

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Αριθμός: 1397

**ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ
ΠΑΡΚΟΥ**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΣΧΟΙΝΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
ΠΑΝΔΗΣ ΝΙΚΗΦΟΡΟΣ-ΧΡΥΣΟΒΑΛΑΝΤΗΣ Α.Μ. 5621
ΤΣΕΛΙΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Α.Μ. 5705

ΠΑΤΡΑ 2016

© 2016-all rights reserved

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Τ.Ε. της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και έχει σαν θέμα την οικονομική μελέτη αιολικού πάρκου

Θέλουμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Σχοινά για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας προσέφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας αυτής.

Πανδής Νικηφόρος-Χρυσοβαλάντης
Τσέλιος Κωνσταντίνος

Μάιος 2016

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στις βασικές παραμέτρους που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής και αναλύονται οι δύο βασικές κατηγορίες ανεμογεννητριών.

Το δεύτερο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στα αιολικά πάρκα. Αναλύονται οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή θέσης εγκατάστασης του πάρκου και τη χωροθέτηση των ανεμογεννητριών. Επίσης περιγράφεται ο ηλεκτρολογικός εξοπλισμός, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι μελέτες που απαιτούνται για την πραγματοποίηση της εγκατάστασης καθώς επίσης και τα λειτουργικά προβλήματα των αιολικών πάρκων.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης ενός αιολικού πάρκου. Για την πραγματοποίηση των υπολογισμών επιλέχθηκαν τα ανεμολογικά δεδομένα του όρους Βασιλίτσα. Υπολογίζονται: ο μέσος συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης, το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας, τα έσοδα και ο χρόνος απόσβεσης της επένδυσης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα πτυχιακή εργασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
1.1 Γενικά.....	6
1.2 Αιολικό Δυναμικό.....	9
1.3 Κατάταξη Ανεμογεννητριών.....	11
1.4 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα.....	14
1.5 Ανεμογεννήτριες Κατακόρυφου Άξονα.....	20
1.6 Βασικά Μεγέθη Ανεμογεννητριών.....	25
1.7 Απόδοση Αιολικής Εγκατάστασης.....	28
2. ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ	
2.1 Γενικά.....	32
2.2 Επιλογή Θέσης.....	34
2.3 Χωροθέτηση Ανεμογεννητριών.....	35
2.4 Ακραίες Μετεωρολογικές Συνθήκες.....	36
2.5 Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός.....	39
2.6 Αντικεραυνική Προστασία.....	44
2.6.1 Γενικά.....	44
2.6.2 Συστήματα Γειώσεων.....	45
2.6.3 Συχνότητα Κεραυνικών Πληγμάτων.....	45
2.6.4 Τυπικό Σύστημα Γείωσης Αιολικού Πάρκου.....	46
2.7 Μελέτη Εγκατάστασης Αιολικού Πάρκου.....	48
2.7.1 Ανεμολογικές Μελέτες.....	48

2.7.2 Μελέτες Έργων Κατασκευής.....	49
2.8 Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις.....	52
2.9 Λειτουργικά Προβλήματα Αιολικών Πάρκων.....	55

3. ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΘΕΣΗ

3.1 Γενικά.....	57
3.2 Κριτήρια Αξιολόγησης Ενεργειακών Επενδύσεων.....	61
3.3 Βασικά Μεγέθη Αιολικής Ισχύος.....	62
3.4 Χαρακτηριστικά Μεγέθη Ανεμογεννήτριας.....	65
3.5 Αιολικό Δυναμικό Συγκεκριμένης Θέσης.....	66
3.6 Υπολογισμός Μέσου Συντελεστή Ισχύος.....	67
3.7 Ετήσια Ενεργειακή Παραγωγή.....	71
3.8 Κόστος Επένδυσης.....	72
3.9 Έσοδα.....	75
3.10 Ανάλυση Χρηματοροών και Χρόνος Απόσβεσης.....	76

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....

78

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....

79

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αιολική ενέργεια δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία καθώς η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλες μάζες αέρα να μετακινούνται από την μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας έτσι τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, ανεξάντλητη και φιλική προς το περιβάλλον, η οποία προωθείται για την μείωση του ρυθμού εξάντλησης των αποθεμάτων συμβατικών καυσίμων καθώς και τον περιορισμό των εκπομπών που δημιουργούνται από συμβατικές πηγές ενέργειας. Η εκτεταμένη χρήση των τελευταίων προκαλεί την ένταση του φαινομένου του θερμοκηπίου και αυξάνει την ατμοσφαιρική ρύπανση.

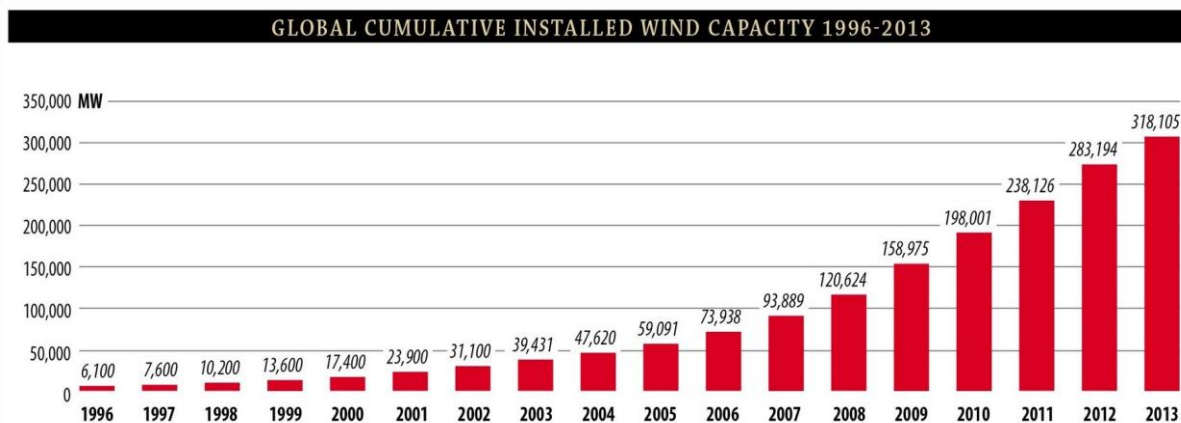
Αν υπήρχε η δυνατότητα πλήρους εκμετάλλευσης του συνολικού αιολικού δυναμικού της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες της ανθρωπότητας. Φυσικά, η πραγματικότητα είναι ότι ένα πολύ μικρό τμήμα του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι δυνατόν να αξιοποιηθεί τελικά, τουλάχιστον με την τεχνολογία που υπάρχει σήμερα.

Σύμφωνα με υπολογισμούς, στο 25% της συνολικής επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας άνω των 5.1 m/s σε ύψος 10 μέτρα από το έδαφος, κάτι που μας βοηθά να εξάγουμε το συμπέρασμα πως το ανώτερο ποσοστό αντιστοιχεί σε περιοχή εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού και οι εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες. Αυτό, σε συνδυασμό με το ότι το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αιολική ενέργεια κατέχει μια δυναμική θέση έναντι των συμβατικών μορφών ενέργειας.

Οι πλέον ευνοημένες περιοχές του πλανήτη μας από πλευράς αιολικού δυναμικού είναι οι χώρες της πολιτικής και εύκρατης ζώνης, ιδιαίτερα κοντά στις ακτές.

Τα τελευταία είκοσι χρόνια, ιδιαίτερα μετά τις διαδοχικές ενεργειακές κρίσεις και σε συνδυασμό με τα οξυμμένα περιβαλλοντικά προβλήματα, οι άνθρωποι έδειξαν αυξημένο ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Πρέπει να σημειωθεί ότι από την τεχνοοικονομική πλευρά η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα την πιο συμφέρουσα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, δεδομένου ότι το κόστος της παραγόμενης αιολικής kWh συναγωνίζεται το κόστος της συμβατικά παραγόμενης kWh, χωρίς μάλιστα να συμπεριληφθεί το κοινωνικό και

περιβαλλοντικό κόστος από την παραγωγή ενέργειας. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια γίνονται σοβαρές επενδύσεις στον τομέα της αιολικής ενέργειας τόσο από δημόσιους όσο και από ιδιωτικούς φορείς, κυρίως στις πιο ανεπτυγμένες χώρες του πλανήτη.



Σχήμα 1 Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας 1996-2013 [19].

Βέβαια από την άλλη πλευρά αντιπαρατίθεται το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια δεν είναι ακριβώς προβλέψιμη ούτε και συνεχής, ενώ παράλληλα είναι μια μορφή ενέργειας χαμηλής πυκνότητας γεγονός που έχει σαν αποτέλεσμα την αναγκαιότητα μεγάλων κατασκευών για την εκμετάλλευσή της.

Ειδικά στη χώρα μας, το αιολικό δυναμικό είναι εξαιρετικά πλούσιο και η αιολική ενέργεια μπορεί να γίνει σημαντικός μοχλός ανάπτυξης. Η συστηματική εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού της χώρας μας θα συμβάλει στην αύξηση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, με ταυτόχρονη εξοικονόμηση μεγάλου ποσοστού συμβατικών καυσίμων, με αποτέλεσμα συναλλαγματικά οφέλη, ενώ μεγάλη επίσης θα είναι η συμβολή στον περιορισμό της κλιματικής μεταβολής, αφού η χρήση ανεμογεννητριών συνεπάγεται αποτροπή εκπομπών CO₂.

Παράλληλα, η χρήση της αιολικής ενέργειας έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των θέσεων εργασίας σε ένα αντικείμενο που μέχρι πριν μερικά χρόνια ήταν σχεδόν άγνωστο στην Ελλάδα.

Η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου ξεκίνησε από τα πρώτα ιστορικά χρόνια και έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας με τη χρήση της στη ναυτιλία και στην άρδευση. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον άνθρωπο για την κίνηση των ιστιοφόρων πλοίων. Επίσης οι πρώτες αιολικές μηχανές, οι ανεμόμυλοι, χρησιμοποιήθηκαν από πολλούς λαούς στην αρχαιότητα. Οι πρώτοι ανεμόμυλοι ήταν αιολικές μηχανές κατακόρυφου άξονα. Ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς κατασκεύασε τον πρώτο ανεμόμυλο οριζόντιου άξονα με τέσσερα πτερύγια στην Ελληνιστική Εποχή.



Σχήμα 2 Τύποι ανεμόμυλων [1].

Στην εποχή του Μεσαίωνα εμφανίστηκαν ανεμόμυλοι σε όλες σχεδόν τις χώρες της Ευρώπης. Στην Ολλανδία μάλιστα χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση των νερών σε περιοχές που είναι χαμηλότερα από τη στάθμη της θάλασσας.

Οι ανεμόμυλοι έφθασαν στην Αμερική στα μέσα του 1700, μέσω των ολλανδών αποίκων. Η αποκαλούμενη Αμερικάνικη multi bladed ανεμογεννήτρια εμφανίστηκε στην ιστορία της αιολικής ενέργειας στα μέσα του 1800. Η βασική της εφαρμογή ήταν η άντληση των υδάτων μερικά μέτρα κάτω από την επιφάνεια, για γεωργικές χρήσεις.

Στα τέλη του 19^{ου} αιώνα πρώτοι οι Δανοί παράγουν ηλεκτρισμό από τον άνεμο. Έτσι, το 1891 λειτούργησε στο Askov της Δανίας πειραματικός ανεμοκινητήρας με δύο ηλεκτρικές γεννήτριες των 9kW η κάθε μία και διάμετρο 22.8m. Το 1931 στην Σοβιετική Ένωση τέθηκε σε λειτουργία η ανεμογεννήτρια Balaclava διαμέτρου 30 m και ισχύος 100kW.

Το 1940 κατασκευάστηκε στο Vermont των Η.Π.Α. ένας πειραματικός διπτέρυγος ανεμοκινητήρας ονομαστικής ισχύος 1.25MW. Το συνολικό βάρος της μονάδας ήταν 250 tn και το ύψος του πύργου τοποθέτησης περίπου 33m. Το πρόγραμμα αυτό που υλοποιήθηκε από τον διάσημο καθηγητή αεροδυναμικής του MIT Theodore von Karman και τους συνεργάτες του, αν και ολοκληρώθηκε βεβιασμένα λόγω του πολέμου, θεωρείται η πρώτη μεγάλη προσπάθεια των Αμερικανών επιστημόνων να αξιοποιήσουν την αιολική ενέργεια.



Σχήμα 3 Το αιολικό πάρκο Whitelee στη Βρετανία είναι ένα από τα μεγαλύτερα αιολικά πάρκα στον κόσμο [20].

Στα χρόνια που ακολούθησαν το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο η χρήση της ατομικής ενέργειας και οι χαμηλές τιμές του πετρελαίου περιόρισαν σημαντικά το ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Αργότερα όμως, η ρύπανση του περιβάλλοντος και οι διαδοχικές ενεργειακές κρίσεις (ιδιαίτερα η σημαντική αύξηση της τιμής του πετρελαίου το 1973) υποχρέωσαν ξανά τις τεχνολογικά ανεπτυγμένες χώρες να ενδιαφερθούν έντονα για την αξιοποίηση της αιολικής όπως και άλλων ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.

Το 1997 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Commission) δημοσίευσε την Λευκή Βίβλο (CEU, 1997) απαιτώντας να συμβάλουν οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης το 12% της συνολικής ενέργειας, μέχρι το 2010. Η αιολική ενέργεια διαδραματίζει το βασικό ρόλο στις ΑΠΕ με μια αύξηση της ισχύος των ανεμογεννητριών από 2.5 GW που ήταν το 1995, σε 40 GW μέχρι το 2010. Ως αποτέλεσμα, σήμερα η Ευρώπη παίρνει περίπου το 20% της ηλεκτρικής της ενέργειας από τις ΑΠΕ, συμπεριλαμβανομένου το 5.3% από την αιολική ενέργεια.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η κινητική ενέργεια του ανέμου που διέρχεται μέσα από μια δεδομένη επιφάνεια εμβαδού A δίνεται από τη γνωστή σχέση:

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (1.1)$$

όπου m είναι η μάζα του ανέμου που διέρχεται μέσα από την επιφάνεια A και v είναι η ταχύτητα του ανέμου. Αντίστοιχα η ισχύς που αντιστοιχεί στην κινητική ενέργεια του ανέμου, δηλαδή, ο ρυθμός με τον οποίο προσπίπτει αιολική ενέργεια πάνω στην επιφάνεια A δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} v^2 \quad (1.2)$$

όπου \dot{m} είναι η μαζική παροχή του αέρα. Η μαζική παροχή είναι ίση με:

$$\dot{m} = \rho A v \quad (1.3)$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα. Αντικαθιστώντας την (1.3) στην (1.2) παίρνουμε:

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1.4)$$

Σύμφωνα με την (1.4) η αιολική ισχύς είναι ανάλογη της τρίτης δύναμης της ταχύτητας του ανέμου. Ένας άλλος παράγοντας που επίσης επιδρά σοβαρά είναι η προσβαλλόμενη από τον άνεμο επιφάνεια, προς την οποία είναι ανάλογη η παραγόμενη ενέργεια. Συνεπώς μεγάλη σημασία έχει η περιοχή που σαρώνουν τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, γεγονός που έχει σχέση με το μέγεθος της ανεμογεννήτριας.

Είναι καλή προσέγγιση να θεωρήσουμε τον αέρα ιδανικό αέριο. Έτσι η πυκνότητά του υπολογίζεται μέσω της καταστατικής εξίσωσης. Σε κανονικές συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας ($p=1 \text{ atm}$ και $\theta=0^\circ\text{C}$) η πυκνότητα του αέρα λαμβάνεται ίση με:

$$\rho = 1.2928 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \quad (1.5)$$

Πρακτικά δεν υπάρχει μεταβολή της πίεσης και της θερμοκρασίας στο ύψος της πτερωτής μιας ανεμογεννήτριας.

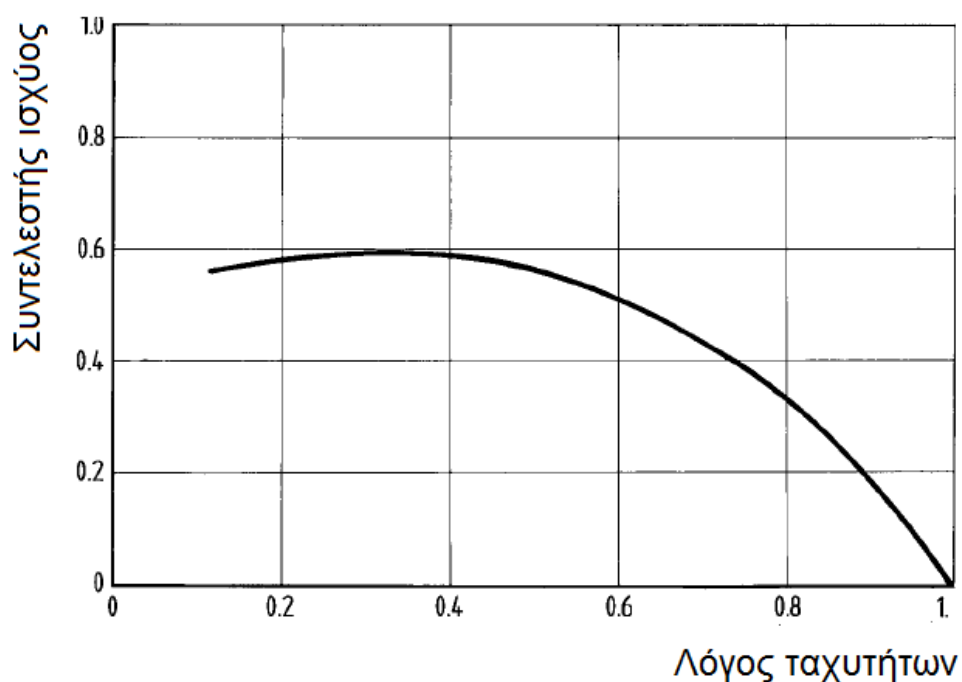
Η ενέργεια και η ισχύς του ανέμου όπως δίνονται από τις εξισώσεις (1.1) και (1.4) είναι οι συνολικά διαθέσιμες προς την ανεμογεννήτρια που όμως δεν είναι δυνατόν να αξιοποιηθούν πλήρως. Ακόμα και στην ιδανική περίπτωση που μπορούμε να παραβλέψουμε τις μηχανικές και κάθε είδους απώλειες, είναι αδύνατον να δεσμευθεί ολόκληρη η ισχύς του ανέμου για διάφορους λόγους. Ο σημαντικότερος από αυτούς είναι ότι ο αέρας που διαπερνά την πτερωτή μιας αιολικής μηχανής πρέπει να διαθέτει την απαραίτητη ταχύτητα ώστε να απομακρύνεται από αυτή, βάσει του θεωρήματος διατήρησης μάζας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ένα αξιόλογο μέρος της κινητικής ενέργειας του προσπίπτοντος επί της πτερωτής, ανέμου να χάνεται με τη δέσμη διαφυγής του ανέμου.

Η ισχύς που αφαιρείται από τον άνεμο μέσω της ανεμογεννήτριας είναι η διαφορά της ισχύος που μεταφέρει ο αέρας που προσπίπτει στην έλικα μείον την ισχύ που μεταφέρει ο αέρας που αποχωρεί από αυτήν με μικρότερη ταχύτητα. Η ισχύς θα έπρεπε να είναι στο μέγιστό της όταν η ταχύτητα v' , με την οποία αποχωρεί ο αέρας είναι μηδέν, δηλαδή όταν ο αέρας ακινητοποιείται πλήρως. Εντούτοις, αυτό το αποτέλεσμα δεν έχει φυσικό νόημα γιατί έρχεται σε αντίθεση με το νόμο της συνέχειας. Η θεωρία σύμφωνα με την οποία μια αιολική μηχανή δεν μπορεί να δεσμεύσει όλη την κινητική ενέργεια του ανέμου ονομάζεται θεωρία του δίσκου ενέργειας. Τελικά, η ισχύς του ανέμου που δεσμεύεται από την ανεμογεννήτρια δίνεται από τη σχέση:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (1.6)$$

όπου A είναι η επιφάνεια του δίσκου, δηλαδή, η επιφάνεια που σαρώνουν τα πτερύγια κατά την περιστροφή τους και C_p είναι ο συντελεστής ισχύος του δρομέα ή αλλιώς συντελεστής απόδοσης του δρομέα.

Ο συντελεστής C_p προκύπτει μέσω μετρήσεων και υπολογισμών και εκφράζει το κλάσμα της ισχύος που προσπίπτει στην έλικα το οποίο κατακρατείται για περαιτέρω εκμετάλλευση. Η υπόλοιπη ισχύς αποτελεί την κινητική ενέργεια του αέρα μετά την πρόσκρουση στην έλικα.



Σχήμα 1.1 Ο συντελεστής ισχύος του δρομέα συναρτήσει του λόγου των ταχυτήτων v'/v [1].

Αποδεικνύεται ότι σε ιδανικές συνθήκες ο συντελεστής ισχύος γίνεται μέγιστος όταν:

$$\frac{v'}{v} = \frac{1}{3} \quad (1.7)$$

Η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο συντελεστής C_p (σχήμα 1.1) είναι:

$$C_{p\max} = \frac{19}{27} \approx 0,593 \quad (1.8)$$

Το όριο αυτό ονομάζεται όριο του Betz. Το όριο αυτό είναι κατά κάποιο τρόπο ο μέγιστος βαθμός απόδοσης ενός συστήματος με ιδανική έλικα κάτι ανάλογο με το βαθμό απόδοσης Carnot των θερμοδυναμικών κύκλων. Η πραγματική τιμή του συντελεστή C_p εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας. Τελικά, στις περισσότερες εφαρμογές ο συντελεστής ισχύος C_p παίρνει τιμές κοντά στο 0.4.

1.2 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Τα δύο κύρια χαρακτηριστικά του ανέμου που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τη μελέτη εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου είναι φυσικά η διεύθυνση και η ταχύτητα (ή ένταση) του ανέμου. Είναι χρήσιμο επίσης να καταγραφούν επίσης και η συχνότητα ριπών του ανέμου καθώς και η ύπαρξη στροβιλισμού και αναταράξεων. Να σημειωθεί ότι 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.

Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται σημαντικά με το ύψος από το έδαφος. Συνήθως αυτή η μεταβολή είναι αξιοσημείωτη μέχρι τα πρώτα 100 μέτρα από το έδαφος, δηλαδή μέχρι το συνηθισμένο πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. Ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα είναι το χαμηλότερο στρώμα της ατμόσφαιρας όπου η παρουσία του εδάφους επηρεάζει σημαντικά τη ροή του ανέμου και καθορίζει τις ρευστομηχανικές του ιδιότητες.

Γενικά η ροή του αέρα επηρεάζεται σημαντικά από το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής, την τραχύτητα του εδάφους και την ύπαρξη διαφόρων επιφανειακών εμποδίων, όπως π.χ. κτίρια, συστοιχίες δένδρων κ.τ.λ.

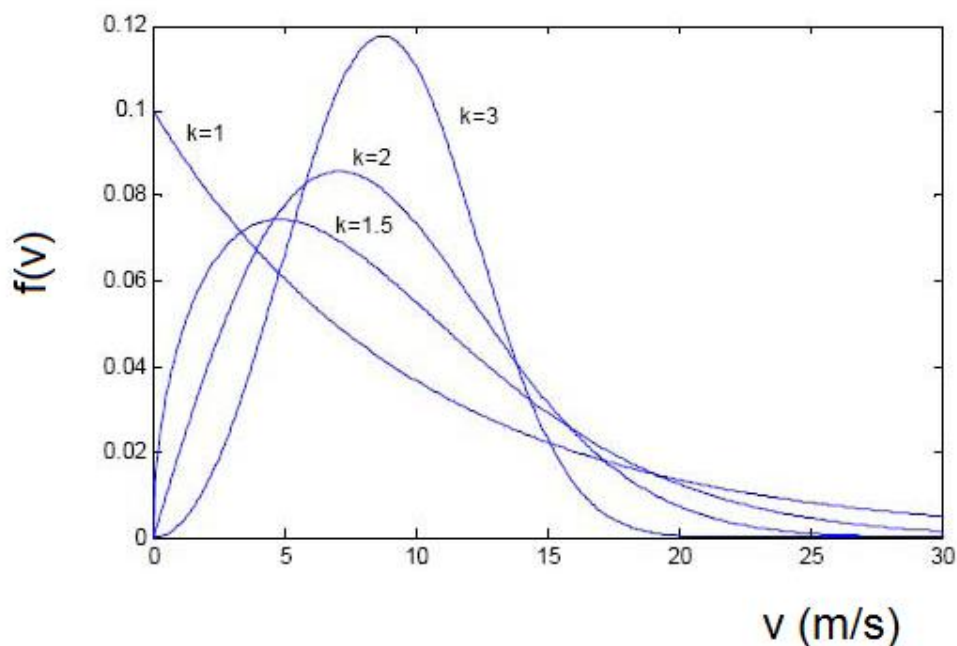
Η εμπειρική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας που προτάθηκε από τον Weibull περιγράφει ικανοποιητικά το μέτρο της ταχύτητας του ανέμου στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100 m από το έδαφος. Η κατανομή Weibull προσδιορίζει την πιθανότητα της

ταχύτητας του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή τιμών χρησιμοποιώντας μόνο δύο παραμέτρους. C και k.

Η αναλυτική έκφραση της κατανομής Weibull είναι:

$$f(v) = \frac{k}{C} \cdot \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} \cdot e^{\left(\frac{-v}{C}\right)^k} \quad (1.9)$$

Συνήθεις τιμές της παραμέτρου k είναι μεταξύ 1.5 και 2.5, ενώ πολύ συχνά λαμβάνεται k=2, δηλαδή χρησιμοποιείται η κατανομή Rayleigh (που είναι ειδική περίπτωση της κατανομής Weibull). Στον Ελλαδικό χώρο συνήθως λαμβάνονται τιμές μεταξύ 1.5 και 2.



Σχήμα 1.2 Μορφή της κατανομής Weibull για διαφορετικές τιμές της παραμέτρου μορφής k [2].

Γενικά η κατανομή Weibull υπερεκτιμά τα πειραματικά δεδομένα στην περιοχή των χαμηλών ταχυτήτων (εκτός από την περιοχή της άπνοιας, $v=0$, όπου επιβάλλει μηδενική πιθανότητα εμφάνισης) και υποεκτιμά ελαφρώς τα πειραματικά δεδομένα στην περιοχή των υψηλών

ταχυτήτων. Πρέπει πάντως να σημειωθεί ότι από την πλευρά της αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού η περιοχή των χαμηλών και η περιοχή των πολύ υψηλών ταχυτήτων, για διαφορετικούς λόγους η κάθε μία, δεν μας ενδιαφέρουν ιδιαίτερα.

1.3 ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Οι επικρατέστεροι τύποι ανεμογεννητριών ταξινομούνται κυρίως σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου. Έτσι, οι πλέον διαδεδομένοι τύποι ανεμοκινητήρων είναι οι ανεμογεννήτριες "οριζόντιου" και οι ανεμογεννήτριες "κατακόρυφου" άξονα,

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν συνήθως τον άξονα τους παράλληλο προς την κατεύθυνση του ανέμου (head on), ενώ σε μερικές περιπτώσεις έχουμε ανεμογεννήτριες των οποίων ο άξονας είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης και κάθετος προς την κατεύθυνση του ανέμου (cross-wind).

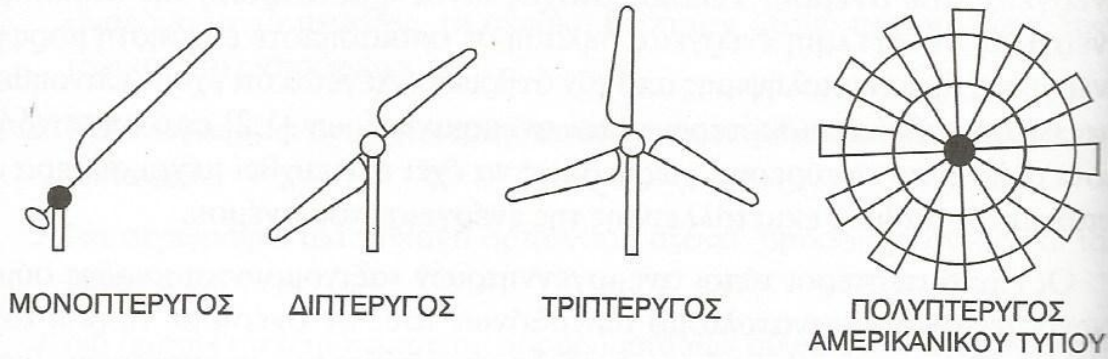
Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα της αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, δεδομένου ότι ο άξονάς των είναι κάθετος σε αυτή καθώς και στην επιφάνεια της γης.

Επίσης έχουν επινοηθεί και άλλοι τύποι ανεμοκινητήρων, όπως για παράδειγμα οι ανεμογεννήτριες τύπου μεταφοράς, αποτελούμενες από οχήματα που κινούνται σε μια καθορισμένη διαδρομή και είναι συνδεδεμένα με ηλεκτρογεννήτριες.

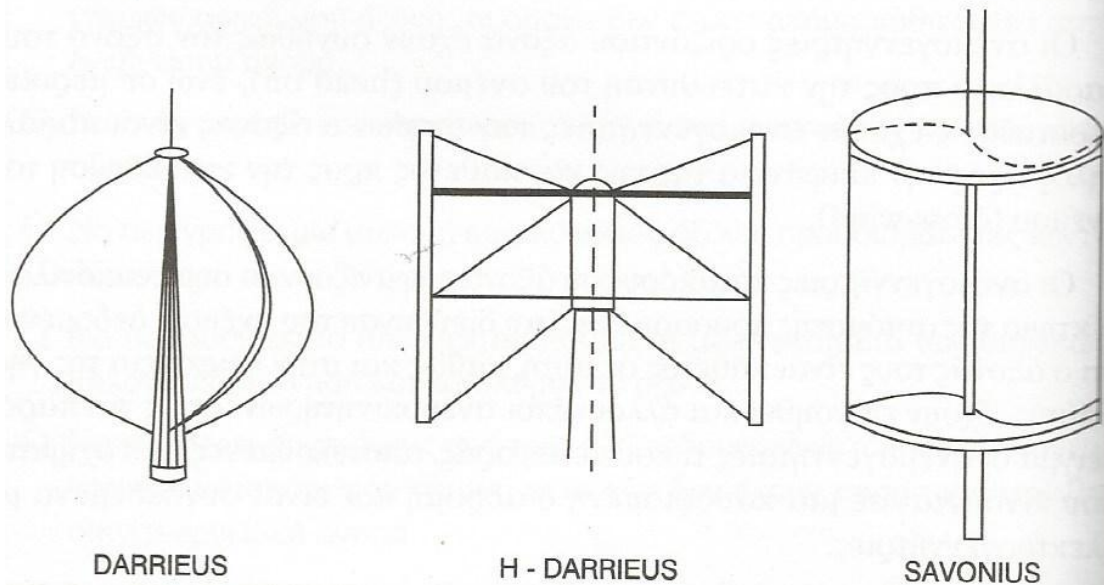
Οι υφιστάμενες αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης σε ταχύστροφες και σε αργόστροφες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής των ή ακριβέστερα ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου περιστροφής, λ. Η ταχύτητα περιστροφής μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται εκτός από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής, δεδομένου ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγόκεντρες δυνάμεις κ.τ.λ.

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

ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ



ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ



Σχήμα 1.3 Βασικοί τύποι ανεμογεννητριών [3].

Ένα μέγεθος που συνδέεται άμεσα με τη γωνιακή ταχύτητα μιας πτερωτής είναι ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου ή πιο απλά παράμετρος περιστροφής (tip-speed ratio) της μηχανής, λ , η οποία ορίζεται ως:

$$\lambda = \frac{\omega_0 \cdot R}{v} \quad (1.10)$$

όπου:

ω_0 είναι η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα,

R είναι η ακτίνα της πτερωτής και
v είναι η ταχύτητα του ανέμου.

Ανάλογα με τη μηχανική ισχύ, P, που παρέχουν οι ανεμοκινητήρες στην έξοδο τους κατατάσσονται από πλευράς μεγέθους ως:

1. "Μικροί", όταν για την ονομαστική ισχύ τους ισχύει ότι:

$$50W \leq P \leq 30kW$$

2. "Μεσαίοι", όταν για την ονομαστική ισχύ τους ισχύει ότι:

$$30kW \leq P \leq 200kW$$

3. "Μεγάλοι", όταν για την ονομαστική ισχύ τους ισχύει ότι:

$$200kW \leq P \leq 4MW$$

Ο χαρακτηρισμός μιας ανεμογεννήτριας σε μικρή ή μεγάλη δεν ακολουθεί αυστηρά τις τιμές των παραπάνω σχέσεων δεδομένου ότι οι εν λόγω τιμές είναι ενδεικτικές, οι οποίες αλλάζουν σε κάθε χρονική περίοδο, καθώς και από συγγραφέα σε συγγραφέα.

Τέλος, οι υφιστάμενες μηχανές κατατάσσονται και βάσει του αριθμού των πτερυγίων που διαθέτει η πτερωτή τους. Έτσι, οι ανεμογεννήτριες διαχωρίζονται σε πολυπτέρυγες, όπως οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής, και οι ολιγοπτέρυγοι που αποτελούν την πλειοψηφία των σύγχρονων ανεμογεννητριών οριζόντιου και καθέτου άξονα, με αριθμό πτερυγίων που κυμαίνεται από ένα έως τρία πτερύγια σε κάθε πτερωτή.

Τέλος μια παράμετρος που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των ανεμοκινητήρων είναι η παράμετρος στιβαρότητας, σ (solidity), της κατασκευής, η οποία για μηχανές οριζόντιου άξονα ορίζεται ως:

$$\sigma = \frac{z \cdot c \cdot R}{\pi \cdot R^2} \quad (1.11)$$

ενώ για ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα ορίζεται ως:

$$\sigma = \frac{z \cdot c}{R} \quad (1.12)$$

όπου:

z είναι ο αριθμός των πτερυγίων της πτερωτής

c είναι το πλάτος των πτερυγίων της πτερωτής και

R είναι η ακτίνα της πτερωτής.

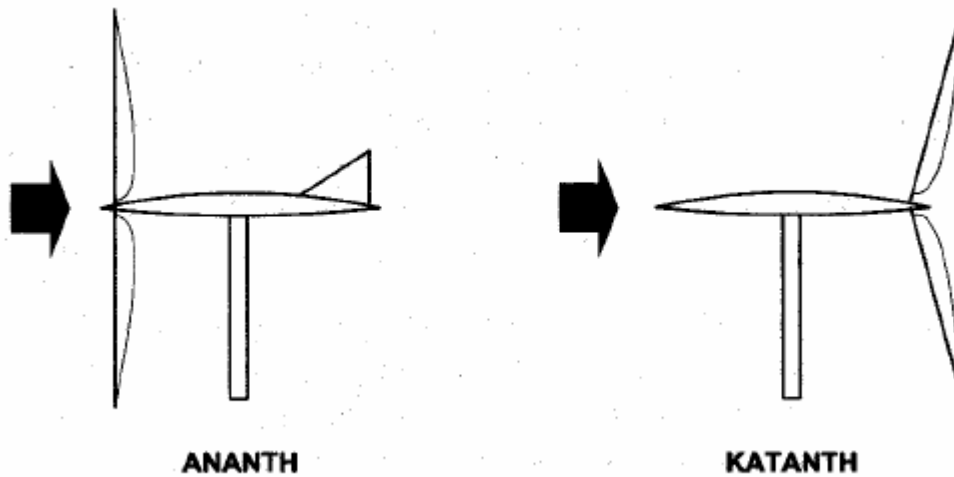
Η παράμετρος στιβαρότητας δίνει το λόγο του εμβαδού όλων των πτερυγίων, προς το εμβαδόν της επιφάνειας που διαγράφουν τα πτερύγια κατά την περιστροφή τους.

Κατά κανόνα οι ανεμογεννήτριες μεγάλης στιβαρότητας είναι μηχανές αργόστροφες, αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε χαμηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής λ , έχουν σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης, ενώ είναι ανθεκτικές με ελάχιστες ανάγκες συντήρησης. Επιπλέον χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλες δυνάμεις στα πτερύγια και συνεπώς μεγάλη ροπή στον άξονα περιστροφής, ξεκινούν μόνες τους όταν αρχίζει να φυσάει ο άνεμος, είναι κατάλληλες για αγροτικές χρήσεις (π.χ. άντληση νερού) και στηρίζονται σε σχετικά απλή τεχνολογία.

Αντίθετα, οι ανεμογεννήτριες μικρής στιβαρότητας είναι μηχανές πολύστροφες, αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου λ , διαθέτουν σχετικά μεγάλο βαθμό απόδοσης, είναι πλέον ευπαθείς από τις μηχανές μεγάλης στιβαρότητας και χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρές δυνάμεις στα πτερύγια και περιορισμένη, ροπή στον άξονά τους. Επίσης, οι μηχανές αυτές απαιτούν κάποτε εξωτερική βοήθεια για να ξεκινήσουν, είναι κατάλληλες για ηλεκτροπαραγωγή και θεωρούνται προϊόντα αρκετά υψηλής τεχνολογίας, ιδιαίτερα οι μεγαλύτερες από αυτές.

1.4 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ

Όπως προαναφέραμε οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλο και με τη διεύθυνση του ανέμου (head on), αν και σε μερικές περιπτώσεις η διεύθυνσή τους είναι κάθετη προς τη διεύθυνση του ανέμου (cross-wind). Επιπλέον οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα μπορούν να έχουν ένα, δύο, τρία ή ακόμα και πενήντα πτερύγια, ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη (up-wind), δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη (down-wind), δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου (Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.4 Ανάντη και κατάντη διάταξη του δρομέα [3].

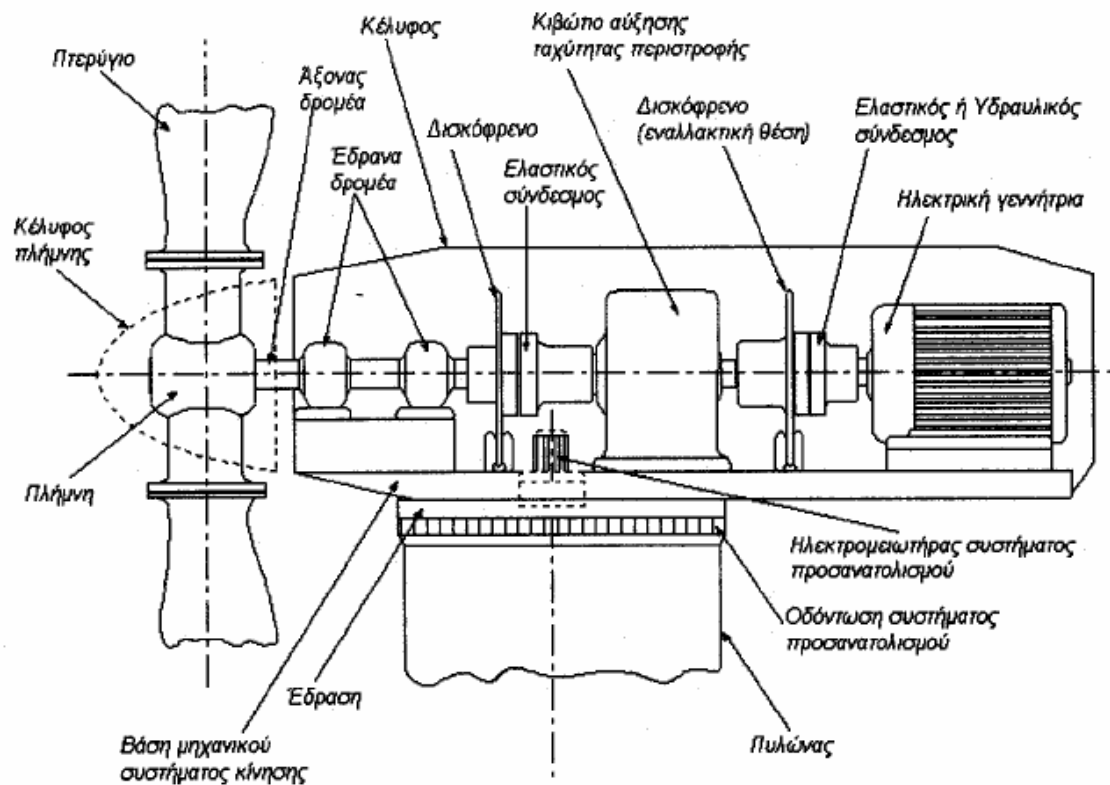
Στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συγκαταλέγονται οι κλασσικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι (π.χ. τύπου Μυκόνου) καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων αμερικανικού τύπου, οι οποίες λόγω των περιορισμένων διαστάσεών τους και της χαμηλής περιφερειακής τους ταχύτητας έχουν εγκαταλειφθεί σήμερα, αν και εμφανίζουν σχετικά μεγάλες ροπές λειτουργίας. Στο παρελθόν κατασκευάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακα αντίστοιχες μηχανές και βρήκαν ευρεία εφαρμογή για την άντληση νερού και άλλες γεωργικές χρήσεις.

Από την άλλη πλευρά στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζόντιου άξονα περιλαμβάνονται και οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα (περίπου το 90% του συνόλου των εγκατεστημένων παγκοσμίως μηχανών), και οι οποίες ονομάζονται ανεμογεννήτριες τύπου "έλικας". Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγιά τους, που είναι συνήθως ένα έως τρία, βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων αλλά και σ' αυτή της έλικας των ελικοπτέρων. Ένα από τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσής τους, αλλά και η βέλτιστη λειτουργία τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου περιστροφής λ , με αποτέλεσμα την αρκετά μεγάλη σχετική ταχύτητα προσβολής των πτερυγίων από τον άνεμο. Οι πρώτοι δρομείς που κατασκευάστηκαν είχαν πλατειά πτερύγια, ενώ σήμερα κατασκευάζονται μηχανές με αρκετά λεπτά πτερύγια.

Στις μηχανές τύπου "έλικας" γίνεται ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής και για λόγους προστασίας της σε περιπτώσεις πολύ ισχυρών ανέμων, είτε με τη χρήση ειδικών αεροδυναμικών βοηθημάτων στην άκρη των πτερυγίων είτε με τη

στροφή της πτερωτής υπό γωνία σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. Η αιολική ισχύς από την πτερωτή μεταφέρεται είτε μέσω συστήματος μετάδοσης κίνησης (οδοντωτοί τροχοί) στη βάση του πύργου στήριξης, είτε από τον άξονα της πτερύγωσης στην ηλεκτρική γεννήτρια, που βρίσκεται συνήθως και αυτή στον πύργο στήριξης. Οι μηχανές οριζοντίου άξονα συνεχίζουν να αναπτύσσονται και σήμερα, ενώ έχουν κατασκευασθεί ή κατασκευάζονται μονάδες με ισχύ, που κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες Watt έως και αρκετά MW.

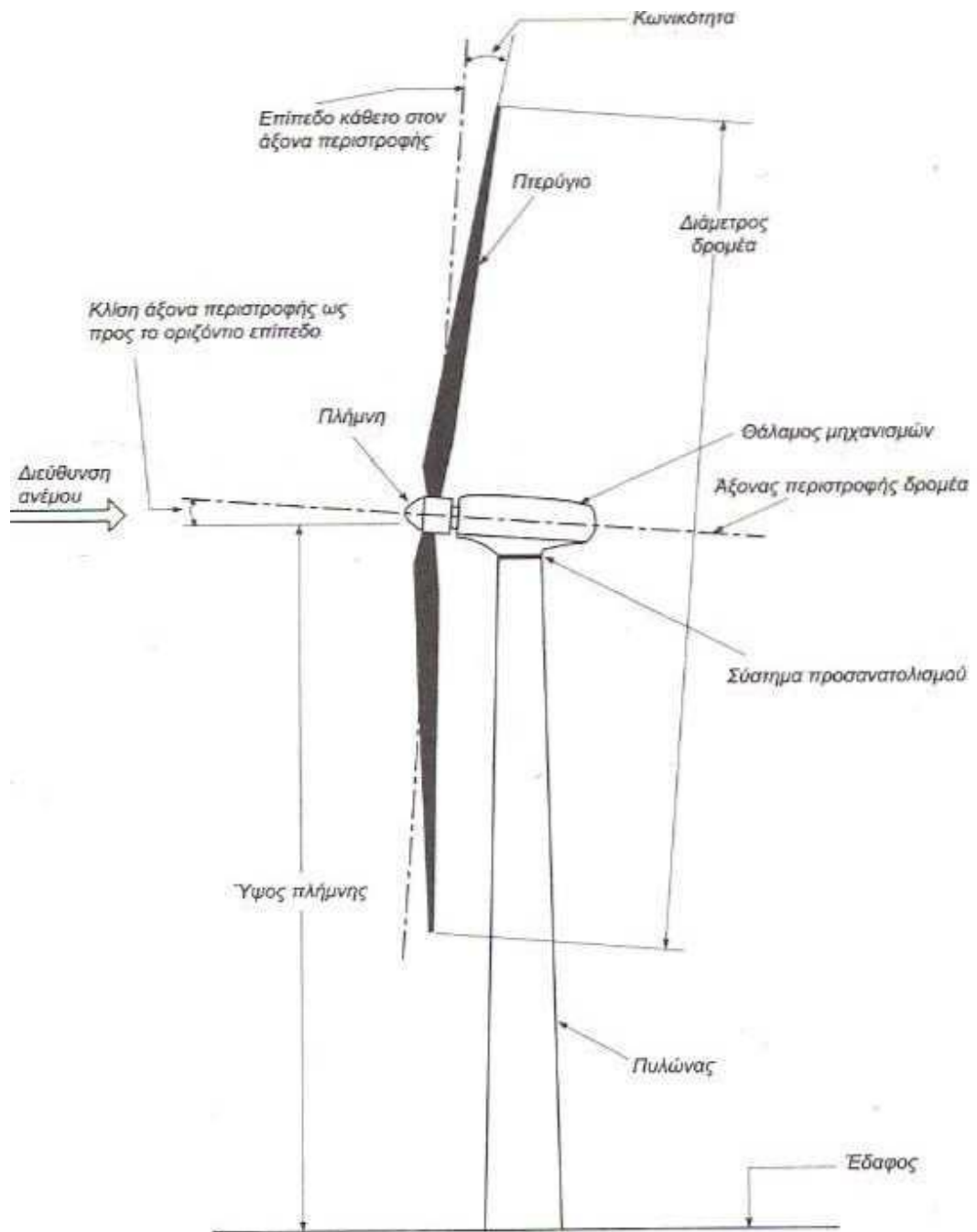
Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα (σχήμα 1.5), είναι ο πύργος στηρίξεως, η πτερωτή, ο άξονας περιστροφής, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας, η ηλεκτρική γεννήτρια καθώς και το σύστημα προσανατολισμού της μηχανής.



Σχήμα 1.5 Τυπική δομή ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα [3].

Τα πτερώγια καλύπτουν ένα μικρό ποσοστό (2% έως 10%) του εμβαδού της περιφέρειας που διαγράφουν. Όταν ο δρομέας λειτουργεί στα κατάντη του πύργου στηρίξεως έχουμε μεν αυξημένο επίπεδο αεροδυναμικού θορύβου, αλλά και αυτόματο προσανατολισμό της

περωτής στη διεύθυνση του ανέμου. Στην ανάντη λειτουργία της περωτής εκλείπουν τα παραπάνω φαινόμενα, με αποτέλεσμα η διάταξη αυτή να προτιμάται σήμερα,



Σχήμα 1.6 Τοποθέτηση ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα [3].

Η επιλογή του πλήθους των πτερυγίων σχετίζεται με την αεροδυναμική φόρτιση των πτερυγίων, με το βαθμό απόδοσής τους, με το κόστος κατασκευής της ανεμογεννήτριας καθώς και με θέματα αντοχής και συντονισμού λόγω ταλαντώσεων. Επιπλέον, θέματα που συνεκτιμώνται είναι η κυκλική μεταβολή της ροπής της μηχανής λόγω της καθ' ύψος μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου, καθώς και τα θέματα ζυγοστάθμισης των πτερυγίων.

Για τον περιορισμό της κυκλικής μεταβολής του φορτίου των πτερυγίων δίνεται μια μικρή κλίση (έως και 10°) του άξονα περιστροφής ως προς τον οριζόντιο άξονα. Τέλος, για λόγους περιορισμού των καμπτικών τάσεων πάνω στα πτερύγια, επιβάλλεται συνήθως μια μικρή κωνικότητα αυτών που δεν ξεπερνά τις 10° .

Για λόγους ασφάλειας της ανεμογεννήτριας, τα πτερύγια είναι συνήθως εφοδιασμένα με συστήματα αεροδυναμικής πέδησης (αερόφρενα), τα οποία διακόπτουν τη λειτουργία της μηχανής σε έκτακτες περιπτώσεις. Σε ειδικές κατασκευές εκτός από την παρουσία των αερόφρενων (π.χ. επίπεδες πλάκες κάθετες στην επιφάνεια του πτερυγίου) χρησιμοποιούνται και μικρά αλεξίπτωτα, που απελευθερώνονται φυγοκεντρικά μετά από κάποιο όριο στροφών και επιβραδύνουν την ανεμογεννήτρια.

Για τη βελτίωση της συνολικής συμπεριφοράς μιας πτερωτής, χρησιμοποιούνται πτερωτές μεταβλητού βήματος σε αντιδιαστολή με τις απλούστερες περιπτώσεις πτερωτών σταθερού βήματος. Η μεταβολή του βήματος μιας πτερωτής συνίσταται στην περιστροφή του πτερυγίου γύρω από το διαμήκη άξονά του, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της γωνίας προσβολής του από τον άνεμο. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η διατήρηση σταθερής ταχύτητας περιστροφής της ανεμογεννήτριας, η βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής απόδοσης των πτερυγίων, ο έλεγχος της παραγόμενης ισχύος, ο περιορισμός των δυνάμεων που καταπονούν τα πτερύγια κ.α.

Η πλήμνη αποτελεί το δεύτερο συστατικό της πτερωτής (δρομέα) και περιλαμβάνει εκείνο το μέρος της ανεμογεννήτριας πάνω στο οποίο προσαρμόζονται τα πτερύγια. Η τελική της μορφή εξαρτάται τόσο από το είδος της πτερωτής όσο και από τους επιθυμητούς βαθμούς ελευθερίας στη θέση σύνδεσης πτερυγίων και άξονα.

Ο άξονας της ανεμογεννήτριας κατασκευάζεται από ειδικό ενισχυμένο χάλυβα, ώστε να δύναται να μεταφέρει ισχυρές μη μόνιμες στρεπτικές και καμπτικές ροπές, ενώ η έδραση του γίνεται συνήθως σε δύο ένσφαιρα έδρανα ικανά να παραλαμβάνουν τόσο το βάρος του άξονα όσο και τα ενασκούμενα φορτία.

Η δυνατότητα περιστροφής του άξονα σε διεύθυνση παράλληλη προς αυτή του ανέμου εξασφαλίζεται με τη χρήση καθοδηγητικών πτερυγίων και ειδικών αυτοματισμών. Η πλέον σύγχρονη μέθοδος προσανατολισμού στηρίζεται στη χρήση ειδικού αισθητηρίου και σερβομηχανισμού, που περιστρέφει την άτρακτο της μηχανής(υπερκατασκευή) με τη βοήθεια οδόντωσης περιστροφής.

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

Το σύστημα κίνησης περιλαμβάνει επίσης, υδραυλικό ή μηχανικό φρένο και ελαστικούς συνδέσμους απορρόφησης στρεπτικών ταλαντώσεων. Το μηχανικό φρένο της ανεμογεννήτριας τοποθετείται είτε στον άξονα υψηλής ταχύτητας περιστροφής, οπότε απαιτείται μικρή σχετικά δύναμη πέδησης, αλλά δεν προστατεύεται η πτερωτή από απώλεια φορτίου ή θραύση του συστήματος μετάδοσης κίνησης, είτε στον άξονα χαμηλής ταχύτητας περιστροφής.

Στην τελευταία περίπτωση λόγω της μεγάλης ροπής πέδησης απαιτείται φρένο αυξημένων διαστάσεων, βάρους και κόστους. Στην περίπτωση όμως αυτή προστατεύεται καλύτερα η πτερωτή και το κιβώτιο μετάδοσης, για αυτό και αποτελεί τη βέλτιστη τεχνικά λύση. Τέλος, για λόγους πρόσθετης ασφάλειας, απαιτείται η αυτόματη ενεργοποίηση του φρένου με τη βοήθεια ελατηρίου, στην περίπτωση πτώσης της υδραυλικής πίεσης ή της ηλεκτρικής τάσης για την περίπτωση ηλεκτρομαγνητικού συστήματος πέδησης.

Για την προστασία των τμημάτων της ανεμογεννήτριας από τις καιρικές συνθήκες χρησιμοποιείται ειδικό κέλυφος από σύνθετο υλικό, π.χ. ειδικά κράματα χάλυβα ή αλουμινίου, που στην περιοχή της πλήμνης πρέπει να έχει και αεροδυναμική μορφή. Επιπλέον, το κέλυφος της ανεμογεννήτριας πρέπει να έχει αντιδιαβρωτική προστασία.

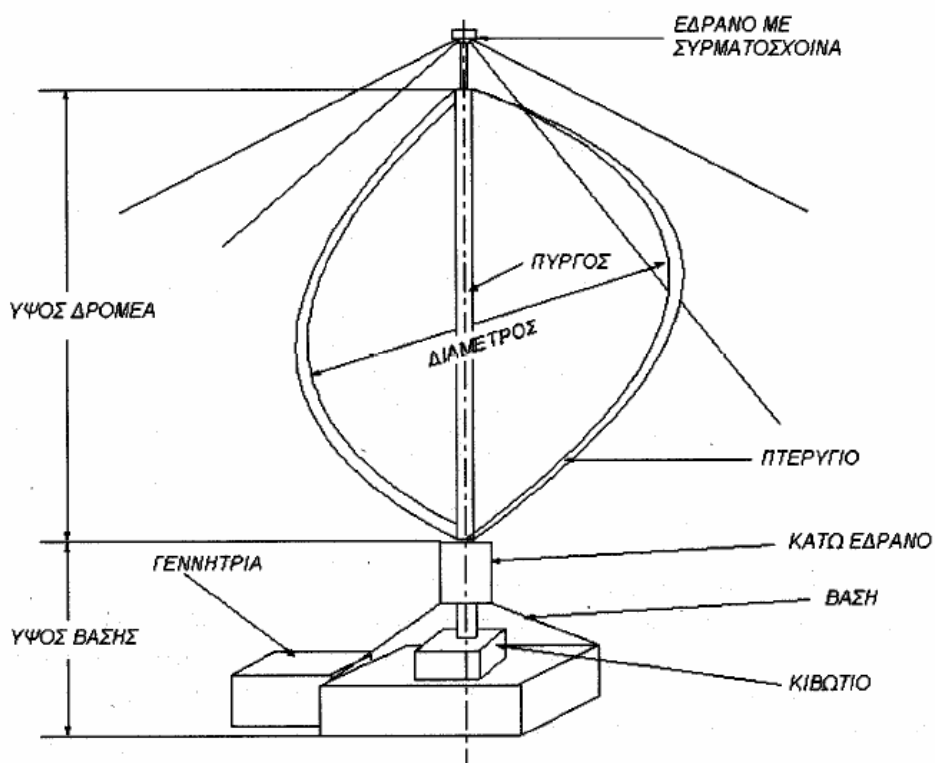
Ο πύργος στηρίξεως της ανεμογεννήτριας αποτελείται συνήθως είτε από ένα μεταλλικό δικτύωμα, είτε από μια στήλη από μπετόν ή μεταλλικό σωλήνα για μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες. Στην τελευταία περίπτωση υπάρχει ειδική μέριμνα για εσωτερική σκάλα, ενώ για ανεμογεννήτριες μεγάλων διαστάσεων υπάρχει πρόσθετη μέριμνα για εγκατάσταση ανελκυστήρα. Το ελάχιστο ύψος του πύργου στηρίξεως είναι συνήθως ίσο με τη διάμετρο της πτερωτής, ενώ κατά την εκλογή του πρέπει να ληφθούν υπόψη τόσο το αυξημένο κόστος κατασκευής και

θεμελίωσης για μεγάλα ύψη όσο και η δυνατότητα αξιοποίησης υψηλότερων ταχυτήτων του ανέμου, με την αύξηση του ύψους τοποθέτησης της πτερωτής.

Φυσικά πρέπει να αναφέρουμε και την ύπαρξη των ηλεκτρικών γεννητριών, που χρησιμοποιούνται για μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική, καθώς και των συστημάτων αυτοματισμού.

1.5 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΟΥ ΑΞΟΝΑ

Οι μηχανές κατακόρυφου άξονα εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, ως εκ τούτου αποτελούν και πιο απλές κατασκευές. Οι πιο γνωστοί τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα είναι οι μηχανές τύπου Darrieus, (Σχήματα 1.7 και 1.8) και οι μηχανές τύπου Savonius (Σχήμα 1.9). Να σημειωθεί ότι οι μηχανές τύπου Darrieus αποτελούν έναν από τους πλέον διαδεδομένους τύπους ανεμοκινητήρων στη διεθνή αγορά.



Σχήμα 1.7 Ανεμογεννήτρια Darrieus κατακόρυφου άξονα [3].



Σχήμα 1.8 Ανεμογεννήτρια Darrieus μεγάλου μεγέθους [5].

Συνοπτικά οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα κάθετο τόσο στη διεύθυνση του ανέμου όσο και στο έδαφος. Οι αιολικές μηχανές του τύπου αυτού έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση, ανεξαρτησία ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής και σχετικά απλά συστήματα ελέγχου. υπάρχει αρκετή ποικιλία δρομέων κατακόρυφου άξονα, όμως ο δρομέας τύπου Darrieus είναι ο περισσότερο εξελιγμένος και ως εκ τούτου και ο περισσότερο διαδεδομένος. Με τη χρήση μηχανών του τύπου αυτού δίνεται η δυνατότητα να κατασκευασθούν μηχανές με ονομαστική ισχύ της τάξεως του ενός MW.

Ένα άλλο πλεονέκτημα των μηχανών κατακόρυφου άξονα είναι ότι οι μηχανισμοί και η γεννήτρια βρίσκονται κατά κανόνα στο έδαφος, με αποτέλεσμα να απαιτείται ελαφρότερος πυλώνας και να διευκολύνεται η λειτουργία και η συντήρηση του όλου συστήματος.



Σχήμα 1.9 Σύστημα με πολλαπλές ανεμογεννήτριες τύπου Savonius [5].

Να σημειωθεί ότι υπάρχουν και ανεμογεννήτριες που είναι συνδυασμός των δύο βασικών τύπων που περιγράφηκαν παραπάνω (σχήμα 1.10).

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστροφής είναι πιο αθόρυβες και επηρεάζονται λιγότερο από τις αναταράξεις και τις δονήσεις, συγκριτικά πάντα με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα, επειδή δεν χρειάζονται άνεμο συγκεκριμένης διεύθυνσης για να περιστραφούν.



Σχήμα 1.10 Συνδυασμός των τύπων Darrieus και Savonius σε μια ανεμογεννήτρια [5].

Από την άλλη πλευρά, απαιτούν, σε γενικές γραμμές, μεγαλύτερη αιολική ενέργεια για να τεθούν σε κίνηση και ελαφρώς υψηλότερες ταχύτητες ανέμου για να λειτουργήσουν αποτελεσματικά, κάτι το οποίο είναι δυσκολότερο να επιτευχθεί στο αστικό περιβάλλον. Βασικό μειονέκτημά τους είναι ότι τα μικρά συστήματα εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας, υστερούν σε απόδοση, καθώς η παραγόμενη ισχύς είναι ανάλογη με την επιφάνεια σάρωσης. Για παράδειγμα μια ανεμογεννήτρια Savonius, ύψους 1 μέτρου και διαμέτρου 0,3 μέτρων είναι σε θέση να παράγει μόλις 50-100 kWh ενέργειας ετησίως.



Σχήμα 1.11 Ελικοειδής ανεμογεννήτρια Quiet Revolution [5].

Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένες ενδιαφέρουσες κατασκευές ελικοειδών ανεμογεννητριών, σε μορφή DNA, όπως η Quiet Revolution [Σχήμα 1.11] και η Turby [Σχήμα 1.12]. Αυτά τα συστήματα έχουν, συνήθως, ύψος 5 μέτρα και διάμετρο 3 μέτρα περίπου. Κατά συνέπεια έχουν τη δυνατότητα να παράξουν μεγαλύτερες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας. Το κόστος εγκατάστασής τους ανέρχεται σε σχεδόν 40.000 ευρώ. Τέλος, η συντήρηση των ανεμογεννητριών της συγκεκριμένης κατηγορίας είναι περισσότερο περίπλοκη, καθώς θα πρέπει να αποσυναρμολογηθεί ολόκληρο το σύστημα για να υπάρξει πρόσβαση στα έδρανα.



Σχήμα 1.12 Ελικοειδής ανεμογεννήτρια Turby στην οροφή κτιρίου [5].

1.6 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Κατά το σχεδιασμό μιας εγκατάστασης αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη και χαρακτηρίζουν την ανεμογεννήτρια που πρόκειται να επιλεγεί είναι:

1. Η διάμετρος πτερωτής της ανεμογεννήτριας, D , η οποία καθορίζει το εμβαδόν το οποίο σαρώνει η πτερωτή και συνεπώς την ενεργό επιφάνεια δια μέσου της οποίας επιχειρούμε να αξιοποιήσουμε την αιολική ενέργεια. Έχοντας κάποιες εκτιμήσεις για τη μέση ροή ενέργειας (σε Watt/m^2) σε μια περιοχή καθώς και για το ποσοστό το οποίο μπορούμε να αξιοποιήσουμε, είναι δυνατός ο καταρχήν καθορισμός της διαμέτρου της πτερωτής, εφ' όσον είναι γνωστή η απαιτούμενη ισχύς.
2. Το ύψος τοποθέτησης, H , για μηχανές οριζοντίου άξονα ή απλά το ύψος του δρομέα για μηχανές κατακόρυφου άξονα. Γνωρίζουμε ότι αυξανόμενου του ύψους αυξάνεται αφενός το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό (μέχρι το τέλος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος), αφετέρου το βάρος και το κόστος της εγκατάστασης.

Επιπλέον, υπάρχουν και περιορισμοί ελάχιστου ύψους, που βασίζονται στο γεγονός ότι τα πτερύγια δεν πρέπει να βρίσκονται πολύ κοντά στο έδαφος για να αποφεύγονται φαινόμενα αλληλεπίδρασης με το έδαφος.

Εν γένει το ύψος ενός ανεμοκινητήρα καθορίζεται με βάση τη διάμετρο της πτερωτής και οι χρησιμοποιούμενες αριθμητικές τιμές του λόγου H/D είναι στο διάστημα:

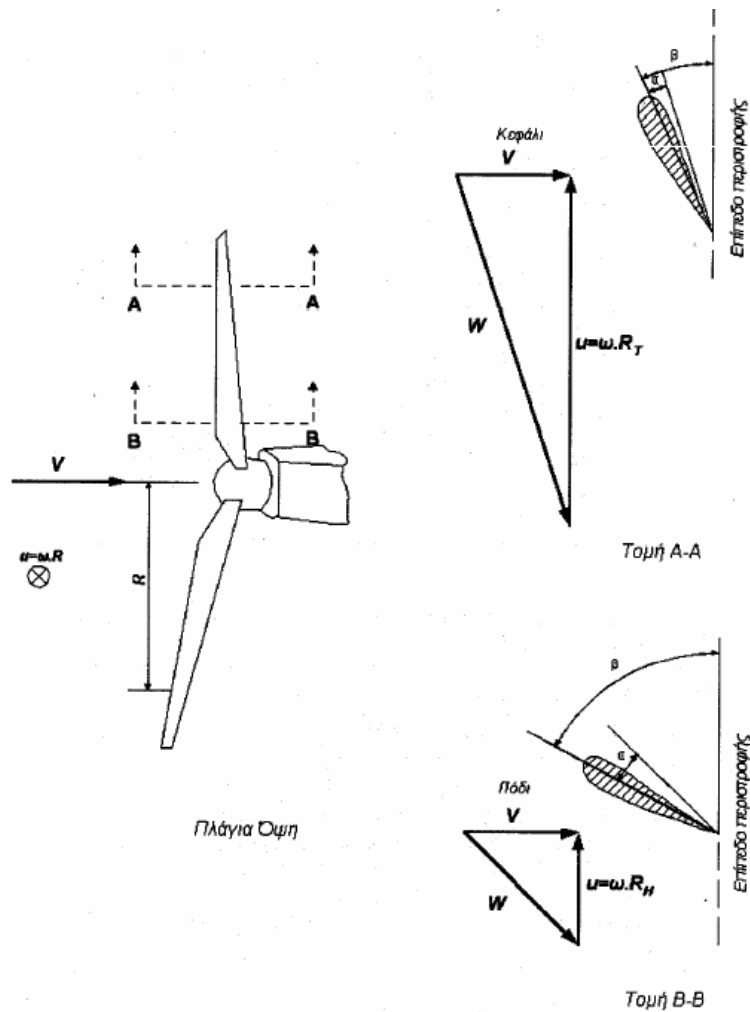
$$1.0 \leq \frac{H}{D} \leq 1.5 \quad (1.13)$$

3. Το πλήθος των πτερυγίων, z , της πτερωτής το οποίο συνδέεται και με τη στιβαρότητα σ της μηχανής. Ο καθορισμός του πλήθους των πτερυγίων μιας ανεμογεννήτριας πρέπει να βασισθεί στις σχέσεις (1.11) και (1.12). Βέβαια στις σημερινές εφαρμογές χρησιμοποιούνται κατά κανόνα τριπτέρυγες ή διπτέρυγες πτερωτές.

4. Το είδος των πτερυγίων της πτερωτής, που περιλαμβάνει αφενός τον τύπο των πτερυγίων, δηλαδή εάν αυτά ανήκουν σε κάποια τυποποιημένη κατηγορία ή όχι, το πάχος τους, τη συστροφή τους, αφετέρου τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή.

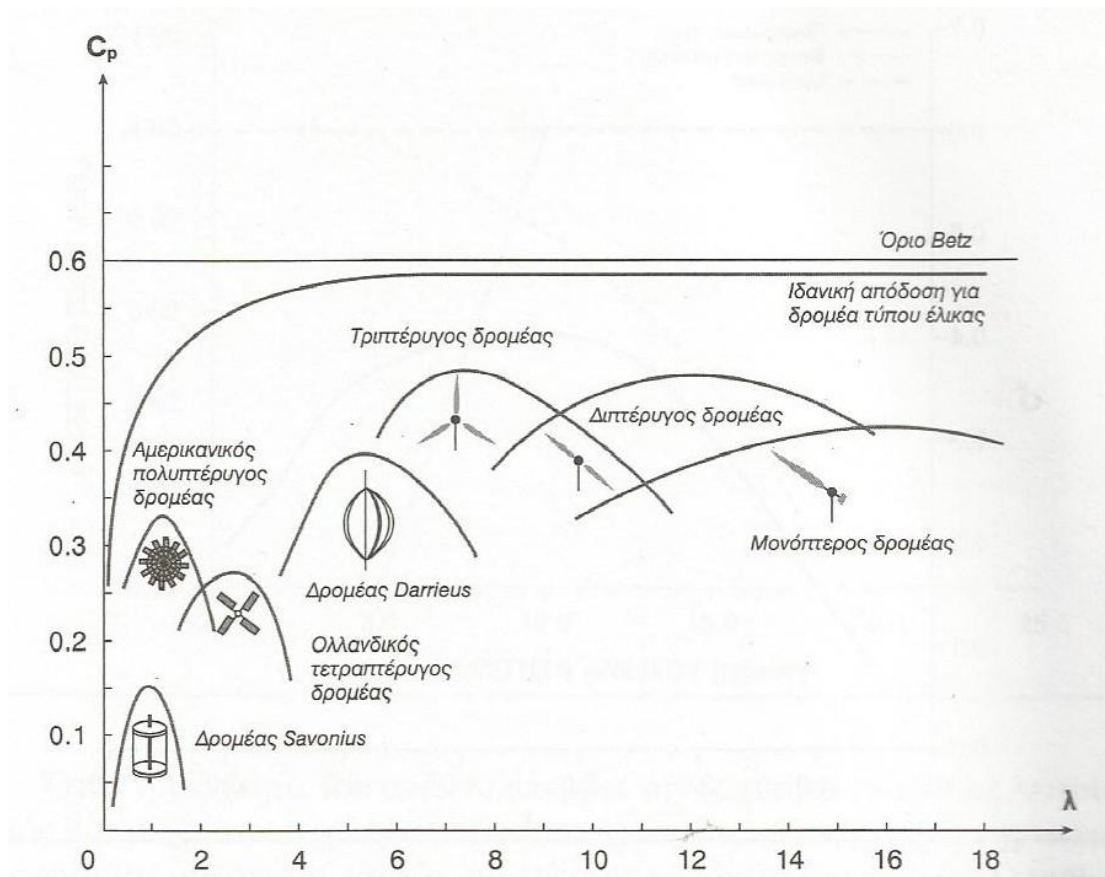
5. Η ονομαστική ταχύτητα περιστροφής, n , της πτερωτής, η οποία καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου σε περιπτώσεις διασυνδεδεμένων μηχανών και η αντοχή των πτερυγίων σε φυγόκεντρες τάσεις.

6. Το βήμα της πτερωτής, $\beta = \beta(r)$, το οποίο ορίζεται από τη γωνία β η οποία σχηματίζεται από τη χορδή της αεροτομής και από το επίπεδο περιστροφής της πτερωτής (σχήμα 1.13). Το βήμα της πτερωτής αποτελεί, γεωμετρικό στοιχείο αυτής και συνήθως μεταβάλλεται από το πόδι έως το κεφάλι των πτερυγίων, δηλαδή είναι συνάρτηση του r . Το βήμα της έλικας μειώνεται συνήθως από το πόδι έως το κεφάλι της πτερύγωσης, ενώ ο τρόπος μεταβολής του βήματος κατά το ύψος του πτερυγίου αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία επιτυχούς σχεδιασμού του δρομέα. Συνήθως ο ορισμός του βήματος μιας πτερωτής αναφέρεται κατά σύμβαση σε απόσταση ίση με τα $2/3$ της ακτίνας της μηχανής από τον άξονά της ή στη θέση $2/3$ του ύψους του πτερυγίου, με επικρατέστερη τη δεύτερη άποψη.



Σχήμα 1.13 Ορισμός του βήματος κατά το ύψος της πτερωτής [3].

7. Ο συντελεστής ισχύος C_p της ανεμογεννήτριας, αποτελεί στην ουσία τον αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης της πτερωτής. Ο συντελεστής αυτός περιγράφει το ποσοστό της ισχύος του ανέμου που εκμεταλλεύεται η πτερωτή της μηχανής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί ακόμα και για μια ιδανική έλικα ο συντελεστής ισχύος δεν είναι δυνατόν να υπερβεί το όριο του Betz. Στην πραγματικότητα ο συντελεστής ισχύος είναι πάντοτε αρκετά μικρότερος του ορίου του Betz, λόγω της συνεκτικότητας του ανέμου, του πεπερασμένου αριθμού των πτερυγίων της πτερωτής και της απώλειας κινητικής ενέργειας, που δεν μετατρέπεται σε στατική πίεση λόγω της μη βέλτιστης σχεδίασης των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας. Ο συντελεστής ισχύος εξαρτάται ισχυρά από το συντελεστή ταχύτητας ακροπτερυγίου λ . Στο σχήμα 1.14 που ακολουθεί φαίνεται η εξάρτηση αυτή για διάφορα είδη πτερωτών.



Σχήμα 1.14 Καμπύλες αεροδυναμικής απόδοσης C_p - λ πτερωτών ανεμογεννητριών [3].

8. Η ονομαστική ισχύς P_N της μηχανής, η οποία καθορίζει το μέγεθος μιας ανεμογεννήτριας και αποτελεί το μέτρο της στιγμιαίας ωφέλιμης παραγόμενης ενέργειας από την αξιοποίηση της αιολικής ισχύος σε μια επιφάνεια εμβαδού A , όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι v και η πυκνότητα του αέρα είναι ρ .

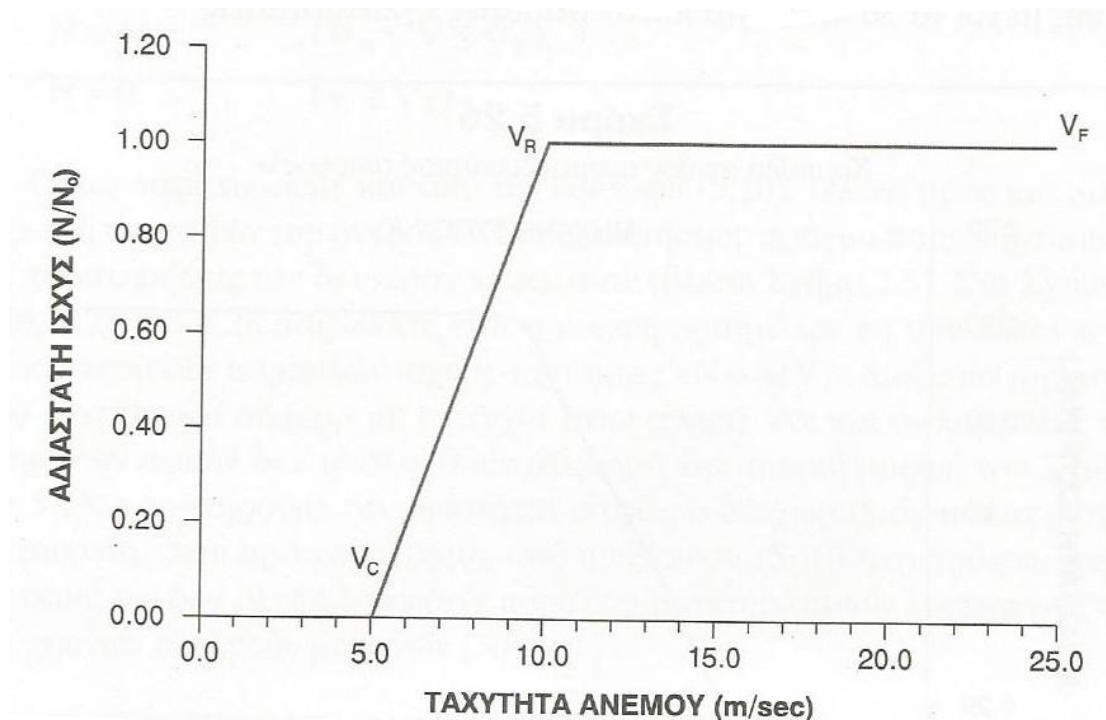
1.7 ΑΠΟΔΟΣΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Μια ανεμογεννήτρια αρχίζει να αποδίδει ισχύ σε μια ταχύτητα ανέμου v_C που ονομάζεται ταχύτητα έναρξης και παύει τη λειτουργία της πέρα από μία ταχύτητα ανέμου v_F που ονομάζεται ταχύτητα συστολής. Συνήθεις τιμές για τις δύο οριακές ταχύτητες είναι:

$$v_C \geq 3.5 \frac{m}{s} \quad (1.14)$$

και

$$22 \frac{m}{s} \leq v_F \leq 26 \frac{m}{s} \quad (1.15)$$



Σχήμα 1.15 Τυπική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας [3].

Εφόσον η αποδιδόμενη ισχύς της ανεμογεννήτριας φτάσει στην ονομαστική της τιμή, τότε αυτή παραμένει σταθερή ανεξάρτητα από την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Ονομαστική ταχύτητα, v_R , της ανεμογεννήτριας ονομάζεται η μικρότερη ταχύτητα ανέμου για την οποία εμφανίζεται η ονομαστική της ισχύς.

Εμπειρικά προκύπτει ότι η βέλτιστη κατάσταση λειτουργίας της ανεμογεννήτριας για τη μέγιστη ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι όταν:

$$v_R = 1.9 \cdot \bar{v} \quad (1.16)$$

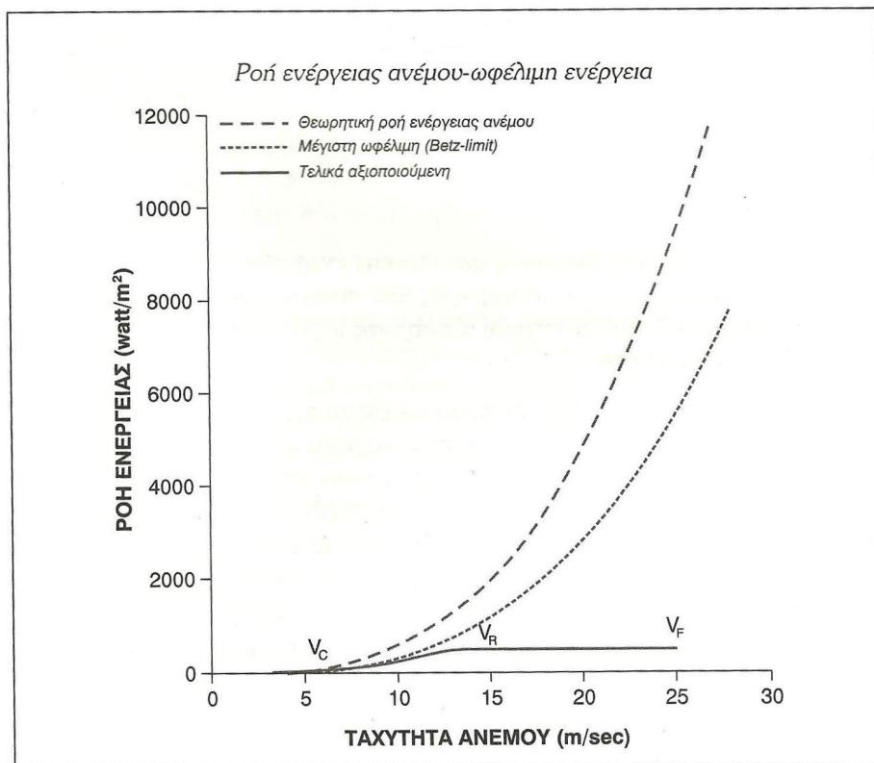
όπου \bar{v} είναι η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου. Στην πράξη θεωρούμε ότι έχουμε πολύ αποδοτική λειτουργία αν η ονομαστική ταχύτητα είναι από 1.5 έως 2 φορές μεγαλύτερη από τη μέση ταχύτητα του ανέμου.

Για να υπολογίσουμε την ηλεκτρική ισχύ που αποδίδει μια ανεμογεννήτρια πρέπει να λάβουμε υπόψη και το μηχανικό και τον ηλεκτρικό συντελεστή απόδοσης οπότε θα έχουμε:

$$P_{\eta\lambda} = \frac{1}{2} \rho S u^3 C_p \eta_M \eta_H \quad (1.17)$$

Μέση ισχύς P_m μιας ανεμογεννήτριας ονομάζεται η σταθερή ισχύς που θα έπρεπε να έχει μια ανεμογεννήτρια για να ικανοποιήσει την ετήσια ενεργειακή ζήτηση της συγκεκριμένης εγκατάστασης. Η ονομαστική ισχύς P_N της ανεμογεννήτριας ορίζεται από τη σχέση:

$$P_m = 0,2P_N \quad (1.18)$$



Σχήμα 1.16 Δυνατότητα αξιοποίησης της αιολικής ισχύος [3].

Η μέση ισχύς μπορεί να υπολογιστεί εύκολα από τις ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών. Στη συνέχεια από την (1.18) υπολογίζεται η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Με δεδομένη την ενεργειακή παραγωγή μιας ανεμογεννήτριας ή αιολικού πάρκου σε χρονικό διάστημα t , ο συντελεστής απασχόλησης ή συντελεστής εκμετάλλευσης (Capacity Factor, CF) ή μέσος συντελεστής φορτίου ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας E που παράγεται προς αυτή που θα μπορούσε να παράγει η μηχανή ή το πάρκο αν λειτουργούσε συνεχώς υπό ονομαστική ισχύ P_N :

$$CF = \frac{E}{P_N \cdot t} \quad (1.19)$$

Ο συντελεστής απασχόλησης έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς σχετίζεται άμεσα με τη βιωσιμότητα μιας ενεργειακής επένδυσης. Συνήθεις τιμές του είναι μεταξύ 0.25 και 0.35, χωρίς να αποκλείονται και υψηλότερες τιμές. Προφανώς είναι υψηλός σε θέσεις με μεγάλη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου, αλλά η τιμή του εξαρτάται επίσης από τη μορφή της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας και από τη διαθεσιμότητά της.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ένα αιολικό πάρκο είναι μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, οι οποίες εγκαθίστανται και λειτουργούν σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό και διοχετεύουν 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.



Σχήμα 2.1 Το αιολικό πάρκο Μονής Τοπλού στη Σητεία της Κρήτης [8].

Ανάλογα με τον τόπο, όπου εγκαθίστανται οι συστοιχίες των ανεμογεννητριών, τα αιολικά πάρκα διακρίνονται σε χερσαία και υπεράκτια. Χερσαία είναι αυτά, τα οποία εγκαθίστανται στη στεριά ενώ υπεράκτια αυτά τα οποία εγκαθίστανται στις θάλασσες. Σε σχέση με τα χερσαία έργα αιολικής ενέργειας, η κατασκευή υπεράκτιων ανεμογεννητριών απαιτεί σημαντική εφαρμοσμένη μηχανική όσον αφορά την υποδομή, τοποθέτηση, ηλεκτρική σύνδεση και την χρήση υλικών, τα οποία αντέχουν στο διαβρωτικό θαλάσσιο περιβάλλον.

Μολονότι η ταχύτητα των υπεράκτιων ανέμων είναι γενικά μεγαλύτερη αυτής των ανέμων της στεριάς, οι προαναφερθέντες παράγοντες δεν επέτρεψαν την υπεράκτια χρήση των ανεμογεννητριών κατά το παρελθόν.



Σχήμα 2.2 Το μεγαλύτερο υπεράκτιο αιολικό πάρκο της Γερμανίας και τρίτο μεγαλύτερο στον κόσμο, στη Βόρεια Θάλασσα. Έχει 80 ανεμογεννήτριες και παράγει ισχύ 400MW [15].

Η καθημερινή λειτουργία ενός αιολικού πάρκου παρακολουθείται και ελέγχεται με τη χρήση ενός συστήματος εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων. Το σύστημα αυτό συνδέει όλα τα συστατικά μέρη (δηλαδή ανεμογεννήτριες, μετεωρολογικούς σταθμούς και υποσταθμούς) του αιολικού πάρκου σε έναν κεντρικό Η/Υ, που παρέχει τη δυνατότητα στο χειριστή να παρακολουθεί και να ελέγχει τη λειτουργία του αιολικού πάρκου. Το σύστημα παρέχει και αποθηκεύει πληροφορίες σχετικά με τη λειτουργία του αιολικού πάρκου και έτσι μπορούν να εντοπιστούν αστοχίες ή προβλήματα λειτουργίας συγκεκριμένων ανεμογεννητριών.

Οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται έτσι ώστε να απαιτούνται περιοδικοί έλεγχοι μία έως τρεις φορές κατ' έτος. Οι περιοδικοί έλεγχοι συντήρησης διαφέρουν ασφαλώς ανάλογα με τις οδηγίες του κατασκευαστή και την τεχνολογία που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια. Η μη προγραμματισμένη συντήρηση μπορεί να αυξήσει σημαντικά το κόστος συντήρησης, (δηλαδή τις δαπάνες λειτουργίας και διαχείρισης) και κατά συνέπεια και το κόστος ανά κιλοβατώρα.

2.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ

Η επιλογή θέσης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας διαφέρει από την εγκατάσταση σταθμού ενέργειας συμβατικού καυσίμου. Δεν μπορούμε να προσδιορίσουμε την καθαρή παραγωγή ενέργειας ή το κατά προσέγγιση κόστος αυτής, αν δεν είναι γνωστή η ακριβής θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας. Η συμπεριφορά του ανέμου σε μία θέση είναι αυτή που καθορίζει και τη λειτουργική συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας. Έτσι, η οικονομική βιωσιμότητα μιας συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας, σ' ένα συγκεκριμένο τόπο δεν μπορεί να προβλεφθεί χωρίς την ακριβή γνώση αυτή. Επομένως, η ένταση του ανέμου και οι διακυμάνσεις της είναι οι βασικές παράμετροι για την επιλογή της θέσης της ανεμογεννήτριας.

Για να γίνει η επιλογή θέσης εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας δεν παίζει ρόλο μόνο ο άνεμος. Παρακάτω παρουσιάζονται και άλλοι παράγοντες που παίρνουν μέρος στην επιλογή της θέσης.

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

Ένας πρωταρχικός παράγοντας που σχετίζεται με την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης είναι το μέγεθος και οι περιοδικές διακυμάνσεις της έντασης του ανέμου. Η συμπεριφορά όμως του ανέμου κοντά στην επιφάνεια της γης είναι περίπλοκη και η ταχύτητα του μπορεί να μεταβληθεί απότομα, τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο επίπεδο. Οι τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί για να ανάγουμε υπάρχοντα δεδομένα, σε θέσεις που μας ενδιαφέρουν δεν είναι ακριβείς. Έτσι, δεν μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα δίκτυο μετρήσεων ταχυτήτων του ανέμου που να μπορεί να μας δώσει το αιολικό δυναμικό σε κάθε θέση μιας μεγάλης περιοχής. Επίσης οι μετρήσεις χρειάζονται χρόνο και χρήματα να πραγματοποιηθούν.

Η πιο πρακτική λύση στο πρόβλημα επιλογής θέσης ανεμογεννήτριας, είναι να χρησιμοποιήσουμε υπάρχουσες πληροφορίες για τον προσδιορισμό περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό, τέτοιο που να δικαιολογεί την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης. Έπειτα, μέσα στις περιοχές αυτές, επιλέγονται τοποθεσίες στις οποίες η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας είναι πρακτικώς εφικτή. Τέλος εκτελούνται μετρήσεις των ανέμων στις συγκεκριμένες πλέον θέσεις.

Μια ακόμα σημαντική παράμετρος που πρέπει να εξεταστεί πριν τη μελέτη ενός αιολικού πάρκου είναι να πλεχθεί πόσο εύκολη είναι η πρόσβαση στην περιοχή. Πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- οδικό δίκτυο
- λιμενικές εγκαταστάσεις
- υφιστάμενο δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Αυτές οι τρεις παράμετροι είναι πολύ σημαντικές για να μπορεί να είναι οικονομικά βιώσιμη η εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου.

2.3 ΧΩΡΟΘΕΤΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

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

Η περιοχή σκίασης μιας ανεμογεννήτριας κατά τη διέλευση του ανέμου από το ρότορά της χαρακτηρίζεται από:

- μείωση της ταχύτητας του ανέμου.
- υψηλή τύρβη

Στην περιοχή αυτή δεν συνιστάται η τοποθέτηση άλλων ανεμογεννητριών. Οι ανεμογεννήτριες λόγω της δέσμευσης ενέργειας από τον άνεμο, επιβραδύνουν τη ροή του ανέμου με αποτέλεσμα οι υπόλοιπες ανεμογεννήτριες που πιθανόν να βρίσκονται πίσω από την πρώτη να μην λαμβάνουν τόσο δυνατό άνεμο όσο έλαβε η πρώτη ανεμογεννήτρια.

Η απόσταση L στην οποία ο άνεμος ανακτά τα αρχικά του χαρακτηριστικά έχει εκτιμηθεί από πειραματικά δεδομένα ότι είναι στην περιοχή $8D$ έως $10D$, όπου D η διάμετρος του ρότορα της ανεμογεννήτριας.

2.4 ΑΚΡΑΙΕΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ

Κατά την αξιολόγηση θέσεων για εγκατάσταση ανεμογεννητριών πρέπει επίσης να συνυπολογιστούν και πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες που ενδεχομένως επικρατούν στις υποψήφιες περιοχές. Ορισμένες από αυτές είναι δυνατόν να προκαλέσουν σημαντικές φθορές στην εγκατάσταση, ενώ οι υπόλοιπες αυξάνουν το κόστος συντήρησης και λειτουργίας της ανεμογεννήτριας περιορίζοντας ίσως και τη διάρκεια ζωής της εγκατάστασης. Πιο αναλυτικά:

Ο παγετός

Ο παγετός επιδρά στη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας με αρκετούς τρόπους. Αρχικά, η επικάλυψη πάγου στα μέρη της εγκατάστασης αυξάνει τη στατική και δυναμική τους καταπόνηση με αποτέλεσμα να πρέπει τα μέρη της εγκατάστασης αλλά και οι γραμμές μεταφοράς ενέργειας να υπολογιστούν σε καταπονήσεις από αυξημένα μηχανικά φορτία.

Επίσης η επικάλυψη σημαντικών ποσοτήτων πάγου στα πτερύγια, εκτός του ότι αυξάνει το φορτίο τους, δημιουργεί και τον κίνδυνο να εκτοξευθεί κάποιο κομμάτι πάγου καθώς τα πτερύγια στρέφονται. Σε περίπτωση λοιπόν παγετού θα πρέπει να ακινητοποιηθεί η ανεμογεννήτρια και να καθαρίζονται τα πτερύγια. Αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή που έχουμε επιλέξει εμφανίζει συχνά φαινόμενα παγετού.

Ακόμα υπάρχει ο κίνδυνος, με το πάγωμα των ανεμόμετρων, να χαλάσουν τα συστήματα ελέγχου της ανεμογεννήτριας. Καλό είναι λοιπόν κατά την εκλογή θέσης ανεμογεννήτριας να εκτιμάται από μετεωρολόγο η πιθανότητα και η συχνότητα εμφάνισης παγετών.

Πρέπει να αποφεύγεται επίσης η επιλογή περιοχών που παρουσιάζουν υπερβολικές χιονοπτώσεις, γιατί αυξάνεται σημαντικά το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της ανεμογεννήτριας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή αποκλείεται συχνά από τα χιόνια.

Η υγρασία και οι συχνές βροχοπτώσεις

Η υψηλή υγρασία επιταχύνει φαινόμενα οξείδωσης και διάβρωσης της μηχανής ενώ αντίθετα αυξάνει την πυκνότητα του αέρα και συνεπώς και την αποδιδόμενη ισχύ.

Με την αύξηση της υγρασίας σε επίπεδα κορεσμού εμφανίζονται σταγόνες νερού πάνω στα πτερύγια, οι οποίες όπως και στην περίπτωση της βροχής αλλοιώνουν την αεροδυναμική συμπεριφορά των πτερυγίων. Στην περίπτωση αυτή η σχετική μείωση της ισχύος είναι της τάξης του 10% έως και 20% για ισχυρή βροχόπτωση.

Ταυτόχρονα, οι συχνές βροχοπτώσεις δυσχεραίνουν το έργο συντήρησης της εγκατάστασης, ενώ στην περίπτωση που συνοδεύονται από κεραυνούς, οι τελευταίοι απειλούν σοβαρά την ακεραιότητα και την εύρυθμη λειτουργία της ανεμογεννήτριας.

Η θερμοκρασία

Υψηλή τιμή της θερμοκρασίας οδηγεί σε μείωση της πυκνότητας του αέρα γεγονός που μειώνει την αποδιδόμενη ισχύ. Φυσικά, η μεταβολή στη συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας εξαρτάται και από το χρησιμοποιούμενο τρόπο ελέγχου της ισχύος.

Το υψόμετρο

Η επιλογή του υψομέτρου της περιοχής εγκατάστασης επιδρά στην επικρατούσα πίεση στην περιοχή της μηχανής, γεγονός που επιδρά στην τιμή της πυκνότητας του αέρα.

Υπερβολικά ισχυροί άνεμοι

Η συχνότητα με την οποία παρουσιάζονται θυελλώδεις άνεμοι (άνω των 9 Beaufort) σε μία περιοχή, καθώς και η έντασή τους, μπορεί να υπολογιστεί από υπάρχοντα κλιματολογικά δεδομένα. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη για το σχεδιασμό κατάλληλης ανεμογεννήτριας που να λειτουργεί όταν επικρατούν τέτοιοι θυελλώδεις άνεμοι. Βλέπουμε λοιπόν ότι ανάλογα με τη θέση που επιλέγουμε μεταβάλλεται και ο τύπος της ανεμογεννήτριας που θα εγκαταστήσουμε. Επομένως μεταβάλλεται το κόστος κατασκευής αλλά και το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.

Έντονη τύρβη

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

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

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

Υλικά μεταφερόμενα από τον αέρα

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

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

Η σταθερότητα των ανέμων

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

λειτουργία και τη συμπεριφορά της μηχανής. Μια μελέτη της NASA πάνω στο μοντέλο ανεμογεννήτριας Clayton MOD-OA έδειξε ότι με την περιστροφή της μηχανής γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της (yawing), προκειμένου αυτή να παρακολουθεί τις αλλαγές της κατεύθυνσης του ανέμου, αναπτύσσονται σημαντικά καμπτικά φορτία στα πτερύγια της μηχανής.

Δεν μπορούμε να πούμε με σιγουριά τι επίδραση έχει στη διάρκεια ζωής της μηχανής η συχνή περιστροφή της γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της. Είναι όμως φανερό ότι η λειτουργία μιας μηχανής σε μια θέση που παρουσιάζει συχνές αλλαγές στη διεύθυνση του ανέμου θα είναι μειονεκτικότερη μιας άλλης που είναι τοποθετημένη σε περιοχή με σταθερότερους ανέμους.

2.5 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Τα συστήματα ανεμογεννητριών λειτουργούν συνήθως σε σύνδεση με κάποιο υπάρχον δίκτυο άλλα σε απομακρυσμένες περιοχές όπου δεν υπάρχει δίκτυο ή δεν είναι εύκολη η σύνδεση σε αυτό, καλούνται να λειτουργήσουν αυτόνομα. Σχετικά με τον τρόπο σύνδεσης τους στο δίκτυο χωρίζονται σε δύο σημαντικές κατηγορίες:

- α) τα απευθείας συνδεδεμένα στο δίκτυο και
- β) αυτά που συνδέονται στο δίκτυο μέσω μετατροπέων ισχύος.

Στην πρώτη κατηγορία, οι ανεμογεννήτριες είναι σύγχρονες ή ασύγχρονες μηχανές στις οποίες επιβάλλεται η λειτουργία σε σταθερές στροφές εφόσον υπάρχει αυστηρή δέσμευση στη συχνότητα λειτουργίας τους από τη συχνότητα του δικτύου. Στις ασύγχρονες, οι στροφές δεν είναι ακριβώς σταθερές αν υπάρχει σύστημα μεταβολής της ολίσθησης. Προκειμένου να βελτιστοποιήσουν την απόδοση τους και ταυτόχρονα να προστατευτούν σε πολύ ισχυρούς ανέμους απαιτείται κάποια μορφή ελέγχου. Οι πλέον διαδεδομένες σήμερα τεχνικές ελέγχου περιλαμβάνουν τη χρήση μηχανικού κιβωτίου και τη μεταβολή του βήματος των πτερυγίων (pitch control). Επίσης σε ορισμένες κατασκευές είναι δυνατή η περιστροφή της γεννήτριας κατά τον εγκάρσιο άξονα ώστε να προσανατολίζεται η γεννήτρια προς την κατεύθυνση μέγιστης ροής του ανέμου η να αποκλίνει από αυτή όταν ο άνεμος είναι πολύ ισχυρός.

Η τελευταία τεχνική δηλαδή η στροφή της γεννήτριας για να προστατευθεί εφαρμόζεται σε πολύ μικρής ισχύος γεννήτριες και δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη καθώς υποβάλλει τον άξονα της γεννήτριας σε ισχυρές καταπονήσεις.

Συνήθως υπάρχει συνδυασμός των παραπάνω συστημάτων για βελτιστοποίηση της απόδοσης. Ασφαλώς βέβαια αν αναφερόμαστε σε τεχνικά προηγμένες κατασκευές, είναι απαραίτητη η χρήση συστήματος ελέγχου που θα καθορίζει σε τι βαθμό πρέπει να λειτουργήσει το κάθε σύστημα μετρώντας συνεχώς εξωτερικές παραμέτρους όπως η ταχύτητα του ανέμου και εσωτερικές όπως οι στροφές της γεννήτριας. Με χρήση τέτοιων μεθόδων μπορούν να κατασκευασθούν γεννήτριες πολύ μεγάλης ισχύος μέχρι αρκετά MW. Τυπικά εμπορικά συστήματα αυτής της κατηγορίας έχουν ονομαστική ικανότητα 600 KVA χρησιμοποιώντας ασύγχρονη γεννήτρια με δρομέα κλωβού, με μεταβολή του βήματος των πτερυγίων και περιστροφικό προσανατολισμό. Σε τόσο μεγάλες τιμές ισχύος είναι κάτι παραπάνω από απαραίτητα και αρκετά συστήματα ασφαλείας τα οποία ελέγχονται από τον κεντρικό ελεγκτή και λαμβάνουν υπόψη τη φόρτιση της γεννήτριας, τη θερμοκρασία της και άλλες παραμέτρους.

Στα συστήματα της δεύτερης κατηγορίας η συχνότητα λειτουργίας αποδεδειγμένα από τη συχνότητα του δικτύου και ρυθμίζεται από τους μετατροπείς με αποτέλεσμα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν με μεταβλητές στροφές. Η σύγχρονη μηχανή μονίμων μαγνητών αν και εκ πρώτης όψεως έχει αρκετά μειονεκτήματα, με κυριότερο την απομαγνήτιση των μαγνητών, είναι ευρύτατα χρησιμοποιούμενη σήμερα στα συστήματα μεταβλητών στροφών για πολλούς λόγους.

Η λειτουργία μεταβλητών στροφών καταργεί αυτομάτως την ανάγκη ύπαρξης μηχανικού κιβωτίου ή πτερυγίων μεταβλητού βήματος. Τα πτερύγια μεταβλητού βήματος μπορούν να συνεργαστούν με συστήματα μεταβλητών στροφών και αυξάνουν την απόδοση του συστήματος. Αν όμως πρόκειται για συστήματα μερικών kW είναι οικονομικά ασύμφορη η υιοθέτησή τους. Επιπλέον, η χρήση τους θα σήμαινε και την ανάγκη ενός ιδιαίτερα πολύπλοκου συστήματος ελέγχου. Από την άλλη το κιβώτιο είναι απαραίτητο σε συστήματα απευθείας σύνδεσης προκειμένου να διατηρούνται σταθερές οι στροφές τις γεννήτριας κατά τις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου. Συνεπώς είναι περιττό για ένα σύστημα που μπορεί να ρυθμίζει αυτόνομα τις στροφές του. Η ύπαρξη μηχανικού κιβωτίου συνεπάγεται αύξηση στο κόστος και το βάρος της διάταξης, απώλειες στη μεταφορά ισχύος και ανάγκη περιοδικής συντήρησης.

Οι ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών λειτουργούν υπό βέλτιστες στροφές (δηλαδή με το βέλτιστο αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος) για μεγαλύτερο εύρος ταχυτήτων ανέμου και συνεπώς εκμεταλλεύονται καλύτερα την αιολική ενέργεια.

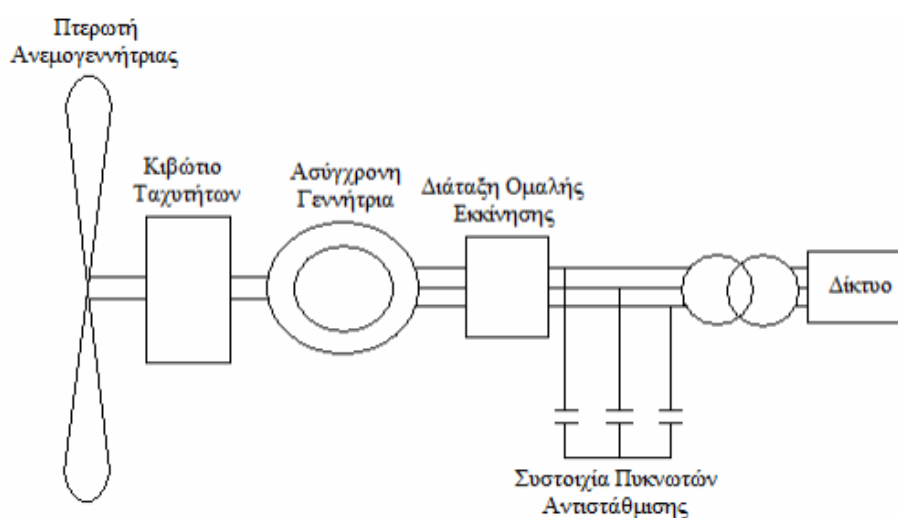
Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της λειτουργίας μεταβλητών στροφών συνδέεται με τα δυναμικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Οι μηχανικές υπερφορτίσεις στο σύστημα μετάδοσης της κίνησης, οι οποίες καταπονούν κυρίως το κιβώτιο ταχυτήτων και προκαλούν αντίστοιχες μεταβολές της ηλεκτρομαγνητικής ροπής και της παραγόμενης ισχύος, εξαρτώνται από τη στρεπτική δυσκαμψία και στην περίπτωση των ανεμογεννητριών σταθερών στροφών είναι γενικά εντονότερες αν η κλίση της χαρακτηριστικής στροφών ροπής της γεννήτριας είναι απότομη. Με τη λειτουργία μεταβλητών στροφών η σύνδεση με το δίκτυο γίνεται πιο ελαστική και οι δυναμικές φορτίσεις από τις μεταβολές του ανέμου αντισταθμίζονται μερικώς από την αδράνεια των στρεφόμενων μαζών. Έτσι μειώνονται οι μηχανικές καταπονήσεις και αυξάνεται η διάρκεια ζωής των μηχανικών μερών ελαττώνοντας το κόστος συντήρησης και βελτιώνοντας την αξιοπιστία του συστήματος.

Οι ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών είναι ιδιαίτερα ωφέλιμες στη σύνδεση με ασθενή δίκτυα. Αυτό ισχύει επειδή ο μετατροπέας ισχύος και ειδικότερα ο αντιστροφέας προσδίδει ευελιξία ως προς το χειρισμό της ισχύος. Δηλαδή, το σύστημα έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί με ρυθμιζόμενο συντελεστή ισχύος (επαγωγικό ή χωρητικό) και μπορεί ανάλογα με τις ανάγκες του δικτύου να παράγει ή να απορροφά ενεργό και άεργο ισχύ. Στα ασθενή δίκτυα είναι συνήθως απαραίτητη η παροχή άεργου ισχύος. Συνεπώς όταν συνδέονται απευθείας συστήματα σταθερών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια είναι απαραίτητη η χρήση πυκνωτών αντιστάθμισης διότι η ασύγχρονη γεννήτρια απορροφά πάντα άεργο ισχύ. Αν το ζητούμενο είναι να δοθεί αντίστοιχη ευελιξία σε συστήματα σταθερών στροφών πρέπει να ενσωματωθεί μετατροπέας ή κάποιο άλλο ευέλικτο σύστημα μεταφοράς όμως τότε αναιρείται το οικονομικό πλεονέκτημα των συστημάτων αυτών. Γενικά υπάρχει η τάση για δημιουργία μεικτών συστημάτων αλλά βασικό κριτήριο είναι η διατήρηση χαμηλού κόστους ώστε αντίστοιχα χαμηλό να είναι το κόστος ανά KWh παραγόμενης ενέργειας.

Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών μεταβλητών στροφών συγκαταλέγεται και η μείωση των επιπέδων θορύβου, όταν οι στροφές είναι χαμηλές. Γενικά ο θόρυβος που παράγεται από τα πτερύγια αυξάνει σε αναλογία με την πέμπτη δύναμη της ταχύτητας τους. Σε παλαιότερα συστήματα σταθερών στροφών, σημαντικό θόρυβο παρήγαγαν και τα κιβώτια όμως σήμερα κατασκευάζονται κιβώτια ειδικά για αυτό το σκοπό. Ασφαλώς υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για τη μείωση των επιπέδων θορύβου τόσο του μηχανικού (στρεφόμενα μηχανικά μέρη) όσο και του αεροδυναμικού (πτερύγια).

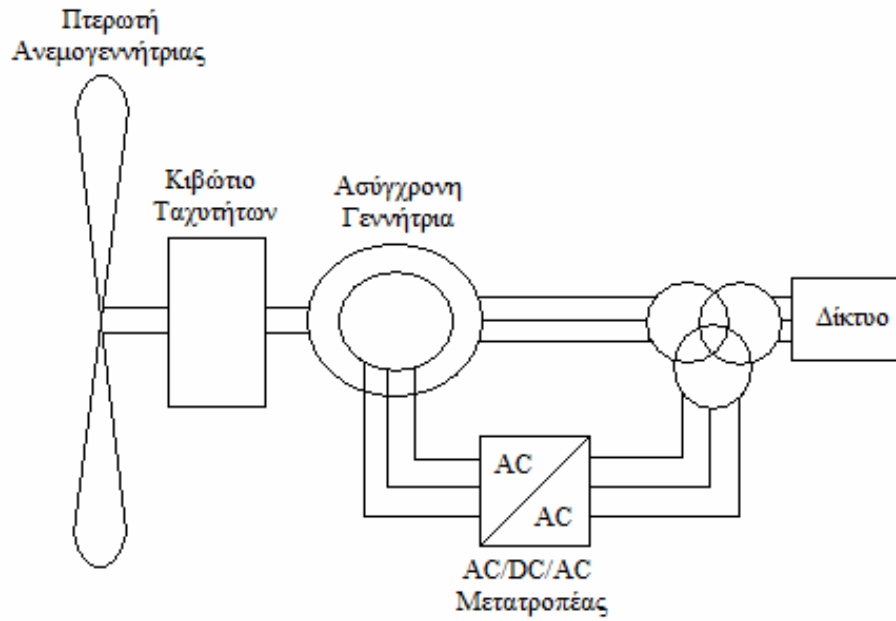
Όμως όσο αυξάνει ο παραγόμενος θόρυβος τόσο αυξάνει και το κόστος για την αντιμετώπιση του. Σημειώνεται εδώ ότι ο θόρυβος μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα όταν οι ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται κοντά σε κατοικημένες περιοχές και συνήθως δεν απασχολεί όταν εγκαθίστανται σε απομακρυσμένες περιοχές.

Μειονεκτήματα των διατάξεων μεταβλητών στροφών είναι το αυξημένο κόστος και η πολυπλοκότητα λόγω της ύπαρξης των μετατροπέων ηλεκτρονικών ισχύος. Ειδικά τα διακοπτικά στοιχεία ενός αντιστροφέα έχουν υψηλό κόστος και το σύστημα ελέγχου πρέπει να τα προστατεύει σε όλες τις πιθανές λειτουργικές καταστάσεις.

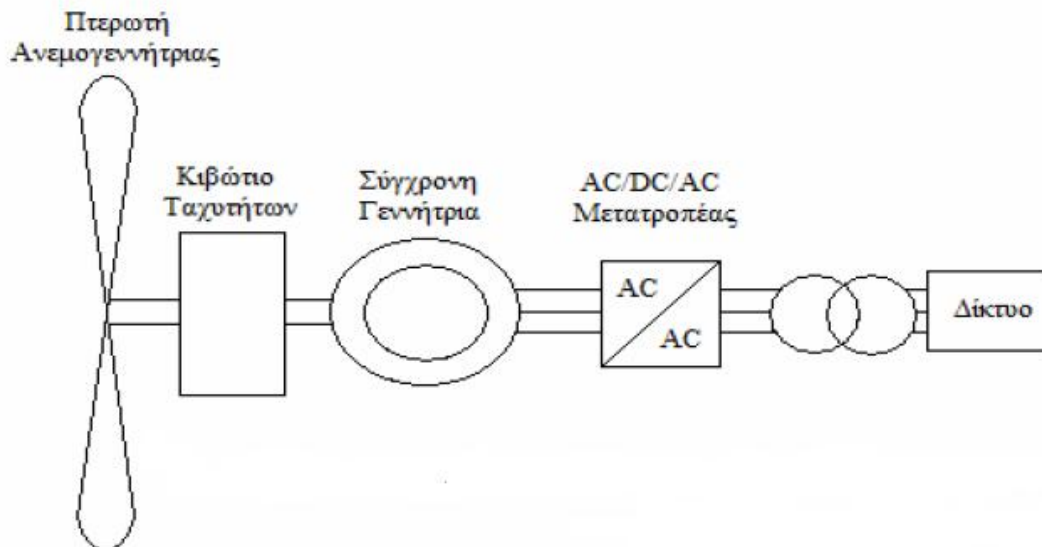


Σχήμα 2.3 Ανεμογεννήτρια σταθερών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια [16].

Ένα ακόμη πρόβλημα είναι η έγχυση αρμονικών στο δίκτυο η οποία προκαλεί παραμόρφωση της τάσης εξόδου. Γενικά οι αρμονικές μπορούν να αντιμετωπισθούν αυξάνοντας τη διακοπτική συχνότητα του αντιστροφέα και χρησιμοποιώντας βαθυπερατό φίλτρο στην έξοδο. Όμως τότε αυξάνεται η ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση σε κοντινές αποστάσεις από το μετατροπέα.



Σχήμα 2.4 Ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών με ασύγχρονη γεννήτρια διπλής τροφοδότησης [16].



Σχήμα 2.5 Ανεμογεννήτρια μεταβλητών στροφών με σύγχρονη γεννήτρια. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι απλούστερο ή δεν υπάρχει [16].

Η επιλογή της σύγχρονης γεννήτριας προσφέρει τη δυνατότητα ευρείας μεταβολής της ταχύτητας λειτουργίας της μηχανής (5% έως 110% των ονομαστικών στροφών). Η ασύγχρονη γεννήτρια δεν αποκλείει το ίδιο χαρακτηριστικό, ωστόσο προκειμένου να είναι αποδοτική πρέπει να κινείται πολύ κοντά στις ονομαστικές στροφές με χαμηλή ολίσθηση. Η υιοθέτηση μονίμων μαγνητών προσφέρει μια σειρά από πλεονεκτήματα όπως οι μηδενικές απώλειες χαλκού στο δρομέα, η απλούστερη κατασκευή, μικρότερο βάρος και όγκο για τα ίδια ονομαστικά μεγέθη, με μειωμένες απώλειες άρα καλύτερο βαθμό απόδοσης. Επιπλέον η σχεδίαση των μηχανών αυτών καθιστά δυνατή την ενσωμάτωση πολλών πόλων πράγμα που κάνει περιττή τη χρήση κιβωτίου ανύψωσης στροφών. Μειονεκτήματα είναι το υψηλό κόστος των υλικών των μονίμων μαγνητών και η μεταβολή των μαγνητικών τους χαρακτηριστικών με την πάροδο του χρόνου.

Ένα ζήτημα που πρέπει να εξεταστεί σε βάθος χρόνου είναι αν τελικά συμφέρει η εγκατάσταση πολλών μικρών ανεμογεννητριών ή λιγότερων μεγάλης ισχύος. Σίγουρα η παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας από μία μόνο γεννήτρια είναι δελεαστική, τι συμβαίνει όμως αν για κάποιο λόγο καταστραφεί η γεννήτρια. Επιπλέον η απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας σημαίνει ότι θα εισέλθουν στο χώρο και μικροί παραγωγοί για τους οποίους ενδεχομένως να είναι συμφέρουσα η εγκατάσταση μικρής ισχύος.

2.6 ΑΝΤΙΚΕΡΑΥΝΙΚΗ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

2.6.1 Γενικά

Κατά τα τελευταία χρόνια έχει αποδειχθεί ότι τα κεραυνικά πλήγματα αποτελούν μία από τις κυριότερες αιτίες βλαβών σε ανεμογεννήτριες, με αποτέλεσμα σημαντική απώλεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αυτές και την μείωση της διαθεσιμότητας τους. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο γεγονός ότι, συνήθως, οι πλέον ευνοϊκές τοποθεσίες εγκατάστασης αιολικών πάρκων είναι περιοχές σε μεγάλο υψόμετρο, όπου υπάρχει εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό. Ωστόσο, το περιβάλλον αυτό αυξάνει το βαθμό έκθεσης των ανεμογεννητριών σε κίνδυνους κεραυνοπληξιών.

Επιπλέον, η τρέχουσα τάση αύξησης του μεγέθους και του συνολικού ύψους των ανεμογεννητριών, καθώς και του ύψους της πλύμνης, είναι πιθανό να οδηγήσει σε μεγαλύτερες απώλειες λόγω

κεραυνοπληξιών. Για τον σκοπό αυτό, απαιτείται ο καθορισμός και η λήψη των κατάλληλων μέτρων προστασίας και ειδικότερα ο κατάλληλος σχεδιασμός των γειώσεων.

2.6.2 Συστήματα Γειώσεων

Η γείωση ενός αιολικού πάρκου, όπως κάθε άλλου ηλεκτρικού συστήματος, επιτυγχάνεται συνδέοντας μέσω μίας μικρής σύνθετης αντίστασης τον ηλεκτρικό εξοπλισμό με την γη με σκοπό τα ακόλουθα:

- Λειτουργία των συστημάτων προστασίας,
- Εξασφάλιση δυναμικού αναφοράς για τον εξοπλισμό,
- Πρόληψη των υψηλών δυναμικών λόγω σφαλμάτων και κεραυνοπληξιών που προκαλούν βλάβες στον εξοπλισμό και κίνδυνο στις ανθρώπινες ζωές.

Ο σχεδιασμός των συστημάτων γείωσης γίνεται σύμφωνα με κριτήρια καθορισμού της ασφάλειας του ανθρώπινου οργανισμού κατά την διάρκεια βραχυκυκλωμάτων σύμφωνα με τα διάφορα πρότυπα IEEE, IEC κ.τ.λ. Παρόμοια κριτήρια εκτίμησης του κινδύνου για τον ανθρώπινο οργανισμό κατά την διάρκεια κεραυνών δεν είναι τόσο καλά καθορισμένα, αλλά μπορούν να δοθούν με βάση τον κανονισμό IEC ή άλλους κανονισμούς.

Η αντοχή του εξοπλισμού σε κεραυνικές υπερτάσεις λαμβάνει υπόψη της την πιθανότητα κεραυνοπληξίας, η οποία θα προκαλέσει υπέρταση πάνω από κάποιο συγκεκριμένο όριο αντοχής.

2.6.3 Συχνότητα Κεραυνικών Πληγμάτων

Η απαιτούμενη αντικεραυνική προστασία των ανεμογεννητριών, είναι συνάρτηση της συχνότητας των πληγμάτων που δέχονται αυτές, οπότε του κινδύνου έκθεσής τους στους κεραυνούς.

Ο κίνδυνος έκθεσης μίας κατασκευής στους κεραυνούς, εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- Τον βαθμό χρησιμοποίησης της κατασκευής
- Τη φύση των υλικών από τα οποία συνίσταται η κατασκευή
- Τη θέση-τοποθεσία της κατασκευής
- Το ύψος της κατασκευής

2.6.4 Τυπικό Σύστημα Γείωσης Αιολικού Πάρκου

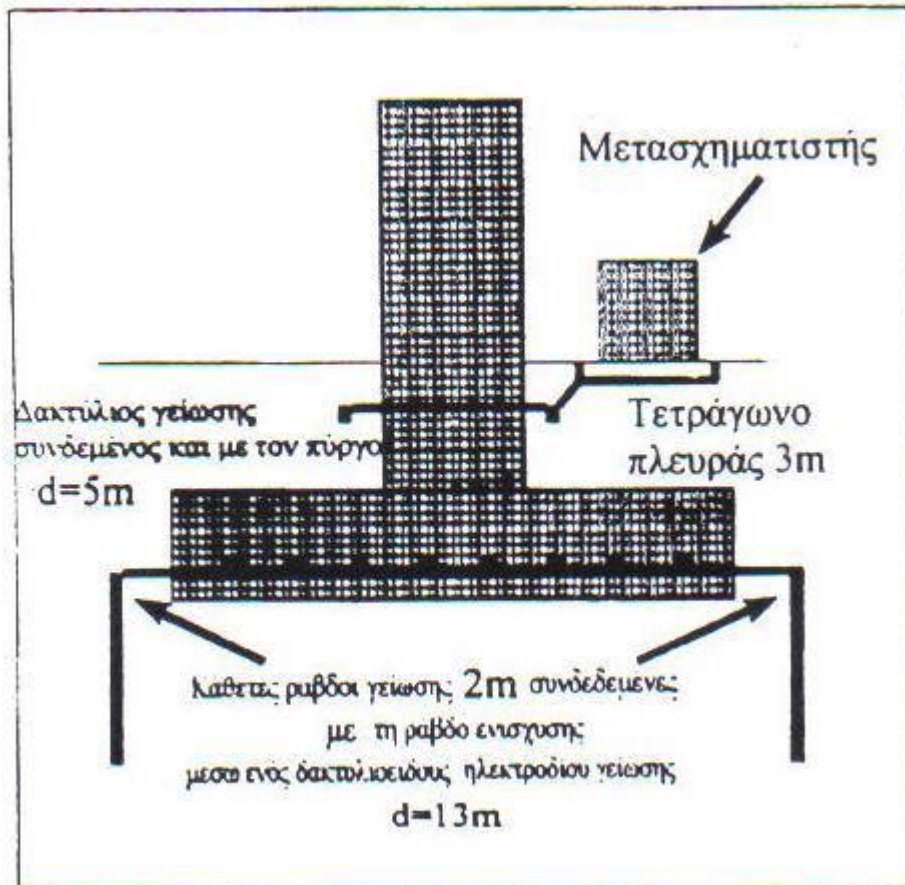
Η προστασία του ηλεκτρικού μέρους του αιολικού πάρκου, στην πράξη γίνεται χρησιμοποιώντας ασφάλειες, ή ηλεκτρονόμους σφάλματος προς γη. Τα μέσα αυτά προστασίας ενεργοποιούνται, όταν το ρεύμα σφάλματος υπερβεί κάποια τιμή. Όσο μικρότερη τιμή έχει η σύνθετη αντίσταση της γείωσης, τόσο ευκολότερη είναι να αναγνωριστούν οι καταστάσεις σφάλματος.

Τα κεραυνικά πλήγματα που δέχεται μία ανεμογεννήτρια αυξάνουν το τοπικό δυναμικό της γης, οπότε προκαλούνται μεγάλες διαφορές δυναμικού μεταξύ των αγωγών φάσεων των καλωδίων ισχύος και της μόνωσης, καθώς και μεταξύ του τυλίγματος υψηλής τάσης στο μετασχηματιστή της ανεμογεννήτριας και του γειωμένου τυλίγματος χαμηλής τάσης.

Η διαφορά αυτή του δυναμικού, μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή είτε της μόνωσης του καλωδίου, είτε του τυλίγματος του μετασχηματιστή, και να προκαλέσει βλάβη στο μέρος αυτό του εξοπλισμού. Όσο μικρότερη είναι η σύνθετη αντίσταση γείωσης, τόσο χαμηλότερη είναι η ανύψωση του δυναμικού η οποία προκαλείται από τον κεραυνό, και τόσο μικρότερη είναι η πιθανότητα καταστροφής της μόνωσης.

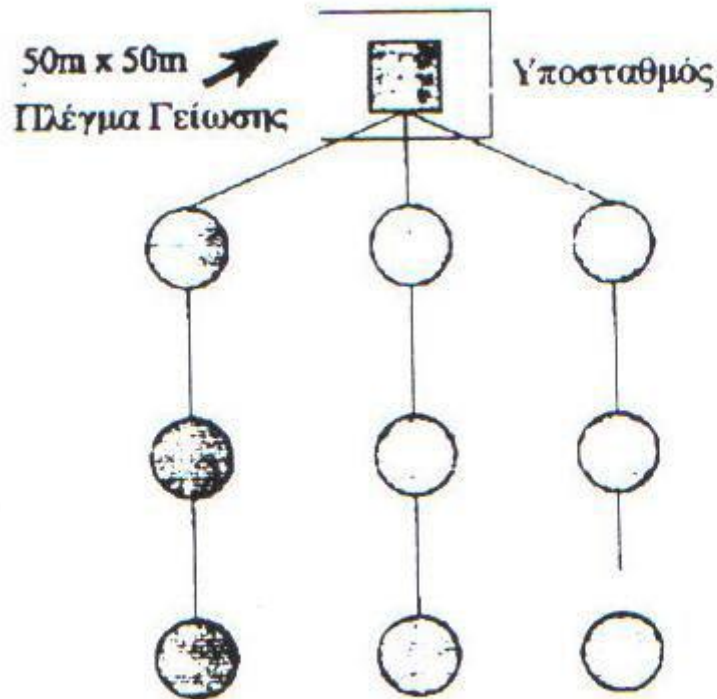
Η διαρροή ρεύματος στο έδαφος όταν πέφτει κεραυνός, είτε στην περίπτωση βιομηχανικού βραχυκυκλώματος έχει σαν αποτέλεσμα την ανύψωση του δυναμικού στην επιφάνεια του εδάφους. Οι τιμές αυτών των δυναμικών θα εξαρτώνται και από τη σύνθετη αντίσταση του συστήματος γείωσης, η οποία θα πρέπει να είναι αρκετά χαμηλή, ώστε να ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος για ανθρώπινες ζωές λόγω υψηλών βηματικών τάσεων και των τάσεων επαφής.

Η γείωση κάθε μεμονωμένης ανεμογεννήτριας γίνεται συνήθως τοποθετώντας ένα ηλεκτρόδιο σε σχήμα δακτυλίου γύρω από τη βάση της και συνδέοντάς το μέσω της βάσης στον πύργο της ανεμογεννήτριας (Σχήμα 2.6). Η ράβδος ενίσχυσης της βάσης συνδέεται επίσης απευθείας ή μέσω του πύργου της ανεμογεννήτριας στο ηλεκτρόδιο και αποτελεί μέρος της γείωσης, αφού η ειδική αντίσταση του σκυροδέματος είναι περίπου ίση με αυτή του εδάφους. Επιπλέον, χρησιμοποιούνται συχνά κατακόρυφες ράβδοι ή οριζόντια ηλεκτρόδια γείωσης, ώστε να επιτυγχάνεται μία καθορισμένη τιμή της αντίστασης γείωσης. Η τιμή αυτή έχει καθορισθεί από διάφορα πρότυπα (π.χ. British Standards) ως 10 Ohm ή μικρότερη, πριν να γίνει σύνδεση με οποιοδήποτε άλλο σύστημα.



Σχήμα 2.6 Διάταξη γείωσης ανεμογεννήτριας [13].

Οι μεμονωμένες γειώσεις των ανεμογεννητριών συνδέονται συνήθως μεταξύ τους με κάποιο μεταλλικό αγωγό ή μέσω της επένδυσης του κυρίου καλωδίου μεταφοράς της παραγόμενης ισχύος (Σχήμα 2.7). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την περαιτέρω μείωση της συνολικής σύνθετης αντίστασης. Εκεί, όπου το αιολικό πάρκο είναι εγκατεστημένο σε περιοχές υψηλής ειδικής αντίστασης του εδάφους, η γείωση κάθε ανεμογεννήτριας μπορεί να συνδεθεί με ένα οριζόντιο ηλεκτρόδιο επιπλέον της σύνδεσης που παρέχεται από το επενδυμένο καλώδιο μεταφοράς ισχύος.



Σχήμα 2.7 Διάταξη γείωσης αιολικού πάρκου [13].

2.7 ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

Οι μελέτες που πρέπει να γίνουν για την εγκατάσταση ενός Αιολικού Πάρκου χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τις Ανεμολογικές Μελέτες και τις Μελέτες των Έργων Κατασκευής, οι οποίες με την σειρά τους διακρίνονται σε Μελέτες Έργων Πολιτικού Μηχανικού και Ηλεκτρομηχανολογικές Μελέτες.

2.7.1 Ανεμολογικές Μελέτες

Αποτελούν την βάση σχεδιασμού ενός Αιολικού Πάρκου. Οι μελέτες πρέπει να στηρίζονται σε πραγματικά στοιχεία, μετρημένα στον τόπο του έργου με ακρίβεια και πιστότητα και με κάποιο χρονικό εύρος.

1. Αξιολόγηση Μετρήσεων & Extreme Validation: Είναι η πρώτη μελέτη που γίνεται και η οποία επεξεργάζεται τις μετρήσεις πεδίου, τις αξιολογεί, τις απαλλάσσει από τα αναξιόπιστα στοιχεία και ετοιμάζει το αρχείο για την δημιουργία του ανεμολογικού μοντέλου του πεδίου.

2. Correlation: Στην περίπτωση που υπάρχουν έγκυρα ιστορικά στοιχεία μετρήσεων στην κοντινή περιοχή, με την βοήθεια τους γίνεται διόρθωση και προβολή των στοιχείων πεδίου σε βάθος χρόνου. Αυτό εξασφαλίζει ακριβέστερη προσέγγιση του αναμενόμενου αιολικού δυναμικού, διότι κάθε ανεμολογική χρονιά είναι διαφορετική από την προηγούμενη της έως και 30% ορισμένες φορές, ενώ ένας πλήρης ανεμολογικός κύκλος υπολογίζεται στα 5 έως 6 χρόνια.

3. Ενεργειακή Παραγωγή: Επεξεργάζεται τα στοιχεία που προέκυψαν από τις προηγούμενες μελέτες και υπολογίζει την παραγόμενη ενέργεια με πιθανότητες από P50 (διάστημα εμπιστοσύνης στο οποίο η τιμή της παραγόμενης ενέργειας έχει πιθανότητα 50% να περιέχεται) μέχρι P95. Η ενεργειακή παραγωγή ποικίλει ανάλογα με τον τύπο της μηχανής, την θέση, το ύψος, την πυκνότητα της αέριας μάζας, κ.τ.λ.

4. Micrositing: Είναι μια μελέτη, η οποία βελτιστοποιεί μέχρι και 10% πολλές φορές την ενεργειακή απόδοση ενός πεδίου, κάνοντας μικρομετακινήσεις των θέσεων των μηχανών, βελτιώνοντας θέματα σκιάσεων και τυρβώδους ροής, μικρομεταβολές ύψους μηχανής, κ.τ.λ.

2.7.2 Μελέτες Έργων Κατασκευής

Είναι το σύνολο των μελετών που απαιτούνται για την ορθή, άρτια τεχνικά, έγκαιρη και οικονομική εκτέλεση των κατασκευαστικών έργων του project. Εκτός των άλλων δίνουν την δυνατότητα της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού και την προϋπολογιστική μείωση του κόστους του project πριν την φάση της κατασκευής. Χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

A) Μελέτες Έργων Πολιτικού Μηχανικού

Περιλαμβάνονται όλες οι μελέτες, οι οποίες έχουν να κάνουν με έργα αρμοδιότητας Πολιτικού Μηχανικού και είναι:

1. Γενικό Layout: Περιλαμβάνει την πλήρη ανάπτυξη του Πάρκου με τις θέσεις των μηχανών, τις προσβάσεις, την οδοποιία και τα τεχνικά έργα.

2. Γεωτεχνική Μελέτη: Η μελέτη εκπονείται σε δύο στάδια. Το πρώτο είναι μακροσκοπικό και εκπονείται κατά την διάρκεια του γενικού σχεδιασμού του έργου και σκοπό έχει τον προσδιορισμό των βασικών γεωτεχνικών χαρακτηριστικών του πεδίου, καθώς και την σεισμική ζώνη στην οποία ανήκει. Το δεύτερο στάδιο εκπονείται κατά την διάρκεια των εκσκαφών. Η έρευνα είναι ακριβής και γίνεται με την βοήθεια γεωτρύπανου. Έτσι, προσδιορίζεται με ακρίβεια η φέρουσα ικανότητα του εδάφους θεμελίωσης.

3. Μελέτη Οδοποιίας: Συντάσσεται μελέτη οδοποιίας, η οποία δημιουργεί την βέλτιστη χάραξη, λαμβάνει υπόψη της όλα τα βασικά μεγέθη και διαστάσεις για την κίνηση των φορτηγών, των γερανών και των μηχανημάτων, τα οποία θα κινηθούν μέσα στο πεδίο, λαμβάνει υπόψη της τις μέγιστες επιτρεπόμενες κλίσεις και βελτιστοποιεί τους χωματισμούς με αποτέλεσμα την οικονομία στην κατασκευή. Αντιμετωπίζει θέματα απορροών, τεχνικών έργων και προσβάσεων, έτσι ώστε να αποφευχθούν προβλήματα και εκπλήξεις κατά την διάρκεια της κατασκευής. Η μελέτη περιλαμβάνει οριζοντιογραφία, μηκοτομές, διατομές, διαγράμματα επικλήσεων και πίνακα χωματισμών.

4. Μελέτη Πλατειών: Συντάσσεται μελέτη εκσκαφής και διάταξης της κάθε πλατείας χωριστά, η οποία λαμβάνει υπόψη της όλα τα βασικά μεγέθη και διαστάσεις για την κίνηση των φορτηγών, των γερανών και των μηχανημάτων, τα οποία θα κινηθούν στο χώρο της πλατείας και βελτιστοποιεί τους χωματισμούς με αποτέλεσμα την οικονομία στην κατασκευή. Αντιμετωπίζει θέματα διάταξης και αποθήκευσης υλικών, ανέγερσης, montage και προσβάσεων, έτσι ώστε να αποφευχθούν προβλήματα κατά την διάρκεια της ανέγερσης.

5. Στατική Μελέτη: Με τα αποτελέσματα της γεωτεχνικής έρευνας και τα φορτία του κατασκευαστή των μηχανών, συντάσσεται στατική μελέτη εφαρμογής της θεμελίωσης του πυλώνα.

B) Μελέτες Έργων Ηλεκτρολόγου Μηχανικού

Περιλαμβάνονται όλες οι μελέτες, οι οποίες έχουν να κάνουν με έργα αρμοδιότητας Ηλεκτρολόγου Μηχανικού και είναι:

1. Γενικό Layout: Περιλαμβάνει την πλήρη ανάπτυξη του Πάρκου με τις θέσεις των μηχανών, τις προσβάσεις, την οδοποιία, τις οδεύσεις των δικτύων μέσης και υψηλής τάσης, τις θέσεις των οικίσκων ελέγχου και του υποσταθμού όπου υπάρχει.

2. Μελέτες γειώσεων: Περιλαμβάνονται οι μελέτες γειώσεων των ανεμογεννητριών, των υπογείων καλωδίων μέσης τάσης και του υποσταθμού.

3. Μελέτη εσωτερικού δικτύου μέσης τάσης 20kV: Περιλαμβάνει την μελέτη του εσωτερικού υπόγειου δικτύου μέσης τάσης του Πάρκου. Καθορίζει βάθη εκσκαφής, διατομές καλωδίων, τρόπους σήμανσης, θέσεις και εξοπλισμό οικίσκων ελέγχου.

4. Μελέτη εξωτερικού δικτύου μέσης τάσης 20kV: Περιλαμβάνει την μελέτη του εξωτερικού, εναερίου συνήθως, δικτύου μέσης τάσης, το οποίο συνδέει το Πάρκο με τον υποσταθμό ή το δίκτυο μέσης τάσης. Γίνεται η χάραξη της διαδρομής με πρόνοια για τους κύριους ανέμους για την αποφυγή συγκέντρωσης σκόνης στο δίκτυο, προδιαγράφονται τα υλικά και οι μονωτήρες, υπολογίζονται διατομές καλωδίων και οι απώλειες ενέργειας.

5. Μελέτη υποσταθμού μέσης - υψηλής τάσης 20kV/150kV: Εκπονείται πλήρης μελέτη υποσταθμού, η οποία περιλαμβάνει την δημιουργία του γενικού layout του υποσταθμού, την διαμόρφωση του οικοπέδου, τις προσβάσεις, το κτίριο του υποσταθμού με όλο του τον εξοπλισμό, τον ή τους μετασχηματιστές, τα ικριώματα, τις γειώσεις, τον φωτισμό, τα αλεξικέραυνα προστασίας, τις θεμελιώσεις και τα υπόγεια κανάλια, καθώς και κάθε άλλο στοιχείο απαραίτητο για την πλήρη και έντεχνη κατασκευή του υποσταθμού.

6. Μελέτη σύνδεσης στην υψηλή τάση 150kV: Εκπονείται πλήρης μελέτη σύνδεσης του υποσταθμού με το πλησιέστερο δίκτυο υψηλής τάσης της περιοχής. Γίνεται η χάραξη της διαδρομής με πρόνοια για τους κύριους ανέμους για την αποφυγή συγκέντρωσης σκόνης στο δίκτυο, προδιαγράφονται τα υλικά και οι μονωτήρες, υπολογίζονται διατομές καλωδίων και οι πυλώνες.

7. Μελέτη δικτύου επικοινωνιών: Εκπονείται πλήρης μελέτη εσωτερικής διασύνδεσης των μηχανών του Πάρκου, των οικίσκων ελέγχου και του υποσταθμού με οπτικές ίνες ή κάτοπτρα για την αναγκαία σύνδεση, παρακολούθηση και τηλεχειρισμό του Πάρκου από τον κύριο του έργου, τον ΔΕΣΜΗΕ και τον προμηθευτή των μηχανών.

2.8 ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Είναι γνωστό ότι οι ανεμογεννήτριες προκαλούν μικρές επιδράσεις στο περιβάλλον σε σύγκριση με τις επιδράσεις των αντίστοιχων θερμοηλεκτρικών ή πυρηνικών σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στα οικοσυστήματα μιας περιοχής. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών μονάδων είναι σε γενικές γραμμές οι παρακάτω:

Επιδράσεις στην ορνιθοπανίδα

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

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

Πρέπει να σημειωθεί ότι 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.

Επιδράσεις στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες της περιοχής

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

Οπτική όχληση

Η οπτική όχληση των ανεμογεννητριών συνίσταται στην αλλοίωση της οπτικής ενός φυσικού τοπίου, μέσω της εγκατάστασής τους σε περιοχές χωρίς άλλες ανθρώπινες παρεμβάσεις. Η επίδραση της εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου στην αλλοίωση της οπτικής μιας περιοχής είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί. Πέραν του υποκειμενικού χαρακτήρα του θέματος, διαφορετικές εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων έχουν, αντικειμενικά, διαφορετικές επιδράσεις.

Εκπομπές θορύβου

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

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

Ο αεροδυναμικός θόρυβος σχετίζεται με την ταχύτητα του πνέοντος ανέμου και την αεροδυναμική σχεδίαση του πτερυγίου. Ο αεροδυναμικός θόρυβος πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά το στάδιο του σχεδιασμού και κατασκευής της μηχανής. Τα τελευταία χρόνια έχει δοθεί ιδιαίτερη βαρύτητα στη σχεδίαση των πτερυγίων των Α/Γ έτσι ώστε να μειώνεται ο αεροδυναμικός θόρυβος, με πολύ καλά αποτελέσματα. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι ανεμογεννήτριες τελευταίας γενιάς παράγουν θόρυβο έντασης μικρότερης από το 10% της έντασης που παρήγαγαν οι ανεμογεννήτριες που κατασκευάστηκαν τη δεκαετία του 1980.

Ο μηχανικός θόρυβος προκαλείται από τα κινούμενα ηλεκτρομηχανολογικά μέρη της ανεμογεννήτριας. Κύριες πηγές είναι το κιβώτιο μετάδοσης, η ηλεκτρογεννήτρια και τα έδρανα στήριξης.

Η 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.

Το ανώτατο επιτρεπτό όριο εκπεμπόμενου θορύβου από ανεμογεννήτριες σε κατοικημένες περιοχές διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Στην Ελλάδα το όριο αυτό είναι 40 dB.

Επίδραση του παραγόμενου ηλεκτρομαγνητισμού

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

Είναι γεγονός ότι, η διάδοση των εκπομπών στις συχνότητες της τηλεόρασης ή και του ραδιοφώνου (κυρίως στις συχνότητες εκπομπών FM) επηρεάζεται από εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και

δέκτη. Το κυριότερο πρόβλημα από τις ανεμογεννήτριες προέρχεται από τα κινούμενα πτερύγια που μπορούν να προκαλέσουν αυξομείωση σήματος λόγω αντανακλάσεων. Αυτό ήταν πολύ εντονότερο στην πρώτη γενιά ανεμογεννητριών που έφερε μεταλλικά πτερύγια. Τα πτερύγια των συγχρόνων ανεμογεννητριών κατασκευάζονται αποκλειστικά από συνθετικά υλικά, τα οποία έχουν ελάχιστη επίπτωση στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Όσον αφορά τις εκπεμπόμενες ακτινοβολίες, τα μόνα υποσυστήματα που θα μπορούσαμε να πούμε ότι "εκπέμπουν" ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαμηλού επιπέδου είναι η ηλεκτρογεννήτρια και ο μετασχηματιστής μέσης τάσης. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της ηλεκτρογεννήτριας είναι εξαιρετικά ασθενές και περιορίζεται σε μια πολύ μικρή απόσταση γύρω από το κέλυφος της που είναι τοποθετημένο τουλάχιστον 40 με 50 μέτρα πάνω από το έδαφος. Για το λόγο αυτό δεν υφίσταται πραγματικό θέμα έκθεσης στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ούτε καν στη βάση της ανεμογεννήτριας. Ο μετασχηματιστής, πάλι, περιβάλλεται πάντα από περίφραξη ασφαλείας ή είναι κλεισμένος σε μεταλλικό υπόστεγο. Η περίφραξη είναι τοποθετημένη σε τέτοια απόσταση που το επίπεδο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι αμελητέο.

Σκίαση

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

Ο κίνδυνος πρόκλησης σκίασης είναι μεγαλύτερος σε αιολικά πάρκα που έχουν εγκατασταθεί αρκετά κοντά σε κατοικήσιμες περιοχές. Η ελάχιστη απόσταση που, βάσει της ελληνικής νομοθεσίας, ένα αιολικό πάρκο μπορεί να έχει από ένα οικισμό είναι 500 m. Η απόσταση αυτή αυτομάτως μειώνει τον κίνδυνο πρόκλησης του φαινομένου της σκίασης. Ωστόσο, κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, ένα αιολικό πάρκο εγκατεστημένο στην ελάχιστη απόσταση από έναν οικισμό, είναι δυνατό να προκαλέσει σκίαση στα πλησιέστερα κτίρια.

2.9 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΠΑΡΚΩΝ

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

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

Ασφάλεια συστήματος

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

Η συχνότητα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται με τη ζήτηση ενεργού ισχύος από την κατανάλωση, ενώ η τάση ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται με τη ζήτηση άεργου ισχύος από την κατανάλωση. Στις παρακάτω σχέσεις (2.1) και (2.2) περιγράφονται αναλυτικά οι εξαρτήσεις αυτές.

$$\Delta f = -\frac{\Delta P_L}{P_n} \cdot f_n \cdot R \quad (2.1)$$

$$\Delta Q = E_i \frac{\Delta V}{X_d} \cdot \cos \delta - \frac{(\Delta V)^2}{X_d} \quad (2.2)$$

όπου:

Δf η προκαλούμενη μεταβολή συχνότητας εξαιτίας της μεταβολής της ενεργού ισχύος

ΔP_L η μεταβολή ενεργού ισχύος

P_n η αρχική συνολική παραγωγή ισχύος

f_n η συχνότητα μόνιμης κατάστασης λειτουργίας

R ο στατισμός του συστήματος

ΔQ η μεταβολή της άεργου ισχύος
 E_i η τάση διέγερσης της γεννήτριας
 ΔV η προκαλούμενη μεταβολή τάσης εξαιτίας της μεταβολής της άεργου ισχύος
 X_d η επαγωγική αντίδραση της γεννήτριας
 δ η γωνία ισχύος της γεννήτριας

Η διατήρηση ασφάλειας λοιπόν σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ουσιαστικά ανάγεται στην εξασφάλιση των απαιτούμενων από την κατανάλωση ροών ενεργού και άεργου ισχύος, με ρυθμούς απόκρισης μεταβολών φορτίου τέτοιους, ώστε οι προκαλούμενες μεταβολές συχνότητας και τάσης, βάσει των σχέσεων (2.1) και (2.2), να διατηρούνται πάντα εντός των ανεκτών ορίων λειτουργίας των γεννητριών.

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

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

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ ΣΕ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΘΕΣΗ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

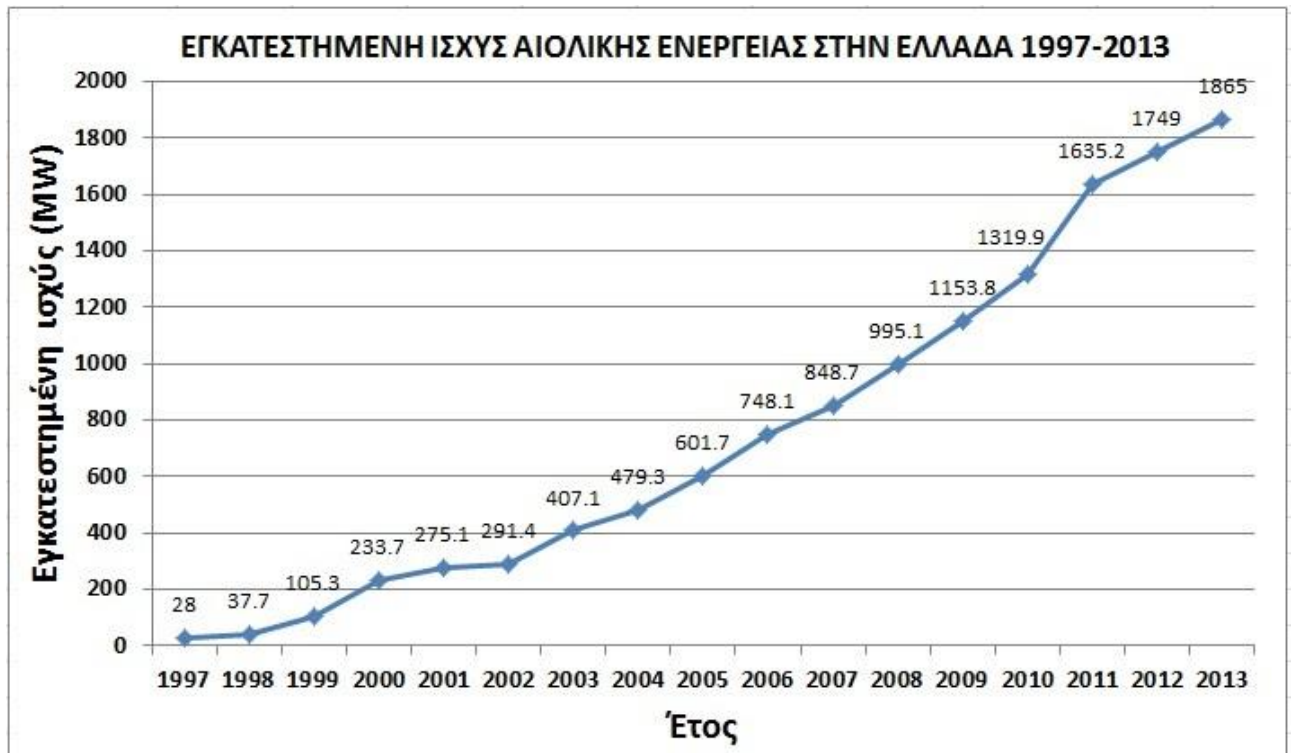
Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο συνολικό δυναμικό στην Ελλάδα, όπως προκύπτει με βάση τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες και τους βασικούς περιορισμούς χωροθέτησης αιολικών πάρκων εκτιμάται σε 11000 MW για ταχύτητες ανέμου πάνω από 6 m/s (για σύγκριση αναφέρεται ότι η συνολική εγκατεστημένη ισχύς όλων των ηλεκτροπαραγωγικών μονάδων της ΔΕΗ είναι περίπου 9500 MW).

Όλες οι περιφέρειες της χώρας εμφανίζουν αξιόλογο αιολικό δυναμικό, το μεγαλύτερο όμως ποσοστό συγκεντρώνεται στις νησιωτικές περιοχές, την ανατολική Στερεά Ελλάδα και την ανατολική Πελοπόννησο. Μέχρι σήμερα έχουν εγκατασταθεί στην Ελλάδα πάνω από 1800 MW από τη ΔΕΗ και από ιδιωτικούς φορείς, ενώ εκκρεμούν πολλές ακόμη αιτήσεις αδειοδότησης, γεγονός που καταγράφει την πρόθεση των επενδυτών και τη δυναμική που αναδεικνύεται.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες που ευνοούν την ανάπτυξη της χρήσης της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι:

- Η εμπειρία στον χώρο της αιολικής τεχνολογίας είναι ήδη σημαντική. Έτσι, κάποια προβλήματα τεχνικής φύσεως που παρουσιάστηκαν στις πρώτες απόπειρες εγκατάστασης ανεμογεννητριών, έχουν πλέον ξεπεραστεί. Σαν συνέπεια της εμπειρίας αυτής, η διάρκεια ζωής των αιολικών σταθμών παρουσιάζει συνεχώς αυξητικές τάσεις, όπως και ο αριθμός των εγκατεστημένων αιολικών σταθμών σε όλο τον κόσμο και στην Ελλάδα. Τα παραπάνω πιστοποιούν την αξιοπιστία των αιολικών συστημάτων.
- Τα νησιά του Αιγαίου, μαζί με την Εύβοια και την Κρήτη διαθέτουν το υψηλότερο αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα και θεωρούνται από τις πλέον ευνοούμενες περιοχές της Ευρώπης από

πλευράς αιολικής ενέργειας. Το υψηλό αυτό δυναμικό αντανακλάται στον υψηλό συντελεστή εκμετάλλευσης των ανεμογεννητριών, που δείχνει το ποσοστό της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας σε σχέση με την ενέργεια που θα παραγόταν, εάν οι ανεμογεννήτριες λειτουργούσαν συνεχώς στην ονομαστική τους ισχύ. Πρέπει να τονιστεί ότι, τα υψηλά αιολικά δυναμικά δεν συνοδεύονται πάντα από εξίσου υψηλές οικονομικές αποδόσεις των επενδύσεων διότι υπεισέρχεται ο παράγοντας του κόστους εγκατάστασης και λειτουργίας των αιολικών σταθμών. Παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση της Αστυπάλαιας η οποία αν και παρουσιάζει πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό έχει σχετικά χαμηλή οικονομική απόδοση.



Σχήμα 3.1 Εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα 1997-2013 [19].

- Το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τους πετρελαϊκούς σταθμούς της ΔΕΗ στα νησιά του Αιγαίου είναι υψηλό.
- Πέρα από τα οικονομικά οφέλη, υπάρχει πάντα άμεση η ανάγκη της προστασίας του περιβάλλοντος και της σημαντική

απεξάρτησης από τα εισαγόμενα καύσιμα. Η αιολική ενέργεια είναι καθαρή ενέργεια, απεριόριστη, άμεσα εκμεταλλεύσιμη και φιλική προς το περιβάλλον.

- Γενικά, η στάση της κοινής γνώμης απέναντι στην εγκατάσταση Αιολικών Σταθμών είναι θετική. Αν και μπορεί να υπάρξουν κάποια προβλήματα οπτικής εναρμόνισης με το περιβάλλον, ιδιαίτερα σε μικρά νησιά με παραδοσιακή αρχιτεκτονική, σε γενικές γραμμές οι Αιολικοί Σταθμοί εγκαθίστανται μακριά από κατοικημένες περιοχές. Συνεπώς, προβλήματα θορύβου και οπτικής ενόχλησης είναι μικρής σημασίας.

Στο σχήμα 3.1 φαίνεται η χρονική εξέλιξη της εγκατεστημένης ισχύος αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα. Παρά τις πολύ καλές προϋποθέσεις ανάπτυξης που αναφέρθηκαν προηγουμένως, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, αντιμετωπίζει μέχρι τώρα αρκετά προβλήματα, τα οποία έχουν ενταθεί λόγω της παγκόσμιας και εγχώριας οικονομικής κρίσης. Παρά τη σημαντική αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος τα προηγούμενα χρόνια, είναι κοινά αποδεκτό ότι αυτή η αύξηση είναι πολύ μικρή δεδομένου του πλούσιου αιολικού δυναμικού της χώρας μας

Κύριος λόγος για τη μικρή ανάπτυξη μέχρι το 2001 ήταν το νομοθετικό καθεστώς και το μονοπωλιακό μοντέλο της οικονομίας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μετά τις νομοθετικές αλλαγές στο χώρο των ΑΠΕ και την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η κατάσταση βελτιώθηκε σημαντικά. Η Ελλάδα εφαρμόζει το σύστημα feed-in και η νομοθεσία προσφέρει επιπλέον αρκετά ικανοποιητικά κίνητρα για τους επενδυτές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το αυξημένο ενδιαφέρον των επενδυτών για ανάπτυξη πολλών MW αιολικής ενέργειας. Όμως το επενδυτικό ενδιαφέρον είναι φανερό ότι δεν είναι αρκετό.

Χαρακτηριστικά, ο στόχος της χώρας μας για το 2010 ως προς την ηλεκτροπαραγωγή από αιολική ενέργεια ήταν η εγκατεστημένη ισχύς να φτάσει περίπου τα 3500MW ενώ στο τέλος του 2010 η πραγματικά εγκατεστημένη ισχύς ανήλθε μόλις στα 1320 MW. Είναι φανερό ότι σε μια χώρα για την οποία υπάρχει στόχος και καλή θέληση ενώ και οι επενδυτικές προτάσεις δεν είναι λίγες, η ανάπτυξη των αιολικών πάρκων καθυστερεί σημαντικά, με αποτέλεσμα, ο στόχος να έχει πλέον μετατεθεί για το 2020 με εγκατεστημένη ισχύ που θα πρέπει να φτάσει περίπου τα 7500 MW. Οι προβλέψεις μέχρι τώρα δεν είναι ευοίωνες, οι καθυστερήσεις στην έκδοση αδειών παραγωγής και εγκατάστασης είναι σημαντικές και οι προβλέψεις είναι συγκρατημένες.

Οι αιτίες για αυτές τις καθυστερήσεις είναι, η, τουλάχιστον μέχρι το 2009, μακροσκελής και περίπλοκη αδειοδοτική διαδικασία, η αδυναμία του δικτύου σε πολλές περιπτώσεις (π.χ. Εύβοια, Κρήτη) να υποστηρίξει επιπλέον εγκατεστημένη ισχύ, και η έλλειψη χωροταξικού σχεδιασμού. Τα παραπάνω προβλήματα έχουν τεθεί υπό συζήτηση και έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες για την επίλυση τους, όπως η δημιουργία, αρχικά, του νόμου 3468/2006, ο οποίος απλοποίησε κατά ένα μέρος τον τρόπο λήψης άδειας παραγωγής, και, σε δεύτερη φάση, του νόμου 3851/2010 ο οποίος έχει επιταχύνει σημαντικά την αδειοδοτική διαδικασία (ιδιαίτερα στο τμήμα της περιβαλλοντικής αδειοδότησης), χωρίς όμως να λείπουν και σε αυτή την περίπτωση κενά ή αντικρουόμενες αρμοδιότητες μεταξύ κρατικών φορέων.

Επίσης, έχουν δρομολογηθεί επεκτάσεις και ενισχύσεις του δικτύου μεταφοράς ρεύματος, ένα έργο το οποίο ενδέχεται να βοηθήσει μακροπρόθεσμα και την αδειοδότηση αλλά και την γρήγορη εισαγωγή των έργων αιολικής ενέργειας στο δίκτυο. Τα προβλήματα των κοινωνικών αντιδράσεων, εφόσον αυτά οφείλονται σε οπτική όχληση από την ύπαρξη των ανεμογεννητριών είναι πάντα δύσκολο να αντιμετωπιστούν, υπό την έννοια ότι το αν σε κάποιον αρέσει ή όχι η όψη μιας ανεμογεννήτριας είναι κάτι το υποκειμενικό. Είναι βέβαιο όμως ότι ένας επενδυτής ο οποίος θα σχεδιάσει και θα τοποθετήσει τις ανεμογεννήτριες, αποφεύγοντας τις υπερβολές και τις μαζικές παρεμβάσεις στο τοπίο μιας περιοχής και με κατανόηση στις ιδιαιτερότητες των τοπικών κοινωνιών, θα αντιμετωπίσει και τα λιγότερα προβλήματα.

Το θέμα του χωροταξικού σχεδιασμού οριοθετείται από το Ειδικό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού για τις ΑΠΕ το οποίο από τις αρχές του Δεκέμβρη του 2008 βρίσκεται σε εφαρμογή και έχει ενταχθεί στην αδειοδοτική διαδικασία των αιολικών πάρκων.

Στο ήδη προβληματικό περιβάλλον που περιγράφηκε για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα έχει προστεθεί το θέμα της οικονομικής κρίσης στην Ελλάδα, η οποία έχει δημιουργήσει προβλήματα στη χρηματοδότηση των υπό ανάπτυξη έργων, με αποτέλεσμα την καθυστέρηση τους και, σε βάθος χρόνου, τη ματαίωση τους.

Σε ότι αφορά στις δυνατότητες αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού, διακρίνονται τρεις κατηγορίες ανεμογεννητριών:

- Ανεμογεννήτριες 300 kW, που αποτελούν το αντιπροσωπευτικότερο εμπορικό μέγεθος της παρερχόμενης τεχνολογικής γενιάς και είναι στην ουσία μία μέση τιμή της αντίστοιχης περιοχής ισχύος (150 έως 450 kW)

- Ανεμογεννήτριες 600 kW, που αποτελούν το αντιπροσωπευτικότερο εμπορικό μέγεθος της σημερινής αιολικής τεχνολογίας και μέση τιμή της σημερινής περιοχής ισχύων (450 έως 750kW) και
- Ανεμογεννήτριες 1500 kW, που φαίνονται να αποτελούν το αντιπροσωπευτικότερο εμπορικό μέγεθος μιας μελλοντικής γενιάς ανεμογεννητριών για μεγάλα αιολικά πάρκα.

Από τη σύγκριση των τριών κατηγοριών ανεμογεννητριών παρατηρούνται τα εξής:

- Οι μικρότερες Α/Γ πετυχαίνουν μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση ανά εγκατεστημένο kW, συγκριτικά με εκείνες των 600 και 1500 kW. Αυτό οφείλεται στις ανεμολογικές συνθήκες που τις ευνοούν. Για το λόγο αυτό έχουν συγκεκριμένες Α/Γ έχουν αυξημένο συντελεστή εκμετάλλευσης.
- Παρά τη σχετικά χαμηλή ενεργειακή τους απόδοση οι Α/Γ 1500 kW, παρουσιάζουν αισθητά χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης ανά kW από εκείνες τις Α/Γ των 600 και κυρίως 300 kW. Έτσι, αποτελούν πολύ ελκυστικότερες επενδύσεις, παρουσιάζοντας πιο σύντομη περίοδο αποπληρωμής.

Τέλος, επισημαίνεται ότι, τα οποιαδήποτε συμπεράσματα βασίζονται στην ακρίβεια και στην αξιοπιστία των διαθέσιμων ανεμολογικών στοιχείων. Η ευαισθησία των αιολικών μηχανών σε πιθανές αποκλίσεις των παραμέτρων του αιολικού δυναμικού από τις προσδοκώμενες τιμές, μπορεί να είναι μεγάλη.

3.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ

Ο έλεγχος της οικονομικής βιωσιμότητας μιας ενεργειακής επένδυσης μπορεί να στηριχθεί σε τρεις τουλάχιστον διαφορετικές προσεγγίσεις, τη μέθοδο του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης του επενδεδυμένου κεφαλαίου, τη μέθοδο του χρόνου απόσβεσης και τη μέθοδο υπολογισμού του κόστους της παραγόμενης ενέργειας.

Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης (internal rate of return, IRR) εκφράζει την ετήσια απολαβή χρημάτων εκ μέρους των επενδυτών για τη χρήση του κεφαλαίου τους. Ακολούθως, ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης συγκρίνεται με το ελάχιστο ή το τυπικό επιτόκιο καταθέσεων της αγοράς και αποφασίζεται εάν η επένδυση είναι οικονομικά βιώσιμη ή όχι. Παραλλαγή της μεθόδου του εσωτερικού συντελεστή απόδοσης είναι η μέθοδος της καθαρής παρούσας αξίας (net present value, NPV).

Η μέθοδος του χρόνου απόσβεσης (pay-back period) μιας ενεργειακής επένδυσης βασίζεται στον υπολογισμό του χρόνου κατά τον οποίο η μελλοντική αξία του επενδεδυμένου κεφαλαίου και των εσόδων από την υπό διερεύνηση επένδυση εξισώνονται. Εάν ο χρόνος απόσβεσης είναι μικρότερος από τον ωφέλιμο χρόνο ζωής της εγκατάστασης τότε η επένδυση θεωρείται οικονομικά βιώσιμη. Όπως είναι λογικό, όσο μικρότερος είναι ο χρόνος απόσβεσης μιας επένδυσης, τόσο περισσότερο ελκυστική από οικονομικής πλευράς είναι η επένδυση αυτή. Παράλληλα, για την ενίσχυση της αξιοπιστίας της μεθόδου, έχει προστεθεί στην κλασική ανάλυση του χρόνου απόσβεσης και ο καθορισμός του χρόνου διπλασιασμού (DCP) του αρχικού κεφαλαίου.

Η μέθοδος του χρόνου απόσβεσης είναι η πλέον καθιερωμένη μέθοδος αξιολόγησης επενδύσεων, δεδομένου ότι χρησιμοποιεί ευκόλως κατανοητά μεγέθη, ενώ παράλληλα εκφράζει υπό μορφή χρημάτων τα έσοδα, τα έξοδα και τα κέρδη της επένδυσης σε ολόκληρο το διάστημα λειτουργίας της εγκατάστασης. Η μέθοδος αυτή θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για την αξιολόγηση της αιολικής εγκατάστασης που μελετάται στο κεφάλαιο αυτό.

Τέλος, η μέθοδος υπολογισμού του κόστους της παραγόμενης ενέργειας (energy production cost) στηρίζεται στον υπολογισμό της παρούσας αξίας του κόστους της παραγόμενης μονάδας ενέργειας από την αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το κόστος αυτό συγκρίνεται με το κόστος της παραγόμενης συμβατικής ενέργειας (π.χ. από ορυκτά καύσιμα, πετρέλαιο κ.τ.λ.) και αποφασίζεται η οικονομική βιωσιμότητα της προτεινόμενης ενεργειακής επένδυσης.

3.3 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Η ολική ετήσια παραγωγή ενέργειας, E , μιας ανεμογεννήτριας δίνεται από τη σχέση:

$$E = CF \cdot \Delta t \cdot N_0 \quad (3.1)$$

όπου:

CF είναι ο μέσος συντελεστής φορτίου ή συντελεστής εκμετάλλευσης

$\Delta t = 24 \cdot 365 = 8760h$ (το χρονικό διάστημα ενός έτους σε ώρες)

N_0 είναι η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας.

Ο μέσος συντελεστής φορτίου (capacity factor) δίνεται από τη σχέση:

$$CF = \Delta \cdot \omega \quad (3.2)$$

όπου:

Δ είναι ο συντελεστής διαθεσιμότητας

ω είναι ο μέσος συντελεστής ισχύος

Ο συντελεστής διαθεσιμότητας είναι καθοριστικός παράγοντας για την αποδοτική συμπεριφορά μιας αιολικής εγκατάστασης. Η τεχνική διαθεσιμότητα μιας εγκατάστασης υπολείπεται του 100% για αρκετούς λόγους, οι σημαντικότεροι από τους οποίους είναι:

- Προγραμματισμένη επιθεώρηση συντήρησης
- Τυχαίες βλάβες, μη ομαλή λειτουργία
- Λειτουργία μηχανισμών αυτοπροστασίας της μηχανής (ριπές ανέμου, προβλήματα συχνότητας-τάσης κ.ά.)
- Αδυναμία του τοπικού ηλεκτρικού δικτύου να απορροφήσει την παρεχόμενη ισχύ λόγω προβλημάτων συχνότητας, τάσης, χαμηλής ζήτησης κ.ά.

Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις η εγκατάσταση δεν παράγει ενέργεια ανεξάρτητα από την ένταση του ανέμου στην περιοχή. Στη χώρα μας τα πρώτα αιολικά πάρκα εμφάνιζαν απαράδεκτα χαμηλή διαθεσιμότητα (30%-40%). Ευτυχώς τα τελευταία χρόνια η τιμή της τεχνικής διαθεσιμότητας βελτιώνεται συνεχώς και τείνει σταδιακά να πλησιάσει τις διεθνώς καθιερωμένες τιμές που είναι άνω του 90%.

Ο μέσος συντελεστής ισχύος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\omega = \int_{v_c}^{v_F} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv \quad (3.3)$$

όπου:

$N(v)$ είναι η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας

$f(v)$ είναι το αιολικό δυναμικό της περιοχής

v_c είναι η ταχύτητα έναρξης

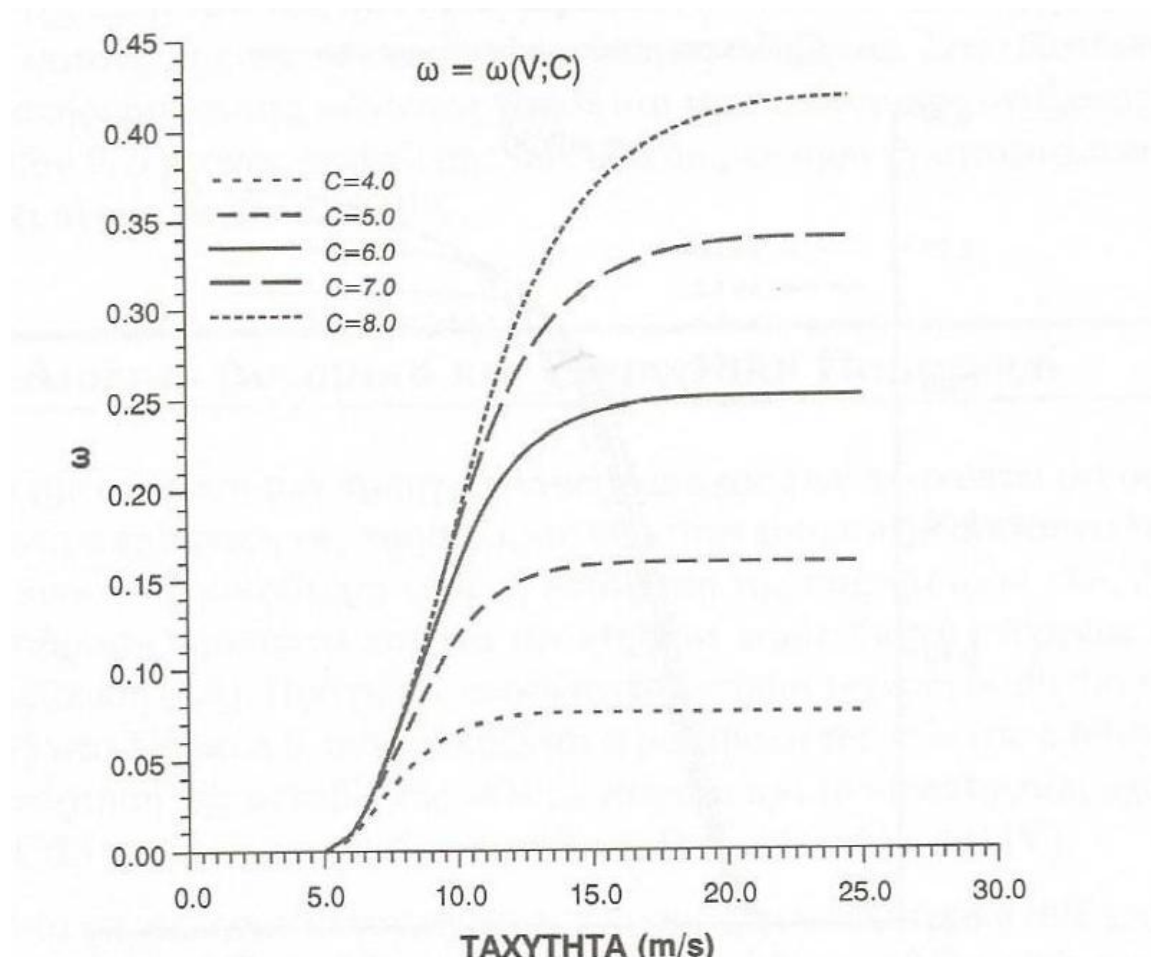
v_F είναι η ταχύτητα συστολής

Ο μέσος συντελεστής ισχύος ω αποτιμά το βαθμό συνεργασίας μιας αιολικής μηχανής με το τοπικό αιολικό δυναμικό $f(v)$ της περιοχής εγκατάστασης. Με σωστή επιλογή τύπου ανεμογεννήτριας, κάτι που σημαίνει σωστή συνεργασία και αλληλεπίδραση μεταξύ των

λειτουργικών χαρακτηριστικών της μηχανής και του αιολικού δυναμικού της υποψήφιας προς εγκατάσταση περιοχής μπορούμε να πετύχουμε σημαντική αύξηση της ενεργειακής παραγωγής (μέχρι και τριπλασιασμό). Ο μέσος συντελεστής ισχύος εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, όπως:

- Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας της ανεμογεννήτριας
- Μέση ταχύτητα ανέμου
- Διασπορά της ταχύτητας του ανέμου
- Ύψος τοποθέτησης ανεμογεννήτριας

Ενδεικτικά στο σχήμα 3.2 που ακολουθεί φαίνεται η επίδραση της παραμέτρου C της κατανομής Weibull, που εξαρτάται από τη μέση ταχύτητα του ανέμου, στο μέσο συντελεστή ισχύος.



Σχήμα 3.2 Επίδραση της παραμέτρου C της κατανομής Weibull στο μέσο συντελεστή ισχύος [3].

3.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Θα χρησιμοποιηθούν 20 ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος:

$$N_0 = 300kW \quad (3.4)$$

Η ολική παραγωγή ενέργειας του πάρκου θα είναι:

$$E_{ολ} = 20 \cdot E \quad (3.5)$$

Ο συντελεστής διαθεσιμότητας στην παρούσα εφαρμογή λαμβάνεται ίσος με:

$$\Delta = 0.92 \quad (3.6)$$

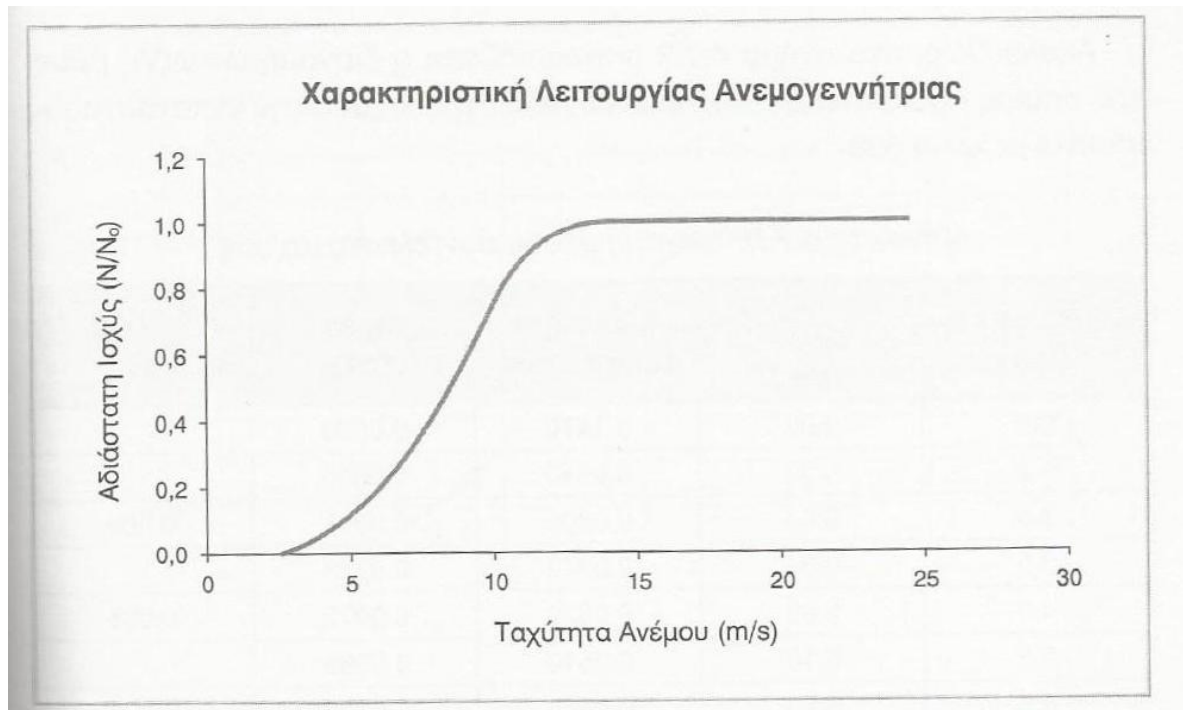
Η παραγωγή ισχύος του τύπου ανεμογεννήτριας που θα χρησιμοποιηθεί καθορίζεται από τη χαρακτηριστική καμπύλη που φαίνεται στο σχήμα 3.2

Από το διάγραμμα 3.2 βρίσκουμε τις ταχύτητες έναρξης και συστολής της συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας:

$$v_C = 3 \frac{m}{s}$$

και

$$v_F = 24.5 \frac{m}{s}$$



Σχήμα 3.2 Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας ανεμογεννήτριας [14].

3.5 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗΣ ΘΕΣΗΣ

Στον πίνακα 3.1 που ακολουθεί φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων της ταχύτητας του ανέμου στο όρος Βασιλίτσα της Βόρειας Πίνδου στο νομό Γρεβενών [14]. Είναι μια περιοχή με αρκετά καλό αιολικό δυναμικό.

Πίνακας 3.1 Κατανομή της ταχύτητας του ανέμου (Βασιλίτσα)

Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Πυκνότητα πιθανότητας	Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Πυκνότητα πιθανότητας
0-1	0.1470	13-14	0.0360
1-2	0.0410	14-15	0.0280
2-3	0.0800	15-16	0.0210
3-4	0.0970	16-17	0.0220
4-5	0.0820	17-18	0.0110
5-6	0.0510	18-19	0.0080
6-7	0.0670	19-20	0.0070
7-8	0.0490	20-21	0.0020
8-9	0.0630	21-22	0.0010
9-10	0.0630	22-23	0.0000
10-11	0.0390	23-24	0.0009
11-12	0.0550	24-25	0.0000
12-13	0.0290		

3.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΣΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ

Ο μέσος συντελεστής ισχύος ω θα υπολογιστεί από τη σχέση (3.3).

Ο λόγος $\frac{N(v)}{N_0}$ είναι γνωστός από το διάγραμμα 3.2 και η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου από τον πίνακα 3.1. Το ολοκλήρωμα της σχέσης (3.3) θα υπολογιστεί αριθμητικά με τη μέθοδο Simpson. Ο τύπος της μεθόδου Simpson είναι:

$$\int_{x_0}^{x_2} f(x)dx = \frac{h}{3}[f(x_0) + 4f(x_1) + f(x_2)] \quad (3.7)$$

όπου:

$$h = x_2 - x_1 = x_1 - x_0 \quad (3.8)$$

είναι το βήμα της μεθόδου. Έτσι υπολογίζουμε το ζητούμενο ολοκλήρωμα στο διάστημα (x_0, x_2) χρησιμοποιώντας τις τιμές της συνάρτησης στα ακραία σημεία και στο μέσο x_1 του διαστήματος. Χωρίζουμε το ολοκλήρωμα της σχέσης (3.3) σε άθροισμα ολοκληρωμάτων για να εκμεταλλευτούμε όλα τα σημεία στα οποία

γνωρίζουμε τη συνάρτηση μέσα στο ολοκλήρωμα και κάνουμε τον υπολογισμό όπως φαίνεται στον πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2 Υπολογισμός μέσου συντελεστή ισχύος

Ταχύτητα ανέμου (m/s)	Πυκνότητα πιθανότητας $f(v)$	Αδιάστατη ισχύς $N(v)/N_0$	$\frac{N(v)}{N_0} f(v)$	$\omega(v)$
0.5	0.1470	0.00	0.0000	
1.5	0.0410	0.00	0.0000	
2.5	0.0800	0.00	0.0000	0.000
3.5	0.0970	0.03	0.0028	
4.5	0.0820	0.09	0.0072	0.006
5.5	0.0510	0.16	0.0083	
6.5	0.0670	0.25	0.0168	0.025
7.5	0.0490	0.36	0.0174	
8.5	0.0630	0.50	0.0315	0.064
9.5	0.0630	0.67	0.0422	
10.5	0.0390	0.83	0.0324	0.142
11.5	0.0550	0.93	0.0512	
12.5	0.0290	0.98	0.0284	0.231
13.5	0.0360	1.00	0.0360	
14.5	0.0280	1.00	0.0280	0.297
15.5	0.0210	1.00	0.0210	
16.5	0.0220	1.00	0.0220	0.342
17.5	0.0110	1.00	0.0110	
18.5	0.0080	1.00	0.0080	0.367
19.5	0.0070	1.00	0.0070	
20.5	0.0020	1.00	0.0020	0.379
21.5	0.0010	1.00	0.0010	
22.5	0.0000	1.00	0.0000	0.381
23.5	0.0009	1.00	0.0009	
24.5	0.0000	1.00	0.0000	0.383

Κάθε διάστημα ταχυτήτων του πίνακα 3.1 αντιπροσωπεύεται από τη μέση ταχύτητα του διαστήματος στον πίνακα 3.2. Για κάθε μία από αυτές τις ταχύτητες βρήκαμε την αδιάστατη ισχύ από το σχήμα 3.1. Στην τέταρτη στήλη του πίνακα βρίσκονται τα γινόμενα των περιεχομένων των

στηλών 2 και 3, δηλαδή η ολοκληρωτέα συνάρτηση της σχέσης (3.3) Τέλος, στην πέμπτη στήλη του πίνακα 3.2 βρίσκονται οι τιμές του συντελεστή ω που υπολογίστηκαν με τη μέθοδο Simpson στα διαστήματα (0.5, 2.5), (0.5, 4.5), (0.5, 6.5) κ.ο.κ.

Αναλυτικά ο υπολογισμός των τιμών του μέσου συντελεστή ισχύος παρουσιάζονται στη συνέχεια:

$$\int_{0.5}^{2.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0 + 4 \cdot 0 + 0] = 0$$

$$\omega(2.5) = 0.000$$

$$\int_{2.5}^{4.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0 + 4 \cdot 0.0028 + 0.0072] = 0.006$$

$$\omega(4.5) = \omega(2.5) + 0.006 = 0.006$$

$$\int_{4.5}^{6.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0.0072 + 4 \cdot 0.0083 + 0.0168] = 0.0191$$

$$\omega(6.5) = \omega(4.5) + 0.0191 = 0.025$$

$$\int_{6.5}^{8.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0.0168 + 4 \cdot 0.0174 + 0.0315] = 0.0393$$

$$\omega(8.5) = \omega(6.5) + 0.0393 = 0.064$$

$$\int_{8.5}^{10.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0.0315 + 4 \cdot 0.0422 + 0.0324] = 0.0776$$

$$\omega(10.5) = \omega(8.5) + 0.0776 = 0.142$$

$$\int_{10.5}^{12.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0.0324 + 4 \cdot 0.0512 + 0.0284] = 0.0885$$

$$\omega(12.5) = \omega(10.5) + 0.0885 = 0.231$$

$$\int_{12.5}^{14.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0.0284 + 4 \cdot 0.0360 + 0.0280] = 0.0668$$

$$\omega(14.5) = \omega(12.5) + 0.0668 = 0.297$$

$$\int_{14.5}^{16.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0.0280 + 4 \cdot 0.0210 + 0.0220] = 0.0447$$

$$\omega(16.5) = \omega(14.5) + 0.0447 = 0.342$$

$$\int_{16.5}^{18.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0.0220 + 4 \cdot 0.0110 + 0.0080] = 0.0247$$

$$\omega(18.5) = \omega(16.5) + 0.0247 = 0.367$$

$$\int_{18.5}^{20.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0.0080 + 4 \cdot 0.0070 + 0.0020] = 0.0153$$

$$\omega(20.5) = \omega(18.5) + 0.0153 = 0.379$$

$$\int_{20.5}^{22.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0.0020 + 4 \cdot 0.0010 + 0] = 0.002$$

$$\omega(22.5) = \omega(20.5) + 0.002 = 0.381$$

$$\int_{22.5}^{24.5} \frac{N(v)}{N_0} f(v) dv = \frac{1}{3} [0 + 4 \cdot 0.0009 + 0] = 0.0012$$

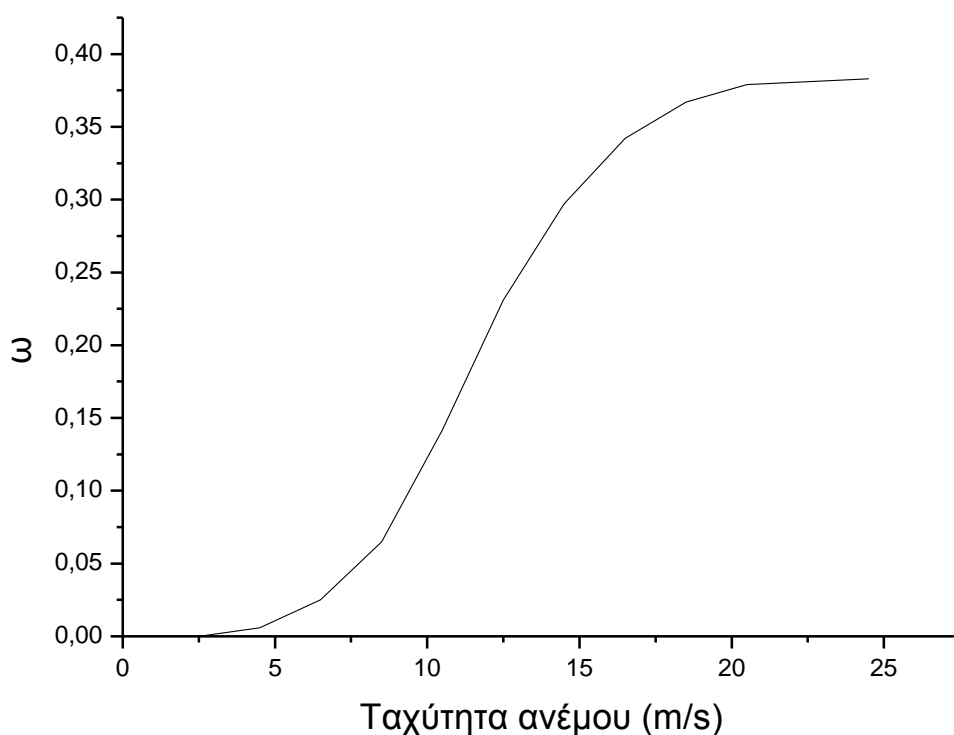
$$\omega(24.5) = \omega(22.5) + 0.0012 = 0.383$$

Η τιμή του ω σε μια συγκεκριμένη τιμή ταχύτητας στην τελευταία στήλη του πίνακα 3.2 προκύπτει με πρόσθεση των τιμών των ολοκληρωμάτων μέχρι αυτή την τιμή ταχύτητας.

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς ο μέσος συντελεστής ισχύος ω είναι:

$$\omega = 0.383 \quad (3.9)$$

Στο σχήμα 3.3 που ακολουθεί φαίνεται η διανομή του ω σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου v σύμφωνα με τα αποτελέσματα που φαίνονται στην τελευταία στήλη του πίνακα 3.2.



Σχήμα 3.3 Διανομή $\omega=\omega(v)$.

3.7 ΕΤΗΣΙΑ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ

Ο μέσος συντελεστής φορτίου από την σχέση (3.2) υπολογίζεται ως εξής:

$$CF = \Delta \cdot \omega = 0.92 \cdot 0.383 = 0.352$$

Από την (3.1) υπολογίζεται η ετήσια παραγωγή ενέργειας μιας ανεμογεννήτριας:

$$E = CF \cdot \Delta t \cdot N_0 = 0.352 \cdot 8760h \cdot 300kW = 925MWh$$

Συνεπώς η συνολική ετήσια ενεργειακή παραγωγή του αιολικού πάρκου θα είναι:

$$E_{ολ} = 20 \cdot E = 20 \cdot 925MWh = 18.5GWh$$

3.8 ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Η ανηγμένη τιμή, δηλαδή η τιμή σε ευρώ ανά kW ονομαστικής ισχύος, των ανεμογεννητριών που πρόκειται να εγκατασταθούν δίνεται προσεγγιστικά από τον τύπο [14]:

$$P_r = 929.2 + 2435.6 \cdot e^{-\frac{N_0}{33.4}} \quad (3.10)$$

όπου η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας N_0 είναι σε kW. Θέτοντας $N_0=300$ kW παίρνουμε:

$$P_r = 929.5 \frac{Euro}{kW}$$

Το αρχικό κόστος της αιολικής εγκατάστασης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$IC_0 = z \cdot P_r \cdot N_0 \cdot (1 + f) \quad (3.11)$$

όπου:

z είναι ο αριθμός των ανεμογεννητριών

f είναι ο συντελεστής κόστους αρχικής εγκατάστασης

Από το σχήμα 3.4 ο συντελεστής κόστους αρχικής εγκατάστασης για $N_0=300$ kW είναι περίπου 0.57. Συνεπώς από την (3.11) παίρνουμε:

$$IC_0 = 20 \cdot 929.5 \frac{\text{Euro}}{\text{kW}} \cdot 300 \text{kW} \cdot 1.57 = 8755890 \text{Euro}$$

Με δεδομένο ότι η κρατική επιδότηση ανέρχεται στο 40% περίπου του παραπάνω ποσού, το αρχικό κόστος είναι τελικά:

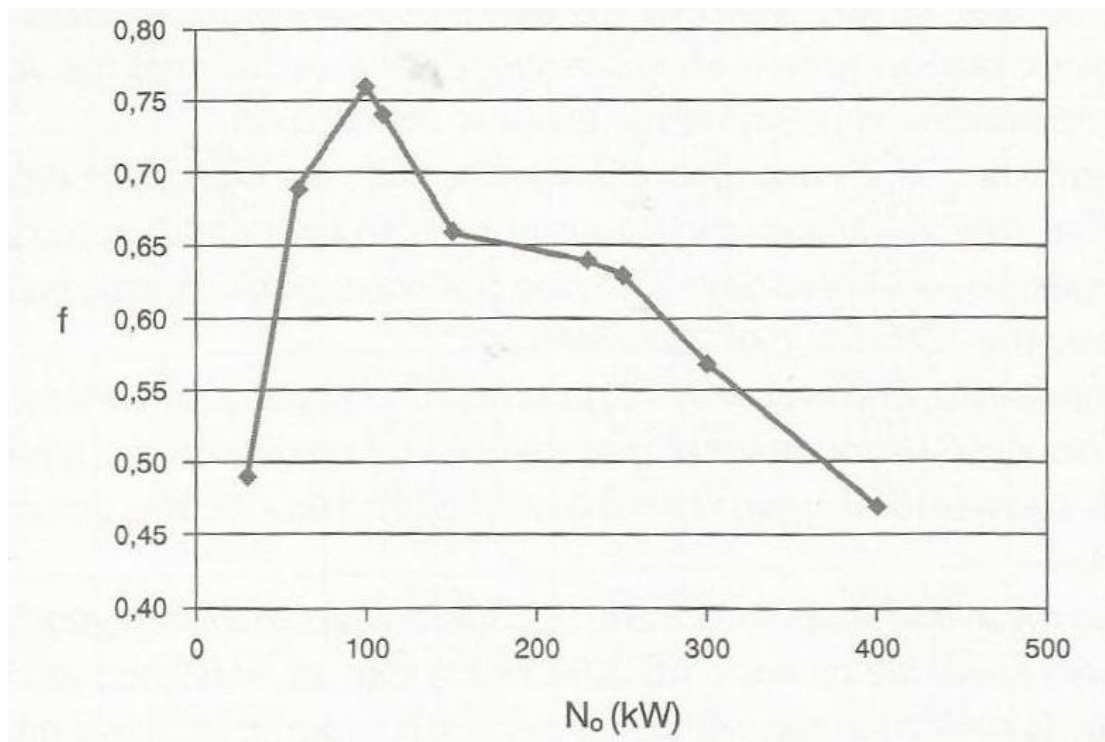
$$IC_0 = 0.6 \cdot 8755890 = 5253534 \text{Euro}$$

Η διαχρονική μεταβολή του αρχικού κόστους της επένδυσης δίνεται από τη σχέση:

$$IC_n = IC_0 \cdot (1 + i)^n \quad (3.12)$$

όπου:

n είναι ο αύξοντας αριθμός του έτους
 i είναι η απόδοση ιδίων κεφαλαίων



Σχήμα 3.4 Συντελεστής κόστους αρχικής εγκατάστασης αιολικών μηχανών [14].

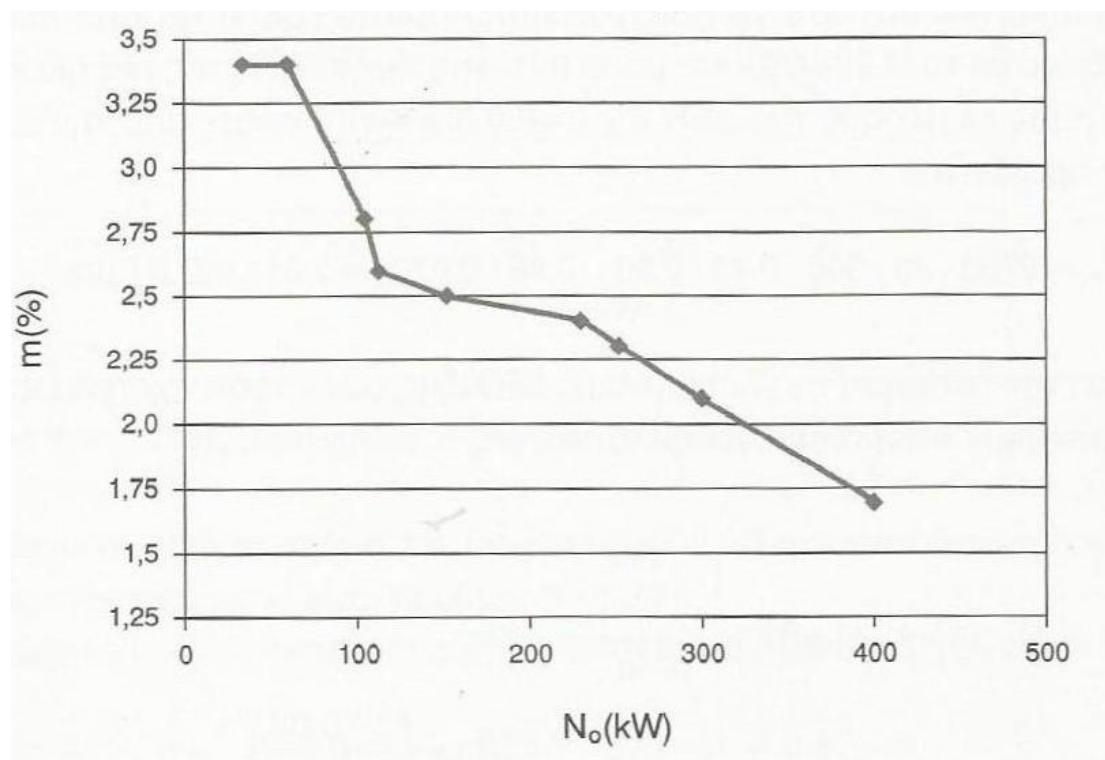
Η απόδοση ιδίων κεφαλαίων (return on equity-ROE, ή απόδοση επενδεδυμένων κεφαλαίων) είναι ένας χρηματοοικονομικός δείκτης που εκφράζει την ικανότητα της διοίκησης μιας επιχείρησης να παράγει κέρδος σε σύγκριση με τα κεφάλαια που έχουν επενδυθεί. Δείχνει πόσο αποδοτικά χρησιμοποιεί μια εταιρεία τα κεφάλαια της για να δημιουργήσει πρόσθετα έσοδα (κέρδη), και εκφράζεται σε ποσοστιαίες μονάδες.

Θα θεωρήσουμε ότι:

$$i = 0.12$$

Συνεπώς η σχέση (3.12) γράφεται:

$$IC_n = 5253534 \cdot 1.12^n \quad (3.13)$$



Σχήμα 3.5 Συντελεστής κόστους συντήρησης και λειτουργίας αιολικών μηχανών [14].

Στο κόστος της επένδυσης εκτός από το αρχικό κόστος εγκατάστασης περιλαμβάνεται και το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας. Για τον υπολογισμό της διαχρονικής εξέλιξης του ετήσιου κόστους συντήρησης και λειτουργίας χρησιμοποιείται η σχέση:

$$FC_n = m \cdot IC_0 \cdot (1+g) \cdot (1+i)^n \cdot \frac{1 - \left(\frac{1+g}{1+i}\right)^n}{i-g} \quad (3.14)$$

όπου:

m είναι ο συντελεστής κόστους συντήρησης και λειτουργίας

g είναι ο ετήσιος πληθωρισμός

Θεωρούμε ότι:

$$g=0.04$$

Ο συντελεστής κόστους συντήρησης και λειτουργίας, m , υπολογίζεται από το διάγραμμα 3.5. Για $N_0=300$ kW είναι περίπου 0.021. Συνεπώς από την (3.14) παίρνουμε:

$$FC_n = 1434214.5 \cdot 1.12^n \cdot (1 - 0.928^n)$$

Τελικά η διαχρονική μεταβολή του κόστους της επένδυσης, C_n , βρίσκεται αν προσθέσουμε τα IC_n και FC_n :

$$C_n = 5253534 \cdot 1.12^n + 1434214.5 \cdot 1.12^n \cdot (1 - 0.928^n)$$

3.9 ΕΣΟΔΑ

Τα ετήσια έσοδα της επένδυσης προέρχονται από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο (ΔΕΗ) με τιμή πώλησης σύμφωνα με το Ν. 2244/94 ίση με το 90% της τιμής διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας εκ μέρους της ΔΕΗ.

Η τιμή διάθεσης λαμβάνεται ίση με:

$$c = 0.07 \frac{\text{Euro}}{\text{kWh}}$$

Τα έσοδα προκύπτουν από το γινόμενο της παραγόμενης από το αιολικό πάρκο ενέργειας επί την τιμή πώλησης της στη ΔΕΗ:

$$R_0 = E_{ολ} \cdot 0.9 \cdot c \quad (3.15)$$

Συνεπώς, αντικαθιστώντας τις τιμές των μεγεθών παίρνουμε για τα εκτιμώμενα έσοδα τη στιγμή της έναρξης της επιχείρησης:

$$R_0 = 18.5 \cdot 10^6 \text{ kWh} \cdot 0.9 \cdot 0.07 \frac{\text{Euro}}{\text{kWh}} = 1165500 \text{ Euro}$$

Για την εκτίμηση της διαχρονικής εξέλιξης των εσόδων χρησιμοποιείται η εξίσωση:

$$R_n = R_0 \cdot (1 + e) \cdot (1 + i)^n \cdot \frac{1 - \left(\frac{1 + e}{1 + i}\right)^n}{i - e} \quad (3.16)$$

όπου:

e είναι ο ετήσιος ρυθμός αναπροσαρμογής της τιμής της ενέργειας

Ο συντελεστής e λαμβάνεται ίσος με:

$$e = 0.03$$

Συνεπώς η (3.16) γράφεται:

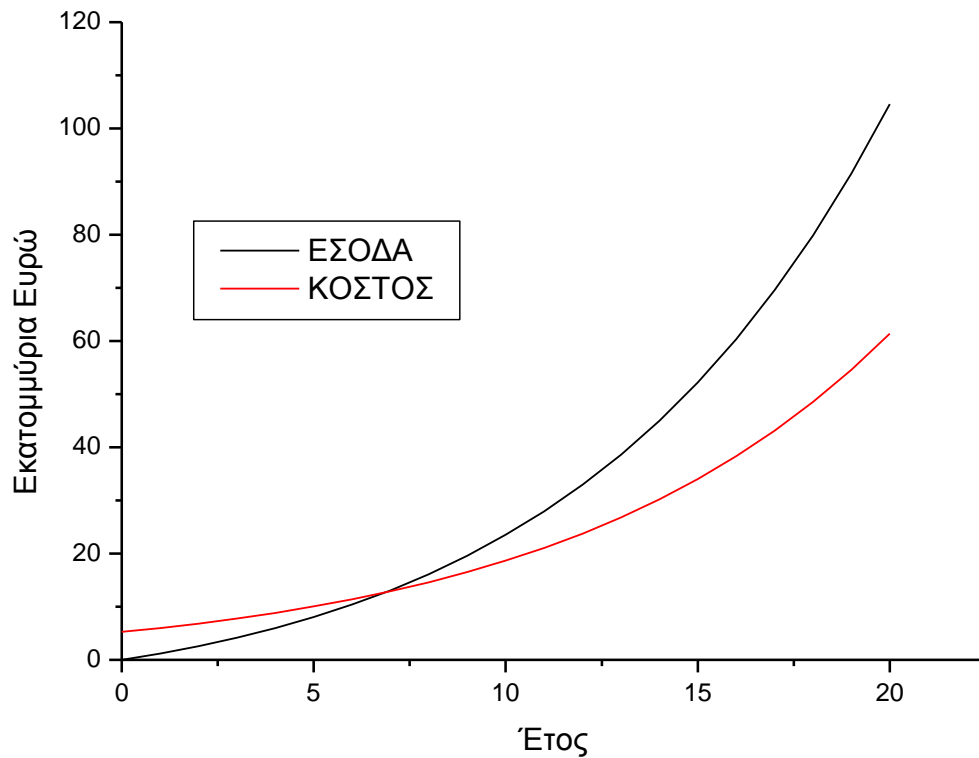
$$R_n = 13338500 \cdot 1.12^n \cdot (1 - 0.9196^n)$$

3.10 ΑΝΑΛΥΣΗ ΧΡΗΜΑΤΟΡΡΩΝ ΚΑΙ ΧΡΟΝΟΣ ΑΠΟΣΒΕΣΗΣ

Στο διάγραμμα 3.6 που ακολουθεί φαίνεται η διαχρονική εξέλιξη εσόδων και κόστους τα οποία υπολογίστηκαν στις προηγούμενες ενότητες.

Ο χρόνος απόσβεσης προκύπτει στο χρονικό σημείο μηδενισμού των κερδών της επένδυσης. Από το σχήμα 3.6 ο χρόνος απόσβεσης εκτιμάται ότι είναι:

$$t_{\alpha\pi} = 7 \text{ \acute{e}\tau\eta}$$



Σχήμα 3.6 Διαχρονική εξέλιξη χρηματοροών της επένδυσης.

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων προκύπτει ότι η επένδυση είναι βιώσιμη (ο ωφέλιμος χρόνος ζωής ενός αιολικού πάρκου θεωρείται ίσος με 20 χρόνια) και ακόμη ότι η επένδυση είναι ιδιαίτερα ελκυστική οικονομικά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας είναι ιδιαίτερα αξιόλογο και επίσης είναι πάρα πολλοί οι παράγοντες που ευνοούν την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στη χώρα μας. Είναι απαραίτητο να αντιμετωπιστούν τα εμπόδια που τίθενται κυρίως από τη γραφειοκρατία, ώστε να αξιοποιηθεί στο έπακρο το αιολικό δυναμικό της χώρας.

Για την επιλογή της θέσης εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου πρέπει να ληφθούν υπόψη εκτός από τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής και μια σειρά από παραμέτρους, όπως εύκολη πρόσβαση, περιβαλλοντικές επιπτώσεις, ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες, αποδοχή από το κοινό κ.ά. Επίσης για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου είναι απαραίτητο να γίνει μία σειρά από μελέτες, όπως ανεμολογικές μελέτες και μελέτες έργων κατασκευής που περιλαμβάνουν ηλεκτρολογικές μελέτες και μελέτες πολιτικού μηχανικού.

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε ένα αιολικό πάρκο αποτελούμενο από 20 ανεμογεννήτριες ονομαστικής ισχύος 300kW. Χρησιμοποιήθηκαν τα ανεμολογικά δεδομένα του όρους Βασιλίτσα τα οποία αντλήθηκαν από τη σχετική βιβλιογραφία. Υπολογίστηκε ο συντελεστής ισχύος της εγκατάστασης και στη συνέχεια το κόστος αρχικής επένδυσης, το κόστος συντήρησης και λειτουργίας καθώς και τα αναμενόμενα έσοδα.

Στη συνέχεια ο υπολογισμός του χρόνου απόσβεσης μας έδωσε τη δυνατότητα να αξιολογήσουμε την επένδυση και να βγάλουμε χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά τη βιωσιμότητά της.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1] Δ. Φυτίλης, *Εκτίμηση Αιολικού Δυναμικού στον Ελληνικό Θαλάσσιο Χώρο και Προτάσεις για Υπεράκτια Αιολικά Πάρκα*, Μεταπτυχιακή Εργασία, ΕΜΠ 2012.
- 2] T. Shembilli, *Μελέτη Ανάπτυξης Αιολικού Πάρκου στην Κρήτη*, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Κρήτης 2010.
- 3] Ι. Καλδέλλης, *Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας*, εκδόσεις Σταμούλης 2005.
- 4] Γ. Μασούρας, *Ενεργειακή αποτίμηση αιολικού δυναμικού επιλεγμένων θέσεων, για ηλεκτροπαραγωγή*, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης 2006.
- 5] http://www.zeroenergybuildings.org/2012_03_01_archive.html
- 6] Ν. Αργυρός, *Οικονομική Μελέτη και Αξιολόγηση Κατασκευής Αιολικών Πάρκων στην Ελληνική Επικράτεια*, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2011.
- 7] Γ. Μπεργελές, *Ανεμοκινητήρες*, εκδόσεις Συμεών 2005.
- 8] <http://www.ppcr.gr>
- 9] Ε. Χασικίδη, *Αιολική Ενέργεια σε Ελλάδα και Ευρώπη*, Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών 2010.
- 10] Ε. Βελγάκη και Α. Βασιλειάδης, *Τεχνοοικονομική Μελέτη Θαλάσσιου Πάρκου 20MW*, Πτυχιακή Εργασία, ΤΕΙ Κρήτης 2005.
- 11] Κ. Σούτης, *Ανάλυση Συστήματος Ελέγχου Ανεμογεννήτριας με Σύγχρονη Γεννήτρια Μόνιμων Μαγνητών σε Αυτόνομη και Διασυνδεδεμένη Λειτουργία*, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2004.
- 12] Μ. Μοσχονάς, *Μελέτη Αισθητικής Ορεινού Τοπίου καλυμμένου με Αιολικά Πάρκα και Έργα Αντλησιοταμίευσης*, Πτυχιακή Εργασία, ΑΤΕΙ Κρήτης 2006.
- 13] Α. Μητροπούλου, *Αντικεραυνική προστασία εγκαταστάσεων μέσης και υψηλής τάσης με καθοδικά αλεξικέραυνα*, Διπλωματική Εργασία ΕΜΠ 2008.
- 14] Ι. Καλδέλλης, *Υπολογιστικές Εφαρμογές Ήπιων Μορφών Ενέργειας*, εκδόσεις Σταμούλης 2005.
- 15] <http://www.naftemporiki.gr/slideshows/690733/oi-fotografies-tis-imeras/all>
- 16] http://ape.chania.teicrete.gr/gr/files/HPIESI_Pres_02_Wind_Turbines.pdf

- 17] Π. Κοτσαμπόπουλος, Μελέτη, κατασκευή και προσομοίωση της λειτουργίας μικρής ανεμογεννήτριας αξονικής ροής, Διπλωματική Εργασία, ΕΜΠ 2010.
- 18] Α. Παπαδόπουλος, Οικονομική ανάλυση ενεργειακών συστημάτων, Σημειώσεις παραδόσεων, ΑΠΘ, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών 2002.
- 19] http://www.eunice-group.com/index.php?option=com_content&view=article&id=155&Itemid=169&lang=el
- 20] <http://www.windpowermonthly.com/article/1213703/>