

ΑΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

1264

## ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ 6 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ 2.2MW Η ΚΑΘΕ ΜΙΑ (ΘΕΣΗ ΚΑΡΥΣΤΟΣ ΕΥΒΟΙΑΣ) ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ.



Επιβλέπων καθηγητής

Σπύρος Τσιώλης

Σπουδαστές

Βεργόπουλος Ιωάννης  
Παπαδάκου Λουίζα-Γεωργία

A.M:34469  
A.M: 35036

ΠΕΙΡΑΙΑΣ ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2011

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας ολοκληρώνονται οι σπουδές μας στο τμήμα Ηλεκτρολογίας του Τει Πειραιά.Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον καθηγητή μας Κ. Σπύρο Τσιώλη για τη βοήθεια και συμπαράσταση που μας έδειξε καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Ακόμα ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μας για την πολύτιμη βοήθεια τους,και την πρακτική και ηθική τους συμπαράσταση όλο αυτό το διάστημα.

Με εκτίμηση

Βεργόπουλος Ιωάννης

Παπαδάκου Λουίζα-Γεωργία

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες.....	2
Περιεχόμενα.....	3
Περίληψη πτυχιακής εργασίας.....	5
<b>Κεφάλαιο 1:</b>	
Ενέργεια και περιβάλλον	
1.1 Η ανάπτυξη των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας.....	7
1.2 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.....	9
1.2.1 Είδη ήπιων μορφών ενέργειας.....	10
1.2.2 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα ΑΠΕ.....	11
<b>Κεφάλαιο 2:</b>	
Η αιολική ενέργεια.....	
2.1 Εισαγωγή.....	13
2.2 Χαρακτηριστικά του ανέμου.....	23
2.3 Επίδραση των επιφανειακών εμποδίων.....	27
<b>Κεφάλαιο 3:</b>	
Αιολικό δυναμικό.....	
3.1 Εισαγωγή.....	31
3.2 Μετρήσεις.....	31
3.3 Προσδιορισμός αιολικού δυναμικού.....	32
3.4 Τυρβή.....	38
3.5 Διάτμηση.....	38
<b>Κεφάλαιο 4:</b>	
Ανεμογεννήτριες.....	39
4.1 Εισαγωγή-λειτουργία Α/Γ.....	39
4.2 Τύποι ανεμογεννητριών.....	44
4.3 Επιλογή θέσης ανεμογεννήτριας.....	50
<b>Κεφάλαιο 5:</b>	
Αιολικό πάρκο-περιγραφή διαδικασίας.....	57
5.1 Σύντομη περιγραφή του έργου.- Έκταση οικοπέδου Α/Π.....	60
5.2 Χωροθέτηση αιολικού πάρκου.....	63
5.3 Επιλογή Α/Γ-Τεχνικά χαρακτηριστικά Ε 82/2000.....	78
5.4 Διαδικασίες και διάρκεια κατασκευής Α/Π.....	103
5.5 Σχεδιασμός του εσωτερικού του Α/Π.....	107
5.6 Εσωτερική ηλεκτρομηχανολογική μελέτη Α/Π.....	114
5.7 Σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο.....	120
5.8 Ενοχλήσεις από το αιολικό πάρκο στο περιβάλλον και τον τουρισμό.....	129
5.9 Ηλεκτρομαγνητική επίδραση.....	144
5.10 Επιπτώσεις λειτουργίας Α/Π στην ατμόσφαιρα και στο περιβάλλον.....	145
5.11 Διάρκεια ζωής αιολικού πάρκου.....	147
5.12 Ποιότητα ισχύος.....	150
5.13 Αξιοπιστία αιολικής ενέργειας.....	151

**Κεφάλαιο 6:**

Οικονομική αξιολόγηση αιολικού πάρκου.....	
6.1 Εισαγωγή.....	153
6.2 Κόστος αιολικού πάρκου.....	154
Βιβλιογραφία.....	164
Συνομογραφίες – Ορολογίες.....	166

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Μία από τις σημαντικότερες Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας θεωρείται η αιολική ενέργεια. Η μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια επιτυγχάνεται με τις ανεμογεννήτριες . Στην παρούσα εργασία, εξετάζεται η αρχή λειτουργίας και η τεχνολογία των ανεμογεννητριών, καθώς επίσης, και η βιωσιμότητα μιας τέτοιας εγκατάστασης στην περιοχή της Εύβοιας και συγκεκριμένα στην Κάρυστο. Εξετάζονται οι οικονομικές και οι ενεργειακές απαιτήσεις του αιολικού πάρκου, αλλά και το υψηλό κόστος των μηχανών αυτών.

Η πτυχιακή αυτή χωρίζεται σε 6 ενότητες οι οποίες έχουν ως εξής: στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρονται τόσο η ενέργεια και το περιβάλλον,όσο και γενικά για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στην Ελλάδα ενώ στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται η αιολική ενέργεια. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση του αιολικού δυναμικού,της τυρβής και της διάτμησης.Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται στοιχεία γενικά για τις ανεμογεννήτριες και τους τύπους των ανεμογεννητριών

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται εκτενή αναφορά στο αιολικό πάρκο στην περιοχή της Καρύστου καθώς και η περιγραφή διαδικασίας κατασκευής του αιολικού πάρκου.

Τέλος στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η οικονομική αξιολόγηση του έργου.

## ABSTRACT

Wind energy is supposed to be one of the most important renewable source of energy.It's conversion to electricity can be achieved by wind turbines.On that project it has been examined the operating principle and technology of wind turbins and additionally the duration this installation is going to have at the area of Evoia and specifically at Karystos.It has been examined not only the economic and energy requirments of the wind park but also the high cost of these engines.

This work is consisted of six parts,which are the following:The first part describes the energy and the environment and moreover the renewable sources of energy in Greece,while at the second part wind energy is exhaustively analysed.The third part includes the analysis of wind potential,the rabble and the shearing.

At the fourth part, we present you the wind turbins and the different types of them.

As for the fifth part,we mention the discription of construction procedure(of wind park) and some general information about the park of Karystos.

This work ends with the discription and the economic evaluation this of construction.

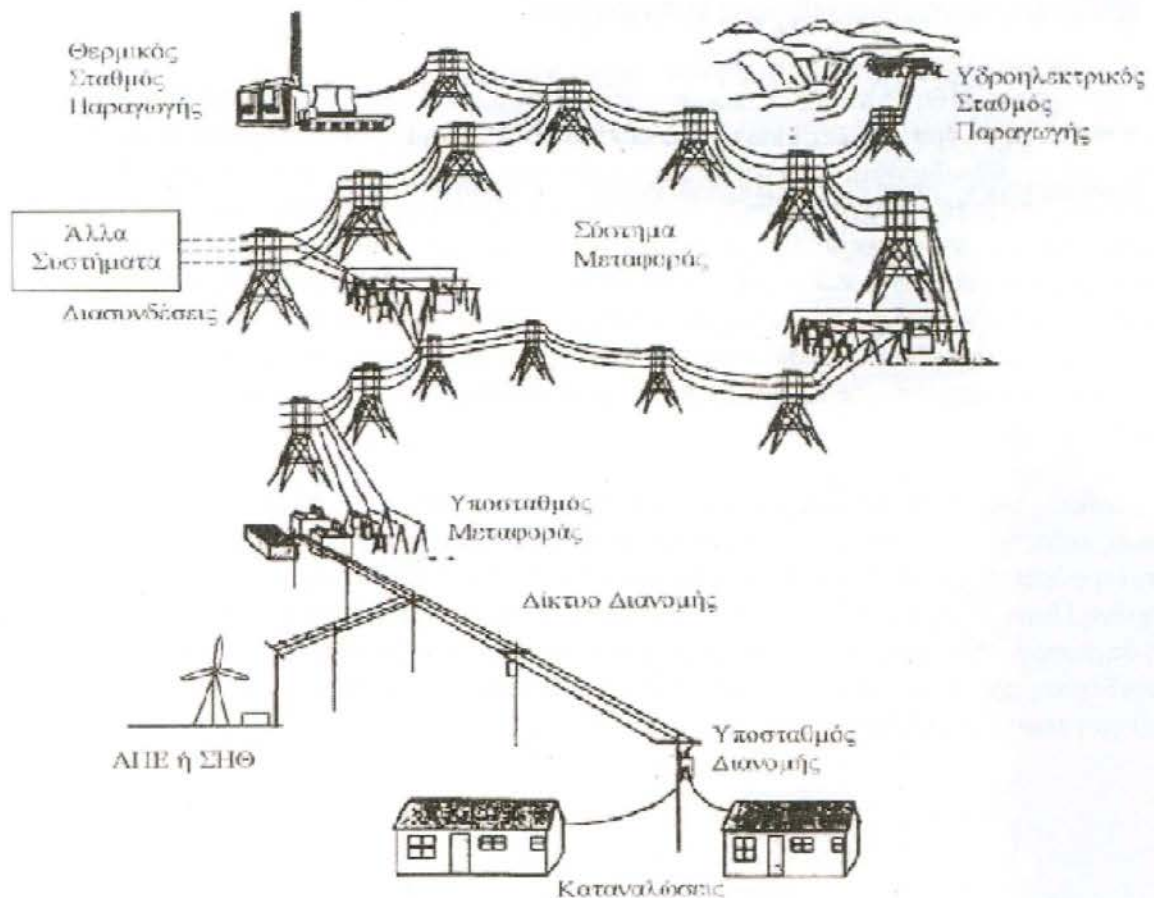


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

#### 1.1. Η ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Από τις αρχές του προηγούμενου αιώνα, όταν άρχισαν οι εφαρμογές του ηλεκτρισμού, μέχρι τις αρχές της 10ετίας του 70, παρατηρείται διεθνώς μία συνεχής συγκέντρωση της Παραγωγής σε συνεχώς μεγαλύτερους «Σταθμούς Παραγωγής» και παράλληλα ανάπτυξη των δικτύων Μεταφοράς και διανομής με συνεχώς μεγαλύτερες τάσεις, λόγω της ραγδαίας αύξησης της ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, (Σχήμα 1). Αυτό συνέβη και στην χώρα μας με την ανάπτυξη του Εθνικού Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ), η οποία κατά την περίοδο 1956-63 (περίπου) εξαγόρασε τις 300 περίπου ηλεκτρικές εταιρείες που προμήθευαν τότε την ηλεκτρική ενέργεια με μικρά τοπικά δίκτυα.



Σχήμα 1. Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Όμως, με αφορμή τις «πετρελαϊκές κρίσεις» της 10-ετίας του 70, άρχισε να γίνεται διεθνώς συνείδηση η ανάγκη καλύτερης αξιοποίησης της ενέργειας, για να αξιοποιούνται καλύτερα οι διατιθέμενοι ενεργειακοί πόροι.

Άρχισε τότε σε διεθνές επίπεδο η αναζήτηση Εναλλακτικών Πηγών Ενέργειας, σε αντιστάθμισμα των Συμβατικών Πηγών, όπως είναι το κάρβουνο και το πετρέλαιο, καθώς και της πυρηνικής ενέργειας, η οποία βεβαίως παρουσιάζει τα γνωστά προβλήματα. Παράλληλα άρχισε μία προσπάθεια για την Εξοικονόμηση και γενικότερα την καλύτερη και αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας.

Οι παραπάνω παράγοντες συνέβαλαν αποφασιστικά αφενός μεν στην ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), αφετέρου δε στην ανάπτυξη συστημάτων Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας (ΣΗΘ).

Βασικό πλεονέκτημα των ΑΠΕ έναντι των συμβατικών πηγών είναι το ότι ανανεώνονται από τη φύση και δεν προκαλούν μόλυνση της ατμόσφαιρας. Όμως, ο ρυθμός με τον οποίο παρέχεται η ενέργεια από τις ΑΠΕ δεν είναι ελεγχόμενος, ώστε η ηλεκτρική ενέργεια να παρέχεται όταν το απαιτούν οι ανθρώπινες ανάγκες. Το γεγονός αυτό σε συνδυασμό με το ότι η ηλεκτρική ενέργεια δύσκολα αποθηκεύεται σε μεγάλες ποσότητες, οδηγεί στην ανάγκη της σύνδεσης των ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο και την παράλληλη λειτουργία τους με το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας. δεδομένου δε ότι για τεχνολογικούς λόγους οι μονάδες των ΑΠΕ είναι μικρής ισχύος, συγκριτικά με τις μονάδες της συμβατικής παραγωγής, συνδέονται κατά γενικό κανόνα στο επίπεδο του δικτύου διανομής.

Για τα συστήματα ΣΗΘ, βασικό πλεονέκτημα αποτελεί το ότι επιτυγχάνεται καλύτερη αξιοποίηση της πρωτογενούς πηγής ενέργειας, δεδομένου ότι αξιοποιείται και η θερμική ενέργεια, η οποία αναπόφευκτα παράγεται κατά την διαδικασία μετατροπής της πρωτογενούς ενέργειας σε ηλεκτρική. Είναι επίσης προφανές ότι η ισχύς των σταθμών ΣΗΘ, δεδομένου ότι εξυπηρετούν τοπικές ανάγκες (π.χ. ένα νοσοκομείο), είναι σχετικά μικρή και για το λόγο αυτό η μονάδα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αυτών συνδέεται κατά κανόνα, όπως και οι ΑΠΕ, στο δίκτυο διανομής. Η πρωτογενής ενέργεια στις εγκαταστάσεις Συμπαραγωγής, είναι συχνά το Φυσικό Αέριο, το οποίο ως γνωστό διανέμεται με τρόπο αντίστοιχο της ηλεκτρικής ενέργειας. Υπάρχουν όμως και άλλες πηγές όπως το Βιοαέριο ή η Βιομάζα, η χρησιμοποίηση των οποίων μπορεί να εξυπηρετεί και άλλους σκοπούς (π.χ. απαλλαγή από τα απορρίμματα).

Με τη σύνδεση των ΑΠΕ και των συστημάτων ΣΗΘ, επιτυγχάνεται η «διανεμημένη Παραγωγή» της ηλεκτρικής ενέργειας, δηλαδή η παραγωγή της ενέργειας κοντά στην κατανάλωση της, με αποτέλεσμα να μειώνεται η φόρτιση και οι απώλειες των δικτύων Μεταφοράς και διανομής. Οποσδήποτε όμως η διανεμημένη Παραγωγή, λόγω κυρίως των δυσχερειών ελέγχου και προσαρμογής της παραγωγής προς τη ζήτηση, δημιουργεί την ανάγκη κατάλληλων προσαρμογών των Συστημάτων Ηλεκτρικής ενέργειας στα οποία συνδέεται, προκειμένου να εξασφαλίζεται η καλή λειτουργία τους και κατά συνέπεια και η καλή εξυπηρέτηση των καταναλωτών.



## 1.2 Γενικά περί ανανεώσιμων πηγών ενέργειας

Οι "ήπιες μορφές ενέργειας" ή "ανανεώσιμες πηγές ενέργειας" (ΑΠΕ) είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές πηγές, όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες. Ο όρος "ήπιες" αναφέρεται σε δυο βασικά χαρακτηριστικά τους.

- i. Για την εκμετάλλευσή τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση, όπως εξόρυξη, άντληση, καύση, όπως με τις μέχρι τώρα χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας, αλλά η εκμετάλλευση της ήδη υπάρχουσας ροής ενέργειας στη φύση.
- ii. Πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας, φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα.

Οι ήπιες μορφές ενέργειας βασίζονται στην ηλιακή ακτινοβολία, με εξαίρεση τη γεωθερμική ενέργεια, η οποία είναι ροή ενέργειας από το εσωτερικό του φλοιού της γης, και την ενέργεια απ' τις παλίρροιες που εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα. Οι βασιζόμενες στην ηλιακή ακτινοβολία ήπιες πηγές ενέργειας είναι ανανεώσιμες, μιας και δεν πρόκειται να εξαντληθούν όσο υπάρχει ο ήλιος, δηλαδή για μερικά ακόμα δισεκατομμύρια χρόνια.

Ουσιαστικά είναι ηλιακή ενέργεια "συσκευασμένη" κατά τον ένα ή τον άλλο τρόπο: η βιομάζα είναι ηλιακή ενέργεια δεσμευμένη στους ιστούς των φυτών μέσω της φωτοσύνθεσης, η αιολική εκμεταλλεύεται τους ανέμους που προκαλούνται απ' τη θέρμανση του αέρα ενώ αυτές που βασίζονται στο νερό εκμεταλλεύονται τον κύκλο εξάτμισης-συμπύκνωσης του νερού και την κυκλοφορία του. Η γεωθερμική ενέργεια δεν είναι ανανεώσιμη, καθώς τα γεωθερμικά πεδία κάποια στιγμή εξαντλούνται.

Το ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας ανακινήθηκε τη δεκαετία του 1970, ως αποτέλεσμα κυρίως των απανωτών πετρελαϊκών κρίσεων της εποχής, αλλά και της αλλοίωσης του περιβάλλοντος και της ποιότητας ζωής από τη χρήση κλασικών πηγών ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει συνέχεια τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να ανταγωνίζονται στα ίσα παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά, στις Η.Π.Α. το 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2011 το 25% της ενέργειας θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα).

### 1.2.1 Είδη ήπιων μορφών ενέργειας

- **Αιολική ενέργεια.** Χρησιμοποιήθηκε παλιότερα για την άντληση νερού από πηγάδια καθώς και για μηχανικές εφαρμογές (π.χ. την άλεση στους ανεμόμυλους). Έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή.
- **Ηλιακή ενέργεια.** Χρησιμοποιείται περισσότερο για θερμικές εφαρμογές (ηλιακοί θερμοσίφωνες και φούρνοι) ενώ η χρήση της για την παραγωγή ηλεκτρισμού έχει αρχίσει να κερδίζει έδαφος, με την βοήθεια της πολιτικής προώθησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας από το ελληνικό κράτος και την Ευρωπαϊκή Ένωση.
- **Υδατοπτώσεις.** Είναι τα γνωστά υδροηλεκτρικά έργα, που στο πεδίο των ήπιων μορφών ενέργειας εξειδικεύονται περισσότερο στα μικρά υδροηλεκτρικά. Είναι η πιο διαδεδομένη μορφή ανανεώσιμης ενέργειας.
- **Βιομάζα.** Χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, τροφίμων και ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αξιοποίηση της ενέργειας που δεσμεύτηκε απ' το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Μπορεί να δώσει βιοαιθανόλη και βιοαέριο, που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθεί στο μέλλον.
- **Γεωθερμική ενέργεια.** Προέρχεται από τη θερμότητα που παράγεται απ' τη ραδιενεργό αποσύνθεση των πετρωμάτων της γης. Είναι εκμεταλλεύσιμη εκεί όπου η θερμότητα αυτή ανεβαίνει με φυσικό τρόπο στην επιφάνεια, π.χ. στους θερμοπίδακες ή στις πηγές ζεστού νερού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας για θερμικές εφαρμογές είτε για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Η Ισλανδία καλύπτει το 80-90% των ενεργειακών της αναγκών με γεωθερμική ενέργεια.
- **Ενέργεια από παλίρροιες.** Εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Το νερό αποθηκεύεται καθώς ανεβαίνει και για να ξανακατέβει αναγκάζεται να περάσει μέσα από μια τουρμπίνα, παράγοντας ηλεκτρισμό. Έχει εφαρμοστεί στην Αγγλία, τη Γαλλία, τη Ρωσία και αλλού.
- **Ενέργεια από κύματα.** Εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσας.
- **Ενέργεια από τους ωκεανούς.** Εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Βρίσκεται στο στάδιο της έρευνας.

## 1.2.2 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ΑΠΕ

Τα τελευταία χρόνια, λόγω του έντονου προβληματισμού για τη μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών μορφών ενέργειας και την αύξηση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) καταλαμβάνουν συνεχώς αυξανόμενο μερίδιο στην παγκόσμια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα ακόλουθα :

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες πηγές ενέργειας και συμβάλλουν στη μείωση της εξάρτησης από εξαντλήσιμους συμβατικούς ενεργειακούς πόρους.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτητοποίησης και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο.
- Είναι διάσπαρτες γεωγραφικά και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, ανακουφίζοντας έτσι τα συστήματα υποδομής και μειώνοντας τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος που δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα από τις τιμές των συμβατικών καυσίμων.
- Οι επενδύσεις των ΑΠΕ δημιουργούν σημαντικό αριθμό νέων θέσεων εργασίας, ιδιαίτερα σε τοπικό επίπεδο.
- Μπορούν να αποτελέσουν σε πολλές περιπτώσεις πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση ανάλογων επενδύσεων (π.χ. θερμοκηπιακές καλλιέργειες με τη χρήση γεωθερμικής ενέργειας).
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.
- Δεν επιβαρύνουν 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.

Τα κύρια μειονεκτήματα των ΑΠΕ είναι τα ακόλουθα:

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί.
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### Η αιολική ενέργεια

#### 2.1 Εισαγωγή

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ανανεώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον μορφή ενέργειας, η οποία προέρχεται κατά βάση από την ηλιακή ενέργεια, από μετατροπή δηλαδή κάποιου ποσοστού της ηλιακής ακτινοβολίας σε κινητική ενέργεια του ανέμου. Η αιολική ενέργεια παίζει σημαντικό ρόλο αν όχι το σημαντικότερο όσον αφορά στις μεταφορές και στην παραγωγική διαδικασία κυρίως στα πρώιμα ιστορικά χρόνια. Αυτός είναι και ο λόγος άλλωστε που οι αρχαίοι Έλληνες θεοποιούν την αιολική ενέργεια αναγνωρίζοντας έτσι τη σημασία της μια και γίνεται αναφορά της ελληνικής μυθολογίας στο θεό Αίολο.

Στη χώρα μας, όπως και σε ολόκληρο το κόσμο, το ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας διατηρήθηκε και στα μεταβυζαντινά χρόνια και ιδιαίτερα στη χώρα μας μέχρι τις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα ιδιαίτερα στις νησιωτικές περιοχές όπου η ταχύτητα του ανέμου είναι αξιοποιήσιμη. Η χρήση του άνθρακα και του πετρελαίου περιόρισαν σημαντικά τις εφαρμογές της. Σήμερα τους παραδοσιακούς ανεμόμυλους όπως της Μυκόνου και του Λασιθίου αντικαθιστούν σύγχρονες ανεμογεννήτριες σημαντικής ισχύος και εξαιρετικής αξιοπιστίας. Τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την προσπάθεια αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας εξακολουθούν να είναι σημαντικά, όμως η εξέλιξη της τεχνολογίας και η ενεργειακή και περιβαλλοντική κατάσταση του πλανήτη μας δίνουν μεγαλύτερο βάρος στα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα των αιολικών μηχανών κάνοντας την ανάγκη χρησιμοποίησης της αιολικής ενέργειας ιδιαίτερα επιτακτική. Ειδικότερα στη χώρα μας η ύπαρξη εξαιρετικού αιολικού δυναμικού και η εξάρτηση της οικονομίας μας από εισαγόμενα καύσιμα, καθιστά μονόδρομο την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.

Βέβαια ακόμα και με τα σημερινά δεδομένα σημαντικό ποσοστό του αιολικού δυναμικού δεν είναι δυνατό να απορροφηθεί από τις διαθέσιμες ανεμογεννήτριες μιας και ο ρυθμός ανάπτυξης αυτής της μη ρυπογόνου μορφής ενέργειας είναι ακόμα παραγκωνισμένος σε σχέση με το πετρέλαιο. Αν λάβουμε όμως υπόψιν μας τον σημαντικό αριθμό των εφαρμογών των αιολικών μηχανών κάθε μεγέθους και τις δυνατότητες μερικής ή ολικής αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, όλα αυτά ενισχύουν την ανταγωνιστική θέση των εφαρμογών της αιολικής ενέργειας.

Μην ξεχνάμε άλλωστε ότι μια Α/Γ είναι ένα τεχνολογικό θαύμα , μια κατασκευή του ανθρώπου που καταφέρνει να τιθασεύσει την δύναμη του αέρα και να την μετατρέψει σε ηλεκτρική ενεργεια . Τα αιολικά πάρκα προσφέρουν μεγάλα οφέλη στην εθνική , τη περιφερειακή και την τοπική ανάπτυξη και όταν πληρούνται οι προδιαγραφές κατασκευής και λειτουργίας τους,όχι μόνο δεν υποβαθμίζουν το περιβάλλον αλλά το προστατεύουν . Η πολιτεία έχει υποχρέωση να στηρίζει τις Α.Π.Ε. και ταυτόχρονα να στηριχθούν από όλους τους ενεργούς πολίτες που επιθυμούν την ενεργειακή ανεξαρτησία της χώρας , την προστασία του περιβάλλοντος και την τεχνολογική και οικονομική ανάπτυξη .Συμπεριλαμβανομένου επίσης και του κόστους παραγωγής ενέργειας από τις διάφορες πηγές, δεδομένου ότι ήδη η αιολική ενέργεια είναι ανταγωνιστική ως προς κάθε άλλη μορφή ενέργειας ενώ σε επιλεγμένες εγκαταστάσεις το κόστος της αιολικής kWh υπολείπεται σημαντικά του κόστους των συμβατικών καυσίμων, είναι προφανές, ότι ειδικά στη χώρα μας, όπου η αύξηση του κόστους λειτουργίας των συμβατικών σταθμών ενέργειας είναι συνεχής, είναι επιβεβλημένη στο άμεσο μέλλον η δημιουργία αιολικών πάρκων κάθε μεγέθους.

## Ιστορία της αιολικής ενέργειας.

Η υπεροχή του αέρα είχε συναρπάσει την ανθρωπότητα εδώ και χιλιάδες έτη. Το όνειρο του Αιόλου για την εξημέρωση των ισχυρών ανέμων κράτησε γενιές εφευρετών κάτω από την μαγεία του. Η εντυπωσιακή ικανότητα του, η οποία επιτυγχανόταν με τη χρησιμοποίηση των δυνάμεων της φύσης (με αυτόν τον τρόπο ξεδιπλωνόταν στους ορίζοντες του τότε γνωστού κόσμου), αποτελούσε μια πρόκληση στην αρχαιότητα. Κατά συνέπεια, παρά τις νηνεμίες, τους τυφώνες, τους ανεμοστρόβιλους και τα ναυάγια, η αουσιπλοΐα και η ναυπηγική εξελίχθηκαν και αναπτύχθηκαν. Η πρόοδος θα μπορούσε μόνο να επιτευχθεί με την υιοθέτηση των πιο πρόσφατων τεχνολογιών. Όλα αυτά, μαζί με μια μεγάλη επιθυμία για ταξίδια ανακάλυψης, συνέθεσαν στο μυαλό των ισχυρών και των επιστημόνων ένα μωσαϊκό του κόσμου, του οποίου τα περιγράμματα γίνονταν όλο και πιο εσώκλειστα με την πάροδο του χρόνου. Με την εκμετάλλευση του αέρα στο έδαφος και στη θάλασσα, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν και οι εργασίες, οι οποίες ήταν πάνω από τις ικανότητες των ανθρώπων. Παραδείγματος χάριν, χρησιμοποιώντας μόνο την δύναμη των ζώων και του ανθρώπου, δεν θα ήταν ποτέ πιθανό για κάποιες χώρες να επιτύχουν την άντληση του νερού μέσα από το έδαφος (μέσω των αντλιών του ανέμου). Οι αρχαιολογικές ανακαλύψεις σχετικά με τη χρήση αιολικής ενέργειας ξεκινούν από την αρχή της σύγχρονης εποχής. Οι αυθεντικοί ανεμόμυλοι βρέθηκαν στην Εγγύς και Μέση Ανατολή.

Ορισμένες ενδείξεις των ανεμόμυλων και της χρήσης τους ανακαλύφθηκαν γύρω στο 10<sup>ο</sup> αιώνα στην Περσία. Οι κατασκευαστικές τεχνικές εκείνης της εποχής χρησιμοποίησαν τους κάθετους άξονες για να εφαρμόζουν την αρχή έλξης και να συλλαμβάνουν την αιολική ενέργεια. Τέτοιοι ανεμόμυλοι βρέθηκαν κυρίως στις αραβικές χώρες. Πιθανώς οι σταυροφόροι να έφεραν την αρχική ιδέα αυτών των μηχανών στην Ευρώπη. Έτσι, οι ανεμόμυλοι με οριζόντιους άξονες και με ραμμένα πανιά για φτερά έκαναν την εμφάνισή τους στο μεσαίωνα. Έτσι η χρήση της αιολικής ενέργειας στη δυτική Ευρώπη ξεκίνησε κατά ένα μεγάλο βαθμό από την Αγγλία και την Ολλανδία κατά τον μεσαίωνα. Οι τεχνικά βελτιωμένοι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για την άντληση νερού και για μεταφορά αντικειμένων πάνω σε τροχήλατο μέσο. Περισσότερες από 200.000 από αυτές τις ξύλινες μηχανές χτίστηκαν σε όλη τη βορειοδυτική Ευρώπη, αντιπροσωπεύοντας τη μεγαλύτερη ποσότητα της ενέργειας σε αυτήν την περιοχή. Με το πέρασμα του αιώνα 20.000 ανεμόμυλοι τέθηκαν σε λειτουργία στη Γερμανία.

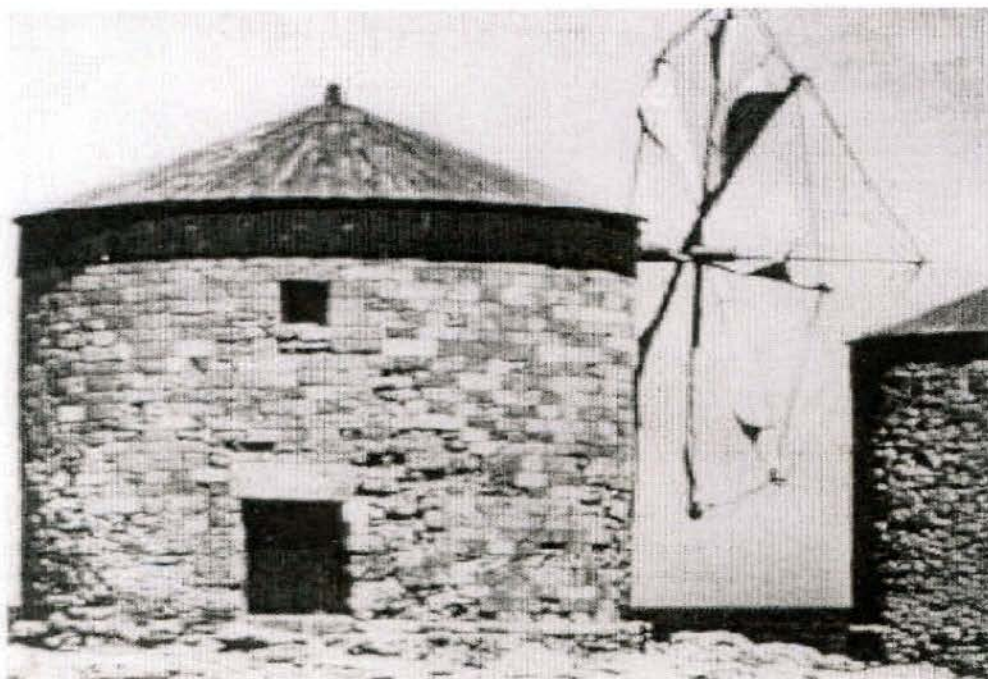
Από το 19ο αιώνα και έπειτα, κυρίως στις ΗΠΑ, εξαπλώθηκε ο τύπος των λεγόμενων «δυτικών ροδών», ο οποίος διαδόθηκε αμέσως. Αυτοί οι πολύ-πτερωτοί ανεμόμυλοι φτιάχτηκαν από χάλυβα με πτερωτές 20 λεπίδων και χρησιμοποιούνταν συνήθως για την άρδευση. Στα μέσα του αιώνα, μέχρι το τέλος της δεκαετίας του '30, 8 εκατομμύρια μονάδες είχαν φτιαχτεί και εγκατασταθεί αντιπροσωπεύοντας έτσι ένα τεράστιο οικονομικό δυναμικό. Ωσπου στις μέρες μας η αιολική ενέργεια έγινε εκμεταλλεύσιμη, μέσω των ανεμογεννητριών, παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Σήμερα παράγεται το 30% (με ανοδική πορεία) της καταναλισκόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες. Διανύουμε ήδη την χαρναγή της 3ης χιλιετίας και όσον αφορά τις ενεργειακές μας ανάγκες, διαπιστώνουμε καθημερινά ότι η εποχή της αλόγιστης χρήσης των συμβατικών καυσίμων και της ελπίδας, κυρίως μέσα στην δεκαετία του 70, για ριζική επίλυση του παγκόσμιου ενεργειακού προβλήματος μέσα από μια καθαρή, όπως διαφημιζόταν τότε, πυρηνική ενέργεια, έχει παρέλθει ανεπιστρεπτί.

Η αδιαφορία και στην καλύτερη περίπτωση άγνοια, που επιδείξαμε στο παρελθόν είχαν και σαν αποτέλεσμα σοβαρές οικολογικές διαταραχές. Η αλλαγή νοοτροπίας και τρόπου συμπεριφοράς μας προς το φυσικό περιβάλλον, είναι σήμερα περισσότερο από κάθε φορά επιβεβλημένη. Οι κατάλληλες διορθωτικές επεμβάσεις στο οικολογικό μας σύστημα και η αποδοχή ριζικότερων αλλαγών στην καθημερινή πρακτική, καθώς και η τροποποίηση των τρόπων παραγωγής ενέργειας και τεχνολογικών προϊόντων, προβληματίζουν την παγκόσμια κοινότητα. Η τεχνολογία σαν καρπός ανώτερης πνευματικής διεργασίας πρέπει να έχει στόχο να θεραπεύει και να υπηρετεί τον άνθρωπο, με σεβασμό στον πλανήτη που χρειάστηκε 5 δισεκατομμύρια για να εξιδανικεύσει τις κλιματολογικές του συνθήκες και να συμβάλει έτσι στην δημιουργία και στην ανάπτυξη της ζωής. Μέσα από το, ιστορικά επιβεβλημένο, αναγκαίο κακό, δηλαδή τα συμβατικά καύσιμα προέκυψαν νέες και συνεχώς βελτιώνονται παλαιότερες μέθοδοι εξευγενισμένης παραγωγής ενέργειας, χωρίς πρακτικά οικολογικές επιβαρύνσεις, που μας επιτρέπουν να αισιοδοξούμε για ένα καλύτερο μέλλον. Ο ήλιος και ο άνεμος θα έχουν τον πρώτο λόγο στις επόμενες δεκαετίες.

## Αιολική ενέργεια - Παρελθόν και μέλλον.

Η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας, που δημιουργείτε έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο προκαλεί την μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργεί δηλαδή τους ανέμους. Η αιολική ενέργεια είναι συνεπώς ανεξάντλητη και ανανεωμένη συνεχώς, γι' αυτό χαρακτηρίζεται ως ανανεώσιμη. Η αξιοποίηση της ενέργειας που προσφέρει ο άνεμος δεν είναι κάτι το καινούργιο. Μάλιστα, τόσο είχε εκτιμηθεί η σπουδαιότητα και η χρησιμότητα των ανέμων στην αρχαιότητα, ώστε ο ίδιος ο Δίας, κατά την Ελληνική μυθολογία, είχε ορίσει "διαχειριστή" των ανέμων τον Αίοιο ο οποίος τους κατήθυνε από τη μυθική νήσο του Αιολία. Οι αρχαίοι πρόγονοι μας εκμεταλλεύτηκαν την ενέργεια του ανέμου για την κίνηση των ιστιοφόρων πλοίων τους.

Αργότερα, η εκμετάλλευση του ανέμου συνεχίστηκε με τους ανεμόμυλους που χρησιμοποιήθηκαν ευρέως για την άλεση των δημητριακών και την άντληση νερού, κυρίως στις Κυκλάδες και την Κρήτη. Δεν υπάρχει ακριβής καταγραφή για την πρώτη εμφάνιση του ανεμόμυλου. Οι παλαιότερες μαρτυρίες που κάνουν αναφορές σε ανεμόμυλους είναι του 15ου αιώνα. Στα τέλη του 19ου αιώνα στις Κυκλάδες, κάθε ανεμόμυλος εξυπηρετούσε κατά μέσο όρο 185 περίπου κατοίκους. Ο πρώτος ανεμόμυλος που εγκαταστάθηκε στον νομό Λασιθίου ήταν στο οροπέδιο Λασιθίου. Για τα δεδομένα της εποχής ήταν ένα μεγάλο επίτευγμα. Στην δεκαετία του 1940 υπήρχαν περισσότεροι από 13.500 ανεμόμυλοι, οι οποίοι χρησιμοποιούνταν για την άντληση του νερού. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς υπέρβαινε τα 5MW, καθιστώντας τότε το οροπέδιο Λασιθίου το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο του κόσμου.

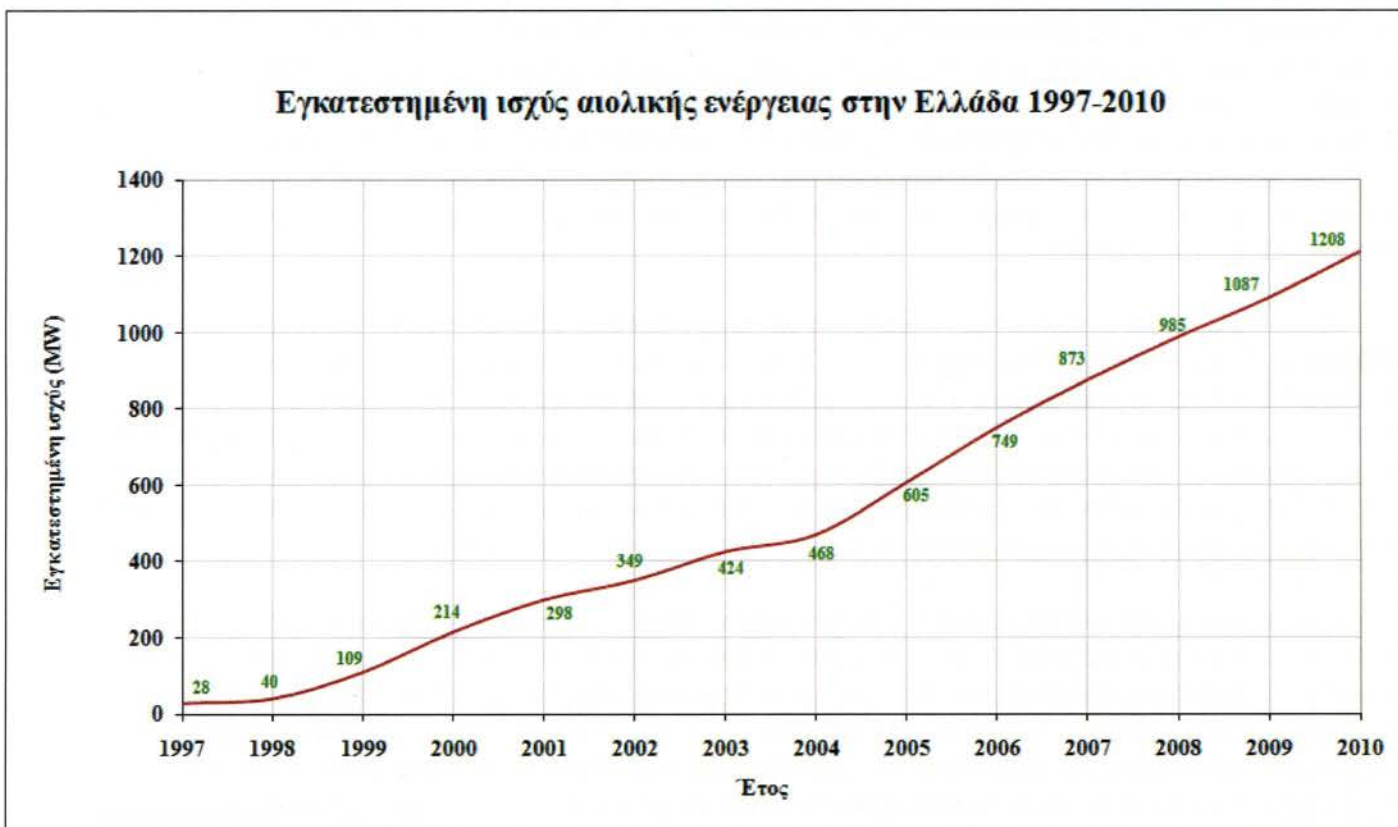


Σχήμα 2: Ένας από τους πρώτους ανεμόμυλους



Την ίδια περίοδο υπολογίζεται ότι σε ολόκληρη την Κρήτη η συνολική ισχύς των ανεμόμυλων τα 20 MW. Στον αιώνα μας το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της ενέργειας του με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος , εκδηλώθηκε ιδιαίτερα στα μέσα της δεκαετίας του '70 και ήταν αποτέλεσμα της πετρελαϊκής κρίσης που είχε ξεσπάσει. Από τότε και μέχρι σήμερα υπάρχει μια συνεχώς αυξανόμενη τάση για παραγωγή ηλεκτρισμού από την αιολική ενέργεια με την χρήση των ανεμογεννητριών, οι οποίες μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια. Σήμερα , εάν υπήρχε η δυνατότητα με την υπάρχουσα τεχνολογία να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το σύνολο του αιολικού δυναμικού της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια από τον άνεμο θα ήταν υπερδιπλάσια από της ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια στο ίδιο διάστημα.

Δυστυχώς, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε μόνο ένα ελάχιστο ποσοστό της τεράστιας αυτής ποσότητας ενέργειας. Εντούτοις, υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5 μέτρα το δευτερόλεπτο, σε ύψος 10 μέτρων πάνω από το έδαφος. Τιμή πάνω από την οποία το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες; Εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα. Λαμβάνοντας υπόψη τη συνεχώς βελτιούμενη τεχνολογία των ανεμογεννητριών, μπορούμε να πούμε ότι η αξιοποίηση του ανέμου είναι μια από τις λύσεις για παραγωγή άφθονης και καθαρής ηλεκτρικής ενέργειας για επόμενες γενιές.



Σχήμα 3: εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα

## ΚΙΝΗΤΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ-ΑΝΕΜΟΣ

Η κινητική ενέργεια του ανέμου αποτελεί μια ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας, η οποία ονομάζεται "αιολική ενέργεια". Η αιολική ενέργεια ανήκει στις ήπιες ή ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) , δεδομένου ότι αφ' ενός δε ρυπαίνει το περιβάλλον (ήπια ως προς το περιβάλλον) και αφ' ετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη (ανανεώνεται συνεχώς). Η αιολική ενέργεια προέρχεται από μετατροπή ενός μικρού ποσοστού (περίπου 0.2%) της ηλιακής ενέργειας, που φθάνει στο έδαφος του πλανήτη μας, σε κινητική ενέργεια του ανέμου. Η ισχύς του ανέμου σε ολόκληρο τον πλανήτη μας εκτιμάται σε  $3.6 \times 10^9$  MW, ενώ σύμφωνα με εκτιμήσεις του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας, ποσοστό περίπου 1% της αιολικής ενέργειας, που ανέρχεται σε  $175 \times 10^{12}$  KWh/y είναι διαθέσιμο για ενεργειακή αξιοποίηση σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Οι ευνοϊκότερες περιοχές του πλανήτη μας όσον αφορά το αιολικό δυναμικό, είναι οι χώρες που βρίσκονται στην εύκρατη και πολική ζώνη και ιδιαίτερα αυτές που είναι κοντά στις ακτές. Βέβαια η αξιοποίηση όλου αυτού του τεράστιου αιολικού δυναμικού προϋποθέτει την ύπαρξη κατάλληλης υποδομής και πιο συγκεκριμένα την ύπαρξη κατάλληλων μηχανών για τη δέσμευση και μετατροπή της αιολικής ενέργειας στην επιθυμητή μορφή.

Η αιολική ενέργεια, ιδιαίτερα τα τελευταία είκοσι χρόνια αποτελεί την πλέον συμφέρουσα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, δεδομένου ότι ήδη το κόστος της παραγόμενης αιολικής kWh συναγωνίζεται το κόστος της συμβατικής kWh χωρίς μάλιστα να συμπεριληφθεί το κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος από την παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα μετά από τις ενεργειακές κρίσεις και σε συνδυασμό βέβαια με τα οξυμένα περιβαλλοντικά προβλήματα τα οποία εμφανίζονται καθημερινά πλέον στη σημερινή ζωή του σύγχρονου ανθρώπου κάνοντας έτσι το πρόβλημα εμφανές στο μέσο άνθρωπο. Υπάρχει βέβαια και η άλλη όψη του νομίσματος η οποία λέει ότι η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας μη προβλέψιμη και συνεχής, καθώς επίσης ότι παρουσιάζει χαμηλή πυκνότητα, γεγονός που μας παραπέμπει σε αυτές τις μεγάλες κατασκευές ανεμογεννητριών.

Υπάρχει όμως και η αντικρουόμενη άποψη η όποια έρχεται από ανθρώπους που πιστεύουν ότι η κατάλληλη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας μπορεί να λύσει το παγκόσμιο ενεργειακό μας πρόβλημα δίνοντας μάλιστα το παράδειγμα ότι οι ενεργειακές ανάγκες της Αμερικής, αποτελούν μόλις το ένα δέκατο του αιολικού δυναμικού της χώρας αυτής. Όλα αυτά βέβαια μπορεί να πει κάποιος ότι ακούγονται ουτοπικά και ότι οι παραπάνω ισχυρισμοί ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να επιλύσει τα ενεργειακά προβλήματα μιας χώρας, είναι υπερβολικοί, τουλάχιστον με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες, δεδομένου ότι ένα πολύ μικρό τμήμα του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί τελικά.

Δεν παύει όμως να είναι ρεαλιστικό το γεγονός ότι η σωστή αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας θα βελτιώσει το παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο, ενώ στην περίπτωση της χώρας μας θα ανακουφίσει σημαντικά το πλήρως εξαρτώμενο από εισαγόμενα καύσιμα ενεργειακό ισοζύγιο της, χωρίς ταυτόχρονα να επιβαρύνει με πρόσθετους ρύπους το ήδη βεβαρημένο περιβάλλον μας, ιδιαίτερα για μια χώρα σαν τη δική μας που η οικονομία της εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τουρισμό αφού και το καλύτερο αγαθό που "εξάγει" η χώρα μας δεν άλλο από το ήλιο, τον καθαρό ουρανό, τις καθαρές παραλίες και γενικότερα τη φύση. Τι καλύτερο λοιπόν από το να προστατέψουμε αυτό το πολύτιμο αγαθό που ονομάζεται φύση ή καθαρό περιβάλλον όπως θα λέγε κάποιος άλλος με το να καλύπτουμε τις ενεργειακές μας ανάγκες σε μεγάλο βαθμό από την ίδια τη φύση χωρίς να την επιβαρύνουμε όμως.

Προτού όμως γίνει γενικότερα κατανοητό και γενικότερα αποδεκτό ότι η αιολική ενέργεια μπορεί να αποτελέσει μια καθαρή και οικονομικά ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας, ιδιαίτερα για τη χώρα μας, πρέπει να λάβουμε υπόψη μας όλα αυτά τα θετικά και αρνητικά στοιχεία που συνοδεύουν την εγκατάσταση ανεμογεννητριών και την αξιοποίηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής.

## Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα αιολικής ενέργειας:

### Πλεονεκτήματα αιολικής ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν από τον άνθρωπο, τόσο στη ναυτιλία όσο και στην άρδευση και τη γεωργία. Όμως αντικαταστάθηκε από άλλες πηγές ενέργειας για ολόκληρο σχεδόν τον εικοστό αιώνα, λόγω των σημαντικών μειονεκτημάτων που είχε κυρίως λόγω χαμηλής "πυκνότητας". Παρόλα αυτά είναι χρήσιμο να εξετάσουμε τα κυριότερα πλεονεκτήματα που αποδίδονται στην αιολική ενέργεια, ώστε να αποκτήσουμε μια πλέον ολοκληρωμένη εικόνα. Έτσι έχουμε:

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες και συμβάλουν στη μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς πόρους, των οποίων τα ανά τον κόσμο αποθέματα ελαττώνονται με την πάροδο του χρόνου. Ειδικότερα η χώρα μας διαθέτει πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό (κυρίως τα νησιωτικά συμπλέγματα του Αιγαίου, η ανατολική Πελοπόννησος , η νότια Εύβοια και η Κρήτη ) και μάλιστα άριστης ποιότητας . Πράγματι στα περισσότερα νησιά του αρχιπελάγους εμφανίζονται άνεμοι σημαντικής ταχύτητας και διάρκειας σχεδόν ολόκληρο το έτος.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο. Πράγματι η ισχυρή εξάρτηση της χώρας μας από εισαγόμενα καύσιμα, τα οποία οδηγούν αφ' ενός σε συναλλαγματική αιμορραγία τη χώρα μας, αφ' ετέρου σε εξάρτησή της από χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ας σημειωθεί ότι η χώρα μας εξαρτάται κυρίως από το εισαγόμενο πετρέλαιο, που προέρχεται κυρίως από χώρες υψηλού πολιτικοοικονομικού κινδύνου και οι οποίες εμπλέκονται αρκετά συχνά σε πολιτικές και στρατιωτικές κρίσεις. Με τον τρόπο αυτό το μεσοπρόθεσμο κόστος παραγωγής ενέργειας, η οποία αποτελεί τον κυριότερο ίσως παραγωγικό συντελεστή για πλήθος βασικών αγαθών, δεν μπορεί να προβλεφθεί με λογικά σενάρια, πράγμα που οδηγεί σε υπερβολική αβεβαιότητα τον αντίστοιχο σχεδιασμό της εθνικής οικονομίας.
- Έχουν χαμηλό συνήθως λειτουργικό κόστος το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα της τιμής του πετρελαίου.
- Οι επενδύσεις σε Α.Π.Ε μπορούν σε πολλές περιπτώσεις να αποτελέσουν πυρήνα αναζωογόνησης υποβαθμισμένων περιοχών και να γίνουν πόλος τοπικής ανάπτυξης δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας και προωθώντας επενδύσεις που σχετίζονται ή στηρίζονται στις Α.Π.Ε. Η δυνατότητα τόνωσης της ελληνικής κατασκευαστικής δραστηριότητας με προϊόντα υψηλής Εγχώριας

Προστιθέμενης Αξίας (Ε.Π.Α.) και συγκριτικά χαμηλού επενδυτικού κόστους, όπως θα μπορούσε να αποτελέσει η απόφαση συμπαραγωγής ανεμογεννητριών στη χώρα μας, συνεισφέροντας ταυτόχρονα και στη μείωση της ανεργίας.

- Η λειτουργία των συστημάτων εκμετάλλευσης Α.Π.Ε είναι σε μεγάλο βαθμό ακίνδυνη, χωρίς να παρουσιάζονται ιδιαίτερα τεχνολογικά προβλήματα.
- Υπάρχει η δυνατότητα αξιοποίησης επενδυτικών προγραμμάτων, που χρηματοδοτούνται εν μέρει από ελληνικούς και κοινοτικούς φορείς, δεδομένων των υψηλών επιχορηγήσεων και του συγκριτικά χαμηλού κόστους που συνοδεύουν παρόμοιες επενδύσεις σε τομείς αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον είναι δυνατή στην περίπτωση ίδρυσης αιολικών πάρκων η σταδιακή εγκατάσταση των μηχανών, με διαχρονική κατανομή του κόστους επένδυσης σύμφωνα με το σχεδιασμό του επενδυτή.

## Μειονεκτήματα αιολικής ενέργειας

Αν και δεν είναι δυνατό να αγνοήσουμε τα πλεονεκτήματα που συνοδεύουν την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, είναι επίσης σημαντικό να ληφθούν υπόψιν και οι παρακάτω παράγοντες, ορισμένοι από τους οποίους ισχύουν ιδιαίτερα για τη χώρα μας, ώστε να διαμορφώσουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα για τις δυνατότητες και τους περιορισμούς αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα:

- Το δισπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος και να αποθηκευτεί.
- Δεδομένης της χαμηλής πυκνότητας ισχύος και ενέργειας που έχουν, για μεγάλη ισχύ συχνά απαιτούνται εκτεταμένες σε μέγεθος εγκαταστάσεις. Πιο συγκεκριμένα, η χαμηλή ροή αξιοποιήσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου ( $\text{Watt/m}^2$ ) κατατάσσει την αιολική ενέργεια στις "αραιές" μορφές ενέργειας. Τυπικές τιμές ροής της αξιοποιούμενης αιολικής ισχύος κυμαίνονται

μεταξύ  $200 \text{ W/m}^2$  και  $400 \text{ W/m}^2$ . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη χρήση είτε μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών είτε τη χρήση μηχανών μεγάλων διαστάσεων, για την παραγωγή της επιθυμητής ποσότητας ενέργειας.

- Η στοχαστικότητα των μεγεθών, όπως ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία, έχουν σαν αποτέλεσμα η τιμή της παραγόμενης ισχύος να έχει μεγάλες διακυμάνσεις, γεγονός που δεν μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε την απαραίτητη αιολική ενέργεια τη στιγμή που τη χρειαζόμαστε, απαιτώντας έτσι την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών (όπως π.χ σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο, παράλληλη λειτουργία με μονάδες Diesel κ.λπ.) ή δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Ειδικότερα σε περιπτώσεις αυτόνομων μονάδων είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, σε μια προσπάθεια να έχουμε συγχρονισμό της ζήτησης και της διαθέσιμης ενέργειας. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται αυξημένο αρχικό κόστος (λόγω της προσθήκης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας) και βέβαια επιπλέον απώλειες ενέργειας κατά τις φάσεις μετατροπής και αποθήκευσης, καθώς και αυξημένες υποχρεώσεις συντήρησης και εξασφάλισης της ομαλής λειτουργίας. Επίσης οι εγκαταστάσεις είναι συνήθως αισθητικά μη αποδεκτές από το κοινό μιας και έχουν εκφραστεί πολλές φορές παράπονα για αισθητική και ηχητική ρύπανση όσο αφορά τις ανεμογεννήτριες.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος είναι ακόμη υψηλό σε σχέση με τις τιμές των συμβατικών καυσίμων. Ειδικά μάλιστα για μεμονωμένες περιπτώσεις αιολικών μηχανών μικρού μεγέθους. Στο σημείο αυτό πρέπει να προσθέσουμε ότι η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας και ο ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστών έχει τα τελευταία χρόνια συμπιέσει σημαντικά τις τιμές των ανεμογεννητριών.
- Πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψιν ότι από το σύνολο της απορροφούμενης αιολικής ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια, μόνο ένα περιορισμένο μέρος της μετατρέπεται σε ωφέλιμη ενέργεια λόγω των αεροδυναμικών και των μηχανικών απωλειών και περιορισμών.

Από τα παραπάνω μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα πλεονεκτήματα από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας είναι σαφώς περισσότερα σε αριθμό αλλά και σημαντικότερα από τα υπάρχοντα μειονεκτήματα. Για το λόγο αυτό η απόφαση να αξιοποιηθεί στη χώρα μας το ήδη υπάρχον αιολικό δυναμικό και να δημιουργηθούν οι κατάλληλες προϋποθέσεις και η υποδομή για επενδύσεις πάνω στον τομέα της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο, είναι επιτακτική ανάγκη μιας και μπορεί να οδηγήσει σε οικονομικά βιώσιμες και ελκυστικές επενδύσεις.

Λαμβανομένης υπόψη και της τοπογραφίας της χώρας καθώς και το μεγάλο αριθμό διάσπαρτων μικρών νησιών, μπορούν να δοθούν κίνητρα για εγκατάσταση ανεμογεννητριών μικρό-μεσαίων διαστάσεων από ιδιώτες ενθαρρύνοντας έτσι την ιδιωτική πρωτοβουλία. Αξίζει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τους πιο συντηρητικούς υπολογισμούς της Ευρωπαϊκής Ένωσης, υπάρχουν σ' αυτήν πάνω από πεντακόσιες εξήντα χιλιάδες (560000) ιδιωτικές απομονωμένες αγροικίες, από τις οποίες περίπου το 10% ανήκει στη χώρα μας. Οι αγροικίες αυτές δεν έχουν πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο, με αποτέλεσμα η εγκατάσταση ανεμογεννητριών να συνεισφέρει στην επίλυση των ενεργειακών τους προβλημάτων.

## 2.2 Χαρακτηριστικά του ανέμου

Η αιτία δημιουργίας του ανέμου είναι μετατροπή ενός ποσοστού της ηλιακής ενέργειας σε κινητική ενέργεια του ανέμου. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται ο άνεμος είναι η ίδια η περιστροφή της γης, το ανάγλυφο της εκάστοτε περιοχής που μελετάμε, καθώς επίσης και η ύπαρξη θάλασσας. Προκειμένου να γίνει η καταγραφή των μεγεθών του ανέμου που μας ενδιαφέρουν, όπως διεύθυνση, ταχύτητα τύρβη κτλ, χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα όπως είναι τα ανεμόμετρα, (για την μέτρηση της έντασης του ανέμου) ή μπορούν ακόμα να χρησιμοποιηθούν και χρήσιμα διαγράμματα όπως είναι το πολικό διάγραμμα το οποίο μας δίνει τη διεύθυνση του ανέμου και το οποίο καθορίζεται σε σχέση με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Η συσκευή η οποία μας δίνει τη διεύθυνση του ανέμου σε μονάδες μέτρησης είναι ο ανεμοδείκτης ή ο τριαξονικός ανεμογράφος. Εκτός όμως απ αυτά τα βασικά μεγέθη του ανέμου υπάρχουν και είναι χρήσιμο να καταγράφονται οι ριπές, οι στροβιλισμοί, οι διαταράξεις και τα επίπεδα τύρβης του ανέμου προκειμένου να έχουμε μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα για τη συμπεριφορά του ανέμου στην περιοχή που μας ενδιαφέρει.

Η περιγραφή της διανομής της ταχύτητας προκύπτει από διάφορους ημί-εμπειρικούς τύπους οι οποίοι βασίζονται στο γεγονός ότι η ταχύτητα του ανέμου σχετίζεται με το ύψος, δηλαδή όσο αυξάνεται το ύψος που μετράμε την ταχύτητα του ανέμου τόσο αυξάνεται και η ταχύτητα του ανέμου. Βέβαια η διανομή της ταχύτητας του ανέμου επηρεάζεται από την τραχύτητα του εδάφους, την ύπαρξη επιφανειακών εμποδίων καθώς και από το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής.

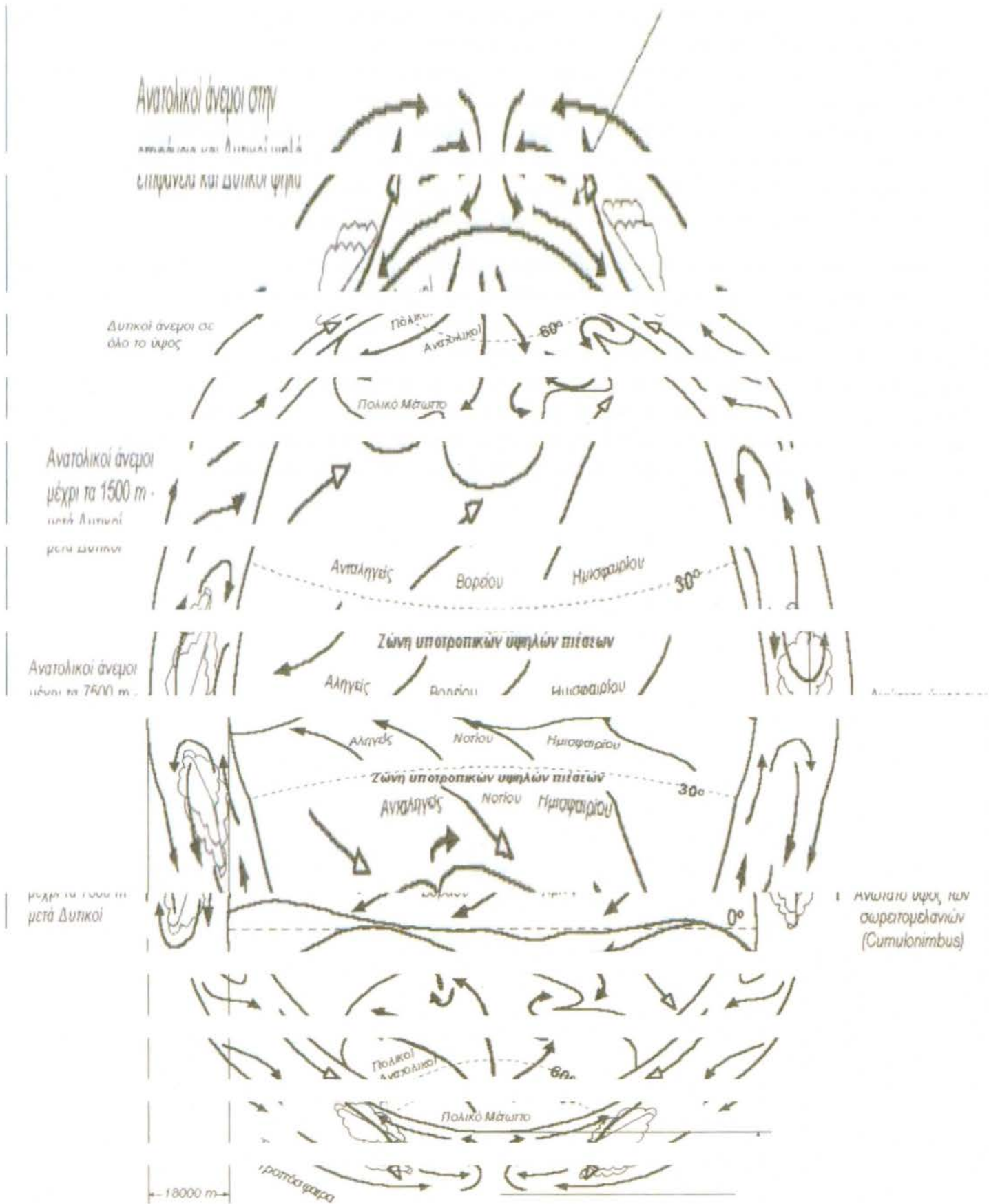
Μετά την καταγραφή της έντασης και της διεύθυνσης του ανέμου, συνήθως σε ετήσια βάση, ακολουθεί η επεξεργασία των ανεμολογικών στοιχείων με στόχο την κατασκευή του ιστογράμματος συχνότητας πιθανότητας του ανέμου, της ετήσιας καμπύλης διάρκειας, του πολικού διαγράμματος και των καμπυλών των διαστημάτων νηνεμίας της περιοχής. Λιγότερο ακριβείς ίναι οι ανεμολογικές μετρήσεις που βασίζονται στη κλίμακα Beaufort, λόγω της σχετικής ασάφειας που εμφανίζουν οι επιμέρους βαθμίδες της κλίμακας. Για να γίνουν περισσότερο κατανοητοί αυτοί οι παράγοντες που επηρεάζουν τον άνεμο καθώς και να εκτιμηθεί η σημασία τους κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια αναφορά στο τι ονομάζεται άνεμος, πως δημιουργείται και που οφείλεται η κίνηση του.

## Άνεμος και ατμοσφαιρική κυκλοφορία

Άνεμος ονομάζεται ο ατμοσφαιρικός αέρας ευρισκόμενος σε κίνηση. Όπως για οποιοδήποτε ρευστό ευρισκόμενο σε κίνηση, έτσι και στην περίπτωση του ανέμου, για τον καθορισμό του διανύσματος της ταχύτητάς του απαιτείται η γνώση του μέτρου (ένταση του ανέμου) και της διεύθυνσης του ανέμου. Η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου εξαρτώνται τόσο από ειδικούς παράγοντες (γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία, πεδίο πίεσης) όσο και από τους τοπικούς παράγοντες (δηλ. ανάγλυφο της περιοχής, ύπαρξη θάλασσας κ.λ.π.). Η γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία οφείλεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία και στην περιστροφή της γης.

Πράγματι η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ ισημερινού και πόλων, αποτέλεσμα της διαφορετικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα διαφορετικά σημεία του πλανήτη μας, έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση αερίων μαζών από τους πόλους προς τον ισημερινό και αντιθέτως. Πιο συγκεκριμένα, ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι πνέουν από τους πόλους προς τον ισημερινό για να αντικαταστήσουν το θερμό αέρα, που ανυψώνεται λόγω μείωσης της πυκνότητάς του και ο οποίος κινείται δια μέσου της ανώτερης ατμόσφαιρας προς τους πόλους. Παράλληλα, η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της έχει σαν αποτέλεσμα την κίνηση ψυχρών αέριων επιφανειακών μαζών προς τα δυτικά, ενώ ο θερμός αέρας μετακινείται σε μεγαλύτερα ύψη και προς τα ανατολικά όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.





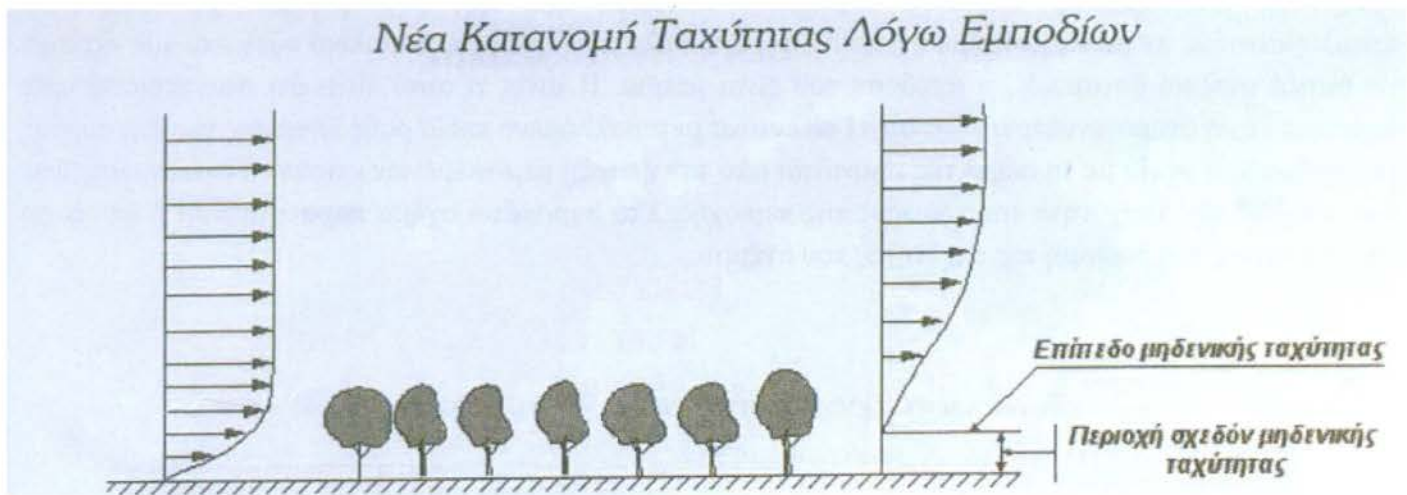
Σχήμα 4: Πεδίο ανέμων γύρω από τον πλανήτη μας

Τέλος πρέπει να ληφθεί υπόψιν και η ανομοιομορφία της θερμικής συμπεριφοράς θάλασσας και ξηράς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ζωνών διαφορετικής θερμοκρασίας, που οδηγούν σε αντίστοιχα πεδία στατικής πίεσης. Αποτέλεσμα του συνδυασμού των ανωτέρω παραγόντων είναι η συνεχής μεταβολή της κατάστασης της ατμόσφαιρας και η δημιουργία περιοχών υψηλών πιέσεων (αντικυκλώνες), όπως και περιοχών χαμηλών πιέσεων (κυκλώνες). Εν γένει ο άνεμος έχει μεγαλύτερη ένταση επάνω από τους ωκεανούς παρά επάνω από την ξηρά, ενώ στην Ευρώπη περιοχές με υψηλή μέση ταχύτητα του ανέμου είναι η Ιρλανδία, η Αγγλία, το Βέλγιο, η Ολλανδία, η Γαλλία, η Πορτογαλία καθώς και οι περιοχές της ανατολικής Μεσογείου ανάμεσα στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και η χώρα μας.

Από το σύνολο των κινήσεων το υ ανέμου η σπουδαιότερη σε σχέση με τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου. Βέβαια για την επιλογή της κατάλληλης θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας απαιτείται επιπλέον της γνώσης για την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου, να έχουν καταγραφεί οι επικρατούσες στην περιοχή αναταράξεις, ο στροβιλισμός και η τύρβη του ανέμου, καθώς και η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσει του ύψους από το έδαφος. Με βάση τα παραπάνω μπορεί να πει κανείς ότι αυτή είναι μια πιο προσεκτική προσέγγιση όσον αφορά στο τι είναι άνεμος πως δημιουργείται και που οφείλεται η κίνηση του. Πέρα απ αυτό όμως πρέπει να λάβουμε υπόψη μας και τους παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα του ανέμου και τη διεύθυνση του.

### 2.3 Επίδραση των επιφανειακών εμποδίων:

Με τον ορό επιφανειακό εμπόδιο εννοούμε κάθε εμπόδιο που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης είτε αυτό είναι φυσικό είτε τεχνητό και το οποίο εμποδίζει την ελεύθερη κυκλοφορία του ανέμου. Για την καλύτερη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας, είναι καλύτερο η φτερωτή της ανεμογεννήτριας να βρίσκεται εκτός περιοχής επίδρασης των επιφανειακών εμποδίων και αυτό γιατί έτσι έχουμε μεγιστοποίηση της διαθέσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου, το πεδίο ροής του ανέμου είναι ελεύθερο στροβιλισμού και η τύρβη του ανέμου ελάχιστη. Άρα είναι σημαντικό και σκόπιμο προτού κάνουμε οτιδήποτε να εντοπίσουμε αυτές τις περιοχές επιρροής των επιφανειακών εμποδίων. Για να γίνει περισσότερο κατανοητό αυτό μπορούμε να πάρουμε το χαρακτηριστικό παράδειγμα των δέντρων, των οποίων η παρουσία έχει σαν παράδειγμα το μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου, όταν αυτά βρίσκονται σε συστοιχία όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 5: Νέα κατανομή ταχύτητας λόγω εμποδίων

Παρατηρούμε ότι το οριακό στρώμα φαίνεται να αναπτύσσεται από την κορυφή των δένδρων και κατάντη. Στις περιπτώσεις αυτές το ύψος της ζώνης επιρροής είναι τουλάχιστον πέντε έως έξι (5-6) φορές το μέσο ύψος των δένδρων. Απ αυτό συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η τοποθέτηση της φτερωτής πρέπει να βρίσκεται εκτός του πεδίου επίδρασης των δέντρων στη συμπεριφορά του ανέμου. Πολύ συχνά και για περιπτώσεις υψηλών δένδρων αναφέρεται στην υπό μελέτη τοποθεσία η ύπαρξη περιοχών όπου έχουμε μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου και δημιουργία έντονων στροβίλων ανακυκλοφορίας. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται "ανεμοφράκτες" και αποτελούν σαφή ένδειξη της ύπαρξης ανέμου υψηλών ταχυτήτων.

Τα παρακείμενα κτίρια αποτελούν ένα άλλο είδος εμποδίων, δεδομένου ότι η παρουσία τους διαταράσσει σε σημαντική έκταση το πεδίο ροής του ανέμου. Επιπλέον οι οξείες γωνίες του κτιρίου

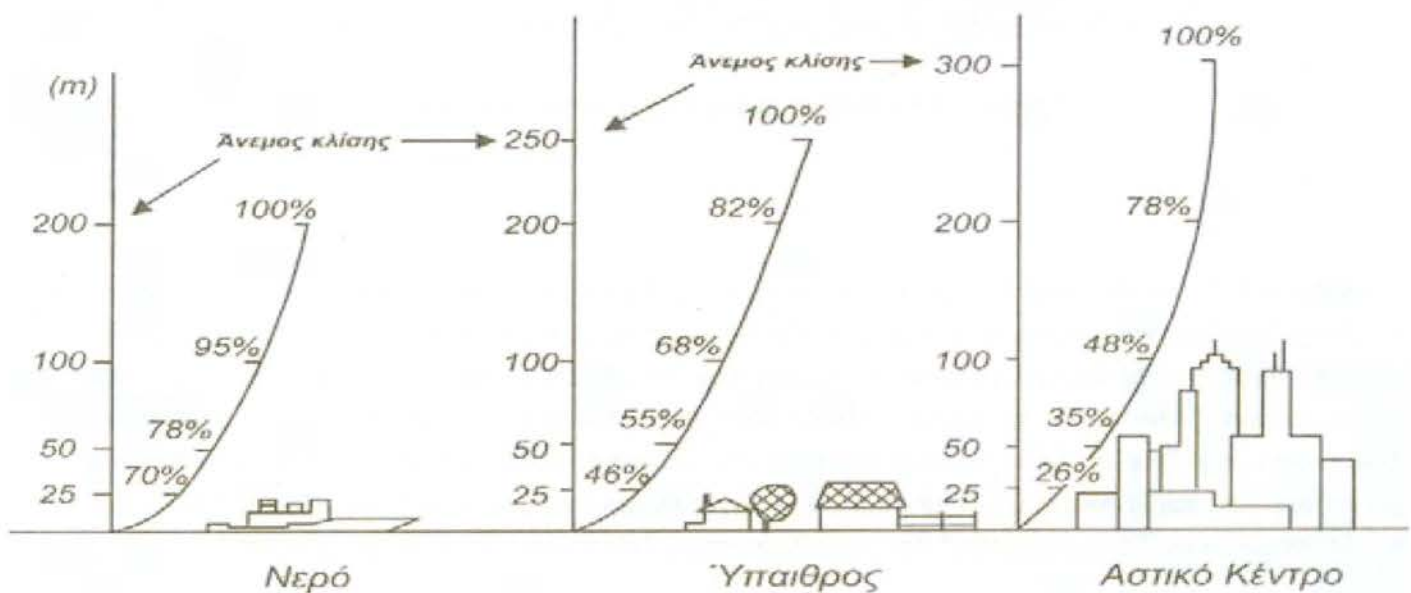
αποτελούν την πηγή εκροής μεμονωμένων στροβίλων με αποτέλεσμα την πλήρη τροποποίηση των χαρακτηριστικών του ανέμου.

Εκτεταμένες έρευνες που αφορούν τη ροή γύρω από κτίρια κατέληξαν ότι η ζώνη επιρροής των κτιρίων περιλαμβάνει, δύο φορές το ύψος του κτιρίου ανάντη, δέκα φορές το ύψος του κτιρίου κατάντη και ύψος τουλάχιστον στον διπλάσιο του κτιρίου στην πέρηξ του κτιρίου περιοχή. Σαν παράδειγμα αναφέρεται ότι σε απόσταση δεκαπλάσια του ύψους του κτιρίου έχουμε κατά 5% αύξηση του επιπέδου της τύρβης και κατά 6% μείωση της ταχύτητας του αέρα, η οποία και οδηγεί σε μείωση κατά 17% της διαθέσιμης ενέργειας του αδιατάρακτου ρεύματος στα ανάντη του κτιρίου.

### Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους

Άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου είναι η τραχύτητα του εδάφους. Το πόσο σημαντική επίδραση έχει στη συμπεριφορά του ανέμου το καταλαβαίνουμε αν αναλογιστούμε ότι καμιά φορά παρόλο που έχουμε ένα αιολικό πάρκο σε μια περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό , η απόδοση του είναι μέτρια. Η αιτία γι αυτό είναι ότι στις περισσότερες περιπτώσεις, η ανεμογεννήτρια λειτουργεί σε έντονα μεταβαλλόμενο πεδίο ροής λόγω της υψηλής τύρβης της περιοχής η οποία με τη σειρά της εξαρτάται από την ύπαρξη μεμονωμένων κτιρίων ή άλλων εμποδίων όσο και από την τραχύτητα του εδάφους της περιοχής. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η επίδραση της ταχύτητας στη διανομή της ταχύτητας του ανέμου:

Επίδραση Τραχύτητας στην Ταχύτητα Ανέμου

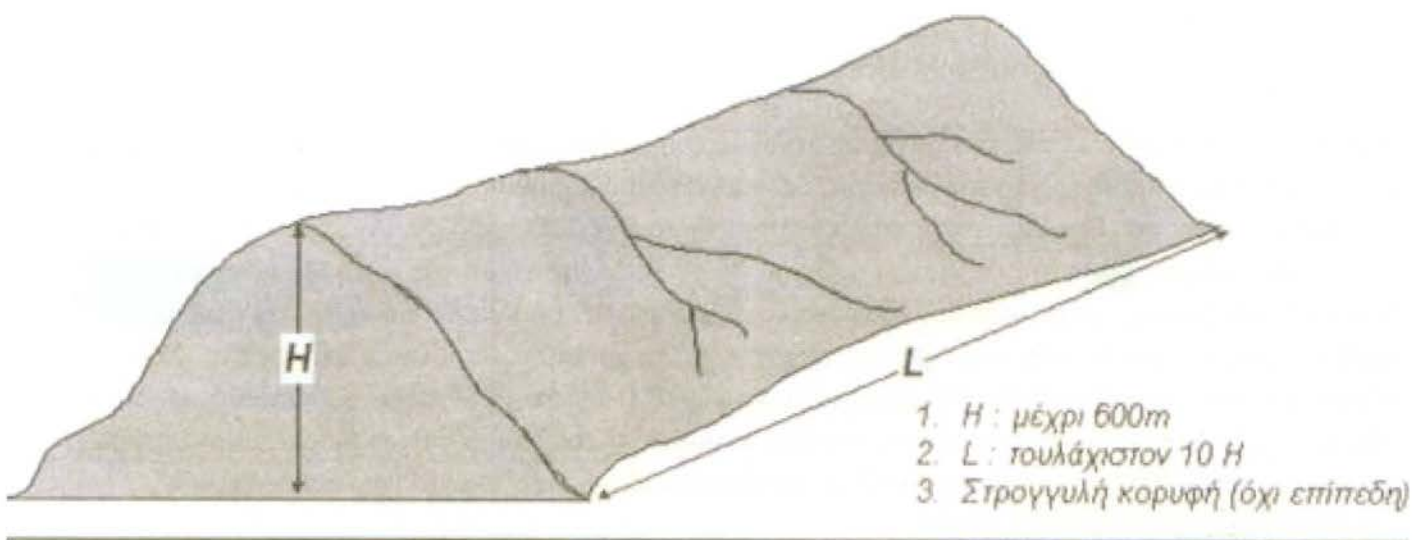


Σχήμα 6: Επίδραση τραχύτητας στην ταχύτητα ανέμου.

## Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής

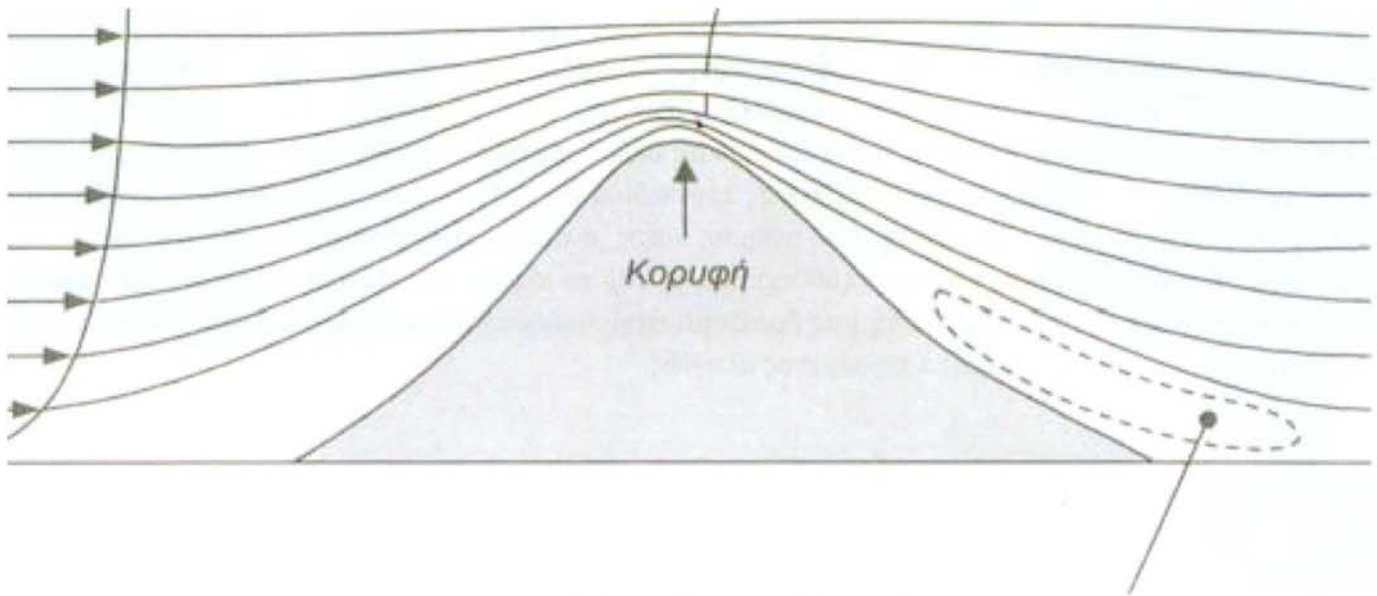
Αν πάρει κανείς τις αναλυτικές σχέσεις που αναφέρονται στη διανομή της ταχύτητας και τις εφαρμόσει σε πραγματικές συνθήκες θα δει ότι υπάρχουν μεγάλες αποκλίσεις απ αυτά που θα περίμενε σύμφωνα με τα νούμερα που εξάγονται από τους τύπους. Αυτό εξηγείται εύκολα αν λάβουμε υπόψη μας ότι όλες αυτές οι σχέσεις ισχύουν σε ιδανικές συνθήκες και σε περιοχές που χαρακτηρίζονται " επίπεδες επιφάνειες." Στην πραγματικότητα όμως καμία περιοχή δεν είναι έτσι. Μεγάλη επίδραση λοιπόν έχει και η μορφολογία του εδάφους στη συμπεριφορά του ανέμου και στην επιλογή κατάλληλης θέσης για την τοποθέτηση ανεμογεννήτριας.

Για το λόγο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε ορισμένα στοιχεία που αφορούν στην παρουσία λοφοσειρών και περασμάτων στην υπό διερεύνηση περιοχή. 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. Το μέγιστο ύψος της λοφοσειράς δεν υπερβαίνει τα εξακόσια (600m) 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 7: Τυπική λοφοσειρά

Βασιζόμενοι στους κλασικούς 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 αρνητικές κλίσεις της ταχύτητας που συνοδεύουν τυχόν αποκόλληση τηροής, αφετέρου περιοχές υψηλής τύρβης όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 8: Πιθανή ζώνη υψηλής τύρβης.

Ολοκληρώνοντας πρέπει να επισημάνουμε ότι ιδιαίτερη επίδραση στη συνολική διανομή της ταχύτητας του ανέμου έχει η διαμόρφωση του εδάφους, δεδομένου ότι η παρουσία εμποδίων, στενώσεων ή ανοιγμάτων τροποποιεί σημαντικά τα αιολικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής. Αν και υπάρχουν αρκετές αναλυτικές 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 ανάντη της ανεμογεννήτριας, ώστε να μεγιστοποιηθεί η διαθέσιμη αιολική ενέργεια και να ελαχιστοποιηθεί η αναπτυσσόμενη ατμοσφαιρική τύρβη .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

#### 3.1 Εισαγωγή

Το αιολικό δυναμικό είναι μια επίπονη διαδικασία τα αποτελέσματα της οποίας στηρίζονται σε μαθηματικά μοντέλα τα οποία λαμβάνουν υπόψη τους συνθήκες οι οποίες είναι πρακτικά αδύνατο να υπάρξουν όπως για παράδειγμα επίπεδα εδάφη κ.τ.λ. Αυτό το γεγονός μας κάνει να καταλάβουμε ότι τα αποτελέσματα που εξάγονται απ τα μοντέλα αυτά δεν είναι δυνατό να ανταποκρίνονται στην πραγματικότητα παρά μόνο αν γίνουν κάποιες παραδοχές. Φροντίζουμε λοιπόν έτσι ώστε οι μετρήσεις που παίρνουμε για μια περιοχή να είναι κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και πιο συγκεκριμένα περίπου 10 χιλιόμετρα απ τον ανεμογράφο μπορούμε να δεχτούμε τα αποτελέσματα που παίρνουμε σαν ακριβή.

#### 3.2 Μετρήσεις

Οι μετρήσεις που μας χρειάζονται προκειμένου να πάρουμε τα στοιχεία που θέλουμε για την περιοχή ενδιαφέροντος λαμβάνονται από τον μετεωρολογικό ιστό. Τοποθετείται κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και πιο συγκεκριμένα στην ψηλότερη κορυφή για την αποφυγή κάθε είδους φυσικού ή τεχνητού εμποδίου προκειμένου να μην υπάρξει έτσι αλλοίωση αποτελεσμάτων. Οι ιστοί στήνονται σε ύψος τουλάχιστον 10 μ. από το έδαφος και μακριά από δέντρα και άλλα εμπόδια , όπου αυτό είναι εφικτό.

Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα μας . Σ' αυτές τις περιπτώσεις εγκαθιστούμε ψηλότερους ιστούς με ύψος έως και 60 μέτρα και τοποθετούμε όργανα σε διάφορα ύψη (10μ , 30μ , 45μ , 60μ ) .Με αυτό τον τρόπο έχουμε ακριβή ένδειξη της ταχύτητας στο ύψος της πτερωτής της Α/Γ που είναι συνήθως πάνω από τα 50μ. Οι προϋποθέσεις αυτές εξασφαλίζουν την ορθότητα των δεδομένων που παίρνουμε.

Οι μετρητικές διατάξεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, ( ανεμόμετρο-ανεμοδείκτης ) τοποθετούνται σε ένα ιστό είναι το ανεμόμετρο και ο ανεμοδείκτης και πολλές φορές τοποθετούνται σε ζευγάρια , έτσι ώστε στην περίπτωση που το ένα καταστραφεί , να έχουμε ενδείξεις από το άλλο . Τα όργανα συνδέονται σε ένα καταγραφικό ( data logger ) το οποίο όπως είπαμε παίρνει τις μετρήσεις και τις αποθηκεύει. Μέσα από το καταγραφικό έχουμε τη δυνατότητα να ορίσουμε την περίοδο δειγματοληψίας. Για παράδειγμα όταν πρόκειται για ανέγερση 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 την διεύθυνση.

### 3.3 Προσδιορισμός αιολικού δυναμικού μιας περιοχής .

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. Για την καταγραφή των στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα πίεσης, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Επιπλέον των προαναφερομένων συνηθισμένων τρόπων μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιούνται και ανεμόμετρα θερμού στοιχείου καθώς και ανεμόμετρα τύπου "laser", κύρια σε πειραματικές εγκαταστάσεις υψηλής ακρίβειας, όπως για παράδειγμα στη περίπτωση μελέτης του ομόρου ανεμογεννήτριας μέσα σε αεροδυναμική σήραγγα . Από τα κλασσικά ανεμόμετρα ταχύτητας, τα πιο γνωστά είναι τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα.

Αυτά αποτελούνται ( βλέπε σχήμα 9) 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, σε 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 διαμέσου του κατακόρυφου άξονα σε ένα καταγραφικό σύστημα. Για την καταγραφή των στροφών του κατακόρυφου άξονα χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα, που περιλαμβάνουν:

α. Μηχανικό στροφόμετρο, που καταγράφει τον αριθμό των περιστροφών των κυπέλλων από τη στιγμή έναρξης λειτουργίας του οργάνου.

β. Ηλεκτρική επαφή, η οποία κλείνει μετά από ένα ορισμένο αριθμό στροφών, και μέσω καταγραφικού δίνει απ' ευθείας τη μέση ταχύτητα του ανέμου.



Σχήμα 9: Κυπελλοφόρο ανεμόμετρο



γ. Μικρή ηλεκτρογεννήτρια, η οποία μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του άξονα σε ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο και μετατρέπεται σε ένδειξη ταχύτητας.

δ. Φωτοηλεκτρικό διακόπτη, ο οποίος μετατρέπει την ταχύτητα περιστροφής σε στιγμιαία ταχύτητα ανέμου στην έξοδο του συστήματος.

Μέχρι σήμερα έχουν αναφερθεί αρκετές προσπάθειες συσχέτισης της ταχύτητας του ανέμου "V" με τη γραμμική ταχύτητα "υ" περιστροφής των κυπέλλων, πράγμα που εάν επιτευχθεί θα διευκολύνει τη βαθμονόμηση των ανεμόμετρων. Εν γένει, ο λόγος "V/υ" δεν είναι σταθερός, ομαλότερη δε συμπεριφορά παρουσιάζουν ανεμόμετρα με:

α. Τρία κύπελλα αντί τεσσάρων, δεδομένου ότι η στρεπτική ροπή συστήματος με τρία κύπελλα είναι πιο ομοιόμορφη για όλο το πεδίο ταχυτήτων του ανέμου, ενώ εμφανίζει και μεγαλύτερες τιμές στρεπτικής ροπής ανά μονάδα βάρους.

β. Κωνικά κύπελλα έναντι των σφαιρικών.

γ. Στρογγυλεμένα χείλη των κυπέλλων, δεδομένου ότι είναι λιγότερο ευαίσθητα στις αναταράξεις του αέρα από ότι τα έχοντα αιχμηρά χείλη.

Ένα βασικό μειονέκτημα των ανεμόμετρων αυτού του τύπου είναι το γεγονός ότι δεν έχουν συμμετρική απόκριση στην αύξηση ή μείωση της έντασης του ανέμου, δεδομένου ότι τα κύπελλα του οργάνου εξακολουθούν λόγω αδράνειας να περιστρέφονται ακόμα και όταν ο άνεμος σταματήσει. Στις περιπτώσεις αυτές οι ενδείξεις του οργάνου είναι μεγαλύτερες από την πραγματική ένταση του ανέμου. Για κλιματολογικούς και πρακτικούς λόγους έχει συμφωνηθεί ότι σε μια ομοιογενή περιοχή (η οποία εκτείνεται 300 μέτρα γύρω από το όργανο), ο ανεμογράφος πρέπει να τοποθετείται σε ύψος 10 μέτρα από το έδαφος, ώστε να επιτυγχάνεται μια αντιπροσωπευτική καταγραφή του αιολικού δυναμικού της περιοχής.

Σε μια τοποθεσία με ομοιόμορφη κατανομή εμποδίων με μέσο ύψος εμποδίων "H", το όργανο πρέπει να τοποθετηθεί σε ύψος "10+H" μέτρων από το έδαφος, όπου  $H_{max}=12m$ . Στην περίπτωση ύπαρξης εμποδίων γύρω από το όργανο, πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν στην εύρεση της βέλτιστης θέσης του οργάνου οι διαστάσεις των εμποδίων, εφ' όσον είναι απαραίτητο να γίνουν μετρήσεις στην περιοχή αυτή. Αντίστοιχες διορθώσεις πρέπει να ληφθούν υπόψιν στην περίπτωση υποχρεωτικής τοποθέτησης του ανεμομέτρου σε ειδικές θέσεις, όπως για παράδειγμα στην κορυφή ενός κτιρίου, δεδομένου ότι το ίδιο το κτίριο διαταράσσει τη ροή του ανέμου.

## Διεύθυνση του ανέμου.

Μια άλλη σημαντική παράμετρος όσον αφορά στην κατανόηση της συμπεριφοράς του ανέμου είναι η διεύθυνση του. Η διεύθυνση του ανέμου σε μια θέση δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται συνεχώς, καθορίζεται δε με βάση το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, σε σχέση με τη θέση μέτρησης. Στο σχήμα 2.4 δίνεται η ονοματολογία των ανέμων με βάση ναυτικές, ενετικές και αρχαιοελληνικές ονομασίες. Η διεύθυνση του ανέμου είναι συνάρτηση του αληθούς βορρά, και μετριέται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, σε μοίρες ή σε τιμές που αντιστοιχούν σε ολόκληρο κυκλικό τομέα. Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια χρησιμοποιούνται 8, 12 , 16 ή 32 τομείς, βλέπε και πίνακα 2.5 όπου καθορίζονται οι κυκλικοί τομείς για κάθε μία από τις 32 διευθύνσεις



Κατά την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, χαρακτηρίζουμε σαν κύρια διεύθυνση του ανέμου κάθε διεύθυνση η οποία συνεισφέρει τουλάχιστον 10% στη συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια. Οι κύριες διευθύνσεις του ανέμου είναι διαφορετικές για κάθε τοποθεσία, δεδομένου ότι ο προσανατολισμός των λόφων, των βουνών και των κοιλάδων, η υπάρχουσα βλάστηση καθώς και η ύπαρξη κτιρίων ανάμεσα στα άλλα επηρεάζουν τις κύριες διευθύνσεις του ανέμου.

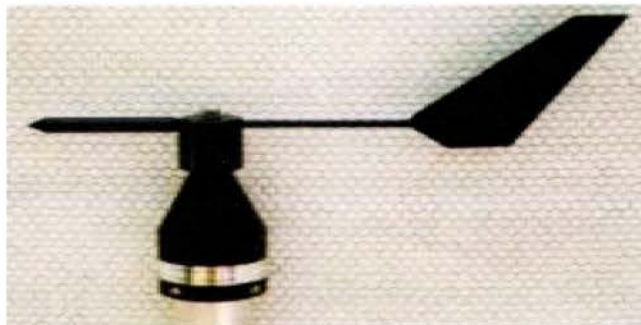
Η διεύθυνση του ανέμου η οποία στην υπό μελέτη περιοχή έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ονομάζεται επικρατούσα διεύθυνση. Η επικρατούσα διεύθυνση μεταβάλλεται συνήθως με την εποχή του χρόνου. Τέλος, ο χώρος μεταξύ του σημείου το οποίο θέλουμε να εγκαταστήσουμε μια ανεμογεννήτρια και του σημείου του ορίζοντα, από το οποίο πνέει συνήθως ο άνεμος (επικρατούσα διεύθυνση), μας προσδιορίζει την προσήνεμη περιοχή. Αντίστοιχα, η υπήνεμη περιοχή είναι αυτή η οποία είναι προστατευμένη από τον άνεμο (περιοχές που εκτίθενται σε ανέμους με ελάχιστη συχνότητα εμφάνισης) και είναι συχνά αντίθετη της προσήνεμης περιοχής. Στον Ελλαδικό χώρο η επικρατούσα κατά κανόνα διεύθυνση των ανέμων είναι η βόρεια και βορειανατολική, ιδιαίτερα στην περιοχή του Αιγαίου, χωρίς βέβαια να αποκλείονται περιπτώσεις σε περιοχές με διαφορετική επικρατούσα διεύθυνση.

### Μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου.

Η διεύθυνση του ανέμου βρίσκεται 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, βλέπε σχήμα 11. 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:

- α. Περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονά του με ελάχιστες τριβές.
- β. Δεν παρουσιάζει τάσεις κλίσεως προς μια διεύθυνση. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακριβή αντιστάθμιση των ελασμάτων με τη χρήση αντίβαρου.
- γ. Εμφανίζει τη μέγιστη ροπή στρέψης για δεδομένη αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με την αδράνεια του οργάνου.
- δ. Παρουσιάζει γρήγορη απόκριση στις διαρκείς διακυμάνσεις της διεύθυνσης του ανέμου.
- ε. Παρουσιάζει επαρκή απόσβεση των στρεπτικών 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.



Σχήμα 11: Ανεμοδείκτης

Επειδή οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι μια παράμετρος η οποία δεν είναι δυνατόν να προβλεφθεί και να αναλυθεί με τρόπο σαφή και εμπειριστατωμένο, για το λόγο αυτό χρησιμοποιούμε στατιστικές τεχνικές για την περιγραφή των χαρακτηριστικών του ανέμου . Μ αυτό τον τρόπο , 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 I10 . Η διάτμηση (shear) μας δείχνει αν έχουμε πρόβλημα με μεγαλύτερη ταχύτητα ανέμου σε ύψος μικρότερο της πλήμνης 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 .

### 3.4 Τυρβή

Ο υπολογισμός της τύρβης γίνεται με βάση τη 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, είναι ένδειξη της κατανομής της παραγωγής και της απόσβεσης της τύρβης.

Μια λογαριθμική κατανομή, όπως αυτή παρουσιάζεται στο υπό μελέτη πεδίο, μακριά από απόκρημνες πλαγιές αναμένεται να δώσει κατανομή τύρβης όπως αυτή των ομογενών πεδίων.

### 3.5 Διάτμηση

Ως διάτμηση ορίζεται η κλίση της καμπύλης της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος από το έδαφος . Όταν αυτή η κλίση πάρει μια ορισμένη αρνητική τιμή (εξαρτάται από τον κατασκευαστή της 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 .

Αυτές οι δυο πολύ σημαντικές παράμετροι του ανέμου που είναι καθοριστικοί για την επιλογή της κατάλληλης περιοχής προκειμένου να δημιουργηθεί ένα αιολικό πάρκο αξιοποιούνται με τη βοήθεια ενός κατάλληλου προγράμματος που ονομάζεται WASP Engineering (Το λογισμικό WASP Engineering χρησιμοποιεί δεδομένα από τον ανεμογράφο και τον χάρτη της περιοχής . Χρησιμοποιώντας ένα αρκετά περίπλοκο σετ εξισώσεων δίνει στο χρήστη αναφορές που δείχνουν την πιθανότητα να έχουμε εμφάνιση υψηλού ποσοστού τύρβης ή αρνητικής διάτμησης στις θέσεις όπου έχουμε επιλέξει να εγκαταστήσουμε τις Α/Γ. Αν οι τιμές αυτές υπερβαίνουν τα ανώτατα όρια που έχει ορίσει ο κατασκευαστής των ανεμογεννητριών τότε είμαστε αναγκασμένοι να επιλέξουμε νέα θέση για την Α/Γ γιατί οι συνέπειες μπορεί να είναι καταστροφικές).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Ο άνθρωπος πρωτοχρησιμοποίησε την αιολική ενέργεια στα ιστιοφόρα πλοία, γεγονός που συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη της ναυτιλίας. Μια άλλη εφαρμογή της αιολικής ενέργειας είναι οι ανεμόμυλοι. Μαζί με τους νερόμυλους συγκαταλέγονται στους αρχικούς κινητήρες που αντικατέστησαν τους μυς των ζώων ως πηγές ενέργειας. Διαδόθηκαν πολύ στην Ευρώπη επί 650 χρόνια, από τον 12ο μέχρι τις αρχές του 19ου αιώνα, οπότε άρχισε σταδιακά να περιορίζεται η χρήση τους, λόγω κυρίως της ατμομηχανής. Η οριστική τους εκτόπιση άρχισε μετά τον Α' Παγκόσμιο πόλεμο, παράλληλα με την ανάπτυξη του κινητήρα εσωτερικής καύσεως και την διάδοση του ηλεκτρισμού.

#### 4.1 Εισαγωγή

Ο ανεμόμυλος χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως ανεμογεννήτρια το 1890 όταν εγκαταστάθηκε πάνω σε χαλύβδινο πύργο ο ανεμόμυλος του Π. Λα Κούρ στη Δανία, με ισχία με σχισμές και διπλά πτερύγια αυτόματης μετάπτωσης προς τη διεύθυνση του ανέμου. Μετά τον Α' Παγκόσμιο πόλεμο, έγιναν πειράματα με ανεμόμυλους που είχαν ισχία αεροτομής, δηλαδή όμοια με πτερύγια αεροπορικής έλικας. Το 1931 μια τέτοια ανεμογεννήτρια εγκαταστάθηκε στην Κριμαία και η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς διοχετευόταν στο τμήμα χαμηλής τάσης του τοπικού δικτύου. Πραγματικές ανεμογεννήτριες με δύο πτερύγια λειτούργησαν κατά στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1940, στην Αγγλία στη δεκαετία του 1950 καθώς και στη Γαλλία. Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στη Δανία από τον J.Juul με τρία πτερύγια αλληλοσυνδεδεμένα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Στην Ολλανδία εκτελέστηκαν πειράματα από τον F.G. Pigeaud με αντικείμενο τη μετασκευή των παλαιών ανεμόμυλων άλεσης δημητριακών, έτσι ώστε η πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή.

Χρησιμοποιήθηκε ένας ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο (σε περίπτωση άπνοιας) ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια, όταν φυσούσε. Ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης περιλάμβανε συμπλέκτη παράκαμψης με σκοπό ο ηλεκτροκινητήρας να μην κινεί τα ιστία παρά μόνο να εκτελεί χρήσιμο έργο. Η οροφή στρεφόταν με τη βοήθεια σερβοκινητήρα που ελεγχόταν από έναν ανεμοδείκτη. Μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο πολλοί περίμεναν ότι η αιολική ενέργεια θα συνέβαλλε σημαντικά στην παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά οι προσπάθειες ανάπτυξης ανεμογεννητριών ατόνησαν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Οι προσπάθειες αυτές ξανάρχισαν πιο έντονες μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση (1973) και στηρίχθηκαν κατά μεγάλο μέρος στην σύγχρονη αεροδιαστημική τεχνολογία. Έτσι αναπτύχθηκαν διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών και στις αρχές της δεκαετίας του 1980 διατίθονταν στο εμπόριο συγκροτήματα μικρής ισχύος (μέχρι 20-25 kW) ενώ είχαν κατασκευαστεί και ανεμογεννήτριες μεγαλύτερης ισχύος (3-4MW).

## Τεχνολογία Ανεμογεννήτριας

Κατά τη δεκαετία του 1970 η αιολική ενέργεια συγκέντρωσε όπως και άλλες εναλλακτικές μορφές ενέργειας το ενδιαφέρον των ερευνητών, λόγω της διεθνούς ενεργειακής κρίσης και της αυξανόμενης ρύπανσης του περιβάλλοντος. Ο άνεμος αποτελεί μία ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, της οποίας η εκμετάλλευση δεν ρυπαίνει το περιβάλλον, δεν απαιτεί περίπλοκες κατασκευές, δεν εμπεριέχει κόστος καυσίμου και δεν επηρεάζεται από τις ενεργειακές κρίσεις της παγκόσμιας αγοράς.

Κατά τη δεκαετία του 1980 σημειώθηκε ραγδαία εξέλιξη στην έρευνα για την αιολική ενέργεια και στην τεχνολογία για την εκμετάλλευσή της. Έτσι, μειώθηκε σταδιακά το λειτουργικό κόστος των ανεμογεννητριών, σε επίπεδο που κατέστησε την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας οικονομικά συμφέρουσα, αντιμετωπίστηκαν ικανοποιητικά τα μηχανολογικά τους προβλήματα και δόθηκε έμφαση στην ασφαλή τους λειτουργία και στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων.

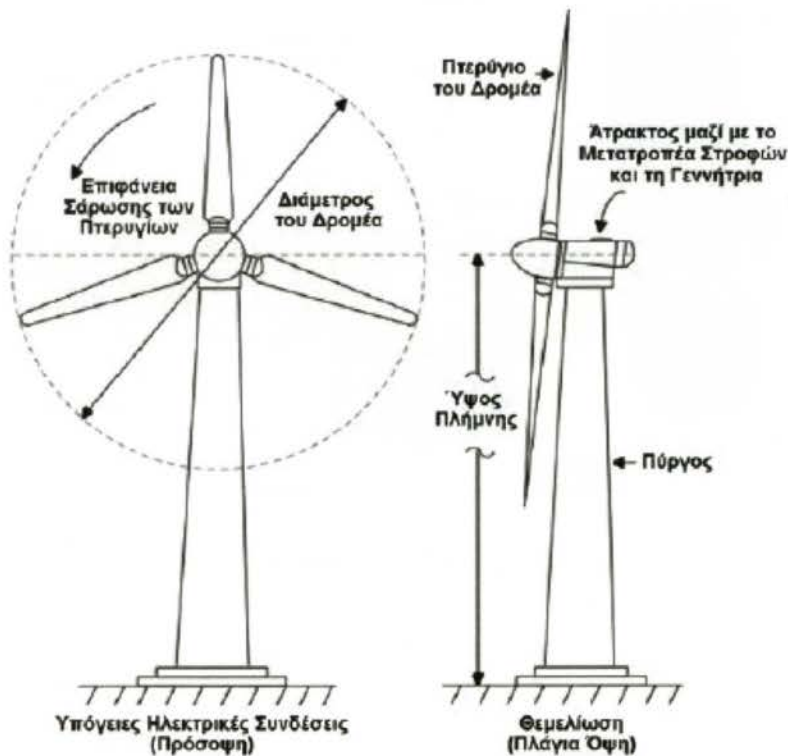
Συγκεκριμένα, η απόδοσή τους αυξήθηκε σημαντικά χάρη στη βελτίωση του μηχανολογικού σχεδιασμού τους και της αεροδυναμικής συμπεριφοράς τους, στη χρησιμοποίηση σύγχρονων υλικών κατασκευής και στην εισαγωγή ηλεκτρονικών διατάξεων (μικροεπεξεργαστών και αισθητήρων ελέγχου) στο σύστημα λειτουργίας τους. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών συστημάτων (αλλοίωση του τοπίου, διατάραξη του οικοσυστήματος, ηχορύπανση) αντιμετωπίζονται με προσεκτική επιλογή του χώρου εγκατάστασης των αιολικών πάρκων, σωστό σχεδιασμό των ανεμογεννητριών και χωροθέτησή τους. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της κυμαινόμενης ισχύος της αιολικής ενέργειας, εφαρμόζεται ο συνδυασμός ανεμογεννητριών με ηλιακούς φωτοβολταϊκούς σταθμούς, και -ιδιαίτερα στις αναπτυσσόμενες χώρες- με γεννήτριες Ντιζελ (Wind/Diesel Systems) για την παραγωγή ρεύματος, οι οποίες τίθενται σε λειτουργία, όταν η ταχύτητα του ανέμου πέφτει κάτω από το όριο λειτουργίας των ανεμογεννητριών.

Ακόμη, ενδιαφέρον παρουσιάζει μία πρωτοποριακή μέθοδος που πρωτοεφαρμόστηκε στη δεκαετία του 1980, σύμφωνα με την οποία, τις ημέρες που το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής είναι αυξημένο (μεγάλη ταχύτητα ανέμου), η περίσσεια ισχύος που παράγεται χρησιμοποιείται για τη διάσπαση νερού και την παραγωγή υδρογόνου. Σε ημέρες άπνοιας το υδρογόνο καίγεται σε θερμογεννήτριες, παράγοντας ενέργεια και εκπέμποντας μόνο υδρατμούς στο περιβάλλον. Επίσης, αξιοσημείωτη εφαρμογή της αιολικής ενέργειας είναι ο συνδυασμός της με την υδροηλεκτρική ενέργεια: ανεμοκινητήρες που κινούν αντλίες νερού μπορούν, τις ημέρες όπου το αιολικό δυναμικό παρουσιάζεται αυξημένο, να χρησιμοποιούν την παραγόμενη περίσσεια ισχύος για την αποταμίευση νερού σε ταμιευτήρες που βρίσκονται σε μεγάλο ύψος. Το νερό αυτό μπορεί να χρησιμοποιείται για άρδευση ή σε ημέρες άπνοιας να διατίθεται για την κίνηση υδροστροβίλων και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.



Από την άλλη πλευρά, για την καλύτερη αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στις χώρες που αναπτύσσουν αντίστοιχα προγράμματα, βασικό παράγοντα αποτελεί η χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού, αν και η πραγματοποίησή της είναι δαπανηρή και απαιτεί χρόνο. Το πρόβλημα, ωστόσο, αυτό επιλύθηκε κατά ένα μεγάλο μέρος με την ανάπτυξη -κατά τη δεκαετία του 1980- των αιολικών μοντέλων. (Αιολικό μοντέλο είναι ένας κατ' εκτίμηση αιολικός χάρτης για μία ευρύτερη περιφέρεια, ο οποίος συντάσσεται με τη βοήθεια αριθμητικών μεθόδων και με βάση τα ανεμολογικά δεδομένα ορισμένων μόνο περιοχών της). Με τον τρόπο αυτό μπορεί σε σύντομο χρόνο να εκτιμηθούν και να επιλεγούν περιοχές με αυξημένο αιολικό δυναμικό, και στη συνέχεια να πιστοποιηθούν οι εκτιμήσεις, με μετρήσεις επί τόπου.

Η ανεμογεννήτρια αποτελείται από ένα μεταλλικό πύργο, στην κορυφή του οποίου εδράζεται η άτρακτος της ανεμογεννήτριας. Στην άτρακτο βρίσκεται προσαρμοσμένος ο κύριος εξοπλισμός της ανεμογεννήτριας ο οποίος αποτελείται από τον κύριο άξονα πάνω στον οποίο εδράζεται η πλήμνη και ο δρομέας της ανεμογεννήτριας, τον πολλαπλασιαστή στροφών και την ηλεκτρογεννήτρια. Ο δρομέας της ανεμογεννήτριας αποτελείται από τρία πτερύγια με συγκεκριμένη διάμετρο.

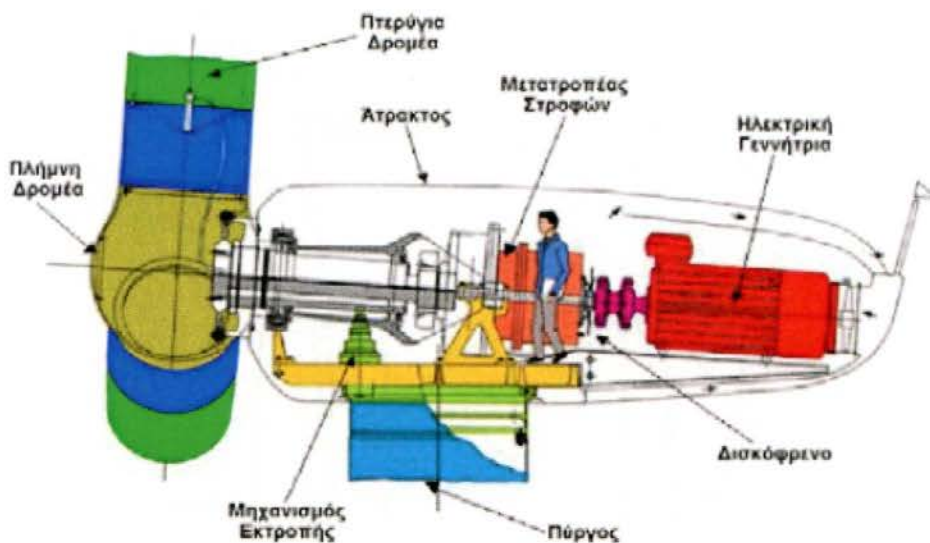


Σχήμα 12: Ανεμογεννήτρια

Ο πυλώνας της ανεμογεννήτριας είναι χαλύβδινος, κυλινδρικός με αλαφρά κωνικότητα. Ο πυλώνας είναι κλειστός προς το εξωτερικό περιβάλλον. Η πρόσβαση στο εσωτερικό του γίνεται από

μεταλλική πόρτα που βρίσκεται στη βάση του πύργου. Ο πυλώνας φέρει στο εσωτερικό του μεταλλική σκάλα η οποία επιτρέπει την πρόσβαση στην άτρακτο της ανεμογεννήτριας.

Η άτρακτος της ανεμογεννήτριας αποτελείται από χαλύβδινο πλαίσιο και το περίβλημα το οποίο είναι κατασκευασμένο από πολυεστερικό υλικό. Η άτρακτος είναι κλειστή προς το εξωτερικό περιβάλλον και εδράζεται επί του πύργου της ανεμογεννήτριας μέσω συστήματος κορώνας-πινιόν έτσι ώστε να επιτρέπεται η περιστροφή της ατράκτου κατά 360 μοίρες σε σχέση με τον πύργο της ανεμογεννήτριας. Στην βάση της ανεμογεννήτριας και εσωτερικά του πύργου ευρίσκεται ο κεντρικός ηλεκτρικός πίνακας και ο ελεγκτής της ανεμογεννήτριας μέσω των οποίων γίνεται η σύνδεση της ανεμογεννήτριας στο ηλεκτρικό δίκτυο και ο έλεγχος του συνόλου των λειτουργιών της ανεμογεννήτριας αντίστοιχα.



Σχήμα 13: Άτρακτος

## Πώς λειτουργεί η ανεμογεννήτρια

Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα. Ο άξονας περνάει μέσα σε ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης όπου αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Το κιβώτιο συνδέεται με έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής ο οποίος κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Αν η ένταση του ανέμου ενισχυθεί πάρα πολύ, η τουρμπίνα έχει ένα φρένο που περιορίζει την υπερβολική αύξηση περιστροφής των πτερυγίων για να περιοριστεί η φθορά της και να αποφευχθεί η καταστροφή της.

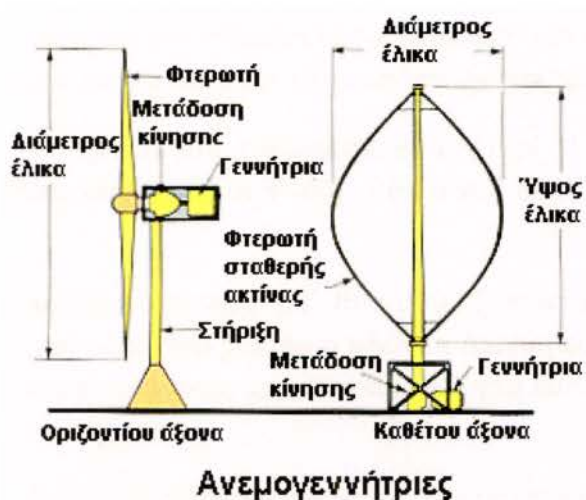
Η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να είναι περισσότερο από 15 kph για να μπορέσει η μια κοινή τουρμπίνα να παράγει ηλεκτρισμό. Συνήθως παράγουν 50-300 Kw η κάθε μία. Ένα Kw ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να ανάψει 100 λάμπες των 100w.

Καθώς η γεννήτρια περιστρέφεται παράγει ηλεκτρισμό με τάση 25.000 volt. Το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει πρώτα από ένα μετασχηματιστή στην ηλεκτροπαραγωγική μονάδα ο οποίος ανεβάζει την τάση του στα 400.000 volt. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διανύει μεγάλες αποστάσεις είναι καλύτερα να έχουμε υψηλή τάση.

Τα μεγάλα, χοντρά σύρματα της μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι κατασκευασμένα από χαλκό ή αλουμίνιο για να υπάρχει μικρότερη αντίσταση στη μεταφορά του ρεύματος. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση του σύρματος τόσο πιο πολύ θερμαίνεται. Έτσι κάποιο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας χάνεται επειδή μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια.

Τα σύρματα μεταφοράς ρεύματος καταλήγουν σε ένα υποσταθμό όπου οι μετασχηματιστές του μετατρέπουν την υψηλή τάση σε χαμηλή για να μπορέσουν να λειτουργήσουν ηλεκτρικές συσκευές.

## 4.2 Τύποι ανεμογεννητριών



Σχήμα 14: τύποι ανεμογεννητριών

Οι Α/Γ διακρίνονται ανάλογα με τον τρόπο περιστροφής του δρομέα των πτερυγίων σε Α/Γ κατακόρυφου και οριζοντίου άξονα που είναι και οι πλέον διαδεδομένες καθώς επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας τόσο ως προς το βαθμό απόδοσης, όσο και ως προς το κόστος παραγωγής. Οι υφιστάμενες αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης σε πολύστροφες και σε αργόστροφες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους ή ακριβέστερα ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου περιστροφής  $\lambda$ . Η παράμετρος περιστροφής (tip-speed ratio) της μηχανής  $\lambda$ , ορίζεται ως:

$$\lambda = \omega \cdot R / V$$

όπου  $R$  είναι η ακτίνα της πτερωτής,  $\omega$  η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα και  $V$  η ταχύτητα του ανέμου. Η ταχύτητα περιστροφής μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται εκτός από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής, δεδομένου ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγόκεντρες δυνάμεις.

Επιπλέον καθοριστικό ρόλο παίζει και η διασύνδεση ή μη της εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο, δεδομένου ότι σε περιπτώσεις σύγχρονων ηλεκτρογεννητριών διασυνδεδεμένων με το δίκτυο, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να έχει τη συχνότητα του κεντρικού δικτύου, δηλαδή 50 Hz για τη χώρα μας και τις χώρες της Ε.Ε. και 60 Hz για τις Η.Π.Α

## Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα

Οι Α/Γ οριζοντίου άξονα είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος Α/Γ. Περιλαμβάνουν τις Α/Γ με δρομέα ανάντη του πύργου και κατάντη του πύργου, δηλαδή εμπρός και πίσω από τον πύργο αντίστοιχα.

Ο ιστός προκαλεί στροβιλισμό του διερχόμενου αέρα για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται συνήθως Α/Γ με δρομέα ανάντη. Οι Α/Γ με δρομέα κατάντη, παρ'όλες τις αναταράξεις από στροβιλισμό, χρησιμοποιούνται επειδή δεν χρειάζονται μηχανισμό κατεύθυνσης προς τον άνεμο και τα πτερύγια μπορούν να καμφθούν μειώνοντας έτσι την αντίσταση τους στον αέρα. Επίσης περιλαμβάνονται οι κατηγορίες μονόπτερου ή πολύπτερου δρομέα, ηθμού διάχυσης και με συγκεντρωτή όπως και διάφοροι άλλοι τύποι. Ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα συγκαταλέγονται οι κλασσικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι (π.χ. τύπου Μυκόνου) καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων «αμερικανικού τύπου», οι οποίες λόγω των περιορισμένων διαστάσεών τους και της χαμηλής περιφερειακής τους ταχύτητας έχουν εγκαταλειφθεί σήμερα, αν και εμφανίζουν σχετικά μεγάλες ροπές λειτουργίας. Στο παρελθόν κατασκευάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακα αντίστοιχες μηχανές και βρήκαν ευρεία εφαρμογή για την άντληση νερού και άλλες γεωργικές χρήσεις.

Στις αιολικές μηχανές οριζοντίου άξονα περιλαμβάνονται και οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα (περίπου το 90% του συνόλου των εγκατεστημένων παγκοσμίως μηχανών), και οι οποίες ονομάζονται ανεμογεννήτριες τύπου «έλικας». Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγια τους που είναι συνήθως ένα έως τρία, βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων αλλά και σ' αυτή της έλικας των ελικοπτέρων. Ένα από τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσής τους, αλλά και η βέλτιστη λειτουργία τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου περιστροφής λ, με αποτέλεσμα την αρκετά μεγάλη σχετική ταχύτητα προσβολής των πτερυγίων από τον άνεμο. Τα πλεονεκτήματα των Α/Γ οριζοντίου άξονα συνοψίζονται στα:

- Μεταβλητού βήματος πτερύγια με βέλτιστο έλεγχο της γωνίας προσβολής με αποτέλεσμα την μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.
- Ο ψηλός ιστός στήριξης επιτρέπει μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου.
- Υψηλή απόδοση λόγω των πτερυγίων τα οποία κινούνται πάντα κάθετα στον άνεμο και λαμβάνουν ενέργεια καθ' όλη την περιστροφή και τα μειονεκτήματα στα [6]:
- Το μεγάλο μήκος των ιστών και των πτερυγίων δυσκολεύει την μεταφορά που μπορεί να κοστίζει και το 20% του συνολικού κόστους του εξοπλισμού.
- Η μαζική παραγωγή ιστών για την υποστήριξη των μηχανισμών (πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια).
- Απαιτούνται γερανοί και ειδικά μηχανήματα για την εγκατάσταση.

- Α/Γ με δρομέα κατάντη υστερούν σε αντοχή λόγω της ανατάραξης που δημιουργεί το πτερύγιο περνώντας πίσω από τον ιστό.
- Το μεγάλο τους ύψος προκαλεί οπτική όχληση από μεγάλη απόσταση.

Τα κύρια μέρη μίας ανεμογεννήτριας είναι ο δρομέας, η πλήμνη, η άτρακτος του δρομέα, το σύστημα μετάδοσης κίνησης ή κιβώτιο αύξησης στροφών, οι ενδιάμεσοι άτρακτοι (στην περίπτωση διβάθμιου και παραπάνω κιβωτίου), η άτρακτος της ηλεκτρογεννήτριας, το σύστημα πέδησης, οι ελαστικοί σύνδεσμοι, το σύστημα προσανατολισμού, η ηλεκτρική γεννήτρια, τα συστήματα αυτοματισμού και το προστατευτικό κέλυφος.

Για το σχεδιασμό του δρομέα, οι κύριοι παράμετροι είναι η διάμετρός του, η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του, ο αριθμός των πτερυγίων του και η αεροδυναμική συμπεριφορά του. Η διάμετρός του επιλέγεται σύμφωνα με την απαιτούμενη ονομαστική ισχύ της μηχανής και το αιολικό δυναμικό της περιοχής, όπου θα εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια. Η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα επιλέγεται έτσι ώστε ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου  $\lambda$  να βρίσκεται στην περιοχή της βέλτιστης τιμής του αεροδυναμικού συντελεστή ισχύος  $C_p$  για την μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή που θα εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια. Τέλος ο αριθμός των πτερυγίων για τους ανεμοκινητήρες οριζοντίου άξονα είναι ίσος με δύο ή τρία. Η επιλογή του αριθμού των πτερυγίων, εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες. Από μια πρώτη ματιά δύο πτερύγια έχουν χαμηλότερο κόστος από τρία. Ο δρομέας όμως ενός ανεμοκινητήρα με δύο πτερύγια περιστρέφεται με μεγαλύτερες γωνιακές ταχύτητες από έναν ισοδύναμο από πλευράς ενεργειακής απόδοσης που έχει τρία πτερύγια. Σαν αποτέλεσμα τα πτερύγια του πρώτου ανεμοκινητήρα πρέπει να είναι ελαφρύτερα και περισσότερο δύσκαμπτα από αυτά του δεύτερου, ανεβάζοντας σημαντικά το κόστος τους. Η αεροδυναμική συμπεριφορά των πτερυγίων σχετίζεται με την βέλτιστη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, την αντοχή σε μηχανικά φορτία και την ρύθμιση της μηχανικής ισχύος του ανεμοκινητήρα σε περίπτωση λειτουργίας του σε ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από την ονομαστική, ώστε να μην υπερφορτίζεται.

Η πλήμνη αποτελεί το δεύτερο μέρος της πτερωτής (δρομέα) και περιλαμβάνει εκείνο το μέρος της ανεμογεννήτριας πάνω στο οποίο προσαρμόζονται τα πτερύγια. Η τελική της μορφή εξαρτάται τόσο από το είδος της πτερωτής όσο και από τους επιθυμητούς βαθμούς ελευθερίας στη θέση σύνδεσης πτερυγίων και άξονα. Ο άξονας της ανεμογεννήτριας κατασκευάζεται από ειδικό ενισχυμένο χάλυβα, ώστε να δύναται να μεταφέρει ισχυρές, μη μόνιμες, στρεπτικές και καμπτικές ροπές, ενώ η έδρασή του γίνεται συνήθως σε δύο ένσφαιρα έδρανα ικανά να παραλαμβάνουν τόσο το βάρος του άξονα όσο και τα ασκούμενα φορτία. Η δυνατότητα περιστροφής του άξονα σε διεύθυνση παράλληλη προς αυτή του ανέμου εξασφαλίζεται με τη χρήση καθοδηγητικών πτερυγίων και ειδικών αυτοματισμών.

Η πλέον σύγχρονη μέθοδος προσανατολισμού στηρίζεται στη χρήση ειδικού αισθητηρίου και σερβομηχανισμού, που περιστρέφει την άτρακτο της μηχανής (υπερκατασκευή) με τη βοήθεια οδοντωτής περιστροφής. Στις Α/Γ ισχύος έως 10kW γίνεται χρήση πτερυγίου προσανατολισμού ή αλλιώς ουράς που τόσο η επιφάνεια της όσο και η θέση της ως προς τον άξονα του πύργου επιλέγονται έτσι ώστε σε απόκλιση του ανέμου κατά το πολύ 10 μοίρες να εξασκείται ροπή επανα-

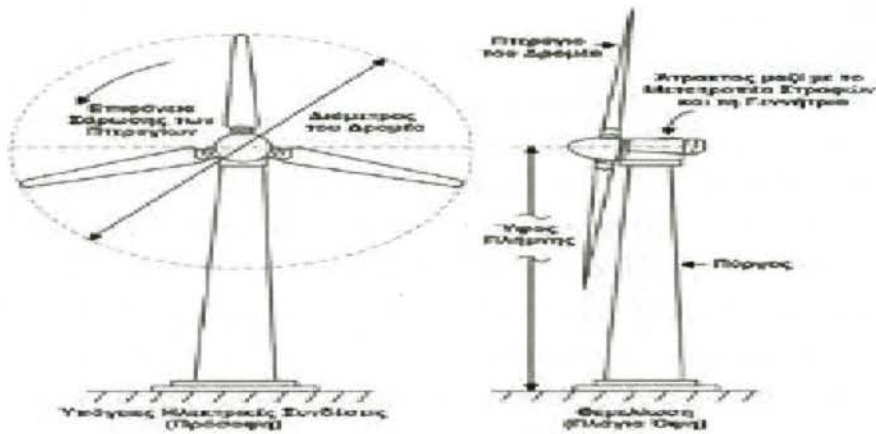
προσανατολισμού του δρομέα στον άνεμο, ικανή να υπερνικήσει την αντίρροπη λόγω γυροσκοπικού φαινομένου. Ένα από τα σπουδαιότερα μέρη της ανεμογεννήτριας είναι το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, που περιλαμβάνει διβάθμιο ή τριβάθμιο κιβώτιο μετασχηματισμού της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής (συνήθως 20 έως 110 rpm) σε υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής (άνω των 1000 rpm), στις οποίες λειτουργούν συνήθως οι ηλεκτρικές γεννήτριες. Ο τυπικός βαθμός απόδοσης ενός διβάθμιου συστήματος μετάδοσης είναι περίπου 96%, ενώ για λόγους ασφαλείας η μέγιστη μεταφερόμενη ισχύς πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας.

Το σύστημα κίνησης περιλαμβάνει επίσης, υδραυλικό ή μηχανικό φρένο και ελαστικούς συνδέσμους απορρόφησης στρεπτικών ταλαντώσεων. Το μηχανικό φρένο της ανεμογεννήτριας τοποθετείται είτε στον άξονα υψηλής ταχύτητας περιστροφής, οπότε απαιτείται μικρή σχετικά δύναμη πέδησης, αλλά δεν προστατεύεται η πτερωτή από απώλεια φορτίου ή θραύση του συστήματος μετάδοσης κίνησης, είτε στον άξονα χαμηλής ταχύτητας περιστροφής. Στην τελευταία περίπτωση λόγω της μεγάλης ροπής πέδησης απαιτείται φρένο αυξημένων διαστάσεων, βάρους και κόστους. Στην περίπτωση όμως αυτή προστατεύεται καλύτερα η πτερωτή και το κιβώτιο μετάδοσης, γι' αυτό και αποτελεί τη βέλτιστη τεχνικά λύση. Τέλος, για λόγους πρόσθετης ασφάλειας, απαιτείται η αυτόματη ενεργοποίηση του φρένου με τη βοήθεια ελατηρίου, στην περίπτωση πτώσης της υδραυλικής πίεσης ή της ηλεκτρικής τάσης για την περίπτωση ηλεκτρομαγνητικού συστήματος πέδησης. Για την προστασία των τμημάτων της ανεμογεννήτριας από τις καιρικές συνθήκες χρησιμοποιείται ειδικό κέλυφος από σύνθετο υλικό, π.χ. ειδικά κράματα χάλυβα ή αλουμινίου, που στην περιοχή της πλήμνης πρέπει να έχει και αεροδυναμική μορφή. Επιπλέον, το κέλυφος της ανεμογεννήτριας πρέπει να έχει αντιδιαβρωτική προστασία.

Ο πύργος στηρίξεως της ανεμογεννήτριας αποτελείται συνήθως είτε από ένα μεταλλικό δικτύωμα, είτε από μια στήλη μπετόν ή μεταλλικό σωλήνα για μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες. Στην τελευταία περίπτωση υπάρχει ειδική μέριμνα για εσωτερική σκάλα, ενώ για ανεμογεννήτριες μεγάλων διαστάσεων υπάρχει πρόσθετη μέριμνα για εγκατάσταση ανελκυστήρα. Το ελάχιστο ύψος του πύργου στηρίξεως είναι συνήθως ίσο με τη διάμετρο της πτερωτής, ενώ κατά την εκλογή του πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν τόσο το αυξημένο κόστος κατασκευής και θεμελίωσης για μεγάλα ύψη όσο και η δυνατότητα αξιοποίησης υψηλότερων ταχυτήτων του ανέμου, με την αύξηση του ύψους τοποθέτησης της πτερωτής. Ολοκληρώνοντας τη σύντομη περιγραφή των βασικών τμημάτων μιας ανεμογεννήτριας, πρέπει να αναφερθεί η ύπαρξη των ηλεκτρικών γεννητριών, που χρησιμοποιούνται για μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, καθώς και των συστημάτων αυτοματισμού. Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούνται δυο τύποι γεννητριών:

- οι σύγχρονες που διακρίνονται σε γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα και σε γεννήτριες μόνιμων μαγνητών.
- Οι ασύγχρονες (επαγωγικές) που διακρίνονται σε γεννήτριες βραχυκυκλωμένου κλωβού (squirrel cage) και σε γεννήτριες δακτυλιοφόρου δρομέα (wound rotor)

Όταν πρόκειται να σχεδιαστεί μία νέα ανεμογεννήτρια λαμβάνονται υπόψη διάφορες επιμέρους παράμετροι, όπως είναι η ενεργειακή παραγωγή, τα μέγιστα στατικά φορτία και τα μέγιστα φορτία κόπωσης στα οποία πρέπει να αντέχει η κατασκευή, αλλά επίσης και το οικονομικό κόστος των επιμέρους εξαρτημάτων της ανεμογεννήτριας. Ο τελικός στόχος είναι το χαμηλότερο δυνατό κόστος ανά kWh παραγόμενης ενέργειας



Σχήμα 15: Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Το βασικότερο πλεονέκτημα της κατηγορίας είναι ότι δεν χρειάζεται να αναφερθεί στην κατεύθυνση του ανέμου, έτσι χρησιμοποιείται ευρέως σε περιοχές με έντονους μεταβαλλόμενους ή ταραχώδεις ανέμους. Οι μηχανισμοί τοποθετούνται σε μικρότερη απόσταση από το έδαφος λόγω της δυσκολίας τοποθέτησής τους σε ιστούς οπότε είναι ευκολότερη και η συντήρησή τους. Η ταχύτητα του ανέμου όμως κοντά στην επιφάνεια του εδάφους είναι χαμηλότερη οπότε ισχύει το ίδιο και για την παραγόμενη αιολική ενέργεια. Επίσης, κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, η ροή του αέρα δημιουργεί τυρβώδεις ροές που μπορούν να προκαλέσουν κραδασμούς και θόρυβο με αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας ζωής της Α/Γ.

Οι Α/Γ κατακόρυφου άξονα χωρίζονται σε δύο βασικές υποκατηγορίες. Στις Darrieus οι οποίες εκμεταλλεύονται την άντωση και στις Savonius οι οποίες έχουν σαν αρχή την αντίσταση (οπισθέλκουσα). Οι Α/Γ τύπου Darrieus έχουν πολύ καλή απόδοση αλλά μεγάλες αιχμές ροπής και περιοδικές φορτίσεις στον ιστό τους, που συμβάλλουν στην έλλειψη αξιοπιστίας τους. Επίσης, απαιτείται κάποια εξωτερική πηγή ενέργειας για την εκκίνηση, διότι η ροπή εκκίνησης τους είναι πολύ χαμηλή. Οι αιχμές ροπής μειώνονται με τη χρήση τριών ή περισσότερων πτερυγίων και έχει ως αποτέλεσμα την καλύτερη σταθερότητα του στροφείου.



Οι Α/Γ τύπου Savonius, έχοντας σαν αρχή λειτουργίας την αντίσταση (οπισθέλκουσα), έχει υψηλή αξιοπιστία αλλά μικρότερη αποδοτικότητα σε σχέση με Α/Γ οριζοντίου άξονα και χρησιμοποιείται σε περιοχές με μη ομαλή ροή αέρα.

Τα πλεονεκτήματα των Α/Γ κατακόρυφου άξονα είναι :

- Δεν χρειάζονται μηχανισμοί ελέγχου και προσανατολισμού προς τον άνεμο.
- Εγκαθίστανται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους προσδίδοντας εύκολη πρόσβαση και συντήρηση.
- Έχουν χαμηλότερες ταχύτητες έναρξης λειτουργίας σε σχέση με Α/Γ οριζοντίου άξονα.
- Μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές όπου απαγορεύεται η δόμηση υψηλών κτηρίων και τα μειονέκτημά τους:
- Μειωμένη απόδοση λόγω του σχεδιασμού των πτερυγίων σε σχέση με Α/Γ οριζοντίου άξονα και του χαμηλού ύψους εγκατάστασης άρα και της χαμηλότερης παραγωγικότητας.



Σχήμα 16: ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

### 4.3 Επιλογή θέσης ανεμογεννήτριας

Η συμπεριφορά του ανέμου σε μία θέση, είναι αυτή που καθορίζει και τη λειτουργική συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας καθώς η καθαρή παραγωγή ενέργειας δεν μπορεί να υπολογιστεί ούτε να προσεγγιστεί αν δεν είναι γνωστή η ακριβής θέση της ανεμογεννητριας . Έτσι, η οικονομική βιωσιμότητα μιας συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας, σ' ένα συγκεκριμένο τόπο δεν μπορεί να προβλεφθεί χωρίς την ακριβή γνώση της συμπεριφοράς του ανέμου στη θέση αυτή. Επομένως, η ένταση του ανέμου και οι διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση είναι οι βασικές παράμετροι για την επιλογή της θέσης της ανεμογεννήτριας όχι όμως και οι μοναδικές. Ανεμογεννήτριες τοποθετημένες σε βιώσιμες θέσεις πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Η παραγωγή ενέργειας να είναι συμφέρουσα οικονομικά (το κόστος της παραγόμενης KWh να είναι μικρό).
- Η εγκατάσταση να μην έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας να είναι συμβατή με τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου.
- Να έχουν ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό της ανεμογεννήτριας οι πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες της συγκεκριμένη θέσης(παγετοί,εξαιρετικά ισχυροί άνεμοι κλπ.).
- Η επιλεγμένη θέση να είναι αποδεκτή από το κοινό.

Η διαδικασία επιλογής θέσης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας μπορεί να χαρακτηριστεί επιτυχής, όταν είναι δυνατός, μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, ο προσδιορισμός περιοχής με υψηλό αιολικό δυναμικό. Έπειτα, αφού γίνει προσεκτικός έλεγχος της περιοχής αυτής, επιλέγονται οι θέσεις που ικανοποιούν τις υπόλοιπες παραμέτρους που απαριθμήθηκαν προηγουμένως.

Ένας πρωταρχικός παράγοντας που σχετίζεται με την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης είναι το μέγεθος και οι περιοδικές διακυμάνσεις της έντασης του ανέμου. Η συμπεριφορά όμως του ανέμου κοντά στην επιφάνεια της γης είναι περίπλοκη και η ταχύτητα του μπορεί να μεταβληθεί απότομα, τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο επίπεδο. Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για να ανάγουμε υπάρχοντα δεδομένα, σε θέσεις που μας ενδιαφέρουν δεν είναι ακριβείς.

Έτσι, δεν μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα δίκτυο μετρήσεων ταχυτήτων του ανέμου που να μπορεί να μας δώσει το αιολικό δυναμικό σε κάθε θέση μιας μεγάλης περιοχής. Επίσης οι μετρήσεις χρειάζονται χρόνο και χρήματα να πραγματοποιηθούν. Η πιο πρακτική λύση στο πρόβλημα επιλογής θέσης ανεμογεννήτριας, είναι να χρησιμοποιήσουμε υπάρχουσες πληροφορίες για τον προσδιορισμό περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό, τέτοιο που να δικαιολογεί την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης.

Έπειτα, μέσα στις περιοχές αυτές, επιλέγονται τοποθεσίες στις οποίες η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας είναι πρακτικώς εφικτή. Τέλος εκτελούνται μετρήσεις των ανέμων στις συγκεκριμένες πλέον θέσεις. Υπάρχουν όμως κάποιες παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννητριας. Μια τοποθεσία στην οποία πνέουν δυνατοί άνεμοι, δεν

σημαίνει ότι βρήκαμε και τη βέλτιστη θέση για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας. Πολλές και σημαντικές είναι οι επιμέρους παράμετροι, που πρέπει να έχει υπόψη του ο μηχανικός, προκειμένου να καταλήξει στην επιλογή της οριστικής θέσης εγκατάστασης. Και η επιλογή αυτή θα είναι η βέλτιστη, μόνον εφόσον γίνει σωστή και λεπτομερής αξιολόγηση των παραμέτρων τούτων.

### Οικονομική αξία

Ο σημαντικότερος στόχος μιας ανεμογεννήτριας είναι να μειώσει το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας γι' αυτό η οικονομική βιωσιμότητα είναι η πρωταρχική ιδιότητα για την αποδοχή ή όχι μιας θέσης. Επειδή η ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια μόνο όταν φυσάει άνεμος, χρησιμοποιείται συνήθως σαν εξοικονομητής καυσίμου.

Έτσι, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας ποικίλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους. Για να κρίνουμε επομένως την οικονομική βιωσιμότητα μιας θέσης ανεμογεννήτριας, χρειαζόμαστε πληροφορίες για το μέγεθος και τις διακυμάνσεις του ανέμου μέσα σ' ένα έτος.

Ένας άλλος οικονομικός παράγοντας πρωταρχικού ενδιαφέροντος είναι το κόστος εγκατάστασης. Τούτο είναι αισθητά μειωμένο αν η εγκατάσταση γίνει κοντά σε υπάρχοντες δρόμους και γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

## Επιδράσεις στο περιβάλλον

Γενικά, οι επιδράσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον είναι πολύ μικρές. Ωστόσο, σε ορισμένες μεμονωμένες περιπτώσεις μπορεί η ανεμογεννήτρια να έχει αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Οι επιδράσεις που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι:

### 1. Οπτικοαισθητική επίδραση

Η εγκατάσταση μιας τεράστιας ανεμογεννήτριας σε μία όχι και τόσο ανοιχτή περιοχή δημιουργεί σε ορισμένους μια αρνητική οπτική εντύπωση. Αντίθετα η εγκατάσταση της ίδιας ανεμογεννήτριας σε μία αχανή έκταση περνάει σχεδόν απαρατήρητη.

### 2. Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση.

Το πρόβλημα της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης δημιουργείται από την ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια της πτερωτής.

### 3. Γενικοί κανονισμοί και περιορισμοί στη χρησιμοποίηση της γης.

Όταν προσπαθούμε να βρούμε κατάλληλες θέσεις για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, πρέπει να έχουμε υπόψη μας κανονισμούς και νόμους που πιθανόν να εμποδίζουν τη χρησιμοποίηση γης για εγκατάσταση μεγάλων ανεμογεννητριών. Τέτοιοι νόμοι μπορεί να είναι σχετικοί με την προστασία του περιβάλλοντος, με την προστασία ιστορικών μνημείων και άλλων αρχαιολογικών χώρων .

### 4. Μετεωρολογικά προβλήματα

Κατά την επιλογή θέσεων για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών πρέπει να ληφθούν υπόψη πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες. Ορισμένες απ' αυτές μπορεί πράγματι να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στην κατασκευή. Άλλες πάλι απλώς επηρεάζουν το κόστος συντήρησης και τη διάρκεια ζωής της μηχανής.

## 5. Παγετός

Η δημιουργία παγετού μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία ανεμογεννήτριας με διάφορους τρόπους. Πρώτα απ' όλα η επικάλυψη στις κατασκευές αυξάνει τα στατικά και δυναμικά τους φορτία. Ως εκ τούτου, όλα τα συστήματα της ανεμογεννήτριας και οι γραμμές μεταφοράς πρέπει να έχουν υπολογιστεί ώστε να αντέχουν αυτά τα φορτία. Όταν επικάθονται σημαντικές ποσότητες πάγου στα πτερύγια, εκτός του ότι αυξάνεται το φορτίο τους, υπάρχει και ο κίνδυνος να εκτοξευθεί κάποιο κομμάτι πάγου καθώς τα πτερύγια στρέφονται. Σε περίπτωση λοιπόν παγετού θα πρέπει να σταματάμε τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας και να καθαρίζουμε τα πτερύγια. Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή που έχουμε επιλέξει εμφανίζει συχνά φαινόμενα παγετού.

Ακόμα υπάρχει ο κίνδυνος, με το πάγωμα των ανεμόμετρων, να χαλάσουν τα συστήματα ελέγχου της ανεμογεννήτριας. Καλό είναι λοιπόν κατά την εκλογή θέσης ανεμογεννήτριας να εκτιμάται από μετεωρολόγο η πιθανότητα και η συχνότητα εμφάνισης παγετών. Πρέπει να αποφεύγεται επίσης η επιλογή περιοχών που παρουσιάζουν υπερβολικές χιονοπτώσεις, γιατί αυξάνεται σημαντικά το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της ανεμογεννήτριας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή αποκλείεται συχνά από τα χιόνια.

## 6. Υπερβολικά ισχυροί άνεμοι

Η συχνότητα με την οποία παρουσιάζονται θυελλώδεις άνεμοι σε μία περιοχή, καθώς και η έντασή τους, μπορεί να υπολογιστεί από υπάρχοντα κλιματολογικά δεδομένα. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη για το σχεδιασμό κατάλληλης ανεμογεννήτριας που να λειτουργεί όταν επικρατούν τέτοιοι θυελλώδεις άνεμοι. Βλέπουμε λοιπόν ότι ανάλογα με τη θέση που επιλέγουμε μεταβάλλεται και ο τύπος της ανεμογεννήτριας που θα εγκαταστήσουμε. Επομένως μεταβάλλεται το κόστος κατασκευής αλλά και το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

## 7. Τύρβη

Σε μία τυρβώδη ροή, το άνυσμα της ταχύτητας σε κάθε σημείο του ρευστού, υφίσταται διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση. Αυτές οι διακυμάνσεις εκτείνονται σε μέγεθος και διάρκεια και μπορεί να προκαλέσουν κόπωση της κατασκευής.

Η τύρβη μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής ή το κόστος συντήρησης της μηχανής. Οι επιστήμονες γνωρίζουν ότι η τύρβη σε ροή πάνω από τραχύ, ανώμαλο έδαφος (βουνά, κοιλάδες, λόφοι κλπ.) είναι διαφορετική από αυτήν που παρατηρείται στη ροή πάνω από επίπεδο, ομαλό έδαφος. Ωστόσο υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα που να αποσαφηνίζουν αυτές τις διαφορές.

Η μεγάλη πλειοψηφία των μετρήσεων έχει γίνει πάνω από επίπεδο έδαφος, όπου μπορούν να αναπτυχθούν απλές θεωρίες για να περιγράψουν τη συμπεριφορά της ροής. Αλλά και αν είχαμε μετρήσεις της τύρβης πάνω από ανώμαλο έδαφος, θα ήταν δύσκολο να εκτιμήσουμε την επίδρασή της στη διάρκεια ζωής και το κόστος συντήρησης της μηχανής. Κάτι τέτοιο απαιτεί περισσότερη εμπειρία, από τη λειτουργία μεγάλης ποικιλίας ανεμογεννητριών κάτω από ένα ευρύ φάσμα κλιματολογικών και τοπογραφικών συνθηκών. Προς το παρόν, θα ήταν επιθυμητό, να διαλέγουμε θέσεις με όσο το δυνατό χαμηλότερο επίπεδο τύρβης.

## 8. Υλικά μεταφερόμενα από τον αέρα

Ανεμογεννήτριες που πρόκειται να εγκατασταθούν σε παραθαλάσσιες περιοχές υπόκεινται σε διάβρωση επειδή ο αέρας σ' αυτές τις περιοχές περιέχει σημαντικές ποσότητες αλάτων. Πρέπει λοιπόν ορισμένα τμήματα της κατασκευής να προστατευθούν ώστε να διαθέτουν αντισκωρική προστασία.

Αν μια ανεμογεννήτρια είναι τοποθετημένη σε άγονη περιοχή, είναι πιθανό ο αέρας να μεταφέρει επάνω υλικά μπορούν να προξενήσουν ζημιές στα πτερύγια, τα προστατευτικά καλύμματα, τα λιπαντικά και αλλού. Προκειμένου να επιτύχουμε ικανοποιητική συντήρηση της μηχανής κάτω από τέτοιες συνθήκες, απαιτούνται σχεδιαστικές τροποποιήσεις και ειδικές διαδικασίες συντήρησης. Τέτοιες διαδικασίες και τροποποιήσεις αυξάνουν το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

## 9. Η σταθερότητα των ανέμων

Οι διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου κατά το χρονικό διάστημα μιας ώρας, σαφώς επηρεάζουν τη λειτουργία της μηχανής, ενώ μπορούν να επιδράσουν και στη διάρκεια ζωής της. Αλλά και οι αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου, στη διάρκεια μιας ώρας, επηρεάζουν τη

λειτουργία και τη συμπεριφορά της μηχανής. Μια μελέτη της NASA πάνω στο μοντέλο ανεμογεννήτριας Clayton MOD-OA έδειξε ότι με την περιστροφή της μηχανής γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της (yawing), προκειμένου αυτή να παρακολουθεί τις αλλαγές της κατεύθυνσης του ανέμου, αναπτύσσονται σημαντικά καμπτικά φορτία στα πτερύγια της μηχανής. Είναι πολύ νωρίς να πούμε τι επίδραση έχει στη διάρκεια ζωής της μηχανής η συχνή περιστροφή της γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της.

Είναι όμως φανερό ότι η λειτουργία μιας μηχανής σε μια θέση που παρουσιάζει συχνές αλλαγές στη διεύθυνση του ανέμου θα είναι μειονεκτικότερη μιας άλλης που είναι τοποθετημένη σε περιοχή με σταθερότερους ανέμους. Ένα άλλο ενδιαφέρον αιολικό χαρακτηριστικό είναι η διαχρονική μεταβλητότητα δηλαδή η μεταβολή των αιολικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής από χρόνο σε χρόνο. Βέβαια οι από χρόνο σε χρόνο μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου είναι συνήθως πολύ μικρότερες από τις εποχιακές ή ημερήσιες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου έτους. Όμως η διαχρονική μεταβλητότητα επηρεάζει οπωσδήποτε το μέσο κόστος της ενέργειας που παράγεται καθ όλη τη διάρκεια ζωής της μηχανής. Ας μη ξεχνάμε ότι η μέση διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας είναι 20 χρόνια, διάστημα μέσα στο οποίο η διαχρονική μεταβλητότητα μπορεί να είναι σημαντική. Έτσι, η διαχρονική μεταβλητότητα μπορεί να αποδειχθεί επικίνδυνη αν οι αποφάσεις για την επιλογή τοποθεσίας στηριχτούν σε δεδομένα ενός «άσχημου ή πολύ καλού αιολικού έτους».

## 10. Αποδοχή από την πλευρά του κοινού

Σε τελευταία ανάλυση, η επιτυχής επιλογή μιας τοποθεσίας για την εγκατάσταση ανεμογεννήτριας εξαρτάται από την αποδοχή της από την κοινή γνώμη. Το κοινό πρέπει να νιώσει ότι τα έργα υποδομής που θα γίνουν για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας δεν θα αλλοιώσουν το τοπίο και η ανεμογεννήτρια που θα εγκατασταθεί θα ταιριάζει με το σκηνικό των γύρω περιοχών.

Η στάση του κοινού επηρεάζεται τόσο από τις αντιλήψεις του για τις ανεμογεννήτριες γενικά, όσο και από τις αντιλήψεις του για τα οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν από την εγκατάσταση ανεμογεννήτριας στην συγκεκριμένη θέση. Προς το παρόν οι αντιλήψεις της πλειονότητας του κοινού για τις ανεμογεννήτριες είναι θετικές αφού αυτές δεν μολύνουν το περιβάλλον, χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και εξοικονομούν καύσιμα.





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΑΙΟΛΙΚΟ ΠΑΡΚΟ

#### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται επιγραμματικά η διαδικασία μελέτης για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου.

#### . Εύρεση χώρου

Ο χώρος στον οποίο πρόκειται να εγκατασταθεί το Α/Π οφείλει να πληροί τις εξής προϋποθέσεις:

Η έκταση του γηπέδου θα πρέπει να είναι σχετικά μεγάλη .Να έχει εύκολη πρόσβαση (οδικό δίκτυο, δίκτυο ΔΕΗ)

Να μην προκαλεί χωροταξικά προβλήματα (οπτική, ακουστική όχληση) Να έχει χαμηλό κόστος

#### . Διεξαγωγή μετεωρολογικών μετρήσεων

Μετά την επιλογή του χώρου εγκατάστασης ακολουθεί μια σειρά μετεωρολογικών μετρήσεων. Οι μετρήσεις γίνονται συνήθως από 3 μετεωρολογικούς ιστούς οι οποίοι τοποθετούνται σε διαφορετικά σημεία και ύψη του γηπέδου, για ορισμένη διάρκεια 1 με 2 έτη.

Οι ιστοί αυτοί αποτελούνται από τα εξής όργανα:

1. Ανεμόμετρο
2. Βαρόμετρο
3. Βροχόμετρο
4. Θερμόμετρο
5. Πυρανόμετρο

Οι μετρήσεις των οργάνων αυτών οδηγούνται και αποθηκεύονται σε καταγραφικά. Στη συνέχεια γίνεται μελέτη των τιμών των μετρήσεων για τον προσδιορισμό των παρακάτω στοιχείων:

Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/s)

Ένταση τύρβης στα 10 m/s

Μέγιστη ταχύτητα ανέμου m/s

Συντελεστές κατανομής (παράμετρος μορφής, παράμετρος κλίμακας)

## . Ενεργειακή αποτίμηση

Μετά το πέρας των ανεμολογικών μετρήσεων γίνεται ενεργειακή αποτίμηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Η ενεργειακή αποτίμηση γίνεται με την επίλυση του πεδίου ροής του ανέμου μέσω της χρήσης ηλεκτρονικού υπολογιστή και κατάλληλων προγραμμάτων. Μετά τον προσδιορισμό του πεδίου ροής γίνεται και η επιλογή κατάλληλου τύπου Α/Γ.

## . Χωροθέτηση

Η χωροθέτηση προσδιορίζει την ιδανικότερη θέση των Α/Γ στο γήπεδο του Α/Π έτσι ώστε να έχουν την μεγαλύτερη δυνατή απόδοση. Οι παράγοντες που λαμβάνονται υπ' όψιν κατά τη χωροθέτηση ενός Α/Π είναι:

1. Σκίαση που προκαλεί κάθε Α/Γ
2. Χρήσεις γης
3. Κλίσεις εδάφους
4. Υψόμετρο

## . Εσωτερικός σχεδιασμός Α/Π

Περιλαμβάνει τόσο τα έργα υποδομής όσο και τα ηλεκτρομηχανολογικά έργα του Α/Π.

### . Έργα υποδομής

1. Οδοποιία
2. Διαμόρφωση πλατειών ανέγερσης Α/Γ
3. Θεμελίωση Α/Γ - Βάσεις πυλώνων
4. Διάνοιξη τάφρων διέλευσης καλωδίων ισχύος και ασθενών ρευμάτων Κτιριακές εγκαταστάσεις Ανέγερση Α/Γ

## . Ηλεκτρομηχανολογικά έργα

1. Σύστημα γείωσης Α/Γ και Υ/Σ 0,4/20 kV Υποσταθμός Χ.Τ. / Μ.Τ. Α/Γ
2. Διασύνδεση Μ.Τ. Α/Γ με το ζυγό του Α/Π
3. Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός κέντρου ελέγχου
4. Σύστημα συλλογής μετρήσεων και δίκτυο επικοινωνιών

## . Σύνδεση με δίκτυο ΔΕΗ

Για την επιλογή του τρόπου σύνδεσης πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψιν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του Α/Π καθώς και η ικανότητα μεταφοράς των δικτύων στα οποία συνδέονται. Χονδρικά, στην επιλογή του δικτύου σύνδεσης σημαντικό ρόλο παίζουν:

1. Η ισχύς του αιολικού πάρκου
2. Η απόσταση του αιολικού πάρκου από το σημείο σύνδεσης
3. Η ισχύς βραχυκυκλώσεως του δικτύου στο σημείο σύνδεσης του αιολικού πάρκου

## . Οικονομοτεχνική μελέτη Α/Π

Κατόπιν της σχεδίασης του Α/Π ακολουθεί η οικονομική μελέτη του έργου η οποία θα δείξει αν και κατά πόσο επικερδής (IRR) είναι η συγκεκριμένη επένδυση, πότε γίνεται η απόσβεση του αρχικού κεφαλαίου (PBP) και ποια είναι η καθαρή παρούσα αξία του έργου (NPV). Βήματα μελέτης:

- ✓ Παρουσίαση επενδυτικού κεφαλαίου (δάνεια, επιχορηγήσεις, κεφάλαια) Κοστολόγηση του έργου
- ✓ Πάγια έξοδα (συντήρηση, μισθοί και φόροι)
- ✓ Πάγια έσοδα (πώληση ενέργειας, επιχορηγήσεις)

## Διαδικασία έκδοσης άδειας

Τέλος, μετά την οικονομική μελέτη και την παραδοχή ότι η επένδυση θα είναι επικερδής ξεκινάει η διαδικασία έκδοσης της άδειας:

- ✓ Υποβολή αίτησης στην αδειοδοτούσα Αρχή
- ✓ Υποβολή των δικαιολογητικών στην αδειοδοτούσα Αρχή
- ✓ Έλεγχος των δικαιολογητικών από την αδειοδοτούσα Αρχή Χορήγηση της άδειας.

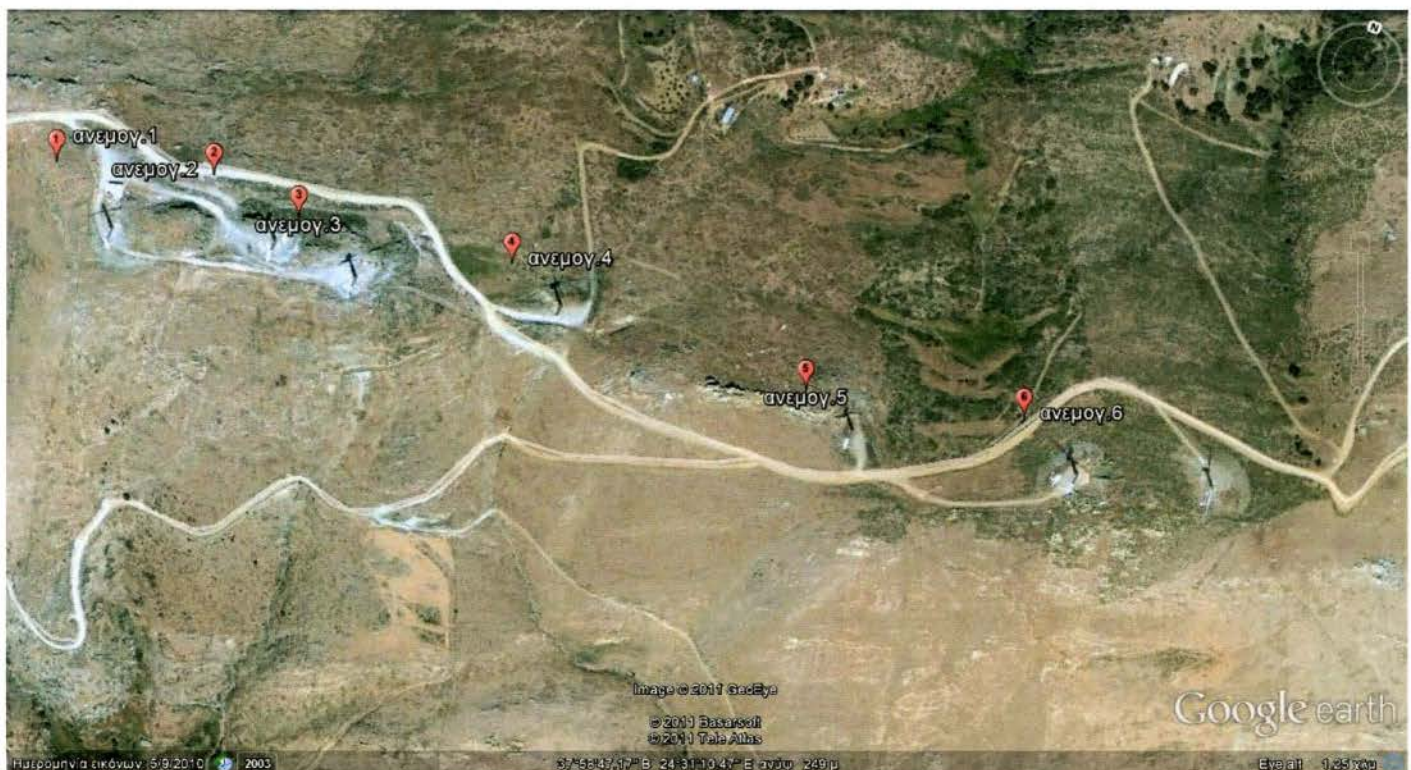
## 5.1 ΣΥΝΤΟΜΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

### ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΕΚΤΑΣΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Η τεχνική έκθεση που ακολουθεί αφορά την προκαταρκτική μελέτη των έργων Πολιτικού Μηχανικού για την κατασκευή Αιολικού πάρκου συνολικής ισχύος 13.2 MW (6 ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 2.2 MW εκάστη). Η θέση στην οποία προτείνεται η κατασκευή του πάρκου είναι στη Κάρυστο Ευβοίας, κοντά στις κοινότητες Μετόχι, Πλατανιστός, επαρχίας Καρύστου σε απόσταση 2 χιλιόμετρα περίπου νοτιοδυτικά της Αρχμανδρίτσας.

Ο σχεδιασμός των έργων Πολιτικού Μηχανικού βασίζεται στις προδιαγραφές της εταιρείας ENERCON για τον τύπο E-82, καθώς και στην μορφολογία του εδάφους και την κατανομή του αιολικού δυναμικού στην περιοχή του έργου. Τα έργα που προτείνονται για την εγκατάσταση και λειτουργία του αιολικού πάρκου περιγράφονται παρακάτω με τον σχολιασμό που επιτρέπει η παρούσα προκαταρκτική φάση μελέτης. Για την εσωτερική οδοποιία του αιολικού πάρκου απαιτείται διάνοιξη δρόμου μέγιστης κλίσης 4.26% με ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας 20m και πλάτους τουλάχιστον 6m μέσα στην ιδιοκτησία για να δίδεται η δυνατότητα στους γερανούς και τα φορτηγά αυτοκίνητα να μετακινούνται από την είσοδο προς τις ανεμογεννήτριες και από την μία ανεμογεννήτρια στην άλλη.

Σημειώνεται ότι η ανυψωτική ικανότητα του μεγάλου γερανού είναι 200 τόνων, μεικτού βάρους 96 τόνων (25 τόνοι ανά τροχό). Το όλο έργο απαρτίζεται από 6 ανεμογεννήτριες του τύπου E-82/2000 KW του Γερμανικού κατασκευαστικού οίκου ENERCON. Οι βασικοί επενδυτές των συγκεκριμένων έργων είναι η κατασκευαστική εταιρία ENERCON, οι εταιρίες ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΕΛΛΑΔΑΣ Α.Ε, η QUEST Αιολική Καρύστου ,ο ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ Καρύστου και ο ΔΗΜΟΣ Καρύστου. (σχήμα 8).



Σχήμα 17: Ανεμογεννήτριες

Ο έλεγχος ισχύος των ανεμογεννητριών θα επιτυγχάνεται δια μέσου της μεταβολής του βήματος των πτερυγίων καθώς και της μεταβολής των στροφών περιστροφής της ηλεκτρογεννήτριας.

Η σύνδεση του αιολικού πάρκου με το δίκτυο της ΑΗΚ θα γίνει μέσω Υ/Σ που θα ανεγερθεί εντός των ορίων του αιολικού πάρκου.

Η αξιολόγηση της ανεμολογικής κατάστασης βασίστηκε σε διαθέσιμα ανεμολογικά στοιχεία διάρκειας 12 μηνών (1η Ιουνίου 2010 μέχρι την 31η Μαΐου 2011), και στην χρήση αριθμητικού μοντέλου πρόλεξης του τρισδιάστατου πεδίου ροής του ανέμου επάνω από την υπόψη περιοχή (Πρόγραμμα ΑΙΟΛΟΣ). Με βάση την αξιολόγηση αυτή, καθορίστηκαν οι θέσεις εκείνες οι οποίες παρουσιάζουν ενδιαφέρον (από ανεμολογικής σκοπιάς) για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών.

Με βάση ανεμολογικά δεδομένα του οικοπέδου του αιολικού πάρκου, αλλά και με μακροχρόνια μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής, εκτιμάται ότι:

- η θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου είναι εξαιρετικά ανεμογενής και η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου σ' αυτό είναι 7.20 μέτρων ανά δευτερόλεπτο
- Η καθαρή ετήσια πωλούμενη ηλεκτρική ενέργεια από το αιολικό πάρκο στην ΑΗΚ θα είναι της τάξης των 29.437 MWh.

Η κάθε ανεμογεννήτρια θα είναι προηγμένης τεχνολογίας προϊόν Γερμανικού οίκου και αποτελείται από τα εξής βασικά επί μέρους τμήματα:

- το δρομέα που αποτελείται από 3 πτερύγια, τα οποία προσαρμόζονται στην πλήμνη,
- το σύστημα μετάδοσης της κίνησης που προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στην ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας,
- την ηλεκτρογεννήτρια,
- το σύστημα προσανατολισμού,
- τον χαλύβδινο σωληνωτό πυλώνα στήριξης των πιο πάνω τμημάτων,
- τον ηλεκτρονικό ελεγκτή (controller) που είναι εγκατεστημένος στη βάση του πυλώνα στήριξης.

Η κάθε μία ανεμογεννήτρια μέσω μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης (step-up transformer) 400V / 22 KV συνδέεται με το εσωτερικό υπόγειο δίκτυο Μέσης Τάσεως του αιολικού πάρκου. Οι μετασχηματιστές αυτοί, ομαδοποιημένοι συνδέονται στην γραμμή της μέσης τάσης.

- Ισχύς του σταθμού. Το αιολικό πάρκο αποτελείται από 6 ανεμογεννήτριες των 2200 kW η κάθε μία.

Συνεπώς η συνολική ονομαστική ισχύς του αιολικού πάρκου θα είναι :  $6 * 2200=13.2$  MW.

- Τάση σύνδεσης σταθμού. Στον χώρο του αιολικού πάρκου θα κατασκευαστεί υποσταθμός μεταφοράς 22kV/132kV μέσω του οποίου το αιολικό πάρκο θα συνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο. Δηλαδή η τάση σύνδεσης του αιολικού πάρκου με το ηλεκτρικό δίκτυο θα είναι υψηλή τάση (ΥΤ) 132 kV.

Στο αιολικό πάρκο θα εγκατασταθεί 1 μονόροφος οικίσκος (το κέντρο ελέγχου του αιολικού πάρκου), όπου θα έχει επιφάνεια περίπου 400 τ.μ.

Στο αιολικό πάρκο θα διανοιχθεί εσωτερική οδοποιία. Συγκεκριμένα θα γίνει διάνοιξη οδών πλάτους 5-6 μέτρων και συνολικού μήκους 5,000 μέτρων και διαμόρφωση 6 πλατειών -δηλαδή μία πλατεία των 2,500 τ.μ. ανά ανεμογεννήτρια - για την συναρμολόγηση των πτερυγίων και την κίνηση των γερανών που θα υποστηρίζουν την ανέγερση των ανεμογεννητριών. Κάθε ανεμογεννήτρια θα καταλάβει μόνιμη έκταση το πολύ 160 τετραγωνικά μέτρα.



Σχήμα 18: Διαμόρφωση εδάφους

## 5.2. Χωροθέτηση Α/Π

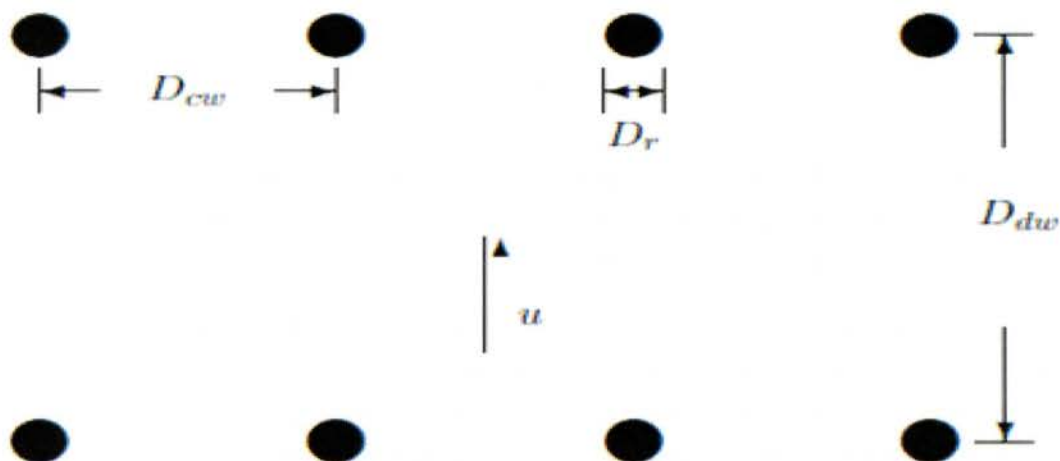
Υπάρχουν πολλά οικονομικά οφέλη εάν οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε ομάδες που καλούμε εγκαταστάσεις αιολικής ενέργειας ή αιολικά πάρκα. Έτσι η συλλογή της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικά.

Οι γεννήτριες τοποθετούνται συνήθως σε γραμμές κάθετα προς την επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου. Τα διαστήματα εντός της μίας γραμμής ανάμεσα στις γεννήτριες μπορεί να είναι μόλις 2 με 4 φορές η διάμετρος του στροφείου της ανεμογεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί, αν οι άνεμοι είναι κάθετοι στη σειρά σχεδόν όλη την ώρα. Εάν ο άνεμος χτυπά μια δεύτερη ανεμογεννήτρια πριν από την αποκατάσταση της ταχύτητας του ανέμου από το πέρασμα του στην προηγούμενη γεννήτρια η παραγωγή ενέργειας από το δεύτερο στρόβιλο θα είναι μειωμένη σε σχέση με την αναμενόμενη παραγωγή. Το ποσό της μείωσης είναι συνάρτηση της διάτμησης αέρα, των αναταράξεων του αέρα, των αναταράξεων που προστίθενται από τις ανεμογεννήτριες, και του εδάφους.

Αυτή η μείωση μπορεί να κυμαίνεται από πέντε έως δέκα τοις εκατό για κάθετες (κατάντι) αποστάσεις της τάξης 10 φορές τη διάμετρο του στροφείου μεταξύ γεννητριών. Γι' αυτό κρίνεται απαραίτητη η γνώση της διεύθυνσης του ανέμου, ώστε οι ανεμογεννήτριες να τοποθετηθούν ανάλογα με την πιο συχνή κατεύθυνση και έτσι να ελαχιστοποιηθεί η επίδραση της μιας στην άλλη μέσα στο αιολικό πάρκο. Ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των γεννητριών θα παράγουν περισσότερη δύναμη αλλά εις βάρος της έκτασης γης και των περισσότερων δρόμων και καλωδίων.

Θα οριστούν δύο αποστάσεις,  $D_{cw}$  η απόσταση εντός σειράς μεταξύ ανεμογεννητριών και  $D_{dw}$  η κατάντι απόσταση μεταξύ των σειρών των στροβίλων. Οι αποστάσεις είναι υπολογισμένες ως πολλαπλάσια της διαμέτρου του στροφείου της γεννήτριας  $D_r$ .

Επιλέγουμε  $D_{cw} = 3 \cdot D_r$  και  $10 \cdot d_w$  ή  $D = 10 \cdot D_r$ . Αποστάσεις λιγότερο από  $3D_r$  σε μια γραμμή ή  $8D_r$  μεταξύ των σειρών θα χρειάζονται ειδική αιτιολόγηση.



Σχήμα 19: Αποστάσεις μεταξύ των Α/Γ του Α/Π

Το πρώτο βήμα για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου είναι η απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της γης. Ανάλογα με τον τύπο της ανεμογεννήτριας και τις αποστάσεις, το μεγαλύτερο μέρος της γης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για γεωργικούς σκοπούς και να υπάρχουν έσοδα από την συγκομιδή. Δρόμοι πρόσβασης θα πρέπει να υπάρχουν για κάθε γεννήτρια, τόσο για την κατασκευή όσο και για τη συντήρηση αργότερα. Το ελάχιστο μήκος οδών πρόσβασης θα είναι το συνολικό μήκος όλων των γραμμών με ανεμογεννήτριες συν τις αποστάσεις σε όλο το πάρκο που είναι κάθετες στο επίπεδο των γραμμών καθώς και την απόσταση από τον πλησιέστερο υπάρχοντα δρόμο στο αιολικό πάρκο.

Η επιλογή της ανεμογεννήτριας γίνεται με βάση τα παρακάτω κριτήρια:

- ✓ Τη συνολική ονομαστική ισχύ του αιολικού πάρκου
- ✓ Το μέγεθος των μηχανών και τη δυνατότητα μεταφοράς και εγκατάστασής τους στην επιλεγείσα θέση
- ✓ Τις τεχνικές προδιαγραφές των μηχανών και τη δυνατότητα εναρμόνισής τους με το δίκτυο
- ✓ Τις οικονομικές προσφορές των εταιριών και τις πρόσθετες παροχές που προτίθενται να παράσχουν.

Γενικά τα αιολικά πάρκα εκτείνονται σε έκταση περίπου 100 στρεμμάτων ανά εγκατεστημένο MW, αλλά το μεγαλύτερο μέρος αυτής της έκτασης μπορεί να χρησιμοποιείται και για άλλες δραστηριότητες, όπως βοσκή, καλλιέργειες, κ.ά., δεδομένου ότι γενικά δεν περιφράσσονται.



Για το συγκεκριμένο έργο έχουμε:

$$[((3.0*Dr)*(Nr-1)+(1.5*Dr*2))*(1.5*Dr*2)]/1000 =$$

$$[((3.0*82)*(6-1)+(1.5*82*2))*(1.5*82*2)]/1000 = 363.10 \text{ στρέμματα συνολικά (οπού Dr η διάμετρος του ρότορα της Α/Γ)}$$

$$\text{Άρα } 363.10/6 \text{ μηχανές} = 60,52 \text{ στρέμματα/MW}$$

### Επιλογή θέσης Αιολικού πάρκου.

Ο αντικειμενικός σκοπός της διαδικασίας επιλογής της θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας είναι ο προσδιορισμός σε ‘λογικό’ χρονικό διάστημα των θέσεων, οι οποίες παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα οικονομοτεχνικής βιωσιμότητας των μελλοντικών αιολικών εγκαταστάσεων με την ταυτόχρονη μεγαλύτερη αποδοχή εκ μέρους του κοινωνικού περιγύρου.

Για παράδειγμα, η εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να βρίσκεται σε περιοχή προσπελάσιμη από τα συνήθη μεταφορικά μέσα, να υπάρχει πρόσβαση σε λιμάνια ή συγκοινωνιακούς κόμβους, κ.ά.. Επίσης, κρίνεται απαραίτητο να είναι κοντά στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. στην περίπτωση σύνδεσής της με το εθνικό δίκτυο καθώς το αιολικό πάρκο αποτελεί καταναεμημένη παραγωγή - συμφέρει δηλαδή να παράγουμε ενέργεια εκεί που την χρειαζόμαστε ώστε να μην έχουμε απώλειες σε ΓΜ.

Παράλληλα , απαιτείται και η σύμφωνη γνώμη του κοινωνικού περίγυρου, με τη διαβεβαίωση ότι η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών δε θα αλλοιώσει το περιβάλλον, καθώς και με την υπενθύμιση ότι η αιολική ενέργεια είναι μία τελείως καθαρή μορφή ενέργειας.

Από την πλευρά της βέλτιστης επιλογής της τοποθεσίας εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας σε σχέση με το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό, η τήρηση των βασικών ανεμολογικών κριτηρίων προϋποθέτει την επιλογή τοποθεσιών με :

- υψηλή μέση ταχύτητα ανέμου,
- αιολικό δυναμικό υψηλής ποιότητας,δηλαδή μεγάλη διάρκεια ισχυρών ανέμων και περιορισμένη ύπαρξη περιόδων νηνεμίας και
- απουσία αποφράξεων του ανέμου καθώς και υψηλών εμποδίων.

Βάσει των παραπάνω κριτηρίων, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε μέρη που αποτελούν κορυφές λείων και κυκλοτερών λόφων με ελαφρές κατωφέρειες και ανοιχτό ορίζοντα, καθώς και σε ανοιχτές

πεδιάδες, σε ακρογιαλιές ή τέλος στα ανοίγματα των βουνών που δημιουργούν φυσικούς επιταχυντές (ρεύματα αέρα).

Βέβαια, εκτός από την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, ο υπεύθυνος επιλογής πρέπει να συνυπολογίσει και άλλες επιμέρους παραμέτρους προκειμένου να καταλήξει στην επιλογή της οριστικής θέσης εγκατάστασης. Πιο συγκεκριμένα, η επιλογή θα είναι η καλύτερη δυνατή εφόσον συνυπολογισθούν και οι ακόλουθες συνιστώσες:

- Οικονομικά συμφέρουσα παραγωγή ενέργειας. Στόχος κάθε αιολικής εγκατάστασης είναι η παραγωγή φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας, και μάλιστα φθηνότερης από την ήδη παραγόμενη από συμβατικά καύσιμα. Οικονομικά στοιχεία για την αξιολόγηση της εγκατάστασης παρέχονται σε επόμενη ενότητα.
- Επιπτώσεις στο περιβάλλον από την αιολική εγκατάσταση. Αναφερόμαστε βέβαια στην οπτικοαισθητική επίδραση, τις επιδράσεις στα πουλιά, την ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση καθώς και το πρόβλημα του θορύβου. Οι ενοχλήσεις αυτές θα αναλυθούν περαιτέρω σε επόμενη ενότητα.
- Κανονισμοί και περιορισμοί στη χρήση γης (ιδιοκτησία εδαφικών εκτάσεων)
- Απαιτούμενες ελάχιστες αποστάσεις από διάφορες υποδομές
- Δυνατότητα πρόσβασης - απαιτούμενα έργα υποδομής - κατασκευή αναγκαίου οδικού δικτύου.

Τα τρία τελευταία κριτήρια αναφέρονται στο γεγονός ότι κατά τη φάση προεπιλογής των θέσεων εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τοπικοί νόμοι και οι κανονισμοί, που πιθανόν να εμποδίζουν τη χρησιμοποίηση της γης, για την εγκατάσταση κυρίως μεγάλων ανεμογεννητριών. Τέτοιοι νόμοι αναφέρονται είτε στην προστασία ιστορικών και αρχαιολογικών χώρων, είτε στην προστασία του περιβάλλοντος με τη διατήρηση των τοπικών οικοσυστημάτων. Επιπλέον πρέπει να αποφεύγονται περιοχές με έντονη σεισμικότητα, καθώς και περιοχές με πρόβλημα κατολισθήσεων, όπως επίσης και βραχώδεις περιοχές, που θα δυσχεράνουν την προσπάθεια μεταφοράς και θεμελίωσης των μηχανών. Τέλος, στα θέματα χρήσης γης υπάρχει μία σαφής τάση για περιορισμό της απαιτούμενης έκτασης, είτε με την εγκατάσταση μεγαλύτερων και λιγότερων μηχανών είτε με την πυκνότερη διάταξη των ανεμογεννητριών, στα ιδρυόμενα αιολικά πάρκα.

Σ' αυτό το σημείο βέβαια πρέπει να αναφέρουμε και τη χρησιμότητα της μεγάλης έκτασης στην οποία θα εγκατασταθεί το αιολικό πάρκο καθώς θα υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσής της για γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Φυσικά, η έκταση που καταλαμβάνει ένα αιολικό πάρκο είναι δυνατόν να φιλοξενήσει και άλλες χρήσεις, όπως π.χ. αυτοκινητόδρομους, αρκεί να μην παρεμποδίζουν την λειτουργία του. Δηλαδή δεν θα μπορούσε να αναγερθούν μέσα στο πάρκο κτίρια ή ψηλά δένδρα γιατί θα αλλοίωναν τα χαρακτηριστικά του ανέμου.

- Αποδοχή της ανεμογεννήτριας από το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο
- Υφιστάμενα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή.  
Οι δύο αυτές συνιστώσες στοχεύουν στο να καταστεί δυνατή η μεταφορά της παραγόμενης αιολικής - ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς προβλήματα. Για τη σύνδεση στο δίκτυο θα αναφερθούμε σε επόμενη ενότητα.
- Αντιμετώπιση ακραίων μετεωρολογικών συνθηκών

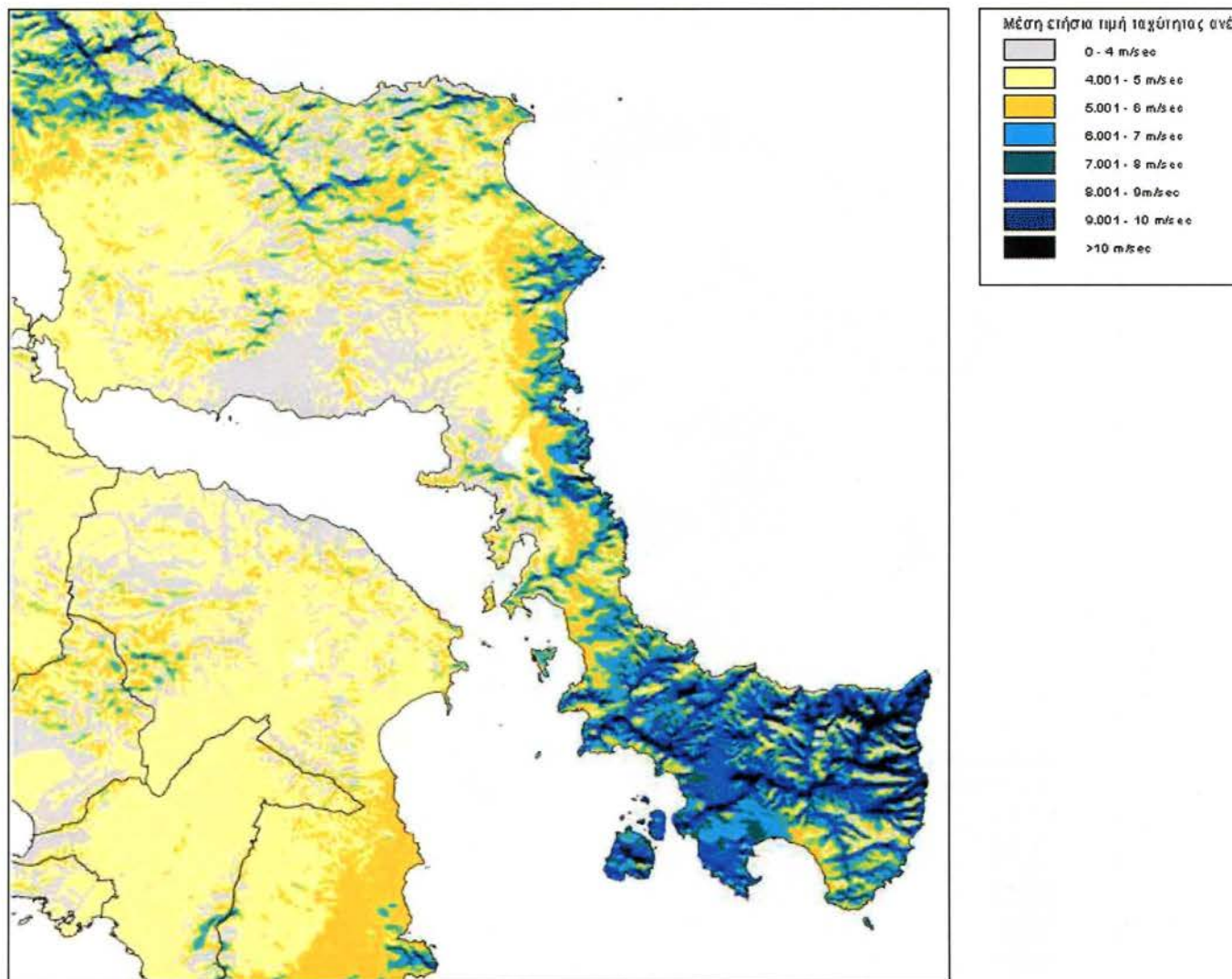
Και συγκεκριμένα:

- ✓ Ο παγετός. Η επικάλυψη πάγου στα μέρη της εγκατάστασης αυξάνει τη στατική και δυναμική τους καταπόνηση, με αποτέλεσμα να πρέπει τα μέρη της εγκατάστασης αλλά και οι γραμμές μεταφοράς ενέργειας να υπολογισθούν σε καταπονήσεις από αυξημένα μηχανικά φορτία. Επίσης είναι πιθανόν να προκαλέσει την εκτόξευση τμημάτων πάγου κατά την περιστροφή των πτερυγίων. Ένας επιπρόσθετος κίνδυνος που συνοδεύει την εμφάνιση παγετού, είναι η καταστροφή των ανεμομέτρων ή η βλάβη των συστημάτων ελέγχου της εγκατάστασης. Για τους παραπάνω λόγους αυξάνεται και το κόστος συντήρησης και λειτουργίας της μονάδος.
  - ✓ Η υγρασία και οι συχνές βροχοπτώσεις. Πράγματι, η υψηλή υγρασία επιταχύνει φαινόμενα οξειδωσης και διάβρωσης της μηχανής, ενώ αντίθετα αυξάνει την πυκνότητα του αέρα και συνεπώς και την αποδιδόμενη ισχύ. Βέβαια, με την αύξηση της υγρασίας σε επίπεδα κορεσμού εμφανίζονται σταγόνες νερού πάνω στα πτερύγια, οι οποίες όπως και στην περίπτωση της βροχής αλλοιώνουν την αεροδυναμική συμπεριφορά των πτερυγίων οδηγώντας σε πρόωρη αποκόλληση του οριακού στρώματος και σε πρόωρη απώλεια στήριξης των πτερυγίων της μηχανής.
  - ✓ Το υψόμετρο και η θερμοκρασία επηρεάζουν σημαντικά την αποδιδόμενη ισχύ μιας ανεμογεννήτριας. Η συχνότητα εμφάνισης υπερβολικά ισχυρών ανέμων (>9 Beaufort). Κάνοντας χρήση των διαθέσιμων ανεμολογικών στοιχείων, είναι δυνατόν να επιλεχθούν κατασκευές που είναι ικανές να λειτουργούν και σε μεγάλες ταχύτητες του ανέμου, ενώ διαθέτουν και την απαραίτητη στιβαρότητα να επιβιώσουν σε ιδιαίτερα δυσμενείς ανεμολογικές καταστάσεις, δηλαδή σε αιολικό δυναμικό διαφορετικών κλάσεων.
  - ✓ Η έντονη τύρβη της περιοχής εγκατάστασης έχει σα συνέπεια τη διαρκή μεταβολή του μέτρου και της διεύθυνσης του ανέμου. Οι διαρκείς αυτές μεταβολές προκαλούν κόπωση των συστατικών της κατασκευής, με αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας ζωής της ανεμογεννήτριας, αλλά και την αύξηση του κόστους συντήρησης της εγκατάστασης.
  - ✓ Τα μεταφερόμενα υλικά από τον άνεμο προκαλούν συχνά σημαντικές αλλοιώσεις στα μέρη της μηχανής.
  - ✓ Η σταθερότητα των πνεόντων ανέμων σε μία περιοχή συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση της καταπόνησης ενός ανεμοκινητήρα, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου ζωής της εγκατάστασης.
- Αποδοχή της εγκατάστασης από το κοινό. Το κοινό πρέπει να ενημερωθεί για τα έργα υποδομής, τα οποία αφενός θα διευκολύνουν τη ζωή των κατοίκων αφετέρου δε θα αλλοιώσουν το τοπίο. Παράλληλα, θα πρέπει να υπογραμμισθεί η δημιουργία κάποιων νέων θέσεων εργασίας, ενώ η παραγόμενη ενέργεια θα συνεισφέρει στην ανάπτυξη της περιοχής.
- Πιθανές εμπλοκές στη διαδικασία αδειοδότησης  
Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω κριτήρια για την επιλογή της θέσης εγκατάστασης του αιολικού πάρκου που μελετάμε και σύμφωνα με τον παρακάτω χάρτη αιολικού δυναμικού στην Ελλάδα καθώς και με τις περιοχές με αιολική προτεραιότητα, καταλήγουμε στην περιοχή της Ν. Εύβοιας και συγκεκριμένα στην Κάρυστο.

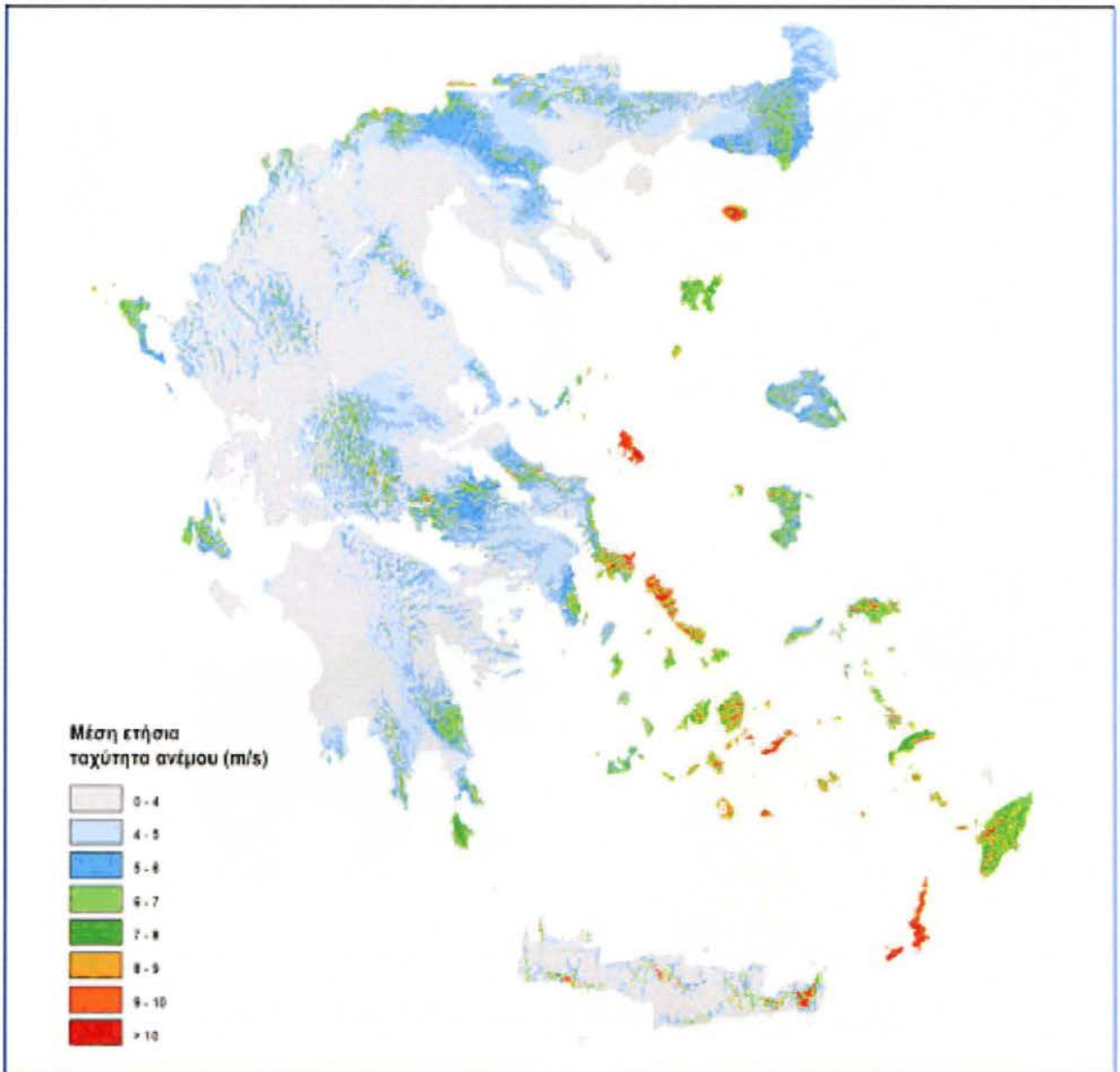
Από χωροταξική άποψη επισημαίνεται ότι:

- η διάνοιξη των δρόμων θα γίνει κατά τρόπο τέτοιοιον ώστε οι πυλώνες στήριξης των ανεμογεννητριών να βρίσκονται προς την νοτιοδυτική πλευρά των δρόμων εσωτερικής οδοποιίας (νοτιοδυτική είναι η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου στο αιολικό πάρκο)
- η πόρτα επίσκεψης της κάθε ανεμογεννήτριας θα είναι προς την αντίθετη φορά της επικρατούσης διεύθυνσης του ανέμου (δηλαδή προς την βοριοανατολική κατεύθυνση). Με αυτή την διάταξη διευκολύνεται η επίσκεψη εντός του πυλώνα της ανεμογεννήτριας
- το κανάλι καλωδίων (που όπως αναφέρθηκε περιλαμβάνει το δίκτυο ισχύος MT, το δίκτυο επικοινωνιών και τον αγωγό γείωσης του αιολικού πάρκου) θα τοποθετηθούν στην αντίθετη κατεύθυνση από αυτή της πόρτας της κάθε ανεμογεννήτριας.

Κατά την τοποθέτηση των διαφόρων καλωδίων θα τηρηθούν όλες οι προβλεπόμενες προδιαγραφές του Διαχειριστή Συστήματος Μεταφοράς (ΔΣΜ) και των άλλων κανονισμών. Η βάση του καναλιού θα επιστρωθεί με προϊόντα της εκσκαφής, κοσκινισμένα, σε ύψος 10 εκ. περίπου. Στην στάθμη αυτή θα τοποθετηθούν τα καλώδια ισχύος MT καθώς και ο αγωγός γείωσης. Κατόπιν, θα ακολουθήσει στρώση από άμμο λατομείου, πάχους 30 εκ. Στη στάθμη αυτή θα επιστρωθεί ειδική πλαστική ταινία για τον εντοπισμό των καλωδίων και αποφυγή πληγώματός τους σε περίπτωση μελλοντικής εκταφής τους. Θα επακολουθήσει στρώμα άμμου πάχους 20 εκ. στο μέσον του οποίου θα τοποθετηθεί το δίκτυο επικοινωνιών του αιολικού πάρκου. Στην κορυφή της στρώσης αυτής θα τοποθετηθούν πρόσθετες ειδικές πλαστικές ταινίες εντοπισμού καλωδίων ή ειδικές πλάκες τύπου πεζοδρομίων (οι λεγόμενες πλάκες τύπου ΑΗΚ). Η τελική στρώση του καναλιού καλωδίων θα γίνει με επεξεργασμένα υλικά εκσκαφής ή άμμο λατομείου, πάχους 40 εκ. περίπου μέχρι την επιφάνεια του εδάφους. Επισημαίνεται ότι όπου καλώδια βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο στάθμης θα πρέπει να τηρούνται οι προβλεπόμενες μεταξύ τους οριζόντιες αποστάσεις, σύμφωνα με τους κανονισμούς. Σε περιπτώσεις όδευσης του καναλιού καλωδίων κάτω από δρόμους διέλευσης βαρέων οχημάτων θα λαμβάνεται πρόσθετη μέριμνα για την ενίσχυση της μηχανικής αντοχής τους με την χρήση χαλυβδοσωλήνων ή πλαστικών σωλήνων PVC υψηλής αντοχής. Επίσης ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στις κάμψεις των καλωδίων κατά την διαδρομή τους ώστε να είναι εντός των ορίων των προδιαγραφών του κατασκευαστή.



Σχήμα 20.: Χάρτης αιολικού δυναμικού στη Ν. Εύβοια (ΚΑΠΕ)



Σχήμα 21: Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (ΚΑΠΕ, Υ.ΠΕ.Χ.Ε)









Παρουσίαση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν:

Οι υπολογισμοί που έγιναν με τη χρήση του λογισμικού Wasp ήταν η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού της εν λόγω περιοχής και ο υπολογισμός της ετήσιας παραγωγής ενέργειας από τις 6 Α/Γ.

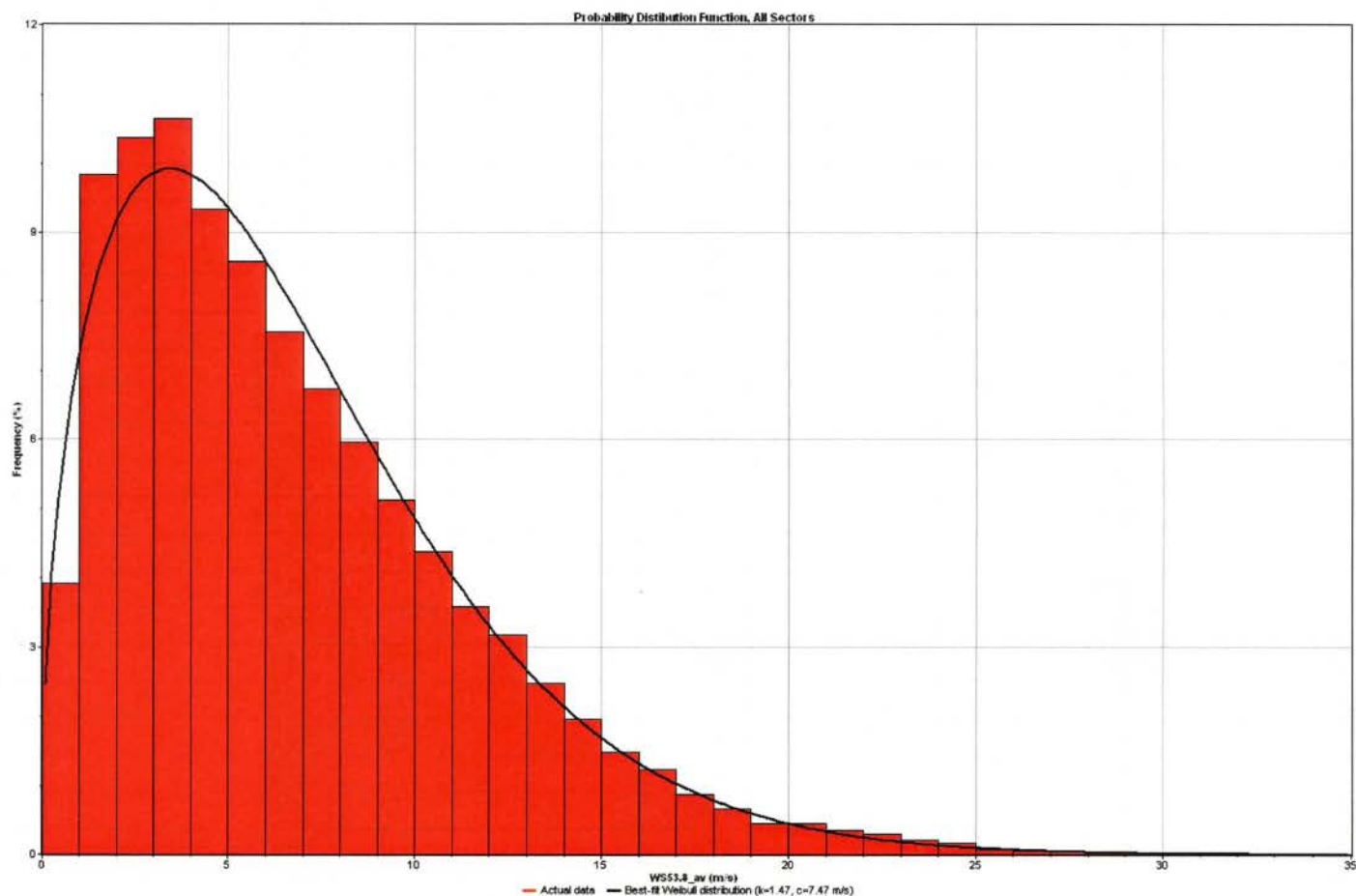
Το Wasp μπορεί να μας δώσει προβλέψεις για την παραγόμενη ετήσια ενέργεια του πάρκου στα 70 m από το έδαφος καθώς και αναλυτικά στοιχεία για κάθε Α/Γ που έχουν να κάνουν με τη μέση ταχύτητα ,σκίαση από γειτονικές Α/Γ και απώλειες ανά περιοχή διεύθυνσης του ανέμου.Η εκτίμηση της ετήσιας παραγωγής ενέργειας του Α/Π έγινε λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες λόγω σκίασης μεταξύ των Α/Γ.

Α/Γ	X	Y	ΥΨΟΣ	ΥΨΟΣ ΠΥΛΩΝΑ	ΤΑΧΥΤΗΤΑ
1	-254,1	-9207,2	441	78	7.07
2	-140,4	-9354.7	448	78	7.22
3	-42,3	-9475,9	460	78	7.05
4	68,9	-9666,5	460	78	7.16
5	180	-9234,6	460	78	7.22
6	329,9	-9653,7	460	78	7.09

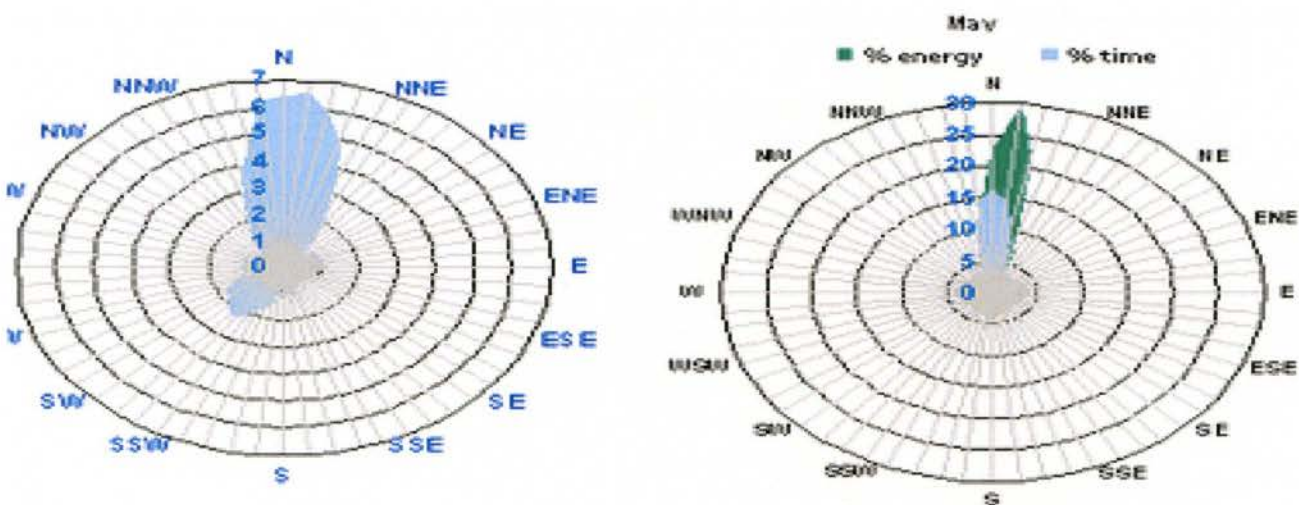
Πίνακας 5.1:δεδομένα με χρήση wasp

Ταχύτητα ανέμου(m/sec)	Συχνότητα εμφάνισης 1ο έτος	Συχνότητα εμφάνισης 2ο έτος	Συχνότητα εμφάνισης μέσος όρος
0	50	81	66
1	850	745	798
2	1700	1593	1647
3	2620	2500	2560
4	3350	3480	3415
5	4160	4265	4213
6	4400	4265	4333
7	4350	3922	4136
8	4080	3686	3883
9	3620	2706	3163
10	3400	2206	2803
11	2950	1864	2407
12	2450	1716	2083
13	2050	1667	1859
14	1610	1520	1565
15	1270	1412	1324
16	880	1078	979
17	490	667	589
18	430	490	470
19	340	294	315
20	300	245	273
21	200	196	198
22	160	176	165
23	100	98	99
24	80	20	50
25	50	10	40
Μέση ταχύτητα ανέμου	7.35	7.05	7.20

Πίνακας 5.2:Μετρήσεις ταχύτητας ανέμου



Σχήμα 25:Κατανομή ταχύτητας ανέμου



Σχήμα 26:ροδογράμματα

Έτος	Υπολ. παραγωγή(kWh)	Μηχανική διαθ.(%)	Συντελεστής διείσδυσης(%)	Απώλειες μεταφοράς(%)	Παραγωγή(kWh)
1	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
2	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
3	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
4	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
5	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
6	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
7	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
8	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
9	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
10	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
11	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
12	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
13	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
14	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
15	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
16	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
17	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
18	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
19	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
20	34.735.000	95,00	90,00	3,70	29.437.000
				ΣΥΝΟΛΟ	588.740.000
				ΑΠΟΔΟΣΗ	31.8%

Πίνακας 5.3:Υπολογισμός παραγόμενης kWh

### 5.3 Τεχνική περιγραφή της ανεμογεννήτριας E82/2000

Ο τύπος της ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιήθηκε είναι η ENERCON E-82/2000 KW. Για να γίνουμε ποίο κατανοητή όταν λέμε ανεμογεννήτρια τύπου E-82 εννοούμε ότι η διάμετρος και των τριών φτερών είναι 82 μέτρα εξού και η ονομασία που της έχουν δώσει. Πρέπει να αναφέρουμε ότι η κατασκευαστική εταιρία ENERCON βγάζει και άλλους τύπους ανεμογεννητριών όπως E-12,E-30, E-40, E-66,E-120. Η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια είναι μεταβλητών στροφών (6-21.5 στρ/λεπτ), τριών πτερυγίων που ελέγχεται από τρία ανεξάρτητα ηλεκτρονικά ελεγχόμενα συστήματα.

Η ταχύτητα εκκίνησης της ανεμογεννήτριας είναι τα 2,3m/sec ενώ η ταχύτητα ονομαστικής ισχύος είναι τα 12.5 m/sec. Ο άξονας της πτερωτής βρίσκεται στα 46 μέτρα ύψος. Οι πυλώνες των ανεμογεννητριών είναι μεταλλικοί, κωνικοί και βάρους 40.000 κιλών ο κάθε ένας. Στους παρακάτω πίνακες που ακολουθούν βλέπουμε τα ονομαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της E-82.

<b>Τύπος ανεμογεννήτριας:</b>	ENERGON E-82 (οριζοντίου άξονα,τριπτέρυγη,ανάντη του Ανέμου,μεταβλητών στροφών,μεταβλητού Βήματος χωρίς πολλαπλασιαστή στροφών)
Κατηγορία ανέμου	II
Ονομαστική ισχύς	2.050 kw
Ταχύτητα περιστροφής	Μεταβλητή ,6-12.5 στροφές/λεπτό
Διάμετρος ρότορα	82m
Ύψος πρύμνης(άξονα)	78m

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.4: Κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά

Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (cut-in)	2.3 m/s
Ταχύτητα ονομαστικής ισχύος (rated)	12.5 m/s
Ταχύτητα παύσης λειτουργίας (cut-out)	28-34 m/s (μέση τιμή 10 λέπτου)
Ταχύτητα ανέμου επιβίωσης	70 m/s (ριπή 50 ετών)
Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου	6.6 m/s (σχεδιασμός)
Ένταση τυρβής	20%
Κριτήρια επανέναρξης λειτουργίας	Σε περίπτωση που δεν παρατηρηθεί κανένα από τα παραπάνω κριτήρια παύσης λειτουργίας μέσα σε χρόνο 15 λεπτών η ανεμογεννήτρια θα ξεκινήσει ξανά τη λειτουργία της. Η μέγιστη ταχύτητα επανέναρξης της λειτουργίας είναι 25 m/s.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.5: Λειτουργικά χαρακτηριστικά

Πλήμνη	Άκαμπτη (χυτή)
Κύριος άξονας	Χυτός,μη περιστρεφόμενος
Έδραση	Τριβείς κυλίσεως κλειστού τύπου με κυλινδρικά στοιχεία

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6: Περιγραφή στοιχείων συστήματος μετάδοση ισχύος:

Γεννήτρια	Δακτυλιδοειδής σύγχρονη γεννήτρια ENERAGON ,άμεσα συνδεδεμένη με τη πλήμνη
Ονομαστική ισχύς	2.050 kw
Ονομαστική τάση	2*400 V
Ταχύτητα περιστροφής	6-12.5 στροφές/λεπτό
Ονομαστική ταχύτητα περιστροφής	31 στροφές/λεπτό
Κατηγορία μόνωσης	IP 23

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.7: Λειτουργικά χαρακτηριστικά γεννήτριας:

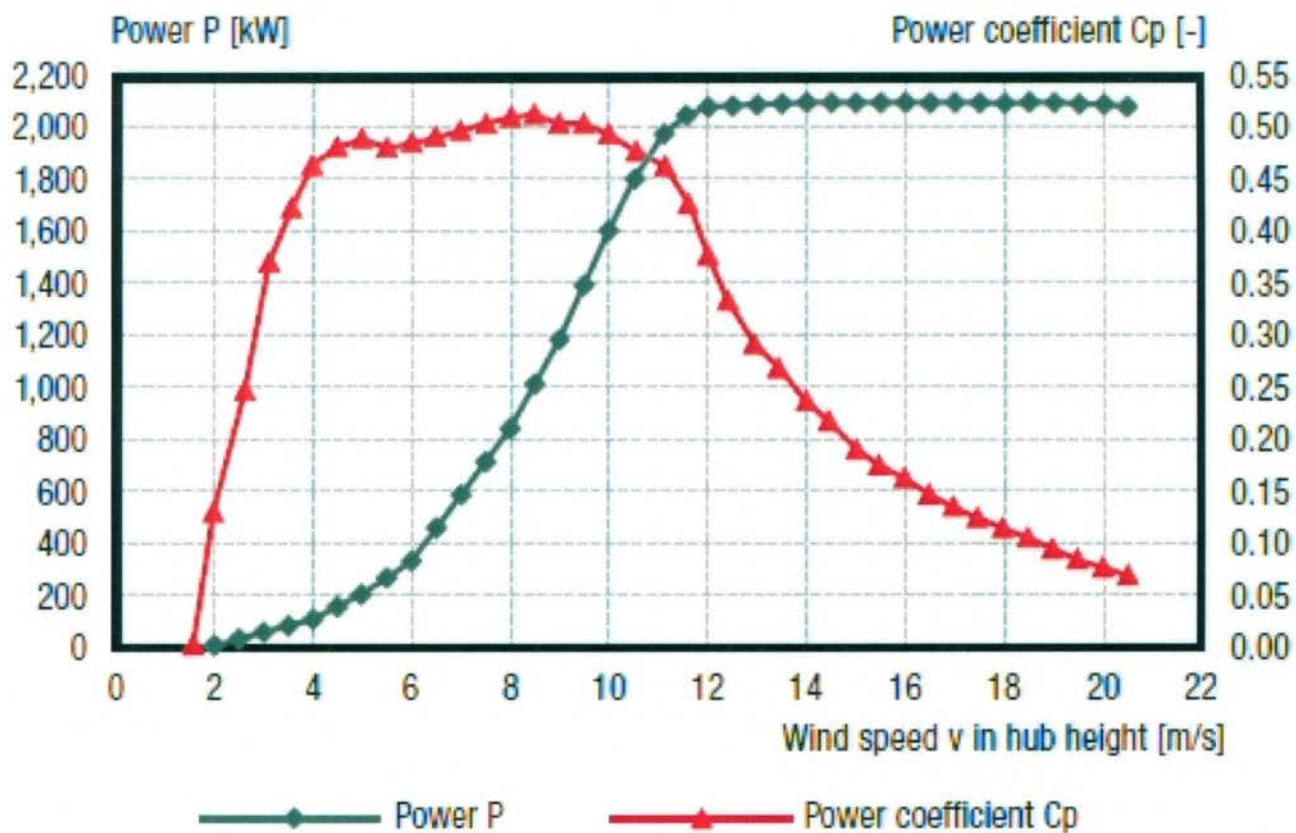


Τύπος	Ανάντη με ενεργό έλεγχο βήματος
Διεύθυνση περιστροφής	Δεξιόστροφα
Αριθμός πτερυγίων	3
Μήκος πτερυγίων	39.8 m
Επιφάνεια σάρωσης	5.281 m <sup>2</sup>
Υλικό	GRP/εποξική ρητίνη ενισχυμένη με υαλονήματα ,με ενσωματωμένη αντικεραυνική προστασία
Ταχύτητα ρότορα	Μεταβλητή 6-20 στροφές /λεπτό
Ταχύτητα ακροπτερυγίου	38-80 m/s
Απόκλιση κύριου άξονα(tilt)	4 μοίρες από το οριζόντιο επίπεδο
Σύστημα μεταβολής βήματος(pitch)	Τρεις αυτόνομοι ηλεκτροκινητήρες με εφεδρική τροφοδοσία
Ταχύτητα ρύθμισης βήματος	0-11 deg/s

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.8: Ρότορας και σύστημα μεταβολής βήματος πτερυγίων



Σχήμα 27 :καμπύλη ισχύος ENERCON E82-2000



Σχήμα 28:γραφικές παραστάσεις ενέργειας A/Γ

## Συμπληρωματικά Στοιχεία

### ❖ Σύνδεση δικτύου

Με τον ιδιαίτερα χαμηλών αρμονικών PWM μετατροπέα συχνότητας βασισμένο σε ηλεκτρονικά ισχύος (IGBT), παράγεται ημιτονοειδές ρεύμα ανάλογο των συμβατικών ηλεκτρογεννητριών, με ρυθμιζόμενη άεργο ισχύ και ελάχιστο ρεύμα εκκινήσεως.

### ❖ Σύστημα πέδησης

- Πέδηση ρότορα κάθε 30ο μέσω των τριών ανεξάρτητων (συγχρονισμένων) συστημάτων ελέγχου του βήματος των πτερυγίων.
- Υδραυλικό δισκόφρενο δύο εμβόλων
- κλείδωμα ρότορα ανά 15ο

### ❖ Σύστημα προσανεμισμού

- Ενεργό με 4 ρυθμιζόμενους ηλεκτροκινητήρες εφοδιασμένους με ρυθμιζόμενους μειωτήρες
- Ταχύτητα προσανεμισμού: 45 deg/min

### ❖ Πύργος

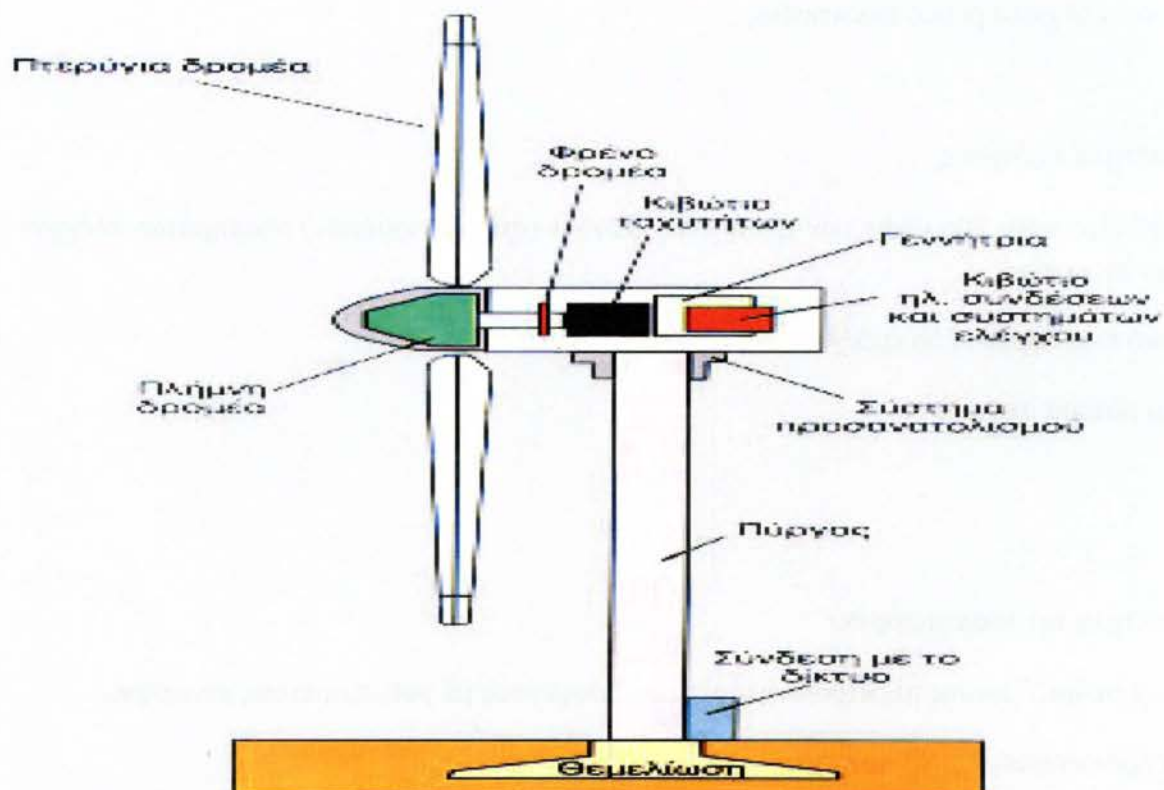
Κωνικός χαλύβδινος αποτελούμενος από δύο τμήματα.

### ❖ Ποιότητα χάλυβα

Rst 37-2 σύμφωνα με τους κατά DIN κανονισμούς 17100 ή S235JRG2 σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς κανονισμούς DIN EN 10025

### ❖ Αντιδιαβρωτική Προστασία Πύργου

Διπλό σύστημα, γαλβανισμένο θερμικά, με 0.28 mm πάχους εποξική ρητίνη και με χρώμα πολουρεθάνης Σκαρίφημα της E 82/2000 παρουσιάζεται στο Σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 29: Σκαρίφημα Ανεμογεννήτριας ENERCON E82 / 2000

Βασικές τεχνολογικές καινοτομίες ανεμογεννήτριας E82/2000

Οι βασικότερες καινοτομίες που χαρακτηρίζουν την E 82 / 2000 είναι:

- ✓ Απουσία πολλαπλασιαστή στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων)
- ✓ Τα περιστρεφόμενα μέρη της δακτυλιοειδούς γεννήτριας της ENERCON και ο ρότορας της E-82 αποτελούν ένα συγκρότημα. Ο ρότορας της γεννήτριας είναι συνδεδεμένος άμεσα πάνω στην πλήμνη, και έτσι περιστρέφεται με την ίδια μικρή ταχύτητα (31 rpm για ταχύτητα ανέμου 25 m/s), ενώ κανένα κινητό μέρος δεν περιστρέφεται σε υψηλές ταχύτητες.

Με τη σχεδίαση αυτή απουσιάζουν από το σύστημα μετάδοσης ισχύος, εκτός του κιβωτίου ταχυτήτων, τα ακόλουθα κινητά μέρη:

- Άξονας περιστροφής υψηλής ταχύτητας και τα έδρανα αυτού (μετά το κιβώτιο)
- Άξονας περιστροφής χαμηλής ταχύτητας και τα έδρανα αυτού (πριν το κιβώτιο), επιτυγχάνοντας τη δραστηκή μείωση:
- των απωλειών μετάδοσης ισχύος μεταξύ του ρότορα και της γεννήτριας
- των μηχανικών φθορών και καταπονήσεων
- των απαιτήσεων συντήρησης και αντικατάστασης βασικών μηχανολογικών τμημάτων του συστήματος μετάδοσης ισχύος
- του εκπεμπόμενου θορύβου

#### ❖ Σύστημα διαχείρισης δικτύου

Η ισχύς που παράγεται από τη γεννήτρια της E-82 παρέχεται στο δίκτυο μέσω ειδικού συστήματος της ENERCON (ENERCON Grid Management System). Λόγω της χρήσης του συστήματος αυτού, το οποίο περιλαμβάνει συνδυασμό ανορθωτών/μετατροπέα, επιτυγχάνονται :

- η λειτουργία της ανεμογεννήτριας σε μεταβλητές στροφές και η συνακόλουθη ελαχιστοποίηση των φορτίων από τις ριπές του ανέμου
- η λειτουργία της ανεμογεννήτριας σε μεγάλο εύρος τάσης και συχνότητας
- η παροχή υψηλής ποιότητας ισχύος στο δίκτυο, απαλλαγμένης από αιχμές ισχύος
- η τοπική υποστήριξη του δικτύου στο σημείο σύνδεσης καθώς είναι δυνατόν να προσαρμοστεί η λειτουργία της ανεμογεννήτριας στις επικρατούσες παραμέτρους του δικτύου (παραγωγή αέργου ισχύος, ρύθμιση ρυθμού ανάληψης φορτίου, κ.α.

## ❖ Σχεδίαση ρότορα

Στα βασικά χαρακτηριστικά του ρότορα περιλαμβάνονται:

- Πρωτοποριακή σχεδίαση προφίλ πτερυγίου, επιτυγχάνοντας υψηλή απόδοση ισχύος, χαμηλά φορτία, χαμηλή στάθμη θορύβου, σε μεγάλο εύρος ταχυτήτων ανέμου (από 2.5 m/s έως και 34 m/s).
- Λειτουργία σε μεταβλητές στροφές (variable speed). Κατά τη διάρκεια πνοής ανέμων χαμηλής ταχύτητας ο ρότορας περιστρέφεται με μικρή γωνιακή ταχύτητα ενώ κατά τη διάρκεια πνοής ανέμων μεγάλης ταχύτητας περιστρέφεται με μεγαλύτερη γωνιακή ταχύτητα. Το συγκεκριμένο λειτουργικό χαρακτηριστικό εξασφαλίζει τη βέλτιστη ροή του αέρα πάνω στα πτερύγια.
- Μεταβλητό βήμα πτερυγίων (pitch control) μέσω τριών ανεξάρτητων ηλεκτροκινητήρων με εφεδρική τροφοδοσία
- Κατασκευή πτερυγίου από εποξική ρητίνη και σύνδεση αυτού με την πλήμνη μέσω κυλινδρικού περικοχλίου

## ❖ Δακτυλιοειδής γεννήτρια

Η γεννήτρια της ENERCON είναι πολυπολική και η λειτουργία της βασίζεται στη σύγχρονη γεννήτρια, με ελεγχόμενο ρεύμα πεδίου διέγερσης. Χαρακτηριστικά σημειώνεται ότι η απόδοση της γεννήτριας ανέρχεται σε 94% για όλο το φάσμα λειτουργίας της

## Περιγραφή των τμημάτων της E82/2000

Τα βασικά τμήματα της ανεμογεννήτριας E82 της ENERCON παρουσιάζονται στην συνέχεια.

### ❖ Ρότορας

Τα πτερύγια της E82 κατασκευάζονται από πολυεστερικό πλαστικό (με βάση την εποξική ρητίνη, ενισχυμένη με υαλονήματα (Glass fiber Reinforced Plastic - GRP) γεγονός το οποίο έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση της ανεμογεννήτριας καθώς και στην προσπάθεια μείωσης των επιπέδων εκπεμπόμενου θορύβου.

Το σχήμα και το προφίλ των πτερυγίων της E82 συντελούν στην επίτευξη :

- Υψηλού συντελεστή απόδοσης
- Μεγάλης διάρκειας ζωής
- Χαμηλής στάθμη θορύβου
- Μικρών φορτίων
- Βέλτιστης χρήσης υλικών

Τα πτερύγια της E82 είναι ειδικά σχεδιασμένα ώστε να λειτουργούν με έλεγχο του βήματος των πτερυγίων και σε μεταβλητές στροφές. Το ειδικό προφίλ των πτερυγίων συντελεί στη μείωση της επίδρασης της τύρβης και των συσσωρευόμενων ρύπων στο εξωτερικό τμήμα του χείλους προσβολής. Εξάλλου ένα παθητικό όριο του μέγιστου συντελεστή άνωσης περιορίζει δραματικά τις αιχμές φόρτισης της δομής των πτερυγίων. Η χρήση της εποξικής ρητίνης επιτρέπει την κατασκευή πτερυγίων με μικρότερο βάρος σε σχέση με τα συμβατικά υλικά, μειώνοντας παράλληλα τις χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες.

Τα πτερύγια που κατασκευάζονται από εποξική ρητίνη παραμένουν εύκαμπτα, ενώ διατηρούν το σχήμα τους ακόμα κι αν εκτεθούν σε ακραίες καιρικές καταστάσεις, όπως ισχυρή ηλιακή ακτινοβολία καθώς το συγκεκριμένο υλικό έχει μεγάλη αντοχή στην παραμόρφωση. Ως αποτέλεσμα τα πτερύγια της E82 διατηρούν το σχήμα και τις ιδιότητες τους για μεγάλο χρονικό διάστημα, συντελώντας στην απροβλημάτιστη μακροχρόνια λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Η εποξική ρητίνη έχει υγροσκοπικές ιδιότητες που δεν επιτρέπουν την απορρόφηση νερού. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό καθώς ανεξάρτητα από την εξωτερική ειδική επίστρωση (gel coat) που φέρουν τα πτερύγια συνήθως στο εσωτερικό τους συγκεντρώνεται υγρασία η οποία συμπυκνώνεται προκαλώντας μακροπρόθεσμα την καταστροφή του πτερυγίου. Η επιτρεπόμενη τάση της ενισχυμένης με υαλονήματα εποξικής ρητίνης είναι μεγαλύτερη από άλλα υλικά, επιτρέποντας έτσι μικρότερο πάχος υλικού, μικρότερο βάρος πτερυγίου και συνεπώς μικρότερα φορτία στη φλάντζα σύνδεσης του πτερυγίου. Χάρη στις μικρές ιδιότητες ροής και τάνυσης της ρητίνης η σύνδεση του πτερυγίου με τη φλάντζα πραγματοποιείται με εξαιρετικά απλές λύσεις.

Τα πτερύγια της E-82 συνδέονται με την πλήμνη με ένα σύστημα κυλινδρικού περικοχλίου και κοχλία με περιστροφικούς δακτυλιοειδείς τριβείς, ενώ η πλήμνη εδράζεται με τριβείς κυλίσσεως πάνω στον κυρίως άξονα ο οποίος παραμένει σταθερός (μη περιστρεφόμενος).

Η αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων επιτυγχάνεται με τρεις ανεξάρτητους ηλεκτροκινητήρες οι οποίοι ελέγχονται από μικροεπεξεργαστή. Η γωνία προσβολής του πτερυγίου ελέγχεται συνεχώς για κάθε ένα πτερύγιο ξεχωριστά. Τα τρία πτερύγια συγχρονίζονται μεταξύ τους επιτρέποντας την ακριβή και ταχεία ρύθμιση της γωνίας προσβολής των πτερυγίων ανάλογα με τις επικρατούσες ανεμολογικές συνθήκες.

## ❖ Γεννήτρια

Η δακτυλιοειδής γεννήτρια της E-82 κινείται απευθείας από το ρότορα. Ο ρότορας της γεννήτριας και η πλήμνη αποτελούν ένα συγκρότημα και για το λόγο αυτό δεν απαιτείται επιπλέον έδραση της γεννήτριας. Η γεννήτρια της E-82 αποδίδει την ονομαστική της ισχύ για ταχύτητα περιστροφής του ρότορα μόλις 21.5 σ.α.λ. ενώ η απόδοσή της ανέρχεται σε 94% για όλο το φάσμα λειτουργίας της .

Η λειτουργία της πολυπολικής γεννήτριας της ENERCON βασίζεται στη σύγχρονη γεννήτρια, ενώ το βάρος της είναι ιδιαίτερα χαμηλό συγκρινόμενο με αντίστοιχες πολυπολικές γεννήτριες που βρίσκουν εφαρμογή σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς.

Λόγω των χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής και της μεγάλης επιφάνειας της γεννήτριας η αναπτυσσόμενη θερμοκρασία και οι διακυμάνσεις αυτής κατά τη λειτουργία είναι μικρές, ακόμη και στην ονομαστική ισχύ. Οι μικρές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και οι μικρές μεταβολές του φορτίου έχουν ως αποτέλεσμα να ελαχιστοποιείται η μηχανική καταπόνηση και η γήρανση της γεννήτριας και της μόνωσής της. Εξάλλου, οι μεταβλητές στροφές επιφέρουν μείωση στις αιχμές της αναπτυσσόμενης ροπής. Η μεγάλη διάρκεια ζωής αποτελεί βασικό στόχο κατά την κατασκευή της γεννήτριας. Ειδική μέθοδος ακολουθείται και για την προστασία των περιελίξεων της γεννήτριας.

Ο στάτορας λαμβάνει την πρώτη επίστρωση κατά της διάβρωσης μετά τη συναρμολόγησή του και πριν μπουν οι περιελίξεις στις σχισμές του. Τότε μόνο οι χάλκινες περιελίξεις (κατηγορία μόνωσης F 1550 σύμφωνα με τους Γερμανικούς Κανονισμούς VDE) τοποθετούνται στις θέσεις τους. Η μόνωση μεταξύ των περιελίξεων και των σχισμών πραγματοποιείται με πολλαπλές στρώσεις. Το εσωτερικό είναι ηλεκτρομονωτικό σύμφωνα με το DIN IEC 674, ενώ το εξωτερικό είναι κατασκευασμένο από χαρτί αραμιδής (Nomex). Αυτός ο συνδυασμός εγγυάται χαμηλή απορρόφηση υγρασίας καθώς επίσης και καλή αντίσταση σε θερμότητα και σε χημική αλλοίωση. Οι περιελίξεις χαλκού δέχονται μία πρώτη επίστρωση για θερμική προστασία και κατόπιν μία επιπλέον με βάση την πολυαμιδη. Η όλη μόνωση είναι συνδυασμός δυο διαφορετικών βερνικιών. Με αυτή τη διπλή επίστρωση επιτυγχάνεται η βέλτιστη προστασία των περιελίξεων. Μετά την τοποθέτηση των περιελίξεων ο στάτορας εμβαπτίζεται μέσα σε μάνιο ρητίνης σε κενό αέρος.

Η χρησιμοποιούμενη ρητίνη δεν έχει άλλες προσμίξεις και βασικό συστατικό της είναι ακόρεστος πολυεστέρας. Με τη μέθοδο εμβάπτισης σε κενό επιτυγχάνεται η διάχυση της ρητίνης και στα πιο μικρά κενά μεταξύ των περιελίξεων και των εγκοπών, αποβάλλοντας τον αέρα ανάμεσα τους. Κατόπιν ο



εμβαπτισμένος στάτορας ψήνεται σε ειδικό φούρνο. Στη συνέχεια εφαρμόζεται στις περιελίξεις ένα επιπλέον βερνίκι το οποίο τις προστατεύει μηχανικά και υδροστατικά.

Τέλος, μια εκτεταμένη δοκιμή κατά DIN VDE 0530 (δοκιμή μόνωσης υπό τάση διπλάσια της ονομαστικής συν επιπλέον 1000 V, για ένα λεπτό) επιβεβαιώνει τη σωστή κατασκευή της γεννήτριας.

### ❖ Σύστημα διαχείρισης δικτύου

Με το σύστημα διαχείρισης δικτύου το ρεύμα της γεννήτριας θα ανορθωθεί, θα μετασχηματισθεί και θα μορφοποιηθεί σε μορφή και τιμή σύμφωνα με τις απαιτήσεις και τα πρότυπα του διαχειριστή του δικτύου και τότε μόνο θα τροφοδοτηθεί στο δίκτυο, μέσω ενός μετασχηματιστή Χαμηλής Τάσης/Μεσαίας Τάσης (0,4/22 kV).

Η μορφή του ρεύματος είναι ημιτονοειδής χωρίς αρμονικές ενώ ένα φίλτρο υψηλών συχνοτήτων διασφαλίζει την τήρηση όλων των απαιτήσεων όσον αφορά την ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) και την ποιότητα ισχύος.

Το ρεύμα παράγεται από την ENERCON με μικροηλεκτρονικά και ηλεκτρονικά ισχύος σε σχέση με ένα ρεύμα αναφοράς. Το ρεύμα αναφοράς καθορίζεται από την παραγωγή ισχύος της ανεμογεννήτριας και την επιθυμητή φασική γωνία με την τάση του δικτύου (επιθυμητό  $\cos\varphi$ ).

Η τιμή αυτή συγκρίνεται με την πραγματική τιμή του διοχετευόμενου ρεύματος κάθε 100  $\mu\text{s}$  και διορθώνεται ανάλογα.

Το σύστημα διαχείρισης του δικτύου είναι αποζευγμένο από τη γεννήτρια μέσω ενός ενδιάμεσου κυκλώματος συνεχούς ρεύματος (DC bus). Μεταφορικά, ο ρότορας του μετατροπέα αιολικής ενέργειας είναι συνδεδεμένος με το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ενός ελαστικού συνδέσμου. Αυτή η ελαστική ζεύξη επιτρέπει στα ηλεκτρονικά ισχύος να εξισορροπήσουν τις διακυμάνσεις ισχύος χαμηλής συχνότητας. Χάρη σε αυτό το γεγονός η ισχύς εξόδου της E-82 μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια σε όλο το φάσμα λειτουργίας της, έτσι ώστε να μην παρατηρούνται αξιοσημείωτες διακυμάνσεις ισχύος και αντίστοιχες μεταβολές της τάσης (flicker).

Ο συνδυασμός αυτός των τεχνολογιών επιτρέπει τη σύνδεση της ανεμογεννήτριας στο δίκτυο χωρίς περίπλοκες συνθήκες σύνδεσης. Πιστοποιητικά δημοσιευμένα από ανεξάρτητα ινστιτούτα επιβεβαιώνουν το γεγονός αυτό. Τα όρια λειτουργίας της ανεμογεννήτριας για παράλληλη σύνδεση με το δίκτυο ουσιαστικά τίθενται από τους περιορισμούς του δικτύου (ελάχιστη και μέγιστη τάση). Αυτές οι δύο τιμές (υπό- και υπέρ-τάση), όπως επίσης και η χρονική σταθερά για το διάστημα μέτρησης, μπορούν να ορισθούν διακριτά μεταξύ τους ως μεταβλητές για τη λειτουργία της E-82 ανάλογα με τις απαιτήσεις του διαχειριστή του δικτύου. Μια ελάχιστη και μια μέγιστη τιμή είναι δυνατόν να ορισθούν και για τη συχνότητα. Στην περίπτωση που τα συγκεκριμένα όρια δεν τηρούνται, τότε η E-82 θα αποσυνδεθεί ακαριαία από το δίκτυο. Καθώς δεν υπάρχουν αντισταθμιστικές διατάξεις (πυκνωτές), τότε η τάση και η συχνότητα θα

καταρρεύσουν αμέσως. Ο μετατροπέας της E-82 θα αποσυνδεθεί από το δίκτυο μέσα σε χρονικό διάστημα 10 ms. Συνεπώς, αποκλείονται ακόμα και στιγμιαίες αιχμές ρεύματος και τάσης.

Εξάλλου προβλέπεται ειδική κατάσταση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας κατά την οποία η ισχύς εξόδου της εξαρτάται και καθορίζεται από την τάση του δικτύου στο σημείο σύνδεσης.

Ως αποτέλεσμα αποφεύγονται καταστάσεις κατά τις οποίες θα επιβαλλόταν η παύση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (για λόγους δικτύου), με αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην παραγωγή ενέργειας όσο και στην εύρυθμη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος. Κατά την ειδική αυτή κατάσταση λειτουργίας, η τάση του δικτύου μετριέται και παρακολουθείται διαρκώς. Σε περίπτωση που η τάση αυξηθεί (π.χ. εξαιτίας έλλειψης φορτίου κατά τη διάρκεια της νύχτας), η ισχύς εξόδου της E-82 θα μειωθεί άμεσα. Το παραγόμενο ρεύμα επιτηρείται από το σύστημα ελέγχου και δεν παρατηρείται επιπλέον αύξηση της τάσης λόγω της παραγωγής της ανεμογεννήτριας. Με τον ενεργό αυτό έλεγχο της τάσης του δικτύου εξασφαλίζεται ότι η ισχύς που τροφοδοτείται στο δίκτυο περιορίζεται σε αυτήν η οποία μπορεί να απορροφηθεί με ασφάλεια (η ισχύς που τροφοδοτείται στο δίκτυο ελέγχεται από την επιδεκτική ικανότητα του δικτύου). Οπότε το πλήρες σταμάτημα της ανεμογεννήτριας δεν είναι πλέον αναγκαίο. Η E-82 μπορεί να προσαρμοστεί σε ασθενή δίκτυα χωρίς ακριβά μέσα υποστήριξης δικτύου.

Τη στιγμή που μία ανεμογεννήτρια ή ένα αιολικό πάρκο τίθενται σε παράλληλη λειτουργία με το δίκτυο συχνά παρατηρείται ανύψωση τάσης. Συνήθως η μεταβολή αυτή εξισορροπείται με ρυθμιζόμενους μετασχηματιστές ή με σύγχρονες γεννήτριες. Η παραγωγή ισχύος της E-82 δέχεται ως μεταβλητή τον επιθυμητό ρυθμό αύξησης της παραγόμενης ισχύος ( $dP/dt$ ) ο οποίος μπορεί να προεπιλεγεί. Το γεγονός αυτό επιτρέπει στους ρυθμιζόμενους μετασχηματιστές ή στις σύγχρονες γεννήτριες του συστήματος να προσαρμόζονται στην εκάστοτε κατάσταση (στοιχεία τα οποία κατά κανόνα μεταβάλλουν με πιο αργούς ρυθμούς τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους). Ο έλεγχος αυτός της ρύθμισης ισχύος ενεργοποιείται αυτομάτως (π.χ. κατά τη διάρκεια δυνατών μεταβλητών ανέμων ή καταιγίδων) έτσι ώστε να απαλλάσσει το

Η φασική γωνία μεταξύ της τάσης δικτύου και του ρεύματος δύναται να παραμένει σταθερή (π.χ. "συν  $\varphi=1$ ") σε όλο το εύρος λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (από 0 έως 2,050 kW). Στην κατάσταση αυτή μόνο πραγματική ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο ενώ δεν υπάρχει κατανάλωση αέργου ισχύος από την ανεμογεννήτρια, όπως θα συνέβαινε με συμβατικές ασύγχρονες γεννήτριες.

Σημειώνεται ότι η λειτουργία της ανεμογεννήτριας όσον αφορά την κατανάλωση ή την παραγωγή αέργου ισχύος μπορεί να τίθεται στο επιθυμητό σημείο (από 0.95 χωρητικό έως 0.95 επαγωγικό).

## ❖ Σύστημα Προσανεμισμού (Yaw)

Μια φλάντζα συνδέεται απευθείας πάνω στον πύργο. Πάνω σε αυτήν τη φλάντζα τοποθετείται ο κεντρικός άξονας μαζί με μια στεφάνη με εξωτερική οδόντωση.

Τέσσερις σερβοκινητήρες εμπλέκονται με τη στεφάνη έτσι ώστε να περιστρέψουν την άτρακτο σύμφωνα με τη διεύθυνση του ανέμου. Ο κεντρικός άξονας μαζί με τον κεντρικό φορέα αποτελούν το στήριγμα του συστήματος προσανεμισμού της ατράκτου. Το βάρος του κελύφους μεταφέρεται στον πύργο μέσω δύο ολισθητήρων, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι στο κάτω μέρος του κεντρικού φορέα και ολισθαίνουν πάνω στη φλάντζα. Σύντομες αλλαγές στη διεύθυνση του ανέμου έχουν ως αποτέλεσμα τη δυναμική ευθυγράμμιση της ατράκτου με τη διεύθυνση του ανέμου. Οι ολισθητήρες της ατράκτου δημιουργούν μια ροπή -από την τριβή- γύρω από τον άξονα του πύργου η οποία είναι ικανή να μεταφέρει τη ροπή, που δημιουργείται από τη δυναμική περιστροφή του συστήματος προσανεμισμού, στον πύργο. Οι ολισθητήρες του κελύφους με την φλάντζα του πύργου δημιουργούν μια σύνδεση τριβής. Χάρη σε αυτήν τη σύνδεση τριβής οι δυναμικές κινήσεις για τον προσανεμισμό του κελύφους, μεταφέρονται στον πύργο. Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα προσανεμισμού και οι σερβοκινητήρες του δεν καταπονούνται εφόσον δε λειτουργούν.

## ❖ Το Σύστημα Ασφαλείας της E-82

Το σύστημα ασφαλείας της E-82 εγγυάται την ασφαλή λειτουργία της ανεμογεννήτριας σύμφωνα με τους διεθνείς κανονισμούς και τις δοκιμές ανεξάρτητων ινστιτούτων όπως τα Germanischer Lloyd και TÜV. Ακολουθεί περιγραφή των κυριότερων τμημάτων του συστήματος ασφαλείας.

## 🚧 Σύστημα Πέδησης

Οι μετατροπείς αιολικής ενέργειας της ENERCON δύνανται να ακινητοποιηθούν με πλήρως αεροδυναμικό τρόπο, στρέφοντας τα πτερύγια «έξω» από τον άνεμο με τη βοήθεια τριών ανεξάρτητων ηλεκτροκινητήρων (pitch drives). Με τον αεροδυναμικό τρόπο πέδησης επιτυγχάνεται μείωση των δυνάμεων και των ροπών που αναπτύσσονται στα πτερύγια και στην ανεμογεννήτρια, μειώνοντας έτσι ομαλά την ταχύτητα περιστροφής και επιτρέποντας την πλήρη στάση αυτής εντός ελαχίστων δευτερολέπτων. Σημειώνεται ότι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την πέδηση είναι μικρότερες από αυτές της κανονικής λειτουργίας της ανεμογεννήτριας, εξαλείφοντας τις ανεπιθύμητες δυναμικές φορτίσεις του φέροντα οργανισμό (main carrier) και του πύργου της ανεμογεννήτριας. Οι τρεις ανεξάρτητοι ηλεκτροκινητήρες μεταβολής του βήματος πτερυγίων στρέφουν τα πτερύγια εκτός ανέμου μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα, με αποτέλεσμα τη μείωση των αεροδυναμικών δυνάμεων και συνακόλουθα την ταχεία πέδηση του ρότορα. Σημειώνεται ότι θα αρκούσε η ενεργοποίηση και μόνο του ενός από τους τρεις ηλεκτροκινητήρες για να εξασφαλιστεί επιβράδυνση του ρότορα σε ασφαλείς ταχύτητες.

Ακόμα και όταν δεν είναι σε λειτουργία η ανεμογεννήτρια, ο ρότορας δεν ακινητοποιείται πλήρως αλλά περιστρέφεται ελεύθερα σε χαμηλές ταχύτητες, αποφεύγοντας την ανάπτυξη αξιοσημείωτων φορτίων και την καταπόνηση του ρότορα και των κινητών τμημάτων της ανεμογεννήτριας.

Ο ρότορας ακινητοποιείται μόνο για λόγους συντήρησης ή όταν ενεργοποιηθεί ο διακόπτης έκτακτης ανάγκης. Σε αυτή την περίπτωση ενεργοποιείται υδραυλικό δισκόφρενο με το οποίο είναι εφοδιασμένη η ανεμογεννήτρι για περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης, αφού έχει ήδη επιβραδυνθεί ο ρότορας με αεροδυναμικό τρόπο. Σε περίπτωση που το δίκτυο παρουσιάσει βλάβη, η επιβράδυνση του ρότορα επιτυγχάνεται από ιδιαίτερη μονάδα ελέγχου πτερυγίου έκτακτης ανάγκης το οποίο ενεργοποιείται με αυτόνομη τροφοδοσία (fail safe). Κάθε ένας από τους κινητήρες έχει το δικό του εφεδρικό σύστημα συσσωρευτών. Η συνεχής διαθεσιμότητα του συστήματος είναι εγγυημένη καθώς ένα σύστημα ελέγχου εποπτεύει συνεχώς τη φόρτιση και την κατάσταση των συσσωρευτών.

Η ενεργοποίηση των εν λόγω εφεδρικών συστημάτων γίνεται με ηλεκτρομηχανική ζεύξη. Ο συνδυασμός του εφεδρικού συστήματος τροφοδοσίας μαζί με τους τρεις ανεξάρτητους ηλεκτροκινητήρες υπερκαλύπτουν την απαίτηση δυο εξολοκλήρου ανεξάρτητων συστημάτων πέδησης που τίθενται από τα διεθνή πρότυπα.

## Αντικεραυνική Προστασία

Η Ε82/2000 είναι εξοπλισμένη με ένα ειδικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας με το οποίο το ρεύμα πιθανής κεραυνοπληξίας εκκενώνεται προς γη με πολύ μεγάλη αποτελεσματικότητα, αποφεύγοντας πιθανή καταστροφή των πτερυγίων ή άλλου εξοπλισμού. Ο κεραυνός θα εκκενωθεί από το πτερύγιο (ή την άτρακτο) στη θεμελιακή γείωση της ανεμογεννήτριας μέσω ενός συνεχούς συστήματος αγωγών, παρακάμπτοντας τριβείς, συνδέσμους και άλλα κινητά μέρη της ανεμογεννήτριας, ασχέτως της θέσης του ρότορα ή των πτερυγίων. Το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας περιλαμβάνει την ανάπτυξη ειδικού εξοπλισμού από το ακροπτερύγιο και την άτρακτο έως τη θεμελιακή γείωση:

- Το ακροπτερύγιο είναι κατασκευασμένο εξ' ολοκλήρου από χυτό αλουμίνιο, ενώ τα χείλη προσβολής και τα χείλη εκφυγής του πτερυγίου φέρουν αγωγή με ταινία αλουμινίου. Τα ελάσματα αυτά συνδέονται αγωγή με το ακροπτερύγιο και καταλήγουν κοντά στη βάση του πτερυγίου σε δακτύλιο αλουμινίου. Ο εν λόγω δακτύλιος βρίσκεται σε ασφαλή απόσταση από τα αγωγή μέρη της φλάντζας συνένωσης των πτερυγίων (προσαρμογέας/περικόχλιο, τριβείς, κ.α.), εξασφαλίζοντας τη μόνωσή τους από το πτερύγιο. Σε περίπτωση κεραυνοπληξίας το ρεύμα του κεραυνού δεν θα εκκενωθεί μέσω της πλήμνης και των εδράσεων αυτής, με αποτέλεσμα τα παραπάνω στοιχεία να προστατεύονται από σημαντικές ζημιές.
- Η διοχέτευση προς γη του ηλεκτρικού ρεύματος του κεραυνού γίνεται άμεσα στα μη κινούμενα στοιχεία της ανεμογεννήτριας μέσω διατάξεων σπινθηριστών. Η άτρακτος είναι εφοδιασμένη με τέσσερις τέτοιες διατάξεις σπινθηριστών (μία στο πίσω μέρος της και από μία στη βάση κάθε πτερυγίου). Οι σπινθηριστές ενώνονται αγωγή με τον κεντρικό φορέα της ανεμογεννήτριας και το μεταλλικό πύργο, μέσω των οποίων το ρεύμα του κεραυνού διοχετεύεται εξασθενημένο στη θεμελιακή γείωση της ανεμογεννήτριας. Η αντικεραυνική προστασία των ηλεκτρονικών τμημάτων του εξοπλισμού επιτυγχάνεται με την εγκατάσταση αυτών εντός γαλβανισμένων μεταλλικών πινάκων. Τα σήματα δεδομένων εισόδου και εξόδου προστατεύονται με τη χρήση οπτικών ινών ή ρελέ. Ακόμα σε περίπτωση κεραυνού ή ακόμα κάποιας ασυνήθιστης υπέρτασης όλα τα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα προστατεύονται από ειδικές διατάξεις. Το σύστημα τηλεμέτρησης προστατεύεται από ειδική διάταξη για μεταφορά δεδομένων.

## Σύστημα Αισθητήρων

Ένα εκτεταμένο σύστημα μετρήσεων και παρακολούθησης εγγυάται την ασφάλεια της ανεμογεννήτριας. Όλες οι συνθήκες που καθορίζουν την ασφάλεια της ανεμογεννήτριας μετρώνται με ηλεκτρονικούς αισθητήρες (αισθητήρες θερμοότητας, μικροδιακόπτες, γωνιακοί ή γραμμικοί καταγραφείς ταχύτητας, κ.α.). Σε ένα δεύτερο επίπεδο ελέγχου περιλαμβάνονται υψηλής ποιότητας μηχανικοί αισθητήρες. Εξάλλου αρκετές συνθήκες που σχετίζονται με την ασφάλεια, όπως η ταχύτητα του ρότορα και η θερμοκρασία της γεννήτριας παρακολουθούνται από περισσότερους και ανεξάρτητους μεταξύ τους αισθητήρες. Εάν κάποιος από τους αισθητήρες καταγράψει κάποιο σοβαρό σφάλμα η ανεμογεννήτρια θα σταματήσει αμέσως.

### Χαρακτηριστικά Λειτουργίας συστήματος ελέγχου

Το σύστημα ελέγχου της E-82 αποτελείται από την Κύρια Μονάδα Επεξεργασίας και περιφερειακούς μικροεπεξεργαστές. Κάθε περιφερειακός επεξεργαστής παρακολουθεί μια ομάδα παραμέτρων, ενώ η Κύρια Μονάδα Επεξεργασίας είναι υπεύθυνη για την οργάνωση της μεταφοράς των δεδομένων μεταξύ των περιφερειακών επεξεργαστών, την αξιολόγηση των σφαλμάτων καθώς και την εκκίνηση και το σταμάτημα της ανεμογεννήτριας. Επιπλέον η Κύρια Μονάδα Επεξεργασίας επικοινωνεί με το σύστημα τηλεμετάδοσης δεδομένων. Η επικοινωνία μεταξύ των επεξεργαστών πραγματοποιείται με διαύλους δεδομένων (κυρίως οπτικές ίνες). Η E-82 παρακολουθεί μια πληθώρα από λειτουργικές συνθήκες και αξιολογεί την τρέχουσα κατάσταση του κάθε στοιχείου.

### Κύρια Χαρακτηριστικά Λειτουργίας

Το σύστημα ελέγχου λαμβάνει μετρήσεις από όλα τα στοιχεία, όπως η διεύθυνση και η ταχύτητα του ανέμου και προσαρμόζει ανάλογα τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Το σύστημα προσανεμισμού της E-82 βρίσκεται εν λειτουργία συνεχώς, ακόμη και όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλότερη από την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (2.3 m/s). Ο ανεμοδείκτης καταγράφει συνεχώς τη διεύθυνση του ανέμου στο ύψος της πλήμνης. Σε περίπτωση που ο προσανατολισμός της ατράκτου (μέση τιμή λεπτού) παρουσιάζει απόκλιση από την κατεύθυνση του ανέμου μεγαλύτερη από κάποια συγκεκριμένη γωνία, τίθενται σε λειτουργία οι κινητήρες προσανεμισμού ώστε να αλλάξει ο προσανατολισμός αυτής.

Η κίνηση της ατράκτου ελέγχεται και καταγράφονται οι πλήρεις περιστροφές της προκειμένου να μην παρατηρηθεί συστροφή των καλωδίων. Έχοντας μετρήσει μια ικανοποιητική ταχύτητα ανέμου για τρία συνεχόμενα λεπτά, η ανεμογεννήτρια τίθεται σε κατάσταση αυτόματης εκκίνησης. Το δίκτυο θα

τροφοδοτηθεί με ισχύ αμέσως μόλις ο ρότορας υπερβεί την οριακή ταχύτητα περιστροφής, από την οποία μπορεί να παράγει ενέργεια η ανεμογεννήτρια. Μεγάλα ρεύματα εκκίνησης δεν παρατηρούνται λόγω της κατασκευής και του τρόπου λειτουργίας της γεννήτριας. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας σε μερικό φορτίο, η ισχύς εξόδου καθώς επίσης και η γωνία προσβολής των πτερυγίων από τον άνεμο προσαρμόζονται συνεχώς στις εκάστοτε ανεμολογικές συνθήκες. Σε ταχύτητες ανέμου άνω της ονομαστικής λειτουργίας, διατηρείται σταθερή η ταχύτητα περιστροφής και η ονομαστική ισχύς εξόδου της γεννήτριας ενώ μεταβάλλεται η γωνία προσβολής των πτερυγίων. Στην περίπτωση που η μέση ταχύτητα ανέμου φτάσει τα 25 m/s τότε η ανεμογεννήτρια θα σταματήσει. Η ανεμογεννήτρια θα ξεκινήσει πάλι μόνο εφόσον η μέση ταχύτητα του ανέμου παραμείνει για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα κάτω του παραπάνω ορίου. Όταν σταματήσει η ανεμογεννήτρια, ο ρότορας θα συνεχίσει να περιστρέφεται ελεύθερα με μικρή ταχύτητα.

Για να σταματήσει η ανεμογεννήτρια χειροκίνητα ή από το σύστημα ελέγχου η γωνία προσβολής των πτερυγίων θα ελαττωθεί. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της ενεργής επιφάνειας των πτερυγίων έτσι ώστε η ανεμογεννήτρια θα ελαττώσει την ταχύτητα της μέχρι να σταματήσει.

#### Απόκριση των Αισθητήρων Ασφαλείας

Εάν ενεργοποιηθεί ένας αισθητήρας ο οποίος σχετίζεται με την ασφάλεια της ανεμογεννήτριας, τίθεται σε λειτουργία η διαδικασία αυτόματης παύσης περιστροφής του ρότορα. Η ειδική αυτή περίπτωση καθώς και το πότε η ανεμογεννήτρια θα επανακινήσει, εξαρτάται από τη σοβαρότητα του σφάλματος. Η καλή λειτουργία των αισθητήρων παρακολουθείται συνεχώς από το σύστημα διαχείρισης. Η ενεργοποίηση ορισμένων αισθητήρων έχει ως αποτέλεσμα το άμεσο σταμάτημα της ανεμογεννήτριας και απαιτώντας την άμεση επέμβαση από το προσωπικό της συντήρησης.

#### Διαδικασία Εκκίνησης

Στη συνέχεια περιγράφεται η διαδικασία εκκίνησης μετά από ένα αυτόματο σταμάτημα (π.χ. έλλειψη ανέμου) καθώς επίσης και από χειρισμό στο διακόπτη εκκίνησης / σταματήματος.

Η ανεμογεννήτρια είναι σε θέση εκκίνησης λειτουργίας όταν:

- ο κύριος διακόπτης είναι ανοικτός
- ο πίνακας ελέγχου είναι ανοικτός
- ο διακόπτης εκκίνησης / παύσης στη θέση εκκίνησης
- το σύστημα ελέγχου δεν ανιχνεύει κάποιο σφάλμα

Στην κατάσταση αυτή εμφανίζεται η ένδειξη "Ανεμογεννήτρια Έτοιμη για Λειτουργία" στην οθόνη υγρών κρυστάλλων. Λίγο μετά την εκκίνηση περιστροφής τα πτερύγια θα στραφούν «εντός» ανέμου και θα ξεκινήσει η λειτουργία της ανεμογεννήτριας εν κενώ φορτίο. Κατά την κατάσταση αυτή ο ρότορας θα στρέφεται με μικρή ταχύτητα. Η ανεμογεννήτρια θα αρχίσει να παράγει εάν για τρία συνεχόμενα λεπτά η μέση ταχύτητα του

ανέμου υπερβαίνει την ταχύτητα εκκίνησης. Στην αρχή της διαδικασίας εκκίνησης το DC κύκλωμα του μετατροπέα τροφοδοτείται από μια εσωτερική διάταξη. Η ισχύς που απαιτείται κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου είναι 4 kVA για περίπου 20 δευτερόλεπτα. Όταν τελειώσει αυτή η περίοδος η ανεμογεννήτρια θα συνδεθεί με το δίκτυο μεταφοράς μέσω ασφαλειοδιακόπτη.

Στη συνέχεια μεγαλώνοντας τη γωνία προσβολής των πτερυγίων, η ταχύτητα θα αυξηθεί. Όταν ο ρότορας φθάσει την ελάχιστη ταχύτητα περιστροφής τότε η ανεμογεννήτρια θα τροφοδοτήσει ισχύ στο δίκτυο. Αυξανόμενης περαιτέρω της γωνίας προσβολής αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής και η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας. Ο ρυθμός αύξησης της παραγόμενης ισχύος ( $dp/dt$ ) είναι ρυθμιζόμενος. Αυτό σημαίνει ότι ελέγχεται η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας κατά τη διάρκεια της εκκίνησης.

### Κανονική Λειτουργία

Όταν τελειώσει η διαδικασία εκκίνησης της E-82 η ανεμογεννήτρια μπαίνει σε κανονική λειτουργία. Κατά την κανονική λειτουργία παρακολουθούνται συνεχώς οι ανεμολογικές συνθήκες και η κατάσταση όλων των αισθητήρων. Η άτρακτος προσανεμίζεται και βελτιστοποιούνται η ταχύτητα του ρότορα, η διέγερση της γεννήτριας και η παραγόμενη ισχύς.

### Λειτουργία με Μερικό Φορτίο

Κατά τη λειτουργία με μερικό φορτίο η ταχύτητα περιστροφής και η ισχύς εξόδου προσαρμόζονται συνεχώς στις εκάστοτε ανεμολογικές συνθήκες. Όταν το φορτίο πλησιάζει το ονομαστικό, τότε η γωνία προσβολής αλλάζει ελαφρά ώστε να επιτυγχάνονται καλύτερες αεροδυναμικές συνθήκες. ταχύτητα του ρότορα και η ισχύς εξόδου αυξάνεται σε μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου. Ο ρυθμός αύξησης της παραγόμενης ισχύος ( $dp/dt$ ) είναι ρυθμιζόμενος και κατά την κανονική λειτουργία, όπως και κατά την εκκίνηση.

## ✚ Ελεγχόμενη Λειτουργία

Πάνω από την ονομαστική ταχύτητα ανέμου ο ρότορας θα περιστρέφεται λίγο πάνω ή λίγο κάτω από την ονομαστική του ταχύτητα αλλάζοντας τη γωνία προσβολής των πτερυγίων, ενώ η ισχύς εξόδου παραμένει στην ονομαστική (ελεγχόμενη λειτουργία). Για τον υπολογισμό της βέλτιστης γωνίας προσβολής των πτερυγίων λαμβάνονται υπόψη η ταχύτητα και η επιτάχυνση περιστροφής του ρότορα καθώς και η ταχύτητα και η επιτάχυνση του ανέμου και στη συνέχεια δίδεται εντολή στους τρεις ανεξάρτητους κινητήρες μεταβολής του βήματος των πτερυγίων. Έτσι η ισχύς εξόδου διατηρείται στην ονομαστική της τιμή. Επιπροσθέτως η E-82 παρέχει έναν τρόπο λειτουργίας στον οποίο η ισχύς εξόδου εξαρτάται από την τάση του δικτύου (προαιρετικά). Η τάση του δικτύου μετράται συνεχώς κι όταν π.χ. αυξηθεί τη νύχτα λόγω χαμηλής κατανάλωσης τότε η ισχύς εξόδου της E-82 θα μειωθεί αμέσως.

## ✚ Άεργος Λειτουργία

Όταν η ανεμογεννήτρια σταματήσει να παράγει (π.χ. λόγω έλλειψης ανέμου) τα πτερύγια στρέφονται σε γωνία προσβολής 60ο σε σχέση με την κανονική λειτουργία. Ο ρότορας θα συνεχίσει να περιστρέφεται με μια πολύ μικρή ταχύτητα. Εάν ο ρότορας υπερβεί αυτήν την ταχύτητα τότε τα πτερύγια θα στραφούν περισσότερο πλησιάζοντας πιο πολύ τη θέση ηρεμίας (90ο). Αυτός ο τρόπος λειτουργίας ονομάζεται άεργος λειτουργία.

Η άεργος λειτουργία μειώνει τα φορτία και δίνει τη δυνατότητα να ξεκινήσει η παραγωγή ενέργειας σε σύντομο χρονικό διάστημα. Ο λόγος για την παύση παραγωγής και τη θέση σε «Άεργο Λειτουργία» θα εμφανιστούν σαν μηνύματα στην οθόνη ενδείξεων.

## ✚ Παύση Περιστροφής

Η E-82 μπορεί να σταματήσει χειροκίνητα με χειρισμό στο διακόπτη εκκίνησης /παύσης, με τον διακόπτη της έκτακτης ανάγκης ή τον διακόπτη της άμεσης παύσης. Σε περίπτωση βλάβης ή σε συνθήκες ακατάλληλου ανέμου η ανεμογεννήτρια θα σταματήσει από το σύστημα ελέγχου.

Κάθε ένα από τα πτερύγια έχει, σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα, το δικό του ανεξάρτητο ηλεκτρικό σύστημα για τους κινητήρες μεταβολής βήματος. Όταν σταματήσει η ανεμογεννήτρια ο ρότορας δε θα σταματήσει από κάποιο μηχανικό φρένο, παρά μόνο μετά από χειροκίνητη ενεργοποίηση του διακόπτη έκτακτης ανάγκης. Τα πτερύγια στρέφονται εκτός ανέμου με αποτέλεσμα να εμποδίζουν το ρότορα να επιταχύνει, έτσι ο ρότορας στρέφεται εν κενώ (άεργη λειτουργία). Συνεπώς, ο ρότορας και οι ηλεκτροκινητήρες δεν καταπονούνται.



## Αυτόματο Σταμάτημα

Ο μετατροπέας αιολικής ενέργειας της ENERCON κατά την κανονική λειτουργία θα σταματήσει αποκλειστικά αλλάζοντας τη γωνία προσβολής των πτερυγίων. Με την αλλαγή της γωνία προσβολής η αεροδυναμική άνωση θα μειωθεί και ο ρότορας θα επιβραδυνθεί. Οι κινητήρες μεταβολής του βήματος μπορούν να στρέψουν τα πτερύγια εντελώς εκτός ανέμου με αποτέλεσμα, μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα, ο ρότορας να σταματήσει. Η ανεμογεννήτρια θα σταματήσει αυτόματα κάτω από συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως ορισμένα σφάλματα, συνθήκες λειτουργίας ή ακατάλληλες ανεμολογικές συνθήκες. Ορισμένες καταστάσεις σφαλμάτων απαιτούν γρήγορους χειρισμούς μέσω των κινητήρων των πτερυγίων, ενώ άλλες οδηγούν απλά σε διαδικασία σταματήματος. Αναλόγως τη φύση του σφάλματος, είναι δυνατή η επανεκκίνηση της ανεμογεννήτριας. Σε κάθε περίπτωση σταματήματος η ανεμογεννήτρια θα αποσυνδεθεί από το δίκτυο.

## Χειροκίνητο Σταμάτημα

Η E-82 μπορεί να σταματήσει με χειρισμό στο διακόπτη εκκίνησης/ παύσης του πίνακα ελέγχου. Το σύστημα διαχείρισης θα στρέψει τα πτερύγια εκτός ανέμου έτσι ώστε ο ρότορας να σταματήσει μετά από λίγο. Το μηχανικό φρένο δε θα ενεργοποιηθεί, ενώ το σύστημα προσανεμισμού θα συνεχίσει να ευθυγραμμίζει τη νασέλα με τη διεύθυνση του ανέμου.

## Χειροκίνητο Σταμάτημα σε Έκτακτη Κατάσταση

Εάν προσωπικό ή υλικά μέρη είναι σε κίνδυνο τότε η ανεμογεννήτρια μπορεί να σταματήσει πατώντας τον διακόπτη της έκτακτης ανάγκης ή τον διακόπτη του άμεσου σταματήματος. Ο διακόπτης της έκτακτης ανάγκης βρίσκεται στον πίνακα ελέγχου. Όταν ενεργοποιηθεί η ανεμογεννήτρια τίθεται σε κατάσταση άμεσης παύσης περιστροφής εκτάκτου ανάγκης, θέτοντας τα πτερύγια εκτός ανέμου και ενεργοποιώντας το μηχανικό φρένο (δισκόφρενο). Ο διακόπτης του άμεσου σταματήματος βρίσκεται στον πίνακα της ατράκτου. Όπως το σταμάτημα έκτακτου ανάγκης θα προκαλέσει το άμεσο σταμάτημα της ανεμογεννήτριας. Επιπροσθέτως, θα σταματήσει την παροχή ρεύματος του συστήματος προσανεμισμού, των κινητήρων αλλαγής βήματος, της διέγερσης, του βαρούλκου ανύψωσης και του μετασχηματιστή.

Εάν κλείσει ο κύριος διακόπτης του πίνακα ελέγχου, όλα τα συστήματα εκτός του φωτισμού του πύργου, του πύργου και κάποιων ρευματοδοτών θα είναι χωρίς ρεύμα. Η ανεμογεννήτρια μπορεί επίσης να σταματήσει στρέφοντας τα πτερύγια εκτός ανέμου, με το εφεδρικό σύστημα συσσωρευτών. Το μηχανικό φρένο δε θα μπορεί να λειτουργήσει με το χειροκίνητο διακόπτη.

## Έλλειψη Ανέμου

Η ανεμογεννήτρια είναι σε λειτουργία, αλλά εάν λόγω έλλειψης ανέμου η ταχύτητα του ρότορα μειωθεί κάτω από ένα σημείο τότε τα πτερύγια θα στραφούν στις 60ο έτσι ώστε η ανεμογεννήτρια να μπει στην άεργο λειτουργία. Η ένδειξη "Έλλειψη Ανέμου" θα εμφανιστεί στην οθόνη. Εάν μετρηθεί ικανοποιητική ταχύτητα ανέμου η ανεμογεννήτρια θα ξεκινήσει αυτόματα. Στις χαμηλές θερμοκρασίες (< 3 οC) είναι πιθανόν το ανεμόμετρο να καλυφθεί με πάγο, εάν δεν είναι θερμαινόμενο. Για την αντιμετώπιση αυτών των καταστάσεων και εφόσον η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι κάτω από 3οC, η ανεμογεννήτρια θα τίθεται σε κατάσταση εκκίνησης λειτουργίας ανά μία ώρα, προκειμένου να εξακριβωθεί η ύπαρξη ανέμου ή όχι. Εάν η ανεμογεννήτρια ξεκινήσει να παράγει ρεύμα τότε μπαίνει σε κανονική λειτουργία.

## Θύελλα

Η ανεμογεννήτρια δε θα ξεκινήσει από στάση ή από την άεργο λειτουργία, εφόσον η ταχύτητα ανέμου είναι μεγαλύτερη των 25 m/s. Στην περίπτωση δε, που η μέση ταχύτητα ανέμου αυξηθεί άνω των 25 m/s ή καταγραφεί αιχμή των 30 m/s η λειτουργία της E-82 θα σταματήσει. Θα σταματήσει επίσης κι όταν η γωνία προσβολής των πτερυγίων υπερβεί την επιτρεπόμενη τιμή που μπορεί να λάβει. Αυτός είναι ο λόγος που το παγωμένο ανεμόμετρο δεν αποτελεί πρόβλημα ασφαλείας. Σε κάθε περίπτωση η ανεμογεννήτρια θα μπει σε άεργη λειτουργία. Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας θα ξεκινήσει αυτόματα, μόλις η μέση ταχύτητα του ανέμου παραμείνει κάτω των 25 m/s για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ανεμογεννήτρια είναι δυνατόν να λειτουργεί και σε αυτές τις ταχύτητες ανέμου, υπό ειδική κατάσταση λειτουργίας ως ρύθμιση θυέλλης ("storm regulation"). Σε αυτή την περίπτωση η E-82 μπορεί να λειτουργεί με ταχύτητα ανέμου μέχρι και 30 m/s. Σε ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 25 m/s, η γωνία προσβολής των πτερυγίων προσαρμόζεται συνεχώς έτσι ώστε το φορτίο να διατηρείται σε αποδεκτά επίπεδα. Σε ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες η ταχύτητα του ρότορα μειώνεται ανάλογα. Ενώ η ισχύς εξόδου διατηρείται στην ονομαστική της τιμή για ταχύτητες μέχρι τα 27 m/s. Σε μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου, μέχρι και τα 30 m/s η ισχύς εξόδου μειώνεται μέχρι η ανεμογεννήτρια να σταματήσει τη λειτουργία της. Θα ξεκινήσει να παράγει ρεύμα ξανά, αμέσως μόλις η ταχύτητα του ανέμου πέσει κάτω των 30 m/s. Σημειώνεται ότι όλα τα στοιχεία της E-82 (πτερύγια, νασέλα, πύργος και θεμελίωση) είναι σχεδιασμένα να αντέχουν πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμου.

## Σύστημα Προσανεμισμού

Η E-82 διαθέτει ένα σύνθετο σύστημα για ανεμολογικές μετρήσεις στο επάνω μέρος της νασέλας. Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν ανεμοδείκτη και ένα ανεμόμετρο, τα οποία καταγράφουν συνεχώς διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου.

## Προσανεμισμός

Το σύστημα προσανεμισμού της E-82 αρχίζει να λειτουργεί από ταχύτητα ανέμου 2m/s. Ακόμα κι αν η ανεμογεννήτρια σταματήσει λόγω υψηλών ανέμων το σύστημα προσανεμισμού θα λειτουργεί. Η νασέλα θα στρέφεται από το σύστημα προσανεμισμού εφόσον η απόκλιση της, από τη διεύθυνση του ανέμου υπερβεί μια συγκεκριμένη τιμή. Η απόκλιση καθώς και ο χρόνος δειγματοληψίας εξαρτώνται από την ταχύτητα του ανέμου και από την ισχύ εξόδου της ανεμογεννήτριας.

## Ξετύλιγμα καλωδίων

Τα καλώδια ισχύος και δεδομένων της E-82 οδηγούνται από τη νασέλα μέσω μιας τροχαλίας στο εσωτερικό του πύργου, όπου και στερεώνονται. Η εν λόγω διάταξη των καλωδίων δίνει στη νασέλα τη δυνατότητα να περιστραφεί γύρω από τον άξονα της αρκετές φορές προς την ίδια κατεύθυνση. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα μια προοδευτική συστροφή των καλωδίων, αλλά χάρη στο σύστημα διαχείρισης της E-82 τα καλώδια θα ξετυλιχτούν αυτόματα.

## Ηλεκτρολογικά Στοιχεία Ανεμογεννήτριας

Ο τύπος της ηλεκτρογεννήτριας E82/2000 της εταιρείας ENERCON είναι αυτός της ασύγχρονης (δηλαδή είναι απαραίτητη η παρουσία του δικτύου για τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας). Η κάθε ανεμογεννήτρια θα είναι εξοπλισμένη με μια ηλεκτρογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 2,050 KVA.

Το ρεύμα παράγεται από την E82/2000 με μικροηλεκτρονικά και ηλεκτρονικά ισχύος σε σχέση με ένα ρεύμα αναφοράς. Το ρεύμα αναφοράς καθορίζεται από την παραγωγή ισχύος της ανεμογεννήτριας και την επιθυμητή φασική γωνία με την τάση του δικτύου (επιθυμητό  $\cos\phi$ ). Η τιμή αυτή συγκρίνεται με την πραγματική τιμή του διοχετευόμενου ρεύματος κάθε 100  $\mu\text{s}$  και διορθώνεται ανάλογα.

Το σύστημα διαχείρισης του δικτύου είναι αποζευγμένο από τη γεννήτρια μέσω ενός ενδιάμεσου κυκλώματος συνεχούς ρεύματος (DC bus). Μεταφορικά, ο ρότορας του μετατροπέα αιολικής ενέργειας είναι συνδεδεμένος με το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ενός ελαστικού συνδέσμου. Αυτή η ελαστική ζεύξη επιτρέπει στα ηλεκτρονικά ισχύος να εξισορροπήσουν τις διακυμάνσεις ισχύος χαμηλής συχνότητας. Χάρη σε αυτό το γεγονός η ισχύς εξόδου της E-82 μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια σε όλο το φάσμα λειτουργίας της, έτσι ώστε να μην παρατηρούνται αξιοσημείωτες διακυμάνσεις ισχύος και αντίστοιχες μεταβολές της τάσης (flicker). Ο συνδυασμός αυτός των τεχνολογιών επιτρέπει τη σύνδεση της ανεμογεννήτριας στο δίκτυο χωρίς περίπλοκες συνθήκες σύνδεσης. Πιστοποιητικά δημοσιευμένα από ανεξάρτητα ινστιτούτα επιβεβαιώνουν το γεγονός αυτό.

Τα όρια λειτουργίας της ανεμογεννήτριας για παράλληλη σύνδεση με το δίκτυο ουσιαστικά τίθενται από τους περιορισμούς του δικτύου (ελάχιστη και μέγιστη τάση). Αυτές οι δύο τιμές (υπό- και υπέρ-ταση), όπως επίσης και η χρονική σταθερά για το διάστημα μέτρησης, μπορούν να ορισθούν διακριτά μεταξύ τους ως μεταβλητές για τη λειτουργία της E-82 ανάλογα με τις απαιτήσεις του διαχειριστή του δικτύου. Μια ελάχιστη και μια μέγιστη τιμή μπορεί επίσης να ορισθεί και για τη συχνότητα.

Στην περίπτωση που τα συγκεκριμένα όρια δεν τηρούνται, τότε η E-82 θα αποσυνδεθεί ακαριαία από το δίκτυο. Καθώς δεν υπάρχουν αντισταθμιστικές διατάξεις (πυκνωτές), τότε η τάση και η συχνότητα θα καταρρεύσουν αμέσως. Ο μετατροπέας της E-82 θα αποσυνδεθεί από το δίκτυο μέσα σε χρονικό διάστημα 10 ms. Συνεπώς, αποκλείονται ακόμα και στιγμιαίες αιχμές ρεύματος και τάσης.

Εξάλλου προβλέπεται ειδική κατάσταση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας κατά την οποία η ισχύς εξόδου της εξαρτάται και καθορίζεται από την τάση του δικτύου στο σημείο σύνδεσης. Ως αποτέλεσμα αποφεύγονται καταστάσεις κατά τις οποίες θα επιβαλλόταν η παύση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (για λόγους δικτύου), με αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην παραγωγή ενέργειας όσο και στην εύρυθμη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος. Κατά την ειδική αυτή κατάσταση λειτουργίας, η τάση του δικτύου μετριέται και παρακολουθείται διαρκώς. Σε περίπτωση που η τάση αυξηθεί (π.χ. εξαιτίας έλλειψης φορτίου κατά τη διάρκεια της νύχτας), η ισχύς εξόδου της E-82 θα μειωθεί άμεσα. Το παραγόμενο ρεύμα επιτηρείται από το σύστημα ελέγχου και δεν παρατηρείται επιπλέον αύξηση της τάσης λόγω της παραγωγής της ανεμογεννήτριας. Με τον ενεργό αυτό έλεγχο της τάσης του δικτύου εξασφαλίζεται ότι η ισχύς που τροφοδοτείται στο δίκτυο περιορίζεται σε αυτήν η οποία μπορεί να απορροφηθεί με ασφάλεια (η ισχύς που τροφοδοτείται στο δίκτυο ελέγχεται από την επιδεκτική ικανότητα του δικτύου).

Οπότε το πλήρες σταμάτημα της ανεμογεννήτριας δεν είναι πλέον αναγκαίο. Η E-82 μπορεί να προσαρμοστεί σε ασθενή δίκτυα χωρίς ακριβά μέσα υποστήριξης δικτύου. Τη στιγμή που μία ανεμογεννήτρια ή ένα αιολικό πάρκο τίθενται σε παράλληλη λειτουργία με το δίκτυο συχνά παρατηρείται ανύψωση τάσης. Συνήθως η μεταβολή αυτή εξισορροπείται με ρυθμιζόμενους μετασχηματιστές ή με σύγχρονες γεννήτριες. Η παραγωγή ισχύος της E-82 δέχεται ως μεταβλητή τον επιθυμητό ρυθμό αύξησης της παραγόμενης ισχύος ( $dP/dt$ ) ο οποίος μπορεί να προεπιλεγθεί. Το γεγονός αυτό επιτρέπει στους ρυθμιζόμενους μετασχηματιστές ή στις σύγχρονες γεννήτριες του συστήματος να προσαρμόζονται στην εκάστοτε κατάσταση (στοιχεία τα οποία κατά κανόνα μεταβάλλουν με πιο αργούς ρυθμούς τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους). Ο έλεγχος αυτός της ρύθμισης ισχύος ενεργοποιείται αυτομάτως (π.χ. κατά τη διάρκεια δυνατών μεταβλητών ανέμων ή καταιγίδων) έτσι ώστε να απαλλάσσει το σύστημα από ταχείες διακυμάνσεις της συχνότητας και της τάσης.

Η φασική γωνία μεταξύ της τάσης δικτύου και του ρεύματος δύναται να παραμένει σταθερή (π.χ. " $\varphi=1^\circ$ ") σε όλο το εύρος λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (από 0 έως 2,050 kW). Στην κατάσταση αυτή μόνο πραγματική ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο ενώ δεν υπάρχει κατανάλωση αέργου ισχύος από την ανεμογεννήτρια, όπως θα συνέβαινε με συμβατικές ασύγχρονες γεννήτριες.

Σημειώνεται ότι η λειτουργία της ανεμογεννήτριας όσον αφορά την κατανάλωση ή την παραγωγή αέργου ισχύος μπορεί να τίθεται στο επιθυμητό σημείο (από 0.95 χωρητικό έως 0.95 επαγωγικό).

Οι ανεμογεννήτριες προστατεύονται από την πτώση κεραυνών με ειδικά αντικεραυνικά συστήματα τα οποία είναι ενσωματωμένα στα ακροπερύγια. Η ανεμογεννήτρια διαθέτει χάλκινο καλώδιο τοποθετημένο στο εσωτερικό του κάθε περυγίου της ανεμογεννήτριας το οποίο διατρέχει όλο το μήκος από το ακροπερύγιο μέχρι την βάση του περυγίου και εκεί διασυνδέεται με το γενικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας της ανεμογεννήτριας. Επίσης η ανεμογεννήτρια διαθέτει σύστημα αντικεραυνικής προστασίας του θαλάμου και των υποσυστημάτων εντός αυτού, του πυλώνα και των λοιπών υποσυστημάτων στην βάση του πυλώνα.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με καλώδια Χαμηλής Τάσης, τα οποία οδεύουν εντός του πυλώνα στο κάτω μέρος του και καταλήγουν στον ελεγκτή της ανεμογεννήτριας. Εντός του πυλώνα οδεύουν επίσης το καλώδιο επικοινωνιών (ελέγχου, εποπτείας και μετρήσεων) το οποίο διασυνδέει τους αισθητήρες (θερμοκρασίας, πίεσης, στροφών, δονήσεων κλπ) που βρίσκονται εγκατεστημένοι στα διάφορα υποσυστήματα στον θάλαμο της ανεμογεννήτριας με τον υπολογιστή στην βάση του πυλώνα. Ακόμη υπάρχει το σύστημα γείωσης το οποίο συνδέει τα μεταλλικά μέρη της ανεμογεννήτριας με το σύστημα γείωσης του αιολικού πάρκου.

## Μετασχηματιστής ΧΤ/ΜΤ

Η κάθε ανεμογεννήτρια παράγει ηλεκτρική ενέργεια στην χαμηλή τάση των 400 V. Για να γίνει δυνατή η διασύνδεση της κάθε ανεμογεννήτριας και συμβατή με το δίκτυο της Μέσης Τάσης θα χρησιμοποιηθούν μετασχηματιστές (Μ/Σ) ΧΤ/ΜΤ. Οι μετασχηματιστές θα είναι τύπου ελαίου, χαμηλών απωλειών, ονομαστικής ισχύος 2,050 kVA και κατάλληλοι για ανύψωση της τάσης από 400 V στα 22 kV. Από τον ελεγκτή της ανεμογεννήτριας στην βάση του πυλώνα, θα υπάρχει καλώδιο ισχύος ΧΤ κατάλληλης διατομής το οποίο θα διασυνδέει την ανεμογεννήτρια με την πλευρά ΧΤ του Μ/Σ. Το καλώδιο ισχύος ΧΤ για λόγους προστασίας θα διέρχεται μέσω σωλήνων PVC για τους οποίους θα υπάρξει πρόνοια για τον εγκιβωτισμό τους στο σκυρόδεμα της βάσης θεμελίωσης της ανεμογεννήτριας, κατά την περίοδο εκτέλεσης των έργων Πολιτικού Μηχανικού.

## 5.4. Διαδικασίες και διάρκεια κατασκευής Α/Π

Το φάσμα της ανάπτυξης ενός αιολικού πάρκου, από την αρχική σύλληψη του μέχρι την ολοκλήρωση της κατασκευής του και την έναρξη λειτουργίας του, περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

- ✓ Εξεύρεση - αξιολόγηση θέσεων για την εγκατάσταση του νέου έργου. Η διαδικασία αυτή έχει περιγραφεί αναλυτικά προηγουμένως στην ενότητα που αφορά τη χωροθέτηση του αιολικού πάρκου.
- ✓ Μετρήσεις αιολικού - υδρολογικού δυναμικού. Τεκμηρίωση ύπαρξης εκμεταλλεύσιμου ανανεώσιμου δυναμικού. Τα απαραίτητα στοιχεία και οι χάρτες αιολικού δυναμικού που αφορούν την επιλεγμένη περιοχή φαίνονται στην ενότητα περί χωροθέτησης του αιολικού πάρκου.
- ✓ Εκπόνηση Ενεργειακών Μελετών - Σχεδιασμός και χωροθέτηση έργου. Βελτιστοποίηση ενεργειακής απόδοσης. Οι μελέτες αυτές αποτελούν έργο του υπεύθυνου μηχανικού της κατασκευής.
- ✓ Αδειοδοτική διαδικασία αιολικού πάρκου. Ακολουθούμε τις ενέργειες που περιγράφονται στο Ν. 3468/2006 'Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και Συμπαράγωγή Ηλεκτρισμού και Θερμότητας Υψηλής Απόδοσης και λοιπές διατάξεις' και είναι οι εξής:
  1. Άδεια παραγωγής (ΡΑΕ). Η διαδικασία αυτή διαρκεί 7 μήνες περίπου.
  2. Διαδικασία Προκαταρκτικής Περιβαλλοντικής Εκτίμησης και Αξιολόγησης (Π.Π.Ε.Α). Η διαδικασία αυτή διαρκεί 2 μήνες περίπου.
  3. Διαδικασία Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο). Η διαδικασία αυτή διαρκεί 70 ημέρες περίπου.
  4. Προμελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων(Π.Π.Ε). Δεν απαιτεί χρόνο.
  5. Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε). Δεν απαιτεί χρόνο
  6. Διαδικασία έκδοσης Άδειας εγκατάστασης σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά συστήματα. Ο μέγιστος χρόνος διεκπεραίωσης της εργασίας είναι 45 ημέρες.
  7. Άδεια λειτουργίας σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α/Π. Η διαδικασία αυτή διαρκεί 15-20 ημέρες περίπου. Συνολικά λοιπόν, η αδειοδοτική διαδικασία αιολικού πάρκου διαρκεί το πολύ 14 μήνες.
- ✓ Εκπόνηση οριστικών μελετών- Επίβλεψη κατασκευής- Κατασκευή απαραίτητων έργων υποδομής γύρω από την περιοχή εγκατάστασης του αιολικού πάρκου. Αυτά περιλαμβάνουν :\
  1. Εσωτερική οδοποιία, ελάχιστου πλάτους που θα κριθεί κατ' εκτίμηση, με βάση τον επιλεγμένο εξοπλισμό
  2. Διάνοξη πλατειών για κάθε ανεμογεννήτρια, κατάλληλης διαμέτρου, □ Κανάλια όδευσης καλωδίων
  3. Οκίσκος ελέγχου,
  4. Πιθανή οδοποιία πρόσβασης στο Αιολικό Πάρκο και
  5. Μετασχηματιστές Μέσης Τάσης σε κάθε ανεμογεννήτρια .

- Τεχνικό - οικονομικός έλεγχος έργων. Τα οικονομικά στοιχεία της μελέτης αυτής περιγράφονται αναλυτικά σε επόμενη ενότητα.
- Κατασκευή ανεμογεννητριών. Στο στάδιο αυτό, γίνεται η κατασκευή των Α/Γ η οποία αποτελεί μια πηγή επιβάρυνσης του περιβάλλοντος λόγω των ουσιών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε μεγαλύτερη αναλογία για την κατασκευή Α/Γ, είναι:
  1. Υλικά Πύργου: Χάλυβα.
  2. Πτερύγια μικρών Α/Γ: ΡΤΦ, εμποτισμένο με ρητίνη (για μηχανική αντοχή)
  3. Πτερύγια μεγάλων Α/Γ: Άνθρακας και
  4. Nacella: Χαλύβδινη

Βέβαια υπάρχουν και άλλα χρησιμοποιούμενα υλικά για την κατασκευή των Α/Γ τα οποία είναι αρκετά τοξικά και επικίνδυνα όπως αλουμίνιο, χαλκός, μόλυβδος κ.ά.

- ✓ Μεταφορά των Α/Γ από την περιοχή κατασκευής στην περιοχή εγκατάστασης. Η μεταφορά συνήθως γίνεται με μεγάλα εμπορικά πλοία και στη συνέχεια με φορτηγά μέχρι το σημείο εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται ευρέως είναι το πετρέλαιο (από φορτηγά) και το μαζούτ (από πλοία). Οι ποσότητες των καυσίμων που καταναλώνονται εξαρτώνται κάθε φορά από την χώρα απ' όπου γίνεται η εισαγωγή και την περιοχή εγκατάστασης (απόσταση διαδρομής). Σε αυτό το στάδιο έχουμε εκπομπές ρύπων από τα μεταφορικά μέσα που χρησιμοποιούνται.

Ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή δεν είναι σταθερός αλλά ποικίλει ανάλογα με το μέγεθος και τον αριθμό των ανεμογεννητριών, το μέσο μεταφοράς τους, την απόσταση που οποία απέχει η τοποθεσία εγκατάστασης από την τοποθεσία κατασκευής, τη δυνατότητα πρόσβασης στην περιοχή καθώς και οποιεσδήποτε άλλες συνθήκες που μπορεί να επηρεάσουν τη μεταφορά (κακοκαιρία κ.τ.λ.).

- ✓ Ανέγερση της κάθε ανεμογεννήτριας στο κατάλληλο ύψος. Αρχικά, η ανέγερση μιας Α/Γ απαιτεί τα κατάλληλα θεμέλια για τον πύργο. Ο τύπος των θεμελίων που απαιτούνται, πρωτίστως εξαρτώνται από τις γεωλογικές συνθήκες, και μέχρι ενός σημείου, από το σχέδιο των πύργων .

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για την ανέγερση μιας Α/Γ στο κατάλληλο ύψος. Τα βασικότερα κριτήρια βάσει των οποίων επιλέγεται η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί, είναι το ύψος των πύργων, το βάρος που πρέπει να ανυψωθεί και ο διαθέσιμος εξοπλισμός ανύψωσης. Η δυνατότητα πρόσβασης του σημείου ανύψωσης των Α/Γ από τα βαριά οχήματα παίζει επίσης σημαντικό ρόλο.

Η διαδικασία αυτή μπορεί να διαρκέσει 20 ώρες για μία αρκετά ψηλή ανεμογεννήτρια (>100m).

- ✓ Σύνδεση του αιολικού πάρκου στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το ηλεκτρικό δίκτυο της Ελλάδας καθώς και όλης της Ευρώπης λειτουργεί με τριφασικό ρεύμα στη συχνότητα των 50 Hz. Στην Αμερική αντίστοιχα, η συχνότητα στην οποία λειτουργεί το δίκτυο είναι τα 60 Hz. Διαιρείται σε τρία επίπεδα τάσης:  
Υψηλή τάση, π.χ.: 380 kV, 220 kV, 110 kV,  
Μέση τάση: 30 kV, 20 kV, 10 kV,  
Χαμηλή τάση: 400 V.



Η μεταφορά μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας με ελάχιστες απώλειες στο δίκτυο υψηλής τάσης πραγματοποιείται στην Ελλάδα μέσω του διασυνδεδεμένου δικτύου. Τα μεγάλα αιολικά πάρκα με ισχύ μεγαλύτερη από 10 ή 15MW, όπως και αυτό που μελετούμε, οφείλουν κανονικά να συνδεθούν με το δίκτυο υψηλής τάσης (110 kV). Σε μερικές σπάνιες περιπτώσεις, η σύνδεση στο δίκτυο των 380 kV κρίνεται επίσης απαραίτητη. Σύνδεση στο δίκτυο υψηλής τάσης σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να σημαίνει ότι το αιολικό πάρκο θα απαιτήσει έναν νέο υποσταθμό μετασχηματιστών.

Ο τεχνικός εξοπλισμός και μαζί με αυτόν, και το κόστος της σύνδεσης στο δίκτυο καθορίζεται από τέσσερις παράγοντες:

Απόσταση των Α/Γ από το δίκτυο

Τάση και ικανότητα μεταφοράς του δικτύου

Έλεγχος ισχύος και ηλεκτρικός εξοπλισμός των Α/Γ

Τεχνικές απαιτήσεις της χρησιμότητας για τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται παράλληλα με το δίκτυο. Περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τη σύνδεση του αιολικού πάρκου στο ελληνικό ηλεκτρικό δίκτυο περιγράφονται σε σχετική ενότητα παρακάτω.

Ανάθεση - παράδοση του έργου. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την περίοδο από την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας μέχρι την τελική παράδοσή της στο χειριστή, ο οποίος θα έχει και την αποκλειστική ευθύνη. Η ενέργεια αυτή μπορεί να διαιρεθεί στις παρακάτω φάσεις :

Λειτουργικός έλεγχος. Περιλαμβάνει τον έλεγχο της συναρμολόγησης και την ενεργοποίηση των ηλεκτρικών και υδραυλικών μονάδων καθώς και των ηλεκτρονικών συστημάτων μετά την ανέγερση της ανεμογεννήτριας. Αποτελεί εξ' ολοκλήρου ευθύνη του κατασκευαστή.

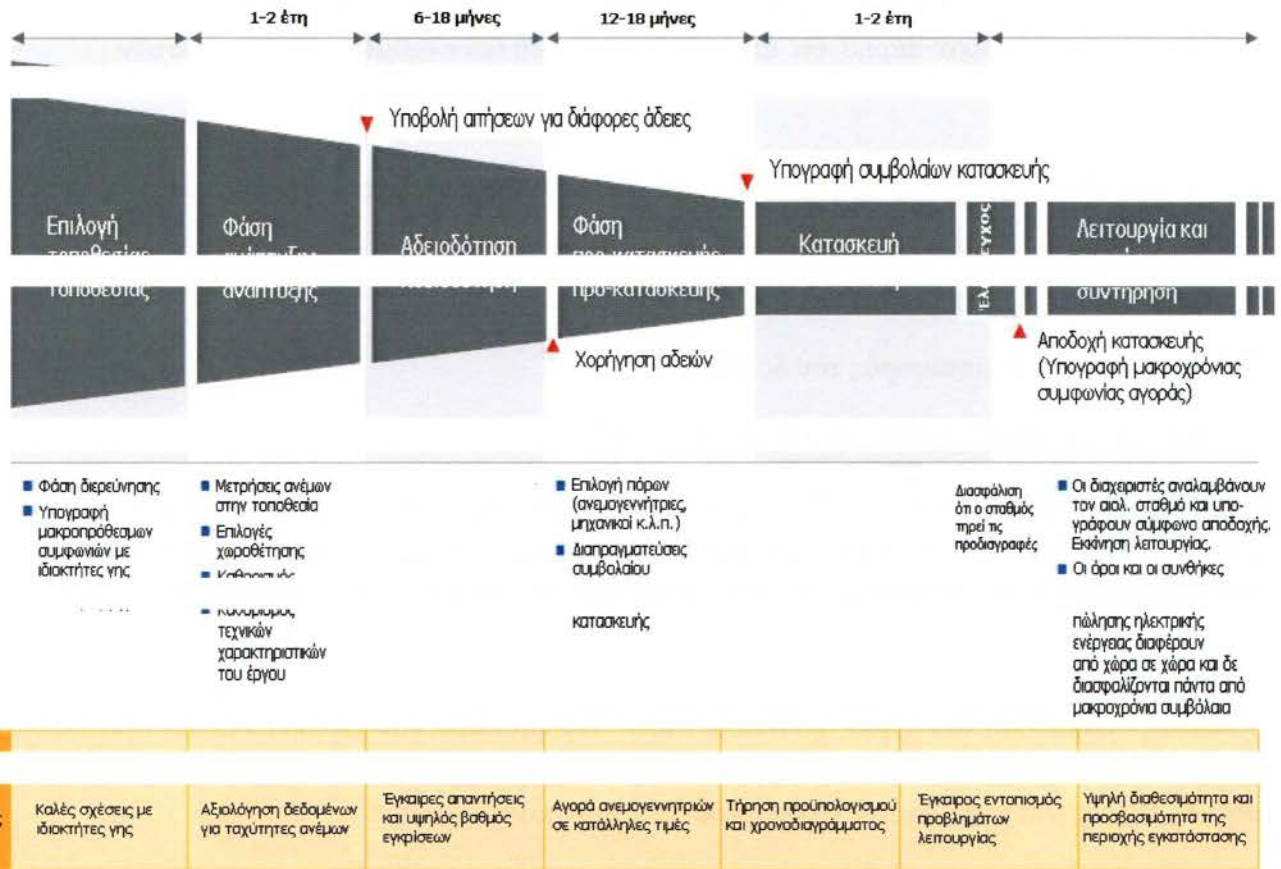
Δοκιμή λειτουργίας. Σύμφωνα με τον κατασκευαστή, το στάδιο αυτό μπορεί να διαρκέσει έως 250 ώρες ή αλλιώς 10 ημέρες περίπου.

Ανεξάρτητη τεχνική αξιολόγηση. Είναι γενικά αποδεκτό και αποτελεί ενδιαφέρον τόσο του χειριστή αλλά ακόμα ακριβέστερα και του αγοραστή το να έχει υπό την κατοχή του μια ανεξάρτητη αξιολόγηση της τεχνικής κατάστασης της ανεμογεννήτριας πριν του παραδοθεί το έργο.

Αποδοχή και παράδοση. Μετά από τη δοκιμαστική λειτουργία και τις τεχνικές αξιολογήσεις από έναν ανεξάρτητο εμπειρογνώμονα, η διαδικασία της αποδοχής συμφωνείται από το χειριστή. Η προϋπόθεση γι' αυτό είναι ότι η δοκιμαστική λειτουργία κρίθηκε επιτυχής και ότι διαπιστώθηκε ότι οι Α/Γ δεν έχουν πλέον οποιοδήποτε σημαντικό ελάττωμα. Η παράδοση στο χειριστή ακολουθείται από την περίοδο εξουσιοδότησης και την κανονική λειτουργία κάτω από την ευθύνη του χειριστή.

Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραπάνω διαδικασίες μέχρι την έναρξη λειτουργίας του αιολικού πάρκου καθώς και την τεχνολογία παραγωγής αλλά και τα δεδομένα της ελληνικής πραγματικότητας κατά

τη χρονική περίοδο που διανύουμε, μπορούμε να κάνουμε μία εκτίμηση σχετικά με τη συνολική διάρκειά τους γύρω στα 3-4 έτη.



Σχήμα 30: ανάπτυξη-λειτουργία Α/Π

## 5.5 Σχεδιασμός του εσωτερικού του Α/Π

Σε στρατηγική θέση του αιολικού πάρκου θα ανεγερθεί οικίσκος (το κέντρο ελέγχου του αιολικού πάρκου) κατάλληλος για να στεγαστεί το σύστημα ελέγχου, εποπτείας και μετρήσεων του αιολικού πάρκου, τους χώρους αποθήκευσης των απαραίτητων εργαλείων, αναλωσίμων και ανταλλακτικών, να παρέχει τις απαραίτητες διευκολύνσεις για την παραμονή των τεχνικών συντήρησης και λειτουργίας κλπ.

Το κέντρο ελέγχου αιολικού πάρκου θα είναι ισόγειο. Η επιφάνεια του κτιρίου θα είναι περίπου 400 τ.μ. Το κτίριο θα είναι κατάλληλα διαχωρισμένο για να ανταποκρίνεται στους κανονισμούς καθώς και στις λειτουργικές απαιτήσεις του αιολικού πάρκου και θα περιλαμβάνει τους εξής ανεξάρτητους χώρους:

- γραφείο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της λειτουργίας του αιολικού πάρκου, όπου θα εγκατασταθεί και ο κεντρικός ηλεκτρονικός υπολογιστής του συστήματος SCADA
- χώρο πινάκων Μέσης Τάσεως
- χώρο μετασχηματιστή ΜΤ/ΧΤ
- δύο κοιτώνες
- αποθήκη για εργαλεία, ανταλλακτικά και αναλώσιμα, τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του αιολικού πάρκου
- W.C.
- γκαράζ.

Επισημαίνεται ότι από το χώρο που θα εγκατασταθεί ο κεντρικός ηλεκτρονικός υπολογιστής του συστήματος SCADA του αιολικού πάρκου θα γίνει προσπάθεια ώστε να είναι δυνατή η μέγιστο κατά το δυνατόν οπτική επισκόπηση των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου και ο χώρος θα έχει προς τούτο αρκετή επιφάνεια υαλοπινάκων. Η παροχή νερού θα γίνεται με τη βοήθεια δεξαμενής νερού και η αποχέτευση με την κατασκευή κατάλληλου σηπτικού βόθρου. Στο κτίριο θα υπάρχει επίσης ο χώρος αποθήκης για την εναπόθεση των διαφόρων εργαλείων που απαιτούνται για την συντήρηση καθώς και των προτεινόμενων ανταλλακτικών και αναλωσίμων.

## Θεμελίωση Ανεμογεννητριών

Για την ασφαλή στήριξη και λειτουργία της κάθε ανεμογεννήτριας θα κατασκευασθεί βάση θεμελίωσης εκ σκυροδέματος μετά του απαραίτητου σιδηρού οπλισμού. Στην προκαθορισμένη θέση της κάθε ανεμογεννήτριας θα εκσκαφθεί η βάση θεμελίωσης διαμέτρου εκσκαφής 14 μέτρα περίπου και βάθους 2 μέτρων.

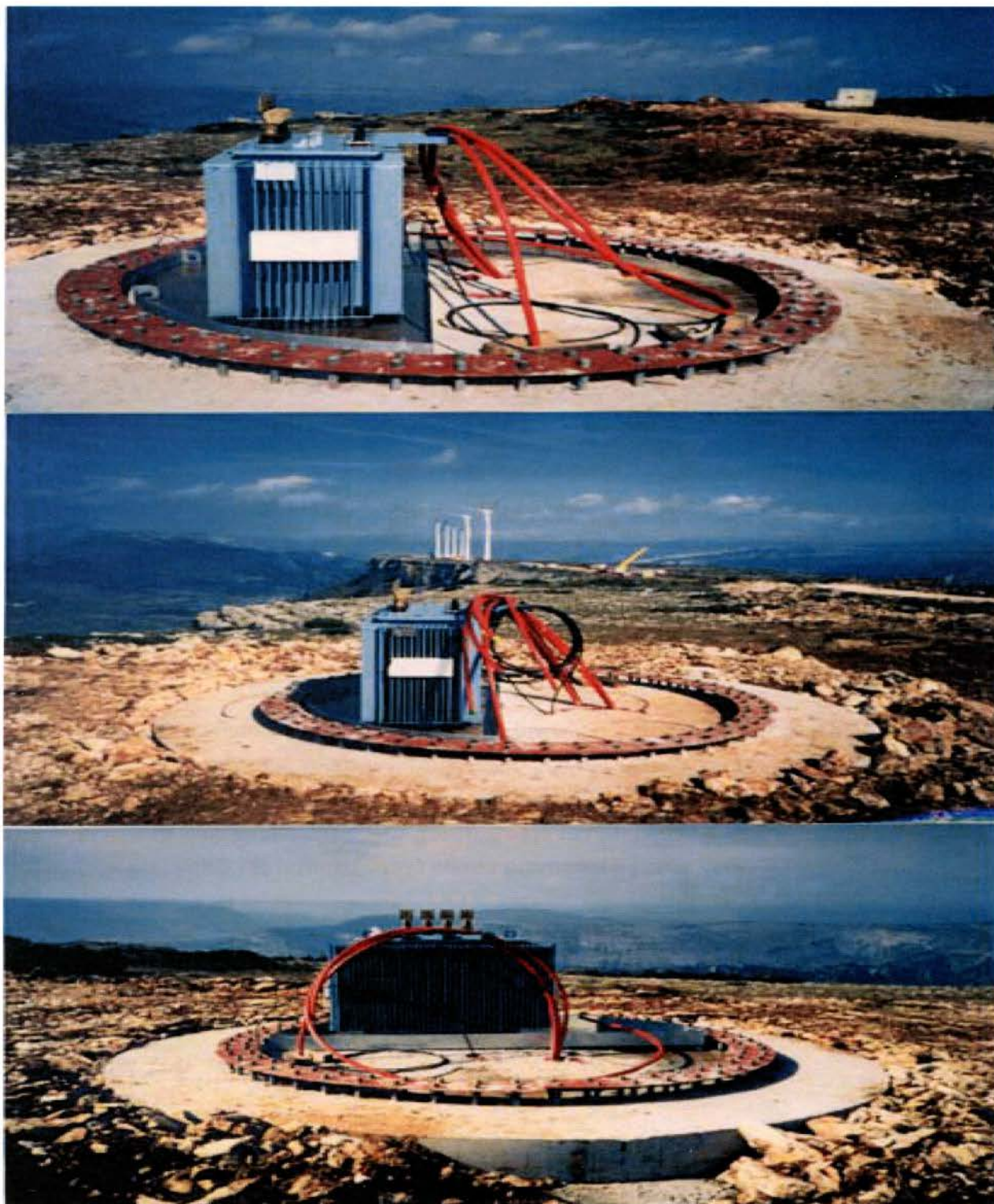


Σχήμα 31 : θεμελίωση



Σχήμα 32: Κατασκευή βάσεων στήριξης

Στον πυθμένα της βάσης θα γίνει η έκχυση άοπλου σκυροδέματος καθαρισμού με πάχος περίπου 10 εκατοστών. Στη συνέχεια θα συναρμολογηθεί ο οπλισμός της θεμελίωσης, ταυτόχρονα δε με την συναρμολόγηση θα τοποθετηθούν με μεγάλη ακρίβεια οι κοχλίες αγκύρωσης ή άλλη κατασκευή πάκτωσης ανάλογα με τις οδηγίες του μελετητή των Έργων Πολιτικού Μηχανικού και/ή του κατασκευαστή των ανεμογεννητριών.



Σχήμα 33: οπλισμός θεμελίωσης

Πριν την έκχυση του σκυροδέματος θα τοποθετηθούν οι αγωγοί της θεμελιακής γείωσης, η οποία θα εκτείνεται ακτινικά και περιμετρικά της βάσης θεμελίωσης. Επίσης, κατά την φάση αυτή θα τοποθετηθούν οι σωλήνες υψηλής πίεσης PVC για την προστασία των καλωδίων ισχύος ΧΤ και επικοινωνιών που θα εισέρχονται και θα εξέρχονται από την βάση του πυλώνα της κάθε ανεμογεννήτριας.

Κατόπιν όλων των παραπάνω εργασιών θα επακολουθήσει η έκχυση του σκυροδέματος επαρκούς αντοχής. Ιδιαίτερη προσοχή θα δοθεί στις επικρατούσες καιρικές συνθήκες κατά την περίοδο κατασκευής των βάσεων θεμελίωσης και ειδικότερα κατά την περίοδο έκχυσης του σκυροδέματος λόγω της επίδρασης των καιρικών συνθηκών (θερμοκρασία περιβάλλοντος, υγρασία, παγετός κλπ) στην τελική ποιότητά του και κατά συνέπεια την αντοχή του. Επισημαίνεται σχετικά με την κατασκευή της θεμελίωσης της κάθε ανεμογεννήτριας ότι η κατασκευή της πάκτωσης και οι ακριβείς διαστάσεις της βάσης θεμελίωσης θα προκύψουν από την Οριστική Μελέτη Εφαρμογής.

## Εσωτερική Οδοποιία Αιολικού Πάρκου

Εντός του αιολικού πάρκου θα διανοιχθεί εσωτερική οδοποιία για την κάλυψη των αναγκών μεταφοράς των διαφόρων τμημάτων του συστήματος των ανεμογεννητριών, των υλικών και εξοπλισμού υποδομής, καθώς και για τις μετέπειτα ανάγκες συντήρησης και λειτουργίας του αιολικού πάρκου. Ο δρόμος εσωτερικής οδοποιίας θα είναι ποιότητας επαρχιακού δρόμου. Το συνολικό μήκος του δρόμου εκτιμάται ότι δεν θα ξεπεράσει τα 15 km ενώ το πλάτος του θα είναι τουλάχιστον 5-6 μέτρα και οι κλίσεις όχι μεγαλύτερες από 10-12 % έτσι ώστε να επιτρέπει την διακίνηση βαρέων οχημάτων μεταφοράς καθώς και διακίνηση ανυψωτικών οχημάτων (γερανοί).

Ανάλογες θα είναι και οι ακτίνες καμπυλών των οδών για την διέλευση των παραπάνω οχημάτων. Σε κάθε θέση ανεμογεννήτριας θα διαμορφωθούν πλατείες ανέγερσης ανεμογεννητριών διαστάσεων τουλάχιστον 50x50 μέτρα, για την τοποθέτηση του πυλώνα, του θαλάμου και την συναρμολόγηση των πτερυγίων στο έδαφος επί της πλήμνης, πριν την τελική ανέγερση και εγκατάστασή τους στην τελική τους θέση. Οι πλατείες που θα διαμορφωθούν θα έχουν επίπεδη επιφάνεια και θα έχουν υποστεί την διεργασία πατήματος με κατάλληλα βαρέα οχήματα (οδοστρωτήρες).



Σχήμα 34: οδοποιία

Κατά την φάση κατασκευής της εσωτερικής οδοποιίας και πλατειών ανέγερσης των ανεμογεννητριών θα δημιουργείται το κατάλληλο υπόστρωμα με επιχώσεις από υλικά των εκσκαφών όπου αυτό είναι δυνατόν ή με φερτά από απόσταση.

## Ειδικές Εγκαταστάσεις Αιολικού Πάρκου

### Πύργοι Στήριξης Ανεμογεννητριών

Ο θάλαμος με την πλήμνη και το στροφέιο της κάθε ανεμογεννήτριας ENERCON E82-2000 KW θα επικάθηνται επάνω σε μεταλλικό πύργο στήριξης (πυλώνας), κατασκευασμένο από χαλυβδόφυλλα. Οι πυλώνες θα είναι σωληνωτοί με ελαφρά κωνικότητα, με επιμετάλλωση και βαφή εξωτερικά και εσωτερικά, αποτελούμενοι από 3 τμήματα με εσωτερικές φλάντζες σύνδεσης, που θα συνδεθούν μεταξύ τους με κοχλίες. Η βάση του πύργου στήριξης θα επικάθεται στους κοχλίες αγκύρωσης της θεμελίωσης οι οποίοι τοποθετούνται κατά την φάση κατασκευής της. Ο πύργος στήριξης θα υπόκειται σε κατάλληλη αντιδιαβρωτική επεξεργασία και αμμοβολή πριν την τελική βαφή. Η διαδικασία της βαφής του πύργου θα ακολουθεί αυστηρές διεθνείς προδιαγραφές για την πρόσθετη ενίσχυση της προστασίας των μεταλλικών μερών του



Σχήμα 35 :ανέγερση πύργου Α/Γ



Εσωτερικά, ο πύργος θα διαθέτει κλίμακες αναρρίχησης στον θάλαμο της ανεμογεννήτριας, με κατάλληλο προστατευτικό μεταλλικό κιγκλίδωμα και μηχανισμό πρόσδεσης των ζωνών ασφαλείας του τεχνικού προσωπικού. Σε διαστήματα ανά 10 μέτρα περίπου, εσωτερικά του πύργου θα υπάρχουν χωρίσματα (πλατφόρμες) για την στάση του τεχνικού προσωπικού τα οποία υπέχουν και θέση χωρισμάτων πυροπροστασίας.

Στο εσωτερικό του πύργου στήριξης θα οδεύουν τα καλώδια ισχύος ΧΤ από την ηλεκτρογεννήτρια, ο αγωγός γείωσης και αντικεραυνικής προστασίας καθώς και τα καλώδια βοηθητικών κυκλωμάτων από τους διαφόρους διακόπτες ισχύος και αισθητήρες προς τον ελεγκτή ο οποίος ευρίσκεται στην βάση του πύργου. Στον ίδιο χώρο θα βρίσκεται επίσης η συστοιχία των πυκνωτών αντιστάθμισης για την επίτευξη του βέλτιστου συντελεστή ισχύος (συν φ).

### Μετεωρολογικοί Ιστοί Αιολικού Πάρκου

Στο αιολικό πάρκο θα εγκατασταθούν 3 μετεωρολογικοί ιστοί, ύψους 60 μέτρων, με 2 σετ οργάνων ανά μετεωρολογικό ιστό, όπου το κάθε σετ οργάνων αποτελείται από 1 όργανο μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου και 1 όργανο μέτρησης της διεύθυνσης του ανέμου.

### Ειδικές Εγκαταστάσεις Κεντρικού Ελέγχου

Στον οικίσκο του κέντρου ελέγχου του αιολικού πάρκου θα εγκατασταθεί σύστημα κλιματισμού, για τις ανάγκες της απρόσκοπτης λειτουργίας του εξοπλισμού του κεντρικού ηλεκτρονικού υπολογιστή του συστήματος SCADA καθώς και για βελτίωση των συνθηκών εργασίας του τεχνικού προσωπικού. Το σύστημα κλιματισμού θα είναι διαιρούμενου τύπου (split system) με τοπικές μονάδες για κάθε κύριο χώρο. Η τροφοδοσία του συστήματος κλιματισμού θα παρέχεται από τον Γενικό Πίνακα ΧΤ του κτιρίου.

Επιπλέον, στο κέντρο ελέγχου του αιολικού πάρκου θα εγκατασταθούν:

- σύστημα πυρασφαλείας / πυρόσβεσης / πυρανίχνευσης. Το σύστημα θα μπορεί να συνδεθεί μέσω τηλεφωνικής γραμμής για να παρέχει και αυτόματη ειδοποίηση της τοπικής Πυροσβεστικής Υπηρεσίας
- σύστημα συναγερμού σε όλους τους χώρους του κτιρίου για την έγκαιρη προειδοποίηση του προσωπικού.

## 5.6. Εσωτερική ηλεκτρομηχανολογική μελέτη Α/Π

Οι ανεμογεννήτριες λειτουργούν συνήθως σε ονομαστική τάση 0,4 - 0,7 kV. Για να γίνει η διασύνδεση της κάθε ανεμογεννήτριας με το δίκτυο της Μέσης Τάσης της ΔΕΗ χρησιμοποιούνται υποσταθμοί Χ.Τ./Μ.Τ., οι οποίοι εγκαθίστανται σε ειδικό και ανεξάρτητο χώρο στη βάση του πύργου κάθε Α/Γ.

Από τον ελεγκτή της Α/Γ στη βάση του πυλώνα, συνήθως υπάρχει καλώδιο ισχύος, το οποίο συνδέει την Α/Γ με την πλευρά Χ.Τ. του υποσταθμού Χ.Τ/Μ.Τ. Το καλώδιο ισχύος Μ.Τ., δια μέσου σωλήνων PVC, οδεύει υπόγεια μέχρι την είσοδό του στον υποσταθμό Χ.Τ/Μ.Τ.

Όσον αφορά στο σύστημα γείωσης της Α/Γ, εγκαθίσταται στη βάση της, θεμελιακή γείωση, δηλαδή ταινία γείωσης ακτινικά και περιμετρικά από τη βάση. Η θεμελιακή γείωση είναι ένας γειωτής ταινίας που τοποθετείται στο κάτω μέρος των θεμελίων των πέλδλων μέσα στο σκυρόδεμα. Η τοποθέτηση γίνεται στη βάση των πέλδλων και είναι ένας κλειστός βρόχος.

Επειδή το έδαφος και το σκυρόδεμα των θεμελίων είναι υγρό όλο το έτος συνήθως ο θεμελιακός γειωτής έχει σχετικά χαμηλή αντίσταση γείωσης. Τιμές των  $2\Omega$  δεν είναι σπάνιες. Το χαλύβδινο ηλεκτρόδιο τοποθετείται στο περιμετρικό θεμέλιο του κτιρίου. Σε περιπτώσεις που υπάρχει μόνωση κατά της υγρασίας το ηλεκτρόδιο πρέπει να τοποθετηθεί προς την πλευρά του εδάφους.

Ο γειωτής πρέπει να περιβάλλεται από παντού από δονημένο σκυρόδεμα. Τοποθετείται σε ένα στρώμα πάχους τουλάχιστον 5cm γιατί αλλιώς διαβρώνεται. Μετά από την εκσκαφή των θεμελίων κατασκευάζεται μια στρώση από σκυρόδεμα πάχους 6-10cm όπως βλέπουμε στην παρακάτω εικόνα, εκεί μέσα τοποθετείται μια ταινία. Ακολούθως τοποθετείται ο οπλισμός των θεμελίων και χύνεται όλο το θεμέλιο.

Η όρθια τοποθετημένη της ταινία εξασφαλίζει μια άνεση στην τοποθέτηση. Το σκυρόδεμα πρέπει να είναι αντοχής περιεκτικότητας 300kg τσιμέντου ανά  $m^3$ . Η τοποθέτηση του γειωτή μέσα στο σκυρόδεμα στη βάση των θεμελίων εξασφαλίζει αντοχή στη διάβρωση και στις μηχανικές καταπονήσεις. Επιπλέον ο γειωτής είναι σε υγρό έδαφος όπου η αγωγιμότητα είναι μεγάλη. Στην περίπτωση των θεμελιακών γειώσεων συνδέονται στη θεμελιακή και τα αλεξικέρανα.



Σχήμα 36: Τοποθέτηση κεντρικής βάσης



Σχήμα 37: Τοποθέτηση κεντρικής βάσης

## Γειώσεις και συστήματα αντικεραυνικής προστασίας.

Οι γειώσεις του αιολικού πάρκου αποτελούνται από τέσσερα υποσυστήματα, τα οποία τελικά θα διασυνδεθούν:

- 1.Γειώσεις ανεμογεννήτριας και μετεωρολογικών ιστών.
- 2.Γείωση στον υποσταθμό.
- 3.Γειώσεις στους μετασχηματιστές.
- 4.Γειώσεις στα εσωτερικά δίκτυα Χαμηλής Τάσης και Μέσης Τάσης.

Αλεξικέραυνα θα τοποθετηθούν, πέρα από τις ανεμογεννήτριες, στο κτίριο του υποσταθμού και στους μετεωρολογικούς ιστούς. Η σχεδίαση των γειώσεων και της αντικεραυνικής προστασίας αποτελεί αντικείμενο λεπτομερούς μελέτης, όπου θα συνυπολογιστούν οι μετρήσεις ειδικής αντιστάσεως στη περιοχή του αιολικού πάρκου και οι απαιτήσεις ΔΕΗ. Ο σχεδιασμός θα γίνει με γνώμονα την άρτια και ασφαλή λειτουργία του εξοπλισμού, την προστασία του σε καταστάσεις σφαλμάτων και την προστασία του προσωπικού που έρχεται σε επαφή ή βρίσκεται στην ευρύτερη περιοχή του αιολικού σταθμού.

Όλα τα σημεία εγκατάστασης, όπου θα μπορούσε να αναπτυχθεί υπέρταση, με κίνδυνο τη σωματική βλάβη του προσωπικού, θα συνδεθούν στο σύστημα γείωσης. Όμοια στη βάση του πυλώνα, στο δάπεδο του υποσταθμού και στους κλωβούς των μετασχηματιστών ανύψωσης θα τοποθετηθεί γειωμένο ισοδυναμικό πλέγμα ικανό να αποτρέψει την ανάπτυξη επικίνδυνης βηματικής τάσης.

## Γείωση του αιολικού πάρκου.

Θα υπάρξει δίκτυο γειώσεων για την προστασία του πάρκου. Σε κάθε ανεμογεννήτρια θα τοποθετηθεί θεμελιακή γείωση και γείωση πλέγματος. Δύο δακτυλίδια διαφορετικής διαμέτρου ( $100mm^2$ ) για την θεμελιακή γείωση και ταινία ( $30x3mm^2$ ) για την δημιουργία του ισοδυναμικού πλέγματος. Και η ταινία και τα δακτυλίδια θα είναι χάλκινα. Το πλέγμα τοποθετείται μέσα στο δάπεδο του πυλώνα (μπετόν) σε βάθος 5cm έως 10 cm και στηρίζεται με κατάλληλα στηρίγματα και εξαρτήματα σύνδεσης.

Τα δακτυλίδια τοποθετούνται (σε διαφορετικό ύψος) το ένα μέσα στη διάμετρο του πυλώνα σε απόσταση 1m απ' τον πυλώνα (εσωτερικά του πυλώνα) και σε βάθος 0,5m τουλάχιστον ή και περισσότερο και το άλλο απ' έξω (εξωτερικά του πυλώνα), γύρω από τον πυλώνα της ανεμογεννήτριας σε απόσταση 1m από τον πυλώνα και σε βάθος 1m (ή και περισσότερο). Και τα δυο σχηματίζουν ένα κλειστό βρόχο. Και τα δυο δακτυλίδια τοποθετούνται μέσα στο σκυρόδεμα. Η θεμελιακή γείωση και η γείωση πλέγματος θα ενισχυθούν με την σύνδεσή τους με τον οπλισμό του πέδιλου της ανεμογεννήτριας και με τέσσερα (4) χάλκινα ηλεκτρόδια γείωσης 6 m ( $\Phi 16$ ) από δύο σε κάθε δακτυλίδι.

Πάνω στην άτρακτο της ανεμογεννήτριας υπάρχει αλεξικέραυνο, το οποίο συνδέεται με την γεννήτρια, τον πίνακα και όλα τα μεταλλικά μέρη της ανεμογεννήτριας. Ο αγωγός που συνδέει όλα τα παραπάνω ,καταλήγει στην θεμελιακή γείωση μέσω δύο σπινθηριστών. Για την προστασία του αιολικού πάρκου από κάθε είδος υπερτάσεις θα συνδεθούν αντικεραυνικά συστήματα στους πίνακες Χαμηλής Τάσης και Μέσης Τάσης. Επίσης θεμελιακή γείωση ,οποία τοποθετείται μέσα στο σκυρόδεμα σε βάθος 1m και σε απόσταση από τους τοίχους 1m γίνεται και στον υποσταθμό του αιολικού πάρκου. Παράλληλα τοποθετείται και ισοδύναμο πλέγμα γείωσης με τετραγωνικά ανοίγματα πλάτους (0,7m) εντός του δαπέδου του υποσταθμού σε βάθος 5 cm έως 10 cm, το οποίο ενισχύεται με τέσσερα ηλεκτρόδια γείωσης στις κορυφές του.

Για την δημιουργία του πλέγματος τοποθετείται ταινία  $Cu 30x3mm^2$  . Στο σύστημα γείωσης του υποσταθμού και των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου εξέχουν διάφορες αναμονές γείωσης. Πάνω στις αναμονές αυτές ,οι οποίες βρίσκονται 30 cm από το δάπεδο, συνδέεται μια ταινία περιμετρικά του οικίσκου ελέγχου ενώ όλα τα μεταλλικά μέρη του υποσταθμού συνδέονται σε αυτή, π.χ η πόρτα, ο πίνακας Μέσης Τάσης, ο πίνακας Χαμηλής Τάσης του υποσταθμού κ.λ.π. Επίσης, ακριβώς οι ίδιες συνδέσεις γίνονται και εντός της ανεμογεννήτριας.



**Σχήμα 38: Διαστάσεις αγωγού γείωσης.**

Οι διαστάσεις των αγωγών γείωσης και γενικότερα ο τρόπος γείωσης θα είναι τέτοιος ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική τιμή αντίστασης γείωσης ( $I\Omega$ ). Όλες οι παραπάνω γείωσεις θα είναι συνδεδεμένες με υπόγειο χάλκινο επικασσιτερωμένο αγωγό ( $95\text{ mm}^2\text{ Cu}$ ) ο οποίος τοποθετείται σε βάθος  $0,6\text{ m}$  και διατρέχει εντός του καναλιού διελεύσεως των καλωδίων σε όλο το μήκος του αιολικού πάρκου (κεντρικός αγωγός γείωσης). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ενίσχυση της γείωσης του αιολικού πάρκου.

Επιλέγονται, επίσης, κατάλληλοι αγωγοί γείωσης με συγκεκριμένη διατομή και με βάση την ειδική αντίσταση του εδάφους ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική τιμή αντίστασης γείωσης. Γενικά πρέπει να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα ώστε να παρέχεται ασφάλεια στο προσωπικό σε κάθε προσβάσιμο σημείο σε όλη την έκταση του αιολικού πάρκου. Επίσης, στο Κτίριο Ελέγχου τοποθετείται ισοδυναμικό πλέγμα εντός του δαπέδου με σύρματα διαμέτρου  $5\text{ m}$  τουλάχιστον και διαστάσεων ανοιγμάτων το πολύ  $300 \times 300\text{ mm}^2$  πάνω στο οποίο συνδέεται περιμετρική ταινία γαλβανισμένου χάλυβα. Αυτή με τη σειρά της συνδέεται με το ζυγό γείωσης του Κτιρίου Ελέγχου, πάνω στον οποίο συνδέονται τα κελύφη των αποζευκτών, διακοπών ισχύος, φορτίου κ.ά.

Ο Υποσταθμός Χ.Τ./Μ.Τ. της κάθε Α/Γ συνήθως στεγάζεται και εγκαθίσταται σε ειδικό διαμέρισμα στη βάση του πύργου κάθε Α/Γ. Ο Υ/Σ περιλαμβάνει μετασχηματιστή ανύψωσης στα  $20\text{ kV}$ . Η ονομαστική τάση του τυλίγματος Χ.Τ. είναι  $0,4 - 0,7\text{ kV}$  ενώ του τυλίγματος Μ.Τ  $20\text{ kV}$  με ρύθμιση τάσης σε βήματα  $0, \pm 2,5, \pm 5\%$ .

Σχετικά με τη σύνδεση των Α/Γ στο ζυγό του Α/Π, η γενική διάταξη είναι η εξής: Οι Α/Γ συνδέονται σε ακτινικά δίκτυα τα οποία καταλήγουν στον κεντρικό ζυγό Μ.Τ. του Α/Π. Κάθε ανεμογεννήτρια συνδέεται ηλεκτρικά με την επόμενη μέσω ενός υπόγειου καλωδίου. Οι ανεμογεννήτριες συνήθως συγκροτούνται σε ομάδες ανάλογα με τον αριθμό και τη διάταξή τους. Τα υπόγεια καλώδια σύνδεσης της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών συνδέονται στον κεντρικό ζυγό του Α/Π μέσω αυτόματων διακοπών ισχύος (ΔΙ) και αποζευκτών.

Κατά την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην αντικεραυνική προστασία του. Παλαιότερα η πτώση κεραυνών ήταν η κύρια αιτία καταστροφής των Α/Γ κι αυτό γιατί δε δινόταν μεγάλη προσοχή στη μεγάλη αντίσταση γείωσης καθώς και στο ότι η χωροθέτηση του Α/Π γίνεται σε βραχώδεις περιοχές. Έτσι οι Α/Γ πρέπει να προστατεύονται από την πτώση κεραυνών με ειδικά αντικεραυνικά συστήματα.

Όσον αφορά το ηλεκτρικό δίκτυο Μ.Τ. του Α/Π, εγκαθίστανται κατάλληλοι αγωγοί υπερτάσεων 10kA στον πίνακα αναχώρησης του καλωδίου Μ.Τ. από το ζυγό του Α/Π προς τη ΔΕΗ και στους πίνακες άφιξης των καλωδίων Μ.Τ. σύνδεσης των Α/Γ στο ζυγό του Α/Π. Επίσης, ένα τουλάχιστον αλεξικέραυνο συνδέεται πριν το σημείο σύνδεσης της μετρητικής διάταξης, προς τη μεριά του δικτύου της ΔΕΗ.

Εντός του Κτιρίου Ελέγχου του Α/Π και σε ειδικό χώρο τοποθετείται ο απαραίτητος ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που περιλαμβάνει το συγκρότημα πινάκων Μ.Τ., το Μ/Σ τροφοδοσίας των βοηθητικών καταναλώσεων, τη μονάδα UPS και τους πίνακες Χ.Τ.

Στο αιολικό πάρκο εγκαθίσταται πλήρες Σύστημα Ελέγχου, Εποπτείας και Μετρήσεων, το οποίο περιλαμβάνει κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, εκτυπωτή, μόντεμ κλπ., περιφερειακά και περιφερειακές μονάδες με επεξεργαστή σε κάθε ανεμογεννήτρια και στο μετεωρολογικό ιστό του Α/Π και το απαραίτητο εξειδικευμένο λογισμικό για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου και μετρήσεων.

Το Α/Π πρέπει να έχει τη δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας με το Κέντρο Κατανομής Φορτίου (ΚΚΦ). Για το σκοπό αυτό εγκαθίσταται κατάλληλο Σύστημα Εποπτικού Ελέγχου, με το οποίο αποστέλλονται σε 24h βάση, ενδείξεις, σημάνσεις και αναλογικά λειτουργικά μεγέθη του Α/Π προς το ΚΚΦ. Από το Α/Π αποστέλλονται συνήθως οι εξής πληροφορίες:

1. Στιγμιαία αποδιδόμενη ενεργός ισχύς του Α/Π (MW)
2. Στιγμιαία απορροφούμενη άεργος ισχύς του Α/Π (MVar)
3. Τάση στο ζυγό Μ.Τ. του Α/Π (kV)
4. Μέγιστη ικανότητα παραγωγής ισχύος (MW) που μπορεί να αποδώσει το Α/Π βάσει των επικρατουσών συνθηκών και της τεχνικής καταστάσεώς του
5. Κατάσταση διακοπών ισχύος και αποζευκτών 20kV του Α/Π.

Το κεντρικό Κτίριο Ελέγχου είναι συνήθως μικρό και ανεγείρεται σε στρατηγική θέση του αιολικού πάρκου. Εκεί βρίσκεται το Σύστημα Ελέγχου, Εποπτείας και Μετρήσεων του αιολικού πάρκου, οι χώροι αποθήκευσης των απαραίτητων αναλώσιμων υλικών. Το κτίριο είναι κατάλληλα διαχωρισμένο για να ανταποκρίνεται στους κανονισμούς καθώς και στις λειτουργικές απαιτήσεις του Α/Π και περιλαμβάνει τους εξής ανεξάρτητους χώρους:

1. Χώρος πινάκων μέσης τάσης
2. Χώρος επισκευών
3. Γραφείο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της λειτουργίας του αιολικού πάρκου
4. Αποθήκη για εργαλεία, ανταλλακτικά και αναλώσιμα απαραίτητα για τη λειτουργία του Α/Π
5. W.C. και αποδυτήρια

Στον οικίσκο του κέντρου ελέγχου εγκαθίσταται σύστημα κλιματισμού, για τις ανάγκες της απρόσκοπτης λειτουργίας του εξοπλισμού του κεντρικού Η/Υ καθώς και για τη βελτίωση των συνθηκών εργασίας του τεχνικού προσωπικού. Επιπλέον, στο κέντρο ελέγχου εγκαθίσταται σύστημα πυρασφάλειας/πυρόσβεσης/πυρανίχνευσης καθώς και σύστημα συναγερμού σε όλους τους χώρους του κτιρίου για την έγκαιρη προειδοποίηση του προσωπικού. Τέλος, όσον αφορά την ανέγερση των ανεμογεννητριών απαιτούνται τα ακόλουθα ανυψωτικά μηχανήματα:



Γερανός 300 τόνων



Γερανός 80 τόνων



Ανύψωση πλήμνης



Ανύψωση ατράκτου

Σχήμα 39: Βοηθητικοί γερανοί εργοταξίου

## 5.7. Σύνδεση στο ηλεκτρικό δίκτυο

Η σύνδεση και παράλληλη λειτουργία των Α/Γ στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ), μπορεί να έχει δυσμενείς επιπτώσεις στους καταναλωτές τους, δηλαδή στην σταθερότητα και τη συνέχεια της τάσεως τροφοδότησης. Επίσης μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ασφάλεια των καταναλωτών και του προσωπικού που εργάζεται στο δίκτυο.

Για το λόγο αυτό διεθνώς το θέμα αποτελεί αντικείμενο μελέτης με στόχο την έκδοση κανονισμών που θα καθορίζουν τις προϋποθέσεις υπό τις οποίες είναι επιτρεπτή η σύνδεση των μονάδων αυτών. Παράλληλα επιδιώκεται και από τους κατασκευαστές των Α/Γ να επιτυγχάνεται η ομαλή λειτουργία τους σε παράλληλη σύνδεση με το δίκτυο.

Η λειτουργία ενός ηλεκτρικού δικτύου ελέγχεται από συσκευές προστασίας και ρύθμισης της τάσης, που έχουν σκοπό την παροχή προς τους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας αποδεκτής ποιότητας, ελαχιστοποιώντας τον αριθμό των σφαλμάτων και προσφέροντας υψηλό επίπεδο ασφάλειας.

Η σύνδεση στο δίκτυο μονάδων παραγωγής πρέπει να συμβαδίζει με αυτές τις γενικές αρχές, ώστε αφενός μεν να μην προκαλούνται ενοχλήσεις στους λοιπούς καταναλωτές και αφετέρου να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ του δικτύου διανομής και των εγκαταστάσεων των παραγωγών.

Η επιλογή του τρόπου σύνδεσης ενός σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με Α/Γ στο δίκτυο αποτελεί αντικείμενο τεχνικοοικονομικής εξέτασης, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κεφαλαίου των έργων ενίσχυσης και επέκτασης του δικτύου και αφετέρου τις απώλειες ενέργειας κάθε τρόπου διασύνδεσης καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης, αλλά και άλλους παράγοντες (χρόνος και δυνατότητα κατασκευής των έργων, χρηματοδότησή τους κλπ.). Στον ακόλουθο πίνακα δίνεται, ενδεικτικά και μόνο, ο πιθανός (ή προτιμητέος) τρόπος διασύνδεσης, ανάλογα με την ισχύ του σταθμού.

Ενδεικτική συμφωνημένη ισχύς (MW)	Πιθανός τρόπος σύνδεσης στο δίκτυο
έως 0.1	Δίκτυο ΧΤ
έως 4	Δίκτυο ΜΤ, σε υφιστάμενη γραμμή (με πιθανή ενίσχυσή της)
έως 6	Δίκτυο ΜΤ, μέσω αποκλειστικής γραμμής απλού κυκλώματος
έως 20	Δίκτυο ΜΤ, μέσω αποκλειστικής γραμμής διπλού κυκλώματος
άνω των 20	Δίκτυο ΥΤ, με κατασκευή ιδιαίτερου Υ/Σ ανύψωσης ΥΤ/ΜΤ

Πίνακας 5.9: Τρόπος σύνδεσης Α/Π στο δίκτυο ανάλογα με την ισχύ του



Η σύνδεση των παραγωγών στο δίκτυο μέσης τάσης (ΜΤ) ή χαμηλής τάσης (ΧΤ) έχει ως κοινό στόχο την διασφάλιση της ομαλής συνεργασίας των εγκαταστάσεων με το δίκτυο, την ασφάλεια προσώπων και εγκαταστάσεων και την εξασφάλιση αποδεκτής ποιότητας ισχύος. Βασικά κριτήρια και προϋποθέσεις που εξετάζονται προκειμένου να επιτραπεί η σύνδεση νέων εγκαταστάσεων παραγωγής είναι τα ακόλουθα:

1. Επάρκεια δικτύου (γραμμών, μετασχηματιστών κλπ.)
2. Συμβολή στη στάθμη βραχυκύκλωσης
3. Αργές μεταβολές της τάσης (μόνιμης κατάστασης)
4. Ταχείες μεταβολές της τάσης
5. Εκπομπές flicker
6. Εκπομπές αρμονικών
7. Διαμόρφωση των προστασιών της διασύνδεσης εγκαταστάσεων-δικτύου
8. Επίπτωση στη λειτουργία συστημάτων Τηλεχειρισμού Ακουστικής Συχνότητας (ΤΑΣ)

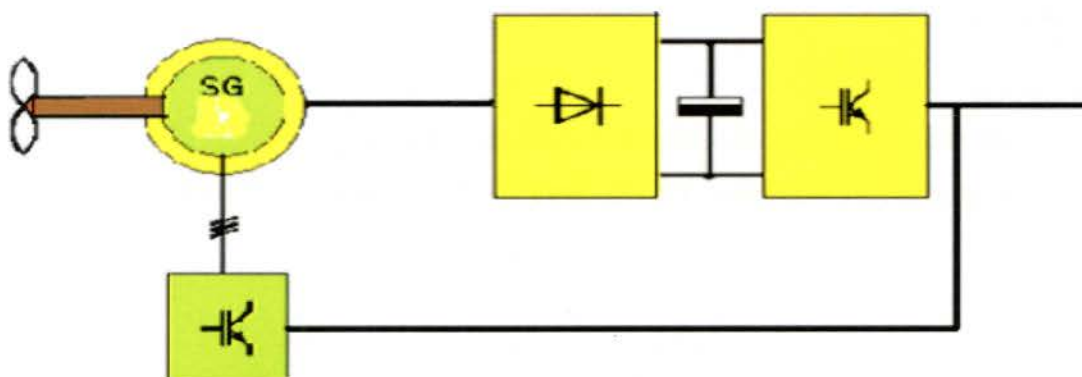
Οι διαταραχές που προκαλεί η παράλληλη λειτουργία των Α\Γ στο δίκτυο , μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες :

1. Σ' εκείνες που συμβαίνουν στην κανονική λειτουργία και οι οποίες συνίστανται βασικά σε διαταραχές της τάσεως του δικτύου. Οι διαταραχές αυτές, μπορεί να προέρχονται:
  - ✓ από τη μεταβολή που προκαλείται στη ροή των φορτίων του δικτύου, όταν οι Α\Γ τίθενται σε λειτουργία. (αργές μεταβολές τάσεων),
  - ✓ από τη ζεύξη - απόζευξη των Α\Γ (απότομες μεταβολές - 'βυθίσεις' της τάσεως) καθώς και από τις συνεχείς μεταβολές της παραγόμενης ισχύος , που οφείλονται στην αστάθεια του ανέμου (συνεχείς διακυμάνσεις τάσεως),
  - ✓ από την παραμόρφωση της τάσεως λόγω αρμονικών.
2. Σ' εκείνες που συμβαίνουν κατά την διάρκεια ανωμαλιών (βραχυκυκλωμάτων) του δικτύου, οπότε μπορεί να προκαλούνται :
  - ✓ ανωμαλίες στην ορθή λειτουργία των προστασιών του δικτύου διανομής, οι οποίες γενικά έχουν επιλεγεί με την προϋπόθεση της ακτινικής λειτουργίας του δικτύου.
  - ✓ πρόσθετη καταπόνηση στοιχείων του δικτύου, δεδομένου ότι τα βραχυκυκλώματα του δικτύου θα τροφοδοτούνται και από τις Α\Γ.

Δύο από τους τρόπους διασύνδεσης αιολικών πάρκων με το δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι είτε μέσω ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος είτε κατευθείαν. Στην παρούσα ενότητα παρουσιάζεται η πρώτη περίπτωση. Οι ανεμογεννήτριες έχουν το χαρακτηριστικό ότι είναι απευθείας οδηγούμενες από τον ανεμοκινητήρα. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Α/Γ, η τάση στην οποία λειτουργεί η μηχανή είναι η ονομαστική (400V) εφόσον ο δρομέας (Α/Κ) περιστρέφεται μέσα στην περιοχή επιτρεπτών ταχυτήτων του και το μόνο μέγεθος που μεταβάλλεται είναι η συχνότητα της γεννήτριας, η οποία είναι διαφορετική από 50Hz.

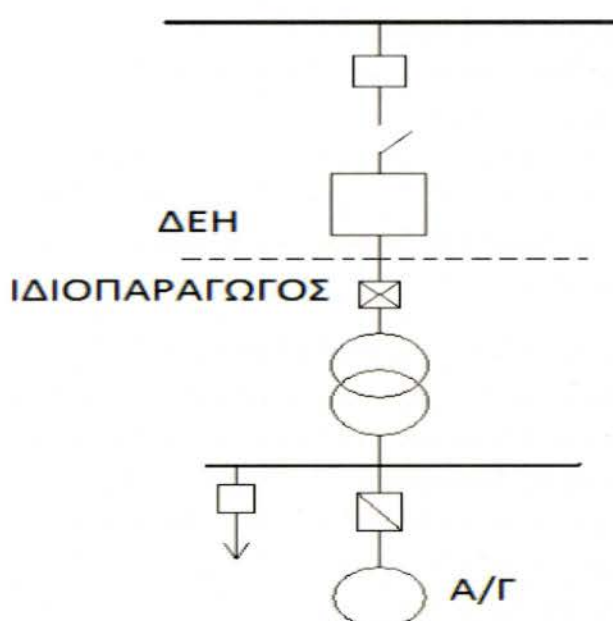
Η ταχύτητα περιστροφής του ανεμοκινητήρα εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα. Συνεπώς για να υπάρχει σύνδεση με το δίκτυο είναι απαραίτητη η ύπαρξη διπλής γέφυρας με ηλεκτρονικά ισχύος, ο

λεγόμενος ηλεκτρονικός μετατροπέας ισχύος. Ο τελευταίος αναλαμβάνει το ρόλο του συγχρονισμού της σύγχρονης μηχανής με το ισχυρό δίκτυο αφού φροντίζει να οδηγή στην έξοδο την τάση της σύγχρονης γεννήτριας και να μετατρέπει τη συχνότητά της σε 50Hz που είναι η ονομαστική τιμή. Όσον αφορά την εκκίνηση της σύγχρονης μηχανής, αυτή γίνεται με τη βοήθεια του ανέμου ο οποίος έχει το ρόλο της κινητήριας δύναμης. Εφόσον η ταχύτητα του ανέμου είναι κατάλληλη, δηλαδή ίση με την ταχύτητα σύζευξης, τότε ο ανεμοκινητήρας αρχίζει να περιστρέφεται.

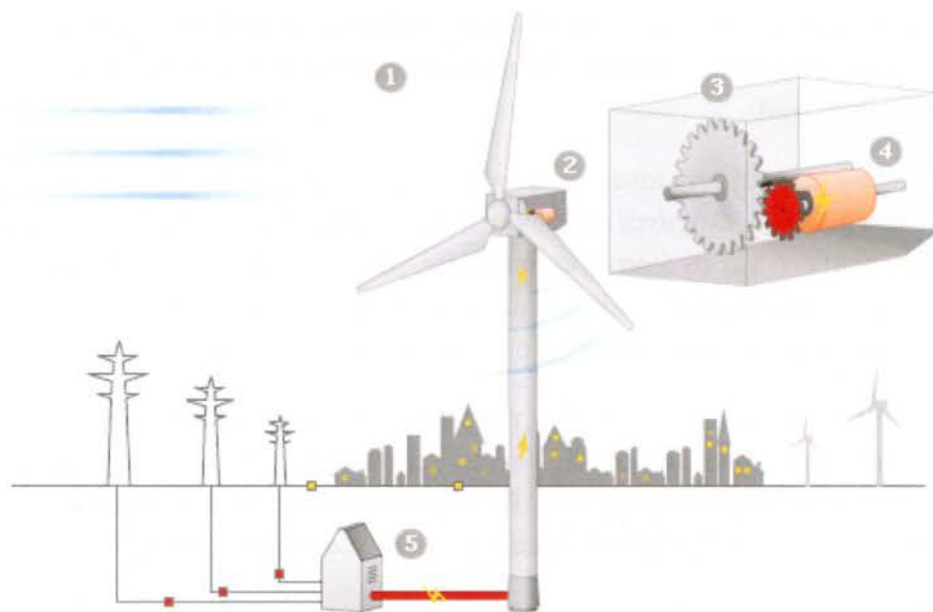


Σχήμα 40.: Σύνδεση Α/Π με το δίκτυο μεταφοράς ΗΕ μέσω ηλεκτρονικών ισχύος

Όσον αφορά την σύνδεση του αιολικού πάρκου στο δίκτυο μπορούν οι Α/Γ να συνδέονται προς το δίκτυο ΜΤ μέσω Μ/Σ ανύψωσης ανά μία ή ανά ομάδες Α/Γ. Στην περίπτωση μας επειδή έχουμε Α/Γ μεγάλης ισχύος, το αιολικό πάρκο συνδέεται στο δίκτυο ΜΤ μέσω Μ/Σ ανυψώσεως κατά ομάδες, ιδιοκτησίας του ιδιοπαραγωγού.



Σχήμα 41.: Σύνδεση Α/Π στο δίκτυο μέσω Μ/Σ ανύψωσης



Σχήμα 42: Διαδρομή ενέργειας από τα Α/Π στο δίκτυο της Δ.Ε.Η.

Οι ενέργειες που αντιστοιχούν στους αριθμούς του παραπάνω σχήματος είναι οι εξής:

1. Ο άνεμος φυσάει προς τα πτερύγια και κάνει το στροφείο να κινείται.
2. Η κίνηση μεταφέρει την ενέργεια στο κιβώτιο
3. Το κιβώτιο είναι εφοδιασμένο με σύστημα μετάδοσης που προσαρμόζει την ταχύτητα δρομέα σύμφωνα με τις απαιτήσεις του.
4. Η γεννήτρια μετατρέπει την περιστροφική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια των μαγνητικών πεδίων
5. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από την γεννήτρια περνά σε ένα μετασχηματιστή που μετατρέπει τη χαμηλή τάση που παράγεται σε υψηλότερη κατάλληλα για το δίκτυο.

Ο τύπος της ηλεκτρογεννήτριας E82/2000 της εταιρείας ENERCON είναι αυτός της ασύγχρονης (δηλαδή είναι απαραίτητη η παρουσία του δικτύου για τη λειτουργία της ανεμογεννήτριας). Η κάθε ανεμογεννήτρια θα είναι εξοπλισμένη με μια ηλεκτρογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 2,200 KVA.

Το ρεύμα παράγεται από την E82/2000 με μικροηλεκτρονικά και ηλεκτρονικά ισχύος σε σχέση με ένα ρεύμα αναφοράς. Το ρεύμα αναφοράς καθορίζεται από την παραγωγή ισχύος της ανεμογεννήτριας και την επιθυμητή φασική γωνία με την τάση του δικτύου (επιθυμητό  $\cos\phi$ ). Η τιμή αυτή συγκρίνεται με την πραγματική τιμή του διοχετευόμενου ρεύματος κάθε 100  $\mu$ s και διορθώνεται ανάλογα.

Το σύστημα διαχείρισης του δικτύου είναι αποζευγμένο από τη γεννήτρια μέσω ενός ενδιάμεσου κυκλώματος συνεχούς ρεύματος (DC bus). Μεταφορικά, ο ρότορας του μετατροπέα αιολικής ενέργειας είναι συνδεδεμένος με το ηλεκτρικό δίκτυο μέσω ενός ελαστικού συνδέσμου. Αυτή η ελαστική ζεύξη επιτρέπει στα ηλεκτρονικά ισχύος να εξισορροπήσουν τις διακυμάνσεις ισχύος χαμηλής συχνότητας. Χάρη σε αυτό το γεγονός η ισχύς εξόδου της E-82 μπορεί να ελεγχθεί με ακρίβεια σε όλο το φάσμα λειτουργίας της, έτσι ώστε να μην παρατηρούνται αξιοσημείωτες διακυμάνσεις ισχύος και αντίστοιχες μεταβολές της

τάσης (flicker). Ο συνδυασμός αυτός των τεχνολογιών επιτρέπει τη σύνδεση της ανεμογεννήτριας στο δίκτυο χωρίς περίπλοκες συνθήκες σύνδεσης. Πιστοποιητικά δημοσιευμένα από ανεξάρτητα ινστιτούτα επιβεβαιώνουν το γεγονός αυτό.

Τα όρια λειτουργίας της ανεμογεννήτριας για παράλληλη σύνδεση με το δίκτυο ουσιαστικά τίθενται από τους περιορισμούς του δικτύου (ελάχιστη και μέγιστη τάση). Αυτές οι δύο τιμές (υπό- και υπέρ-ταση), όπως επίσης και η χρονική σταθερά για το διάστημα μέτρησης, μπορούν να ορισθούν διακριτά μεταξύ τους ως μεταβλητές για τη λειτουργία της E-82 ανάλογα με τις απαιτήσεις του διαχειριστή του δικτύου. Μια ελάχιστη και μια μέγιστη τιμή μπορεί επίσης να ορισθεί και για τη συχνότητα.

Στην περίπτωση που τα συγκεκριμένα όρια δεν τηρούνται, τότε η E-82 θα αποσυνδεθεί ακαριαία από το δίκτυο. Καθώς δεν υπάρχουν αντισταθμιστικές διατάξεις (πυκνωτές), τότε η τάση και η συχνότητα θα καταρρεύσουν αμέσως. Ο μετατροπέας της E-82 θα αποσυνδεθεί από το δίκτυο μέσα σε χρονικό διάστημα 10 ms. Συνεπώς, αποκλείονται ακόμα και στιγμιαίες αιχμές ρεύματος και τάσης.

Εξάλλου προβλέπεται ειδική κατάσταση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας κατά την οποία η ισχύς εξόδου της εξαρτάται και καθορίζεται από την τάση του δικτύου στο σημείο σύνδεσης. Ως αποτέλεσμα αποφεύγονται καταστάσεις κατά τις οποίες θα επιβαλλόταν η παύση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (για λόγους δικτύου), με αρνητικές επιπτώσεις τόσο στην παραγωγή ενέργειας όσο και στην εύρυθμη λειτουργία του ηλεκτρικού συστήματος. Κατά την ειδική αυτή κατάσταση λειτουργίας, η τάση του δικτύου μετριέται και παρακολουθείται διαρκώς. Σε περίπτωση που η τάση αυξηθεί (π.χ. εξαιτίας έλλειψης φορτίου κατά τη διάρκεια της νύχτας), η ισχύς εξόδου της E-82 θα μειωθεί άμεσα. Το παραγόμενο ρεύμα επιτηρείται από το σύστημα ελέγχου και δεν παρατηρείται επιπλέον αύξηση της τάσης λόγω της παραγωγής της ανεμογεννήτριας. Με τον ενεργό αυτό έλεγχο της τάσης του δικτύου εξασφαλίζεται ότι η ισχύς που τροφοδοτείται στο δίκτυο περιορίζεται σε αυτήν η οποία μπορεί να απορροφηθεί με ασφάλεια (η ισχύς που τροφοδοτείται στο δίκτυο ελέγχεται από την επιδεκτική ικανότητα του δικτύου).

Οπότε το πλήρες σταμάτημα της ανεμογεννήτριας δεν είναι πλέον αναγκαίο. Η E-82 μπορεί να προσαρμοστεί σε ασθενή δίκτυα χωρίς ακριβά μέσα υποστήριξης δικτύου. Τη στιγμή που μία ανεμογεννήτρια ή ένα αιολικό πάρκο τίθενται σε παράλληλη λειτουργία με το δίκτυο συχνά παρατηρείται ανύψωση τάσης. Συνήθως η μεταβολή αυτή εξισορροπείται με ρυθμιζόμενους μετασχηματιστές ή με σύγχρονες γεννήτριες. Η παραγωγή ισχύος της E-82 δέχεται ως μεταβλητή τον επιθυμητό ρυθμό αύξησης της παραγόμενης ισχύος (dP/dt) ο οποίος μπορεί να προεπιλεγθεί. Το γεγονός αυτό επιτρέπει στους ρυθμιζόμενους μετασχηματιστές ή στις σύγχρονες γεννήτριες του συστήματος να προσαρμόζονται στην εκάστοτε κατάσταση (στοιχεία τα οποία κατά κανόνα μεταβάλλουν με πιο αργούς ρυθμούς τα χαρακτηριστικά λειτουργίας τους). Ο έλεγχος αυτός της ρύθμισης ισχύος ενεργοποιείται αυτομάτως (π.χ. κατά τη διάρκεια δυνατών μεταβλητών ανέμων ή καταιγίδων) έτσι ώστε να απαλλάσσει το σύστημα από ταχείες διακυμάνσεις της συχνότητας και της τάσης.

Η φασική γωνία μεταξύ της τάσης δικτύου και του ρεύματος δύναται να παραμένει σταθερή (π.χ. "συν  $\varphi=1$ ") σε όλο το εύρος λειτουργίας της ανεμογεννήτριας (από 0 έως 2,050 kW). Στην κατάσταση αυτή μόνο πραγματική ισχύς τροφοδοτείται στο δίκτυο ενώ δεν υπάρχει κατανάλωση αέργου ισχύος από την ανεμογεννήτρια, όπως θα συνέβαινε με συμβατικές ασύγχρονες γεννήτριες.

Σημειώνεται ότι η λειτουργία της ανεμογεννήτριας όσον αφορά την κατανάλωση ή την παραγωγή αέργου ισχύος μπορεί να τίθεται στο επιθυμητό σημείο (από 0.95 χωρητικό έως 0.95 επαγωγικό).

Οι ανεμογεννήτριες προστατεύονται από την πτώση κεραυνών με ειδικά αντικεραυνικά συστήματα τα οποία είναι ενσωματωμένα στα ακροπερύγια. Η ανεμογεννήτρια διαθέτει χάλκινο καλώδιο τοποθετημένο στο εσωτερικό του κάθε περυγίου της ανεμογεννήτριας το οποίο διατρέχει όλο το μήκος από το ακροπερύγιο μέχρι την βάση του περυγίου και εκεί διασυνδέεται με το γενικό σύστημα αντικεραυνικής προστασίας της ανεμογεννήτριας. Επίσης η ανεμογεννήτρια διαθέτει σύστημα αντικεραυνικής προστασίας του θαλάμου και των υποσυστημάτων εντός αυτού, του πυλώνα και των λοιπών υποσυστημάτων στην βάση του πυλώνα.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με καλώδια Χαμηλής Τάσης, τα οποία οδεύουν εντός του πυλώνα στο κάτω μέρος του και καταλήγουν στον ελεγκτή της ανεμογεννήτριας. Εντός του πυλώνα οδεύουν επίσης το καλώδιο επικοινωνιών (ελέγχου, εποπτείας και μετρήσεων) το οποίο διασυνδέει τους αισθητήρες (θερμοκρασίας, πίεσης, στροφών, δονήσεων κλπ) που βρίσκονται εγκατεστημένοι στα διάφορα υποσυστήματα στον θάλαμο της ανεμογεννήτριας με τον υπολογιστή στην βάση του πυλώνα. Ακόμη υπάρχει το σύστημα γείωσης το οποίο συνδέει τα μεταλλικά μέρη της ανεμογεννήτριας με το σύστημα γείωσης του αιολικού πάρκου.

## Δίκτυο Ισχύος MT Διασύνδεσης Ανεμογεννητριών με Κέντρο Ελέγχου

Η κάθε ανεμογεννήτρια του αιολικού πάρκου θα συνδέεται ηλεκτρολογικά με την επόμενη της. Η ηλεκτρολογική διασύνδεση μεταξύ των ανεμογεννητριών θα γίνεται με υπόγειο ηλεκτρικό καλώδιο Μέσης Τάσης τύπου XLPE, με αγωγούς χαλκού, διατομής  $3 \times 95 + 25 \text{ mm}^2$ . Το καλώδιο αυτό θα συνδέει την πλευρά MT του Μ/Σ της κάθε ανεμογεννήτριας με την πλευρά MT του Μ/Σ της επομένης ανεμογεννήτριας. Διευκρινίζεται ότι στην ακραία ανεμογεννήτρια:

- δεν θα υπάρχει είσοδος από την επόμενη
- θα εγκατασταθεί αποχετευτής υπερτάσεων (στο άκρο της τελευταίας ανεμογεννήτριας).

Το καλώδιο MT 20 KV για την διασύνδεση των ανεμογεννητριών θα είναι ποιότητας σύμφωνα με τις προδιαγραφές IEC 502/83 και θα οδεύει σε υπόγειο κανάλι. Το κανάλι των καλωδίων, το οποίο θα ανοιχθεί κατά την φάση των χωματουργικών εργασιών, θα είναι διαστάσεων περίπου 100 εκ x 70 εκ και θα περιέχει 3 κατηγοριών δίκτυα:

- δίκτυο ισχύος MT, διατομής  $3 \times 95 + 25 \text{ mm}^2$ , τύπου XLPE, με αγωγούς χαλκού
- δίκτυο επικοινωνιών (του συστήματος SCADA) μεταξύ του επεξεργαστή (RTU) κάθε ανεμογεννήτριας και κάθε μετεωρολογικού ιστού και του κέντρου ελέγχου του αιολικού πάρκου

- τον αγωγό γείωσης του αιολικού πάρκου.

## Ειδικός Εξοπλισμός (Ηλεκτρολογικός) Κέντρου Ελέγχου

Το υπόγειο καλώδιο ισχύος MT της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου θα καταλήγει εντός του κτιρίου του κέντρου ελέγχου δια μέσου καναλιών διέλευσης καλωδίων τα οποία θα προβλεφθούν στο δάπεδο του κτιρίου. Τα καλώδια θα εισέρχονται σε κατάλληλους μεταλλικούς πίνακες (metal clad). Για την κάθε ομάδα θα υπάρχει το πεδίο εισόδου και το πεδίο του διακοπτικού εξοπλισμού. Ο κύριος διακοπτικός εξοπλισμός θα αποτελείται από διακόπτες εξαφθορειούχου θείου (SF6) ονομαστικής έντασης 630A, με ικανότητα διακοπής βραχυκυκλώματος 10 KA και ονομαστικής τάσης 24 KV, καθώς και βοηθητικό εξοπλισμό όπως μετασχηματιστές τάσης και έντασης, διάφορες μετρητικές διατάξεις, όργανα ένδειξης πίνακα, λυχνίες ένδειξης, μπουτόν κλπ.

Τα καλώδια ισχύος MT της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών από το κέντρο ελέγχου, θα αναχωρούν υπόγεια μέχρι την αυλή του κέντρου ελέγχου ως το σημείο των στύλων ανύψωσης των γραμμών και από εκεί θα αναχωρούν εναέρια μέχρι την άφιξη των αποκλειστικών γραμμών διασύνδεσης στον υποσταθμό MT/ΥΤ. Ο χώρος του κέντρου ελέγχου (αυλή) από όπου θα αναχωρούν οι εναέρια γραμμές Μέσης Τάσης θα είναι κατάλληλα προφυλαγμένος σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές.

Στην έξοδο του διακόπτη 1 των ανεμογεννητριών θα υπάρχει λήψη προς υποσταθμό MT/XT ο οποίος θα χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία των βοηθητικών κυκλωμάτων του κέντρου ελέγχου του αιολικού πάρκου, με μετασχηματιστή λαδιού χαμηλών απωλειών, ονομαστικής ισχύος 50 KVA, 20KV/400V. Η λήψη θα γίνεται εντός κατάλληλου μεταλλικού πεδίου και θα διαθέτει τον αντίστοιχο διακόπτη εξαφθορειούχου θείου (SF6) ονομαστικής έντασης 630A, με ικανότητα διακοπής βραχυκυκλώματος 10 KA και ονομαστικής τάσης 24 KV. Από την πλευρά της XT θα υπάρχει επίσης ο διακόπτης φορτίου για την προστασία των καταναλωτών χαμηλής τάσης καθώς και για την απομόνωση του μετασχηματιστή. Εντός του οικίσκου του κέντρου ελέγχου του αιολικού πάρκου σε ειδικό χώρο θα τοποθετηθεί ο απαραίτητος ΕΙΔΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΚΕΝΤΡΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ που θα περιλαμβάνει συνοπτικά τα παρακάτω κύρια επί μέρους στοιχεία:

- Πεδία άφιξης καλωδίων MT (20 KV) της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών
- Πεδία αναχώρησης καλωδίου MT (20 KV) της κάθε ομάδας προς το νέο Υ/Σ 20/150 KV 40-50 MVA
- Πεδία πίνακα MT της κάθε ομάδας του Αιολικού Πάρκου.
- Υποσταθμό MT/XT με μετασχηματιστή τύπου ελαίου 50 KVA, 20KV/400 V, χαμηλών απωλειών, για την τροφοδοσία των βοηθητικών κυκλωμάτων και καταναλώσεων (για την ηλεκτρική τροφοδότηση των εγκαταστάσεων κλιματισμού, πυρασφάλειας / πυρόσβεσης / πυρανίχνευσης, συναγερμού, φωτισμού και ρευματοδοτών, θερμοσίφωνα, την τροφοδοσία του συστήματος UPS, μορφοτροπέων, φωτιστικών σωμάτων κλπ)

- Μονάδα UPS (Uninterruptible Power Supply) για την τροφοδοσία των κρίσιμων φορτίων (π.χ. μονάδα Η/Υ, φώτα ασφαλείας, κλπ)
- Πίνακες ΧΤ υπηρεσιών κτιρίου.

## Σύνδεση Αιολικού Πάρκου με Υποσταθμό

Η σύνδεση του Αιολικού Πάρκου με το ηλεκτρικό δίκτυο θα γίνει με την κατασκευή μίας υπόγειας γραμμής 22kV η οποία θα καταλήγει σε έναν ελαιοδιακόπτη του υποσταθμού μεταφοράς. Η αναχώρηση της υπόγειας αποκλειστικής γραμμής ΜΤ θα αρχίζει αμέσως μετά το κέντρο ελέγχου του αιολικού πάρκου,) και θα οδεύει προς τον υποσταθμό. Ο υποσταθμός μεταφοράς θα κατασκευαστεί μέσα στο αιολικό πάρκο.

Στο σημείο σύνδεσης του αιολικού πάρκου με το ηλεκτρικό δίκτυο θα εγκατασταθεί κατάλληλη μετρητική διάταξη για την καταγραφή της ενέργειας και ισχύος προς πώληση. Οι λεπτομέρειες και οι προδιαγραφές της μετρητικής αυτής διάταξης θα καθοριστούν μεταξύ των ενδιαφερομένων μερών κατά την σύνταξη της μεταξύ τους σύμβασης πώλησης ενέργειας και ισχύος. Η όλη εγκατάσταση του υποσταθμού θα είναι κατάλληλη για υπαίθριους χώρους και επί πλέον ο υποσταθμός θα είναι κατάλληλα περιφραγμένος για την αποφυγή προσέλευσης ατόμων άλλων από τους αρμόδιους.

## Σύστημα SCADA και Δίκτυο Επικοινωνιών Αιολικού Πάρκου

Στο αιολικό πάρκο θα εγκατασταθεί πλήρες σύστημα ελέγχου, εποπτείας και μετρήσεων, το οποίο συνήθως αναφέρεται διεθνώς με τον όρο SCADA (Supervisory, Control and Data Acquisition) που θα περιλαμβάνει hardware (κεντρικό ηλεκτρονικό υπολογιστή, εκτυπωτή, modem, interface κλπ περιφερειακά και περιφερειακές μονάδες με επεξεργαστή - RTU - σε κάθε ανεμογεννήτρια και κάθε μετεωρολογικό ιστό) και το απαραίτητο εξειδικευμένο λογισμικό για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου, εποπτείας και μετρήσεων. Το σύστημα SCADA θα αποτελείται από τα εξής 3 επί μέρους τμήματα:

- κύριο ηλεκτρονικό υπολογιστή (master computer) που θα είναι εγκατεστημένος στο κέντρο ελέγχου του αιολικού πάρκου.
- περιφερειακές μονάδες με μικροεπεξεργαστή (RTUs = Remote Terminal Units) που θα εγκατασταθούν σε κάθε ανεμογεννήτρια και σε κάθε μετεωρολογικό ιστό για τον έλεγχο των βασικών λειτουργιών τους καθώς επίσης και για την συλλογή και αποστολή (μετάδοση) των μετρήσεων προς κεντρική μονάδα ηλεκτρονικού υπολογιστή

- εξειδικευμένο λογισμικό με την βοήθεια του οποίου θα είναι δυνατός ο έλεγχος επί λειτουργιών της κάθε ανεμογεννήτριας όπως π.χ. θέση εντός και θέση εκτός (Start - Stop), reset, προγραμματισμός διαφόρων παραμέτρων λειτουργίας των ανεμογεννητριών κλπ.

Επιπλέον θα γίνεται σε συνεχή ροή η αποθήκευση και αρχειοθέτηση των τιμών παραμέτρων της κάθε ανεμογεννήτριας στον σκληρό δίσκο ηλεκτρονικού υπολογιστή και θα καταγράφονται η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου από αντίστοιχα όργανα μέτρησης εγκατεστημένα στους μετεωρολογικούς ιστούς του αιολικού πάρκου.

Η μετάδοση των πληροφοριών των διαφόρων παραμέτρων των ανεμογεννητριών, καθώς επίσης στοιχείων για την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου από τους μετεωρολογικούς ιστούς του αιολικού πάρκου, θα γίνεται μέσω του υπογείου δικτύου επικοινωνιών του αιολικού πάρκου το οποίο θα αποτελείται από καλώδια τηλεφωνικού τύπου με συνεστραμμένα ζεύγη.

Επισημαίνεται ότι επειδή το δίκτυο επικοινωνιών του αιολικού πάρκου οδεύει στο ίδιο χαντάκι και παράλληλα με το δίκτυο ισχύος MT, κρίνεται απαραίτητο να είναι θωρακισμένο προκειμένου να αποφευχθούν παρεμβολές αλλά και προβλήματα ασφαλείας στο προσωπικό του αιολικού πάρκου λόγω δημιουργίας ρευμάτων εξ επαγωγής.



## 5.8. Ενοχλήσεις από το αιολικό πάρκο στο περιβάλλον και τους κατοίκους

Οι ενοχλήσεις που προκαλούνται από την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου στην ευρύτερη περιοχή αναφέρονται ασφαλώς στο πρόβλημα του θορύβου, στην οπτική και αισθητική ενοχλήση , στις επιδράσεις στα πουλιά, στο φαινόμενο σκίασης, στα αντικείμενα που εκπέμπονται και μπορεί να προκαλέσουν ζημιές, καθώς και στις τυχόν επιπτώσεις στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες στη γύρω περιοχή.

Το πρόβλημα του θορύβου αποτελεί ίσως τη μόνη πραγματική επιβάρυνση του περιβάλλοντος από την ύπαρξη αιολικών πάρκων, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πολλών μηχανών μεγάλων διαστάσεων.

Σύμφωνα με μελέτη του ΚΑΠΕ (Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας) πάνω στο ενδεχόμενο πρόβλημα του θορύβου που προκαλούν οι Α/Γ στο περιβάλλον, η απάντηση που δίνει είναι η εξής :

"Πρόκειται για το μόνο ουσιαστικό πρόβλημα, αλλά συγχρόνως και το ευκολότερο να ελεγχθεί και να προληφθεί".Στις ανεμογεννήτριες, ο εκπεμπόμενος θόρυβος μπορεί να υπαχθεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευσή του: μηχανικός και αεροδυναμικός.

Το προτεινόμενο έργο δεν θα έχει πρακτικά επίδραση στο έδαφος και δεν θα προκαλέσει οποιασδήποτε μορφής γεωλογικές μεταβολές στη διάταξη των πετρωμάτων, την τοπογραφία και το ανάγλυφο της περιοχής.Η κάθε ανεμογεννήτρια χρειάζεται για τη σκυροδέτησή της 160 m<sup>2</sup> επιφάνειας εδάφους. Οι χωματουργικές εργασίες που θα γίνουν είναι επιφανειακές εκσκαφές, οι οποίες, μετά τη σκυροδέτηση των ανεμογεννητριών επιχωματώνονται, ώστε να υπάρξει πλήρης αποκατάσταση του περιβάλλοντος χώρου. Πλέον τούτου η όλη έκταση των εκσκαφών (160m<sup>2</sup> x 6 ανεμογεννήτριες= 960 m<sup>2</sup> ), είναι πολύ μικρό ποσοστό (1.4%) της όλης έκτασης του αιολικού πάρκου (363,10 στρέμματα). Ομοίως και η εσωτερική οδοποιία, για την πρόσβαση προς τις ανεμογεννήτριες και την εν γένει λειτουργία του αιολικού πάρκου, είναι επιφανειακή και δεν πρόκειται να επιφέρει καμία γεωλογική μεταβολή.

1. ΕΔΑΦΟΣ : Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
α) Ασταθείς καταστάσεις εδάφους ή αλλαγές στη γεωλογική διάταξη των πετρωμάτων			X
β) Διασπάσεις, μετατοπίσεις, συμπίεσεις ή υπερκαλύψεις του επιφανειακού στρώματος του εδάφους ;			X
γ) Αλλαγές στην τοπογραφία ή στα ανάγλυφα χαρακτηριστικά της επιφάνειας του εδάφους;			X
δ) Καταστροφή, επικάλυψη αλλαγή οποιουδήποτε μοναδικού γεωλογικού ή φυσικού χαρακτηριστικού			X
ε) Οποιαδήποτε αύξηση της διάβρωσης του εδάφους από τον άνεμο ή το νερό, επί τόπου ή μακράν του τόπου αυτού;			X
στ) Αλλαγές στην εναπόθεση ή διάβρωση της άμμου των ακτών ή αλλαγές στη δημιουργία λάσπης, στην εναπόθεση ή διάβρωση που μπορούν να αλλάξουν την κοίτη ενός ποταμού ή ρυακιού ή τον πυθμένα της θάλασσας ή οποιουδήποτε κόλπου, ορμίσκου ή λίμνης;			X
ζ) Κίνδυνο έκθεσης ανθρώπων ή περιουσιών σε γεωλογικές καταστροφές όπως σεισμοί, κατολισθήσεις εδαφών ή λάσπης, καθιζήσεις ή παρόμοιες καταστροφές;			X

Πίνακας 5-10: επίδρασεις Α/Γ στο έδαφος

## Επιπτώσεις στην ποιότητα της ατμόσφαιρας

Το προτεινόμενο έργο δεν προκαλεί καμία εκπομπή ρύπων, οσμών κ.λ προς το περιβάλλον ούτε προκαλεί μεταβολή στη διεύθυνση του ανέμου, μεταβολή της θερμοκρασίας και πολύ μεταβολές στο κλίμα της περιοχής. Αντίθετα μάλιστα το έργο συνεισφέρει στη μείωση των εκπομπών ρύπων λόγω υποκατάστασης μέρους της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικές μορφές με αιολική, που είναι ήπια και φιλική μορφή προς το περιβάλλον

2. ΑΕΡΑΣ : Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
α) Σημαντικές εκπομπές στην ατμόσφαιρα ή υποβάθμιση της ποιότητας της ατμόσφαιρας			X
β) Δυσάρεστες οσμές ;			X
γ) Αλλαγή των κινήσεων του αέρα, της υγρασίας ή της θερμοκρασίας ή οποιαδήποτε αλλαγή στο κλίμα είτε τοπικά είτε σε μεγαλύτερη έκταση;			X

Πίνακας 5-11: Επιπτώσεις στην ποιότητα της ατμόσφαιρας

Επιπτώσεις στα επιφανειακά και υπόγεια νερά

Το προτεινόμενο έργο δεν δημιουργεί ή παράγει μεγάλα ποσά υγρών αποβλήτων οπότε δεν έχει καμία επίπτωση στην ελεύθερη ροή των υδάτων τόσο των επιφανειακών όσο και των υπογείων.

NEPA : Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
α) Αλλαγές στα ρεύματα ή αλλαγές στην πορεία ή κατεύθυνση των κινήσεων των πάσης φύσεως επιφανειακών υγρών ;			X
β) Αλλαγές στον ρυθμό απορρόφησης, στις οδούς αποστράγγισης ή στο ρυθμό και την ποσότητα απόπλυσης			X
γ) Μεταβολές στην πορεία ροής των νερών από πλημμύρες;			X
δ) Αλλαγές στην ποσότητα του επιφανειακού νερού σε οποιονδήποτε υδάτινο όγκο;			X
ε) Απορρίψεις υγρών αποβλήτων σε επιφανειακά ή υπόγεια νερά με μεταβολή της ποιότητάς των;			X
στ) Μεταβολή στην κατεύθυνση ή στην παροχή των υπογείων υδάτων ;			X
ζ) Αλλαγή στην ποσότητα των υπογείων υδάτων είτε δι'απευθείας προσθήκης νερού ή απόληψης αυτού, είτε διά παρεμποδίσεως ενός υπογείου τροφοδότη των υδάτων αυτών σε τομές ή ανασκαφές;			X
η) Σημαντική μείωση της ποσότητας του νερού, που θα ήταν κατά τα άλλα διαθέσιμο για το κοινό			X
θ) Κίνδυνο έκθεσης ανθρώπων ή περιουσιών σε καταστροφές από νερό, όπως πλημμύρες ή παλιρροιακά κύματα			X

Πίνακας 5-12: Επιπτώσεις στα επιφανειακά και υπόγεια νερά

## Επιπτώσεις στην χλωρίδα

Μέρος της περιοχής ανάπτυξης του έργου χαρακτηρίζεται ως Περιοχή προστασίας NATURA 2000. Λεπτομερή καταγραφή της χλωρίδας και των βιοτόπων σε όλη την έκταση του έργου έχει προγραμματιστεί να γίνει μέσα στην περίοδο Μαΐου – Ιουλίου 2006. Οι οποίες επεμβάσεις στο επιφανειακό έδαφος είναι μικρής έκτασης και σχετικά σύντομες, ώστε τα ενδημούντα φυτικά είδη, ταχέως να καλύπτουν εκ νέου το έδαφος, ιδιαίτερα όταν οι επεμβάσεις αυτές επιχωματώνονται.

<b>ΧΛΩΡΙΔΑ: Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει</b>	<b>ΝΑΙ</b>	<b>ΙΣΩΣ</b>	<b>ΟΧΙ</b>
α) Αλλαγή στην ποικιλία των ειδών ή στον αριθμό οποιονδήποτε ειδών φυτών (περιλαμβανομένων και δένδρων, θάμνων κ.λ.π)			<b>X</b>
β) Μείωση του αριθμού οποιονδήποτε μοναδικών σπανίων ή υπό εξαφάνιση ειδών φυτών ;			<b>X</b>
γ) Εισαγωγή νέων ειδών φυτών σε κάποια περιοχή ή παρεμπόδιση της φυσιολογικής ανανέωσης των υπαρχόντων ειδών;			<b>X</b>
δ) Μείωσης της έκτασης οποιασδήποτε αγροτικής καλλιέργειας			<b>X</b>

Πίνακας 5-13: Επιπτώσεις στην χλωρίδα

## Επιπτώσεις στην πανίδα

Με βάση την διεθνή εμπειρία από παρόμοιες εγκαταστάσεις, το προτεινόμενο έργο δεν θα επηρεάσει καμιάς μορφής ήμερη ή άγρια πανίδα που ζει και κινείται στο έδαφος, αφού δεν προκαλεί μεταβολές σε παραμέτρους που σχετίζονται με αυτό. Ειδικότερα τα αιγοπρόβατα θα διέρχονται και θα βόσκουν στο χώρο του αιολικού πάρκου, όπως ακριβώς και σήμερα. Τα παραδείγματα “συμβίωσης” των αιολικών πάρκων με την άγρια και ήμερη πανίδα είναι πάρα πολλά. Η παρατιθέμενη φωτογραφία (Σχήμα 1) με ένα είδος ιδιαίτερα ευαίσθητο (αγελάδες γαλακτοπαραγωγής) πείθει απόλυτα περί αυτού.

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
α) Αλλαγή στην ποικιλία των ειδών ή στον αριθμό οποιωνδήποτε ειδών ζώων (πτηνών, ζώων περιλαμβανομένων των ερπετών, ψαριών και θαλασσινών, βενθικών οργανισμών ή εντόμων			X
β) Μείωση του αριθμού οποιωνδήποτε μοναδικών σπανίων ή υπό εξαφάνιση ειδών ζώων			X
γ) Εισαγωγή ή νέων ειδών ζώων σε κάποια περιοχή ή παρεμπόδιση της αποδημίας ή των μετακινήσεων των ζώων ;			X
δ) Χειροτέρευση του φυσικού περιβάλλοντος των υπαρχόντων ψαριών ή άγριων ζώων ;			X

Πίνακας 5-14: Επιπτώσεις στην πανίδα

Ειδικά για τα πουλιά , που μπορεί να τραυματιστούν ή θανατωθούν από πρόσκρουση τους με ανεμογεννήτριες, μακροχρόνιες έρευνες έχουν αποδείξει ότι οι θάνατοι αυτοί είναι πολύ λιγότεροι από τους θανάτους που προέρχονται από συγκρούσεις πουλιών με διάφορες κατασκευές ανθρώπων όπως εναέριες ηλεκτρικές γραμμές, πυλώνες, ιστοί, παράθυρα κτιρίων, κινούμενα σε δρόμους οχήματα κλπ. Συγκεκριμένα σε μια σειρά ανεμογεννητριών που έχουν εγκατασταθεί σε λωρίδα εδάφους 1 χιλιομέτρου αντιστοιχούν τόσοι θάνατοι πουλιών όσοι σε ένα αυτοκινητόδρομο και το 1/10 θανάτων πουλιών από γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ΥΤ. Από τα πιο πάνω αναφερόμενα μπορεί άμεσα να λεχθεί ότι δεν δημιουργείται πρακτικά πρόβλημα από θανάτους πουλιών στο υπό εγκατάσταση αιολικό πάρκο, αλλά και γενικότερα έχει αποδειχθεί ότι οι ανεμογεννήτριες δεν ενοχλούν τα πουλιά δεδομένου ότι:

- Υπάρχουν στο διεθνή χώρο παραδείγματα πουλιών (γερακιών) που έχουν φωλιές σε πυλώνες στήριξης ανεμογεννητριών
- Από παρατηρήσεις έχει προκύψει ότι τα πουλιά τείνουν να αλλάζουν πορεία και την ημέρα και τη νύχτα, 100 με 200 μέτρα πριν από την ανεμογεννήτρια και να περάσουν σε ασφαλή απόσταση πάνω από αυτήν. Μελέτες δείχνουν ότι μεταναστευτικά πουλιά δεν συγκρούονται με ανεμογεννήτριες, άλλωστε και για την περιοχή δεν υπάρχουν στοιχεία ότι ο χώρος του αιολικού πάρκου αποτελεί «πέραςμα» αποδημητικών πουλιών ή σταθερό τόπο αναπαραγωγής (οικοφωλιά).

### Επιπτώσεις από τον θόρυβο

Το προτεινόμενο έργο είναι πιθανό να αυξήσει σε μικρό βαθμό το επίπεδο θορύβου της εγγύτερης προς τις ανεμογεννήτριες περιοχής και πρακτικά μέχρι τα 160 περίπου μέτρα (συνήθης θόρυβος εντός των κατοικιών 45 db(A)). Τα επίπεδα θορύβου στα όρια της ανάπτυξης του αιολικού πάρκου θα είναι της τάξης των 45 dB LAeq (1 hour). Με βάση το BS 4142:1990, η διαφορά επιπέδων μεταξύ του διορθωμένου "ενοχλητικού" και του περιβαλλοντικού θορύβου είναι -1 dB και νοουμένου ότι το επίπεδο περιβαλλοντικού θορύβου στις οικιστικές περιοχές αναμένεται να είναι ακόμη πιο ψηλό των 35 dB LA90 που έχει καταμετρηθεί μέσα στον Αύγουστο (περίοδος διακοπών), υπάρχουν σαφείς ενδείξεις ότι δεν θα προκαλείται οχληρία στη περιοχή από τη λειτουργία του αιολικού πάρκου ακόμα και κατά τη διάρκεια της νύκτας.

Επομένως σαφώς μπορεί να λεχθεί ότι:

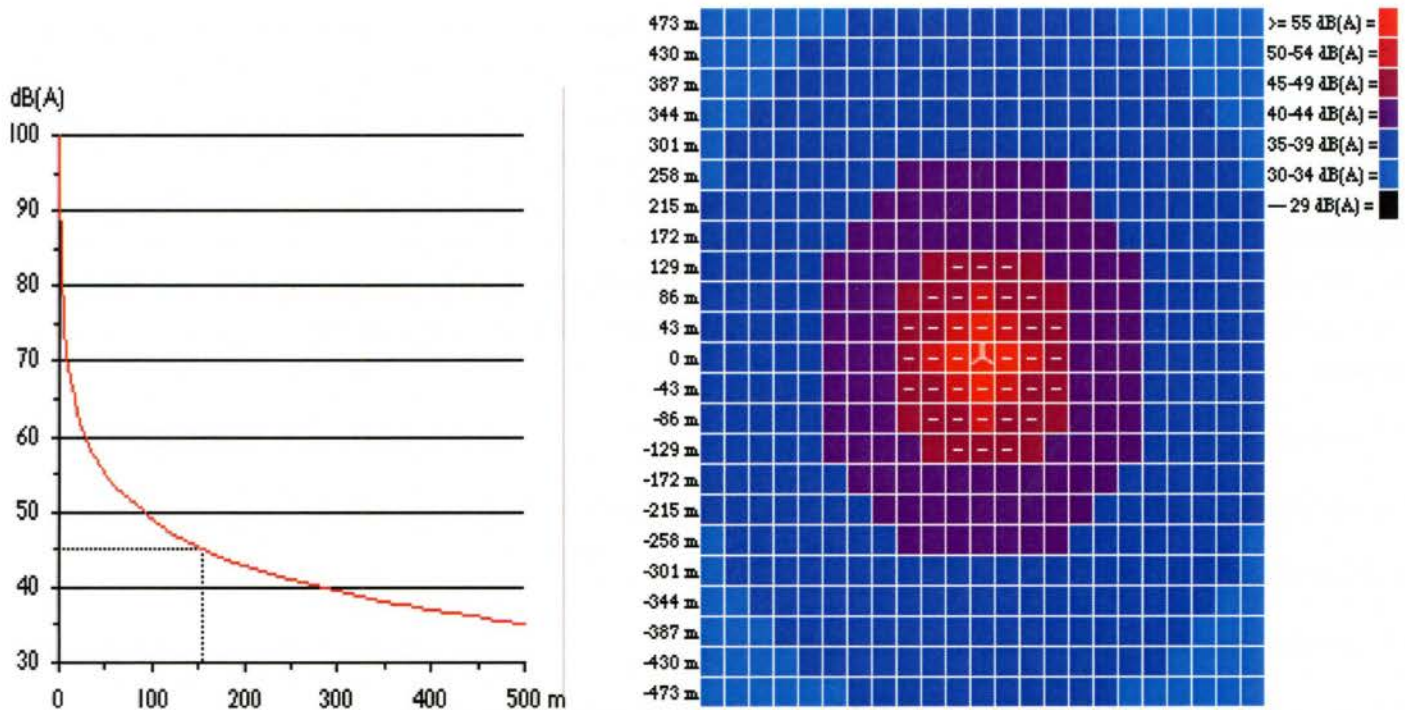
- Η εξαιρετικά μεγάλη έκταση του οικοπέδου που θα εγκατασταθεί το προτεινόμενο αιολικό πάρκο
- Η μεγάλη απόσταση αυτού από κατοικημένες περιοχές
- Η μεγάλη σχετικά απόσταση των ανεμογεννητριών από τα όρια του οικοπέδου
- Η εγκατάσταση ανεμογεννητριών που ενσωματώνουν όλες τις τελευταίες τεχνολογίες μείωσης του μηχανικού και αεροδυναμικού θορύβου, εξασφαλίζουν ότι το προτεινόμενο αιολικό πάρκο δεν θα προκαλέσει:

- αύξηση της υπάρχουσας στάθμης θορύβου εκτός των ορίων του και ακόμη περισσότερο σε κατοικημένες περιοχές
- έκθεση ανθρώπων σε υψηλή στάθμη θορύβου.

Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
α) Αύξηση της υπάρχουσας στάθμης θορύβου			X
β) Έκθεση ανθρώπων σε υψηλή στάθμη θορύβου;			X

Πίνακας 5-15:δημιουργία θορύβου

Διαγράμματα επιπέδων θορύβου σε συνάρτηση της απόστασης από την ανεμογεννήτρια, προερχόμενου από ανεμογεννήτρια με θόρυβο στο ύψος της πλήμνης 100 dB (A).



Σχήμα 43: Διαγράμματα επιπέδων θορύβου σε συνάρτηση της απόστασης από την ανεμογεννήτρια



## Επιπτώσεις στις χρήσεις γης

Οι χρήσεις γης δεν θα επηρεαστούν από το έργο. Η έκταση γης που θα δομηθεί ή ορθότερα που θα χρησιμοποιηθεί από το αιολικό πάρκο (πλατείες ανεμογεννητριών, οικίσκος ελέγχου, βάσεις μετεωρολογικών ιστών, εσωτερική οδοποιία), δεν θα υπερβεί αθροιστικά τα 365 στρέμματα :

Πλατεία ανέγερσης Α/Γ : 2.5 στρέμματα X 6 = 15 στρέμματα

Οδοποιία : 150 στρέμματα,

ως ακολούθως :

Βελτίωση υφιστάμενου οδικού δικτύου (διαπλάτυνση από 4 m σε 6 m) :50 km X 2 m= 100 στρέμματα

Διάνοιξη εσωτερικής οδοποιίας αιολικού πάρκου : 5 km X 6 m = 30 στρέμματα έκταση η οποία είναι πολύ μικρότερη της συνολικής έκτασης του αιολικού πάρκου. Οι σημερινές χρήσεις γης θα παραμείνουν ως έχουν, με αρμονική «συμβίωση», όπως προαναφέρθηκε στο ερώτημα πανίδα, αιγοπροβάτων και αιολικού πάρκου.Επιπρόσθετα, όπως έχει αποδειχθεί στον διεθνή χώρο η διάνοιξη της εσωτερικής οδοποιίας στα αιολικά πάρκα, καθώς και η βελτίωση των οδών προσπέλασης προς αυτό, θεωρείται ως πλεονέκτημα από τους πάσης φύσεως χρήστες του πάρκου και ιδιαίτερα τους γεωργούς και κτηνοτρόφους.

Συνεπώς ανεπιφύλακτα μπορεί να λεχθεί ότι οι παρούσες αλλά και μελλοντικές χρήσεις γής δεν πρόκειται να μεταβληθούν.

7. ΧΡΗΣΗ ΓΗΣ :	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει σημαντική μεταβολή της παρούσας ή της προγραμματισμένης για το μέλλον χρήσης γης			X

Πίνακας 5-16: Επιπτώσεις στις χρήσεις γης

### Επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους

Το προτεινόμενο έργο θα χρησιμοποιήσει σαν πρώτη ύλη μόνο τον αέρα, και συνεπώς καμία αύξηση χρήσης ή εξάντληση οιοιδήποτε φυσικού πόρου μπορεί να προκύψει.

ΦΥΣΙΚΟΙ ΠΟΡΟΙ: Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
α) Αύξηση του ρυθμού χρήσης / αξιοποίησης οιοιδήποτε φυσικού πόρου ;			X
β) Σημαντική εξάντληση οιοιδήποτε μη ανανεώσιμου φυσικού πόρου			X

Πίνακας 5-17: Επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους

### Επιπτώσεις από την δημιουργία συνθηκών έκτακτων καταστάσεων

Το έργο δεν σχετίζεται με τη χρήση χημικών ή άλλων επικίνδυνων ουσιών ή εκρηκτικά ή ακτινοβολίες κλπ. και συνεπώς δεν υπάρχουν κίνδυνοι εκρήξεων, διαφυγών κλπ. Πέραν αυτών η εξαιρετικά μεγάλη έκταση του χώρου του αιολικού πάρκου και η μεγάλη απόσταση από κατοικημένους χώρους, σε συνδυασμό με την προηγμένη τεχνολογία των ανεμογεννητριών, παρέχουν ακόμη μεγαλύτερη ασφάλεια από κινδύνους οποιασδήποτε μορφής.

ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΑΝΩΜΑΛΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ:	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
<p>Το προτεινόμενο έργο ενέχει :</p> <p>Κίνδυνο έκρηξης ή διαφυγή επικίνδυνων ουσιών (περιλαμβανομένων, εκτός των άλλων και πετρελαίου, εντομοκτόνων, χημ. Ουσιών ή ακτινοβολίας) σε περίπτωση ατυχήματος ή ανώμαλων συνθηκών;</p>			X

Πίνακας 5-18: Επιπτώσεις από την δημιουργία συνθηκών έκτακτων καταστάσεων

Επιπτώσεις στον πληθυσμό της περιοχής

Το έργο δεν θα έχει καμία αρνητική επίπτωση στη σύνθεση και εγκατάσταση του πληθυσμού της περιοχής.

Αντίθετα δίνονται στον πληθυσμό των πέριξ ορεινών οικισμών σημαντική εποχιακή εργασία κατά τη φάση κατασκευής και έστω περιορισμένη μόνιμη κατά τη φάση λειτουργίας, και συνεπώς θα έχει ευνοϊκή επίδραση στην ανακούφιση της ανεργίας και τη συγκράτηση του πληθυσμού.

ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ : Το προτεινόμενο έργο :	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
<p>Θα αλλάξει την εγκατάσταση, διασπορά, πυκνότητα ή ρυθμό</p> <p>αύξησης του ανθρώπινου πληθυσμού της περιοχής ίδρυσης του</p> <p>έργου</p>			X

Πίνακας 5-19: Επιπτώσεις στον πληθυσμό της περιοχής

### Επιπτώσεις στις κατοικίες της περιοχής

Σ'όλο το χώρο του αιολικού πάρκου δεν υπάρχουν κατοικίες και δεν δημιουργείται η ανάγκη κατοικιών. Το μόνιμο προσωπικό θα είναι ντόπιοι και δε θα διαμένουν (κατοικούν) στο χώρο του αιολικού πάρκου.

ΚΑΤΟΙΚΙΑ : Το προτεινόμενο έργο :	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
Θα επηρεάσει την υπάρχουσα κατοικία ή θα δημιουργήσει ανάγκη για πρόσθετη κατοικία στην περιοχή ίδρυσης του έργου ;			X

Πίνακας 5-20: Επιπτώσεις στις κατοικίες της περιοχής

### Επιπτώσεις στην κυκλοφορία

Το προτεινόμενο έργο δεν θα προκαλέσει μεταβολές στις μεταφορές και την κυκλοφορία της περιοχής. Θα βελτιώσει όμως τη βατότητα των υπαρχόντων αγροτικών δρόμων προσπέλασης προς, από και εντός του πάρκου και συνεπώς θα επιφέρει όφελος στην κυκλοφορία της περιοχής του.

ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ / ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ: Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει :	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
α) Δημιουργία σημαντικής επιπρόσθετης κίνησης τροχοφόρων			X
β) Επιπτώσεις στις υπάρχουσες θέσεις στάθμευσης ή στην ανάγκη για νέες θέσεις στάθμευσης;			X
γ) Σημαντική επίδραση στα υπάρχοντα συστήματα συγκοινωνίας			X
δ) Μεταβολές στους σημερινούς τρόπους κυκλοφορίας ή κίνησης ανθρώπων και / ή αγαθών;			X
ε) Μεταβολές στη θαλάσσια, σιδηροδρομική ή αέρια			X

κυκλοφοριακή κίνηση			
<b>στ) Αύξηση των κυκλοφοριακών κινδύνων</b>			X

Πίνακας 5-21: Επιπτώσεις στην κυκλοφορία

#### Επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους

Τα αιολικά πάρκα δεν καταναλώνουν ενέργεια, ώστε να προκληθεί αύξηση της ζήτησης των συμβατικών πηγών ενέργειας. Αντίθετα το προτεινόμενο έργο με τη χρήση ενός φυσικού ανανεώσιμου πόρου, παράγει ενέργεια 294,377 MWh ετησίως και συντελεί στην οικονομία κατά 65,000 ΤΠΠ. (τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου) και παράλληλα αυξάνει τη διαθέσιμη “καθαρή” ηλεκτρική ενέργεια στην περιοχή.

ΕΝΕΡΓΕΙΑ :Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει:	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
α) Χρήση σημαντικών ποσοτήτων καυσίμου ή ενέργειας;			X
β) Σημαντική αύξηση της ζήτησης των υπαρχουσών πηγών ενέργειας ή απαίτηση για δημιουργία νέων πηγών ενέργειας			X

Πίνακας 5-22: Επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους

### Επιπτώσεις στους τομείς κοινής ωφελείας

Το προτεινόμενο έργο δεν απαιτεί αλλαγές στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας της περιοχής. Ο μόνος τομέας με τον οποίο σχετίζεται είναι ο ηλεκτρισμός, στον οποίο και θα συνεισφέρει θετικά

ΚΟΙΝΗ ΩΦΕΛΕΙΑ : Το προτεινόμενο έργο θα συντελέσει στην ανάγκη για σημαντικές αλλαγές στους εξής τομείς κοινής ωφέλειας :	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
α) Ηλεκτρισμό			X
β) Συστήματα επικοινωνιών			X
γ) Ύδρευση ;			X
δ) Υπόνομους ή σηπτικούς βόθρους			X
ε) Αποχέτευση νερού βρόχινου			X
ζ) Στερεά απόβλητα και διάθεση αυτών ;			X

Πίνακας 5-23: Επιπτώσεις στους τομείς κοινής ωφελείας

### Επιπτώσεις στην δημόσια υγεία

Η ανθρώπινη υγεία δεν θα επηρεαστεί από το έργο και ομοίως δεν εκτίθενται οι κάτοικοι της περιοχής σε κίνδυνους βλάβης της υγείας τους. Τα παραπάνω εξασφαλίζονται με την εγκατάστασή του σε ορεινή και ιδιαίτερα απομακρυσμένη περιοχή, από την οποία ο πλησιέστερος οικισμός ευρίσκεται σε απόσταση 2,000 μέτρων από την πλησιέστερη ανεμογεννήτρια.

ΑΝΘΡΩΠΙΝΗ ΥΓΕΙΑ : Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
α) Δημιουργία οποιουδήποτε κινδύνου ή πιθανότητας κινδύνου για βλάβη της ανθρώπινης υγείας (μη συμπεριλαμβανομένης της ψυχικής υγείας)			X
β) Έκθεση ανθρώπων σε πιθανούς κινδύνους βλάβης της υγείας τους;			X

Πίνακας 5-24: Επιπτώσεις στην δημόσια υγεία

## Επιπτώσεις στην αισθητική

Στην περιοχή εγκατάστασης του αιολικού πάρκου δεν υπάρχουν αξιοθέατα ώστε να προκύπτει θέμα παρεμπόδισης της θέας. Αντίθετα οι ανεμογεννήτριες του πάρκου με το σχήμα τους, την τοπογραφική τους στοίχιση στον χώρο, την περιστροφή τους κτλ. Θα αποτελέσουν αξιοθέατο για την περιοχή και δεν θα δημιουργήσουν καμία οπτική όχληση. Άλλωστε σε πολλές ανάλογης τοπογραφίας περιοχές της Ελλάδας είναι εγκαταστημένες, πολλά χρόνια τώρα αρκετές ανεμογεννήτριες της ΔΕΗ και καμία διαμαρτυρία μέχρι σήμερα δεν έχει προκληθεί για οπτική και αισθητική όχληση.

ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ : Το προτεινόμενο έργο θα προκαλέσει	ΝΑΙ	ΙΣΩΣ	ΟΧΙ
Παρεμπόδιση οποιασδήποτε θέας του ορίζοντα ή οποιασδήποτε κοινής θέας ή θα καταλήξει στη δημιουργία ενός μη αποδεκτού αισθητικά τοπίου, προσιτού στην κοινή θέα;			X

Πίνακας 5-25: Επιπτώσεις στην αισθητική

## 5.9 Ηλεκτρομαγνητική επίδραση

Τα προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών που προκαλούνται από τις ανεμογεννήτριες υπάγονται σε δύο κατηγορίες:

1. Λόγω της θέσης τους σε σχέση με ήδη υπάρχοντες σταθμούς τηλεόρασης ή ραδιοφώνου ενδέχεται να προκαλέσουν παρεμβολές.
2. Υπάρχουν ενδείξεις για πιθανές ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές που παράγονται από τις ίδιες.

Τα βασικότερα σήματα που μπορεί να επηρεασθούν από τις ανεμογεννήτριες είναι:

1. Τηλεοπτικές μεταδόσεις,
2. Συνδέσεις μικροκυμάτων που χρησιμοποιούνται από μεγάλους οργανισμούς για επικοινωνίες
3. VHF Omni - directional Ranging(VOR) που χρησιμοποιείται στην αεροπλοΐα,
4. Συστήματα προσγείωσης με όργανα (ILS) που χρησιμοποιούνται από αεροσκάφη κατά την προσέγγιση για προσγείωση.

Το κυριότερο πρόβλημα των ανεμογεννητριών 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. Όσον αφορά τις εκπεμπόμενες ακτινοβολίες, όπως φαίνεται και από την περιγραφή των τμημάτων της ανεμογεννήτριας, τα μόνα υποσυστήματα που θα μπορούσαν να 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 κέλυφός της που είναι τοποθετημένο τουλάχιστον 40-50 μέτρα πάνω από το έδαφος. Ο μετασχηματιστής, πάλι, περιβάλλεται πάντα από περίφραξη ασφαλείας ή είναι κλεισμένος σε μεταλλικό υπόστεγο. Η Ελληνική νομοθεσία προβλέπει την προώθηση αδειοδότησης ενός αιολικού πάρκου μόνον εφόσον τηρούνται κάποιες ελάχιστες αποστάσεις από τηλεπικοινωνιακούς ή ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς. Ένα από τα θέματα που εξετάζονται στην διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης, είναι η διερεύνηση του εάν και πόσο επηρεάζονται οι ραδιοτηλεπικοινωνιακές ή στρατιωτικές/αεροπορικές εγκαταστάσεις.

Οποιαδήποτε πιθανά προβλήματα παρεμβολών υπάρξουν, μπορούν να προληφθούν με σωστό σχεδιασμό και χωροθέτηση ή να διορθωθούν με σχετικά μικρό 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, αναφέρεται 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.



## 5.10 Επιπτώσεις λειτουργίας Α/Π στην ατμόσφαιρα και στο περιβάλλον

Η αιολική ενέργεια αποτελεί μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι δεν εξαντλείται, σε αντίθεση με το σύνολο των συμβατικών καυσίμων, των οποίων τα βεβαιωμένα αποθέματα του πλανήτη μας αναμένεται να εξαντληθούν σε σύντομο χρονικό διάστημα. Επίσης, η αιολική ενέργεια αποτελεί μία καθαρή μορφή ενέργειας, ήπια προς το περιβάλλον. Η χρήση της δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης και παράλληλα αντικαθιστά ιδιαίτερα ρυπογόνες πηγές ενέργειας, όπως το κάρβουνο, το πετρέλαιο και την πυρηνική ενέργεια. Τα σημαντικά περιβαλλοντικά προβλήματα των περισσότερων ανεπτυγμένων χωρών καθώς και της χώρας μας καθιστούν την αιολική ενέργεια ιδιαίτερα ελκυστική σε σχέση με την προστασία του περιβάλλοντος.

Τα αιολικά πάρκα συντελούν στην προστασία του περιβάλλοντος αφού περιορίζουν σημαντικά τις εκπομπές επιβλαβών για την υγεία ρυπαντικών ουσιών, που προκαλούνται από την καύση ορυκτών καυσίμων. Τα αιολικά πάρκα δεν εκπέμπουν καμίας μορφής ρύπου στην ατμόσφαιρα. Αντιθέτως και όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι αποτρέπουν την παραγωγή αέριων ρύπων κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως συμβαίνει στους συμβατικούς σταθμούς. Συγκεκριμένα αν υποθέσουμε ότι 1GW ισχύος παράγεται από αιολικό πάρκο αντί για κάποιο συμβατικό σταθμό αποτρέπεται μ' αυτόν τον τρόπο η εκπομπή μεγάλου όγκου αερίων του θερμοκηπίου. Στο σημείο αυτό κρίνεται απαραίτητος ο υπολογισμός της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας. Έτσι θα έχω:

$$E \text{ ετήσια} = P_{\text{mean}} * 8760$$

όπου  $P_{\text{mean}}$  μπορεί να θεωρηθεί η μέση ωριαία αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας.

Αυτή θα βρεθεί ως εξής:  $P_{\text{mean}} = P_{\text{installed}} * CF$  όπου

$P_{\text{installed}}$  η συνολική εγκατεστημένη ισχύς του αιολικού πάρκου.

$CF$  ο συντελεστής χρησιμοποίησης του αιολικού πάρκου.

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης ή αλλιώς συντελεστής εκμετάλλευσης του Α/Π, όπως φαίνεται και από τους παραπάνω τύπους ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας που παράγεται προς αυτή που θα μπορούσε να παράγει το πάρκο αν λειτουργούσε συνεχώς υπό ονομαστική ισχύ. Δηλαδή,  $CF = E_{\text{ετήσια}} / 8760 P_{\text{installed}}$

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

Αρκετές φορές βέβαια έχουν εκδηλωθεί φόβοι ότι οι Α/Γ παρουσιάζουν αρνητική επιρροή στο κλίμα καθώς επιβραδύνουν την ταχύτητα του ανέμου. Η ελάχιστη μείωση που επέρχεται στην ταχύτητα του ανέμου από μία Α/Γ είναι 33,3% σε σχέση με τη βέλτιστη κατάσταση. Εντούτοις, λόγω του συντελεστή ισχύος και της διαδικασίας ελέγχου, αυτή η μείωση ταχύτητας ανέμου δεν εφαρμόζεται στην

πλήρη έκτασή της στην πράξη. Για παράδειγμα, σε ένα συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας μίας μεγάλης Α/Γ, η ταχύτητα του ανέμου ελαττώνεται κατά περίπου 25%.

Σε όλο το εύρος ταχυτήτων της, όμως, από 5.4 έως 24 m/s, η ταχύτητα ανέμου καθυστερεί κατά μέσο όρο μόνο 18%. Έτσι συμπεραίνουμε ότι μία Α/Γ από μόνη της δεν είναι δυνατόν να προκαλέσει αλλαγή του κλίματος, αλλά ακόμα κι όταν έχουμε να κάνουμε με ένα μεγάλο αιολικό πάρκο, όπως στην περίπτωση μας, ο σωστός σχεδιασμός και η κατάλληλα χωροθέτηση των ανεμογεννητριών είναι δυνατόν να αποτρέψουν τέτοιου είδους προβλήματα.

Γι' αυτό και συνίσταται η ύπαρξη αρκετά μεγάλης απόστασης μεταξύ τους και η μη τοποθέτηση τους σε κάθετες γραμμές αλλά σε διαγώνιες ώστε να μην είναι η μία ακριβώς πίσω από την άλλη και εμποδίζουν τη ροή του ανέμου. Περισσότερα γι' αυτό αναφέρονται στο κεφάλαιο περί υπολογισμού της έκτασης του αιολικού πάρκου. Επίσης, το πρόβλημα της μείωσης της ταχύτητας του ανέμου είναι σχεδόν ανύπαρκτο στις χαμηλές ταχύτητες, μικρότερες δηλαδή από 4m/s, παρουσιάζεται πιο έντονο όμως στις μεγάλες ταχύτητες. Σε πολλές περιοχές σήμερα, η αυξανόμενη ξηρότητα του εδάφους οδηγεί στην ανεπιθύμητη εδαφολογική διάβρωση λόγω των ισχυρών ταχυτήτων του αέρα.

## 5.11 Διάρκεια ζωής αιολικού πάρκου

Ο κύκλος ζωής των ανεμογεννητριών περιλαμβάνει τα εξής στάδια :

- ✓ Κατασκευή
- ✓ Μεταφορά
- ✓ Λειτουργία
- ✓ Απόσυρση

Η διάρκεια κατασκευής και μεταφοράς του πάρκου κυμαίνεται σε 3-4 χρόνια όπως έχουμε αναλύσει και παραπάνω.

Το στάδιο λειτουργίας είναι το βασικό στάδιο κατά τη διάρκεια του κύκλου ζωής των αιολικών συστημάτων. Το στάδιο αυτό διαρκεί περίπου 25 χρόνια με ενδιάμεση συντήρηση κάθε 6 μήνες.

Από τις μετρήσεις του αιολικού δυναμικού της περιοχής έχουμε καταγεγραμμένες τις τιμές των ταχυτήτων του ανέμου. Με τον στατιστικό νόμο των ακραίων τιμών εκτιμάται η μέγιστη ταχύτητα που αναμένεται να ξεπεραστεί κατά μέσο όρο μια φορά τουλάχιστον σ' ένα αριθμό ετών. Ο αριθμός των ετών καθορίζει και τον χρόνο ζωής της αιολικής μηχανής κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Η συντήρηση των ΑΓ γίνεται με φορητό σύστημα διαγνωστικού -προληπτικού ελέγχου με ανίχνευση της μηχανικής φθοράς στις κρίσιμες συνιστώσες ανεμογεννητριών. Ειδικό φορητό σύστημα μετρά, αποθηκεύει και αναλύει τη στάθμη κραδασμών και δονήσεων σε επιλεγμένα κρίσιμα σημεία ως δείκτη "υγιούς λειτουργικής κατάστασης". Με ειδικό λογισμικό συγκρίνεται η τρέχουσα κατάσταση με τις προηγούμενες αποτυπώσεις και γίνεται προληπτική διάγνωση και εντοπισμός εξαρτημάτων που έχουν αρχίσει να φθείρονται και απαιτείται η αντικατάστασή τους ή η αποσύνδεσή τους.

Η φθορά συσχετίζεται με τις επιταχύνσεις και ταλαντώσεις στο κιβώτιο της ανεμογεννήτριας, στην ηλεκτρογεννήτρια και το έδρανο του κύριου άξονα.

Η λειτουργία του αιολικού πάρκου μπορεί να σταματήσει απότομα και από ακραίες καιρικές συνθήκες (πτώση κεραυνού, ανεμοθύελλα) και σεισμούς.

Παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν αρνητικά την λειτουργία επομένως και την διάρκεια ζωής είναι :

- ✓ Η θερμοκρασία. Οι έλεγχοι της δύναμης και αντοχής πρέπει να καλύπτουν ένα διάστημα θερμοκρασιών -20 έως 50 βαθμών Κελσίου.
- ✓ Η πυκνότητα αέρα. Ο υπολογισμός των αεροδυναμικών φορτίων βασίζεται στην υπόθεση ότι η πυκνότητα του αέρα σε κανονικές συνθήκες στην στάθμη της θάλασσας είναι  $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$
- ✓ Η ηλιακή ακτινοβολία. Η ηλιακή ακτινοβολία υπολογίζεται ότι θα είναι  $1000 \text{ W/m}^2$



Σχήμα 44: Πυρκαγιά σε Α/Γ

- ✓ Η επικάθιση πάγου. Ένας από τους περιβαλλοντικούς παράγοντες που μπορούν να συμβάλουν σε πρόσθετα φορτία είναι η συσσώρευση του πάγου στις λεπίδες του στροφείου. Κατά κανόνα, μπορεί να υποτεθεί ότι σε λεπτούς σχηματισμούς πάγου δε δημιουργούνται επιπρόσθετα φορτία.
- ✓ Προσκρούσεις πουλιών. Είναι ένα φορτίο το οποίο δημιουργείται πολύ σπάνια από κάποιο μεγάλο πουλί.
- ✓ Ο κεραυνός. Οι επιπτώσεις ενός κεραυνού πρέπει να ελαχιστοποιούνται από το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Αυτό καθορίζεται από τα εθνικά πρότυπα και τις απαιτήσεις.



Σχήμα 45: Πτώση κεραυνού σε Α/Γ

- ✓ Ο σεισμός. Για τις εγκαταστάσεις σε επικίνδυνες περιοχές με κίνδυνο σεισμών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι τοπικοί οικοδομικοί κανονισμοί σχετικά με την προστασία του σεισμού.

Στο τελευταίο στάδιο του κύκλου ζωής των αιολικών συστημάτων, οι Α/Γ του αιολικού πάρκου πρέπει να αποσυρθούν και να αντικατασταθούν με νέες. Δεν υπάρχει νομοθετικό πλαίσιο το οποίο να καλύπτει το κενό του νόμου για το στάδιο της απόσυρσης των Α/Γ, όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος από τα επικίνδυνα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται οι Α/Γ. Μπορεί να επηρεαστεί και το αισθητικό κριτήριο με τη δημιουργία “νεκροταφείων” από παλαιές ανεμογεννήτριες.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι το στάδιο αυτό μπορεί να γίνει αρκετά επικίνδυνο για το περιβάλλον σε περίπτωση κακής διαχείρισης των Α/Γ μετά την απόσυρσή τους. Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, οι τρόποι αντιμετώπισης του σταδίου απόσυρσης των Α/Γ είναι:

- ✓ Η ανακύκλωση ορισμένων από τα υλικά κατασκευής τους,
- ✓ Η επισκευή, αναβάθμιση και επαναχρησιμοποίηση τους,
- ✓ Η ταφή τους σε συγκεκριμένες, σύμφωνα με το νόμο, κατάλληλες περιοχές.

## 5.12. Ποιότητα ισχύος

### Γενικά

Η τοποθέτηση ανεμογεννητριών επηρεάζει την ποιότητα ισχύος στο συνδεδεμένο δίκτυο. Ανάλογα με τη διαμόρφωση του δικτύου και τον τύπο των Α\Γ που χρησιμοποιούνται παρουσιάζονται διαφορετικά προβλήματα ποιότητας ισχύος. Όλες οι Α\Γ ακολουθώντας τις φυσικές μεταβολές του ανέμου έχουν ανομοιογενή παραγωγή ενέργειας.

Οι μονάδες αιολικής ενέργειας πρέπει να είναι εξοπλισμένες με νέες τεχνολογίες οι οποίες τους δίνουν τη δυνατότητα να παρέχουν καλές υπηρεσίες και να παράγουν όσο το δυνατόν πιο καθαρή ενέργεια για το δίκτυο. Η πρόοδος στα ηλεκτρονικά ισχύος έχει επιτρέψει να ολοκληρωθεί μια ομαλότερη ρύθμιση.

Εφαρμογές όπως η αντιστάθμιση άεργης ισχύος, η αποθήκευση ενέργειας και οι Α\Γ μεταβλητής ταχύτητας είναι σύνηθες να υπάρχουν σε αιολικούς σταθμούς.

Επειδή το αιολικό πάρκο είναι συνδεδεμένο στο δίκτυο είναι σημαντικό να εντοπιστούν και να κατανοηθούν οι πηγές διαταραχών που επηρεάζουν την ποιότητα ισχύος. Η τάση και η συχνότητα πρέπει να διαφυλάσσονται όσο το δυνατόν σταθερές. Οι διαταραχές στην τάση και το ρεύμα λόγω των αρμονικών εξαιτίας της αντίδρασης της γραμμής πρέπει να παρακολουθούνται.

### 5.13 Αξιοπιστία αιολικής ενέργειας

Ο όρος αξιοπιστία έχει μία ευρεία έννοια, όπως φαίνεται και από τον πλέον διαδεδομένο και κοινά αποδεκτό ορισμό του: “Αξιοπιστία είναι η πιθανότητα του συστήματος να εκτελεί την αποστολή του επαρκώς για τη σχεδιαζόμενη χρονική περίοδο και τις επικρατούσες λειτουργικές συνθήκες”. Χρειάζεται να αναγνωρισθεί η γενικότητά του όρου και να χρησιμοποιηθεί προκειμένου να εξετασθεί η συνολική ικανότητα του συστήματος να πραγματοποιεί το στόχο του.

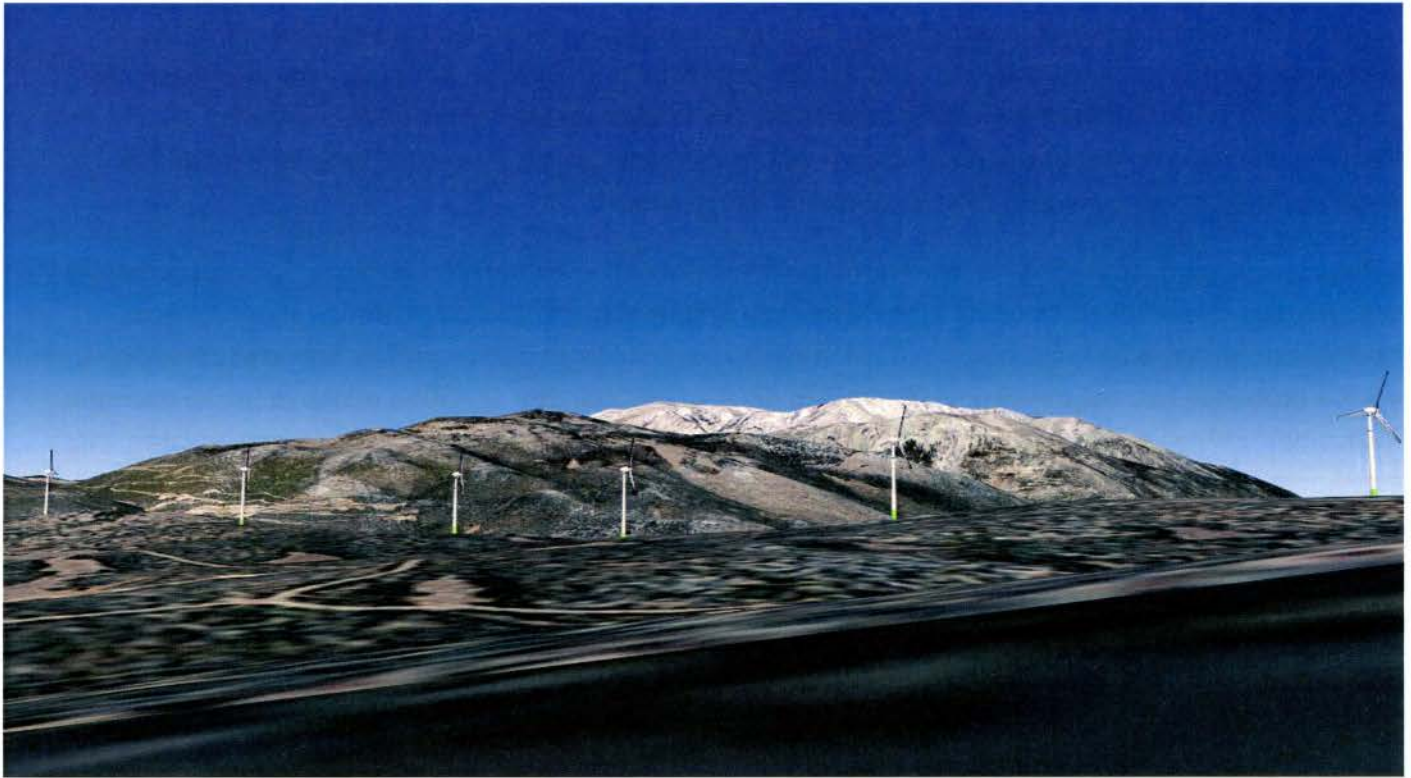
Η αιολική ενέργεια όπως και οι περισσότερες πηγές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας συνοδεύεται από τεχνολογικά προβλήματα τα οποία εμποδίζουν την πλήρη και χωρίς περιορισμούς χρήση της στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Γι’ αυτό συνήθως αναφέρονται συγκεκριμένα ποσοστά εισχώρησης στο δίκτυο (ποσοστό επί της συνολικής ζήτησης ισχύος) της τάξεως του 20-30%, ανάλογα με το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας της κάθε περιοχής. Ο κύριος λόγος της επιφυλακτικότητας για την αύξηση της εισχώρησης της αιολικής ενέργειας είναι η μεταβλητότητα του ανέμου. \

Αν για παράδειγμα μειωθεί αισθητά ο άνεμος στην περιοχή του αιολικού πάρκου, αναπόφευκτα θα μειωθεί και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Επομένως, η μείωση στην παραγωγή θα πρέπει να καλυφθεί από άλλες (συμβατικές) μονάδες παραγωγής σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα. Όμως ο χρόνος απόκρισης των συμβατικών μονάδων παραγωγής είναι σχετικά μεγάλος και αν δεν υπάρχει ήδη διαθέσιμη εφεδρεία στο σύστημα δε θα λειτουργεί σύμφωνα με τις απαιτούμενες προδιαγραφές.

Βέβαια, η συνήθης πρακτική στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας που υποστηρίζουν μεγάλες γεωγραφικά περιοχές, είναι να υπάρχουν αιολικά πάρκα εγκατεστημένα σε διάφορα σημεία. Είναι πιθανόν, αν η ροή ανέμου μειωθεί σε κάποια περιοχή, να αυξηθεί σε μία άλλη και επομένως το σύστημα δε θα ταλαιπωρηθεί ιδιαίτερα, αφού η συνολική παραγωγή ισχύος θα διατηρηθεί στα ίδια επίπεδα.



Σχήμα 46: αιολικό παρκό



Σχήμα 47: αιολικό πάρκο



Σχήμα 48: αιολικό πάρκο



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### Οικονομική αξιολόγηση αιολικού πάρκου

#### 6.1 Εισαγωγή

##### Επενδύσεις σε αιολικά συστήματα

Σύμφωνα με την υπάρχουσα νομοθεσία στην Ελλάδα μπορούν να πραγματοποιηθούν δύο ειδών επενδύσεις σε αιολικά συστήματα:

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

##### Αξιολόγηση Επενδύσεων

Είναι η μέθοδος, που θα μας επιτρέψει να αντισταθμίσουμε τα τεχνικά στοιχεία (ανεμολογικά, καμπύλες ισχύος κ.τ.λ.) με τα οικονομικά (κόστος επένδυσης, χρηματοδοτήσεις αποσβέσεις κ.τ.λ.) ώστε να γίνει η καλύτερη δυνατή επιλογή.

Χρησιμοποιούνται τέσσερις οικονομικοί δείκτες για την επιλογή:

1. Ο Χρόνος Αποπληρωμής είναι ο χρόνος που απαιτείται για να συγκεντρωθούν από τα έσοδα του συστήματος τα κεφάλαια που επενδύθηκαν.
2. Η Καθαρή Παρούσα αξία είναι το σύνολο των εσόδων της επένδυσης ανηγμένο στην παρούσα χρονική στιγμή.
3. Ο Εσωτερικός Βαθμός Απόδοσης εκφράζει σε επιτόκιο την ετήσια απόδοση του κεφαλαίου που επενδύθηκε.
4. Το Κόστος Παραγωγής εκφράζει την έννοια του νεκρού σημείου, δηλαδή το ελάχιστο τίμημα της ενέργειας ώστε η επένδυση να είναι οικονομικά βιώσιμη.

## 6.2. Κόστος αιολικού πάρκου

Η διαχρονική αξία του κόστους μιας ενεργειακής εγκατάστασης είναι ένας συνδυασμός του αρχικού κόστους επένδυσης και του αντίστοιχου 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 απαραίτητων αδειών και εγκρίσεων, τα πιθανά χρηματοοικονομικά έξοδα, καθώς και το κόστος αγοράς ή ενοικίασης του οικοπέδου τού υπό ίδρυση 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.

Στον παρακάτω πίνακα αναλύονται όλα τα έξοδα που περιλαμβάνονται στο αρχικό κόστος επένδυσης του αιολικού πάρκου και αφορούν την κατασκευή και την εγκατάστασή του.

1	Μετεωρολογικός Ιστός	Περιλαμβάνει το κόστος αγοράς και εγκατάστασης του Ιστού στην θέση του Πάρκου
2	Αγορά Α/Π	Το κόστος αγοράς των μηχανών, συμπεριλαμβανομένου και του κόστους των πύργων ή του κόστους κατασκευής τους εφόσον δεν αγοραστούν από την εταιρεία παραγωγής των Α/Γ
3	Μεταφορά και Ασφάλιστρα	Μεταφορά των Α/Γ από την εταιρεία παραγωγής στην θέση εγκατάστασης του Αιολικού Πάρκου
4	Συναρμολόγηση και Εγκατάσταση	Όλα τα έξοδα (γερανοί, εργατικά μεταφορικά γερανών) 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 cosφ κτλ.
7	Έργα Πολιτικού Μηχανικού	Εκσκαφές, επιχώσεις, διαμόρφωση πλατειών για την εγκατάσταση των Α/Γ, διάνοιξη δρόμων, κτίριο ελέγχου, έπιπλα - γραφεία κ.τ.λ.
8	Γενικός Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός	Ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός που απαιτείται για όλο το Πάρκο
9	Σύνδεση με το Δίκτυο	Γραμμή μεταφοράς ενέργειας και κόστος υποσταθμού
10	Μελέτες & 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 την συντήρηση και την επίβλεψη του Αιολικού πάρκου
12	Απρόβλεπτα	Υπολογίζονται σε 5% όλων των παραπάνω για τυχόν δαπάνες που θα προκύψουν στην πορεία εκτέλεσης του έργου

Πίνακας 6.1:έξοδα Α/Π

### **Κόστος αγοράς Α/Γ**

Μία εκτίμηση του κόστους των Α/Γ παρέχει την ανηγμένη τιμή των 1000€/kW και επομένως το συνολικό κόστος των 6 Α/Γ ανέρχεται σε  $6 \cdot 2200 \text{ kW} \cdot 1000 \text{ €/kW} = 13.200.000 \text{ €}$ . Στο κόστος αυτό εμπεριέχονται όλα τα εξαρτήματα από τα οποία απαρτίζεται μία Α/Γ:

- Ο σωληνοειδής πύργος ύψους 30 m
- Τα πτερύγια που αντιστοιχούν 3 σε κάθε Α/Γ
- Το κιβώτιο ταχυτήτων και το σύστημα μετάδοσης ισχύος στη φυγοκεντρική αντλία
- Τα μηχανικά συστήματα πέδησης
- Το σύστημα ελέγχου της Α/Γ
- ■ Ο κύριος άξονας και τα συστήματα κίνησης
- Το κάλυμμα

Τα ανταλλακτικά συνήθως συνοδεύουν τις Α/Γ και εμπεριέχονται στο αρχικό κόστος αγοράς. Η αγορά των ανταλλακτικών συγχρόνως με την αγορά των Α/Γ προτιμάται λόγω της ακριβότερης διάθεσης των πρώτων σε κάποια μεταγενέστερη χρονική περίοδο. Η έκταση του καταλόγου των ανταλλακτικών εξαρτάται κυρίως από την αξιοπιστία των Α/Γ, την εγγύηση που τις συνοδεύει, τη δυσκολία μεταφοράς στον τόπο εγκατάστασης καθώς και τη διαθεσιμότητα ορισμένων ανταλλακτικών. Το κόστος των ανταλλακτικών καταλαμβάνει το 3% της αξίας των 6 Α/Γ δηλαδή  $3\% \cdot 13.200.000 \text{ €} = 396.000 \text{ €}$ .

### **Κόστος εκμίσθωσης οικοπέδου**

Η έκταση που υπολογίστηκε παραπάνω είναι 363,10 στρέμματα. Θα θεωρήσουμε ότι κάνουμε εκμίσθωση του οικοπέδου με κόστος 25.000€ ετησίως, δηλαδή συνολικά για τα 20 χρόνια ζωής του αιολικού πάρκου θα μας κοστίσει 500.000 €.

### **Κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης Α/Γ**

Οι δαπάνες μεταφοράς και εγκατάστασης εξαρτώνται από τον αριθμό των ανεμογεννητριών που μεταφέρονται, τη διαδρομή που ακολουθείται και από τη δυσκολία εγκατάστασης. Οι κυριότερες εργασίες προετοιμασίας και εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας είναι οι εξής:

- ✓ Προετοιμασία της πλήμνης
- ✓ Τοποθέτηση του κώνου της πλήμνης
- ✓ Κλείδωμα του ρότορα
- ✓ Τοποθέτηση ανενομέτρων και ανεμοδεικτών

- ✓ Προετοιμασία της ατράκτου
- ✓ Προετοιμασία και συναρμολόγηση πύργων
- ✓ Εγκατάσταση ατράκτου στους πύργους
- ✓ Τοποθέτηση και σύνδεση καλωδίων στους πύργους και εγκατάσταση του ελεγκτή
- ✓ Τοποθέτηση του κάθε πτερυγίου ξεχωριστά σε οριζόντια θέση
- ✓ Εγκατάσταση Μ/Σ

Το συνολικό κόστος για αιολικά πάρκα με 6-10 ανεμογεννήτριες, κυμαίνεται μεταξύ 700.000 έως 3.000.000 ευρώ. Για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε η τιμή των 900.000 ευρώ.

#### Δαπάνες έργων πολιτικού μηχανικού

Τα δομικά έργα πολιτικού μηχανικού ενός αιολικού πάρκου είναι τα εξής:

- ✓ Πλατείες ανέγερσης των ανεμογεννητριών (Α/Γ)
- ✓ Θεμελιώσεις βάσεων των Α/Γ
- ✓ Τάφροι όδευσης καλωδίων κατά μήκος του Αιολικού Πάρκου και για την σύνδεση με τον Υ/Σ
- ✓ Δωμάτιο Ελέγχου Αιολικού Πάρκου

Η θεμελίωση κάθε Α/Γ αποτελεί βασικό στοιχείο για την επίτευξη επαρκούς στατικότητας αυτής. Το κόστος της περιλαμβάνει το κόστος διεκπεραίωσης από το εργατικό δυναμικό και το κόστος των χρησιμοποιούμενων υλικών όπως το σκυρόδεμα και τα μεταλλικά πλέγματα. Εκτιμάται ότι το κόστος θεμελίωσης για κάθε Α/Γ ανέρχεται σε 26.000€ (26.000€\*6 Α/Γ=156.000€)

Το κόστος ανέγερσης κάθε Α/Γ που ακολουθεί της θεμελίωσης περιλαμβάνει το κόστος διεκπεραίωσης από το εργατικό δυναμικό καθώς και την εκμίσθωση του απαραίτητου εξοπλισμού. Στον ειδικό εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί εμπεριέχονται γερανοφόρο οχήμα και βαρούλκα. Το κόστος της εκμίσθωσης του εξοπλισμού δύναται να επιβαρυνθεί σημαντικά σε περίπτωση μη διαθεσιμότητας του απαραίτητου εξοπλισμού στην τοποθεσία εγκατάστασης. Στην περίπτωση αυτή ο ειδικός εξοπλισμός θα πρέπει να μεταφερθεί στην εν λόγω περιοχή και αυτό συνεπάγεται επιπρόσθετο κόστος μεταφοράς και μεγαλύτερη

χρονική διάρκεια εκμίσθωσης αυτού. Για την περίπτωση της Καρύστου το κόστος αυτό ανέρχεται σε 15.000€ για κάθε Α/Γ.(6 Α/Γ\* 15.000€=90000 €)

Δαπάνες ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού αιολικού πάρκου (προμήθεια-μεταφορά εγκατάσταση)

Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός ενός αιολικού πάρκου αποτελείται από τα εξής:

- ✓ Καλώδια οπτικών ινών
- ✓ Γειώσεις
- ✓ Αγωγοί, σωλήνες
- ✓ Μικροί υποσταθμοί ζεύξης κλάδων κ.τ.λ.

Το κόστος για τον εξοπλισμό αυτόν σε ένα αιολικό πάρκο 10-30 MW κυμαίνεται από 800.000-1.500.000 ευρώ. Για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε η τιμή των 950.000 ευρώ.

### **Οδοποιία πρόσβασης και εσωτερική οδοποιία**

Η πρόσβαση σε κάθε μία Α/Γ βρίσκεται σε συνάρτηση με την ποιότητα και τη μορφολογία του εδάφους της περιοχής εγκατάστασης. Στην περίπτωση όπου η τοποθεσία επιλογής είναι δύσβατη και δεν επιτρέπει την απρόσκοπτη προσέγγιση σε κάθε Α/Γ απαιτείται έργο οδοποιίας. Το κόστος αυτού υπολογίζεται σε 9000€/km και το συνολικό μήκος του οδοστρώματος εκτιμάται 5 km.( 9000€/km \*5 km =45.000 €)

### **Μελέτες, έξοδα τεχνικών και νομικών συμβούλων**

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

- ✓ Μελέτη άδειας παραγωγής
- ✓ Μελέτη εκτίμησης παραγωγής & αιολικού δυναμικού

- ✓ Μελέτη αίτησης στον Αναπτυξιακό Νόμο ή οικονομικής χρηματοδότησης μέσω του Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης
- ✓ Χάρτες ψηφιοποίησης
- ✓ Μελέτη άδειας εγκατάστασης
- ✓ Γεωτεχνικές Μελέτες Αιολικού Πάρκου & Υ/Σ
- ✓ Γεωφυσικές Μελέτες Α/Π και Υ/Σ
- ✓ Μελέτες Έργων Πολιτικού Μηχανικού Α/Π
- ✓ Τοπογραφικές Μελέτες
- ✓ Μελέτες Οδοποιίας
- ✓ Μελέτες για Πολεοδομικές Άδειες
- ✓ Μελέτες Η/Μ έργων Α/Π
- ✓ Μελέτες Η/Μ έργων Υ/Σ
- ✓ Μελέτες Έργων Πολιτικού Μηχανικού Υ/Σ
- ✓ Τεχνικοοικονομική Μελέτη για ένταξη στο Ν.3299 ή μελέτη οικονομικής χρηματοδότησης μέσω ΚΠΣ
- ✓ Νομικοί Σύμβουλοι - Οικονομικοί Σύμβουλοι

Το κόστος του συνόλου των μελετών κυμαίνεται από 200.000 -1.000.000 ευρώ και εξαρτάται από τις δυσκολίες των μελετών ειδικά εάν πρόκειται για ειδικές περιπτώσεις καθώς επίσης και από το βαθμό δυσκολίας των νομικών, τεχνικών και χωροταξικών θεμάτων. Για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε η τιμή των 650.000 ευρώ.

### **Κόστος διασύνδεσης αιολικού πάρκου με το δίκτυο (υποσταθμός ανύψωσης)**

Ο κεντρικός υποσταθμός Μ.Τ. είναι το σημείο διασύνδεσης όλων των ανεμογεννητριών και περιλαμβάνει τον Αυτόματο Διακόπτη Διασύνδεσης του αιολικού πάρκου (ο οποίος είναι ένας αυτόματος διακόπτης ισχύος), έναν αποζεύκτη, τους μετασχηματιστές τάσεως και εντάσεως και τους διακόπτες φορτίου των αναχωρήσεων προς τις ανεμογεννήτριες. Ο υποσταθμός Υ.Τ συνδέει το αιολικό πάρκο με το δίκτυο μεταφοράς του συστήματος. Πρόκειται για συμβατικό υποσταθμό, ο οποίος κατασκευάζεται κοντά στο αιολικό πάρκο. Σε έναν τέτοιο Υ/Σ μπορούν να συνδεθούν και

άλλα αιολικά πάρκα. Στην Ελλάδα, κατασκευάζονται σε υψόμετρα κάτω των 1000 μέτρων, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ΔΕΗ, ενώ για μεγαλύτερα υψόμετρα απαιτείται εξοπλισμός ειδικών προδιαγραφών. Τα βασικά μέρη ενός υποσταθμού Υ.Τ. είναι ο Μ/Σ, ο διακόπτης ισχύος, οι Μ/Σ τάσεως και εντάσεως, διάφοροι αποζεύκτες και γειωτές, η μονάδα αντιστάθμισης άεργου ισχύος και οι πίνακες ελέγχου. Το κόστος της διασύνδεσης του αιολικού πάρκου με το δίκτυο κυμαίνεται για αιολικά πάρκα 12-30MW από 700.000 έως 1.500.000 ευρώ, Για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε η τιμή των 800.000 ευρώ.

### **Εγγυητική επιστολή περιοχής ανέγερσης - Αγορά οικοπέδου υποσταθμού**

Η έκταση ενός αιολικού πάρκου εξαρτάται από τον αριθμό των ανεμογεννητριών και την χωροθέτηση τους. Για το αιολικό πάρκο που παρουσιάζουμε έχουμε υπολογίσει 363.10 στρέμματα. Για την παραχώρηση της έκτασης αυτής εκδίδεται εγγυητική επιστολή 2% επί του θεωρημένου προϋπολογισμού του έργου προς τον δημόσιο φορέα στον οποίο ανήκει. Για τον υποσταθμό ανύψωσης που κατασκευάζεται για τη διασύνδεση του αιολικού πάρκου με το σύστημα μεταφοράς απαιτείται η αγορά γης. Το Α/Π συνδέεται με τον υποσταθμό με υπόγειες γραμμές μέσης τάσης, οι οποίες είναι στην κυριότητα του παραγωγού. Η έκταση αυτή κυμαίνεται από 10 -12 στρέμματα και το κόστος αγοράς εξαρτάται από το ιδιοκτησιακό καθεστώς της περιοχής.

### **Διάφορα γενικά και τραπεζικά έξοδα**

Το συνολικό κόστος για τα έξοδα αυτά κυμαίνονται από 200.000-1.200.000 ευρώ για αιολικά πάρκα έως 30MW. Για το συγκεκριμένο έργο υπολογίστηκε 600.000 €.

### **Έξοδα συντήρησης**

Ως βοηθητικές ύλες μπορούν να θεωρηθούν οι αναλώσιμες ύλες για την ομαλή λειτουργία και συντήρηση των ανεμογεννητριών, όπως π.χ. λιπαντικές ουσίες, υδραυλικά υγρά κ.λ.π. Οι βοηθητικές για τα πέντε πρώτα έτη λειτουργίας είναι περίπου 36.000 € / ανεμογεννήτρια /έτος.



Παρακάτω ακολουθούν συγκεντρωτικοί πίνακες σχετικά με το κόστος αγοράς και εγκατάστασης καθώς και με τα λειτουργικά έξοδα της επιχείρησης.

	Κόστος αγοράς & εγκατάστασης	€
1	Κόστος αγοράς ΑΓ	13.596.000
2	Μεταφορά, εγκατάσταση	900.000
3	Έργα πολιτικού μηχανικού	156.000
4	Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός	950.000
5	Οδοποιία	45.000
6	Μελέτες, έξοδα τεχνικών και νομικών συμβούλων	650.000
7	Διασύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο	800.000
8	Αγορά οικοπέδου	500.000
9	Γενικά και τραπεζικά έξοδα	600.000
	Σύνολο	18.197.000

Πίνακας 6-2: Ανάλυση κόστους αγοράς & εγκατάστασης του Α/Π

	Λειτουργικά έξοδα	€/έτος	€ για 20 έτη
1	Έξοδα συντήρησης και λειτουργίας	50.000	1.000.000
2	Δαπάνες ασφάλισης	200.000	4.000.000
3	Εκμίσθωση οικοπέδου	25.000	500000
4	Μισθοδοσίες προσωπικού	50.000	1.000.000
	Σύνολο	325.000	6.500.000

Πίνακας 6-3: Λειτουργικά έξοδα αιολικού πάρκου

Συνεπώς, καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του Α/Π για 20 έτη, τα συνολικά έξοδα που προκύπτουν από το άθροισμα των σταθερών και των κυμαινόμενων εξόδων, είναι

$$\text{Συνολικά Έξοδα} = 6.500.000 + 18.197.000 = 24.697.000 \text{ €}$$

Ετήσια λειτουργικά κόστη	Κόστος αιολικού πάρκου (€)
Σύμβαση συντήρησης 6 Α/Γ	250.000
Ασφάλιστρα	3% βασικού εξοπλισμού
Συντηρητής	16.800
Αμοιβή λογιστή	<b>4.800</b>
Δημοτικοί φόροι και τέλη	3% (ετήσια έσοδα)
Συντήρηση δικτύου σύνδεσης	5.000
Φόροι	20% (κέρδη)

Πίνακας 6-4:έτησια λειτουργικά κόστη

Τιμή πώλησης της παραγόμενης Η.Ε.: **80,14 €/MWh**

Μεικτή ετήσια παραγωγή Η.Ε. (βάση της ταχύτητας του ανέμου):**29.437 MWh** - Απώλειες δικτύου: **3%**  
της μεικτής ετήσιας παραγωγής Η.Ε. - Απώλειες σκίασης: **3%** της μεικτής ετήσιας παραγωγής Η.Ε.  
Διαθεσιμότητα της εγκατάστασης: **97%**

### **Υπολογισμός ετήσιων εσόδων παραγωγής:**

Έσοδα (ετήσια) = [(Μεικτή ετήσια παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας – Απώλειες σκίασης & δικτύου) x Διαθεσιμότητα] x Τιμή πώλησης = [(29.437 - 29.437\*3% + 29.437\*3%)\*97%] MWh \* 80,14 € /MWh = **2.151.027 €**

### **Υπολογισμός ετήσιου κόστους παραγωγής**

Κόστος (ετήσιο) Συντήρηση + ασφάλιστρα + αμοιβή συντηρητή + αμοιβή ετήσιο) = λογιστή + έξοδα συντήρησης δικτύου + ανταποδοτικά τέλη = 250.000 + 13.200.000\* 3% + 16.800 + 4.800 + 5.000 + (2.359.081\*3%) = **743.372 €**

## ΠΗΓΕΣ – ΠΑΡΑΠΟΜΠΕΣ

### Ηλεκτρονικές Πηγές

- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) <http://www.cres.gr/>
- European Wind Energy Association (EWEA) <http://www.ewea.org/>
- Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ) <http://www.eletaen.gr/>
- Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας <http://www.cres.gr/>
- ENERCON <http://www.enercon.de/en/home.htm>
- Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας <http://www.rae.gr/>
- Greenpeace (διεθνής μη κερδοσκοπική οργάνωση) <http://www.greenpeace.org/greece>

## Ελληνική Βιβλιογραφία

- «Αιολική Ενέργεια – Φύση και Πολιτισμός», Αλεξάκης Αλέξανδρος, Εκδόσεις Πατάκη .
- «Διαχείριση της αιολικής ενέργειας», Ι.Κ. Καλδέλλης, Εκδόσεις Α. Σταμούλης Αθήνα 1999
- Καλδέλλης Ι.(2005) Διαχείριση Αιολικής Ενέργειας - 2η έκδοση, εκδόσεις Σταμούλη
- Τριανταφυλλίδης Κ. <<Τεχνοοικονομική μελέτη αιολικού πάρκου (2010)>>
- Παρθενίδης Θ.(2009) Μελέτη σκοπιμότητας για την ανάπτυξη αιολικής ενέργειας στη Σέριφο , Τμήμα Ηλεκτρολόγων μηχανικών και Μηχανικών υπολογιστών, Τομέας Ηλεκτρικής ενέργειας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
- Μπινόπουλος Ε., Χαβιαρόπουλος Π., Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων : "Μύθος και πραγματικότητα".
- Παπαδόπουλος Μιχ.(1999) Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, Καθηγητής ΕΜΠ, Αθήνα.
- Παστρωμάς Σ., Σαφάκας Α. (2006) Ηλεκτρονικά Ισχύος, συστήματα ηλεκτρικής κίνησης και βιομηχανικές εφαρμογές, Διασύνδεση Αιολικών Πάρκων με το Εθνικό διασυνδεδεμένο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας μέσω Ηλεκτρονικών Μετατροπέων Ισχύος., ΤΕΕ, Αθήνα.
- Λευτέρης Ι. Πισκιτζής / Συστήματα αιολικής ενέργειας
- Κορωναίος Χριστοφής (2009): Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πανεπιστημιακές Σημειώσεις του Δ.Π.Μ.Σ.–Ε.Μ.Π. «Περιβάλλον και Ανάπτυξη».
- Ταβέλης Φρίξος (2004): Προοπτικές Αφαλάτωσης με Αιολική Ενέργεια στην Κύπρο.Διπλωματική εργασία για τη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π..
- Χαντζιάρας Βασίλειος (2008):Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και μονάδες αφαλάτωσης προοπτικές ένταξης στο ν. Δωδεκανήσων. Διπλωματική εργασία για τη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π..

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ – ΟΡΟΛΟΓΙΕΣ

**Ανεμογεννήτρια:** παράγει ρεύμα από την ταχύτητα του ανέμου ,συνεργάζεται με τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες για την φόρτιση των συσσωρευτών.Τοποθετούνται σε περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό.

**Αιολικό πάρκο:** Συστοιχία εγκατεστημένων ανεμογεννητριών σε θέσεις υψηλού αιολικού δυναμικού, που διασυνδέεται με το Εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης.

**Αιολική Ενέργεια:** Η αιολική ενέργεια είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας η οποία εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια του ανέμου και παρέχει δυναμικό για μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση ανεμογεννητριών χωρίς περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

<b>kW (κιλοβάτ)</b>	<b>μονάδα ισχύος [1 kW = 1.000 Watt, 1 MW = 1.000 kW]</b>
<b>kWh (κιλοβατώρα)</b>	<b>μονάδα ενέργειας</b>
<b>Α.Π.Ε.</b>	<b>Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας</b>
<b>Α/Γ</b>	<b>Ανεμογεννήτρια</b>
<b>ΔΕ.Σ.Μ.ΗΕ.</b>	<b>Διαχειριστής Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρισμού</b>
<b>ΔΕΗ</b>	<b>Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού</b>
<b>Τ.Ε.Ι.</b>	<b>Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα</b>
<b>ΦΠΑ</b>	<b>Φόρος Προστιθέμενης Αξίας</b>
<b>Μ.Τ</b>	<b>Μέση τάση</b>
<b>Χ.Τ</b>	<b>Χαμηλή Τάση</b>
<b>Υ.Τ</b>	<b>Υψηλή Τάση</b>
<b>Υ/Σ</b>	<b>Υποσταθμός</b>
<b>Μ/Σ</b>	<b>Μετασχηματιστής</b>
<b>ΡΑΕ</b>	<b>Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας</b>
<b>SCADA</b>	<b>Supervisory Control And Data acquisition</b>
<b>ΣΗΘ</b>	<b>Συμπαράγωγή ηλεκτρισμού &amp; ενέργειας</b>
<b>Α/Π</b>	<b>Αιολικό πάρκο</b>