

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ **Ε**ΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ **Ι**ΔΡΥΜΑ **Κ**ΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ

**ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ:
TAULANT SHEMBILLI**

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:
ΚΑΤΣΑΠΡΑΚΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ**

ΙΟΥΝΙΟΣ 2010



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ - ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το ερέθισμα για την ενασχόλησή μου με τις Α.Π.Ε και συγκεκριμένα με την αιολική ενέργεια, είναι πρωτίστως η ανάγκη για καθαρότερους τρόπους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, λιγότερο επιβαρυντικούς για το περιβάλλον και την υγεία των ανθρώπων. Αυτοί ήταν κυρίως οι λόγοι που με οδήγησαν στο να διαλέξω και να πραγματοποιήσω την πτυχιακή μου εργασία με θέμα τη μελέτη ενός αιολικού πάρκου.

Η εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του επίκουρου καθηγητή κ. Κατσαπρακάκη Δημήτριο, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για τη βοήθεια, τη συμπαράσταση και την άριστη καθοδήγησή του.

Ευχαριστώ ιδιαίτερα την οικογένειά μου για την ηθική και υλική υποστήριξη που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μου στο Τ.Ε.Ι. Ηρακλείου (Κρήτης).

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του Εργαστηρίου Αιολικής Ενέργειας για τη βοήθειά του και ιδιαίτερα τον κ. Δημήτρη Χρηστάκη.



Εισαγωγή – Σκοπός πτυχιακής εργασίας

Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι να παρουσιαστούν οι θεωρητικές βάσεις που ακολουθούνται και η υπολογιστική διαδικασία, ώστε οποιοσδήποτε που θα διαβάσει αυτή την πτυχιακή εργασία να μπορεί, ή έστω να είναι σε θέση να πραγματοποιήσει μια μελέτη αιολικού πάρκου. Το πρακτικό κομμάτι περιέχει τόσο το τεχνικό όσο και το τεχνοοικονομικό μέρος της μελέτης ενός αιολικού σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα δυο αυτά μέρη είναι απόλυτα εξαρτημένα μεταξύ τους τόσο για να μπορεί να πάρει την άδεια εγκατάστασης το αιολικό πάρκο, όσο και για να μπορεί να πιστεί ένας επενδυτής για να επενδύσει σε αυτό.

Αξίζει να σημειωθεί ότι στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ιδιαίτερη βαρύτητα δίνεται στην τεχνική μελέτη, η οποία καλύπτει τις προϋποθέσεις για την απόκτηση της άδειας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει γιατί η άδεια παραγωγής αποτελεί το πρώτο στάδιο της αδειοδοτικής διαδικασίας και γιατί χωρίς αυτή δεν δύναται η απόκτηση των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας.

Σε ό,τι αφορά το τεχνοοικονομικό μέρος της πτυχιακής εργασίας, έχουν πραγματοποιηθεί υπολογισμοί με αποτελέσματα που ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στην πραγματικότητα μιας και χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από αξιόπιστες πηγές.

Με αυτόν τον τρόπο μπορεί ο οποιοσδήποτε ενδιαφερόμενος μέσα από τις σελίδες της πτυχιακής μου να ενημερωθεί για τη βιωσιμότητα, την αξία και το χρόνο υλοποίησης μιας παρόμοιας επένδυσης.



Περιεχόμενα:

Εισαγωγή – Σκοπός πτυχιακής εργασίας.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	9

Κεφάλαιο 1:

Αιολική ενέργεια και ενεργειακή κατάσταση της Κρήτης

1.1. Αιολική ενέργεια.....	11
1.2. Ιστορική ανάδρομη στο οροπέδιο Λασιθίου.....	12
1.3. Ενεργειακή κατάσταση της Κρήτης	13
1.3.1. Το υφιστάμενο θερμοηλεκτρικό-ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης το 2009.	14
1.3.2. Ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος στην Κρήτη	14
1.3.4. Ενεργειακά προβλήματα της Κρήτης	15
1.4. Αιολικά πάρκα στην Κρήτη.....	16
1.4.1. Ιστορική αναδρομή	16
1.4.2. Τα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα στην Κρήτη το 2009	16
1.4.3. Πρόβλεψη για τα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα στην Κρήτη το 2010.....	18
1.4.4. Λειτουργικά προβλήματα αιολικών πάρκων	19

Κεφάλαιο 2:

Επιλογή περιοχής

2.1. Εισαγωγή.....	21
2.2. Τα κριτήρια επιλογής περιοχής μελέτης αιολικού πάρκου.....	21
2.3. Η έκταση και μορφή του γηπέδου	21
2.3.1. Ιδιοκτησιακό περιοχής.....	21
2.3.2. Πώς ορίζονται οι προστατευόμενες περιοχές	22
2.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	22
2.4.1. Επιδράσεις στην ορνιθοπανίδα	23
2.4.2. Επιδράσεις στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες της περιοχής.....	26
2.4.3. Οπτική όχληση	27
2.4.4. Εκπομπές θορύβου	29



2.4.5. Επιρροή του παραγόμενου ηλεκτρομαγνητισμού.....	30
2.4.6. Σκίαση.....	31
2.5. Πρόσβαση περιοχής.....	32
2.6. Αιολικό δυναμικό.....	33
2.7. Επιλογή οικοπέδου για την πραγματοποίηση της μελέτης του αιολικού πάρκου.....	34
2.8. Αιολικός άτλαντας.....	35
2.8.1. Ψηφιοποίηση του χάρτη.....	35

Κεφάλαιο 3:

Μελέτη αιολικού δυναμικού

3.1. Εισαγωγή.....	37
3.2. Χαρακτηριστικά του ανέμου.....	37
3.3. Τύρβη και διάτμηση.....	38
3.3.1. Μέθοδος υπολογισμού τύρβης.....	38
3.3.2. Η διάτμηση.....	39
3.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου.....	40
3.4.1. Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους.....	40
3.4.2. Επίδραση επιφανειακών εμποδίων.....	40
3.4.3. Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής.....	40
3.5. Το αιολικό δυναμικό.....	42
3.5.1. Οι μετρήσεις.....	42
3.6. Εγκατάσταση και περιγραφή ιστού.....	43
3.6.1. Ανεμόμετρο.....	43
3.6.2. Διευθυνσιόμετρο.....	44
3.7. Βασικές έννοιες αιολικής ενέργειας.....	45
3.7.1. Ορισμός αιολικής ενέργειας.....	45
3.7.2. Ισχύς ανέμου.....	45
3.7.3. Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος.....	46
3.7.4. Επίδραση της πυκνότητας του αέρα.....	47
3.7.5. Το ιστόγραμμα πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου.....	48
3.7.6. Συντελεστής απασχόλησης (capacity factor).....	48
3.8. Πίνακας με στοιχεία μετρήσεων του ιστού.....	49



3.9. Υπολογιστικό πρόγραμμα Wasp.....	51
3.10. Αιολικός άτλαντας	52
3.10.1. Αιολικός άτλαντας της εξεταζόμενης περιοχής.....	52
3.10.2. Αξιολόγηση αιολικού δυναμικού.....	55

Κεφάλαιο 4:

Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

4.1. Εισαγωγή.....	56
4.2. Ενεργειακή μελέτη αιολικού πάρκου	56
4.3. Κριτήριο επιλογής ανεμογεννήτριας	57
4.4. Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ενέργειας	58
4.5. Προτεινόμενη ανεμογεννήτρια	58
4.6. Χωροθέτηση αιολικού πάρκου	63
4.6.1. Η επίδραση της σκίασης	63
4.7. Χωροθέτηση ανεμογεννητριών αιολικού πάρκου	64
4.8. Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ενέργειας	66
4.8.1. Παρουσίαση χαρακτηριστικών μεγεθών ανέμου.....	68

Κεφάλαιο 5:

Κατασκευή και διασύνδεση αιολικού πάρκου

5.1. Κατασκευή δρόμου προσπέλασης και εσωτερικής οδοποιίας Α/Π.....	70
5.2. Διαμόρφωση πλατειών Α/Π.....	70
5.3. Κατασκευή βάσεων θεμελίωσης Α/Γ	71
5.4. Ανέγερση πύργου, πλήμνης και πτερυγίων των ανεμογεννητριών	71
5.5. Κατασκευή οικίσκου ελέγχου και βοηθητικών χώρων.....	72
5.6. Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός.....	73
5.7. Κατασκευή του κεντρικού υποσταθμού του Αιολικού Πάρκου.....	73
5.8. Καλωδίωση πύργων των Α/Γ	74
5.9. Δίκτυο σύνδεσης Α/Γ	74
5.10. Κατασκευή καναλιού καλωδίων	75
5.11. Εγκατάσταση καλωδίων	75
5.12. Εσωτερικό δίκτυο Α/Π.....	77



5.13. Σύστημα Γείωσης.....	78
5.14. Προκαταρκτική εκτίμηση του τρόπου σύνδεσης με το Δίκτυο ή το Σύστημα ..	80

Κεφάλαιο 6:

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις Α/Π και Φωτορεαλιστική απεικόνιση

6.1. Εισαγωγή.....	83
6.2. Φωτογραφική αποτύπωση του οικοπέδου εγκατάστασης	83
6.3. Φωτορεαλιστική απεικόνιση.....	99
6.4. Θόρυβος.....	103
6.5. Χρήσεις γης.....	106
6.6. Οπτική όχληση.....	106
6.7. Επιδράσεις στην ορνιθοπανίδα	106
6.8. Σκίαση.....	106

Κεφάλαιο 7:

Οικονομική μελέτη

7.1. Εισαγωγή.....	107
7.2. Ορισμοί και υπολογιζόμενοι δείκτες οικονομικότητας (ΑΚΕ, ΕΟΟ, ΕΛΔ, ΚΕΟΟ, IRR, NPV, ERR, PBP).....	107
7.3. Παραμετρική Ανάλυση Επενδύσεων.....	109
7.4. Υπολογισμοί και Αποτελέσματα οικονομικής μελέτης του Α/Π.....	110
7.4.1. Υπολογισμός Ετήσιας Παραγωγής Ενέργειας ανά Α/Γ.....	110
7.4.2. Αρχικό κόστος επένδυσης.....	111
7.4.3. Ετήσια ακαθάριστα έσοδα και διάρκεια ζωής επένδυσης.....	112
7.4.4. Χρηματοδοτικό σχήμα επένδυσης	112
7.4.5. Χρηματοροές.....	113
7.4.6. Οικονομικοί Δείκτες	120
7.5. Συμπεράσματα οικονομικής μελέτης.....	125

Κεφάλαιο 8:

Οφέλη

8.1. Εισαγωγή.....	127
--------------------	-----



8.2. Οικονομικά για τον επενδυτή.....	127
8.3. Περιβαλλοντικά και Αναπτυξιακά οφέλη για την περιοχή.....	127
8.4. Επίλογος - Συμπεράσματα	129
ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ-ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ	131
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	132



ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στο **1^ο κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή στην αιολική ενέργεια και μια ιστορική αναδρομή στο οροπέδιο Λασιθίου.

Επίσης γίνεται αναφορά στην ενεργειακή κατάσταση της Κρήτης και μια εκτενής περιγραφή των αιολικών πάρκων και ιστορική αναδρομή αυτών.

Στο **2^ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα κριτήρια επιλογής της περιοχής μελέτης αιολικού πάρκου (χωροταξικό Α.Π.Ε., διαθεσιμότητα αιολικού δυναμικού, περιοχές NATURA κλπ). Με βάση τα ανωτέρω γίνεται επιλογή και χάραξη οικοπέδου εγκατάστασης του αιολικού πάρκου (τοπογραφικό διάγραμμα).

ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

3^ο κεφάλαιο

Στο **3^ο κεφάλαιο** γίνεται μια εισαγωγή για τον άνεμο και τα μεγέθη που τον επηρεάζουν, επίσης γίνεται μια αναφορά στο λογισμικό Wasp, και η συνέχεια του κεφαλαίου 3 αφορά τη μελέτη αιολικού δυναμικού δηλαδή:

- a. εγκατάσταση ιστού, περιγραφή ιστού, και περίοδος μετρήσεων.
- b. αποτελέσματα μετρήσεων ιστού και ανάλυση μέσω προγράμματος OWC Wizard
- c. αιολικός χάρτης

4^ο κεφάλαιο

Στο **4^ο κεφάλαιο** γίνεται η χωροθέτηση 14 ανεμογεννητριών και υπολογίζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του προγράμματος Wasp, που προϋποθέτει:

1. Χωροθέτηση ανεμογεννητριών.
 - a υπολογισμός σκιάσεων των ανεμογεννητριών κ.α
2. Επιλογή ανεμογεννήτριας.

5^ο κεφάλαιο

Στο **5^ο κεφάλαιο** περιγράφονται τα οικοδομικά και ηλεκτρομηχανολογικά έργα που απαιτούνται για την κατασκευή αιολικού πάρκου και στη συνέχεια υπολογίζονται και παρουσιάζονται τα εξής:

- a. οδοποιία, πλατείες ανεμογεννητριών (τοπογραφικό διάγραμμα)
- b. δίκτυο διασύνδεσης
- c. εσωτερικό ηλεκτρικό δίκτυο, μετασχηματιστές
- d. ηλεκτρομηχανολογική μελέτη κ.α.

Στο **6^ο κεφάλαιο** γίνεται φωτορεαλιστική απεικόνιση του αιολικού πάρκου και υπολογισμός διάχυσης θορύβου. Αναλυτικά, τα περιεχόμενα του κεφαλαίου έχουν ως εξής:

- a. φωτορεαλιστική απεικόνιση
- b. θόρυβος (χάρτης διάχυσης θορύβου)

Αναφέρονται επίσης οι επιπτώσεις του Α/Π πάρκου που μελετάται.



ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

7^ο κεφάλαιο

Στο **7^ο κεφάλαιο** γίνεται μια προσεγγιστική τεχνοοικονομική μελέτη του αιολικού πάρκου. Το κεφάλαιο αυτό χωρίζεται σε δυο μέρη.

Στο **A μέρος** περιγράφεται η θεωρητική διαδικασία της οικονομικής μελέτης και εξηγούνται οι τύποι που χρησιμοποιούνται.

Στο **B μέρος** περιγράφονται τα οικονομικά στοιχεία για το αιολικό πάρκο, που περιλαμβάνουν:

- a. αρχικό κόστος
- b. κόστος λειτουργίας – συντήρησης – ετήσια έξοδα- ετήσια έσοδα
- c. χρηματοροές -οικονομικοί δείκτες κ.α.

8^ο κεφάλαιο

Στο **8^ο κεφάλαιο** αναφέρονται τα οφέλη που μπορεί να έχει ένα Α/Π και περιλαμβάνονται ο επίλογος και τα συμπεράσματα.



Αιολική ενέργεια και ενεργειακή κατάσταση της Κρήτης

1.1. Αιολική ενέργεια

Η κινητική ενέργεια του ανέμου ονομάζεται «αιολική 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 μία περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους.

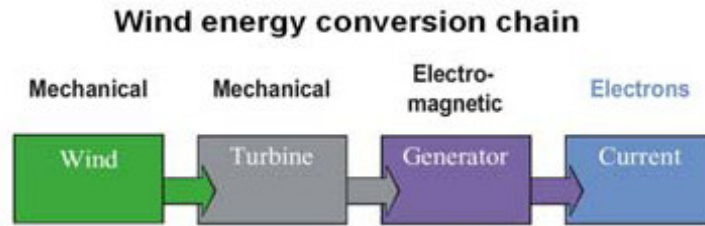
Η αιολική ενέργεια ανήκει στις ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεδομένου ότι αφ' ενός δε ρυπαίνει το περιβάλλον και αφ' ετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη.

Ο άνθρωπος έχει εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια από νωρίς στην ιστορία του, χρησιμοποιώντας την για πρώτη φορά για την κίνηση των πλοίων. Άλλες δραστηριότητες όπου χρησιμοποιήθηκε η αιολική ενέργεια ήταν το άλεσμα των δημητριακών, αλλά και η άντληση νερού για το πότισμα των καλλιεργειών ή για τη μεταφορά του στη θάλασσα από τις πλημμυρισμένες περιοχές.

Κατά τη διάρκεια του 17^{ου} αιώνα η ανακάλυψη των ατμοστρόβιλων άρχισε να αντικαθιστά τους ανεμόμυλους, οι οποίοι αποτέλεσαν τον πρόγονο της ανεμογεννήτριας, ενώ τον επόμενο αιώνα πραγματοποιήθηκε από τους Δανούς παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο.

Η ανταγωνιστική θέση των εφαρμογών της αιολικής ενέργειας έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας ενισχύεται και από τα οικονομικά στοιχεία για το κόστος παραγωγής ενέργειας. Συγκεκριμένα, το κόστος της αιολικής kWh υπολείπεται σημαντικά του κόστους των συμβατικών καυσίμων και επιπλέον το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει, κατά κάποιον τρόπο, μία «ύστερη» περίοδο ωριμότητας.

Συγκεκριμένα, η εκμετάλλευση της κινητικής ενεργείας του ανέμου γίνεται μέσω ανεμοκινητήρων που την μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια, και μέσω ανεμογεννητριών, ανεμοκινητήρων δηλαδή που διαθέτουν ηλεκτρογεννήτρια που την μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενεργεία.



Σχήμα 1.1: Διάγραμμα μετατροπής ενέργειας σε μία ανεμογεννήτρια.

1.2. Ιστορική ανάδρομη στο οροπέδιο Λασιθίου

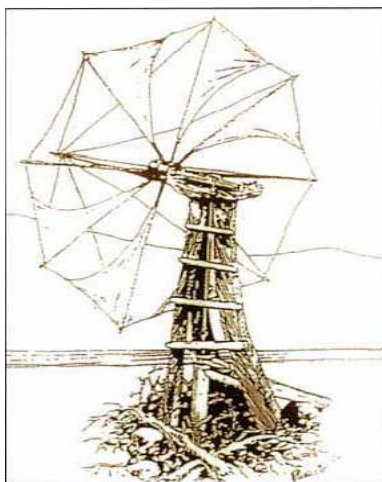
Υπολογίζεται ότι στα μέσα του 20^{ου} αιώνα χιλιάδες παραδοσιακοί ανεμόμυλοι συνολικής ισχύος 5 MW, προοριζόμενοι σχεδόν αποκλειστικά για άντληση υπόγειων αποθεμάτων νερού και άρδευση των καλλιεργειών, είχαν εγκατασταθεί στην περιοχή του οροπεδίου Λασιθίου, στην ανατολική Κρήτη.

Πρόκειται για το πρώτο αιολικό πάρκο στον κόσμο συνολικής ισχύος αυτής της τάξεως. Σήμερα οι χιλιάδες ανεμόμυλοι δεν χρησιμοποιούνται πια για παραγωγικούς σκοπούς, παρά μόνο αποτελούν ένα πόλο έλξης χιλιάδων επισκεπτών κάθε χρόνο.



Εικόνα 1.1: Το πρώτο αιολικό πάρκο στην περιοχή του οροπεδίου Λασιθίου.

Θρυλικό έχει μείνει το όνομα του Εμμανουήλ Παπαδάκη ή Σπιρτοκούτη, ο οποίος ήταν εκείνος που επινόησε την κατασκευή πάνω στην οποία βασίστηκε η υλοποίηση των ανεμόμυλων του οροπεδίου Λασιθίου.



Σχήμα 1.2: Η πρώτη ανεμαντλία που κατασκεύασε ο Εμμανουήλ Παπαδάκης (Σπιρτοκούτης) στο Ψυχρό του οροπεδίου Λασιθίου Κρήτης

Η συγκέντρωση μέχρι και 10.000 αντλητικών ανεμόμυλων διαμόρφωσε ένα μοναδικό για τα ελληνικά δεδομένα βιομηχανικό τοπίο το «θαύμα των ανεμόμυλων του Λασιθίου» όπως αναφέρει ο Τύπος της εποχής.

Έμφαση δόθηκε τότε στη δυνατότητα εκμετάλλευσης των ήπιων μορφών ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα για την κάλυψη άλλων αναγκών (ηλεκτροφωτισμός, αποξήρανση ελών, ύδρευση, κ.α), συγκρίνοντας το Λασιθί με αντίστοιχα παραδείγματα της Ολλανδίας.

Ο καθηγητής του πανεπιστήμιου του Λίβερπουλ Ν. G. Calvert γράφει χαρακτηριστικά: «Για τους ανεμόμυλους του ο κρητικός επικαλέστηκε μια παλιά φιλοσοφία σχετικά με την δύναμη του άνεμου, εκείνη του ιστιοφόρου».

Οι γνώσεις του ήταν βαθιές μολοντί άγραφες. Η θέση των ανεμόμυλων της Αμπέλου αποκαλύπτει μια εκτίμηση της κίνησης του άνεμου σπουδαιότατη, δημιουργώντας ένα θέαμα που δεν υπάρχει όμοιο. Εργαστηριακές δοκιμές μας δείχνουν ότι καμία από τις μηχανές που κατασκεύασε ο άνθρωπος δεν μπορεί να έχει τόση απόδοση σε σχέση με τόσο μικρή δαπάνη και κόπων και υλικών.

Αντλητικοί ανεμόμυλοι έχουν εντοπιστεί στον Άγιο Νικόλαο, Λίμνες Νεαπολέως, στα Μάλια, στις Μοίρες, στην Παχιά Άμμος, στην Παλαίκαστρο, στην Σητεία κ.α.

1.3. Ενεργειακή κατάσταση της Κρήτης

Η Κρήτη τα τελευταία χρόνια, λόγω της ανάπτυξης του βιοτικού επιπέδου των κατοίκων και της ακμάζουσας τουριστικής βιομηχανίας της, παρουσιάζει σημαντική αύξηση της ενεργειακής της ζήτησης.



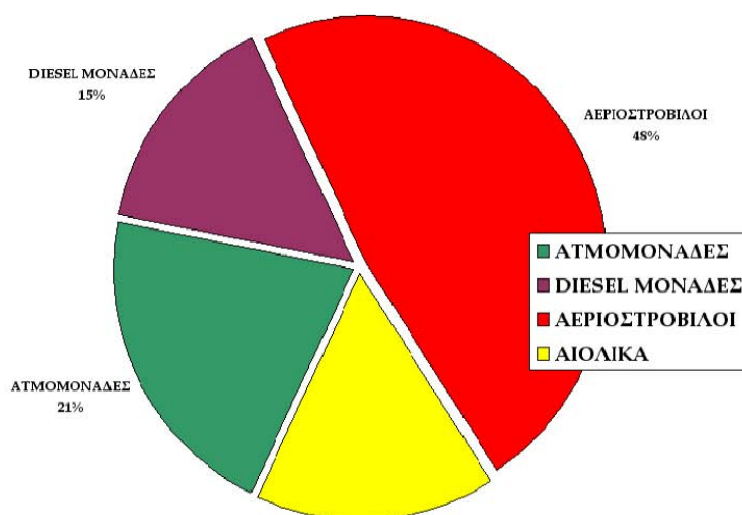
1.3.1. Το υφιστάμενο θερμοηλεκτρικό-ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης το 2009

Σήμερα στην Κρήτη λειτουργούν τρεις σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής της Δ.Ε.Η., οι εξής:

1. Λινοπεράματα Ηρακλείου, με συνολική θερμοηλεκτρική ισχύ 265 MW, που συντίθεται από 6 Ατμομονάδες, 4 Diesel, 5 Αεριοστρόβιλους
2. Ξηροκαμάρα Χανίων, με συνολική θερμοηλεκτρική ισχύ 348 MW, που συντίθεται από 1 Συνδυασμένο Κύκλο και 5 Αεριοστρόβιλους
3. Αθερινόλακος Λασιθίου, με συνολική θερμοηλεκτρική ισχύ 200 MW, που συντίθεται από 2 Diesel και 2 Ατμομονάδες.

Υπάρχουν επίσης 3 μονάδες σε ψυχρή εφεδρεία (ένας ατμοστρόβιλος και ένας αεριοστρόβιλος στα Λινοπεράματα, ένας αεριοστρόβιλος στην Ξηροκαμάρα). Επιπλέον, στο υφιστάμενο ηλεκτρικό σύστημα της Κρήτης περιλαμβάνονται και αιολικά πάρκα με συνολική εγκατεστημένη ισχύ 165 MW.

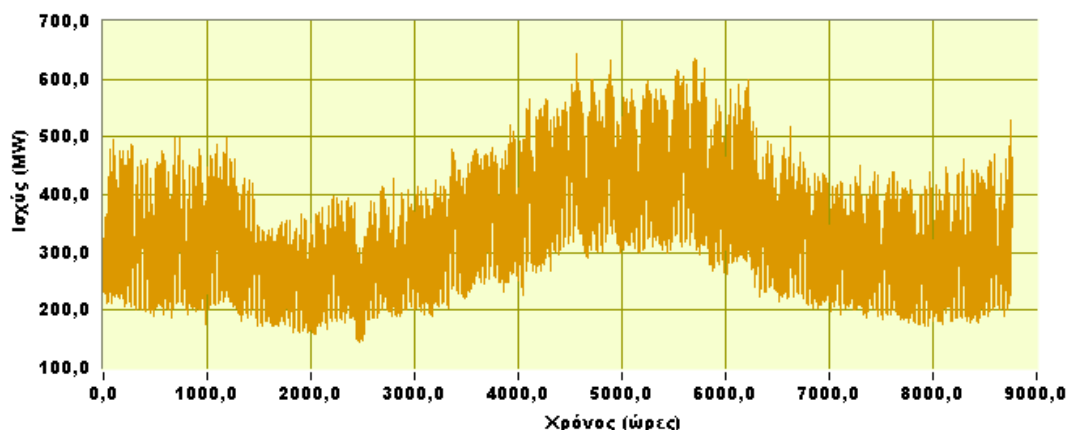
Στο σχήμα 1.3 βλέπουμε ποσοστιαία κατανομή τις εγκατεστημένης ισχύος στην Κρήτη σε διαφορετικού τύπου μονάδες.



Σχήμα 1.3: Μονάδες παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας στην Κρήτη 2009.

1.3.2. Ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος στην Κρήτη

Από τη Δ.Ε.Η. Α.Ε. παραχωρήθηκε η ετήσια χρονοσειρά μέσω ωριαίων τιμών ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος στην Κρήτη για το έτος 2008. Η χρονοσειρά αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 1.4.



Σχήμα 1.4: Καμπύλη ετήσιας ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος στην Κρήτη το 2008.

Στον πίνακα 1.1 παρουσιάζονται οι χαρακτηριστικές τιμές των χρονοσειρών ζήτησης ηλεκτρικής ισχύος στην Κρήτη για το έτος 2008.

Πίνακας 1.1: Χαρακτηριστικές τιμές ζήτησης ισχύος στην Κρήτη κατά το έτος 2008.

Έτος	Μέγιστη ετήσια ζήτηση ισχύος (MW)	Ελάχιστη ετήσια ζήτηση ισχύος (MW)	Ετήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (MWh)	Μέση ημερήσια ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας (MWh)
2008	644,90	143,80	3.010.878,50	8.248,98

1.3.4. Ενεργειακά προβλήματα της Κρήτης

Η Κρήτη παρουσιάζει τα κοινά ενεργειακά προβλήματα όλων των νησιωτικών περιοχών :

- Μεγάλη ενεργειακή εξάρτηση από το πετρέλαιο (86%) σε σχέση με την ηπειρωτική Ελλάδα.
- Υψηλοί ρυθμοί αύξησης ενεργειακής ζήτησης (διπλάσιοι του εθνικού μέσου όρου), που οφείλονται στην αλματώδη ανάπτυξη του βιοτικού επιπέδου και του τουρισμού.
- Αυστηροί περιβαλλοντικοί περιορισμοί και μεγάλες εποχιακές διακυμάνσεις ζήτησης φορτίου (εξ' αιτίας του τουρισμού).
- Υψηλό κόστος ενέργειας. Το υψηλό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οφείλεται:
 - Έλλειψη συμβατικών πηγών ενέργειας.
 - Στρεβλή ανάπτυξη του ηλεκτρικού συστήματος εξαιτίας τοπικών διενέξεων και πολιτικών αποφάσεων.
 - Εγκατάσταση λίγο πριν από τις καλοκαιρινές αιχμές αεριοστρόβιλων λόγω χαμηλού κόστους εγκατάστασης και μικρού χρόνου ανέγερσης.
 - Για τη λειτουργία αεριοστρόβιλων απαιτείται καύσιμο Diesel και όχι μαζούτ με σχέση κόστους το 2008 μέχρι 2:1 ανάλογα με τη σύμβαση αγοράς.
 - Ο βαθμός απόδοσης των αεριοστρόβιλων είναι χαμηλός σε σχέση με τις ατμομονάδες και τις diesel με αποτέλεσμα να επιβαρύνεται η



παραπάνω σχέση κόστους.

- Μέσο κόστος συμβολής καυσίμου ανά είδος μονάδας το Δεκέμβρη 2008:
 - a. ατμομονάδες: 60 €/MWh
 - b. diesel: 44 €/MWh
 - c. συνδυασμένος Κύκλος: 127 €/MWh
 - d. αεριοστρόβιλοι: 165 €/MWh.
- e. Μεγάλο και άμεσο πρόβλημα παροχής ηλεκτρικής ισχύος (έλλειψη εφεδρειών – διακοπές ηλεκτρισμού). Οι διακοπές του ηλεκτρικού ρεύματος οφείλονται είτε σε πτώσεις, είτε σε ανωμαλίες στο σύστημα μεταφοράς, είτε σε έλλειψη ικανότητας του συστήματος παραγωγής να καλύψει τη συγκεκριμένη ζήτηση τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή.
- f. Μη σημαντικό φορτίο βάσης λόγω έλλειψης μεγάλων βιομηχανικών μονάδων. Ο συντελεστής φορτίου είναι χαμηλότερος από τον αντίστοιχο συντελεστή του ηλεκτρικού συστήματος της χώρας (56% έναντι 68%)

1.4. Αιολικά πάρκα στην Κρήτη

1.4.1. Ιστορική αναδρομή

Το πρώτο αιολικό πάρκο στην Κρήτη ήταν της Δ.Ε.Η. στο Τοπλού Σητείας το 1993. Το αιολικό πάρκο Τοπλού αποτελείται σήμερα από 17 ανεμογεννήτριες των 300 kW και από 3 Ανεμογεννήτριες των 500 kW η κάθε μία με συνολική εγκαταστημένη ισχύ που ανέρχεται σε 6,6 MW. Η συνολική παραγωγή του, μέχρι σήμερα, ανέρχεται σε 145.000 MWh και η αποφυγή εκπομπής CO₂ στους 123.250 τόνους.

Μετά το νόμο 2244/94 το πρώτο ιδιωτικό αιολικό πάρκο εγκαταστάθηκε στη Σητεία από την εταιρεία 'ΡΟΚΑΣ' με ισχύ 10 MW. Το αιολικό πάρκο ΡΟΚΑΣ εγκαταστάθηκε και λειτουργεί από τον Απρίλιο του 1998 στο Πλακοκερατιά στη Σητεία, και αποτελείται από 17 ανεμογεννήτριες των 600 kW η καθεμία.

Σήμερα στην Κρήτη είναι εγκατεστημένα πάνω από 165 MW αιολικά πάρκα και αναμένονται 70 MW τα επόμενα 5 χρόνια.

1.4.2. Τα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα στην Κρήτη το 2009

Τα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα στην Κρήτη στο τέλος του 2009 παρουσιάζονται στον πίνακα 1.2. Οι θέσεις τους παρουσιάζονται στο χάρτη 1.1.



Πίνακας 1.2 : Εγκατεστημένα αιολικά πάρκα στην Κρήτη το 2009.

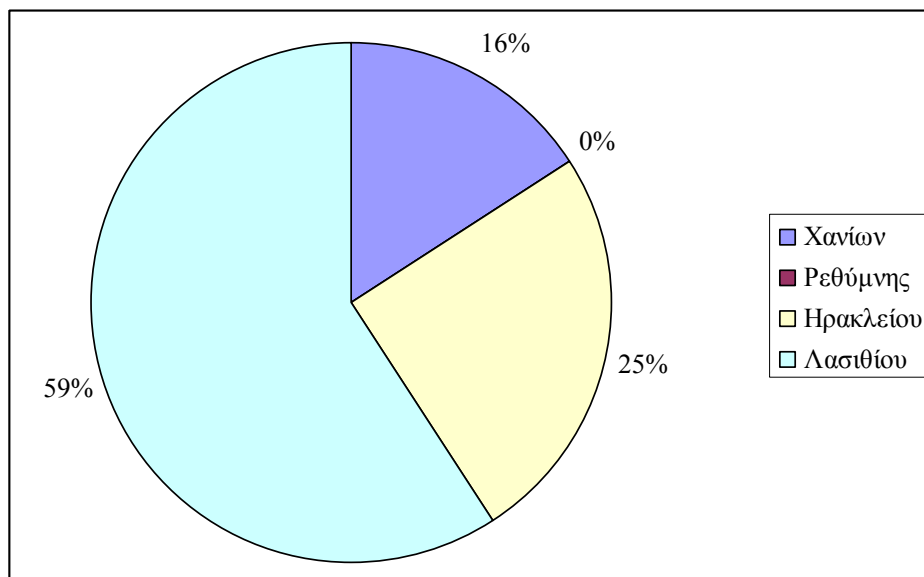
A/A	Φορέας	Τοποθεσία	Εγκατεστημένη ισχύς (MW)
1	Δ.Ε.Η. Α.Ε.	Ι.Μ. Τοπλού Σητείας Λασιθίου	5,10
2	Δ.Ε.Η. Α.Ε.	Ι.Μ. Τοπλού Σητείας Λασιθίου	1,00
3	Δ.Ε.Η. Α.Ε.	Ι.Μ. Τοπλού Σητείας Λασιθίου	0,50
4	Δ.Ε.Η. Α.Ε.	Ξηρολίμνη Ι Δ.Σητείας	4,80
5	Δ.Ε.Η. Α.Ε.	Ξηρολίμνη Ι Δ.Σητείας	5,40
6	Δ.Ε.Η. Α.Ε.	Ξηρολίμνη ΙΙ Δ.Σητείας	3,00
7	Ρόκας Αιολική Κρήτη Α.Β.Ε.Ε.	Ξηρολίμνη Σητείας	3,00
9	Ρόκας Αιολική Κρήτη Α.Β.Ε.Ε.	Πλακοκερατιά Δ.Ιτάνου Λασιθίου	15,00
10	ΑΕΟΛΟΣ Α.Ε.	Χανδράς Λεύκης Λασιθίου	9,90
11	Αιολικά Πάρκα Κρυών Α.Ε.	Μαρωνιά Σητείας Λασιθίου	10,00
12	Αιολικά Πάρκα Αχλαδιών Α.Ε.	Μαρωνιά Σητείας Λασιθίου	10,00
13	Αιολικά Πάρκα Ανεμόεσσα Α.Ε.	Μαρωνιά Σητείας Λασιθίου	5,00
14	Οργανισμός Ανάπτυξης Σητείας Α.Ε.	Καμινάκια - Χορδάκι Λασιθίου	0,50
15	IWECO Α.Ε.	Μεγάλη Βρύση Ηρακλείου	4,95
16	ENERCON ΕΛΛΑΣ Α.Ε.	Πλατύβολα Αχλαδιών Λασιθίου	2,50
17	Πλαστικά Κρήτης Α.Ε.	Βρουχάς Λασιθίου	5,94
18	Πλαστικά Κρήτης Α.Ε.	Βρουχάς Λασιθίου	5,96
19	WRE ΕΛΛΑΣ Α.Ε.	Πλατύβολα Κρυών Λασιθίου	2,40
20	WRE ΕΛΛΑΣ Α.Ε.	Πλατύβολα Κρυών Λασιθίου	0,60
21	Δομική Κρήτης Α.Ε.	Βοσκορό Ηρακλείου	5,95
22	ΕΝΤΕΚΑ Α.Ε.	Ξηρολίμνη Ι Δ.Σητείας	2,70
23	Υδροαιολική Κρήτης Α.Ε.	Ρόβας Καστελίου Χανίων	9,35
24	IWECO Χόνος Κρήτης Α.Ε.	Χόνος Σητείας	4,50
25	ΤΕΡΝΑ Ενεργειακή Α.Ε.	Αγ. Βαρβάρα Ηρακλείου	14,45
26	ΜΟΙΡΩΝ Α.Ε. (ΑΝΤΙΣΚΑΡΙ)	Αντισκάρι Δ. Μοιρών Ηρακλείου	5,25
27	ENVITEC Α.Ε.	Βάρδια Ν. Χανίων	5,40
28	ENVITEC Α.Ε.	Βατάλι Ν. Χανίων	5,40
29	Διεθνής Αιολική Κρήτης Α.Ε.	Αγ. Κύριλλος Ηρακλείου	7,20
30	ΡΟΚΑΣ Αιολική Κρήτης Α.Β.Ε.Ε.	Καλόγηρος Δ. Γαζίου Ηρακλείου	3,60
31	Οργανισμός Ανάπτυξης Σητείας Α.Ε.	Καμινάκια - Χορδάκι Λασιθίου	0,50
31	Άνεμος Αλκυόνης Α.Ε.Ε.	Προφήτης Ηλίας - Παπούρα Δ. Κισσάμου Χανίων	6,30
		ΣΥΝΟΛΟ	166,15



Χάρτης 1.1. : Χάρτης της Κρήτης με τα ήδη υπάρχοντα αιολικά πάρκα.

Η ποσοστιαία κατανομή της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στους νομούς της Κρήτης, βάσει των στοιχείων του πίνακα 1.2, παρουσιάζεται στο σχήμα 1.5.

Παρατηρείται ότι ποσοστό της τάξης του 59% της εγκατεστημένης αιολικής ισχύος στην Κρήτη βρίσκεται στο νομό Λασιθίου. Επιπλέον, στο νομό Ρεθύμνης δεν υπάρχει ακόμα καμία εγκατάσταση αιολικού πάρκου.



Σχήμα 1.5.: Ποσοστιαία κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος αιολικών πάρκων στους νομούς της Κρήτης το 2009.

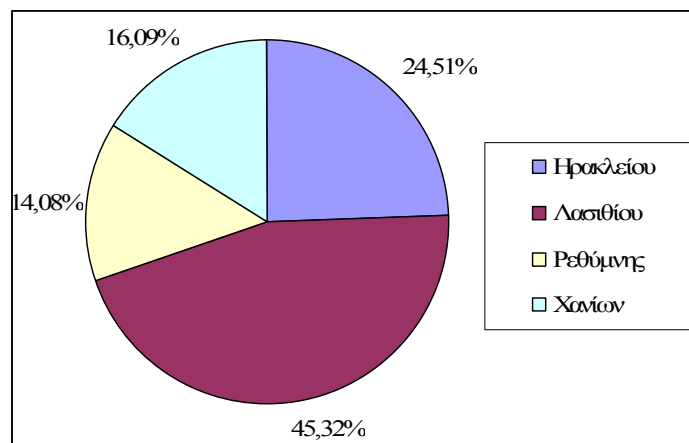
1.4.3. Πρόβλεψη για τα εγκατεστημένα αιολικά πάρκα στην Κρήτη το 2010

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.) δεν έχει ανακοινώσει έως σήμερα (Φεβρουάριος 2010) καμία προκήρυξη διαγωνισμού έκδοσης νέων αδειών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα στην Κρήτη. Έτσι, τα αιολικά πάρκα που πρόκειται να εγκατασταθούν και να λειτουργήσουν στην Κρήτη το 2010 μπορούν να προβλεφθούν βάσει του υφιστάμενου μητρώου αδειών παραγωγής από



ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) που διατίθεται από την ιστοσελίδα της Ρ.Α.Ε.

Σύμφωνα με το εν λόγω μητρώο, όπως ανακοινώθηκε στις 1-2-2007, για την Κρήτη έχουν δοθεί άδειες παραγωγής που αντιστοιχούν σε συνολική αιολική ισχύ ίση με 199,52 MW (συμπεριλαμβανομένων των ήδη εγκατεστημένων). Η ποσοστιαία κατανομή της αδειοδοτημένης αιολικής ισχύος στην Κρήτη παρουσιάζεται στο σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.6.: Ποσοστιαία κατανομή της αδειοδοτημένης ισχύος αιολικών πάρκων στους νομούς της Κρήτης.

1.4.4. Λειτουργικά προβλήματα αιολικών πάρκων

Τα προβλήματα που σχετίζονται με τη λειτουργία των αιολικών πάρκων, ιδιαίτερα σε ένα μη διασυνδεδεμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως αυτό της Κρήτης, μπορούν να διαχωριστούν σε προβλήματα ποιότητας ισχύος και ασφάλειας συστήματος. Τα προβλήματα ποιότητας ισχύος διακρίνονται σε:

- διαταραχές πλάτους τάσης σταθερής κατάστασης (steady state voltage level)
- διακυμάνσεις τάσης (voltage variations or fluctuations)
- μεταβατικά φαινόμενα (transients)
- αρμονικές (harmonics)
- διακυμάνσεις βασικής συχνότητας (power frequency variations).

Ασφάλεια συστήματος

Με τον όρο ασφάλεια ηλεκτρικού συστήματος αναφερόμαστε στην εξασφάλιση της δυναμικής ισορροπίας συστήματος παραγωγής και φορτίου, δηλαδή στη δυνατότητα παρακολούθησης από το σύστημα παραγωγής των μεταβολών του ηλεκτρικού φορτίου διατηρώντας την τάση και τη συχνότητα του δικτύου εντός των προδιαγεγραμμένων ορίων.

Η συχνότητα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται με τη ζήτηση ενεργού ισχύος από την κατανάλωση, ενώ η τάση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται με τη ζήτηση άεργου ισχύος από την κατανάλωση. Στις σχέσεις (1.2) και (1.3) περιγράφονται αναλυτικά οι ανωτέρω σχέσεις.



$$\Delta f = -\frac{\Delta P_L}{P_n} \cdot f_n \cdot R \quad (1.1)$$

$$\Delta Q = E_i \frac{\Delta V}{X_d} \cdot \cos(\delta) - \frac{(\Delta V)^2}{X_d} \quad (1.2)$$

όπου

- Δf η προκαλούμενη μεταβολή συχνότητας εξαιτίας μεταβολής ενεργού ισχύος
 ΔP_L η μεταβολή ενεργού ισχύος
 P_n η αρχική συνολική παραγωγής ισχύος
 f_n η συχνότητα μόνιμης κατάστασης λειτουργίας
 R ο στατισμός του συστήματος
 ΔQ η μεταβολή άεργου ισχύος
 E_i η τάση διέγερσης γεννήτριας
 ΔV η προκαλούμενη μεταβολή τάσης εξαιτίας μεταβολής άεργου ισχύος
 X_d η επαγωγική αντίδραση γεννήτριας
 δ η γωνία ισχύος γεννήτριας.

Η διατήρηση ασφάλειας λοιπόν σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ουσιαστικά ανάγεται στην εξασφάλιση των απαιτούμενων από την κατανάλωση ροών ενεργού και άεργου ισχύος, με ρυθμούς απόκρισης μεταβολών φορτίου τέτοιους, ώστε οι προκαλούμενες μεταβολές συχνότητας και τάσης, βάσει των σχέσεων (1.1) και (1.2), να διατηρούνται πάντα εντός των ανεκτών ορίων λειτουργίας των γεννητριών.

Στα διασυνδεδεμένα ενεργειακά συστήματα, όπου συνυπάρχουν μεγάλα συστήματα παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ισχύος, η διατήρηση της ασφάλειας είναι πολύ πιο απλή υπόθεση από ότι στα μη διασυνδεδεμένα. Τούτο προκύπτει εξαιτίας των ακόλουθων χαρακτηριστικών:

- οι σχετικές μεταβολές φορτίου σε μεγάλα συστήματα δεν είναι το ίδιο έντονες όσο σε μικρά συστήματα, ή τουλάχιστον δεν γίνονται αντιληπτές, αφού η μείωση ζήτησης ισχύος σε κάποια γεωγραφική περιοχή μπορεί να καλύπτεται από την ταυτόχρονη αύξηση κάπου αλλού, συνεπώς στα συστήματα αυτά οι γεννήτριες ηλεκτρικής ισχύος συνήθως δεν καλούνται να υποστηρίξουν απότομες μεταβολές φορτίου
- στην περίπτωση ακραίων καταστάσεων (απότομες μεταβολές φορτίων, βλάβες γεννητριών ή δικτύων), υπάρχει πάντα η δυνατότητα αλληλοϋποστήριξης, της διάθεσης δηλαδή ισχύος από το ένα σύστημα στο άλλο.

Τα ανωτέρω χαρακτηριστικά των διασυνδεδεμένων συστημάτων δεν υφίστανται στα απομονωμένα ενεργειακά συστήματα. Σε περιπτώσεις μικρών συστημάτων, η παραγωγή ισχύος μπορεί να προέρχεται από μία μόνο σύγχρονη γεννήτρια. Η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της θα καθορίσει και τη συχνότητα της παραγόμενης ισχύος. Η ασφάλεια του συστήματος εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της γεννήτριας, π.χ. το στατισμό της, τη δυνατότητα παρακολούθησης γρήγορων μεταβολών φορτίου, κλπ.



Επιλογή περιοχής

2.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε τα κριτήρια επιλογής μιας περιοχής για τη μελέτη ενός αιολικού πάρκου. Τα κριτήρια αυτά έχουν να κάνουν με περιορισμούς που προκύπτουν από το χωροταξικό για τις Α.Π.Ε., από περιοχές NATURA, και σαφώς από τη διαθεσιμότητα αιολικού δυναμικού. Ιδιαίτερη αναφορά θα γίνει σε κάθε ένα από τα ανωτέρω κριτήρια

Οι εργασίες που περιγράφονται στο κεφάλαιο αυτό σχετικά με την πρωταρχική επιλογή θέσης είναι πολύ σημαντικές για την ομαλή και ανεμπόδιστη υλοποίηση του έργου.

2.2. Τα κριτήρια επιλογής περιοχής μελέτης αιολικού πάρκου

Γενικά τα κριτήρια που υπεισέρχονται για την επιλογή μιας περιοχής για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου είναι:

- εξασφάλιση κατάλληλης έκτασης γηπέδου εγκατάστασης, ανάλογης της επιθυμητής ονομαστικής ισχύος του αιολικού πάρκου και του μοντέλου της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας
- μορφολογία περιοχής εγκατάστασης (προσβασιμότητα, ήπιες κλίσεις κλπ)
- δυνατότητα επίλυσης θεμάτων ιδιοκτησίας θέσης εγκατάστασης
- περιορισμός οχλήσεων και συμμόρφωση σύμφωνα με το χωροταξικό Α.Π.Ε. (περιοχές NATURA, οπτική, ακουστική όχληση κλπ)
- διαθεσιμότητα καλού αιολικού δυναμικού.

Παρακάτω αναφέρομαι περιληπτικά στο καθένα.

2.3. Η έκταση και μορφή του γηπέδου

Η έκταση του γηπέδου εξαρτάται από τον αριθμό των ανεμογεννητριών που θα εγκατασταθούν στην περιοχή και από το μοντέλο της ανεμογεννήτριας.

2.3.1 Ιδιοκτησιακό περιοχής

Το ιδιοκτησιακό σε πολλές περιπτώσεις αιολικών πάρκων είναι πολύ μπερδεμένο μεταξύ των Δήμων και των φερόμενων ως ιδιοκτητών. Και ο λόγος που συμβαίνει αυτό είναι ότι οι συνήθεις περιοχές που μελετούνται για κατασκευή αιολικού πάρκου βρίσκονται σε βουνά, στα οποία οι εκτάσεις δεν είναι ξεκαθαρισμένες και δεν υπάρχουν συμβόλαια.



2.3.2. Πώς ορίζονται οι προστατευόμενες περιοχές

Η πρώτη προσπάθεια προστασίας της ελληνικής φύσης μέσω της δημιουργίας προστατευόμενων περιοχών έγινε το 1937 με την έκδοση του Ν. 856/1937 "Περί Εθνικών Δρυμών". Ακολούθησε σειρά ειδικών διατάξεων στο πλαίσιο της δασικής νομοθεσίας με τις οποίες θεσπίστηκαν νέες κατηγορίες προστατευόμενων περιοχών. Ενδεικτικά αναφέρονται οι Ν.1465/1950, Ν. 996/1971, Ν. 2637/1998.

Σπουδαίο βήμα στη νέα αντίληψη για τις προστατευόμενες περιοχές αποτέλεσε ο Νόμος Πλαίσιο (Ν.1650/1986) "Για την προστασία του περιβάλλοντος", ο οποίος με τον Ν. 3010/2002 εναρμονίστηκε σύμφωνα με τις Οδηγίες 97/11 Ε.Ε και 96/61 Ε.Ε. Ο νόμος αυτός περιέχει ρυθμίσεις, που αφορούν την κατηγοριοποίηση των διαφόρων έργων και δραστηριοτήτων σε τρεις κατηγορίες και πιθανές υποκατηγορίες, ανάλογα με τις επιπτώσεις τους στο περιβάλλον.

Δίκτυο "NATURA 2000"

Με τον όρο δίκτυο "NATURA 2000" καθορίζεται ένα σύνολο περιοχών, σε ευρωπαϊκό επίπεδο, οι οποίες έχουν αναγνωρισθεί άξιες ιδιαίτερης προστασίας λόγω της σημασίας των οικοτόπων και ειδών (χλωρίδας, πανίδας) στη φυσική τους περιοχή. Η δημιουργία αυτού του ευρωπαϊκού δικτύου προστατευόμενων περιοχών στηρίζεται κυρίως στις οδηγίες της ευρωπαϊκής κοινότητας 79/409/ΕΟΚ και 92/43/ΕΟΚ, οι οποίες ενσωματώθηκαν στη νομοθεσία μας με κατάλληλες κοινές υπουργικές αποφάσεις.

Η εναρμόνιση της ευρωπαϊκής πολιτικής στα εθνικά νομικά πλαίσια των διάφορων κρατών – μελών ξεκίνησε με την προετοιμασία μιας λίστας, "Εθνικοί Κατάλογοι", με τις προτεινόμενες περιοχές που περιλαμβάνουν τα είδη και τους οικοτόπους που πρέπει να διατηρηθούν. Η χώρα μας υπέβαλε τον Εθνικό της Κατάλογο, ο οποίος περιλαμβάνει 270 περιοχές.

Στις περιοχές NATURA 2000 κύριος στόχος είναι να διαφυλαχτούν οι οικοτόποι και τα είδη προτεραιότητας των οδηγιών, αλλά και να διασφαλιστεί η διατήρηση και αποκατάσταση όλων αυτών των απειλούμενων τύπων οικοτόπων και ειδών στη φυσική του περιοχή, θέτοντας όρους στην εξάσκηση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, στο πλαίσιο των αρχών της αειφόρου ανάπτυξης.

Η Ελλάδα στα πρώτα στάδια του θεσμού των προστατευόμενων περιοχών, ακολουθούσε την τότε επικρατούσα προσέγγιση της απόλυτης προστασίας φυσικών περιοχών, αποθαρρύνοντας τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Στην πορεία η προσέγγιση αυτή εγκαταλείπεται και δίνει τη θέση της στην αντίληψη, που υπαγόρευε την ενσωμάτωση της προστατευόμενης περιοχής στον περιβάλλοντα

2.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Είναι γνωστό, ακόμα και σε εκείνους που έχουν ελάχιστη επαφή με τη λειτουργία των αιολικών συστημάτων, ότι οι ανεμογεννήτριες προκαλούν μικρές επιδράσεις στο περιβάλλον. Αυτό γίνεται σαφέστερο όταν αναλογισθούμε τις επιδράσεις των αντίστοιχων θερμοηλεκτρικών ή πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα οικοσυστήματα μιας περιοχής. Οι αρνητικές επιπτώσεις των αιολικών μονάδων αναλύονται παρακάτω.



2.4.1. Επιδράσεις στην ορνιθοπανίδα

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που συνδέθηκαν με την αλληλεπίδραση πτηνών με τις ανεμογεννήτριες εμφανίζονται στις Ηνωμένες Πολιτείες προς το τέλος της δεκαετίας του '80. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι ενδημικά είδη πτηνών, ειδικά προστατευμένοι χρυσαετοί και γεράκια, σκοτώθηκαν από τις ανεμογεννήτριες και τις γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης στα αιολικά πάρκα στο πέρασμα του Άλταμοντ της Καλιφόρνιας.

Τα γεγονότα αυτά έστρεψαν το ενδιαφέρον των οικολόγων ερευνητών να μελετήσουν αυτό το φαινόμενο. Υπάρχουν δύο αρχικές ανησυχίες σχετικές με αυτό το περιβαλλοντικό πρόβλημα:

1. επιπτώσεις στους πληθυσμούς πουλιών από τους θανάτους που προκαλούνται από τις ανεμογεννήτριες, και
2. εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων στις προστατευόμενες περιοχές του δικτύου NATURA (Special Protected Areas) για τα ενδημικά είδη ορνιθοπανίδας.

Ο προβληματισμός των ειδικών για τη θανάτωση των πτηνών από ανεμογεννήτριες υπάρχει και στην Ευρώπη. Σημαντικές απώλειες πτηνών έχουν αναφερθεί στην περιοχή της Ταρίφα στην Ισπανία, ένα σημαντικό πέρασμα της πορείας μετανάστευσης πτηνών πέρα από τη Μεσόγειο. Η ανάπτυξη της χρήσης της αιολικής ενέργειας μπορεί να έχει επιπτώσεις στα πτηνά με τους ακόλουθους τρόπους:

- θνησιμότητα λόγω ηλεκτροπληξίας ή σύγκρουσης πτηνών με ανεμογεννήτρια
- επέμβαση σε περιοχές αναζήτησης τροφής (θήρευσης)
- επέμβαση σε πορείες μετανάστευσης πτηνών
- μείωση του υπάρχοντος βιοτόπου των πτηνών
- διαταραχή της αναπαραγωγής των πτηνών

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι η ανάπτυξη αιολικών πάρκων έχει τα ακόλουθα ευεργετικά αποτελέσματα στα πτηνά:

- προστασία των περιοχών από την ενδεχόμενη μεγαλύτερη απώλεια βιοτόπων
- πρόβλεψη περιοχών φωλιάσματος και θήρευσης
- παροχή και προστασία των φωλιών στους πυλώνες πύργων και τις βοηθητικές εγκαταστάσεις
- προστασία ή και επέκταση περιοχών θήρευσης των πτηνών
- προστασία από την άνευ διακρίσεως παρενόχληση.

Οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις της αλληλεπίδρασης πτηνών με ανεμογεννήτριες δεν είναι σαφείς. Τα προβλήματα μπορούν να προκύψουν στις περιοχές όπου μεγάλοι αριθμοί πτηνών συναθροίζονται ή μεταναστεύουν, όπως στην Ταρίφα, ή όπου τα απειλούμενα υπό εξαφάνιση είδη επηρεάζονται, όπως στο πέρασμα Άλταμοντ (εικόνα 2.1).



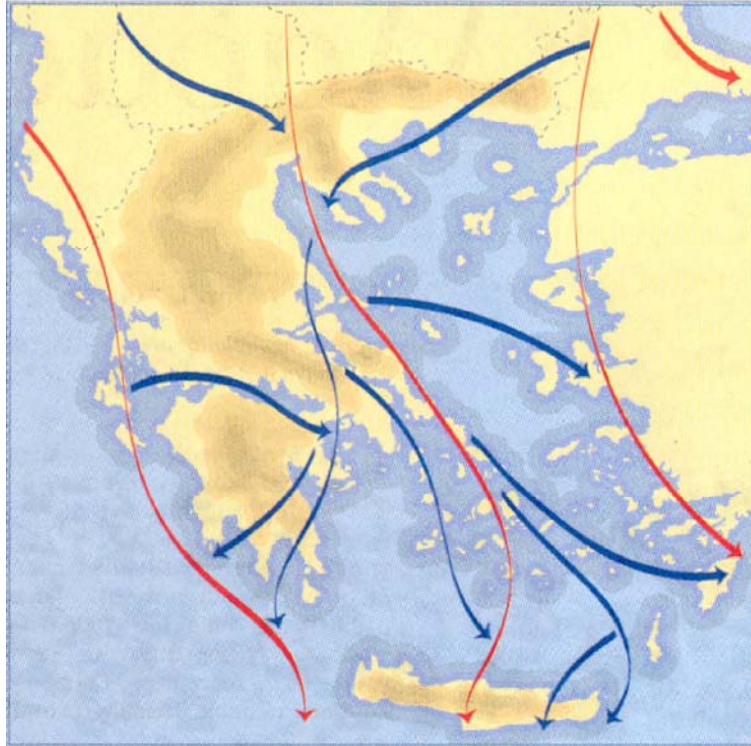
Εικόνα 2.1: Αεροφωτογραφία του αιολικού πάρκου στο Άλταμοντ στην Καλιφόρνια.

Μελέτες γίνονται για τη συσχέτιση υψηλού αιολικού δυναμικού και παρουσίας πτηνών. Είναι γνωστό ότι μεταξύ δύο υψωμάτων δημιουργούνται ισχυρά ρεύματα ανέμου τα οποία καθιστούν την περιοχή ελκυστική για το πέρασμα των πτηνών. Για τον ίδιο λόγο, αυτές είναι οι προτιμημένες διαδρομές για τα μεταναστευτικά πουλιά.

Υπάρχει ένας στενός συσχετισμός μεταξύ μιας τοποθεσίας και της ορνιθοπανίδας της. Πολλά είδη πουλιών είναι ιδιαίτερα εξαρτημένα από το βιότοπο και συχνά ευαίσθητα στις μεταβολές του.

Από την άλλη μεριά, υπάρχει ένας αντίστοιχα στενός συσχετισμός μεταξύ μίας περιοχής και της χωροθέτησης των ανεμογεννητριών, ο οποίος εξαρτάται κυρίως από το αιολικό δυναμικό. Ο κίνδυνος σύγκρουσης είναι η προφανέστερη άμεση επίδραση και οι πολυάριθμες μελέτες έχουν εστιάσει σε αυτό το γεγονός.

Ιδιαίτερη κατηγορία πτηνών αποτελούν τα μεταναστευτικά πουλιά, τα οποία ακολουθούν συγκεκριμένες διαδρομές. Στο χάρτη 2.1 παρουσιάζονται οι διάδρομοι που ακολουθούν τα αποδημητικά πουλιά πάνω από τον ελλαδικό χώρο.



Χάρτης 2.1: Χάρτης με τους διαδρόμους που ακολουθούν τα αποδημητικά πουλιά. Με κόκκινο σημειώνονται οι τρεις κύριοι διάδρομοι και με μπλε οι δευτερεύοντες

Σε γενικές γραμμές, έχει αποδειχθεί ότι οι ανεμογεννήτριες δεν ενοχλούν τα πουλιά δεδομένου ότι:

- Υπάρχουν στο διεθνή χώρο παραδείγματα πουλιών (γερακιών) που έχουν φωλιές σε πυλώνες στήριξης ανεμογεννητριών.
- Από παρατηρήσεις έχει προκύψει ότι τα πουλιά τείνουν να αλλάξουν πορεία και την ημέρα και τη νύχτα, 100 με 200 μέτρα πριν από την ανεμογεννήτρια και να περάσουν σε ασφαλή απόσταση πάνω από αυτήν.

Σε κάθε περίπτωση, για την ελαχιστοποίηση της αλληλεπίδρασης των ανεμογεννητριών με τα πτηνά πρέπει να τηρούνται ορισμένα μέτρα. Τα μέτρα αυτά δεν αναγράφονται σε κάποια επικείμενη νομοθεσία αλλά έχουν εξαχθεί από πορίσματα μελετών.

Στην περίπτωση του εξεταζόμενου αιολικού πάρκου, στα πλαίσια της διαδικασίας αδειοδότησης θα πρέπει να συμπεριληφθούν οι απαιτούμενοι όροι στη σχετική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.



2.4.2. Επιδράσεις στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες της περιοχής

Αναφορικά με τις επιδράσεις στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες, δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι τα αιολικά πάρκα επιβαρύνουν τη γεωργία ή την κτηνοτροφία. Δεδομένου ότι περίπου το 99% της γης που φιλοξενεί ένα αιολικό πάρκο είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις, μπορούμε να κατανοήσουμε ότι οι αγροτικές δραστηριότητες μπορούν να συνεχίζονται και μετά την εγκατάστασή του.

Οι συνήθεις θέσεις αιολικών πάρκων είναι σε ορεινές περιοχές με θαμνώδη βλάστηση ακριβώς λόγω των υψηλών ταχυτήτων του ανέμου που ευνοούν την εγκατάστασή τους. Σε αυτές τις περιοχές, η χρήση γης είναι κυρίως για βοσκή αιγοπροβάτων, η οποία μπορεί να συνεχισθεί χωρίς κανένα πρόβλημα και μετά την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου. Χαρακτηριστικά, σε μερικά αιολικά πάρκα έχει παρατηρηθεί ότι οι ανεμογεννήτριες γίνονται πόλος έλξης αιγοπροβάτων που επωφελούνται από τη δροσιά της σκιάς που προσφέρουν οι πύργοι τους (εικόνα 2.2 και 2.3).



Εικόνα 2.2: Βοσκή αιγοπροβάτων εντός αιολικού πάρκου στα ορεινά της Κρήτης.



Εικόνα 2.3: Κυψέλες μελισσών εντός αιολικού πάρκου στα ορεινά της Κρήτης.



2.4.3. Οπτική όχληση

Η οπτική όχληση των ανεμογεννητριών συνίσταται στην αλλοίωση της οπτικής ενός φυσικού τοπίου, μέσω της εγκατάστασής τους σε περιοχές χωρίς άλλες ανθρώπινες παρεμβάσεις. Η επίδραση της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου στην αλλοίωση της οπτικής μιας περιοχής είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί. Πέραν του υποκειμενικού χαρακτήρα του θέματος, διαφορετικές εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων έχουν, αντικειμενικά, διαφορετικές επιδράσεις. Οι εν γένει αντικειμενικοί συντελεστές βαρύτητας της εκτίμησης της οπτικής όχλησης ενός αιολικού πάρκου είναι οι εξής [1]:

- **Η θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.** Η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου, για παράδειγμα, σε μία πεδινή έκταση της κεντρικής Ευρώπης, συνεπάγεται πολύ πιο περιορισμένο πεδίο οπτικής επαφής από το αντίστοιχο πεδίο οπτικής επαφής ενός άλλου αιολικού πάρκου, το οποίο έχει εγκατασταθεί σε μία κορυφογραμμή ενός νησιού του Αιγαίου. Από την άλλη μεριά, η οπτική αισθητική επίδραση μπορεί να θεωρηθεί περισσότερο έντονη σε περιπτώσεις εγκαταστάσεων ανεμογεννητριών μεγάλων διαστάσεων (άνω των 500 kW, ύψους πυλώνα άνω των 50 m, και διαμέτρου πτερωτής μεγαλύτερης των 40 m) σε σχετικά κλειστές περιοχές. Αντίθετα, η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου σε ανοικτές περιοχές δε φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά την οπτική αισθητική της περιοχής.
- **Ο χαρακτήρας της θέσης εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.** Η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου σε μία κατάφυτη δασική περιοχή σαφώς θα προκαλέσει περισσότερο αρνητικές κριτικές, οι οποίες πιθανώς θα συνδυαστούν από τις συνοδευόμενες επεμβάσεις στη δασική περιοχή που απαιτήθηκαν για την κατασκευή του έργου (αποψιλώσεις περιοχών, διανοίξεις δρόμων κλπ). Αντίθετα, η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου σε μία βραχώδη και άγονη περιοχή, με περιορισμένη βλάστηση, πιθανώς δεν θα προκαλέσει καμία αρνητική αντίδραση.
- **Ο χαρακτηρισμός των περίξ περιοχών του αιολικού πάρκου.** Η ύπαρξη τουριστικών καταλυμάτων σε περιοχές από τις οποίες ένα αιολικό πάρκο μπορεί να είναι ορατό πιθανώς να εντείνει τις αρνητικές αντιδράσεις για την εγκατάστασή του.
- **Η κανονική λειτουργία των ανεμογεννητριών.** Όταν οι ανεμογεννήτριες περιστρέφονται, το ανθρώπινο μάτι τις θεωρεί χρήσιμες με αποτέλεσμα να γίνονται ευκολότερα οπτικά αποδεκτές, καθώς φαίνεται να εξυπηρετούν κάποιο σκοπό. Αντίθετα, όταν σημαντικός αριθμός των ανεμογεννητριών ενός αιολικού πάρκου δεν δουλεύει ενώ πνέουν άνεμοι, η προσδοκία του παρατηρητή για χρησιμότητα των αιολικών μηχανών παραβιάζεται.
- **Ο τύπος της εγκατεστημένης ανεμογεννήτριας και ο χρωματισμός της.** Γενικότερα έχει γίνει αποδεκτό ότι η χρησιμοποίηση απλών σωληνωτών πύργων σε χρωματισμό που συμφωνεί με το περιβάλλον φαίνεται να παρουσιάζει καλύτερη οπτική αποδοχή από τη χρησιμοποίηση δικτυωτού πύργου που θυμίζει πυλώνες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης. Παράλληλα, η επίτευξη οπτικής ομοιομορφίας έχει αποδειχθεί ότι δεν διαταράσσει την αρμονία της περιοχής. Η οπτική ομοιομορφία περιλαμβάνει ομοιότητα διαστάσεων δρομέα και υπερκατασκευής (όχι αναγκαστικά ίδιου

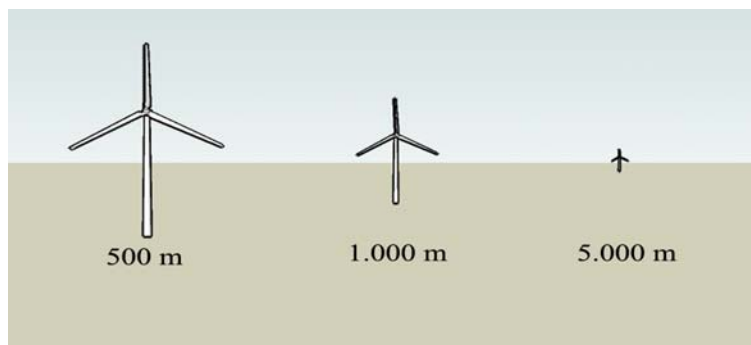


τύπου μηχανές), καθώς και ύψους πύργου στήριξης. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες που διαθέτουν τρία πτερύγια δίνουν ένα αισθητικά αρμονικότερο αποτέλεσμα, ενώ ο χρωματισμός των πύργων στήριξης και των πτερυγίων διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην ομαλή ενσωμάτωση των μηχανών στον περιβάλλοντα χώρο, με επικρατέστερη επιλογή το λευκό χρώμα και σαν εναλλακτική λύση το γκρι. Τελευταία έχει υιοθετηθεί η σταδιακή μετάβαση από το πράσινο χρώμα κοντά στο έδαφος στο λευκό (εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Ανεμογεννήτριες με χρωματισμό σύμφωνα με το περιβάλλον.

- **Το μέγεθος της εγκατεστημένης ανεμογεννήτριας.** Η οπτική επίδραση μιας ανεμογεννήτριας μειώνεται όσο η απόσταση θέασής της αυξάνεται [2]. Ένας εμπειρικός κανόνας καθορίζει ότι η σημαντική οπτική όχληση μιας ανεμογεννήτριας στο τοπίο εκτείνεται σε μία απόσταση ίση με δέκα φορές το ύψος του πυλώνα. Για μία ανεμογεννήτρια με πυλώνα 80 m, η σημαντική οπτική όχληση εκτείνεται σε κύκλο ακτίνας 800 m. Μέσα στον κύκλο αυτό η ανεμογεννήτρια δεσπόζει στο χώρο και χαρακτηρίζει το τοπίο. Μια ανεμογεννήτρια μπορεί, κάτω από προϋποθέσεις (καθαρότητα ατμόσφαιρας, απουσία οπτικών εμποδίων), να είναι ορατή σε απόσταση ίση με 400 φορές το ύψος του πυλώνα, δηλαδή για πυλώνα ύψους 80 m, η ανεμογεννήτρια μπορεί να γίνει ορατή σε απόσταση έως 32 km. Ωστόσο, σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 5 km, η ανεμογεννήτρια ενσωματώνεται σταδιακά στο τοπίο, χωρίς να επηρεάζει την αισθητική του (σχήμα 2.1).



Σχήμα 2.1: Η επίδραση στην οπτική ενός τοπίου συναρτήσει της απόστασης από τη θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.



2.4.4. Εκπομπές θορύβου

Ο εκπεμπόμενος θόρυβος από τις ανεμογεννήτριες σε κάποια απόσταση από αυτές δεν είναι σημαντικός, και συνήθως καλύπτεται από το θόρυβο που προκαλεί ο ίδιος ο άνεμος. Εξάλλου συνήθως οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται σε περιοχές όπου πνέουν άνεμοι σημαντικής έντασης για μεγάλο χρονικό διάστημα, και κοντά σε αυτές τις περιοχές η εμπειρία έχει δείξει ότι δεν υπάρχουν οικισμοί, όπου ο θόρυβος θα ήταν ενοχλητικός.

Ο εκπεμπόμενος θόρυβος από μία ανεμογεννήτρια διακρίνεται στον **αεροδυναμικό θόρυβο** και στο **μηχανικό θόρυβο**.

Ο **αεροδυναμικός θόρυβος** σχετίζεται με την ταχύτητα του πνέοντος ανέμου και την αεροδυναμική σχεδίαση του πτερυγίου. Ο αεροδυναμικός θόρυβος πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά το στάδιο του σχεδιασμού και κατασκευής της μηχανής, αποτελείται δε από το θόρυβο περιστροφής και το θόρυβο τύρβης. Ο θόρυβος περιστροφής περιλαμβάνει όλους τους θορύβους οι οποίοι έχουν διακριτές συχνότητες και παράγονται σε πολλαπλάσιες αρμονικές της συχνότητας της διέλευσης των πτερυγίων, (δηλαδή το γινόμενο του αριθμού των πτερυγίων επί την τιμή της γωνιακής ταχύτητας). Η στάθμη του θορύβου περιστροφής αυξάνεται με τη διάμετρο, τη μείωση του αριθμού των πτερυγίων, τη μεγαλύτερη ταχύτητα των ακροπτερυγίων και την αεροδυναμική φόρτιση των πτερυγίων (αύξηση απορροφούμενης ισχύος).

Ο θόρυβος τύρβης συνδέεται με το στροβιλισμό στο χείλος εκφυγής των ακροπτερυγίων αλλά και με το γενικό πεδίο τύρβης πίσω από την πτερωτή. Για να μειωθεί ο θόρυβος τύρβης πρέπει να ελαττωθεί η ταχύτητα των ακροπτερυγίων, περιορίζοντας ταυτόχρονα την αποδιδόμενη αιολική ισχύ.

Κατά την τελευταία δεκαετία έχει δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στη σχεδίαση των πτερυγίων των Α/Γ έτσι ώστε να μειώνεται ο αεροδυναμικός θόρυβος, με πολύ καλά αποτελέσματα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι ανεμογεννήτριες τελευταίας γενιάς παράγουν θόρυβο έντασης μικρότερης από το 10% της έντασης που παρήγαγαν οι ανεμογεννήτριες που κατασκευάστηκαν τη δεκαετία του 1980.

Ο **μηχανικός θόρυβος** προκαλείται από τα κινούμενα ηλεκτρομηχανολογικά μέρη της ανεμογεννήτριας. Κύριες πηγές είναι το κιβώτιο μετάδοσης, η ηλεκτρογεννήτρια και τα έδρανα στήριξης. Η αντιμετώπιση του μηχανικού θορύβου γίνεται είτε στην πηγή, είτε στη διαδρομή του. Ο μηχανικός θόρυβος στην πηγή μειώνεται είτε με επέμβαση στα στοιχεία που θορυβούν (π.χ χρησιμοποιώντας οδοντωτούς τροχούς στο κιβώτιο μετάδοσης με πλάγια οδόντωση αντί ευθείας οδόντωσης) είτε με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Επίσης, ο μηχανικός θόρυβος αντιμετωπίζεται και στη διαδρομή του χρησιμοποιώντας ηχομονωτικά πετάματα καθώς και αντικραδασμικά πέλαματα στήριξης.

Η εκπομπή ήχου από τις νέες ανεμογεννήτριες κυμαίνεται από 95 – 105 dB και προέρχεται κυρίως από αεροδυναμικό θόρυβο. Ο μηχανικός θόρυβος έχει περιοριστεί σημαντικά, είτε λόγω μονωτικών ή αντικραδασμικών υλικών, είτε λόγω απαλοιφής του κιβωτίου ταχυτήτων. Ο μηχανικός θόρυβος στις νέες ανεμογεννήτριες μπορεί να γίνει αντιληπτός μόνο σε περίπτωση βλάβης κάποιου εξαρτήματος. Ο αεροδυναμικός θόρυβος των ανεμογεννητριών μειώνεται συνεχώς από τους



κατασκευαστές μέσω βελτιωμένης σχεδίασης της αεροδυναμικής σχεδίασης των πτερυγίων.

Για τον υπολογισμό της διάχυσης θορύβου από τις ανεμογεννήτριες έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες. Ακριβείς υπολογισμοί διάχυσης θορύβου μπορεί να απαιτούν ιδιαίτερους υπολογισμούς κατά τη νύχτα. Στον πίνακα 2.1 παρουσιάζεται η διάχυση του εκπεμπόμενου θορύβου από τις νέες ανεμογεννήτριες συναρτήσει της απόστασης από τη θέση εγκατάστασής τους.

Εκπομπή ήχου από την ανεμογεννήτρια (dB)	Διάχυση ήχου 45 dB	Διάχυση ήχου 40 dB	Διάχυση ήχου 35 dB
105	350 m	575 m	775 m
100	200 m	350 m	575 m
95	120 m	200 m	350 m

Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζονται οι εντάσεις ήχου εκπεμπόμενου από διάφορες δραστηριότητες.

Δραστηριότητα	Ένταση εκπεμπόμενου ήχου (dB)
Ανθρώπινη ομιλία	65
Ηλεκτρικό ψυγείο	35 – 40
Κέντρο πόλης	75
Κέντρο διασκέδασης	100
Κρεβατοκάμαρα σε ώρα ησυχίας	30

Το ανώτατο επιτρεπτό όριο εκπεμπόμενου θορύβου από ανεμογεννήτριες σε κατοικημένες περιοχές διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Στη Δανία το όριο αυτό είναι 45 dB και στη Σουηδία 40 dB. Στη Μεγάλη Βρετανία ο εκπεμπόμενος θόρυβος από μία ανεμογεννήτρια δεν επιτρέπεται να είναι μεγαλύτερος από 5 dB από το θόρυβο που επικρατεί κατά μέσο όρο στην περιοχή. Στην Ελλάδα το όριο αυτό είναι 40 dB.

Ο θόρυβος των ανεμογεννητριών μπορεί να γίνει αντιληπτός μόνο κάτω από προϋποθέσεις. Σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ανέμου οι ανεμογεννήτριες δεν λειτουργούν και δεν παράγεται καθόλου θόρυβος. Όταν πάλι ο άνεμος έχει ταχύτητα μεγαλύτερη των 8 m/sec, ο θόρυβος των ανεμογεννητριών καλύπτεται από τον ίδιο τον άνεμο και όλους τους προκαλούμενους ήχους από αυτό (φύλλα δέντρων, κλπ). Ο θόρυβος των ανεμογεννητριών μπορεί να γίνει αντιληπτός μόνο όταν επικρατούν άνεμοι ταχύτητας 3 – 8 m/sec. Η διάχυση του θορύβου είναι μεγαλύτερη κατά την κατεύθυνση πνοής του ανέμου. Κατά τις άλλες διευθύνσεις, η διάχυση του θορύβου είναι σημαντικά ελαττωμένη.

Τέλος, μία σημαντική παράμετρος που μπορεί να επηρεάσει την ηχητική όχληση που τελικά γίνεται αντιληπτή είναι η άμεση οπτική επαφή με την πηγή του ήχου, δηλαδή τις ανεμογεννήτριες.

2.4.5. Επιρροή του παραγόμενου ηλεκτρομαγνητισμού



Η ανησυχία για ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση συνήθως αναφέρεται αφενός σε προβλήματα που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες λόγω της θέσης τους σε σχέση με ήδη υπάρχοντες σταθμούς τηλεόρασης ή ραδιόφωνου και αφετέρου σε πιθανές ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές από τις ίδιες.

Είναι γεγονός ότι, η διάδοση των εκπομπών στις συχνότητες της τηλεόρασης ή και του ραδιοφώνου (κυρίως στις συχνότητες εκπομπών FM) επηρεάζεται από εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη. Το κυριότερο πρόβλημα από τις ανεμογεννήτριες προέρχεται από τα κινούμενα πτερύγια που μπορούν να προκαλέσουν αυξομείωση σήματος λόγω αντανακλάσεων. Αυτό ήταν πολύ εντονότερο στην πρώτη γενιά ανεμογεννητριών που έφερε μεταλλικά πτερύγια. Τα πτερύγια των συγχρόνων ανεμογεννητριών κατασκευάζονται αποκλειστικά από συνθετικά υλικά, τα οποία έχουν ελάχιστη επίπτωση στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η Ελληνική νομοθεσία, όπως αναλύεται και στο αδειοδοτικό μέρος της παρούσας πτυχιακής, προβλέπει την αδειοδότηση ενός αιολικού πάρκου μόνον εφόσον τηρούνται κάποιες ελάχιστες αποστάσεις από τηλεπικοινωνιακούς ή ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς. Οποιαδήποτε πιθανά προβλήματα παρεμβολών μπορούν να προληφθούν με σωστό σχεδιασμό και χωροθέτηση ή να διορθωθούν με μικρό σχετικά κόστος από τον κατασκευαστή του πάρκου με μια σειρά απλών τεχνικών μέτρων, όπως π.χ. η εγκατάσταση επιπλέον αναμεταδοτών. Σε σχέση με τη συμβατότητα και τις παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες, αξίζει να αναφέρουμε, ότι σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες οι πύργοι των ανεμογεννητριών όχι μόνον δεν δημιουργούν εμπόδια, αλλά χρησιμοποιούνται ήδη για την εγκατάσταση κεραιών προς διευκόλυνση υπηρεσιών επικοινωνιών, όπως η κινητή τηλεφωνία. Όσον αφορά τις εκπεμπόμενες ακτινοβολίες, τα μόνα υποσυστήματα που θα μπορούσαμε να πούμε ότι "εκπέμπουν" ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαμηλού επιπέδου είναι η ηλεκτρογεννήτρια και ο μετασχηματιστής μέσης τάσης. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της ηλεκτρογεννήτριας είναι εξαιρετικά ασθενές και περιορίζεται σε μια πολύ μικρή απόσταση γύρω από το κέλυφος της που είναι τοποθετημένο τουλάχιστον 40 με 50 μέτρα πάνω από το έδαφος. Για το λόγο αυτό δεν υφίσταται πραγματικό θέμα έκθεσης στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ούτε καν στη βάση της ανεμογεννήτριας. Ο μετασχηματιστής, πάλι, περιβάλλεται πάντα από περίφραξη ασφαλείας ή είναι κλεισμένος σε μεταλλικό υπόστεγο. Η περίφραξη είναι τοποθετημένη σε τέτοια απόσταση που το επίπεδο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι αμελητέο.

2.4.6. Σκίαση

Κατά τη διάρκεια συγκεκριμένων περιόδων του έτους και σε συγκεκριμένες ώρες της ημέρας, είναι δυνατό να προκληθεί το φαινόμενο της σκίασης σε οικισμούς κοντινούς στη θέση εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου. Το πρόβλημα της σκίασης προκαλείται από τα περιστρεφόμενα πτερύγια του ρότορα της ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι δυνατό να ρίχνουν περιοδικά τη σκιά τους καθώς περιστρέφονται στο παράθυρο ενός κτιρίου, δημιουργώντας έτσι ένα ανεπιθύμητο ή ενοχλητικό συναίσθημα.

Ο κίνδυνος πρόκλησης σκίασης είναι μεγαλύτερος σε αιολικά πάρκα που έχουν εγκατασταθεί αρκετά κοντά σε κατοικήσιμες περιοχές. Η ελάχιστη απόσταση που, βάσει της ελληνικής νομοθεσίας, ένα αιολικό πάρκο μπορεί να έχει από ένα



οικισμό είναι 500 m. Η απόσταση αυτή αυτομάτως μειώνει τον κίνδυνο πρόκλησης του φαινομένου της σκίασης. Ωστόσο, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, ένα αιολικό πάρκο εγκατεστημένο στην ελάχιστη απόσταση από έναν οικισμό, είναι δυνατό να προκαλέσει σκίαση στα πλησιέστερα κτίρια. Η σκιά του πτερυγίου της ανεμογεννήτριας εξασθενεί μέσα στην ατμόσφαιρα και αποσβένεται τελικά μετά από κάποια απόσταση. Θεωρητικά, η σκιά ενός πτερυγίου μήκους 22 m μπορεί να γίνει ορατή σε απόσταση 4,8 km. Τούτο συμβαίνει αμέσως μετά την ανατολή ή λίγο πριν τη δύση του ηλίου. Στην πραγματικότητα, για μία ανεμογεννήτρια με ονομαστική ισχύ 2 MW, με μήκος πτερυγίου 45 m και πάχος πτερυγίου 2 m, η σκιά του περιστρεφόμενου πτερυγίου μπορεί να γίνει αισθητά ορατή σε απόσταση 1,4 km, παρόλο που φαινόμενα σκίασης μπορούν να καταγραφούν σε απόσταση 2 km.

Από την ανατολή ως τη δύση του ηλίου η σκιά μιας ανεμογεννήτριας ακολουθεί τη διαδρομή ενός ηλιακού ρολογιού, ξεκινώντας δυτικά και καταλήγοντας ανατολικά. Καθώς η ώρα της ανατολής του ηλίου διαφέρει μέσα στο έτος, όπως και η θέση ανατολής και δύσης του, η διαδρομή της σκιάς μιας ανεμογεννήτριας θα είναι διαφορετική σε διαφορετικές εποχές του έτους. Η θέση και ώρα ανατολής και δύσης του ηλίου για μια συγκεκριμένη τοποθεσία είναι γνωστές. Συνεπώς, η διαδρομή της σκιάς της ανεμογεννήτριας μπορεί να προβλεφθεί. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του έτους, η θέση της σκιάς της ανεμογεννήτριας μεταβάλλεται.

Υπολογίζεται ότι το συνολικό χρονικό διάστημα στο οποίο μπορεί ένα συγκεκριμένο γεωγραφικό σημείο να εκτεθεί σε σκίαση προκαλούμενη από ανεμογεννήτρια, σε περίοδο ενός έτους και υπό τις πλέον δυσμενείς συνθήκες (απόλυτη ηλιοφάνεια, διαύγεια ατμόσφαιρας, κλπ), δεν ξεπερνάει τα 18 λεπτά

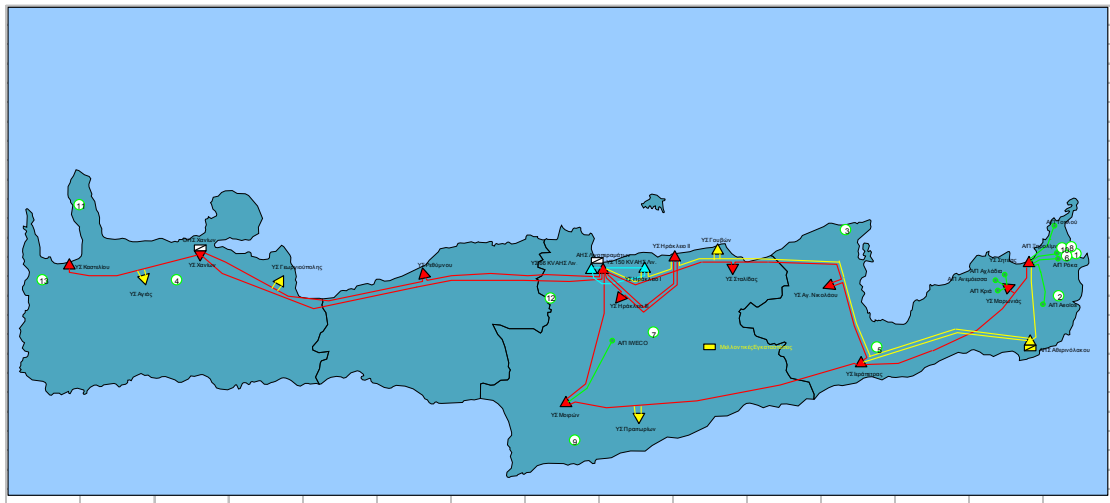
2.5. Πρόσβαση περιοχής

Μια ακόμα σημαντική παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί πριν τη μελέτη ενός αιολικού πάρκου είναι να πλεχθεί πόσο εύκολη είναι η πρόσβαση στην περιοχή, το όποιο περιλαμβάνει:

- a. οδικό δίκτυο
- b. λιμενικές εγκαταστάσεις
- c. υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης (150 kV) στην Κρήτη παρουσιάζεται στο χάρτη 2.2.

Αυτοί οι τρεις παράμετροι είναι πολύ σημαντικοί για να μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμη η μελέτη του αιολικού πάρκου.

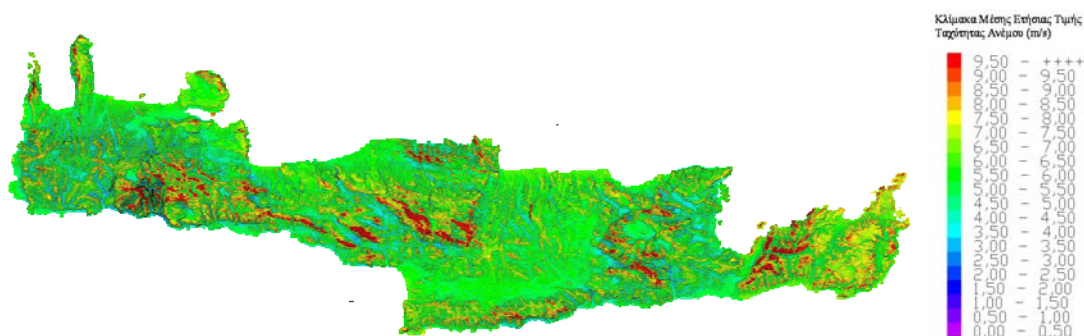


Χάρτης 2.2: Χάρτης με ηλεκτρικό δίκτυο της Κρήτης

2.6. Αιολικό δυναμικό

Η επιλογή θέσης για τη μελέτη και την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου προϋποθέτει την ύπαρξη καλού αιολικού δυναμικού. Για να δούμε εάν η περιοχή έχει καλό αιολικό δυναμικό, θα πρέπει να εγκατασταθεί μετεωρολογικός σταθμός (ιστός) και να καταγράψει τα δεδομένα για μια διάρκεια τουλάχιστον ενός έτους.

Επίσης δεν αρκεί μόνο να έχει καλό αιολικό δυναμικό (δυνατό αέρα), αλλά και η ποιότητα του αέρα. Να μην έχει δηλαδή μεγάλη τύρβη, και να έχει όσο το δυνατόν στρωτή ροή αέρα. Στρωτή ροή αέρα και χωρίς μεγάλη τύρβη συνήθως συναντάμε στην επιφάνεια της θάλασσας ή από τον αέρα που έρχεται από τη θάλασσα. Στη στεριά θα πρέπει η περιοχή να μην έχει απότομες πλαγιές και πυκνή βλάστηση. Στο χάρτη 2.3 παρουσιάζεται ο χάρτης αιολικού δυναμικού του νησιού, όπως αναπτύχθηκε από το Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων του Τ.Ε.Ι. Κρήτης, με βάση μετρήσεις ανεμολογικών δεδομένων από περισσότερες των ογδόντα (80) θέσεων λήψης [28].



Χάρτης 2.3: Ο χάρτης αιολικού δυναμικού της Κρήτης (πηγή: Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας Τ.Ε.Ι. Κρήτης, www.wel.gr).

Στη γεωγραφική έκταση του νησιού απαντάται πλήθος τοποθεσιών με μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου άνω των 8,5 m/sec και αντίστοιχους συντελεστές απασχόλησης (capacity factor) μεγαλύτερους του 40%. Με το νέο χωροταξικό



πλαίσιο, είναι δυνατή η χωροθέτηση ανεμογεννητριών σε τοποθεσίες με υψηλό αιολικό δυναμικό, αποκλείοντας εκ των προτέρων όσες περιοχές υπόκεινται σε περιορισμούς περιβαλλοντικής, πολιτισμικής και κοινωνικής φύσεως. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιούνται τόσο οι πιθανότητες εμπλοκής στη διαδικασία αδειοδότησης ενός αιολικού πάρκου, όσο και οι επιπτώσεις από τη λειτουργία του στο φυσικό και στο ανθρωπογενές, δομημένο περιβάλλον. Μία ενδεικτική χωροθέτηση ανεμογεννητριών ονομαστικής ισχύος 3 MW, στο σύνολο των διαθέσιμων τοποθεσιών στην Κρήτη με μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου άνω των 8 m/sec, δίνει μία συνολική δυνατότητα εγκατάστασης αιολικής ισχύος στο νησί που υπερβαίνει τα 2 GW.

2.7. Επιλογή οικοπέδου για την πραγματοποίηση της μελέτης του αιολικού πάρκου

Τα παραπάνω αναφερόμενα σχετικά με τα κριτήρια επιλογής μια περιοχής προς εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου εφαρμόζονται και στην παρούσα πτυχιακή μελέτη.

Η επιλογή της περιοχής μελέτης βρίσκεται στην οροσειρά των Αστερουσίων, επί της γεωγραφικής επικράτειας του Δημοτικού Διαμερίσματος Καστελλιανών, Δήμου Αρκαλοχωρίου (χάρτης 2.4) η οποία τηρεί τα κριτήρια επιλογής περιοχής που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Η περιοχή καταλαμβάνει μια έκταση με εμβαδόν 389.106,44 m² (εμβαδόν οικοπέδου ανεμογεννητριών). Τα ακριβή όρια του οικοπέδου εγκατάστασης του αιολικού πάρκου, παρέχονται στο συνημμένο τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:5.000, με αριθμό σχεδίου ΤΠ1 και θα περιλαμβάνεται και στο CD που θα συνοδεύει την πτυχιακή μελέτη. Το σχέδιο αυτό έχει σχεδιαστεί σε υπόβαθρο των φύλλων χάρτη της Γ.Υ.Σ. με αριθμό 96406 και 96408.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επιτόπου επίσκεψη στην περιοχή για συλλογή των απαραίτητων πληροφοριών και στοιχείων όπως:

- a. αξιολόγηση μορφολογίας εδάφους,
- b. στοιχεία οδικού δικτύου, αποστάσεων από οικισμούς
- c. η οπτική αποτύπωση της περιοχής (φωτογραφίες).



Χάρτης 2.4.: Απεικόνιση της περιοχής ενδιαφέροντος.

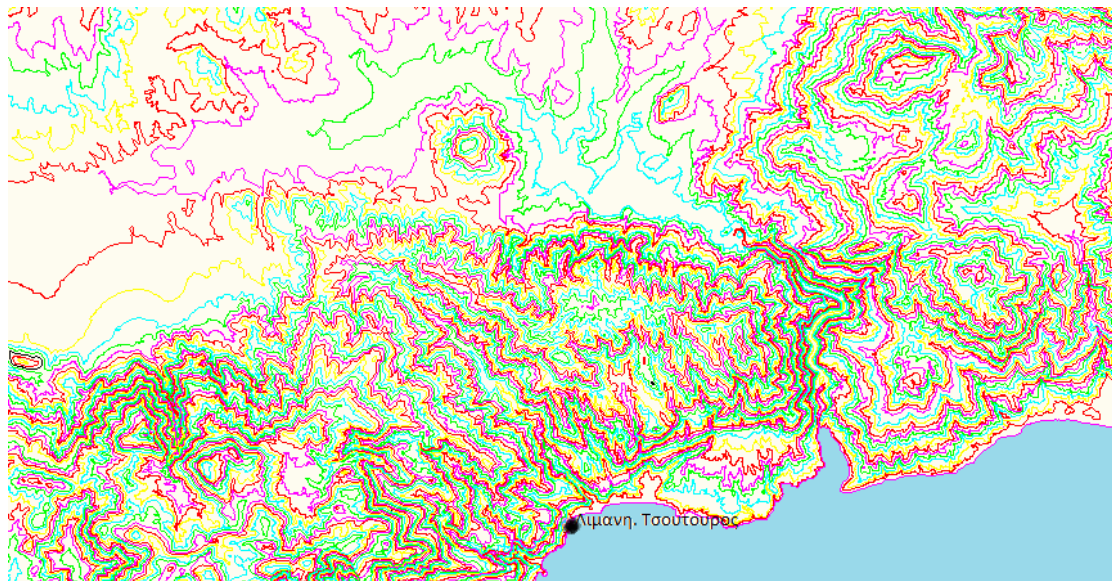
2.8. Αιολικός άτλαντας

Προκειμένου να συνταχθεί μια μελέτη, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η δημιουργία αιολικού άτλαντα της περιοχής. Οι εργασίες που χρειάζονται για τη δημιουργία του αιολικού άτλαντα είναι η ψηφιοποίηση του χάρτη και η ανάλυση των ανεμολογικών μετρήσεων που έχουν συλλεχθεί μέσω του ιστού.

2.8.1. Ψηφιοποίηση του χάρτη

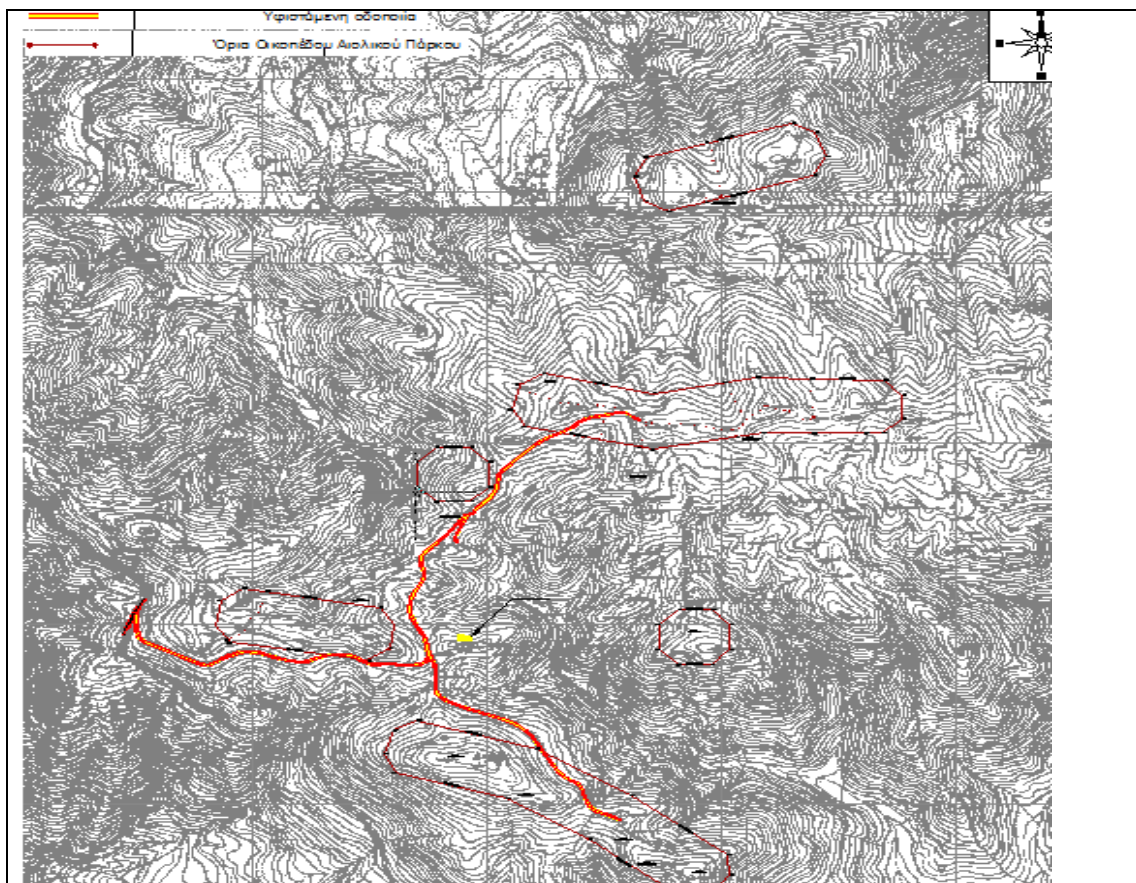
Η μέθοδος που ακολουθήθηκε προκειμένου να μεταφέρουμε τη μορφολογία του εδάφους της περιοχής στην οροσειρά των Αστερουσών και της γύρω περιοχής ενδιαφέροντος, ήταν η ψηφιοποίηση των κατάλληλων χαρτών κλίμακας 1:5.000 της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού (Γ.Υ.Σ) με τη βοήθεια του λογισμικού RASTER Design 2009 on AutoCAD 2009.

Για να έχουμε καλή ακρίβεια ψηφιοποιήθηκαν όλες οι ισοϋψείς ανά είκοσι μέτρα σε κατάλληλη απόσταση από την περιοχή εγκατάστασης του αιολικού πάρκου. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκαν αρχεία ψηφιοποιημένων χαρτών κλίμακας 1:5.000 σε περιβάλλον AutoCAD 2009, τα οποία ενώθηκαν μεταξύ τους. Στη συνέχεια ο χάρτης, που παρουσιάζεται παρακάτω, πέρασε από λεπτομερή έλεγχο έτσι ώστε να είμαστε σίγουροι ότι όλες οι ισοϋψείς βρίσκονται στο σωστό ύψος και ότι κάθε μια απ' αυτές είναι μια κλειστή καμπύλη. Η ψηφιοποίηση της περιοχής παρουσιάζεται στο χάρτη 2.5.



Εικόνα 2.5.: Απεικόνιση της ψηφιοποιημένης περιοχής ενδιαφέροντος.

Στο χάρτη 2.6 παρουσιάζονται τα όρια του οικοπέδου εγκατάστασης και το υπάρχον οδικό δίκτυο.



Χάρτης 2.5: Απεικόνιση της περιοχής ενδιαφέροντος, όρια οικοπέδου εγκατάστασης και υφιστάμενη οδοποιία.



Μελέτη αιολικού δυναμικού

3.1. Εισαγωγή

Βασική προϋπόθεση για να κατασκευαστεί ένα αιολικό πάρκο, είναι να έχει καλό αιολικό δυναμικό η περιοχή στην όποια θα κατασκευαστεί.

Επομένως, σε αυτό το κεφάλαιο θα αναφερθώ στον άνεμο και στα μεγέθη του, και στη μελέτη του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Η μελέτη αυτή προϋποθέτει την εγκατάσταση ιστού για να έχουμε ανεμολογικές μετρήσεις μια περίοδο τουλάχιστον ενός έτους.

Η εγκατάσταση ιστού και λήψη ανεμολογικών μετρήσεων γίνεται βάσει του προτύπου τυποποίησης ISO 17025:2005, έτσι ώστε οι μετρήσεις του να είναι αξιόπιστες και να μπορούμε να βασιστούμε σε αυτές.

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρομαι επίσης στην περιγραφή του ιστού, και την περίοδο των μετρήσεών του. Έπειτα, έχοντας τις μετρήσεις αυτές διαθέσιμες γίνεται η ανάλυσή τους με το κατάλληλο λογισμικό (OWC Wizard), ώστε να χρησιμοποιηθεί μαζί με τον κατάλληλο διαμορφωμένο ψηφιακό χάρτη της περιοχής στο Wasp για να υπολογιστεί ο αιολικός χάρτης της περιοχής. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται και μια αναφορά στο λογισμικό Wasp.

3.2. Χαρακτηριστικά του ανέμου

Άνεμος είναι η οριζόντια, κυρίως, κίνηση μεγάλων μαζών του ατμοσφαιρικού αέρα και προκαλείται από τρεις βασικούς παράγοντες που δημιουργούν και διαμορφώνουν τις κινήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα :

- a. η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονα της
- b. η ηλιακή ενέργεια που απορροφά η ατμόσφαιρα και η επιφάνεια του εδάφους
- c. η ανομοιομορφία του γήινου ανάγλυφου.

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

Η διεύθυνση και η ταχύτητα ή ένταση του ανέμου είναι τα δυο κύρια χαρακτηριστικά του, τα οποία πρέπει να καταγραφούν. Η διεύθυνση του ανέμου καθορίζεται σε σχέση με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, και σαν αποτέλεσμα της καταγραφής της διεύθυνσης του ανέμου προκύπτει το πολικό διάγραμμα.



Εκτός από την ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου, είναι χρήσιμο να καταγραφεί η ύπαρξη ριπών ανέμου, η ύπαρξη στροβιλισμού και αναταράξεων καθώς και το επίπεδο της τύρβης του ανέμου.

Για την περιγραφή της διανομής ταχύτητας του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος χρησιμοποιούνται αρκετοί ημιεμπειρικοί αναλυτικοί νόμοι, οι οποίοι βασίζονται στο γεγονός της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος μέσα στα όρια του οριακού στρώματος. Βέβαια, η διανομή της ταχύτητας του ανέμου επηρεάζεται από την τραχύτητα του εδάφους, την ύπαρξη επιφανειακών εμποδίων καθώς και από το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής.

Μετά την καταγραφή της έντασης και της διεύθυνσης του ανέμου, συνήθως σε ετήσια βάση, ακολουθεί η επεξεργασία των ανεμολογικών στοιχείων με στόχο την κατασκευή του ιστογράμματος συχνότητας πιθανότητας του ανέμου, της ετήσιας καμπύλης διάρκειας, του πολικού διαγράμματος και των καμπυλών των διαστημάτων νηνεμίας της περιοχής. Λιγότερο ακριβείς είναι οι ανεμολογικές μετρήσεις που βασίζονται στη κλίμακα Beaufort, λόγω της σχετικής ασάφειας που εμφανίζουν οι επιμέρους βαθμίδες της κλίμακας.

Από το σύνολο των κινήσεων του ανέμου η σπουδαιότερη σε σχέση με τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου.

3.3. Τύρβη και διάτμηση

Είναι προφανές ότι οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι τυχαίες και δεν μπορούν να προβλεφθούν και να αναλυθούν με ασφαλή τρόπο. Έτσι χρησιμοποιούμε στατιστικές τεχνικές για την περιγραφή των χαρακτηριστικών του ανέμου. Έτσι, από τον ορισμό της μέσης τιμής της ταχύτητας, προκύπτει η τύρβη που ορίζεται ως η διαταραχή της ταχύτητας με περίοδο μικρότερη από την περίοδο ολοκλήρωσης της μέσης τιμής. Συνήθως για να έχουμε ένα κοινό σημείο αναφοράς, υπολογίζουμε την τύρβη δεκαλέπτου.

Η διάτμηση (shear) μας δείχνει αν έχουμε πρόβλημα με μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου στη βάση της ανεμογεννήτριας σε σχέση με την ταχύτητα στην πλήμνη της ανεμογεννήτριας. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να εξετάσουμε τη συγκεκριμένη παράμετρο όταν χωροθετούμε τις ανεμογεννήτριες γιατί ένας λάθος υπολογισμός μπορεί να έχει καταστροφικά αποτελέσματα για τα φτερά των ανεμογεννητριών.

3.3.1. Μέθοδος υπολογισμού τύρβης

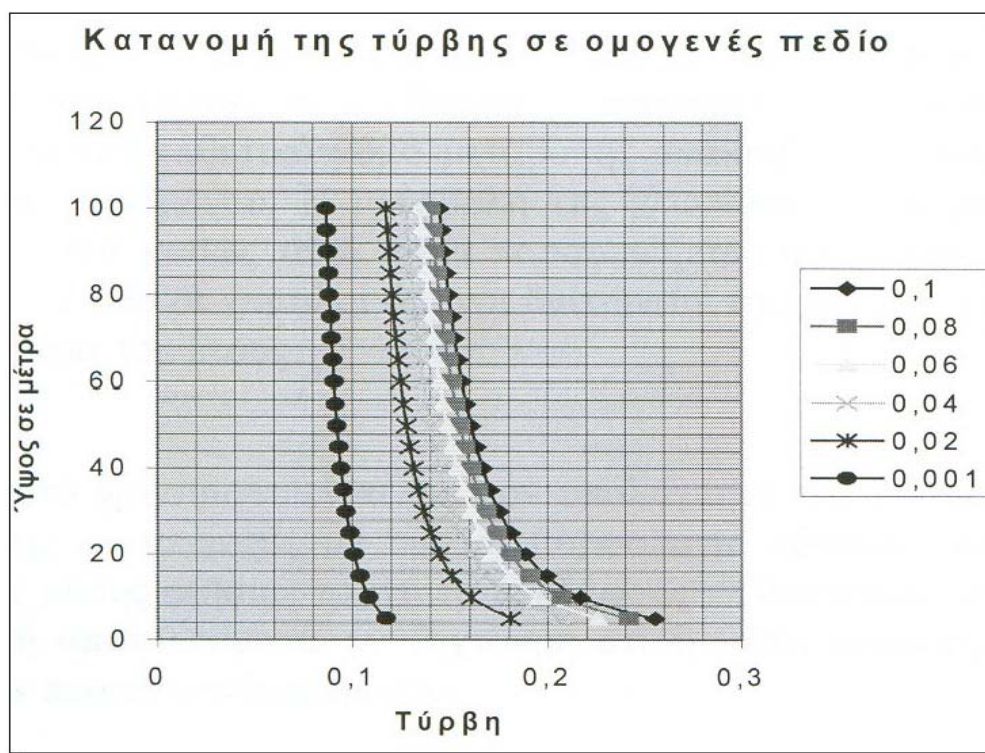
Ο υπολογισμός της τύρβης έγινε με βάση τη γνωστή θεωρία περί ανάπτυξης τυρβώδους ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Κριτήριο για την επιλογή των σχέσεων για τους υπολογισμούς υπήρξε η μορφή της κατανομής της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου. Η κατανομή της κλίσης αυτής στο χώρο, η οποία δίνεται από τη σχέση (3.1), είναι ένδειξη της κατανομής της παραγωγής και της απόσβεσης της τύρβης [7, 9].



$$I = \frac{1}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (3.1)$$

όπου z_0 το μήκος τραχύτητας του εδάφους και z η τρέχουσα απόσταση ενός σημείου στην ατμόσφαιρα από το έδαφος.

Παρακάτω στο σχήμα 3.1. φαίνεται μια τυπική κατανομή της τύρβης για ομογενές πεδίο. Η απλή αυτή σχέση παύει να ισχύει όταν η κατανομή της ταχύτητας χάνει τη λογαριθμική της μορφή και αυτό συμβαίνει σε μη ομογενή πεδία. Η εκτίμηση της κατανομής της τύρβης σε περιπτώσεις επιτάχυνσης της ροής πάνω από λόφους που παρουσιάζουν οξείες ακμές και τελειώνουν σε κρημνώδεις πλαγιές μπορεί να γίνει μόνο με προσομοίωση σε υπολογιστή μέσω του κατάλληλου προγράμματος όπως το λογισμικό Wasp Engineering το οποίο αναφέρεται παρακάτω.



Σχήμα 3.1: Η κατανομή της τύρβης, (καμπύλες για τραχύτητα $Z_0=0,1$ έως $0,001$, σε ομογενές πεδίο σύμφωνα με τον European Wind Atlas του RISOE

3.3.2. Η διάτμηση

Ως διάτμηση ορίζεται η κλίση της καμπύλης της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος από το έδαφος. Όταν αυτή η κλίση πάρει μια ορισμένη αρνητική τιμή (εξαρτάται από τον κατασκευαστή των Α/Γ) τότε αυτό είναι επικίνδυνο για τα φτερά της Α/Γ καθώς υπάρχει πιθανότητα να χτυπήσουν στον πυλώνα και να καταστραφούν. Αρνητική διάτμηση είναι πιθανότερο να εμφανιστεί σε περιοχές με έντονη ορογραφία.



3.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου

3.4.1. Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους

Είναι συνηθισμένο το φαινόμενο της μέτριας λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας αν και έχει εγκατασταθεί σε περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό.

Στις περισσότερες από τις περιπτώσεις αυτές η ανεμογεννήτρια λειτουργεί σε έντονα μεταβαλλόμενο πεδίο ροής λόγω της υψηλής τύρβης της περιοχής. Η εμφάνιση υψηλής τύρβης εξαρτάται εκτός από τις γενικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, τόσο από την ύπαρξη μεμονωμένων κτιρίων ή άλλων εμποδίων όσο και από την τραχύτητα του εδάφους της περιοχής.

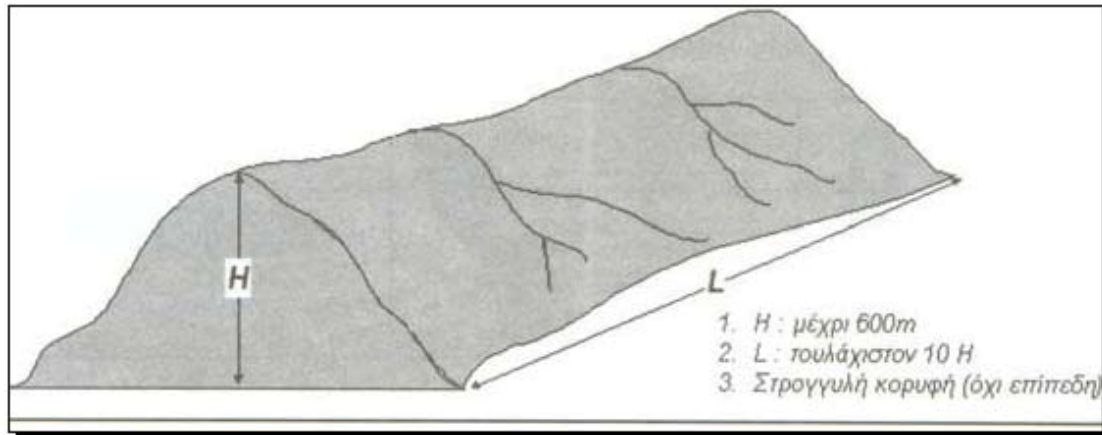
3.4.2. Επίδραση επιφανειακών εμποδίων

Για τη σωστή αεροδυναμική συμπεριφορά μιας αιολικής μηχανής είναι σκόπιμο η περρωτή της ανεμογεννήτριας να βρίσκεται εκτός του πεδίου επιρροής τυχόν επιφανειακών εμποδίων. Με τον τρόπο αυτό έχουμε μεγιστοποίηση της διαθέσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου, το πεδίο ροής είναι ελεύθερο στροβιλισμών και η τύρβη του ανέμου είναι η ελάχιστη δυνατή. Είναι συνεπώς σκόπιμο να εντοπίσουμε τις περιοχές επιρροής των κυριότερων επιφανειακών εμποδίων.

3.4.3. Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής

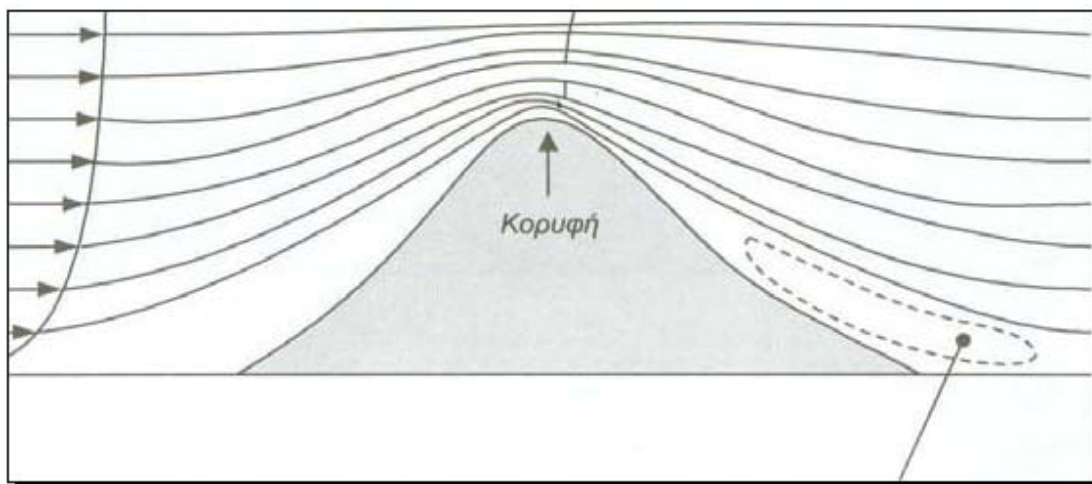
Η διαμόρφωση του πεδίου ταχύτητας επηρεάζεται μεν από την τραχύτητα του εδάφους και τα επιφανειακά εμπόδια, πλην όμως μεγαλύτερη επίδραση έχουν οι εδαφολογικές ιδιομορφίες στην περιοχή της πιθανής θέσης εγκατάστασης μιας αιολικής μηχανής. Για ακριβέστερες αναλύσεις απαιτείται η μελέτη του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής είτε υπό κλίμακα σε αεροδυναμική σήραγγα είτε με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων πλήρους ανάλυσης του πεδίου ροής.

Η έννοια της λοφοσειράς λαμβάνεται κάθετη στην επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Το μέγιστο ύψος της λοφοσειράς δεν υπερβαίνει τα εξακόσια (600 m) μέτρα, ενώ το πλάτος της είναι τουλάχιστον δεκαπλάσιο του ύψους της λοφοσειράς. Η ανάλυσή μας βασίζεται στην υπόθεση ότι ο άνεμος περνάει επάνω από τη λοφοσειρά και δεν την παρακάμπτει κινούμενος πλαγίως.



Σχήμα 3.2: Τυπική λοφοσειρά.

Βασιζόμενοι στους κλασσικούς νόμους της αεροδυναμικής υποχηθικών ταχυτήτων (π.χ. εξίσωση Bernoulli), μπορούμε να πούμε ότι η κορυφή της λοφοσειράς είναι μια πολύ καλή θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας, δεδομένης της συμπίεσης των γραμμών ροής, η οποία ισοδυναμεί με επιτάχυνση της αέριας δέσμης. Ένας πιθανός διπλασιασμός της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή της κορυφής ισοδυναμεί με οκταπλασιασμό της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου στην εν λόγω περιοχή. Συχνά είναι προτιμότερο να εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια λίγο πριν την κορυφή της λοφοσειράς, ώστε να αποφευχθούν αφενός αρνητικές κλίσεις της ταχύτητας που συνοδεύουν τυχόν αποκόλληση της ροής, αφετέρου περιοχές υψηλής τύρβης (σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.3: Πιθανή ζώνη υψηλής τύρβης.

Ολοκληρώνοντας πρέπει να επισημάνουμε ότι ιδιαίτερη επίδραση στη συνολική διανομή της ταχύτητας του ανέμου έχει η διαμόρφωση του εδάφους, δεδομένου ότι η παρουσία εμποδίων, στενώσεων ή ανοιγμάτων τροποποιεί σημαντικά τα αιολικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Αν και υπάρχουν αρκετές αναλυτικές ημειμπειρικές σχέσεις που προτείνουν διορθώσεις της ταχύτητας του ανέμου παρουσία εμποδίων ή λόγω της τραχύτητας του εδάφους, ακριβείς υπολογισμοί μπορούν να γίνουν μόνο με την αριθμητική προσομοίωση της υπό εξέταση περιοχής και τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τέλος, σαν γενικός



κανόνας πρέπει να θεωρηθεί η αρχή ότι ο δρομέας (περωτή) μιας ανεμογεννήτριας, πρέπει να βρίσκεται έξω από τη ζώνη επιρροής οποιουδήποτε επιφανειακού εμποδίου που βρίσκεται έναντι της ανεμογεννήτριας, ώστε να μεγιστοποιηθεί η διαθέσιμη αιολική ενέργεια και να ελαχιστοποιηθεί η αναπτυσσόμενη ατμοσφαιρική τύρβη.

3.5. Το αιολικό δυναμικό

Ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι μια επίπονη διαδικασία που στηρίζεται σε μαθηματικά μοντέλα τα οποία έχουν ακριβή αποτελέσματα μόνο σε επίπεδα εδάφη. Επειδή όμως η συντριπτική πλειοψηφία των περιοχών που είναι κατάλληλες για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων είναι περιοχές με έντονη ορογραφία, βασιζόμαστε στα μαθηματικά μοντέλα που υπάρχουν και μεριμνούμε, έτσι ώστε οι μετρήσεις που έχουμε για την περιοχή να είναι σε κοντινό μέρος, σε σχέση με την περιοχή ενδιαφέροντος. Είναι κοινά αποδεκτό ότι σε μια περιοχή περίπου 10 χιλιόμετρα γύρω από τον ανεμογράφο, μπορούμε να εξάγουμε ακριβή συμπεράσματα για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου.

3.5.1. Οι μετρήσεις

Οι μετρήσεις λαμβάνονται από μετεωρολογικούς ιστούς, οι οποίοι χωροθετούνται κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και κατά προτίμηση στην ψηλότερη κορυφή, έτσι ώστε να μην έχουμε παρεμπόδιση των ανέμων από ενδεχομένως ψηλότερες κορυφές.

Οι ιστοί στήνονται σε ύψος τουλάχιστον 10 μέτρων από το έδαφος και μακριά από δέντρα και άλλα εμπόδια, όπου αυτό είναι εφικτό. Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα μας. Σ' αυτές τις περιπτώσεις εγκαθιστούμε ψηλότερους ιστούς με ύψος έως και 60 μέτρα και τοποθετούμε όργανα σε διάφορα ύψη (10 m, 30 m, 45 m, 60 m). Με αυτό τον τρόπο έχουμε ακριβή ένδειξη της ταχύτητας στο ύψος της περωτής της ανεμογεννήτριας που είναι συνήθως πάνω από τα 50 m. Οι προϋποθέσεις αυτές εξασφαλίζουν την ορθότητα των δεδομένων που παίρνουμε.

Οι μετρητικές διατάξεις που τοποθετούνται σε ένα ιστό είναι το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης (παρακάτω γίνεται η περιγραφή για το καθένα από τα όργανα) και πολλές φορές τοποθετούνται σε ζευγάρια, έτσι ώστε στην περίπτωση που το ένα καταστραφεί, να έχουμε ενδείξεις από το άλλο. Τα όργανα συνδέονται σε ένα καταγραφικό (data logger) (εικόνες 3.1 & 3.2) το οποίο παίρνει μετρήσεις από τα όργανα. Μέσα από τις ρυθμίσεις του καταγραφικού, ορίζουμε το διάστημα δειγματοληψίας για τις μετρήσεις. Για εφαρμογές όπως η ανέγερση ενός αιολικού πάρκου, οι μετρήσεις γίνονται ανά 1 δευτερόλεπτο και η ολοκλήρωση των μετρήσεων γίνεται κάθε 10 λεπτά. Έτσι έχουμε μέσες 10λεπτες τιμές για την ταχύτητα και τη διεύθυνση.



Εικόνα 3.1: Data logger.



Εικόνα 3.2: Data logger.

3.6. Εγκατάσταση και περιγραφή ιστού

Τα δεδομένα που παρτήθηκαν από τον ιστό, ο οποίος εγκαταστάθηκε στις 01/07/08 παρουσιάζονται στον πίνακα 3.1. Ο ιστός ήταν 10 m και εγκαταστάθηκε σε θέση της Οροσειράς Αστερουσίων, επί της γεωγραφικής επικράτειας του Δημοτικού Διαμερίσματος Καστελλιανών, Δήμου Αρκαλοχωρίου, με συντεταγμένες σε WGS 84 γεωγραφικό μήκος φ $35^{\circ}01'06,60''$ και γεωγραφικό πλάτος λ $25^{\circ}16'56,00''$ και σε υψόμετρο 489 m από την επιφάνεια της θάλασσας.

Παρακάτω βλέπουμε φωτογραφίες που παρτήθηκαν κατά την εγκατάσταση του ιστού (εικόνα 3.3).



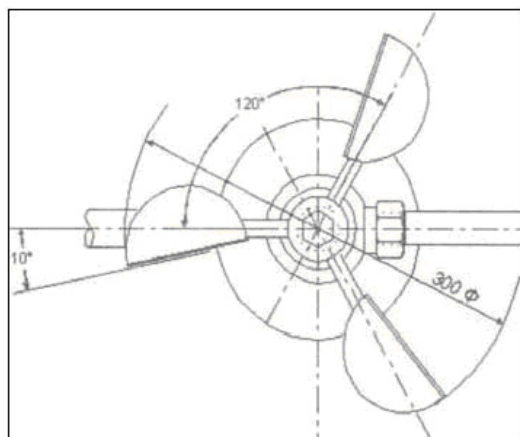
Εικόνα 3.3.: Εγκατάσταση ιστού.

3.6.1. Ανεμόμετρο

Για τη μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα ή οι ανεμογράφοι. Τα πλέον απλά είναι τα ανεμόμετρα ταχύτητας, στα οποία η ένταση του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής που επιβάλλει ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης του ανέμου. Στον ιστό μας χρησιμοποιούνται δυο τέτοιου τύπου κυπελοφόρα ανεμόμετρα (εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4: Ανεμόμετρο και διευθυνσιόμετρο.



Σχήμα 3.4: Σκαρίφημα ανεμόμετρου.

Τα κυπελοφόρα ανεμόμετρα αποτελούνται (εικόνα 3.4 – σχήμα 3.4) από έναν κατακόρυφο άξονα στην κορυφή του οποίου υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι. Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο, με τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη.

Γνωρίζοντας ότι η αεροδυναμική αντίσταση της κοίλης πλευράς είναι σημαντικά μεγαλύτερη της κυρτής, το σύστημα περιστρέφεται υπό την επίδραση του ανέμου και ο αριθμός των περιστροφών του καταγράφεται δια μέσου του κατακόρυφου άξονα σε ένα καταγραφικό σύστημα. Για την καταγραφή των στροφών του κατακόρυφου άξονα χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα, που περιλαμβάνουν:

- μηχανικό στροφόμετρο, που καταγράφει τον αριθμό των περιστροφών των κυπέλλων από τη στιγμή ενάρξεως λειτουργίας του οργάνου
- ηλεκτρική επαφή, η οποία κλείνει μετά από ένα ορισμένο αριθμό στροφών, και μέσω καταγραφικού δίνει απ' ευθείας τη μέση ταχύτητα του ανέμου
- μικρή ηλεκτρογεννήτρια, η οποία μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του άξονα σε ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο και μετατρέπεται σε ένδειξη ταχύτητας
- φωτοηλεκτρικό διακόπτη, ο οποίος μετατρέπει την ταχύτητα περιστροφής σε στιγμιαία ταχύτητα ανέμου στην έξοδο του συστήματος.

3.6.2. Διευθυνσιόμετρο

Η διεύθυνση του ανέμου μετράται συνήθως με τη βοήθεια των ανεμοδεικτών. Ο ανεμοδείκτης αποτελείται από έναν κατακόρυφο άξονα στο πάνω άκρο του οποίου περιστρέφεται ένας οριζόντιος άξονας με ένα ή δύο ελάσματα στο ένα άκρο του (εικόνα 3.4). Όταν η πίεση που ασκεί ο άνεμος εξισορροπηθεί και από τις δύο πλευρές του ελάσματος του ανεμοδείκτη, αυτός έχει στραφεί έτσι ώστε ο δείκτης του ανεμοδείκτη, που βρίσκεται και το αντίβαρο εξισορρόπησης του ελάσματος, να διευθύνεται προς τη μεριά από την οποία φυσά ο άνεμος.



Ένας ακριβής ανεμοδείκτης έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του με ελάχιστες τριβές
- δεν παρουσιάζει τάσεις κλίσεως προς μια διεύθυνση, με την ακριβή αντιστάθμιση των ελασμάτων με τη χρήση αντίβαρου
- εμφανίζει τη μέγιστη ροπή στρέψης για δεδομένη αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με την αδράνεια του οργάνου.
- παρουσιάζει γρήγορη απόκριση στις διαρκείς διακυμάνσεις της διεύθυνσης του

ανέμου

- παρουσιάζει επαρκή απόσβεση των τυχαίων ταλαντώσεων.

Τέλος, θα πρέπει να αναφέρουμε ότι επειδή η διεύθυνση του ανέμου μετρείται συναρτήσει του αληθούς βορρά, το όργανο πρέπει να προσανατολισθεί με τη βοήθεια της χαραγής που υπάρχει επάνω του.

3.7. Βασικές έννοιες αιολικής ενέργειας

3.7.1. Ορισμός αιολικής ενέργειας

Η αιολική ενέργεια ορίζεται ως η κινητική ενέργεια E_k των αερίων μαζών της ατμόσφαιρας. Έτσι, η κινητική ενέργεια μιας μάζας m (kg), που κινείται με ταχύτητα u (m/sec) θα είναι [5, 6]:

$$E_k = \frac{1}{2} mu^2 \quad (3.2)$$

3.7.2. Ισχύς ανέμου

Η ισχύς του ανέμου είναι [5, 6]:

$$P = \frac{dE_k}{dt} = \frac{1}{2} \frac{dm}{dt} u^2 \Rightarrow P = \frac{1}{2} \rho Au^3 \quad (3.3)$$

όπου :

- ρ η πυκνότητα του αέρα σε kg/m^3
 A η επιφάνεια ροής σε m^2

Με τη βοήθεια της εξίσωσης της ισχύος μπορεί να υπολογιστεί το φυσικά διαθέσιμο αιολικό δυναμικό μιας περιοχής που ορίζεται ως η κινητική ενέργεια των αερίων μαζών που κινούνται κάθε έτος πάνω από το έδαφος της περιοχής αυτής και φυσικά εξαρτάται από τις ιδιαίτερες ατμοσφαιρικές συνθήκες και την τοπογραφία της.



Αν στο ρου του ανέμου τοποθετήσουμε ένα ανεμοκινητήρα με επιφάνεια προσβολής A_T και συντελεστή αεροδυναμικής απόδοσης C_P , η ισχύς που δεσμεύεται από τον ανεμοκινητήρα δίνεται από τη σχέση [5, 6]:

$$P_{A/T} = \frac{1}{2} \rho A_T C_P V^3 \quad (3.4)$$

Αποδεικνύεται ότι η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο συντελεστής ισχύος C_P είναι 16/27. Το μέγιστη αυτή τιμή καλείται όριο του Betz.

3.7.3. Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος

Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το ύψος. Σύμφωνα με νεότερες έρευνες [5, 6, 7] έχει βρεθεί ότι για ύψη κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται σύμφωνα με την εξίσωση [7, 9]:

$$u(h) = \left(\frac{U^*}{k}\right) \left[\ln\left(\frac{h}{z_o}\right) - \varphi\left(\frac{h}{k}\right)\right] \quad (3.5)$$

με τη βοήθεια της οποίας, για δύο ύψη h_1 και h_2 :

$$\frac{u(h_2)}{u(h_1)} = \frac{\ln\left(\frac{h_2}{z_o}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{z_o}\right)} \quad (3.6)$$

Ο παραπάνω τύπος ισχύει για ύψη μέχρι 60 m από το έδαφος. Για τα ελληνικά νησιά ισχύει $z_o=0,3$ m [7, 9].

Μια άλλη σχέση της ταχύτητας του ανέμου σχετικά με το ύψος είναι η:

$$\frac{u(h_2)}{u(h_1)} = \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^a \quad (3.7)$$

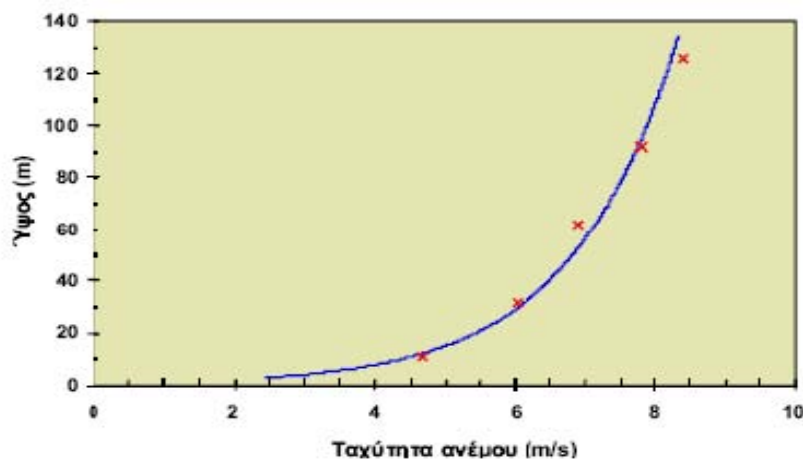
όπου :

$u(h_1)$: η ζητούμενη ταχύτητα του ανέμου σε ύψος

$u(h_2)$: η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς h_2 . Συνήθως $h_2=10$ m

a : εκθέτης που εξαρτάται από τη φύση του εδάφους της τοποθεσίας μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου, συνήθως $a=1/7$ ή $a=1/4$.

Στο σχήμα 3.5 παρουσιάζεται μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου καθ' ύψος με βάση τη σχέση 3.6.



Σχήμα 3.5: Πιθανή μορφή του οριακού στρώματος της ταχύτητας του ανέμου

Η ατμοσφαιρική μίξη συνήθως ακολουθεί ένα ημερήσιο κύκλο οδηγούμενο από την ηλιακή θέρμανση. Στο ύψος της πλήμνης μιας Α/Γ, ο κύκλος αυτός προκαλεί συχνά αύξηση της ταχύτητας του ανέμου την ημέρα και μείωσή της τη νύχτα. Εντούτοις, το εύρος της μεταβολής μεταξύ νύχτας και ημέρας εν γένει μειώνεται, καθώς αυξάνει το ύψος της πλήμνης. Σε ύψος περίπου 10 μέτρων η ημερήσια μεταβολή μπορεί να είναι πολύ έντονη, αλλά καθώς αυτό αυξάνεται στα 50 μέτρα αυτή εξασθενεί ή μπορεί ακόμη και να εξαφανιστεί.

3.7.4. Επίδραση της πυκνότητας του αέρα

Η πυκνότητα του αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας και για κανονικές συνθήκες είναι $\rho_0 = 1.255 \text{ kg/m}^3$.

Η πυκνότητα του αέρα σε μεγαλύτερα ύψη μειώνεται και κατά συνέπεια μειώνεται και η διαθέσιμη ισχύς. Η επίδραση αυτή μπορεί να επιφέρει μείωση στην παραγωγή ισχύος των Α/Γ σε ψηλά βουνά κατά τουλάχιστον 40% έναντι της ισχύος, που θα μπορούσε να παραχθεί με τις ίδιες ταχύτητες ανέμου στο επίπεδο της θάλασσας. Η πυκνότητα του αέρα εξαρτάται αντίστροφα από τη θερμοκρασία, οπότε οι πιο χαμηλές θερμοκρασίες ευνοούν τις μεγαλύτερες πυκνότητες του αέρα και τη μεγαλύτερη παραγωγή αιολικής ισχύος.

Ακόμα, η επίδραση της πυκνότητας του αέρα στην αναμενόμενη παραγωγή ενέργεια από μια Α/Γ μπορεί να είναι σημαντική ιδιαίτερα για Α/Γ με αεροδυναμικό έλεγχο (Stall). Με βάση το πρότυπο IEC 61400-12 προτείνονται οι εξής διορθώσεις:

Για Α/Γ με μεταβλητό βήμα πτερυγίων (pitch)

Διορθώνεται η ταχύτητα ανέμου με βάση τη σχέση [10]:

$$V^M = V \left(\frac{P}{P_0} \right)^{1/3} \quad (3.8)$$

όπου:

V^M η ζητούμενη ταχύτητα του ανέμου σε ύψος



- P_0 πυκνότητα του αέρα στην επιφάνεια της θάλασσας και για κανονικές συνθήκες
 P η μέση πυκνότητα αέρα στο ύψος της πλήμνης

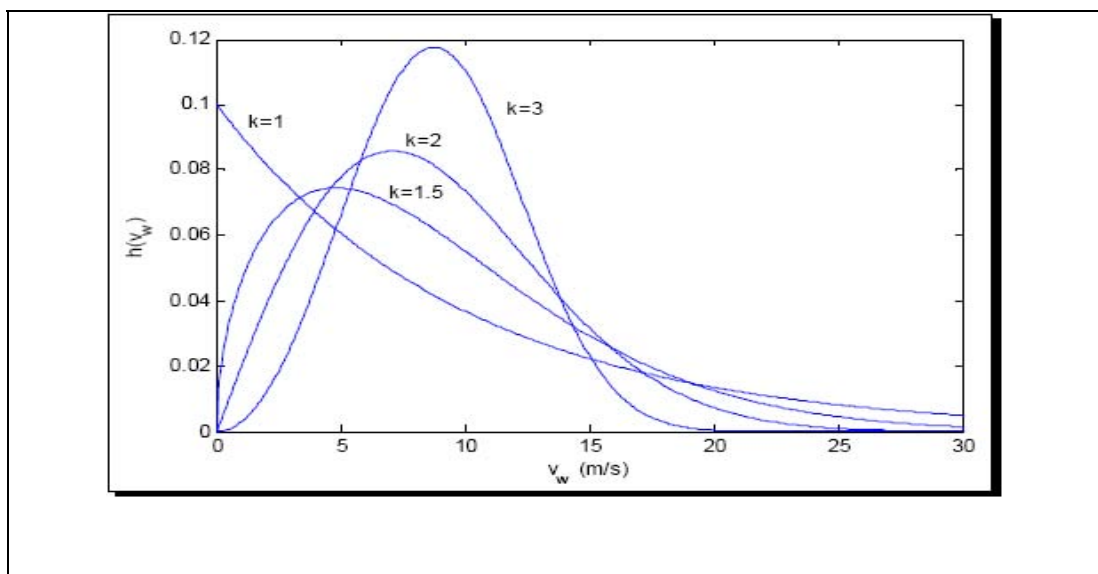
3.7.5. Το ιστόγραμμα πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου

Η εμπειρική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας που προτάθηκε από τον Weibull περιγράφει ικανοποιητικά το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100 m από το έδαφος. Η κατανομή Weibull προσδιορίζει την πιθανότητα της ταχύτητας του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή συγκεκριμένης ταχύτητας βάση των δύο μόνο παραμέτρων C και k .

Η αναλυτική έκφραση της κατανομής Weibull δίνεται από τη σχέση [7, 9]:

$$f(u) = \frac{k}{c} * \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} * \exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k\right] \quad (3.9)$$

Συνήθεις τιμές της παραμέτρου k είναι μεταξύ 1,5 και 2,5, ενώ πολύ συχνά λαμβάνεται $k=2$, δηλαδή χρησιμοποιείται η κατανομή Rayleigh. Στον ελλαδικό χώρο συνήθως λαμβάνονται τιμές μεταξύ 1,5 και 2,0.



Σχήμα 3.6: Μορφή της κατανομής Weibull για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου μορφής k . Παράμετρος κλίμακας $c = 10$ m/sec.

3.7.6. Συντελεστής απασχόλησης (capacity factor)

Με δεδομένη την ενεργειακή παραγωγή μιας ανεμογεννήτριας ή αιολικού πάρκου σε χρονικό διάστημα T , ο συντελεστής χρησιμοποίησης ή συντελεστής εκμετάλλευσης (capacity factor) ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας E που παράγεται προς αυτή που θα μπορούσε να παράγει η μηχανή ή το πάρκο αν λειτουργούσε συνεχώς υπό ονομαστική ισχύ P_R [11]:

$$C.F. = \frac{E}{T \cdot P_R} \quad (3.10)$$



Ο συντελεστής χρησιμοποίησης έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς σχετίζεται άμεσα με τη βιωσιμότητα μιας ενεργειακής επένδυσης. Συνήθεις τιμές του είναι μεταξύ 0,25 και 0,35, χωρίς να αποκλείονται και υψηλότερες τιμές. Προφανώς είναι υψηλός σε θέσεις με μεγάλη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου, αλλά η τιμή του εξαρτάται επίσης από τη μορφή της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας και από τη διαθεσιμότητά της.

3.8. Πίνακας με στοιχεία μετρήσεων του ιστού

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας 3.1, ο οποίος παρέχει τα στοιχεία της θέσης εγκατάστασής του, τις ημερομηνίες με τις περιόδους μέτρησης και τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Θέση εγκατάστασης ιστού		οροσειρά Αστερουσίων Νομού Ηρακλείου
Απόλυτο υψόμετρο θέσης εγκατάστασης ιστού (m)		489
Ύψος ιστού (m)		10
Συντεταγμένες θέσης εγκατάστασης ιστού (ΕΓΣΑ '87)	X	616833,63
	Y	3875540,39
Περίοδος πιστοποιημένων μετρήσεων	Έναρξη	01/07/08
	Πέρασ	06/07/09
	Διάρκεια (μήνες)	12
Μέση ταχύτητα ανέμου περιόδου μετρήσεων στη θέση εγκατάστασης του ιστού (m/sec)		8,50
Παράμετρος A κατανομής Weibull (m/sec)		9,6
Παράμετρος k κατανομής Weibull (m/sec)		1,76

Τα δεδομένα που έχουμε πάρει από τον ανεμογράφο θα τα αναλύσουμε με κατάλληλο λογισμικό (OWC Wizard) για να υπολογιστεί το ροδόγραμμα ανέμου, με το οποίο θα υπολογιστεί η εκτιμώμενη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το αιολικό πάρκο.

Με βάση τα στοιχεία του πίνακα 3.1, βλέπουμε ότι η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στη θέση εγκατάστασης του ιστού και σε ύψος 10 m από το έδαφος είναι $U_{\text{mean}}=8,50$ m/sec, με κύρια διεύθυνση τη βόρεια, η πυκνότητα ισχύος υπολογίζεται $P=829$ W/m², ο συντελεστής Weibull $C=9,6$ m/sec και ο συντελεστής Weibull $k=1,76$.

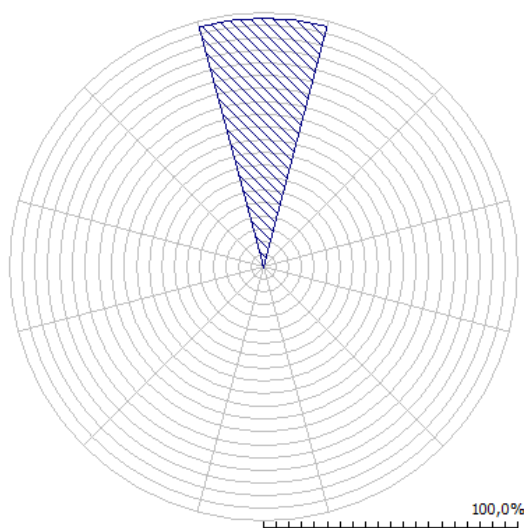
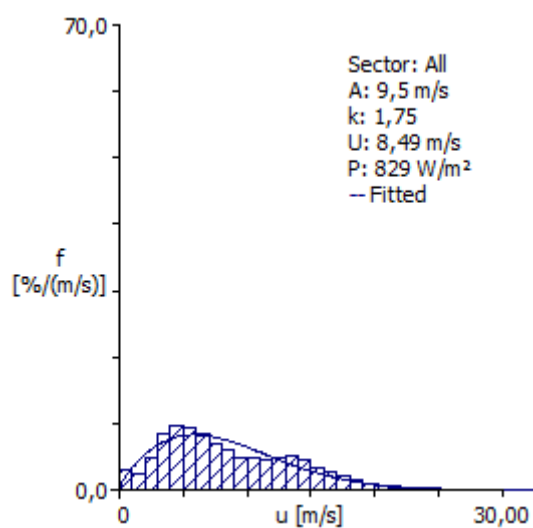
Στον πίνακα 3.2 παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης των μετρήσεων αιολικού δυναμικού. Επίσης στο σχήμα 3.7 παρουσιάζεται το



ροδόγραμμα ανέμου στη θέση εγκατάστασης του ιστού, ενώ στο σχήμα 3.7 παρουσιάζεται η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας Weibull για την ίδια θέση.

**Πίνακας 3.2:** Αναλυτικά στοιχεία μετρήσεων αιολικού δυναμικού.

A/A	Κυκλικός τομέας διεύθυνσης πνοής ανέμου (°)	Συχνότητα πνοής ανέμου (%)	Παράμετρος Weibull C (m/sec)	Παράμετρος Weibull k	Μέση ταχύτητα ανέμου (m/sec)	Πυκνότητα ισχύος ανέμου (W/m ²)
1	0	97,9	9,6	1,76	8,54	838
2	30	0,1	7,5	3,54	6,77	246
3	60	0	2,2	4,55	2,04	6
4	90	0	2,4	2,41	2,16	10
5	120	0	1,8	1,86	1,62	5
6	150	0,5	6,2	5,66	5,74	130
7	180	0	3,4	1,44	3,11	54
8	210	0	3,1	2,73	2,79	20
9	240	0	3,9	2,73	3,45	37
10	270	0	3,9	1,91	3,45	50
11	300	0,1	5,6	3,21	4,98	102
12	330	1,3	8	1,55	7,17	586
Μέσες τιμές					8,5	829

**Σχήμα 3.7:** Ροδόγραμμα ανέμου στη θέση εγκατάστασης του ιστού μετρήσεων.**Σχήμα 3.8:** Κατανομή πυκνότητας πιθανότητας Weibull στη θέση εγκατάστασης του ιστού μετρήσεων.

3.9. Υπολογιστικό πρόγραμμα Wasp

Η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μπορεί να γίνει με τη βοήθεια του διεθνώς αναγνωρισμένου λογισμικού ανάπτυξης αιολικού άτλαντα Wasp του Εθνικού Εργαστηρίου της Δανίας (RISOE).



Το λογισμικό WAsP θα μας βοηθήσει να εξάγουμε τα κύρια μεγέθη για την οικονομοτεχνική μελέτη που θα ακολουθήσει στο κεφάλαιο 7. Επίσης με τη βοήθεια του προγράμματος θα αναπτυχθεί ο αιολικός χάρτης της περιοχής.

Η αξιοπιστία των υπολογισμών που θα εκτελεστούν από το πρόγραμμα εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- a. την αξιοπιστία των νομολογικών μετρήσεων, οι οποίες εξαρτώνται από τη θέση και την τεκμηρίωση του ανεμογράφου, τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε κτλ.
- b. τη χρονική διάρκεια των μετρήσεων
- c. την απόσταση του σημείου των μετρήσεων από την περιοχή
- d. την σωστή τοποθέτηση του ανεμογράφου στον ψηφιακό χάρτη πριν την έναρξη των υπολογισμών
- e. τη σωστή εκτίμηση των χαρακτηριστικών του εδάφους, δηλαδή της τραχύτητας.
- f. τη μορφολογία του εδάφους της περιοχής στην οποία γίνεται ο υπολογισμός, όσο πιο έντονη τόσο μεγαλύτερο ποσοστό σφάλματος υπάρχει.

3.10. Αιολικός άτλαντας

Αιολικός χάρτης (αιολικός άτλαντας) είναι ένας χάρτης όπου σημειώνεται το αιολικό δυναμικό. Είναι ένα σημαντικό εργαλείο στα χέρια του μελετητή μηχανικού για μια αξιόπιστη και άρτια οικονομοτεχνική μελέτη αιολικού συστήματος. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να προσδιοριστεί η διαθέσιμη ενέργεια του ανέμου για μετατροπή σε άλλη μορφή ενέργειας, ζητούμενη για την ανάπτυξη ανθρώπινων δραστηριοτήτων.

Ο αιολικός χάρτης δημιουργείται χρησιμοποιώντας ανεμολογικά δεδομένα ανεμογράφων, οι οποίοι βρίσκονται τοποθετημένοι σε διάφορα μέρη της υποψήφιας περιοχής.

Ο αιολικός χάρτης αποτελεί πολύτιμο εργαλείο με ποικίλες εφαρμογές και μπορεί να συνδυαστεί εύκολα με πληροφορίες ανάλογου χαρακτήρα για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Ουσιαστικά είναι μια προσομοίωση της πνοής του ανέμου εκφρασμένη σε μέσες ετήσιες στατιστικές παραμέτρους της στο χώρο μεταξύ του εδάφους και μιας επιφάνειας που απέχει από το έδαφος 250 περίπου μέτρα.

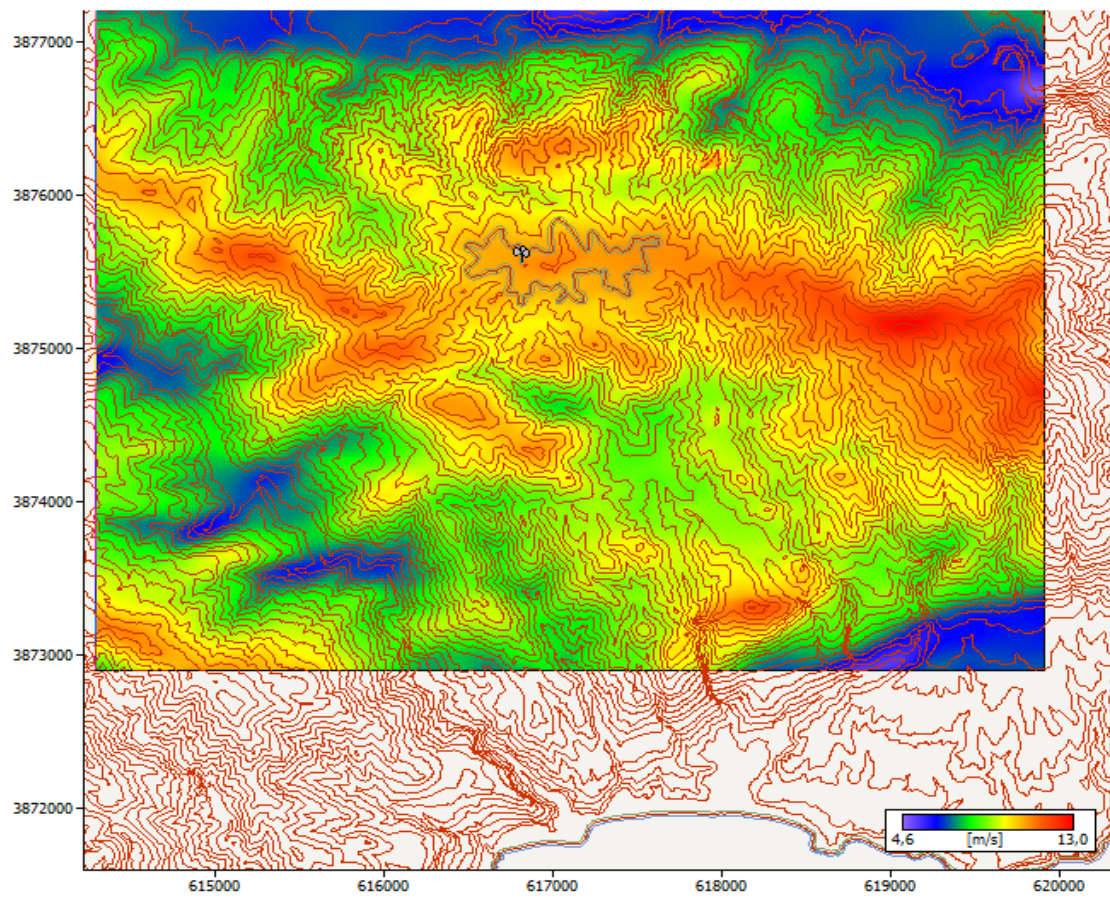
Οι παράμετροι που δίδονται από τον αιολικό χάρτη είναι:

- a. η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου
- b. η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας ανά διεύθυνση
- c. η κατανομή της πιθανότητας της μέσης δεκάλεπτης ταχύτητας ανά διεύθυνση
- d. το ροδόγραμμα του ανέμου.

Οι παραπάνω παράμετροι δίδονται σε κάθε σημείο ευθείας κάθετης στο επίπεδο της θάλασσας και σε σημεία ορθοκανονικού κάρναβου με βήμα ανάλογο της διακριτότητας που επιθυμείται.

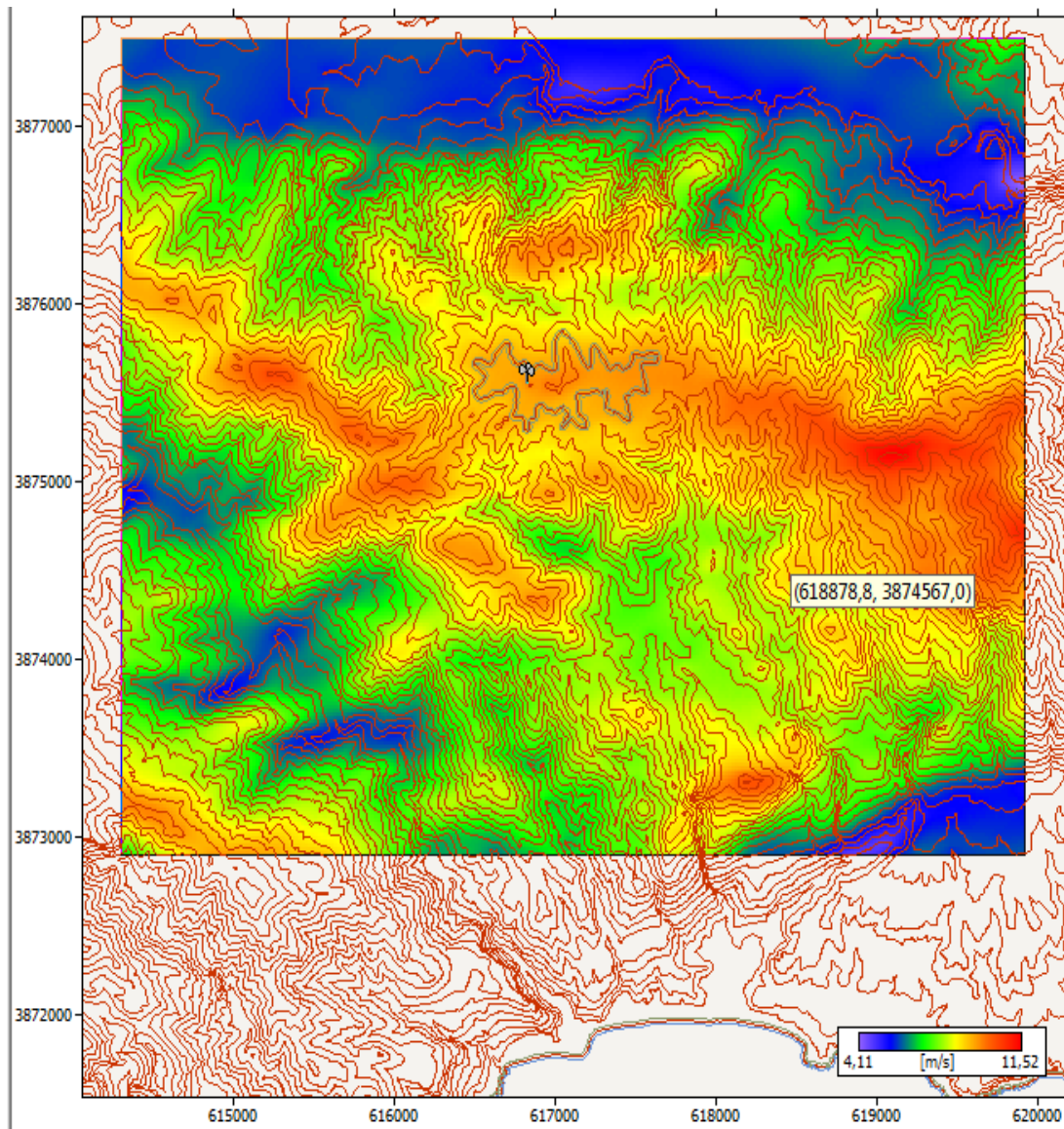
3.10.1. Αιολικός άτλαντας της εξεταζόμενης περιοχής

Με βάση τα παραπάνω υπολογίσαμε τον αιολικό χάρτη της περιοχής Αστερουσίων, επί της γεωγραφικής επικράτειας του Δημοτικού Διαμερίσματος Καστελλιανών όπως φαίνεται στο χάρτη 3.1.

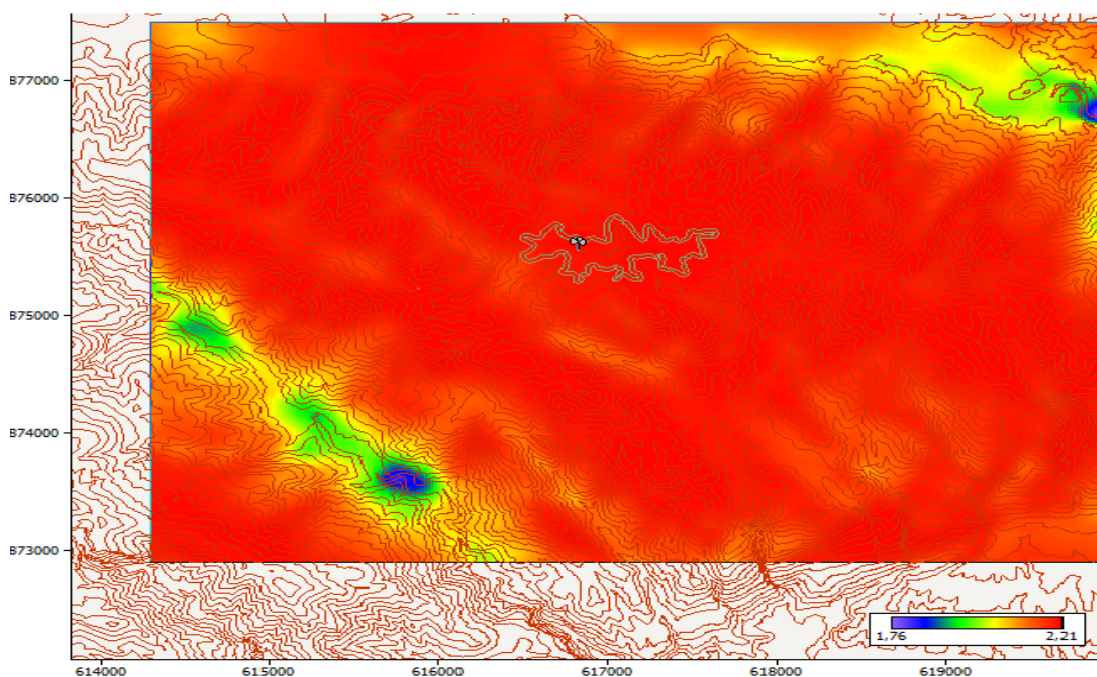


Χάρτης 3.1: Αιολικός χάρτης περιοχής εγκατάστασης αιολικού πάρκου.

Στους χάρτες 3.2 και 3.3 παρουσιάζονται οι κατανομές των παραμέτρων της κατανομής Weibull C και k αντίστοιχα.



Χάρτης 3.2: Κατανομή της παραμέτρου Weibull-C στην περιοχή εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.



Χάρτης 3.3: Κατανομή της παραμέτρου Weibull-k στην περιοχή εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.

3.10.2. Αξιολόγηση αιολικού δυναμικού

Αφού έχουν πραγματοποιηθεί οι απαραίτητες μετρήσεις και η εκτίμηση των παραμέτρων του ανέμου, όπως προκύπτουν από το λογισμικό αλλά και τα στοιχεία των ανεμολογικών δεδομένων, μπορούμε να καταλήξουμε σε κάποια πρώτα συμπεράσματα ειδικά για το αιολικό δυναμικό, πάντα βέβαια με τις επιφυλάξεις για τις τυχόν ατέλειες ή λάθη στο πρόγραμμα από τον πηγαίο κώδικά του. Επίσης, το σφάλμα στην εκτίμηση του αιολικού δυναμικού δεν μπορεί να αποφευχθεί, καθώς ο άνεμος είναι ένα στοχαστικό φαινόμενο, πράγμα που σημαίνει ότι έχει ιδιαίτερη σημασία οι μετρήσεις και οι εκτιμήσεις του αιολικού δυναμικού να είναι όσο το δυνατόν πιο ακριβείς και μακροχρόνιες.

Μπορούμε να πούμε λοιπόν συνολικά ότι τα αποτελέσματα είναι αρκετά ικανοποιητικά μιας και η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου κυμαίνεται γύρω στα 8,5 m/sec, τιμή που θεωρείται εξαιρετική ειδικά για το υψόμετρο και τη μορφολογία της περιοχής.



Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

4.1. Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στον υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου (Α/Π), η οποία υπολογίζεται μέσω του προγράμματος Wasp.

Ο υπολογισμός της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προϋποθέτει την επιλογή της ανεμογεννήτριας, τον αριθμό των προς εγκατάσταση ανεμογεννητριών, τη χωροθέτηση αυτών, με κριτήριο τη μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνοντας υπ' όψιν το αιολικό δυναμικό και τη σκίαση των ανεμογεννητριών.

4.2. Ενεργειακή μελέτη αιολικού πάρκου

Όπως είναι λογικό, η ισχύς που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες είναι συνεχώς μεταβαλλόμενη, αφού εξαρτάται από την ένταση του ανέμου που πνέει ανά πάσα στιγμή. Πιο συγκεκριμένα, η παραγωγή ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- Την κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου στη θέση όπου βρίσκεται η ανεμογεννήτρια. Η κατανομή αυτή θεωρείται ότι περιγράφεται από τη θεωρητική κατανομή Weibull με αρκετή ακρίβεια.
- Την καμπύλη ισχύος της Α/Γ, η οποία εκφράζει την αναμενόμενη παραγόμενη ισχύ της ανεμογεννήτριας για κάθε ταχύτητα του ανέμου στο ύψος της πλήμνης και για δεδομένες συνθήκες περιβάλλοντος.
- Τη διαθεσιμότητα του Α/Π, που καθορίζεται από το πρόγραμμα συντήρησης και από τον εμφανιζόμενο ρυθμό μη προγραμματισμένων διακοπών της ανεμογεννήτριας.

Ένας ακόμη παράγοντας που μπορεί να επηρεάσει την παραγωγή ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες και κατ' επέκταση όλου του αιολικού πάρκου είναι το φαινόμενο της σκίασης. Η συνολική απώλεια ενέργειας λόγω σκίασης που εμφανίζει ένα Α/Π είναι το άθροισμα των επιμέρους απωλειών, που εμφανίζει κάθε Α/Γ για όλες τις κατευθύνσεις του ανέμου.

Τέλος, απώλειες για ένα Α/Π θεωρούνται και οι απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας που προκύπτουν από τις εσωτερικές συνδέσεις των Α/Γ, αλλά και της σύνδεσης του Α/Π με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. Οι απώλειες αυτές σε γενικές γραμμές εξαρτώνται από τα μήκη των καλωδίων σύνδεσης των ανεμογεννητριών εντός του αιολικού πάρκου και τον τρόπο σύνδεσης με το δίκτυο.



Κατόπιν των προαναφερθέντων η χωροθέτηση των Α/Γ σε ένα αιολικό πάρκο θα πρέπει να γίνεται έχοντας όσο το δυνατόν λιγότερες απώλειες καθώς και πλήρωση των περιορισμών οπτικής και ηχητικής όχλησης.

Για τον υπολογισμό της αναμενόμενης ετήσιας παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούνται διάφορα στοιχεία που προκύπτουν από τις ανεμολογικές μετρήσεις καθώς και από τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν. Δηλαδή:

- το επιλυμένο πεδίο ροής του ανέμου στην περιοχή
- το ροδόγραμμα του ανέμου
- την καμπύλη ισχύος της Α/Γ
- τη μέση ετήσια θερμοκρασία στο επίπεδο της θάλασσας, καθώς και το μέσο υψόμετρο του γηπέδου ανάπτυξης του Α/Π
- την καμπύλη του συντελεστή ώσης της ανεμογεννήτριας
- τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας.

Ο υπολογισμός της ενέργειας για κάθε ανεμογεννήτρια λαμβάνει υπ' όψιν, με χρήση κατάλληλων αλγόριθμων, τα παρακάτω:

- την επίδραση της τοπογραφίας και της εδαφοκάλυψης στο πεδίο ταχυτήτων του ανέμου
- τη σκίαση, που προκαλείται σε κάθε ανεμογεννήτρια από τις υπόλοιπες, για συγκεκριμένη χωροθέτηση.
- την πυκνότητα του αέρα.

Η ετήσια παραγωγή ενέργειας περιλαμβάνει:

- την αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά ανεμογεννήτρια
- την αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά κατεύθυνση του ανέμου, καθώς και την επίδραση της τοπογραφίας και της σκίασης σε αυτήν
- τη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου σε κάθε θέση εγκατάστασης των ανεμογεννητριών καθώς και την παράμετρο μορφής της κατανομής Weibull.

4.3. Κριτήριο επιλογής ανεμογεννήτριας

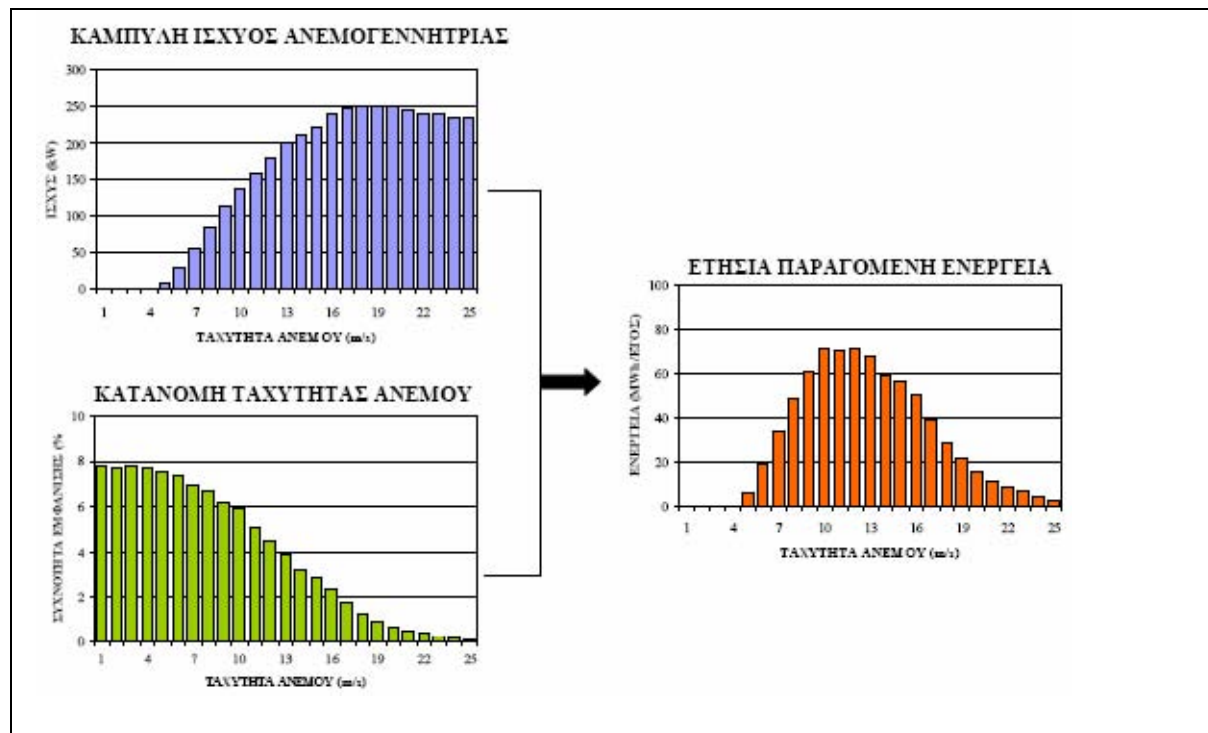
Για την επιλογή του τύπου των Α/Γ που θα απαρτίζουν ένα Α/Π λαμβάνονται υπ' όψιν οι εξής παράγοντες:

- καμπύλη ισχύος κάθε τύπου Α/Γ
- οι διαστάσεις της ανεμογεννήτριας σε συνάρτηση με τη διαθέσιμη έκταση του γηπέδου εγκατάστασης και την επιθυμητή ισχύ του αιολικού πάρκου
- περιορισμοί περιβαλλοντικής και χωροταξικής φύσεως
- τεχνικά και κατασκευαστικά θέματα (π.χ. μεταφορά ανεμογεννητριών)
- οικονομική προσφορά αγοράς και προγράμματος συντήρησης αιολικού πάρκου από τον προμηθευτή των ανεμογεννητριών.



4.4. Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ενέργειας

Η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας σε ένα διάστημα χρόνου T , εξαρτάται από τη στατιστική του ανέμου στο διάστημα T , τη χαρακτηριστική της A/Γ και τη διαθεσιμότητά της.

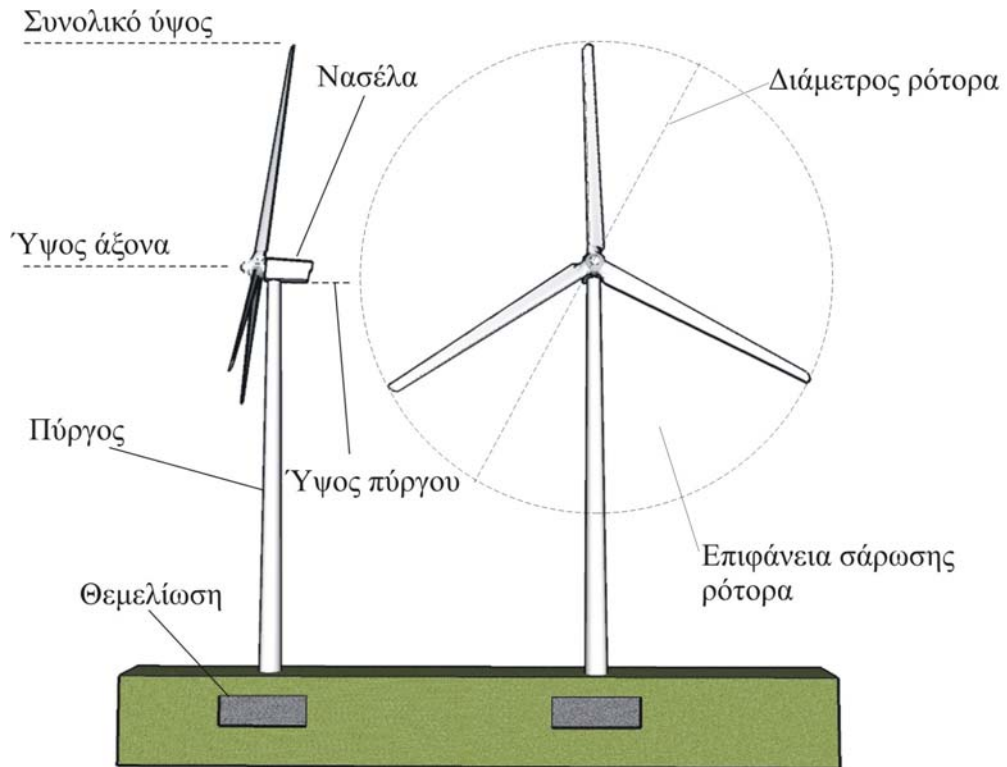


Σχήμα 4.1: Μεθοδολογία υπολογισμού αναμενόμενης ετήσιας ενέργειας

Ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από ένα αιολικό πάρκο γίνεται σε ετήσια βάση. Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, η ταχύτητα ανέμου θεωρείται σαν μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί τη θεωρητική κατανομή Weibull με μέση τιμή V και παράμετρο μορφής k .

4.5. Προτεινόμενη ανεμογεννήτρια

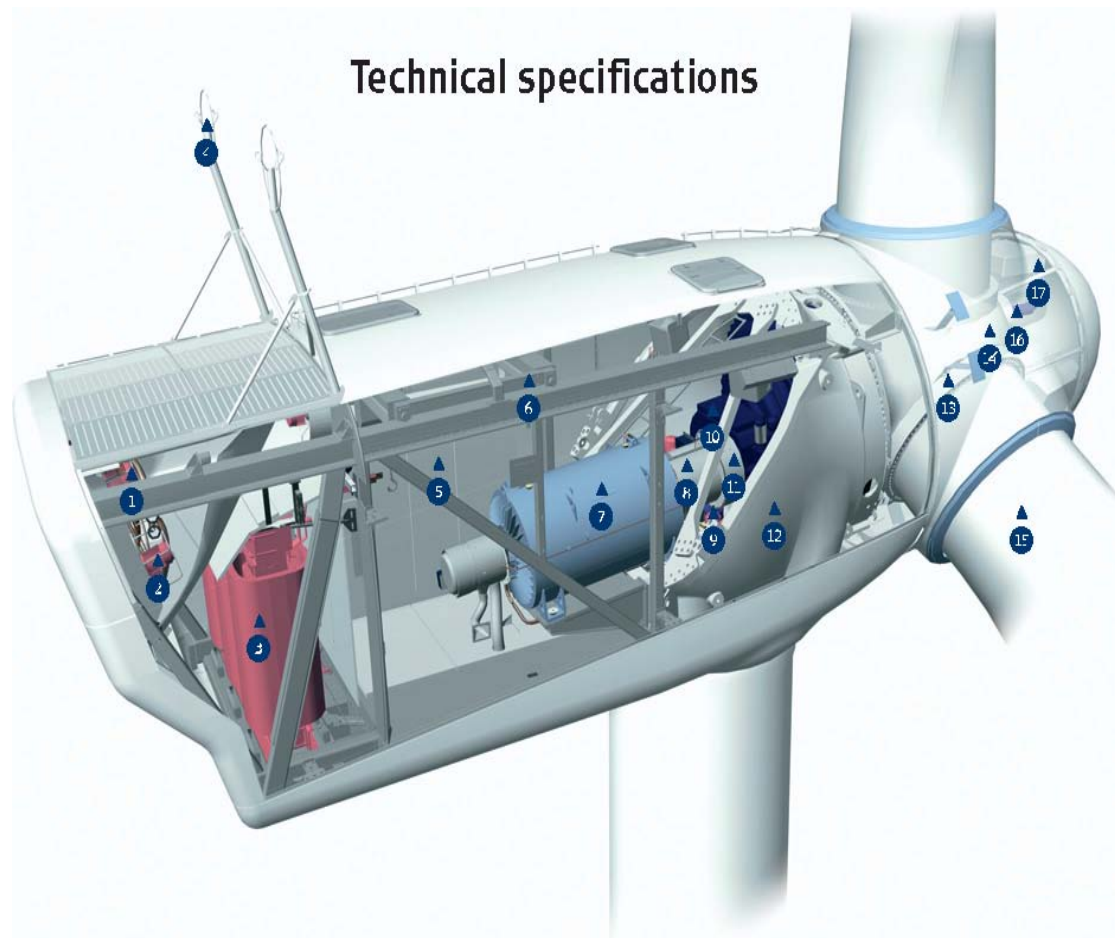
Η προτεινόμενη ανεμογεννήτρια είναι οριζοντίου άξονα και ο δρομέας της φέρει τρία πτερύγια. Τα χαρακτηριστικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα με δρομέα τριών πτερυγίων παρουσιάζονται στο σχήμα 4.2.



Σχήμα 4.2: Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα.

Λαμβάνοντας υπ' όψιν τα προαναφερόμενα κριτήρια επιλογής ανεμογεννήτριας, καταλήγουμε στην επιλογή της ανεμογεννήτριας από την εταιρεία Vestas και συγκεκριμένα το μοντέλο V90 / 3MW. Επίσης ως εναλλακτική ανεμογεννήτρια προτείνεται και το μοντέλο Enercon E82 / 3 MW.

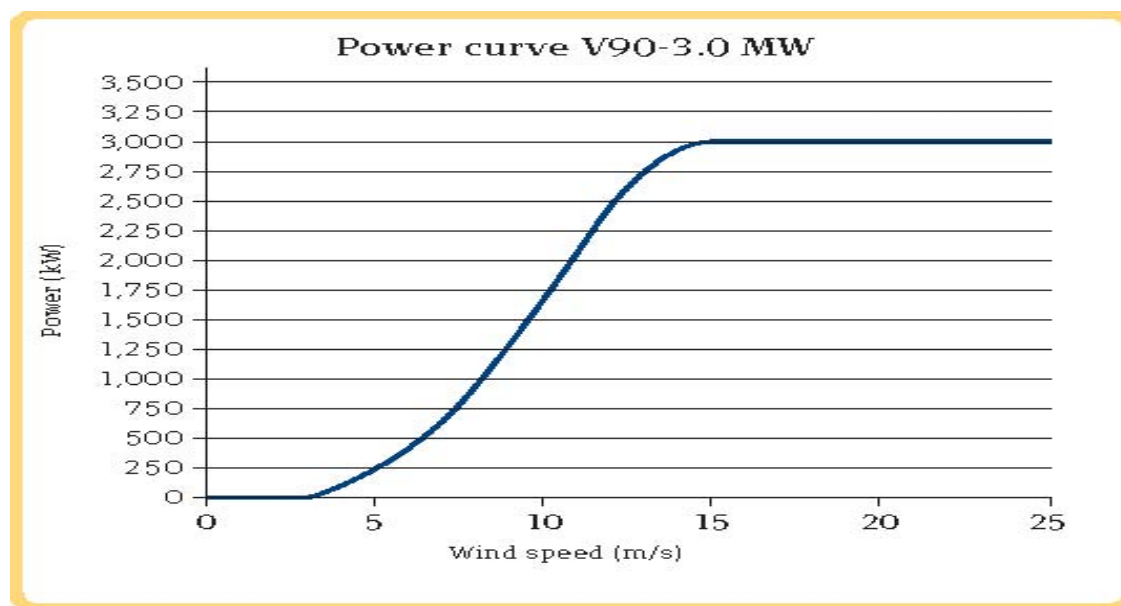
Παρακάτω παρουσιάζεται η χαρακτηριστική καμπύλη ισχύος τις εν λόγω ανεμογεννήτριας (σχήμα 4.4), καθώς και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά μεγέθη της (Πίνακας 4.1), και εικόνες από την ανεμογεννήτρια.



Σχήμα 4.3: Τα βασικά μέρη Vestas V90 / 3MW..

1. δοχείο λαδιού
2. νερό ψυκτικού συστήματος για τη γεννήτρια
3. υψηλής τάσης μετασχηματιστής
4. αισθητήρες υπερήχων άνεμος 5 VMP-Top ελεγκτής
5. service γερανό
6. ηλεκτρικής γεννήτρια
7. κιβώτιο ταχυτήτων
8. σύστημα προσανατολισμού.

Τα μέρη της συγκριμένης ανεμογεννήτριας περιγράφονται στο φυλλάδιο που έχει δώσει η εταιρία Vestas για το συγκεκριμένο μοντέλο και θα βρίσκεται στο CD που θα συνοδεύει την πτυχιακή μελέτη.



Σχήμα 4.4: Καμπύλη ισχύος Vestas V90 / 3MW.

Πίνακας 4.1: Χαρακτηριστικά στοιχεία του επιλεγμένου προς εγκατάσταση μοντέλου ανεμογεννήτριας Vestas V90 / 3 MW.

Χαρακτηριστικά δρομέα	
Διάμετρος (m)	90
Επιφάνεια σάρωσης (m ²)	6.362
Ονομαστικές στροφές (rpm)	16,1
Πεδίο λειτουργίας ονομαστικών στροφών (rpm)	8,6 – 18,4
Αριθμός πτερυγίων	3
Σύστημα ρύθμισης ισχύος	Pitch – optispeed
Πέδηση πτερυγίων	Υδραυλικοί κύλινδροι ρύθμισης βήματος (pitch)
Πύργος ανεμογεννήτριας	
Ύψος πύργου ανεμογεννήτριας (m)	80
Χαρακτηριστικά λειτουργίας	
Ταχύτητα ανέμου έναρξης λειτουργίας (m/sec)	4
Ταχύτητα ανέμου ονομαστικής λειτουργίας (m/sec)	15
Ταχύτητα ανέμου παύσης λειτουργίας (m/sec)	25
Γεννήτρια	
Τύπος	Ασύγχρονη με optispeed
Μέγιστη ισχύος εξόδου (kW)	3.000
Ονομαστική συχνότητα (Hz)	50
Ονομαστική τάση (V)	1.000
Βάρος	
Νασέλα (tn)	70
Δρομέας (tn)	41
Πύργος (tn)	160



Στις εικόνες 4.1 και 4.2. παρουσιάζονται φωτογραφίες του επιλεγμένου μοντέλου ανεμογεννήτριας.



Εικόνα 4.1: Ανεμογεννήτριες Vestas V90 στο North Pickenham της Αγγλίας.



Εικόνα 4.2: Ο δρομέας της ανεμογεννήτριας Vestas V90 / 3 MW.



4.6. Χωροθέτηση αιολικού πάρκου

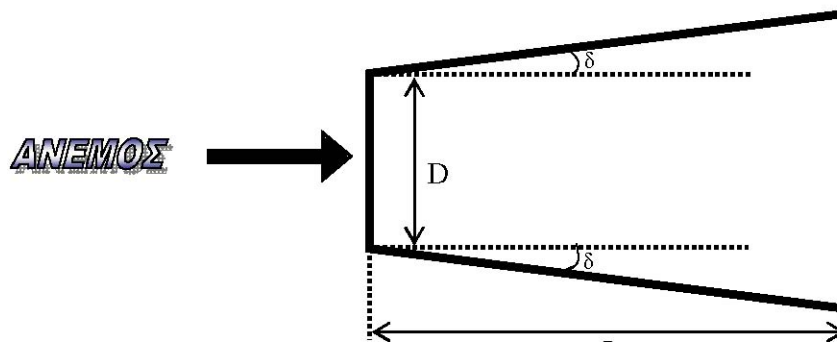
Η χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου απαιτεί την επιτόπια εξέταση των χαρακτηριστικών της περιοχής και ακριβή μελέτη εφαρμογής, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπ' όψιν όλα τα ιδιαίτερα τοπογραφικά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

4.6.1. Η επίδραση της σκίασης

Η περιοχή σκίασης μιας Α/Γ κατά τη διέλευση του ανέμου από το ρότορά της χαρακτηρίζεται από:

- μείωση της ταχύτητας του ανέμου
- υψηλή τύρβη

Στην περιοχή αυτή δεν συνίσταται η τοποθέτηση άλλων Α/Γ. Η περιοχή αυτή φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Σχήμα 4.5: Περιοχή σκίασης Α/Γ

Οι ανεμογεννήτριες λόγω της δέσμευσης ενέργειας από τον άνεμο, επιβραδύνουν τη ροή του ανέμου με αποτέλεσμα οι υπόλοιπες ανεμογεννήτριες που πιθανόν να βρίσκονται πίσω από την πρώτη να μην λαμβάνουν άνεμο τόσο 'δυνατό', όσο εξέλαβε η πρώτη ανεμογεννήτρια.

Η απόσταση L στην οποία ο άνεμος ανακάτα τα αρχικά του χαρακτηριστικά έχει εκτιμηθεί από πειραματικά δεδομένα ότι είναι στην περιοχή $8D$ έως $10D$, όπου D η διάμετρος του ρότορα της Α/Γ. Από πειραματικά δεδομένα επίσης έχει προκύψει ότι η γωνία δ κυμαίνεται από $11,5^\circ$ έως $12,5^\circ$.

Για το υπό ανάπτυξη σύστημα οι προτεινόμενες (default) τιμές είναι:

- $L=10D$
- $\delta=12^\circ$.

Η περιοχή όπως διαμορφώνεται για τις προτεινόμενες τιμές είναι ένα τραπέζιο, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5, με:

- Ύψος L
- Μικρή βάση D και
- Μεγάλη βάση $D+2L\epsilon\phi 12^\circ$

Το πρόβλημα της μακροσκοπικής χωροθέτησης ενός αιολικού πάρκου σε μια περιοχή συνίσταται στη βέλτιστη τοποθέτηση των Α/Γ του, λαμβάνοντας υπόψη τη

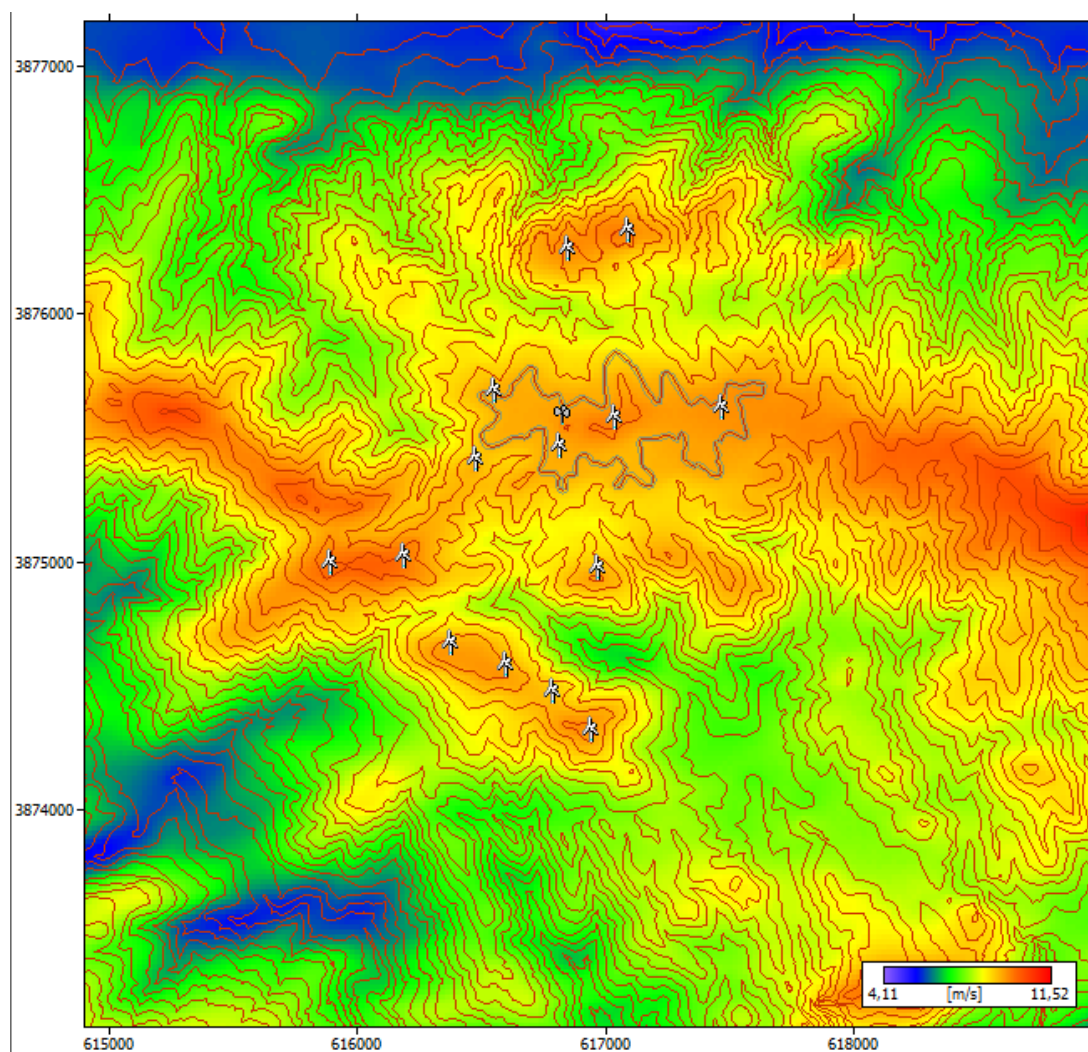


σκίαση που προκαλεί μια Α/Γ στην περιοχή, και τα ροδογράμματα του ανέμου στις υποψήφιες θέσεις εγκατάστασης.

4.7. Χωροθέτηση ανεμογεννητριών αιολικού πάρκου

Γενικά, για την αποδοτική χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου θα πρέπει η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών να είναι τουλάχιστον ίση με τρεις φορές τη διάμετρο της πτερωτής, οι ανεμογεννήτριες στο υπό μελέτη αιολικό πάρκο θα πρέπει να έχουν απόσταση τουλάχιστον ίση με 270 m (υπενθυμίζεται ότι η διάμετρος του επιλεγμένου μοντέλου ανεμογεννήτριας είναι 90 m).

Με βάση τα παραπάνω και εφόσον έχουμε ήδη εκτιμήσει το αιολικό δυναμικό της περιοχής μας, επιλέγουμε τις θέσεις των ανεμογεννητριών, όπως αυτές φαίνονται στην παρακάτω χάρτη 4.1. Στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται οι συντεταγμένες των ανεμογεννητριών.



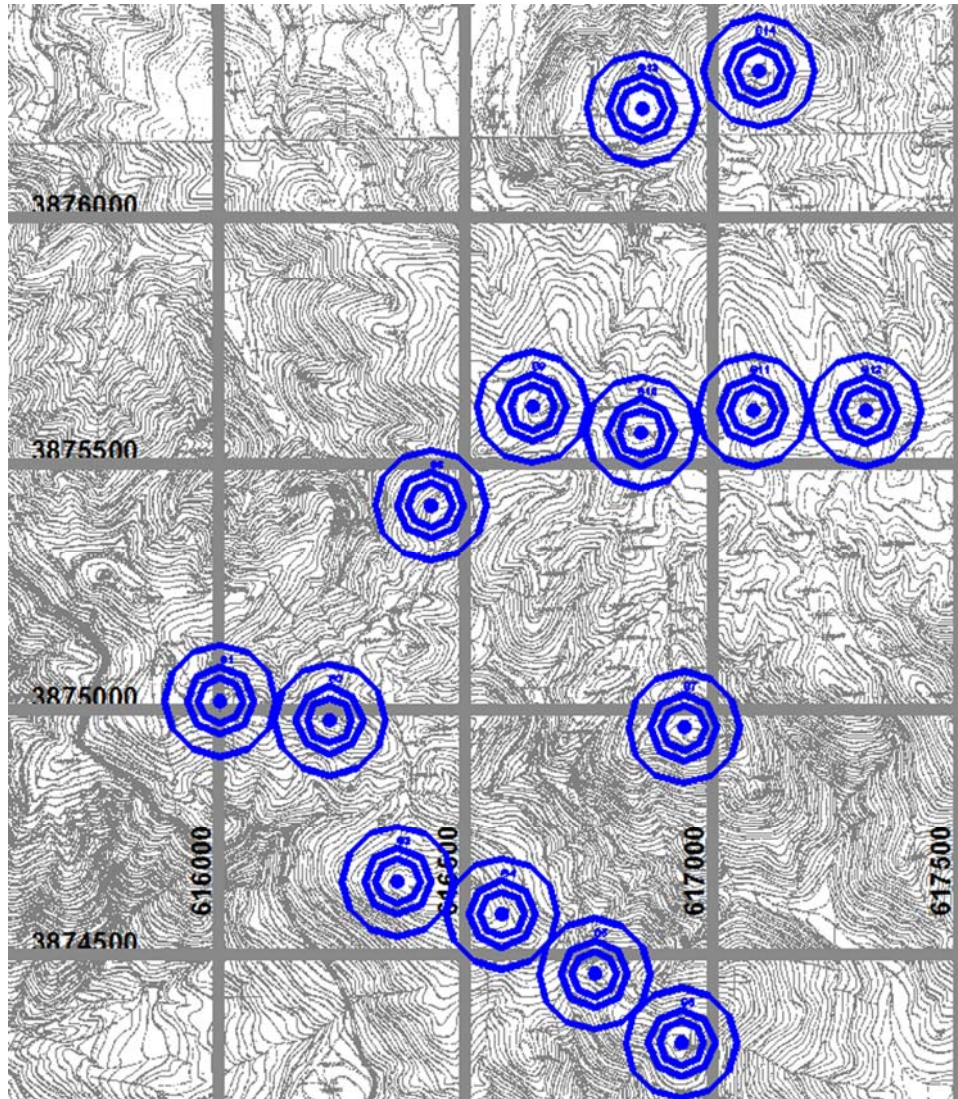
Χάρτης 4.1.:χωροθέτηση 14 Α/Γ εικόνα από Wasp

**Πίνακας 4.2:** Συντεταγμένες των ανεμογεννητριών και του ιστού μέτρησης.

Α/Α	Συντεταγμένες θέσεων Α/Γ και Ιστού Μετρήσεων σε ΕΓΣΑ '87		Συντεταγμένες θέσεων Α/Γ και Ιστού Μετρήσεων σε WGS 84		Υψόμετρο θέσεων εγκατάστασης Α/Γ και Ιστού Μετρήσεων (m)
	X	Y	φ	λ	
Α/Γ 1	616857,48	3876221,09	35°01'28,14''	25°16'57,29''	451
Α/Γ 2	617094,73	3876296,49	35°01'30,49''	25°17'06,68''	469
Α/Γ 3	617310,23	3875606,92	35°01'08,02''	25°17'14,84''	485
Α/Γ 4	617082,62	3875607,00	35°01'08,12''	25°17'05,86''	485
Α/Γ 5	616855,76	3875562,21	35°01'06,76''	25°16'56,88''	492
Α/Γ 6	616636,00	3875613,30	35°01'08,51''	25°16'48,24''	486
Α/Γ 7	616429,04	3875414,43	35°01'02,14''	25°16'39,98''	468
Α/Γ 8	616003,01	3875016,34	35°00'49,40''	25°16'22,97''	470
Α/Γ 9	616224,55	3874977,53	35°00'48,05''	25°16'31,69''	470
Α/Γ 10	616942,98	3874962,81	35°00'47,27''	25°17'00,02''	453
Α/Γ 11	616362,73	3874648,66	35°00'37,32''	25°16'36,97''	481
Α/Γ 12	616574,06	3874582,40	35°00'35,08''	25°16'45,28''	462
Α/Γ 13	616761,48	3874460,85	35°00'31,05''	25°16'52,61''	431
Α/Γ 14	616937,71	3874320,34	35°00'26,42''	25°16'59,49''	426

Τα ακριβή όρια του οικοπέδου εγκατάστασης του αιολικού πάρκου, οι θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών και του ιστού μέτρησης παρέχονται στο συνημμένο τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:5.000, με αριθμό σχεδίου ΤΠ1 και το οποίο θα περιλαμβάνεται και στο CD που θα συνοδεύει την πτυχιακή μελέτη. Το σχέδιο αυτό έχει σχεδιαστεί σε υπόβαθρο των φύλλων χάρτη της Γ.Υ.Σ. με αριθμό 96406 και 96408.

Στο χάρτη 4.1 παρουσιάζεται η τελική χωροθέτηση των Α/Γ Vestas V90 / 3 MW στο αιολικό πάρκο της μελέτης της πτυχιακής εργασίας στα προτεινόμενα οικοπέδα εγκατάστασης, σε υπόβαθρο χάρτη Γ.Υ.Σ. και σε κλίμακα του Ελληνικού Γεωδαιτικού Συστήματος Αναφοράς '87 (Ε.Γ.Σ.Α. '87).



*Χάρτης 4.2: Ενδεικτική χωροθέτηση Α/Γ Vestas V90 / 3 MW στο εξεταζόμενο αιολικό πάρκο
εικόνα από τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:5.000*

4.8. Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ενέργειας

Μετά τη χωροθέτηση του Α/Π, η αναμενόμενη παραγωγή του υπολογίζεται σαν το άθροισμα της αναμενόμενης παραγωγής από κάθε Α/Γ $EA/\Pi = \sum E_i$, όπου (E_i) η αναμενόμενη παραγωγή κάθε Α/Γ

Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν (Πίνακας 4.3, 4.4 και 4.5).

**Πινάκας 4.3:** πινάκας αποτελεσμάτων ετήσιας παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας αιολικού πάρκου.

Παράμετρος	Συνολική ενέργεια από το Α/Π	Μέση παράγωγή ενέργειας ετήσιος ανά Α/Γ	Ελαχίστη παράγωγή ενέργειας ετήσιος ανά Α/Γ	Μεγίστη παράγωγή ενέργειας ετήσιος ανά Α/Γ
Καθαρή παράγωγή (Net AEP) [GWh]	169,256	12,090	10,862	13,607
Ακαθάριστοι παράγωγή (Gross AEP) [GWh]	179,907	12,850	12,210	13,649
Απώλειες παράγωγης (Wake loss)[%]	5,92	-	-	-

Από την παράγωγή αυτήν προκύπτει ότι το Α/Π έχει έναν συντελεστή πασχόλησης:

$$C.F. = \frac{E}{8760 \cdot P_R} = \frac{\bar{P}}{P_R} = 169,2560 \cdot 1000 / 8760 \cdot 42 = 0,46$$

**Πινάκας 4.4: Πίνακας αποτελεσμάτων ετήσιας παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας ανά Α/Γ.**

Site	Τοποθεσία (Location) [m]	Επιλεγμένη Ανεμογεννήτρια	Υψόμετρο εδάφους από το επίπεδο της θάλασσας [m] a.s.l.	Υψόμετρο πλήμης από το επίπεδο του εδάφους [m] a.g.l.	Καθαρή παραγωγή (Net AEP) [GWh]	Ποσοστό που χάνεται (Wake loss)[%]
A/Γ 001	(616857,0, 3876222,0)	V30_3MW	460	80	12,870	0,04
A/Γ 002	(617094,3, 3876297,0)	V30_3MW	480	80	13,002	0,03
A/Γ 003	(617476, 3875582)	V30_3MW	480	80	12,730	1,9
A/Γ 004	(617042,6, 3875542,0)	V30_3MW	500	80	12,270	6,75
A/Γ 005	(616818,5, 3875428,0)	V30_3MW	481	80	11,664	6,71
A/Γ 006	(616558,5, 3875654,0)	V30_3MW	480	80	12,394	0,98
A/Γ 007	(616483,3, 3875377,0)	V30_3MW	480	80	11,526	7,49
A/Γ 008	(615899,6, 3874957,0)	V30_3MW	480	80	13,607	0,31
A/Γ 009	(616195,6, 3874987,0)	V30_3MW	480	80	13,268	1,23
A/Γ 010	(616978,6, 3874934,0)	V30_3MW	480	80	11,066	13,32
A/Γ 011	(616384,7, 3874634,0)	V30_3MW	480	80	11,513	10,38
A/Γ 012	(616602,5, 3874542,0)	V30_3MW	480	80	11,607	9,7
A/Γ 013	(616794,7, 3874438,0)	V30_3MW	443	80	10,877	10,92
A/Γ 014	(616950,5, 3874281,0)	V30_3MW	456	80	10,862	14,16

4.8.1. Παρουσίαση χαρακτηριστικών μεγεθών ανέμου

Στην παράγραφο αυτή θα πραγματοποιηθεί μια συνοπτική παρουσίαση των παραμέτρων V_m , $C(A)$, k , RIX .

**Πινάκας 4.5:** Πίνακας αποτελεσμάτων παραμέτρων A , k , U , E , RIX , $dRIX$.

A/A	Συντεταγμένες [m]	Παράμετρος Weibull C (m/sec)	Παράμετρος Weibull k	Μέση ετήσια ταχύτητα (m/sec)	Πυκνότητα αιολικής ισχύος (W/m ²)
A/Γ 001	(616857,0, 3876222,0)	10,8	2,20	9,56	935
A/Γ 002	(617094,3, 3876297,0)	10,9	2,20	9,64	961
A/Γ 003	(617476, 3875582,08)	10,9	2,21	9,61	948
A/Γ 004	(617042,6, 3875542,0)	11,0	2,20	9,72	984
A/Γ 005	(616818,5, 3875428,0)	10,6	2,20	9,37	880
A/Γ 006	(616558,5, 3875654,0)	10,6	2,20	9,37	880
A/Γ 007	(616483,3, 3875377,0)	10,6	2,16	9,38	898
A/Γ 008	(615899,6, 3874957,0)	11,3	2,21	10,00	1066
A/Γ 009	(616195,6, 3874987,0)	11,1	2,21	9,87	1027
A/Γ 010	(616978,6, 3874934,0)	10,7	2,20	9,51	921
A/Γ 011	(616384,7, 3874634,0)	10,8	2,21	9,54	925
A/Γ 012	(616602,5, 3874542,0)	10,8	2,21	9,54	926
A/Γ 013	(616794,7, 3874438,0)	10,4	2,21	9,20	831
A/Γ 014	(616950,5, 3874281,0)	10,7	2,21	9,43	895



Κατασκευή και διασύνδεση αιολικού πάρκου

5.1. Κατασκευή δρόμου προσπέλασης και εσωτερικής οδοποιίας Α/Π

Όδευση προς το Αιολικό Πάρκο.

Η όδευση προς το Αιολικό Πάρκο θα πραγματοποιηθεί από τον οικισμό «Τούτσουρος» με κατεύθυνση βόρεια και ανατολικά προς τις θέσεις «Καστελλιανά», για να καταλήξει στο Α/Π στη θέση Οροσειρά Αστερουσών,

Μικρές παρεμβάσεις θα χρειαστεί να πραγματοποιηθούν για τη διαπλάτυνση κατά μήκος της οδού πρόσβασης, καθώς και τοπικά πλησίον του οικισμού «Τουτσουρος» για τη μεταφορά των Α/Γ.

Οι προδιαγραφές του δρόμου πρόσβασης στο Α/Π όπως ορίζονται από την κατασκευάστρια εταιρία των Α/Γ (VESTAS) περιγράφονται παρακάτω:

- Ελάχιστο πλάτος του δρόμου πρόσβασης: 5 m.
- Μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση κατά τη διεύθυνση του δρόμου: 14%.
- Μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση κατά την κάθετη διεύθυνση του δρόμου: έως 3,5%.
- Μέση ακτίνα καμπυλότητας σε στροφές μεγαλύτερες των 70°: 18 m.
- Μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση στη διεύθυνση του δρόμου και σε σημεία στροφής: 3%.

Εσωτερική οδοποιία Α/Π.

Για την περιοχή εντός του αιολικού πάρκου προβλέπεται διαπλάτυνση 3.000 m εσωτερικής οδοποιίας και διάνοιξη 1.500 m. Στην περιοχή όπου υπάρχει ιδιαιτερώς υφιστάμενη οδοποιία θα χιαστεί διαπλάτυνση του στα 2000 m από το σημείο που αρχίζει ο χωματόδρομος μέχρι τα σημεία Α/Γ 5, Α/Γ 6, Α/Γ 7, Α/Γ 8, Α/Γ 9, Α/Γ 11. Διάνοιξη οδοποιίας θα χιαστεί για της Α/Γ 1, Α/Γ 2, Α/Γ 10 το οποίο φτάνει τα 1.500 m.

Αναλυτικό σχέδιο της εσωτερικής οδοποιίας του Αιολικό Πάρκο επισυνάπτεται στα συνημμένα στα σχέδια υπ' αριθμό ΤΠ2.

5.2. Διαμόρφωση πλατειών Α/Π

Παράλληλα με τη διάνοιξη της εσωτερικής οδοποιίας του Αιολικού Πάρκου, θα διαμορφωθούν 14 πλατείες, σύμφωνα με τις προδιαγραφές των ανεμογεννητριών V90-3MW. Για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου απαιτείται διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου γύρω από τη θέση εγκατάστασης κάθε μίας από αυτές.



Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται γύρω από τη θέση της κάθε ανεμογεννήτριας η κατασκευή ενός πλήρως ισοπεδωμένου πλατώματος διαστάσεων 50 m x 50 m για την τοποθέτηση του πυλώνα, του θαλάμου και τη συναρμολόγηση των πτερυγίων στο έδαφος επί της πλήμνης, πριν την τελική ανέγερση και εγκατάστασή τους στην τελική θέση. Το θεμέλιο της Α/Γ θα βρίσκεται σε κατάλληλο σημείο στο κέντρο του πλατώματος.

Η ισοπέδωση της επιφάνειας ανέγερσης θα γίνει στο μεγαλύτερο βαθμό με εκχέρσωση του χώρου, ώστε να υπάρχει στέρεο έδαφος στην ευρύτερη περιοχή που θα εναποτεθεί ο εξοπλισμός και όπου θα κινηθούν τα οχήματα μεταφοράς και τα ανυψωτικά μηχανήματα.

Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί εξομάλυνση της δημιουργηθείσας επιφάνειας και κατασκευή απισωτικής στρώσης ώστε να προκύψει οριζόντια επιφάνεια, ενώ τέλος θα υλοποιηθεί τελική διάστρωση με υλικό 3Α με μέσο πάχος 15 cm.

Οι πλατείες που θα διαμορφωθούν θα έχουν επίπεδη επιφάνεια και θα έχουν υποστεί τη διεργασία συμπύκνωσης με κατάλληλα βαρέα δονητικά οχήματα.

5.3. Κατασκευή βάσεων θεμελίωσης Α/Γ

Μετά την εκσκαφή και μορφοποίηση της σκάφης των πλατειών σε στάθμη 25 εκατοστών κάτω από την πλάκα έδρασης της Α/Γ, θα γίνει η εκσκαφή 14 ορυγμάτων θεμελίωσης.

Τα πρανή του σκάμματος κάθε βάσης θα έχουν κατάλληλες κλίσεις ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους και το δάπεδο του σκάμματος θα είναι εντελώς οριζόντιο. Η παρουσία ενός τοπογράφου μηχανικού εγγυάται την ακρίβεια των σταθμών και την οριζοντιοποίηση των πλατειών και των σκαμμάτων θεμελίωσης. Σε κάθε σκάμμα απαιτείται μία πρώτη στρώση με μπετόν καθαριότητας C12-15 και στη συνέχεια οπλισμένο σκυρόδεμα ποιότητας C25-30. Για τον έλεγχο της ποιότητας του σκυροδέματος πρέπει να παρθούν εγκαίρως (κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης) τουλάχιστον 12 δοκίμια από κάθε μία βάση και να εξετασθούν σε έλεγχο θραύσης στο αρμόδιο εργαστήριο του Υπουργείου Δημοσίων Έργων. Με το πέρας της σκυροδέτησης θα γίνει η επίχωση των θεμελίων με τα κατάλληλα προϊόντα εκσκαφής σε στρώσεις 30 εκατοστών και τα οποία υπόκεινται σε συμπύκνωση (95% κατά πρόκτορα).

5.4. Ανέγερση πύργου, πλήμνης και πτερυγίων των ανεμογεννητριών

Αφού έχει ολοκληρωθεί η μεταφορά και εκφόρτωση των βασικών τμημάτων της Α/Γ (πύργος – πλήμνη – πτερύγια) στην πλατεία κάθε Α/Γ, γίνεται η συναρμολόγηση των πτερυγίων και η σύνδεσή τους στην πλήμνη. Στη συνέχεια ξεκινάει η ανέγερση, καθετοποίηση και πάκτωση των τμημάτων του πύργου. Οι παραπάνω εργασίες πραγματοποιούνται με τη βοήθεια γερανών βάσει των προδιαγραφών και οδηγιών της κατασκευάστριας εταιρίας VESTAS.



5.5. Κατασκευή οικίσκου ελέγχου και βοηθητικών χώρων.

Σε στρατηγική θέση του αιολικού πάρκου θα ανεγερθεί οικίσκος (το κέντρο ελέγχου του αιολικού πάρκου μπορούμε να το δούμε και στο τοπογραφικό σχέδιο ΤΠ2 έργα πολιτικού μηχανικού το οποίο θα συνοδευτεί στο CD μαζί με την πτυχιακή μελέτη) κατάλληλος για να στεγάσει το σύστημα ελέγχου, εποπτείας και μετρήσεων του αιολικού πάρκου, τους χώρους αποθήκευσης των απαραίτητων εργαλείων, αναλωσίμων και ανταλλακτικών, να παρέχει τις απαραίτητες διευκολύνσεις για την παραμονή των τεχνικών συντήρησης και λειτουργίας, κλπ.

Το κέντρο ελέγχου αιολικού πάρκου θα είναι ισόγειο. Η επιφάνεια του κτιρίου θα είναι περίπου 80 m². Το κτίριο θα είναι κατάλληλα διαχωρισμένο για να ανταποκρίνεται στους κανονισμούς καθώς και στις λειτουργικές απαιτήσεις του αιολικού πάρκου και θα περιλαμβάνει τους εξής ανεξάρτητους χώρους:

- χώρος πινάκων μέσης τάσης
- χώρος επισκευών
- γραφείο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της λειτουργίας του αιολικού πάρκου, όπου θα εγκατασταθεί και ο κεντρικός ηλεκτρονικός υπολογιστής του συστήματος SCADA
- αποθήκη για εργαλεία, ανταλλακτικά και αναλώσιμα, τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του αιολικού πάρκου
- W.C. και αποδυτήρια

Η παροχή νερού θα γίνεται με την βοήθεια δεξαμενής νερού και η αποχέτευση με την κατασκευή κατάλληλου σηπτικού βόθρου.

Στο χώρο του κτιρίου θα υπάρχουν:

- πεδία άφιξης καλωδίων μέσης τάσης (20 kV) της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών
- πεδία αναχώρησης καλωδίων μέσης τάσης (20 kV) της κάθε ομάδος προς το σημείο του δικτύου μέσης τάσης της Δ.Ε.Η.
- πεδία πινάκων μέσης τάσης του αιολικού πάρκου
- υποσταθμός ΜΤ/ΧΤ με μετασχηματιστή τύπου λαδιού 50 kVA, 20 kV/400 V, χαμηλών απωλειών, για την τροφοδοσία των βοηθητικών κυκλωμάτων και καταναλώσεων του κτιρίου (για την ηλεκτρική τροφοδότηση των εγκαταστάσεων κλιματισμού, πυρασφάλειας, πυρόσβεσης, πυρανίχνευσης, συναγερμού, φωτισμού και ρευματοδοτών, θερμοσίφωνα, την τροφοδοσία του συστήματος UPS, φωτιστικών σωμάτων, κλπ).
- μονάδα UPS (Uninterruptible Power Supply) για την τροφοδοσία των κρίσιμων φορτίων (π.χ. μονάδα Η/Υ, σύστημα SCADA, φώτα ασφαλείας κλπ)
- πίνακες χαμηλής τάσης υπηρεσιών κτιρίου
- σύστημα κλιματισμού του κτιρίου
- Συναγερμός.

Στο κτίριο ελέγχου του αιολικού πάρκου θα εγκατασταθεί πλήρες Σύστημα Ελέγχου, Εποπτείας και Μετρήσεων (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition), το οποίο θα περιλαμβάνει κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, εκτυπωτή, modem, interface κλπ., περιφερειακές μονάδες με επεξεργαστή (RTU) σε κάθε



ανεμογεννήτρια και κάθε μετεωρολογικό ιστό και το απαραίτητο εξειδικευμένο λογισμικό για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου και μετρήσεων.

Μέσω του συστήματος SCADA το αιολικό πάρκο θα έχει τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνία με το Κέντρο Κατανομής Φορτίου Κρήτης της Δ.Ε.Η.

5.6. Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός

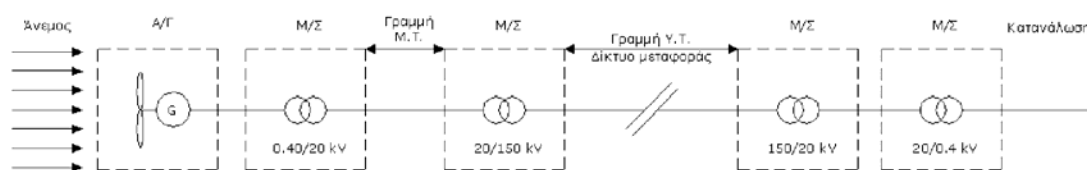
Η κάθε ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια στη χαμηλή τάση των 690 volts. Για να γίνει δυνατή η διασύνδεση της κάθε ανεμογεννήτριας με το εσωτερικό δίκτυο μέσης τάσης του αιολικού πάρκου χρησιμοποιούνται υποσταθμοί XT/MT, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στη βάση του πυλώνα κάθε ανεμογεννήτριας.

Η ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των ανεμογεννητριών αποτελείται από ένα κλάδο.

Τα καλώδια μέσης τάσης θα συνδέουν την πλευρά του υποσταθμού της κάθε ανεμογεννήτριας (πίνακας εξόδου), με την πλευρά μέσης τάσης του υποσταθμού της επόμενης ανεμογεννήτριας (πίνακας εισόδου). Τα καλώδια μέσης τάσης 20 kV για τη διασύνδεση της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών θα οδεύουν σε υπόγειο κανάλι μέσα σε πλαστικούς σωλήνες για πρόσθετη μηχανική αντοχή και θα βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο σε απόσταση 20 cm περίπου μεταξύ τους.

Στον πίνακα εισόδου του κτιρίου ελέγχου του αιολικού πάρκου το δίκτυο διασύνδεσης του αιολικού πάρκου με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. θα συνδεθεί με το υπόγειο καλώδιο ισχύος μέσης τάσης του αιολικού πάρκου, το οποίο θα διασχίζει το κτίριο ελέγχου υπόγεια μέχρι την αυλή του κέντρου ελέγχου ως το σημείο των στύλων ανύψωσης των γραμμών. Από εκεί θα αναχωρεί το δίκτυο μέσης τάσης διασύνδεσης του αιολικού πάρκου εναέρια μέχρι την άφιξη στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο της Δ.Ε.Η.

Στο σχήμα 5.1 παρουσιάζεται η ροή της παραγόμενης ενέργειας από το αιολικό πάρκο έως την κατανάλωση.



Σχήμα 5.1: Μονογραμμικό διάγραμμα ροής ενέργειας από την πρωτογενή διαθέσιμη αιολική ενέργεια έως την τελική διαθέσιμη προς κατανάλωση ηλεκτρική ενέργεια.

5.7. Κατασκευή του κεντρικού υποσταθμού του Αιολικού Πάρκου.

Για την κατασκευή του κεντρικού υποσταθμού του Αιολικού Πάρκου επιλέγει συγκρότημα κυψελωτών πινάκων Μ.Τ. με διακόπτες SF6, τύπου UNISWITCH, κατασκευής ABB, σύμφωνα με τα συνημμένα τεχνικά στοιχεία.

Το συγκρότημα αυτό αποτελείται από τα παρακάτω περιγραφόμενα πεδία:

- Δύο (2) κυψέλες άφιξης από κάθε κλειστό βρόγχο Αιολικού Πάρκου, τύπου UNISWITCH/CBC 24, η κάθε μια εξοπλισμένη με ένα Δ/Φ SF6



- 630 A με ενσωματωμένο γειωτή, ένα αυτόματο διακόπτη ισχύος SF6 τύπου HAD US 24 KV, 630 A, 16 KA, συνδεδεμένοι με μηχανική μανδάλωση, τρεις μετασχηματιστές εντάσεως, ηλεκτρονόμο δευτερογενούς προστασίας υπερεντάσεως φάσεων/γης και τρεις χωρητικούς καταμεριστές.
- b. Μια κυψέλη σύνδεσης Μ/Σ 20/0,4 kV, 25 kVA για την τροφοδοσία του υποσταθμού – οικίσκου ελέγχου, η οποία θα περιλαμβάνει αποζεύκτη φορτίου 24 KV, 630 A, 16 KA σε κοινό κέλυφος με γειωτή, χειροκίνητο μηχανισμό λειτουργίας για τον αποζεύκτη και το γειωτή, (το άνοιγμα του αποζεύκτη θα γίνεται με χρήση μπουτόν), τρεις βάσεις ασφαλειών και ασφάλειες για την προστασία του Μ/Σ, μηχανική ένδειξη τηγμένης ασφάλειας και τρεις χωρητικούς καταμεριστές.
- c. Μία (1) κυψέλη διασύνδεσης με Δ.Ε.Η. τύπου UNISWITCH /SMC 24 εξοπλισμένη με δύο μανδαλωμένους Δ/Φ SF6 630 A με ενσωματωμένο γειωτή, ένα ηλεκτροκίνητο αυτόματο διακόπτη ισχύος τύπου HAD US 24 KV, 630 A, 16 KA, τρεις Μ/Σ εντάσεως μέτρησης - προστασίας 400/1 – 1A cl 0,5 – 15 VA & 5P10 – 10 A, τρεις μονοπολικούς Μ/Σ τάσεως $\frac{20}{\sqrt{3}}$ / $\frac{0,1}{\sqrt{3}}$ / $\frac{0,1}{3}$ KV, 50 VA, cl 0,5, καθώς και μια μονάδα προστασίας, ελέγχου και μετρήσεων τύπου REF 541, που περιλαμβάνει όλες τις απαιτούμενες προστασίες (υπερεντάσεως, ορίων τάσεως, ορίων συχνότητας και ομοπολικής συνιστώσας της τάσεως) και μετρήσεις (τάση, ρεύμα, συχνότητα, ενεργός ισχύς, άεργος ισχύς, παραγόμενη / καταναλισκόμενη ενέργεια) καθώς και την ένδειξη της κατάστασης του αυτόματου διακόπτη ισχύος και τρεις χωρητικούς καταμεριστές.
- d. Μία κυψέλη βοηθητικού Μ/Σ 20 kV/0,4 KV, 25 kVA με Δ/Φ.

5.8. Καλωδίωση πύργων των Α/Γ

Κατά τη φάση αυτή γίνεται η στήριξη και η διασύνδεση των καλωδίων, ισχύος και ελέγχου, μέσα στον πύργο των Α/Γ. Τα καλώδια αυτά οδηγούνται από τη νασέλλα στον πίνακα που βρίσκεται στη βάση του πύργου βάσει των προδιαγραφών της κατασκευάστριας εταιρείας Vestas.

5.9. Δίκτυο σύνδεσης Α/Γ

Η σύνδεση των Α/Γ θα γίνει με υπόγειο καλώδιο μέσης τάσης 20 KV, το οποίο θα είναι τύπου XLPE, 12/20 KV, κατά IEC 502, διατομής 3x(1x240 mm²). Ο τρόπος σύνδεσης των Α/Γ θα γίνει με 3 κλειστούς βρόγχους, οι οποίοι θα περιλαμβάνουν από 5 Α/Γ οι 2 βρόχοι, και 4 Α/Γ ο τρίτος αναλυτικά περιέχονται στα συνημμένα σχέδιο ΗΜ1. Τα καλώδια θα τοποθετηθούν υπογείως σε κανάλι όδευσης καλωδίων, διαστάσεων 0,60x1,0 m, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Δ.Ε.Η.

Κάθε βρόγχος θα καταλήγει σε έναν Κεντρικό Πίνακα Ελέγχου Μέσης Τάσης, ο οποίος θα εγκατασταθεί σε ανεξάρτητο χώρο, του κτιρίου ελέγχου.



Ο Κεντρικός Πίνακας Ελέγχου Μέσης Τάσης, θα περιλαμβάνει κυψέλη εξόδου μέσης τάσης 20 KV, από την οποία θα αναχωρεί καλώδιο προς τον τερματικό στύλο της γραμμής M/T, η οποία θα συνδέει το Αιολικό Πάρκο (Α.Π.) με τον Υποσταθμό Υψηλής Τάσης (150 KV). Η κυψέλη εξόδου θα περιλαμβάνει και μονάδα προστασίας (Διακόπτη Ισχύος), ελέγχου και μετρήσεων, με όλες τις απαιτούμενες προστασίες και μετρήσεις.

Η βοηθητική τάση λειτουργίας των 400 V, του Οικίσκου Ελέγχου, θα εξασφαλίζεται μέσω ενός M/T ελαίου ισχύος 20 KV/0,4 KV.

5.10. Κατασκευή καναλιού καλωδίων

Παράλληλα με την κατασκευή των δρόμων πρέπει να γίνει η διάνοιξη ενός χαντακιού διαστάσεων 0,6 m πλάτους και 1,0 m βάρους, για την τοποθέτηση των καλωδίων σύνδεσης των ανεμογεννητριών υπόγεια. Στο δάπεδο του χαντακιού τοποθετείται άμμος πάχους 0,10-0,15 m. Μετά τοποθετούνται τα καλώδια και σκεπάζονται πάλι με άμμο πάχους 0,20 m. Ακολουθεί στρώση με τσιμεντόπλακες, ενώ στην συνέχεια ακολουθούν μία στρώση με χαλίκια 0,15 m πάχους και η τελική στρώση με προϊόντα εκσκαφής συμπυκνωμένα όπως παραπάνω. Τμήματα του χαντακιού που διακόπτονται από δρόμο ή εμπεριέχονται μέσα στις πλατείες πρέπει να έχουν πρόσθετο βάθος 0,20 m. Οι τσιμεντόπλακες προστασίας που χρησιμοποιούνται στα τμήματα αυτά πρέπει να αντέχουν τα φορτία των διερχομένων οχημάτων.

5.11. Εγκατάσταση καλωδίων

Τοποθέτηση περισσότερων του ενός καλωδίων στο ίδιο κανάλι

Σε περίπτωση που τοποθετούνται περισσότερα του ενός καλώδια, το ένα κοντά στο άλλο, είναι απαραίτητο να υπάρχει αρκετός χώρος για αερισμό. Συγκεκριμένα πρέπει να τηρούνται τα ακόλουθα:

- Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των καλωδίων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με δύο φορές τη διάμετρο των καλωδίων.
- Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των καλωδίων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τέσσερις φορές τη διάμετρό τους.
- Πρέπει να τοποθετούνται σε οριζόντια διάταξη ακόμα και αν ο αριθμός των καλωδίων υπερβαίνει τα τρία.

Επιτρεπόμενη ακτίνα κάμψης κατά την εγκατάσταση σε συνάρτηση με την εξωτερική διάμετρο D του καλωδίου

Η επιτρεπόμενη ακτίνα κάμψης των καλωδίων δίνεται από τον πίνακα 5.1 συναρτήσει της εξωτερικής διαμέτρου του καλωδίου D.



Πίνακας 5.1.: Επιτρεπόμενη ακτίνα κάμψης των καλωδίων συναρτήσει της εξωτερικής διαμέτρου των D .

Τάση λειτουργίας	Στοιχεία καλωδίου	Ελάχιστη ακτίνα κάμψης
Καλώδια μέχρι και 1 KV	$D = 10 \text{ mm}$	$3xD$
	$D = 10 \text{ έως } 25 \text{ mm}$	$4xD$
	$D > 25 \text{ mm}$	$6xD$
	Οπλισμένα	$6xD$
Καλώδια 1 KV	Με πλαστική μόνωση και αγωγούς σχήματος κυκλικού τομέα	$8xD$
Καλώδια 20 KV	Μονοπολικά	$20xD$
	Τριπολικά άοπλα	$15xD$
	Τριπολικά οπλισμένα	$12xD$

Επιτρεπόμενη δύναμη έλξης καλωδίων

α. Έλξη των καλωδίων από τους αγωγούς.

Για τα μεν καλώδια με χάλκινους αγωγούς μπορούμε να θεωρήσουμε την επιτρεπόμενη δύναμη έλξης ίση με 50 Nt/mm^2 διατομής καλωδίου, για τα δε καλώδια με αγωγό από αλουμίνιο ίση με 30 Nt/mm^2 .

β. Έλξη των καλωδίων με ειδική κάλτσα πάνω στο μανδύα. Η δύναμη είναι ανάλογη της διαμέτρου D του καλωδίου.

Προστασία παράλληλων καλωδίων

Παράλληλα καλώδια χρησιμοποιούνται σε μεγάλα ρεύματα όπου απαιτούνται διατομές άνω των 150 mm^2 . Η προστασία μπορεί να γίνει με ένα κοινό όργανο προστασίας ή με ένα επιμέρους όργανο.

Ακροδέκτες και μούφες

Αφού εγκατασταθεί το καλώδιο εφαρμόζονται οι ακροκεφαλές του και οι ακροδέκτες του. Οι ακροδέκτες συμπιέζονται με ειδικές χειροκίνητες ή υδραυλικές πρέσες ακροδεκτών. Δεν γίνεται συγκόλληση των ακροδεκτών σε καλώδια πλαστικά μέσης τάσης, γιατί υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί η μόνωση. Σε υπαίθριες εγκαταστάσεις θα χρησιμοποιηθούν στη μέση τάση ακροκεφαλές από πορσελάνη για εξωτερικούς χώρους ή από ρητίνες για εσωτερικούς ή και εξωτερικούς χώρους. Πρέπει να εξασφαλιστεί, ότι τόσο στους εσωτερικούς όσο και στους εξωτερικούς χώρους δεν μπαίνει υγρασία ή νερό στο καλώδιο από τον ακροδέκτη ή την ακροκεφαλή.

Ακροκεφαλές από σιλίκονη ή πορσελάνη εφαρμόζονται πάνω στο καλώδιο αφού αφαιρεθεί ο μανδύας και καθαριστεί η μόνωση από το ημιαγωγό στρώμα. Ακροκεφαλές από ρητίνες χυτεύονται επί τόπου σε καλούπι που περιβάλλει το καλώδιο. Η στερεοποίησή τους επέρχεται σε 30 λεπτά έως μερικές ώρες. Συνήθως βρίσκονται στο εμπόριο σαν κατασκευαστικό σύνολο, ΚΙΤ (ρητίνη, καταλύτης, καλούπι μιας χρήσης, ακροδέκτης).



Ζυγοί και μπάρες Μ.Τ.

Οι μονωτήρες στήριξης ή διέλευσης των ζυγών που θα χρησιμοποιηθούν είναι μονωτήρες εσωτερικού χώρου από εποξειδική ρητίνη. Οι διαστάσεις των ζυγών και των συνοδευτικών μπαρών πρέπει να αντέχουν στο ρεύμα συνεχούς φορτίου και των βραχυκυκλωμάτων. Οι μπάρες είναι χάλκινες με διαστάσεις τουλάχιστον 50x5 mm². Οι συνδέσεις γίνονται με επικαδμιομένους χαλύβδινους κοχλίες M10, κατηγορίας αντοχής 5,8.

Ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ καλωδίων

Οι ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ δύο καλωδίων φάσεων είναι 215 mm, για εγκαταστάσεις υπαίθριες ή εσωτερικού χώρου. Οι αποστάσεις αυτές καθορίζονται σύμφωνα με τις τάσεις λειτουργίας και τις τάσεις δοκιμής, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 5.2: Τάσεις λειτουργίας και δοκιμής για ελάχιστη απόσταση καλωδίων 215 mm.	
Ονομαστική τάση (kV)	20
Μεγίστη συνεχώς επιτρεπόμενη τάση (kV)	24
Αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση για 1 min (kV)	50
Αντοχή σε κρουστική τάση για 1,2 έως 5 msec (kV)	125

5.12. Εσωτερικό δίκτυο Α/Π

Το Αιολικό Πάρκο (Α.Π.) συνίσταται από 14 Ανεμογεννήτριες, ισχύος 3 MW η κάθε μία. Οι Α/Γ παράγουν τριφασικό ρεύμα, ονομαστικής τάσεως 1.000 V, σε συχνότητα 50 Hz. Στο πίσω μέρος της νασσέλας κάθε ανεμογεννήτριας είναι τοποθετημένος ο μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης 1-0,4/20kV, ονομαστικής ισχύος 3.158 kVA. Στην είσοδο του Μ/Σ συνδέεται το κύκλωμα χαμηλής τάσης της γεννήτριας σε συνδεσμολογία αστέρα, γειωμένου ουδετέρου (συστήματος TN). Στην έξοδο του κυκλώματος μέσης τάσης του μετασχηματιστή συνδέονται, με συνδεσμολογία τριγώνου, τα καλώδια που οδηγούνται στον κεντρικό ηλεκτρικό πίνακα Μέσης Τάσης της ανεμογεννήτριας. Ο Μ/Σ είναι εξοπλισμένος με μεταγωγείς τάσης (off-load tap changer) $\pm 2x2,5\%$ έτσι ώστε να υπάρχει δυνατότητα προσαρμογής της τάσης λειτουργίας με την τάση του δικτύου. Οι μετασχηματιστές των ανεμογεννητριών συνδέονται στην υπόγεια γραμμή μεταφοράς της μέσης τάσης (Μ/Τ) μέσω αποζευτικών κυψέλων προστασίας.

Μέσω καλωδίου μέσης τάσης, θα μεταφέρεται η ισχύς των 20 kV σε κυψέλες Μέσης Τάσης. Οι Α/Γ θα είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους σε τρεις βρόγχους, που θα περιέχουν τις 14 ανεμογεννήτριες του αιολικού πάρκου.



5. 13. Σύστημα Γείωσης

Σύστημα γείωσης Α/Π

Θα υπάρξει σύστημα γείωσης για την προστασία του Αιολικού Πάρκου. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή των μεταλλικών μερών της γείωσης και της αντικεραυνικής προστασίας γίνεται σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Δ.Ε.Η:

- οδηγία διανομής Νο 119 ΩΕΩ/TTE D-23
- προδιαγραφή ASP K3/1988
- ΕΛΟΤ 1197/2002,
- και με τους διεθνείς κανονισμούς:
- IEC 61936-1. First edition. 2002-10. Power installations exceeding 1kV a.c.- Part 1
- IEC 62305-1. Protection against lightning - part 1: general principles. Edition 1.0, 01/00/06.
- IEC 62305-3. Protection against lightning - part 3: physical damage to structures and life hazard. Edition 1.0, 01/00/06.
- IEC 62305-4. Protection against lightning - part 4: electrical and electronic systems within structures. Edition 06, 04/30/08.
- IEC 61400-24, Wind turbine generator systems - part 24: lightning protection. Edition 1.0, 07/00/02.

Κατά την εγκατάσταση του συστήματος γείωσης λαμβάνονται υπόψη οι ιδιαιτερότητες του εδάφους όπου εγκαθίσταται η Α/Γ.

Σύστημα γείωσης Α/Γ

Σε κάθε Α/Γ θα τοποθετηθεί θεμελιακή γείωση, η οποία θα συνδεθεί με τον οπλισμό της βάσης έτσι, ώστε να δράσει σαν ισοδυναμικό πλέγμα, κατά Φ.Ε.Κ. 8/1525/31-12-73.

Το σύστημα της γείωσης αποτελείται ενδεικτικά από ένα ηλεκτρόδιο δακτυλίου και χάλκινα ηλεκτρόδια γείωσης (Ράβδοι 6 m (min.Ø16)). Τα πλεονεκτήματα που επιτυγχάνονται με αυτόν τον τρόπο είναι:

Γείωση προστασίας:

Το ηλεκτρόδιο δακτυλίου περιορίζει τις επικίνδυνες τάσεις επαφής για το προσωπικό που βρίσκεται κοντά στη βάση του πυλώνα, σε περίπτωση πλήξης κεραυνού στην Α/Γ.

Γείωση λειτουργίας:

Τα χάλκινα ηλεκτρόδια εξασφαλίζουν σταθερή και χαμηλή αντίσταση γείωσης για ολόκληρο το σύστημα γείωσης.

Το σύστημα γείωσης εφαρμόζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

- το ηλεκτρόδιο δακτυλίου (50 mm² Cu) τοποθετείται σε απόσταση 1 μέτρου από τον πυλώνα σε βάθος 1 μέτρου
- το ηλεκτρόδιο δακτυλίου (50 mm² Cu) ενισχύεται με 2 χάλκινα ηλεκτρόδια γείωσης (ράβδοι 6 m (min.Ø16)), και τοποθετούνται σε 180^ο μεταξύ τους



- το ηλεκτρόδιο δακτυλίου ($50 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$) συνδέεται στις 2 μπάρες γείωσης του πυλώνα (κοινή μπάρα γείωσης του πυλώνα)

Σε περίπτωση που η τιμή της γείωσης δεν είναι σύμφωνα με τα ανωτέρω πρότυπα, τότε το σύστημα γείωσης πρέπει να βελτιωθεί, ως εξής:

- επιλέγουμε 2 χάλκινα ηλεκτρόδια μήκους 10 m αντί για 6 m
- προσθέτουμε 2 ακόμη χάλκινα ηλεκτρόδια (90° μεταξύ των 4 ηλεκτροδίων).

Αντικεραυνική προστασία της Α/Γ

Πάνω στην άτρακτο και στα πτερύγια της Α/Γ υπάρχουν αλεξικέραυνα, τα οποία συνδέονται με τη γεννήτρια, το Μ/Σ, τον πίνακα και όλα τα μεταλλικά μέρη της Α/Γ (κατά I.E.C 61024-1). Ο αγωγός που συνδέει όλα τα παραπάνω, καταλήγει στη θεμελιακή γείωση – ενιαία γείωση του αιολικού πάρκου. Για την προστασία του Α.Π. από κάθε είδους υπερτάσεις θα συνδεθούν αντικεραυνικά στοιχεία στον πίνακα Μ/Τ (σύμφωνα με over voltage category III DIN VDE 0110-1:1997-04).

Σύστημα γείωσης στον οικίσκο ελέγχου

Στον οικίσκο ελέγχου (Υ/Σ του Α.Π.) θα γίνει θεμελιακή γείωση, η οποία τοποθετείται μέσα στο σκυρόδεμα σε βάθος 1 m και σε απόσταση απ' τους τοίχους 1 m (I.E.C. 1024-1 clause 2.3.5 installation of earth electrodes). Παράλληλα τοποθετείται και ισοδυναμικό πλέγμα γείωσης με τετραγωνικά ανοίγματα πλάτους 0,7 m εντός του δαπέδου του Υ/Σ σε βάθος 5 cm έως 10 cm, το οποίο ενισχύεται με 4 ηλεκτρόδια γείωσης στις κορυφές του. Για τη δημιουργία του πλέγματος τοποθετείται ταινία $\text{Cu } 30 \times 3 \text{ mm}^2$.

Στο σύστημα γείωσης του Υ/Σ του Α.Π. εξέχουν διάφορες αναμονές γείωσης (απολήξεις). Πάνω στις απολήξεις αυτές, οι οποίες βρίσκονται 30 cm από το δάπεδο, συνδέεται μία ταινία περιμετρικά του οικίσκου ελέγχου ενώ όλα τα μεταλλικά μέρη του Υ/Σ συνδέονται σ' αυτήν, π.χ. η πόρτα, ο πίνακας Μ/Τ, ο πίνακας Χ.Τ. του Υ/Σ κ.λ.π. (Επίσης, ακριβώς οι ίδιες συνδέσεις γίνονται και εντός της ανεμογεννήτριας). Η διατομή του χαλκού θα είναι τέτοια που θα αντέχει στο ονομαστικό βραχυκύκλωμα κατά IEC 60298.

Διαστάσεις αγωγού γείωσης - Αντίσταση γείωσης

Οι διαστάσεις των αγωγών γείωσης και γενικότερα ο τρόπος γείωσης θα είναι τέτοιος ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική τιμή αντίστασης γείωσης (1Ω). Όλες οι παραπάνω γειώσεις θα είναι διασυνδεδεμένες με υπόγειο χάλκινο επικασιτερωμένο αγωγό ($95 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$), ο οποίος τοποθετείται σε βάθος 0,6 m και διατρέχει εντός του καναλιού διελεύσεως των καλωδίων σε όλο το μήκος του Α.Π. (κεντρικός αγωγός γειώσεως). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ενίσχυση της γειώσεως του Α/Π και ομογενοποίησή της.

Η διατομή του αγωγού θα είναι τέτοια που θα αντέχει στο ονομαστικό βραχυκύκλωμα κατά IEC 60298.



Έλεγχος της γείωσης

Σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές CEI/DPR 547, πρέπει να κατασκευαστεί φρεάτιο με χυτοσίδηρα καλύμματα έτσι ώστε να είναι επισκέψιμο το άνω τμήμα των ράβδων γειώσεως και των συγκολλήσεων, εφόσον αυτό είναι εφικτό.

Γείωση του κυκλώματος ισχύος

Γείωση των καλωδίων ισχύος γίνεται, όπου εφαρμόζεται, με γειωτή που είναι επιθυμητό να έχει αντίστοιχη ικανότητα ζεύξης στο βραχυκύκλωμα κατά IEC 60129.

Ο χειρισμός του γειωτή αυτού θα είναι μηχανικά μανδαλωμένος με το διακόπτη φορτίου ή τον αποζεύκτη. Δηλαδή ο χειρισμός του γειωτή θα είναι δυνατός μόνο όταν ο αντίστοιχος διακόπτης φορτίου ή ο αποζεύκτης είναι στη θέση “ΑΝΟΙΧΤΟΣ”. Η λειτουργία του γειωτή θα είναι εξαρτημένη χειροκίνητη.

5.14. Προκαταρκτική εκτίμηση του τρόπου σύνδεσης με το Δίκτυο ή το Σύστημα

Για τη σύνδεση του Αιολικού Πάρκου, συνολικής ισχύος 42 MW με τη Δ.Ε.Η. προβλέπονται δύο διαφορετικά σενάρια. Η επιλογή του οικονομοτεχνικά βέλτιστου σεναρίου θα αποφασιστεί κατόπιν συνεννόησης με τη Δ.Ε.Η.:

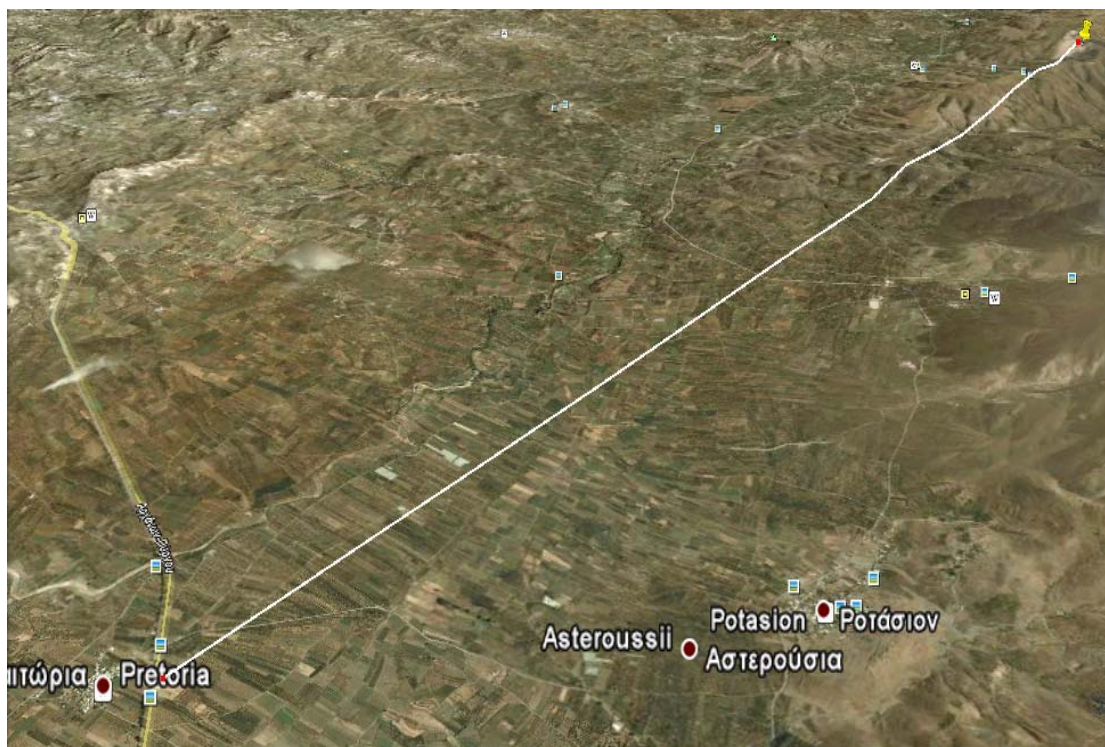
1. Στο πρώτο σενάριο οι γραμμές διασύνδεσης (διπλού κυκλώματος) οδεύουν απευθείας από το πάρκο στον υπάρχοντα υποσταθμό Μ/Τ-Υ/Τ που βρίσκεται στα Πραιτώρια Δήμου Αστερουσίων του νομού Ηρακλείου (12,1 km). Η λύση αυτή είναι η πιο συμφέρουσα οικονομικά. Θα προτιμηθεί εφόσον υπάρχει ελεύθερη πύλη στον υποσταθμό στα Πραιτώρια και κριθεί εφικτή κατόπιν συνεννόησης με τη Δ.Ε.Η.. Η διατομή των καλωδίων της εναέριας γραμμής διασύνδεσης του πάρκου θα είναι $2 \times (3 \times 210/50 \text{ mm}^2)$.

Ο αγωγός επιλέχθηκε μεγαλύτερος λόγω πιθανής επέκτασης του πάρκου και για λόγους μείωσης των απωλειών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

2. Στο δεύτερο σενάριο προτείνεται η κατασκευή νέου υποσταθμού Μ/Τ-Υ/Τ σε μικρή απόσταση από το χώρο του Αιολικού πάρκου (4 km), απ' όπου περνάει γραμμή υψηλής τάσης. Η διασύνδεση του αιολικού πάρκου θα γίνει μέσω του νέου υποσταθμού με το δίκτυο μεταφοράς 150 kV.

1. Διασύνδεση του Αιολικού Πάρκου με τον Υ/Σ Υ.Τ. της Δ.Ε.Η.

Η διασύνδεση με τη Δ.Ε.Η. θα γίνει με τη δημιουργία ιδιαίτερης γραμμής 20 kV με διπλό κύκλωμα αγωγών μήκους 12.1 km. Οι αγωγοί που θα χρησιμοποιηθούν θα είναι αγωγοί αλουμινίου με χαλύβδινη ψυχή (ACSR) ισοδύναμης διατομής χαλκού 210 mm^2 , με προδιαγραφή GR – 86/αναθ. 5/12/83 εσωτερικά γρασαρισμένοι. Η γραμμή θα συνδέσει απευθείας το Α.Π. με νέο υποσταθμό Υ/Σ Μ/Τ -Υ.Τ. στα Πραιτώρια Δήμου Αστερουσίων του νομού Ηρακλείου. Παρακάτω βλέπουμε στην εικόνα 5.1 τον χάρτη από το Google earth με χαραγμένη τη γραμμή του δικτύου διασύνδεσης από το σημείο του Α/Π μέχρι τα Πραιτώρια.



Χάρτης 5.1.: γραμμή διασύνδεσης με Υ.Σ Μ/Τ-Υ/Τ της Δ.Ε.Η (εικόνα από το Google earth)

2. Κατασκευή Υποσταθμού Μ/Τ – Υ/Τ

Στην περίπτωση κατασκευής νέου υποσταθμού (Υ/Σ) πλησίον του χώρου του Αιολικού πάρκου, αυτή θα γίνει όπως παρουσιάζεται στον χάρτη 3 και περιγράφεται παρακάτω.

Ο προς κατασκευή Υ/Σ θα απαρτίζεται από τα τμήματα που περιγράφονται στη συνέχεια. Για κάθε ένα από τα τμήματα αυτά καταγράφεται συνοπτικά και ο κύριος εξοπλισμός που περιλαμβάνεται:

- Απλοποιημένες Πύλες Γραμμών Μεταφοράς 150KV, που περιλαμβάνουν:
- Έναν χειροκίνητο 3P αποζεύκτη (Α/Ζ) γραμμής 150 KV με γειωτή, ονομαστικής εντάσεως 1.200 Α.
- Μία κυματοπαγίδα και έναν πυκνωτή ζεύξεως με τεχνικά χαρακτηριστικά κατάλληλα για την ένταξη των νέων Υ/Σ στο σύστημα φερεσυχνιακής επικοινωνίας της Δ.Ε.Η..
- Ζυγός 150 Μ

Ο Υ/Σ θα έχει ένα ζυγό λειτουργίας. Στην περίπτωση που ο επενδυτής επιθυμεί δύο ή περισσότερες πλήρεις πύλες Γραμμών Μεταφοράς 150 KV θα προβλεφθεί ένας Μ/Σ τάσεως στους ζυγούς για λόγους συγχρονισμού.

- Πύλες Μ/Σ 150 KV Μ/Τ

Στον υποσταθμό θα εγκατασταθεί μια πύλη γραμμής μεταφοράς ώστε να συνδεθεί η γραμμή μέσης τάσης 20 kV του Α.Π.

Η νέα πύλη θα περιλαμβάνει:



- Ένα Μ/Σ 150KV/M/T ισχύος 40/50 MVA.
- Ένα 3P διακόπτη 150 KV, ονομαστικής εντάσεως 1.200 A και ικανότητας διακοπής 31,5 KA τουλάχιστον.
- Έναν ηλεκτροκίνητο 3P A/Z ζυγών 150 KV, για Y/Σ με ένα ζυγό λειτουργίας, ή δύο τέτοιους A/Z για Y/Σ με διπλούς ζυγούς 150 KV, ονομαστικής εντάσεως 1.200 A.
- Τρία αλεξικέραυνα M/T για προστασία του Μ/Σ από υπερτάσεις στην πλευρά Μ/Τ.
- Τρία αλεξικέραυνα 150 KV για προστασία του Μ/Σ από υπερτάσεις στην πλευρά 150 KV εφόσον αποδειχθούν απαραίτητα από κατάλληλη μελέτη υπερτάσεων και συνεργασίας μονώσεων που θα πρέπει να εκπονήσει ο Ανάδοχος του Έργου.
- Τρεις Μ/Σ εγχύσεως παλμού ελέγχου μετρητών διπλού τιμολογίου. Οι Μ/Σ εγχύσεως θα παραδοθούν και συρματωθούν από τη Δ.Ε.Η., τα δε χαρακτηριστικά τους φαίνονται στο σχέδιο Δ.Ε.Η. - 30917 (Τόμος IV). Υποχρέωση του Αναδόχου είναι η πρόβλεψη κατάλληλων ικριωμάτων με τις βάσεις τους, η εγκατάσταση των Μ/Σ εγχύσεως επ' αυτών και η σύνδεσή τους με το κύκλωμα ισχύος.
- Ένα Μ/Σ βοηθητικών Μ/Τ /0,4 KV απαραίτητος για την εξασφάλιση βοηθητικής ισχύος για τις λειτουργίες του Y/Σ, ισχύος τουλάχιστον 150 KVA.
- Μια αντίσταση γειώσεως ουδετέρου κόμβου του Μ/Σ ισχύος.
- Δύο A/Z για μεταγωγή του κόμβου του Μ/Σ από την αντίσταση στην γη.
- Συσκευές και συστήματα επιτήρησης προστασίας ελέγχου και μετρήσεων.



Περιβαλλοντικές επίπτωσης Α/Π και Φωτορεαλιστική απεικόνιση

6.1. Εισαγωγή

Στο κεφαλαίο αυτό παρουσιάζεται φωτογραφική αποτύπωση των θέσεων εγκατάστασης και φωτορεαλιστική απεικόνιση του οικοπέδου. Επίσης παρουσιάζονται αποτελέσματα της μελέτης διάχυσης θορύβου. Τέλος αναφέρονται πιθανές επιπτώσεις του Α/Π στο εγγύς ανθρωπογενές και φυσικό περιβάλλον.

6.2. Φωτογραφική αποτύπωση του οικοπέδου εγκατάστασης

Οι θέσεις και οι κατευθύνσεις λήψης των φωτογραφιών του οικοπέδου εγκατάστασης του αιολικού πάρκου που ακολουθούν αποτυπώνονται στο συνημμένο Τοπογραφικό Διάγραμμα με αριθμό σχεδίου ΤΠ1.



Φωτογραφία Φ.1: Θέση εγκατάστασης των ανεμογεννητριών 11 και 12.



Φωτογραφία Φ.2: Θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας 10.



Φωτογραφία Φ.3: Θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας 10.



Φωτογραφία Φ.4: Θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας 14.



Φωτογραφία Φ.5: Θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας 9.



Φωτογραφία Φ.6: Θέση εγκατάστασης των ανεμογεννητριών 8 και 9.



Φωτογραφία Φ.7: Γενική άποψη βόρειου και βορειοανατολικού τμήματος του γηπέδου εγκατάστασης του Αιολικού Πάρκου.



Φωτογραφία Φ.8: Θέση εγκατάστασης των ανεμογεννητριών 5 και 6.



Φωτογραφία Φ.9: Θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών 6 και 7.



Φωτογραφία Φ.10: Θέση εγκατάστασης των ανεμογεννητριών 1 και 2 και η θέση του υψώματος Κάστελλος από τη θέση εγκατάστασης του μετεωρολογικού ιστού (απόσταση θέασης 3.480 m).



Φωτογραφία Φ.11: Θέση εγκατάστασης των ανεμογεννητριών 3 και 4.



Φωτογραφία Φ.12: Άποψη του υψώματος Κάστελλος από τη θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας 5 (απόσταση θέασης 3.450 m).



Φωτογραφία Φ.13: Θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών 1 και 2.



Φωτογραφία Φ.14: Γενική άποψη της οροσειράς Αστερουσίων μεταξύ των οικισμών Κάτω Καστελλιανών και Δεματίου από το ύψωμα Κάστελλος. Σημειώνεται ότι η απόσταση του υψώματος Κάστελλος από τη θέση εγκατάστασης της πλησιέστερης σε αυτό ανεμογεννήτριας του αιολικού πάρκου (ανεμογεννήτρια 1) εκτιμάται στα 3.050 m.



6.3. Φωτορεαλιστική απεικόνιση

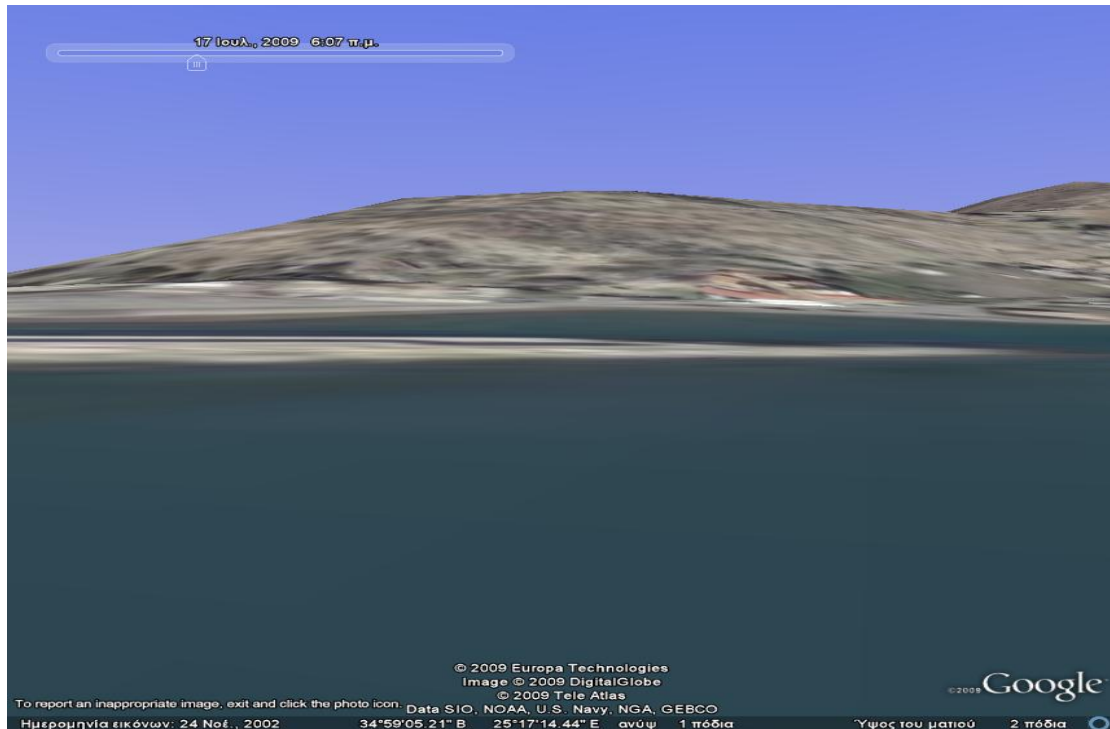
Οι εικόνες φωτορεαλιστικής απεικόνισης του αιολικού πάρκου δημιουργήθηκαν με τη βοήθεια των λογισμικών Google Sketch Up και Google Earth. Με τη βοήθεια του πρώτου σχεδιάστηκε το τρισδιάστατο μοντέλο της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας, ενώ με το δεύτερο λογισμικό τοποθετήθηκαν οι ανεμογεννήτριες στις προεπιλεγμένες θέσεις εγκατάστασης.

Οι θέσεις λήψης φωτορεαλιστικών απεικονίσεων επιλέχθηκαν να είναι χαρακτηριστικά σημεία ενδιαφέροντος της ευρύτερης περιοχής, όπως σημεία αρχαιολογικού ή πολιτισμικού ενδιαφέροντος, σημεία τουριστικού ενδιαφέροντος, οικισμοί, επαρχιακοί οδοί κλπ.

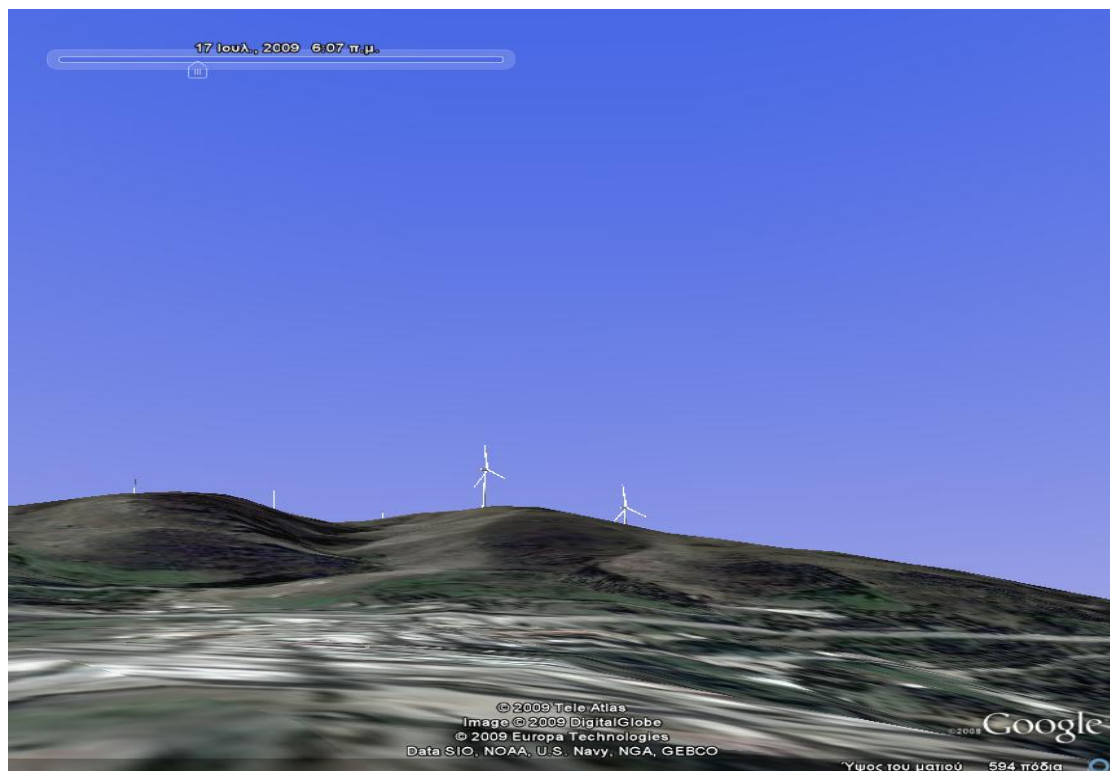
Οι ληφθείσες φωτορεαλιστικές απεικονίσεις παραθέτονται στη συνέχεια.



Εικόνα 6.1: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του αιολικού πάρκου από το ύψωμα Κάστελλος (απόσταση θέασης από την κοντινότερη ανεμογεννήτρια 3.050 m).



Εικόνα 6.2: Φωτορεαλιστική απεικόνιση της περιοχής εγκατάστασης του αιολικού πάρκου από το αλιευτικό καταφύγιο στον Τσούτσουρο (απόσταση θέασης από την κοντινότερη ανεμογεννήτρια 2.490 m – το αιολικό πάρκο δεν είναι ορατό).



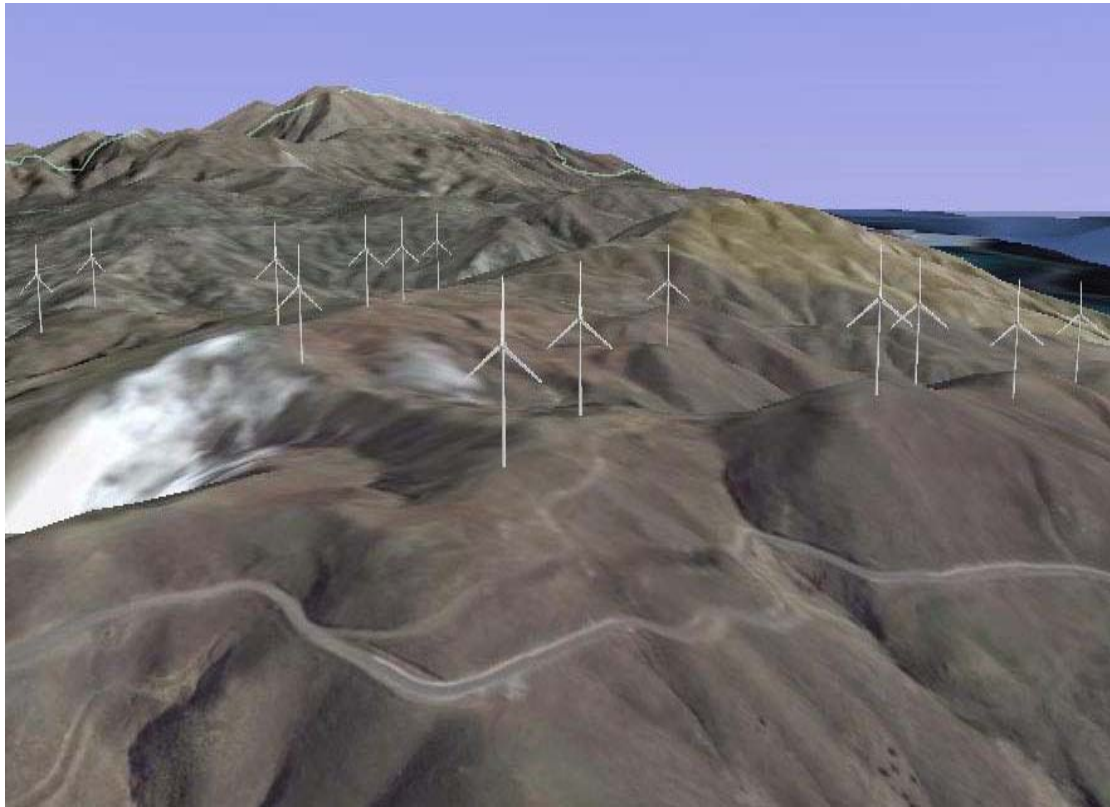
Εικόνα 6.3: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του αιολικού πάρκου από τον οικισμό Δεμάτι (απόσταση θέασης από την κοντινότερη ανεμογεννήτρια 920 m).



Εικόνα 6.4: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του αιολικού πάρκου από τον οικισμό Κάτω Καστελλιανά (απόσταση θέασης από την κοντινότερη ανεμογεννήτρια 1.510 m).



Εικόνα 6.5: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του αιολικού πάρκου από την επαρχιακή οδό Κάτω Καστελλιανά - Τσούτσουρος- (απόσταση θέασης από την κοντινότερη ανεμογεννήτρια 250 m).



Εικόνα 6.6: Φωτορεαλιστική απεικόνιση του αιολικού πάρκου από το ψιλά. Γενική εικόνα όλων των ανεμογεννητριών.

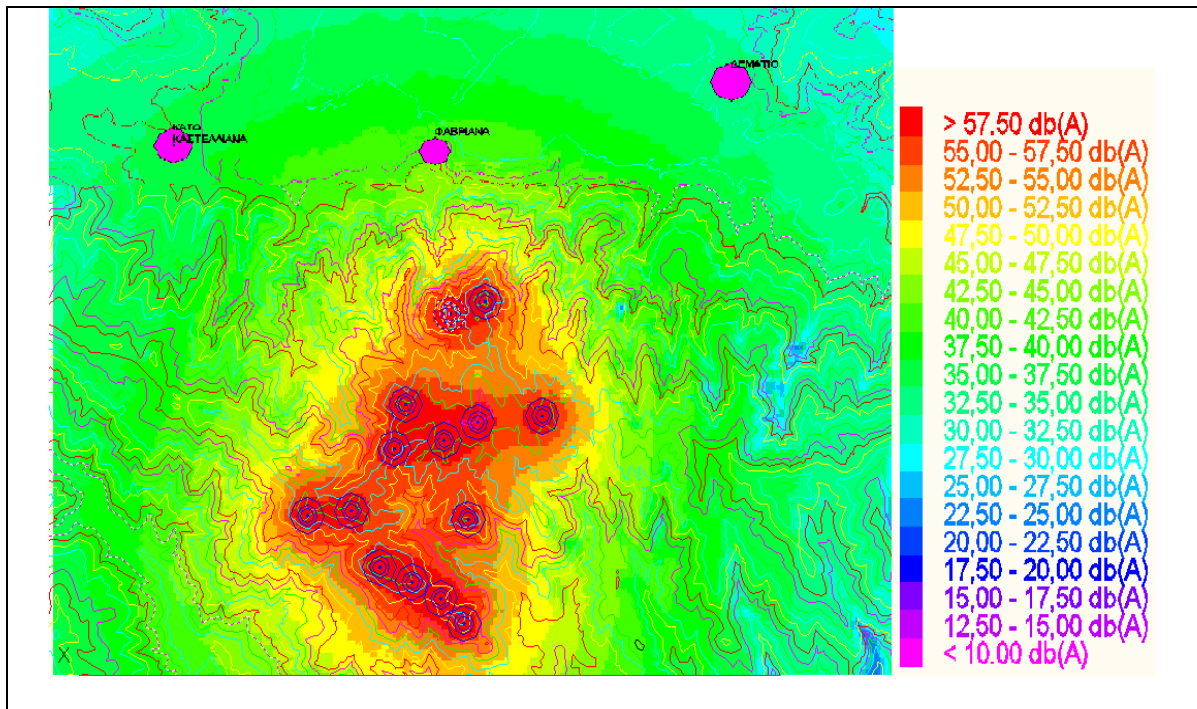
6.4. Θόρυβος

Για τη μελέτη διάχυσης θορύβου από το αιολικό πάρκο χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Echo που έχει αναπτυχθεί στο Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας Τ.Ε.Ι. Κρήτης.

Τα απαιτούμενα δεδομένα για τον υπολογισμό της διάχυσης θορύβου είναι:

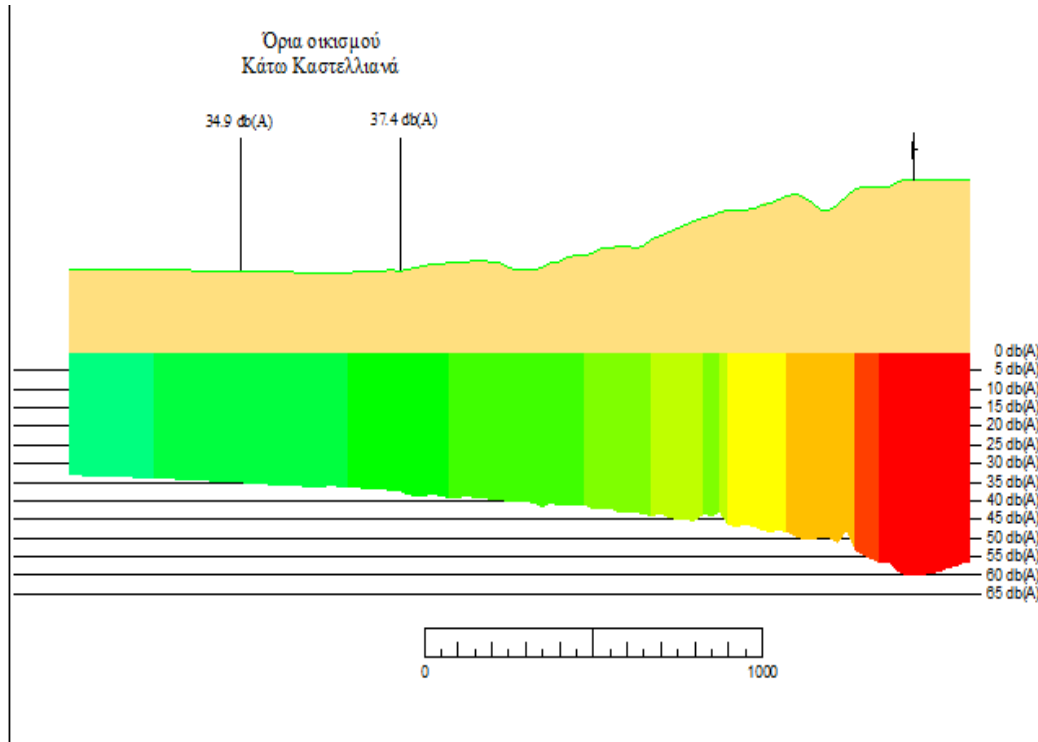
- η καμπύλη θορύβου της ανεμογεννήτριας σε διαφορές τιμές ταχύτητας αέρα (χρησιμοποιήσαμε την καμπύλη για 9 m/sec)
- ο ψηφιοποιημένος χάρτης της περιοχής.
- η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών.

Τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό διάχυσης θορύβου παρουσιάζονται αναλυτικά στο συνημμένο διάγραμμα στάθμης θορύβου Θ1 που περιλαμβάνεται στο CD που συνοδεύει την πτυχιακή εργασία. Στο χάρτη 6.1 παρουσιάζεται η διάχυση θορύβου από το αιολικό πάρκο στη γειτνιάζουσα περιοχή.



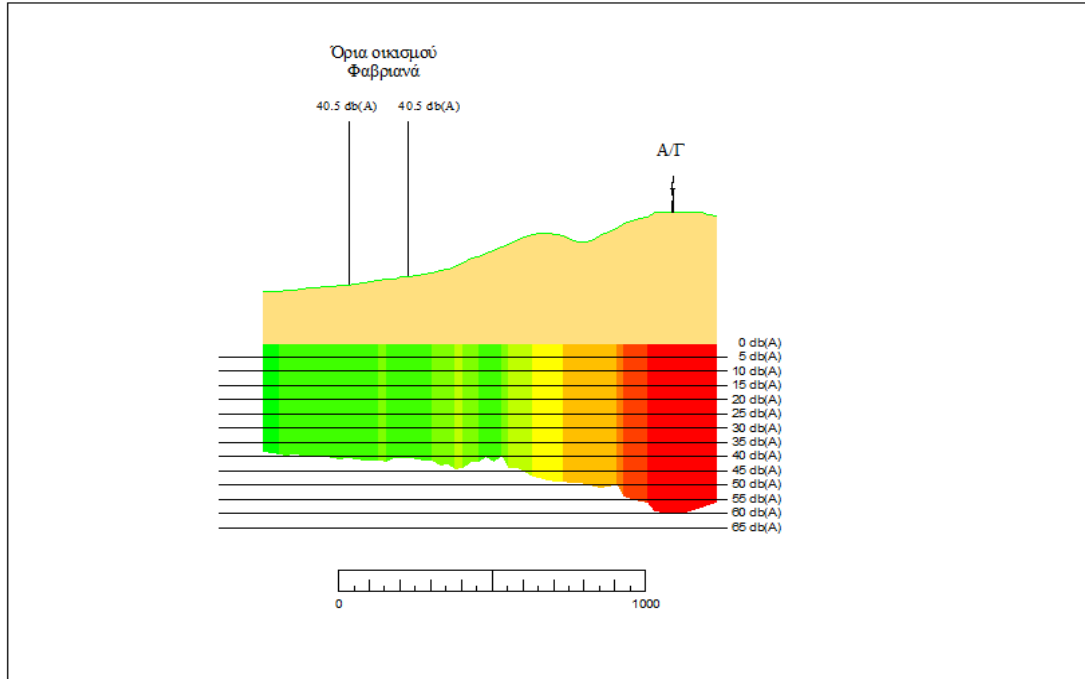
Χάρτης 6.1.: Χάρτης διάχυσης θορύβου αιολικού πάρκου.

Στα σχήματα 6.1, 6.2, και 6.3 παρουσιάζονται μηκοτομές διάχυσης θορύβου στους τρεις πιο κοντινούς οικισμούς στο αιολικό πάρκο.

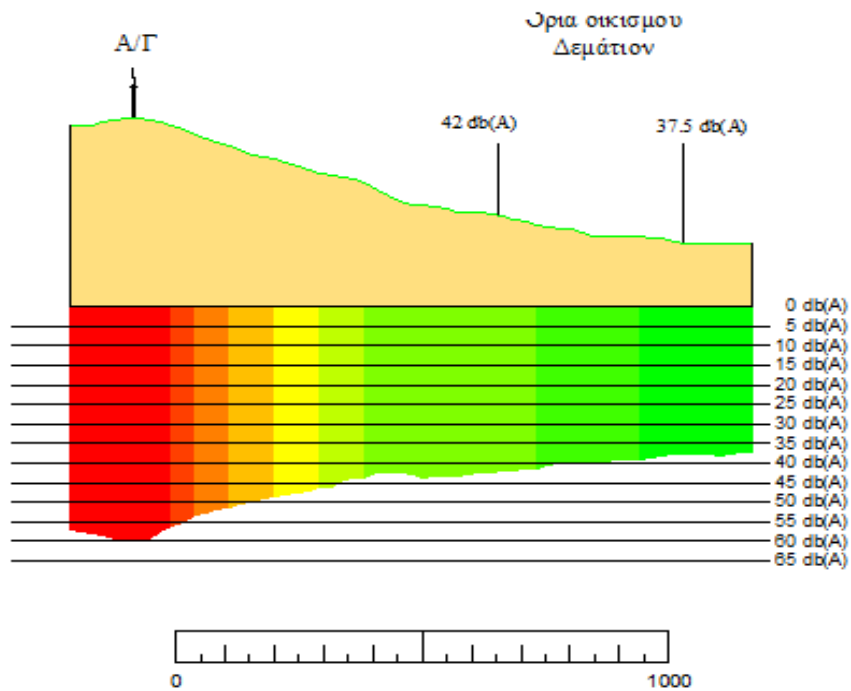


Σχήμα 6.1.: Μηκτομή διάχυσης θορύβου στα Κάτω Καστελλιανά

Από την μελέτη θορύβου που έγινε μπορούμε να δούμε την ένταση του θορύβου στα όρια των πλησιέστερων οικισμών. Στα Κάτω Καστελλιανά βλέπουμε ότι κυμαίνεται από 34,9 έως 37,4 db, στα Φαβριανά είναι στα 40,5 db ενώ στο Δεμάτιο κυμαίνεται από 37,5 έως 42 db.



Σχήμα 6.2.: Μηκοτομή διάχυσης θορύβου στα Φαδριανά.



Σχήμα 6.3.: Μηκοτομή διάχυσης θορύβου στο Δεμάτιο



6.5. Χρήσεις γης

Το εξεταζόμενο αιολικό πάρκο εγκαθίσταται σε κτηνοτροφική περιοχή. Οι εκτάσεις που θα δεσμεύσουν οι 14 ανεμογεννήτριες του πάρκου δεν θα ξεπεράσουν, σύμφωνα με τα ανωτέρω, τα 30 στρέμματα γης. Δεν θα υπάρξει καμία περιφραγή του γηπέδου εγκατάστασης. Ως εκ τούτου, ουσιαστικά δεν υφίστανται επιπτώσεις στις υφιστάμενες χρήσεις γης της ευρύτερης περιοχής εγκατάστασης.

6.6. Οπτική όχληση

Το αιολικό πάρκο που μελετάται, λόγω της υφιστάμενης γεωμορφολογίας της περιοχής εγκατάστασης, δεν θα είναι ορατό από τους πλησιέστερους οικισμούς Άνω και Κάτω Καστελλιανών και Δεματίου. Θα είναι σαφώς ορατό από την πεδιάδα της ανατολικής Μεσσαράς, ωστόσο σε αποστάσεις μεγαλύτερες των 1.000 m. Λόγω επίσης της ανοιχτής περιοχής στην οποία εγκαθίσταται, περιορίζεται σημαντικά η προκαλούμενη αίσθηση της αλλοίωσης της οπτικής του φυσικού τοπίου της περιοχής.

6.7. Επιδράσεις στην ορνιθοπανίδα

Στην περίπτωση του εξεταζόμενου αιολικού πάρκου, στα πλαίσια της διαδικασίας αδειοδότησης θα πρέπει να συμπεριληφθούν οι απαιτούμενοι όροι στη σχετική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η περιοχή εγκατάστασης δεν έχει χαρακτηριστεί ως περιοχή NATURA ή Ζώνη Ειδικής Προστασίας (Special Protected Area) για κάποιο είδος ορνιθοπανίδας.

6.8. Σκίαση

Στην περίπτωση του εξεταζόμενου αιολικού πάρκου δεν αναμένονται να προκληθούν προβλήματα σκίασης στους πλησιέστερους οικισμούς, λόγω της μεγάλης απόστασης αυτών από τη θέση εγκατάστασης.



Οικονομική μελέτη

7.1. Εισαγωγή

Σε κάθε επένδυση ο μελετητής καλείται να απαντήσει στο απλό ερώτημα : Θα έχουμε απόσβεση της επένδυσης; Αν ναι, σε ποσά χρόνια; Είναι φανερό ότι η ανέγερση ενός Α/Π είναι μια αρκετά μεγάλη επένδυση και είναι αναμενόμενο να θέλει ο επενδυτής την όσο το δυνατόν συντομότερη απόσβεση του πάρκου.

Η Ελληνική και η Ευρωπαϊκή νομοθεσία, στην προσπάθειά τους να δώσουν ώθηση στον τομέα των επενδύσεων για τις Α.Π.Ε. έχουν κάνει γενναιόδωρες επιδοτήσεις σε ποσοστό μέχρι και 100% (VALOREN). Είναι άλλωστε γνωστό ότι μέχρι και σήμερα, η συντριπτική πλειονότητα των Α/Π επιδοτείται σε ποσοστό 40% επί του συνόλου της επένδυσης. Ωστόσο, σήμερα η ανέγερση ενός Α/Π είναι μια άκρως προσοδοφόρα επένδυση, γεγονός που έχει οδηγήσει στη μείωση της επιχορήγησης από το Ελληνικό κράτος .

7.2. Ορισμοί και υπολογιζόμενοι δείκτες οικονομικότητας (ΑΚΕ, ΕΟΟ, ΕΛΔ, ΚΕΟΟ, IRR, NPV, ERR, PBP)

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί βασικοί οικονομικοί ορισμοί που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της επένδυσης .

- **ΑΚΕ(I.I.C) : Αργικό Κόστος Επένδυσης**

Είναι η δαπάνη που καταβάλλει ο επενδυτής, κατά το χρόνο που πραγματοποιείται η επένδυση.

Γενικά μπορεί να εκφρασθεί ως εξής [14]:

$$ΑΚΕ = K_{\varepsilon} \cdot M + K_{\alpha} \quad (7.1)$$

όπου :

K_{ε} εξαρτώμενο κόστος συστήματος

M μέγεθος συστήματος

K_{α} ανεξάρτητο (του μεγέθους) κόστος συστήματος

Στην περίπτωσή μας το ΑΚΕ είναι συνδεδεμένο με το πλήθος των Α/Γ που θα επιλέξουμε να εγκαταστήσουμε (M). Το επιπλέον κόστος στο ΑΚΕ είναι τα έργα πολιτικού μηχανικού (οδοποιία, εκσκαφές), οι αμοιβές του προσωπικού, το κόστος



των οικοπέδων καθώς και το κόστος των μελετών που κατά ένα μεγάλο μέρος είναι ανεξάρτητα του αριθμού των Α/Γ που θα εγκαταστήσουμε.

- **ΕΟΟ: Ετήσιο Οικονομικό Όφελος:**

Είναι το υπολογιζόμενο οικονομικό όφελος ανά έτος από τις πωλήσεις ενέργειας στη Δ.Ε.Η. Υπολογίζεται βασιζόμενο στο γεγονός ότι η Δ.Ε.Η έχει ορίσει μια σταθερή τιμή για την αγορά της κιλοβατώρας που παράγεται από αυτόνομους παραγωγούς, όπως τα αιολικά πάρκα. Η τιμή αυτή έχει διαμορφωθεί σήμερα στα 0,095 €/kWh.

- **ΕΛΛ: Ετήσιες Λειτουργικές Δαπάνες:**

Είναι οι μισθοί των εργαζομένων, τα κόστη συντήρησης των ανεμογεννητριών, τα ενοίκια που πιθανόν να δίνονται τους ιδιοκτήτες των οικοπέδων, καθώς και οι δαπάνες που γίνονται για την ασφάλιση των ανεμογεννητριών.

- **ΚΕΟΟ : Καθαρό Ετήσιο Οικονομικό Όφελος:**

Είναι το ποσό που μένει αν από το ετήσιο οικονομικό όφελος αφαιρέσουμε τις ετήσιες λειτουργικές δαπάνες[14]:

$$\text{ΚΕΟΟ} = \text{ΕΟΟ} - \text{ΕΛΛ} \quad (7.2)$$

Για την αποτίμηση της αποδοτικότητας επενδύσεων σε αιολικά πάρκα υπολογίζονται οι ακόλουθοι χρηματοοικονομικοί δείκτες:

- **IRR (%): Εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης (Internal Financial Rate of Return).**

Το IRR είναι το προεξοφλητικό επιτόκιο που εξισώνει την παρούσα αξία της προσδοκώμενη ταμειακή εισροής με την παρούσα αξία της προσδοκώμενης ταμειακής εκροής.

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης της επένδυσης περιγράφει την ετήσια απόδοση των κεφαλαίων που επενδύονται (ιδίων κεφαλαίων ή άλλων) σε μια παραγωγική δραστηριότητα και εκφράζει το μέσο ετήσιο βαθμό απόδοσης της επένδυσης για τη διάρκεια μελέτης της επένδυσης. Με άλλα λόγια ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι το επιτόκιο εκείνο για το οποίο η καθαρά παρούσα αξία μηδενίζεται

- **NPV (€): Καθαρή παρούσα αξία επένδυσης.**

Η καθαρή παρούσα αξία της επένδυσης εκφράζει την παρούσα αξία του συνόλου των καθαρών κερδών που επιτυγχάνονται καθ' όλη τη διάρκεια μελέτης της επένδυσης. Η καθαρή παρούσα αξία εξασφαλίζει τη μέτρηση της αποδοτικότητας μιας επένδυσης και τη σύγκρισή της με την απόδοση άλλων εναλλακτικών σχεδίων, με χρήση ενός επιτοκίου αναγωγής (εναλλακτικό κόστος ή κόστος ευκαιρίας).



- **ERR (%): Economic Rate of Return.**

Παρουσιάζει αντιστοιχία με το IRR και εκφράζει τη μέση ετήσια απόδοση των ιδίων κεφαλαίων μιας επένδυσης κατά τη διάρκεια ζωής της επένδυσης, σε σύγκριση με μια τυπική (βάση) αποδοτικότητα κεφαλαίου, που εκφράζεται με το επιτόκιο ευκαιρίας (r).

- **PBP (Έτη): Έντοκη Περίοδος Ανάκτησης (Αποπληρωμής) Κεφαλαίου (Pay Back Period).**

Εκφράζει το χρόνο αποπληρωμής των κεφαλαίων μιας επένδυσης (ιδίων ή και άλλων), λαμβάνοντας υπ' όψιν το κόστος του χρήματος στη διάρκεια του χρόνου και ορίζεται σαν το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την αποπληρωμή του ποσού της αρχικής επένδυσης και των τόκων που θα μπορούσαν να ληφθούν από μία εναλλακτική τοποθέτηση του αρχικού κεφαλαίου.

Κατά την οικονομική ανάλυση επενδύσεων σε αιολικά πάρκα γίνονται οι εξής παραδοχές :

- a. η παραγωγή ενέργειας από το αιολικό πάρκο είναι σταθερή για όλα τα έτη μελέτης της επένδυσης
- b. η λειτουργία του αιολικού πάρκου ξεκινά το έτος 1 (πρώτο έτος) οπότε θεωρείται ότι η εγκατάσταση του αιολικού πάρκου πραγματοποιήθηκε το έτος μηδέν (0).
- c. η οικονομική ανάλυση γίνεται σε σταθερούς όρους (χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψιν ο πληθωρισμός)
- d. τα δάνεια αποπληρώνονται σε ισόποσες τοκοχρεωλυτικές δόσεις.
- e. η απομένουσα αξία της επένδυσης πέραν των ετών μελέτης είναι μηδέν (0).

7.3. Παραμετρική Ανάλυση Επενδύσεων

Η οικονομικότητα των επενδύσεων σε Α/Π εξαρτάται από πληθώρα παραμέτρων που καθορίζονται από:

- a. το ενεργειακό περιβάλλον
- b. την πολιτική προώθησης που διέπει επενδύσεις ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ
- c. το αιολικό δυναμικό
- d. το κόστος, τη διάρκεια ζωής και τα χαρακτηριστικά της τεχνολογίας
- e. το χρηματοοικονομικό περιβάλλον
- f. τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής
- g. το υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς / διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Κατά την οικονομική ανάλυση των επενδύσεων σε Α/Π υπολογίζονται οι δείκτες οικονομικότητας μιας επένδυσης, δεδομένων όλων των παραμέτρων που συμμετέχουν στους υπολογισμούς. Κατά την παραμετρική ανάλυση των επενδύσεων σε Α/Π απεμπλέκονται οι πιο βασικές παράμετροι οικονομικότητας και εξετάζεται η βαρύτητα και ο τρόπος που κάθε μια από αυτές επιδρά στην οικονομικότητα των



επενδύσεων αυτών. Οι βασικότερες παράμετροι για τις οποίες παρέχεται δυνατότητα παραμετρικής ανάλυσης είναι:

- a. συντελεστής επιχορήγησης επένδυσης σε Α/Π
- b. τιμή πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας
- c. επιδότηση στην τιμή πώλησης της ενέργειας που παράγεται από Α/Π
- d. ετήσιος πληθωρισμός τιμής ενέργειας
- e. επιτόκιο δανεισμού κεφαλαίων
- f. συντελεστής φορολογίας επενδύσεων σε Α/Π
- g. έτη μελέτης της επένδυσης.

Κατά την παραμετρική ανάλυση ο χρήστης έχει τη δυνατότητα επιλογής μιας παραμέτρου από τις παραπάνω και εξέτασης της επίδρασης αυτής της παραμέτρου στους δείκτες οικονομικότητας που χαρακτηρίζουν μια επένδυση, όπως περιγράφηκαν σε προηγούμενη παράγραφο.

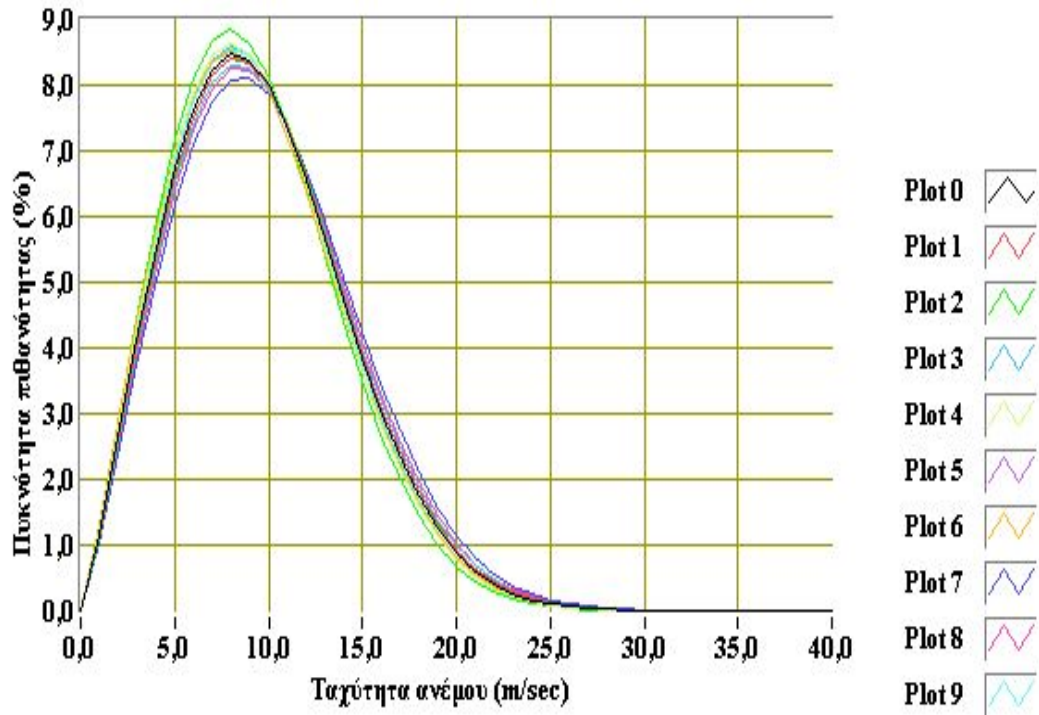
7.4. Υπολογισμοί και Αποτελέσματα οικονομικής μελέτης του Α/Π

Οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με βάση τα παραπάνω και η αξιολόγηση επιχειρείται με βάση συγκεκριμένους οικονομικούς δείκτες.

7.4.1. Υπολογισμός Ετήσιας Παραγωγής Ενέργειας ανά Α/Γ

Η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και ο συντελεστής ισχύος (capacity factor) του πάρκου, παρουσιάζονται στον πίνακα 7.1.

<i>Πίνακας 7.1.: Αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας</i>				
Παράμετρος Weibull C (m/sec)	Παράμετρος Weibull k	Μέση ετήσια ταχύτητα άνεμου ανά Α/Γ (m/sec)	Ετήσια συνολική παράγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ανά Α/Γ (kWh)	Συντελεστής ισχύος ανά Α/Γ (capacity factor) (%)
10,80	2,20	9,56	12.861.723	48,94
10,90	2,20	9,64	13.022.185	49,55
10,90	2,21	9,61	13.034.995	49,60
11,00	2,20	9,72	13.180.107	50,15
10,60	2,20	9,37	12.533.343	47,69
10,60	2,20	9,37	12.533.343	47,69
10,60	2,16	9,38	12.490.226	47,53
11,30	2,21	10,00	13.654.241	51,96
11,10	2,21	9,87	13.349.839	50,80
10,70	2,20	9,51	12.698.762	48,32
10,80	2,21	9,54	12.873.750	48,99
10,80	2,21	9,54	12.873.750	48,99
10,40	2,21	9,20	12.204.263	46,44
10,70	2,21	9,43	12.710.012	48,36



Διάγραμμα 7.1: Κατανομές Weibull στις θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών.

7.4.2. Αρχικό κόστος επένδυσης

Ακολουθεί ο υπολογισμός του συνολικού αρχικού κόστους της επένδυσης. Ο υπολογισμός βασίζεται στον κατά εκτίμηση καθορισμό του αρχικού κόστους (turn key) ανά μονάδα εγκατεστημένης αιολικής ισχύος. Το οποίο περιλαμβάνει:

- Αγορά Α/Γ και Πύργων Αιολικού Πάρκου
- Μεταφορά Ανεμογεννητριών στο Α/Π
- Συναρμολόγηση και εγκατάσταση Α/Γ του Α/Π
- Εργατικά συνεργεία, στέγη και τροφή αυτών
- Αμοιβές, έργα πολιτικού μηχανικού.
- Γερανός, μεταφορά και ασφάλιστρα γερανού
- Ηλεκτρολογικό εξοπλισμό
- Συνδέσει με ΔΕΗ
- Κόστος Μελέτης Α/Π κ.α

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται το συνολικό αρχικό κόστος της επένδυσης και το υποτιθέμενο ειδικό αρχικό κόστος επένδυσης. Η τιμή του τελευταίου βασίζεται σε στατιστικά δεδομένα από παλαιότερες παρόμοιες εργασίες.

Πίνακας 7.2: Αρχικό κόστος επένδυσης	
Κόστος ανά Μονάδα Εγκατεστημένης Αιολικής Ισχύος (€/MW):	1.500.000,00
Συνολική ισχύς Α/Π	42,00
Συνολικό Αρχικό Κόστος (€):	63.000.000,00



7.4.3. Ετήσια ακαθάριστα έσοδα και διάρκεια ζωής επένδυσης

Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζονται όλες οι παράμετροι οι οποίες καθορίζουν την πωλούμενη ενέργεια, με βάση την ετήσια παραγωγή ενέργειας που παρουσιάστηκε στην ενότητα 7.4.1. Επίσης παρουσιάζεται η τιμή πώλησης της ενέργειας, τα ετήσια ακαθάριστα έσοδα και η διάρκεια ζωής της επένδυσης.

Διάρκεια ζωής αιολικού πάρκου (έτη):	20
Διαθεσιμότητα αιολικού πάρκου (%):	98,00
Μείωση παραγωγής λόγω σκίασης (%):	97,00
Απορρόφηση ενέργειας από το δίκτυο (%):	95,00
Ετήσια προβλεπόμενη προς πώληση ενέργεια (kWh):	162.571.155,69
Τιμή πώλησης μονάδας ενέργειας (ευρώ/kWh):	0,0920
Ετήσια έσοδα από πώληση ενέργειας (ευρώ):	14.956.546,32

7.4.4. Χρηματοδοτικό σχήμα επένδυσης

Στο σημείο αυτό ορίζεται το χρηματοδοτικό σχήμα της επένδυσης. Το χρηματοδοτικό σχήμα αναλύεται σε ίδια κεφάλαια, δανειακά κεφάλαια και επιχορήγηση.

Για την παρούσα οικονομική ανάλυση υιοθετήθηκε το χρηματοδοτικό σχήμα του ακόλουθου πίνακα.

	Ποσοστά (%):	Ποσά (ευρώ):
Ίδια Κεφάλαια:	40,00	25.200.000,00
Δάνειο:	20,00	12.600.000,00
Επιχορήγηση:	40,00	25.200.000,00



7.4.5. Χρηματοροές

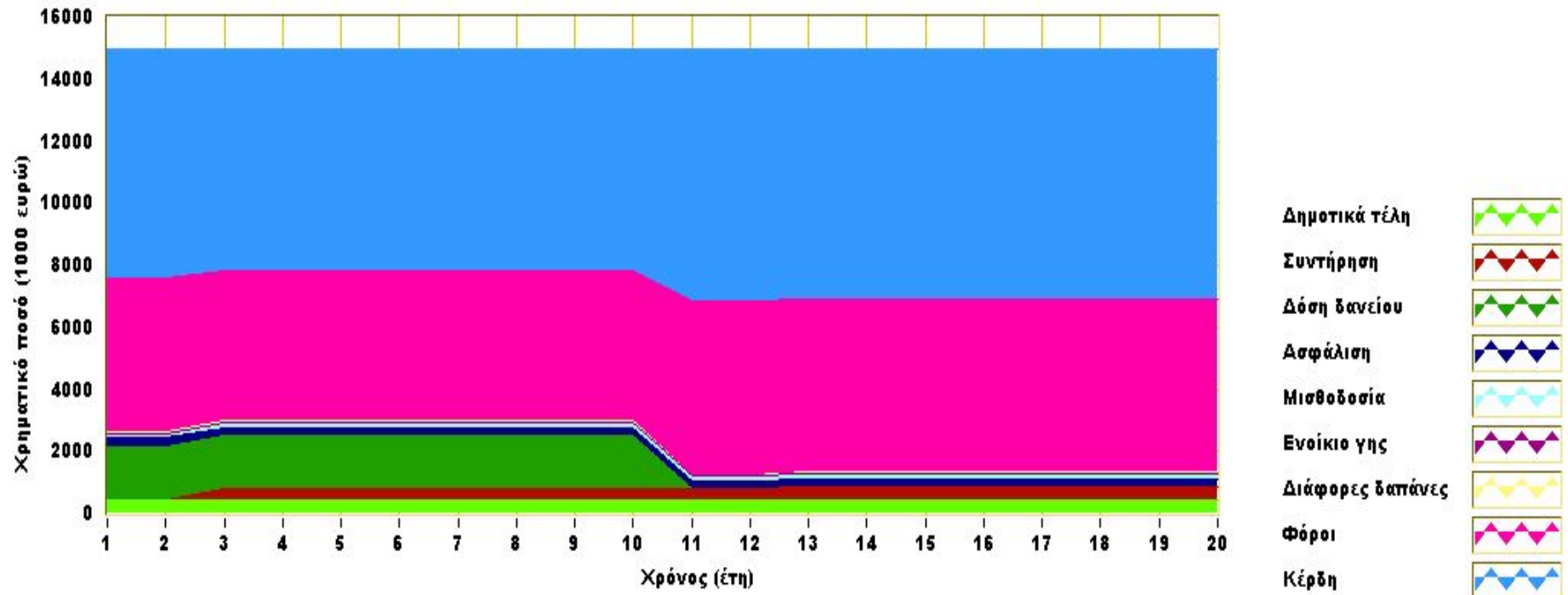
Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζονται οι ετήσιες χρηματοροές της επένδυσης. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά του έργου.

Κόστος Συντήρησης (ευρώ/A-Γ & έτος):	κυμαινόμενο
Επιτόκιο Δανείου (%):	6,00
Περίοδος Αποπληρωμής Δανείου (έτη):	10
Ποσοστό Φορολογίας (%):	45,00
Ποσοστό Δημοτικών Τελών (%):	3,00
Μέθοδος Υπολογισμού Αποσβέσεων:	σταθερή
Ασφάλιση έργου (% επί του αρχικού κόστους)	0,40
Μισθοδοσία (ευρώ/έτος):	100.000
Ενοίκιο Γης (ευρώ/έτος):	50.000
Διάφορα Έξοδα (ευρώ/έτος):	50.000

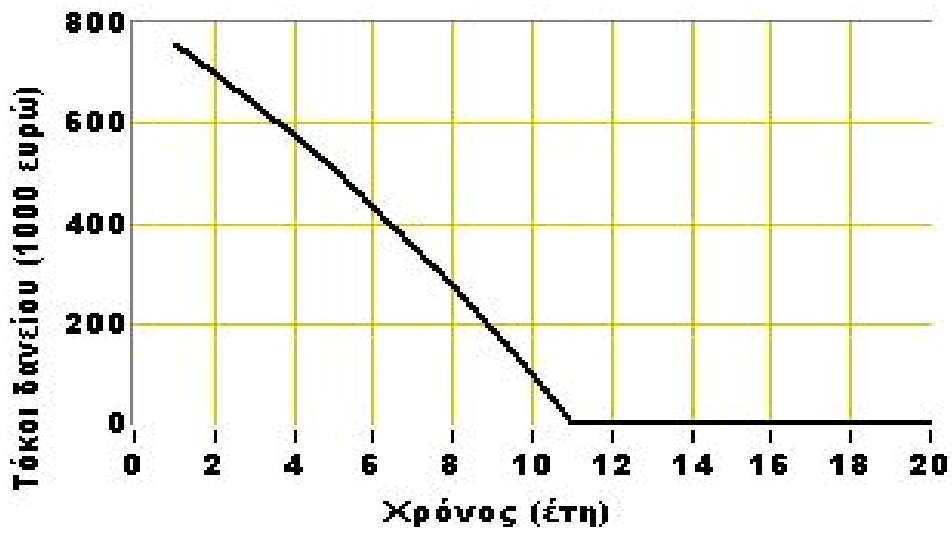
Μετά τον καθορισμό των ανωτέρω παραμέτρων, οι χρηματοροές της επένδυσης για τη διάρκεια ζωής που έχει αναφερθεί ανωτέρω, παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα 7.6.

**Πίνακας 7.6:** Υπολογισμοί ετήσιων χρηματοροών.

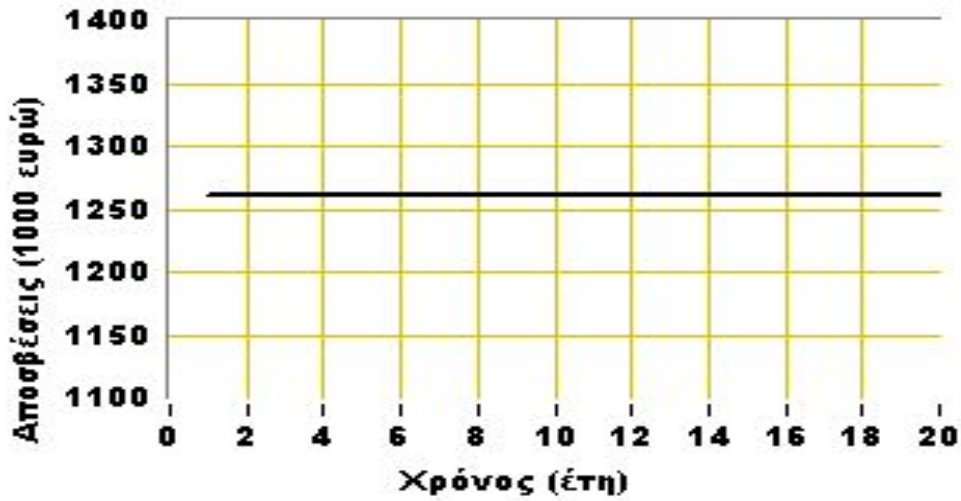
Έτος	Ετήσια Έσοδα (ευρώ)	Δημοτικά Τέλη (ευρώ)	Κόστος Συντήρησης (ευρώ)	Ετήσια Δόση Δανείου (ευρώ)	Ετήσιοι Τόκοι Δανείου (ευρώ)	Ασφάλιση (ευρώ)	Μισθοδοσία (ευρώ)	Ενοίκιο Γης (ευρώ)	Διάφορα Έξοδα (ευρώ)	Αποσβέσεις (ευρώ)	Φόροι (ευρώ)	Συνολικά έξοδα (ευρώ)	Καθαρά Κέρδη (ευρώ)	Αθροιστικά Κέρδη (ευρώ)
1	14.956.546	448.696	0	1.711.936	756.000	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	4.987.761	7.600.393	7.356.152	7.356.152
2	14.956.546	448.696	0	1.711.936	698.643	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	4.987.761	7.600.393	7.356.152	14.712.305
3	14.956.546	448.696	350.000	1.711.936	637.846	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	4.830.261	7.792.893	7.163.652	21.875.957
4	14.956.546	448.696	350.000	1.711.936	573.400	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	4.830.261	7.792.893	7.163.652	29.039.610
5	14.956.546	448.696	350.000	1.711.936	505.088	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	4.830.261	7.792.893	7.163.652	36.203.262
6	14.956.546	448.696	350.000	1.711.936	432.677	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	4.830.261	7.792.893	7.163.652	43.366.915
7	14.956.546	448.696	350.000	1.711.936	355.922	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	4.830.261	7.792.893	7.163.652	50.530.567
8	14.956.546	448.696	350.000	1.711.936	274.561	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	4.830.261	7.792.893	7.163.652	57.694.220
9	14.956.546	448.696	350.000	1.711.936	188.319	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	4.830.261	7.792.893	7.163.652	64.857.872
10	14.956.546	448.696	350.000	1.711.936	96.902	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	4.830.261	7.792.893	7.163.652	72.021.525
11	14.956.546	448.696	350.000	0	0	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	5.600.632	6.851.328	8.105.217	80.126.742
12	14.956.546	448.696	350.000	0	0	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	5.600.632	6.851.328	8.105.217	88.231.960
13	14.956.546	448.696	420.000	0	0	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	5.569.132	6.889.828	8.066.717	96.298.677
14	14.956.546	448.696	420.000	0	0	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	5.569.132	6.889.828	8.066.717	104.365.394
15	14.956.546	448.696	420.000	0	0	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	5.569.132	6.889.828	8.066.717	112.432.112
16	14.956.546	448.696	420.000	0	0	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	5.569.132	6.889.828	8.066.717	120.498.829
17	14.956.546	448.696	420.000	0	0	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	5.569.132	6.889.828	8.066.717	128.565.547
18	14.956.546	448.696	420.000	0	0	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	5.569.132	6.889.828	8.066.717	136.632.264
19	14.956.546	448.696	420.000	0	0	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	5.569.132	6.889.828	8.066.717	144.698.982
20	14.956.546	448.696	420.000	0	0	252.000	100.000	50.000	50.000	1.260.000	5.569.132	6.889.828	8.066.717	152.765.699



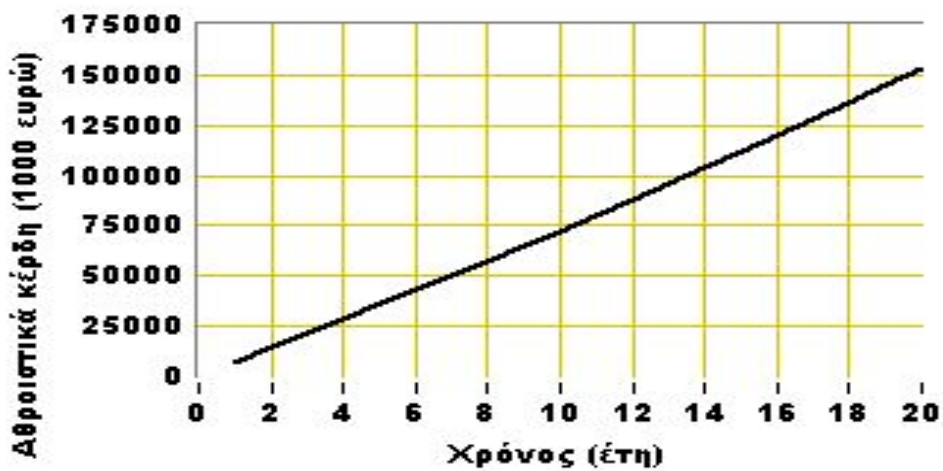
Σχήμα 7.1: Ετήσιες χρηματοροές.



Σχήμα 7.2: Τόκοι δανείου.



Σχήμα 7.3: Αποσβέσεις.



Σχήμα 7.4: Αθροιστικά κέρδη.



7.4.6. Οικονομικοί Δείκτες

Για τον υπολογισμό των δεικτών αυτών απαιτείται η εισαγωγή δύο ακόμα παραμέτρων, του επιτοκίου αναγωγής και της εναπομένουσας αξίας της επένδυσης, μετά την ολοκλήρωση του χρόνου ζωής του έργου. Οι παράμετροι αυτοί εκτιμώνται από το μελετητή και οι τιμές τους για την παρούσα ανάλυση φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα 7.7.

Στην παρούσα καταληκτική παράγραφο της οικονομικής ανάλυσης της επένδυσης υπολογίζονται οι οικονομικές δείκτες αυτής για το σημείο σχεδίασής της, και εν συνεχεία σχεδιάζονται γραφικές παραστάσεις ανάλυσης ευαισθησίας. Αρχικά, θα υπολογιστούν οι εξής οικονομικοί δείκτες:

1. Καθαρή παρούσα αξία (NPV).
2. Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR).
3. Έντοκη περίοδος αποπληρωμής.
4. Άτοκη περίοδος αποπληρωμής.

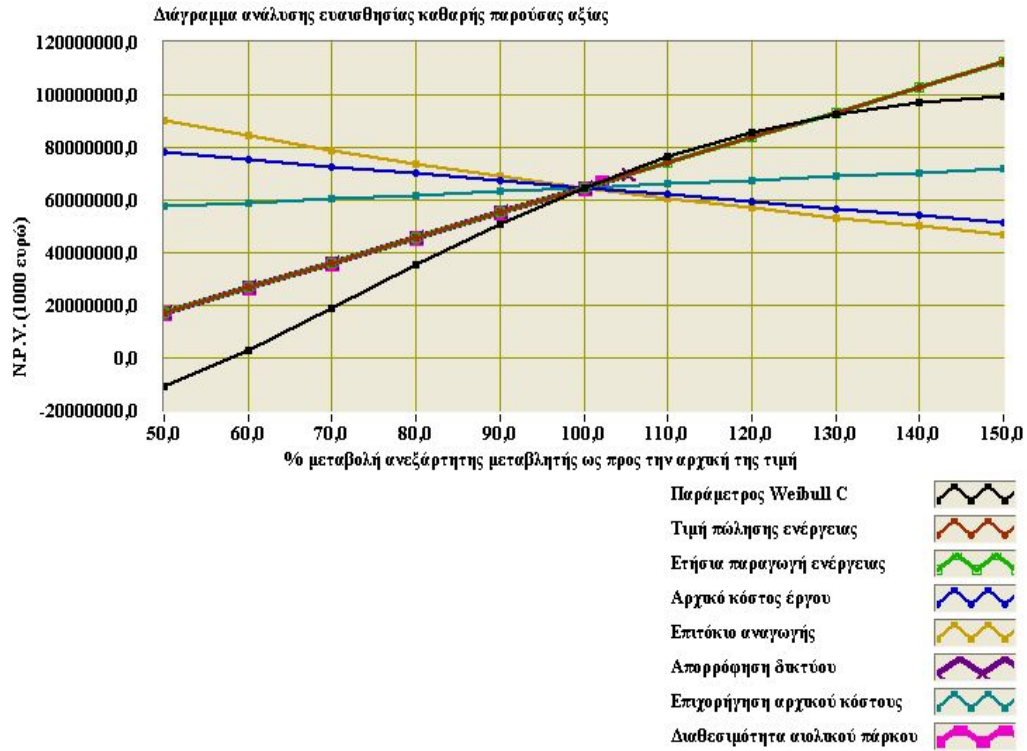
Για τον υπολογισμό των δεικτών αυτών απαιτείται η εισαγωγή δύο ακόμα παραμέτρων, του κόστους χρήματος και της εναπομένουσας αξίας της επένδυσης, μετά την ολοκλήρωση του χρόνου ζωής της.

Οι παράμετροι αυτοί καθώς και οι ανωτέρω οικονομικοί δείκτες παρουσιάζονται στους πίνακες που ακολουθούν.

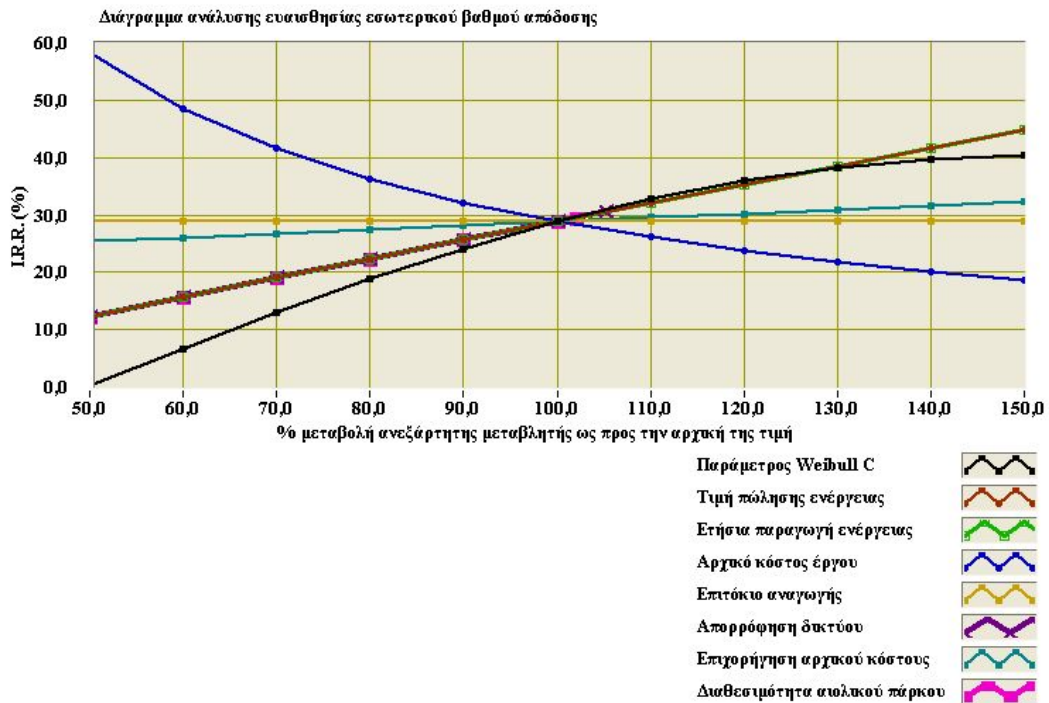
Επιτόκιο αναγωγής (%):	5,50
Εναπομείνουσα αξία (ευρώ):	0,00

Στον ακόλουθο πίνακα 7.8 παρουσιάζονται οι οικονομικοί δείκτες της επένδυσης.

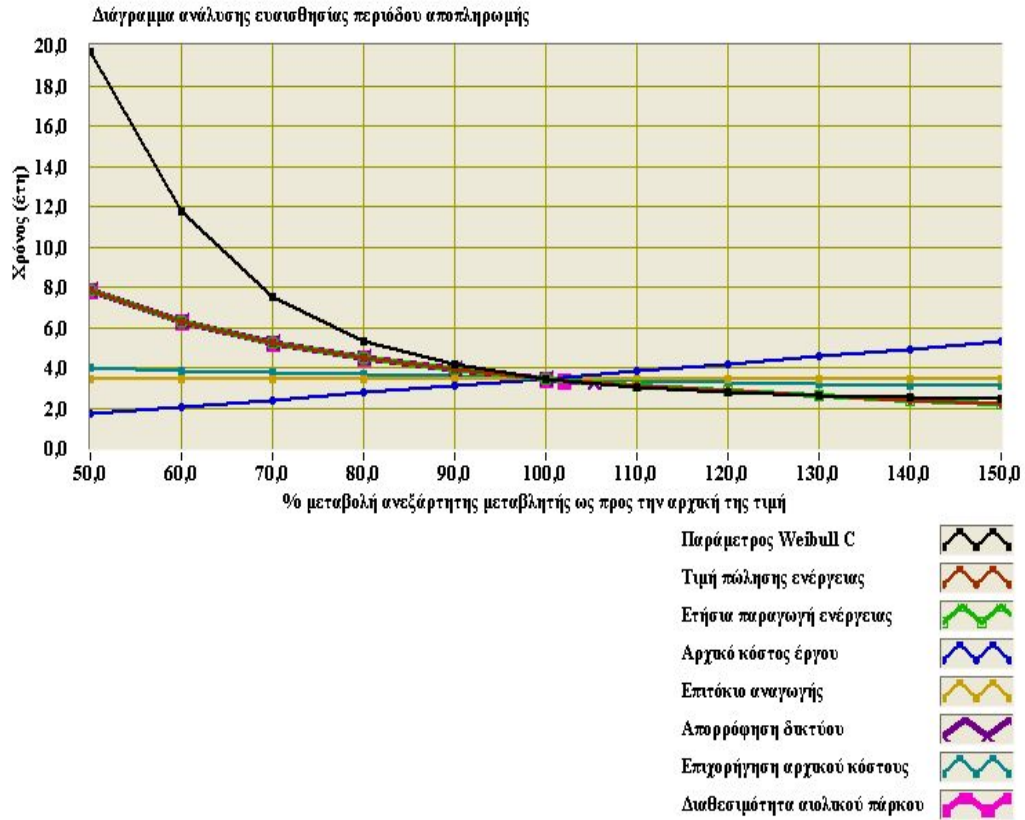
Καθαρή παρούσα αξία ιδίων κεφαλαίων - N.P.V. (ευρώ):	64.790.424,28
Εσωτερικός βαθμός απόδοσης ιδίων κεφαλαίων - I.R.R. (%):	28,82
Περίοδος αποπληρωμής ιδίων κεφαλαίων (έτη):	3,46
Έντοκη περίοδος αποπληρωμής ιδίων κεφαλαίων (έτη):	3,95
Απόδοση αρχικών κεφαλαίων επένδυσης - R.O.I. (%):	142,84
Απόδοση ιδίων κεφαλαίων επένδυσης - R.O.E. (%):	357,10
Ειδικό κόστος παραγωγής ενέργειας (ευρώ/kWh):	0,0407



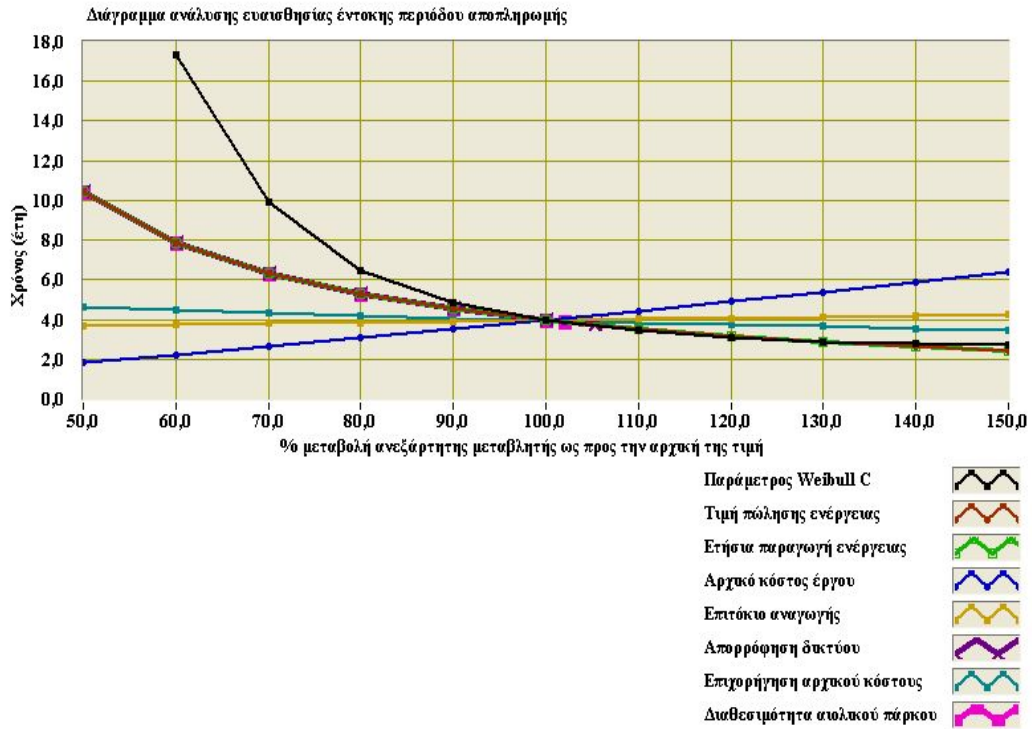
Σχήμα 7.5: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας καθαρής παρούσας αξίας ιδίων κεφαλαίων.



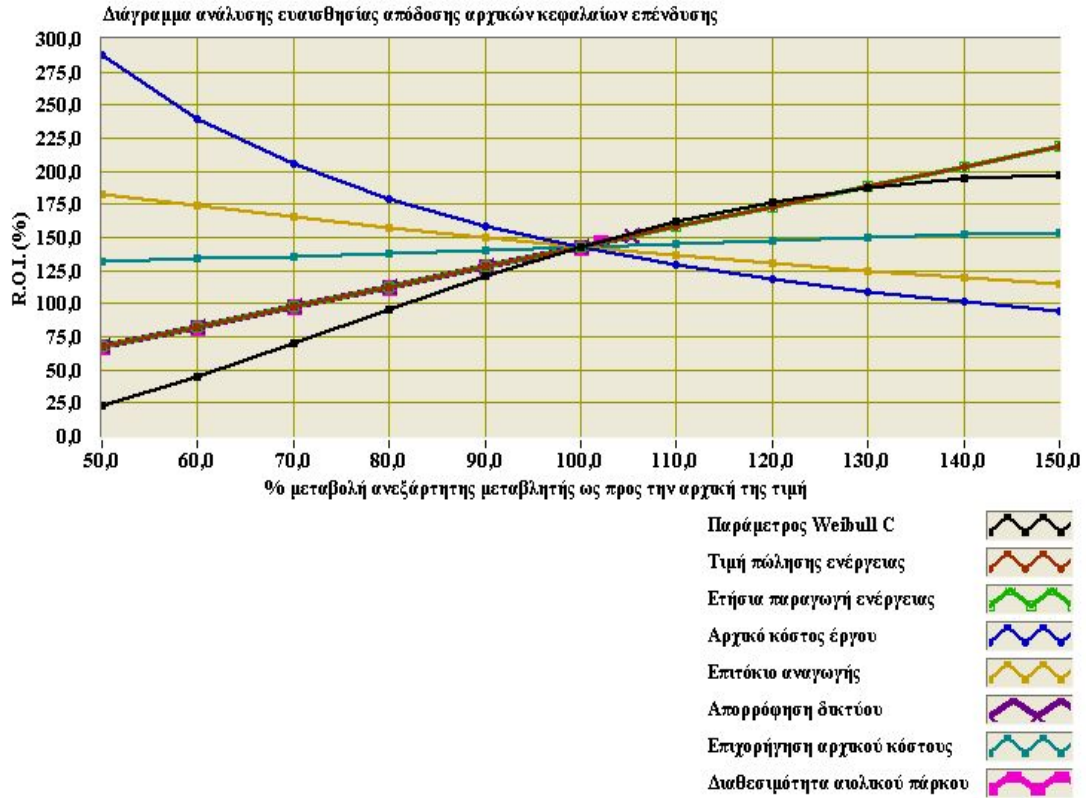
Σχήμα 7.6: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας εσωτερικού βαθμού απόδοσης ιδίων κεφαλαίων.



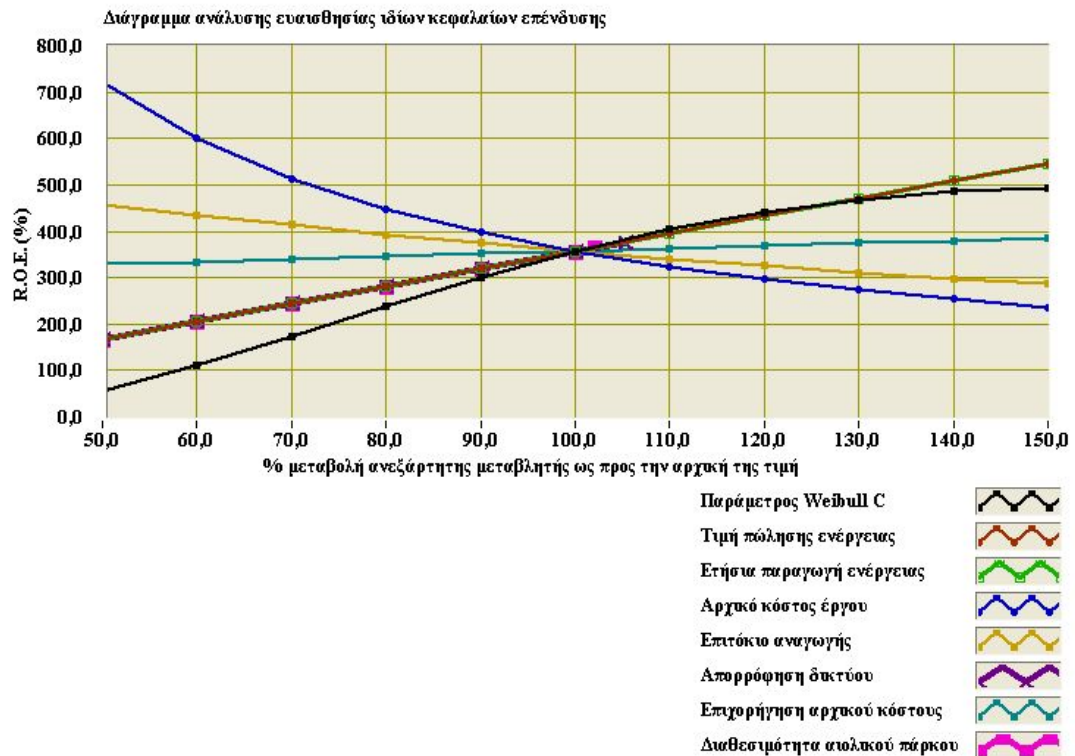
Σχήμα 7.7: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας περιόδου αποπληρωμής ιδίων κεφαλαίων.



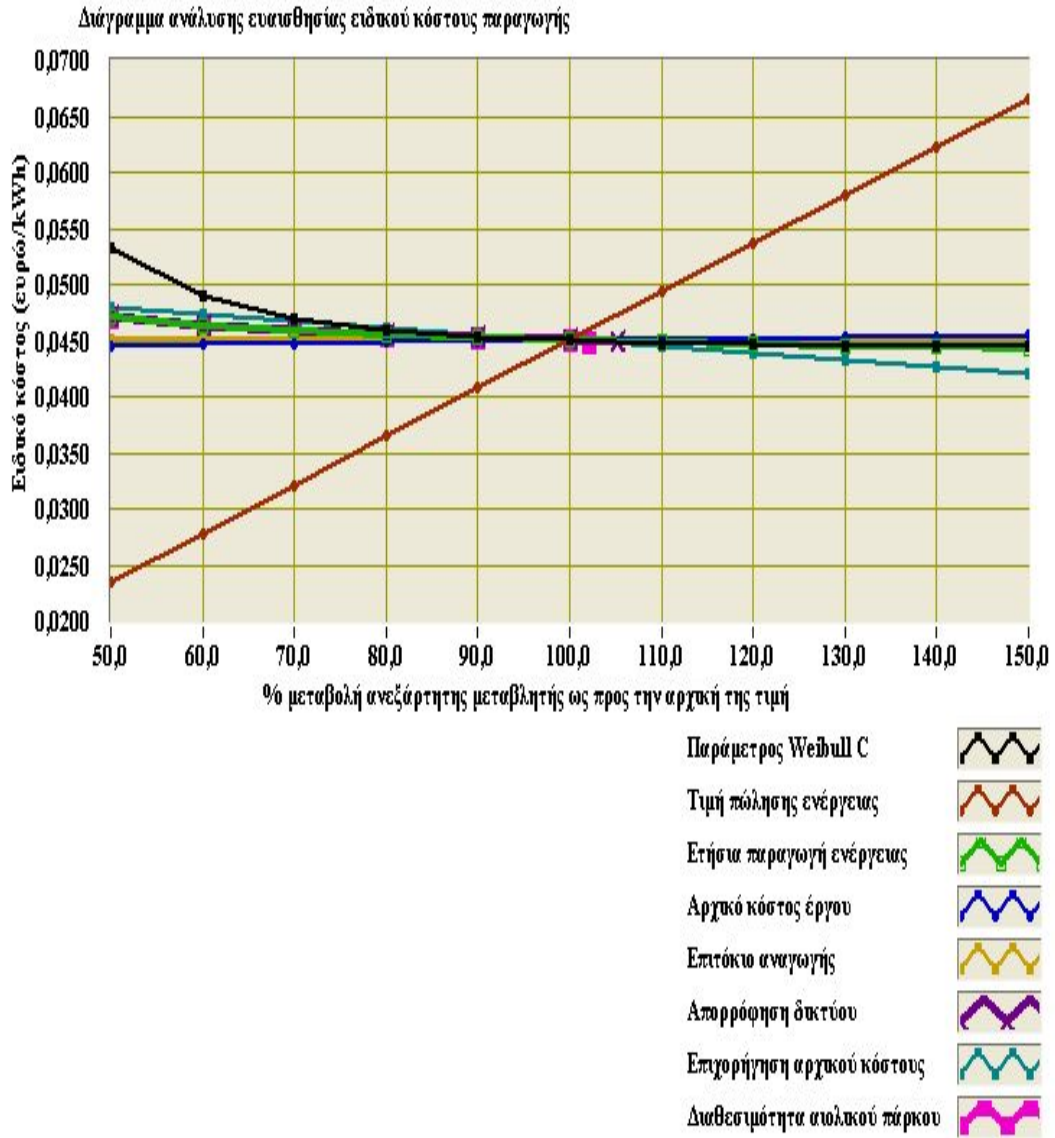
Σχήμα 7.8: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας έντοκης περιόδου αποπληρωμής ιδίων κεφαλαίων.



Σχήμα 7.9: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας απόδοσης αρχικών κεφαλαίων επένδυσης.



Σχήμα 7.10: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας απόδοσης ιδίων κεφαλαίων επένδυσης.



Σχήμα 7.11: Διάγραμμα ανάλυσης ευαισθησίας ειδικού κόστους παραγωγής.



7.5. Συμπεράσματα οικονομικής μελέτης

Από την παραπάνω οικονομική μελέτη προέκυψαν σημαντικά αποτελέσματα που δείχνουν ότι μια παρόμοια μελλοντική επένδυση είναι εξαιρετικά συμφέρουσα. Βάσει των παραπάνω αποτελεσμάτων, αναφέρονται στη συνέχεια τα εξής:

- **Εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR)**

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης εκφράζει σε επιτόκιο την ετήσια απόδοση του κεφαλαίου που επενδύθηκε. Στη συγκεκριμένη ανάλυση βρέθηκε ότι είναι ίσος με **28,82%**, ποσοστό εξαιρετικά ικανοποιητικό για τα δεδομένα της επένδυσης

- **Καθαρή Παρούσα Αξία (N.P.V)**

Η καθαρή παρούσα αξία είναι το σύνολο των εσόδων της επένδυσης ανοιγμένο στην παρούσα χρονική στιγμή. Η τιμή της καθαρής παρούσας αξίας που υπολογίστηκε είναι ίση με **64.790.424,28 €**.

- **Χρόνος Αποπληρωμής (X. Α ή P.T)**

Ο χρόνος αποπληρωμής είναι ο χρόνος που απαιτείται για να συγκεντρωθούν από τα έσοδα του συστήματος τα κεφάλαια που επενδύθηκαν. Η οικονομική μου μελέτη υπολογίζει ότι η συγκέντρωση του κεφαλαίου από τα έσοδα θα πραγματοποιηθεί σε **3,46** έτη, ενώ η έντοκη περίοδος αποπληρωμής υπολογίστηκε σε **3,95** έτη, χρόνος αρκετά ικανοποιητικός για το είδος της επένδυσης.

- **Κόστος Παραγωγής (Κ.Π ή P.C)**

Το κόστος παραγωγής εκφράζει την έννοια του νεκρού σημείου, δηλαδή το ελάχιστο τίμημα της ενέργειας ώστε η επένδυση να είναι οικονομικά βιώσιμη. Το υπολογιζόμενο κόστος παραγωγής μας αντιστοιχεί σε **0,0407 €/KWh** τίμημα που μπορεί να χαρακτηριστεί όχι και τόσο υψηλό.



Οφέλη

8.1. Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα οφέλη που μπορούν να προκύψουν στην περίπτωση που το αιολικό πάρκο πραγματοποιηθεί. Αναφέρω τα τρία σπουδαιότερα οφέλη της επενδύσεις αυτή παρακάτω.

8.2. Οικονομικά για τον επενδυτή

Τα δυο σημεία στα οποία πρέπει να επικεντρώσουμε την προσοχή μας στην οικονομική αξιολόγηση της επένδυσης είναι ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης (IRR) και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής. Στην περίπτωση μας ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης είναι 28,82 % και η έντοκη περίοδος αποπληρωμής είναι 3,95 έτη όπως μπορούμε να δούμε στην οικονομική μελέτη στο κεφάλαιο 7.

Οι τιμές αυτές κρίνονται αρκετά ικανοποιητικές και υπερέχουν πολλών επενδύσεων ανάλογου ποσού. Να επισημάνουμε ότι το ρίσκο σε μια επένδυση Α/Π είναι πολύ μικρότερο από επενδύσεις παρεμφερούς κόστους και πολύ αποδοτικότερο από τραπεζικές επενδύσεις. Είναι γεγονός ότι η ανέγερση ενός Α/Π θα αναβαθμίσει την γύρω περιοχή, θα γίνει πόλος έλξης επιστημόνων αλλά και απλών πολιτών εξαιτίας της σύγχρονης τεχνολογίας που χρησιμοποιεί. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι στο συγκεκριμένο έργο υπάρχει ήδη οδικό δίκτυο σε μικρή απόσταση από την περιοχή που πρόκειται να γίνει η επένδυση πράγμα που περιορίζει τον όγκο των απαιτούμενων συνοδών έργων. Γενικά το αιολικό πάρκο μπορεί να κατασκευαστεί από τεχνικής πλευράς καθώς και να συντηρηθεί μιας και οι συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κρίνονται ικανοποιητικές. Από όλα τα παραπάνω αλλά και από το σύνολο της παρούσας μελέτης βγαίνει καθαρά το συμπέρασμα ότι η εγκατάσταση ενός Α/Π στην εξεταζόμενη θέση είναι μια συμφέρουσα επένδυση.

8.3. Περιβαλλοντικά και Αναπτυξιακά οφέλη για την περιοχή

Με βάση τα καταγεγραμμένα απολογιστικά στοιχεία των εν λειτουργία έργων Α/Π στην Ελλάδα, τα έργα αυτά :

1. Συμβάλλουν σημαντικά στην τοπική απασχόληση. Έτσι για το Α/Π 42 MW στην οροσειρά Αστερουσίων απαιτούνται :
 - 120 ανθρωπομήνες απασχόλησης στη φάση της κατασκευής του. Το 30 - 40 % αυτής της απασχόλησης προέρχεται από το ντόπιο εργατικό δυναμικό.
 - 5-6 μόνιμοι εργαζόμενοι στη φάση λειτουργίας του, οι περισσότεροι από τους οποίους είναι ντόπιοι.



Η συμβολή των έργων ΑΠΕ στην απασχόληση, τόσο την τοπική όσο και αυτήν σε εθνικό επίπεδο, γίνεται πραγματικά εντυπωσιακή εάν συμπεριληφθούν οι προοπτικές εγχώριας κατασκευής / συναρμολόγησης μεγάλων τμημάτων του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού των έργων αυτών, όπως είναι οι πυλώνες των ανεμογεννητριών, οι μετασχηματιστές, κ.α. Οι προοπτικές αυτές, οι οποίες έχουν ήδη αρχίσει να υλοποιούνται στην Ελλάδα (εργοστάσιο ΡΟΚΑΣ στην Τρίπολη, εργοστάσιο BIOMEK στο Αλιβέρι), μπορούν να εκτοξεύσουν τη σχετιζόμενη με τις ΑΠΕ απασχόληση, ιδιαίτερα την τοπική, στα ύψη: σύμφωνα με τα έγκυρα και απόλυτα τεκμηριωμένα απολογιστικά στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής ("Wind Energy: The Facts", 1999), κάθε 10 MW αιολικής ενέργειας που εγκαθίστανται δημιουργούν σήμερα 150-190 νέες θέσεις εργασίας, κυρίως στη βιομηχανική παραγωγή του απαιτούμενου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού. Έτσι για το Α/Π:

2. Η λειτουργία του Α/Π προσφέρει ένα μόνιμο και σημαντικό ετήσιο έσοδο στους τοπικούς Δήμους (3% επί του ακαθάριστου ετήσιου εσόδου τους), αλλά και στην τοπική οικονομία γενικότερα. Έτσι το αιολικό πάρκο των 42 MW :
 - Έχει κόστος κατασκευής 63 εκατ. ευρώ περίπου από τα οποία το 6,87 εκατ. ευρώ δαπανώνται τοπικά, σε εργολαβίες, προμήθειες, μισθούς στη φάση κατασκευής, κλπ.
 - Έχει ετήσιο ακαθάριστο έσοδο, από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει, περίπου 7,4 εκατ. ευρώ το χρόνο, από τα οποία τα 216.000 ευρώ το χρόνο (το 3%) εισφέρονται δια νόμου ως έσοδο στους τοπικούς Δήμους, για όλη τη διάρκεια ζωής του αιολικού πάρκου, δηλ. για τουλάχιστον 20 χρόνια.
 - Απαιτεί, για τις ανάγκες λειτουργίας του 150.000 Ευρώ το χρόνο σε τοπικές δαπάνες (μισθούς τοπικού μόνιμου προσωπικού, τοπικές εργολαβίες συντήρησης και επισκευών, κ.α.).
3. Η κατασκευή του Α/Π στην περιοχή συνοδεύεται από την παράλληλη υλοποίηση σειράς αντισταθμιστικών οφελών, πέραν των άμεσων και μετρήσιμων οικονομικών εισροών και των δημιουργούμενων θέσεων απασχόλησης. Έτσι :
 - Κατασκευάζονται ή / και βελτιώνονται, χωρίς κόστος για τους δημότες, σημαντικά έργα υποδομής στην ευρύτερη περιοχή (οδικό δίκτυο, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρικό δίκτυο).
 - Κατασκευάζονται, ως αντισταθμιστικά οφέλη (χωρίς κόστος) για τους τοπικούς Δήμους, διάφορα κοινωφελή έργα, όπως κοινοτικοί δρόμοι, σχολεία, παιδικοί σταθμοί κ.α., ενώ προσφέρονται από τους επενδυτές και ανάλογες χορηγίες.
 - Προωθούνται νέες, εναλλακτικές και ιδιαίτερα κερδοφόρες μορφές τουρισμού στην περιοχή, όπως π.χ. ο οικοτουρισμός (επισκέψεις σε εγκαταστάσεις οικολογικών μορφών ενέργειας, όπως είναι τα αιολικά πάρκα).
4. Συντελούν αποφασιστικά στην προστασία του περιβάλλοντος της περιοχής, αφού περιορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις εκπομπές επιβλαβών για την υγεία ρυπαντικών ουσιών, που προκαλούνται από την καύση



ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, πετρελαίου, αερίου). Κάθε kWh ηλεκτρικής ενέργειας, που αντί των θερμοηλεκτρικών σταθμών παράγεται από τα αιολικά πάρκα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης συγκεκριμένων ποσοτήτων αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα. Οι ποσότητες αυτές παρουσιάζονται στον πίνακα 8.1.

Πίνακας 8.1: Εκπομπές αερίων ρύπων ανά kWh παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς.

Ρύπος	Εκπεμπόμενη μάζα ανά παραγόμενη kWh ηλεκτρικής ενέργειας (gr)
SO ₂	19,40
CO ₂	1.062,50
NO _x	1,50
CO	0,18
HC	0,05
σωματίδια	1,00

8.4. Επίλογος - Συμπεράσματα

Από την προηγηθείσα ανάλυση, μπορούν να διατυπωθούν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Το αιολικό δυναμικό της προτεινόμενης περιοχής εγκατάστασης είναι υψηλό, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3.
- Η περιοχή παρέχει πλήρως αναπτυγμένο δίκτυο οδοποιίας, γεγονός που διευκολύνει πολύ τα έργα εγκατάστασης του αιολικού πάρκου και μειώνει τις σχετικές απαιτούμενες δαπάνες.
- Η θέση της περιοχής εγκατάστασης και η γεωμορφολογία της ευρύτερης περιοχής ελαχιστοποιούν τις εκτιμώμενες επιπτώσεις από την εγκατάσταση και λειτουργία του πάρκου στην περιοχή (ηχητική και οπτική όχληση, σκίαση, κλπ, κεφάλαιο 6).
- Η επίδραση του αιολικού πάρκου στην ορνιθοπανίδα της περιοχής μπορεί να περιοριστεί στο ελάχιστο δυνατό μέσα από τη θέσπιση ειδικών όρων που θα συμπεριληφθούν στη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων του έργου.
- Η αντίστοιχη επένδυση παρουσιάζει εξαιρετικούς οικονομικούς δείκτες.
- Το εξεταζόμενο έργο μπορεί να αποτελέσει μια σημαντική πηγή ενίσχυσης των τακτικών εσόδων του Δήμου και γενικά της περιοχής.

Επιπλέον, η εγκατάσταση και λειτουργία του εξεταζόμενου αιολικού πάρκου, συνεπάγεται τα ακόλουθα οφέλη για τον τοπικό Δήμο, την περιοχή εγκατάστασης και εν γένει τη χώρα.

- Δημιουργία περίπου 5-10 νέων μόνιμων θέσεων εργασίας ατόμων βασικής τεχνικής κατάρτισης.
- Αύξηση προστιθέμενης αξίας ευρύτερης περιοχής Δήμου.
- Εισροή νέας τεχνολογίας στην περιοχή, κίνητρα για δημιουργία θέσεων εργασίας που να την υποστηρίζουν, προοπτικές ίδρυσης νέων επιχειρήσεων.



- Αναβάθμιση μιας απομονωμένης και χωρίς ιδιαίτερες προοπτικές περιοχής.
- Συμβολή στη γενικότερη παγκόσμια περιβαλλοντική πολιτική και στη βιώσιμη ανάπτυξη.
- Συμβολή στην αύξηση του δυναμικού παραγωγής της χώρας.
- Συμβολή στη βελτίωση της εθνικής οικονομίας.
- Συμβολή στην εθνική απεξάρτηση από εισαγόμενες πρωτογενείς μορφές ενέργειας, στην επίτευξη μεγαλύτερης εθνικής ενεργειακής αυτονομίας και στην επίτευξη, σε εθνικό επίπεδο, των στόχων του Κυότο σχετικά με τη διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο εθνικό ενεργειακό ισοζύγιο.



ΣΥΝΤΜΗΣΕΙΣ-ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

- Α/Γ: Ανεμογεννήτρια
- Α/Π: Αιολικό Πάρκο
- Μ.Τ: Μέση Τάση
- Υ.Τ: Υψηλή Τάση
- Υ/Σ: Υποσταθμός
- Μ/Σ: Μετασχηματιστής
- Α.Δ.Ι : Αυτόματος Διακόπτης Ισχύος
- Δ.Ι: Διακόπτη Ισχύος
- Δ.Φ: Διακόπτη Φορτίου
- ΑΠΖ : Αποζεύκτης
- Η/Ν : Ηλεκτρονόμος
- Σ.Η.Ε : Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας
- Σ.Π : Σταθμός Παραγωγής
- Σ.Α.Σ: Σύστημα Αύξησης Στροφών
- Κ.Ε.Ε: Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας
- Κ.Κ.Φ: Κέντρο Κατανομής Φορτίου
- ΡΑΕ : Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας
- S.C.A.D.A : Supervisory Control And Data Acquisition
- P.W.M : Pulse Width Module
- WAsP : Wind Atlas Analysis and Application Program
- G.R.P : Glass Reinforced Plastic
- U.P.S : Uninterruptible Power Supply
- R.T.U : Remote Terminal Unit



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Δημήτρης Αλ. Κατσαπρακάκης, «Μαθήματα Αιολικής Ενέργειας και Ανάπτυξης Αιολικών Πάρκων», Χρηματοδότηση: INTERREG III C NORTH - Regional Wind Technology and Knowledge Transfer Strategies – Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Λασιθίου, Έτος έκδοσης: 2008.
- [2] Ian D. Bishop, David R. Miller. Visual assessment of off-shore wind turbines: The influence of distance, contrast, movement and social variables. *Renewable Energy* 2007; 32: 814-831.
- [3] Μ.Π. Παπαδόπουλος, “Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές”, Αθήνα, 1997.
- [4] V. Akhmatov, “Analysis of Dynamic Behavior of Electric Power Systems with Large Amount of Wind Power”, PhD Thesis, Technical University of Denmark, April 2003.
- [5] Κώστας Κονταξάκης, «Εργαστηριακές σημειώσεις αιολικών συστημάτων»
- [6] *SURVEY OF PROBES, PRESSURE-TEMPERATURE AND FLOW DIRECTION MEASUREMENTS*, F.A.E. Breugelmans, G.H. Junkhan, Von KARMAN INSTITUTE for Fluid Dynamics, Rhode-Saint-Genese, Belgium
- [7] Papathanassiou S.A., Papadopoulos M.P., “Dynamic Behaviour of Variable Speed Wind Turbines under Stochastic Wind”, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 14, issue: 4, December 1999, pp. 1617 -1623.
- [8] M.R. Patel, “Wind and Solar Power Systems”, CRC Press, 1999.
- [9] Γ. Μπεργελές, Ν. Αθανασιάδης, “Αιολική Ενέργεια και Βιομηχανική Αεροδυναμική”, Εκδόσεις Συμεών.
- [10] Eduard Muljardi and C.P. Butterfield, “Pitch -Controlled Variable – Speed Wind Turbine Generation“, *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 37, No. 1, January / February 2001, pp. 240 -246.
- [11] “Power Quality Improvements of Wind Farms”, Fredericia, June 1998.
- [12] T. Petru and T. Thiringer, “Modelling of Wind Turbines for Power System Studies”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.17, No.4, November 2002
- [13] B.M. Weedy, B.J. Cory, “Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας“, μετάφραση-επιμέλεια 4ης έκδοσης Ν. Κολλιόπουλος, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, 1998
- [14] Αξιολόγηση και χρηματοοικονομική διοίκηση – Αποτίμηση κινδύνου και επενδύσεων , Π.Ε. Πετράκης , Αθήνα 1998 , ISBN 960-91016-0-7
- [15] Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) <http://www.cres.gr/>
- [16] European Wind Energy Association (EWEA) <http://www.ewea.org/>
- [17] Global Wind Energy Council (GWEC) <http://www.gwec.net/>
- [18] Wind Turbines and Windfarms Database http://www.thewindpower.net/index_en.php



- [19] Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ)
<http://www.eletaen.gr/>
- [20] Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)
<http://www.wasp.dk/index.htm>
- [21] <http://www.vestas.com/>