανέμου.

Οι θέσεις αυτές αρχικά εξετάζονται για το αν είναι δυνατή η τοποθέτηση του ανεμοκινητήρα και στην συνέχεια στο εργαστήριο γίνεται λεπτομερής μελέτη σε ομοίωμα μέσα σε αεροδυναμική σήραγγα. Όσο πιο ψηλά είναι τα βουνά που δημιουργούν το πέρασμα τόσο πιο ευνοϊκή είναι η θέση και όσο πιο ομαλή είναι η επιφάνεια του εδάφους του περάσματος τόσο καλύτερη είναι η ενεργειακή απόδοση του ανεμοκινητήρα.





Εικόνα 32. Παράδειγμα τύπου περασμάτων και διάσελων.

#### 4.4 Χωροθέτηση Αιολικού Πάρκου

Εφόσον βρούμε τις κατάλληλες τοποθεσίες ,όπως φαίνεται παρακάτω στην εικόνα και η ακριβής τοποθεσία του αιολικού μας πάρκου ,και καταγράψουμε όλες τις απαραίτητες ανεμολογικές πληροφορίες σύμφωνα με όλα τα παραπάνω που αναφέραμε, πάμε στο παρακάτω βήμα που είναι η επιλογή της ανεμογεννήτριας καθώς και η Χωροθέτηση αυτών.



Εικόνα 33. Τοποθεσία εγκατάστασης ανεμογεννητριών.



#### 4.4.1 Επιλογή Ανεμογεννήτριας.

Η επιλογή της κατάλληλης ανεμογεννήτριας προήλθε από τα ανεμολογικά στοιχεία που είχαμε στην διάθεση μας αλλά και από τις πειραματικές διαδικασίες που κάναμε στο πρόγραμμα RETScreen όπως φαίνεται σε παρακάτω κεφάλαιο. Πριν γίνει οριστικό το μοντέλο της VESTAS η αμέσως επικρατέστερη εταιρία ήταν η ENERCON καθώς φαίνεται να είναι από τις πιο υποσχόμενες λόγω της ανάπτυξης που είχε στην Γερμανία αλλά αυτό που μας έπεισε να επιλέξουμε το μοντέλο της VESTAS είναι η καλύτερη απόδοσή της σε συνδυασμό με την αξιοπιστία της. Στη συνέχεια στο παράρτημα Β θα υπάρχει το τεχνικό φυλλάδιο των εταιριών. Έτσι επιλέχθηκε μια δανέζικη ανεμογεννήτρια της εταιρίας VESTAS και τύπου V90-2.0 MW. Η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια έχει ονομαστική ισχύς εξόδου 2 MW, το ύψος του πυλώνα είναι 80 μέτρα, η διάμετρος του ρότορα είναι 90 μέτρα και η επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο είναι 6,362 m<sup>2</sup>.

Λοιπά τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας δίνονται στο παράρτημα της παρούσας εργασίας όπου περιλαμβάνει το φυλλάδιο της κατασκευάστριας εταιρίας. Αξίζει να σημειωθεί επίσης και ότι η ονομαστική ισχύς του αιολικού μας πάρκου είναι 12MW.

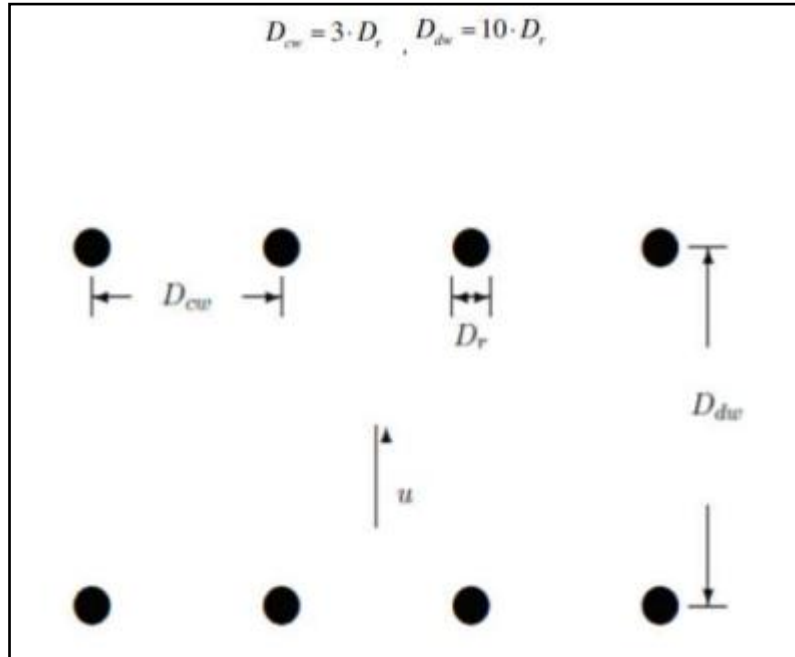
#### 4.4.2 Χωροθέτηση Ανεμογεννητριών

Υπάρχουν πολλά οικονομικά οφέλη όταν οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε ομάδες τις οποίες καλούμε αιολικά πάρκα, καθώς η συλλογή της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει αποτελεσματικά σε μεγάλο βαθμό. Παρόλα αυτά υπάρχουν συγκεκριμένες πληροφορίες που πρέπει να εφαρμόζονται με αυστηρούς κανόνες όσον αφορά τις αποστάσεις μεταξύ ανεμογεννητριών.

Συγκεκριμένα η ελαχίστη απόσταση που θα πρέπει να έχουν οι ανεμογεννήτριες εντός μιας συστοιχίας ( $D_{cw}$ ) είναι τουλάχιστον τρεις φορές την διάμετρο της πτερωτής. Δηλαδή η απόσταση τους στο υπό μελέτη αιολικό πάρκο θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 180 μέτρα καθώς υπενθυμίζεται ότι η διάμετρος της πτερωτής της συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας είναι 90 μέτρα. Όσον αφορά τον κενό χώρο μεταξύ των συστοιχιών ( $D_{dw}$ ) θα πρέπει να είναι τουλάχιστον δέκα φορές την διάμετρο της πτερωτής αν και στο υπό μελέτη αιολικό πάρκο ο αριθμός των ανεμογεννητριών θα τοποθετηθεί σε μια συστοιχία. Τέλος λαμβάνεται υπόψη και ότι η απαιτούμενη επιφάνεια για μια ολοκληρωμένη ανεμογεννήτρια είναι περίπου 120 m<sup>2</sup> καθώς η βάση της έχει διάμετρο 15 μέτρα και πάχος τοιχώματος 2.4 μέτρα.

Επίσης πολύ σημαντικός παράγοντας για την Χωροθέτηση των ανεμογεννητριών είναι να λάβουμε υπόψη μας το ροδόγραμμα άνεμου της περιοχής για να έχουμε στην διάθεση μας την επικρατούσα διεύθυνση του άνεμου καθώς και την διάρκεια πνοής του άνεμου από κάθε κατεύθυνση.

Παρακάτω δίνονται οι αποστάσεις των ανεμογεννητριών που αναφέρθηκαν παραπάνω και σε σχηματική απεικόνιση καθώς και των τύπων που θεωρούνται.



Εικόνα 34. Αποστάσεις μεταξύ ανεμογεννητριών.

Για το δικό μας αιολικό πάρκο επιλέξαμε τις παραπάνω αποστάσεις, δηλαδή να έχουμε απόσταση μεταξύ ανεμογεννητριών μια συστοιχίας 3 φορές την διάμετρο τους και απόσταση μεταξύ των συστοιχιών 10 φορές την διάμετρο τους. Συνεπώς αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο χώρος που χρειάζεται για το αιολικό πάρκο λαμβάνοντας υπόψη την διάμετρο της ανεμογεννήτριας που έχει επιλεχτεί να είναι 90 μέτρα καθώς και ότι θα τοποθετηθούν σε μια συστοιχία να είναι:

$$[(D_{cw} \cdot (N_{row} - 1) + (1.5 \cdot D_r \cdot 2)) \cdot (1.5 \cdot D_r \cdot 2)] / 1000 \quad (4.12)$$

$$\Leftrightarrow [(3 \cdot 90 \cdot (6 - 1) + (1.5 \cdot 90 \cdot 2)) \cdot (1.5 \cdot 90 \cdot 2)] / 1000 = 437,4 \text{ στρέμματα.}$$

Όπου,  $N_{row}$  = ο αριθμός των ανεμογεννητριών,  
 $D_{cw} = 3D_r$  η απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών σε μια συστοιχία με,  
 $D_r$  = η διάμετρος της πτερωτής της ανεμογεννήτριας.

Γενικά τα αιολικά πάρκα εκτείνονται σε έκταση περίπου 100 στρεμμάτων ανά εγκατεστημένο MW, με μεγαλύτερο μέρος αυτής της έκτασης να χρησιμοποιείται και για άλλες δραστηριότητες όπως βοσκή, καλλιέργεια κτλ δεδομένου ότι γενικά δεν περιφράσσονται. Έτσι στο δικό μας αιολικό πάρκο έχουμε  $437,4/6 = 72,9$  στρέμματα ανά εγκατεστημένο MW που δίνει μια καλή εικόνα για την αξιοποίηση του χώρου τοποθέτησης.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: Οικονομική ανάλυση με το πρόγραμμα Retscreen

### 5.1 Εισαγωγή.

Το πρόγραμμα RETScreen είναι ένα λογισμικό Ανάλυσης έργων καθαρής ενέργειας και είναι ένα σημαντικό εργαλείο για την λήψη αποφάσεων που δημιουργήθηκε με την συμβολή μεγάλου αριθμού ειδικών από την κυβέρνηση του Καναδά καθώς και με την έμπρακτη στήριξη του βιομηχανικού και εκπαιδευτικού τομέα. Το λογισμικό, το οποίο παρέχεται δωρεάν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλο τον κόσμο για την αποτίμηση της ενεργειακής παραγωγής και εξοικονόμησης ενέργειας, το κόστος κύκλου ζωής του έργου, τη μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (ΑΤΘ), καθώς και για την οικονομική ανάλυση διαφόρων τεχνολογιών ενεργειακής απόδοσης και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) που θα δώσει την δυνατότητα της ενεργειακή συγκριτική αξιολόγηση σε όλους του φορείς του έργου ώστε να μετρήσουν γρήγορα την ενεργειακή απόδοση μιας εγκατάστασης, δηλαδή την αναμενόμενη κατανάλωση ενέργειας ή την παραγωγή έναντι των εγκαταστάσεων αναφοράς, καθώς και περιθώρια βελτίωσης. Το λογισμικό περιλαμβάνει επίσης βάσεις δεδομένων με προϊόντα, κόστος και κλιματολογικά δεδομένα καθώς και ένα αναλυτικό online εγχειρίδιο χρήστη.

Το προγραμμα RETScreen αποτελείται από 6 λογιστικά φύλλα εργασίας Excel τα όποια είναι

- **Εισαγωγή:** Συμπληρώνονται το όνομα και η τοποθεσία του έργου, ο τύπος του και η τεχνολογία που χρησιμοποιείται, καθώς και τα στοιχεία που αφορούν τα πλησιέστερα μετεωρολογικά δεδομένα
- **Ενεργειακό Μοντέλο:** Συμπληρώνονται τα μετεωρολογικά δεδομένα της περιοχής εγκατάστασης και τα χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας που πρόκειται να εγκατασταθεί, η ισχύς και το ύψος της, ο αριθμός των ανεμογεννητριών και τέλος οι διάφοροι συντελεστές που έχουν να κάνουν με την απόδοση της ανεμογεννήτριας
- **Ανάλυση Κόστους:** Χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των δαπανών που συνδέονται με τη δημιουργία ενός αιολικού πάρκου. Συμπληρώνονται ο τύπος της ανάλυσης και οι δαπάνες κατά το σχεδιασμό και τη λειτουργία του έργου.
- **Ανάλυση Μείωσης Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου (Ανάλυση ΑΤΘ):** Καταγράφονται διάφορες παράμετροι σχετικά με τα αέρια του θερμοκηπίου που μειώνονται χρησιμοποιώντας την αιολική ενέργεια
- **Οικονομική Ανάλυση:** Καταγράφονται διάφορες οικονομικές παράμετροι σχετικά με την αιολική ενέργεια που αξιοποιείται, καθώς και τα οικονομικά οφέλη που απορρέουν χρησιμοποιώντας την
- **Ανάλυση Επικινδυνότητας:** Βοηθά τον χρήστη να εκτιμήσει την ευαισθησία σημαντικών οικονομικών δεικτών σε σχέση με βασικές τεχνικές και οικονομικές παραμέτρους

Παρακάτω δίνονται αναλυτικά τα 6 φύλλα εργασίας που προαναφέρθηκαν παραπάνω τα οποία είναι και εφαρμογή πραγματικού παραδείγματος καθώς



αντιπροσωπεύουν την λεπτομερή παρατήρηση και οικονομική ανάλυση του αιολικού πάρκου μας στην Κάρυστο.

## 5.2 Αρχή του προγράμματος -Εισαγωγή.

Σε αυτό το τμήμα θα συμπληρωθούν αρχικά στοιχεία του έργου ώστε να γίνουν αντιληπτα δεδομένα τα όποια θα χρειαστούν για παρακάτω πληροφορίες. Τα στοιχεία αυτά είναι η ονομασία του έργου << 12.000 KW>> , η τοποθεσία του έργου << Κάρυστος >> , καθώς και ο τυπος έργου που είναι η “παραγωγή ηλεκτρισμού”. Επίσης αναφέρει στοιχεία οσον αφορά την τεχνολογία που χρησιμοποιείται που είναι “Ανεμογεννητρια” στην συγκεκριμενη περιπτωση καθώς και ο τυπος του δικτυου που είναι η επιλογη “Κεντρικο δικτυο”. Ακολουθει ο τυπος αναλυσης οπου ο χρήστης επιλέγει τον τύπο της ανάλυσης από την αναπτυσσόμενη λίστα. Εάν έχει επιλεγεί η “Μέθοδος 1”, απαιτούνται λιγότερο λεπτομερείς πληροφορίες (δηλαδή τα περισσότερα φύλλα εργασίας κλείνουν), ενώ αν επιλεγεί “Μέθοδος 2”, απαιτούνται λεπτομερέστερες πληροφορίες. Τυπικά, η μέθοδος 1 χρησιμοποιείται πρώτα για να προσδιοριστεί εάν απαιτείται ανάλυση της μεθόδου 2. Στην συγκεκριμενη περιπτωση εχει επιλεχτει η “μεθοδος 2” λογο ότι η μελετη μας απαιτει πιο λεπτομερη και πιο σαφη στοιχεια. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας 4 όπου είναι και το φύλλο εκκίνησης του προγράμματος με τα επιπλέον στοιχεία που φαινονται όπως θερμογονος ικανοτητα , γλωσσα , νομισμα κτλ.

Πίνακας 4. RETScreen Φύλλο Εκκίνησης

Πληροφορία έργου		<a href="#">Δείτε βάση δεδομένων έργου</a>
Όνομασία έργου	12.000 KW	
Τοποθεσία έργου	Κάρυστος	
Συντάχθηκε για	Πτυχιακή εργασία	
Συντάχθηκε από	Κυριακόπουλος Ιωάννης - Ασλάνης Δημήτρης	
Τύπος έργου	Παραγωγή ηλεκτρισμού	
Τεχνολογία	Ανεμογεννητρια	
Τύπος δικτύου	Κεντρικό δίκτυο	
Τύπος ανάλυσης	Μέθοδος 2	
Θερμογόνος ικανότητα αναφοράς	Ανώτερη Θερμογόνος Ικανότητα (ΑΘΙ)	
Δείξε ρυθμίσεις	<input type="checkbox"/>	
Γλώσσα	Greek - Ελληνικά	
Εγχειρίδιο Χρήστη	English - Αγγλικά	
Νόμισμα	Ευρώ	
Μονάδες	Μονάδες μετρικού συστήματος	
Συνθήκες αναφοράς τοποθεσίας		<a href="#">Επιλέξτε τοποθεσία κλιματικών δεδομένων</a>
Θέση κλιματολογικών δεδομένων	ΚΑΡΥΣΤΟΣ	
Δείξε δεδομένα	<input type="checkbox"/>	

Επιπροσθέτως σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθούν τα κλιματικά δεδομένα τα όποια επιλέχτηκαν για την τοποθεσία του έργου μας που είναι η Κάρυστος. Το μέρος αυτό επιλέχτηκε για το λόγο ότι είναι ένα νησί με σχετικά υψηλό αιολικό δυναμικό. Παρόλα αυτά το πρόγραμμα δεν το είχε ως προεπιλογή και για αυτό ανατρέξαμε σε άλλες πηγές για να βρούμε τα απαραίτητα στοιχεία που θα επεξηγηθούν στην συνέχεια. Αυτά τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι η πίεση , η



**Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου Ιωάννη- Ασλάνη Δημήτριου**  
**ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 12ΜW (ΚΑΡΥΣΤΟΣ)**

Θερμοκρασία εδάφους , η θερμοκρασία αέρος , η ημερησία ηλιακή ακτινοβολία και η σχετική υγρασία της Καρύστου που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα 5.

**Πίνακας 5. RETScreen Κλιματικά Δεδομένα Καρύστου**

	Θέση κλιματολογικών δεδομένων		Τοποθεσία έργου					
	Μονάδα							
Γεωγραφικό πλάτος	'B	38.1	38.1					
Γεωγραφικό μήκος	'A	24.4	24.4					
Υψόμετρο	m	158	158					
Θερμοκρασία θέρμανσης βάσει σχεδιασμού	°C	5.3						
Θερμοκρασία ψύξης βάσει σχεδιασμού	°C	28.8						
Πλάτος (διακύμανση) θερμοκρασίας εδάφους	°C	10.6						

Μήνας	Θερμοκρασία αέρα	Σχετική υγρασία	Ημερησία ηλιακή ακτινοβολία -	Ατμοσφαιρική πίεση	Ταχύτητα ανέμου	Θερμοκρασία εδάφους	Βαθμό-ημέρες θέρμανσης	Βαθμο-ημέρες ψύξης
	°C	%	kWh/m <sup>2</sup> /ημ	kPa	m/Δευτερόλεπτο	°C	°C-ημ	°C-ημ
Ιανουάριος	10.4	71.1%	2.18	101.1	6.8	11.9	236	33
Φεβρουάριος	10.3	70.2%	3.03	101.0	7.0	12.1	216	22
Μάρτιος	12.4	70.8%	4.29	100.8	6.0	13.6	174	76
Απρίλιος	15.7	68.0%	5.84	100.6	5.1	16.3	69	173
Μαΐος	19.5	67.1%	6.98	100.6	4.9	20.0	0	311
Ιούνιος	24.2	62.6%	8.04	100.5	4.8	23.6	0	422
Ιούλιος	28.8	56.0%	7.98	100.3	5.9	25.3	0	496
Αύγουστος	26.4	57.6%	7.18	100.4	6.0	25.3	0	494
Σεπτέμβριος	23.6	61.4%	5.75	100.7	5.5	23.3	0	401
Οκτώβριος	19.4	68.1%	3.87	101.0	5.8	19.9	0	298
Νοέμβριος	14.9	73.4%	2.37	101.0	6.3	15.9	93	162
Δεκέμβριος	11.7	72.7%	1.81	101.0	6.5	13.0	195	70
Ετήσιο	18.0	66.6%	4.95	100.7	5.9	18.4	983	2,958
Μετρημένο σε	m				10.0	0.0		

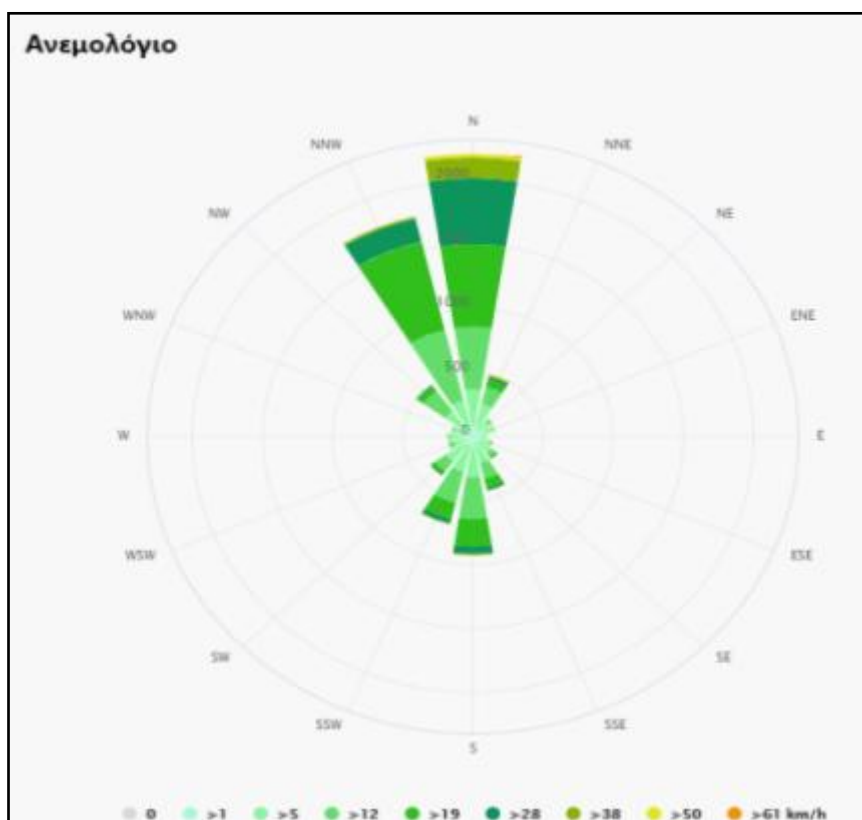
Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου και γενικά των παραπάνω στοιχείων η πηγή από την οποία αξιοποιήθηκαν είναι το TOTEE δηλαδή οι τεχνικές οδηγίες του τεχνικού επιμελητήριου Ελλάδας. Αυτό αποδεικνύει την γνησιότητα των μετρήσεων εφόσον δεν είχε το πρόγραμμα την προεπιλογή της Καρύστου για την τοποθεσία. Ωστόσο σύμφωνα με το TOTEE οι μέσες μηνιαίες τιμές του ανέμου για την Κάρυστο φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 6.

**Πίνακας 6. Μέσες Μηνιαίες Τιμές Ανέμου, Πηγή: TOTEE**

Μήνας	Ταχύτητα ανέμου
	m/Δευτερόλεπτο
Ιανουάριος	6.8
Φεβρουάριος	7.0
Μάρτιος	6.0
Απρίλιος	5.1
Μαΐος	4.9
Ιούνιος	4.8
Ιούλιος	5.9
Αύγουστος	6.0
Σεπτέμβριος	5.5
Οκτώβριος	5.8
Νοέμβριος	6.3
Δεκέμβριος	6.5
Ετήσιο	5.9
Μετρημένο σε	m
	10.0



Παρακάτω παρατίθενται διαγράμματα καιρικών συνθηκών για την Κάρυστο τα όποια είναι εξίσου σημαντικά να γνωρίζουμε για την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση της τοποθεσίας του έργου.



Εικόνα 35. Ροδόγραμμα Καρύστου, Πηγή: <https://www.meteoblue.com/>

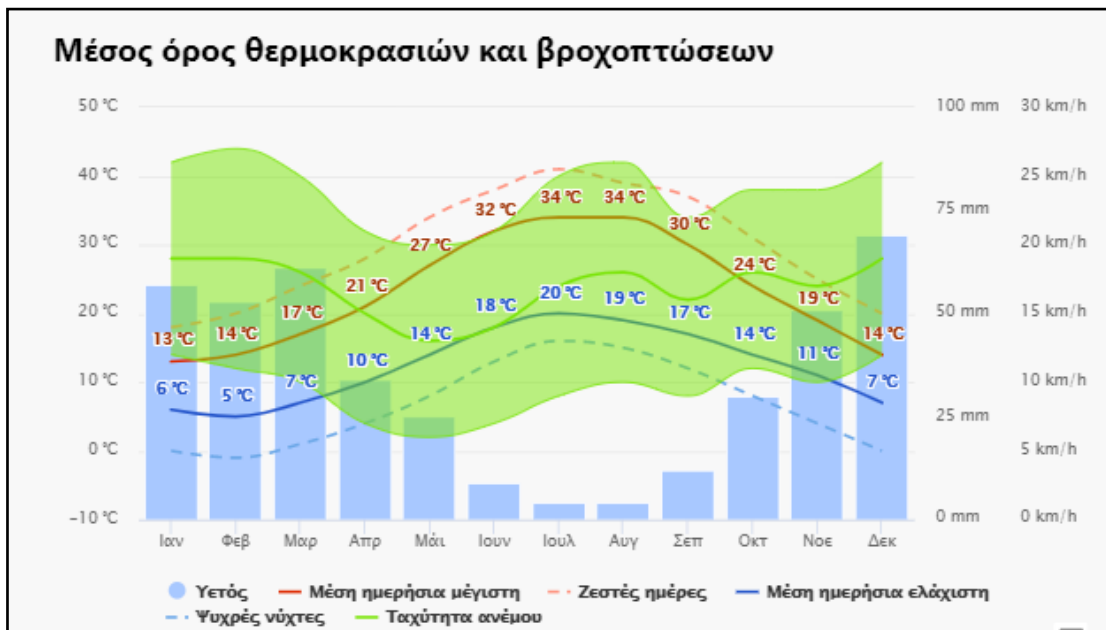
Το παραπάνω ροδόγραμμα-ανεμολόγιο για την Κάρυστο δείχνει πόσες ώρες ετησίως ο άνεμος φυσάει από την υποδεικνυόμενη διεύθυνση και όπως φαίνεται έχουμε τις περισσότερες ώρες από τον βορρά. Παράδειγμα ΝΔ: ο άνεμος φυσά από τα Νότιο-Δυτικά (ΝΔ) προς τα Βορειοανατολικά (ΒΑ). Πιο συγκεκριμένα παρακάτω φαίνονται οι ετήσιες ώρες που φυσάει ο άνεμος από την υποδεικνυόμενη διεύθυνση.



<p><b>N</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 4 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 80 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 284 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 493 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 645 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 514 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 162 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 27 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 3 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>NNE</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 4 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 66 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 192 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 137 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 59 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 23 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 13 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 5 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 2 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>NE</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 52 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 96 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 19 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 4 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>ENE</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 5 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 79 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 70 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 7 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 2 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>
<p><b>E</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 47 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 48 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 5 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>ESE</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 3 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 59 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 66 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 15 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 2 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>SE</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 51 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 109 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 37 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 16 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 4 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>SSE</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 48 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 163 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 130 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 74 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 20 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 3 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>
<p><b>S</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 9 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 80 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 230 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 325 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 214 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 59 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 12 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>SSW</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 60 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 222 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 248 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 129 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 38 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 9 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>SW</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 4 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 75 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 162 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 94 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 31 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 10 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 3 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>WSW</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 58 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 87 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 29 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 6 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>
<p><b>W</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 4 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 89 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 80 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 8 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>WNW</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 57 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 84 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 13 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 3 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>NW</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 4 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 67 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 174 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 196 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 49 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 9 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 1 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 0 ώρες/έτος</li></ul>	<p><b>NNW</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>0 : 0 ώρες/έτος</li><li>&gt;1 : 54 ώρες/έτος</li><li>&gt;5 : 236 ώρες/έτος</li><li>&gt;12 : 568 ώρες/έτος</li><li>&gt;19 : 708 ώρες/έτος</li><li>&gt;28 : 185 ώρες/έτος</li><li>&gt;38 : 16 ώρες/έτος</li><li>&gt;50 : 3 ώρες/έτος</li><li>&gt;61 km/h: 1 ώρες/έτος</li></ul>

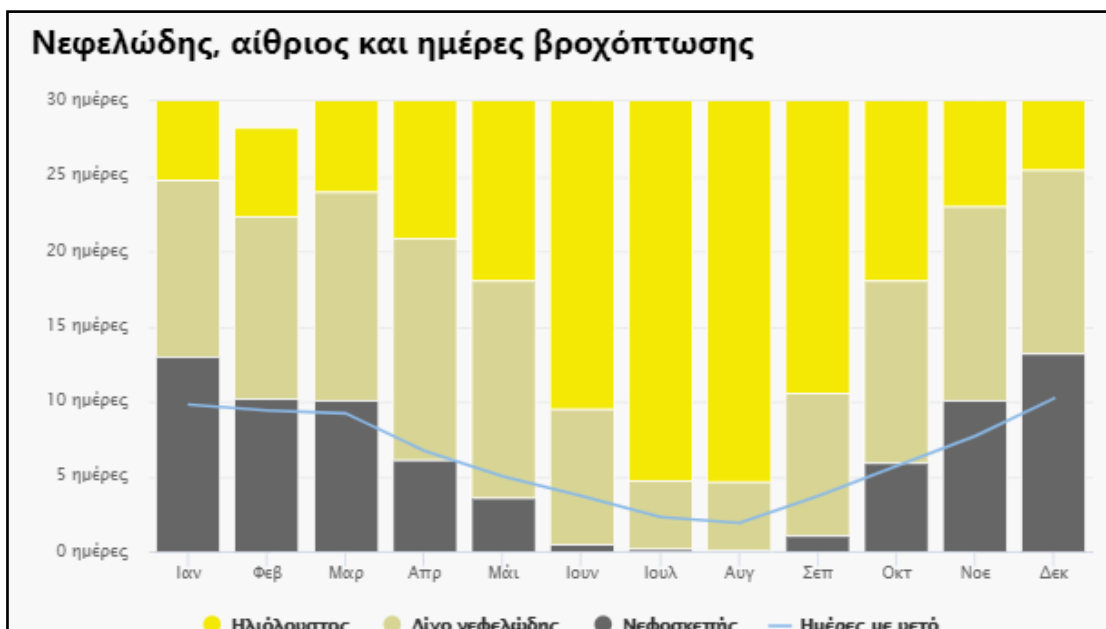
Πίνακας 7. Ετήσιες ώρες ανέμου ανά διεύθυνση





Εικόνα 36. Μέσος όρος θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων στην Κάρυστο

Η «ημερήσια μέση μέγιστη» (συμπαγής κόκκινη γραμμή) δείχνει τη μέγιστη θερμοκρασία μιας μέσης ημέρας για κάθε μήνα για Κάρυστος. Ομοίως, «ημερήσια μέση ελάχιστη» (συμπαγής μπλε γραμμή) δείχνει τη μέση ελάχιστη θερμοκρασία. Οι ζεστές ημέρες και κρύες νύχτες (διακεκομμένες κόκκινες και μπλε γραμμές) δείχνουν τον μέσο όρο της πιο ζεστής μέρας και πιο κρύας νύχτας του κάθε μήνα για τα τελευταία 30 χρόνια.

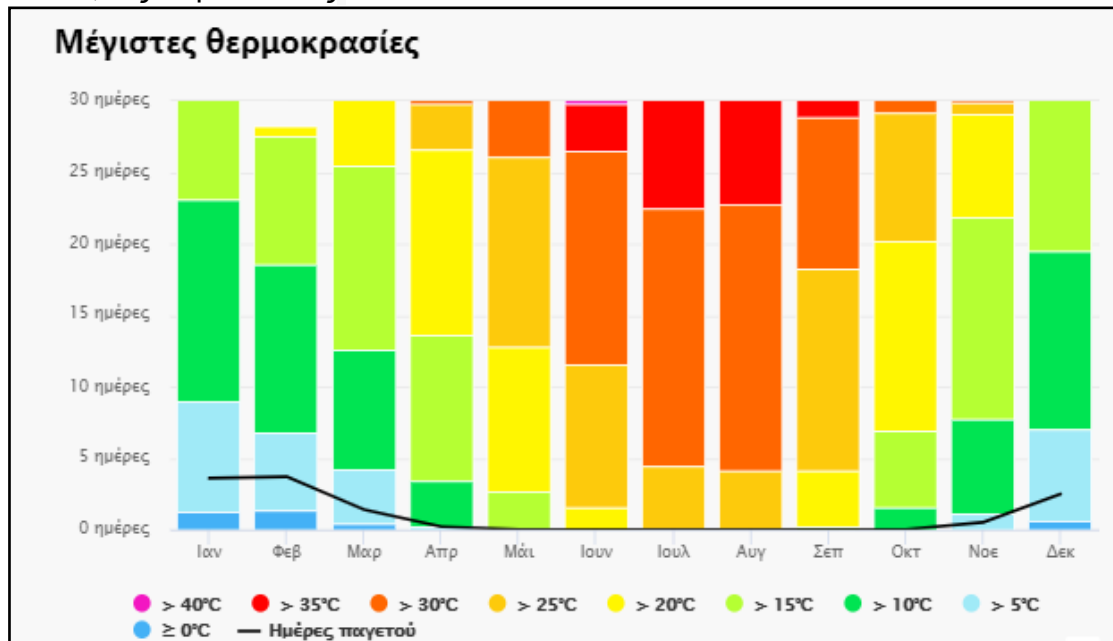


Εικόνα 37. Νεφελώδης, αίθριος και ημέρες βροχόπτωσης

Το γράφημα δείχνει το μηνιαίο αριθμό ημερών με καιρό αίθριο, λίγο νεφελώδη, νεφοσκεπή και τις ημέρες με βροχή. Οι ημέρες με λιγότερο από 20% νεφοκάλυψη

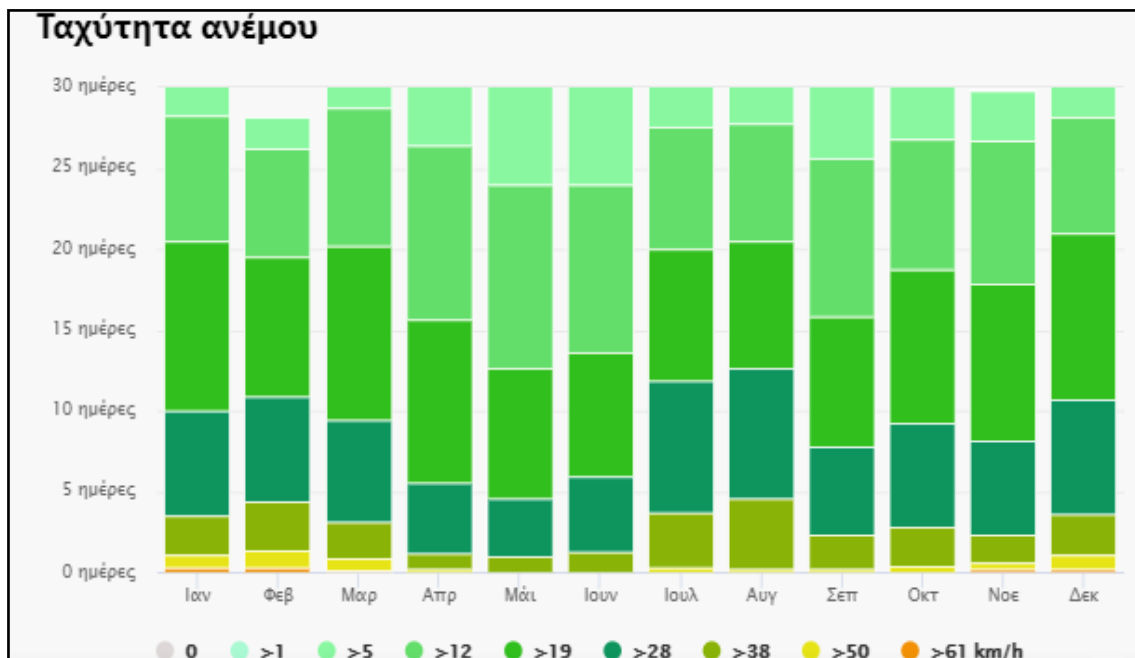


θεωρούνται ως αίθριες, με 20-80% νεφοκάλυψη ως νεφελώδεις και με περισσότερα από 80%, ως νεφοσκεπείς.



Εικόνα 38. Μέγιστες θερμοκρασίες

Το διάγραμμα μέγιστης θερμοκρασίας για Κάρυστος εμφανίζει πόσες ημέρες ανά μήνα επιτυγχάνονται συγκεκριμένες θερμοκρασίες.



Εικόνα 39. Ταχύτητα ανέμου

Το διάγραμμα για Κάρυστος δείχνει πόσες ημέρες μέσα σε ένα μήνα μπορεί ο άνεμος να φθάσει σε συγκεκριμένη ένταση (ταχύτητα).



### 5.3 Ενεργειακό Μοντέλο.

Σε αυτό το φύλλο του λογισμικού είχαμε την δυνατότητα επιλογής τριών ενσωματωμένων μεθόδων. Ο χρήστης καθορίζει τον τύπο της ανάλυσης που πρέπει να εκτελέσει κάνοντας κλικ στο κατάλληλο κουμπί επιλογής. Εάν επιλεγεί η "Μέθοδος 1", εκτελείται απλοποιημένη ανάλυση βάσει της ισχύος και του συντελεστή χωρητικότητας των ανεμογεννητριών. Εάν επιλεγεί η "Μέθοδος 2", εκτελείται λεπτομερέστερη ανάλυση με βάση τα στοιχεία του ετήσιου κλιματισμού και του εξοπλισμού των ανεμογεννητριών. Εάν επιλεγεί "Μέθοδος 3", εκτελείται μια ακόμη πιο λεπτομερής ανάλυση με βάση τα μηνιαία στοιχεία για το κλίμα και τα στοιχεία του εξοπλισμού των ανεμογεννητριών. Η μέθοδος που επιλέχτηκε είναι η μέθοδος 3 για το λόγο ότι είναι η πιο λεπτομερής και αναλυτική από τις υπόλοιπες τρεις πράγμα το οποίο χρειαζόμαστε για την μελέτη μας.

Η τρίτη μέθοδος αναλύεται σε 3 επιμέρους κατηγορίες οι οποίες είναι:

- I. Αξιολόγηση πηγών
- II. Τύπος Ανεμογεννήτριας
- III. Περίληψη

Στην συνέχεια αναλύονται οι τρεις επιμέρους κατηγορίες ξεχωριστά που προαναφέρθηκαν παραπάνω καθώς και ο λόγος επιλογής των προαπαιτούμενων κελιών.

#### 5.3.1 Αξιολόγηση Πηγών.

Στην κατηγορία αυτή αναγράφονται η μέσες μηνιαίες ταχύτητες ανέμου, το υψόμετρο στο οποίο έχουν καταγράψει οι μετρήσεις, η ηλεκτρική ενέργεια η οποία καταλήγει στο δίκτυο, η τιμή της πωλούμενης MWh και ένας έκθετης παραμόρφωσης ανέμου.

Αρχικά όπως βλέπουμε καταγράφονται και υπολογίζεται ο μέσος ορός των μεσών μηνιαίων ταχυτήτων ανέμου όπως φαίνονται και στον πίνακα 3 και συμπληρώνεται στο κελί "μετρημένο σε" το ύψος στο οποίο καταγράφηκαν οι μετρούμενες τιμές. Η τιμή στην οποία μετρούνται οι τιμές κυμαίνεται από 3-100 m αλλά συνήθως επιλέγεται η τιμή των 10m όπως και στην προκείμενη περιπέσει

Στο κελί "Έκθετης παραμόρφωσης ανέμου" συμπληρώνεται ένας αδιάστατος αριθμός που εκφράζει τον ρυθμό με τον οποίο η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται, ανάλογα με το ύψος πάνω από το έδαφος. Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας 4. που φαίνονται όλα τα παραπάνω.

Πίνακας 8. RETScreen Αξιολόγηση Πηγών

Μέθοδος (εκτίμησης) φυσικών πόρων	Μήνας	Ταχύτητα ανέμου m/Δευτερόλεπτο	ΚΑΡΥΣΤΟΣ m/Δευτερόλεπτο	Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού €/MWh	Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο MWh
	Ιανουάριος	6.8	6.8	99.5	2,225
	Φεβρουάριος	7.0	7.0	99.5	2,119
	Μάρτιος	6.0	6.0	99.5	1,715
	Απρίλιος	5.1	5.1	99.5	1,104
	Μαΐος	4.9	4.9	99.5	1,013
	Ιούνιος	4.8	4.8	99.5	914
	Ιούλιος	5.9	5.9	99.5	1,567
	Αύγουστος	6.0	6.0	99.5	1,628
	Σεπτέμβριος	5.5	5.5	99.5	1,307
	Οκτώβριος	5.8	5.8	99.5	1,556
	Νοέμβριος	6.3	6.3	99.5	1,824
	Δεκέμβριος	6.5	6.5	99.5	2,029
	Ετήσιο	5.9	5.9	99.5	19,000
Μετρημένο σε		m	10.0	ft	32.8



Όσον αφορά την τιμή της πωλούμενης MWh σύμφωνα με το άρθρο 5 του Ν.3851/2010/ΦΕΚ.Α'85 και για εγκαταστάσεις μεγαλύτερες των 50kW έχουμε δυο τιμές. Η πρώτη τιμή είναι 87,85€/MWh για διασυνδεδεμένο σύστημα και η δεύτερη τιμή είναι 99.45 €/MWh όπως φαίνεται και παρακάτω στον πίνακα 8. Η τιμή η οποία εμείς επιλεγούμε είναι η τιμή των 99.45€/MWh καθώς το νησί που μελετάμε για το αιολικό πάρκο μας είναι μη διασυνδεδεμένο. Αξίζει να σημειωθεί ότι η διαφορά μεταξύ των δυο αυτών τιμών διασυνδεδεμένου και μη συστήματος οφείλεται κατά κύριο λόγο στις απώλειες ενέργειας με διάφορες μορφές όπως θερμότητα για παράδειγμα που έχουν η γραμμές μεταφοράς, διανομής κτλ.

Πίνακας 9. Τιμή Ενέργειας, Πηγή: ΔΕΣΜΗΕ

Με την αναπροσαρμογή των τιμολογίων του άρθρου 5 του Ν.3851/2010/ΦΕΚ.Α'85, η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από Παραγωγό ή Αυτοπαραγωγό μέσω σταθμού χρήσης ΑΠΕ - εκτός Φωτοβολταϊκών - ή μέσω ΣΗΘΥΑ ή από υβριδικό σταθμό και απορροφάται από το Σύστημα ή το Δίκτυο, τιμολογείται σε ευρώ ανά μεγαβατώρα (€/MWh) σύμφωνα με τον ακόλουθο πίνακα:

Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από:	Τιμή Ενέργειας (€/MWh)	
	Διασυνδεδεμένο Σύστημα	Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά
Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος > 50 kW	87,85	99,45

### 5.3.2 Τύπος Ανεμογεννήτριας

Σε αυτή την κατηγορία ο χρήστης εισάγει από μια βάση δεδομένων προϊόντων όπως θα δούμε παρακάτω και σε πίνακα τα τεχνικά χαρακτηριστικά της κατάλληλης ανεμογεννήτριας που έχει επιλεχτεί για αυτόν από τις συνθήκες που έχει λάβει. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι η ονομαστική ισχύς ή ισχύς ανά στρόβιλο , είναι ο κατασκευαστής της ανεμογεννήτριας και ο τύπος της όπου στην προκειμένη περίπτωση έχει επιλεχτεί μια VESTAS V90-2.0 MW-80 δηλαδή μια ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 2000 KW . Επίσης χαρακτηριστικά που αναγράφονται για τον συγκεκριμένο τύπο ανεμογεννήτριας είναι η ηλεκτρική ισχύς που είναι 12000 KW επειδή όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα επιλέγεις και τον αριθμό των στροβίλων που επιθυμείς να βάλεις και εμείς έχουμε επιλέξει να βάλουμε 6 άρα  $6 \cdot 2000KW = 12000KW$ . Τέλος αναγράφονται πληροφορίες όπως το ύψος του πυλώνα που είναι 80m, η διάμετρος του ρότορα 90m και η επιφάνεια σάρωσης του στροβίλου που στην συγκεκριμένη είναι 6.362 m<sup>2</sup> ενώ όμως μπορεί να κυμανθεί από 35 έως 11.310 m<sup>2</sup>. Ακολουθεί ο πίνακας 6. που φαίνονται όλα τα παραπάνω τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας.

Πίνακας 10. RETScreen Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ανεμογεννήτριας

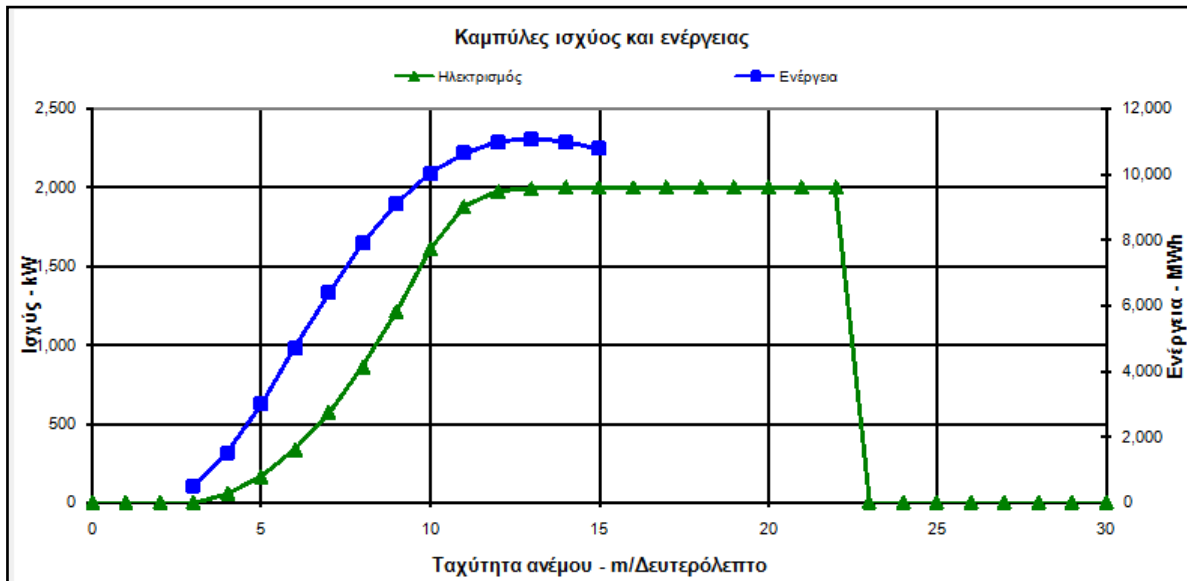
Ανεμογεννήτρια					
Ισχύς ανά στρόβιλο	kW	2,000.0			
Κατασκευαστής		Vestas			
Μοντέλο		VESTAS V90-2.0 MW - 80m			
Αριθμός στροβίλων		6			
Ηλεκτρική ισχύς	kW	12,000.0			
Ύψος πυλώνα	m	80.0	7.0 m/Δευτερόλεπτο	ft	262.5
Διάμετρος ρότορα ανά στρόβιλο	m	90		ft	295.3
Επιφάνεια σάρωσης ανά στρόβιλο	m <sup>2</sup>	6,362		ft <sup>2</sup>	68,477
Καμπύλες ενεργειακών δεδομένων		Τυποποιημένο			
Παράγων σχήματος		2.0			



Όσον αφορά τώρα τα ενεργειακά δεδομένα για τον σχηματισμό της καμπύλης υπάρχουν δυο επιλογές που επηρεάζουν τον τρόπο υπολογισμού των δεδομένων. Οι δυο αυτές επιλογές είναι "τυποποιημένο" και εξατομικευμένη λύση. Στην περίπτωση που εξετάζουμε έχει επιλεγεί η επιλογή "τυποποιημένο" καθώς αυτή η επιλογή σου δίνει την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου εάν αυτή δεν είναι γνωστή για την περιοχή όπου θέλεις. Η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου που σου δίνεται από αυτή την επιλογή γίνεται με βάση την κατανομή του Rayleigh, που είναι μια ειδική περίπτωση της κατανομής του Weibull για την οποία όμως ο συντελεστής ισχύος είναι ίσος με δυο. Η δεύτερη επιλογή εξατομικευμένη λύση υπολογίζει τα δεδομένα σύμφωνα με την κατανομή Weibull αλλά αφορά κυρίως την τεχνική αιολικής ενεργείας επειδή επικεντρώνεται στην μακροπρόθεσμη παρατήρηση των κατανομών των μεσών ανέμων για μια σειρά τοποθεσιών η οποία για την δική μας περίπτωση δεν μας βολεύει για αυτό επιλέξαμε και την πρώτη επιλογή. Ωστόσο τα δεδομένα ενεργειακής καμπύλης υπολογίζονται χρησιμοποιώντας τα στοιχεία της καμπύλης ισχύος του ανάλογου τύπου στροβίλου και της κατανομής της ταχύτητας του ανέμου όπως φαίνεται παρακάτω στον πίνακα 11. και στο διάγραμμα 9.

Πίνακας 11. RETScreen Δεδομένα ενεργειακής καμπύλης ανεμογεννήτριας.

<input checked="" type="checkbox"/> Δείξε δεδομένα	Ταχύτητα ανέμου m/Δευτερόλεπτο	Δεδομένα καμπύλης ισχύος kW	Καμπύλες ενεργειακών MWh
	0	0.0	
	1	0.0	
	2	0.0	
	3	0.0	517.1
	4	56.0	1,525.8
	5	165.0	3,012.6
	6	339.0	4,719.1
	7	570.0	6,401.9
	8	863.0	7,925.7
	9	1,215.0	9,243.3
	10	1,606.0	10,350.9
	11	1,878.0	11,258.1
	12	1,974.0	11,974.6
	13	1,995.0	12,509.5
	14	2,000.0	12,873.9
	15	2,000.0	13,082.3
	16	2,000.0	
	17	2,000.0	
	18	2,000.0	
	19	2,000.0	
	20	2,000.0	
	21	2,000.0	
	22	2,000.0	
	23	2,000.0	
	24	2,000.0	
	25 - 30	2,000.0	



Εικόνα 40. RETScreen Καμπύλη ισχύος του ανεμοστρόβιλου

Εδώ παρατηρείται ότι στην ανεμογεννήτρια αρχίζει να υπάρχει παραγωγή και αύξηση του ηλεκτρισμού από τα 3 m/s μέχρι τα 13 m/s, όπου από τα 13m/s έως 22 m/s υπάρχει συνεχής μη αυξανόμενη παραγωγή ηλεκτρισμού καθώς μετά τα 22 m/s σταματάει η λειτουργία των ανεμογεννητριών δηλαδή καεί παραγωγή ηλεκτρισμού για λόγους ασφαλείας. Όσον αφορά την καμπύλη ενέργειας το λογισμικό RETScreen στο συγκεκριμένο παράδειγμα σταματήσει σε ταχύτητα 15 m/s. Στην συνέχεια αλλά πεδία εξίσου σημαντικά που αναγράφονται σε ποσοστό % και θα αναλυθούν παρακάτω είναι:

- Απώλειες διάταξης
- Απώλειες πτερύγιου
- Λοιπές απώλειες
- Διαθεσιμότητα.

### Απώλειες Διάταξης (%)

Δημιουργούνται από την αλληλεπίδραση πολλών ανεμογεννητριών μεταξύ τους όταν κατά κύριο λόγο δεν είναι χωροταξικά κατανομημένες με αποτέλεσμα η μια να σκιάζει την άλλη η να μην προσπίπτει η κατάλληλη ποσότητα ανέμου που συνεπάγεται και μικρότερη απόδοση αρά και μικρότερη παραγωγή. Η παραγωγή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόσταση των ανεμογεννητριών, τον προσανατολισμό τους και ιδιαίτερα από τα χαρακτηριστικά του τόπου. Ένα καλό ποσοστό για ένα καλά σχεδιασμένο αιολικό πάρκο κυμαίνεται από 0-20 %. Τα κατώτερο άκρο των τιμών αναφέρονται αρχικά σε λίγες και καλά κατανομημένες ανεμογεννήτριες ενώ το ανώτερο άκρο αφορά μεγάλο αριθμό ανεμογεννητριών με χαρακτηριστικό λειτουργίας τους έναν αδύναμο άνεμο. Όσον αφορά ένα αιολικό πάρκο καλά σχεδιασμένο από 8-10 ανεμογεννήτριες οφείλει να διατηρεί απώλειες κάτω του 5% αρά για αυτό το λόγο και εμείς και επειδή έχουμε και 6 ανεμογεννήτριες επιλέχτηκε η τιμή 4% .



### Απώλειες Πτερύγιου (%)

Οι συγκεκριμένες απώλειες οφείλονται στην ρύπανση των πτερυγίων του στροβίλου εξαιτίας της σκόνης που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και του πάγου που δημιουργείται ειδικά σε περιοχές υψηλού υψόμετρου και χαμηλών θερμοκρασιών έχοντας ως αποτέλεσμα τον επηρεασμό της αεροδυναμικής απόδοσης τους αρά και την μείωση της απόδοσης των στροβίλων. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί σε μεγάλο βαθμό με τον καθαρισμό των πτερυγίων όσον αφορά την σκόνη και με την θέρμανση στις άκρες του πτερύγιου όσον αφορά τον πάγου με το κόστος όμως να αυξάνεται στις περιπτώσεις αυτές. Επιπλέον οι απώλειες οφείλονται και στο ότι ο πάγος καθίστα πολλές φορές αναγκαίο την διακοπή της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας η την δύσκολη εκκίνηση της. Γενικά οι τιμές των συγκεκριμένων απωλειών κυμαίνονται από 1% έως 10% ενώ στην δίκη μας περίπτωση έχει επιλεχτεί μια αντιπροσωπευτική τιμή 3% επειδή η τοποθεσία που έχει θερμό κλίμα και οι απώλειες λόγω πάγου είναι ελαττωμένες κατά μεγάλο βαθμό. Γενικά οι απώλειες αυτές εξαρτώνται από το υψόμετρο που έχει τοποθετηθεί ο στρόβιλος, την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, το επίπεδο υγρασίας καθώς και το σχεδιασμός της μηχανής.

### Λοιπές απώλειες (%)

Ο χρήστης εισάγει τις μέσες διάφορες απώλειες (%) για όλες τις ανεμογεννήτριες σε ένα αιολικό πάρκο, το οποίο αντιπροσωπεύει απώλειες στην παραγωγή ενέργειας λόγω των εκκινήσεων και των στάσεων, της λειτουργίας εκτός λειτουργίας, του υψηλού ανέμου και των διακοπών από τις ριπές του ανέμου. Περιλαμβάνουν επίσης τυχόν παρασιτικές απαιτήσεις ισχύος και τυχόν απώλειες γραμμών μεταφοράς από την τοποθεσία έργου αιολικής ενέργειας έως το σημείο όπου το έργο συνδέεται με το τοπικό δίκτυο διανομής.

### Διαθεσιμότητα (%)

Οι απώλειες αυτές οφείλονται στην διακοπή της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας αφού είναι αποτέλεσμα προγραμματισμένης συντήρησης , στις βλάβες των στροβίλων καθώς και στην διακοπή λειτουργίας του υποσταθμού. Οι τιμές κυμαίνονται από 92% έως 98% της ακαθάριστης παράγωγης ενέργειας. Η τιμή που επιλέχτηκε στην προκείμενη περίπτωση είναι μια προσεγγιστική τιμή της τάξης του 95% επειδή είναι μια ιδανική τιμή για ανεμογεννήτριες οι οποίες είναι κατανομημένες και τοποθετημένες στο σωστό χώρο και τόπο. Παρακάτω θα δούμε τον πίνακα 9. που φαίνονται όλες οι απώλειες καθώς και η διαθεσιμότητα που επεξηγήσαμε παραπάνω.

Πίνακας 12. Απώλειες και Διαθεσιμότητα.

Απώλειες διάταξης	%	4.0%
Απώλειες πτερυγίου	%	3.0%
Λοιπές απώλειες	%	18.0%
Διαθεσιμότητα	%	93.0%

### 5.3.3 Περίληψη

Εδώ όπως θα δούμε και στον παρακάτω πίνακα 13. φαίνεται ο συντελεστής ισχύος (%) και η ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο καθώς στον πίνακα 14. φαίνονται



κάποια χρήσιμα στοιχεία ανά στρόβιλο τα όποια προέρχονται από βάση δεδομένων ανάλογα με τον τύπο του στρόβιλου που επιλέγεται και θα επεξηγηθούν παρακάτω.

Πίνακας 13. RETScreen περίληψη

Περίληψη		
Συντελεστής ισχύος	%	18.1%
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	19,000

Πίνακας 14. RETScreen Δεδομένα

	Ανά στρόβιλο	
Μη διορθωμένη ενεργειακή παραγωγή	MWh	4,512
Συντελεστής πίεσης		0.995
Συντελεστής θερμοκρασίας		0.990
Συνολική ενεργειακή παραγωγή	MWh	4,459
Συντελεστής απωλειών		0.71
Ειδική παραγωγή	kWh/m <sup>2</sup>	498

- **Μη διορθωμένη ενεργειακή παράγωγη**

Το μοντέλο υπολογίζει τη μη διορθωμένη παραγωγή ενέργειας από τον αιολικό εξοπλισμό για μία (μεσολάβηση) ανεμογεννήτρια. Είναι η ενέργεια που θα παράγει μία ανεμογεννήτρια σε κανονικές συνθήκες θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης

- **Συντελεστής πίεσης**

Το μοντέλο υπολογίζει τον συντελεστή ρύθμισης της πίεσης, ο οποίος είναι ανάλογος με τη μέση ατμοσφαιρική πίεση στην τοποθεσία, η οποία με τη σειρά της εξαρτάται κυρίως από την ανύψωση της θέσης. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ακαθάριστης παραγωγής ενέργειας για μία (μεσολάβηση) ανεμογεννήτρια. Ο συντελεστής πρέπει να πέφτει μεταξύ 0,59 και 1,02 με το κατώτερο άκρο της περιοχής που αντιστοιχεί σε μια τοποθεσία σε υψόμετρο μεγαλύτερο από 4.000 μέτρα.

- **Συντελεστής θερμοκρασίας**

Το μοντέλο υπολογίζει τον συντελεστή ρύθμισης της θερμοκρασίας, ο οποίος είναι αντιστρόφως ανάλογος με τη μέση θερμοκρασία στην τοποθεσία. Χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ακαθάριστης παραγωγής ενέργειας για μία (μεσολάβηση) ανεμογεννήτρια. Η τυπική θερμοκρασία διαβάθμισης των 15 ° C για την απόδοση των ανεμογεννητριών αντιστοιχεί σε συντελεστή ρύθμισης θερμοκρασίας 1. Τυπικά, ο συντελεστής πέφτει μεταξύ 0,98 και 1,15 για θερμοκρασία που κυμαίνεται από 20 ° C έως -20 ° C περίπου.

- **Συνολική ενεργειακή παραγωγή**

Το μοντέλο υπολογίζει την ακαθάριστη παραγωγή ενέργειας για μία ανεμογεννήτρια, η οποία είναι η συνολική ετήσια ενέργεια που παράγεται από τον αιολικό εξοπλισμό, πριν από τυχόν απώλειες, στην ταχύτητα ανέμου, την ατμοσφαιρική πίεση και τις συνθήκες θερμοκρασίας στην περιοχή. Προέρχεται από την μη διορθωμένη





παραγωγή ενέργειας, τον συντελεστή ρύθμισης της πίεσης και τον συντελεστή ρύθμισης της θερμοκρασίας.

- **Συντελεστής απωλειών**

Το μοντέλο υπολογίζει τον συντελεστή απώλειας για μία ανεμογεννήτρια η οποία ενσωματώνει όλους τους συντελεστές απώλειας. Ο συντελεστής είναι ένας συνδυασμός του πίνακα, της αεροτομής και των διαφόρων ζημιών και διαθεσιμότητας. Ο συντελεστής ζημιών 0,75 ή χαμηλότερος θα ήταν ενδεικτικός ενός κακώς προγραμματισμένου έργου.

- **Ειδική παραγωγή**

Το μοντέλο υπολογίζει την ειδική απόδοση (kWh / m<sup>2</sup>) του εξοπλισμού αιολικής ενέργειας, που είναι ένα κοινό κριτήριο στην βιομηχανία αιολικής ενέργειας για την αξιολόγηση και σύγκριση των επιδόσεων μιας ανεμογεννήτριας σε συνδυασμό με το καθεστώς ανέμου στην περιοχή. Η συγκεκριμένη απόδοση επιτυγχάνεται διαιρώντας την ενέργεια που παράγεται από μια ανεμογεννήτρια μεσολάβησης μέσω της σάρωσης περιοχής του δρομέα. Η συγκεκριμένη απόδοση κανονικά κυμαίνεται από 150 έως 1.500 kWh / m<sup>2</sup> ανά στρόβιλο όπου το χαμηλό άκρο αντιστοιχεί σε μια μικρή ανεμογεννήτρια σε μέτρια αιολική ενέργεια και το υψηλότερο τέλος σε μια μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια σε καλή κατάσταση ανέμου.

## 5.4 ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Το λογισμικό RETScreen εμπεριέχει ένα φύλλο εργασίας το οποίο ονομάζεται <<ανάλυση κόστους>>. Με αυτό ο χρήστης υπολογίζει το κόστος που σχετίζεται με το έργο. Σε αυτή την καρτέλα αναλύονται σε κατηγορίες οι δαπάνες για την επίτευξη του έργου και συγκεκριμένα :

1. **Ρυθμίσεις**
2. **Αρχικό κόστος**
3. **Ετήσια κόστη**
4. **Περιοδικές δαπάνες**

Στη συνέχεια θα αναλύσουμε το καθένα ξεχωριστά.

### 5.4.1 Ρυθμίσεις:

Σε αυτή την κατηγορία ο χρήστης μπορεί να επιλέξει με ποια μέθοδο θα ασχοληθεί. Υπάρχουν 2 μέθοδοι. Την μέθοδο 1 θα την χρησιμοποιήσουμε για μια ανάλυση στην οποία δεν χρειάζονται τόσες λεπτομέρειες και πληροφορίες για το έργο. Από την άλλη τη μέθοδο 2 τη χρησιμοποιούμε για λεπτομερή ανάλυση και πληροφόρηση για μεγαλύτερη ακρίβεια.

### 5.4.2 Αρχικό κόστος:

Το αρχικό κόστος αποτελείται από κάποια τμήματα τα οποία είναι η μελέτη σκοπιμότητας, η ανάπτυξη, το κομμάτι της μηχανολογίας, τα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος το ισοζύγιο του συστήματος.



### Μελέτη σκοπιμότητας:

Η μελέτη σκοπιμότητας περιλαμβάνει τις πρώτες ενέργειες που πρέπει να γίνουν για την έγκριση και υλοποίηση του έργου. Τέτοιες ενέργειες είναι οι εξής παρακάτω:

- Έρευνα στο χώρο: Μόλις βρεθεί η περιοχή για την εγκατάσταση του έργου πρέπει να γίνει και η επίσκεψη σε αυτόν. Ένας επιστήμονας με την ακριβή μελέτη της περιοχής μπορεί να υπολογίσει την πιο αποδοτική θέση των ανεμογεννητριών μέσα σε μια μέρα. Ένας μέσος όρος των αμοιβών των εργαζομένων ημερησίως είναι από 300\$ έως 1000\$.
- Αξιολόγηση των πόρων: Η αξιολόγηση των αιολικών πόρων γίνεται με την εγκατάσταση 1 η περισσότερων μετεωρολογικών ιστών στην τοποθεσία. Το κόστος αξιολόγησης σε ένα έτος κυμαίνεται από 40.000\$ έως 65.000\$. Για μία ανεμογεννήτρια 1 η 2 ιστοί επαρκούν.
- Περιβαλλοντική εκτίμηση: Ο Στόχος της περιβαλλοντικής εκτίμησης είναι να καθορίσουμε εάν θα υπάρξουν περιβαλλοντικά προβλήματα ώστε να γίνει η αποτροπή του έργου ή η διαχείριση του προβλήματος. Η ηχορύπανση, η καταστροφή της χλωρίδας, πανίδας αποτελούν σοβαρά ζητήματα. Μέσος όρος ημερησίων αμοιβών από 300\$ έως 1000\$ (1-8 άτομα απασχόληση)
- Προκαταρκτικός σχεδιασμός έργου: Το κόστος του σχεδιασμού υπολογίζεται από έναν ειδικό με βάση την εκτίμηση ενός χρόνου για την ολοκλήρωση του έργου. Κόστος υπηρεσιών από 300\$ έως 1000\$ ημερησίως. (2-20 άτομα)
- Λεπτομερής εκτίμηση κόστους: Βασίζετε στα αποτελέσματα του προκαταρκτικού σχεδιασμού και σε έρευνες κατά την μελέτη σκοπιμότητας. Η υπηρεσία του μηχανικού για την λεπτομερή ανάλυση κόστους βρίσκονται από 300\$ μέχρι 1000\$ το άτομο ανά ημέρα. Ο αριθμός των ατόμων για την εκτίμηση κόστους είναι από 3-100 άτομα ανάλογα το μέγεθος του έργου.
- Βασική μελέτη και σχέδιο παρακολούθησης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου: Το κόστος βασικών μελετών και σχεδίων για μεγάλα έργα έχει ένα εύρος από 30.000\$ έως 55.000\$ σύμφωνα με την ανάλυση του πρωτότυπου ανθρώπινου δυναμικού. Για έργα μικρότερα από 15 MW ενδέχεται να μην χρειάζεται η βασική μελέτη
- Τα έξοδα των απαραίτητων ταξιδιών: Τα έξοδα αυτά περιλαμβάνουν το αεροπορικό εισιτήριο, την ενοικίαση αυτοκινήτου, τη διαμονή και την ημερήσια αποζημίωση
- Διαχείριση έργου: Το κόστος της διαχείρισης σκοπιμότητας \_υπολογίζετε με βάση την εκτίμηση του χρόνου\_ από έναν ειδικό για την ολοκλήρωση της εργασίας. Χρειάζονται 2-8 άτομα ανά ημέρα με αμοιβή 300\$-1000\$
- Τελική έκθεση: Η συνοπτική έκθεση περιγραφής της έκθεσης μελέτης σκοπιμότητας. Η προετοιμασία μιας μελέτης σκοπιμότητας χρειάζεται 2 με 15 άτομα ανά ημέρα με αμοιβή 300\$-1000\$.

Οι μελέτες σκοπιμότητας κοστίζουν περίπου το 1-5% του συνολικού έργου



### Ανάπτυξη

Στη συνέχεια όταν προσδιοριστεί η μελέτη σκοπιμότητας και το σχέδιο υλοποίησης ακολουθεί η ανάπτυξη των σχεδίων. Παρακάτω αναλύετε το τμήμα της ανάπτυξης και η διαμόρφωση του κάθε κόστους.

- Διαπραγματεύσεις συμβολαίου

Όταν εγκριθεί η μελέτη σκοπιμότητας χρειάζεται μια φορολογική διευθέτηση της λειτουργίας και μια σύμβαση για τους φορείς του έργου. Το κόστος των υπηρεσιών μια σύμβασης βρίσκεται μεταξύ 300\$ και 1500\$ ανά άτομο ημερησίως . Αριθμός εργαζομένων από 0 άτομα έως 30 ανάλογα το μέγεθος του έργου.

- Άδειες και εγκρίσεις

Περιέχουν περιβαλλοντικές εγκρίσεις άδειες εκμετάλλευσης γης και υδάτων όπως ακόμα και συμφωνίες λειτουργίας. Περιλαμβάνονται ηλεκτρολόγοι , οικοδόμοι , και επιθεωρητές λέβητα ,δασοκομίας και πυρασφάλειας . Το κόστος για την απόκτηση αδειών και εγκρίσεων ανέρχεται στην τιμή από 300\$ έως 1000\$ την ημέρα για το κάθε άτομο . Τα άτομα που χρειάζονται είναι από 0 έως 400.

- Επισκόπηση χώρου και δικαιώματα γης

Η απαίτηση της έρευνας στη γη θα εξαρτηθεί σε μεγάλο βαθμό από την κατάσταση της ιδιοκτησίας και τον προγραμματισμό χωροθέτησης και χρήσης του οικοπέδου από τα νομικά θέματα.

Το κόστος για μια απλή περίπτωση ανέρχεται στην τιμή 750\$ την ημέρα ανά άτομο από ένα (1)μέχρι δέκα (10) εκτάρια. Ένας στρόβιλος μόνος του χρειάζεται λιγότερο από 1 εκτάριο γης .Μια έρευνα χρειάζεται από μηδέν (0)-πενήντα (50) άτομα και το κόστος διαφέρει από το μέγεθος του έργου. Η αμοιβή για το κάθε άτομο είναι από 400\$-1000\$ ανά άτομο.

- Διαπίστευση και καταχώρηση ΑΤΘ (GHG)

Τα έγγραφα για τα αέρια του θερμοκηπίου εξασφαλίζονται από ανεξάρτητο οργανισμό ώστε να είναι σίγουρο ότι πληρούν τις προδιαγραφόμενες απαιτήσεις μαζί με τη μελέτη βασικής γραμμής και του σχεδίου για την παρακολούθηση των αερίων του θερμοκηπίου. Για τα έργα αυτά το κόστος είναι από 400\$ μέχρι και 1000\$ ανά ημέρα

- Χρηματοδότηση έργου

Το κόστος χρηματοδότησης των έργων υπολογίζεται με βάση την εκτίμηση των υπηρεσιών για την εξασφάλιση των υποχρεώσεων τόσο στο χρέος και στις μετοχές . Για να έρθουν εις πέρας οι υπηρεσίες χρειάζονται από 3 έως 100 άτομα την ημέρα με τη μέγιστη αμοιβή των 1500\$ το άτομο ημερησίως . Κατά κανόνα το κόστος της χρηματοδότησης του έργου είναι το 1.5% του συνολικού κόστους.

- Νομικές και λογιστικές υπηρεσίες

Είναι λογικό ότι θα χρειαστούν νομικές και λογιστικές υπηρεσίες κατά τη διάρκεια ολοκλήρωσης του έργου. Ένα θέμα είναι η ίδρυση εταιρίας για το πως θα αναπτυχθεί το έργο, η παροχή μηνιαίων και ετησίων οικονομικών καταστάσεων αλλά και η λογιστική του έργου. Η νομική στήριξη εξαρτάται από τη χρηματοδότηση ιδιοκτησίας ,ασφάλισης, ανάληψης ευθύνης και πολύπλοκες συμβάσεις και συμφωνίες. Το κόστος των λογιστικών και νομικών υπηρεσιών ξεκινάει από 300\$ - 1500\$ το άτομο και χρειάζονται από τρία (3) μέχρι διακόσια (200) άτομα την ημέρα .

- Διαχείριση έργου

Η διαχείριση του κόστους του έργου πρέπει να καλύπτει τα έξοδα διαχείρισης των φάσεων του έργου πως αυτό αναπτύσσετε. Συνήθως χρειάζονται από πενήντα (50) έως και εκατό (100) άτομα την ημέρα με αμοιβή τριακόσια (300)\$ έως χίλια (1000) \$ τη μέρα.



- Ταξίδια και διαμονή

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης του έργου χρειάζονται κάποιες συναντήσεις και επισκέψεις. Αυτό είναι το κόστος που περιλαμβάνει τα έξοδα σχετικά με τις μετακινήσεις.

### Μηχανολογικά

Αυτό το μέρος περιλαμβάνει την προτεινόμενη μελέτη χώρου και δομής του έργου του μηχανικού , ηλεκτρικού και αστικού σχεδιασμού. Στη συνέχεια αναλύονται τα μηχανολογικά και το πως διαμορφώθηκαν τα κόστη.

- Τοποθεσία και σχεδιασμός κτηρίου

Περιλαμβάνει πολιτικούς μηχανικούς, μετεωρολόγους ,ειδικοί προσομοίωσης υπολογιστών και εισηγητών . Θα γίνει ψηφιοποιήσει τοπογραφικών χαρτών και δεδομένα ταχύτητας ανέμων για την περιοχή. Το κόστος είναι ανάλογο με τις ανάγκες οι οποίες είναι από μηδέν (0) μέχρι τριακόσια (300) άτομα την ημέρα με μισθό 300\$ - 1000\$ ανάλογα την δυσκολία θέσης του έργου.

- Μηχανικός σχεδιασμός

Το κόστος της μηχανικής σχεδίασης πρέπει να βασίζεται στον χρόνο των ειδικών που θα χρειαστούν ώστε να ολοκληρωθεί η απαραίτητη εργασία. Συνήθως χρειάζονται από δυο (2) μέχρι και εκατόν πενήντα (150) άτομα την ημέρα με αμοιβή μεταξύ 300\$ έως 1000\$ ανά άτομο ημερησίως

- Ηλεκτρολογικός σχεδιασμός

Εξασφαλίζει όλες τις ασφάλειες έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος με την προσθήκη μιας νέας πηγής ενέργειας στο δίκτυο. Το κόστος ποικίλει ανάμεσα από 300\$ και 1000\$ το άτομο ημερησίως και τα άτομα που χρειάζονται είναι από τρία (3) μέχρι τριακόσια (300) ανάλογα το μέγεθος του έργου.

- Οικοδομικός σχεδιασμός

Το έργο του πολιτικού μηχανικού σχετίζεται με τον σχεδιασμό και την κατασκευή των κτηρίων , θεμελίων ,οδοί πρόσβασης και γενικά των επίγειων συστημάτων. Το κόστος ενός πολιτικού μηχανικού ξεκινάει από 300\$ μέχρι και 1000\$ ημερησίως με απασχόληση πέντε (5) έως και τριακόσια (300) άτομα ανά ημέρα ανάλογα το μέγεθος του έργου.

- Διαγωνισμοί και συμβάσεις

Μετά τη γνωστοποίηση των προσφορών είναι αναγκαία η διαδικασία σύναψης συμβάσεων για την ολοκλήρωση του έργου. Το κόστος είναι ανάλογο από τα άτομα ανά ημέρα που είναι από πέντε (5) μέχρι τριακόσια (300) με αμοιβή 300\$ μέχρι και 1000\$. Για μικρά αιολικά πάρκα χρειάζονται έξι (6) μέχρι είκοσι (20) άτομα ημερησίως.

- Επίβλεψη κατασκευής

Το κόστος εποπτείας κατασκευής συνοψίζει το εκτιμώμενο κόστος το οποίο συνδέεται με τη βεβαίωση κατασκευής του έργου βάση τον αρχικό σχεδιασμό. Η εποπτείας της κατασκευής παρέχετε από είτε από σύμβουλο είτε από προμηθευτές εξοπλισμού ή και από τον υπεύθυνο του έργου. Η εποπτεία περιλαμβάνει από μηδέν(0) μέχρι και πεντακόσια (500) άτομα καθημερινά με αμοιβή που ξεκινάει από 300\$ έως και 1000\$ με βάση τη διάρκεια του χρονοδιαγράμματος .

- Συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Το σύστημα ισχύος περιλαμβάνει το βασικό ,το ενδιάμεσο , το μέγιστο φορτίο ,τον εφεδρικό εξοπλισμό ,την κατασκευή του δρόμου ,τις γραμμές μεταφοράς ,τον υποσταθμό και τα όργανα που μετρούν την απόδοση της ενέργειας. Όλα αυτά αναλύονται στη συνέχεια.



- Ανεμογεννήτρια

Ο χρήστης εισάγει το κόστος της ανά μονάδα χωρητικότητας σε (KW) για τον εξοπλισμό. Αυτή η τιμή θα αντιγραφεί αυτόματα από το άλλο φύλλο εργασίας <<ανάλυση κόστους>> αυτή η τιμή πρόκειται για τον εξοπλισμό αλλά και για το κόστος εγκατάστασης. Όσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα τόσο μικρότερο είναι το εγκατεστημένο κόστος ανά μονάδα χωρητικότητας . σελ 123

- Οδοποιία

Ο δρόμος πρόσβασης για την κατασκευή συνήθως είναι ένα έργο μεσαίας ή μεγάλης κλίμακας. Το κόστος θα εξαρτάτε από τον τόπο και τη φύση του εδάφους. Η δαπάνη για την κατασκευή του δρόμου ξεκινάει από 0\$ έως 80.000\$ ανά χιλιόμετρο εκτός εάν υπάρχει και διάβαση ποταμών σε αυτή την περίπτωση η τιμή φτάνει στα 500.000\$.

- Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού

Το κόστος της μεταφοράς εξαρτάται από τον τύπο, την τάση ,το μήκος , τη θέση της γραμμής και την εγκατεστημένη ισχύ του πάρκου.

- Υποσταθμός

Το κόστος του υποσταθμού είναι συγκεκριμένο εξαρτάται κυρίως από την τάση και την εγκατεστημένη ισχύ της μονάδας. Ο ηλεκτρικός εξοπλισμός διαθέτει επιπλέον στοιχεία όπως φορτία και θερμοαντικές συσκευές, πυκνωτές , εξοπλισμό παρακολούθησης και συστήματα ελέγχου τύπου SCADA.

Πίνακας 15. Κατηγορίες κόστους υποσταθμού

RETScreen			
Capacity (MW)	Voltage (kV)	Transmission line (\$/km)	Substation (\$)
0 – 2	25	\$55,000	\$250,000
2 – 5	44	\$65,000	\$600,000
> 5	115	\$100,000	\$2,000,000

Note: Typical installed cost values in Canadian \$ as of January 1, 2006.  
Approximate exchange rate at time was 1 CAD = 0.86 USD and 1 CAD = 0.72 EUR

### Μέτρα ενεργειακής απόδοσης

Περιλαμβάνουν τον εξοπλισμό αλλά και το κόστος εγκατάστασης .Στη συνέχεια ένας πίνακας που φαίνονται όλα τα παραπάνω.

Πίνακας 16. Κόστος συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας					
Ανεμογεννήτρια	kW	12.000,00	€	1.000	€ 12.000.000
Εργα οδοποιίας	km	10	€	120.000	€ 1.200.000
Γραμμή μεταφοράς ηλεκτρισμού	km	5	€	48.000	€ 240.000
Υποσταθμός	έργο	1	€	675.000	€ 675.000
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης	έργο	2	€	32.000	€ 64.000
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος				€ -
					€ -
Υπο-σύνολο:					€ 14.179.000 86,1%



### **Ισοζύγιο συστήματος και διάφορα**

Η ισορροπία του συστήματος και οι δαπάνες για το έργο περιλαμβάνουν στοιχεία όπως το ειδικό κόστος του έργου, την κατασκευή κτηρίων ανταλλακτικά και ότι άλλο προκύψει στην κατασκευή. Στη συνέχεια αναλύονται τα κόστη και είναι τα εξής :

- **Θεμελίωση ανεμογεννήτριας**

Τα θεμέλια της ανεμογεννήτριας έχουν να κάνουν με το εργατικό κόστος και τα υλικά. Για μεγάλες ανεμογεννήτριες τα κόστη κυμαίνονται από 10.000\$ έως και 50.000\$. Για μεσαίες ανεμογεννήτριες ξεκινούν από 7.000\$ μέχρι 25.000\$.

- **Ανέγερση ανεμογεννητριας**

Η ανέγερση των ανεμογεννητριών έχει να κάνει με την εργασία και την μίσθωση εξοπλισμού. Για μεγάλα αιολικά πάρκα η ανέγερση ανεμογεννητριών αντιπροσωπεύει το 4% του συνολικού εξοπλισμού ισχύος. Το ποσοστό αυτό αυξάνεται στο 6% σε μικρές εγκαταστάσεις σε σχέση με τον εξοπλισμό ισχύος αντίστοιχα.

- **Κατασκευή κτηρίων και περιβόλου.**

Θεωρήθηκε ότι το πάρκο δεν χρειάστηκε την συγκεκριμένη διαδικασία και δεν υπολογίστηκε σαν κόστος.

- **Ανταλλακτικά**

Το κόστος για τα ανταλλακτικά περιγράφεται καλύτερα ως το ποσοστό του συνολικού κόστους στο σύστημα. Για μεγάλα έργα σε κανονικές συνθήκες θα αρκεί ένας κατάλογος με ανταλλακτικά που θα είναι το 3% του συνολικού κόστους εξοπλισμού. Για τα μικρά έργα το κόστος των αρχικών ανταλλακτικών φτάνει έως και το 30% του συνολικού κόστους εξοπλισμού

- **Μεταφορά**

Τα έξοδα για τη μεταφορά του εξοπλισμού και των δομικών υλικών διαφέρουν σε σημαντικό βαθμό ανάλογα με τον τρόπο μεταφοράς και τον τόπο που θα γίνει η εγκατάσταση.

- **Εκπαίδευση και θέση σε λειτουργία**

Στα μεγάλα αιολικά πάρκα χρειάζονται μέχρι και έξι (6) τεχνικοί συντήρησης ανά τμήμα πενήντα (50) ανεμογεννητριών. Για τον κάθε στρόβιλο ξεχωριστά σε μικρά αιολικά πάρκα ένας χειριστής-τεχνικός συντήρησης μπορεί να εκτελεί εργασίες συντήρησης καθημερινά. Ωστόσο μερικές από τις αποσκευές χρειάζονται εξειδικευμένη εργασία και χρειάζονται δυο (2) με δέκα(10) άτομα καθημερινά με αμοιβή από 300\$ έως και 1000\$ ανάλογα το μέγεθος του έργου. Η θέση του συστήματος σε λειτουργία απαιτεί από ένα (1) μέχρι οχτώ (8) άτομα με αμοιβή 300\$ και 1000\$ ημερησίως.

- **Απρόβλεπτα**

Τα απρόβλεπτα υπολογίζονται ως ένα ποσοστό του συνολικού κόστους του έργου το οποίο το εισάγει ο χρήστης. Ένας χρήστης με εμπειρία στην ανάπτυξη των έργων υπολογίζει το κόστος από 5% έως 40% του συνολικού αρχικού κόστους.

- **Τόκος κατά την κατασκευή**

Ο χρήστης εισάγει το επιτόκιο (%) και το χρόνο της κατασκευής σε μήνες. Το κόστος κατά την κατασκευή είναι σε ένα εύρος από 3% έως 15% του συνολικού κόστους του έργου.



Πίνακας 17. Κόστος ισοζυγίου συστήματος & διάφορα

Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα					
Ανταλλακτικά	%	19,0%	€ 6.000	€	1.140
Μεταφορά	έργο	6	€ 150.000	€	900.000
Εκπαίδευση & θέση σε λειτουργία	ανά ημέρα			€	-
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€	-
Απρόβλεπτα	%	8,0%	€ 15.245.140	€	1.219.611
Τόκος κατά την κατασκευή			€ 16.464.751	€	-
Υπο-σύνολο:				€	2.120.751 12,9%
Συνολικά αρχικά κόστη				€	16.464.751 100,0%

### 5.4.3 Ετήσια κόστη:

Θα υπάρξουν ορισμένες ετήσιες δαπάνες που συνδέονται με τη λειτουργία ενός προτεινόμενου σχεδίου περίπτωσης. Αυτά θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν εξοικονόμηση, μίσθωση γης και ενοικίαση πόρων, φόρους ακίνητης περιουσίας, ασφάλιστρο, τμήματα & εργασία, παρακολούθηση και επαλήθευση των αερίων του θερμοκηπίου, κοινοτικά οφέλη και γενικά και διοικητικά έξοδα. Επιπλέον, μπορεί επίσης να προκύψουν δαπάνες για απρόβλεπτα και κατανάλωση καυσίμων για την προτεινόμενη περίπτωση. Αυτά τα κόστη αναλύονται παρακάτω.

Πίνακας 18 Ετήσια κόστη( πιστώσεις)

Ετήσια κόστη (πιστώσεις)	Μονάδα	Ποσότητα	Μονάδα κόστους	Ποσό
Λειτουργία & Συντήρηση				
Τμήματα & Εργασία	έργο	1	€ 75,000	€ 75,000
Οριζόμενο από τον χρήστη	κόστος			€ -
Απρόβλεπτα	%	2,0%	€ 75,000	€ 1,500
Υπο-σύνολο:				€ 76,500

## 5.5 ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

Ο σκοπός του συγκεκριμένου φύλλου είναι η μελέτη για τα αέρια του θερμοκηπίου τα οποία θα είχαν προκύψει εάν δεν γινόταν η υλοποίηση του έργου. Το σχέδιο προσδιορίζει τα δεδομένα που πρέπει να συγκεντρωθούν για την μείωση των εκπομπών που προέρχονται από τα οφέλη του έργου. Το σχέδιο περιγράφει μια μέθοδο για την ποσοτική εξέταση των των μειώσεων.

Συνεπώς το φύλλο περιέχει τρεις δυνατούς τρόπους για τον υπολογισμό των μειώσεων των εκπομπών. Εφόσον το συγκεκριμένο φύλλο είναι προαιρετικό επιλέξαμε τον πρώτο τρόπο για λόγους ευκολίας καθώς η οικονομική μελέτη δεν επηρεάζεται από τα στοιχεία που θα εισάγουμε αλλά και με τα αποτελέσματα τους στο συγκεκριμένο λογιστικό φύλλο. Στην πρώτη μέθοδο υπολογίζεται ο συντελεστής GHG για το συγκεκριμένο ηλεκτρικό σύστημα. Οι συντελεστές εκπομπών αερίων θερμοκηπίου επιτυγχάνονται επιλέγοντας τη χώρα και τον τύπο του καυσίμου. Επιλέχτηκε η χώρα Ελλάδα και ο τύπος του καυσίμου πετρέλαιο. Άρα το μοντέλο υπολογίζει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου για το συγκεκριμένο σύστημα



όπως είπαμε πολλαπλασιάζοντας την κατανάλωση καυσίμου με τον συντελεστή GHG. Οι μονάδες θα είναι τόνοι CO<sub>2</sub> ανά έτος. Στη συνέχεια ο πίνακας όπως απεικονίζεται στο πρόγραμμα.

Πίνακας 19. Ανάλυση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου

Ανάλυση Εκπομπών						
<input checked="" type="radio"/> Μέθοδος 1 <input type="radio"/> Μέθοδος 2 <input type="radio"/> Μέθοδος 3						
Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)						
Κράτος - περιφέρεια	Τύπος Καυσίμου	Πετρέλαιο (#B)	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ (εξαιρούνται Μ&Δ) tn CO <sub>2</sub> /MWh	Απώλειες Μ&Δ %	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO <sub>2</sub> /MWh	
Greece			0,769	0,0%	0,769	
<input type="checkbox"/> Αλλαγές στο Σενάριο Αναφοράς κατά τη διάρκεια ζωής του έργου						
Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ βασικού σεναρίου (σεναρίου αναφοράς)						
Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %		Κατανάλωση καυσίμου MWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO <sub>2</sub> /MWh	Εκπομπές ΑΤΘ tn CO <sub>2</sub>	
Ηλεκτρική ενέργεια	100,0%		19.201	0,769	14.760,3	
Σύνολο	100,0%		19.201	0,769	14.760,3	
Περίληψη εκπομπών ΑΤΘ προτεινόμενης περίπτωσης (Έργο ηλεκτροπαραγωγής)						
Τύπος Καυσίμου	Μίγμα καυσίμου %		Κατανάλωση καυσίμου MWh	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tn CO <sub>2</sub> /MWh	Εκπομπές ΑΤΘ tn CO <sub>2</sub>	
Αιολικό	100,0%		19.201	0,000	0,0	
Σύνολο	100,0%		19.201	0,000	0,0	
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh	19.201		Απώλειες Μ&Δ	0,769	0,0
					Σύνολο	0,0
Σύνοψη μείωσης εκπομπών ΑΤΘ						
Έργο ηλεκτροπαραγωγής	Εκπομπές ΑΤΘ βασικής περίπτωσης tn CO <sub>2</sub>	Εκπομπές ΑΤΘ προτεινόμενης περίπτωσης tn CO <sub>2</sub>	Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ tn CO <sub>2</sub>	Τέλη συναλλαγών πιστώσεων εκπομπών ΑΤΘ %	Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ tn CO <sub>2</sub>	
	14.760,3	0,0	14.760,3		14.760,3	
Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	14.760	tn CO <sub>2</sub>	ισοδυναμεί με	2.703	Αυτοκίνητα και ελαφριά φορτηγά δεν χρησιμοποιούνται	

Το αποτέλεσμα που έχουμε είναι η ετήσια μείωση 14.760 τόνων CO<sub>2</sub> που ισοδυναμεί με ρύπους δυο χιλιάδες επτακόσια τρία (2.703) αυτοκινήτων και ελαφρών φορτηγών.

## 5.6 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

Σε αυτό το φύλλο του προγράμματος περιλαμβάνονται 6 γενικές κατηγορίες χρηματοοικονομικής ανάλυσης για κάθε έργο που υλοποιείται έχοντας ως αποτέλεσμα την άμεση βοήθεια στους υπευθύνους λήψης αποφάσεων για την σωστές και γρήγορες αποφάσεις. Οι κατηγορίες οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω είναι:

- Οικονομικοί παράμετροι
- Σύνοψη κόστους και έργου και αποταμιεύσεων/εσόδων
- Ετήσια έσοδα
- Οικονομική βιωσιμότητα
- Ετήσια χρηματορορή
- Διάγραμμα αθροιστικών χρηματορορών

### 5.6.1 Οικονομικοί παράμετροι

Αυτή η κατηγορία είναι η μοναδική στην οποία ο χρήστης εισάγει τα περισσότερα στοιχεία ενώ αποτελείται από δυο υποκατηγορίες οι οποίες είναι τα "Γενικά" και η "Χρηματοδότηση".





Στα “**Γενικά**” συμπεριλαμβάνονται στοιχεία όπως:

- Κυλιόμενος φόρος κόστους καύσιμου:

Ο χρήστης στην περίπτωση αυτή εισάγει ένα ποσοστό το οποίο αντιπροσωπεύει τον ετήσιο μέσο ρυθμό αύξησης του κόστους καυσίμου κατά την χρονική διάρκεια του έργου. Οι τιμές κυμαίνονται συχνά από 0% έως 5% με μια τιμή της τάξης του 3% να είναι αντιπροσωπευτική και κατάλληλη για την περίπτωση μας.

- Τιμή πληθωρισμού:

Ο πληθωρισμός εκφράζει τη μείωση της αγοραστικής δύναμης του χρήματος, δηλαδή με την πάροδο του χρόνου με το ίδιο ποσό μπορούν να αγοραστούν ολοένα και λιγότερα αγαθά/υπηρεσίες. Η πτώση της αξίας του χρήματος προκαλείται από την αύξηση των τιμών των διαφόρων αγαθών και για το λόγο αυτό ο δείκτης του πληθωρισμού μπορεί να εκτιμηθεί στην πράξη, καταγράφοντας τις τιμές ενός συγκεκριμένου συνόλου καταναλωτικών αγαθών και υπηρεσιών (δείκτης τιμών καταναλωτή,  $\delta$ ), με τη βοήθεια του ακόλουθου τύπου:  $f = \delta_1/\delta_0 - 1$  όπου  $\delta_0$  και  $\delta_1$  η αξία των αγαθών πριν από 1 έτος και σήμερα, αντίστοιχα. Ωστόσο εδώ επιλέχθηκε η τιμή 3%

- Επιτόκιο αναγωγής:

Το επιτόκιο αναγωγής χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της μελλοντικής αξίας ενός σημερινού ποσού ή της σημερινής (ή παρούσας) αξίας ενός μελλοντικού ποσού. Οι τιμές κυμαίνονται από 3% έως 18 % με τις πιο συχνές τιμές να είναι από 5-10 % και για αυτό επιλέχθηκε περίπου μια μέση τιμή της τάξης του 7%.

- Διάρκεια ζωής έργου:

Σε αυτή την περίπτωση ο χρήστης εισάγει την χρονική διάρκεια του έργου σε έτη η οποία είναι η διάρκεια κατά την οποία γίνονται όλες οι απαραίτητες ενέργειες για την εξαγωγή σημαντικών αποτελεσμάτων της οικονομικής βιωσιμότητας του έργου. Η δυνατότητα που έχει το πρόγραμμα για την ανάλυση της χρονικής διάρκειας ενός έργου είναι μέχρι 50 χρόνια ενώ εμείς στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέξαμε τα 25 χρόνια χρονικής διάρκειας του έργου.

Στην “**Χρηματοδότηση**” συμπεριλαμβάνονται στοιχεία όπως:

- Κίνητρα και επιχορηγήσεις

Ο χρήστης εδώ εισάγει οτιδήποτε έχει να κάνει με οικονομικό κίνητρο επιχορηγήσεις από κρατικά προγράμματα, επιδοτήσεις κ.τ.λ. Στο παράδειγμα μας επιλέξαμε το πόσο των 75.000 €

- Τοκοχρεολύσιο

Ο χρήστης εισάγει ένα δείκτη (%) που δείχνει τον αριθμό των χρεολυσίων, που είναι ανάλογος του βάθους χρόνου της αποπληρωμής του δανείου υπολογιζόμενος συνήθως και σε μήνες και εφόσον στα χρεολυσία προστεθούν και οι προβλεπόμενοι από την έντοκη δανειακή σύμβαση τόκοι.

- Χρέος

Το πρόγραμμα από μόνο του υπολογίζει το χρέος που είναι βασική προϋπόθεση για την συνολική επένδυση που απαιτείται για την υλοποίηση του έργου καθώς επίσης υπολογίζεται με βάση τα αρχικά συνολικά κόστη τα οποία έχουμε εισαγάγει και τα ίδια κεφάλαια.



- Μετοχή

Το μοντέλο υπολογίζει το μετοχικό κεφάλαιο του έργου, το οποίο είναι το τμήμα της συνολικής επένδυσης που απαιτείται για τη χρηματοδότηση του έργου που χρηματοδοτείται άμεσα από τον ιδιοκτήτη του έργου και υπολογίζεται βάση του συνολικού κόστους και του λογιού το χρέους.

- Επιτόκιο δανεισμού

Εισάγεται το χρωστικό επιτόκιο (%) που είναι το ετήσιο επιτόκιο το οποίο καταβάλλεται στον κάτοχο του χρέους στο τέλος του έτους της διάρκειας του χρέους.

- Περίοδος χρέους

Ο χρήστης εισάγει των αριθμό των ετών του χρέους κατά τον οποίο το χρέος επιστρέφεται. Ο όρος χρέος είναι είτε ίσος είτε μικρότερος της διάρκειας του έργου. Η διάρκεια του χρέους κυμαίνεται από 1 έως 25 έτη ωστόσο στην προκείμενη περίπτωση επιλέχτηκαν 15 έτη.

- Πληρωμές χρέους

Το μοντέλο υπολογίζει τις ετήσιες πληρωμές χρεών, το οποίο είναι το άθροισμα του κεφαλαίου και των τόκων που καταβάλλονται ετησίως για την εξυπηρέτηση του χρέους. Οι πληρωμές χρέους υπολογίζονται βάσει του επιτοκίου του χρέους, του χρέους και του χρέους και μεταφέρονται στο Σύνολο κόστους έργου και εξοικονόμηση εσόδων/εξόδων.

Παρακάτω στον πίνακα 20. φαίνονται οι τιμές από όλα τα παραπάνω τα όποια αναλύθηκαν που είναι αντιπροσωπευτικές και αντικειμενικές για τα τωρινά δεδομένα σύμφωνα πάντα με την βιβλιογραφία στην οποία ανατρέξαμε.

Πίνακας 20. RETScreen Οικονομικοί Παράμετροι

Οικονομικοί Παράμετροι			
<b>Γενικά</b>			
Κυλιόμενος φόρος κόστους καυσίμου	%		3.0%
Τιμή πληθωρισμού	%		2.0%
Επιτόκιο αναγωγής	%		7.0%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος		25
<b>Χρηματοδότηση</b>			
Κίνητρα και επιχορηγήσεις	€		75,000
Τοκοχρεολύσιο	%		2.0%
Χρέος	€		329,295
Μετοχή	€		16,135,456
Επιτόκιο δανεισμού	%		3.00%
Περίοδος χρέους	έτος		15
Πληρωμές χρέους	€/έτος		27,584

### 5.6.2 Σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων/εσόδων

Στην κατηγορία αυτή πολλά από τα συνοπτικά στοιχεία τα όποια θα δούμε στον παρακάτω πίνακα 13. υπολογίζονται από το ίδιο το πρόγραμμα με βάση όμως το



υπολογιστικό φύλλο “Ανάλυση Κόστους” και μας δίνουν στοιχεία σχετικά με τα αρχικά κόστη, τα ετήσια κόστη και γενικά τις οικονομικές απόλαβες/έσοδα.

Πίνακας 21. RETScreen Σύνοψη κόστους και αποταμιεύσεων/εσόδων

Σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων/εσόδων			
<b>Αρχικά κόστη</b>			
Μελέτη σκοπιμότητας	0.3%	€	50,000
Ανάπτυξη	0.2%	€	30,000
Μηχανολογικά	0.5%	€	85,000
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	88.1%	€	14,179,000
<hr/>			
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα	12.9%	€	2,120,751
<b>Συνολικά αρχικά κόστη</b>	<b>100.0%</b>	<b>€</b>	<b>16,464,751</b>
<hr/>			
Κίνητρα και επιχορηγήσεις		€	75,000
<hr/>			
<b>Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους</b>			
Λειτουργία & Συντήρηση		€	78,500
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση		€	0
Πληρωμές χρέους - 15 έτη		€	27,584
<b>Συνολικά ετήσια κόστη</b>		<b>€</b>	<b>104,084</b>
<hr/>			
<b>Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)</b>			
<hr/>			
<b>Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα</b>			
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση		€	0
Εσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας		€	1,909,585
<hr/>			
<b>Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα</b>		<b>€</b>	<b>1,909,585</b>

### 5.6.3 Ετήσια έσοδα

Ο χρήστης εισάγει τον κυλιόμενο φόρο πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας, ο οποίος είναι ο ετήσιος προβλεπόμενος μέσος ρυθμός αύξησης του ποσοστού εξαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας κατά την διάρκεια του έργου. Αυτό επιτρέπει στον χρήστη να εφαρμόζει ρυθμούς πληθωρισμού στην τιμή του ρυθμού εξαγωγής ηλεκτρικής ενέργειας η όποια μπορεί να διαφέρει από τον γενικό πληθωρισμό. Επίσης σε αυτή την κατηγορία φαίνεται η ηλεκτρική ενεργεία στο δίκτυο, η τιμή του πωλούμενου ηλεκτρισμού €/MWh, τα έσοδα από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας και τέλος τα έσοδα από την μείωση εκπομπών αερίου του θερμοκηπίου. Όλα αυτά φαίνονται στον πίνακα 14. που ακολουθεί.

Πίνακας 22. RETScreen Ετήσια έσοδα

Ετήσια έσοδα			
<b>Εσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας</b>			
Ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο	MWh		19,201
Τιμή πωλούμενου ηλεκτρισμού	€/MWh		99.45
Εσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας	€		1,909,585
Κυλιόμενος φόρος πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας	%		3.0%
<hr/>			
<b>Εσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ</b> <input type="checkbox"/>			
Καθαρή μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tn CO2/έτος		14,760
Καθαρή μείωση εκπομπών ΑΤΘ - 25 έτη	tn CO2		369,008



#### 5.6.4 Οικονομική Βιωσιμότητα

Στην κατηγορία αυτή το πρόγραμμα υπολογίζει κάποιους δείκτες IRR οι οποίοι μετρούν την απόδοση μιας μακροχρόνιας επένδυσης, εξισώνοντας την παρουσία των μελλοντικών ταμειακών ροών πλέον της τελικής αγοραίας αξίας, με την τρέχουσα αγοραία αξία της επένδυσης καθώς και αλλά επιπλέον σημαντικά οικονομικά στοιχεία για την επένδυση όπως φαίνονται παρακάτω στον πίνακα 15.

Πίνακας 23. RETScreen Οικονομική Βιωσιμότητα

Οικονομική Βιωσιμότητα		
Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης προ φόρων - μετοχή (IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	13.7%
(IRR) μετά-φόρου - μετοχές (IRR) μετά φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%	13.4%
Απλή αποπληρωμή	έτος	8.9
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος	7.8
Καθαρή Παρούσα Αξία (ΚΠΑ)	€	12,801,920
Ετήσιες αποταμιεύσεις κύκλου ζωής	€/έτος	1,098,539
Αναλογία Οφέλους-Κόστους (Ο-Κ)		1.79
Κάλυψη δανειακών υποχρεώσεων		68.48
Κόστος παραγωγής ενέργειας	€/MWh	57.30
Κόστος μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO <sub>2</sub>	(74)

#### 5.6.5 Ετήσια Χρηματοροή

Το πρόγραμμα υπολογίζει τις καθαρές ταμειακές ροές πριν και μετά την φορολογία, οι οποίες είναι οι ετήσιες καθαρές ροές μετρητών για το έργο πριν και μετά από τον φόρο εισοδήματος αντίστοιχα. Επίσης αντιπροσωπεύει το εκτιμώμενο άθροισμα των μετρητών που θα καταβάλλονται ή θα εισπράττονται κάθε χρόνο καθόλη την διάρκεια του έργου. Παρακάτω στον πίνακα 24. φαίνονται αναλυτικά οι ενδεικτικές τιμές για όλα τα παραπάνω που αναλύσαμε.

Πίνακας 24. RETScreen Ετήσια χρηματοροή

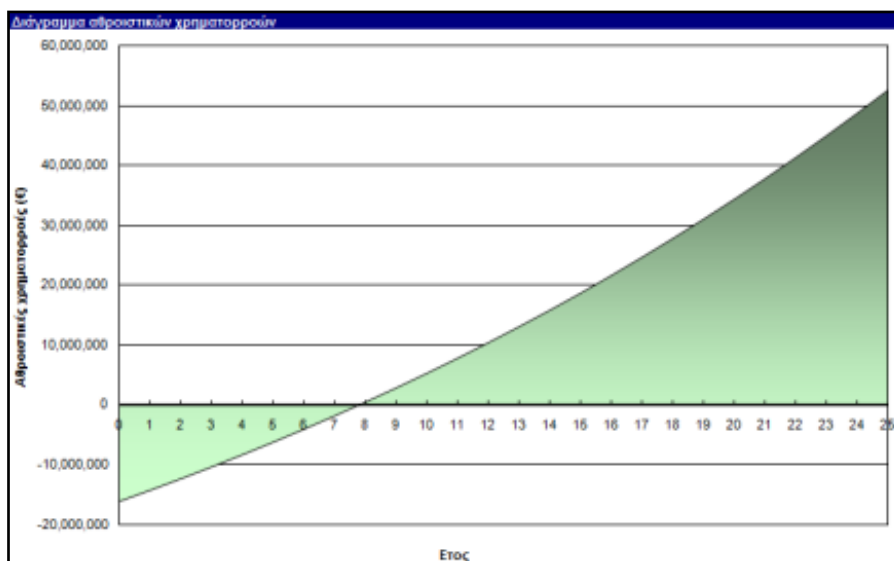
Ετήσια χρηματοροή			
Ετος #	Προ-φόρων €	Μετά-φόρων €	Αθροιστικά €
0	-16,060,456	-16,060,456	-16,060,456
1	1,861,259	1,861,259	-14,199,197
2	1,918,704	1,918,704	-12,280,493
3	1,977,889	1,977,889	-10,302,604
4	2,038,865	2,038,865	-8,263,739
5	2,101,687	2,101,687	-6,162,052
6	2,166,409	2,166,409	-3,995,643
7	2,233,091	2,233,091	-1,762,552
8	2,301,790	2,301,790	539,237
9	2,372,567	2,372,567	2,911,804
10	2,445,486	2,445,486	5,357,290
11	2,520,611	2,520,611	7,877,901
12	2,598,008	2,598,008	10,475,908
13	2,677,745	2,677,745	13,153,654
14	2,759,895	2,759,895	15,913,549
15	2,844,529	2,844,529	18,758,078
16	2,959,306	2,959,306	21,717,383
17	3,049,135	3,049,135	24,766,518
18	3,141,680	3,141,680	27,908,198
19	3,237,023	3,237,023	31,145,222
20	3,335,248	3,335,248	34,480,470
21	3,436,443	3,436,443	37,916,912
22	3,540,695	3,540,695	41,457,608
23	3,648,099	3,648,099	45,105,707
24	3,758,748	3,758,748	48,864,455
25	3,872,741	3,872,741	52,737,196



### 5.6.6 Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών

Οι συσσωρευμένες ταμειακές ροές καταγράφονται σε σχέση με το χρόνο στο παρακάτω γράφημα των ταμειακών ροών. Αυτές οι ταμειακές κατά την διάρκεια του έργου υπολογίζονται στο μοντέλο και αναφέρονται στον πίνακα των ετήσιων ταμειακών ροών

Εικόνα 41. RETScreen Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών





**Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου Ιωάννη- Ασλάνη Δημήτριου  
ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 12MW (ΚΑΡΥΣΤΟΣ)**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: Συμπεράσματα

Συμπερασματικά και έχοντας ως οδηγό όλους τους παραπάνω πίνακες και το διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών βγαίνει το πόρισμα όσον αφορά την οικονομική βιωσιμότητα του έργου. Συγκεκριμένα συμφώνα με το διάγραμμα το έργο μας χρειάζεται περίπου 8 χρόνια ώστε να κάνει απόσβεση των χρεών και να επιφέρει κέρδη. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι οι ενδεικτικές τιμές για την μελέτη του πάρκου είναι προσεγγιστικές έως και ακριβείς και δεν τίθεται θέμα για τυχόν πλασματικές τιμές ώστε να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

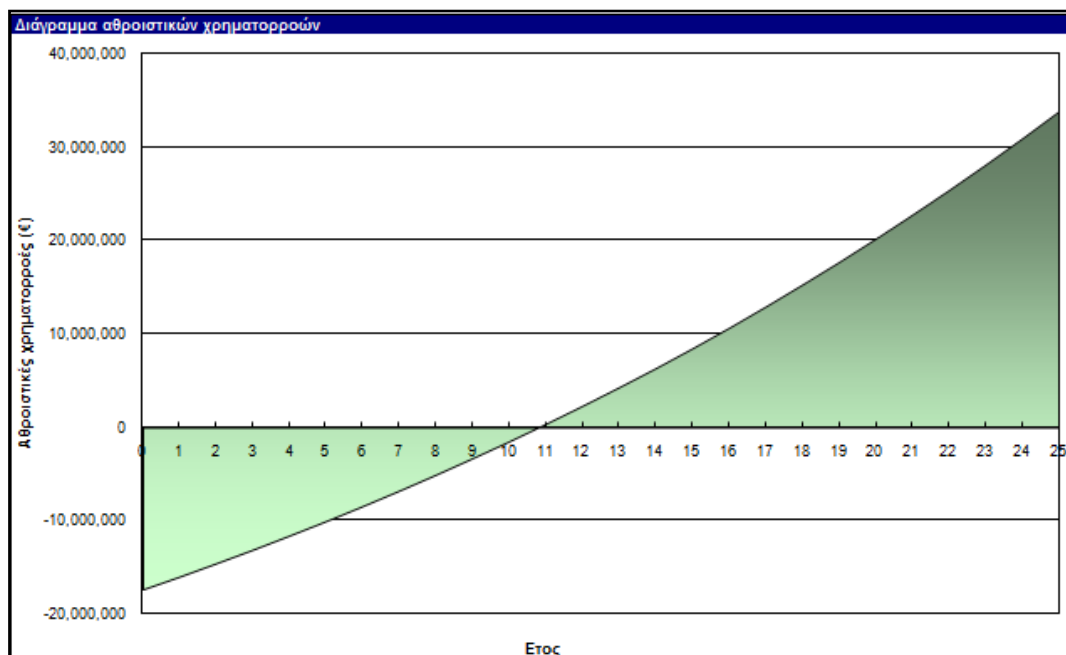
Στα πλαίσια της οικονομοτεχνικής μελέτης του πάρκου μας και για την επαλήθευση της οικονομικής αποδοχής του έγιναν και αλλά 2 παραδείγματα με διαφορετικό αριθμό και τύπο στροβίλων ώστε να φανούν οι διάφορες. Το πρώτο παράδειγμα έγινε με 4 στροβίλους τύπου Vestas V90-3.0 MW δηλαδή 3000KW ο καθένας και το δεύτερο παράδειγμα με 8 στροβίλους τύπου Vestas V66-1.65MW δηλαδή 1650KW ο καθένας. Παρόλα αυτά και τα 2 παραδείγματα είχαν ένα αξιόλογο αποτέλεσμα αλλά υστερούσαν στην οικονομική κερδοφορία σε σύγκριση με την υπάρχουσα εγκατάσταση των 6 στροβίλων τύπου Vestas V90-2.0MW. Τα αποτελέσματα φαίνονται στους παρακάτω πίνακες 18,18.1 ,19,19.1 και στα αντίστοιχα διαγράμματα αθροιστικών χρηματοροών.

Πίνακας 25. RETScreen Σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων/εσόδων (8X1650KW)

Σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων/εσόδων			
<b>Αρχικά κόστη</b>			
Μελέτη σκοπιμότητας	0.3%	€	50,000
Ανάπτυξη	0.2%	€	30,000
Μηχανολογικά	0.5%	€	85,000
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	88.8%	€	15,379,000
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα	12.5%	€	2,218,751
<b>Συνολικά αρχικά κόστη</b>	<b>100.0%</b>	<b>€</b>	<b>17,760,751</b>
Κίνητρα και επιχορηγήσεις		€	75,000
<b>Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους</b>			
Λειτουργία & Συντήρηση		€	76,500
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση		€	0
Πληρωμές χρέους - 15 έτη		€	29,755
<b>Συνολικά ετήσια κόστη</b>		<b>€</b>	<b>106,255</b>
<b>Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)</b>			
<b>Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα</b>			
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση		€	0
Εσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας		€	1,439,008
<b>Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα</b>		<b>€</b>	<b>1,439,008</b>



Εικόνα 42. RETScreen Διάγραμμα αθροιστικών χρηματοροών (8\*1650 KW)



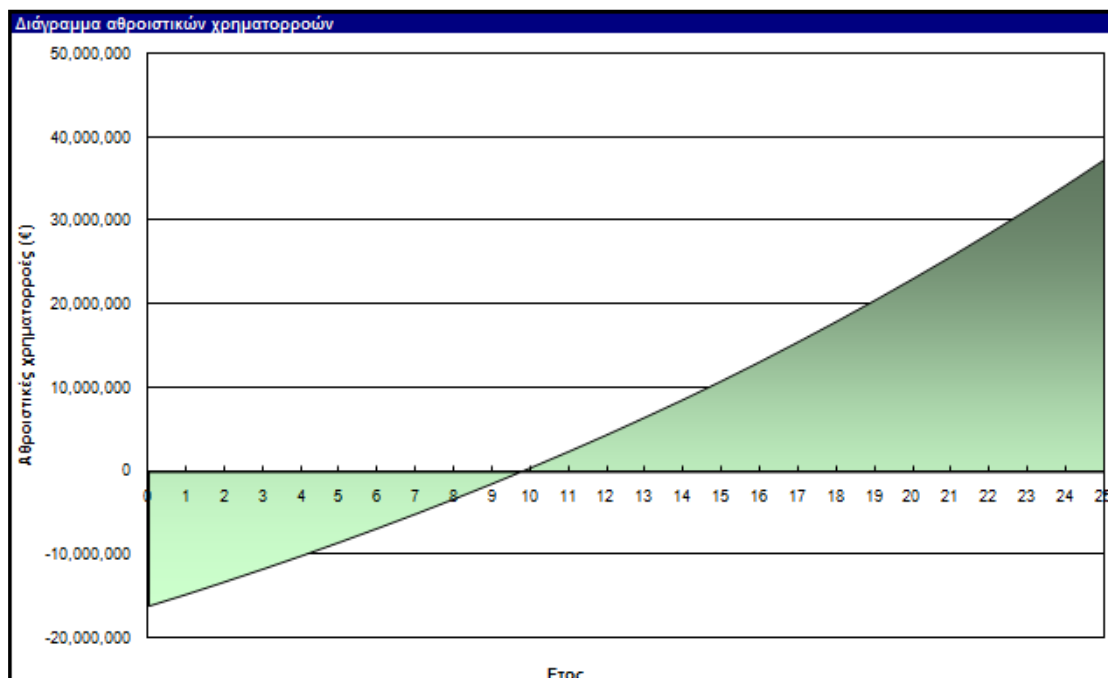
Πίνακας 26. RETScreen Σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων/εσόδων (4\*3000 KW)

Σύνοψη κόστους έργου και αποταμιεύσεων/εσόδων			
<b>Αρχικά κόστη</b>			
Μελέτη σκοπιμότητας	0.3%	€	50,000
Ανάπτυξη	0.2%	€	30,000
Μηχανολογικά	0.5%	€	85,000
Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	88.1%	€	14,179,000
<hr/>			
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα	12.9%	€	2,120,751
<b>Συνολικά αρχικά κόστη</b>	<b>100.0%</b>	<b>€</b>	<b>16,464,751</b>
<hr/>			
Κίνητρα και επιχορηγήσεις		€	75,000
<hr/>			
<b>Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους</b>			
Λειτουργία & Συντήρηση		€	78,500
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση		€	0
Πληρωμές χρέους - 15 έτη		€	27,584
<b>Συνολικά ετήσια κόστη</b>		<b>€</b>	<b>104,084</b>
<hr/>			
<b>Περιοδικά κόστη (πιστώσεις)</b>			
<hr/>			
<b>Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα</b>			
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση		€	0
Έσοδα από πώληση ηλεκτρικής ενέργειας		€	1,501,227
<b>Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα</b>		<b>€</b>	<b>1,501,227</b>





Εικόνα 43. RETScreen Διάγραμμα αθροιστικών χρηματορροών (4\*3000KW)



Πίνακας 27. RETScreen Ετήσια έσοδα-έξοδα-κέρδη

KW στροβίλου	Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα(€)	Συνολικά ετήσια κόστη(€)	Ετήσια κέρδη
<b>6*2000</b>	1.909.585	104.084	1.805.501
<b>4*3000</b>	1.501.227	104.084	1.397.143
<b>8*1650</b>	1.439.006	106.255	1.332.751

Άρα όπως βλέπουμε η πιο συμφέρουσα λύση στο παράδειγμα μας για ένα οικονομικά βιώσιμο αιολικό πάρκο χρονικής διάρκειας 25 έτη είναι η υπάρχουσα μελέτη εγκατάστασης που κάναμε με τον συγκεκριμένο τύπο στροβίλων. Τέλος μέσα από όλα όσα είδαμε, αναφέραμε και αιτιολογήσαμε τόσο σε οικονομικό όσο και τεχνικό επίπεδο φαίνεται ότι υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής ενός βιώσιμου αιολικού πάρκου στην Κάρυστο με την πιο ιδανική λύση να είναι η τοποθέτηση 6 στροβίλων των 2000KW ο καθένας.



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο συγκεκριμένο παράρτημα μας δίνονται αναλυτικές πληροφορίες σχετικά με το τεχνικό φυλλάδιο της ανεμογεννήτριας VESTAS V90-2.0MW την οποία και χρησιμοποιήσαμε καθώς και της ανεμογεννήτριας Enercon E82 E2 2.0MW όπως φαίνεται και παρακάτω.

### VESTAS V90-2.0MW

Πηγή <https://www.renewableenergyworld.com/2009/10/05/vestas-business-excellence-as-the-next-step/#gref>



**Vestas**<sup>®</sup>  
No. 1 in Modern Energy



## **Βέλτιστη απόδοση**

Οι γεννήτριες OptiSpeed® \* στα V90-1.8 MW και V90-2.0 MW έχουν προσαρμοστεί από εκείνους της εξαιρετικά επιτυχημένης V80 turbine της Vestas. Το OptiSpeed® αντιπροσωπεύει μια σημαντική πρόοδο στην αποδοτικότητα των ανεμογεννητριών, καθώς επιτρέπει την ταχύτητα του ρότορα να κυμαίνεται μεταξύ περίπου 60% σε σχέση με τις ονομαστικές στροφές. Αυτό σημαίνει ότι με το OptiSpeed®, η ταχύτητα του δρομέα μπορεί να κυμαίνεται έως και 30% πάνω και κάτω από την σύγχρονη ταχύτητα. Ο σκοπός του είναι απλός: να μεγιστοποιήσει την παραγωγή ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται αξιοποιώντας την υψηλότερη απόδοση αργής και μεταβλητής περιστροφής, αποθηκεύοντας την υπερβολική ενέργεια σε περιστροφική μορφή και αξιοποιώντας την πλήρη δύναμη των παροδικών ριπών. Όλα, το OptiSpeed® ενισχύει την ετήσια ενέργεια παραγωγή. Ως πρόσθετο πλεονέκτημα, το OptiSpeed® μειώνει επίσης τη φθορά στο κιβώτιο ταχυτήτων, τα πτερύγια και τον πύργο εξαιτίας της χαμηλότερης μέγιστης φόρτισης. Επιπλέον, καθώς ο θόρυβος του στροβίλου είναι συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου, οι χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής που έγιναν δυνατό από το OptiSpeed® μειώνουν φυσικά τα ηχητικά επίπεδα. Τέλος, το OptiSpeed® βοηθά τα V90s να παράγουν καλύτερη ποιότητα ενέργειας στο δίκτυο, με γρήγορο συγχρονισμό, μειωμένη αρμονική παραμόρφωση και λιγότερη τρεμόπαιγμα.

## **3 × 44 μέτρα αιχμής**

Οι λεπίδες Vestas ήταν πάντα μεταξύ των ελαφρύτερων στο αγορά, και με τους στροβίλους V90, έχουμε και πάλι αυξηθεί το μπαρ. Τα νέα πτερύγια διαθέτουν πολλά νέα ελαφρά χαρακτηριστικά υλικά, κυρίως ίνες άνθρακα για το φέρον υλικό Spars. Όχι μόνο οι ίνες άνθρακα είναι ελαφρύτερες από τις ίνες υάλου που χρησιμοποιούνται σε προηγούμενες λεπίδες, αλλά η αντοχή και η ακαμψία του έχουν επίσης κατέστησε δυνατή τη μείωση της ποσότητας υλικού που απαιτείται. Αυτό σημαίνει ότι παρόλο που τα V90 μας έχουν 27% πιο σαρωμένη περιοχή από τα V80s μας, οι μακρύτερες λεπίδες στην πραγματικότητα ζυγίζουν περίπου το ίδιο. Οι λεπίδες V90 έχουν επίσης ένα νέο προφίλ που είναι αεροδυναμικά ανώτερη από την προηγούμενη γενιά. Μηχανικοί της Vestas ανέπτυξε αυτό το τεχνολογικά προηγμένο προφίλ βελτιστοποιώντας η σχέση μεταξύ του συνολικού αντίκτυπου του φορτίου στο του στροβίλου και της παραγόμενης ενέργειας ετησίως. ο καρπός των εργασιών τους ήταν ένα εντελώς νέο σχήμα αεροπλάνου και μια καμπύλη πίσω άκρη. Η προκύπτουσα αεροτομή βελτιώνει την παραγωγή ενέργειας, ενώ καθιστώντας το προφίλ λεπίδας λιγότερο ευαίσθητο στη βρωμιά στην κορυφή του άκρη και διατηρώντας μια ευνοϊκή γεωμετρική σχέση μεταξύ διαδοχικών πάχους αεροτομής. Για τον στρόβιλο V90, αυτό μεταφράζεται σε αύξηση της παραγωγής σε συνδυασμό με ένα μείωση των μεταφορών φορτίου - καθώς και βελτιώσεις στο συμπέρασμα.



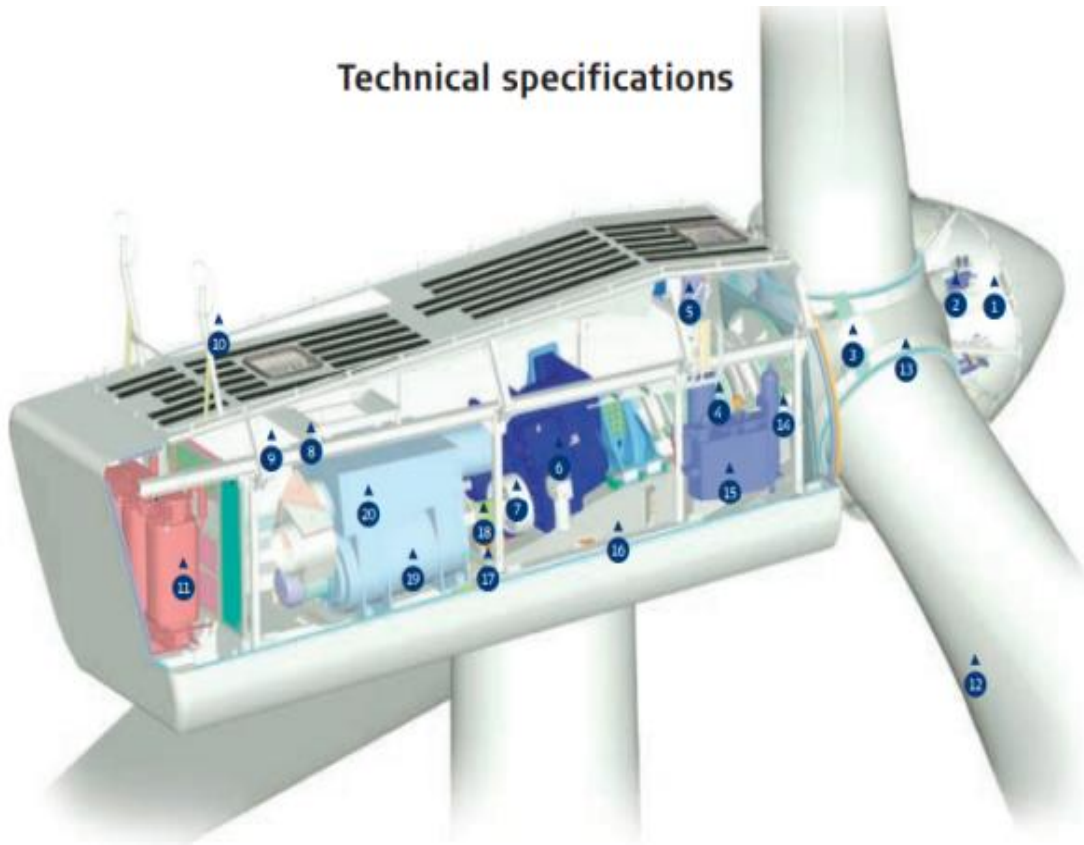
Πηγή: <https://www.nsenergybusiness.com/news/vestas-engie-brazil-wind/>

### **Αποδεδειγμένη απόδοση**

Οι αιολικοί σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής απαιτούν σημαντικές επενδύσεις και η διαδικασία μπορεί να είναι πολύ περίπλοκη. Για να βοηθήσετε στην αξιολόγηση και τη διαδικασία αγοράς, η Vestas εντόπισε τέσσερις παράγοντες που είναι κρίσιμα για την ποιότητα των ανεμογεννητριών: παραγωγή ενέργειας, λειτουργική διαθεσιμότητα, ποιότητα ισχύος και επίπεδο ήχου. Περνάμε τους μήνες δοκιμής και τεκμηρίωσης αυτών για όλες τις τουρμπίνες Vestas. Όταν είμαστε τελικά ικανοποιημένοι, ζητάμε από έναν ανεξάρτητο οργανισμό δοκιμών για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων - μια πρακτική που καλούμε αποδεδειγμένη απόδοση. Στη Vestas δεν μιλάμε μόνο για την ποιότητα. Το αποδεικνύουμε.



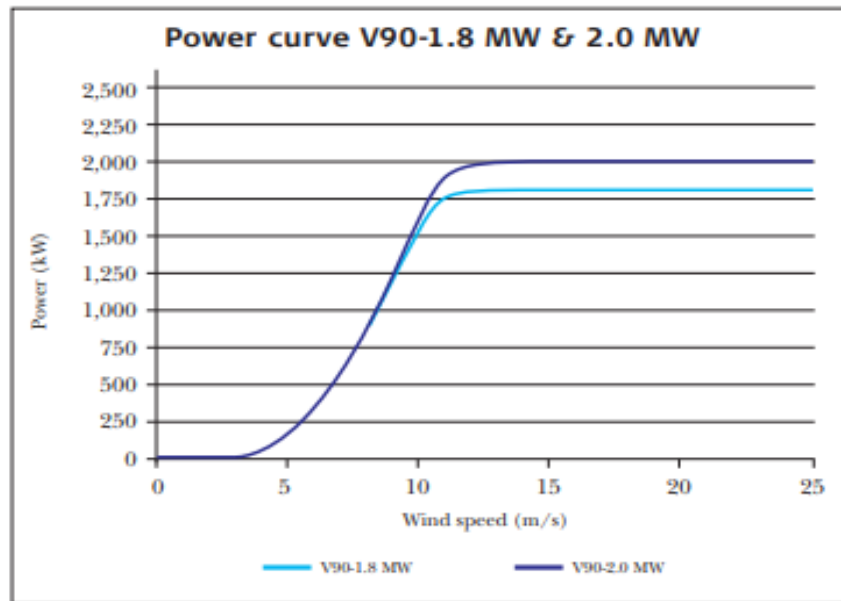
## Technical specifications



- |                   |                                     |                             |                             |
|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 Hub controller  | 6 Gearbox                           | 11 High voltage transformer | 16 Machine foundation       |
| 2 Pitch cylinders | 7 Mechanical disc brake             | 12 Blade                    | 17 Yaw gears                |
| 3 Blade hub       | 8 Service crane                     | 13 Blade bearing            | 18 Composite disc coupling  |
| 4 Main shaft      | 9 VMP-Top controller with converter | 14 Rotor lock system        | 19 OptiSpeed® generator     |
| 5 Oil cooler      | 10 Ultrasonic wind sensors          | 15 Hydraulic unit           | 20 Air cooler for generator |



Διάγραμμα 1. Καμπύλη ισχύος ανεμογεννητριών V90-1.8 & 2.0 MW





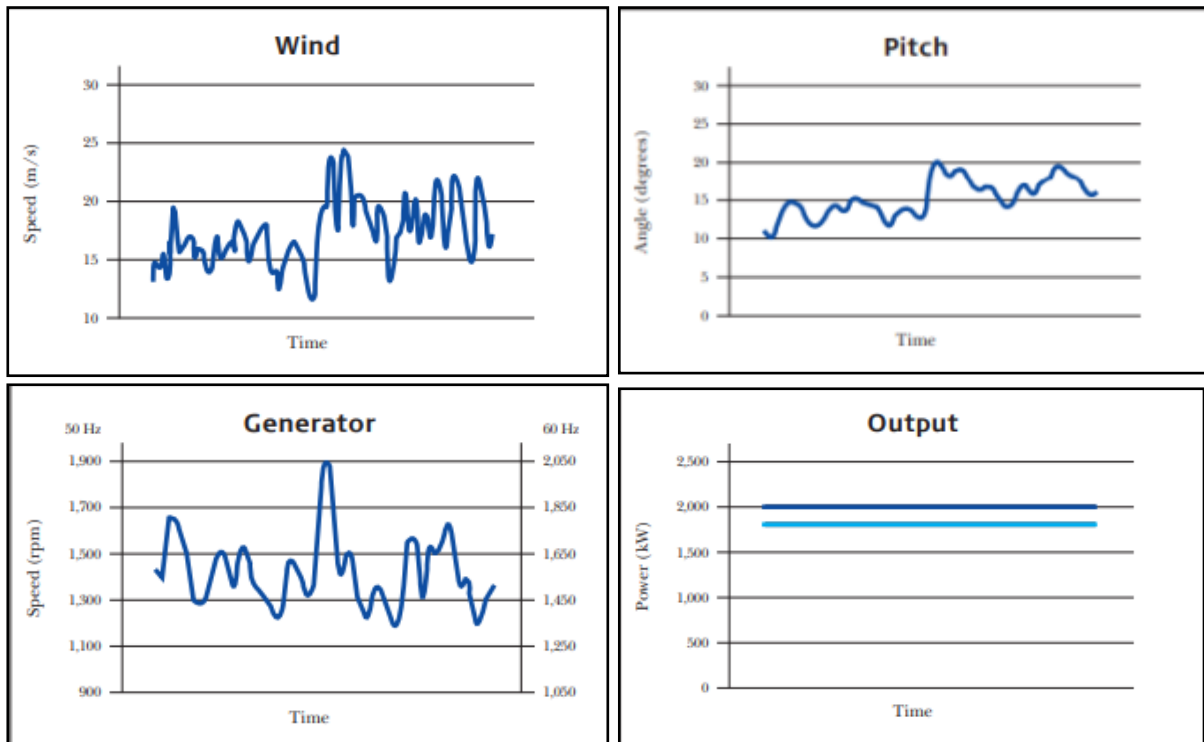
## Technical specifications

<b>POWER REGULATION</b>	Pitch regulated with variable speed	<b>ELECTRICAL</b>	Frequency	50/60 Hz
<b>OPERATING DATA</b>		Generator type	4-pole (50 Hz)/6-pole (60 Hz) doubly fed generator, slip rings	
Rated power	2,000 kW	<b>GEARBOX</b>	Type	one planetary stage and two helical stages
Cut-in wind speed	4 m/s	<b>TOWER</b>	Hub heights	80 m (IEC S) Site and country specific
Cut-out wind speed	25 m/s	<b>NACELLE DIMENSIONS</b>	Height for transport	4 m
Re cut-in wind speed	23 m/s	Height installed (incl. CoolerTop*)	5.4 m	
Wind class	IEC IIA/IEC S	Length	10.4 m	
Standard operating temperature range from -20°C to 40°C		Width	3.5 m	
<b>SOUND POWER</b>				
Maximum	104 dB*			
* Sound Power Modes available				
<b>ROTOR</b>				
Rotor diameter	90 m			
Swept area	6,362 m <sup>2</sup>			
Air brake	full blade feathering with 3 pitch cylinders			
<b>ELECTRICAL</b>				
Frequency	50/60 Hz			
Generator type	4-pole (50 Hz)/6-pole (60 Hz) doubly fed generator, slip rings			

<b>HUB DIMENSIONS</b>		<b>ANNUAL ENERGY PRODUCTION</b>
Max. transport height	3.4 m	
Max. transport width	4 m	
Max. transport length	4.2 m	
<b>BLADE DIMENSIONS</b>		
Length	44 m	
Max. chord	3.9 m	
Max. weight per unit for transportation	70 metric tonnes	
<b>TURBINE OPTIONS</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power Optimised Modes up to 2.2 MW (site specific)</li> <li>• Condition Monitoring System</li> <li>• Vestas Ice Detection</li> <li>• Smoke Detection</li> <li>• Shadow Detection</li> <li>• Low Temperature Operation to -30°C</li> <li>• Aviation Lights</li> <li>• Aviation Markings on the Blades</li> <li>• Vestas IntelliLight*</li> </ul>		
		<p><b>Assumptions</b> One wind turbine, 100% availability, 0% losses, k factor =2, Standard air density = 1.225, wind speed at hub height</p>



Πτυχιακή Εργασία Κυριακόπουλου Ιωάννη- Ασλάνη Δημήτριου  
ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 12MW (ΚΑΡΥΣΤΟΣ)



*OptiSpeed® allows the rotor speed to vary within a range of approximately 60 per cent in relation to nominal rpm. Thus with OptiSpeed®, the rotor speed can vary by as much as 30 per cent above and below synchronous speed. This minimises both unwanted fluctuations in the output to the grid supply and the loads on the vital parts of the construction.*

Vestas Wind Systems A/S  
Hedeager 42 8200 Aarhus N Denmark  
Tel: +45 9730 0000 Fax: +45 9730 0001  
[vestas@vestas.com](mailto:vestas@vestas.com) . [vestas.com](http://vestas.com)  
To see a complete list of our sales  
And service units visit [www.vestas.com](http://www.vestas.com)





### Sub MW

E-44, E-48, E-53

### MW

E-70, E-82 E2, E-82 E4,  
E-92, E-101, E-101 E2,  
E-115, E-126 EP4

### Multi-MW

E-126

The most suitable wind energy converter for every location

# ENERCON product overview



## What is the Enercon E82 E2 2000 kW wind turbine most suitable for?

The Enercon E82 E2 2000 kW Wind Turbine is suitable for :

- Windy sites
- Medium / large sites
- On-site generation
- Factories
- Seaports
- Farms
- Government and Institutional Buildings
- Community
- Commercial and industrial sites

## Enercon E82 E2 2000 kW Wind Turbine Specification

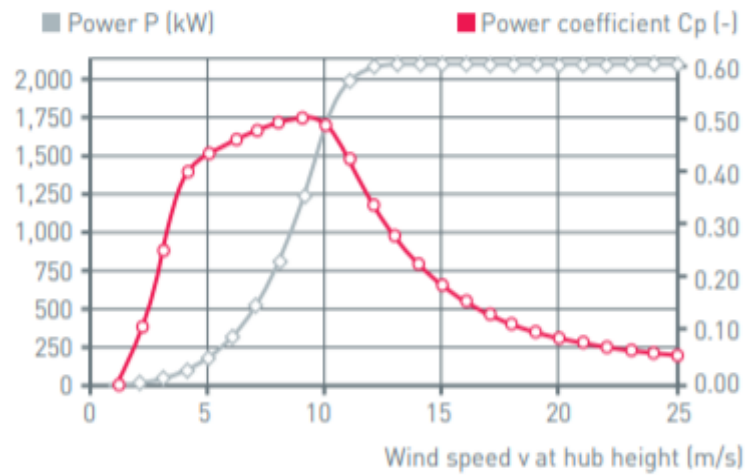
Turbine	
Configuration	Three blade, horizontal axis, upwind
Rated Power	2,000 kW at 13m/s
Rotor Speed	6 to 18 rpm
IEC 61400-1 Turbine Class	IIA
Site Average Wind Speed	8.5 m/s
Survival Wind Speed	59.5 m/s
Rotor	
Rotor Diameter	82 m
Swept Area	5,281 m <sup>2</sup>
Blade Material	GRP (Epoxy)
Power regulation	Pitch controlled variable speed



Generator	
Generator Type	ENERCON direct drive synchronous ring generator
Configuration	3-Phase, 400V, 50Hz – 60Hz
Brake & Safety System	
Main Brake System	3 independent pitch control systems with emergency power supply
Secondary System	Rotor brake and Rotor lock (maintenance purposes)
Automatic Shutdown triggered by	High wind speed, grid failure, over-speed, all other fault conditions
Controls	
Control Systems User Interface	ENERCON SCADA
Towers	
Available Hub Heights	78 m, 85 m, 98 m, 108 m, 138 m
Tower Type	Tubular steel tower
Warranty	
Period and type	Up to 15 year standard service package



### Calculated power curve



Wind (m/s)	Power P (kW)	Power-coefficient Cp [-]
1	0.0	0.00
2	3.0	0.12
3	25.0	0.29
4	82.0	0.40
5	174.0	0.43
6	321.0	0.46
7	532.0	0.48
8	815.0	0.49
9	1,180.0	0.50
10	1,580.0	0.49
11	1,810.0	0.42
12	1,980.0	0.35
13	2,050.0	0.29
14	2,050.0	0.23
15	2,050.0	0.19
16	2,050.0	0.15
17	2,050.0	0.13
18	2,050.0	0.11
19	2,050.0	0.09
20	2,050.0	0.08
21	2,050.0	0.07
22	2,050.0	0.06
23	2,050.0	0.05
24	2,050.0	0.05
25	2,050.0	0.04

$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1].ΔΙΟΝΥΣΗΣ ΑΣΗΜΑΚΟΠΟΥΛΟΣ, ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΡΑΜΠΑΤΖΗΣ,ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ ΑΓΓΕΛΗΣ-ΔΗΜΑΚΗΣ,ΑΒΡΑΑΜ ΚΑΡΤΑΛΙΔΗΣ, ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΤΣΙΛΙΓΚΙΡΙΔΗΣ., Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, ΔΥΝΑΜΙΚΟ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ , Εκδόσεις σοφία, Θεσσαλονίκη , 2015

[2]. “Μελέτη Εγκατάστασης Ανεμογεννήτριας στη Νήσο Σίφνο”, ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΣΑΜΗ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ Πάτρα 2018

[3].“ Συστήματα αιολικής ενέργειας ” Ι. Καούρης, Πανεπιστημιακές Παραδόσεις, Πάτρα, 2016

[4].WIND ENERGY PROJECT ANALYSIS", RETScreen ENGINEERING AND CASES TEXTBOOK, ISBN 0-662-35670-5

[5].Περιβάλλον και Διαχείριση Ενέργειας

< <http://www.allaboutenergy.gr/AioliKiEnergeia.html> >

[6].SIGMALIVE

< <https://www.sigmalive.com/archive/simerini/environment/170879> >

[7].ΛΕΙΤΟΥΡΓΟΣ ΑΓΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΛΑΓΗΕ

<<http://www.lagie.gr/systima-eggyimenon-timon/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesis-ape/periechomena/times-energeias-ape-ape-sithya-plin-fb/>>

[8].Κλίμα Καρύστου

<[https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%ce%9a%ce%ac%cf%81%cf%85%cf%83%cf%84%ce%bf%cf%82\\_%ce%95%ce%bb%ce%bb%ce%b7%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ae-%ce%94%ce%b7%ce%bc%ce%bf%ce%ba%cf%81%ce%b1%cf%84%ce%af%ce%b1\\_260935](https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%ce%9a%ce%ac%cf%81%cf%85%cf%83%cf%84%ce%bf%cf%82_%ce%95%ce%bb%ce%bb%ce%b7%ce%bd%ce%b9%ce%ba%ce%ae-%ce%94%ce%b7%ce%bc%ce%bf%ce%ba%cf%81%ce%b1%cf%84%ce%af%ce%b1_260935) >

[9].Wind Rose (Ροδόγραμμα)

<[https://en.wikipedia.org/wiki/Wind\\_rose](https://en.wikipedia.org/wiki/Wind_rose) >

[10].Α.Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ ΤΜΗΜΑ Π.Σ.Ε ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

< <https://www.e-mc2.gr/sites/default/files/2018-09/MELETH%20TEI%20KRHTHS%202006.pdf> >

[11].ΑΙΟΛΙΚΗ ΓΗ Α.Ε.



<[https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiS5oe69-nIAhWMZVAKHbc7DEEQjB16BAgBEAM&url=http%3A%2F%2Fwww.aiolikigi.gr%2Fel%2Flearning%2Fthe-siting-of-a-wind-park%2F&psig=AOvVaw3xMS0IFeJo0a\\_2SgZ7-Bi6&ust=1573828833701339](https://www.google.com/url?sa=i&source=images&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiS5oe69-nIAhWMZVAKHbc7DEEQjB16BAgBEAM&url=http%3A%2F%2Fwww.aiolikigi.gr%2Fel%2Flearning%2Fthe-siting-of-a-wind-park%2F&psig=AOvVaw3xMS0IFeJo0a_2SgZ7-Bi6&ust=1573828833701339) >

[https://openei.org/wiki/File:Final\\_rooftop\\_turbulence\\_graphic.jpg](https://openei.org/wiki/File:Final_rooftop_turbulence_graphic.jpg) >

[12].ΑΙΟΛΙCΦΡΑΝ “ΜΕΛΕΤΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΜΟΝΑΓΡΟΥΛΙ”

<[http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/All/43BD09B8CA445A28C2257F37004171A5/\\$file/MP20140460101.pdf?OpenElement](http://www.moa.gov.cy/moa/environment/environmentnew.nsf/All/43BD09B8CA445A28C2257F37004171A5/$file/MP20140460101.pdf?OpenElement)>

[13].RENEWABLE FIRST

< <https://www.renewablesfirst.co.uk/windpower/wind-turbines/enercon-e82-e2-2000-kw-wind-turbine/> >

[14].ENERCON product overview

< [https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/en/ENERCON\\_Produkt\\_en\\_06\\_2015.pdf](https://www.enercon.de/fileadmin/Redakteur/Medien-Portal/broschueren/pdf/en/ENERCON_Produkt_en_06_2015.pdf) >

[15]."INTERNATIONAL ENERGY OUTLOOK 2017", EIA 14 September 2017

< <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/#1>>

[16]." Global warming ", WIKIPEDIA,

< [https://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_warming](https://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming) >

[17].“ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ”, ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

< <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=285> >

[18].“ ΚΕΝΤΡΟ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑ”, ΚΑΠΕ

< [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis.htm) >

[19].“GLOBAL WIND EBERGY COUNCIL”,GWEC

< <https://gwec.net/global-figures/graphs/> >

[20].Λογισμικό RETScreen

< <https://el.wikipedia.org/wiki/RETScreen> >



[21]. " Ιστορία της Αιολικής Ενέργειας "

< <https://oikotrives.wordpress.com/2013/04/28/aioliki-technol-history/> >

[22]. " Ενέργεια στην Ελλάδα " ΒΙΚΙΠΑΙΔΕΙΑ

< <https://el.wikipedia.org/wiki/????????> >

[23]. " Ενεργειακές Πηγές ", Κέντρο Εκπαιδευτικής Ερευνάς

< [http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher5\\_2.html](http://www.kee.gr/perivallontiki/teacher5_2.html) >

[24]. VESTAS

< <https://www.vestas.com/> >

[25]. " ΚΛΙΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΛΛΗΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ", ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ- Υ.Π.Ε.Κ.Α.

< <http://portal.tee.gr/portal/page/portal/tptee/totee/TOTEE-20701-3-Final-TEE%202nd.pdf> >

[26]. " Μετεωρολογικά δεδομένα Meteo σταθμούς ", Help Post

< <https://www.helppost.gr/kairos/meteorologika-dedomena-meteodata/> >

[27]. " Κλιματικός χάρτης ανέμου της Ελλάδας " Meteo

< <https://www.meteo.gr/windStatistics.cfm> >

[28]. " Τιμολόγηση Ενέργειας από ΑΠΕ " ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ Α.Ε. , ΔΕΣΜΗΕ

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

[29]. " Οι ΑΠΕ σήμερα και η Ελλάδα αύριο ", Energypress

< [https://energypress.gr/news/oi-ape-simera-kai-i-ellada-ayrio?fbclid=IwAR1ps4qvrZODJgEyprhI69wu2MySPyzXWBjriUqeEDCrBps\\_7hiCEeZcu08](https://energypress.gr/news/oi-ape-simera-kai-i-ellada-ayrio?fbclid=IwAR1ps4qvrZODJgEyprhI69wu2MySPyzXWBjriUqeEDCrBps_7hiCEeZcu08) >

[30]. V90-1.8 MW & 2.0 MW

< <https://www.edprnorthamerica.com/wp-content/uploads/2014/04/V90.pdf> >

[31]. Προϊόν-φυλλάδιο-V90-1.8-2.0MW-06-09-EL, issuu

< [https://issuu.com/bogdanpopovici/docs/090821\\_product-brochure-v90-1.8-2.0mw-06-09-en](https://issuu.com/bogdanpopovici/docs/090821_product-brochure-v90-1.8-2.0mw-06-09-en) >





[32]. " Shanghai Electric W2000/87 ", THE WIND POWER

< [https://www.thewindpower.net/turbine\\_en\\_641\\_shanghai-electric\\_w2000-87.php](https://www.thewindpower.net/turbine_en_641_shanghai-electric_w2000-87.php) >

[33]. " The Senvion MM Series ", SENVION

< <https://www.senvion.com/global/en/products-services/wind-turbines/mm/> >

[34] Global Warming ", HARVARD UNIVERSITY,

< [https://scholar.harvard.edu/torman\\_personal/global-warming](https://scholar.harvard.edu/torman_personal/global-warming) >

[35]. ΝΙΚΟΣ ΠΑΡΜΑΞΗΣ, " Αιολική ενέργεια. Τα υπέρ και τα κατά. "

< <http://www.sigmalive.com/archive/simerini/environment/170879> >

[36]. <https://www.slideshare.net/elokab/ss-7248376>

[37]. <http://old.primedu.uoa.gr/sciedu/BIBLIO/files/energy.pdf>

[38]. < <https://www.nea-acropoli-athens.gr/arthra/oikologia/758-enallaktikes-morfes-energeias> >

[39]. < [https://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27s\\_law#/media/File:Betz-tube.svg](https://en.wikipedia.org/wiki/Betz%27s_law#/media/File:Betz-tube.svg) >

[40]. < <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/th/math7.html> >

[41]. < [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B1#%CE%A3%CF%87%CE%B5%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82\\_%CE%BA%CE%B1%CE%B9\\_%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AE](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CE%BD%CE%B5%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%BD%CE%BD%CE%AE%CF%84%CF%81%CE%B9%CE%B1#%CE%A3%CF%87%CE%B5%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CE%BA%CE%B1%CE%B9_%CE%BA%CE%B1%CF%84%CE%B1%CF%83%CE%BA%CE%B5%CF%85%CE%AE) >