

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ



ΠΕΛΕΚΗΣ ΣΩΚΡΑΤΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η πτυχιακή αυτή εργασία αποτελεί την κορύφωση των σπουδών μου στο ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας (Πάτρα), τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε.

Προσεγγίζοντας το θέμα της μελέτης για την εγκατάσταση αιολικού σταθμού, αναφέρω μεταξύ άλλων ποιες κατηγορίες ανεμογεννητριών υπάρχουν, πώς λειτουργεί μια ανεμογεννήτρια, την ανάλυση τοποθεσίας, τις τοπογραφικές συνθήκες, αναλύω τον σχεδιασμό του αιολικού πάρκου, τις μετρήσεις ανέμου, την επιλογή περιοχής και τύπου ανεμογεννητριών, την χωροθέτηση του αιολικού πάρκου, και ασφαλώς παρουσιάζω εκτός από τις ζημιές της ύπαρξης αιολικών πάρκων, που συχνά ακούγονται, και ποια είναι τα οφέλη.

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω για ακόμη μια φορά, τον Επιβλέποντα Καθηγητή Δρ. Ιωάννη Καλογήρου, για τη συνεργασία και την πολύτιμη συμβολή του στην ολοκλήρωση της.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής

Σωκράτης Πελέκης

.....

Υπογραφή

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εργασία αυτή θα παρουσιαστεί η μελέτη για την εγκατάσταση Αιολικού Πάρκου (Α/Π) 17 MW, στο Ξεροβούνι της Δημοτικής Ενότητας Πλατάνου του Δήμου Ναυπακτίας. Θα αναφερθεί η μέτρηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής για την καταλληλότητά της, ώστε η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική να καλύπτει τις ανάγκες για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Θα αναφερθεί ο τύπος ανεμογεννητριών και οι τεχνικές προδιαγραφές ανεμογεννητριών. Επίσης, θα γίνει αναφορά στην χωροθέτηση του Αιολικού Πάρκου, λαμβάνοντας υπ' όψιν και τα τοπογραφικά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Επιπλέον, για την αποδοτική χωροθέτηση του αιολικού πάρκου θα αναφερθούν και οι απαιτούμενες αποστάσεις μεταξύ ανεμογεννητριών. Με βάση λοιπόν αυτόν τον σκοπό του αντικείμενου της εργασίας αυτής, θα ασχοληθούμε γενικότερα με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, την αιολική ενέργεια και όσα αφορούν ένα αιολικό πάρκο.

Λέξεις κλειδιά: Τεχνικές προδιαγραφές ανεμογεννητριών, αιολικό δυναμικό της περιοχής, τύπος ανεμογεννητριών, χάρτες, χωροθέτηση, αποστάσεις μεταξύ ανεμογεννητριών

ABSTRACT:

In this project a study will be presented for the installation of a 17 MW Wind Farm (WF) in Xerovouni of the Municipality of Platanos, Municipality of Nafpaktia. The measurement of the wind potential of the area for its suitability will be reported so that the conversion of wind energy into electricity will meet the needs for the generation of electricity. The type of wind turbines and wind turbine technical specifications will be reported. The study will also refer to the location of the Wind Farm, taking into account the topographical and wind characteristics of the area. In addition, for the efficient siting of the WF, the required distances between wind turbines will be mentioned. Based on this purpose of the subject of this project, this study will deal more generally with Renewable Energy Sources, Wind Energy and Wind Farm.

Key words: Technical specifications of wind turbines, wind potential of the area, type of wind turbines, maps, siting, distances between wind turbines

*Η πτυχιακή αυτή εργασία είναι αφιερωμένη
στους γονείς μου Δημήτριο και Ελένη
και στην αδελφή μου Νατάσα*

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
ABSTRACT:.....	iii
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΙΣΜΩΝ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ	xiii
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	1
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.....	2
ΑΝΕΜΟΜΥΛΟΙ.....	4
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	6
1.1. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ - ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	6
1.2. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	7
1.2.1. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΜΙΑ ΤΥΠΙΚΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ.....	10
1.3. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	13
1.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	13
1.5. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ - ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	13
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ	15
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ.....	15
2.2. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	16
2.3. ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	18
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ.....	19
3.1. ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΛΛΑΔΑΣ	19
3.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ	21
3.3. ΤΥΡΒΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗ.....	21
3.3.1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΥΡΒΗΣ.....	22
3.3.2. Η ΔΙΑΤΜΗΣΗ.....	23
3.4. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ.....	23
3.4.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	23

3.4.2.	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΕΜΠΟΔΙΩΝ.....	23
3.4.3.	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.....	23
3.4.4.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ.....	25
3.4.5.	ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ.....	26
3.4.6.	ΔΙΕΥΘΥΝΣΙΟΜΕΤΡΟ.....	27
3.4.7.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ WAsP.....	27
3.4.8.	ΑΙΟΛΙΚΟΣ ΑΤΛΑΝΤΑΣ.....	28
3.4.9.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ.....	28
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ.....	29
4.1.	ΑΙΟΛΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΞΕΡΟΒΟΥΝΙ.....	29
4.1.1.	ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΤΟ Α/Π.....	29
4.1.2.	ΔΙΑΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ (Μ.Τ.).....	30
4.1.3.	ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ (Υ/Σ) 20/150KV ΘΕΡΜΟ ΤΡΙΧΩΝΙΔΟΣ.....	31
4.2.	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ.....	31
4.2.1.	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ.....	31
4.2.2.	ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ – Α/Π ΞΕΡΟΒΟΥΝΙ.....	35
4.2.3.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ ΕΡΓΟΥ.....	35
4.2.4.	ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ.....	35
4.2.5.	ΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΑΝΕΜΟΥ.....	36
4.2.6.	ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	36
4.2.7.	ΈΝΤΑΣΗ ΤΥΡΒΗΣ (ΤΙ).....	38
4.2.8.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ Α/Π ΣΤΟ ΞΕΡΟΒΟΥΝΙ.....	39
4.3.	ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ.....	41
4.3.1.	ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ WEIBULL ...	41
4.4.	ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ - METHOD OF INDEPENDENT STORMS (MIS).....	42
4.4.1.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΙΕC.....	43
4.5.	ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ.....	44
4.5.1.	ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΑΓΙΑΣ.....	47
4.5.2.	ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝΤΩΝ ΑΝΕΜΩΝ.....	48
4.5.3.	ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΜΗ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝΤΩΝ ΑΝΕΜΩΝ.....	48
4.5.4.	ΣΥΝΘΕΤΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΥΣ.....	48
4.5.5.	ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ.....	48
4.5.6.	ΕΜΠΟΔΙΑ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ.....	48

4.6.	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	48
4.6.1.	Απόσταση μεταξύ ανεμογεννητριών.....	48
4.6.2.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΤΥΡΒΗΣ	49
4.6.3.	ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	50
4.6.4.	ΜΕΛΕΤΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ	50
4.6.5.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	50
4.7.	ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΣΧΥΟΣ	50
4.7.1.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ 850 kW 50 / 60HZ G52.	50
4.7.2.	ΚΑΜΠΥΛΕΣ Cp ΚΑΙ Ct	51
4.7.3.	ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ G52-850kW 50/60 Hz	52
4.7.4.	ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	53
4.8.	ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΕΜΟΥ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	54
4.8.1.	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	54
4.8.2.	ΜΕΤΡΟ-ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ-ΠΡΟΒΛΕΨΗ (MCP).....	55
4.8.3.	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	55
4.9.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ.....	56
4.9.1.	ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	56
4.9.2.	ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΟΥΣ	56
4.10.	ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΡΩΝ	57
4.10.1.	ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	57
4.10.2.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΟΗΣ ΑΝΕΜΟΥ	57
5.	ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΚΟΥ	61
5.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	61
5.2.	ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	61
5.3.	ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	61
5.4.	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ.....	62
5.5.	ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	62
5.5.1.	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ	62
5.5.2.	ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	63
5.5.3.	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	63
5.5.4.	ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	65
6.	ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ – ΠΡΟΤΥΠΑ	66
6.1.	ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ	66

6.1.1.	ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ (CE)	66
6.1.2.	RESTRICTION OF HAZARDOUS SUBSTANCES (ROHS)	66
6.1.3.	TECHNISCHER ÜBERWACHUNGS - VEREIN (TUV).....	66
6.1.4.	UNDERWRITERS LABORATORIES (UL)	67
6.1.5.	FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (FCC).....	67
6.1.6.	REGISTRATION, EVALUATION, AUTHORISATION AND RESTRICTION OF CHEMICALS (REACH)	67
6.1.7.	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO (9001:2008).....	67
6.1.8.	VERBAND DER ELEKTROTECHNIK (VDE)	67
6.2.	ΠΡΟΤΥΠΑ	68
6.2.1.	ΔΙΕΘΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ - IEC	68
7.	ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ	70
7.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	70
7.2.	ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ.....	70
7.3.	ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ	72
7.4.	ΚΟΣΤΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ.....	72
7.5.	ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ	74
8.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ	75
8.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	75
8.2.	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	75
8.3.	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΕΣ ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ, ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ.....	76
8.4.	ΘΟΡΥΒΟΣ	79
9.	ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑΣ.....	82
9.1.	ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ.....	82
9.2.	ΧΛΩΡΙΔΑ – ΠΑΝΙΔΑ	82
9.3.	ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ	82
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	84
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	85

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ο θεός Αίολος.....	1
Εικόνα 2: Δυο από τις πρώτες ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιήθηκαν για ερευνητικά τεστ το 1897στο Askon της Δανίας κατασκευασμένα από το μετεωρολόγο Poulla Cour που θεωρείται πρωτοπόρος στην αιολική ενέργεια.....	2
Εικόνα 3: Μεγέθη ανεμογεννητριών	6
Εικόνα 4: Κατηγορίες ανεμογεννητριών α)Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα, β) Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα	7
Εικόνα 5: Νέες ιαπωνικές ανεμογεννήτριες	14
Εικόνα 6: Αιολικό Πάρκο στις Η.Π.Α, εταιρίας ΤΕΡΝΑ.....	15
Εικόνα 7: Αιολικό πάρκο στο Μαρμάρι Ευβοίας.	16
Εικόνα 8: Αιολικό πάρκο στο Παναχαϊκό όρος Αχαΐας.....	16
Εικόνα 9: Χάρτης Ελλάδας όπου απεικονίζεται το αιολικό δυναμικό κάθε περιοχής	20
Εικόνα 10: Datalogger.....	25
Εικόνα 11: Κυπελλοφόρα ανεμόμετρα (1.Vector 2.Thies 3.NRG).....	26
Εικόνα 12: Το ύψος της Α/Γ GAMESAG-52 ισχύος 850kW είναι 44m αποτελούμενο από δύο (2) τμήματα ενώ η διάμετρος του ρότορα είναι 52m με μήκος πτερυγίων στα 25,3m.....	30
Εικόνα 13: Υ/Σ Θέρμου	31
Εικόνα 14: Το αιολικό πάρκο όπως φαίνεται από τη δύση.....	34
Εικόνα 15: Το αιολικό πάρκο όπως φαίνεται από την ανατολή.....	34
Εικόνα 16: Η περιοχή αιολικού πάρκου προς τα βόρεια (αριστερά) και νότια (δεξιά).....	34

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: Σχηματική Απεικόνιση σύγκρισης μεγέθους ανεμογεννήτριας με βοηθητική κολώνα, πύργο μετάδωσης και δέντρο	7
Σχήμα 2: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου/κάθετου άξονα.....	8
Σχήμα 3: Σχηματική παράσταση εγκατάστασης εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας.....	9
Σχήμα 4: Μέρη ανεμογεννήτριας	12
Σχήμα 5: Μηχανικά μέρη μίας ανεμογεννήτριας	12
Σχήμα 6: Γενικές αρχές για τη βέλτιστη τοποθέτηση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας ...	17
Σχήμα 7: 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.....	22
Σχήμα 8: Τυπική λοφοσειρά.....	24
Σχήμα 9: Πιθανή ζώνη υψηλής τύρβης.....	24
Σχήμα 10: Σκαρίφημα ανεμόμετρου	26
Σχήμα 11: Εσωτερική δομή μιας ανεμογεννήτριας GAMESAG-52 ισχύος 850kW	29
Σχήμα 12: Απόσπασμα από γεωφυσικό χάρτη που δείχνει τις τοποθεσίες των ανεμογεννητριών (με κόκκινο χρώμα) και τους 4 σταθμούς αιολικής ενέργειας (μπλε ρόμβους) μέσα στο χώρο του αιολικού πάρκου. Πηγή: Topo Navigator 3.9.	32
Σχήμα 13: Απόσπασμα από γεωφυσικό χάρτη που δείχνει τις τοποθεσίες των ανεμογεννητριών και τους 4 σταθμούς αιολικής ενέργειας (μπλε ρόμβους) μέσα στο χώρο του αιολικού πάρκου. Πηγή: Topo Navigator 3.9.	32
Σχήμα 14: Απόσπασμα από το χάρτη GYS Klerα 1: 50.000 που δείχνει την τοποθεσία του αιολικού πάρκου.	33
Σχήμα 15: Ροδογράμματα: Ροδόγραμμα Συχνότητας (Frequency rose), Ροδόγραμμα Μέσης Ταχύτητας Ανέμου (Mean wind speed rose), και Ροδόγραμμα Ενέργειας (Energy rose).	36
Σχήμα 16: Μείωση ισχύος λόγω του φαινομένου αφύπνισης σε έναν άνεμο με 5 ανεμογεννήτριες. Αριστερά: κατεύθυνση ανέμου παράλληλα με τις παρατεταγμένες ανεμογεννήτριες. Δεξιά: κατεύθυνση ανέμου κάθετα προς τις παρατεταγμένες ανεμογεννήτριες [University Oldenburg, Γερμανία].....	37
Σχήμα 17: Τα προφίλ ταχύτητας ύψους πλήρους υπήνεμη μιας ανεμογεννήτριας. Η απόσταση εμφανίζεται ως πολλαπλάσια της διαμέτρου του ρότορα D.	37
Σχήμα 18: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου, την κατανομή Weibull και ροδόγραμμα ενέργειας στον ιστό μέτρησης XERO302 στα 30 m.	38
Σχήμα 19: Η διάταξη του αιολικού πάρκου. Τα περιγράμματα ανύψωσης εδάφους σε διάστημα 4 μέτρων. Η αριθμηση των ανεμογεννητριών αυξάνεται από το νότο στο βορρά. Τα παρατηρούμενα ροδογράμματα ταχύτητας ανέμου (wind roses) παρουσιάζονται γραφικά...54	
Σχήμα 20: Τομέας εφαρμογής για το αιολικό πάρκο στο Ξεροβούνι. Το διάστημα περιγράμματος ανύψωσης είναι 20 m στην εξωτερική περιοχή και 4 m στην εσωτερική περιοχή.....	56

Σχήμα 21: Η ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης 44m. Συντελεστής μακροπρόθεσμης προσαρμογής: 0,93. Ομοιογενές μήκος τραχύτητας $z_0 = 0,05m$. Επίσης παρέχεται ο δείκτης ανθεκτικότητας (RIX).....	59
Σχήμα 22: Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα.....	60
Σχήμα 23: Περιοχή σκίασης A/Γ	62
Σχήμα 24: Μεθολογία υπολογισμού αναμενόμενης ετήσιας ενέργειας.....	65
Σχήμα 25: Πρόκληση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών από τις ανεμογεννήτριες.....	78
Σχήμα 26: Μετρήσεις των Decibels	81

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: : Διαχρονική εξέλιξη του μεγέθους των ανεμογεννητριών από το 1980 μέχρι σήμερα.....	6
Πίνακας 2: Κατηγορίες αιολικού δυναμικού	19
Πίνακας 3: Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμων (10 m από το έδαφος)	20
Πίνακας 4: Μέση ταχύτητα, παράμετροι A και k Weibull σε κάθε θέση και ιστό μέτρησης στο ύψος της πλήμνης 55 m.	41
Πίνακας 5: Μέση ταχύτητα, παράμετροι A και k Weibull σε κάθε θέση και συνάντησε τον ιστό μέτρησης στο ύψος της πλήμνης 44 m.....	42
Πίνακας 6: Αποτελέσματα που ελήφθησαν στον ιστό μέτρησης XERO302 σε ύψος μέτρησης 30 m και ύψη της πλήμνης 55 / 44 m	43
Πίνακας 7: Ταξινόμηση IEC για κάθε προτεινόμενη θέση και ιστό μέτρησης σε ύψος της πλήμνης 55 m	43
Πίνακας 8: Ταξινόμηση IEC για κάθε προτεινόμενη θέση και ιστό μέτρησης σε ύψος της πλήμνης 44 m	44
Πίνακας 9: Τιμές παραμέτρων υπολογισμού για την καμπύλη ισχύος του ανεμοστρόβιλου 850 KW 50 / 60Hz G52	50
Πίνακας 10: Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου [m/s]	52
Πίνακας 11: Οι θέσεις των ανεμογεννητριών στο σύστημα GGRS87. Το υψόμετρο υπολογίζεται από το WAsP από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.	53
Πίνακας 12: Ταχύτητα ανέμου, παράμετρος Weibull και τιμές RIX στις θέσεις w / t.	58
Πίνακας 13: Συμβολισμοί πιστοποιήσεων	68
Πίνακας 14: Ανηγγμένο κόστος κατασκευής αιολικού πάρκου: 900 €/kWe.....	74
Πίνακας 15: Επίπεδα θορύβου.....	80
Πίνακας 16: Μετρήσεις των Decibels.....	80

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΙΣΜΩΝ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

ERR (%): Economic Rate of Return

G52-850kW: Ανεμογεννήτρια κατασκευασμένη από την Gamesa I & T με διάμετρο 52m και ονομαστική ισχύ 850kW

IEC: International Electrotechnical Commission (Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή)

IEC-61400-1: (πρότυπο) Τυπική ταξινόμηση ανεμογεννητριών

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

Met mast: Μετεωρολογικός ιστός μέτρησης

MIS: Method of Independent Storms (Μέθοδος ανεξάρτητων καταιγίδων)

MVA (μεγαβάτ – αμπέρ) εκτιμώμενη φαινόμενη ισχύς

PBP (Έτη): Pay Back Period (Έντοκη Περίοδος Αποπληρωμής Κεφαλαίου)

RIX: Rugged Index (Δείκτης ανθεκτικότητας στο χώρο)

SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition (Σύστημα Ελέγχου, Εποπτείας και Μετρήσεων)

TI: Ένταση τύρβης ανέμου

TI₁₅: Η σταθμισμένη μέση τιμή που λαμβάνεται υπόψη για την TI από 10 m / s μέχρι την ταχύτητα ανέμου

UPS: Uninterruptible Power Supply (Αδιάλειπτη τροφοδοσία ρεύματος)

V_{ave}: Μέση ταχύτητα ανέμου

V_{max}: Μέγιστη ταχύτητα ανέμου

V_{ref std dens}: Αναφορά ταχύτητας ανέμου σε τυπική πυκνότητα (1.225kg / m³)

V_{ref}: Αναφορά ταχύτητας ανέμου

WF: WindFarm (ΑιολικόΠάρκο)

WAsP: Wind Atlas Analysis and Application Program (Λογισμικό Ανάπτυξης Αιολικού Άτλαντα)

WTG: Wind Turbine Generator, Ανεμογεννήτρια

A/Γ: Ανεμογεννήτρια

A/Π: Αιολικό Πάρκο

ΑΚΕ (I.I.C): Αρχικό Κόστος Επένδυσης (Initial Investment Cost)

ΑΠΕ: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

ΑΣΠΗΕ: Αιολικός Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΕΛΔ: Ετήσιες Λειτουργικές Δαπάνες

ΕΟΟ: Ετήσιο Οικονομικό Όφελος

ΚΕΟΟ: Καθαρό Ετήσιο Οικονομικό Όφελος

Μ.Τ.: Μέση Τάση

Μ/Σ: Μετασχηματιστής

Ο.Ρ.Σ.Α.: (Οργανισμός Ρυμοτομικού Σχεδίου Αθηνών)

Υ.Τ.: Υψηλή Τάση

Υ/Σ: Υποσταθμός

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια του ανέμου που δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας τους ανέμους. Λόγω της ιδιότητας του θερμού αέρα να διαστέλλεται, με συνέπεια να μειώνεται η πυκνότητα και το βάρος του, οι θερμές μάζες αέρα παρουσιάζουν ανοδική κίνηση. Αντίστοιχα, οι ψυχρές μάζες μετακινούνται προς τα χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας, που έχουν κενωθεί. Η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" ή "πράσινες" πηγές όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους. Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το καύσιμο είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα. Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.



Εικόνα 1: Ο θεός Αίολος

Ο άνεμος, όπως από παλιά έχει διαπιστώσει ο άνθρωπος, είναι δυνατό να περιστρέψει ανεμόμυλους ή ανεμοτροχούς, να προωθήσει ιστιοφόρα πλοία και οχήματα ή να κινήσει αντικείμενα, να μας δώσει δηλαδή ενέργεια. Αυτή η ενέργεια, ονομάζεται αιολική (ο Αίολος ήταν ο "διαχειριστής" των ανέμων, κατά τους αρχαίους Έλληνες) και παράγεται από την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου (Εικόνα 1: ο θεός Αίολος). Αξιοποιείται

στις μέρες μας ολοένα και περισσότερο, σε περιοχές όπου συχνά φυσούν ισχυροί άνεμοι. Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας χάνεται στα βάθη της ιστορίας. Ο εγκλωβισμός, κατά τον Όμηρο, των ανέμων στον ασκό του Αιόλου δείχνει ακριβώς την ανάγκη των ανθρώπων να διαθέτουν τους ανέμους στον τόπο και χρόνο που οι ίδιοι θα ήθελαν. Για πολλές εκατοντάδες χρόνια η κίνηση των πλοίων στηριζόταν στη δύναμη του ανέμου, ενώ η χρήση του ανεμόμυλου ως κινητήριας μηχανής εγκαταλείπεται μόλις στα μέσα του προηγούμενου αιώνα. Η πετρελαϊκή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του '70, φέρνει ξανά στο προσκήνιο τις ΑΠΕ και την αιολική ενέργεια. Γίνεται πλέον συνείδηση σε όλο και περισσότερο κόσμο, πως ο άνεμος είναι μια καθαρή ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε σήμερα τις ανεμογεννήτριες, με τις οποίες μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Ο άνθρωπος έχει εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια από νωρίς στην ιστορία του. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά για την κίνηση των πλοίων. Οι Κινέζοι, οι Πέρσες, οι Έλληνες και οι Αιγύπτιοι έχουν χρησιμοποιήσει τους ανεμόμυλους για πολλούς αιώνες π.Χ. και κυρίως για το άλεσμα των δημητριακών. Συγκεκριμένα οι Πέρσες χρησιμοποιούσαν ανεμόμυλους κάθετου άξονα, αρχαιότερος ανεμόμυλος εντοπίστηκε στην Περσία (900-500 π.Χ.). Επιπλέον, οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν για άντληση νερού. Αυτή η εφαρμογή υπήρχε κυρίως στην Ολλανδία όπου οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν για την άντληση νερού από τις πλημμυρισμένες περιοχές και την μεταφορά τους στη θάλασσα. Το 1900, οι Δανοί παρήγαγαν ηλεκτρισμό από τον άνεμο ενώ στην Αμερική ανεμόμυλοι μεταλλικής κατασκευής χρησιμοποιούνται επίσης για ηλεκτροδότηση. Το 1891 λειτούργησε στο Askon της Δανίας πειραματικός ανεμοκινητήρας (Εικόνα 2) με δύο ηλεκτρικές γεννήτριες (2x9KW) με διάμετρο 22.8m κάτω από την επίβλεψη του καθηγητή P.La Cour ο οποίος χρησιμοποίησε την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια για ηλεκτρόλυση, έτσι ώστε να παράγει υδρογόνο που διοχετευόταν στην εγκατάσταση αερίου για τον φωτισμό των κτιρίων ενός σχολείου.



Εικόνα 2: Δυο από τις πρώτες ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιήθηκαν για ερευνητικά τεστ το 1897 στο Askon της Δανίας κατασκευασμένα από το μετεωρολόγο Poulla Cour που θεωρείται πρωτοπόρος στην αιολική ενέργεια.

Αντίστοιχα τη δεκαετία του 1930 κατασκευάστηκε στη βαλτική μηχανή 100 KW, με σχεδιαστική επίβλεψη του Sabanin και Yuriev. Τέλος το 1940 κατασκευάζεται στο Vermont των Η.Π.Α. ένας πειραματικός δίπτερος ανεμοκινητήρας (ανεμογεννήτρια) σημαντικής ισχύος. Κατά τη διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου, η κατασκευαστική εταιρεία F.L. Smidth της Δανίας, κατασκεύασε ένα σημαντικό αριθμό ανεμογεννητριών με δύο και τρία πτερύγια. Μία από τις πρώτες μηχανές με τρία πτερύγια της εταιρείας F.L. Smidth εγκαταστάθηκε στο νησί Bogy, στη Δανία το 1942. Η ανεμογεννήτρια συνδυάστηκε με μία νηζελογεννήτρια (Dieselgenerator) για την ηλεκτροδότηση του νησιού.

Το 1951 έγινε μια μετατροπή της μηχανής από συνεχές σε εναλλασσόμενο ρεύμα 35 KW, με αποτέλεσμα να είναι η δεύτερη μηχανή στον κόσμο που παρήγαγε εναλλασσόμενο ρεύμα. Ο μηχανικός Johannes Juul, μαθητής του Poul La Cour, κατασκεύασε την πρώτη ανεμογεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος στον κόσμο. Η μηχανή εγκαταστάθηκε στο Vester Egesborg, Δανία.

Το 1956-57 ο Johannes Juul κατασκεύασε μια πρωτοποριακή μηχανή (200 KW) για την εταιρεία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή Gedser στην νότια Δανία. Η ασύγχρονη μηχανή με τρία πτερύγια, ηλεκτρομαγνητικά μεταβαλλόμενης κλίσης, αποτελεί τη βάση ανάπτυξης των σύγχρονων ανεμογεννητριών. Για πρώτη φορά η μηχανή περιελάμβανε μηχανισμό φρένου για την προστασία της μηχανής από τις υψηλές ταχύτητες του ανέμου. Ο Juul σχεδίασε το σύστημα που ο μηχανισμός του περιελάμβανε τα φρένα στην άκρη τα οποία απελευθερώνονταν από την φυγόκεντροδύναμη όταν η ταχύτητα περιστροφής ξεπερνούσε κάποιο όριο. Η ανεμογεννήτρια που ήταν για αρκετά χρόνια η μεγαλύτερη στον κόσμο, αποδείχθηκε ιδιαίτερα ανθεκτική. Λειτούργησε για 11 χρόνια χωρίς να απαιτηθεί συντήρηση.

Από την δεκαετία του 1930 και άλλες ευρωπαϊκές χώρες (Ρωσία, Γαλλία) επιχειρούν να εκσυγχρονίσουν τις αιολικές μηχανές ηλεκτροπαραγωγής. Χρησιμοποιώντας παρόμοιες, μεταξύ τους, τεχνικές, κατασκευάζουν μηχανές, διαμέτρου 20-30m, μέγιστης ισχύος 32KW, παραμένοντας μακριά από το επιθυμητό αποτέλεσμα και αντιμετωπίζοντας σημαντικά προβλήματα ανθεκτικότητας των υλικών. Μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο, πραγματοποιούνται πιο αξιόλογες μελέτες, κυρίως στη Γαλλία, συντελώντας στην εξέλιξη της αιολικής τεχνολογίας και τον εντοπισμό των παραγόντων που προκαλούν θόρυβο. Μέγιστο επίτευγμα της φάσης αυτής αποτελεί η ανεμογεννήτρια Best Romani, τριών πτερυγίων, διαμέτρου 30m και απόδοσης 800KW. Μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο, στην Αμερική κατασκευάζονται οι ισχυρότερες ανεμογεννήτριες, από το MIT, σπάζοντας το φράγμα του 1 MW.

Η αιολική ενέργεια δεν θεωρήθηκε όμως σημαντική μέχρι τη δεκαετία του 70' όταν ο άνθρωπος συνειδητοποίησε το ενεργειακό και περιβαλλοντικό πρόβλημα του πλανήτη μας και προσπάθησε να ξανασχεδιάσει την ανεμογεννήτρια. Στη χώρα μας χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά ανεμόμυλοι κυρίως στην Ανατολική Κρήτη για την άντληση ποτιστικού νερού από πηγάδια. Οι ανεμόμυλοι αυτοί είναι σιδερένιοι με υφασμάτινα πανιά, και αναφέρονται συγκεντρωμένοι κύρια στο οροπέδιο του Λασιθίου. Την εποχή της άνθησής τους, πριν το 1940, υπήρξαν χιλιάδες ανεμόμυλοι ενώ σήμερα λειτουργούν περίπου χίλιοι.

Παράλληλα στη Σητεία αναφέρθηκε μια ενδιαφέρουσα μέθοδος αντλησιοταμίευσης, η οποία διερευνάται ως προς την οικονομικοτεχνική ελκυστικότητα της και σήμερα. Στην περίπτωση αυτή της Σητείας, η αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται για την άντληση νερού με την βοήθεια ανεμόμυλων, το οποίο αποθηκεύεται σε υψηλή δεξαμενή. Στη συνέχεια η διαθέσιμη υδατόπτωση χρησιμοποιείται κατά βούληση σε προσκείμενους νερόμυλους. Σημαντικός αριθμός ανεμόμυλων βρέθηκε και στις Κυκλάδες, στη Ρόδο, στη Χίο και γενικότερα στα νησιά του Αιγαίου. Ο τύπος του ανεμόμυλου που αναπτύχθηκε στη πατρίδα μας είναι οριζοντίου άξονα, σε πέτρινο κτίσμα) με πάνινα πτερύγια. Ενώ η πρώτη απόπειρα ηλεκτροπαραγωγής από αιολική ενέργεια, πραγματοποιείται στην Κύθνο, γύρω στο 1982.

ANEMOMΥΛΟΙ

Ο ανεμόμυλος, που αποτελεί πρόγονο των σημερινών ανεμογεννητριών, είναι αιολική μηχανή (δηλαδή μηχανή που μπορεί να εκμεταλλευτεί την κινητική/δυναμική ενέργεια του ανέμου για να παράγει έργο) οριζόντιου άξονα περιστροφής (δηλαδή ο δρομέας τους είναι τύπου έλικας και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους). Έχει χρησιμοποιηθεί για την άλεση των δημητριακών και την άντληση νερού. Γνωστός απ' τα αρχαία χρόνια, διαδόθηκε σημαντικά στον ευρωπαϊκό και ελληνικό χώρο.

Στην ελληνική ιστορία η πρώτη του εμφάνιση σημειώθηκε τον 1^ο αιώνα μ.Χ., οπότε και σχεδιάστηκε από τον Ήρωνα. Αν και ο Ήρωνας ήταν επηρεασμένος από το σχήμα και την μορφή του πανεμόνιου (ανεμόμυλου κάθετου άξονα περιστροφής, ο οποίος βρίσκεται σταθερός και κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους, που χρησιμοποιούταν κυρίως στην Μεσοποταμία και την Κίνα αν και η μορφή του ήταν ήδη γνωστή στα αλεξανδρινά χρόνια, η εξάπλωσή του στην Ευρώπη και ιδίως στις Κάτω Χώρες έγινε πολύ αργότερα, μετά την Α' Σταυροφορία), η κατασκευή που εφηύρε ήταν οριζόντιου άξονα περιστροφής με τέσσερα πτερύγια.

Στην Ελλάδα η χρήση των ανεμόμυλων υπήρξε αρκετά εκτεταμένη, λόγω του πλούσιου αιολικού δυναμικού της χώρας (*υψηλές συγκεντρώσεις έντονων βαρομετρικών αυξομειώσεων που δημιουργούσαν ανέκαθεν πολλούς ανέμους, ιδίως στα νησιά του Αιγαίου*). Αν και είχαν εμφανιστεί πολλούς αιώνες πριν, η χρήση τους καθιερώθηκε κατά τη Βυζαντινή περίοδο, γνωρίζοντας ακόμα μεγαλύτερη διάδοση κατά την περίοδο της Φραγκοκρατίας, κυρίως στο ανατολικό Αιγαίο αλλά και στην ενδοχώρα. Κατά κανόνα στεγάζονταν σε κυλινδρικά, πέτρινα, διώροφα κτίρια. Στον επάνω όροφο βρισκόταν ο άξονας και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, ενώ στον κάτω όροφο γινόταν η άλεση και αποθήκευση των σιτηρών. Τα πτερύγια τους ήταν πάνινα, 5-15 m σε μήκος και πλάτος το 1/5 του μήκους τους. Ένας ανεμόμυλος μπορούσε να αλέσει 20 με 70 kg σιτηρών την ώρα, ανάλογα με την ένταση και τη φορά του ανέμου. Σήμερα οι περισσότεροι ανεμόμυλοι έχουν ερειπωθεί και διατηρούνται ελάχιστοι, κυρίως για τουριστικούς λόγους.

Μια παραλλαγή ανεμόμυλου χρησιμοποιήθηκε στο οροπέδιο του Λασιθίου στην Κρήτη, για την άντληση νερού. Αυτοί ήταν σιδερένιες κατασκευές με πάνινα πτερύγια. Από τους 6.000 που υπολογίζεται ότι υπήρχαν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, σήμερα λειτουργούν περίπου οι χίλιοι. Πολλοί από αυτούς διαθέτουν τέσσερα πτερύγια. Ο ανεμόμυλος είναι μια διάταξη που χρησιμοποιεί ως κινητήρια δύναμη την κινητική ενέργεια του ανέμου (αιολική ενέργεια). Χρησιμοποιείται για την άλεση σιτηρών, την άντληση νερού και σε άλλες εργασίες. Φαίνεται ότι οι αρχαίοι λαοί της Ανατολής χρησιμοποιούσαν ανεμόμυλους, αν και η πρώτη αναφορά σε ανεμόμυλο (ένα περσικό συγκρότημα ανεμόμυλων του 644 μ.Χ.) εμφανίζεται σε έργα Αράβων συγγραφέων του 9^{ου} μ.Χ. αιώνα. Αυτό το συγκρότημα των ανεμόμυλων βρισκόταν στο Σειστάν, στα σύνορα της Περσίας και Αφγανιστάν και ήταν «οριζόντιου τύπου» δηλαδή με ιστία (φτερά) τοποθετημένα ακτινικά σε έναν «κατακόρυφο άξονα». Ο άξονας αυτός στηριζόταν σε ένα μόνιμο κτίσμα με ανοίγματα σε αντιδιαμετρικά σημεία για την είσοδο και την έξοδο του αέρα. Κάθε μύλος έδινε απευθείας κίνηση σε ένα μόνο ζεύγος μολόπετρες.

Οι πρώτοι μύλοι είχαν τα ιστία κάτω από τις μολόπετρες, όπως δηλαδή συμβαίνει και στους οριζόντιους νερόμυλους από τους οποίους φαίνεται ότι προέρχονταν. Σε μερικούς από τους μύλους που σώζονται σήμερα τα ιστία τοποθετούνται πάνω από τις μολόπετρες. Τον 13^ο αιώνα οι μύλοι αυτού του τύπου ήταν γνωστοί στην Βόρεια Κίνα, όπου μέχρι και τον 16^ο αιώνα τους χρησιμοποιούσαν για εξάτμιση του θαλασσινού νερού στην παραγωγή αλατιού. Τον τύπο αυτό του μύλου χρησιμοποιούσαν επίσης στην Κριμαία, στις περισσότερες χώρες της Δυτικής Ευρώπης και στις ΗΠΑ, μόνο που λίγοι από αυτούς διασώζονται σήμερα. Ο πιο αντιπροσωπευτικός από όλους αυτούς τους τύπους των ανεμόμυλων είναι ο τύπος με το «στροφείο σχήματος S» (S Rotor) (εφευρέτης ο Φιλανδός S.J. Savinius) που ακόμη και σήμερα χρησιμοποιείται σε φτωχές ή απομονωμένες περιοχές λόγω της φτηνής και εύκολης κατασκευής του.

Ο ανεμόμυλος έφτασε στην Ευρώπη από τους Άραβες, χρησιμοποιήθηκε δε στον τύπο του κατακόρυφου ρωμαϊκού υδραυλικού τροχού, με τη διαφορά ότι ο ανεμόμυλος είχε στην θέση του τροχού κατακόρυφα φτερά που μετέδιδαν την κίνηση στις μύλοι με ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών. Οι πρώτοι τέτοιοι περιστρεφόμενοι μύλοι εμφανίστηκαν στη Γαλλία το 1180, στην Αγγλία το 1191 και στη Συρία την εποχή των Σταυροφοριών (1190). Στις αρχές του 14^{ου} αιώνα αναπτύχθηκε στη Γαλλία ο ανεμόμυλος σε σχήμα πύργου, Σε αυτόν τον τύπο ανεμόμυλου οι μύλοι και οι οδοντωτοί τροχοί ήταν τοποθετημένοι σε ένα σταθερό πύργο με κινητή οροφή ή «κάλυμμα», στην οποία στηρίζονταν τα ιστία και η οποία μπορούσε να στραφεί επάνω σε ειδική τροχιά, στην κορυφή του πύργου.

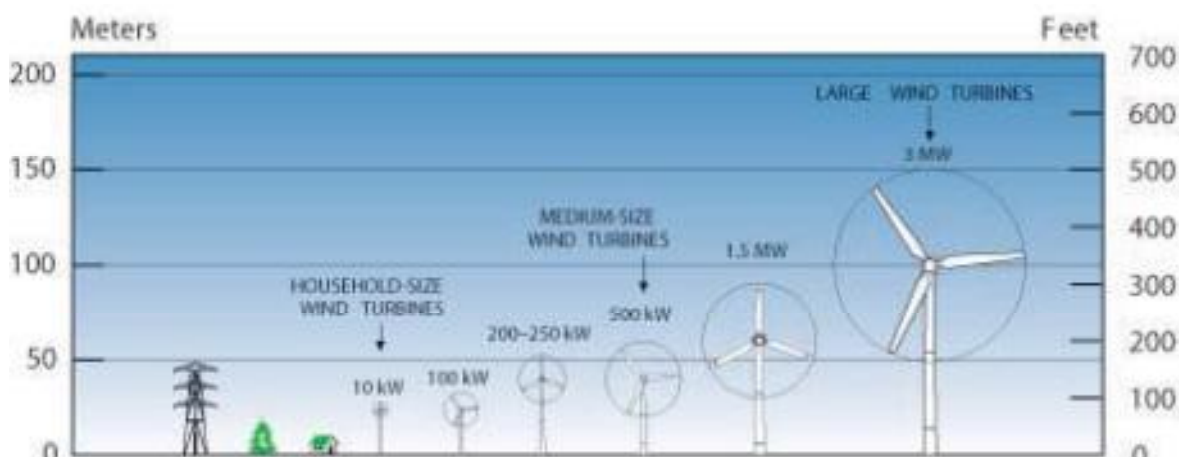
Ο «περιστρεφόμενος ανεμόμυλος με κοίλο εσωτερικά άξονα» επινοήθηκε στις Κάτω Χώρες στις αρχές του 15^{ου} αιώνα. Διέθετε έναν κατακόρυφο άξονα με γρανάζια στα δύο του άκρα ο οποίος περνούσε μέσα από τον κοίλο άξονα και κινούσε ένα τροχό με περιφερειακά διαταγμένα σκαφίδια που μετέφερε το νερό σε υψηλότερη στάθμη.

1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

1.1. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ - ΑΙΟΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Η ανεμογεννήτρια είναι ο κινητήρας που μετατρέπει την αιολική ενέργεια (άνεμος) σε μηχανική και στη συνέχεια σε ηλεκτρική. Είναι η εξέλιξη των γνωστών σε όλους μας ανεμόμυλων με την διαφορά ότι παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα για να καλύψει τις ανάγκες μας σε ηλεκτρική ενέργεια. Με άλλα λόγια, τα συστήματα εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας τα οποία μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανική ενέργεια και κατόπιν σε ηλεκτρική ενέργεια ονομάζονται ανεμογεννήτριες.

Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται σε δίπτερες και τρίπτερες (Εικόνα 3). Οι τρίπτερες με ρότορα μικρότερο των 10 m, έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού. Από τις αρχές της δεκαετίας του '80, η τεχνολογική ανάπτυξη στόχευσε στον σχεδιασμό μεγαλύτερων ανεμογεννητριών για την καλύτερη αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού. Από το πρώτο μοντέλο της Vestas του 1981 με διάμετρο φτερωτής 15 m (V15) φτάσαμε σήμερα στην V112 (ons hore) η οποία έχει 7,5 φορές μεγαλύτερη διάμετρο (112m) και 55 φορές μεγαλύτερη επιφάνεια σάρωσης (Πίνακας 1).

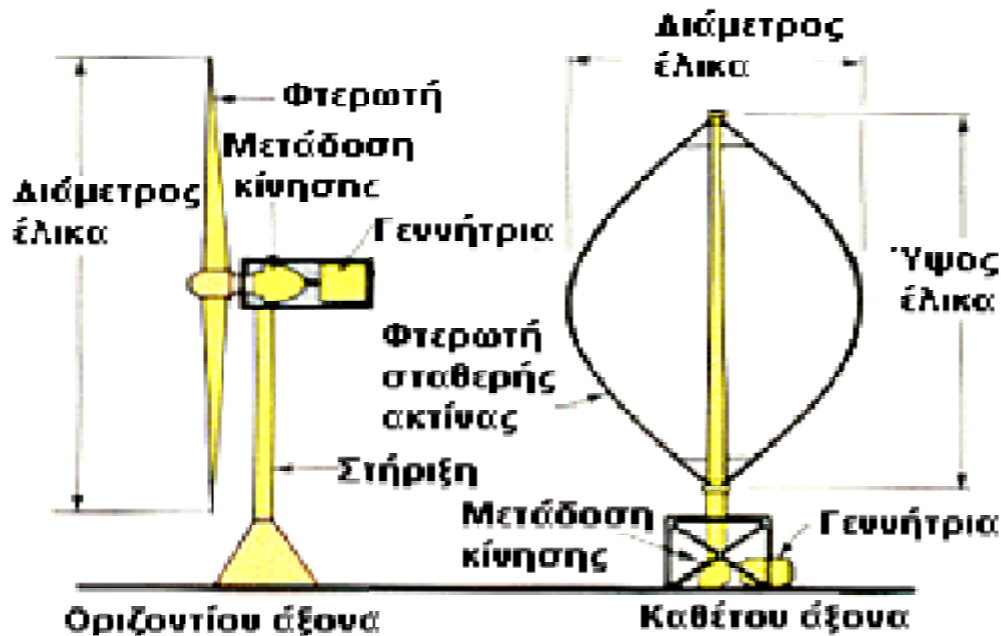


Εικόνα 3: Μεγέθη ανεμογεννητριών

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΕΤΟΣ						
	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Όνομαστική Ισχύ (kW)	30	80	250	600	1500	3000	6000
Διάμετρος Ρότορα (m)	15	20	30	46	70	90	126
Ύψος Πύργου (m)	30	40	50	78	100	105	135
Ετήσια Ηλεκτροπαραγωγή (kWh)	$35 \cdot 10^3$	$95 \cdot 10^3$	$0,4 \cdot 10^6$	$1,25 \cdot 10^6$	$3,5 \cdot 10^6$	$6,9 \cdot 10^6$	$20 \cdot 10^6$

Πίνακας 1: : Διαχρονική εξέλιξη του μεγέθους των ανεμογεννητριών από το 1980 μέχρι σήμερα

- **Οριζοντίου άξονα:** των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και διαθέτει δυνατότητα περιστροφής. Βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους
- **Κατακόρυφου άξονα:** ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους, πάνω στον οποίο στηρίζονται περιστρεφόμενα πτερύγια.



Σχήμα 2: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου/κάθετου άξονα

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου, η αύξηση του ύψους του πύργου σε συνδυασμό με την παραδοχή της μεγαλύτερης ταχύτητας ανέμου σε μεγαλύτερα ύψη, οδηγεί σε επιπλέον ενίσχυση της αναμενόμενης παραγωγής. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt. Οι τυπικές διαστάσεις μιας ανεμογεννήτριας 500 kW είναι: Διάμετρος δρομέα, 40 μέτρα και ύψος 40-50 m, ενώ αυτής των τριών MW οι διαστάσεις είναι 80 και 80-100 m αντίστοιχα.

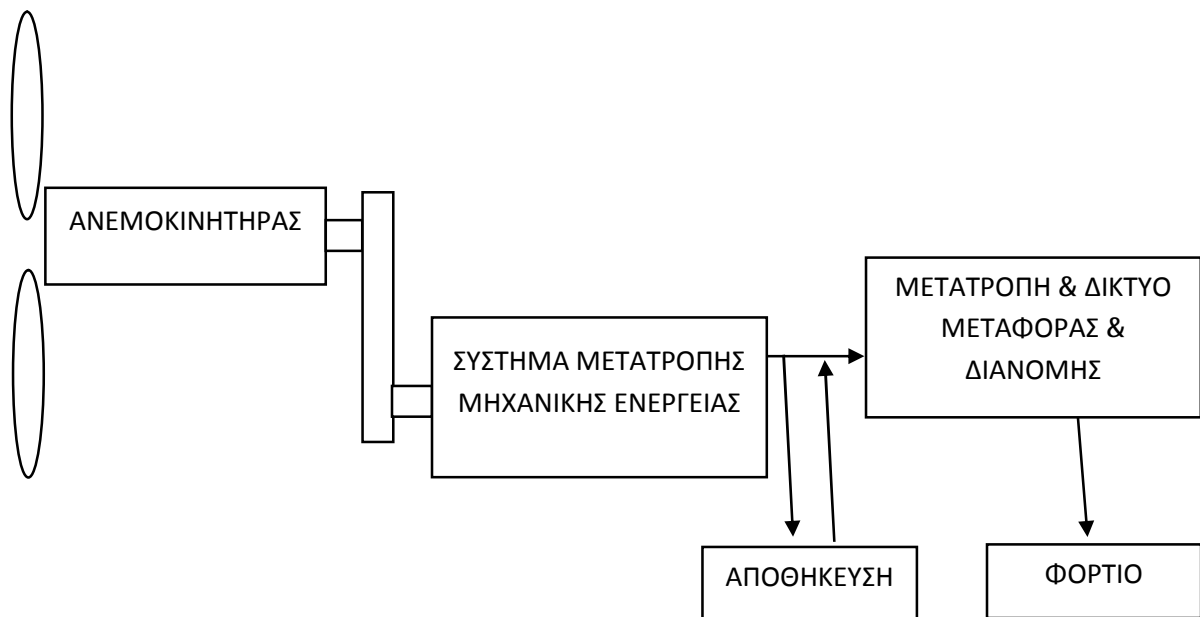
Στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα επειδή είναι πιο αποδοτικές, με δύο ή τρία πτερύγια. Τρίπτερες ανεμογεννήτριες με ρότορα μήκους μικρότερου των 10 μέτρων έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού ανέμου (ευρύφασμα ταχυτήτων ανέμου) και κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρό καθώς τα προβλήματα αντοχής και δυναμικής καταπόνησης μηχανικών μερών είναι περιορισμένα. Με λιγότερα πτερύγια (2 ή 1) απαιτείται μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής για το αποτέλεσμα που συνεπάγεται περισσότερο θόρυβο και φθορές, με μόνο πλεονέκτημα το μικρότερο κόστος.

Οι πολύ συμπαγείς πτερωτές (πολλά ή φαρδιά πτερύγια) ξεκινάνε τη λειτουργία τους με μικρές ταχύτητες ανέμου αλλά θα πρέπει να βγαίνουν εκτός λειτουργίας στις μεγάλες ταχύτητες. Ο μέσος κύκλος ζωής τους ανέρχεται σε 20-25 έτη, και αντιστοιχεί σε περισσότερες από 120.000 ώρες λειτουργίας. Το μεγαλύτερο ενδιαφέρον για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών εστιάζεται σε περιοχές με ικανοποιητικές μέσες ταχύτητες ανέμου, καθώς η παραγόμενη ισχύς αυξάνεται κατακόρυφα με την αύξηση των ταχυτήτων του ανέμου: ένα πάρκο ανεμογεννητριών το οποίο αποδίδει 200 KW με ταχύτητα ανέμων 4 m/sec, αποδίδει οκταπλάσια ισχύ αν η ταχύτητα των ανέμων διπλασιαστεί. Η κατασκευή μηχανών της τάξεως MW κατάφερε να ενταχθεί στο οικονομικά και

κατασκευαστικά βιώσιμο κατεστημένο σήμερα μέσα από Ευρωπαϊκά προγράμματα, τα πλεονεκτήματα που έχουν να επιδείξουν οι νέες μεγαλύτερες μηχανές δεν αφορούν μόνο την απόδοσή τους. Συγκεκριμένα, οι μεγάλες ανεμογεννήτριες συμβάλλουν στην εξοικονόμηση χώρου, καθώς η απαιτούμενη έκταση για την επίτευξη συγκεκριμένης παραγωγής είναι αισθητά μικρότερη από την αντίστοιχη, που απαιτούν μηχανές μικρότερης επιφάνειας σάρωσης. Το γεγονός αυτό περιορίζει τις πιθανότητες συγκρούσεως χρήσεων γης, ενώ ταυτόχρονα μειώνει το κόστος της επένδυσης και αυξάνει το περιθώριο κέρδους για δεδομένη εκμεταλλεύσιμη έκταση. Επιπλέον, έχοντας αυξημένες δυνατότητες απόδοσης, καθιστούν βιώσιμες τις επενδύσεις σε δύσβατες περιοχές ή περιοχές με υψηλό κόστος εγκατάστασης και θεμελίωσης, όπως παράκτιες ή υπεράκτιες.

Σημαντική βελτίωση παρουσιάζει η διαθεσιμότητα των καινούριων μηχανών, το ποσοστό δηλαδή του χρόνου που είναι ικανές να λειτουργούν και να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια. Η διαθεσιμότητα των αιολικών πάρκων αυξήθηκε, ήδη, από 60% σε 95% κατά το διάστημα 1981-1986, με τα ποσοστά των περισσότερων σημερινών εγκαταστάσεων να ανέρχονται σε 98% και πλέον. Οι συντελεστές απόδοσης των σημερινών αιολικών εγκαταστάσεων υπολογίζονται σε 40% κατά ελάχιστον, με μεγαλύτερα νούμερα να εντοπίζονται σε περιοχές με ισχυρό αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό.

Ο ανεμοκινητήρας από την εποχή της εμφάνισης του μέχρι σήμερα έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς τον τύπο του (οριζοντίου ή κάθετου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματά του (πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κ.α.). Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου που με τατρέπει από την Α/Γ σε άλλη μορφή ενέργειας. Μια εικόνα των βασικών μερών που αποτελούν μια διάταξη εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας καθώς και της ροής ενέργειας παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3: Σχηματική παράσταση εγκατάστασης εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας.

Η διάταξη αυτή είναι μια γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια αεροδυναμικής διάταξης (π.χ. μιας έλικας). Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο επί τόπου ή να χρειαστεί να μετατραπεί σε μια άλλη μορφή ενέργειας και να μεταφερθεί στον τόπο της ζήτησης. Παραδείγματα εκμετάλλευσης της παραγόμενης ενέργειας επί τόπου είναι αυτό της παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση του νερού που μπορεί να αποθηκευτεί, μεταφερθεί, και να καεί ως αέριο καύσιμο με μηδαμινή επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Στη δεύτερη που είναι και πιο ευρέως διαδεδομένη είναι αυτή της μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε

ηλεκτρική ενέργεια λόγω της εύκολης μεταφοράς αλλά και της δυνατότητας που έχει να μετατρέπεται σε οποιαδήποτε άλλη μορφή θέλουμε. Βέβαια οι μεγάλες διακυμάνσεις της ενέργειας του ανέμου με το χρόνο πολλές φορές έχουν χρονική ασυμφωνία με την ζήτηση ενέργειας με αποτέλεσμα την αναγκαιότητα της αποθήκευσης της ενέργειας για τις χρονικές στιγμές στις οποίες η ισχύς του ανέμου πέφτει κάτω από ένα όριο.

Έτσι ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός συστήματος εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας πρέπει να περιλαμβάνει:

- Μελέτη των χαρακτηριστικών του ανέμου με σκοπό την εκλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση της Α/Γ και την πιθανή παραγωγή ενέργειας.
- Σχεδιασμός της αεροδυναμικής διάταξης που να μετατρέπει κατά τον αποδοτικότερο τρόπο την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο.
- Μελέτη της περίπτωσης μετατροπής του μηχανικού έργου σε άλλη πιο συμφέρουσα μορφή ενέργειας και βέλτιστο σχεδιασμό του συστήματος μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα.
- Εύρεση του καλύτερου τρόπου αντιμετώπισης των διακυμάνσεων της ενέργειας του ανέμου.
- Μελέτη του βέλτιστου τρόπου μεταφοράς, αν απαιτείται.
- Διεύρυνση της καλύτερης προσαρμογής της μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας του συστήματος προ την κατανάλωση.

Όλα τα παραπάνω για να είναι εφικτά θα πρέπει το τελικό προϊόν που θα διατεθεί στην αγορά κατανάλωσης πάνω από όλα να είναι οικονομικά ανταγωνίσιμο έναντι στις άλλες συμβατικές πηγές ενεργείας έτσι ώστε μια οποιαδήποτε επιστημονική προσέγγιση να μην χάσει την αξία της αλλά και το σκοπό της.

Συνοψίζοντας οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε οριζόντιου άξονα και κάθετου άξονα (ανάλογα με το αν ο άξονας είναι παράλληλα ή κάθετα στη γη. Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν το μειονέκτημα πως παράγουν μεγαλύτερο θόρυβο κατά τη λειτουργία τους, επηρεάζονται περισσότερο από αναταράξεις και απαιτούν ένα κατευθυντήριο στέλεχος, ώστε να ευθυγραμμίζονται με την διεύθυνση του αέρα.

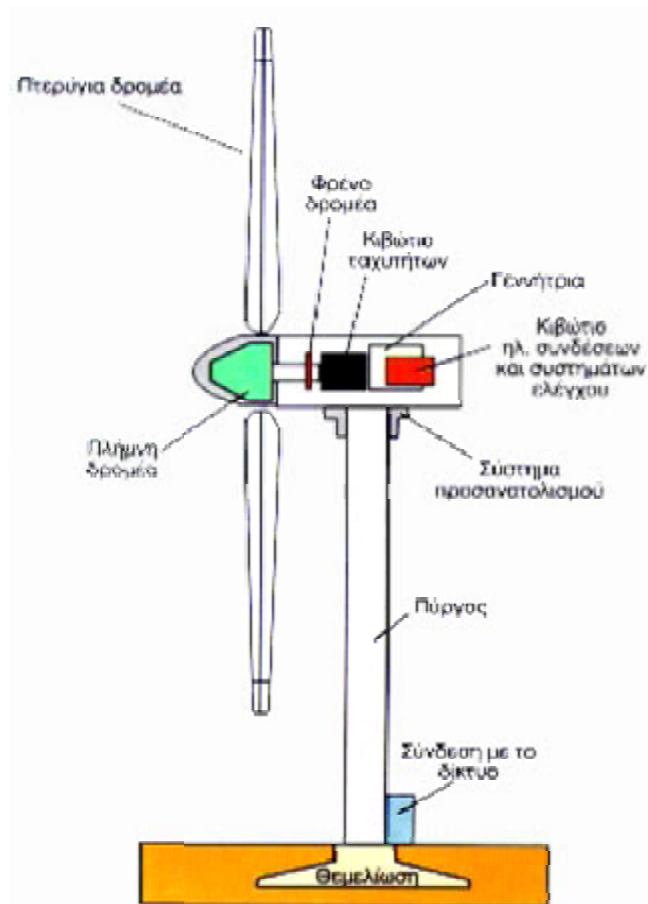
Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα αντίστοιχα έχουν το μειονέκτημα πως απαιτούν μεγαλύτερη ένταση ανέμου (ταχύτητα). Επίσης, για να επιτύχουν υψηλές αποδόσεις απαιτούν μεγάλη επιφάνεια (και άρα ύψος) προβολής. Σημαντικό επίσης πρόβλημα δημιουργείται κατά τη συντήρηση της, καθώς για να επισκεφτεί κανείς τα έδρανα πρέπει να αποσυναρμολογήσει μεγάλο τμήμα της ανεμογεννήτριας.

1.2.1. ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΡΗ ΠΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΙΤΑΙ ΜΙΑ ΤΥΠΙΚΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ

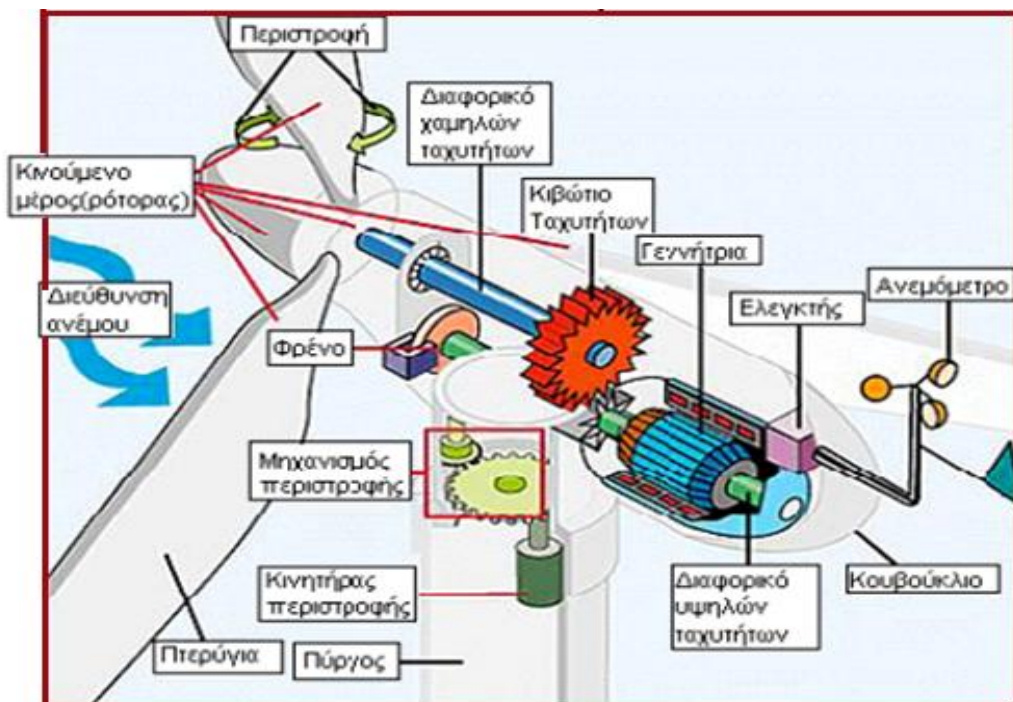
Οι τύποι των ανεμογεννητριών σύμφωνα με τον άξονα όπως προαναφέρθηκε είναι του οριζόντιου και του κατακόρυφου. Θα ακολουθήσει αναλυτική περιγραφή των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα.

- **Το δρομέα**, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήρη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα τους μεταβάλλοντας το βήμα. Είναι κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά (υαλονήματα και ειδικές ρητίνες), παρόμοια με αυτά που κατασκευάζονται τα ιστιοπλοϊκά σκάφη. Είναι δε σχεδιασμένα για να αντέχουν σε μεγάλες καταπονήσεις. Το πτερύγιο δέχεται τον άνεμο κατά μήκος του υπόδιαφορετικές γωνίες, η γωνία πρόσπτωσης αυξάνεται προς τη βάση του πτερυγίου. Οι πολύ μεγάλες γωνίες δεν έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα προκειμένου να υπάρχει ενιαία γωνία πρόσπτωσης κατά μήκος πτερυγίου, το πτερύγιο έχει μορφή περιστροφική.

- **Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης**, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα χαμηλών στροφών περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής. Το κιβώτιο πολλαπλασιασμού των στροφών η κιβώτιο ταχυτήτων είναι παρόμοιας κατασκευής με εκείνο του αυτοκινήτου μας με την διαφορά ότι έχει μόνον μια σχέση τροχών ενός αυτοκινήτου με υδραυλικά δισκόφρενα. Ο ελεγκτής εκκινά τη μηχανή για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από 8 με 16 mph και την κλείνει όταν φτάσουν στα 55 mph περίπου. Οι τουρμπίνες δεν λειτουργούν για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 55 mph γιατί κινδυνεύουν να καταστραφούν. Γρανάζια αυξάνουν τις ταχύτητες περιστροφής από περίπου 30 έως 60 περιστροφές το λεπτό σε 1000 έως 1800 περιστροφές το λεπτό, που είναι η ταχύτητα περιστροφής που οι περισσότερες ανεμογεννήτριες απαιτούν ώστε να παραγάγουν ηλεκτρισμό.
- **Το σύστημα προσανατολισμού**, αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου κάθε στιγμή της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας. Η ανεμογεννήτρια λέγεται ότι έχει σφάλμα περιστροφής, αν ο δρομέας δεν είναι κάθετος στη διεύθυνση του ανέμου. Αυτό συνεπάγεται ότι θα αξιοποιείται από την ανεμογεννήτρια μικρότερο μέρος της ενέργειας του ανέμου και η ανεμογεννήτρια θα δέχεται μεγαλύτερα φορτία κόπωσης.
- **Τον πύργο**, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Κατασκευάζονται από ατσάλι σε σωληνοειδή μορφή, τσιμέντο, ή από ατσάλι σε καφασωτή μορφή, σαν πλέγμα και συνήθως αποτελείται από δύο η τρία συνδεδεμένα τμήματα. Είναι παρόμοιας κατασκευής με τους πύργους που στηρίζουν τα φώτα σε γήπεδα και εθνικούς δρόμους. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος, οι ψηλότεροι πύργοι δίνουν τη δυνατότητα στις τουρμπίνες να «αιχμαλωτίσουν» περισσότερη ενέργεια και να παραγάγουν περισσότερο ηλεκτρισμό. Για τον υπολογισμό του πύργου λαμβάνεται υπόψη, μεταξύ άλλων, το μέγεθος του δρομέα. Στόχο αποτελεί ο εντοπισμός ύψους τέτοιου, ώστε να εξασφαλίζεται η ανεπηρέαστη από το έδαφος ροή του ανέμου (τυρβώδεις άνεμοι) ενώ το κατάλληλο ύψος συμβάλλει στον περιορισμό του θορύβου.
- **Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου**, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για κάποιο σφάλμα.
- **Την ηλεκτρική γεννήτρια**, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους αποτελεί, κατά κανόνα, μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος και βρίσκεται συνδεδεμένη με την έξοδο του κιβωτίου πολλαπλασιασμού στροφών, με τη βοήθεια ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου. Μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας. Η ηλεκτρογεννήτρια είναι παρόμοια με αυτές που χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη ή με τις γεννήτριες που έχουμε στα εξοχικά μας.
- **Το σύστημα πέδης** το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που το οποίο τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας.
- **Ατρακτίδιο (Nacelle)** παρουσιάζεται το «κουτί» που περιέχει τα μηχανικά υποσυστήματα (κύριος άξονα, σύστημα πέδησης, κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών και ηλεκτρική γεννήτρια, κιβώτιο ηλεκτρικών συνδέσεων και συστημάτων ελέγχου).



Σχήμα 4: Μέρη ανεμογεννήτριας



Σχήμα 5: Μηχανικά μέρη μίας ανεμογεννήτριας

1.3. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Η αρχή λειτουργίας μίας ανεμογεννήτριας βασίζεται στην μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Αρχικά ο άνεμος κινεί τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας. Τα πτερύγια είναι συνδεδεμένα σε έναν άξονα ο οποίος περιστρέφεται. Η περιστροφή του άξονα συμπαρασύρει σε περιστροφή μία ηλεκτρογεννήτρια η οποία τελικά «παράγει» το ηλεκτρικό ρεύμα. Μία ανεμογεννήτρια λειτουργεί αντίθετα με ένα ανεμιστήρα. Αντί της χρησιμοποίησης της ηλεκτρικής ενέργειας για να κάνει τον αέρα, χρησιμοποιείται ο αέρας για να κάνει την ηλεκτρική ενέργεια. Ο αέρας γυρίζει τις λεπίδες, που περιστρέφουν έναν άξονα, όποιος συνδέει με μια γεννήτρια και κάνει την ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια στέλνεται μέσω της μετάδοσης και γραμμές κατανομής σε έναν υποσταθμό, έπειτα προς τους καταναλωτές. Οι ανεμοστρόβιλοι έχουν διακόπτη κλεισίματος έκτακτης ανάγκης σε περίπτωση ανεμοθύελλας ή ενός ανεμοστρόβιλου.

1.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μίας χώρας, για την απόδοση σ' αυτό της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή, μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία συγκεκριμένη θέση με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό δίκτυο. Η εφαρμογή αυτή επιτρέπει τη μαζική εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και είναι ιδιαίτερα απλή, δεδομένου ότι η σύνδεση του αιολικού πάρκου με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο γίνεται μέσω υποσταθμού, στον οποίο τοποθετούνται οι μετασχηματιστές ανυψώσεως της τάσης και τα υπόλοιπα αναγκαία συστήματα προστασίας. Κατ' αυτόν τον τρόπο δεν απαιτείται η ανάπτυξη ιδιαίτερου συστήματος διαχείρισης της παραγόμενης ενέργειας και ελέγχου του συστήματος, το οποίο προσφέρει όλη την ενέργεια στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για ηλεκτροπαραγωγή σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας χρήσιμης σε αντλιοστάσια, καθώς και για την παραγωγή θερμότητας. Όταν οι ενεργειακές απαιτήσεις είναι μικρές, όπως σε απομονωμένες αγροτικές ή εξοχικές κατοικίες κλπ., χρησιμοποιούνται μικρές ανεμογεννήτριες συνεχούς ρεύματος, σε συνδυασμό, συνήθως, με συστοιχία συσσωρευτών για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας και χρήση της όταν επικρατούν συνθήκες άπνοιας. Στις περισσότερες εφαρμογές, η εγκατάσταση συνοδεύεται παράλληλα από νηζελογεννήτρια (Dieselgenerator), η οποία εξασφαλίζει την αδιάλειπτη παροχή ρεύματος.

Σε κάθε περίπτωση όμως, οι εφαρμογές εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας και ειδικότερα, η επιλογή του χώρου εγκατάστασης των ανεμογεννητριών πρέπει να γίνεται με προσοχή ώστε να μην διαταράσσεται, καθ' οιονδήποτε τρόπο, η ποιότητα του περιβάλλοντος της ευρύτερης περιοχής. Προβλήματα όπως αυτό του θορύβου σήμερα έχουν ουσιαστικά αντιμετωπισθεί, δεδομένου ότι, με τη ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια, έχει καταστεί πρακτικά αθόρυβη η λειτουργία των ανεμογεννητριών. Παράλληλα, αξίζει να σημειωθεί ότι, ο σχεδιασμός των αιολικών πάρκων γίνεται πλέον με τρόπο τέτοιο που να επιτυγχάνεται η κατά το δυνατόν αρμονικότερη συνύπαρξη εγκατάστασης και τοπίου.

1.5. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ - ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Η τεχνολογία των ανεμογεννητριών στο διάστημα της τελευταίας δεκαετίας σημείωσε πραγματικό άλμα, αφού η απόδοση των μηχανών από τις αρχές του 1980 μέχρι σήμερα έχει σχεδόν διπλασιαστεί. Το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας. Ενδεικτικά αναφέρεται

ότι, αυτή τη στιγμή, στην Καλιφόρνια το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται με τη βοήθεια του ανέμου είναι της τάξης των 6 με 7 cents ανά kWh, αρκετά χαμηλότερα από τα 10 cents ανά kWh της πυρηνικής ενέργειας και συγκρίσιμο με τα 6 cents ανά kWh που στοιχίζει η παραγωγή ηλεκτρισμού από φυσικό αέριο.

Με τις συνεχείς βελτιώσεις που επιτυγχάνονται στην απόδοση και την αξιοπιστία των ανεμογεννητριών, αλλά και την εξέλιξη της σχετικής τεχνολογίας, εκτιμάται ότι η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας μπορεί να αυξηθεί. Η σύγχρονη τεχνολογία εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ξεκίνησε με μικρές ανεμογεννήτριες των 20 έως 75 kW. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας, τα μεγέθη σταδιακά αυξήθηκαν. Πριν από δέκα χρόνια, το τυπικό μέγεθος μιας ανεμογεννήτριας ήταν περί τα 200-300 kW. Σήμερα ξεπερνά τα 500 kW, ενώ ανεμογεννήτριες μεγέθους πάνω από ενός MW εμφανίζονται στην αγορά. Σχέδια για μια τουρμπίνα 7 MW βρίσκονται σε αναμονή μέχρι το 2014. Η τουρμπίνα έχει εγκατασταθεί από τον Φεβρουάριο του 2012 και έχει αρχίσει 18μηνη φάση της δοκιμής. Το στρόβιλο της είναι 150,8 m σε διάμετρο, οι λεπίδες είναι 73,5 m μήκος, και το σκούπισμα του στρόβιλου είναι 17.500 m². Η τουρμπίνα και δομή στήριξης της διαθέτουν ένα συνδυασμένο συνολικό βάρος των 1500 tn. Η άτρακτος μόνο ζυγίζει 360 tn και αναμένεται να τεθεί σε λειτουργία το 2015. Σημειώνεται, τέλος, ότι ιδιαίτερο βάρος δίνεται σήμερα στην έρευνα και την ανάπτυξη ανεμογεννητριών μεταβλητών στροφών.

Οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου, λειτουργώντας σε μεταβλητές στροφές, επιτυγχάνουν αύξηση της ενεργειακής αποδοτικότητάς τους και μείωση της μηχανικής κοπώσεως των διαφόρων υποσυστημάτων τους. Οι προηγμένες τεχνολογίες, εν προκειμένω, στην αεροδυναμική, στην αντοχή των υλικών και στη μετεωρολογία, έχουν συνεισφέρει σε ετήσια αύξηση 5% στην απόδοση ανά m² έλικα (στατιστικά στοιχεία καταγεγραμμένα στη Δανία μεταξύ 1980 - 1995). Σήμερα, ο σχετικός τομέας στη βιομηχανία προσφέρει πάνω 40.000 θέσεις εργασίας παγκοσμίως. Οι δημοσκοπήσεις σε ευρωπαϊκές χώρες, όπως Δανία, Γερμανία, Ολλανδία, Μ. Βρετανία έδειξαν ότι το 70% του πληθυσμού προτιμά την παραγωγή και χρήση αιολικής ενέργειας.

Το πανεπιστήμιο Κιότου στο Τόκυο ανέπτυξε την ιδέα ενός πρωτοποριακού συστήματος ανεμογεννητριών (Εικόνα 5), το οποίο όπως αποδείχτηκε σε δοκιμαστικά πλαίσια, μπορεί να εξασφαλίσει δυο με τρεις φορές περισσότερη ενέργεια και ισχύ από τα παραδοσιακά μοντέλα. Ο νέος στρόβιλος των Ιαπωνικών υπόσχεται ένα καθαρότερο ενεργειακά μέλλον για τη Χώρα του Ανατέλλοντος Ηλίου, χωρίς τους κινδύνους και τους φόβους από τη χρήση της πυρηνικής ενέργειας. Οι συγκεκριμένες ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν αντοχή και στις θαλάσσιες συνθήκες λόγω του σχεδιασμού μιας πρωτοποριακής εξαγωνικής βάσης στήριξης. Το φιλόδοξο αυτό σύστημα υποβάλλεται πολύ συχνά σε δοκιμές, αλλά η αποτελεσματικότητά του θα κριθεί έπειτα από έρευνες δυο χρόνων προτού βγει στην ενεργειακή αγορά. Η ιδέα των Windlens, όπως ακριβώς ονομάζονται αυτές οι νέου τύπου ανεμογεννήτριες έχουν ήδη προσελκύσει το ενδιαφέρον εταιριών της Ευρώπης αλλά και του Καναδά.



Εικόνα 5: Νέες ιαπωνικές ανεμογεννήτριες

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

Μια διάταξη ανεμογεννητριών ονομάζεται αιολικό πάρκο. Σε μια περιοχή που επικρατούν δυνατοί άνεμοι, είναι ιδανική για ανεμογεννήτριες. Καθώς τα πτερύγια στρέφονται με τον άνεμο, δίνουν κίνηση στη γεννήτρια που παράγει ηλεκτρισμό. Ο άνεμος όμως είναι πολύ ευμετάβλητος. Οι αλλαγές στην κατεύθυνση πάντως αντιμετωπίζονται εύκολα. Το μόνο που χρειάζεται είναι κάποιο σύστημα που κρατάει τα πτερύγια στη σωστή θέση. Οι αλλαγές στην ταχύτητα του ανέμου είναι ένα άλλο θέμα. Προκαλούν μεταβολές στην παροχή ενέργειας στις γεννήτριες. Ακόμα χειρότερα, ο άνεμος σταματάει τελείως για πολλές μέρες ή φυσάει τόσο δυνατά ώστε καταστρέφει τα πτερύγια των ανεμόμυλων. Σε αντίθεση με το νερό, ο άνεμος επίσης δεν μπορεί να περιοριστεί σε φράγματα ώστε να ρυθμίζεται η ροή του.

Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεσή τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Στην περίπτωση αυτή, ένα αιολικό πάρκο, δηλαδή μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσια, καθώς και θερμότητας. Ενδιαφέρον, για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού τους, έχουν οι περιοχές με ικανοποιητικές μέσες ταχύτητες ανέμου. Σε χάρτη της παγκόσμιας μετεωρολογικής οργάνωσης έχει υπολογιστεί σε ύψος 10 m από το έδαφος, ότι επικρατούν άνεμοι με μέση ετήσια ταχύτητα πάνω από 5.1 m/s, στο 25% της επιφάνειας γης. Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής θεωρείται εκμεταλλεύσιμο ενεργειακά, όταν η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά την τιμή των 5.1m/s. Όμως όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου τόσο περισσότερη είναι η παρεχόμενη (διαθέσιμη) ενέργεια, καθώς η ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου.



Εικόνα 6: Αιολικό Πάρκο στις Η.Π.Α, εταιρίας ΤΕΡΝΑ

Επομένως είναι σημαντικό να γνωρίζουμε με όσο μεγαλύτερη ακρίβεια γίνεται το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής, έτσι ώστε με τον κατάλληλο και ορθό σχεδιασμό του αιολικού πάρκου να γίνεται η βέλτιστη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Ένα πάρκο ανεμογεννητριών, το οποίο σε ταχύτητα 8 m/sec αποδίδει 1600 kW, σε ταχύτητα 4 m/sec αποδίδει μόνο 200 kW. Σημαντικό ρόλο παίζει ο τόπος εγκατάστασης των ανεμογεννητριών. Η ύπαρξη ανωμαλιών του εδάφους, κτιρίων, δέντρων ή εμποδίων γενικά μπορεί να δημιουργήσει στροβιλισμούς και να μειώσει την αποδοτικότητα.



Εικόνα 7: Αιολικό πάρκο στο Μαρμάρι Ευβοίας.



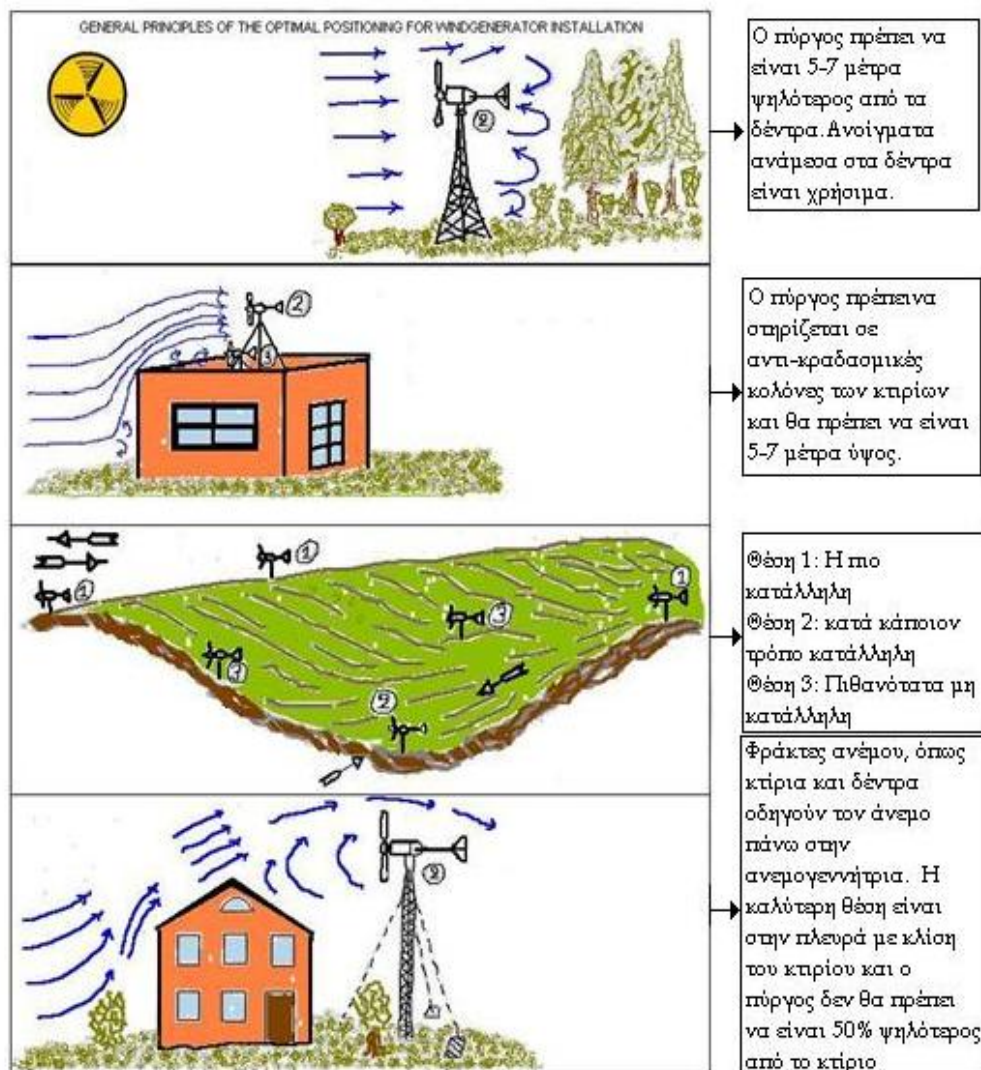
Εικόνα 8: Αιολικό πάρκο στο Παναχαϊκό όρος Αχαΐας

2.2. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Οι περιοχές εγκατάστασης ανεμογεννητριών εξετάζονται κατά περίπτωση από τους αρμόδιους φορείς στα αρχικά στάδια του έργου. Η ισχύουσα νομοθεσία δεν κατηγοριοποιεί

τις περιοχές που προβλέπεται η εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Εξαιρέση αποτελεί, σύμφωνα με την ανακοίνωση του Ο.Π.Σ.Α. (Οργανισμός Ρυμοτομικού Σχεδίου Αθηνών), η εγκατάσταση Α/Γ στην περιφέρεια της Αττικής. Τεχνικά η ανεμογεννήτρια μπορεί να εγκατασταθεί οπουδήποτε υπάρχει σταθερή βάση – είτε είναι κάποιο οικόπεδο ή και ακόμα η στέγη ενός κτιρίου. Περιορισμούς συναντάμε σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, όπου οι κανονισμοί ασφάλειας δεν επιτρέπουν την εγκατάσταση μηχανών με κινούμενα μέρη κοντά σε σημεία σύναξης πολλών ανθρώπων.

Πριν την επιλογή της περιοχής απαιτείται μελέτη στατιστικών μετεωρολογικών δεδομένων για τις κατευθύνσεις των κυρίαρχων ανέμων για περίοδο ενός χρόνου ως απαραίτητο εξάρτημα λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας σε αιολικό πάρκο, θα μπορούσαμε να συμπεριλάβουμε και τον μετασχηματιστή μετατροπής της χαμηλής τάσης της ανεμογεννήτριας σε μέση τάση προκειμένου να μεταφερθεί η ηλεκτρική ενέργεια από το δίκτυο της ΔΕΗ. Ο μετασχηματιστής είναι συνήθως εγκατεστημένος δίπλα στην ανεμογεννήτρια και δεν διαφέρει κατασκευαστικά από τους μετασχηματιστές που είναι εγκατεστημένοι πάνω στους στύλους της ΔΕΗ και μάλιστα συνήθως λίγα μέτρα από τα σπίτια μας. Από την παραπάνω περιγραφή φαίνεται καθαρά ότι μια ανεμογεννήτρια αποτελείται από απλά υποσυστήματα και δεν είναι παρά μια μηχανή που σκοπό έχει τη μετατροπή της ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια (αυτός είναι, άλλωστε, και ο ορισμός της). Θα μπορούσαμε μάλιστα να παρομοιάσουμε την ανεμογεννήτρια και σαν ένα μικρό σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με «καύσιμη ύλη» όμως τον άνεμο.



Σχήμα 6: Γενικές αρχές για τη βέλτιστη τοποθέτηση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας

2.3. ΣΥΝΟΛΙΚΟΣ ΧΡΟΝΟΣ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗΣ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η εγκατάσταση κάθε ανεμογεννήτριας διαρκεί 1 - 3 μέρες. Αρχικά ανυψώνεται ο πύργος και τοποθετείται τμηματικά πάνω στα θεμέλια. Η κατασκευή της θεμελίωσης γίνεται αυστηρά από οπλισμένο σκυρόδεμα, αλλά η ανωδομή μπορεί να είναι και μεταλλική ή σύμμικτη κατασκευή. Στην συνέχεια τοποθετείται η άτρακτος κίνησης στην κορυφή του πύργου. Στη βάση του πύργου συναρμολογείται ο ρότορας ή δρομέας (οριζοντίου άξονα, πάνω στον οποίο είναι προσαρτημένα τα πτερύγια), ο οποίος αποτελεί το κινητό μέρος της ανεμογεννήτριας. Η άτρακτος περιλαμβάνει το σύστημα μετατροπής (γεννήτρια) της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Στη συνέχεια ο ρότορας ανυψώνεται και συνδέεται στην άτρακτο. Τέλος, γίνονται οι απαραίτητες ηλεκτρικές συνδέσεις που διαμορφώνουν και τις διόδους εξόδου προς το δίκτυο το οποίο θα τροφοδοτεί η ανεμογεννήτρια.

Έχει παρατηρηθεί ότι εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας, έχουν ένα μέσο χρόνο ολοκλήρωσης τα 4 με 5 χρόνια. Η γραφειοκρατία σε συνδυασμό με την αδειοδοτική πολυπλοκότητα (Άδειες Παραγωγής, Εγκατάστασης και Λειτουργίας, ΔΕΗ, ΔΕΣΜΗΕ κλπ.) που διέπει ένα έργο Α/Γ μεγάλης κλίμακας έχει αυτόν τον αντίκτυπο στους χρόνους ολοκλήρωσης. Για έργα μικρότερης κλίμακας, απλοποιείται η διαδικασία αδειοδότησης, διότι εξαιρούνται οι άδειες παραγωγής, εγκατάστασης και λειτουργίας με αποτέλεσμα να μειώνεται αισθητά ο χρόνος υλοποίησης. Μία πρώτη εκτίμηση είναι περί τους 10-12 μήνες.

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Βασική προϋπόθεση για να κατασκευαστεί ένα αιολικό πάρκο, είναι να έχει καλό αιολικό δυναμικό η περιοχή στην οποία θα κατασκευαστεί. Επομένως, αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθεί με τον άνεμο και τα μεγέθη του, και τη 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 αναφέρεται επίσης στην περιγραφή του ιστού. Έχοντας τις μετρήσεις αυτές διαθέσιμες γίνεται η ανάλυσή τους με το κατάλληλο λογισμικό (Multi Wind), 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.

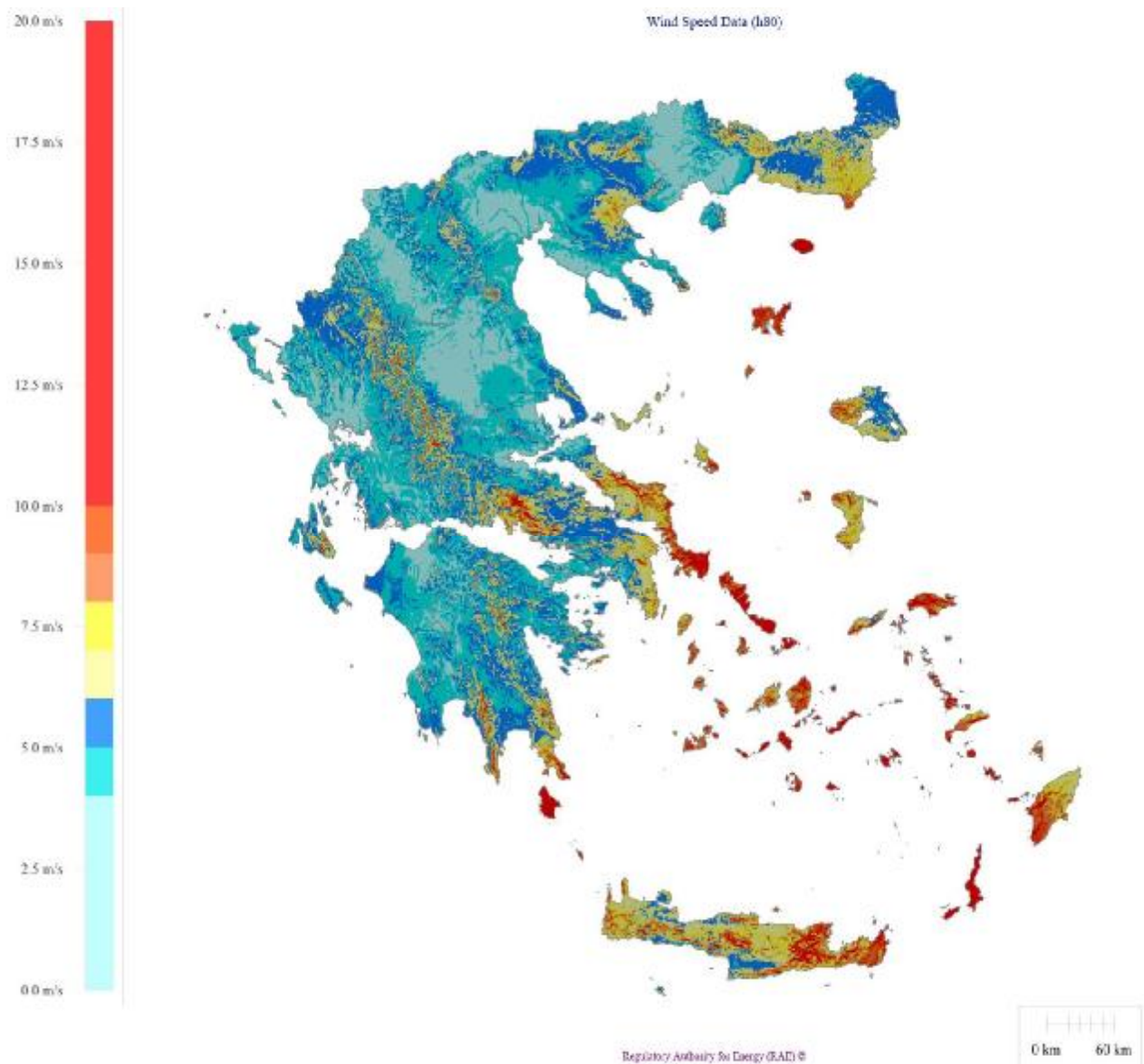
3.1. ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΕΛΛΑΔΑΣ

Για την τελική απόφαση της εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου πρέπει να πραγματοποιηθεί μέτρηση του αιολικού δυναμικού στην περιοχή εγκατάστασης. Η μέτρηση αυτή έχει την δυνατότητα παροχής πληροφοριών για την εκτίμηση της ενεργειακής παραγωγής και τον υπολογισμό των εισροών από τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας. Η στατιστική αλλαγή των ακραίων καιρικών φαινομένων (ακραίες τιμές έντασης ανέμου και συχνότητα εμφάνισης), αποτελεί λόγο που καθιστά τη μέτρηση του αιολικού δυναμικού σημαντικό εργαλείο για το σωστό σχεδιασμό και ασφάλεια της επένδυσης. Οι μετρήσεις συνιστάται να ακολουθούν συγκεκριμένες προδιαγραφές που αρμόζουν στην εφαρμογή των μικρών ανεμογεννητριών ώστε να μπορούν να είναι αξιοποιήσιμες αλλά και συγκρίσιμες με άλλες μετρήσεις από άλλο επενδυτή σε άλλη περιοχή.

Η βασική πληροφόρηση για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής μπορεί να πραγματοποιηθεί από χάρτες αιολικού δυναμικού –ΚΑΠΕ-ΡΑΕ, ΕΜΥ, μετρήσεις αιολικού δυναμικού και μακροσκοπικά μοντέλα μετεωρολογικών προβλέψεων.

Χαρακτηρισμός Αιολικού Δυναμικού	Ταχύτητα ανέμου (m/sec)
Ανεπαρκές	< 4
Χαμηλό	4-5.5
Μέσο	5.5-7
Υψηλό	7-9
Πολύ υψηλό	>9

Πίνακας 2: Κατηγορίες αιολικού δυναμικού



Εικόνα 9: Χάρτης Ελλάδας όπου απεικονίζεται το αιολικό δυναμικό κάθε περιοχής

ΠΕΡΙΟΧΗ	U m/sec
Άνδρος	9.7
Τήνος	9.5
Μύκονος	10.8
Κρήτη	8.1
Λήμνος	8.1
Λέσβος	8.7
Χίος	8.1
Σάμος	10.4
Εύβοια	9.2
Κάρπαθος	9.6
Σκύρος	6.5
Σαμοθράκη	6.6

Πίνακας 3: Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμων (10 m από το έδαφος)

Οι τιμές του πίνακα 3 έχουν πραγματοποιηθεί μεταξύ από το 1983 – 1990, με αποτέλεσμα να μην δεν θεωρούνται ακριβείς διότι ληφθείσαν από μετεωρολογικούς σταθμούς άρα μη έχοντας κατάλληλη θέση για μέτρηση αιολικού δυναμικού.

3.2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

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 :

- Η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονα της
- Η ηλιακή ενέργεια που απορροφά η ατμόσφαιρα και η επιφάνεια του εδάφους
- 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 οριζοντα 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 τύρβης και αναταράξεων καθώς και το επίπεδο της τύρβης του ανέμου. Για την περιγραφή της κατανομής 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 κατανομή 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. ΤΥΡΒΗ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

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. ΜΕΘΟΔΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΥΡΒΗΣ

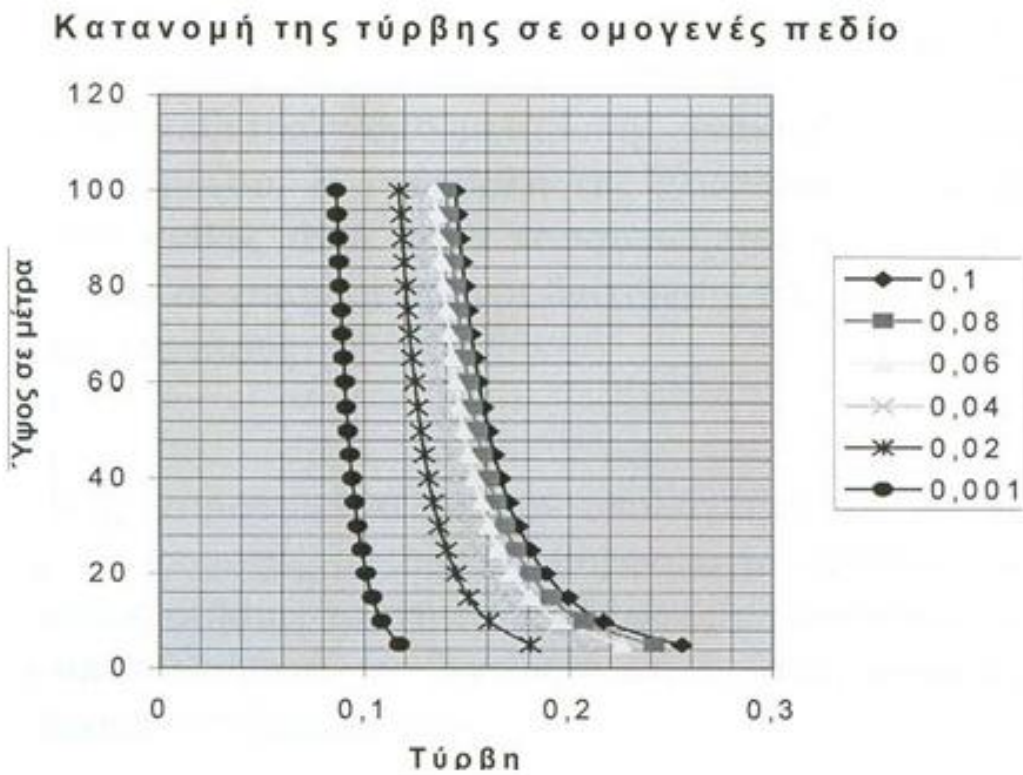
Ο υπολογισμός της τύρβης έγινε με βάση τη γνωστή θεωρία περί ανάπτυξης τυρβώδους ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Κριτήριο για την επιλογή των σχέσεων για τους υπολογισμούς υπήρξε η μορφή της κατανομής της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου. Η κατανομή της κλίσης αυτής στο χώρο, η οποία δίνεται από τη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

$$I = \frac{1}{\ln \frac{z}{z_0}} \quad [1]$$

Όπου: z_0 =το μήκος τραχύτητας του εδάφους

z = η τρέχουσα απόσταση ενός σημείου στην ατμόσφαιρα από το έδαφος.

Παρακάτω στο Σχήμα 7 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 7: 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 ΔΙΑΤΜΗΣΗ

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. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΚΑΙ ΤΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

3.4.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΕΔΑΦΟΥΣ

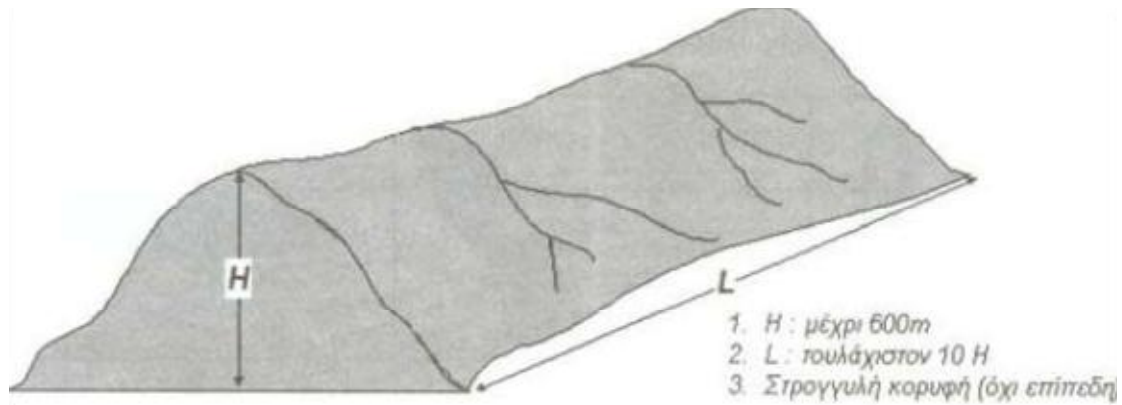
Είναι συνηθισμένο το φαινόμενο της μέτριας λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας αν και έχει εγκατασταθεί σε περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό. Στις περισσότερες από τις περιπτώσεις αυτές η ανεμογεννήτρια λειτουργεί σε έντονα μεταβαλλόμενο πεδίο ροής λόγω της υψηλής τύρβης της περιοχής. Η εμφάνιση υψηλής 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. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΕΜΠΟΔΙΩΝ

Για τη σωστή αεροδυναμική συμπεριφορά μιας αιολικής μηχανής είναι σκόπιμο η πτερωτή 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.

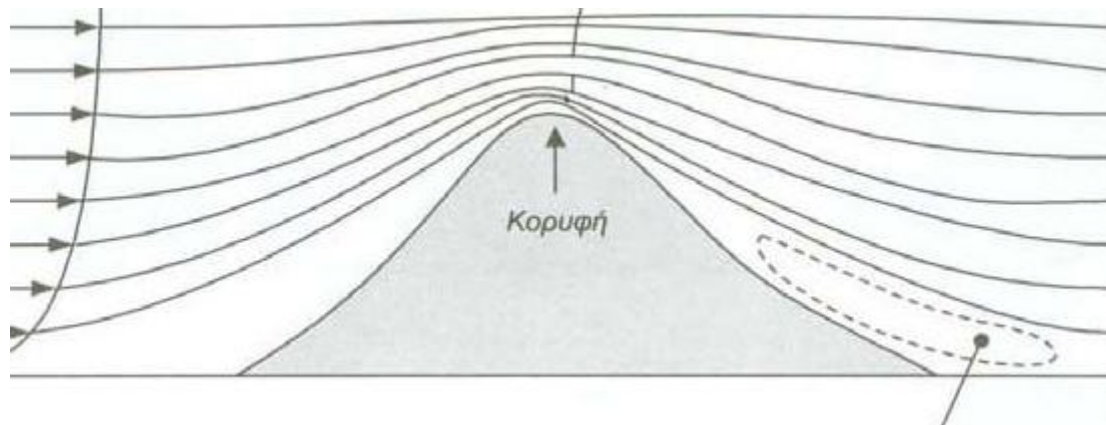
3.4.3. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΑΝΑΓΛΥΦΟΥ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ.

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 8. 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 8: Τυπική λοφοσειρά

Βασιζόμενοι στους κλασσικούς νόμους της αεροδυναμικής υποηχητικών ταχυτήτων (π.χ. εξίσωση Bernoulli), μπορούμε να πούμε ότι η κορυφή της λοφοσειράς είναι μια πολύ καλή θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας, δεδομένης της συμπίεσης των γραμμών ροής, η οποία ισοδυναμεί με επιτάχυνση της αέριας δέσμης. Ένας πιθανός διπλασιασμός της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή της κορυφής ισοδυναμεί με οκταπλασιασμό της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου στην 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 9).



Σχήμα 9: Πιθανή ζώνη υψηλής τύρβης

Ολοκληρώνοντας πρέπει να επισημάνουμε ότι ιδιαίτερη επίδραση στη συνολική κατανομή 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 ημιεμπειρικές 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 (πτερωτή) 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.

3.4.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

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 εξαγάγουμε ακριβή συμπεράσματα για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου.

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. Σε 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 πτερωτής 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 (datalogger) (Εικόνας 10) 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.



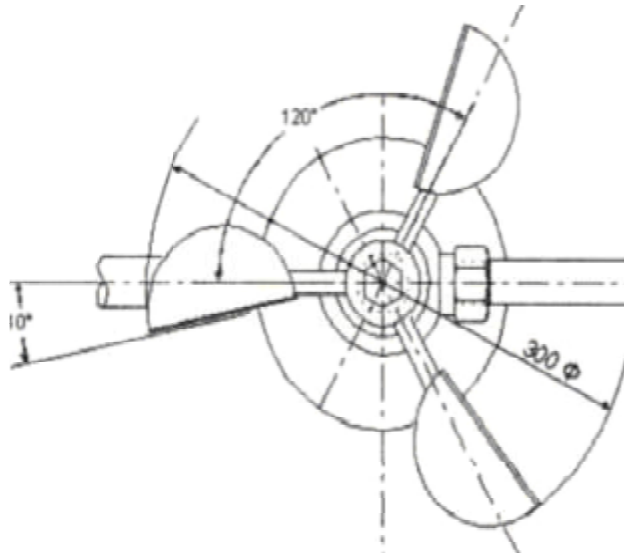
Εικόνα 10: Datalogger.

3.4.5. ANEMOMETPO

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 χρησιμοποιούνται δυο τέτοιου τύπου κυπελλοφόρα ανεμόμετρα .



Εικόνα 11: Κυπελλοφόρα ανεμόμετρα (1.Vector 2.Thies 3.NRG)



Σχήμα 10: Σκαρίφημα ανεμόμετρου

Τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα αποτελούνται (Εικόνα 11 – Σχήμα 10) 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:

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

3.4.6. ΔΙΕΥΘΥΝΣΙΟΜΕΤΡΟ

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. 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:

- a) Περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του με ελάχιστες τριβές
- b) Δεν παρουσιάζει τάσεις κλίσεως προς μια διεύθυνση, με την ακριβή αντιστάθμιση των ελασμάτων με τη χρήση αντίβαρου
- c) Εμφανίζει τη μέγιστη ροπή στρέψης για δεδομένη αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με την αδράνεια του οργάνου.
- d) Παρουσιάζει γρήγορη απόκριση στις διαρκείς διακυμάνσεις της διεύθυνσης του ανέμου
- e) 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.

3.4.7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ 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 (Risø). Το λογισμικό WAsP θα μας βοηθήσει να εξάγουμε τα κύρια μεγέθη για την οικονομοτεχνική μελέτη. 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 ανεμολογικών 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.

3.4.8. ΑΙΟΛΙΚΟΣ ΑΤΛΑΝΤΑΣ

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.

3.4.9. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

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.

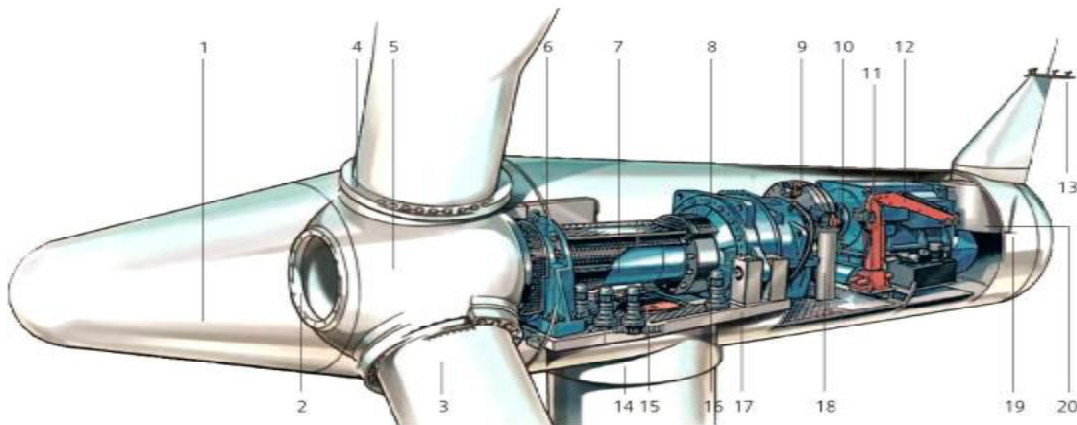
4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

4.1. ΑΙΟΛΙΚΟΣ ΣΤΑΘΜΟΣ ΞΕΡΟΒΟΥΝΙ

Ο Αιολικός Σταθμός Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΑΣΠΗΕ) Ξεροβούνι, όπως συνήθως ονομάζονται οι εγκαταστάσεις αυτές, ή για λόγους συντομίας Αιολικό Πάρκο Ξεροβούνι (Α/Π) βρίσκεται στο όρος Ξεροβούνι, της Δημοτικής Ενότητας Πλατάνου του Δήμου Ναυπακτίας. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του Α/Π είναι 17MW. Οι ΑΣΠΗΕ αυτού του είδους αποτελούνται από τρία (3) αλληλένδετα τμήματα. Τις εγκαταστάσεις του Αιολικού Πάρκου που περιλαμβάνει το κομμάτι των ανεμογεννητριών, το διασυνδεδετικό δίκτυο Μέσης Τάσης (Μ.Τ.) και τις εγκαταστάσεις του Υποσταθμού (Υ/Σ) 20/150KV στο Θέρμο Τριχωνίδος. Παρακάτω δίνεται μια σύντομη περιγραφή των 3 αυτών τμημάτων.

4.1.1. ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΣΤΟ Α/Π

Το Α/Π αποτελείται από είκοσι (20) ανεμογεννήτριες GAMESAG-52 ισχύος 850KW, τάσεως 690V (Σχήμα 11). Η κάθε Α/Γ συνδέεται στο δίκτυο Μ.Τ. του Α/Π πάρκου μέσω μετασχηματιστή (Μ/Σ) 1.000 kVA, με λόγο 690V/20 kV, ο οποίος βρίσκεται στο εσωτερικό των Α/Γ.



Σχήμα 11: Εσωτερική δομή μιας ανεμογεννήτριας GAMESAG-52 ισχύος 850kW

- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1. Στροβιλιστής ανεμοκινητήρα | 11. Γεννήτρια |
| 2. Βάση στήριξης στροβιλιστή | 12. Εσωτερικός γερανός |
| 3. Πτερύγια | 13. Αισθητήρες ανέμου |
| 4. Βάση στήριξης πτερυγίων | 14. Πυλώνας |
| 5. Πλήμνη | 15. Υδραυλικό σύστημα περιστροφής |
| 6. Κύριο ρουλεμάν | 16. Κινητήρας περιστροφής |
| 7. Κύρια κινητήρια άτρακτο (άξονας χαμηλών στροφών) | 17. Έδρανο στήριξης ατράκτου |
| 8. Κιβώτιο ταχυτήτων | 18. Φίλτρα λαδιού |
| 9. Δισκόφρενο | 19. Κουβούκλιο |
| 10. Σύζευξη με γεννήτρια (άξονας υψηλών στροφών) | 20. Ψύκτρα γεννήτριας |

Το δίκτυο Μ.Τ. του Α/Π αποτελείται από δύο (2) ανεξάρτητες υπόγειες γραμμές Μ.Τ., στις οποίες συνδέονται σειριακά οι Α/Γ, δημιουργώντας έτσι δύο (2) τμήματα από 10 Α/Γ το καθένα. Οι Α/Γ διαθέτουν ασύγχρονη ηλεκτρική γεννήτρια ονομαστικής τάσης εξόδου 690V. Διαθέτουν αντικεραυνικό σύστημα προστασίας ενσωματωμένο στα άκρα των πτερυγίων για την προστασία όλης της Α/Γ αλλά και των υποσυστημάτων που διαθέτει και συνδέεται με ξεχωριστό σύστημα γείωσης, της θεμελιακής γείωσης για την προστασία των μεταλλικών μερών της Α/Γ.

Το ύψος των Α/Γ είναι 44m αποτελούμενο από δύο (2) τμήματα ενώ η διάμετρος του ρότορα είναι 52m με μήκος πτερυγίων στα 25,3m (Εικόνα 12). Σε γενικές γραμμές, με βάση αυτά που φαίνονται εξωτερικά, η Α/Γ αποτελείται από τη υπόγεια μεταλλική βάση, τα δύο (2) υπέργεια τμήματα του πυλώνα, την άτρακτο και τα τρία (3) πτερύγια. Στο εσωτερικό της άτρακτου αλλά και στην βάση του πυλώνα είναι εγκατεστημένα τα βασικά τμήματα για την λειτουργία της κάθε Α/Γ. Στο χώρο του Α/Π υπάρχει Κτίριο Ελέγχου για τις ανάγκες του έργου όπου είναι εγκατεστημένες οι υπόλοιπες μονάδες για τον έλεγχο λειτουργίας των Α/Γ(σύστημα SCADA).



Εικόνα 12: Το ύψος της Α/Γ GAMESAG-52 ισχύος 850kW είναι 44m αποτελούμενο από δύο (2) τμήματα ενώ η διάμετρος του ρότορα είναι 52m με μήκος πτερυγίων στα 25,3m.

4.1.2. ΔΙΑΣΥΝΔΕΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΜΕΣΗΣ ΤΑΣΗΣ (Μ.Τ.)

Τα δύο (2) ανεξάρτητα υπόγεια δίκτυα Μ.Τ. του Α/Π καταλήγουν στο Κτίριο Ελέγχου του Α/Π. Εκεί μέσω των κατάλληλων πινάκων Μ.Τ. συνδέονται στις επίσης δύο (2) ανεξάρτητες γραμμές διασύνδεσης Μ.Τ. και οι οποίες καταλήγουν στον Υ/Σ Θέρμου. Οι δύο (2) αυτές γραμμές αποτελούν το διασυνδεδητικό δίκτυο του Α/Π με τον Υ/Σ Θέρμου. Το συνολικό μήκος αυτού είναι γύρω στα 25km, αποτελούμενο από 3km υπογείου δικτύου και 22km εναερίου δικτύου Μ.Τ..Τα τμήματα αυτά, στο μεγαλύτερο τμήμα τους είναι κατασκευασμένα πλησίον δρόμων, ενώ τόσο το υπόγειο τμήμα καλωδίων όσο και το εναέριο τμήμα αγωγών με ξύλινους στύλους, έχουν κατασκευαστεί σύμφωνα με τις τυποποιημένες κατασκευές κατανομής της ΔΕΗ.

4.1.3. ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ (Υ/Σ) 20/150KV ΘΕΡΜΟ ΤΡΙΧΩΝΙΔΟΣ

Ο Υ/Σ Θέρμου (Εικόνα 13) είναι ο χώρος, όπου τελικά καταλήγει η παραγόμενη ισχύς του Α/Π. Από εκεί η Μ.Τ. μετατρέπεται σε Υψηλή Τάση (Υ.Τ.) και στην συνέχεια μέσω των πυλώνων Υ.Τ. γίνεται η μεταφορά της ισχύος. Ο χώρος αυτός συνολικής έκτασης 12.000 m² περιλαμβάνει πλήθος υπαίθριων εγκαταστάσεων αλλά και άλλων συσκευών εντός των δύο (2) κτιρίων που υπάρχουν. Στο κτίριο του παραγωγού, και στον κατάλληλο χώρο πινάκων Μ.Τ. καταλήγουν οι γραμμές του διασυνδεδετικού δικτύου. Στο ίδιο κτίριο υπάρχουν και άλλοι πίνακες αλλά και σύστημα παρακολούθησης του εξοπλισμού που βρίσκεται στον υπαίθριο χώρο. Παρόμοια είναι και η λειτουργία του κτιρίου του ΑΔΜΗΕ, όπου υπάρχουν διάφοροι πίνακες για τον έλεγχο και την προστασία του εξοπλισμού. Στον υπαίθριο χώρο υπάρχει ο Μ/Σ ανύψωσης ισχύος 40/50MVA τοποθετημένος σε κατάλληλη βάση με ράγες, μεταλλικά ικρίσματα πάνω σε ειδικές βάσεις από μπετό, όπου τοποθετείται ο ανάλογος εξοπλισμός, ικρίσματα φωτισμού του χώρου κ.α..



Εικόνα 13: Υ/Σ Θέρμου

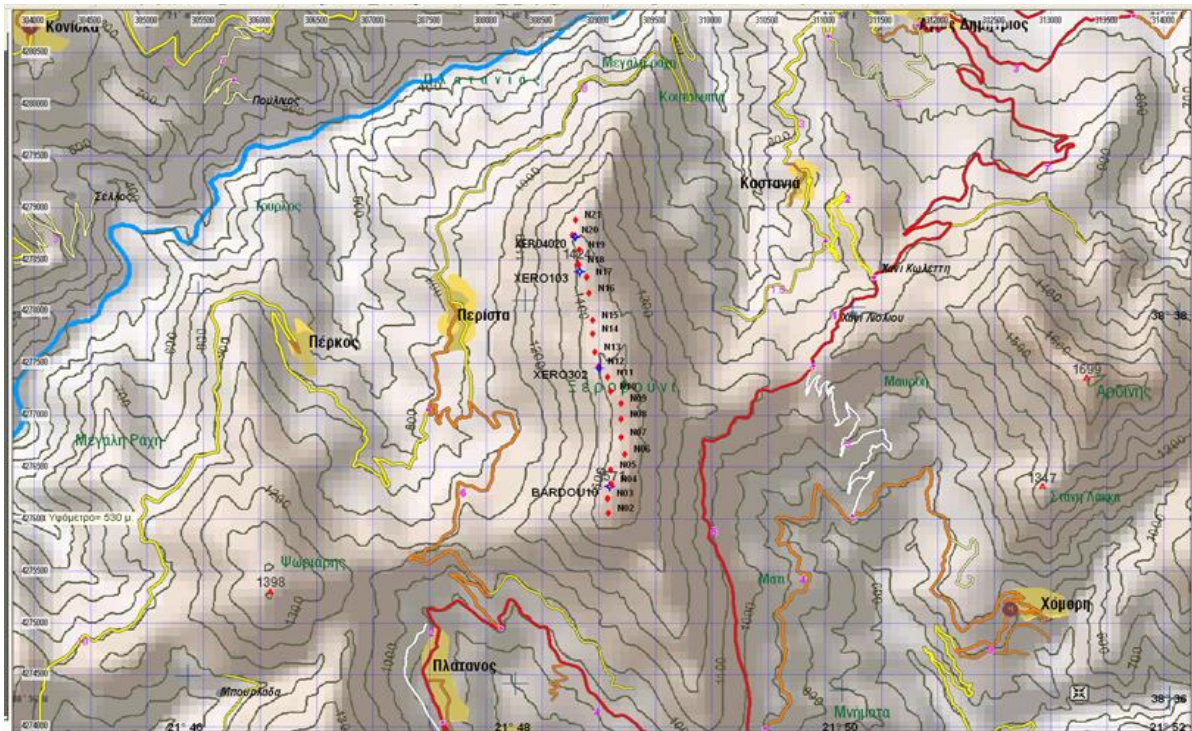
4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

4.2.1. ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ

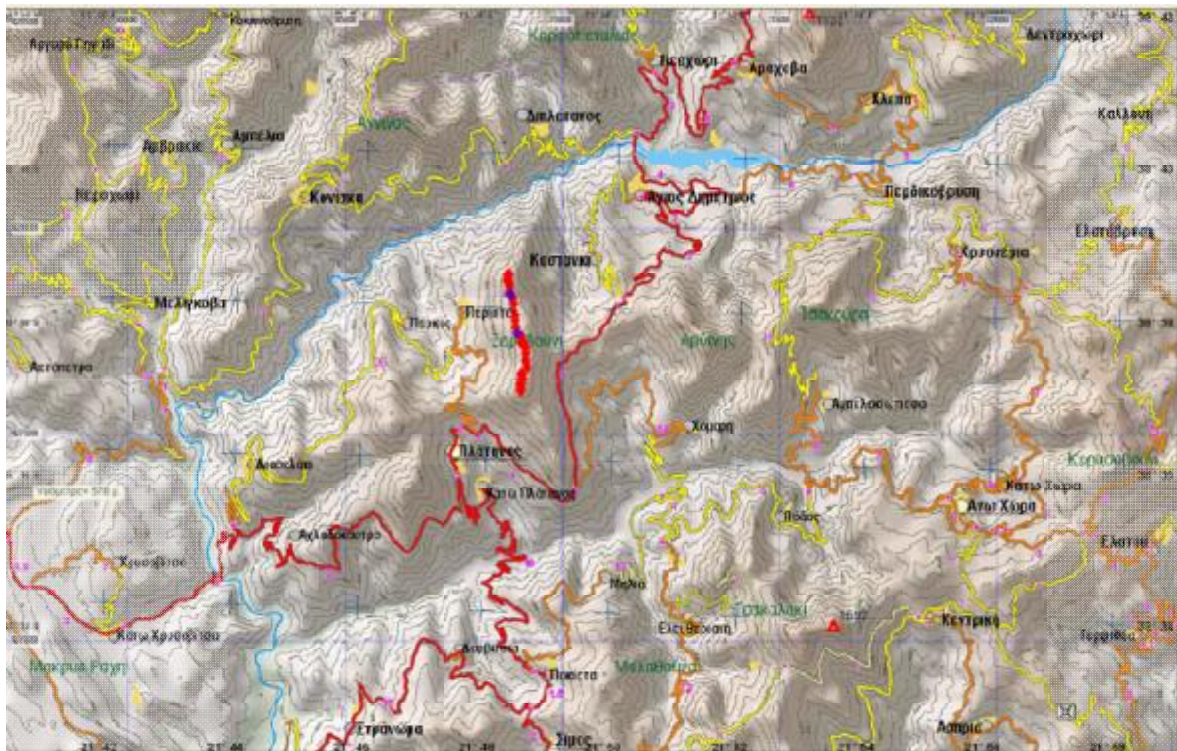
Η περιοχή αιολικών πάρκων (Σχήματα 12, 13 και 14) καλύπτει την κορυφογραμμή του Ξεροβουνίου, ανατολικά του χωριού Περίστας, στον Δήμο Πλατάνου του νομού Αιτωλοακαρνανίας. Η κορυφογραμμή τρέχει ΒΒΔ σε ΝΝΑ. Το έδαφος είναι σύνθετο, και καταλαμβάνεται από βουνά προς όλες τις κατευθύνσεις. Η έκθεση στο τοπικό αιολικό κλίμα είναι καλή:

- Το βουνό Βαρδούσια με κορυφές στα 2300 και 2400m βρίσκεται στα ανατολικά και βορειοανατολικά.
- Στα βόρεια βρίσκεται η κορυφογραμμή Καλιακούδας (2101m υψόμετρο).
- Η κοιλάδα του Ευήνου βρίσκεται δυτικά.
- Το μέσο υψόμετρο είναι χαμηλότερο από το πάρκο του Ξεροβουνίου, προς τα δυτικά και τα νότια.

Το έδαφος είναι γενικά βραχώδες με χαμηλή αραιή βλάστηση. Το υψόμετρο μειώνεται προς το βόρειο άκρο του αιολικού πάρκου.



Σχήμα 12: Απόσπασμα από γεωφυσικό χάρτη που δείχνει τις τοποθεσίες των ανεμογεννητριών (με κόκκινο χρώμα) και τους 4 σταθμούς αιολικής ενέργειας (μπλε ρόμβους) μέσα στο χώρο του αιολικού πάρκου. Πηγή: Τοπο Navigator 3.9.



Σχήμα 13: Απόσπασμα από γεωφυσικό χάρτη που δείχνει τις τοποθεσίες των ανεμογεννητριών και τους 4 σταθμούς αιολικής ενέργειας (μπλε ρόμβους) μέσα στο χώρο του αιολικού πάρκου. Πηγή: Τοπο Navigator 3.9.



Σχήμα 14: Απόσπασμα από το χάρτη GYS Κίφισο 1: 50.000 που δείχνει την τοποθεσία του αιολικού πάρκου.



Εικόνα 14: Το αιολικό πάρκο όπως φαίνεται από τη δύση.



Εικόνα 15: Το αιολικό πάρκο όπως φαίνεται από την ανατολή



Εικόνα 16: Η περιοχή αιολικού πάρκου προς τα βόρεια (αριστερά) και νότια (δεξιά).

4.2.2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ – Α/Π ΞΕΡΟΒΟΥΝΙ

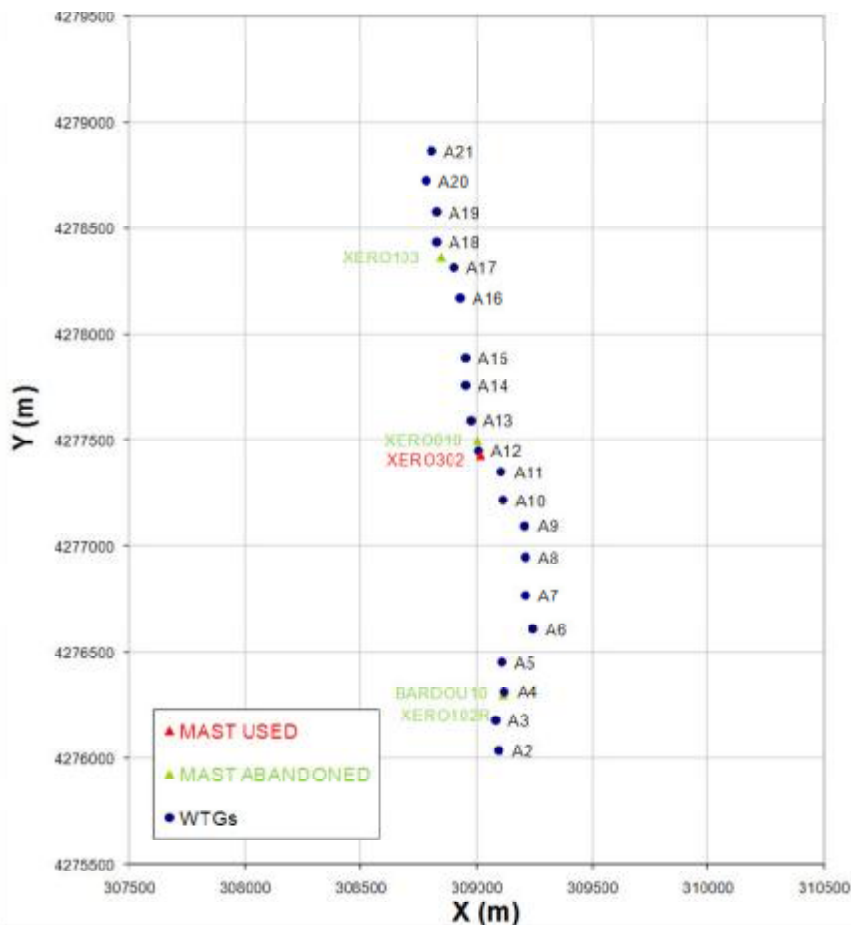
Εδώ έχουμε μια ανάλυση των συνθηκών ανέμου και το σχεδιασμό στο Α/ Π. Αυτή η αξιολόγηση τοποθεσίας πραγματοποιείται σύμφωνα με τις συνθήκες ανέμου και διαθεσιμότητας του τόπου. Το πεδίο εφαρμογής είναι η βελτιστοποίηση 20 ανεμογεννητριών G52-850kW με ύψος της πλάνης 55 και 44m, συνολικής χωρητικότητας 17MW στο Ξεροβούνι.

4.2.3. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΣ ΜΕΛΕΤΗΤΗΣ ΕΡΓΟΥ

Ανάδοχος της παρούσας Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων είναι μια εταιρεία, στην οποία ανατέθηκε από τον Φορέα του έργου η σύνταξη της ΜΠΕ. Η εταιρεία είναι ειδικευμένη σε θέματα σχετικά με τη διερεύνηση, εκτίμηση, αξιολόγηση και αντιμετώπιση περιβαλλοντικών επιπτώσεων έργων και δραστηριοτήτων.

4.2.4. ΠΕΡΙΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΝΕΜΟΥ

Η περίοδος μέτρησης του ανέμου και οι συντεταγμένες των γεφυρών στο Α/ Π. Οι καταχωρημένες τιμές που μετρήθηκαν σε ύψος 30m του ιστού ΧΕΡΟ302 (Διάγραμμα 1) έχουν χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιηθεί ολόκληρο το αιολικό πάρκο.



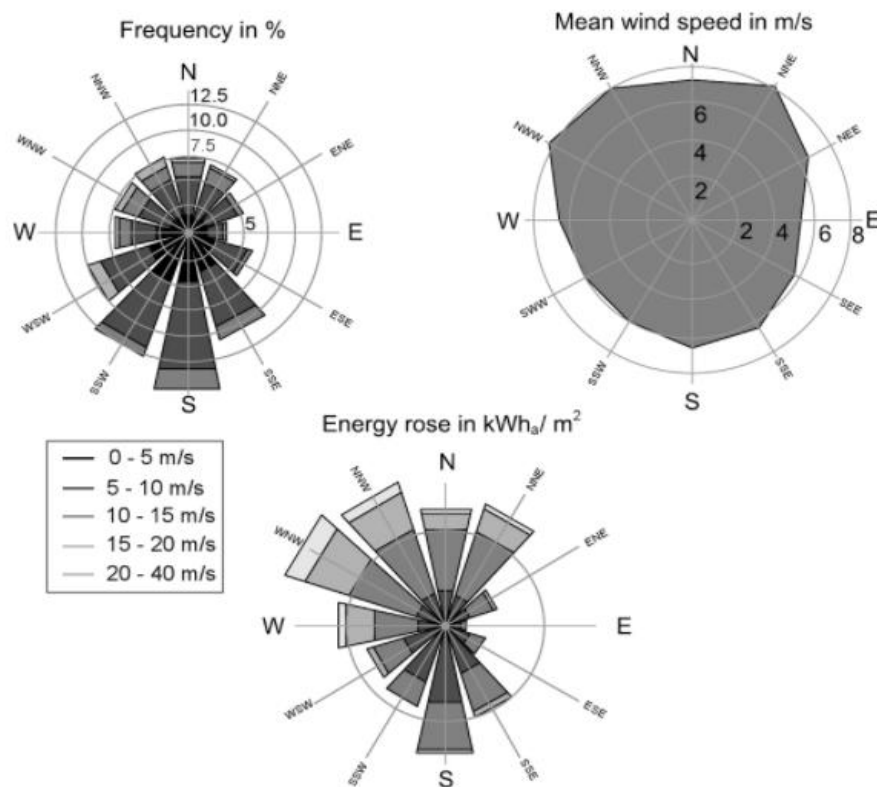
Διάγραμμα 1: Οι θέσεις των ανεμογεννητριών (WTG) και ιστοί μέτρησης στο Α/Π Ξεροβούνι.

4.2.5. ΜΕΣΗ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΑΝΕΜΟΥ¹

Η κατακόρυφη τιμή εκτοξευτήρα ανέμου υπολογίστηκε από την Gamesa Innovation & Technology με τα ακατέργαστα δεδομένα κατά την περίοδο αναφοράς: XERO302 (30 / 10m): $\alpha = 0,044$.

4.2.6. ΡΟΔΟΓΡΑΜΜΑ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ακολουθούν τα ροδόγραμμα Ταχύτητας Ανέμου (Wind Rose), Μέσης ταχύτητας ανέμου (Mean wind speed rose), και της Ενέργειας (Energy Rose).

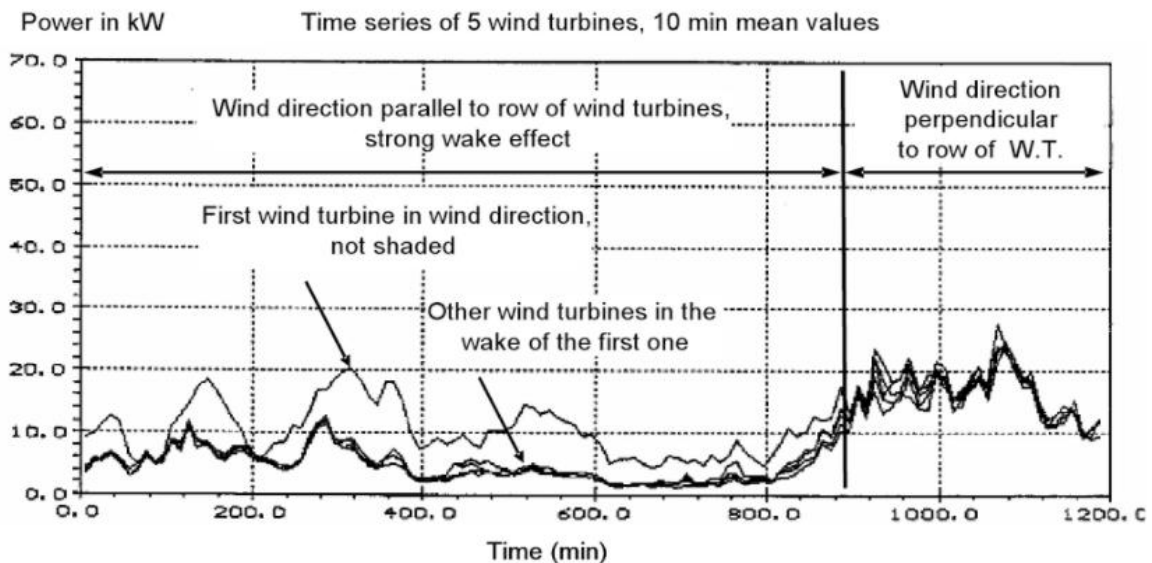


Σχήμα 15: Ροδογράμματα: Ροδόγραμμα Συχνότητας (Frequency rose), Ροδόγραμμα Μέσης Ταχύτητας Ανέμου (Mean wind speed rose), και Ροδόγραμμα Ενέργειας (Energy rose).

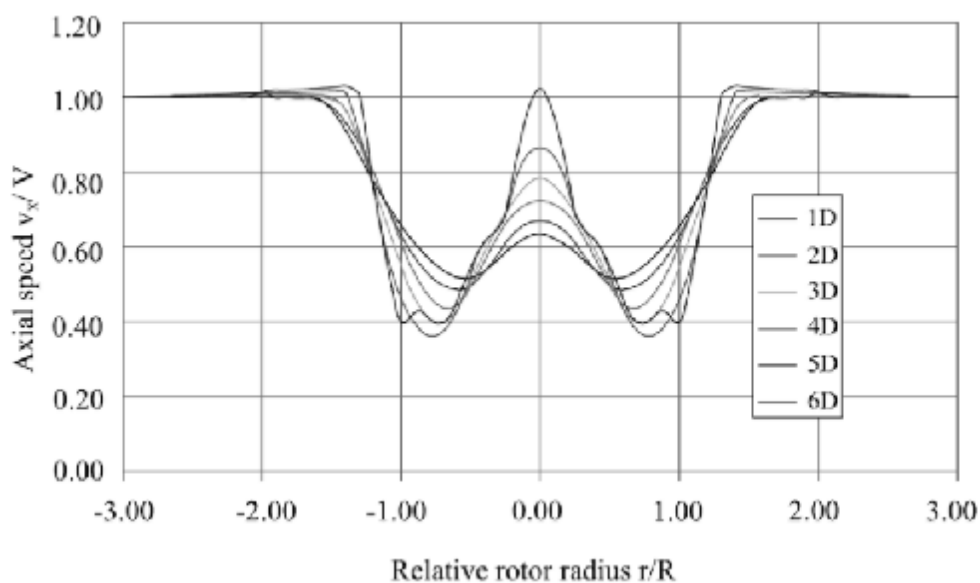
Για την τοποθέτηση αιολικών πάρκων με περισσότερες της μιας ανεμογεννήτριας είναι σημαντικό να γνωρίζουμε τις κατανομές συχνότητας της ταχύτητας του ανέμου για τις διαφορετικές κατευθύνσεις του ανέμου, προκειμένου να ρυθμίσουμε με ακρίβεια τις ανεμογεννήτριες ώστε να αποφευχθεί η σκίαση των στροβίλων. Αυτές οι τομεακές πληροφορίες για τον άνεμο αντιπροσωπεύονται σε ένα ροδόγραμμα. Τρία είδη ροδογραμμάτων είναι *σημαντικά*: το ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου (windspeedrose), το ροδόγραμμα συχνότητας (frequencyrose) και το ροδόγραμμα ενέργειας (energyrose).

¹ Διάτμηση ανέμου: Διακύμανση ταχύτητας ανέμου με ύψος πάνω από το έδαφος

Το ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου δείχνει την μέση ταχύτητα του ανέμου στους επιμέρους τομείς κατεύθυνσης του ανέμου. Στο Σχήμα 15 παρατηρούνται οι υψηλότερες μέσες ταχύτητες ανέμου στους τομείς NNE και WNW, ενώ ο Ανατολικός άνεμος είναι ο μικρότερος. Αντίθετα, το ροδόγραμμα συχνότητας, δείχνει μια σαφή κυριαρχία των Νότιων κατευθύνσεων ανέμου. Όμως, καθώς η ενέργεια είναι ανάλογη προς τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου και οι Νότιες κατευθύνσεις του ανέμου δείχνουν σχετικά μικρές μέσες ταχύτητες ανέμου, οι Βορειοδυτικοί τομείς του ροδογράμματος ενέργειας παρέχουν το μεγαλύτερο ενεργειακό μερίδιο. Αυτοί οι παράγοντες χρησιμεύουν για την εξεύρεση μιας βέλτιστης διάταξης αιολικού πάρκου όπου, μεταξύ άλλων, είναι σημαντικό να αποφευχθεί η σκίαση των στροβίλων μεταξύ τους που μειώνει την ενεργειακή απόδοση και να αυξάνει τα φορτία που οφείλονται στα φαινόμενα αφύπνισης. Σχήματα 16 και 17.

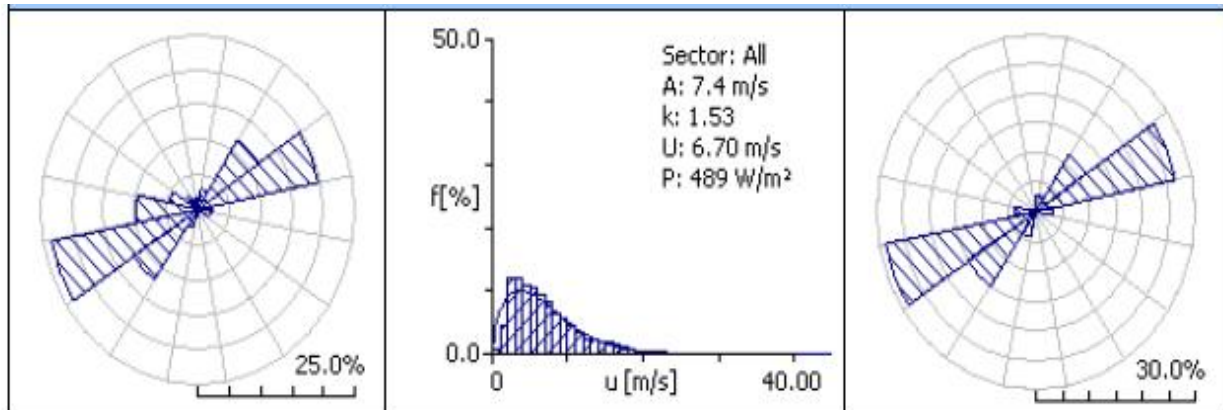


Σχήμα 16: Μείωση ισχύος λόγω του φαινομένου αφύπνισης σε έναν άνεμο με 5 ανεμογεννήτριες. Αριστερά: κατεύθυνση ανέμου παράλληλα με τις παρατεταγμένες ανεμογεννήτριες. Δεξιά: κατεύθυνση ανέμου κάθετα προς τις παρατεταγμένες ανεμογεννήτριες [University Oldenburg, Γερμανία]



Σχήμα 17: Τα προφίλ ταχύτητας ύψους πλήμνης υπήνεμη μιας ανεμογεννήτριας. Η απόσταση εμφανίζεται ως πολλαπλάσια της διαμέτρου του ρότορα D .

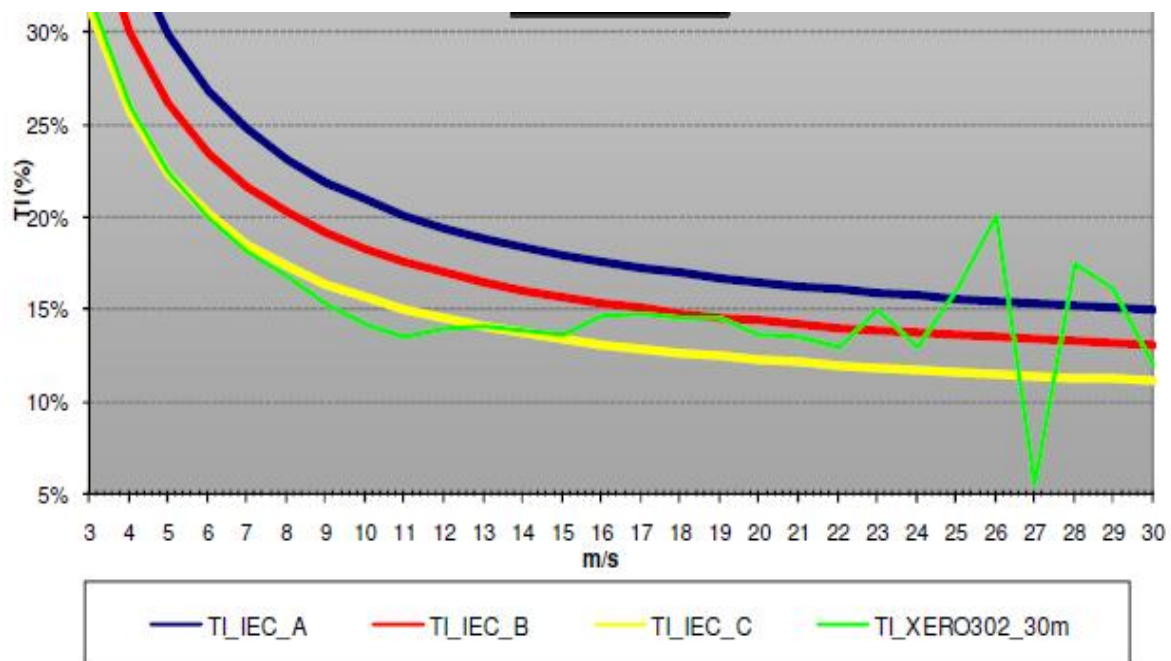
Το παρακάτω γράφημα(Σχήμα 18) δείχνει το Ροδόγραμμα Ταχύτητας Ανέμου(Wind Rose), την κατανομή Weibull (Weibull Distribution) και το Ροδόγραμμα Ενέργειας(Energy Rose) σε ιστό μέτρησης σε ύψος 30 μέτρων στο Α/Π Ξεροβούνι.



Σχήμα 18: Ροδόγραμμα ταχύτητας ανέμου, την κατανομή Weibull και ροδόγραμμα ενέργειας στον ιστό μέτρησης XERO302 στα 30 m.

4.2.7. ΈΝΤΑΣΗ ΤΥΡΒΗΣ (ΤΙ)

Το ακόλουθο Διάγραμμα 2 δείχνει την Χαρακτηριστική Ένταση Τύρβης² (σύμφωνα με το IEC 61400-1 Ed.3) στον ιστό XERO302 σε ύψος μέτρησης 30 m κατά τη διάρκεια της περιόδου αναφοράς. Η τιμή $T_{I_{15}}$ του XERO302 στα 30m είναι **14,1%**.



Διάγραμμα 2: Χαρακτηριστική Ένταση Τύρβης του ιστού μέτρησης σε ύψος μέτρησης 30 m.

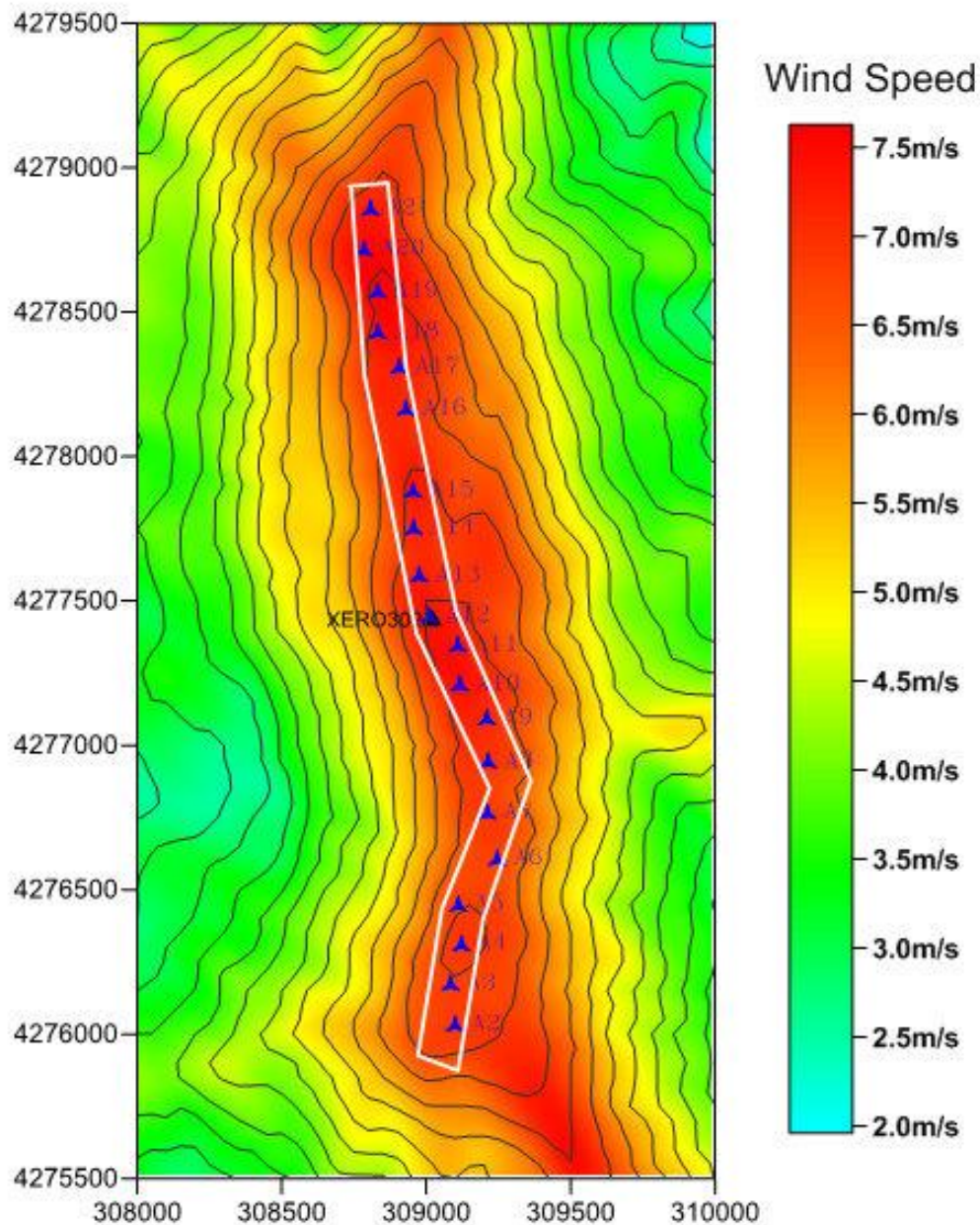
²Ένταση Τύρβης: Ρυθμός της τυπικής απόκλισης της ταχύτητας του ανέμου στη μέση ταχύτητα του ανέμου σε συγκεκριμένη τιμή χρονικού διαστήματος

4.2.8. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ Α/Π ΣΤΟ ΞΕΡΟΒΟΥΝΙ

Η πρόταση σχεδιασμού αιολικού πάρκου (Γράφημα 4 και 5) πραγματοποιήθηκε με βάση τα ακόλουθα κριτήρια:

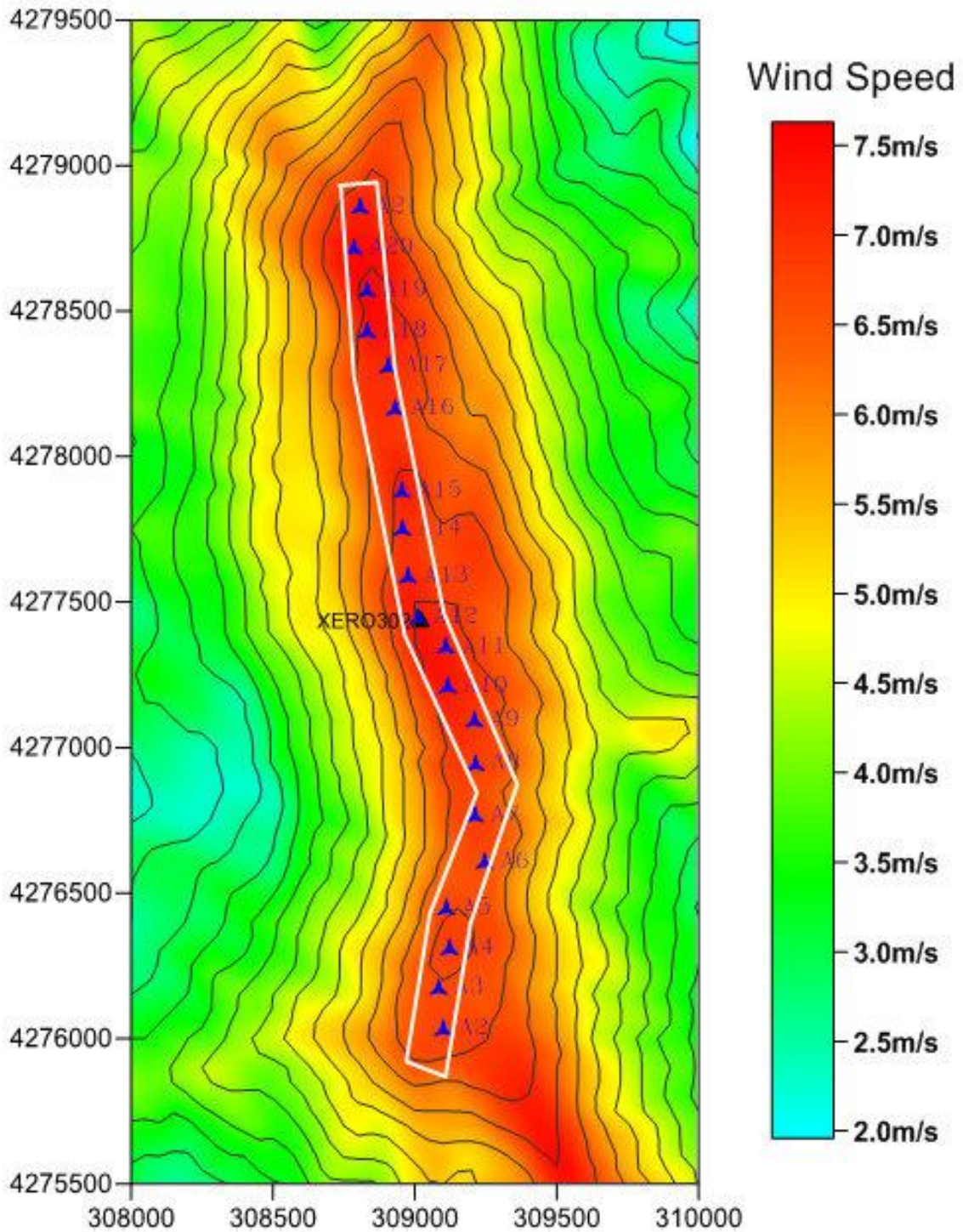
- Όριο.
- Προηγούμενες κατευθύνσεις ανέμου
- Απόσταση ανεμογεννητριών: μελέτη Frandsen
- Ποιότητα εδάφους
- Ελαχιστοποίηση των απωλειών αφύπνισης
- Μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας

Ταχύτητα ανέμου στα 55 μέτρα στο Α/Π.



Διάγραμμα 3: Ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης 55m του Α/Π. (Γραμμές ύψους κάθε 50 m).

Ταχύτητα ανέμου στα 44 μέτρα στο Α/Π.



Διάγραμμα 4: Ταχύτητα ανέμου σε ύψος της πλήμνης 44 m του Α/Π. (Γραμμές ύψους κάθε 50m).

4.3. ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ

4.3.1. ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ WEIBULL

Οι παρακάτω Πίνακες 4 και 5 δείχνουν τις παραμέτρους της Weibull (A, k) και τη μέση ταχύτητα ανέμου στο στύλο και τις προτεινόμενες θέσεις της ανεμογεννήτριας, υπολογιζόμενες με το πρόγραμμα WASP, λαμβάνοντας υπόψη τα αρχεία καρτελών στα ύψη της πλήμνης των 55 m και 44 m.

SITE ID	X (m)	Y(m)	Weibull A (m/sec)	Weibull k	V _{ave} (m/sec)
XERO302	309021	4277433	8.2	1.57	7.4
A2	309100	4276037	7.7	1.65	6.9
A3	309084	4276178	7.6	1.67	6.8
A4	309122	4276315	7.8	1.66	6.9
A5	309111	4276452	7.6	1.63	6.8
A6	309246	4276611	7.6	1.62	6.8
A7	309212	4276771	7.7	1.60	6.9
A8	309214	4276948	7.8	1.60	7.0
A9	309210	4277215	7.9	1.59	7.1
A10	309116	4277351	8.3	1.57	7.4
A11	309109	4277452	8.2	1.58	7.3
A12	309010	4277452	8.2	1.57	7.4
A13	308976	4277593	8.0	1.58	7.2
A14	308956	4277757	7.9	1.57	7.1
A15	308954	4277886	8.2	1.56	7.3
A16	308930	4278170	7.9	1.56	7.1
A17	308906	4278315	8.0	1.57	7.2
A18	308832	4278436	8.3	1.57	7.4
A19	308832	4278577	8.5	1.56	7.6
A20	308785	4278722	8.4	1.59	7.5
A21	308807	4278863	8.1	1.62	7.3

Πίνακας 4: Μέση ταχύτητα, παράμετροι A και k Weibull σε κάθε θέση και ιστό μέτρησης στο ύψος της πλήμνης 55 m.

SITE ID	X (m)	Y(m)	Weibull A (m/sec)	Weibull k	V _{ave} (m/sec)
XERO302	309021	4277433	8.2	1.58	7.3
A2	309100	4276037	7.6	1.67	6.8
A3	309084	4276178	7.5	1.69	6.7
A4	309122	4276315	7.6	1.68	6.8
A5	309111	4276452	7.5	1.65	6.7
A6	309246	4276611	7.4	1.63	6.7
A7	309212	4276771	7.6	1.61	6.8
A8	309214	4276948	7.6	1.62	6.8
A9	309210	4277215	7.8	1.61	7.0
A10	309116	4277351	8.2	1.58	7.3
A11	309109	4277452	8.0	1.59	7.2
A12	309010	4277452	8.2	1.58	7.3
A13	308976	4277593	7.9	1.60	7.1
A14	308956	4277757	7.8	1.58	7.0
A15	308954	4277886	8.1	1.58	7.3
A16	308930	4278170	7.7	1.58	6.9
A17	308906	4278315	7.9	1.59	7.1
A18	308832	4278436	8.2	1.58	7.4
A19	308832	4278577	8.4	1.57	7.5
A20	308785	4278722	8.3	1.61	7.5
A21	308807	4278863	8.0	1.64	7.2

Πίνακας 5: Μέση ταχύτητα, παράμετροι A και k Weibull σε κάθε θέση και συνάντησε τον ιστό μέτρησης στο ύψος της πλήμνης 44 m.

4.4. ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ - METHOD OF INDEPENDENT STORMS (MIS)

Τα αποτελέσματα που ελήφθησαν στον ιστό μέτρησης XERO302 σε ύψος μέτρησης 30 m και ύψη της πλήμνης 55/44 m παρουσιάζονται στον ακόλουθο Πίνακα 6.

Η τιμή του V_{ref} που ελήφθη για τον ιστό XERO302 έχει υπολογιστεί με τη μέθοδο της ανεξάρτητης καταιγίδας από τον ιστό μέτρησης σε κάθε θέση ανεμογεννήτριας του αιολικού πάρκου, σύμφωνα με τις σχέσεις μεταξύ του V_{ref} και της εκτιμώμενης μέσης ταχύτητας ανέμου στα ύψη κόμβων στον ιστό XERO302.

MAST	Height (m)	V _{ave} (m/sec)	V _{ref} (m/sec)	V _{ref std done} (m/sec)
XERO302	30	7.2	50.2	46.5
	44	7.3	50.4	46.6
	55	7.4	50.5	46.7

Πίνακας 6: Αποτελέσματα που ελήφθησαν στον ιστό μέτρησης XERO302 σε ύψος μέτρησης 30 m και ύψη της πλήμνης 55 / 44 m

4.4.1. ΕΚΤΙΜΗΣΗ IEC

Στους επόμενους Πίνακες 7 και 8, παρουσιάζεται η ταξινόμηση σύμφωνα με το πρότυπο IEC 61400-1 Standard Ed.3 στα ύψη της πλήμνης 55 m και 44 m για τον ιστό μέτρησης και κάθε προτεινόμενη θέση του Α/Π.

SITE ID	X (m)	Y(m)	V _{ave} (m/sec)	V _{ref std done} (m/sec)	IEC Class
XERO302	309021	4277433	7.4	46.7	I
A2	309100	4276037	6.9	43.4	I
A3	309084	4276178	6.8	43.1	I
A4	309122	4276315	6.9	43.7	I
A5	309111	4276452	6.8	43.0	I
A6	309246	4276611	6.8	42.8	I
A7	309212	4276771	6.9	43.5	I
A8	309214	4276948	7.0	43.9	I
A9	309210	4277215	7.1	44.7	I
A10	309116	4277351	7.4	46.8	I
A11	309109	4277452	7.3	46.3	I
A12	309010	4277452	7.4	46.7	I
A13	308976	4277593	7.2	45.4	I
A14	308956	4277757	7.1	45.1	I
A15	308954	4277886	7.3	46.3	I
A16	308930	4278170	7.1	44.7	I
A17	308906	4278315	7.2	45.5	I
A18	308832	4278436	7.4	47.0	I
A19	308832	4278577	7.6	48.0	I
A20	308785	4278722	7.5	47.6	I
A21	308807	4278863	7.3	45.9	I

Πίνακας 7: Ταξινόμηση IEC για κάθε προτεινόμενη θέση και ιστό μέτρησης σε ύψος της πλήμνης 55 m

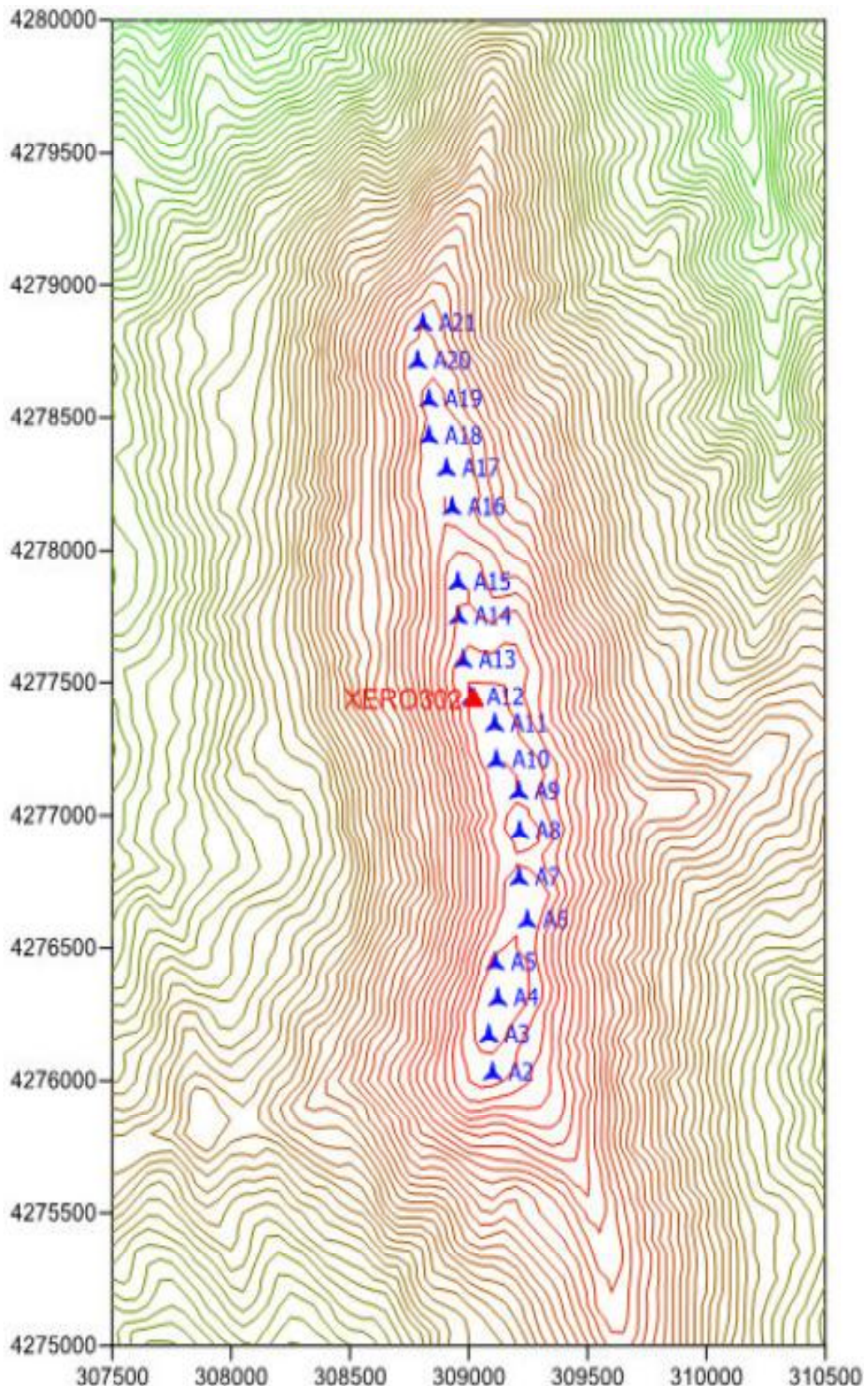
SITE ID	X (m)	Y(m)	V_{ave} (m/sec)	$V_{ref\ std\ done}$ (m/sec)	IEC Class
XERO302	309021	4277433	7.3	46.6	I
A2	309100	4276037	6.8	43.1	I
A3	309084	4276178	6.7	42.8	I
A4	309122	4276315	6.8	43.5	I
A5	309111	4276452	6.7	42.9	I
A6	309246	4276611	6.7	42.5	I
A7	309212	4276771	6.8	43.3	I
A8	309214	4276948	6.8	43.5	I
A9	309210	4277215	7.0	44.4	I
A10	309116	4277351	7.3	46.8	I
A11	309109	4277452	7.2	46.0	I
A12	309010	4277452	7.3	46.7	I
A13	308976	4277593	7.1	45.3	I
A14	308956	4277757	7.0	44.9	I
A15	308954	4277886	7.3	46.3	I
A16	308930	4278170	6.9	44.3	I
A17	308906	4278315	7.1	45.2	I
A18	308832	4278436	7.4	47.0	I
A19	308832	4278577	7.5	48.0	I
A20	308785	4278722	7.5	47.6	I
A21	308807	4278863	7.2	45.9	I

Πίνακας 8: Ταξινόμηση IEC για κάθε προτεινόμενη θέση και ιστό μέτρησης σε ύψος της πλήμνης 44 m

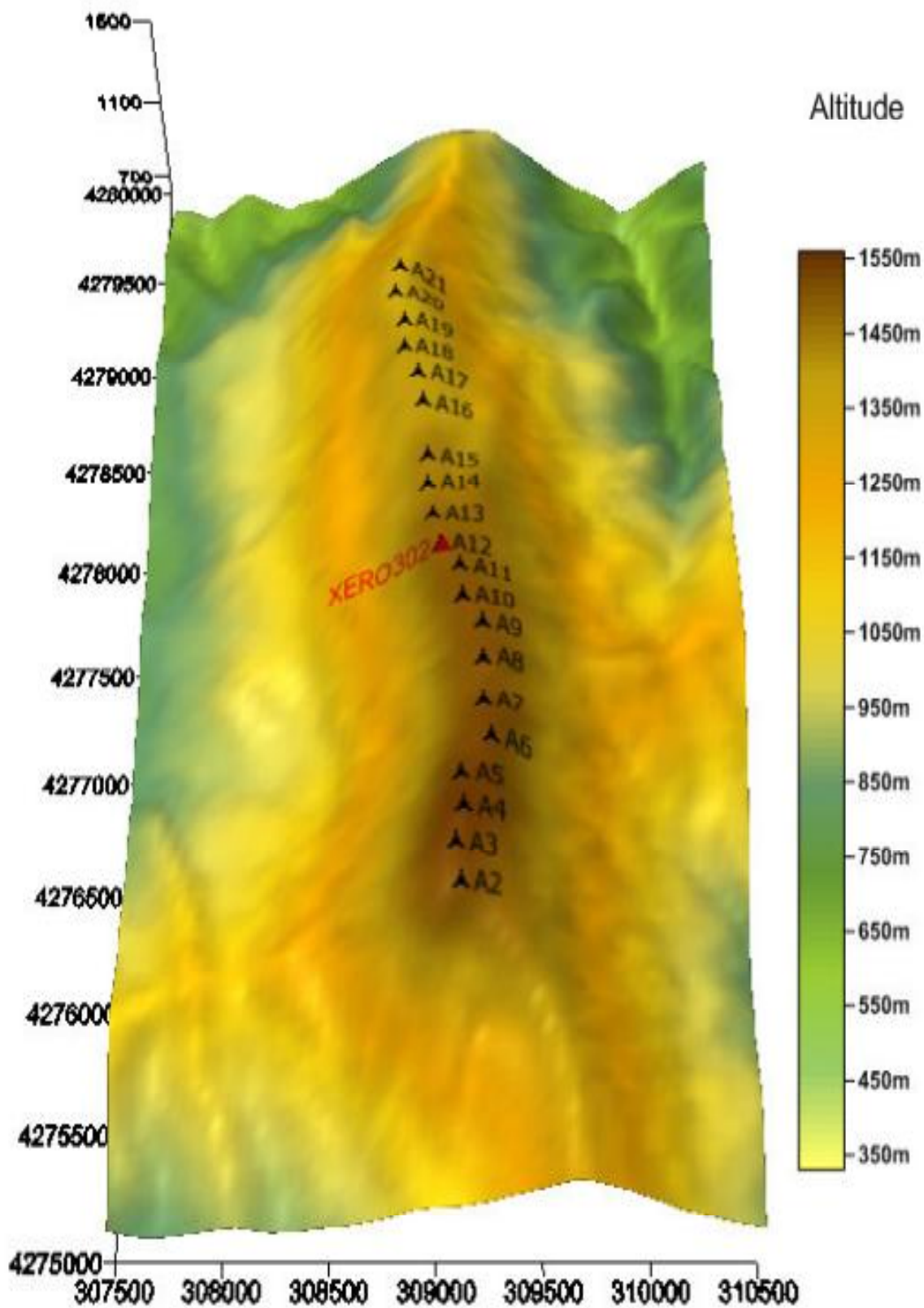
Σύμφωνα με την ταξινόμηση IEC, ο χώρος ταξινομείται ως IEC-I σε ύψος διανομέα 55 m και IEC-I ή IEC-II σε ύψος της πλήμνης 44 m. Ως εκ τούτου, από την άποψη της κατηγορίας, θα μπορούσε να είναι δυνατή η εγκατάσταση μοντέλου G52-850 kW σε ύψος της πλήμνης 55 m και 44 m σε όλες τις θέσεις στο Α/Π.

4.5. ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Τα παρακάτω Διάγραμμα 5 και 6 δείχνουν τον ψηφιακό χάρτη του εδάφους σε 2D (δισδιάστατο) και 3D (τριδιάστατο) αντίστοιχα και τη διάταξη των ανεμογεννητριών και του ιστού μέτρησης.



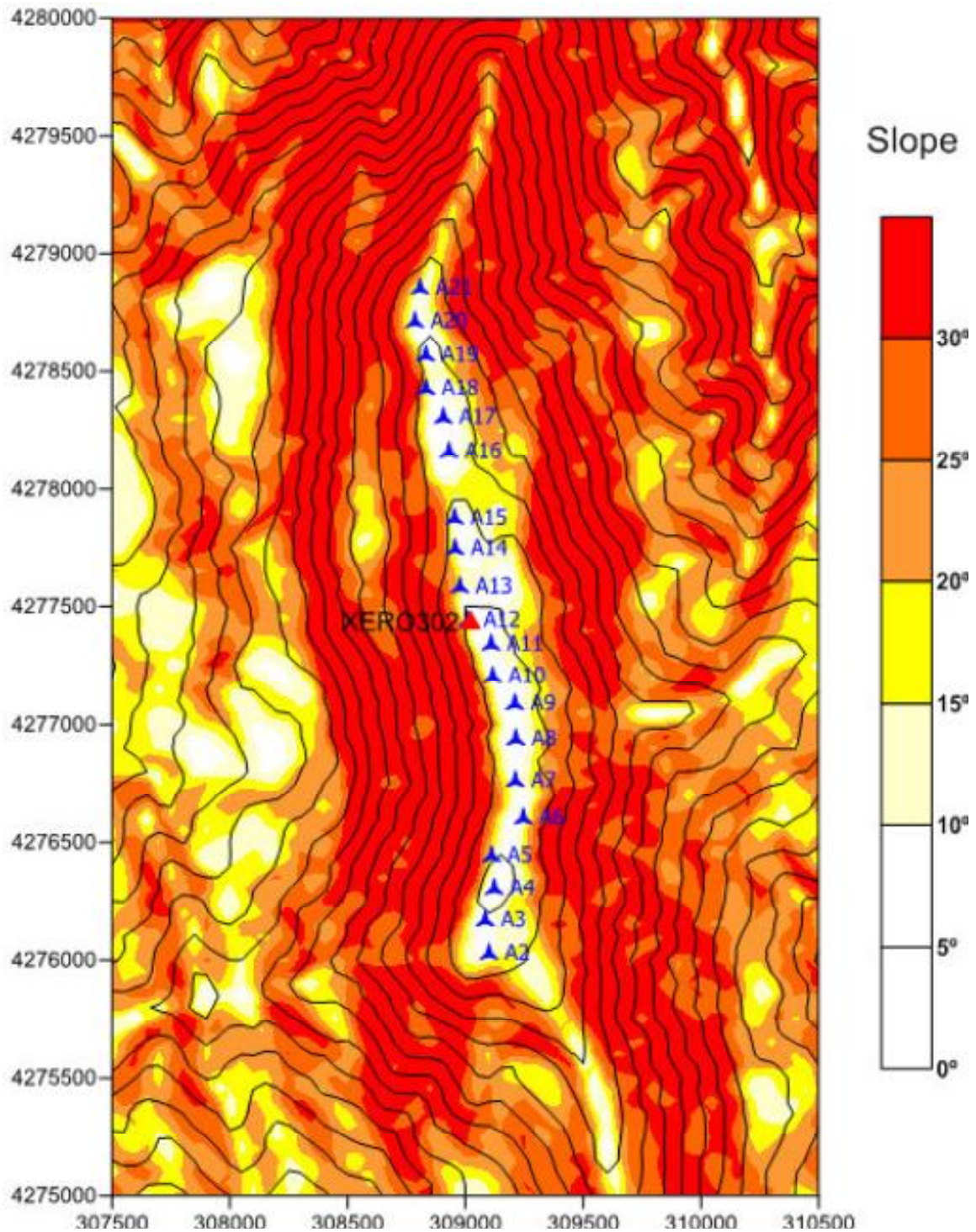
Διάγραμμα 5: Χάρτης 2D του Α/Π με τις θέσεις ιστών μέτρησης και ανεμογεννητριών (οι γραμμές περιγράμματος ύψους κάθε 20 μέτρα).



Διάγραμμα 6: Χάρτης 3D του Α/Π με τις θέσεις ιστών μέτρησης και ανεμογεννητριών. Υψόμετρο σε μέτρα.

4.5.1. ΧΑΡΤΗΣ ΠΛΑΓΙΑΣ

Η κλίση (Slope) του εδάφους που περιβάλλει τις θέσεις των ανεμογεννητριών παρουσιάζεται στο ακόλουθο Διάγραμμα 7. Η επεξήγηση δείχνει την κλίση σε μοίρες (°).



Διάγραμμα 7: Χάρτης κλίσης (°) της τοποθεσίας με τις θέσεις των ιστών μέτρησης και των ανεμογεννητριών (οι γραμμές περιγράμματος ύψους κάθε 50m).

4.5.2. ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝΤΩΝ ΑΝΕΜΩΝ

Οι μέγιστες κλίσεις (> 10°) έχουν υπολογιστεί σε ακτίνα 5 φορές μεγαλύτερο από το μέγιστο ύψος της πλήμνης(275m) γύρω από κάθε θέση για τις επικρατούσες κατευθύνσεις του ανέμου. Οι επικρατούσες κατευθύνσεις ανέμου είναι ENE και WSW για τον ιστό ΧΕΡΟ302 σύμφωνα με το ροδόγραμμα ενέργειας³. Όλες οι θέσεις ανεμογεννητριών βρίσκονται σε ένα έδαφος που περιβάλλεται από κλίσεις μεγαλύτερες από 30° στις επικρατούσες κατευθύνσεις του ανέμου.

4.5.3. ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΛΙΣΕΙΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΩΝ ΜΗ ΕΠΙΚΡΑΤΟΥΝΤΩΝ ΑΝΕΜΩΝ

Οι μέγιστες κλίσεις έχουν υπολογιστεί σε ακτίνα 5 φορές μεγαλύτερο από το μέγιστο ύψος της πλήμνης(275m) γύρω από κάθε θέση σε μη επικρατούσες κατευθύνσεις του ανέμου. Όλες οι θέσεις ανεμογεννητριών βρίσκονται σε ένα έδαφος που περιβάλλεται από κλίσεις μεγαλύτερες από 30° σε μη επικρατούσες κατευθύνσεις του ανέμου.

4.5.4. ΣΥΝΘΕΤΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΔΑΦΟΥΣ

Όλες οι θέσεις ανεμογεννητριών στο Α/Π έχουν ταξινομηθεί ως σύνθετα εδάφη σύμφωνα με το πρότυπο IEC-61400-1 Ed3.

4.5.5. ΥΨΟΜΕΤΡΟ ΠΑΝΩ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

Το υψόμετρο πάνω από τη στάθμη της θάλασσας των προτεινόμενων θέσεων ανεμογεννητριών κυμαίνεται μεταξύ 1376 mστη θέση Α21 και 1560m στην θέση Α4. Το μέσο υψόμετρο του αιολικού πάρκου είναι 1484m.

4.5.6. ΕΜΠΟΔΙΑ ΚΑΙ ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΡΑΧΥΤΗΤΑΣ

Χρησιμοποιήθηκε ένα προεπιλεγμένο μήκος τραχύτητας 0.03 m στο πρόγραμμα WAsP και θα εισαγάγει ανακριβή προσομοίωση των συνθηκών ανέμου του Α/Π.

4.6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

4.6.1. Απόσταση μεταξύ ανεμογεννητριών

³ Ροδόγραμμα ενέργειας (energyrose), διάγραμμα χάρτη που συνοψίζει πληροφορίες σχετικά με τον άνεμο σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία για μια καθορισμένη χρονική περίοδο.

Όλες οι προτεινόμενες θέσεις ανεμογεννητριών βρίσκονται σε μια απόσταση πάνω από δύο διαμέτρους ρότορα μεταξύ τους. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των γειτονικών ανεμογεννητριών στο Α/Π είναι 2,5 φορές η διάμετρος του ρότορα για ένα μοντέλο G52-850kW.

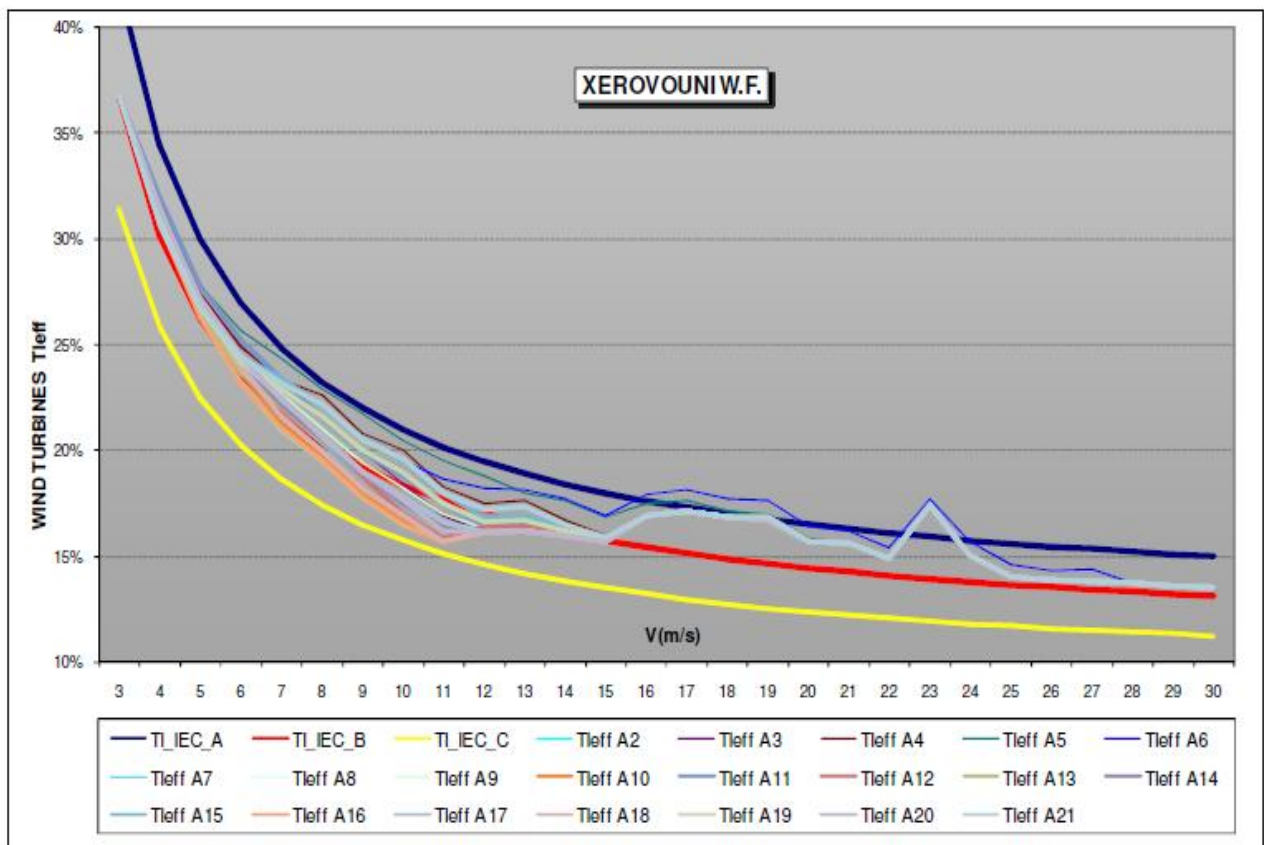
4.6.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΕΝΤΑΣΗ ΤΥΡΒΗΣ

Προκειμένου να εξεταστεί η ένταση του τύρβης που δημιουργείται από αφύπνιση, έχει πραγματοποιηθεί μελέτη Frandsen για το μοντέλο ανεμογεννήτριας G52-850kW.

Το πεδίο εφαρμογής είναι να ελέγχεται ότι η πρόσθετη ΤΙ που προκαλείται από τις γειτονικές θέσεις είναι αποδεκτή για τις γεννήτριες ανεμογεννητριών που πρόκειται να εγκατασταθούν.

Η Αποτελεσματική Ένταση της Τύρβης περιλαμβάνει τη χαρακτηριστική ένταση της τύρβης (μετρούμενη σε ιστό μέτρησης) και την ένταση της τύρβης που οφείλεται σε αφυπνίσεις μεταξύ ανεμογεννητριών. Στις θέσεις που έχουν ταξινομηθεί ως CT, έχει αυξηθεί η αναταραχή του περιβάλλοντος προκειμένου να ληφθεί υπόψη η παραμόρφωση της τυρβώδους ροής, όπως αναφέρεται στο IEC-61400-1 Ed. 3.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο παρακάτω Διάγραμμα 8 για όλες τις θέσεις με μοντέλο G52-850kW.



Διάγραμμα 8: Αποτελεσματική ένταση τύρβης για τις θέσεις με μοντέλο G52-850kW στο Α/Π.

4.6.3. ΘΕΣΗ ΣΤΑΘΜΟΥ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Ο ιστός ΧΕΡΟ302 απέχει 22 μέτρα από το πλησιέστερο WTG (θέση A12) και 1446 μέτρα από το πλέον απομακρυσμένο (θέση A21).

4.6.4. ΜΕΛΕΤΗ ΦΟΡΤΩΣΗΣ

Λόγω της κατάστασης του ανέμου που εντοπίστηκε στο Α/Π, πραγματοποιήθηκε μελέτη φορτίου κόπωσης και μελέτη ακραίου φορτίου και συνήχθη το συμπέρασμα ότι είναι αποδεκτή η εγκατάσταση του G52-850kW στα 55m και 44μ ύψους κόμβων σε όλες τις θέσεις.

4.6.5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Μετά από μια μελέτη σκοπιμότητας των 20 G52-850kW στα ύψη κόμβων 55 m και 44 m που παρέχονται και, σύμφωνα με τις συνθήκες ανέμου στο Α/Π, συμπεραίνεται ότι είναι αποδεκτό να γίνει εγκατάσταση μιας G52-850kW στα ύψη κόμβων των 55μ και 44μ σε όλες τις θέσεις.

4.7. ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΣΧΥΟΣ

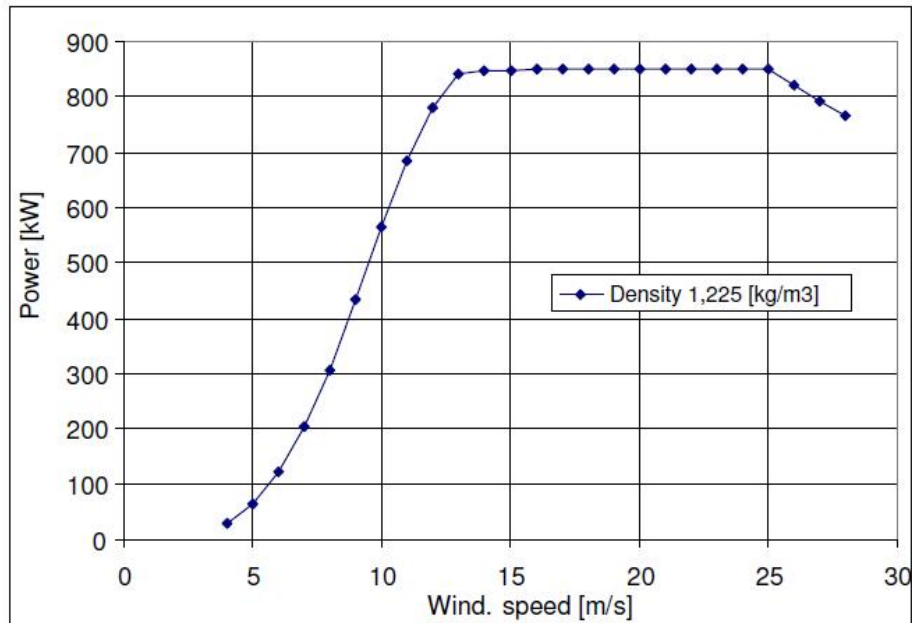
4.7.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ 850 kW 50 / 60HZ G52.

Το πεδίο εφαρμογής του υπολογισμού που εμφανίζεται ισχύει για τις συνθήκες που αναφέρονται εδώ. Η καμπύλη ισχύος για τη μηχανή 850 kW 50 / 60HZ G52 υπολογίζεται με βάση τα προφίλ πτερυγίων NACA 63.XXX και FFA - W3. Οι παράμετροι υπολογισμού παρουσιάζονται στον Πίνακα 7 και Διάγραμμα 9.

Nominal power - Ονομαστική ισχύς	850 kW
Frequency - Συχνότητα	50/60 Hz
Rotor diameter - Διάμετρος στροφέα	52 m
Angle of blade tip – Γωνία άκρου λεπίδας	Pitch adjustment - Ρύθμιση κλίσης
Turbulence intensity - Ένταση τύρβης	10 %

Πίνακας 9: Τιμές παραμέτρων υπολογισμού για την καμπύλη ισχύος του ανεμοστρόβιλου 850 KW 50 / 60Hz G52

Καμπύλη ισχύος



Διάγραμμα 9: Καμπύλη ισχύος αιολικής ενέργειας του ανεμοστρόβιλου 850 KW 50 / 60HZ G52 για πυκνότητα αέρα ίση με 1.225 [Kg / m3].

4.7.2. ΚΑΜΠΥΛΕΣ⁴ C_P ΚΑΙ C_T

Συντελεστής ισχύος (Coefficient Power):

$$C_P = \frac{P}{\frac{\rho A V^3}{2}} \quad [2]$$

Όπου: C_P = ο συντελεστής ισχύος (Coefficient Power)

ρ = η πυκνότητα του αέρα,

A = η περιοχή της ανεμογεννήτριας και

V = η ταχύτητα του ανέμου.

Συντελεστής ωθήσεως (Coefficient Thrust) είναι ένας άλλος σημαντικός αδιάστατος αριθμός στην αεροδυναμική του ανεμοστρόβιλου

$$C_T = \frac{T}{\frac{\rho A V^2}{2}} \quad [3]$$

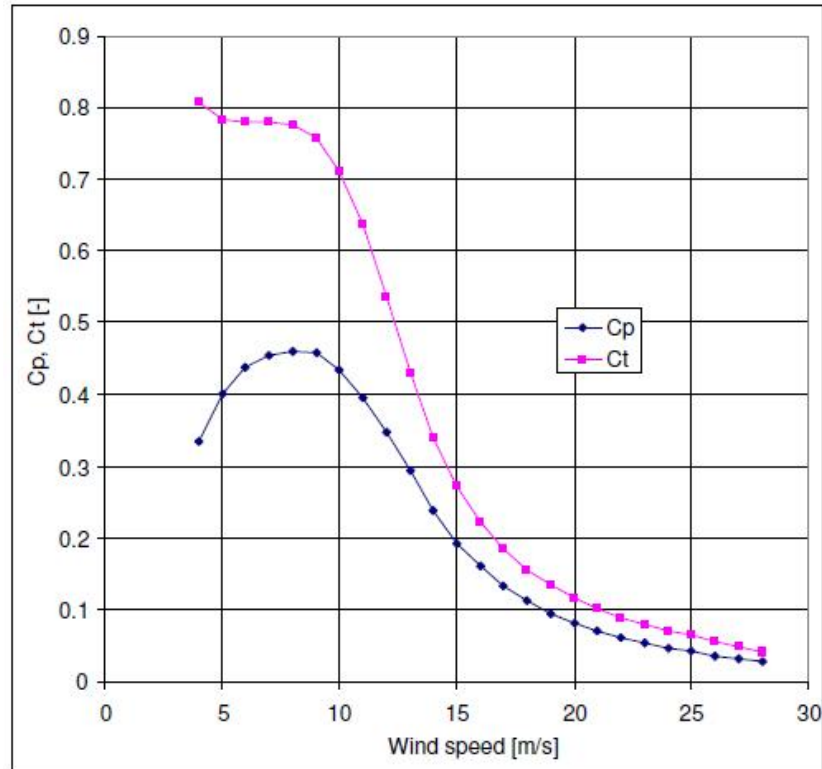
Όπου: C_T = συντελεστής ωθήσεως (Coefficient Thrust)

ρ = η πυκνότητα του αέρα,

A = η περιοχή της ανεμογεννήτριας και

V = η ταχύτητα του ανέμου

⁴Wind - turbine aerodynamics (αεροδυναμική ανεμογεννήτριας). Η πρωταρχική εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η παραγωγή ενέργειας με τον άνεμο. Ως εκ τούτου, η αεροδυναμική είναι μια πολύ σημαντική πτυχή των ανεμογεννητριών. Όπως και τα περισσότερα μηχανήματα, υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι ανεμογεννητριών, που βασίζονται σε διαφορετικές έννοιες εξόρυξης ενέργειας.



Διάγραμμα 10: Καμπύλες CP και CT για την ανεμογεννήτρια G52 850 kW 50 / 60Hz

4.7.3. ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ G52-850kW 50/60 Hz

Ο Πίνακας 10 δείχνει την ετήσια ενεργειακή απόδοση [MWh] της ανεμογεννήτριας 850 kW 50 / 60Hz G52 για διαφορετικές μέσες ταχύτητες ανέμου και διαφορετικές παραμέτρους κατανομής Weibull5. Στον υπολογισμό αυτό η πυκνότητα του αέρα είναι $1,225 \text{ kg / m}^3$.

Parameter	Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου [m/s]					
	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s
K						
1.5	1,305	1,877	2,419	2,899	3,305	3,630
2.0	1,110	1,757	2,422	3,049	3,607	4,081
2.5	957	1,618	2,355	3,084	3,746	4,318

Πίνακας 10: Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου [m/s]

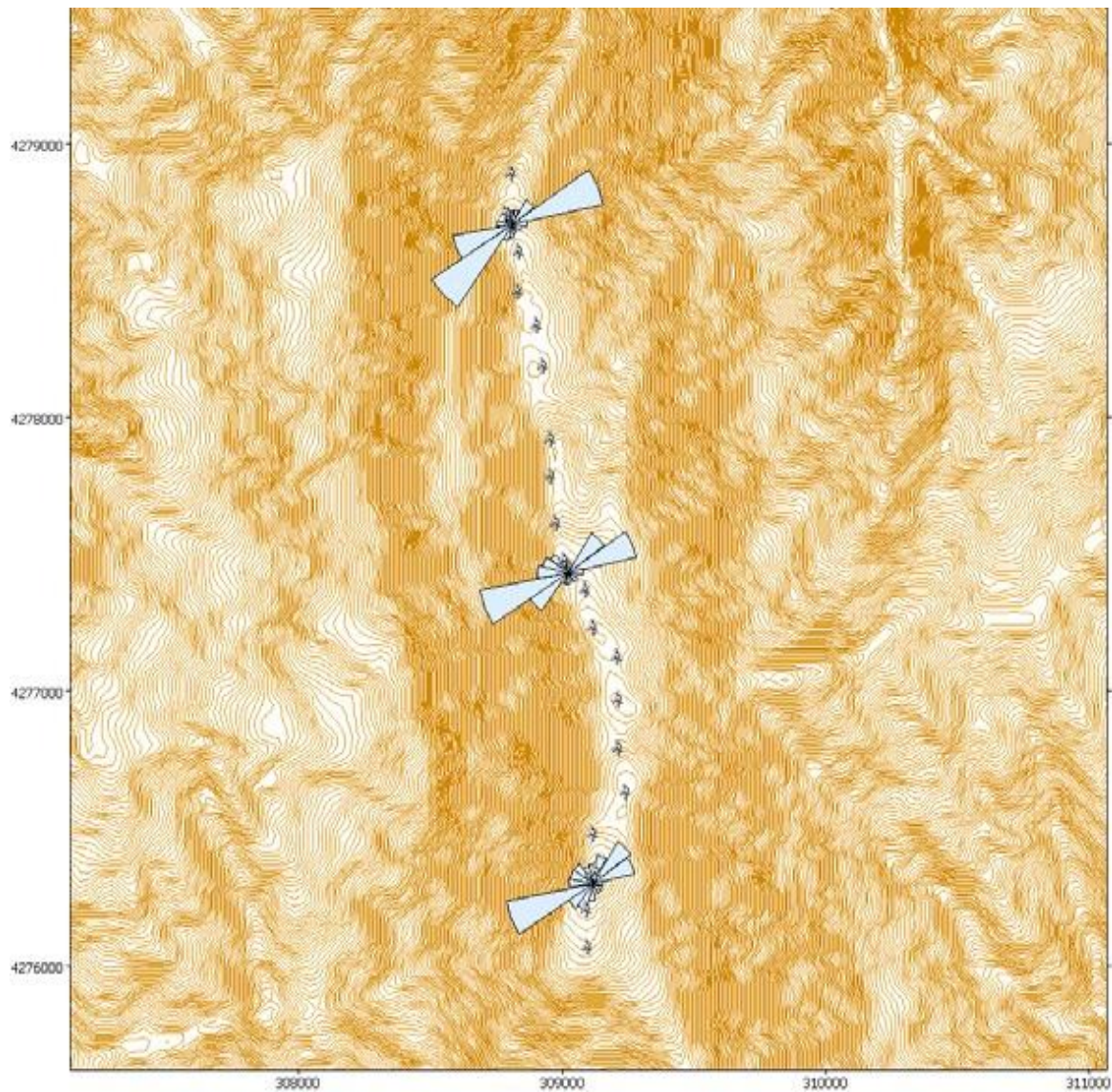
⁵Weibull distribution (κατανομή Weibull). Στη θεωρία των πιθανοτήτων και στατιστικών, η κατανομή Weibull είναι μια συνεχής κατανομή πιθανότητας. Ονομάστηκε από τον σουηδό μαθηματικό Waloddi Weibull, ο οποίος την περιγράφει λεπτομερώς το 1951, αν και προσδιορίστηκε για πρώτη φορά από τον Fréchet (1927) και εφαρμόστηκε για πρώτη φορά από τον Rosin & Rammmler (1933) για να περιγράψει την κατανομή μεγέθους σωματιδίων.

4.7.4. ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Οι θέσεις των ανεμογεννητριών ολοκληρώθηκαν μετά από μια λεπτομερή επιτόπια έρευνα, η οποία αφορούσε τοπογραφικά χαρακτηριστικά, αιολικά και γεωλογικά δεδομένα, εσωτερικούς δρόμους πρόσβασης και οροπέδια ανεμογεννητριών. Η τελική διάταξη των είκοσι θέσεων τουρμπινών (N02 έως N21, Πίνακας 11) δίνεται στο Σχήμα 19. Το επιλεγμένο μοντέλο ανεμογεννητριών είναι το Gamesa G52-850 kW με ύψος πλήμνης 44 μέτρων. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των στροβίλων είναι 2.57 D.

Δείκτης	X	Y	Υψόμετρο (m)	Απόσταση (D)	Ανεμογεννήτρια
N02	309096	4276042	1533	2.62	GamesaG52 850kW,Hub:44m
N03	309094	4276178	1549	2.62	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N04	309129	4276315	1567	2.70	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N05	309117	4276455	1548	2.70	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N06	309244	4276610	1540	3.08	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N07	309214	4276768	1529	3.08	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N08	309213	4276947	1528	2.96	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N09	309210	4277100	1521	2.75	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N10	309120	4277211	1528	2.67	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N11	309090	4277347	1516	2.61	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N12	309010	4277457	1505	2.61	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N13	308979	4277591	1487	2.65	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N14	308958	4277763	1467	2.57	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N15	308959	4277896	1465	2.57	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N16	308929	4278166	1422	2.88	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N17	308907	4278314	1419	2.75	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N18	308833	4278437	1420	2.75	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N19	308838	4278583	1408	2.81	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N20	308784	4278724	1396	2.81	GamesaG52-850kW,Hub:44m
N21	308810	4278868	1377	2.81	GamesaG52-850kW,Hub:44m

Πίνακας 11: Οι θέσεις των ανεμογεννητριών στο σύστημα GGRS87. Το υψόμετρο υπολογίζεται από το WAsP από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους.



Σχήμα 19: Η διάταξη του αιολικού πάρκου. Τα περιγράμματα ανύψωσης εδάφους σε διάστημα 4 μέτρων. Η αρίθμηση των ανεμογεννητριών αυξάνεται από το νότο στο βορρά. Τα παρατηρούμενα ροδογράμματα ταχύτητας ανέμου (wind roses) παρουσιάζονται γραφικά.

Η μελέτη αξιολόγησης της τοποθεσίας έδειξε ότι το Ξεροβούνι πρέπει να είναι εξοπλισμένο με ανεμογεννήτριες Κατηγορίας I (G52-850 kW είναι πιστοποιημένο ως IEC Class IA).

4.8. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΕΜΟΥ – ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

4.8.1. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Η ανάλυση αιολικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε με MultiWind ακολουθώντας τη Διαδικασία Δοκιμής IWE-TPR-01 που έχει διαπιστευθεί στο E / OTN EN ISO / IEC 17025: 2005 από την E.SY.D. (Certif No. 547).

4.8.2. ΜΕΤΡΟ-ΣΥΣΧΕΤΙΣΗ-ΠΡΟΒΛΕΨΗ (MCP)

Η τεχνική Measure-Correlate-Predict υλοποιείται από τη μονάδα MCP του Multi Wind. Η τεχνική χρησιμοποιείται για τη συμπλήρωση κενών δεδομένων ή / και για την παρεκβολή βραχυπρόθεσμων αιολικών δεδομένων σε ετήσιες ή μακροπρόθεσμες κατανομές ανέμου. Το εργαλείο ανάλυσης ενσωματώνει μια δοκιμή αυτοαξιολόγησης που χαρακτηρίζει την εγκυρότητα του αποτελέσματος MCP σε ποσοτικούς και ποιοτικούς όρους.

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται είναι μη γραμμικό. Ο πίνακας συσχέτισης σχηματίζεται για διαστήματα 10-βαθμών και 1-m/s διαστήματα ταχύτητας ανέμου. Οι αναλογίες ανέμου και οι κατευθυντήριες μετατοπίσεις υπολογίζονται για κάθε κυψέλη κατεύθυνσης ταχύτητας ανέμου. Επίσης υπολογίζονται οι παγκόσμιες και τομεακές αναλογίες και μετατοπίσεις. Οι τιμές για κενές κυψέλες υποβάλλονται σε κατάλληλη επεξεργασία με βάση τεχνικές παρεμβολής και παρέκτασης έτσι ώστε να παράγεται πλήρης πίνακας μετασχηματισμού. Στη συνέχεια, ο πίνακας χρησιμοποιείται για να μετασχηματίσει υπάρχοντα μακροπρόθεσμα δεδομένα του σταθμού αναφοράς σε δεδομένα «προβλεπόμενης» ταχύτητας ανέμου. Η μακροπρόθεσμη σειρά χρονοσειρών για κάθε σταθμό περιέχει μόνο τα έγκυρα δεδομένα. Η συνθετική χρονική σειρά της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου μπορεί να εξαχθεί σε μορφή ASCII για περαιτέρω ανάλυση.

4.8.3. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Ακολουθήθηκαν τα εξής βήματα:

- i. Η εκτίμηση των αιολικών πόρων βασίζεται τελικά σε έναν υψηλό σταθμό ανέμων 20m, ένας 30m και ένας 40m, που λειτουργούν στο νότιο, κεντρικό και βόρειο τμήμα του αιολικού πάρκου αντίστοιχα. Οι σταθμοί λειτουργούσαν σε διαφορετικές περιόδους οι οποίοι συσχετιζόνταν μέσω ενός σταθμού αναφοράς αιολικού σταθμού (το νότιο, αρχικά στα 10m και στη συνέχεια 20m).
- ii. Τα δεδομένα ανέμου είχαν ελεγχθεί από την ποιότητα και είχαν επαληθευτεί για την αφαίρεση μη έγκυρων αρχείων. Τα απορριφθέντα δεδομένα είχαν επισημανθεί και τεκμηριωθεί. Ο έλεγχος ποιότητας χρησιμοποιούσε μεμονωμένους ελέγχους καναλιών και διασταυρούμενο έλεγχο με δεδομένα από άλλους αισθητήρες του ίδιου ή γειτονικού σταθμού μέτρησης (επαλήθευση συνέπειας δεδομένων).
- iii. Η μείωση των διαφορετικών εκστρατειών μέτρησης σε μια κοινή περίοδο για όλους τους σταθμούς πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας MCP.
- iv. Η πυκνότητα του αέρα υπολογίστηκε από τον ιδανικό νόμο για το φυσικό αέριο και τις διαθέσιμες μετρήσεις θερμοκρασίας-πίεσης. Σε διαφορετική περίπτωση, οι κλιματικοί μέσοι όροι κατά περιφερειακούς σταθμούς της Ελληνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της πυκνότητας του τόπου. Η θερμοκρασία αέρος και ο υπολογισμός πίεσης στο ύψος πλήμνης έγινε σύμφωνα με το πρότυπο IEC-61400-12-1 (2005).
- v. Επιλογή της κατάλληλης περιόδου αναφοράς. Τα δεδομένα αιολικής ενέργειας κάλυπταν συνήθως μια κλιματολογικά σύντομη περίοδο (μερικούς μήνες ή ιδανικά μερικά χρόνια). Εφόσον ήταν γνωστό ότι η ετήσια μεταβλητότητα των αιολικών πόρων είναι σημαντική, οι περίοδοι μέτρησης είχαν προσαρμοσθούν ώστε να είναι αντιπροσωπευτικές των μακροπρόθεσμων συνθηκών. Σε περίπτωση που υπήρχαν διαθέσιμα ιστορικά δεδομένα αποδεδειγμένης ποιότητας από κοντινούς σταθμούς, χρησιμοποιήθηκαν για την κατάλληλη προσαρμογή της εκτιμώμενης ετήσιας ταχύτητας ανέμου. Διαφορετικά, αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα αιολικής ανανέωσης της ανάλυσης του NCAR (βάθος γεωγραφικού μήκους 2,5 ° βάθους κατά βάθος) (βασικά το επίπεδο 850 hPa, προαιρετικά το επίπεδο 1000 hPa). Και στις δύο περιπτώσεις, η επιλογή της περιόδου αναφοράς βασίστηκε στα δεδομένα NCAR. Η εκτίμηση των αιολικών πόρων είχε κλιμακωθεί σωστά σε μακροπρόθεσμες συνθήκες.

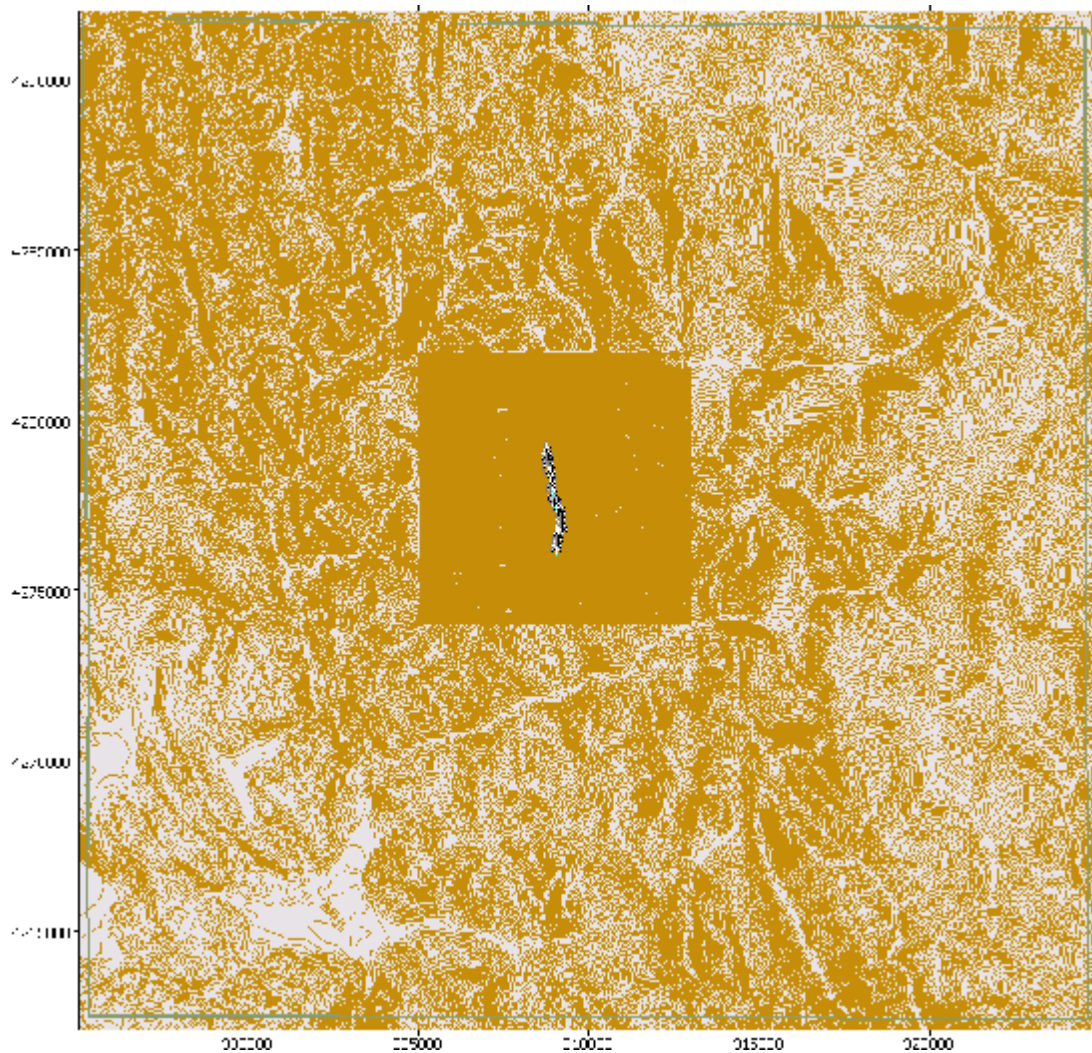
4.9. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΡΟΗΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

4.9.1. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Η μοντελοποίηση της ροής αιολικής ενέργειας έγινε με το **WAsP 10**. Οι υπολογισμοί των μοντέλων αφύπνισης και της απόδοσης της ενέργειας είχαν πραγματοποιηθεί με το GH Wind Farmer 3.6.1.

4.9.2. ΨΗΦΙΑΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Χρησιμοποιήθηκαν ψηφιοποιημένα δεδομένα από χάρτες 1: 50.000 και 1: 5000 της National Geographic Service (περιγράμματα ύψους 20 m και 4 m αντίστοιχα). Το μέγεθος τομέα είναι ένα ορθογώνιο 30 x 30 km² (Σχήμα 20).



Σχήμα 20: Τομέας εφαρμογής για το αιολικό πάρκο στο Ξεροβούνι. Το διάστημα περιγράμματος ανύψωσης είναι 20 m στην εξωτερική περιοχή και 4 m στην εσωτερική περιοχή.

Η εσωτερική περιοχή 8x8 km² γύρω από το αιολικό πάρκο καλύφθηκε από τα πιο λεπτομερή δεδομένα εδάφους. Η τιμή της τραχύτητας της επιφάνειας θεωρείται 0,05m.

4.10. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΟΡΩΝ

4.10.1. ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Ο υπολογισμός της ταχύτητας ανέμου στις τοποθεσίες των τουρμπινών βασιζόταν στο περιφερειακό κλίμα αέρος (αιολική ατμόσφαιρα) που αξιολογήθηκε από τις μετρήσεις του ανέμου στο αιολικό πάρκο. Η εγγύτητα κάθε τουρμπίνας με τους διαθέσιμους αιολικούς σταθμούς και οι σχετικές τιμές RIX (δείκτης πολυπλοκότητας τοπογραφίας) θεωρήθηκαν ότι επέλεξαν τον πλέον κατάλληλο σταθμό. Η απόφαση βασίστηκε σε εκτεταμένες δοκιμές ευαισθησίας και επαλήθευσης που περιλαμβάνουν όλες τις διαθέσιμες μετρήσεις ανέμου:

- Ο σταθμός 20 m xero102 έχει χρησιμοποιηθεί για το νότιο τμήμα του αιολικού πάρκου, καλύπτοντας τις θέσεις N02 έως N07.
- Ο σταθμός 30m xero302 έχει χρησιμοποιηθεί για το κεντρικό τμήμα του αιολικού πάρκου, καλύπτοντας τις θέσεις N08 έως N15.
- Ο σταθμός 40m xero4020 έχει χρησιμοποιηθεί για το βόρειο τμήμα του αιολικού πάρκου, καλύπτοντας τις θέσεις N16 έως N21.
- Ένα μεικτό κλίμα εφαρμόστηκε στις μεταβατικές θέσεις N15 και N16 για να βελτιώσει τον εκτιμώμενο πόρο.

Όλες οι θέσεις τουρμπίνας βρίσκονται σε απόσταση 550m από τον πλησιέστερο αιολικό σταθμό, ενώ 8 τοποθεσίες βρίσκονται σε απόσταση 200m από τον πλησιέστερο αιολικό σταθμό (Πίνακας 12). Η μέση απόσταση είναι μόλις 258m. Έτσι, **οι αιολικοί σταθμοί παρέχουν μια πολύ λεπτομερή βάση για τον υπολογισμό της χωρικής μεταβλητότητας του αιολικού πόρου.**

Δεδομένης της ορογραφικής πολυπλοκότητας που κυριαρχεί στο αιολικό δυναμικό, εφαρμόστηκε ομοιογενής τιμή τραχύτητας 0,05m. Τα αποτελέσματα αναφέρονται σε μακροχρόνιες συνθήκες ανέμου.

4.10.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΟΗΣ ΑΝΕΜΟΥ

Ο Πίνακας 12 παρουσιάζει την εκτιμώμενη ετήσια ταχύτητα ανέμου και τις παραμέτρους της κατανομής ταχύτητας ανέμου για κάθε έναν από τους 20 τουρμπινών που αξιολογήθηκαν με WAsP 10 και Windfarmer 3.6.1. Τα αποτελέσματα του Windfarmer αναφέρονται στη συνέχεια, εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά.

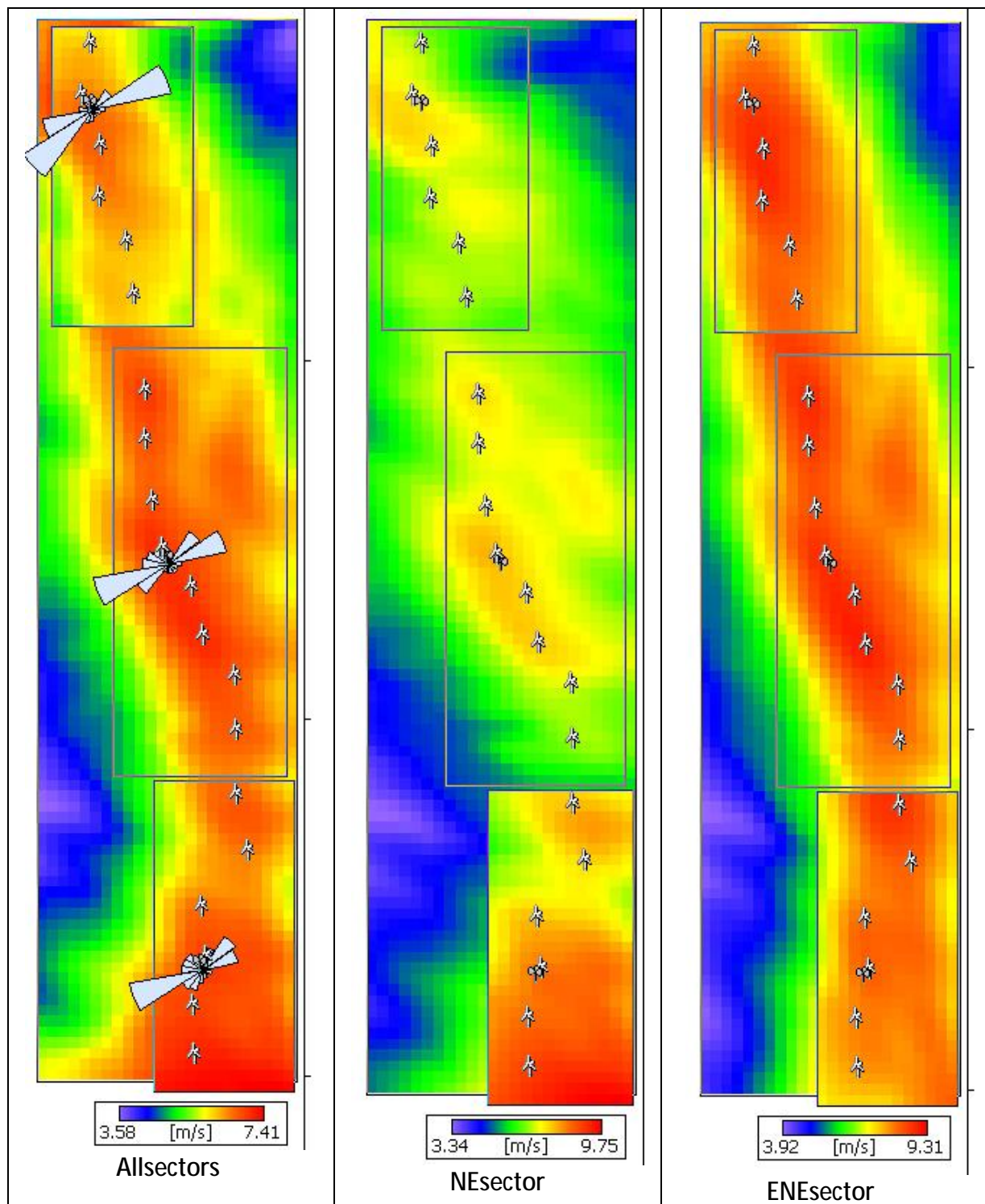
Ο καλύτερος άνεμος βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του αιολικού πάρκου. Η ταχύτητα του ανέμου του ύψους του κέντρου κυμαίνεται μεταξύ 6,2 και 7,1 m / s και μέσος όρος στα 6,7 m / s (Σχήμα 21 και 22). Ο χάρτης αιολικών πόρων για τους πιο δραστήριους τομείς παρέχεται στο Σχήμα13.

w/t	WAsP					Windfarmer	Distance From Nearest station [m]
	Winds peed [m/s]	Weibull Scale [m/s]	Weibull Shape	RIX Value [%]	Δ RIX Value [%]	Windspeed [m/s]	
N02	7.20	8.1	1.80	31.0	0.2	7.07	256
N03	6.93	7.8	1.85	30.7	-0.1	6.82	121
N04	6.99	7.9	1.86	30.7	-0.1	6.89	23
N05	6.67	7.5	1.84	30.4	-0.5	6.58	158
N06	6.51	7.3	1.82	30.4	-0.4	6.44	338
N07	6.73	7.6	1.75	29.9	-0.9	6.75	481
N08	6.70	7.5	1.74	30.2	-3.9	6.63	523
N09	6.74	7.6	1.71	31.0	-3.1	6.71	383
N10	7.11	8.0	1.67	32.8	-1.2	7.14	243
N11	7.00	7.8	1.67	33.4	-0.6	7.02	110
N12	7.05	7.9	1.67	34.5	0.4	7.04	26
N13	6.82	7.6	1.68	35.7	1.6	6.82	164
N14	6.76	7.6	1.66	36.0	1.9	6.81	336
N15	6.72	7.5	1.60	37.3	6.5	6.74	468
N16	6.28	7.0	1.63	38.5	7.7	6.34	551
N17	6.21	7.0	1.69	39.2	-2.3	6.22	401
N18	6.42	7.2	1.69	39.9	-1.5	6.44	268
N19	6.66	7.5	1.67	40.3	-1.1	6.68	124
N20	6.58	7.4	1.71	41.8	0.3	6.53	33
N21	6.21	7.0	1.77	42.0	0.6	6.16	164
farm	6.71			34.8	+0.2	6.69	258

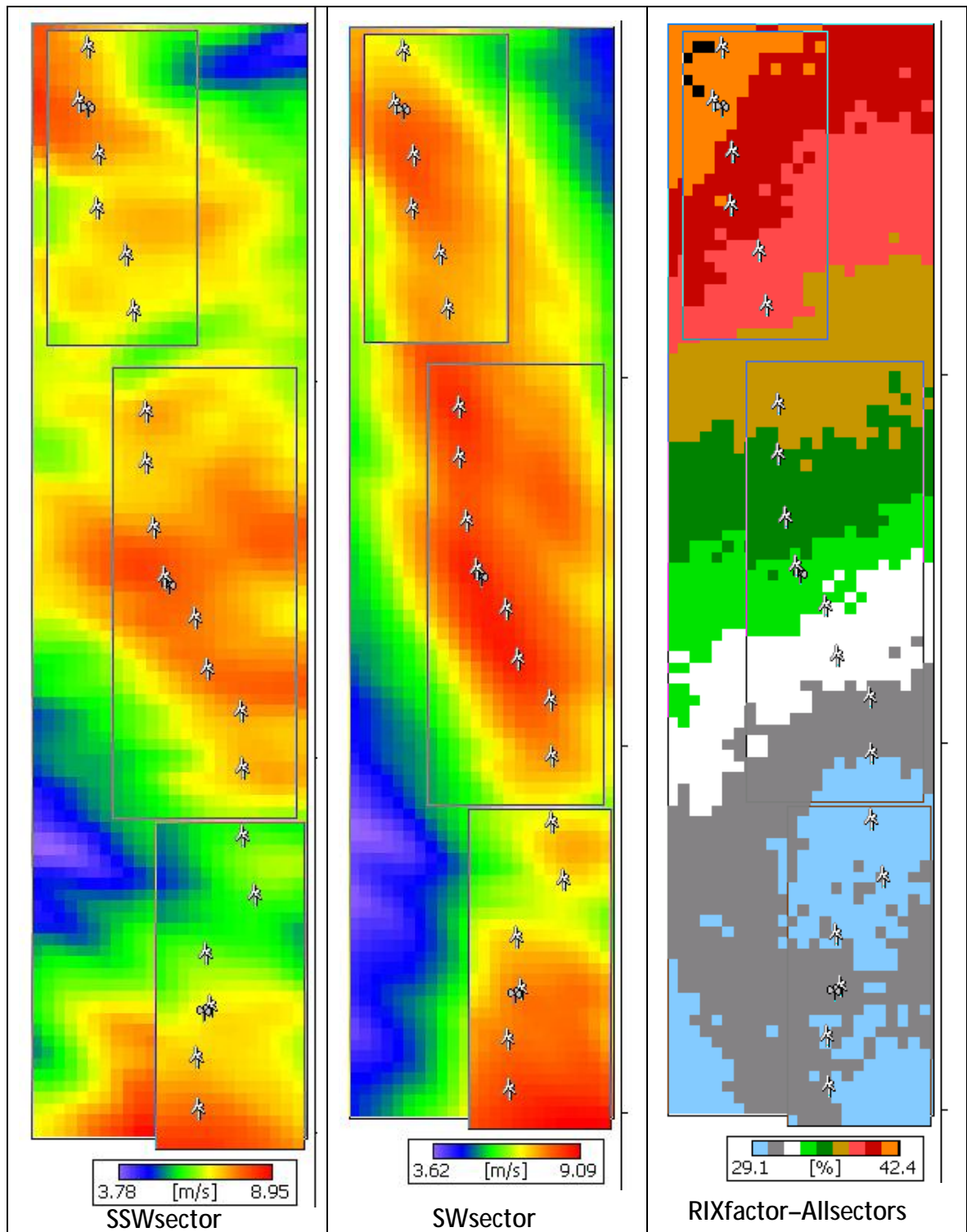
Πίνακας 12: Ταχύτητα ανέμου, παράμετρος Weibull και τιμές RIX6 στις θέσεις w / t.

Οι τιμές αναφέρονται στις συνθήκες **ελεύθερης ροής, μακροπρόθεσμες**. Ύψος Πλήμνης: 44m. Σταθμοί αναφοράς xero102R (N02 - N07), xero302 (N08 - N15) και xero4020 (N16 - N21)

⁶RIX: Δείκτης αντοχής στο χώρο που ορίζεται από το ποσοστό του εδάφους κατά μήκος της επικρατούσας κατεύθυνσης του ανέμου, η οποία είναι πάνω από μια κρίσιμη κλίση 0,4. Είναι ένας δείκτης της πολυπλοκότητας του εδάφους και των αναμενόμενων σφαλμάτων πρόβλεψης.



Σχήμα 21: Η ταχύτητα ανέμου στο ύψος της πλήμνης 44m. Συντελεστής μακροπρόθεσμης προσαρμογής: 0,93. Ομοιογενές μήκος τραχύτητας $z_0 = 0,05m$. Επίσης παρέχεται ο δείκτης ανθεκτικότητας (RIX).



Σχήμα 22: Συνέχεια από την προηγούμενη σελίδα.

5. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΠΑΡΚΟΥ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την ανάπτυξη και λειτουργία ενός αιολικού πάρκου διακρίνουμε τις εξής τέσσερις φάσεις:

- a. Μελέτη σκοπιμότητας και εκκίνηση του έργου (1,5-3,5 έτη)
- b. Προκατασκευαστική περίοδος (1-1,5 έτη)
- c. Κατασκευαστική περίοδος (1-2 έτη)
- d. Λειτουργία και συντήρηση

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας εκκίνησης ενός αιολικού πάρκου είναι η επιλογή τοποθεσίας όπου θα πραγματοποιηθούν μακροπρόθεσμες συμφωνίες με ιδιοκτήτες γης ή η αγορά οικοπέδου. Ακολουθεί η φάση ανάπτυξης που θεωρητικά πρέπει να διαρκεί 1-2 έτη. Τότε γίνονται οι ανεμολογικές μετρήσεις, οι επιλογές χωροθέτησης και ο καθορισμός των τεχνικών χαρακτηριστικών του έργου. Στη συνέχεια γίνονται οι υποβολές αιτήσεων για την αδειοδότηση που πρέπει να ολοκληρωθεί σε διάστημα 6 με 18 μηνών. Ακολουθεί η φάση προ-κατασκευής διάρκειας 12-18 μηνών. Τότε γίνεται η χορήγηση αδειών, η επιλογή πόρων (ανεμογεννήτριες, μηχανικοί κ.τ.λ.) και γίνονται οι διαπραγματεύσεις του συμβολαίου κατασκευής. Τέλος γίνεται η κατασκευή θεωρητικά σε διάστημα 1-2 χρόνια, ο έλεγχος που διασφαλίζει ότι ο σταθμός τηρεί τις προδιαγραφές για την σωστή λειτουργία του αιολικού πάρκου.

5.2. ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

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

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

5.3. ΚΡΙΤΗΡΙΟ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Για την επιλογή του τύπου των Α/Γ που θα απαρτίζουν ένα Α/Π λαμβάνονται υπ' όψη 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.

5.4. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ

Η προτεινόμενη ανεμογεννήτρια είναι οριζοντίου άξονα και ο δρομέας της φέρει τρία πτερύγια. Λαμβάνοντας υπ' όψη τα προαναφερόμενα κριτήρια επιλογής ανεμογεννήτριας, επιλέχθηκε, για το Α/Π Ξεροβούνι, ο τύπος GAMESAG-52 ισχύος 850KW, τάσεως 690V.

5.5. ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

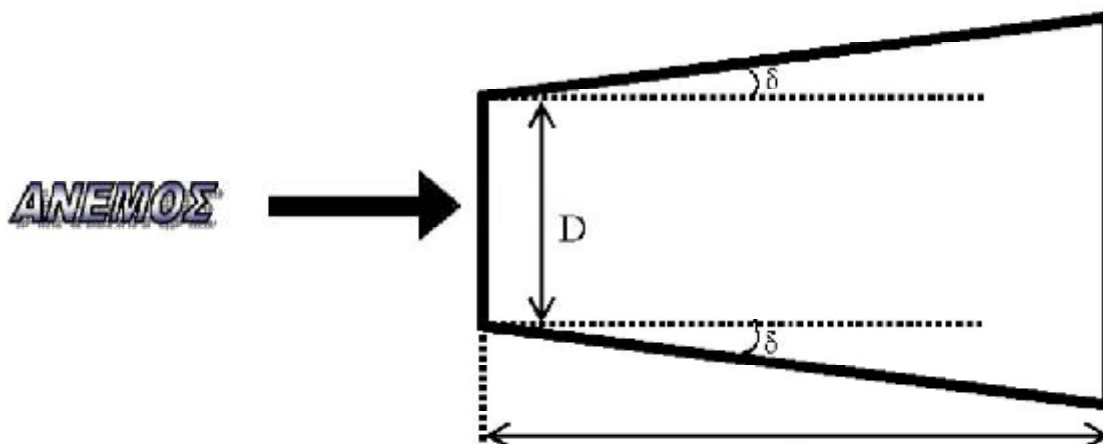
Η χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου απαιτεί την επιτόπια εξέταση των χαρακτηριστικών της περιοχής και ακριβή μελέτη εφαρμογής, έτσι ώστε να λαμβάνονται υπ' όψη όλα τα ιδιαίτερα τοπογραφικά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

5.5.1. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΣΚΙΑΣΗΣ

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 23.



Σχήμα 23: 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 ανακτά 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° έως 12,5°. 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 23, με:

- Ύψος L
- Μικρή βάση D και
- Μεγάλη βάση $D+2L\epsilon\phi 120$

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.

5.5.2. ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Οποιαδήποτε ανεμογεννήτρια θα απέχει απόσταση μεγαλύτερη των 50 m και το κτίριο ελέγχου του αιολικού πάρκου θα απέχει απόσταση τουλάχιστον 6 m από τα όρια της προς ανάπτυξη περιοχής. «Όριο ανάπτυξης» σημαίνει την εξωτερική περίμετρο οικιστικής, παραθεριστικής, τουριστικής, εμπορικής ή άλλης καθορισμένης πολεοδομικής ζώνης ανάπτυξης ή και καθορισμένο όριο υδατοπρομήθειας.

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. Το πρώτο βήμα για τη σωστή χωροθέτηση των ανεμογεννητριών του Α/Π είναι η εύρεση με τη βοήθεια του ροδογράμματος της επικρατούσας διεύθυνσης του ανέμου, καθώς επίσης της διάρκειας πνοής του ανέμου από κάθε κατεύθυνση. Η θέση εγκατάστασης αιολικών μηχανών, η διάταξη μεταξύ τους και σε σχέση με την επικρατούσα διεύθυνση ανέμου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αντικείμενα μελέτης.

5.5.3. ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

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' όψη, με χρήση κατάλληλων αλγόριθμων, τα παρακάτω:

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

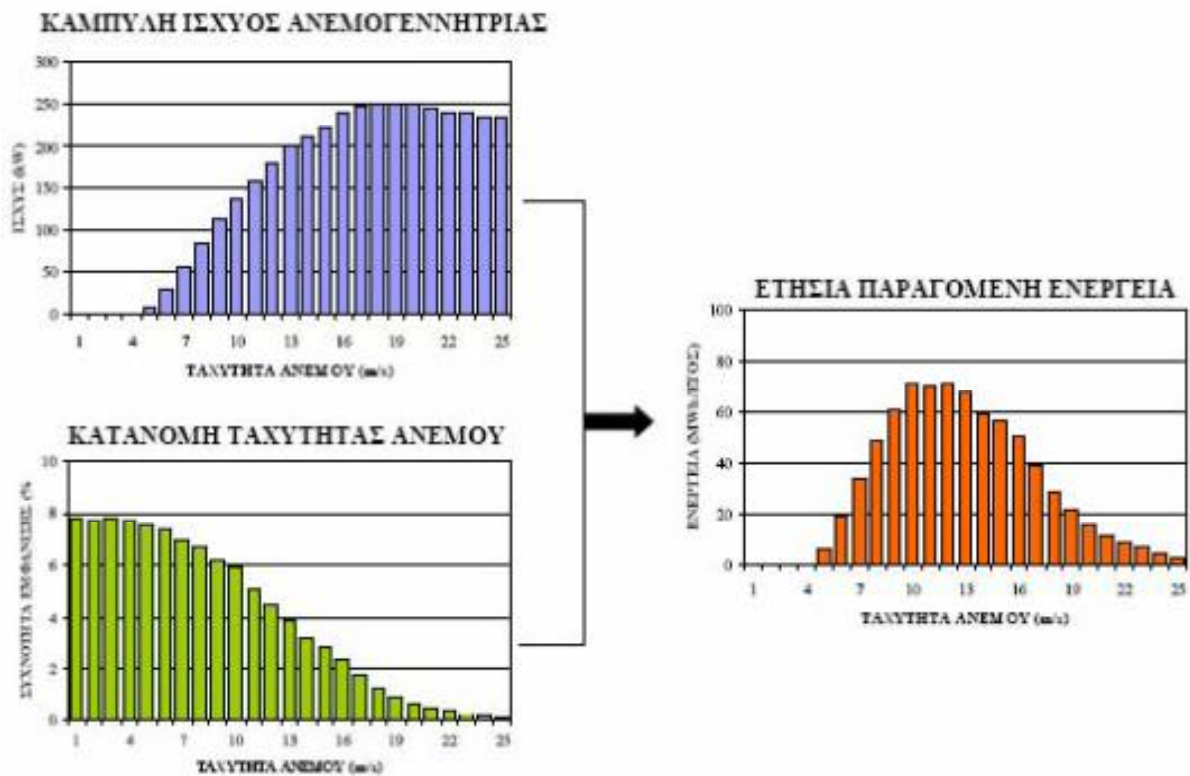
Η ετήσια παραγωγή ενέργειας περιλαμβάνει:

- 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.

5.5.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Ενδεικτικά, για μία περιοχή με αρκετά καλή μέση ταχύτητα ανέμου (Κυκλάδες, Εύβοια, Πελοπόννησος, Αν. Αττική) η ετήσια παραγόμενη ενέργεια είναι 2.000-2.500 kWh ανά εγκατεστημένο kW, τιμή σχεδόν διπλάσια από αυτήν της παραγωγής των φωτοβολταϊκών. **Επειδή όμως ο άνεμος δεν είναι το ίδιο προβλέψιμος όπως ο ήλιος, υπάρχει και περίπτωση η παραγωγή να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη σημαντικά. Στην ιστοσελίδα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας μπορούμε να συμβουλευτούμε τους χάρτες αιολικού δυναμικού όλης της Ελλάδας.**

Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου (Α/Π) 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' όψη το αιολικό δυναμικό και τη σκίαση των ανεμογεννητριών. Η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας σε ένα διάστημα χρόνου T , εξαρτάται από τη στατιστική του ανέμου στο διάστημα T , τη χαρακτηριστική της Α/Γ και τη διαθεσιμότητά της. Ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από ένα αιολικό πάρκο γίνεται σε ετήσια βάση (Σχήμα 24). 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 . Μετά τη χωροθέτηση του Α/Π, η αναμενόμενη παραγωγή του υπολογίζεται σαν το άθροισμα της αναμενόμενης παραγωγής από κάθε Α/Γ $EA/Π = \sum E_i$, όπου (E_i) η αναμενόμενη παραγωγή κάθε Α/Γ .



Σχήμα 24: Μεθοδολογία υπολογισμού αναμενόμενης ετήσιας ενέργειας.

6. ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ – ΠΡΟΤΥΠΑ

6.1. ΠΙΣΤΟΠΟΙΗΤΙΚΑ

Δεν υπάρχουν καλύτερες και χειρότερες ανεμογεννήτριες. Το σωστό είναι να επιλέγουμε με βάση τα πιστοποιητικά που φέρει ο κάθε κατασκευαστής και τις εγγυήσεις που προσφέρει. Κατά γενική ομολογία, εταιρίες που δραστηριοποιούνται χρόνια στον χώρο είναι και οι πλέον αξιόπιστες. Υπάρχουν κατασκευάστριες εταιρίες που δραστηριοποιούνται στον χώρο των μικρών ανεμογεννητριών με τις περισσότερες από αυτές να είναι «νέες» στην αγορά.

Σημαντικό είναι για κάθε εταιρεία μελέτης και τοποθέτησης ανεμογεννητριών θα πρέπει να συνεργάζεται με κορυφαίους κατασκευαστές εξοπλισμού που πληρούν όλες τις διεθνείς προδιαγραφές, με πιστοποιητικά, όπως CE, RoHS, TUV, UL, FCC, ISO 9001, REACH, VDE. Τα προϊόντα θα πρέπει να επιλέγονται με αυστηρά κριτήρια σχετικά με την ποιότητα, την απόδοση, την εξοικονόμηση ενέργειας, την τιμή και τη πολυετή εγγύηση.

6.1.1. ΕΥΡΩΠΑΪΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ (CE)

Πιστοποιείται ότι το προϊόν έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με Πρότυπα και Προδιαγραφές που εξασφαλίζουν την ασφαλή λειτουργία του σε σχέση με την υγεία του ανθρώπου και την προστασία του περιβάλλοντος. Τοποθέτηση του σήματος CE πάνω σε ένα προϊόν από τον κατασκευαστή σημαίνει συμμόρφωση (πιστότητα) του προϊόντος με τις σχετικές Ευρωπαϊκές Οδηγίες υγείας και ασφάλειας και εφαρμόστηκε για να εξασφαλιστεί η ελεύθερη παραγωγή, διακίνηση και κυκλοφορία του προϊόντος.

6.1.2. RESTRICTION OF HAZARDOUS SUBSTANCES (ROHS)

Ο χαρακτηρισμός ενός προϊόντος με το σήμα «RoHS» δηλώνει ότι το συγκεκριμένο προϊόν δεν χρησιμοποιεί ή περιλαμβάνει πάνω από τα επιτρεπτά όρια (0,01%-0,1%) κανένα από τα παρακάτω υλικά: Μόλυβδος, Υδράργυρος, Πολυβρωμοδιφαινύλια, Πολυβρωμοδιφαινυλαιθέρες, Εξασθενές Χρώμιο, Κάδμιο. Η οδηγία RoHS της Ευρωπαϊκής Ένωσης περιορίζει την χρήση των παραπάνω 6 επικινδύνων υλικών για την κατασκευή ή χρησιμοποίηση αυτών σε ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές.

6.1.3. TECHNISCHER ÜBERWACHUNGS - VEREIN (TUV)

Η Πιστοποίηση TUV περιλαμβάνει αυστηρό έλεγχο των αιτήσεων για τις οποίες το συστατικό είναι σχεδιασμένο. Περιλαμβάνει την επαλήθευση ότι η συσκευή πληροί τις αυστηρότερες ευρωπαϊκές ρυθμίσεις για τον κλάδο για τον οποίο το συστατικό έχει σχεδιαστεί και να εξασφαλίζει ότι οι προδιαγραφές των εξαρτημάτων έχουν ορθώς δηλωθεί.

6.1.4. UNDERWRITERS LABORATORIES (UL)

Η UL (Underwriters Laboratories) είναι μια εταιρεία συμβούλων ασφαλείας και πιστοποίησης, η οποία ιδρύθηκε το 1894 και έχει συμμετάσχει στην ανάλυση της ασφάλειας των πολλών νέων τεχνολογιών του περασμένου αιώνα. Η UL είναι μία από τις εταιρίες που έχουν εγκριθεί για την εκτέλεση δοκιμών ασφαλείας από την αμερικανική ομοσπονδιακή υπηρεσία Επαγγελματικής Ασφάλειας και Υγείας (OSHA).

6.1.5. FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (FCC)

Το σήμα FCC είναι ένα σήμα πιστοποίησης που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρονικά προϊόντα που κατασκευάζονται ή πωλούνται στις Ηνωμένες Πολιτείες, το οποίο πιστοποιεί ότι οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές από τη συσκευή είναι κάτω από τα όρια που εγκρίθηκαν από την Ομοσπονδιακή Επιτροπή Επικοινωνιών.

6.1.6. REGISTRATION, EVALUATION, AUTHORISATION AND RESTRICTION OF CHEMICALS (REACH)

Καταχώριση, Αξιολόγηση, Αδειοδότηση και Περιορισμούς των Χημικών προϊόντων (REACH) είναι ο κανονισμός της 18ης Δεκεμβρίου 2006 της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Η πιστοποίηση REACH αφορά την παραγωγή και χρήση των χημικών ουσιών καθώς και τις πιθανές τους επιπτώσεις τόσο στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον.

6.1.7. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION ISO (9001:2008)

Η πιστοποίηση ISO 9001 είναι το διεθνές πρότυπο για την ποιότητα. Η προηγούμενη έκδοση του προτύπου (ISO 9001:2000) αντικαταστάθηκε το 2008 από την νέα, και προς το παρόν η τρέχουσα έκδοση είναι η ISO 9001:2008. Το πρότυπο αυτό ISO καθορίζει τις απαιτήσεις, σύμφωνα με τις οποίες πρέπει να λειτουργεί μια επιχείρηση που το τελικό προϊόν να κρίνεται ικανοποιητικό από τους πελάτες και άλλα ενδιαφερόμενα μέρη.

6.1.8. VERBAND DER ELEKTROTECHNIK (VDE)

Η πιστοποίηση VDE είναι ο σύνδεσμος για την ηλεκτρική, ηλεκτρονική και συστημάτων πληροφορικής για τεχνολογίες και συναφών επιστημών, των τεχνολογιών και των εφαρμογών τους στη Γερμανία. Η VDE εργάζεται για να προωθήσει ένα καλύτερο κλίμα για την καινοτομία, εξασφαλίζοντας τα υψηλότερα πρότυπα ασφαλείας, και προωθώντας τη βέλτιστη εκπόνηση των προγραμμάτων σπουδών. Η VDE είναι ινστιτούτο δοκιμών και πιστοποίησης που εδρεύει στο Offenbach της Γερμανίας, είναι μεταξύ των πλέον εξεχόντων ανεξάρτητων οργανισμών δοκιμών του κόσμου για τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά προϊόντα. Το σήμα VDE θεωρείται ότι είναι το σύμβολο των καλύτερων προδιαγραφών ασφαλείας.

Στην συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 13 όπου δίνονται η συντομογραφίες των πιστοποιήσεων και τα αντίστοιχα λογότυπα τους.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ
ISO		VDE	
CE		FCC	
REACH		TUV	
RoHS		UL	

Πίνακας 13: Συμβολισμοί πιστοποιήσεων

6.2. ΠΡΟΤΥΠΑ

6.2.1. ΔΙΕΘΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ - IEC

Η Διεθνής Ηλεκτροτεχνική Επιτροπή (IEC - International Electrotechnical Commission) είναι ένας παγκόσμιος οργανισμός τυποποίησης που αποτελείται από όλες τις εθνικές επιτροπές ηλεκτροτεχνίας (Εθνικές Επιτροπές IEC). Σκοπός του IEC είναι η προώθηση της διεθνούς συνεργασίας σε όλα τα ζητήματα που αφορούν την τυποποίηση στον ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό τομέα.

Το πρότυπο του IEC 61400 περιγράφει τις ελάχιστες απαιτήσεις σχεδίασης για ανεμογεννήτριες και δεν προορίζεται για χρήση ως πλήρες σχέδιο σχεδιασμού ή εγχειρίδιο οδηγιών. Το διεθνές πρότυπο IEC 61400-1 έχει ετοιμαστεί από την τεχνική επιτροπή IEC 88: Ανεμογεννήτριες. Καθορίζει βασικές απαιτήσεις σχεδίασης για να εξασφαλιστεί η μηχανική ακεραιότητα των ανεμογεννητριών.

Σκοπός του είναι να παρέχει ένα κατάλληλο επίπεδο προστασίας από ζημιές από όλους τους κινδύνους κατά τη διάρκεια της προγραμματισμένης διάρκειας ζωής. Το πρότυπο αυτό αφορά όλα τα υποσυστήματα των ανεμογεννητριών όπως μηχανισμοί ελέγχου και προστασίας, εσωτερικά ηλεκτρικά συστήματα, μηχανικά συστήματα και δομές υποστήριξης. Αυτό το πρότυπο ισχύει για ανεμογεννήτριες όλων των μεγεθών. Για μικρές ανεμογεννήτριες μπορεί να εφαρμοστεί το IEC 61400-2.

- IEC 60204-1: 1997, Ασφάλεια μηχανών - Ηλεκτρικός εξοπλισμός μηχανών - Μέρος 1: Γενικές απαιτήσεις
- IEC 60204-11: 2000, Ασφάλεια μηχανών - Ηλεκτρικός εξοπλισμός μηχανών - Μέρος 11: Απαιτήσεις για εξοπλισμό υψηλής τάσης για τάσεις άνω των 1 000 V a.c. Ή 1 500 V d.c. και δεν υπερβαίνει τα 36 kV
- IEC 60364 (όλα τα μέρη), ηλεκτρικές εγκαταστάσεις κτιρίων
- IEC 60721-2-1: 1982, Ταξινόμηση περιβαλλοντικών συνθηκών - Μέρος 2: Περιβαλλοντικές συνθήκες που εμφανίζονται στη φύση. Θερμοκρασία και υγρασία

- IEC 61000-6-1: 1997, Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) - Μέρος 6: Γενικά πρότυπα - Τμήμα 1: Ασυλία για οικιακά, εμπορικά και ελαφρά βιομηχανικά περιβάλλοντα
- IEC 61000-6-2: 1999, Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (ΗΜΣ) - Μέρος 6: Γενικά πρότυπα - Τμήμα 2: Ασυλία για βιομηχανικά περιβάλλοντα 15
- IEC 61000-6-4: 1997, Ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (ΗΜΣ) - Μέρος 6: Γενικά πρότυπα - Τμήμα 4: Πρότυπα εκπομπών για βιομηχανικά περιβάλλοντα
- IEC 61024-1: 1990, Προστασία δομών από κεραυνό - Μέρος 1: Γενικές αρχές
- IEC 61312-1: 1995, Προστασία από ηλεκτρομαγνητικές παλμικές αστραπές - Μέρος 1: Γενική αρχή
- IEC 61400-21: 2001, Συστήματα γεννήτριας ανεμογεννητριών - Μέρος 21: Μέτρηση και εκτίμηση χαρακτηριστικών ποιότητας ισχύος των ανεμογεννητριών που συνδέονται με το δίκτυο
- IEC 61400-24: 2002, Συστήματα γεννήτριας ανεμογεννητριών - Μέρος 24: Προστασία από κεραυνούς
- ISO 76: 1987, Ρουλεμάν κύλισης - Στατικές τιμές φορτίου
- ISO 281: 1990, Ρουλεμάν τροχαίου υλικού - Δυναμικό φορτίο και διάρκεια ζωής
- ISO 2394: 1998, Γενικές αρχές σχετικά με την αξιοπιστία των δομών
- ISO 2533: 1975, Πρότυπη ατμόσφαιρα
- ISO 4354: 1997, Ενέργειες ανέμου στις δομές
- ISO 6336 (όλα τα μέρη), Υπολογισμός της ικανότητας φόρτωσης των οδοντωτών και ελικοειδών εργαλείων
- ISO 9001: 2000, συστήματα διαχείρισης ποιότητας – Απαιτήσεις

7. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε κάθε επένδυση ο μελετητής καλείται να απαντήσει στο απλό ερώτημα αν θα έχει απόσβεση της επένδυσης και 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 ΑΠΕ 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.

Σύμφωνα με τη νομοθεσία που ήδη υπάρχει στην Ελλάδα μπορούν να πραγματοποιηθούν δυο ειδών επενδύσεις σε αιολικά συστήματα:

- A. Επένδυση αυτοπαραγωγού είναι η επένδυση στην οποία η ενέργεια που παράγεται συμψηφίζεται με καθορισμένο τρόπο με την ενέργεια που καταναλώνει ο αυτοπαραγωγός σε άλλα συστήματα του, και σε περίπτωση περίσσειας αυτή, τιμάται με συγκεκριμένο τίμημα.
- B. Ανεξάρτητη παραγωγή. Σε αυτή τη περίπτωση παραγωγός διαθέτει το σύνολο της παραγωγής του στο διαχειριστή του συστήματος και το τίμημα της ενέργειας καθορίζεται επακριβώς από την ήδη υπάρχουσα νομοθεσία.

7.2. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΜΕΝΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΤΗΤΑΣ

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

ΑΚΕ(I.I.C): Αρχικό Κόστος Επένδυσης

Είναι η δαπάνη που καταβάλλει ο επενδυτής, κατά το χρόνο που πραγματοποιείται η επένδυση. Γενικά μπορεί να εκφρασθεί ως εξής:

$$ΑΚΕ = Κε.M + Κα \quad [4]$$

Όπου: Κε = εξαρτώμενο κόστος παραγωγής

Μ = μέγεθος συστήματος

Κα = ανεξάρτητο (του μεγέθους) κόστος συστήματος

Στην περίπτωση μας το ΑΚΕ είναι συνδεδεμένο με το πλήθος των Α/Γ που θα επιλέξουμε να εγκαταστήσουμε (Μ). 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.

ΕΛΔ: 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:

$$\text{ΚΕΟΟ} = \text{ΕΟΟ} - \text{ΕΛΔ}$$

[5]

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' όψη 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' όψη 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. ΠΑΡΑΜΕΤΡΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ

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 / κατανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

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. ΚΟΣΤΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Μία εγκατάσταση ανεμογεννήτριας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Έχοντας σαν παράδειγμα μία εγκατάσταση ισχύος 10kW που βρίσκει εφαρμογή σε κτήριο η σε ακάλυπτους χώρους αυτών, ένα ενδεικτικό κόστος είναι τα 35.000 – 40.000 ευρώ, έχοντας λάβει υπόψη εξοπλισμό προερχόμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση.

Η διαχρονική αξία του κόστους μιας ενεργειακής εγκατάστασης είναι ένας συνδυασμός του αρχικού κόστους επένδυσης και του αντιστοίχου κόστους συντήρησης και λειτουργίας της εγκατάστασης.

Το αρχικό κόστος μιας αιολικής εγκατάστασης περιλαμβάνει την αγορά, μεταφορά και εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, καθώς και του απαραίτητου ηλεκτρονικού - ηλεκτρικού

εξοπλισμού, είτε για την αυτόνομη διαχείριση και αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας, είτε για τη σύνδεση με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο.

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

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

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

1. **Μετεωρολογικός Ιστός:** Περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του Ιστού στην θέση του πάρκου.
2. **Αγορά Α/Π:** Το κόστος των μηχανών ,συμπεριλαμβανόμενου και του κόστους των πύργων ή του κόστους κατασκευής τους εφόσον δεν αγοραστούν από την εταιρεία παραγωγής των ανεμογεννητριών.
3. **Μεταφορά και Ασφάλιστρα:** Μεταφορά των ανεμογεννητριών από την εταιρεία παραγωγής στη θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.
4. **Συναρμολόγηση και Εγκατάσταση:** Όλα τα έξοδα που απαιτούνται για την ανέγερση του αιολικού πάρκου.
5. **Μετρητικές Διατάξεις:** Καλωδιώσεις και λογισμικά για την παρακολούθηση της λειτουργίας του πάρκου.
6. **Ειδικός Ηλεκτρονικός Εξοπλισμός:** Επιπλέον εξοπλισμός για κάθε ανεμογεννήτρια. Μετασχηματιστές, γειώσεις, αντικεραυνική προστασία, σύστημα διόρθωσης κ.τ.λ.
7. **Έργα Πολιτικού Μηχανικού :**Εκσκαφές, επιχώσεις, διαμόρφωση πλατειών για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών, διάνοιξη δρόμων, κτίριο ελέγχου.
8. **Γενικός Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός:** Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που απαιτείται για όλο το αιολικό πάρκο.
9. **Σύνδεση με το Δίκτυο:** Γραμμή μεταφοράς ενέργειας και κόστος υποσταθμού.
10. **Μελέτες και Άδειες:** Όλες οι μελέτες, οι άδειες και τα παράβολα που απαιτούνται μέχρι και την άδεια λειτουργίας του πάρκου.
11. **Εκπαίδευση Προσωπικού:** Το κόστος εκπαίδευσης του προσωπικού που θα αναλάβει τη συντήρηση και την επίβλεψη του αιολικού πάρκου.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν και πιθανές παραπάνω δαπάνες που θα προκύψουν κατά την πορεία εκτέλεσης του έργου.

7.5. ΚΟΣΤΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Ποσοστιαία συμμετοχή στο συνολικό κόστος στοιχείων κατασκευής ενός αιολικού πάρκου ισχύος 10 MW.

Στοιχεία κατασκευής κόστους	% Συνολικού κόστους
Ανεμογεννήτρια	65
Έργα Πολιτικού Μηχανικού (συμπεριλαμβανομένης της θεμελίωσης)	13
Υποδομή ηλεκτρικών έργων	8
Σύνδεση στο δίκτυο	6
Κόστος διαχείρισης	8

Πίνακας 14: Ανηγγμένο κόστος κατασκευής αιολικού πάρκου: 900 €/kWe

8. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

8.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θεωρώ απαραίτητο να γίνει αναφορά στο ποια είναι τα οφέλη και ποιες οι ζημιές της ύπαρξης αιολικών πάρκων.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια θεαματική άνοδος της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος από ανεμογεννήτριες στη χώρα μας (Στερεά Ελλάδα, Κρήτη, Εύβοια, νησιωτική χώρα). Ο μεγάλος ρυθμός ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας συνοδεύτηκε, όπως ήταν επόμενο, από την ανησυχία των τοπικών κοινωνιών σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι φόβοι που εκφράστηκαν ακούγονται μάλλον υπερβολικοί και, κάποιες φορές, εξωπραγματικοί. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις, οι ενστάσεις που υπάρχουν στην εγκατάσταση ανεμογεννητριών ή αιολικών πάρκων έχουν κάποια βάση και χρειάζονται επιπλέον διερεύνηση. Σε κάθε περίπτωση, πάντως, η αποδοχή ή μη της αιολικής ενέργειας από τις τοπικές κοινωνίες προϋποθέτει την αντικειμενική τους πληροφόρηση για τα οφέλη και τις επιπτώσεις που αυτή θα μπορούσε να έχει ως μία ακόμη επέμβαση του ανθρώπου στη φύση. Σήμερα είναι κοινά αποδεκτό ότι η παγκόσμια αλλαγή του κλίματος αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες απειλές για το μέλλον της ανθρωπότητας.

8.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

✓ Οικονομικά οφέλη

Ο παραγωγός πληρώνεται για την ενέργεια που διοχετεύει στο δίκτυο. Από την άλλη, επωμίζεται το κόστος εγκατάστασης του σταθμού. Από μελέτες που έχουν γίνει, εκτιμάται ότι η απόσβεση πραγματοποιείται σε περίπου 6-7 έτη με την διάρκεια της επένδυσης να είναι τουλάχιστον 20 έτη.

✓ Περιβαλλοντικά οφέλη

Για κάθε μονάδα ενέργειας που παράγεται από Α.Π.Ε., δεν παράγεται ενέργεια από συμβατικές πηγές όπως είναι τα στερεά καύσιμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μην επιβαρύνεται το περιβάλλον από τα κατάλοιπα της μετατροπής της χημικής ενέργειας των στερεών καυσίμων σε ηλεκτρική. Εκτιμάται ότι 20 «πράσινες» κιλοβατώρες αντιστοιχούν στην φύτευση ενός δένδρου και στα πλεονεκτήματα που αυτό προσφέρει στο οικοσύστημα. Το ενεργειακό χρεωλύσιο υπολογίζεται.

✓ Κοινωνικά οφέλη

Η ολοένα αυξανόμενη παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, μειώνει τα ποσοστά συμμετοχής της παραγωγής από ορυκτά καύσιμα. Συγκεκριμένα, στην Πτολεμαΐδα και την Μεγαλόπολη, η τοπική κοινωνία έχει επιβαρυνθεί αρκετά από την ύπαρξη αυτών των μονάδων παραγωγής με σημαντικές επιπτώσεις στην ποιότητα ζωής του τοπικού πληθυσμού. Έτσι, με την διείσδυση των Α.Π.Ε. επιτυγχάνεται η αποδέσμευση από τα ορυκτά καύσιμα και τις επιπτώσεις αυτών.

- Ο άνεμος είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας σε αντίθεση με τα ορυκτά καύσιμα, η οποία μάλιστα παρέχεται δωρεάν.
- Η Αιολική ενέργεια είναι μια τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά ανταγωνιστική και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή επιλογή. Είναι οικονομική, με την έννοια ότι δεν χρειάζεται πολύ ενέργεια για να κατασκευαστούν οι αιολικές μηχανές. Στην τυπική περίπτωση, μια συνηθισμένη αιολική μηχανή, τοποθετημένη σε μια καλή θέση, μετά από ένα χρόνο λειτουργίας παράγει περισσότερη ενέργεια από την ενέργεια που ξοδεύτηκε για την κατασκευή της.
- Προστατεύει τη Γη καθώς κάθε μία κιλοβατώρα που παράγεται από τον άνεμο αντικαθιστά μία κιλοβατώρα που παράγεται από συμβατικούς σταθμούς και ρυπαίνει την ατμόσφαιρα με αέρια του θερμοκηπίου.
- Δεν επιβαρύνει το τοπικό περιβάλλον με επικίνδυνους αέριους ρύπους, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, καρκινογόνα μικροσωματίδια κ.α., όπως γίνεται με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Εδώ δεν υπάρχουν ραδιενεργά κατάλοιπα ούτε ιονίζουσες ακτινοβολίες όπως με την πυρηνική ενέργεια.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας ,ενισχύουν την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια κάτι ιδιαίτερα σημαντικό για τη χώρα μας και την Ευρώπη γενικότερα.
- Βοηθά στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας και μεταφέροντας το κοινωνικό αγαθό, δηλαδή το ηλεκτρικό ρεύμα σε ορεινές και δύσβατες περιοχές κάτι που στο παρελθόν ήταν οικονομικά ασύμφορο.
- Συντελεί στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας ενισχύοντας την περιφερειακή ανάπτυξη. Υπολογίζεται ότι, παγκοσμίως, στον ευρύτερο τομέα των ΑΠΕ (κατασκευή, μεταφορά, σχεδίαση, τοποθέτηση, συντήρηση, λειτουργία κτλ.) απασχολούνται περισσότεροι από 2,3 εκατομμύρια εργαζόμενοι με προοπτικές αύξησης στην αιολική βιομηχανία έως και 300%, μέχρι το 2020.
- Έχει περιορισμένες απαιτήσεις γης και έχει χαμηλό λειτουργικό κόστος.
- Προστατεύει έναντι της μεταβλητότητας τιμών των ορυκτών καυσίμων δημιουργώντας ανεξαρτησία από ορυκτά καύσιμα.
- Προστατεύει κάποια ειδικά κτίρια, όπως εταιρειών τηλεφωνίας, όπου είναι απαραίτητη η παροχή ηλεκτρικής ισχύος ακόμη και όταν το υπόλοιπο κράτος είναι σε ολική διακοπή. Ακόμα μπορούν να παράγουν μετά από μετατροπή, ένα επιθυμητό είδος τάσης που είναι απαραίτητο για κάποιες ειδικές εφαρμογές.
- Έχει μακρόπνοο ορίζοντα. Η αιολική βιομηχανία γνωρίζει αλματώδη ανάπτυξη και είναι ακόμα στην αρχή. Η αγορά των αιολικών εγκαταστάσεων μπορεί να φτάσει στα 25.000.000.000€ σε λιγότερο από επτά χρόνια σύμφωνα με στοιχεία της EWE.

8.3. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΝΔΕΧΟΜΕΝΕΣ ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ, ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΜΗ, ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΑ ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

▼ Υψηλό κόστος κατασκευής

Προφανώς η κατασκευή αιολικών πάρκων παρουσιάζει ορισμένα μειονεκτήματα. Το σημαντικότερο ίσως είναι το **υψηλό κόστος κατασκευής τους**. Κι ενώ ένα αιολικό πάρκο ξηράς είναι ήδη ακριβό, στη θάλασσα η κατασκευή του έργου στοιχίζει κατά 50% περισσότερο, καθώς απαιτούνται μεγάλα κεφάλαια τόσο για την εγκατάστασή και τοποθέτησή του στον βυθό όσο και για την σύνδεσή του μέσω υποθαλάσσιου καλωδίου με το ηπειρωτικό ηλεκτροδοτικό σύστημα. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες πρέπει να είναι ανθεκτικές σε θύελλες, στα πανύψηλα κύματα και στο αλμυρό νερό. Ακριβώς λόγω του κόστους, έχει προβλεφθεί υψηλή τιμή πώλησης του παραγόμενου ρεύματος προς τον Δ.Ε.Σ.Μ.Η.Ε., η οποία είναι 93 ευρώ/MWh για τα θαλάσσια πάρκα, ενώ όσων αφορά τα

ηπειρωτικά αυτή η τιμή είναι 75,82 ευρώ/MWh για όσα βρίσκονται στο διασυνδεδεμένο σύστημα και 87,42 ευρώ/MWh για όσα βρίσκονται σε νησιά.

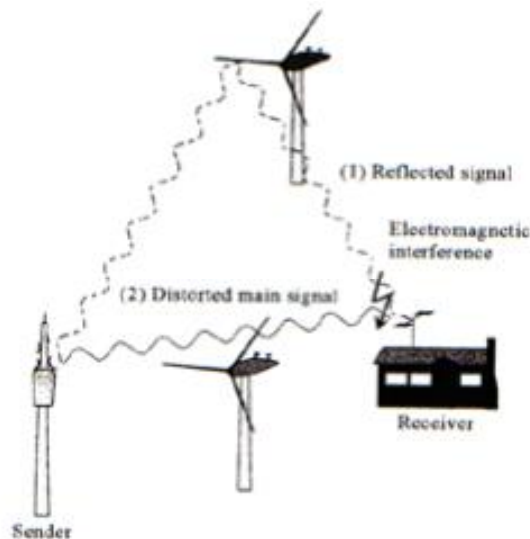
ν Θόρυβος

Το ουσιαστικότερο πρόβλημα των ανεμογεννητριών είναι ο **θόρυβος**, αλλά είναι συγχρόνως και το ευκολότερο να ελεγχθεί και να προληφθεί. Στις ανεμογεννήτριες ο εκπεμπόμενος θόρυβος μπορεί να υπαχθεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευση του: δηλαδή μηχανικός και αεροδυναμικός.

- Ο πρώτος προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα κλπ.)
- Ο δεύτερος προέρχεται από την περιστροφή των πτερυγίων.
- Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι μηχανές πολύ ήσυχες συγκριτικά με την ισχύ τους, και με συνεχείς βελτιώσεις από τους κατασκευαστές γίνονται όλο και πιο αθόρυβες. Η αντιμετώπιση του θορύβου γίνεται είτε στην πηγή είτε στη διαδρομή του. Οι μηχανικοί θόρυβοι έχουν ελαχιστοποιηθεί με εξαρχής σχεδίαση (γρανάζια πλάγιας οδόντωσης), ή με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Επίσης ο μηχανικός θόρυβος αντιμετωπίζεται στη διαδρομή του με ηχομονωτικά πετάσματα και αντικραδασμικά πέλαμα στήριξης. Αντίστοιχα ο αεροδυναμικός θόρυβος αντιμετωπίζεται με προσεκτική σχεδίαση των πτερυγίων από τους κατασκευαστές, που δίνουν άμεση προτεραιότητα στην ελάττωσή του. Το επίπεδο του αντιληπτού θορύβου από μία ανεμογεννήτρια σύγχρονων προδιαγραφών σε απόσταση 200 m είναι μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος μιας μικρής επαρχιακής πόλης και βεβαίως δεν αποτελεί πηγή ενόχλησης. Με δεδομένη δε τη νομοθετημένη απαίτηση να εγκαθίστανται οι ανεμογεννήτριες σε ελάχιστη απόσταση 500 μέτρων από τους οικισμούς, το επίπεδο είναι ακόμη χαμηλότερο και αντιστοιχεί πλέον σε αυτό ενός ήσυχου καθιστικού δωματίου. Επιπλέον, στις ταχύτητες ανέμου που λειτουργούν οι ανεμογεννήτριες ο φυσικός θόρυβος (θόρυβος ανέμου σε δένδρα και θάμνους) υπερκαλύπτει οποιοδήποτε θόρυβο που προέρχεται από τις ίδιες. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω και σε συνδυασμό με τη θέση των «οικοπέδων» που συνήθως εγκαθίστανται τα αιολικά πάρκα στην Ελλάδα για να έχουν καλύτερη απόδοση, μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι τα αιολικά πάρκα δεν προκαλούν ούτε αύξηση της υπάρχουσας στάθμης θορύβου εκτός των ορίων τους και ακόμη περισσότερο σε κατοικημένες περιοχές, αλλά ούτε και έκθεση ανθρώπων σε υψηλή στάθμη θορύβου. Ο πιο εύκολος και αποτελεσματικός τρόπος για να πεισθεί κανείς για το ζήτημα του θορύβου είναι μια επίσκεψη σε ένα αιολικό πάρκο μια μέρα που οι ανεμογεννήτριες βρίσκονται σε κανονική λειτουργία.

- **Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές**

Σχετική ανησυχία υπάρχει για την πρόκληση από τις γεννήτριες **ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών** (Σχήμα 25). Η ανησυχία αυτή συνήθως αναφέρεται αφενός σε προβλήματα που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες λόγω της θέσης τους σε σχέση με ήδη υπάρχοντες σταθμούς τηλεόρασης ή ραδιοφώνου 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 αντανάκλασεων. 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.



Σχήμα 25: Πρόκληση ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών από τις ανεμογεννήτριες

Η ελληνική νομοθεσία προβλέπει την προώθηση αδειοδότησης ενός αιολικού πάρκου μόνον εφόσον τηρούνται κάποιες ελάχιστες αποστάσεις από τηλεπικοινωνιακούς ή ραδιοηλεκτρονικούς 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 την συμβατότητα και τις παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες, αξίζει να αναφερθεί 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, όπως φαίνεται και από την περιγραφή των τμημάτων της ανεμογεννήτριας, 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 - 50 m 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. Μπορούμε λοιπόν να ισχυριστούμε με βεβαιότητα, ότι αυτά που ακούγονται για εκπομπή ραδιενέργειας η ακτινοβολιών άλλου τύπου από τις ανεμογεννήτριες δεν ευσταθούν.

ν Αρνητικές επιπτώσεις σε γεωργικές ή κτηνοτροφικές δραστηριότητες

Μεγάλο θέμα έχει εγερθεί και για το κατά πόσο οι ανεμογεννήτριες **παρενοχλούν γεωργικές ή κτηνοτροφικές δραστηριότητες** μιας περιοχής. Ωστόσο, 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 εγκατάσταση του. Οι συνήθεις θέσεις αιολικών πάρκων είναι σε ορεινές περιοχές με θαμνώδη βλάστηση ακριβώς λόγω των υψηλών ταχυτήτων του ανέμου που ευνοούν την εγκατάσταση του. Σε αυτές τις περιοχές, η χρήση γης είναι κυρίως για βοσκή αιγοπροβάτων οι 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.

ν Αρνητικές επιπτώσεις στον πληθυσμό των άγριων πουλιών

Καταγγελίες έχουν γίνει από ενώσεις κυνηγών και ορνιθολόγων σχετικά με τις **επιπτώσεις των αιολικών πάρκων στον πληθυσμό των άγριων πουλιών** της εκάστοτε περιοχής, καταγγελίες μάλιστα τόσο σφοδρές που έχουν οδηγήσει ανά περιπτώσεις ακόμα και στο πάγωμα σχετικής αδειοδότησης περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη αιτία, είναι ως επί το πλείστον αβάσιμες. Τα πουλιά καθώς πετούν μερικές φορές συγκρούονται με κτίρια και άλλες σταθερές κατασκευές. Οι ανεμογεννήτριες όμως δεν προκαλούν ιδιαίτερο πρόβλημα όπως έχει φανεί από μελέτες που έχουν γίνει σε ευρωπαϊκές χώρες όπως η Γερμανία, η Ολλανδία, η Δανία και η Αγγλία. Συγκεκριμένα, υπολογίσθηκε ότι στον συνολικό αριθμό πουλιών που σκοτώνονται ετησίως, μόνον 20 θάνατοι οφείλονται σε ανεμογεννήτριες (για εγκατεστημένη ισχύ 1000 MW), ενώ αντίστοιχα 1.500 θάνατοι οφείλονται στους κυνηγούς και 2.000 σε πρόσκρουση με οχήματα και τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (καθότι είναι σχεδόν αόρατες για τα πουλιά). Ασφαλώς, βέβαια, το θέμα της προστασίας του πληθυσμού των πουλιών σε ευαίσθητες οικολογικά και προστατευόμενες περιοχές πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη φάση σχεδιασμού και χωροθέτησης του αιολικού πάρκου.

ν Ασταθής παραγωγή ενέργειας

Το σοβαρότερο μειονέκτημα των αιολικών συστημάτων είναι η **ασταθής, ασυνεχής, μη προβλέψιμη και χαμηλής (αραιής) ροής παραγωγή ενέργειας**. Δυστυχώς ο Αίολος είναι εκείνος που αποφασίζει πότε, πως, για πόσο χρόνο και με ποια σφοδρότητα θα πνεύσει ο άνεμος. Σε όλες τις χώρες με ιστορία για την αιολική ενέργεια έχει διαπιστωθεί έντονη διακύμανση της παραγωγής. Η ταχύτητα του ανέμου για να λειτουργήσει μία ανεμογεννήτρια πρέπει να κυμαίνεται από 3-25 m/s. Σε ταχύτητα του ανέμου έξω από τα όρια αυτά οι ανεμογεννήτριες ακινητοποιούνται και από συγχρονίζονται με αποτέλεσμα να σταματάει η παραγωγή ενέργειας και να διαταράσσεται η σταθερότητα του συστήματος. Για την άρση του μειονεκτήματος αυτού και την αποφυγή προβλημάτων διακοπής του ρεύματος επιχειρείται η αποθήκευση της παραγόμενης αιολικής ενέργειας ή η εξαγωγή της περισσευούμενης σε γειτονικές χώρες, όπως γίνεται στη Δανία. Το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να παραγάγει φορτίο βάσης υποχρεώνει την υποστήριξη των αιολικών πάρκων με εφεδρικά συστήματα αποθήκευσης της ενέργειας ή συμβατικών σταθμών, τα οποία θα αποδίδουν την ίδια ισχύ αυξημένη για λόγους ασφάλειας κατά 20%. Μια ακόμα ενδιαφέρον λύση θα ήταν η συνδυασμένη λειτουργία αιολικών εγκαταστάσεων σε με κάποιο υδροηλεκτρικό έργο.

ν Υποβάθμιση γης

Ισχυρισμοί σχετικά με την **μείωση της αξίας της γης στις περιοχές**, όπου εγκαθίστανται αιολικά πάρκα έχουν γίνει όμως δείχνουν εξαρχής να μην ευσταθούν. Κι αυτό διότι, στη χώρα μας, οι περιοχές που, κατά κανόνα, επιλέγονται για τέτοιου είδους επενδύσεις βρίσκονται σε ορεινά σημεία, με περιορισμένη βλάστηση, ελάχιστα διαθέσιμες και αξιοποιήσιμες για άλλες χρήσεις. Το γεγονός αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα της περιορισμένης αρχικής αξίας της γης, στις περιοχές αυτές. Υπάρχουν βέβαια και περιπτώσεις για παράκτια ή υπεράκτια αιολικά πάρκα που είναι πιο περίπλοκες.

8.4. ΘΟΡΥΒΟΣ

Ο θόρυβος από Α/Γ προέρχεται από τον ήχο που παράγεται από τα πτερύγια στροφής και από το κιβώτιο ταχυτήτων, τη γεννήτρια και τα υδραυλικά συστήματα (αν και σε σύγχρονο ΑΠ αυτός ο μηχανικός θόρυβος έχει μειωθεί σχεδόν σε μηδέν). Όπως με άλλες επιπτώσεις της αιολικής ενέργειας έτσι και η άποψη για το θόρυβο που παράγουν οι Α/Γ, εξαρτάται από τα τοπικά χαρακτηριστικά της περιοχής (π.χ. αγροτική ή αστική περιοχή,

τοπογραφία), τον αριθμό και την απόσταση των Α/Γ, και τον τύπο κοινότητας που επηρεάζεται (κατοικημένος, βιομηχανικός, τουριστικός).

Η αλληλεπίδραση αυτών των παραγόντων ελαττώνει ή ενισχύει την αντίληψη για τον ήχο από τις Α/Γ. Στην πραγματικότητα, ο ήχος είναι μια μεταβολή πίεσης που ανιχνεύεται από το αυτί. Εξαρτάται από την πηγή και το μέσο μέσω των οποίων ταξιδεύει. Η ταχύτητα του ήχου είναι περίπου 340 m/s στον ατμοσφαιρικό αέρα. Είναι σημαντικό να γίνει μια διάκριση μεταξύ του επιπέδου υγιούς δύναμης και του επιπέδου υγιούς πίεσης. Το πρώτο είναι μια ιδιοκτησία της πηγής του ήχου ενώ το επίπεδο υγιούς πίεσης είναι μια ιδιοκτησία του ήχου σε δεδομένη θέση παρατηρητών. Ο θόρυβος μετριέται σε (dB) και η κλίμακα που υιοθετείται (dBA) είναι σταθμισμένη στη σειρά που γίνεται αντιληπτή από το ανθρώπινο αυτί. Ο Πίνακας 15 παρουσιάζει μια σύγκριση της διαφορετικής δύναμης και πίεσης των σίγουρων επιπέδων ήχου για να προσδιορίσει τι μπορεί να θεωρηθεί ένα κατώτατο όριο της ακρόασης ή κατώτατο όριο πόνου.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που έχουν επιπτώσεις στη διάθεση θορύβου είναι: τύπος πηγής θορύβου, απόσταση από την πηγή, ταχύτητα αέρα, θερμοκρασία, υγρασία, πτώση και παρουσία εμποδίων και κτηρίων. Οι παράγοντες με την περισσότερη επιρροή στη διάδοση θορύβου είναι η απόσταση τη πηγής από τον παρατηρητή και ο τύπος πηγής.

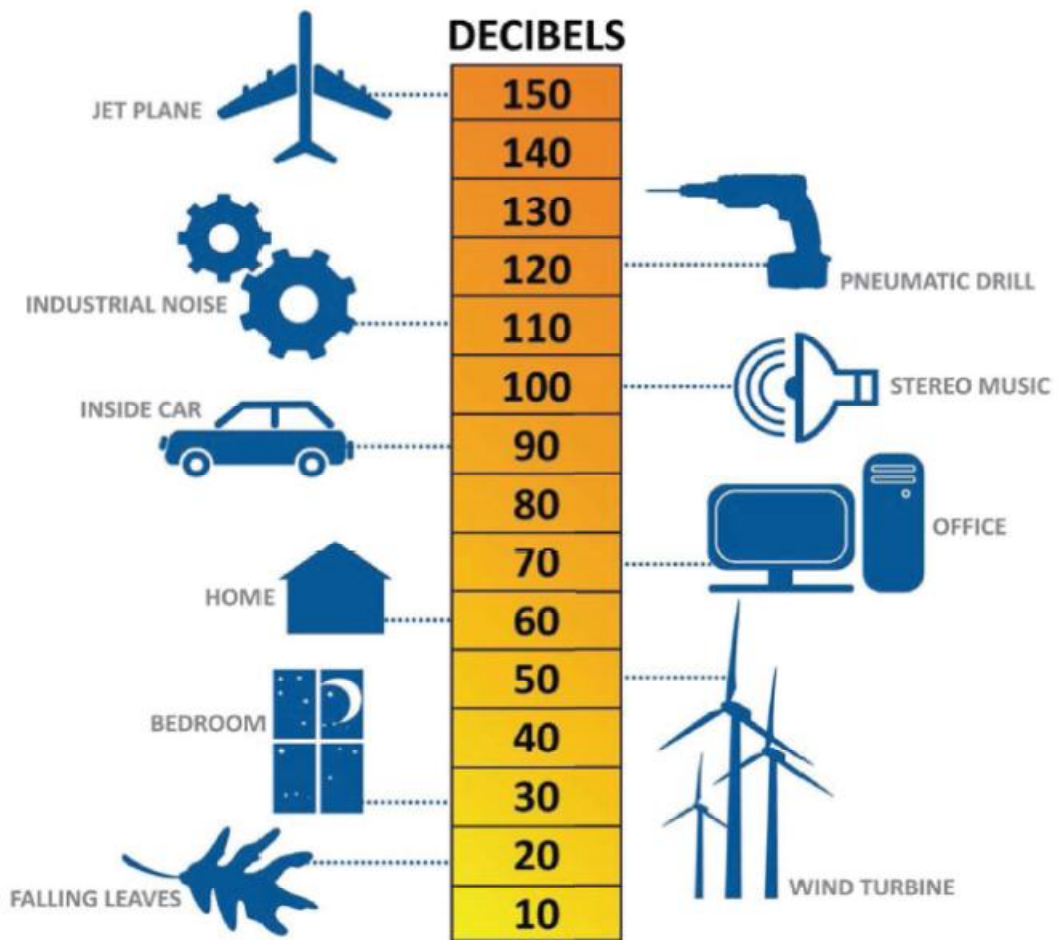
Πηγή	Απόσταση από την πηγή (m)	Επίπεδο θορύβου dB(A)	Περιβαλλοντικός θόρυβος	Υποκειμενικότητα / εντύπωση
Σειρήνα αστικής υπεράσπισης	140-130			Όριο πόνου
Σειρήνα	31	90	δωμάτιο	Πολύ δυνατός θόρυβος
Κυκλοφορία αυτοκινητόδρομου	31	70		Δυνατός
Ηλεκτρική σκούπα	31	60	Κατάστημα κεντρικού τμήματος επεξεργασίας	
Ελαφριά κυκλοφορία	31	50		Ήσυχια
Α/Γ οριζοντίου άξονα > 1MW	200	49		

Πίνακας 15: Επίπεδα θορύβου

Οι μετρήσεις των Decibels είναι λογαριθμικές. Τα 20 ντεσιμπέλ είναι δέκα φορές πιο δυνατά από 10 ντεσιμπέλ αντί να είναι δύο φορές πιο δυνατά όπως θα ήταν η περίπτωση εάν η κλίμακα ντεσιμπέλ ήταν γραμμική.

Decibels	0	10	20	30
Παράγοντας	1	10	100	1000

Πίνακας 16: Μετρήσεις των Decibels



Σχήμα 26: Μετρήσεις των Decibels

9. ΜΕΤΡΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑΣ

9.1. ΥΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ

Τα παρακάτω μέτρα θα πρέπει να ληφθούν, για την εξασφάλιση της υγείας και της προστασίας των εργαζομένων στο χώρο του σταθμού:

- Εγκατάσταση συστήματος πυρανίχνευσης - πυρόσβεσης.
- Έλεγχος στάθμης θορύβου και λήψη τόσο ατομικών μέτρων προστασίας όσο και χρήση ηχοπετασμάτων.
- Επιμελής καθαριότητα των χώρων της εγκατάστασης.
- Σύστημα αυτόματης απενεργοποίησης μηχανημάτων σε περίπτωση κινδύνου.
- Τήρηση όλων των ειδικών προδιαγραφών υγιεινής και ασφάλειας που προβλέπονται για μονάδες ηλεκτροπαραγωγής.

9.2. ΧΛΩΡΙΔΑ – ΠΑΝΙΔΑ

Κατά τη λειτουργία του πάρκου, η χλωρίδα της περιοχής δεν θα επηρεαστεί. Ωστόσο υπάρχει κίνδυνος όχλησης των πουλιών της περιοχής. Για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στα πουλιά της περιοχής, η χωροθέτηση του ΑΠ έγινε σε θέση που πληροί όλες εκείνες τις συνθήκες που την καθιστούν κατάλληλη από πλευράς αιολικού δυναμικού, αλλά μορφολογικά είναι «ανοικτή», ώστε να διερχόμενα πουλιά να έχουν τη δυνατότητα να διακρίνουν τις Α/Γ και τους πυλώνες τους και να μην συγκρούονται μαζί τους. Ακόμη η διάταξη των Α/Γ λήφθηκε υπόψη εκτός από την ελαχιστοποίηση της οπτικής όχλησης στο ανθρωπογενές περιβάλλον της περιοχής, την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων στα διερχόμενα πουλιά.

9.3. ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

Για την αποφυγή επικινδύνων καταστάσεων οι οποίες είναι δυνατόν να προκαλέσουν βλάβη στην υγεία των ανθρώπων της περιοχής πρέπει να ληφθούν τα ακόλουθα μέτρα προφύλαξης:

- Σε κάθε μία από τις Α/Γ του πάρκου, καθώς και στον οικίσκο ελέγχου θα πρέπει να προβλεφθεί αλεξικέραυνη προστασία.
- Επειδή στο ΑΠ θα υπάρχουν ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις Μ.Τ., η πρόσβαση σε αυτές θα πρέπει να είναι ελεγχόμενη, για να αποτραπεί η είσοδος σε άτομα μη εξουσιοδοτημένα. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να προβλεφθεί περίφραξη του οικίσκου ελέγχου του πάρκου.
- Θα πρέπει να προβλεφθεί η δυνατότητα συνεχούς τηλεπικοινωνίας και υπό οποιοσδήποτε συνθήκες με τον οικίσκο ελέγχου, για την εξασφάλιση της σωστής λειτουργίας του πάρκου, την λήψη των απαραίτητων πληροφοριών και την δυνατότητα επέμβασης κατά τη διάρκεια λειτουργίας τόσο σε κάθε Α/Γ ξεχωριστά όσο και σε ολόκληρο το σύστημα του ΑΠ.

- Το Σύστημα Αυτόματου Ελέγχου (ΣΑΕ) επικοινωνεί διαρκώς με κεντρικό Η/Υ συλλογής και αποθήκευσης ψηφιακών λειτουργικών δεδομένων, που συνδέεται ασύρματα με τον κεντρικό Υποσταθμό του ΑΠ, ώστε να εκπέμπει και να λαμβάνει τα σήματα που ρυθμίζουν της τιμιαία λειτουργική κατάσταση κάθε ΑΓ σε πραγματικό χρόνο.
- Το ΣΑΕ θα πρέπει να έχει δική του εφεδρική τροφοδοσία από ηλεκτρικούς συσσωρευτές, που ενεργοποιείται σε περίπτωση γενικής διακοπής ρεύματος (black-out).
- Προβλέπεται η εγκατάσταση αυτοματοποιημένου συστήματος πυρασφάλειας.
- Σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης απαιτείται επί τόπου επέμβαση, θα πρέπει να προβλεφθεί η ύπαρξη ειδικού συνεργείου, το οποίο θα εδρεύει στην περιοχή.
- Οι εργασίες λειτουργίας και συντήρησης των ΑΓ θα πρέπει να γίνονται με βάση αναλυτικά τεχνικά εγχειρίδια τα οποία θα παραδώσει η κατασκευάστρια εταιρεία στο προσωπικό του ΑΠ.
- Για τον πλήρη εξοπλισμό του συνεργείου συντήρησης, η εταιρεία προβλέπεται να εφοδιαστεί με φορητό αυτοκίνητο (τετρακίνητο) ειδικά διαμορφωμένο.
- Θα τηρούνται όλοι οι κανονισμοί υγιεινής και ασφάλειας στην εργασία, όπως αυτοί αναφέρονται στις σχετικές προδιαγραφές, για την αποφυγή εργατικών ατυχημάτων. Η ομάδα συντήρησης θα πρέπει να εφοδιαστεί με κατάλληλο εξοπλισμό ώστε να εκτελεί με ασφάλεια τα καθήκοντα της.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε ως σκοπό την μελέτης εγκατάστασης αιολικού πάρκου 17 MW, στο Ξεροβούνι της Δημοτικής Ενότητας Πλατάνου του Δήμου Ναυπακτίας. Αναφέρθηκε η μέτρηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής για την καταλληλότητά της, ώστε η μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική να καλύπτει τις ανάγκες για την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Επιπλέον επιλέχθηκε ο τύπος ανεμογεννητριών που θα χρησιμοποιηθούν καθώς επίσης και οι τεχνικές προδιαγραφές ανεμογεννητριών. Ωστόσο, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στην χωροθέτηση του Αιολικού Πάρκου, λαμβάνοντας υπ' όψιν και τα τοπογραφικά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Επίσης, για την μέγιστη απόδοση των ανεμογεννητριών απαιτήθηκε ο υπολογισμός των απαιτούμενων αποστάσεων μεταξύ των ανεμογεννητριών.

Τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας είναι ότι είναι σημαντικό να κατανοήσουμε, ότι οι οποιοσδήποτε επιπτώσεις από τις ανεμογεννήτριες, αφενός είναι άμεσα «ορατές» και αφετέρου είναι δυνατόν να ελαχιστοποιηθούν με σωστή αντιμετώπιση και προσχεδιασμό. Αντίθετα, οι επιπτώσεις της θερμικής ή πυρηνικής παραγωγής ενέργειας αργούν να φανούν, είναι μακροπρόθεσμες και όση προσπάθεια και κόστος να δαπανηθούν είναι αδύνατον να ελαχιστοποιηθούν. Εν τέλει θα πρέπει να αποφασίσουμε ότι εφόσον πρέπει να παράγουμε ηλεκτρική ενέργεια, είναι σίγουρα προτιμότερο να την παράγουμε με τρόπο που να έχει την μικρότερη δυνατή επιβάρυνση για το περιβάλλον. Από τεχνολογική και οικονομική πλευρά, η πιο ώριμη μορφή ανανεώσιμης και «καθαρής» ενέργειας είναι σήμερα η αιολική. Αυτή μπορεί να συμβάλει αποτελεσματικά στην αποτροπή των κλιματικών αλλαγών προσφέροντας συγχρόνως ποίκιλα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adams, B.M., et al., "Dynamic loads in wind farms II", Final report of CEC Joule project JOU2-CT92-0094, GH report 286/R/1, March 1996.
<https://www.scribd.com/document/56479397/Theory-Manual>
- Design of Airfoils for Wind Turbine Blades.
https://gcep.stanford.edu/pdfs/energy_workshops_04_04/wind_van_rooij.pdf
- European Wind Turbine Standards II. J.W.M. Dekker, J.T.G. Pierik. (Editors). 1998.
<https://www.ecn.nl/publications/PdfFetch.aspx?nr=ECN-C--99-073>
- Extreme wind load estimates based on Gumbel distribution of dynamic pressures: an assessment.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167473001000169>
- Frandsen, S., "Turbulence and turbulence-generated fatigue loading in wind turbine clusters". Riso-R-1188(EN), January 2007.
http://orbit.dtu.dk/files/12674798/ris_r_1188.pdf
- Frandsen, S., *Flow and wakes in large wind farms*: Final report for UpWind WP8, 2011.
<http://orbit.dtu.dk/files/5587428/ris-r-1765.pdf>
- Frandsen, St.; Thogersen, L.; *Integrated fatigue loading for wind turbines in wind farms by combining ambient turbulence and wakes*; Wind engineering, Vol. 23 No. 6, 1999.
[http://orbit.dtu.dk/en/publications/integrated-fatigue-loading-for-wind-turbines-in-wind-farms-by-combining-ambient-turbulence-and-wakes\(93e44335-0041-4761-9acd-b45b9e41015e\).html](http://orbit.dtu.dk/en/publications/integrated-fatigue-loading-for-wind-turbines-in-wind-farms-by-combining-ambient-turbulence-and-wakes(93e44335-0041-4761-9acd-b45b9e41015e).html)
- GD015681 R2: Characteristics and general operation of G5x wind turbine.
<http://www.gamesacorp.com/recursos/doc/comunicacion/presentaciones-comunicaci/100923-gamesa-innova-nueva-g9x-20-mw.pdf>
- GD027758 R4: Power curve (Cp y Ct) of G52-850kW turbine.
<http://www.gamesacorp.com/en/> and <http://www.wind-power-program.com/Library/Turbine%20leaflets/Gamesa/Gamesa%20G52%20850kw.pdf>
- Gumbel re-visited – a new look at extreme value statistics applied to wind speeds. R.I. Harris. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 59 (1996) 1-22, March 1996. <https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-d0a54f96-a930-3ef1-b00e-cef0e571ab8d>
- IEC 61400-1: Wind turbine - part 1: Design requirements. Ed.3 2005-08.
https://webstore.iec.ch/preview/info_iec61400-1%7Bed3.0%7Den.pdf
- IEC 61400-1: Wind turbine generator systems – part 1: Safety requirements. Ed2 1999-02.
https://webstore.iec.ch/p-preview/info_iec61400-1%7Bed2.0%7Den.pdf
- International Wind Engineering. <http://www.windengineering.gr/index.php/el/2015-01-20-14-37-41/metr-aiol-dynam-mnu>
- Lidar Turbulence Measurements for Wind Turbine Selection Studies: Design Turbulence.
https://www.zephirlidar.com/wp-content/uploads/2014/09/PO169_lidar_Design_Turbulence_Paper_Submission_Version_Rev1_10032014.pdf
- Modern Wind Generators.
<http://www.ragheb.co/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Modern%20Wind%20Generators.pdf>

- Robert Gasch, Jochen Twele; *Wind Power Plants, Fundamentals, Design, Construction and Operation*, Second Edition, New York 2012
- Technical and Economical Aspects of Wind Energy.
<http://article.sapub.org/10.5923.j.ijee.20140401.01.html>
- The Load Level of Modern Wind Turbines according to IEC 61400-1.
<http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/75/1/012075/meta>and
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.568.4177&rep=rep1&type=pdf>
- Thomas K. Madsen H.A.: *A new simulation method for turbines in wake – applied to extreme response during operation*, Proceedings: The Art of Making Torque of Wind, EAWE, Delft, 2004
- Towards better estimation of extreme wind. N.J. Cook. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 9 (1982) 295-323.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.487.6833&rep=rep1&type=pdf>
- UL Acquires Wind Energy Measurement and Certification Leaders DEWI and DEWI-OCC.
<http://www.ul.com/newsroom/pressreleases/ul-acquires-wind-energy-measurement-and-certification-leaders-dewi-and-dewi-occ/>
- Weibull distribution. https://en.wikipedia.org/wiki/Weibull_distribution
- Whole Wind Farm Warranty Verification Procedure.
http://www.inegi.up.pt/imagens/grupoidi/publicacoes/121_23-06-2014_ewec06.pdf
- Wind Farm Performance Verification Albers, Axel; Gerhard Gerdes; DEWI.
http://www.inegi.up.pt/imagens/grupoidi/publicacoes/121_23-06-2014_ewec06.pdf
- Wind Farm Performance Verification, DEWI Magazin Nr. 14, February 1999.
http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Magazin_14/04.pdf
- Wind tunnel tests of the FFA-W3-241, FFA-W3-301 and NACA 63-430 airfoils.
http://orbit.dtu.dk/files/7751459/ris_r_1041.pdf
- Wind-turbine aerodynamics. https://en.wikipedia.org/wiki/Wind-turbine_aerodynamics
- Δικαιολογητικά για Παραγωγή Ενέργειας από ΑΠΕ.
http://www.preveza.gr/index.php?option=com_content&view=article&id=482:2009-03-23-14-25-11&catid=174:2009-03-23-11-20-34&Itemid=303~
- ΕΓΚΥΚΛΙΟΣ (ΔΑΠΕ 01/07) Διαδικασία έγκρισης πιστοποιητικού τύπου Ανεμογεννήτριας, με την προσκόμιση πιστοποιητικού αλλοδαπού φορέα (Απόφαση Δ.Σ. ΚΑΠΕ υπ' αριθμ. 237/5-7-2007). http://www.cres.gr/kape/egkiklioι_kape/DAPE_1.pdf
- ΚΑΠΕ: Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (Χάρτες Δυναμικού)
<http://www.cres.gr/kape/datainfo/maps.htm>