

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

Μελέτη και ανάπτυξη αιολικού πάρκου ισχύος 2.2 MW (Design and development of 2.2MW wind farm)

Παπαζώτος Ιωάννης (5213)
Χρόνη Μαρία (5948)
Εισηγητής: Σχοινάς Νικόλαος
Αριθμός Πτυχιακής Εργασίας: 1570

ΑΠΡΙΛΙΟΣ 2016



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

Η εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Σχοινά Νικόλαου, τον οποίο ευχαριστούμε θερμά για τη βοήθεια, τη συμπαράσταση και την άριστη καθοδήγηση του.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας για την διαρκή ηθική και υλική υποστήριξη που μας παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της φοίτησής μας στο Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας.

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

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

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

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

Ευχαριστίες – Πρόλογος.....	2
Εισαγωγή – Σκοπός πτυχιακής εργασίας.....	3
Περιεχόμενα	4
ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 2,2 MW.....	6
1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ – ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	7
1.1.1. Ορισμός αιολικής ενέργειας	7
1.1.2. Ισχύς ανέμου	8
1.1.3. Εξάρτηση της ταχύτητας του ανέμου από το ύψος	10
1.1.4. Πυκνότητα ισχύος του ανέμου	12
1.2. Ιστορική αναδρομή στην αιολική ενέργεια	14
1.3. Τύποι ανεμογεννητριών	18
1.3.1. Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα	19
1.3.2 Ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα	21
1.4. Περιγραφή υποσυστημάτων γεννήτριας οριζοντίου άξονα	23
2ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	26
2.1. Εισαγωγή στα αιολικά πάρκα	26
2.2. Κριτήρια επιλογής της περιοχής μελέτης του αιολικού πάρκου	32
2.3. Έκταση και μορφή του γηπέδου	33
2.3.1. Ιδιοκτησιακό περιοχής	33
2.3.2. Πως ορίζονται οι προστατευόμενες περιοχές	33
2.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	34
2.4.1. Επιδράσεις στην ορνιθοπανίδα	34
2.4.2. Επιδράσεις στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες της περιοχής	37
2.5. Οπτική όχληση	38
2.6. Εκπομπές θορύβου	41
2.7. Πρόσβαση περιοχής	43
3ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ – ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	44
3.1. Εισαγωγή	44
3.2 . Χαρακτηριστικά του ανέμου	44
3.3. Τύρβη και διάτμηση	45
3.4. Παράγοντες που επηρεάζουν την ταχύτητα και τη διεύθυνση του ανέμου	46
3.5. Εγκατάσταση και περιγραφή ιστού	47
3.5.1. Ανεμόμετρο	49
3.5.2. Διευθυνσιόμετρο	49
3.6. Το αιολικό δυναμικό της περιοχής	50
4ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΤΗΣΙΑΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	53
4.1. Εισαγωγή	53
4.2. Ενεργειακή μελέτη αιολικού δυναμικού	53
4.3. Κριτήριο επιλογής ανεμογεννήτριας	54
4.4. Χωροθέτηση αιολικού πάρκου	55

4.5. Χωροθέτηση ανεμογεννητριών αιολικού πάρκου.....	58
4.6. Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ενέργειας.....	61
5ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - Κατασκευή και διασύνδεση Αιολικού Πάρκου	66
5.1. Κατασκευή δρόμου προσπέλασης και εσωτερικής οδοποιίας Α/Π.....	66
5.2. Διαμόρφωση πλατειών Α/Π	66
5.3. Κατασκευή βάσεων θεμελίωσης Α/Γ	67
5.4. Ανέγερση πύργου πλήμνης και πτερυγίων των Α/Γ.....	67
5.5. Κατασκευή οικισμού ελέγχου και βοηθητικών χώρων	68
5.6. Διασύνδεση με το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	77
5.7. Φωτορεαλιστική Απεικόνιση	78
6ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	81
6.1. Κόστος επένδυσης.....	81
6.2. Λειτουργικές χρηματικές εκροές – Ετήσιες Λειτουργικές Δαπάνες	81
6.3. Λειτουργικές χρηματικές εισροές – Ετήσια έσοδα	82
7ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ - ΟΦΕΛΗ.....	83
7.1. Εισαγωγή.....	83
7.2. Οικονομικά για τον Επενδυτή	83
7.3. Περιβαλλοντικά και Αναπτυξιακά οφέλη για την περιοχή	83
7.4. Επίλογος – Συμπεράσματα	83
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	91

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΙΣΧΥΟΣ 2,2 MW

(DESIGN AND DEVELOPMENT OF WIND FARM OF 2.2 MW)

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

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

Στο **2^ο κεφάλαιο** παρουσιάζονται τα κριτήρια επιλογής της περιοχής μελέτης αιολικού πάρκου. Με βάση τα ανωτέρω γίνεται επιλογή και χάραξη οικοπέδου εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.

ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Το **3^ο κεφάλαιο** αναφέρεται στην μελέτη αιολικού δυναμικού, δηλαδή, στην εγκατάσταση του ιστού και στα αποτελέσματα των μετρήσεων του.

Στο **4^ο κεφάλαιο** γίνεται η χωροθέτηση 3 ανεμογεννητριών και παρουσιάζεται η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου.

Στο **5^ο κεφάλαιο** παρουσιάζεται ο τρόπος διασύνδεσης του αιολικού πάρκου.

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Στο **6^ο κεφάλαιο** παρουσιάζεται η οικονομική μελέτη.

- Το αρχικό κόστος,
- Το κόστος λειτουργίας – συντήρησης – ετήσια έξοδα-έσοδα.

Στο **7^ο κεφάλαιο** αναφέρονται τα οφέλη του αιολικού πάρκου, ο επίλογος και τα συμπεράσματα.

1.1.1. Ορισμός αιολικής ενέργειας

Γενικά αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται ήπια μορφή ενέργειας και περιλαμβάνεται στις καθαρές πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους.

Είναι η ενέργεια του ανέμου που προέρχεται από την μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας.

Οι μετακινήσεις του αέρα, οι άνεμοι, προέρχονται από τις μεταβολές και τις διαφορετικές από τόπο σε τόπο τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι διαφορετικές αυτές τιμές της πίεσης οφείλονται στη διαφορετική θέρμανση (απορρόφηση ενέργειας) της ατμόσφαιρας κάθε τόπου από τον ήλιο.

Αυτή η ενέργεια, η αιολική (υπενθυμίζεται ότι ο Αίολος ήταν ο «διαχειριστής» των ανέμων, κατά τους αρχαίους Έλληνες), αξιοποιείται στις μέρες μας ολοένα και περισσότερο, σε περιοχές όπου συχνά φυσούν ισχυροί άνεμοι.

Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε σήμερα τις Ανεμογεννήτριες, με τις οποίες μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με συστηματικό τρόπο άρχισε παγκοσμίως στις αρχές της δεκαετίας του 80, όταν προκλήθηκε η πρώτη πετρελαϊκή κρίση και αυξήθηκε πολύ τα τελευταία χρόνια.

Η αιολική ενέργεια και ανεξάντλητη ως ανανεώσιμη είναι (αφού ο καλός μας ήλιος θα φροντίζει πάντα να υπάρχουν θερμοκρασίες διάφορες μεταξύ των διάφορων περιοχών της γης, ώστε να προκαλούνται οι άνεμοι), και καθαρή, «φιλική» προς το περιβάλλον (αφού η μετατροπή της σε ηλεκτρική δεν το επιβαρύνει)...

Ο άνεμος, όμως, είναι μια ανεξέλεγκτη και χρονική μεταβαλλόμενη σε όλες της τις παραμέτρους πηγή ενέργειας. Η δέσμευση και χρησιμοποίηση της ενέργειας αυτής, είναι ως εκ τούτου μια πολύ δαπανηρή διαδικασία. Η σχεδίαση και η κατασκευή μιας αποδοτικής και παράλληλα οικονομικής ανεμομηχανής δεν είναι εύκολη δουλειά. Παρόλα αυτά, οι σύγχρονες ανεμομηχανές (που η επιστημονική ονομασία τους είναι «συστήματα μετατροπής» της αιολικής ενέργειας, ή πιο απλά «ανεμοκινητήρες», ή όταν παράγουν ηλεκτρική ενέργεια «ανεμογεννήτριες», χρησιμοποιώντας τα

πρόσφατα επιτεύγματα στην τεχνολογία των υλικών, στη μηχανολογία, στην ηλεκτρονική και στην αεροδυναμική, έχουν ανεβάσει σε υψηλά επίπεδα την απόδοση τους, μειώνοντας συνεχώς το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

Στη χώρα μας έγινε μια προσπάθεια από την Ελληνική Αεροπορική Βιομηχανία, πριν από μερικά χρόνια, για τη μερική κατασκευή και συναρμολόγηση ανεμογεννητριών Βρετανικής σχεδίασης. Για διάφορους λόγους, που έχουν σχέση με την Βρετανική εταιρία η προσπάθεια δεν παρουσίασε τα αναμενόμενα αποτελέσματα. Η απόφαση, όμως της Δ.Ε.Η να εκμεταλλευτεί σε σημαντικό βαθμό την αιολική ενέργεια και η αναμενόμενη απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας, δημιουργούν τις πολύ καλές προοπτικές στην αγορά των ανεμογεννητριών. Εάν δε, ληφθεί υπόψη ότι οι περισσότερες εταιρίες της παγκόσμιας αγοράς σχεδιάζουν τις κατασκευές τους με βάση τυποποιημένα εξαρτήματα και συστήματα, είναι φανερό ότι και η Ελλάδα μπορεί, τουλάχιστον στην εσωτερική αγορά να συμπεριλάβει και εγχώριες κατασκευές.

1.1.2. Ισχύς ανέμου

Η ισχύ που αποδίδει, κατ' επέκταση και η ενέργεια που παράγει, μια ανεμογεννήτρια είναι συνάρτηση του κύβου της ταχύτητας του ανέμου, της πυκνότητας του ανέμου και των τεχνικών χαρακτηριστικών του συγκροτήματος. Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος και γι αυτό οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται πάντα στην κορυφή υψηλών πύργων στήριξης. Παρ' όλα αυτά οι θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι για την παραγωγή ωφέλιμου έργου μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο το 53.9% της συνολικής ενέργειας του ανέμου.



Η ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα με πτερύγια ανταποκρίνεται στις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου με αυτόματη αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων. Ο άξονας της παραλληλίζεται αυτόματα προς τη διεύθυνση του ανέμου έτσι ώστε ο άνεμος να προβάλλει κάθετα την επιφάνεια που διαγράφουν τα πτερύγια. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται τελικά η βέλτιστη παραγωγή ενέργειας από τον άνεμο με συντελεστή μέχρι και 48% και εξασφαλίζονται ικανοποιητικά όρια στα χαρακτηριστικά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η μηχανική ισχύς που αναπτύσσεται στον άξονα των πτερυγίων από τον άνεμο μεταδίδεται στην ηλεκτρική γεννήτρια με τις κατάλληλες στροφές. Η γεννήτρια, η οποία μπορεί να είναι σύγχρονη μηχανή, παράγει την ηλεκτρική ενέργεια και τροφοδοτεί την κατανάλωση.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι χρονικά ασυνεχής, επειδή ακολουθεί τη δίαιτα του ανέμου, ενώ η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τις ώρες της ημέρας, την εποχή, την οικονομική και κοινωνική δομή των καταναλωτών κτλ. Το αποτέλεσμα είναι στις ανεμογεννήτριες να παρουσιάζονται σημαντικές ταλαντώσεις ισχύος ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ όταν επικρατεί άπνοια ή πολύ ισχυρός άνεμος, παύει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Για τον σχεδιασμό ενός αυτόνομου αιολικού ηλεκτρικού συστήματος θα πρέπει να προβλεφθεί αποθήκευση. Ο συνηθέστερος τρόπος είναι η εγκατάσταση συσσωρευτών, αλλά στο μέλλον ίσως χρησιμοποιηθούν και άλλοι μέθοδοι, όπως υδροδυναμική εκμετάλλευση, πεπιεσμένος αέρας κ.α.

Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 είχαν επίσης διαπιστωθεί τα πολυάριθμα τεχνικά και οικονομικά πλεονάσματα που παρουσιάζει η εγκατάσταση αιολικών πάρκων, δηλαδή συγκροτημάτων πολλών ανεμογεννητριών εγκατεστημένων σε μια τοποθεσία. Για παράδειγμα σε αντίθεση με την ισχύ μεμονωμένων ανεμογεννητριών, το σύνολο της ισχύος ενός αιολικού πάρκου δεν παρουσιάζει μεγάλες ταλαντώσεις λόγω της συνεχούς πνοής του ανέμου. Από την άλλη μεριά, η εγκατάσταση αιολικού πάρκου απαιτεί μικρή σχετικά επιφάνεια σε σχέση με τις εγκαταστάσεις εκμετάλλευσης άλλων μορφών ενέργειας, ενώ ταυτόχρονα δεν παρεμποδίζει την εκμετάλλευση της γης. Το πρώτο αιολικό πάρκο της Ευρώπης εγκαταστάθηκε το 1982 στη νήσο Κύθνο. Με ισχύ 100 κιλοβάτ (5 ανεμογεννήτριες των 20 κιλοβάτ, τύπου οριζοντίου άξονα με δυο πτερύγια) καλύπτει το 25% των ενεργειακών αναγκών του νησιού.

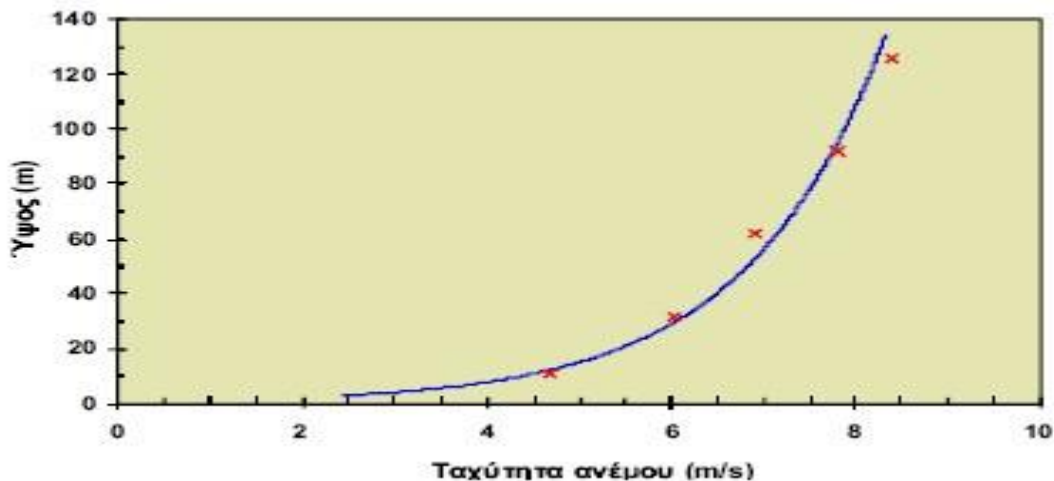


1.1.3. Εξάρτηση της ταχύτητας του ανέμου από το ύψος

Η σχέση για την εξαγόμενη ισχύ από μια ανεμογεννήτρια δείχνει ότι η ενεργειακή παραγωγή της ανεμογεννήτριας εξαρτάται από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στη θέση, την πυκνότητα του αέρα, το μέγεθος του δρομέα και τον τεχνικό σχεδιασμό. Ειδικά, το ύψος του πύργου επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή παραγωγή, λόγω της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου. Ο βαθμός της διάτμησης του ανέμου εξαρτάται κυρίως από δύο παράγοντες: Α) Την ατμοσφαιρική μίξη και Β) Την τραχύτητα του εδάφους.

Η τραχύτητα του εδάφους επιδρά στη διάτμηση του ανέμου καθορίζοντας το πόσο επιβραδύνεται ο άνεμος κοντά στο έδαφος. Σε περιοχές με υψηλό βαθμό τραχύτητας, όπως τα δάση ή οι πόλεις, οι

ταχύτητες του ανέμου κοντά στην επιφάνεια τείνουν να είναι μικρές και η διάτμηση του ανέμου μεγάλη, ενώ το αντίστροφο ισχύει σε περιοχές με μικρή τραχύτητα, όπως είναι οι επίπεδοι, ανοικτοί αγροί. Η διάτμηση του ανέμου μπορεί να ελαττωθεί πολύ ή να εξαλειφθεί όπου υπάρχει μια απότομη αλλαγή στο ύψος του πεδίου, όπως μια απότομη ακρογιαλιά ή κορυφογραμμή. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται μια πιθανή μορφή του οριακού στρώματος της ταχύτητας του ανέμου.



Μια συνηθισμένη προσέγγιση για την καθ' ύψος κατανομή της ταχύτητας του ανέμου είναι η λογαριθμική.

$$v = v_T/k * \ln(h/z_0)$$

όπου v είναι η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος h , v_T η ταχύτητα τριβής, k η σταθερά von Karman (0,4) και z_0 το μήκος τραχύτητας, το οποίο σχετίζεται με την κάλυψη της βλάστησης της περιοχής.

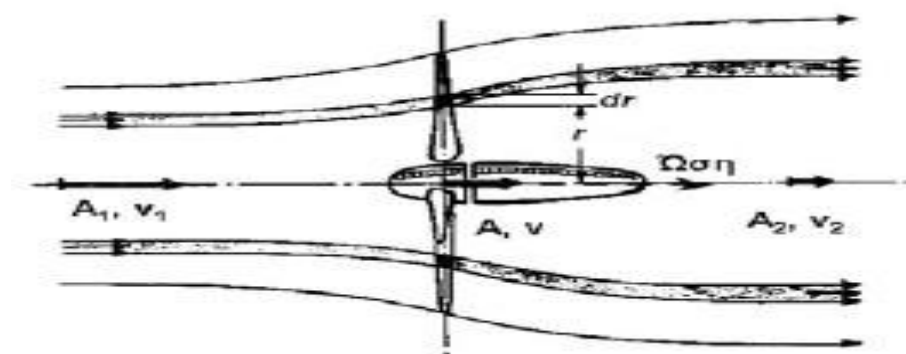
Η ατμοσφαιρική μίξη συνήθως ακολουθεί έναν ημερήσιο κύκλο οδηγούμενο από την ηλιακή θέρμανση. Στο ύψος της πλήμνης μιας ανεμογεννήτριας, ο κύκλος αυτός προκαλεί συχνά αύξηση της ταχύτητας του ανέμου την ημέρα και μείωση τη νύχτα. Εντούτοις, το εύρος της μεταβολής μεταξύ νύχτας και μέρας εν γένει μειώνεται καθώς αυξάνεται το ύψος της πλήμνης. Σε ύψος περίπου 10m η ημερήσια μεταβολή μπορεί να είναι πολύ έντονη, αλλά καθώς αυτό αυξάνεται στα 50m αυτή εξασθενεί ή μπορεί ακόμη και να εξαφανιστεί. Η λογαριθμική κατανομή της ταχύτητας του ανέμου μπορεί και πάλι να εφαρμοστεί στα χαμηλότερα 100m με κατάλληλες διορθώσεις ώστε να ληφθούν υπόψη οι ανωτέρω μεταβολές στην ατμοσφαιρική ευστάθεια.

Για την εξοικονόμηση χρημάτων, οι μετρήσεις του ανέμου μερικές φορές λαμβάνονται σε χαμηλότερο ύψος από αυτό του πύργου της ανεμογεννήτριας. Στην περίπτωση αυτή, είναι απαραίτητο να μετρηθεί η διάτμηση του ανέμου σε διαφορετικές

χρονικές στιγμές της ημέρας και σε διαφορετικές εποχές προκειμένου να προβλεφθεί με ακρίβεια η απόδοση μιας εγκατάστασης αιολικής ενέργειας. Η διάτμηση μπορεί να μετρηθεί με την παρακολούθηση των ταχυτήτων του ανέμου σε δύο ή τρία ύψη ενός πύργου.

1.1.4. Πυκνότητα ισχύος του ανέμου

Ο άνεμος περιέχει ενέργεια η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ηλεκτρισμό με τη χρήση των ανεμογεννητριών. Η ποσότητα ηλεκτρισμού που παράγουν οι ανεμογεννήτριες εξαρτάται από την ποσότητα της ενέργειας του διερχόμενου μέσω της επιφάνειας που σαρώνεται από τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας στη μονάδα του χρόνου ανέμου. Ειδικότερα, οι δρομείς των ανεμογεννητριών ελαττώνουν την ταχύτητα του ανέμου από την αδιατάρακτη ταχύτητα V_1 πολύ πριν από το δρομέα στη μειωμένη ταχύτητα ροής του αέρα V_2 πίσω από αυτόν. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η ροή του ανέμου μέσω μιας ανεμογεννήτριας.



Η διαφορά στην ταχύτητα του ανέμου είναι ένα μέτρο της αποσπώμενης από αυτόν κινητικής ενέργειας που περιστρέφει το δρομέα και την ηλεκτρική γεννήτρια που είναι συνδεδεμένη στο άλλο άκρο του συστήματος μετάδοσης της κίνησης. Η ισχύς που θεωρητικά εξάγεται από μια ανεμογεννήτρια περιγράφεται από την εξίσωση :

$$P = C_p * \eta * \rho / 2 * v_1^3 * A$$

Όπου P είναι η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3), C_p ο συντελεστής ισχύος, η η μηχανική αποδοτικότητα, και A το εμβαδό του δίσκου του δρομέα.

Σε ιδανικές συνθήκες, η μέγιστη τιμή του C_p (γνωστή και ως "όριο Benz") είναι: $16/27=0.593$, δηλαδή μια ανεμογεννήτρια μπορεί θεωρητικά να αποσπάσει το 59,3% του ενεργειακού περιεχομένου της ροής του αέρα. Υπό πραγματικές συνθήκες όμως, ο συντελεστής ισχύος δεν υπερβαίνει την τιμή $C_p=0.5$ αφού περιλαμβάνει όλες τις αεροδυναμικές απώλειες της ανεμογεννήτριας. Πράγματι, στις περισσότερες τεχνικές δημοσιεύσεις η τιμή του C_p περιλαμβάνει όλες τις απώλειες, και στην ουσία αποτελεί συντόμευση του όρου $C_p \cdot \eta$. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται διαφορετικά περιεχόμενα και απολήψεις ισχύος ανάλογα με το συντελεστή ισχύος και τις αποδοτικότητες μιας ανεμογεννήτριας.



Όπως προκύπτει από την αρχική εξίσωση της ισχύος, ένα βασικό ζήτημα της πυκνότητας του ανέμου αποτελεί η εξάρτησή της από τον κύβο της ταχύτητας του ανέμου. Έτσι, εάν διπλασιαστεί η ταχύτητα, η ισχύς που προέρχεται στον άνεμο θα αυξηθεί κατά οκτώ φορές. Στην πράξη όμως, η σχέση μεταξύ της παραγόμενης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας και της ταχύτητας του ανέμου σε είναι τόσο ρητή. Όπως φαίνεται και στις καμπύλες του παραπάνω σχήματος, η πραγματική καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας περιγράφεται συνήθως ως προς τέσσερις διακριτές περιοχές της ταχύτητας του ανέμου, οι οποίες αναλύονται στον πίνακα που ακολουθεί.

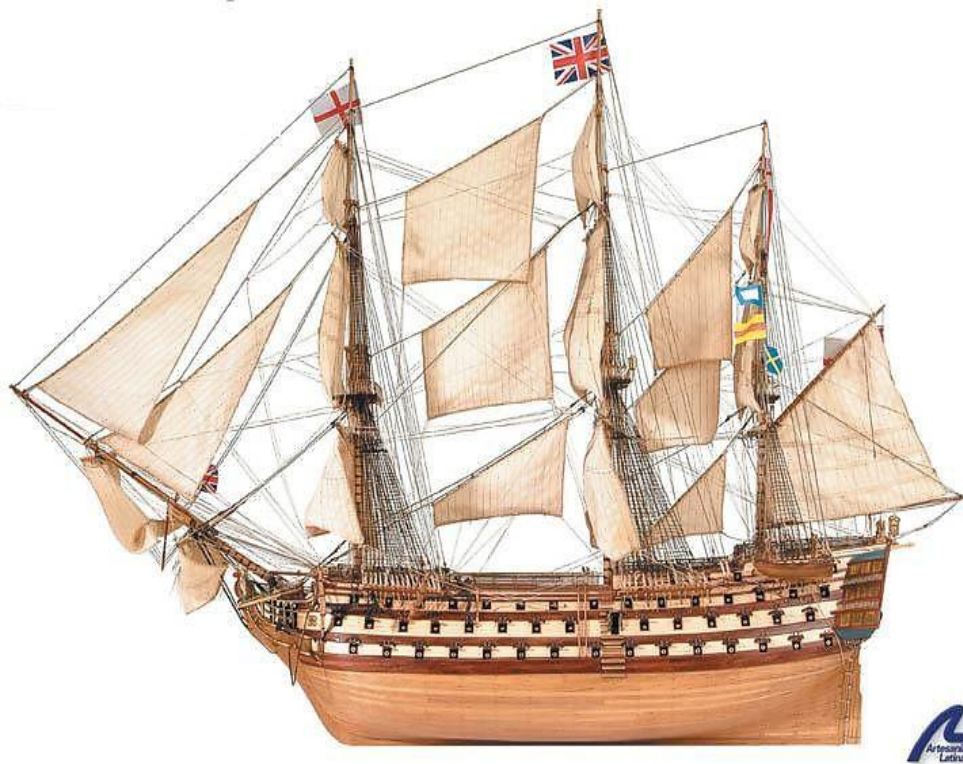
Περιοχή λειτουργίας	Περιγραφή λειτουργίας: Παραγόμενη ισχύς συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου	Ενδεικτικό εύρος ταχύτητας του ανέμου (αναφορικά με το σχήμα 2.2)
Περιοχή 1	Οι ταχύτητες του ανέμου είναι πολύ μικρές για παραγωγή εκμεταλλεύσιμης ηλεκτρικής ισχύος.	0 έως ταχύτητα "εκκίνησης" - 0 έως 4 m/s.
Περιοχή 2	Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος αυξανόμενη με την ταχύτητα του ανέμου.	Ταχύτητα "εκκίνησης" έως "ονομαστική" ταχύτητα του ανέμου - 4 έως 13 m/s.
Περιοχή 3	Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με σταθερό ρυθμό (ονομαστική ισχύς). Η απόδοση των πτερυγίων της Α/Γ μειώνεται σκόπιμα καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου.	"Ονομαστική" ταχύτητα ανέμου έως ταχύτητα "διακοπής" - 13 έως 20 m/s (ή περισσότερο).
Περιοχή 4	Δεν παράγεται ισχύς. Οι άνεμοι είναι πολύ δυναμικοί ώστε να δικαιολογείται η πρόσθετη αντοχή και δαπάνη για το μικρό αριθμό ωρών ανά έτος πέραν της ταχύτητας "διακοπής".	Ταχύτητα "διακοπής" έως ταχύτητα "επιβίωσης" - 20 m/s (ή περισσότερο) έως την ονομαστική ταχύτητα επιβίωσης σε θυελλώδεις ανέμους.

Από τις τέσσερις αυτές περιοχές, η ανεμογεννήτρια παράγει και παρέχει ισχύ μόνο στο εύρος των ταχυτήτων του ανέμου που καθορίζονται από τις περιοχές 2 και 3. Στην περιοχή 1 δεν υπάρχει αρκετή ενέργεια στον άνεμο ώστε να παραχθεί εκμεταλλεύσιμη ισχύς. Στην περιοχή 4 η παραγόμενη ισχύς διατηρείται σταθερή ή αρχίζει να μειώνεται, ενώ σε πολύ δυνατούς ανέμους μπορεί και να διακόπτεται η λειτουργία της ανεμογεννήτριας για να αποτραπεί τυχών ζημιά. Τότε, οι άνεμοι είναι πάρα πολύ δυναμικοί για να δικαιολογηθεί η πρόσθετη δομική αντοχή και το επιπλέον κόστος σχετικά με το μικρό αριθμό ωρών ανά έτος κατά τις οποίες παρατηρούνται ταχύτητες ανέμου εντός της περιοχής 4.

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

1.2. Ιστορική αναδρομή στην αιολική ενέργεια

Η αιολική ενέργεια αξιοποιήθηκε από πολύ νωρίς για την παραγωγή μηχανικού έργου και έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας. Ο άνθρωπος πρωτοχρησιμοποίησε την αιολική ενέργεια στα ιστιοφόρα πλοία, γεγονός που συνέβαλε αποφασιστικά στην ανάπτυξη της ναυτιλίας.



Ιστιοφόρο πλοίο

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 πλατιά στην Ευρώπη επί 650 χρόνια, από τον 12^ο μέχρι τις αρχές του 19^{ου} αιώνα, οπότε και 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. Κατά τη δεκαετία του 1970, το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με ανεμογεννήτριες και ανεμόμυλους ανανεώθηκε λόγω της ενεργειακής κρίσης και των προβλημάτων που δημιουργεί η ρύπανση του περιβάλλοντος.



Ανεμόμυλος Poul La Cour στη Δανία.

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 στις ΗΠΑ τη δεκαετία του 1940, στην Αγγλία τη δεκαετία του 1950 όπως και στη Γαλλία. Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στην Δανία από τον J.Juul με τρία πτερύγια αλληλοσυνδεόμενα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Στην Ολλανδία εκτελέστηκαν πειράματα από τον F.G. Rigeaud με αντικείμενο τη μετασκευή των παλαιών ανεμόμυλων άλεσης δημητριακών, έτσι ώστε η πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή. Εκεί χρησιμοποιήθηκε ένας σύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο σε περίπτωση άπνοιας ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια όταν φυσούσε.



Ανεμόμυλος στην Ολλανδία.

Μετά τον Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο πολλοί περίμεναν ότι η αιολική ενέργεια θα συνέβαλε σημαντικά στην παραγωγή ηλεκτρισμού, αλλά οι προσπάθειες ανάπτυξης ανεμογεννητριών απόησαν 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 25 κιλοβάτ) ενώ είχαν κατασκευαστεί και ανεμογεννήτριες μεγαλύτερης ισχύος (3-4 μεγαβάτ). Οι ανεμογεννήτριες προηγμένης τεχνολογίας που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι κυρίως δύο τύπων :

Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα με πτερύγια και ανεμογεννήτριες Νταριέ με κατακόρυφο άξονα (από τον Γάλλο G.J.M. Darrieus που τις εφεύρε το 1925).

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, που είναι πιο εξελιγμένες και διαδεδομένες, έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια και η ισχύς τους κυμαίνεται από λίγα κιλοβάτ έως μερικά μεγαβάτ.



Ανεμογεννήτρια Darrieus.

1.3. Τύποι ανεμογεννητριών

Τα τελευταία χρόνια, η βιομηχανία παραγωγής ανεμογεννητριών παρουσιάζει μεγάλη οικονομική άνθηση. Για αυτό το λόγο έχουν κατασκευαστεί δεκάδες ανεμογεννήτριες για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Αυτές τις ανεμογεννήτριες μπορούμε να τις χωρίσουμε ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων αλλά κατά κύριο λόγο με την θέση του άξονα περιστροφής ως προς τη Γή. Ανάλογα με τη θέση του άξονα υπάρχουν οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου και κάθετου άξονα, με αυτές του οριζοντίου άξονα να είναι οι πιο διαδεδομένες αυτή τη στιγμή στον κόσμο.

Η ονομαστική ισχύς μιας ανεμογεννήτριας έχει εύρος από μερικές δεκάδες Watt μέχρι 15 MWatt σήμερα, ανάλογα με το μέγεθος και τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε συσκευής. Κάθε ανεμογεννήτρια έχει μια χαρακτηριστική καμπύλη ταχύτητας ισχύος (power curve) που φανερώνει τη σχέση μεταξύ της παραγόμενης ενέργειας και της ταχύτητας του ανέμου για κάθε τύπο ανεμογεννήτριας. Η καμπύλη αυτή εξαρτάται από διάφορες ιδιότητες

της ανεμογεννήτριας όπως η επιφάνεια σάρωσης της φτερωτής, η αεροδυναμική και οι αποδόσεις των κιβωτίων ταχυτήτων και της μηχανής.

1.3.1. Ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονα τους παράλληλο προς την επιφάνεια της Γής και συνήθως παράλληλα με την διεύθυνση του ανέμου. Αυτού του τύπου οι ανεμογεννήτριες έχουν συνήθως 2 ή 3 πτερύγια, σε αντίθεση με τους ανεμόμυλους που έχουν πολλά. Ένα χαρακτηριστικό των πτερυγίων αυτών είναι ότι έχουν μεγάλο αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης. Τα κύρια μηχανικά μέρη είναι ο δρομέας ή η φτερωτή, το σύστημα μετάδοσης κίνησης (κύριος άξονας και κιβώτιο ταχυτήτων), η γεννήτρια, ο πύργος στήριξης στον οποίο είναι τοποθετημένος ο δρομέας, το σύστημα πέδησης (η ανεμογεννήτρια πρέπει να μειώνει ταχύτητα όταν υπερβαίνει ένα όριο ταχύτητας για να μην υποστεί καμία βλάβη) και το σύστημα ελέγχου, σύνδεσης και αποθήκευσης (συσσωρευτές) της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος υπάρχει και σύστημα προσανατολισμού ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου, το οποίο γίνεται είτε με αισθητήρες είτε με καθοδηγητικό πτερύγιο (κάτι σαν ανεμοδείκτη).



Αιολικό πάρκο με ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα.



Αιολικό πάρκο με ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα.

Πλεονεκτήματα

- Λόγω του ύψους της ανεμογεννήτριας, εκμεταλλεύεται και άνεμο μεγαλύτερης ταχύτητας.
- Εύκολη συναρμολόγηση.
- Υψηλό αεροδυναμικό συντελεστή.
- Υψηλότερη αποδοτικότητα και καλύτερη απόδοση σε σχέση με τις ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα.

Μειονεκτήματα

- Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή θορύβου.
- Λόγω μεγέθους κοστίζει πολύ η κατασκευή και η μεταφορά της.
- Για να εκμεταλλεύεται η ανεμογεννήτρια συνέχεια τον άνεμο, χρειάζεται έναν μηχανισμό περιστροφής για τον προσανατολισμό των πτερυγίων στην διεύθυνση του ανέμου.

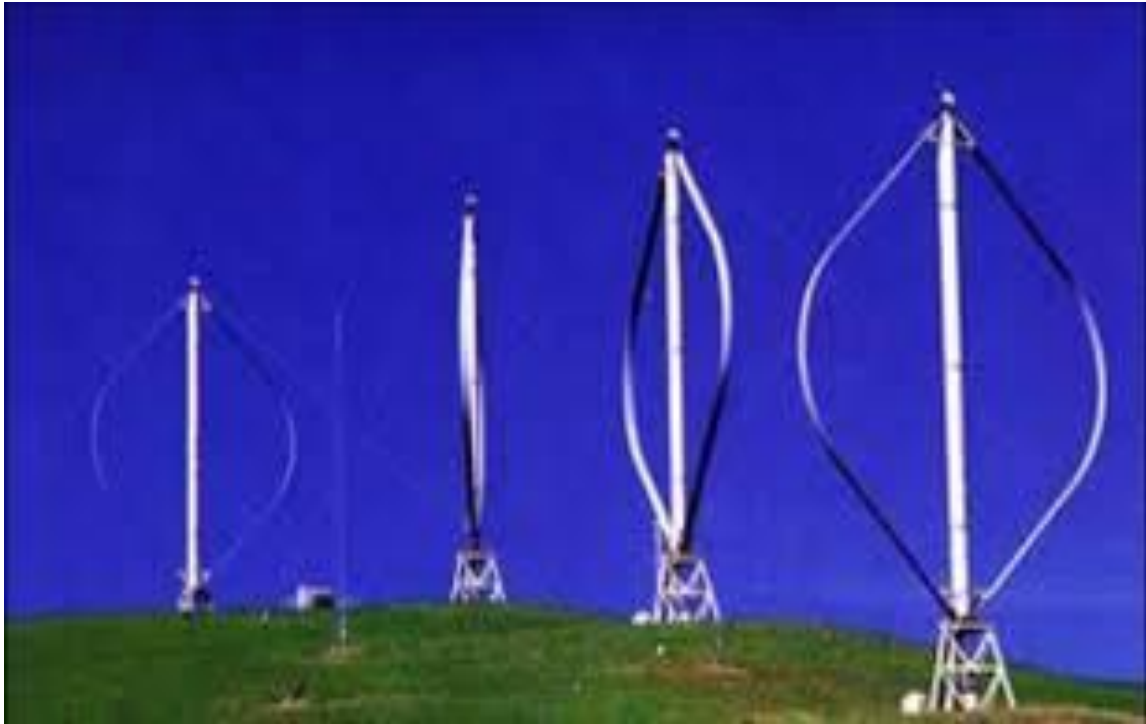
1.3.2 Ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα μπορούν να εκμεταλλευτούν τον άνεμο ανεξάρτητα από την κατεύθυνση του ανέμου και δεν υπάρχει η ανάγκη ρύθμισης του δρομέα με αλλαγή της κατεύθυνσης του ανέμου. Οι ανεμογεννήτριες αυτές περιστρέφονται γύρω από έναν κάθετο άξονα προς την κατεύθυνση του ανέμου. Το παραγόμενο μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα στο έδαφος όπου εγκαθίσταται η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα που αναπτύχθηκαν είναι του τύπου Savonius και Darrieus. Η διαφορά αυτών των δύο εκτός από τον σχεδιασμό τους είναι ότι η Savonius ξεκινάει πιο εύκολα και δεν είναι τόσο αποδοτική ενώ η Darrieus δεν ξεκινάει τόσο εύκολα αλλά είναι πολύ αποδοτική. Γι αυτό έχουν κατασκευαστεί ανεμογεννήτριες που είναι συνδυασμός και των δύο τύπων, έτσι ώστε με την Savonius να έχουμε εύκολη εκκίνηση και με την Darrieus τα υπόλοιπα που αναφέραμε παραπάνω. Υπάρχουν επίσης πολλές ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, αλλά όλες βασίζονται στη λογική των Savonius και Darrieus απλά γίνονται μετατροπές στον σχεδιασμό τους. Γενικά πάντως τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της ανεμογεννήτριας κάθετου άξονα είναι τα εξής :



Ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα.



Αιολικό πάρκο με ανεμογεννήτριες καθέτου άξονα.

Πλεονεκτήματα

- Εκμεταλλεύεται τον άνεμο από όλες τις διευθύνσεις.
- Η γεννήτρια και το κιβώτιο ταχυτήτων είναι τοποθετημένο στην βάση και έτσι είναι πιο εύκολη η τοποθέτηση και η συντήρηση αυτών των μηχανικών μερών.
- Παράγει λιγότερο θόρυβο.
- Μπορεί να τοποθετηθεί σε περισσότερα μέρη λόγω του μεγέθους (όπως μέσα στην πόλη, στις ταράτσες, σε αυτοκινητόδρομους).
- Η κατασκευή της είναι πιο απλή και χαμηλότερου κόστους.

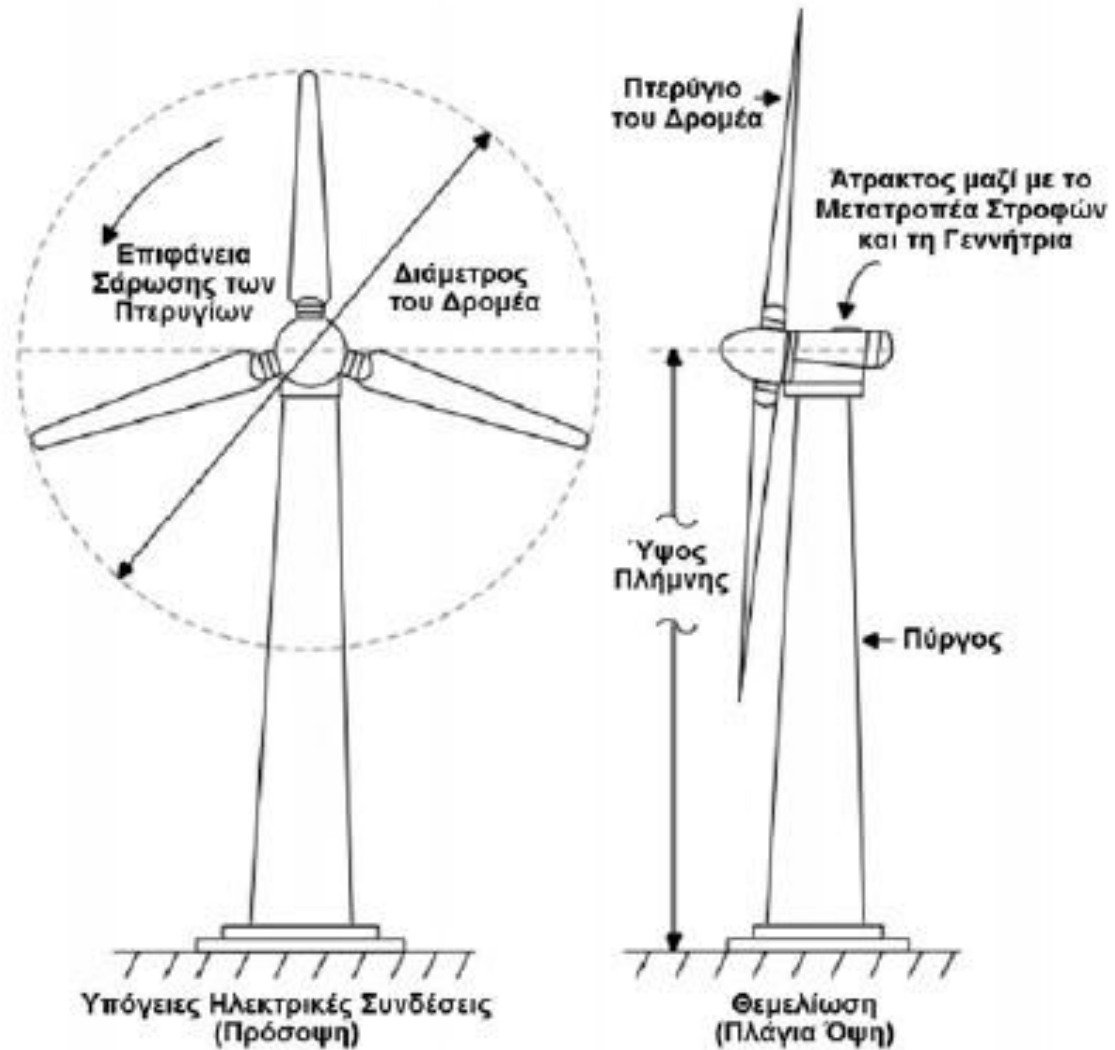
Μειονεκτήματα

- Χαμηλή απόδοση.
- Ροπή εκκίνησης υψηλή που σημαίνει χαμηλή ταχύτητα περιστροφής.
- Λόγω του μικρού μεγέθους δεν μπορεί να εκμεταλλευτεί ανέμους υψηλών ταχυτήτων.
- Υπάρχει δυσκολία συντήρησης σε κάποια μηχανικά μέρη, για παράδειγμα η αλλαγή των εδράνων κύλισης.

1.4. Περιγραφή υποσυστημάτων γεννήτριας οριζοντίου άξονα

Μια ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από 4 βασικά υποσυστήματα:

1. Τον δρομέα, συνήθως αποτελούμενο από δύο ή τρία πτερύγια, μια πλήμνη μέσω της οποίας συνδέονται τα πτερύγια με τον χαμηλής ταχύτητας κινητήριο άξονα και, μερικές φορές, υδραυλικά ή μηχανικά οδηγούμενα συστήματα συνδέσμων για τη μεταβολή του βήματος του συνόλου ή μέρους των πτερυγίων.
2. Την άτρακτο, η οποία γενικά περιλαμβάνει ένα μετατροπέα στροφών και μια γεννήτρια, άξονες και συνδέσμους, ένα κάλυμμα για ολόκληρη την άτρακτο, και συχνά ένα μηχανικό δισκόφρενο και ένα σύστημα εκτροπής.
3. Τον πύργο και τη θεμελίωση που στηρίζει το δρομέα και το σύστημα μετάδοσης της κίνησης.
4. Τους ηλεκτρικούς ελεγκτές και καλωδιώσεις, καθώς και τον εξοπλισμό εποπτείας και ελέγχου.



Η ακολουθία των συμβάντων κατά την παραγωγή και μεταφορά της αιολικής ισχύος από μια ανεμογεννήτρια μπορεί να συνοψιστεί ως εξής :

α. Καθώς ο άνεμος αλληλεπιδρά με τον δρομέα της ανεμογεννήτριας παράγεται μια ροπή.

β. Η σχετικά χαμηλή συχνότητα περιστροφής του δρομέα αυξάνεται μέσω ενός μετατροπέα στροφών, του οποίου ο άξονας εξόδου περιστρέφει μια γεννήτρια.

γ. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τη γεννήτρια διέρχεται μέσω του συστήματος ελέγχου και των αποζευκτών της ανεμογεννήτριας και ενισχύεται σε μια μέση τάση από το μετασχηματιστή.

δ. Το σύστημα καλωδίωσης της θέσης μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια στο μετασχηματιστή της θέσης μέσω του συστήματος

ελέγχου και αποζευκτών της θέσης, ο οποίος ενισχύει την τάση στην τιμή του δικτύου.

ε. Το δίκτυο ισχύος μεταβιβάζει τον ηλεκτρισμό στην περιοχή τελικής χρήσης του.

στ. Υποσταθμοί μετασχηματιστών μειώνουν την τάση στις οικιακές ή βιομηχανικές τιμές και τα τοπικά δίκτυα χαμηλής τάσης μεταβιβάζουν την ηλεκτρική ενέργεια στις οικίες, τα γραφεία και τα εργοστάσια.

2.1. Εισαγωγή στα αιολικά πάρκα

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

Η σημαντικότερη οικονομικά εφαρμογή των ανεμογεννητριών είναι η σύνδεση τους στο ηλεκτρικό δίκτυο μιας χώρας. Στην περίπτωση αυτή, ένα αιολικό πάρκο, δηλαδή μια αντιστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύει το σύνολο της παραγωγής του στο ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει βέβαια και η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, μηχανικής ενέργειας για χρήση σε αντλιοστάσια, καθώς και θερμότητας. Ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού τους, έχουν οι περιοχές με ικανοποιητικές μέσες ταχύτητες ανέμου. Σε χάρτη της παγκόσμιας μετεωρολογικής οργάνωσης έχει υπολογιστεί σε ύψος 10m από το έδαφος ότι επικρατούν άνεμοι με μέση ετήσια ταχύτητα πάνω από 5.1 m/sec στο 25% της επιφάνειας γης. Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής θεωρείται εκμεταλλεύσιμο ενεργειακά, όταν η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά την τιμή των 5.1 m/sec. Όμως όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του ανέμου τόσο περισσότερη είναι η παρεχόμενη (διαθέσιμη) ενέργεια, καθώς η ισχύς είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Επομένως είναι σημαντικό να γνωρίζουμε με όσο μεγαλύτερη ακρίβεια γίνεται το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής, έτσι ώστε με τον κατάλληλο και ορθό σχεδιασμό του αιολικού πάρκου να γίνεται η βέλτιστη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Ένα πάρκο ανεμογεννητριών, το οποίο σε ταχύτητα 8m/sec αποδίδει 1600KW, σε ταχύτητα 4m/sec αποδίδει μόνο 200KW. Σημαντικό ρόλο παίζει ο τόπος εγκατάστασης των ανεμογεννητριών. Η ύπαρξη ανωμαλιών του εδάφους, κτιρίων, δέντρων ή εμποδίων γενικά μπορεί να δημιουργήσει στροβιλισμούς και να μειώσει την αποδοτικότητα. Πριν

την επιλογή της περιοχής απαιτείται μελέτη στατιστικών μετεωρολογικών δεδομένων για τις κατευθύνσεις των κυρίαρχων ανέμων για περίοδο ενός χρόνου.

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

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



Αιολικό Πάρκο στην περιοχή της Πάτρας.

Τα αιολικά πάρκα ανάλογα με την περιοχή κατασκευής τους διαχωρίζονται ονομαστικά σε χερσαία, παράκτια και υπεράκτια.

Τα χερσαία αιολικά πάρκα είναι εγκατεστημένα σε χερσαίες περιοχές και απόσταση τουλάχιστον τριών χιλιομέτρων προς το εσωτερικό από την εγγύτερη ακτογραμμή. Κατασκευάζονται, κατά κανόνα, σε κορυφογραμμές μεγάλου υψομέτρου, λόγω των 54 ταχυτήτων ανέμων που επιτυγχάνονται εκεί. Χερσαία πάρκα, εντοπίζονται και σε πεδινές περιοχές, όπου έμφαση δίνεται στην αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού αιολικού δυναμικού. Όντας η ευρύτερα διαδεδομένη μορφή αιολικών πάρκων, λόγω της προγενέστερης ανάπτυξης τους, η τεχνολογία τους χαρακτηρίζεται αρκετά ώριμη και οικονομικά συμφέρουσα, χωρίς ωστόσο να εκλείπουν οι προβληματισμοί γύρω από την εγκατάστασή τους. Η κατασκευή πάρκων σε κορυφογραμμές οροσειρών αντιμετωπίζει το ζήτημα της μεταφοράς του εξοπλισμού στο σημείο τοποθέτησης, καθώς, πρόκειται για μηχανήματα μεγάλου όγκου και καλούνται να μεταφερθούν σε δύσβατες περιοχές, με ελλιπές οδικό δίκτυο. Το γεγονός αυτό προσαιξάνει το κόστος κατασκευής του πάρκου, ιδιαίτερα όταν απαιτείται διάνοιξη δρόμων. Επιπλέον, με αφορμή την περιβαλλοντική υποβάθμιση και την παρέμβαση στο φυσικό τοπίο, συχνά, προκαλούνται αντιδράσεις παρότι συνήθως πρόκειται για θαμνώδεις περιοχές περιορισμένου κάλους. Θετικό πάντως κρίνεται το γεγονός ότι οι περιοχές αυτές

σπάνια προσφέρονται για άλλες χρήσεις περιορίζοντας τις ενδεχόμενες συγκρούσεις. Αναφορικά με την εκμετάλλευση πεδινών περιοχών, το κόστος μεταφοράς και εγκατάστασης είναι περιορισμένο, ενώ το σύνθημα πρόβλημα σχετίζεται με τη σύγκρουση χρήσεων γης. Στις περισσότερες περιπτώσεις πρόκειται για πυκνοκατοικημένες περιοχές που προσφέρονται για την πραγματοποίηση ποικίλων δραστηριοτήτων (διανομή, αγροτική εκμετάλλευση). Βέβαια, έχει αποδειχθεί ότι τα αιολικά πάρκα είναι δυνατόν να συνυπάρξουν με τέτοιες χρήσεις, χωρίς ωστόσο να εκλείπουν οι αντιδράσεις.

Παράκτια αιολικά πάρκα. Πρόκειται για αιολικά πάρκα εγκατεστημένα σε απόσταση από την ακτογραμμή μικρότερη των τριών χιλιομέτρων προς το εσωτερικό ή μικρότερη των δέκα χιλιομέτρων προς τη θάλασσα. Το πλεονέκτημα τους έγκειται στους ισχυρούς ανέμους, που δημιουργούνται από τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ξηράς και θάλασσας. Τα παράκτια πάρκα που βρίσκονται εγκατεστημένα στη ξηρά θεωρούνται εξίσου διαδεδομένα και ώριμα με τα χερσαία καθώς χρησιμοποιούν όμοια τεχνολογία. Αντίθετα, τα παράκτια πάρκα εντός της θάλασσας, παρουσιάζουν δυσκολίες με των υπεράκτιων, αναφορικά με τη στήριξη των ανεμογεννητριών. Ωστόσο, τα βάθη κοντά στις ακτές παραμένουν συνήθως μικρά περιορίζοντας το πρόβλημα. Καθότι οι παράκτιες περιοχές συγκεντρώνουν μεγάλο μέρος πληθυσμού και χρήσεων γης, παγκοσμίως, τα παράκτια πάρκα αντιμετωπίζουν προβλήματα. Η αξία της γης των παραθαλάσσιων περιοχών είναι υψηλή, επιβαρύνοντας την επένδυση. Επιπλέον, αντιδράσεις παρουσιάζονται με αφορμή την υποβάθμιση του τουριστικού προϊόντος και την ασφάλεια των λουόμενων. Τέλος, οι εγκαταστάσεις εντός της θάλασσας, κατηγορούνται για παρεμπόδιση της αλιείας, υποβάθμιση της ποιότητας και ποσότητας του αλιευτικού προϊόντος και δυσκολίες στη ναυσιπλοΐα.



Παράκτιο Αιολικό Πάρκο.

Υπεράκτια αιολικά πάρκα. Υπεράκτια πάρκα αποκαλούνται εκείνα που βρίσκονται τοποθετημένα εντός της θάλασσας και σε απόσταση μεγαλύτερη των δέκα χιλιομέτρων από την ακτή. Αποτελούν την τελευταία εξέλιξη της χωροθέτησης της αιολικής ενέργειας, ενώ οι λεπτομέρειες της κατασκευής τους εξακολουθούν να μελετώνται. Η αρχική αιτία της εξέλιξης τους έγκειται στην προηγούμενη, σχεδόν πλήρη, κάλυψη των χερσαίων περιοχών που παρουσίασαν ενδιαφέρον. Το ζήτημα απασχόλησε πρωτίστως χώρες όπως η Γερμανία και η Ολλανδία και άλλες της Β. Ευρώπης που διέθεταν ήδη ιδιαίτερη ανάπτυξη στον αιολικό τομέα και μέσω υπεράκτιων πάρκων επιδίωξαν την επιπλέον επέκταση του κλάδου. Οι άφθονες και συνεχείς διαθέσιμες θαλάσσιες εκτάσεις δεν άργησαν να αποτελέσουν τον σύγχρονο στόχο της τεχνολογίας εκμεταλλεύσεως της αιολικής ενέργειας βέβαια, τα υπεράκτια πάρκα, πέραν της παραπάνω αναγκαιότητας τους, παρουσιάζουν μια σειρά προτερημάτων. Στις θαλάσσιες περιοχές, εξαιτίας της μικρής διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ θαλάσσιας επιφάνειας και ατμόσφαιρας, ο άνεμος είναι απαλλαγμένος από φαινόμενα τύρβης, ενώ η ταχύτητα του είναι μεγαλύτερη, συμβάλλοντας έως και 30% μεγαλύτερων αποδόσεων και περιορίζοντας την καταπόνηση των ανεμογεννητριών. Η ομοιομορφία καθ' ύψος, κατανομή των ταχυτήτων του ανέμου στην επιφάνεια της θάλασσας, περιορίζει την τραχύτητα της επιφάνειας, επιτρέποντας τη χρήση χαμηλότερων και πιο οικονομικών ανεμογεννητριών. Τέλος, με την εγκατάσταση πάρκων στη θάλασσα, σε αξιοσημείωτη απόσταση από τη ξηρά, περιορίζεται η επίδραση τους στο ανθρώπινο περιβάλλον και τις χρήσεις της ακτής. Ωστόσο, η εφαρμογή τους παρουσιάζει δυσκολίες τεχνικής και οικονομικής φύσης. Η μεταφορά, εγκατάσταση, ασφαλής στήριξη και συντήρηση των ανεμογεννητριών απαιτεί πολύπλοκες διαδικασίες υψηλού κόστους. Η διασύνδεση των

υπεράκτιων μηχανών με τα χερσαία συστήματα, προϋποθέτει ιδιαίτερες μελέτες κα χρήση πολύπλοκων μηχανισμών, προκειμένου να εξαιρεφθεί ο κίνδυνος. Τέλος, η εγκατάσταση τους προϋποθέτει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του πυθμένα, όπως τη διατήρηση μικρού βάθους σε ικανοποιητική απόσταση από την ακτή και την επίπεδη μορφολογία, χωρίς απότομες κλίσεις, χαρακτηριστικά που εκλείπουν από τις ελληνικές θαλάσσιες περιοχές. Σε ερευνητικό επίπεδο, εξετάζονται λύσεις των προβλημάτων αυτών, που εστιάζουν στα πλωτά αιολικά πάρκα, οι ανεμογεννήτριες τω οποίων στηρίζονται σε, αγκυρωμένες στον πυθμένα, πλατφόρμες.



Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο.



Υπεράκτιο Αιολικό Πάρκο.

Η διαδικασία συντήρησης τόσο των υπεράκτιων ανεμογεννητριών όσο και των χερσαίων ανεμογεννητριών απαιτεί τεχνογνωσία παρόμοια λόγω του ότι χρησιμοποιούν παρόμοιες συνιστώσες. Ωστόσο, οι συνιστώσες είναι συνήθως μεγαλύτερου μεγέθους στην περίπτωση των υπεράκτιων ανεμογεννητριών.

2.2. Κριτήρια επιλογής της περιοχής μελέτης του αιολικού πάρκου

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

- Εξασφάλιση κατάλληλης έκτασης γηπέδου εγκατάστασης, ανάλογης της επιθυμητής ονομαστικής ισχύος του αιολικού πάρκου και του μοντέλου της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας.
- Μορφολογία περιοχής εγκατάστασης (προσβασιμότητα, ήπιες κλίσεις κλπ)
- Δυνατότητα επίλυσης θεμάτων ιδιοκτησίας θέσης εγκατάστασης.

- Περιορισμός οχλήσεων και συμμόρφωση σύμφωνα με το χωροταξικό Α.Π.Ε. (περιοχές NATURA, οπτική, ακουστική όχληση κλπ)
- Διαθεσιμότητα καλού αιολικού δυναμικού.

2.3. Έκταση και μορφή του γηπέδου

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

2.3.1. Ιδιοκτησιακό περιοχής

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

2.3.2. Πως ορίζονται οι προστατευόμενες περιοχές

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

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

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

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

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

Η Ελλάδα στα πρώτα στάδια του θεσμού των προστατευόμενων περιοχών, ακολουθούσε την τότε επικρατούσα προσέγγιση της απόλυτης προστασίας φυσικών περιοχών, αποθαρρύνοντας τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

2.4. Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

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

2.4.1. Επιδράσεις στην ορνιθοπανίδα

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



Αεροφωτογραφία αιολικού πάρκου Άλταμοντ στην Καλιφόρνια.

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

- Επιπτώσεις στους πληθυσμούς πουλιών από τους θανάτους που προκαλούνται από τις ανεμογεννήτριες.
- Εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων στις προστατευόμενες περιοχές του δικτύου NATURA (Special Protected Areas) για τα ενδημικά είδη ορνιθοπανίδας.

Ο προβληματισμός των ειδικών για τη θανάτωση των πτηνών από ανεμογεννήτριες υπάρχει και στην Ευρώπη. Σημαντικές απώλειες πτηνών έχουν αναφερθεί στην περιοχή της Tarifa στην Ισπανία, ένα σημαντικό πέρασμα της πορείας μετανάστευσης πτηνών πέρα από τη Μεσόγειο.



Ανεμογεννήτριες στην περιοχή Tarifa της Ισπανίας.

Η ανάπτυξη της χρήσης της αιολικής ενέργειας μπορεί να έχει επιπτώσεις στα πτηνά με τους ακόλουθους τρόπους:

- Θνησιμότητα λόγω ηλεκτροπληξίας ή σύγκρουσης πτηνών με ανεμογεννήτρια.
- Επέμβαση σε περιοχές αναζήτησης τροφής.
- Επέμβαση σε πορείες μετανάστευσης πτηνών.
- Μείωση του υπάρχοντος βιοτόπου των πτηνών.
- Διαταραχή της αναπαραγωγής των πτηνών

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

- Προστασία των περιοχών από την ενδεχόμενη μεγαλύτερη απώλεια βιοτόπων.
- Πρόβλεψη περιοχών φωλιάσματος και θήρευσης.
- Παροχή και προστασία των φωλιών στους πυλώνες πύργων και στις βοηθητικές εγκαταστάσεις.
- Προστασία ή και επέκταση περιοχών θήρευσης των πτηνών.
- Προστασία από την άνευ διακρίσεως παρενόχληση.

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

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

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

2.4.2. Επιδράσεις στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες της περιοχής

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



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

2.5. Οπτική όχληση

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

- **Η θέση εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.**

Η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου για παράδειγμα σε μια πεδινή έκταση της κεντρικής Ευρώπης συνεπάγεται πολύ πιο περιορισμένο πεδίο οπτικής επαφής από το αντίστοιχο πεδίο οπτικής επαφής ενός άλλου αιολικού πάρκου, το οποίο έχει εγκατασταθεί σε μια κορυφογραμμή ενός νησιού του Αιγαίου. Από την άλλη μεριά, η οπτική αισθητική επίδραση μπορεί να θεωρηθεί περισσότερο έντονη σε περιπτώσεις εγκαταστάσεων ανεμογεννητριών μεγάλων διαστάσεων (άνω των 500 kW, ύψους πυλώνα άνω των 50 m, και διαμέτρου πτερωτής μεγαλύτερης των 40 m) σε σχετικά κλειστές περιοχές. Αντίθετα, η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου σε ανοικτές περιοχές δε φαίνεται να επηρεάζει αρνητικά την οπτική αισθητική της περιοχής.

- **Ο χαρακτήρας της θέσης εγκατάστασης του αιολικού πάρκου.**

Η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου σε μια κατάφυτη δασική περιοχή σαφώς θα προκαλέσει περισσότερο αρνητικές κριτικές, οι οποίες πιθανόν να συνδυαστούν από τις συνοδευόμενες επεμβάσεις στη δασική περιοχή που απαιτήθηκαν για την κατασκευή του έργου (αποψιλώσεις περιοχών, διανοίξεις δρόμων κλπ). Αντίθετα η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου σε μια βραχώδη και άγονη περιοχή, με περιορισμένη βλάστηση, πιθανώς δεν θα προκαλέσει καμία αρνητική αντίδραση.

- **Χαρακτηρισμός των πέριξ περιοχών.**

Η ύπαρξη τουριστικών καταλυμάτων σε περιοχές από τις οποίες ένα αιολικό πάρκο μπορεί να είναι ορατό πιθανόν να εντείνει τις αρνητικές αντιδράσεις για την εγκατάσταση του.

- **Η κανονική λειτουργία των ανεμογεννητριών.**

Όταν οι ανεμογεννήτριες περιστρέφονται το ανθρώπινο μάτι τις θεωρεί χρήσιμες με αποτέλεσμα να γίνεται ευκολότερα οπτικά αποδεκτές, καθώς φαίνεται να εξυπηρετούν κάποιο σκοπό. Αντίθετα, όταν σημαντικός αριθμός των ανεμογεννητριών ενός αιολικού πάρκου δεν δουλεύει ενώ πνέουν άνεμοι, η προσδοκία του παρατηρητή για την χρησιμότητά τους μειώνεται.

- **Ο τύπος της εγκατεστημένης ανεμογεννήτριας και ο χρωματισμός της.**

Γενικότερα έχει γίνει αποδεκτό ότι η χρησιμοποίηση απλών σωληνωτών πύργων σε χρωματισμό που συμφωνεί με το περιβάλλον φαίνεται να παρουσιάζει καλύτερη οπτική αποδοχή από τη χρησιμοποίηση δικτυωτού πύργου που θυμίζει πυλώνες μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υψηλής τάσης. Παράλληλα, η επίτευξη οπτικής ομοιομορφίας έχει αποδειχθεί ότι δεν διαταράζει την αρμονία της περιοχής. Η οπτική ομοιομορφία περιλαμβάνει ομοιότητα διαστάσεων δρομέα και υπερκατασκευής (όχι αναγκαστικά ίδιου τύπου μηχανές), καθώς και ύψος πύργου στήριξης. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες που διαθέτουν τρία πτερύγια δίνουν ένα αισθητικά αρμονικότερο αποτέλεσμα, ενώ ο χρωματισμός των πύργων στήριξης και των πτερυγίων διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην ομαλή ενσωμάτωση των μηχανών στον περιβάλλοντα χώρο, με επικρατέστερη επιλογή το λευκό χρώμα και σαν εναλλακτική λύση το γκρι. Τελευταία έχει υιοθετήσει η σταδιακή μετάβαση από το πράσινο χρώμα κοντά στο έδαφος στο λευκό.



Ανεμογεννήτριες με χρωματισμό σύμφωνα με το περιβάλλον.

- **Το μέγεθος της εγκατεστημένης ανεμογεννήτριας.**

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

2.6. Εκπομπές θορύβου

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

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

Ο **αεροδυναμικός θόρυβος** σχετίζεται με την ταχύτητα του πνέοντος ανέμου και την αεροδυναμική σχεδίαση του πτερυγίου. Ο αεροδυναμικός θόρυβος πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά το στάδιο του σχεδιασμού και της κατασκευής της μηχανής, ενώ αποτελείται από το θόρυβο περιστροφής και τον θόρυβο τύρβης.

Ο θόρυβος περιστροφής περιλαμβάνει όλους τους θορύβους που έχουν διακριτές συχνότητες και παράγονται σε πολλαπλάσιες αρμονικές της συχνότητας διέλευσης των πτερυγίων. Η στάθμη του θορύβου περιστροφής αυξάνεται με τη διάμετρο, τη μείωση του αριθμού των πτερυγίων, τη μεγαλύτερη ταχύτητα των ακροπτερυγίων και την αεροδυναμική φόρτιση των πτερυγίων.

Ο θόρυβος τύρβης συνδέεται με το στροβιλισμό στο χείλος εκφυγής των ακροπτερυγίων αλλά και με το γενικό πεδίο τύρβης πίσω από την πτερωτή. Για να μειωθεί ο θόρυβος τύρβης θα πρέπει να

ελαττωθεί η ταχύτητα των ακροπερυγίων, περιορίζοντας ταυτόχρονα την αποδιδόμενη αιολική ισχύ.

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

Ο **μηχανικός θόρυβος** προκαλείται από τα κινούμενα ηλεκτρομηχανολογικά μέρη της ανεμογεννήτριας. Κύριες πηγές είναι το κιβώτιο μετάδοσης, η ηλεκτρογεννήτρια και τα έδρανα στήριξης. Η αντιμετώπιση του μηχανικού θορύβου γίνεται είτε στην πηγή, είτε στη διαδρομή του. Ο μηχανικός θόρυβος στην πηγή μειώνεται είτε με επέμβαση στα στοιχεία που θορυβούν είτε με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Επίσης μπορεί να αντιμετωπιστεί και στη διαδρομή του χρησιμοποιώντας ηχομονωτικά πετάματα καθώς και αντικραδασμικά πέλματα στήριξης.

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

Για τον υπολογισμό της διάχυσης θορύβου από τις ανεμογεννήτριες έχουν αναπτυχθεί διάφορες μεθοδολογίες. Ακριβείς υπολογισμοί διάχυσης θορύβου μπορεί να απαιτούν ιδιαίτερους υπολογισμούς κατά τη νύχτα.

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

Ο θόρυβος των ανεμογεννητριών μπορεί να γίνει αντιληπτός μόνο κάτω από προϋποθέσεις. Σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ανέμου οι ανεμογεννήτριες δε λειτουργούν και δε παράγεται καθόλου

θόρυβος. Όταν πάλι ο άνεμος έχει ταχύτητα μεγαλύτερη από 8m/sec, ο θόρυβος των ανεμογεννητριών καλύπτεται από τον ίδιο τον άνεμο και όλους τους προκαλούμενους ήχους από αυτό (φύλλα δέντρων κλπ). Ο θόρυβος των ανεμογεννητριών μπορεί να γίνει αντιληπτός μόνο όταν επικρατούν άνεμοι ταχύτητας 3-8 m/sec . η διάχυση του θορύβου είναι μεγαλύτερη κατά την κατεύθυνση πνοής του ανέμου. Κατά τις άλλες διευθύνσεις, η διάχυση του θορύβου είναι σημαντικά ελαττωμένη.

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

2.7. Πρόσβαση περιοχής

Μια ακόμη σημαντική παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί πριν τη μελέτη ενός αιολικού πάρκου είναι να ελεγχθεί πόσο εύκολη είναι η πρόσβαση στην περιοχή, που περιλαμβάνει τους εξής παράγοντες:

- Οδικό δίκτυο.
- Λιμενικές εγκαταστάσεις.
- Υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι τρεις αυτοί παράμετροι είναι πολύ σημαντικοί για να μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμη η μελέτη του αιολικού πάρκου

3.1. Εισαγωγή

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

Η μέτρηση του αιολικού δυναμικού είναι το κρισιμότερο στάδιο στην ανάπτυξη κάθε εφαρμογής της αιολικής ενέργειας. Έχει στόχο τον προσδιορισμό των ανεμολογικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής υποψήφιας για εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή επιλογή θέσης ενός αιολικού πάρκου, καθώς και τη βέλτιστη διάταξη των ανεμογεννητριών σε αυτό.

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

3.2 . Χαρακτηριστικά του ανέμου

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

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

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

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

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

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.

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

3.3. Τύρβη και διάτμηση

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

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

Η μέθοδος του υπολογισμού της τύρβης γίνεται με βάση τη γνωστή θεωρία περί ανάπτυξης τυρβώδους ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Κριτήριο για την επιλογή των σχέσεων για τους υπολογισμούς υπήρξε η μορφή της κατανομής της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου. Η κατανομή της κλίσης αυτής στο χώρο, η οποία δίνεται από τη σχέση : $I = [1 / \ln(z/z_0)]$, είναι ένδειξη της κατανομής της παραγωγής και της απόσβεσης της τύρβης.

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

Η απλή αυτή σχέση παύει να ισχύει όταν η κατανομή της ταχύτητας χάνει τη λογαριθμική της μορφή και αυτό συμβαίνει σε μη ομογενή πεδία. Η εκτίμηση της κατανομής της τύρβης σε περιπτώσεις επιτάχυνσης της ροής πάνω από λόφους που παρουσιάζουν οξείες ακμές και τελειώνουν σε κρημνώδεις πλαγιές μπορεί να γίνει μόνο με προσομοίωση σε υπολογιστή μέσω κατάλληλου προγράμματος όπως το λογισμικό Wasp Engineering για παράδειγμα.

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 ανεμογεννήτριας) τότε αυτό είναι επικίνδυνο για τα φτερά της ανεμογεννήτριας καθώς υπάρχει πιθανότητα να χτυπήσουν στον πυλώνα και να καταστραφούν. Αρνητική διάτμηση είναι πιθανότερο να εμφανιστεί σε περιοχές με έντονη ορογραφία.

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

- **Επίδραση της ταχύτητας του εδάφους**

Είναι συνηθισμένο το φαινόμενο της μέτριας λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας αν και έχει εγκατασταθεί σε περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό. Στις περισσότερες από τις περιπτώσεις αυτές η ανεμογεννήτρια λειτουργεί σε έντονα μεταβαλλόμενο πεδίο ροής λόγω της υψηλής τύρβης της περιοχής. Η εμφάνιση της υψηλής τύρβης εξαρτάται εκτός από τις γενικές ατμοσφαιρικές συνθήκες, τόσο από την ύπαρξη μεμονωμένων κτιρίων ή άλλων εμποδίων όσο και από την τραχύτητα του εδάφους της περιοχής.

- **Επίδραση επιφανειακών εμποδίων**

Για τη σωστή αεροδυναμική συμπεριφορά μιας αιολικής μηχανής είναι σκόπιμο η πτερωτή της ανεμογεννήτριας να βρίσκεται εκτός του πεδίου επιρροής τυχόν επιφανειακών εμποδίων. Με τον τρόπο αυτό έχουμε μεγιστοποίηση της διαθέσιμης κινητικής ενέργειας του ανέμου, το πεδίο ροής είναι ελεύθερο στροβιλισμών και η τύρβη του ανέμου είναι η ελάχιστη δύναμη. Είναι συνεπώς σκόπιμο να εντοπίσουμε τις περιοχές επιρροής των κυριότερων επιφανειακών εμποδίων. Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής. Η διαμόρφωση του πεδίου ταχύτητας επηρεάζεται μεν από την τραχύτητα του εδάφους και τα επιφανειακά εμπόδια, πλην όμως μεγαλύτερη επίδραση έχουν οι εδαφολογικές ιδιομορφίες στην περιοχή της πιθανής θέσης εγκατάστασης μια αιολικής μηχανής. Για ακριβέστερες αναλύσεις απαιτείται η μελέτη του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής είτε υπό κλίμακα σε αεροδυναμική σήραγγα είτε με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων πλήρους ανάλυσης του πεδίου ροής. Η έννοια της λοφοσειράς λαμβάνεται κάθετη στη επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου. Το μέγιστο ύψος της λοφοσειράς δεν υπερβαίνει τα εξακόσια (600m) μέτρα, ενώ το πλάτος της είναι τουλάχιστον δεκαπλάσιο του ύψους της λοφοσειράς. Η ανάλυση μας βασίζεται στη υπόθεση ότι ο άνεμος περνάει επάνω από τη λοφοσειρά και δεν την παρακάμπει κινούμενος πλαγίως.

Βασιζόμενοι στους κλασσικούς νόμους της αεροδυναμικής υποηχητικών ταχυτήτων (π.χ. εξίσωση Bernoulli), μπορούμε να πούμε ότι η κορυφή της λοφοσειράς είναι μια πολύ καλή θέση

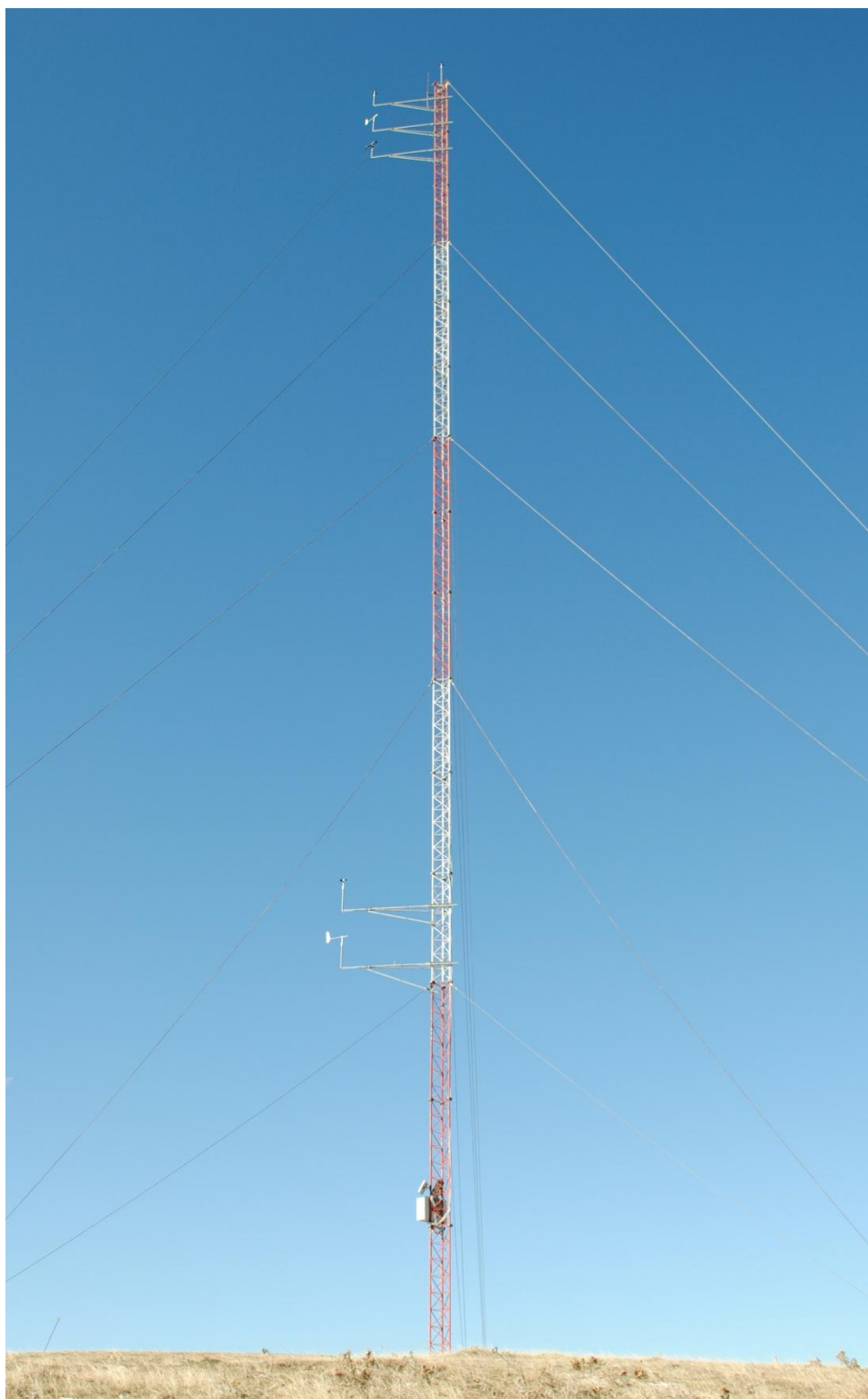
εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας, δεδομένης της συμπίεσης των γραμμών ροής, η οποία ισοδυναμεί με επιτάχυνση της αέριας δέσμης. Ένας πιθανός διπλασιασμός της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή της κορυφής ισοδυναμεί με οκταπλασιασμό της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου στην εν λόγω περιοχή. Συχνά είναι προτιμότερο να εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια λίγο πριν την κορυφή της λοφοσειράς, ώστε να αποφευχθούν αφενός αρνητικές κλίσεις της ταχύτητας που συνοδεύουν τυχόν αποκόλληση της ροής, αφετέρου περιοχές υψηλής τύρβης.

- **Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής**

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

3.5. Εγκατάσταση και περιγραφή ιστού

Τα δεδομένα που πάρθηκαν από τον ιστό, ο οποίος εγκαταστάθηκε στις 18/11/2011 παρουσιάζονται παρακάτω. Ο ιστός ήταν 45m και εγκαταστάθηκε σε υψόμετρο 1606m περίπου από την επιφάνεια της θάλασσας.



Μετεωρολογικός Ιστός ύψους 45m.

3.5.1. Ανεμόμετρο

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

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

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

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

3.5.2. Διευθυνσιόμετρο

Η διεύθυνση του ανέμου μετράται συνήθως με τη βοήθεια των αμενοδεικτών. Ο ανεμοδείκτης αποτελείται από έναν κατακόρυφο άξονα στο πάνω άκρο του οποίου περιστρέφεται ένας οριζόντιος άξονας με ένα ή δυο ελάσματα στο ένα άκρο του. Όταν η πίεση που ασκεί ο άνεμος εξισορροπηθεί και από τις δύο πλευρές του ελάσματος του ανεμοδείκτη, αυτός έχει στραφεί έτσι ώστε ο δείκτης του ανεμοδείκτη, που βρίσκεται και το αντίβαρο

εξισορρόπησης του ελάσματος, να διευθύνεται προς τη μεριά από την οποία φυσά ο άνεμος.

Ένας ακριβής ανεμοδείκτης έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- I. Περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονα του με ελάχιστες τριβές.
- II. Δεν παρουσιάζει τάσεις κλίσεως προς μια διεύθυνση, με την ακριβή αντιστάθμιση των ελασμάτων με τη χρήση αντίβαρου.
- III. Εμφανίζει τη μέγιστη ροπή στρέψης για δεδομένη αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με την αδράνεια του οργάνου.
- IV. Παρουσιάζει γρήγορη απόκριση στις διαρκείς διακυμάνσεις της διεύθυνσης του ανέμου.
- V. Παρουσιάζει επαρκή απόσβεση των τυχαίων ταλαντώσεων.

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

3.6. Το αιολικό δυναμικό της περιοχής

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

Οι μετρήσεις λαμβάνονται από μετεωρολογικούς ιστούς όπως προαναφέραμε οι οποίοι χωροθετούνται κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και κατά προτίμηση στην ψηλότερη κορυφή, έτσι ώστε να μην έχουμε παρεμπόδιση των ανέμων από ενδεχομένως υψηλότερες κορυφές. Ο σκοπός λοιπόν των μετρήσεων είναι να εκτιμηθεί το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό.

Για το λόγο αυτό μετρήθηκαν και υπολογίστηκαν οι τιμές :

- Της μέσης ταχύτητας ανέμου στο ύψος των 46.1m, 44.6m, 41.6m και 11.5m.
- Της διεύθυνσης ανέμου στα 43.1m και 10m.
- Της θερμοκρασίας του αέρα στα 45m.

- Της υγρασίας του αέρα στα 45m.
- Υπολογισμός της κατανομής των ταχυτήτων του ανέμου.
- Υπολογισμός των παραμέτρων κατανομής Weibull της ταχύτητας του ανέμου.
- Της έντασης τύρβης της ταχύτητας του ανέμου.
- Υπολογισμός και σχεδιασμός ροδογράμματος της ενέργειας του ανέμου.

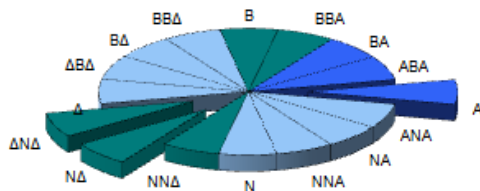
Τα παραπάνω υπολογίστηκαν με βάση τις μέσες τιμές των δεκαλέπτων.

Περίοδος μετρήσεων : Παρασκευή, 18 Νοέμβριος 2011 έως Σάββατο, 17 Νοέμβριος 2012

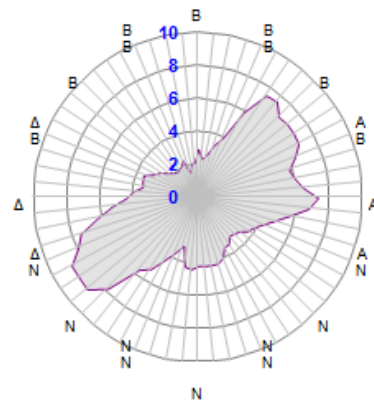
WindRose ver.3.89-5.93	
Μέση <u>ετήσια</u> ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 46.1μ.)	6.75 m/s (γενικός μ.ο.= 6.6 m/s)
Ένταση τύρβης (στα 15m/s)	11.9 %
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή 10λεπτού)	27.5 m/s (17/12/2011 07:30)
Μέγιστη ριπή ανέμου (στιγμιαία τιμή)	42.3 m/s (28/10/2012 02:10)
Συντελεστές κατανομής Weibull	
shape factor (k)	1.73
scale factor (C)	7.4 m/s
Σύνολο έγκυρων δεδομένων	43265
Αριθμός απνοιών (<2m/s)	3551 (8.2%)
Πληρότητα δεδομένων	82.1 %

Ενέργεια: κύρια διεύθυνση	ΔΝΔ 42.12 %
2η κύρια διεύθυνση	ΝΔ 17.60 %
Χρόνος: κύρια διεύθυνση	ΔΝΔ 29.00 %
2η κύρια διεύθυνση	A 16.77 %

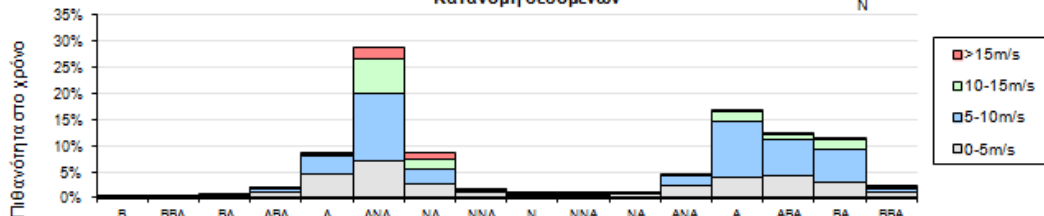
Κύριες διευθύνσεις



Μέση ταχύτητα ανέμου ανά διεύθυνση



Κατανομή δεδομένων



Η **μέση ταχύτητα** του ανέμου το χρονικό διάστημα 18/11/2011 – 17/11/2012 υπολογίστηκε **6.75 m/s** σε ύψος 46.1m agl.

Η **κύρια διεύθυνση** του ανέμου στα 46.1m για ολόκληρο το θεωρούμενο χρονικό διάστημα καλύπτει τους τομείς **ΔΝΔ** και **ΝΔ** ως προς την ενέργεια και **ΔΝΔ** και **Α** ως προς το χρόνο.

Η μέση τιμή της **έντασης της τύρβης** για ταχύτητα ανέμου m/s υπολογίστηκε **11.9%** στα 46.1m από την επιφάνεια του εδάφους.

Η διαθεσιμότητα του μετρητικού συστήματος για το χρονικό διάστημα 18/11/2011 – 17/11/2012 είναι **82.1%**.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διαθεσιμότητα που προέκυψε από τις μετρήσεις στα 46.1m με το ανεμόμετρο τύπου προπέλας, δηλαδή με το **YOYNG WIND MONITOR (Alpine)** ήταν 98.9% και η μέση ταχύτητα υπολογίστηκε **6.61m**

4.1. Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό αναφέρεται στο υπολογισμό της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου.

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

4.2. Ενεργειακή μελέτη αιολικού δυναμικού

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

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

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

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

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

- I. Το επιλυμένο πεδίο ροής του ανέμου στην περιοχή
- II. Το ροδόγραμμα του ανέμου
- III. Την καμπύλη ισχύος της Α/Γ
- IV. Τη μέση ετήσια θερμοκρασία στο επίπεδο της θάλασσας, καθώς και το μέσο υψόμετρο του γηπέδου ανάπτυξης του Α/Π
- V. Την καμπύλη του συντελεστή ώσης της Α/Γ
- VI. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της Α/Γ

Ο υπολογισμός της ετήσιας ενέργειας για κάθε Α/Γ λαμβάνει υπ' όψιν, με χρήση κατάλληλων αλγόριθμων, τα παρακάτω:

- I. Την επίδραση της τοπογραφίας και της εδαφοκάλυψη στο πεδίο ταχυτήτων του ανέμου
- II. Τη σκίαση, που προκαλείται σε κάθε Α/Γ από τις υπόλοιπες, για συγκεκριμένη χωροθέτηση
- III. Την πυκνότητα του αέρα

Η ετήσια παραγωγή ενέργειας περιλαμβάνει:

- I. Την αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά ανεμογεννήτρια
- II. Την αναμενόμενη ετήσια παραγωγή ενέργειας ανά κατεύθυνση του ανέμου, καθώς και την επίδραση της τοπογραφίας και της σκίασης σε αυτήν
- III. Τη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου σε κάθε θέση εγκατάστασης των Α/Γ καθώς και την παράμετρο κατανομής της κατανομής Weibull.

4.3. Κριτήριο επιλογής ανεμογεννήτριας

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

- I. Καμπύλη ισχύος κάθε τύπου Α/Γ
- II. Οι διαστάσεις της Α/Γ σε συνάρτηση με τη διαθέσιμη έκταση του γηπέδου εγκατάστασης και την επιθυμητή ισχύ του Α/Π
- III. Περιορισμοί περιβαλλοντικής και χωροταξικής φύσεως
- IV. Τεχνικά και κατασκευαστικά θέματα (π.χ. μεταφορά Α/Γ)

- V. Οικονομική προσφορά αγοράς και προγράμματος συντήρησης Α/Π από τον προμηθευτή των Α/Γ.

4.4. Χωροθέτηση αιολικού πάρκου

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

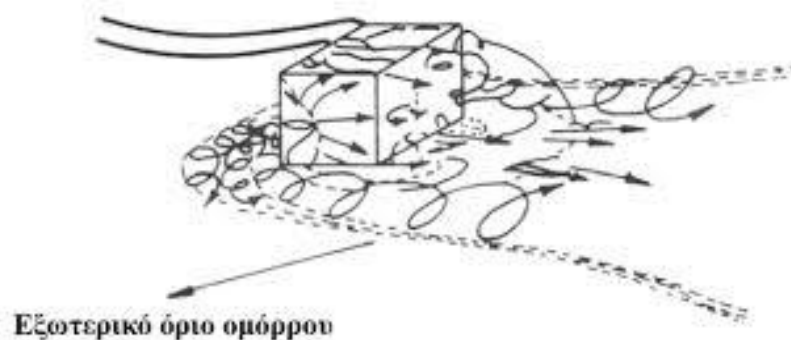
Η αιολική ισχύς μειώνεται από φυσικά ή τεχνητά εμπόδια, όπως δέντρα, κτήρια κλπ. Η επίδραση ενός εμποδίου που παρεμβάλλεται στη ροή του ανέμου στην αιολική ισχύ μπορεί να επεκταθεί καθ' ύψος έως δύο φορές το ύψος του εμποδίου και κατά μήκος έως είκοσι φορές το ύψος του εμποδίου κατά την κατεύθυνση πνοής του ανέμου (βλέπε σχήμα 1). Αν μια ανεμογεννήτρια βρίσκεται εντός της περιοχής στην οποία η ροή του ανέμου επηρεάζεται από ένα εμπόδιο, η διαθέσιμη προς αξιοποίηση αιολική ισχύς θα είναι μειωμένη, σε σχέση με την ισχύ του ανέμου πριν το εμπόδιο. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αεροδυναμική σκίαση ανεμογεννητριών, ή απλά σκίαση ανεμογεννητριών. Η περιοχή μειωμένης αιολικής ισχύος πίσω από το εμπόδιο ονομάζεται ομόρρος.



Σχήμα 1 : Η επίδραση ενός εμποδίου στη ροή του ανέμου.

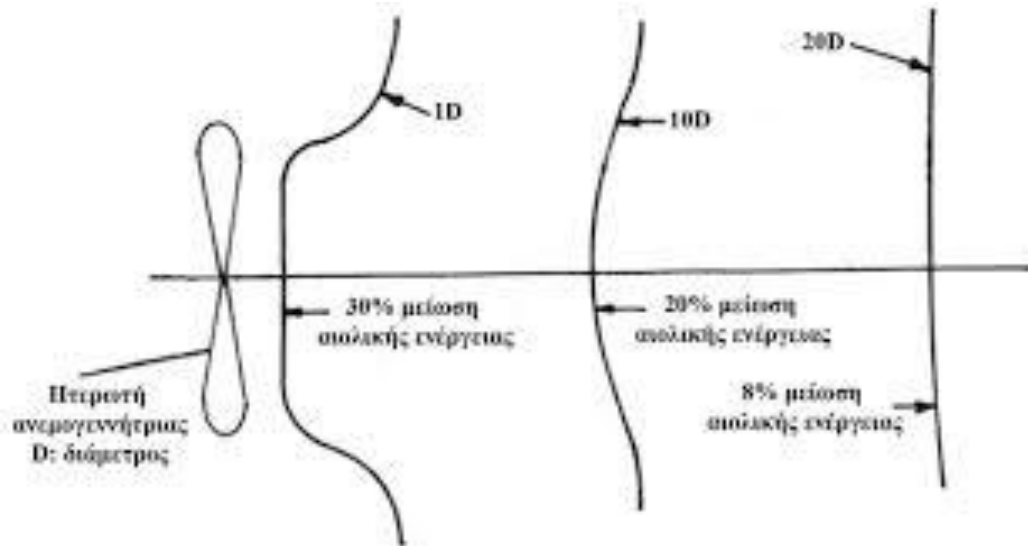
Εντός του ομόρρου ενός εμποδίου η ροή του ανέμου εμφανίζει υψηλή τύρβη και μειωμένη κινητική ενέργεια (βλέπε σχήμα 2).

Εκτός από τη μειωμένη αιολική ισχύ εντός του ομόρρου, η έντονη τυρβώδης ροή δύναται να προκαλέσει ισχυρή καταπόνηση λόγω κόπωσης στα φτερά μιας ανεμογεννήτριας, που μακροπρόθεσμα μπορεί να οδηγήσει σε μηχανική αστοχία. Η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών σε ένα αιολικό πάρκο, δηλαδή ο ακριβής καθορισμός των θέσεων εγκατάστασης των ανεμογεννητριών εντός των ορίων του γηπέδου εγκατάστασης του αιολικού πάρκου, θα πρέπει να εκτελεστεί λαμβάνοντας υπόψη όλα τα υφιστάμενα εμπόδια στην ευρύτερη περιοχή, ώστε να αποφευχθεί το φαινόμενο της σκίασης.



Σχήμα 2 : Η ανάπτυξη ομόρρου κατά τη ροή του ανέμου πίσω από ένα εμπόδιο.

Η αεροδυναμική σκίαση σε μια ανεμογεννήτρια μπορεί να προκύψει και από άλλες ανεμογεννήτριες του αιολικού πάρκου. Η πτερωτή μιας ανεμογεννήτριας δεσμεύει μέρος από την κινητική ενέργεια του πνέοντος ανέμου και τη μετατρέπει σε ηλεκτρική. Πίσω από την πτερωτή της ανεμογεννήτριας η κινητική ενέργεια του ανέμου εμφανίζεται μειωμένη κατά το 1/3 περίπου σε σχέση με αυτή μπροστά από την πτερωτή. Η περιοχή πίσω από την πτερωτή της ανεμογεννήτριας, στην οποία η κινητική ενέργεια του ανέμου είναι μειωμένη, ονομάζεται περιοχή σκίασης της ανεμογεννήτριας. Το πλάτος της περιοχής σκίασης μιας ανεμογεννήτριας αυξάνεται με την απόσταση από τη πτερωτή της ανεμογεννήτριας. Η ταχύτητα του ανέμου εντός της περιοχής σκίασης αυξάνεται σταδιακά επίσης με την απόσταση από την πτερωτή της ανεμογεννήτριας. Η κινητική ενέργεια του ανέμου αποκαθίσταται πλήρως σε απόσταση κατά την κατεύθυνση πνοής του ανέμου περίπου ίση με είκοσι φορές τη διάμετρο της πτερωτής (βλέπε σχήμα 3).



Σχήμα 3 : Η ανάπτυξη της περιοχής σκίασης μιας ανεμογεννήτριας πίσω από την πτερωτή και κατά την διεύθυνση πνοής του ανέμου.

Το ποσοστό της μείωσης της αιολικής ενέργειας που δέχεται μια ανεμογεννήτρια λόγω του ότι βρίσκεται εντός της περιοχής σκίασης μιας άλλης ανεμογεννήτριας ονομάζεται απώλειες σκίασης. Ένας συνολικός συντελεστής απωλειών σκίασης ίσος με 5% σε ένα αιολικό πάρκο σημαίνει ότι η συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το σύνολο των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου ισούται με το 95% της συνολικής παραγωγής των ανεμογεννητριών, που θα προέκυπτε αν δεν υπήρχε σκίαση μεταξύ των ανεμογεννητριών ή από εξωτερικά εμπόδια. Οι απώλειες σκίασης σε ένα αιολικό πάρκο εξαρτώνται από :

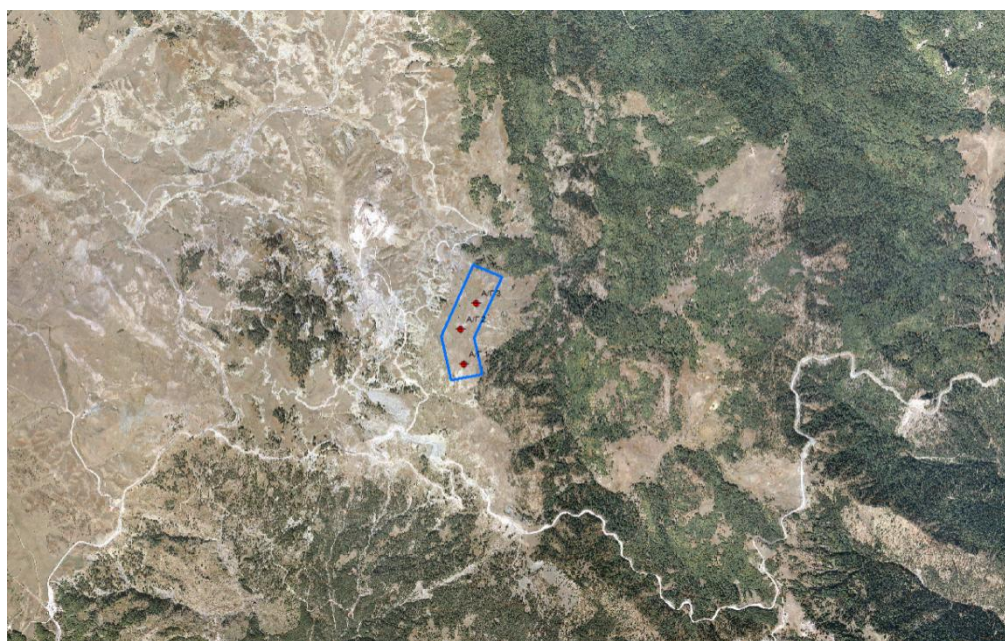
- Τις αποστάσεις μεταξύ των ανεμογεννητριών
- Τις σχετικές θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών
- Τις κύριες διευθύνσεις πνοής του ανέμου και τη συχνότητα με την οποία εμφανίζονται.

Η σωστή χωροθέτηση των ανεμογεννητριών σε ένα αιολικό πάρκο θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη τις ανωτέρω τρεις παραμέτρους και να στοχεύει στην ελαχιστοποίηση των απωλειών σκίασης σε όλες τις ανεμογεννήτριες και συνολικά στο αιολικό πάρκο. Πριν από τη χωροθέτηση των ανεμογεννητριών θα πρέπει πάνω στο χάρτη αιολικού δυναμικού να εντοπιστούν οι δυνητικές θέσεις εγκατάστασης των ανεμογεννητριών με το υψηλότερο αιολικό δυναμικό. Είναι προφανές ότι ανεξάρτητα από τη συνολική διαθέσιμη έκταση του γηπέδου του αιολικού πάρκου, οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται σε συγκεκριμένες θέσεις που εμφανίζουν ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό, κατά προτίμηση το υψηλότερο διαθέσιμο, ώστε να μεγιστοποιηθεί η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αυτές. Το κατώτατο αποδεκτό όριο αιολικού δυναμικού για εγκατάσταση ανεμογεννητριών καθορίζεται

με βάση τις προσδοκίες και τις απαιτήσεις του επενδυτή. Αφού καθοριστούν οι αποδεκτές θέσεις για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών εντός των ορίων του συνολικού διαθέσιμου γηπέδου εγκατάστασης, ξεκινά η χωροθέτηση των ανεμογεννητριών. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δυο ανεμογεννητριών χωροθετημένων σε άξονα παράλληλο με την κύρια κατεύθυνση πνοής του ανέμου θα πρέπει να καθορίζεται τουλάχιστον ίση με $2,5-3 D$, όπου D είναι η διάμετρος της πτερωτής των ανεμογεννητριών. Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο ανεμογεννητριών χωροθετημένων σε άξονα παράλληλο με την κύρια κατεύθυνση πνοής του ανέμου θα πρέπει να τηρείται τουλάχιστον ίση με $7 D$.

4.5. Χωροθέτηση ανεμογεννητριών αιολικού πάρκου

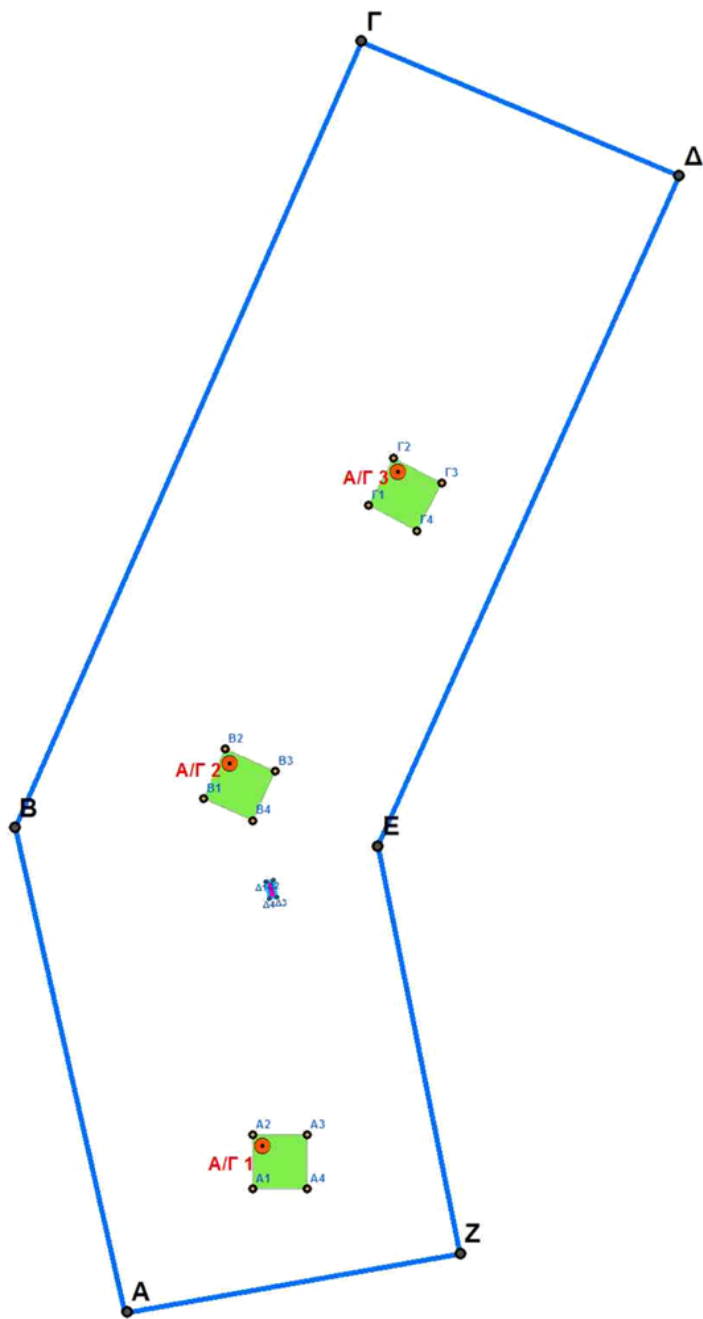
Γενικά, για την αποδοτική χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου θα πρέπει η ελάχιστη απόσταση μεταξύ των ανεμογεννητριών να είναι τουλάχιστον ίση με τρεις φορές τη διάμετρο της πτερωτής.



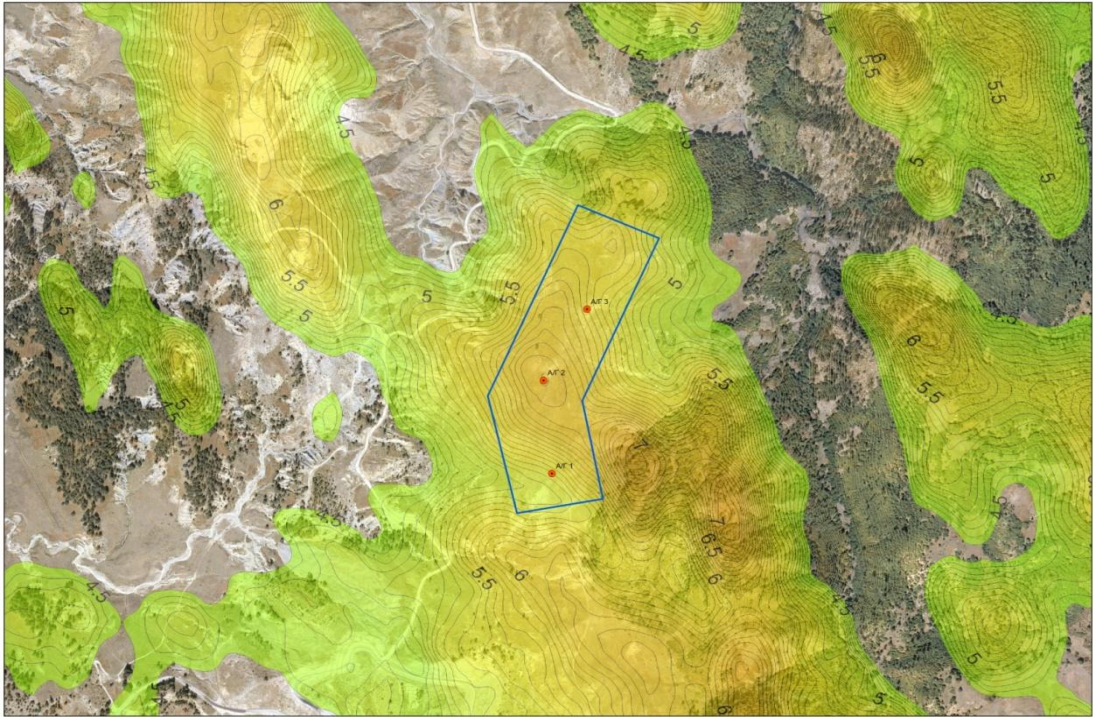
Ευρύτερη περιοχή εγκατάστασης. Πηγή ορθοφωτοχαρτών κτηματολόγιο Α.Ε. (το σχήμα άνευ κλίμακας).

Πολύγωνο εγκατάστασης Α/Π σε θέσεις Α/Γ

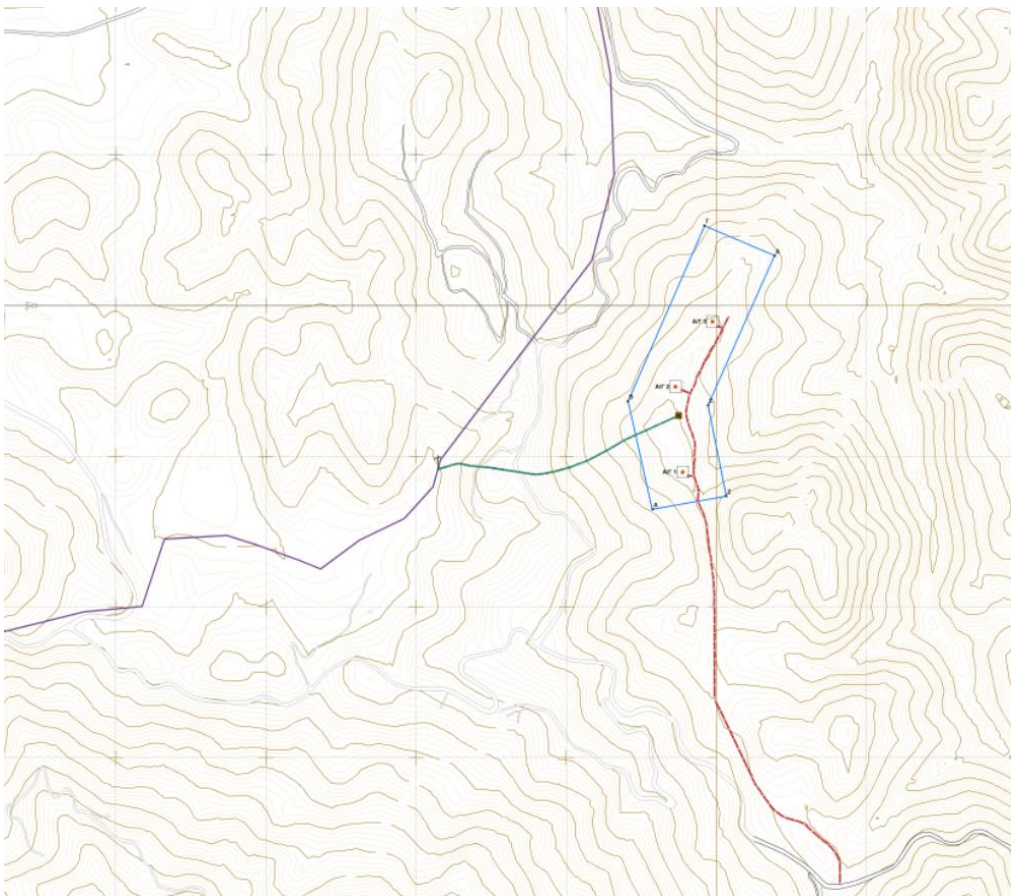
Για την εγκατάσταση των τριών ανεμογεννητριών, απαιτείται έκταση περίπου 231,777 τ.μ. (εμβαδόν πολυγώνου εγκατάστασης).



Σκαρίφημα του χώρου εγκατάστασης του Α/Π.



Οπτικοποίηση πεδίου ροής του ανέμου στα 50m agl – μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου για όλους τους τομείς διεύθυνσης



Ευρύτερη περιοχή εγκατάστασης (Απόσπασμα τοπογραφικού διαγράμματος 1:5,000 (το σχήμα άνευ κλίμακας).

4.6. Υπολογισμός ετήσιας παραγωγής ενέργειας

Η ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας του αιολικού πάρκου υπολογίζεται μέσω του προγράμματος Wasp. Ο υπολογισμός της ετήσιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας προϋποθέτει την επιλογή της ανεμογεννήτριας, τον αριθμό των προς εγκατάσταση ανεμογεννητριών, τη χωροθέτηση αυτών, με κριτήριο τη μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λαμβάνοντας υπόψη το αιολικό δυναμικό και τη σκίαση των ανεμογεννητριών. Η αναμενόμενη παραγωγή ενέργειας σε ένα διάστημα χρόνου T , εξαρτάται από τη στατιστική του ανέμου στο διάστημα T , τη χαρακτηριστική της ανεμογεννήτριας και τη διαθεσιμότητα της. Ο υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από ένα αιολικό πάρκο γίνεται σε ετήσια βάση. Με βάση τα διαθέσιμα δεδομένα, η ταχύτητα ανέμου θεωρείται σαν μια τυχαία μεταβλητή που ακολουθεί τη θεωρητική κατανομή Weibull με μέση τιμή V και παράμετρο μορφή k . Μετά τη χωροθέτηση του αιολικού πάρκου, η αναμενόμενη παραγωγή του υπολογίζεται σαν το άθροισμα της αναμενόμενης παραγωγής από κάθε ανεμογεννήτρια $EA/\Pi = \sum E_i$, όπου (E_i) η αναμενόμενη παραγωγή κάθε ανεμογεννήτριας.

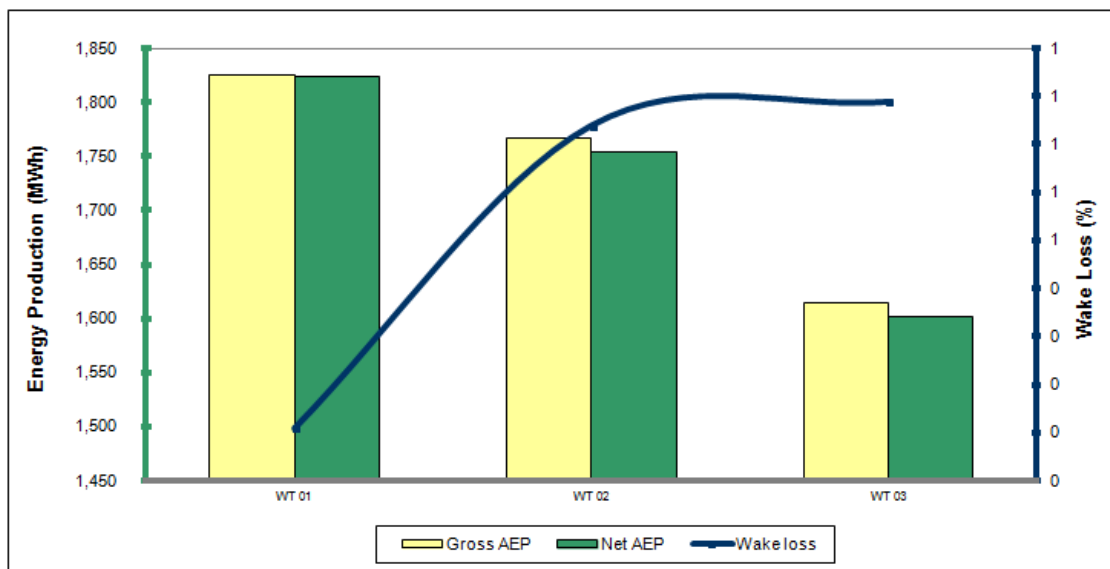
Ο Αιολικός Σταθμός θα αποτελείται από 3 ανεμογεννήτριες , Enercon E48 σύγχρονες, ονομαστικής ισχύος 0.8 MW οι οποίες θα λειτουργούν με περιορισμό ισχύος στα 733.33kW, ήτοι συνολικής εγκατεστημένης ισχύος 2.2 MW.

Site	Location [m]	Elevation [m a.s.l.]	Height [m a.g.l.]	A [m/s]	k	U [m/s]
WT 01		1605	50	7.5	1.59	6.69
WT 02		1600	50	7.3	1.69	6.55
WT 03		1580	50	7	1.71	6.26
AVERAGE		1595	50	7.27	1.66	6.50

Μέση τιμή και παράμετροι κατανομής Weibull για όλες τις θέσεις εγκατάστασης ανεμογεννητριών στο ύψος της πλήμνης της Α/Γ.

A/Γ	Elevation	Height	ρ	A	k	U	E	RIX	dRIX	Gross AEP	Net AEP	Wake loss	CF
	[m a.s.l.]	[m agl]	[kg/m ³]	[m/s]		[m/s]	[W/m ²]	[%]	[%]	[MWh]	[MWh]	[%]	[%]
01	1605	50	1.034	7.5	1.59	6.69	458	18.7	-1.1	1,825.68	1,823.65	0.11	28.39
02	1600			7.3	1.69	6.55	397	19.8	0.0	1,767.05	1,753.97	0.74	27.30
03	1580			7	1.71	6.26	342	20.3	0.5	1,613.80	1,601.05	0.79	24.92
A/Π	1595.0			-	-	6.50	-			5,206.534	5,178.670	0.55	26.9

Η αναμενόμενη ετήσια παραγωγή κάθε ανεμογεννήτριας και στο σύνολο τους.



Μεταβολή της ενεργειακής παραγωγής κάθε Α/Γ ENERCON E-48/733kW 1.034 kg/m³ του Α/Π.

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής παραγωγής του αιολικού πάρκου λαμβάνονται υπόψη η αβεβαιότητα των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου καθώς και η αβεβαιότητα στη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε ηλεκτρική.

Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω :

Αβεβαιότητα μετρήσεων	Η αβεβαιότητα μετρήσεων του αιολικού δυναμικού έχει υπολογιστεί 4.34%.
Μακροχρόνια Δεδομένα	Δεν υπήρχαν στοιχεία από ιστορικούς σταθμούς. Έτσι λαμβάνετε ένα 5% ως αβεβαιότητα

Έτσι με βάση τα παραπάνω η συνολική αβεβαιότητα των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου υπολογίζεται σε 6.62 %.
Για τον υπολογισμό της αβεβαιότητας της ενέργειας λαμβάνονται υπόψη τα παρακάτω :

Αβεβαιότητα Ενέργειας	15.3% προσεγγιστικά, όπως προκύπτει από το συσχετισμό της με την αβεβαιότητα της ταχύτητας του ανέμου.
Αβεβαιότητα Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους	Το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς προήλθε από ορθοφωτοχάρτες της GEODATA με βήμα 10m, οριζοντιογραφική ακρίβεια +/-1.2m και υψομετρική ακρίβεια +/-2m. Λαμβάνεται ένα 3% ως αβεβαιότητα.
Μοντέλο Προσομοίωσης	Για την προσομοίωση του πεδίου ροής χρησιμοποιήθηκε το υπολογιστικό πακέτο WASP . Έτσι λαμβάνετε ένα 5% ως αβεβαιότητα.
Καμπύλη Ισχύος Α/Γ	Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιήθηκε η Α/Γ ENERCON E-48/800kW με περιορισμό ισχύος στα 733.33kW που αρμόζει στο υπό εξέταση πάρκο και πυκνότητα 1.034kg/m ³ . Η τιμή αβεβαιότητας λαμβάνεται 1%, παρόλο που σύμφωνα με τον κατασκευαστή δίνεται 100% εγγύηση της καμπύλης ισχύος.

Έτσι, με βάση τα παραπάνω η συνολική αβεβαιότητα της παραγόμενης ενέργειας υπολογίζεται σε 16.41% και παρακάτω παρουσιάζεται η ενεργειακή παραγωγή του Α/Π προ απωλειών για 3 διαφορετικά επίπεδα εμπιστοσύνης P(50), P(75), P(90).

Για τον υπολογισμό της ετήσιας αναμενόμενης καθαρής παραγωγής θα πρέπει να συνυπολογίσουμε την τεχνική αβεβαιότητα της Α/Γ, τις ηλεκτρικές απώλειες (δίκτυο και μετασχηματιστής) καθώς και άλλες απώλειες οι οποίες σχετίζονται με τις ιδιαιτερότητες της εγκατάστασης (π.χ. εμφάνιση παγετού).

Πιο συγκεκριμένα, οι απώλειες που συνυπολογίζουμε είναι οι εξής :

- **Τεχνική διαθεσιμότητα:** Αναφέρεται στο ποσοστό του χρόνου που η Α/Γ δε θα είναι σε θέση να παράγει ενέργεια. Στην

περίπτωση της ENERCON E-48/800kW, οι απώλειες λόγω τεχνικής διαθεσιμότητας θεωρούνται 2%.

- **Ηλεκτρικές απώλειες:** Πρόκειται για απώλειες λόγω μεταφοράς της ισχύος μέσω των καλωδίων, μετασχηματιστών, υποσταθμού. Οι ηλεκτρικές απώλειες λαμβάνονται ως 1%.
- **Παγετός:** Οι απώλειες λόγω παγετού σχετίζονται με την ιδιαιτερότητα της τοποθεσίας. Βάσει των κλιματολογικών δεδομένων της περιοχής, το ποσοστό εμφάνισης παγετού για την ευρύτερη περιοχή ανέρχεται στο 2 % λαμβάνοντας υπόψη τα κλιματολογικά δεδομένα της περιοχής.
- **Υστέρηση Α/Γ:** Οι απώλειες λόγω υστέρησης Α/Γ προέρχονται από το γεγονός ότι, κατόπιν παύσης της Α/Γ μετά την ταχύτητα αποκοπής, η Α/Γ δε θα λειτουργήσει έως ότου η ταχύτητα ανέμου είναι μικρότερη ένα καθορισμένο επίπεδο ταχύτητας. Για το λόγο αυτό, θεωρούμε ένα ποσοστό 0.25% του χρόνου.
- **Άλλες απώλειες:** Για λοιπές απρόβλεπτες απώλειες θεωρούμε 0.5%.

Έτσι οι απώλειες φτάνουν στο 5.75% συνολικά σε ετήσια βάση. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα :

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΠΑΡΚΟΥ ΠΡΟ ΑΠΩΛΕΙΩΝ	kWh/year	5,178,670	4,605,490	4,089,609
Τεχνική Διαθεσιμότητα		98	98	98
Ηλεκτρικές Απώλειες		1	1	1
Παγετός		2	2	2
Υστέρηση Α/Γ		0.25	0.25	0.25
Άλλες Απώλειες		0.5	0.5	0.5
ΕΤΗΣΙΑ ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΗ ΚΑΘΑΡΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ	kWh/year	4,880,896	4,340,674	3,854,457
Ωρες Πλήρους Λειτουργίας	h/year	2,218.6	1,979	1,752
Capacity Factor	%	25.33	22.52	20.00

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το Α/Π (3x ENERCON E-48/733.33kW/1.034kg/m³) θα παράγει 4,880,896 kWh ανά έτος με πιθανότητα υπέρβασης 50%.

5.1. Κατασκευή δρόμου προσπέλασης και εσωτερικής οδοποιίας Α/Π.

Οι προδιαγραφές του δρόμου πρόσβασης στο Α/Π όπως ορίζονται από την κατασκευάστρια εταιρεία των Α/Γ περιγράφονται παρακάτω :

- Ελάχιστο πλάτος δρόμου πρόσβασης 5m
- Μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση κατά τη διεύθυνση του δρόμου : 8,67%
- Μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση κατά την κάθετη διεύθυνση του δρόμου : έως 3,5%
- Μέση ακτίνα καμπυλότητας 25m
- Μέγιστη επιτρεπόμενη κλίση στη διεύθυνση του δρόμου και σε σημεία στροφής : 6%

5.2. Διαμόρφωση πλατειών Α/Π

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

Πιο συγκεκριμένα, απαιτείται γύρω από τη θέση της κάθε ανεμογεννήτριας η κατασκευή ενός πλήρως ισοπεδωμένου πλατώματος διαστάσεων 40m x 40m για την τοποθέτηση του πυλώνα, του θαλάμου και τη συναρμολόγηση των πτερυγίων στο έδαφος επί της πλήμνης, πριν την τελική ανέγερση και εγκατάσταση τους στην τελική θέση.

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

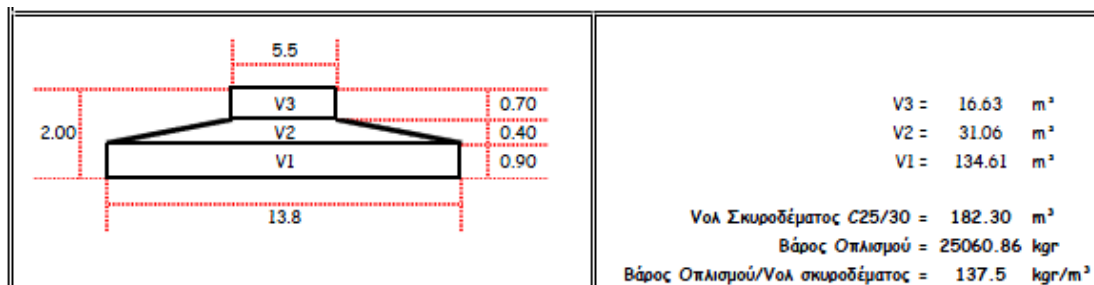
Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί εξομάλυνση της δημιουργηθείσας επιφάνειας και κατασκευή αποστρωτής στρώσης ώστε να προκύψει οριζόντια επιφάνεια, ενώ τέλος θα υλοποιηθεί τελική διάστρωση.

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

5.3. Κατασκευή βάσεων θεμελίωσης Α/Γ

Τα πρανή του σκάμματος κάθε βάσης θα έχουν κατάλληλες κλίσεις ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους και το δάπεδο του σκάμματος θα είναι εντελώς οριζόντιο. Η παρουσία ενός τοπογράφου μηχανικού εγγυάται την ακρίβεια των σταθμών και την οριζοντιοποίηση των πλατειών και των σκαμμάτων θεμελίωσης.

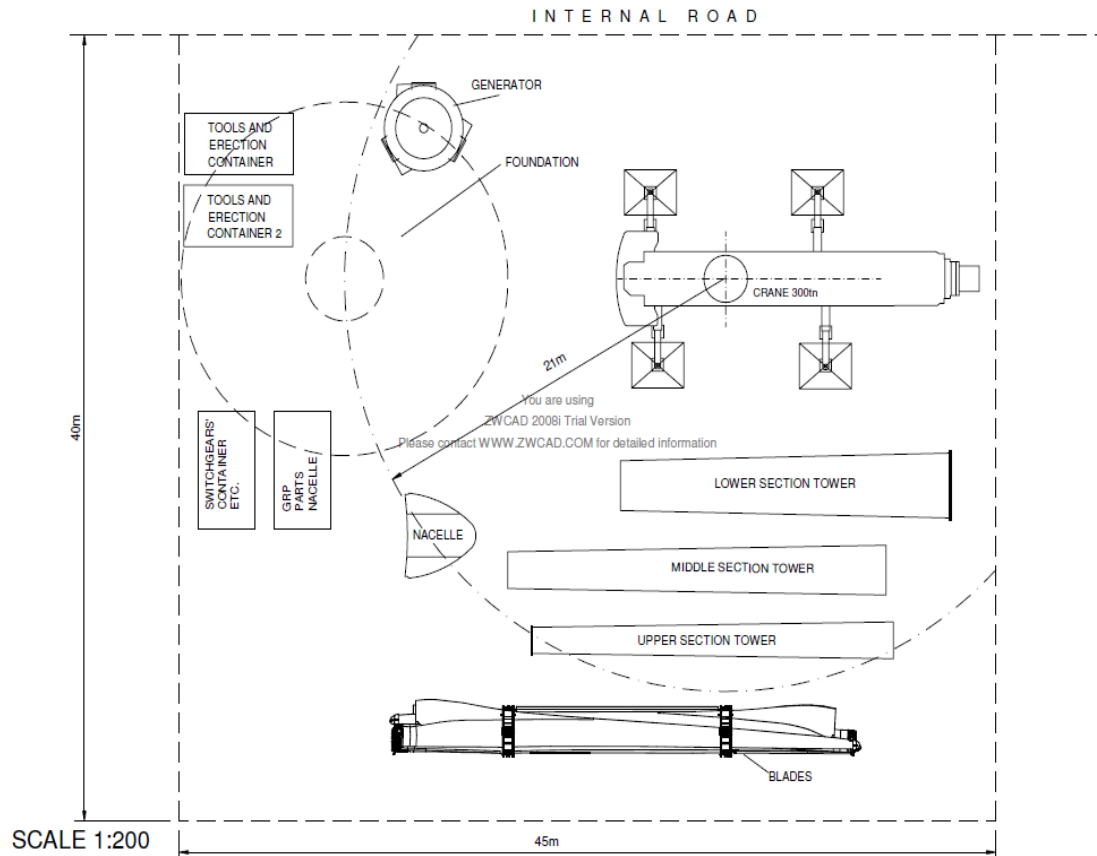
Οι βάσεις των πύργων στήριξης από οπλισμένο σκυρόδεμα των ανεμογεννητριών. Ο όγκος των σκαφών που θα πραγματοποιηθεί για κάθε βάση είναι $14.8 \text{ m} \times 2\text{m} \approx 343.9 \text{ m}^3$.



Σκαρίφημα θεμελίου Α/Γ E-48

5.4. Ανέγερση πύργου πλήμνης και πτερυγίων των Α/Γ

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



Σχεδιάγραμμα γηπέδου εγκατάστασης και βάσης ανεμογεννητριών.

5.5. Κατασκευή οικισμού ελέγχου και βοηθητικών χώρων

Σε στρατηγική θέση του αιολικού πάρκου θα ανεγερθεί οικισμός κατάλληλος για να στεγάσει το σύστημα ελέγχου, εποπτείας και μετρήσεων του αιολικού πάρκου, τους χώρους αποθήκευσης των απαραίτητων εργαλείων, αναλώσιμων και ανταλλακτικών, να παρέχει τις απαραίτητες διευκολύνσεις για την παραμονή των τεχνικών συντήρησης και λειτουργίας.

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

- Χώρος πινάκων μέσης τάσης
- Χώρος επισκευών
- Γραφείο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της λειτουργίας του αιολικού πάρκου, όπου θα εγκατασταθεί και ο κεντρικός ηλεκτρονικός υπολογιστής του συστήματος

- Αποθήκη για εργαλεία, ανταλλακτικά και αναλώσιμα, τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του αιολικού πάρκου
- W.C. και αποδυτήρια

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

Στο χώρο του κτηρίου θα υπάρχουν :

- Πεδία άφιξης καλωδίων μέσης τάσης της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών
- Πεδία αναχώρησης καλωδίων μέσης τάσης της κάθε ομάδας προς το σημείο του δικτύου μέσης τάσης της Δ.Ε.Η.
- Πεδία πινάκων μέσης τάσης του αιολικού πάρκου
- Υποσταθμός ΜΤ/ΧΤ με μετασχηματιστή τύπου λαδιού, χαμηλών απωλειών, για την τροφοδοσία των βοηθητικών κυκλωμάτων και καταναλώσεων του κτηρίου
- Μονάδα UPS (Uninterruptible Power Supply) για την τροφοδοσία των κρίσιμων φορτίων (π.χ. μονάδα Η/Υ, φώτα ασφαλείας κλπ)
- Πίνακες χαμηλής τάσης υπηρεσιών κτιρίου
- Συναγερμός

Στο κτίριο ελέγχου του αιολικού πάρκου θα εγκατασταθεί πλήρες σύστημα ελέγχου, εποπτείας και μετρήσεων σε κάθε ανεμογεννήτρια και κάθε μετεωρολογικό ιστό και το απαραίτητο εξειδικευμένο λογισμικό για τη λειτουργία του συστήματος ελέγχου και μετρήσεων.

5.6. Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός

Για να γίνει δυνατή η διασύνδεση της κάθε ανεμογεννήτριας με το εσωτερικό δίκτυο μέσης τάσης του αιολικού πάρκου χρησιμοποιούνται υποσταθμοί ΧΤ/ΜΣ, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στη βάση του πυλώνα κάθε ανεμογεννήτριας. η ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των ανεμογεννητριών αποτελείται από έναν κλάδο. Τα καλώδια μέσης τάσης θα συνδέουν την πλευρά του υποσταθμού της κάθε ανεμογεννήτριας (πίνακας εισόδου). Τα καλώδια μέσης τάσης 20kV για τη διασύνδεση της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών θα οδεύουν σε υπόγειο κανάλι μέσα σε πλαστικούς σωλήνες για

πρόσθετη μηχανική αντοχή και θα βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο σε απόσταση 20 cm περίπου μεταξύ τους.

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

5.7. Καλωδίωση πύργων των Α/Γ

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

5.8. Δίκτυο σύνδεσης Α/Γ

Η σύνδεση των Α/Γ θα γίνει με υπόγειο καλώδιο μέσης τάσης 20kV το οποίο θα είναι τύπου XLPE, 12/20 kV, κατά IEC 502. Τα καλώδια θα τοποθετηθούν υπογείως από βρόχους σε κανάλι όδευσης καλωδίων, διαστάσεων 0,60x1,0 m, σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Δ.Ε.Η. Ο Κεντρικός Πίνακας Ελέγχου Μέσης Τάσης, θα περιλαμβάνει κυψέλη εξόδου μέσης τάσης 20kV, από την οποία θα αναχωρεί καλώδιο προς της γραμμής Μ/Τ. Η κυψέλη εξόδου θα περιλαμβάνει και μονάδα προστασίας (Διακοπή Ισχύος), ελέγχου και μετρήσεων, με όλες τις απαιτούμενες προστασίες και μετρήσεις. Η βοηθητική τάση λειτουργίας των 400V, του Οικίσκου Ελέγχου, θα εξασφαλίζεται μέσω ενός Μ/Τα ελαίου ισχύος 20kV / 0.4kV.

5.9. Κατασκευή καναλιού καλωδίων

Παράλληλα με την κατασκευή των δρόμων πρέπει να γίνει η διάνοιξη ενός χαντακιού διαστάσεων 0,6m πλάτους και 1,0m βάθους, για τη τοποθέτηση καλωδίων σύνδεσης των ανεμογεννητριών υπόγεια. Στο δάπεδο του χαντακιού τοποθετείται άμμος πάχους 0,10-0,15 m. Μετά τοποθετούνται τα καλώδια και σκεπάζονται πάλι με άμμο πάχους 0,20 m. Ακολουθεί στρώση με τσιμεντόπλακες, ενώ στη συνέχεια ακολουθούν μια στρώση με χαλίκια 0,15 m πάχους και η τελική στρώση με προϊόντα εκσκαφής συμπυκνωμένα όπως παραπάνω. Τμήματα του χαντακιού που διακόπτονται από δρόμο ή εμπεριέχονται μέσα στις πλατείες πρέπει

να έχουν πρόσθετο βάθος 0,20 m. Οι τσιμεντόπλακες προστασίας που χρησιμοποιούνται στα τμήματα αυτά πρέπει να αντέχουν τα φορτία των διερχομένων οχημάτων.

5.10. Εγκατάσταση καλωδίων

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

Η οριζόντια απόσταση μεταξύ των καλωδίων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με δύο φορές τη διάμετρο των καλωδίων.

Η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των καλωδίων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τέσσερις φορές τη διάμετρο τους.

Πρέπει να τοποθετούνται σε οριζόντια διάταξη ακόμα και αν ο αριθμός των καλωδίων υπερβαίνει τα τρία.

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

Η επιτρεπόμενη ακτίνα κάμψης των καλωδίων δίνεται από τον πίνακα 8.1 συναρτήσει της εξωτερικής διαμέτρου του καλωδίου D .

ΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΛΩΔΙΟΥ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΑΚΤΙΝΑ ΚΑΜΨΗΣ
ΚΑΛΩΔΙΑ ΜΕΧΡΙ ΚΑΙ 1 KV	$D=10mm$	3XD
	$D=10$ Έως $25mm$	4XD
	$D>25 mm$	6XD
	Οπλισμένα	6XD
ΚΑΛΩΔΙΑ 1KV	Με πλαστική μόνωση και αγωγούς σχήματος κυκλικού τομέα.	8XD
ΚΑΛΩΔΙΑ 20KV	Μονοπολικά	20XD

	Τριπολικά άοπλα	15XD
	Τριπολικά οπλισμένα	12XD

Επιτρεπόμενη δύναμη έλξης καλωδίων

α. Έλξη των καλωδίων από τους αγωγούς.

Για τα μεν καλώδια με χάλκινους αγωγούς μπορούμε να θεωρήσουμε την επιτρεπόμενη δύναμη έλξης ίση με 50 Nt/mm² διατομής καλωδίου, για τα δε καλώδια με αγωγό από αλουμίνιο ίση με 30 Nt/mm².

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

Προστασία παράλληλων καλωδίων

Παράλληλα καλώδια χρησιμοποιούνται σε μεγάλα ρεύματα όπου απαιτούνται διατομές άνω των 150 mm². Η προστασία μπορεί να γίνει με ένα κοινό όργανο προστασίας ή με ένα επιμέρους όργανο.

Ακροδέκτες και μούφες

Αφού εγκατασταθεί το καλώδιο εφαρμόζονται οι ακροκεφαλές του και οι ακροδέκτες του. Οι ακροδέκτες συμπιέζονται με ειδικές χειροκίνητες ή υδραυλικές πρέσες ακροδεκτών. Δεν γίνεται συγκόλληση των ακροδεκτών σε καλώδια πλαστικά μέσης τάσης, γιατί υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί η μόνωση. Σε υπαίθριες εγκαταστάσεις θα χρησιμοποιηθούν στη μέση τάση ακροκεφαλές από πορσελάνη για εξωτερικούς χώρους ή από ρητίνες για εσωτερικούς ή και εξωτερικούς χώρους. Πρέπει να εξασφαλιστεί, ότι τόσο στους εσωτερικούς όσο και στους εξωτερικούς χώρους δεν μπαίνει υγρασία ή νερό στο καλώδιο από τον ακροδέκτη ή την ακροκεφαλή. Ακροκεφαλές από σιλικόνη ή πορσελάνη εφαρμόζονται πάνω στο καλώδιο αφού αφαιρεθεί ο μανδύας και καθαριστεί η μόνωση από το ημιαγωγό στρώμα. Ακροκεφαλές από ρητίνες χυτεύονται επί τόπου σε καλούπι που περιβάλλει το καλώδιο. Η στερεοποίηση τους επέρχεται σε 30 λεπτά έως μερικές ώρες. Συνήθως βρίσκονται στο εμπόριο σαν κατασκευαστικό σύνολο, KIT(ρητίνη, καταλύτης, καλούπι μιας χρήσης, ακροδέκτης).

Ζυγοί και μπάρες Μ.Τ.

Οι μονωτήρες στήριξης ή διέλευσης των ζυγών που θα χρησιμοποιηθούν είναι μονωτήρες εσωτερικού χώρου από εποξειδική ρητίνη. Οι διαστάσεις των ζυγών και των συνοδευτικών μπαρών πρέπει να αντέχουν στο ρεύμα συνεχούς φορτίου και των βραχυκυκλωμάτων. Οι μπάρες είναι χάλκινες με διαστάσεις τουλάχιστον 50x50mm². Οι συνδέσεις γίνονται με επικαδμιόμενους χαλύβδινους κοχλίες Μ10, κατηγορίας αντοχής 5,8.

Ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ καλωδίων

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

<i>Τάση λειτουργίας και δοκιμής για ελάχιστη απόσταση καλωδίων 215 mm.</i>	
<i>Ονομαστική Τάση (kV)</i>	<i>20</i>
<i>Μέγιστη συνεχώς επιτρεπόμενη τάση (kV)</i>	<i>24</i>
<i>Αντοχή σε εναλλασσόμενη τάση για 1min(kV)</i>	<i>50</i>
<i>Αντοχή σε κρουστική τάση γι 1,2 έως 5μsec (kV)</i>	<i>125</i>

5.11. Σύστημα Γείωσης

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

- Οδηγία διανομής Νο 119 ΩΕΩ/ΤΤΕ D-23
- Προδιαγραφή ASP Κ3/1988
- ΕΛΟΤ 1197/2002, και με τους διεθνείς κανονισμούς:
- 61936-1. First edition. 2002-10. Power installations exceeding 1kV a.c.-Part1
- IEC 62305-1. Protection against lightning – part1 : general principles. Edition 1.0,01/00/06.
- IEC 62305-3. Protection against lightning – part3 : physical damage to structures and life hazard. Edition 1.0, 01/00/06.
- IEC 62305-4. Protection against lightning – part4 : electrical and electronic systems within structures. Edition 06,04/30/08.
- IEC 61400-24, Wind turbine generator systems- part 24 : lightning protection. Edition 1.0, 07/00/02.

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

Σύστημα γείωσης Α/Γ

Σε κάθε Α/Γ θα τοποθετηθεί θεμελιακή γείωση, η οποία θα συνδεθεί με τον οπλισμό της βάσης έτσι, ώστε να δράσει σαν ισοδύναμο πλέγμα, κατά Φ.Ε.Κ. 8/1525/31-12-73. Το σύστημα της γείωσης αποτελείται ενδεικτικά από ένα ηλεκτρόδιο δακτυλίου και χάλκινα ηλεκτρόδια γείωσης. Τα πλεονεκτήματα που επιτυγχάνονται με αυτόν τον τρόπο είναι :

Γείωση λειτουργίας

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

Το σύστημα γείωσης εφαρμόζεται με τον ακόλουθο τρόπο:

- Το ηλεκτρόδιο δακτυλίου (50 mm² Cu) τοποθετείται σε απόσταση 1 μέτρου από τον πυλώνα σε βάθος 1 μέτρου.
- Το ηλεκτρόδιο δακτυλίου (50 mm² Cu) ενισχύεται με 2 χάλκινα ηλεκτρόδια γείωσης (ράβδοι 6 m (min. 016)), και τοποθετούνται σε 180° μεταξύ τους.

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

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

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

Αντικεραυνική προστασία

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

Σύστημα γείωσης στον οικίσκο ελέγχου

Στον οικίσκο ελέγχου (Υ/Σ του Α.Π) θα γίνει θεμελιακή γείωση, η οποία τοποθετείται μέσα στο σκυρόδεμα σε βάθος 1m και σε απόσταση από τους τοίχους 1 m (IEC 1024-1 clause 2.3.5 installation of the electrodes). Παράλληλα τοποθετείται και ισοδύναμο πλέγμα γείωσης με τετραγωνικά ανοίγματα πλάτους 0,7 m εντός του δαπέδου του Υ/Σ σε βάθος 5 cm έως 10cm, το οποίο ενισχύεται με 4 ηλεκτρόδια γείωσης στις κορυφές του.

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

Διαστάσεις αγωγού γείωσης – Αντίσταση γείωσης

Οι διαστάσεις των αγωγών γείωσης και γενικότερα ο τρόπος γείωσης θα είναι τέτοιος ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική τιμή αντίστασης γείωσης (1Ω). Όλες οι παραπάνω γειώσεις θα είναι διασυνδεδεμένες με υπόγειο χάλκινο επικασσιτερωμένο αγωγό, ο οποίος τοποθετείται

σε βάθος 0,6m και διατρέχει εντός του καναλιού διελεύσεως των καλωδίων σε όλο το μήκος του Α.Π. (κεντρικός αγωγός γείωσης). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ενίσχυση της γείωσης του Α/Π και ομογενοποίησή της. Η διατομή του αγωγού θα είναι τέτοια που θα αντέχει στο ονομαστικό βραχυκύκλωμα κατά IEC 60298.

Έλεγχος της γείωσης

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

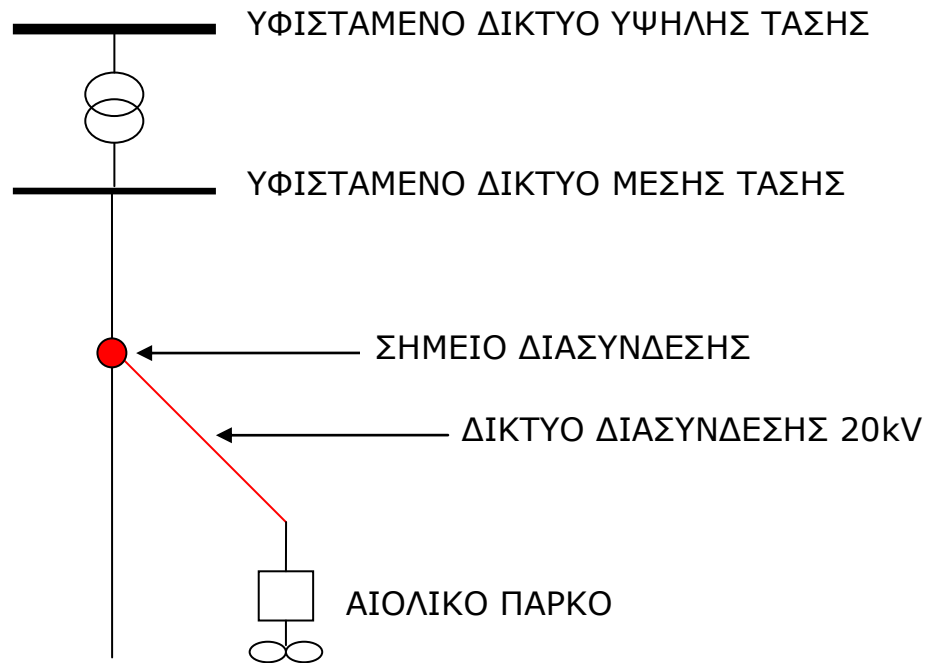
Γείωση του κυκλώματος ισχύος

Γείωση των καλωδίων ισχύος γίνεται, όπου εφαρμόζεται, με γειωτή που είναι επιθυμητό να έχει αντίστοιχη ικανότητα ζεύξης στο βραχυκύκλωμα κατά IEC 60129. Ο χειρισμός του γειωτή αυτού θα είναι μηχανικά μανδαλωμένος με το διακόπτη φορτίου ή τον αποζεύκτη. Δηλαδή ο χειρισμός του γειωτή θα είναι δυνατός μόνο όταν αντίστοιχος διακόπτης φορτίου ή ο αποζεύκτης είναι στη θέση «ΑΝΟΙΧΤΟΣ».

Η λειτουργία του γειωτή θα είναι εξαρτημένη χειροκίνητη.

5.12. Διασύνδεση με το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Το αιολικό πάρκο, πρόκειται να συνδεθεί, σύμφωνα με τους όρους σύνδεσης του ΔΕΣΜΗΕ (ΑΡ./ΗΜ./ΔΕΣΜΗΕ/10576/6.9.2010), με το υφιστάμενο δίκτυο διανομής ηλεκτρικού ρεύματος Μ.Τ. της Δ.Ε.Η. Η σύνδεση θα γίνει με εναέρια γραμμή, μήκους 0.9km περίπου, από τον χώρο Μέσης Τάσης του κτιρίου ελέγχου μέχρι τον τερματικό στύλο του υφιστάμενου δικτύου διανομής.



5.13. Φωτορεαλιστική Απεικόνιση

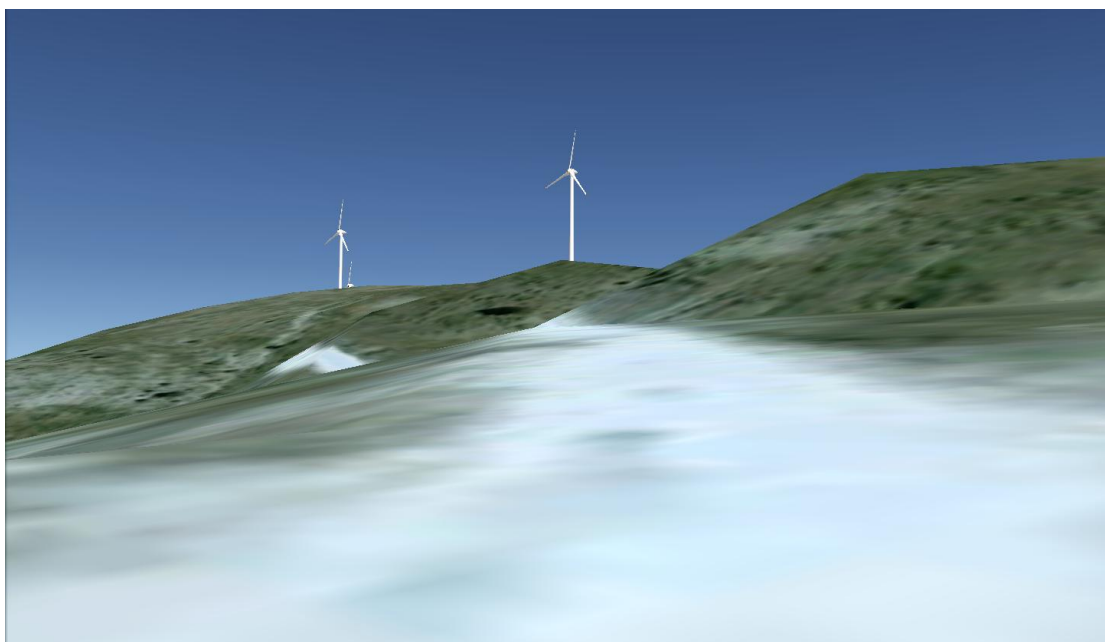
Παρουσιάζεται φωτογραφική αποτύπωση των θέσεων εγκατάστασης και φωτορεαλιστική απεικόνιση του οικοπέδου.



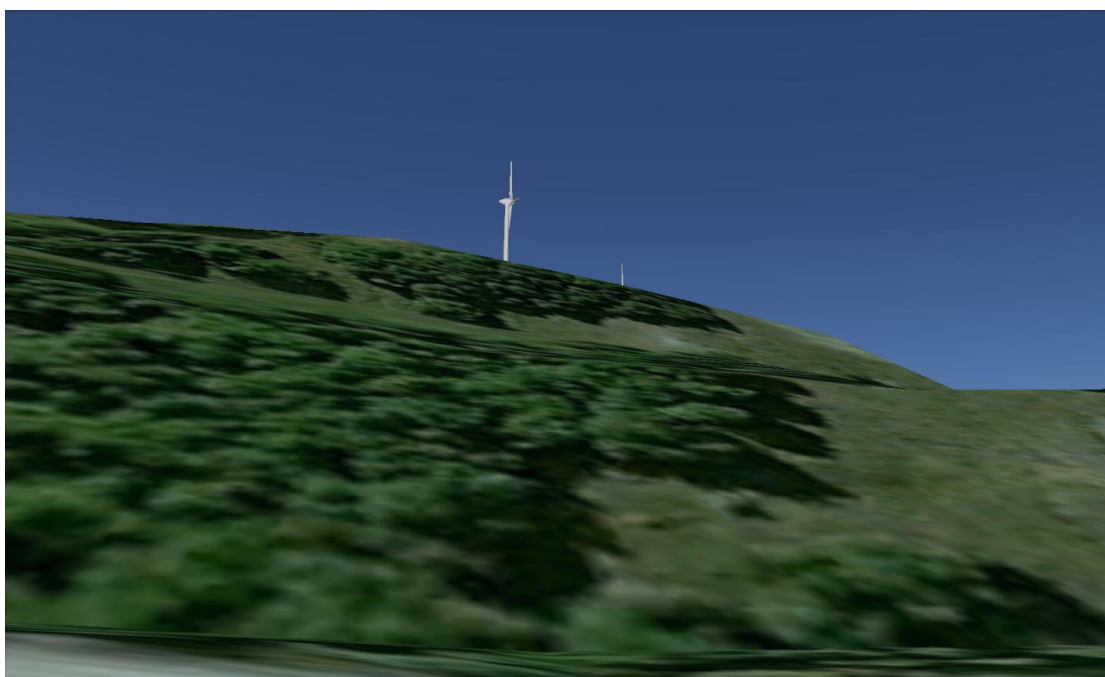
Άποψη της θέσης .



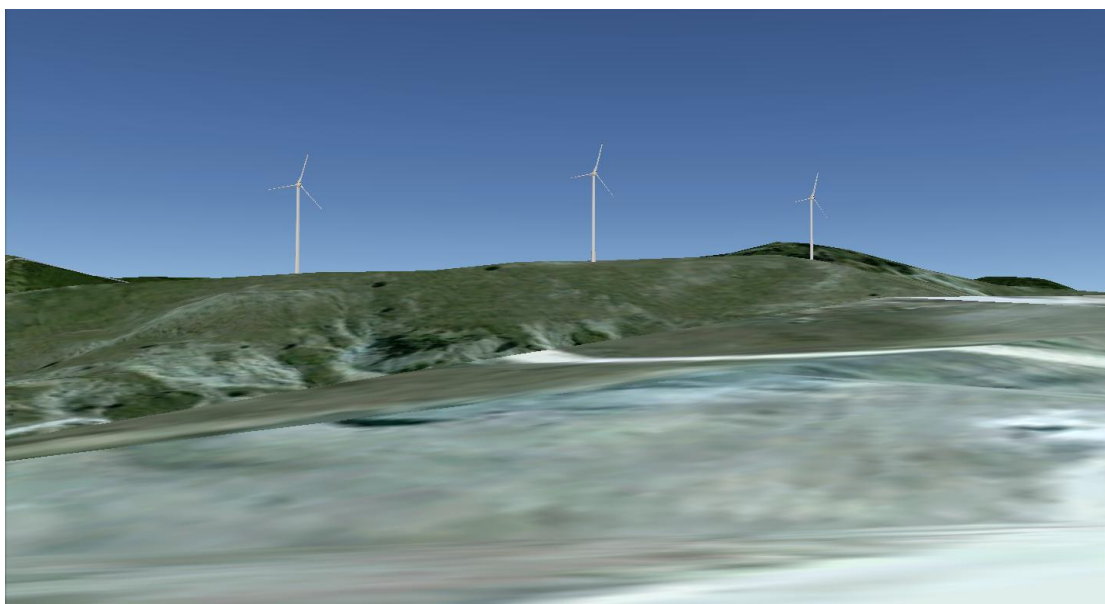
Άποψη της θέσης από την εθνική οδό .



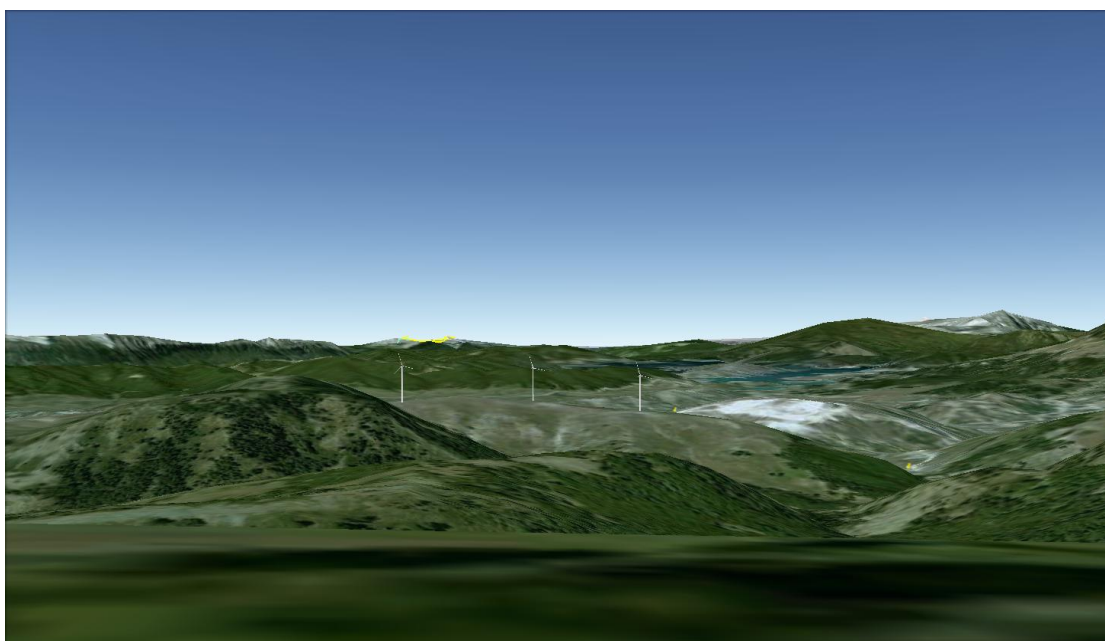
Φωτορεαλιστική άποψη του αιολικού πάρκου από τη θέση 1.



Φωτορεαλιστική άποψη του αιολικού πάρκου από τη θέση 2.



Φωτορεαλιστική άποψη του αιολικού πάρκου από τη θέση 3.



Φωτορεαλιστική άποψη του αιολικού πάρκου από τη θέση 4.

6.1. Κόστος επένδυσης

Το αρχικό κόστος επένδυσης ανέρχεται σε **2,706,882€** , το οποίο αναλύεται στον παρακάτω πίνακα.

ΘΕΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ	Ποσό (€)	%	€/kW
Έργα πολιτικού μηχανικού	265,382	9.8	110.6
Κόστος βασικού εξοπλισμού και εγκατάσταση Α/Γ	2,394,000	88.44	997.5
Διασύνδεση πάρκου με δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας	47,500	1.75	19.8

Αναλυτικότερα, ο εγκεκριμένος προϋπολογισμός της επένδυσης ανέρχεται σε **2,706,882.30€** , και η επιχορήγηση στο 35% του εγκεκριμένου προϋπολογισμού, δηλαδή, **947,408.80€** .

Ακόμη το επενδυτικό σχέδιο έχει λάβει και φορολογική απαλλαγή ίση με το 15% του εγκεκριμένου προϋπολογισμού, δηλαδή, **406,032.35€**.

6.2. Λειτουργικές χρηματικές εκροές – Ετήσιες Λειτουργικές Δαπάνες

Το συνολικό ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης του Α/Π προσδιορίζεται από τις εξής συνιστώσες :

- **Κόστος επισκευών και συντήρησης του αιολικού πάρκου**

Περιλαμβάνει τα έξοδα εργολαβικής συντήρησης των 3 ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου ως εξής :

Ετήσιο κόστος συντήρησης, αναλώσιμων και ανταλλακτικών

Για τα δύο πρώτα χρόνια λειτουργίας	- €/ΑΓ/έτος	- €
Για τα έτη 3 έως 20	21,000 €/ΑΓ/έτος	63,000 €

- **Ασφάλιση Εγκαταστάσεων**

Η ετήσια δαπάνη για την ασφάλιση των εγκαταστάσεων ανέρχεται στο ποσό των **1,000€** ανά ανεμογεννήτρια ετησίως και συνολικά για το Αιολικό Πάρκο στο ποσό των **3,000€** ετησίως.

- **Ετήσιες Διοικητικές Δαπάνες**

Οι ετήσιες διοικητικές δαπάνες της εταιρείας ανέρχονται στα **3,000€**

Το συνολικό ετήσιο κόστος λειτουργίας και συντήρησης του Α.Σ.Π.Η.Ε ανέρχεται στο ποσό των **6,000€** για τα δύο πρώτα έτη λειτουργίας και στο ποσό των **69,000€** για τα έτη 3 έως 20.

6.3. Λειτουργικές χρηματικές εισροές – Ετήσια έσοδα

Το σύνολο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τον αιολικό σταθμό θα διατίθεται αποκλειστικά από το εθνικό δίκτυο μεταφοράς. Με βάση τα ισχύοντα σημερινά τιμολόγια πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στο ηλεκτρικό δίκτυο, σύμφωνα με το Νόμο 3851/2010, ένας αιολικός σταθμός που είναι ανεξάρτητος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας και είναι διασυνδεδεμένος με το δίκτυο μεταφοράς στο διασυνδεδεμένο σύστημα εισπράττει για κάθε kWh που πωλεί :

0.08785€ / kWh

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η καθαρή ετήσια πωλούμενη ηλεκτρική ενέργεια από το Α.Σ.Π.Η.Ε. στον Διαχειριστή του Συστήματος θα είναι ίση με :

4,880,896€ kWh

Ως υπόθεση εργασίας, τα ποσοτικά στοιχεία παραγωγής - πωλήσεων του υπό αξιολόγηση αιολικού σταθμού θεωρούνται σταθερά σε όλη τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου.

Συνεπώς, με βάση την τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από τον αιολικό σταθμό και τις καθαρές ετήσιες πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας σε kWh, προκύπτουν τα προϋπολογιζόμενα ετήσια έσοδα σε σταθερές τιμές του πρώτου έτους λειτουργίας, που ανέρχονται στο ποσό των :

Σύνολο Εσόδων :428,787 €/ έτος

Τέλη υπέρ τοπικής αυτοδιοίκησης 3% = 12,864 € / έτος

Ετήσια Έσοδα : 415,923€

7.1. Εισαγωγή

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

7.2. Οικονομικά για τον Επενδυτή

Οι τιμές που προκύπτουν κρίνονται αρκετά ικανοποιητικές και υπερέχουν πολλών επενδύσεων ανάλογου ποσού. Είναι γεγονός ότι η ανέγερση ενός Α/Π θα αναβαθμίσει την γύρω περιοχή. Γενικά το αιολικό πάρκο μπορεί να κατασκευαστεί από τεχνικής πλευράς καθώς και να συντηρηθεί μιας και οι συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή κρίνονται ικανοποιητικές. Από όλα τα παραπάνω αλλά και από το σύνολο της παρούσας μελέτης βγαίνει το συμπέρασμα ότι η εγκατάσταση ενός Α/Π στην εξεταζόμενη θέση είναι μια συμφέρουσα επένδυση.

7.3. Περιβαλλοντικά και Αναπτυξιακά οφέλη για την περιοχή

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

- Συμβάλλουν στην τοπική απασχόληση
- Η λειτουργία του Α/Π προσφέρει ένα μόνιμο και σημαντικό ετήσιο έσοδο στους τοπικούς Δήμους.

7.4. Επίλογος – Συμπεράσματα

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

- Το αιολικό δυναμικό της προτεινόμενης περιοχής εγκατάστασης είναι υψηλό.
- Η περιοχή παρέχει αναπτυγμένο δίκτυο οδοποιίας, γεγονός που διευκολύνει πολύ τα έργα εγκατάστασης του αιολικού πάρκου και μειώνει τις σχετικές απαιτούμενες δαπάνες.
- Η αντίστοιχη επένδυση παρουσιάζει εξαιρετικούς οικονομικούς δείκτες.
- Το εξεταζόμενο έργο μπορεί να αποτελέσει μια σημαντική πηγή ενίσχυσης των τακτικών εσόδων του Δήμου και γενικά της περιοχής.

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

- Δημιουργία νέων μόνιμων θέσεων εργασίας ατόμων βασικής τεχνικής κατάρτισης.
- Αύξηση προστιθέμενης αξίας ευρύτερης περιοχής Δήμου.
- Εισροή νέας τεχνολογίας στην περιοχή, κίνητρα για δημιουργία θέσεων εργασίας που να την υποστηρίζουν, προοπτικές ίδρυσης νέων επιχειρήσεων.
- Συμβολή στην αύξηση του δυναμικού παραγωγής της χώρας.
- Συμβολή στην βελτίωση της εθνικής οικονομίας.
- Συμβολή στην εθνική απεξάρτηση από εισαγόμενες πρωτογενείς μορφές ενέργειας, στην επίτευξη μεγαλύτερης εθνικής ενεργειακής αυτονομίας.

7.5. Πως η τεχνολογία των ΑΠΕ συμβάλλει στην οικονομική ανάπτυξη

Η χρήση της τεχνολογίας των ΑΠΕ δημιουργεί ένα νέο κλάδο της οικονομίας, την πράσινη οικονομία ή green economy.

Η πράσινη οικονομία αφορά κάθε οικονομική δραστηριότητα, η οποία σχετίζεται με τη μείωση της χρεώσεως των ορυκτών καυσίμων, τη μείωση της μόλυνσης και των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου και της αύξησης της αποτελεσματικότητας της χρησιμοποιούμενης ενέργειας, την ανακύκλωση και υιοθέτηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Η δημιουργία της πράσινης οικονομίας και τα τεχνολογικά επιτεύγματα στο χώρο των ΑΠΕ πηγάζουν από τέσσερις κινητήριους παράγοντες :

- Την προστασία και τη βιωσιμότητα του περιβάλλοντος
- Την οικονομική ανάπτυξη και τη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας
- Την εθνική ασφάλεια
- Την ηθική υποχρέωση του ανθρώπου απέναντι στις επόμενες γενιές, οι οποίες θα κατοικήσουν τον πλανήτη.

Όπως γνωρίζουμε, η εκτεταμένη χρήση των ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή της ενέργειας, η οποία αποτελεί τη βάση του δυτικού πολιτισμού επεξετείνει το φαινόμενο του θερμοκηπίου, το οποίο μέχρι ένα σημείο είναι φυσικό για την ύπραξη της ζωής πάνω στη γη αλλά λόγω του διοξειδίου του άνθρακα και άλλων ρύπων, οι οποίοι εκπέμπονται από την καύση των ορυκτών καυσίμων το φαινόμενο

του θερμοκηπίου παίρνει μεγαλύτερες διαστάσεις, οι οποίες ξεπερνούν τα όρια του φυσιολογικού.

Τα προβλήματα που δημιουργούνται είναι πολλά και ένα από αυτά είναι η άνοδος της στάθμης των θαλασσών. Οι λόγοι που οδηγούν στο φαινόμενο αυτό είναι η διαστολή των υδάτων που επιφέρει η αύξηση της θερμοκρασίας και η τήξη των πάγων. Μία άνοδος της στάθμης κατά 50 έως 150 εκατοστά θα έχει όμως βαρύτερες συνέπειες, καθώς θα πλημμυρίσουν πολλές περιοχές που βρίσκονται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας, οι περισσότερες από τις οποίες είναι πυκνοκατοικημένες.

Ακόμη, η αύξηση του φαινομένου του θερμοκηπίου συμβάλλει στην εμφάνιση του φαινομένου του Ελ Νίνιο. Το φαινόμενο Ελ Νίνιο, δηλαδή η περιοδική αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειακών υδάτων στο κεντρικό και ανατολικό Ειρηνικό ωκεανό, συσχετίζεται από πολλούς επιστήμονες με την αύξηση της θερμοκρασίας. Επιπτώσεις του φαινομένου είναι ασυνήθιστοι άνεμοι, πλημμύρες, ξηρασία, ενώ αναφέρεται ότι επηρεάζει και τις καιρικές συνθήκες της Μεσογείου, και συγκεκριμένα συνδέεται με τις χαμηλές βροχοπτώσεις στην περιοχή.

Όλη αυτή η εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων έχει ως αποτέλεσμα μεγάλα ποσά, τα οποία ανέρχονται σε δισεκατομμύρια δολάρια το χρόνο να δαπανώνται είτε για την αποζημίωση των πληγέντων από πλημμύρες (η αποζημίωση παρέχεται είτε από τα ίδια τα κράτη είτε από ασφαλιστικές εταιρείες), είτε για την αποζημίωση των παραγωγών αγροτικών προϊόντων, των οποίων πλήττονται οι καλλιέργειες. Χαρακτηριστικό είναι ότι το 2004 από 4 τυφώνες στη Φλόριντα των ΗΠΑ οι ασφαλιστικές αποζημιώσεις στα θύματα ανέρχονται στα 22 δισεκατομμύρια δολάρια.

Επιπλέον, με την αύξηση της ξηρασίας και τη μείωση των βροχοπτώσεων θα παρατηρηθεί μείωση των διαθέσιμων αγροτικών προϊόντων με αποτέλεσμα εμφανίσεως επισιτιστικού προβλήματος μιας και οι διαθέσιμες ποσότητες θα είναι περιορισμένες αλλά και θα αυξηθούν οι τιμές λόγω της ζήτησης.

Επομένως, η χρήση των νέων τεχνολογιών ΑΠΕ, συμβάλλει στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη μείωση της χρήσεως των ορυκτών καυσίμων με αποτέλεσμα τον όσο τον δυνατόν βραδύτερη επέκταση πέρα από τα όρια του φυσιολογικού του φαινομένου του θερμοκηπίου. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο περιορισμός εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων, τα οποία θα είχαν ως δυσμενή συνέπεια τη δαπάνη δισεκατομμυρίων δολαρίων ετησίως για αποζημιώσεις και για την αναζήτηση βασικών ειδών τροφής, ενώ

θα μπορούσαν να χρησιμοποιήσουν οι κάτοικοι των χωρών της Αφρικής.

Πέρα από την προστασία του περιβάλλοντος, η οποία είναι μία θεμελιώδης αποστολή για τον σύγχρονο άνθρωπο η χρήση των νέων τεχνολογιών ΑΠΕ συμβάλλει στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

Οι νέες αυτές θέσεις εργασίας, οι οποίες αποκαλούνται και green jobs ή πράσινες θέσεις εργασίας είναι οι θέσεις αυτές οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα για παροχή προϊόντων και υπηρεσιών, χρησιμοποιώντας ΑΠΕ, μειώνοντας την μόλυνση και διαφυλάσσοντας την ενέργεια, τους φυσικούς πόρους και επαναχρησιμοποιούν τα αστικά απόβλητα, παράγοντας βιοαέριο.

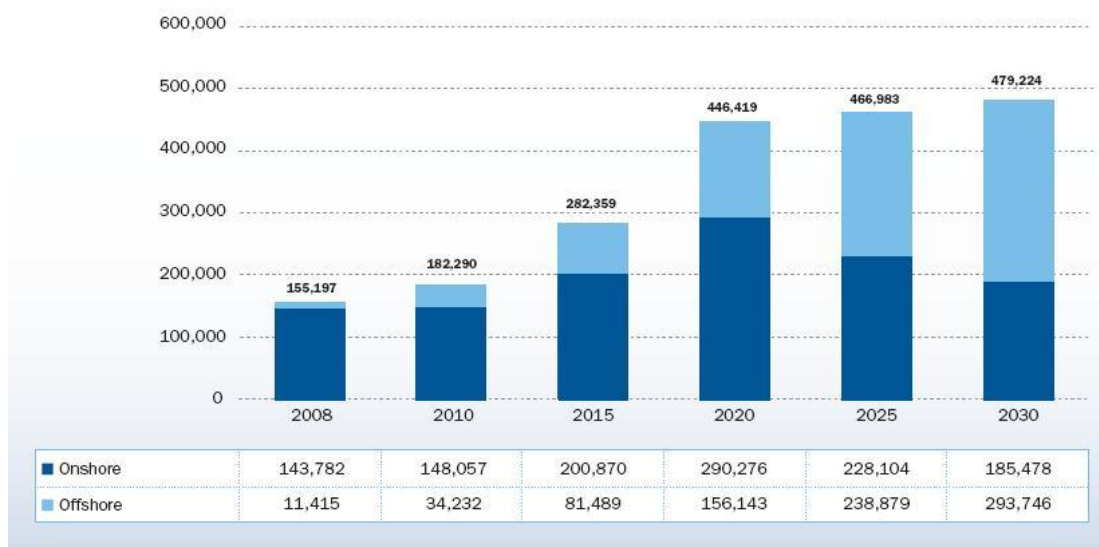
Το περιβαλλοντικό πρόγραμμα του ΟΗΕ επεκτείνει τον παραπάνω ορισμό συμπεριλαμβάνοντας ότι είναι και οι θέσεις εργασίας οι οποίες προστατεύουν τα οικοσυστήματα και την βιοποικιλότητα, μειώνουν την κατανάλωση ενέργειας, πρώτων υλών και νερού μέσα από υψηλής αποτελεσματικότητας στρατηγικές. Επίσης, μειώνουν και ελαχιστοποιούν τους κινητήριους παράγοντες της μόλυνσης του περιβάλλοντος.

Ακόμη, πρέπει να αναφέρουμε ότι οι πράσινες θέσεις εργασίας είναι θέσεις εργασίας οι οποίες παρέχουν ένα βιώσιμο μισθό και παρέχεται έτσι από την πράσινη οικονομία η δυνατότητα αντιμετώπισης όχι μόνο της κλιματικής κρίσης αλλά και της μείωσης της ανεργίας με αποτέλεσμα την αντιμετώπιση της φτώχειας και των ανισοτήτων.

Πιο συγκεκριμένα μόνο στον τομέα της αιολικής ενέργειας απασχολούνται στην Ευρώπη 192000 άτομα. Μεταξύ των ετών 2002 έως και το 2007 αυξήθηκε η άμεση απασχόληση στον τομέα της αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη κατά 125% και κατά μέσο όρο δημιουργήθηκαν 33 νέες θέσεις εργασίας κάθε ημέρα, για 7 ημέρες την εβδομάδα. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή στην πράσινη οικονομία θα δημιουργηθούν 2,8 εκατομμύρια νέες θέσεις εργασίας σε όλη την Ευρώπη έως το 2020.

Στον παρακάτω πίνακα της EWEA φαίνεται η εξέλιξη της απασχόλησης στην αιολική ενέργεια για τις χώρες της ΕΕ.

Wind energy sector employment (2008-2030)



Source: EWEA

Έτσι, συμπεραίνουμε ότι η χρήση των τεχνολογιών των ΑΠΕ συμβάλλουν και στη μείωση της ανεργίας, με αποτέλεσμα τη μείωση της φτώχειας, των κοινωνικών ανισοτήτων και όλων των άλλων παρενεργειών (όπως εγκληματικότητα) οι οποίες εφορμούν εξαιτίας της ανεργίας.

Αναφέραμε παραπάνω ότι η χρήση τεχνολογιών των ΑΠΕ βοηθούν στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα λόγω της υποκατάστασης της χρήσεως των ορυκτών καυσίμων. Για να γίνει αυτή η υποκατάσταση, πράξη, υπογράφηκε από σχεδόν όλα τα κράτη το πρωτόκολλο του Κιότο σύμφωνα με το οποίο τα κράτη δεσμεύονται να προχωρήσουν είτε στη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων είτε στην ελεγχόμενη αύξηση τους.

Σε περίπτωση που υπάρχει περιβάλλουσα εκπομπή των ρύπων πάνω από τα συγκεκριμένα όρια η κάθε βιομηχανία της χώρας, που εκπέμπει περισσότερους ρύπους θα πληρώνει πρόστιμο ή θα πρέπει να καταφύγει στο χρηματιστήριο ρύπων για να αγοράσει δικαιώματα ρύπων.

Η χώρα μας έχει πιέσει και έχει πετύχει να της επιτραπεί αύξηση των ρύπων κατά 25% σε σχέση με το 1990, με βάση το πρωτόκολλο του Κιότο. Όμως αν η Ελλάδα εκ πρώτης όψεως έχει μεγάλα περιθώρια, οι ρυθμοί κάλυψης τους θα έχουν ήδη υπερβεί. Υπολογίζεται μάλιστα ότι η αύξηση των ρύπων του 2010 ήταν της τάξης του 38% σε σχέση με το 1990.

Για την εξέλιξη αυτή το ελληνικό γραφείο Greenpeace εκτιμά ότι το βαλάντιο μιας τριμελούς οικογένειας θα επιβαρυνθεί ετησίως σε πέντε χρόνια με 450 ευρώ (ακριβό σενάριο 1.500.000.000 ευρώ) και με 140 ευρώ (φθηνό σενάριο) αντιστοίχως, από την μετακύληση του κόστους της αγοράς των εκπεμπόμενων ρύπων από τις ενεργοβόρες βιομηχανίες.

Επομένως, η χρήση των τεχνολογιών ΑΠΕ βοηθά στη μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων με αποτέλεσμα και οι ελληνικές επιχειρήσεις να μη κληθούν να αγοράσουν περισσότερα δικαιώματα ρύπων τη στιγμή που ο ρύπος είναι χρηματιστηριακό προϊόν και ενέχονται κίνδυνοι κερδοσκοπίας αλλά και οι Έλληνες καταναλωτές δεν θα κληθούν να πληρώσουν ακριβότερα προϊόντα. Βέβαια, σε περίπτωση που αυξηθεί το κόστος παραγωγής των προϊόντων λόγω της αγοράς δικαιωμάτων ρύπων τα προϊόντα αυτά δε θα είναι ανταγωνιστικά για εξαγωγές και θα κινδυνεύουν ίσως να υποκατασταθούν από εισαγωγές προϊόντων άλλων χωρών.

Επιπλέον, η χρήση των τεχνολογιών είναι η μηχανή για την ανάπτυξη κάθε οικονομίας. Έτσι, η χρήση των τεχνολογιών των ΑΠΕ αποτελεί για τις χώρες οι οποίες και παράγουν τα συστατικά μέρη ενός αιολικού πάρκου και τα εγκαθιστούν στη χώρα τους πηγή οικονομικής ανάπτυξης γιατί αποκτούν και διαθέτουν την τεχνογνωσία ανάπτυξης καταλλήλων και αποτελεσματικών Α/Γ, τις οποίες μπορούν να εξαγουν σε άλλες χώρες οι οποίες δεν έχουν την απαραίτητη τεχνογνωσία και τα εργοστάσια για την παραγωγή τους. Έτσι, η χρήση των ΑΠΕ συμμετέχει σημαντικά στο ΑΕΠ αυτών των χωρών.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι αυτά της Αυστρίας, της Γερμανίας, της Ισπανίας και της Δανίας.

Ειδικότερα, οι αυστριακοί προμηθευτές ειδικεύονται στα συστήματα ελέγχου των ανεμογεννητριών, στα υλικά των πτερυγίων και στο σχεδιασμό των ανεμογεννητριών. Το έτος 2008 ο συνολικός τζίρος αυτών των βιομηχανιών αυξήθηκε κατά 25% στα 300*10⁶ ευρώ, ο Αυστριακός σύνδεσμος αιολικής ενέργειας υπολογίζει ότι περίπου 2500 θέσεις έχουν δημιουργηθεί σε ολόκληρο τον τομέα των αιολικών πάρκων. Οι προμηθευτές αντικειμένων Α/Π είναι η σημαντικότερη οικονομική δραστηριότητα στην Αυστρία που σχετίζεται με την αιολική ενέργεια.

Η Αυστριακή εταιρεία Bachmann electronics GmbH είναι μια από του ηγέτες κατασκευής συστημάτων ελέγχου για τις τουρμπίνες. Γύρω στα 35.000MW έχουν εξοπλιστεί με συστήματα ελέγχου για της Bachmann. Η επίσης Αυστριακή εταιρεία Hexcel Composites GmbH ειδικεύεται στην ανάπτυξη και παραγωγή υλικών για λεπίδες Α/Γ.

Στην Ιταλία η συνεισφορά των αιολικών πάρκων στο ΑΕΠ για τη διετία 2006-2008 ανήλθε σε περισσότερο από $1 \cdot 10^9$ ευρώ, συμπεριλαμβανομένου των Α/Γ και των παραρτημάτων τα οποία παραδόθηκαν σε ξένες χώρες.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί ότι περίπου το 50% του εξοπλισμού για αιολικά πάρκα, ο οποίος παράγεται στην Ισπανία, εξάγεται. Σημαντική είναι η εξαγωγική δραστηριότητα της εταιρείας κατασκευής Α/Γ GAMESA.

Ακόμη, και η Δανία με τη Γερμανία έχουν σημαντικά εργοστάσια κατασκευής Α/Γ με εξαγωγική δραστηριότητα όπως η VESTAS στη Δανία και η SIEMENS στη Γερμανία.

Επιπλέον, η χρήση των τεχνολογιών των ΑΠΕ από χώρες στις οποίες το ενεργειακό μείγμα εξαρτάται από την εισαγωγή ορυκτών καυσίμων επιδρά θετικά στην απεξάρτηση, από χώρες που παρέχουν τα ορυκτά καύσιμα αλλά στις οποίες υπάρχει πολιτικοοικονομικός κίνδυνος, και στην ενεργειακή ασφάλεια για την απρόσκοπτη και φθηνή παροχή ενέργειας σε περιπτώσεις πολεμικών συρράξεων στις οποίες θα συμμετέχουν και κράτη παραγωγοί των ορυκτών καυσίμων, μιας και η οικονομική ανάπτυξη της χώρας θα συνεχιστεί γιατί δε θα σταματήσουν οι παραγωγικές μονάδες λόγω έλλειψης ενέργειας αλλά και η ενέργεια θα είναι πιο φθηνή αφού η εξάρτηση από μία πηγή ορυκτών καυσίμων σε περίπτωση συρράξεων θα οδηγήσει την τιμή του ορυκτού καυσίμου σε δυσθεώρητα ύψη.

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι η τεχνολογία των ΑΠΕ συμβάλλει ποικιλοτρόπως στην οικονομία και την οικονομική ανάπτυξη.

Συγκεκριμένα, η χρήση της τεχνολογίας των ΑΠΕ είναι αρωγός στην προστασία του περιβάλλοντος και στη μείωση της ρύπανσης του, με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της εμφάνισης ακραίων καιρικών φαινομένων, τα οποία προκαλούν ανυπολόγιστες ζημιές στις οικονομίες των κρατών.

Επίσης, συμβάλλει στη μείωση της ανεργίας, στην αποτροπή της αύξησης των τιμών των προϊόντων σε περίπτωση που δεν ξεπεράσουν τα όρια των εκπεμπόμενων ρύπων που επιβάλλονται από το πρωτόκολλο του Κιότο και επιδρά θετικά στην οικονομική ανάπτυξη των χωρών οι οποίες έχουν την τεχνογνωσία και το απαραίτητο δυναμικό για την παραγωγή των Α/Γ, διότι θα έχουν διαμορφώσει τις προϋποθέσεις έτσι ώστε να έχουν τη δυνατότητα να εξάγουν σε άλλα κράτη με αποτέλεσμα την εισροή συναλλάγματος.

Τέλος, η χρήση των τεχνολογιών των ΑΠΕ συμβάλλει στην ενεργειακή απεξάρτηση από κράτη τα οποία ενέχονται σε πολιτικοοικονομικούς κινδύνους.

1. Γ. Μπεργελές, Ν. Αθανασιάδης "Αιολική Ενέργεια και Βιομηχανική Αεροδυναμική", Εκδόσεις Συμεών.
2. Μ.Π. Παπαδόπουλος, "Παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές", Αθήνα, 1997.
3. Γ. Μπεργελές, " Ανεμοκινητήρες", Εκδόσεις Συμεών.
4. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ)
<http://www.cres.gr/>
5. European Wind Energy Association (EWEA)
<http://www.ewea.org/>
6. Global Wind Energy Council (GWEC) <http://www.gwec.net/>
7. Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ) <http://www.eletaen.gr/>
8. Β.Μ. Weedy, Β.Ι. Cory, " Μεταφορά και Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας", μετάφραση – επιμέλεια 4ης έκδοσης Ν. Κολλιόπουλος, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα 1998
9. "Power Quality Improvements of Wind Farms", Fredericia, June 1998
10. Μ.Ρ. Patel, "Wind and Solar Power Systems", CRC Press 1999
11. Wind Turbines and Windfarms Database
<http://www.thewindpower.net/intex>
12. T. Petru and T. Thiringer, "Modeling of Wind Turbines for Power System Studie", IEEE Transactions of Power Systems, Vol.17, No.4, November 2002
13. Papathanassiou S.A., Papadopoulos M.P., "Dynamic Behaviour of Variable Speed Wind Turbines under Stochastic Wind", IEEE Transaction of Energy Conversion Vol.14 issue: 4 November 1999
14. Περιβάλλον και Διαχείριση Ενέργειας
15. <http://www.allaboutenergy.gr/>
16. <http://www.solarmarket.gr/>
17. <http://www.builtnet.gr>