

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ 1736

ΜΕΛΕΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΠΑΡΚΟΥ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

Κεντρής Ευστάθιος (5839)

Δημητρούκας Αντώνιος (6379)

ΕΠΟΠΤΕΥΟΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Σχοινιάς Νικόλαος

ΠΑΤΡΑ 2019

Πρόλογος / Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας παρουσιάζει ραγδαία εξέλιξη. Σε αυτό έχει συντελέσει η εξάντληση των αποθεμάτων του πλανήτη από τα συμβατικά καύσιμα και η ανάγκη για χρήση τεχνολογιών καθαρότερων για το περιβάλλον.

Οι περισσότερες χώρες σε όλο τον κόσμο επενδύουν στην εξέλιξη και την παραγωγή ενέργειας από καθαρές πηγές όπως της αιολικής. Στην παρούσα εργασία αρχικά γίνεται μια επισκόπηση της κατάστασης της κατασκευής Αιολικών πάρκων στην Ελλάδα. Στην συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικά μέρη που αποτελούν μια ανεμογεννήτρια και τα παρελκόμενα της. Εν συνεχεία παρουσιάζεται οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή θέσης εγκατάστασης ενός πάρκου και της χωροθέτησης των ανεμογεννητριών. Επίσης γίνεται περιγραφή όλου του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού που απαιτείται σε ένα πάρκο.

Κατόπιν γίνεται παρουσίαση του τρόπου υπολογισμού του αιολικού δυναμικού και των ανεμολογικών στοιχείων μιας περιοχής. Τέλος παρέχονται πληροφορίες σχετικά με την νομοθεσία για την αδειοδότηση, την μελέτη και την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου.

Περιεχόμενα

1. Αιολική Ενέργεια.....	1
1.1 Εισαγωγή στην αιολική ενέργεια.....	1
1.2 Ιστορική Αναδρομή.....	2
1.3 Η αιολική ενέργεια στον κόσμο.....	3
1.4 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα.....	4
2. Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	7
2.1 Γενικά για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	7
2.2 Αιολική Ενέργεια.....	7
2.3 Ηλιακή Ενέργεια.....	8
2.4 Υδραυλική Ενέργεια.....	9
2.5 Βιομάζα.....	9
2.6 Γεωθερμική Ενέργεια.....	10
2.7 Ενέργεια από θαλάσσια κύματα.....	11
2.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.....	12
2.8.1 Πλεονεκτήματα από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.....	12
2.8.2 Μειονεκτήματα Αξιοποίησης της Αιολικής Ενέργειας.....	13
3. Ανεμολογικά χαρακτηριστικά.....	14
3.1 Κύρια χαρακτηριστικά του ανέμου.....	14
3.2 Χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου.....	16
3.2.1 Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους.....	16
3.2.2 Επίδραση επιφανειακών εμποδίων.....	16
3.2.3 Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής.....	17
3.3 Στατιστική μελέτη του ανέμου.....	17
3.3.1 Αιολικό δυναμικό.....	17
3.3.2 Κατανομή Weibull.....	18
3.3.3 Το όριο του Betz.....	20
4. Αιολικό δυναμικό.....	22
4.1 Αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα.....	22
4.2 Αιολικό δυναμικό στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.....	24
4.3 Αιολικό δυναμικό σε παγκόσμιο επίπεδο.....	26

5. Ανεμογεννήτριες.....	28
5.1 Περιγραφή ανεμογεννητριών.....	28
5.2 Αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών.....	29
5.3 Ειδή ανεμογεννητριών.....	30
5.3.1 Τρίπτερες ανεμογεννήτριες.....	30
5.3.2 Δίπτερες ανεμογεννήτριες.....	31
5.3.3 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα.....	31
5.3.4 Ανεμογεννήτριες Καθέτου Άξονα.....	32
5.4 Γενική διάταξη ανεμογεννήτριας.....	33
5.5 Λειτουργικά χαρακτηριστικά μιας ανεμογεννήτριας.....	34
5.6 Διαθεσιμότητα αιολικών συστημάτων.....	35
5.6.1 Διαθεσιμότητα και ταχύτητα του ανέμου.....	35
5.6.2 Διαθεσιμότητα και μέγεθος τουρμπίνας.....	36
5.6.3 Διαθεσιμότητα και ηλικία.....	36
5.6.4 Διαθεσιμότητα αιολικών πάρκων.....	36
5.7 Ετήσιος υπολογισμός ενέργειας.....	38
5.8 Συντήρηση μιας ανεμογεννήτριας.....	39
6. Αιολικό πάρκο.....	41
6.1 Εισαγωγή στα αιολικά πάρκα.....	41
6.2 Ειδή αιολικών πάρκων.....	42
6.3 Λειτουργία αιολικού πάρκου.....	43
6.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων.....	44
7. Επιλογή περιοχής και ενεργειακή μελέτη πάρκου.....	47
7.1 Επιλογή περιοχής/ανεμογεννήτριας και ενεργειακή μελέτη πάρκου.....	47
7.2 Κριτήρια επιλογής περιοχής μελέτης αιολικού πάρκου.....	47
7.3 Αιολικό δυναμικό.....	51
7.4 Κριτήριο επιλογής ανεμογεννητριών.....	51
7.5 Χωροθέτηση αιολικού πάρκου.....	52
8. Κατασκευή αιολικού πάρκου.....	53
8.1 Κατασκευή και διασύνδεση αιολικού πάρκου.....	53
8.1.1 Κατασκευή δρόμου προσπέλασης και εσωτερικής οδοποιίας Α/Π.....	53
8.1.2 Διαμόρφωση πλατειών.....	53
8.1.3 Κατασκευή βάσεων θεμελίωσης ανεμογεννήτριας.....	54

8.1.4	Ανέγερση πύργου, πλήμνης και πτερυγίων των ανεμογεννητριών.....	54
8.1.5	Κατασκευή οικίσκου ελέγχου και βοηθητικών χώρων.....	54
8.2	Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός.....	55
8.3	Δίκτυο σύνδεσης ανεμογεννήτριας.....	55
8.4	Κατασκευή καναλιού καλωδίων.....	56
8.5	Εγκατάσταση καλωδίων.....	56
8.6	Σύστημα Γείωσης.....	57
8.7	Αντικεραυνική προστασία.....	58
8.8	Διασύνδεση με το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	58
9.	Νομικό πλαίσιο.....	59
9.1	Νομικό πλαίσιο αδειοδοτήσεων Αιολικών Πάρκων.....	59
9.2	Κύρια αδειοδοτικά στάδια αιολικών έργων.....	59
9.4.1	Άδεια Παραγωγής.....	59
9.4.2	Προσφορά Σύνδεσης.....	60
9.4.3	Άδεια Εγκατάστασης.....	60
9.4.4	Έγκριση Περιβαλλοντικών Όρων.....	61
9.4.5	Άδεια λειτουργίας.....	62
	Συμπεράσματα.....	63
	Βιβλιογραφία.....	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Αιολική Ενέργεια

1.1 Εισαγωγή στην αιολική ενέργεια

Η Αιολική Ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας γνωστή από χιλιετίες. Οι πιο γνωστές χρήσεις της αιολικής ενέργειας ήταν οι «Ανεμόμυλοι» και η «Ιστιοπλοΐα». Με το πέρασμα των αιώνων η τεχνολογική ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας έχει φτάσει σε υψηλό βαθμό και η χρήση της έχει περάσει σε πολλούς τομείς όπως στην γεωργία, στις μεταφορές, στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας κτλ.



Εικόνα 1: Ο πρόσφατα ανακαινισμένος ανεμόμυλος στο Δημαρχείο Πάρου.

Η αιολική ενέργεια παράγεται από την εκμετάλλευση της ροής του αέρα με τη χρήση ανεμογεννητριών ή ιστίων, με σκοπό να παράγει μηχανική ή ηλεκτρική ενέργεια. Η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου γίνεται με την χρήση ανεμοκινητήρων που την μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια. Οι ανεμοκινητήρες διαθέτουν ηλεκτρογεννήτρια που την μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται «*Ηπια Μορφή Ενέργειας*» και περιλαμβάνεται στις «*Καθαρές Πηγές*», αφού δεν παράγονται εκπομπές βλαβερών αερίων (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα) κατά την

διαδικασία παραγωγής της, καθώς επίσης δεν απαιτεί την χρήση μεγάλης έκτασης γης [1]. Η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως μια αστείρευτη, άφθονη και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας.

1.2 Ιστορική Αναδρομή

Η αξιοποίηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου ξεκίνησε από τα πρώιμα ιστορικά χρόνια και έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας με τη χρήση της τόσο στη ναυτιλία όσο και στην άρδευση, καθώς και στις αγροτικές καλλιέργειες. Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον άνθρωπο για την κίνηση των ιστιοφόρων πλοίων.

Για πρώτη φορά γίνεται χρήση της αιολικής ενέργειας από τους Αιγύπτιους στην ναυσιπλοΐα περίπου το 3500π.Χ.. Αργότερα τον 7ο με 10ο αιώνα μ.Χ. χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά οι ανεμόμυλοι στο σημερινό Ιράκ και Αφγανιστάν. Οι ανεμόμυλοι αυτοί ήταν κατακόρυφου άξονα και χρησίμευαν για την άντληση νερού και την άλεση σιτηρών. Κύριο υλικό κατασκευής τους ήταν το ξύλο, τα πανιά καθώς και ειδικές λιθόκτιστες κατασκευές.

Ο πρώτος ανεμόμυλος ήρθε στην Ευρώπη από την Μέση Ανατολή με την διαφορά ότι ήταν οριζόντιου άξονα και είχε μια κλίση στα πτερύγια. Η χρήση της αιολικής ενέργειας σε μεγάλη κλίμακα, ξεκίνησε από την Αγγλία και την Ολλανδία τον Μεσαίωνα. Οι ανεμόμυλοι εκείνη την εποχή χρησιμοποιούταν κυρίως για άντληση νερού και για το άλεσμα.

Στις αρχές του αιώνα μας πρώτοι οι Δανοί παράγουν ηλεκτρισμό από τον άνεμο, ενώ στην Αμερική ανεμόμυλοι μεταλλικής κατασκευής χρησιμοποιούνται επίσης για ηλεκτροδότηση. Έτσι το 1891 λειτούργησε στο Askon της Δανίας πειραματικός ανεμοκινητήρας 10 με δυο ηλεκτρικές γεννήτριες (2x9kW) και διάμετρο 22.8m, κάτω από την επίβλεψη του καθηγητή P. LaCour. Αντίστοιχα τη δεκαετία του 1930 κατασκευάστηκε στη Βαλτική, μηχανή 100kW με σχεδιαστική επίβλεψη των Sabanin και Yuriev. Τέλος το 1940 κατασκευάζεται στο Vermont των Η.Π.Α. ένας πειραματικός δίπτερος ανεμοκινητήρας (ανεμογεννήτρια) σημαντικής ισχύος.

Ο James Blyth στα τέλη του 19ου αιώνα έκανε την πρώτη προσπάθεια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος μέσω μιας αιολικής μηχανής, κατασκευάζοντας μια ανεμογεννήτρια συνεχούς ρεύματος 12kW. Το 1922 ο Σουηδός Sigurd Johannes Savonius κατασκευάζει την Savonius η οποία ήταν μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα. Είναι μια από τις πιο απλές ανεμογεννήτριες, αφού αποτελείται από δυο ημικυκλικά πτερύγια με κενό ανάμεσα τους και η κάτοψή τους έχουν το σχήμα "S".

Το 1931 ο G.J.M. Darrieus κατασκευάζει μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα η οποία είχε καμπυλωτά πτερύγια. Οι Smith-Putman το 1941 κατασκεύασαν την μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα σε παραγωγή ρεύματος η οποία ήταν σε θέση να παράγει MW. Από εκεί και πέρα έγιναν κάποιες προσπάθειες για την χρήση της αιολικής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος αλλά εγκαταλείφθηκαν. Ωστόσο την δεκαετία του 70 και λόγω της απότομης αύξησης του πετρελαίου ξαναστράφηκαν στην αιολική ενέργεια και μέσω κάποιων χρηματοδοτήσεων από τις κυβερνήσεις οι ανεμογεννήτριες πήραν ξανά μεγάλη ανάπτυξη, και σιγά σιγά σε πολλές χώρες ξεκίνησε η δημιουργία αιολικών πάρκων.

Ο μηχανικός Johannes Juul έφτιαξε το 1950 την πρώτη ανεμογεννήτρια εναλλασόμενης τάσης. Στα χρόνια που ακολούθησαν το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, η χρήση της ατομικής ενέργειας και οι χαμηλές τιμές του πετρελαίου περιόρισαν δραστικά το ενδιαφέρον για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Όμως η ρύπανση του περιβάλλοντος και οι διαδοχικές ενεργειακές κρίσεις

υποχρέωσαν ξανά τις τεχνολογικά ανεπτυγμένες χώρες να ενδιαφερθούν έντονα, γι' αυτή την καθαρή και αρχαία ενεργειακή πηγή του πλανήτη μας, τον άνεμο.

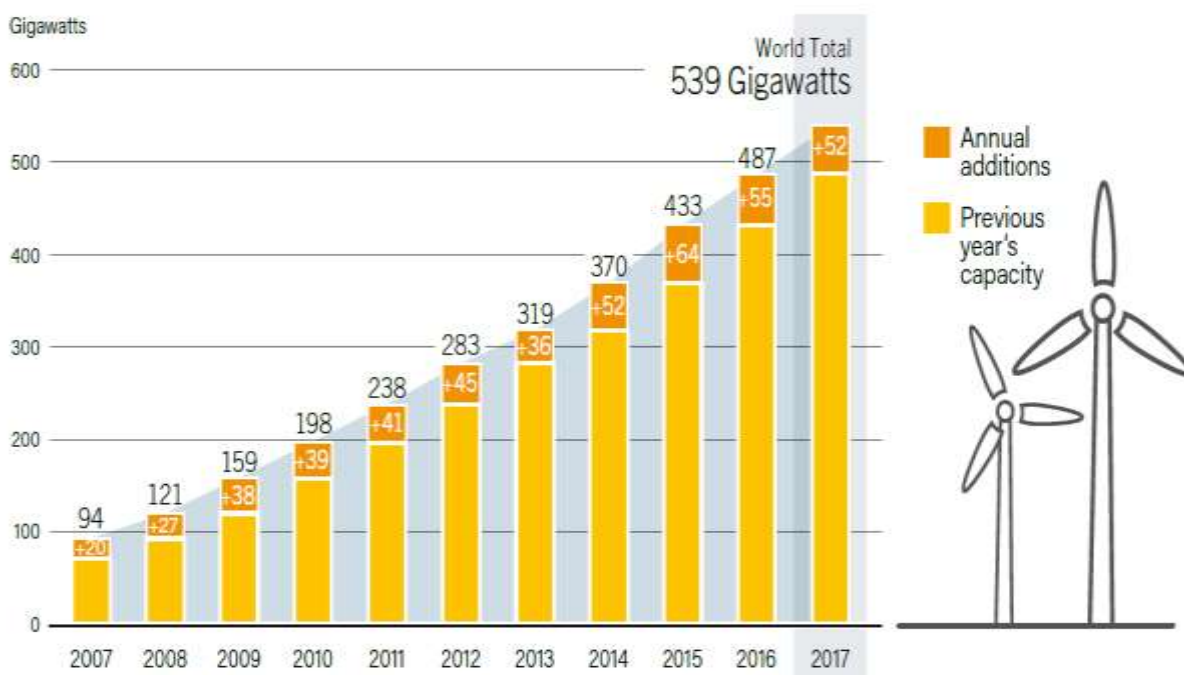
Από τον 19ο αιώνα και μετά διαδόθηκε, κυρίως στην Αμερική, ένας νέος τύπος ανεμόμυλου γνωστού ως «western wheel». Αυτός ο τύπος ανεμόμυλου είχε περίπου 20 πτερύγια από ατσάλι και χρησιμοποιούνταν για άρδευση.

1.3 Η αιολική ενέργεια στον κόσμο

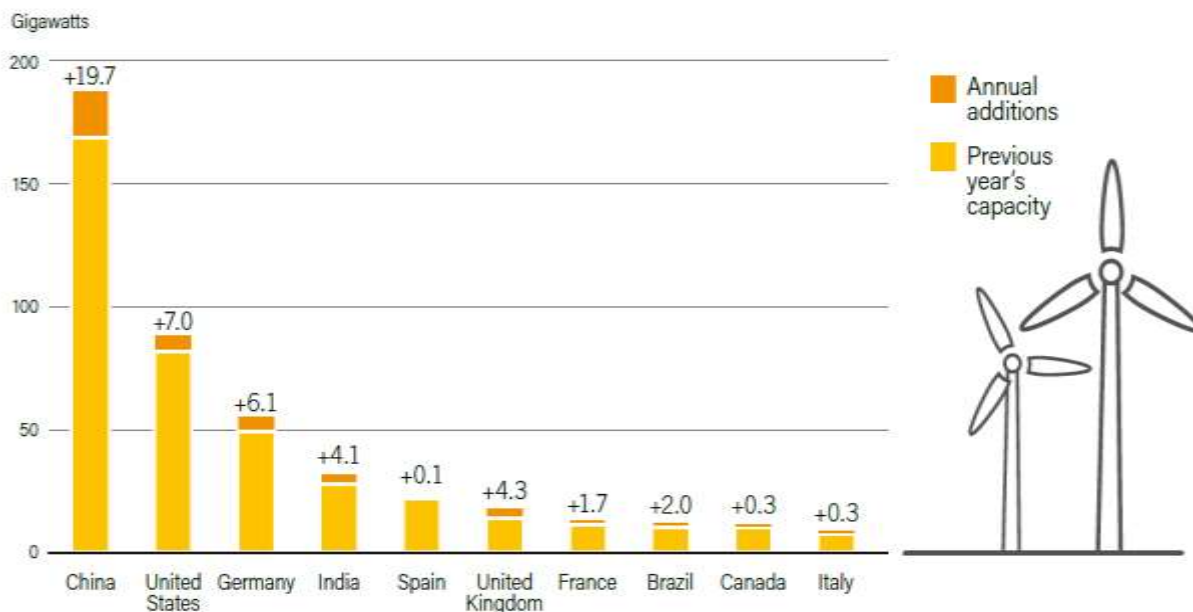
Η αιολική ενέργεια έχει καταστεί σημαντική πηγή παραγωγής ενέργειας σε όλο τον κόσμο, με την παγκόσμια δυναμικότητα να υπερβαίνει τα 600 GW το 2018. Το Renewable Energy global policy network (REN21) εξετάζει τις κορυφαίες 10 χώρες με την εγκατεστημένη αιολική δυναμικότητα στον κόσμο, [4].

Η αιολική ενέργεια το 2018 παρείχε το 14% της ηλεκτρικής ενέργειας της Ευρωπαϊκής Ένωσης, από 12% το 2017, σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία που δημοσίευσε η Ευρωπαϊκή Ένωση Αιολικής Βιομηχανίας. Η ισχύς της αιολικής ενέργειας αυξήθηκε στην Ευρώπη κατά 11,3 GW το 2018 (8,6 GW από χειρσαίες ανεμογεννήτριες και 2,65 GW από υπεράκτια αιολικά πάρκα), [4].

Η συνεχής αύξηση της δυναμικότητας και η χρήση ισχυρότερων ανεμογεννητριών συμβάλλουν στην αύξηση του μεριδίου του ανέμου στο μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας. Η Δανία είχε το μεγαλύτερο μερίδιο αιολικής ενέργειας στον ηλεκτρισμό της με 41% το 2018, ακολουθούμενη από την Ιρλανδία (28%), την Πορτογαλία (24%) και τη Γερμανία (21%). Η Ελλάδα βρέθηκε στη δέκατη θέση, μαζί με την Ολλανδία και τη Λιθουανία, με 9%, [4].



Διάγραμμα 1: Παγκόσμια δυναμικότητα αιολικής ενέργειας και ετήσιες 2007-2017, [4].



Διάγραμμα 2: Οι 10 κορυφαίες χώρες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολική ενέργεια, [4]

1.4 Η αιολική ενέργεια στην Ελλάδα

Η εκμετάλλευση του ανέμου συνεχίστηκε με τους ανεμόμυλους που χρησιμοποιήθηκαν ευρέως για την άλεση των δημητριακών και την άντληση νερού, κυρίως στις Κυκλάδες και την Κρήτη. Ο πρώτος ανεμόμυλος που εγκαταστάθηκε στον νομό Λασιθίου ήταν στο οροπέδιο Λασιθίου. Για τα δεδομένα της εποχής ήταν ένα μεγάλο επίτευγμα. Στην δεκαετία του 1940 υπήρχαν περισσότεροι από 13500 ανεμόμυλοι, οι οποίοι χρησιμοποιούνταν για την άντληση του νερού. Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς υπέρβαινε τα 5MW, καθιστώντας τότε το οροπέδιο Λασιθίου το μεγαλύτερο αιολικό πάρκο του κόσμου. Την ίδια περίοδο υπολογίζεται ότι σε ολόκληρη την Κρήτη η συνολική ισχύς των ανεμόμυλων τα 20 MW.

Στον αιώνα μας το ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση της ενέργειας του με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, εκδηλώθηκε ιδιαίτερα στα μέσα της δεκαετίας του '70 και ήταν αποτέλεσμα της πετρελαϊκής κρίσης που είχε ξεσπάσει. Από τότε και μέχρι σήμερα υπάρχει μια συνεχώς αυξανόμενη τάση για παραγωγή ηλεκτρισμού από την αιολική ενέργεια με την χρήση των ανεμογεννητριών, οι οποίες μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια.

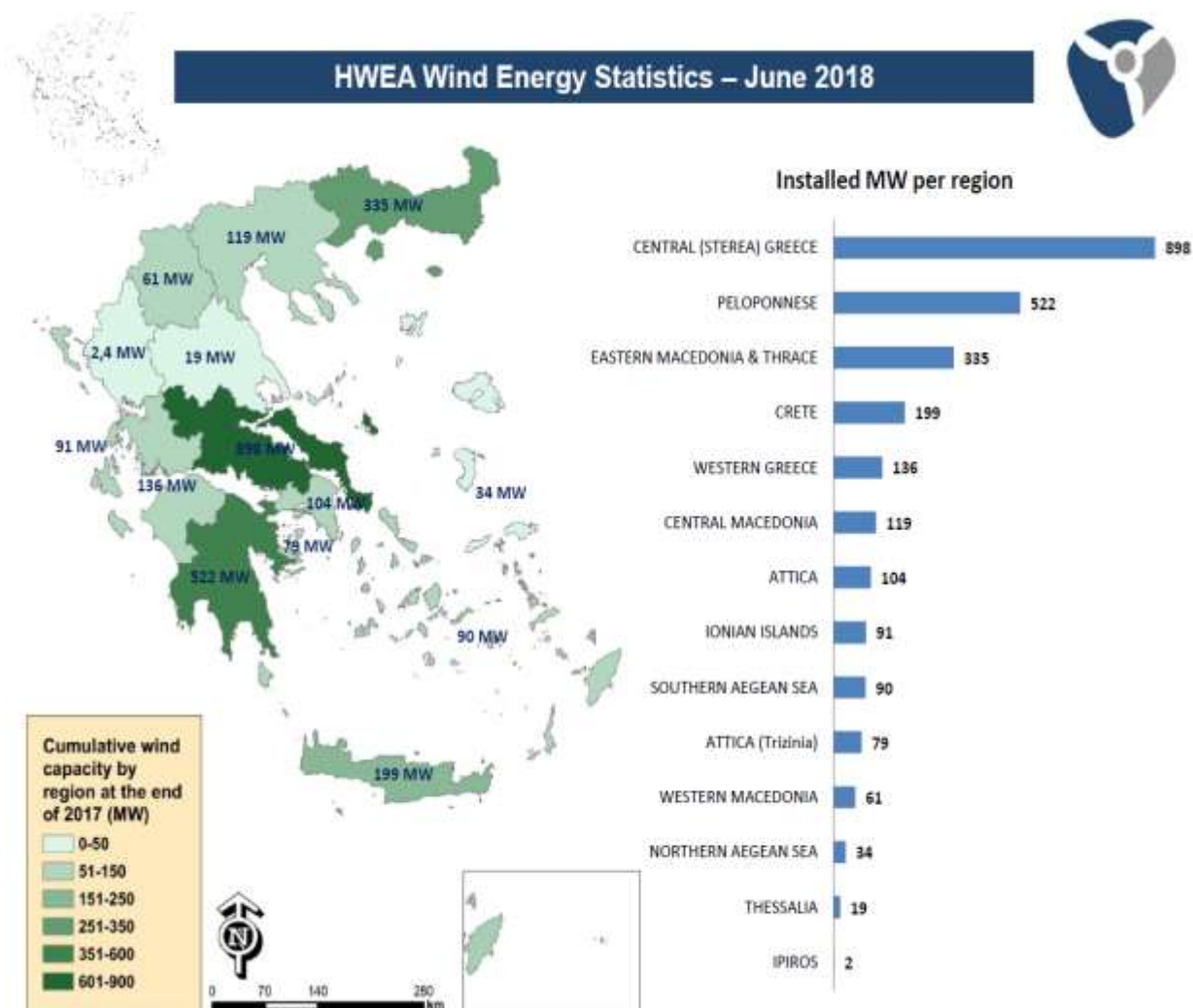
Η χώρα μας εκτός από το πλούσιο αιολικό δυναμικό κατέχει και μία πρωτιά. Αυτή είναι του αιολικού πάρκου που βρίσκεται στη Κύθνο. Το Αιολικό πάρκο της Κύθνου αναφέρεται ως το πρώτο αιολικό πάρκο που δημιουργήθηκε στο κόσμο και το πρώτο στην Ευρώπη. Αρχικά ξεκίνησε με στόχο να καλύψει το 25% των αναγκών της νήσου και αργότερα ξεπέρασε το 75%.

Με βάση τη Στατιστική της Ελληνικής Επιστημονικής Ένωσης της Αιολικής Ενέργειας (ΕΛΕΤΑΕΝ), κατά τη χρονιά που πέρασε συνδέθηκαν στο δίκτυο 103 νέες ανεμογεννήτριες συνολικής ισχύος **191,6 MW**. Αυτό αντιστοιχεί σε ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης **7,2%** το 2018 σε σχέση με το τέλος του 2017. Έτσι, το σύνολο της αιολικής ισχύος που το τέλος 2018 βρισκόταν πραγματικά σε εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία είναι **2.828,5 MW**.

Η ισχύς αυτή κατανέμεται ως εξής:

- Στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά : **310 MW** πλέον τα παλαιά 15,43 MW σε repowering
- Στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα: **2.518,5 MW**

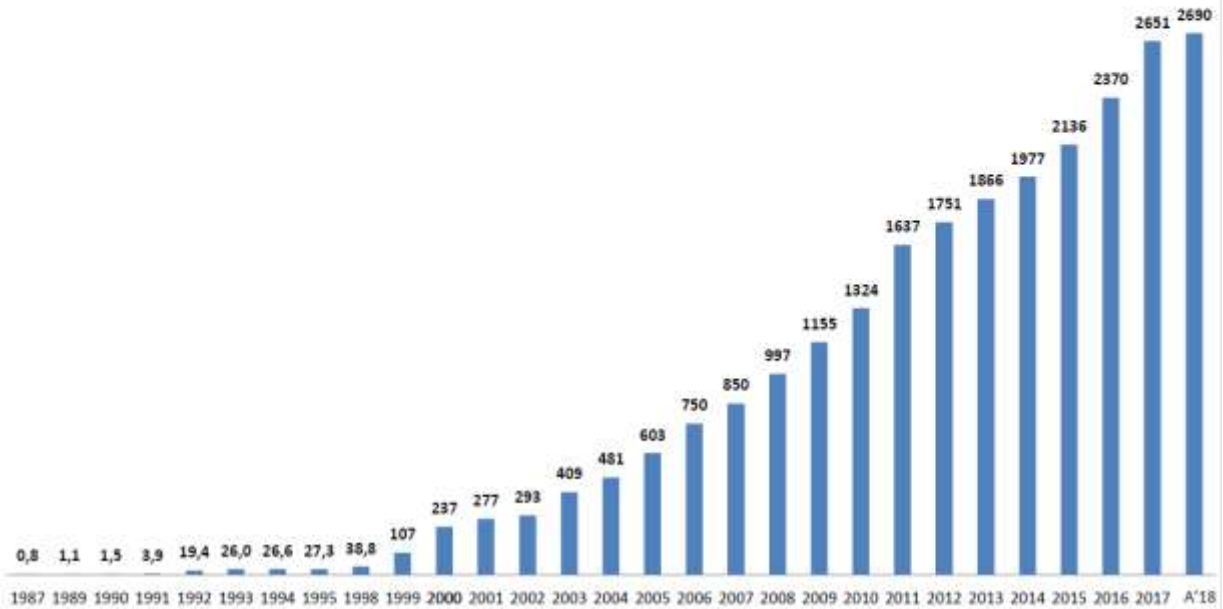
Σε επίπεδο **Περιφερειών**, η Στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων αφού φιλοξενεί 907 MW (32%) και ακολουθεί η Πελοπόννησος με 550 MW (19%) και η Ανατολική Μακεδονία – Θράκη όπου βρίσκονται 375 MW (13%), [5].



Διάγραμμα 3: Κατανομή αιολικής ισχύος (εμπορική ή δοκιμαστική λειτουργία) τον Ιούνιο του 2018 στην Ελλάδα, [5].



Total installed MW per year



Διάγραμμα 4: Αιολική ισχύς στη χώρα μας ανά έτος από το 1987 έως και το 1ο εξάμηνο του 2018, [5].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

2.1 Γενικά για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) ορίζονται οι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχονται από φυσικές διαδικασίες και υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό μας περιβάλλον, όπως ο ήλιος, ο άνεμος, η γεωθερμία, η ροή υδάτων και άλλες. Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2001/77/ΕΚ «Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή η αιολική, η ηλιακή και η γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια κυμάτων, η παλιρροϊκή ενέργεια, η υδραυλική ενέργεια, τα αέρια τα εκλυόμενα από χώρους υγειονομικής ταφής, από εγκαταστάσεις βιολογικού καθαρισμού και τα βιοαέρια». Τα κυριότερα είδη σύμφωνα με τον **International Energy Association (IEA)** είναι:

1. Αιολική ενέργεια,
2. Ηλιακή ενέργεια ,
3. Υδροηλεκτρική ενέργεια,
4. Καύσιμες ανανεώσιμες πηγές και απορρίμματα (βιομάζα),
5. Γεωθερμία (και οι γεωθερμικές αντλίες θερμότητας),
6. Παλιρροϊκή ενέργεια,
7. Ενέργεια από τα κύματα,
8. Θερμότητα από τους ωκεανούς.

Συχνά, οι τρεις τελευταίες μορφές ενέργειας καλούνται ενέργειες από τη θάλασσα.

2.2 Αιολική Ενέργεια

Με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας ουσιαστικά η κινητική ενέργεια που παράγεται από την ροή του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια και εν συνεχεία σε ηλεκτρική ενέργεια. Η σύγχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο είναι πολύ κοντά στο να γίνει ισότιμη με τις συμβατικές πηγές, όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Αλλά υπάρχει μια μεγάλη διαφορά μεταξύ του κόστους της αιολικής ενέργειας στις καλύτερες τοποθεσίες και στις λιγότερο κατάλληλες θέσεις (εξάρτηση από τον καιρό γενικά και τον άνεμο ειδικότερα). Η αιολική ενέργεια παράγεται από την ενέργεια, κατά την κίνηση του αέρα, και η παραγόμενη δυναμική ενέργεια ποικίλλει ανάλογα με τον κύβο της ταχύτητας του. Έτσι, η αύξηση της δυναμικής ενέργειας,

γενικά, συνεπάγεται μείωση του κόστους για μια δεδομένη ποσότητα ενέργειας. Κατ' επέκταση, πολύ περισσότερη ενέργεια παράγεται στις θυελλώδεις ημέρες σε αντίθεση με τις ήρεμες ημέρες (νηνεμία). Αυτό το χαρακτηριστικό της αιολικής ενέργειας, πρακτικά, δυσχεραίνει την παραγωγή της, αν λάβουμε υπόψη το βαθμό στον οποίο η δυναμική ενέργεια εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου (Timmons, Harris&Roach, 2014).

2.3 Ηλιακή Ενέργεια

Ηλιακή ενέργεια: αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται το φάσμα ακτινοβολιών προερχόμενο από τον ήλιο. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι:

- Ενεργητικά: Η ηλιακή ακτινοβολία συλλέγεται με ειδικές διατάξεις και στη συνέχεια μεταφέρεται υπό μορφή θερμότητας με αέρα, νερό ή άλλο ρευστό.
- Παθητικά Ηλιακά και Υβριδικά Συστήματα: βελτιστοποίηση της απευθείας εκμετάλλευσης ηλιακής ενέργειας για θέρμανση, κλιματισμό ή φωτισμό. Η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται με την εκμετάλλευση του φαινομένου του θερμοκηπίου, το οποίο δημιουργείται από την κατάλληλη αρχιτεκτονική διάταξη ενός κτιρίου. Στη συνέχεια, αποθηκεύεται και μεταφέρεται με φυσική ροή, μέσω κατάλληλης διαμόρφωσης βιοκλιματικός σχεδιασμός κτιρίου των δομικών στοιχείων του κτιρίου.
- Φωτοβολταϊκά Ηλιακά Συστήματα: άμεση μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε ηλεκτρική. Συγκεκριμένα η ηλιακή ακτινοβολία μετατρέπεται απ' ευθείας σε ηλεκτρική, ως αποτέλεσμα του φωτοβολταϊκού φαινομένου.



Εικόνα 2: Ηλιακός θερμοσίφωνα. (β) Υβριδικό Συστήματα εγκατεστημένο σε σπίτι (Παθητικό Ηλιακό σύστημα και Φωτοβολταϊκό σύστημα).

2.4 Υδραυλική Ενέργεια

Η ενέργεια του νερού έχει χρησιμοποιηθεί επί εκατοντάδες χρόνια για τη λειτουργία μηχανών. Αξιοποιεί τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρισμού. Πρόκειται για τη δυναμική ενέργεια, που περικλείει το νερό, κατά τη διαδικασία του κύκλου του και μετατρέπεται σε κινητική, κατά τη μετακίνησή του σε χαμηλότερα υψομετρικά επίπεδα. Η ενέργεια αυτή δεσμεύεται και χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή, εξυπηρετώντας ταυτόχρονα κι άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανακοπή χειμάρρων. Πρόκειται για μια διαδικασία κατά την οποία η ροή του νερού χρησιμοποιείται για την περιστροφή ενός στρόβιλου συνδεδεμένου με μια γεννήτρια.



Εικόνα 3:Υδροηλεκτρικό φράγμα στη λίμνη Πλαστήρα.

2.5 Βιομάζα

Η Βιομάζα είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης. Η βιομάζα θεωρείται ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, καθώς μπορούν να αναπτυχθούν νέα φυτά, που θα παραγάγουν νέα βιομάζα. Η χρήση αυτής της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας συμβάλλει στην επίτευξη όχι μόνο της παραγωγής βίο-καυσίμων, αλλά βοηθά τα οικοσυστήματα να προσαρμοστούν στην κλιματική αλλαγή [2].



Εικόνα 4: Εργοστάσιο παραγωγής Βιομάζας χρησιμοποιώντας κυρίως απόβλητα της βιομηχανίας ξύλου.

2.6 Γεωθερμική Ενέργεια

Η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και μετατρέπεται σε ηλεκτρική αφού προηγουμένως έχει μετατραπεί σε μηχανική ονομάζεται Γεωθερμική ενέργεια. Ο όρος «γεωθερμική ενέργεια» στην πραγματικότητα αναφέρεται σε έναν αριθμό διαφορετικών τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται την θερμοκρασία των γεωθερμικών πόρων. Καθώς, η θερμοκρασία της γης αυξάνεται σταθερά όσο βαθαίνει προς το κέντρο της, ο πυρήνας της γης είναι στην πραγματικότητα λιωμένος. Για την αξιοποίηση της γεωθερμική ενέργειας, οι βασικοί παράμετροι είναι το πόσο υψηλή είναι η θερμοκρασία σε συνάρτηση με το βάθος, και πόσο εύκολα μπορεί να εξαχθεί η θερμότητα από το εκάστοτε βάθος [3]. Η πιο οικονομική μορφή χρήσης της γεωθερμικής ενέργειας, είναι το νερό που βρέθηκε κοντά στην επιφάνεια της γης σε θερμοκρασίες αρκετά υψηλές ώστε σχεδόν να βράζει. Έτσι, η γεωθερμική ενέργεια είναι σχετικά χαμηλού κόστους, και σε αντίθεση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, έχει το πλεονέκτημα να είναι σε θέση να λειτουργεί συνεχώς, χωρίς διακοπή (σε αντίθεση π.χ. με την αιολική και την παλιρροιακή ενέργεια). Ωστόσο, αυτή η δυνατότητα περιορίζεται μόνον σε ενεργά σεισμικές περιοχές. Η παραγωγή γεωθερμικής ενέργειας γίνεται, επίσης, χρησιμοποιώντας αντλίες θερμότητας των υπόγειων υδάτων. Σε τέτοια συστήματα, το νερό κυκλοφορεί μέσα από το έδαφος σε θερμοκρασίες πολύ χαμηλές για να θερμαίνουν άμεσα τα κτίρια, συνήθως γύρω στους 50°F, οπότε χρήζουν υποστήριξης. Όμως, οι αντλίες θερμότητας απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία των κινητήρων τους, αλλά η παραγωγή θερμότητας είναι έως και πέντε φορές περισσότερο από ό, τι η ηλεκτρική ενέργεια εισόδου [3].



Εικόνα 5: Γεωθερμική ενέργεια στην Ισλανδία.

2.7 Ενέργεια από θαλάσσια κύματα

Η παλιρροιακή ενέργεια είναι παρόμοια με αυτή της υδροηλεκτρικής ενέργειας. Έτσι, όπως και με την υδροηλεκτρική ενέργεια, η παλιρροιακή ενέργεια παράγεται από έναν συνδυασμό απόστασης του νερού και της ροής, με ιδανικές τις τοποθεσίες – ωστόσο – που έχουν μεγάλη απόσταση και μεγάλη ροή. Μία μέθοδος για την αξιοποίηση της παλιρροιακής ενέργειας είναι η κατασκευή ενός φράγματος κατά μήκος του στομίου μίας εισόδου νερού. Το νερό μπορεί να ρέει και στις δύο κατευθύνσεις, όταν η παλίρροια έρχεται και φεύγει, και η ενέργεια θα παράγεται από τη ροή σε οποιαδήποτε κατεύθυνση. Η απόσταση αλλάζει συνεχώς με τις παλίρροιες, από τη μέγιστη υψομετρική διαφορά μεταξύ υψηλής και χαμηλής παλίρροιας τείνοντας έως και μηδενική, [3].



Εικόνα 6: Το κανάλι του Μπρίστολ, νότια της Ουαλίας.

Παγκοσμίως ολοένα και περισσότερες χώρες στοχεύουν να αυξήσουν την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, διαμορφώνοντας τα θεσμικά πλαίσια για την προσέλκυση επενδύσεων. Το έντονο ενδιαφέρον προήλθε ως αποτέλεσμα κυρίως της πετρελαϊκής κρίσης του 1973, η οποία κατέστησε σαφές διεθνώς ότι τα αποθέματα του πετρελαίου, στο οποίο βασιζόταν ως επί το πλείστον η παραγωγή οποιασδήποτε μορφής αξιοποιήσιμης ενέργειας, είναι «πεπερασμένα» και «περιορισμένα». Σε αυτό βοήθησε η χρήση ειδικών δορυφόρων οι οποίοι χαρτογράφησαν τα αποθέματα του «μαύρου χρυσού». Με την πάροδο των χρόνων, η εξέλιξη της τεχνολογίας και κατά συνέπεια της βιομηχανίας ήρθε να δημιουργήσει νέα δεδομένα στην ανθρωπότητα. Η ανάγκη για ενέργεια εμφανίζει συνεχώς αυξητικές τάσεις παγκοσμίως και κατά συνέπεια και στην Ελλάδα.

Αρχικά οι εγκαταστάσεις των Α.Π.Ε. αποτελούσαν πειραματικές εφαρμογές και είχαν ιδιαίτερα υψηλό κόστος. Η αύξηση της παγκόσμιας εγκατεστημένης ισχύος τους όμως έχει επιφέρει συνεχή βελτίωση των εφαρμοζόμενων τεχνολογιών και μείωση του κόστους παραγωγής του τελικού προϊόντος. Ειδικά η αιολική, η υδροηλεκτρική ενέργεια και η βιομάζα ανταγωνίζονται πλέον σε μεγάλο βαθμό παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια.

Σήμερα 58 χώρες έχουν θέσει στόχους για την χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο ενεργειακό τους ισοζύγιο συμπεριλαμβανομένων και αναπτυσσόμενων χωρών αλλά και πολιτειών/περιφερειών των ΗΠΑ και του Καναδά, και η πλειοψηφία αυτών έχει διαμορφώσει συγκεκριμένες πολιτικές και κίνητρα για την χρήση ΑΠΕ. Την πρωτοπορία στον κλάδο διαθέτει η Ευρώπη, έχοντας άνω του 35% του παγκόσμιου δυναμικού σε παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες. Στο παρακάτω σχήμα εικονίζεται η εγκατεστημένη ισχύς όλων των πηγών ενέργειας το 2000 και το 2011 για τις χώρες της ΕΕ όπου φαίνεται ότι η ισχύς από ΑΠΕ έχει αυξηθεί από 22,5% της συνολικής εγκατεστημένης ισχύος (το 2000) σε ποσοστό 31,1% το 2011 [28].

2.8 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας

2.8.1 Πλεονεκτήματα από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας

Όπως έχει ήδη αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια η αιολική ενέργεια είναι μια ανεξάντλητη και καθαρή πηγή ενέργειας. Επιπλέον, η ενέργεια αυτή δεν εκλύει στην ατμόσφαιρα αέρια θερμοκηπίου και άλλους ρύπους, κατά συνέπεια οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές συγκριτικά με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι οι περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες (συμπεριλαμβάνοντας και την Ελλάδα) έχουν τεράστια περιβαλλοντικά προβλήματα καθιστούν την αιολική ενέργεια ιδιαίτερα ελκυστική. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να σημειωθεί ότι ιδιαίτερα για την Ελλάδα που διαθέτει αρκετά υψηλό αιολικό δυναμικό μεγάλης διάρκειας (σχεδόν ολόκληρο το έτος το αιολικό δυναμικό είναι αξιοποιήσιμο) η χρήση της αιολικής ενέργειας είναι μια καλή λύση. Ο παρακάτω χάρτης παρουσιάζει τις περιοχές της Ελλάδας όπου λόγω της μεγάλης μέσης ετήσιας ταχύτητας των ανέμων μπορεί να αξιοποιηθεί η αιολική ενέργεια.

Ένα ακόμη πλεονέκτημα της αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας είναι η δυνατότητα τόνωσης της κατασκευαστικής δραστηριότητας με προϊόντα συγκριτικά χαμηλού επενδυτικού κόστους,

συνεισφέροντας ταυτόχρονα και στη μείωση της ανεργίας. Επιπρόσθετα, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα.

Ο εξοπλισμός είναι απλός στην κατασκευή και τη συντήρηση και έχει μεγάλο χρόνο ζωής.

Η αιολική ενέργεια δεν εμποδίζει τις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Περίπου το 99% της γης που φιλοξενεί ένα αιολικό πάρκο είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις.

Εξίσου σημαντική είναι η δυνατότητα αποκεντρωμένης ανάπτυξης μέσα από αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας, γεγονός που μπορεί να ενισχύσει σημαντικά τις τοπικές κοινωνίες. Η αιολική ενέργεια είναι γεωγραφικά διάσπαρτη και οδηγεί στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, δίνοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο και μειώνοντας καθ' αυτό τον τρόπο τις απώλειες από τη μεταφορά ενέργειας.

Οι εγχώριες πηγές ενέργειας, όπως είναι η αιολική συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής ανεξαρτησίας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε εθνικό επίπεδο καθώς και αποτελεί την εναλλακτική πρόταση σε σχέση με την οικονομία του πετρελαίου.

Ακόμη, αξίζει να αναφερθεί ότι είναι δυνατή η αξιοποίηση επενδυτικών προγραμμάτων που χρηματοδοτούνται εν μέρει από ελληνικούς και κοινοτικούς φορείς δεδομένων των υψηλών επιχορηγήσεων και του συγκριτικά χαμηλού κόστους που συνοδεύουν παρόμοιες επενδύσεις σε τομείς αξιοποίησης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

2.8.2 Μειονεκτήματα Αξιοποίησης της Αιολικής Ενέργειας

Ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι ότι ο άνεμος παρουσιάζει συχνά διακυμάνσεις και μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ώρας, της ημέρας ή και ακόμα του έτους που κατατάσσει την αιολική ενέργεια στις "αραιές" μορφές ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη χρήση είτε μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών είτε τη χρήση μηχανών μεγάλων διαστάσεων για την παραγωγή της επιθυμητής ποσότητας ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια, όπως προαναφέραμε δεν μπορεί εύκολα να αποθηκευτεί. Η αποθήκευση της αιολικής ενέργειας δύναται να γίνει με μπαταρίες. Όμως η χρήση συστοιχίας μπαταριών αυξάνει κατά πολύ το κόστος της επένδυσης αλλά και τις απώλειες ενέργειας κατά τις φάσεις μετατροπής και αποθήκευσης.

Η αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου δεν δίνει τη δυνατότητα παραγωγής της ενέργειας που απαιτείται μια δεδομένη στιγμή. Για τον λόγο αυτό, οι αιολικές μηχανές χρησιμοποιούνται κυρίως σαν εφεδρικές πηγές ενέργειας σε συνδυασμό με κάποια άλλη πηγή ενέργειας (π.χ. σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο, παράλληλη λειτουργία με μονάδες Diesel κ.λπ.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ανεμολογικά χαρακτηριστικά

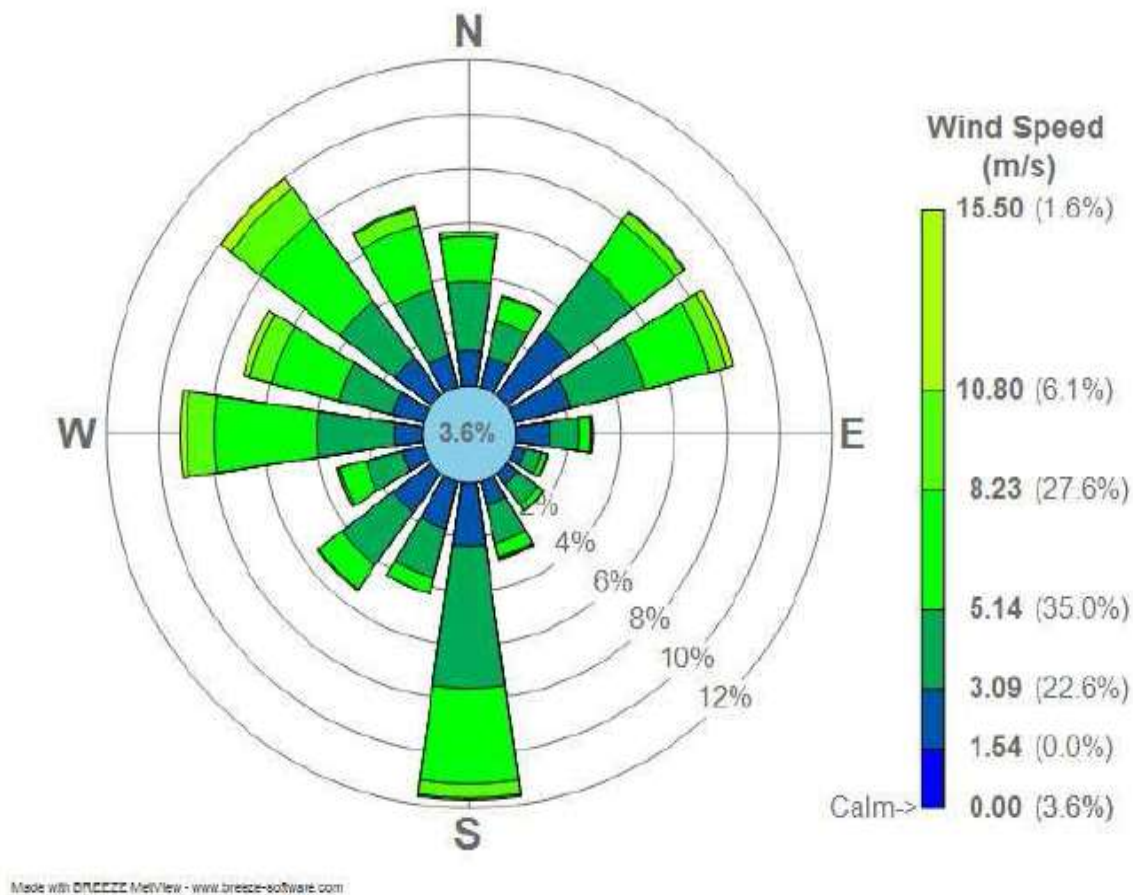
3.1 Κύρια χαρακτηριστικά του ανέμου

Γενικά με τον όρο «Άνεμος» ονομάζεται κάθε οριζόντια μετακίνηση μάζας ατμοσφαιρικού αέρα. Συγκεκριμένα, ο άνεμος είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών πιέσεων που επικρατούν σε διάφορους τόπους. Οι μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης καθώς και οι αλλαγές της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα προκαλούν δύο είδη κίνησης στα μόρια του αέρα. Την κατακόρυφο κίνηση των αερίων μαζών και την οριζόντια κίνηση των αερίων μαζών, στην πρώτη περίπτωση οι αέριες μάζες κινούνται ανοδικά και καθοδικά ενώ η οριζόντια κίνηση (ροή των μορίων του αέρα) μας δίνει την έννοια του ανέμου. Ο άνεμος χαρακτηρίζεται από δύο επιπλέον στοιχεία που είναι η διεύθυνση και η ένταση.

Συγκεκριμένα, η διεύθυνση του ανέμου χαρακτηρίζεται από το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Η διεύθυνση προσδιορίζεται από τα κύρια σημεία του ορίζοντα, (δηλαδή Βόρειος, Ανατολικός, Νότιος, Δυτικός) καθώς και από τα ενδιάμεσα σημεία αυτών, (Βόρειο-Ανατολικός, Νότιο-Ανατολικός, Νότιο-Δυτικός, Βόρειο-Δυτικός). Όταν χρειάζεται μεγαλύτερη ακρίβεια τότε η διεύθυνση καθορίζεται από τα ενδιάμεσα των μισών.

Κατά την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, ορίζεται ως κύρια διεύθυνση του ανέμου κάθε διεύθυνση η οποία συνεισφέρει τουλάχιστον 10% στη συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια. Η διεύθυνση του ανέμου, η οποία στην υπό μελέτη περιοχή έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης, ονομάζεται επικρατούσα διεύθυνση. Στην Ελλάδα η επικρατούσα κατά κανόνα διεύθυνση των ανέμων είναι η βόρεια και βορειανατολική. Ο προσδιορισμός της διεύθυνσης του ανέμου γίνεται, συνήθως, με την βοήθεια ανεμοδεικτών, [6].

Σαν αποτέλεσμα της καταγραφής της διεύθυνσης του ανέμου προκύπτει το ροδόγραμμα (Σχήμα 1) στο οποίο παρουσιάζονται οι συχνότητες (επί τις %) σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων που διατίθενται, ανάλογα με το σημείο από το οποίο πνέει ο άνεμος. Στο ίδιο διάγραμμα δίνετε η μέση ταχύτητα του ανέμου κατά την εκάστοτε διεύθυνση ενώ στο κέντρο του και σε ειδικό κύκλο καταγράφεται το ποσοστό νηνεμίας.



Σχήμα 1: Ροδόγραμμα τυχαίας περιοχής.

Η κίνηση του ανέμου ακολουθεί τους νόμους που διέπουν την τυρβώδη ροή συνεκτικού ρευστού. Συνεπώς, η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα μέγεθος το οποίο εμφανίζει διακυμάνσεις τόσο σε χρονικά διαστήματα εκατοστών του δευτερολέπτου όσο και σε διαστήματα ωρών. Οι μέγιστες ταχύτητες του ανέμου εξαρτώνται από την γεωγραφική θέση της εκάστοτε περιοχής και από το τοπογραφικό της ανάγλυφο.

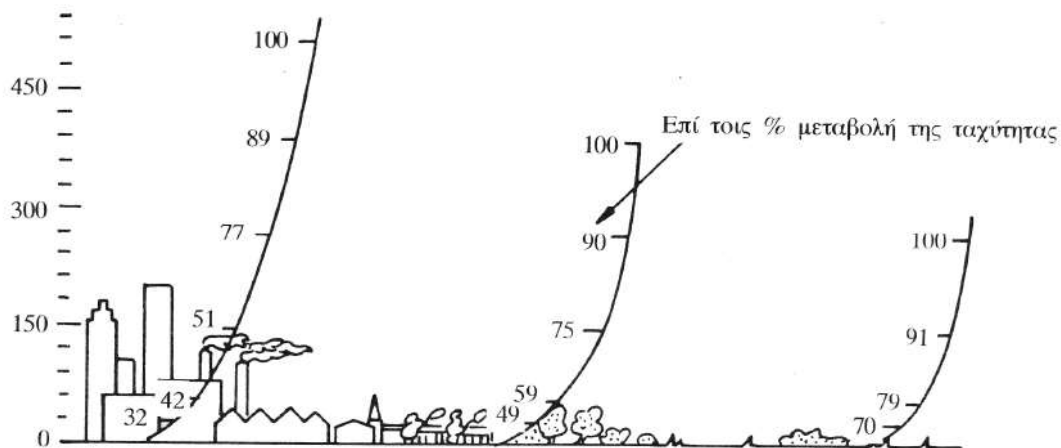
Ιδιαίτερα προβλήματα στην ομαλή λειτουργία των αιολικών μηχανών δημιουργούν οι ριπές του ανέμου. Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζονται οι ξαφνικοί άνεμοι μεγάλης έντασης και μικρής διάρκειας. Γενικά, ο άνεμος εμφανίζει λιγότερες ριπές πάνω από εκτεταμένες υδάτινες επιφάνειες και περισσότερες πάνω από επιφάνειες με έντονο τοπογραφικό ανάγλυφο ή με υψηλά εμπόδια (όπως υψηλά κτίρια, δέντρα κ.α.). Για την μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται ανεμόμετρα ή ανεμογράφοι.

Για την περιγραφή της κατανομής της ταχύτητας του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος χρησιμοποιούνται διάφοροι «ημιεμπειρικοί» νόμοι, οι οποίοι βασίζονται στο γεγονός της αύξησης της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος μέσα στα όρια του οριακού στρώματος. Βέβαια η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου επηρεάζεται από την τραχύτητα του εδάφους, την ύπαρξη επιφανειακών εμποδίων καθώς κι από το τοπογραφικό ανάγλυφο της περιοχής.

3.2 Χαρακτηριστικές παράμετροι του ανέμου

3.2.1 Επίδραση της τραχύτητας του εδάφους

Ένα από τα πιο συνηθισμένα φαινόμενα της κακής λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας είναι η επίδραση της τραχύτητας του εδάφους. Στις περισσότερες από τις περιπτώσεις αυτές η ανεμογεννήτρια λειτουργεί σε έντονα μεταβαλλόμενο πεδίο ροής λόγω της υψηλής τύρβης της περιοχής η οποία εξαρτάται τόσο από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες της περιοχής όσο και από την ύπαρξη μεμονωμένων κτιρίων ή άλλων εμποδίων αλλά και από την τραχύτητα του εδάφους της περιοχής (βλέπε Σχήμα 2).



Σχήμα 2: Επίδραση τραχύτητας στην ταχύτητα του ανέμου.

3.2.2 Επίδραση επιφανειακών εμποδίων

Για τη σωστή αεροδυναμική συμπεριφορά μιας ανεμογεννήτριας θα πρέπει η πτερωτή της να βρίσκεται εκτός του πεδίου επιρροής τυχόν επιφανειακών εμποδίων, (βλέπε Σχήμα 3). Με τον τρόπο το πεδίο ροής είναι ελεύθερο στροβιλισμού και η τύρβη του ανέμου είναι η ελάχιστη δυνατή. Από αυτό βγαίνει το συμπέρασμα ότι θα πρέπει να εντοπίσουμε τις περιοχές επιρροής των κυριότερων επιφανειακών εμποδίων.



Σχήμα 3: Επίδραση εμποδίων στο προφίλ της ταχύτητας του ανέμου.

3.2.3 Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής

Η πλειοψηφία των περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό χαρακτηρίζονται από έντονο ανάγλυφο. Επειδή η διαμόρφωση του πεδίου ταχύτητας εκτός από την τραχύτητα του εδάφους και των επιφανειακών εμποδίων επηρεάζεται και από τις εδαφολογικές ιδιομορφίες στην περιοχή της πιθανής θέσης εγκατάστασης της αιολικής μηχανής, είναι σκόπιμο να εξετάζετε η μελέτη του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής. Παρόλο που υπάρχουν αρκετές αναλυτικές ημιεμπειρικές σχέσεις που προτείνουν διορθώσεις της ταχύτητας του ανέμου σε τέτοιες περιοχές, ακριβείς υπολογισμοί μπορούν να γίνουν μόνο με μαθηματική προσομοίωση και χρήση υπολογιστών. Ο βασικός κανόνας που θα πρέπει να ακολουθείτε είναι ότι ο δρομέας μιας ανεμογεννήτριας πρέπει να βρίσκεται πάντα έξω από την ζώνη επιρροής επιφανειακών εμποδίων ώστε να έχουμε μεγιστοποίηση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας κι ελαχιστοποίηση της αναπτυσσόμενης τύρβης.



Σχήμα 4: Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής.

3.3 Στατιστική μελέτη του ανέμου

3.3.1 Αιολικό δυναμικό

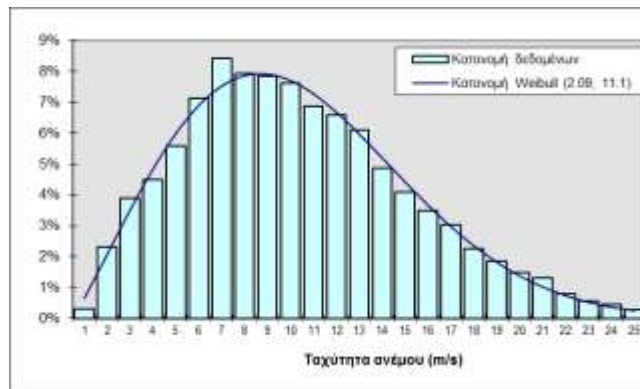
Το πρώτο βήμα για τον υπολογισμό της έντασης και της διεύθυνσης του ανέμου σε μια περιοχή είναι η εκτίμηση του αιολικού δυναμικού σε αυτήν. Μέσω του αιολικού δυναμικού δίνετε να γίνει η εκλογή των κατάλληλων τοποθεσιών για τη δημιουργία αιολικών εγκαταστάσεων και κατά συνέπεια να γίνει η επιλογή των κατάλληλων ανεμογεννητριών για τις περιοχές αυτές, [9].

Ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι μια διαδικασία επίπονη που στηρίζεται σε μαθηματικά μοντέλα τα οποία όμως έχουν ακριβή αποτελέσματα σε επίπεδα εδάφους. Επειδή όμως η πλειοψηφία των περιοχών που θεωρούνται κατάλληλες για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων παρουσιάζουν έντονο ανάγλυφο, βασιζόμαστε στα μαθηματικά μοντέλα που υπάρχουν και μεριμνούμε οι μετρήσεις που κάνουμε για την περιοχή να είναι σε κοντινό μέρος σε σχέση με την περιοχή που μας ενδιαφέρει. Είναι κοινά αποδεκτό ότι σε μια περιοχή περίπου 10 km, γύρω από έναν ανεμογράφο, μπορούμε να εξάγουμε ακριβή συμπεράσματα για την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου, [7].

3.3.2 Κατανομή Weibull

Έχει αποδειχτεί ότι η κατανομή **Weibull** είναι εκείνη η οποία προσεγγίζει καλλίτερα τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου.

Η μαθηματική έκφραση της κατανομής Weibull δίδεται από τη σχέση: Η κατανομή του ανέμου εκφράζει τις μεταβολές του ανέμου καθ' ύψος. Ο άνεμος ακολουθεί την κατανομή Weibull. Για την εύρεση της καμπύλης διάρκειας των ταχυτήτων του ανέμου πρέπει να προσδιοριστεί το χρονικό διάστημα για το οποίο η μετρημένη ταχύτητα είναι μικρότερη από κάποια προσδιορισμένη τιμή. Η κατανομή Weibull (Διάγραμμα 5) περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100m από το έδαφος, [7].



Διάγραμμα 5: Κατανομή Weibull για τυχαία περιοχή.

Ο άνεμος ακολουθεί την κατανομή Weibull σύμφωνα με την εξίσωση:

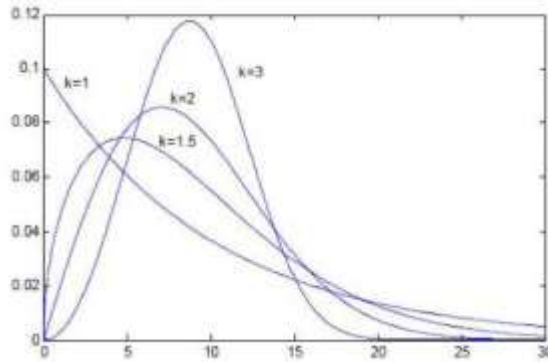
$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k}$$

Όπου $f(V)$ η συχνότητα εμφάνισης της ταχύτητας V ,

k είναι παράμετρος σχήματος ($1 < k < 3$). Στην Ελλάδα η παράμετρος κπαιρνει τιμές από 1 έως 2. Στο παρακάτω Διάγραμμα 6 παρουσιάζεται η μεταβολή της καμπύλης συναρτήσε του k .

c είναι παράμετρος κλίμακας. Είναι δηλαδή μια παράμετρος που συνδέεται με την μέση ταχύτητα και την συνάρτηση γ του Euler:

$$c = \frac{\bar{V}}{\gamma \left(1 + \frac{1}{k}\right)}$$



Διάγραμμα 6: Η εξάρτηση της πιθανότητας από την παράμετρο k .

Μια απλουστευμένη περίπτωση της Weibull είναι αυτή όπου το $k=2$. Η κατανομή αυτή είναι και γνωστή ως κατανομή του **Rayleigh**. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κατανομή **Weibull** προσεγγίζει επίσης την κατανομή **Gauss** όταν ο συντελεστής $k = 3.5$. Το πλεονέκτημα της κατανομής Rayleigh έναντι της Weibull είναι ότι με γνωστή τη μέση ταχύτητα του ανέμου σε μια περιοχή, προσδιορίζεται άμεσα η παράμετρος c της σχέσης.

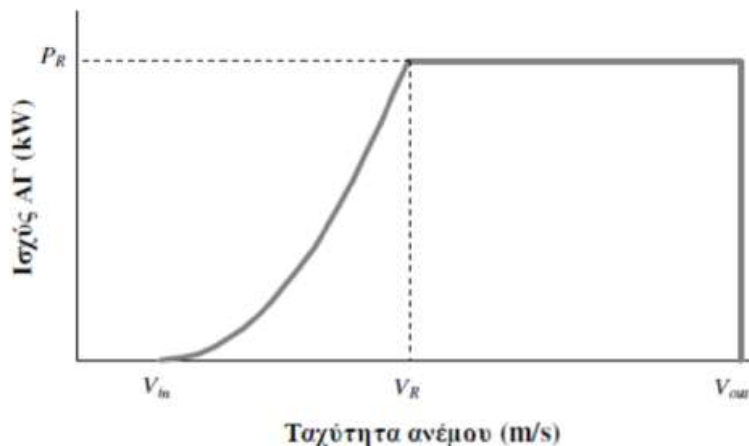
Ο υπολογισμός της πυκνότητας πιθανότητας της κατανομής Rayleigh δίνεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$P(V) = \frac{2V}{c^2} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^2}$$

Βέβαια, μία ανεμογεννήτρια αποδίδει ισχύ όταν η ταχύτητα της βρίσκεται εντός των ορίων $[v_{in}, v_o]$, όπου:

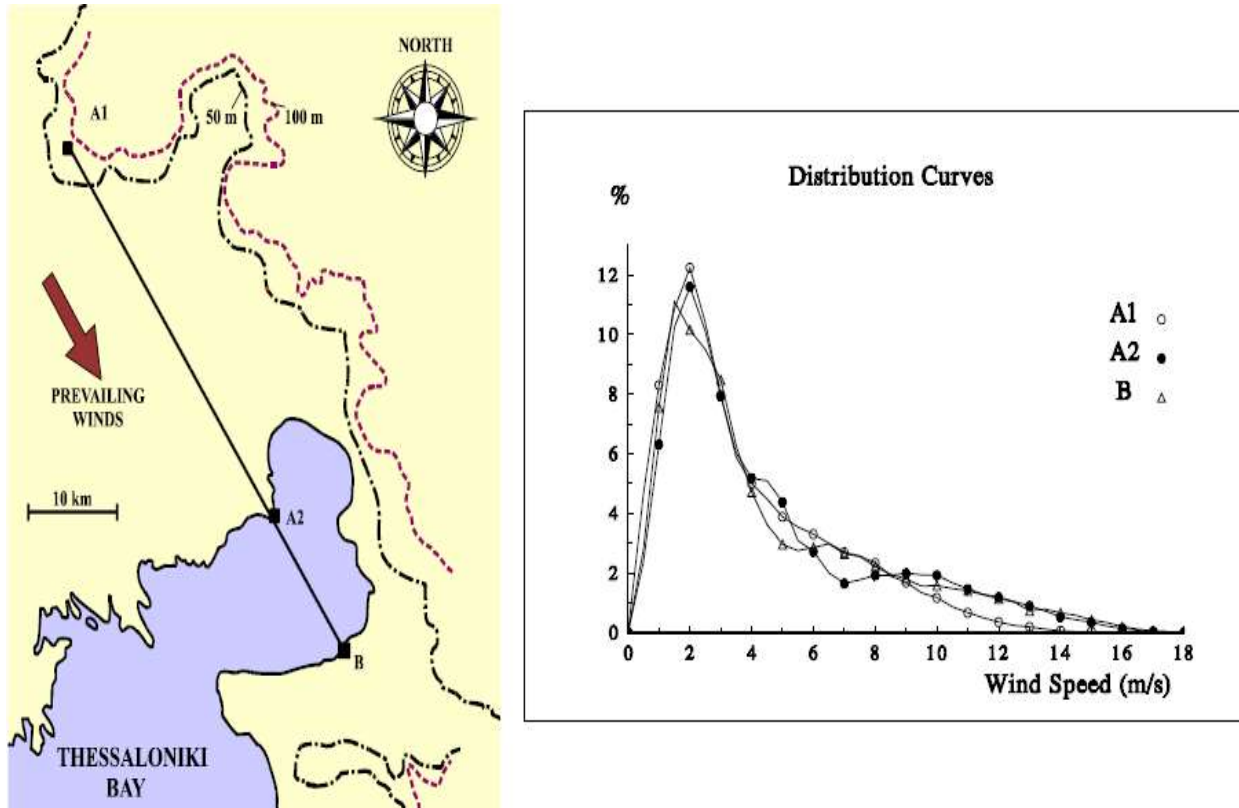
v_{in} είναι η ταχύτητα του ανέμου όταν η ανεμογεννήτρια αρχικά να αποδίδει ισχύ και v_o είναι η ταχύτητα αποκοπής για λόγους ασφαλείας. Στην ουσία η ταχύτητα αυτή είναι η ταχύτητα που δίνει ο κατασκευαστής και πέρα από αυτή την τιμή η ανεμογεννήτρια παύει να λειτουργεί.

Η αποδιδόμενη ισχύς από τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας στο πεδίο αυτό της v , καθορίζεται κάθε φορά από τα τεχνικά της χαρακτηριστικά της. Μια τέτοια καμπύλη απόδοσης δίδεται στο παρακάτω Διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 7: Καμπύλη αποδιδόμενης ισχύος ανεμογεννήτριας, [22].

Στον παρακάτω χάρτη και διάγραμμα παρουσιάζεται ένα τυπικό παράδειγμα υπολογισμού της ταχύτητας του ανέμου στην περιοχή γύρω από τον Θερμαϊκό κόλπο, [8].



Διάγραμμα 8: Κατανομή ταχύτητας γύρω από τον Θερμαϊκό κόλπο.

3.3.3 Το όριο του Betz

Στην πραγματικότητα η ανεμογεννήτρια εκμεταλλεύεται ένα ποσοστό από την συνολική ισχύ του αέρα. Το ποσοστό αυτό καθορίζεται από τον συντελεστή ισχύος C_p της ανεμογεννήτριας, ο οποίος αποτελεί στην ουσία τον αεροδυναμικό βαθμό της πτερωτής. Πιο συγκεκριμένα ο συντελεστής ισχύος είναι ο λόγος της ισχύος που δεσμεύει ο δίσκος ενέργειας (ο δρομέας μίας ανεμογεννήτριας) προς την διαθέσιμη ενέργεια του ανέμου. Ακόμα και για μια ιδανική πτερωτή, ο συντελεστής ισχύος δεν μπορεί να υπερβεί το όριο του Betz (δηλαδή το 59,3% της συνολικής ισχύος που φέρει ο άνεμος), [7]. Τελικά η ισχύς την οποία μία ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα μπορεί να εκμεταλλευθεί από τον άνεμο ισούται με:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3 \eta$$

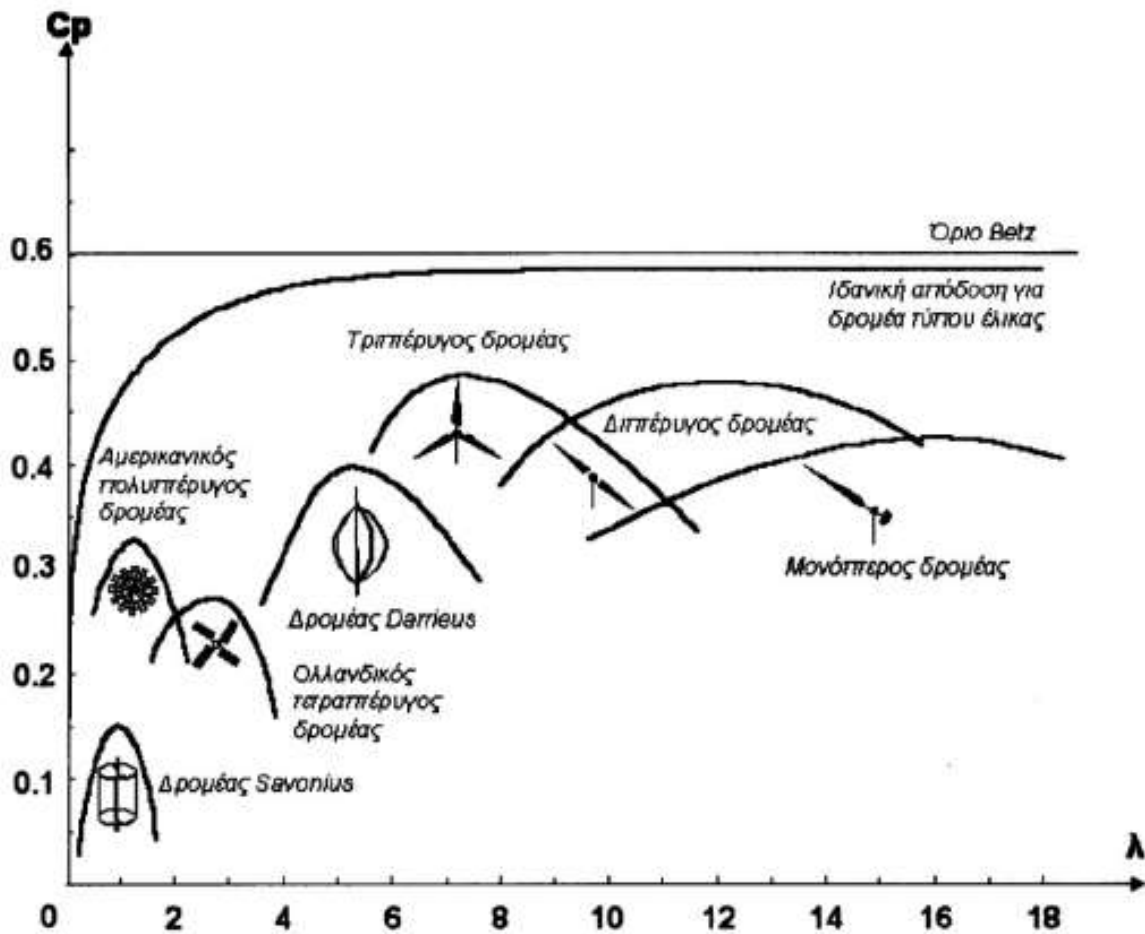
όπου η είναι ο ηλεκτρικός και μηχανικός βαθμός απόδοσης της ανεμογεννήτριας, [7].

Από το σχεδιασμό της περωτής των υφιστάμενων ανεμογεννητριών ο συντελεστής ισχύος C_p εκφράζεται ως συνάρτηση του λόγου ταχύτητας ακροπερυγίου, λ . ο συντελεστής λ δίνεται από την σχέση:

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60V}$$

όπου n είναι ο αριθμός στροφών του δρομέα σε (rpm).

Από τα παραπάνω προκύπτει τελικά ότι $C_p=C_p(\lambda)$. στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η αεροδυναμική συμπεριφορά διάφορων τύπων ανεμογεννητριών συναρτήσει του συντελεστή λ .



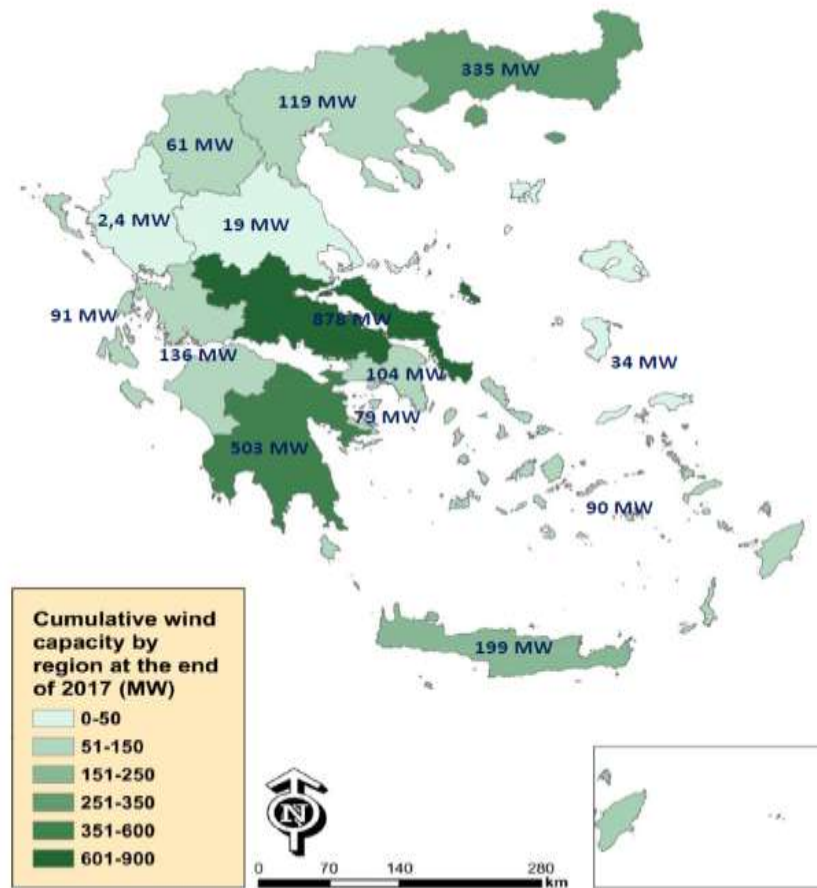
Διάγραμμα 9: Αεροδυναμική συμπεριφορά διάφορων τύπων ανεμογεννητριών, [7].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Αιολικό δυναμικό

4.1 Αιολικό δυναμικό στην Ελλάδα

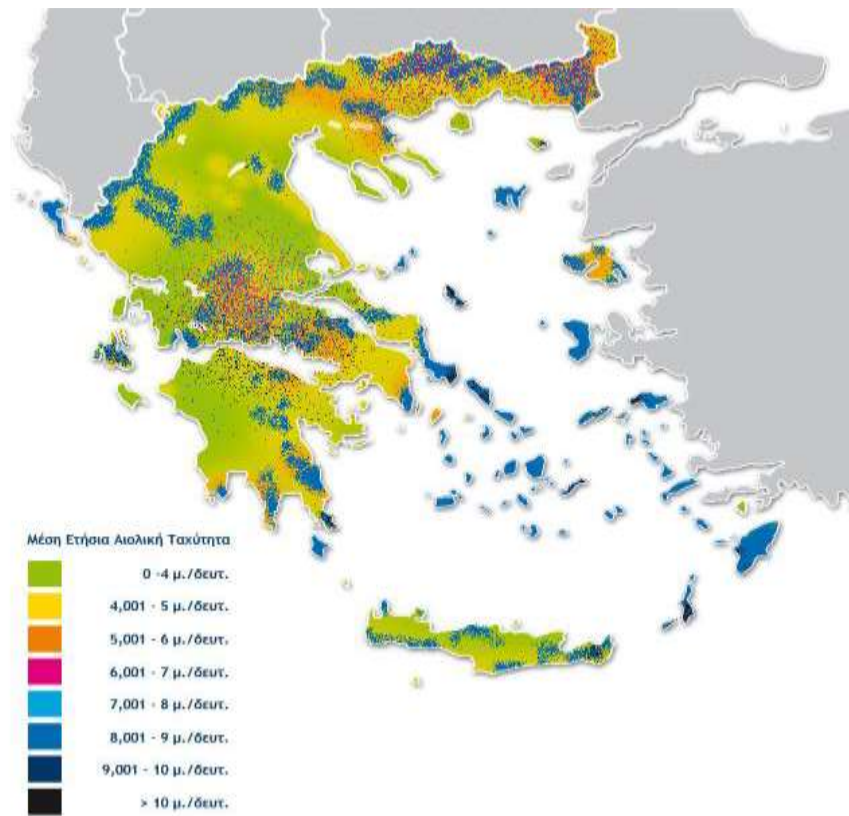
Η Ελλάδα είναι μια χώρα με μεγάλη ακτογραμμή και τεράστιο αριθμό νησιών. Οι άνεμοι που πνέουν προσδίδουν ιδιαίτερη σημασία στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας στη χώρα μας. Από τις πλέον πρόσφορες περιοχές για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών είναι οι παράλιες περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας και τα νησιά του Αιγαίου. Το αιολικό δυναμικό της χώρας θεωρείται υψηλό, με απόδοση πάνω από 8 μέτρα/δευτερόλεπτο ή 2.500 ώρες παραγωγής αιολικής ενέργειας, σε πολλά σημεία της χώρας, [12]. Στο Σχήμα 5 φαίνεται ένας χάρτης του αιολικού δυναμικού της Ελλάδας, [11].



Σχήμα 5: Κατανομή του αιολικού δυναμικού ανά περιφέρεια στην Ελλάδα, [11].

Στα νησιά του Αιγαίου υφίστανται δυνατοί άνεμοι, των οποίων η ταχύτητά τους κυμαίνεται από 7-11m/s κατά μέσο όρο. Ακόμη, μετρήσεις έχουν δείξει, πως στα νησιά του Κεντρικού Αιγαίου η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη από τα 7m/s και σε τυπικά μέρη κυμαίνεται μεταξύ 8-10m/s και σε εξαιρετικές (υπερβολικές) περιπτώσεις φθάνει τα 12m/s. Στα βόρεια και νότια νησιά του Αιγαίου η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται στα 6m/s. Στο Σχήμα 6 φαίνονται οι μέσες τιμές της ταχύτητας του ανέμου για όλες τις περιοχές της Ελλάδας [12].

Σύμφωνα με τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ), σε κάθε μη διασυνδεδεμένο νησί υπάρχει αυστηρός περιορισμός (περίπου 30% της μέγιστης ζήτησης του έτους) ως προς το συνολικό μέγεθος ισχύος των αιολικών που μπορούν να εγκατασταθούν. Το τεχνικά εκμεταλλεύσιμο συνολικό αιολικό 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.



Σχήμα 6: Χάρτης της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου στην Ελλάδα.[9]

Η πρώτη εγκατάσταση ανεμογεννήτριας στην Ελλάδα έγινε από τη ΔΕΗ το 1982 στη Κύθνο με ισχύ 100 KW. Ήταν αποτέλεσμα της συνεργασίας Ελλάδος με τη Δυτική Γερμανία. Η εγκατάσταση αυτή ήταν πειραματική και λειτουργούσε παράλληλα με τον ηλεκτροπαραγωγικό σταθμό, ο οποίος λειτουργούσε με πετρέλαιο, [12].

Στη συνέχεια η ΔΕΗ δημιούργησε αρχικά δυο αιολικά πάρκα, ένα στη Μύκονο (108 KW) και ένα στην Κάρπαθο (175 KW). Στην συνέχεια κατασκεύασε ακόμα (το πρώτο στην Μύκονο και το δεύτερο στην Άνδρο).

Το πρώτο ιδιωτικό αιολικό πάρκο λειτουργεί από το 1988 στην Κρήτη, ισχύος 10,2 MW (Κοινότητα Μετόχι Σητείας) καλύπτοντας τις ενεργειακές ανάγκες 10.000 νοικοκυριών. Ένα άλλο πάρκο 27,5 MW λειτουργεί από το 2000, με ετήσια παραγωγή 90 GWh, καλύπτοντας 5% των ετήσιων ηλεκτρικών αναγκών της Κρήτης.

Η αιολική ενέργεια το 2011 είχε ρυθμό ανάπτυξης 23%, καθώς η εγκαταστημένη ισχύς των αιολικών πάρκων έφθασε στο τέλος του χρόνου στα 1.626,5 MW προσθέτοντας 306 MW σε σχέση με το 2010.

Σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία της ΕΛΕΤΑΕΝ (Ελληνική Επιστημονική Ένωση Αιολικής Ενέργειας), το 2017 η εγκατεστημένη ισχύς έφθασε τα 2652 MW δηλαδή 282 MW επιπλέον σε σχέση με το προηγούμενο έτος, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 8, και ο στόχος μέχρι το 2020 είναι ο ρυθμός ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας να ξεπεράσει το 40%.



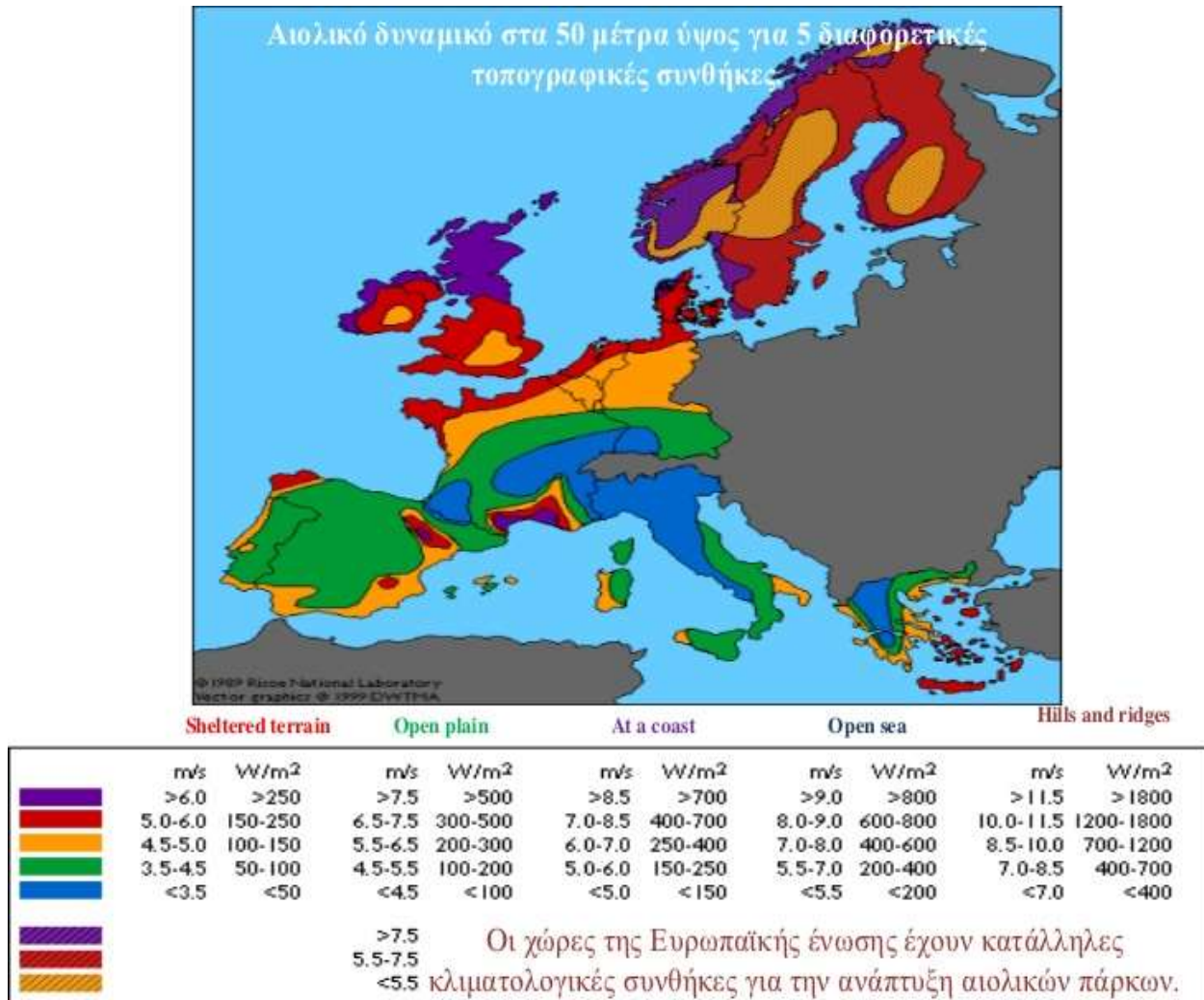
Σχήμα 7: Συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς (1987-2017).

Σε επίπεδο περιφερειών (Σχήμα 5) η Στερεά Ελλάδα παραμένει στην κορυφή των αιολικών εγκαταστάσεων αφού φιλοξενεί 877,85 MW και ακολουθεί η Πελοπόννησος με 502,80 MW που έχει πλέον περάσει την Ανατολική Μακεδονία - Θράκη όπου βρίσκονται 335,45 MW.

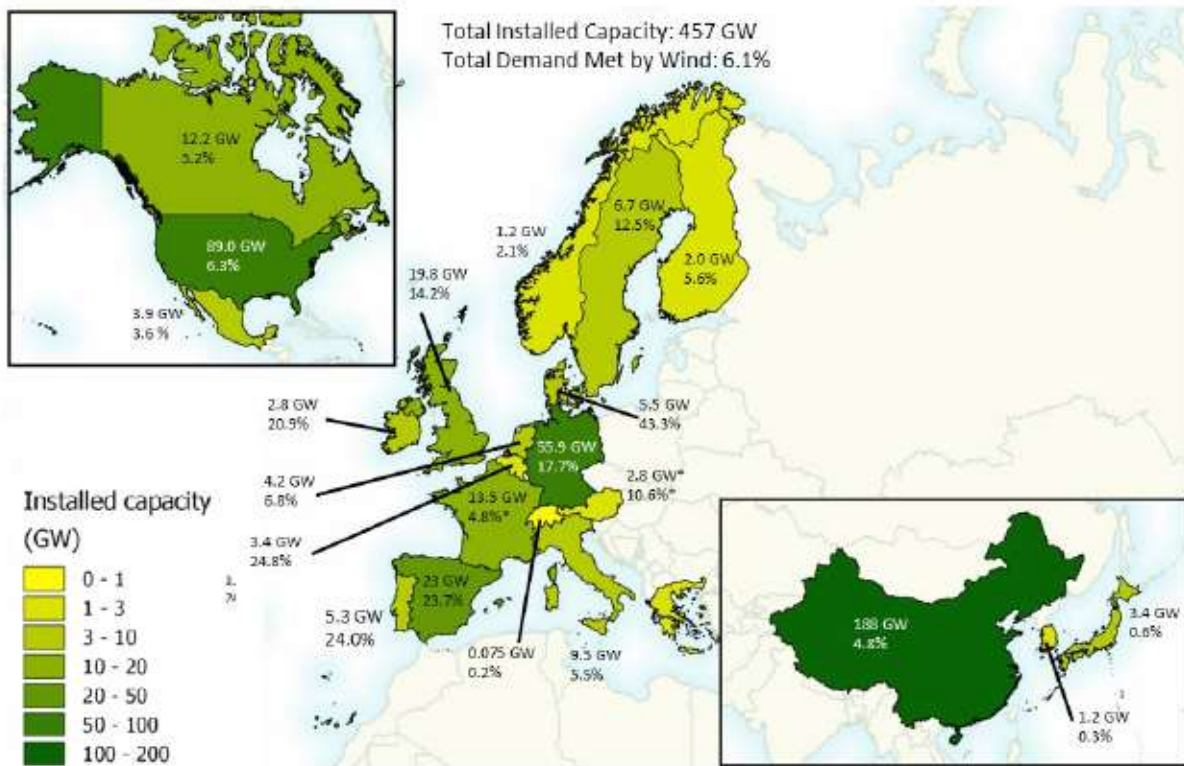
4.2 Αιολικό δυναμικό στην Ευρωπαϊκή Ένωση

Η Ευρωπαϊκή Ένωση από την σύσταση της είχε σε μεγάλη προτεραιότητα την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας. Αυτό φαίνεται και από το γεγονός ότι έχει προσπεράσει τους στόχους για παραγωγή ενέργειας από αιολικά πάρκα που η ίδια έχει θέσει. Αυτό προκύπτει και από τους στόχους της Λευκής Βίβλου [13] για συνολικά 40 GW ισχύς το 2010 κάτι που όμως επιτεύχθηκε το 2005. Δηλαδή πέντε χρόνια νωρίτερα από τον στόχο. Επιπλέον το 2012 η συνολική πραγματική ισχύς έφτασε τα 106 GW. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί και το γεγονός ότι το τεχνολογικό επίπεδο στην Ευρωπαϊκή Ένωση είναι σε πολύ υψηλό επίπεδο με πολλές από τις εταιρίες παραγωγής ανεμογεννητριών να κατατάσσονται στις κορυφαίες παγκοσμίως, [14, 15].

Στο Σχήμα 8 παρατηρούμε ότι πολλές χώρες της Ευρωπαϊκής ένωσης έχουν κατάλληλες κλιματολογικές συνθήκες για την ανάπτυξη αιολικών πάρκων. Ειδικά στην υπεράκτια περιοχή Νότια της Γαλλίας, της Ισπανίας αλλά και των υπολοίπων χωρών του Ευρωπαϊκού Βορρά (Σκανδιναβικές χώρες, Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία) αναπτύσσονται κατάλληλες συνθήκες για εκτεταμένη χρήση αιολικών πάρκων. Για τους λόγους αυτούς στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης των δεκαπέντε χωρών μελών η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς το 2003 ήταν 28.440 MW (23,4% μεγαλύτερη σε σχέση με το 2002) [15]. Στη διευρυμένη Ευρωπαϊκή Ένωση η συνολικά εγκατεστημένη ισχύς το 2003 ήταν 28.702 MW.



Σχήμα 8: Αιολικό δυναμικό για 5 διαφορετικές τοπογραφικές συνθήκες, [16].



Σχήμα 9: Συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς σε χώρες της ΕΕ σε GW το έτος 2011.

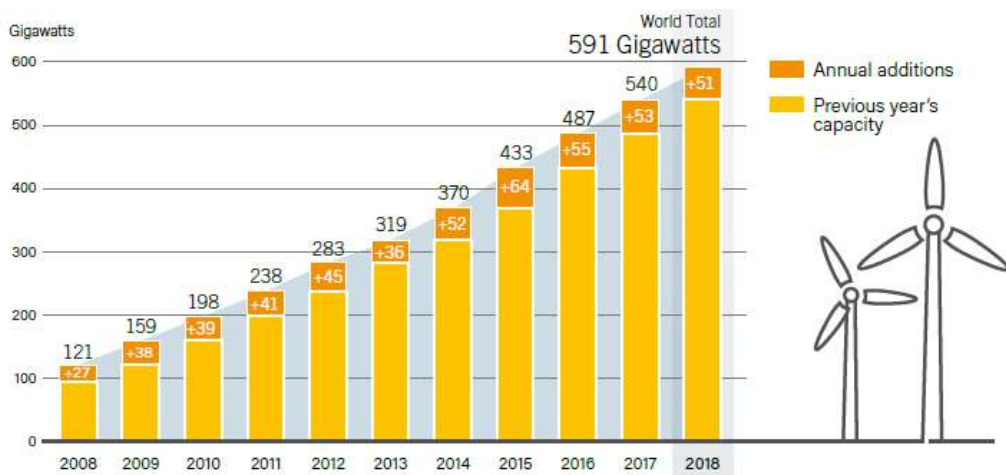
Η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στο τέλος του 2011 (σήμερα έχει ξεπεράσει τα 100 GW), έφθασε στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης τα 93.957 MW, αρκετά για να παρέχουν το 6.3% του ηλεκτρισμού της. Παρ' όλο που αξιοποιείται μόλις ένα ελάχιστο ποσοστό από το τεράστιο αιολικό δυναμικό της Ευρώπης, η αιολική ενέργεια συμβάλει σημαντικά στην ενεργειακή ασφάλεια, στην προστασία του περιβάλλοντος, στη δημιουργία νέων πράσινων θέσεων εργασίας και την ενίσχυση της εξαγωγής τεχνολογίας.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η υπεράκτια αιολική δυναμικότητα της Ευρώπης αυξήθηκε κατά 50% στο πρώτο δμηνο του 2012. Ακόμη πιο εντυπωσιακά είναι τα στοιχεία για τις κατασκευές των ανεμογεννητριών, που από το πρώτο δμηνο του 2012 έχουν εγερθεί 103 σε 5 αιολικά πάρκα- αύξηση 95% σε σχέση με την αντίστοιχη περίοδο το 2011.

Τέλος, τα στοιχεία της έκθεσης δείχνουν ότι στην ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας η χώρα που προηγείται είναι η Βρετανία ενώ Γερμανία και Δανία.

4.3 Αιολικό δυναμικό σε παγκόσμιο επίπεδο

Σε παγκόσμιο επίπεδο η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από την χρήση της αιολικής ενέργειας ξεκίνησε στις αρχές του 20ου αιώνα. Από το 1980 όμως και μετά η τεχνολογία άρχισε να εξελίσσεται σε τέτοιο βαθμό που να μπορεί να υποστηρίξει ηλεκτροπαραγωγή σε υψηλή κλίμακα. Μέχρι το 2017 ο μέσος ετήσιος ρυθμός ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας την τελευταία δεκαετία ήταν περίπου 20%, με 539.291MW εγκατεστημένη ισχύ στο τέλος του 2018.

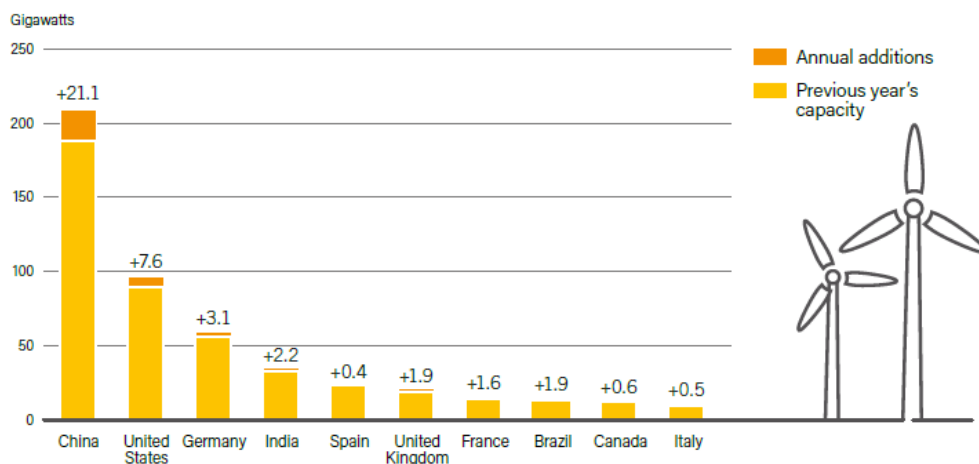


Σχήμα 10: Παγκόσμια εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας 2008-2018, [17].

Μέχρι το τέλος του 2017 η εγκατεστημένη ισχύς της αιολικής ενέργειας παγκοσμίως ανήλθε σε 539 GW. Η αιολική ενέργεια καλύπτει το 3% της παγκόσμιας ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια και σύντομα θα παρέχει περισσότερο ηλεκτρικό ρεύμα από τα πυρηνικά εργοστάσια, (βλέπε Σχήμα 10).

Στο μεταξύ το αιολικό δυναμικό μεγαλώνει όλο και περισσότερο. Κάθε χρόνο οι ανεμογεννήτριες αυξάνονται κατά 20% και η Παγκόσμια Ένωση Αιολικής Ενέργειας προβλέπει ότι η αιολική ισχύς θα τετραπλασιαστεί στα 1.000 GW μέχρι το 2020.

Σε παγκόσμια κλίμακα η Κίνα είναι η ηγέτιδα δύναμη στον τομέα της αιολικής ενέργειας, παράγοντας το 50% της νέας ισχύος και αφήνοντας πίσω Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής και Γερμανία. Να αναφερθεί όμως ότι η αιολική ενέργεια καλύπτει μόνο το 3% των αναγκών της Κίνας σε ηλεκτροδότηση, αφού το μεγαλύτερο μέρος προορίζεται για εξαγωγές. Εξετάζοντας και την κατά κεφαλήν παραγόμενη ενέργεια από την αιολική ενέργεια τότε οι ευρωπαϊκές χώρες (όπως Δανία, Ισπανία και Γερμανία), ξεπερνούν την Κίνα, [17].



Σχήμα 11: Οι 10 πρώτες χώρες παγκοσμίως με την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας, [17].

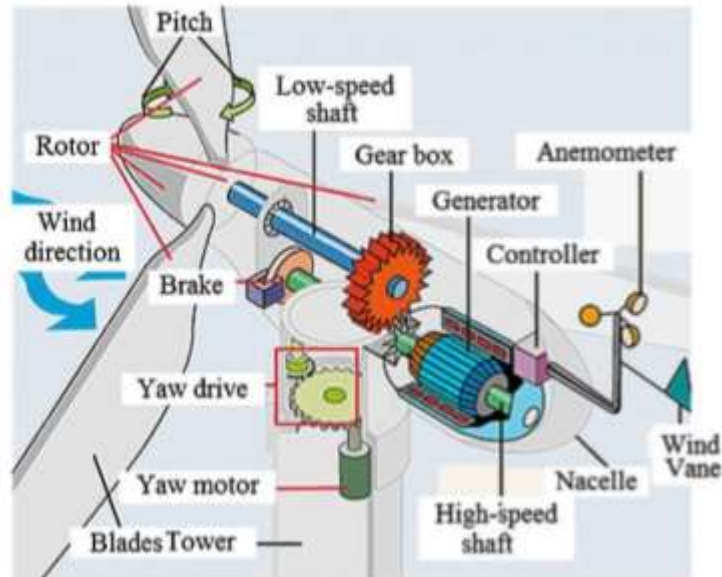
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Ανεμογεννήτριες

5.1 Περιγραφή ανεμογεννητριών

Οι ανεμογεννήτριες είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Στην ουσία οι ανεμογεννήτριες είναι η εξέλιξη των ανεμόμυλων, με τη διαφορά ότι η μηχανική ισχύς που παράγεται μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Λόγω ζήτησης των τελευταίων χρόνων, η εξέλιξη των ανεμογεννητριών είναι ραγδαία. Αποτέλεσμα, είναι η εμφάνιση ποικίλων τύπων ανεμογεννητριών, καθώς και η ένταξη τους στα δίκτυα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πολλές χώρες παγκοσμίως.

Ο ανεμοκινητήρας από την εποχή της εμφάνισης του μέχρι σήμερα έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς τον τύπο του (οριζοντίου ή κάθετου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματα του (πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κ.α.). Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα βασικά μέρη που απαρτίζουν τους μηχανισμούς μιας ανεμογεννήτριας, [18].



Σχήμα 12: Κύρια μέρη ανεμογεννήτριας.

Η διάταξη αυτή είναι μια γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας έλικας. Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο επί τόπου ή να χρειαστεί να μετατραπεί σε μια άλλη μορφή ενέργειας και να μεταφερθεί στον τόπο της ζήτησης.

Να αναφερθεί ότι οι μεγάλες διακυμάνσεις της ενέργειας του ανέμου με το χρόνο πολλές φορές δημιουργούν πρόβλημα στο δίκτυο με αποτέλεσμα την αναγκαιότητα της αποθήκευσης της ενέργειας για τις χρονικές στιγμές στις οποίες η ισχύς του ανέμου πέφτει κάτω από ένα όριο, [18].

5.2 Αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών

Η ανεμογεννήτρια είναι μια μηχανή που μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Ο αέρας περιστρέφει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας που είναι συνδεδεμένα με έναν περιστρεφόμενο άξονα. Αυτός ο άξονας περνάει σε ένα κιβώτιο μετάδοσης κίνησης. Το κιβώτιο αυτό συνδέεται με έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής ο οποίος κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Η θέση στην οποία θα τοποθετηθεί η ανεμογεννήτρια, έχει επιλεγεί ύστερα από την εξέταση διαφόρων τοπογραφικών, γεωλογικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Επιπλέον, λαμβάνονται υπόψιν οι συνεχείς μετρήσεις και τα χαρακτηριστικά του ανέμου στο συγκεκριμένο σημείο που θα τοποθετηθεί η ανεμογεννήτρια ή το αιολικό πάρκο. Συγκεκριμένα, λαμβάνονται μετρήσεις της ταχύτητας, της διεύθυνσης, του στροβιλισμού, των αναταράξεων του ανέμου, με σκοπό την εκλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας και την πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας. Όταν εντοπιστεί η κατάλληλη περιοχή τότε τοποθετούνται μερικές δεκάδες ανεμογεννήτριες, οι οποίες απαρτίζουν ένα «αιολικό πάρκο».

Ο ηλεκτρισμός που παράγεται από αυτές τις ανεμογεννήτριες μοιράζεται στο τοπικό δίκτυο και διανέμεται στους καταναλωτές προς χρήση. Μια μέση ταχύτητα του ανέμου για την παραγωγή ενέργειας πρέπει να είναι τουλάχιστον 15 km/h, ώστε να μπορέσει μια κοινή ανεμογεννήτρια να παράγει ηλεκτρισμό. Στην περίπτωση που η ένταση του ανέμου ενισχυθεί πάρα πολύ, η ανεμογεννήτρια έχει ένα φρένο που περιορίζει την περιστροφή των πτερυγίων και έτσι να περιοριστεί η φθορά της και να αποφευχθεί η καταστροφή της. Καθώς η γεννήτρια περιστρέφεται, παράγει ηλεκτρισμό και συγκεκριμένα εναλλασσόμενη τάση (400 έως 1000 Volts). Επειδή καθοριστικό ρόλο παίζει και η διασύνδεση της εγκατάστασης με το εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να έχει συχνότητα 50 Hz για τη χώρα μας. Για τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τις ΗΠΑ η συχνότητα θα πρέπει να είναι 60 Hz.

Η τάση που παράγει η ανεμογεννήτρια ανυψώνεται στον Υποσταθμό που συνοδεύει κάθε ανεμογεννήτρια και συνήθως βρίσκεται στη βάση της προκειμένου να συνδεθεί με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο και στη συνέχεια μετασχηματίζεται σε ακόμη υψηλότερες τιμές στους ηλεκτρικούς Υποσταθμούς της ΔΕΗ από τους μετασχηματιστές τάσης. Η υψηλή τάση μέσω των αγωγών μεταφοράς του ηλεκτρικού ρεύματος (οι οποίοι είναι κατασκευασμένοι από χαλκό ή αλουμίνιο συγκεκριμένης διατομής, για να υπάρχει μικρότερη αντίσταση στη μεταφορά του ρεύματος), καταλήγει σε έναν άλλο Υποσταθμό όπου οι μετασχηματιστές του, την υποβιβάζουν σε χαμηλή εναλλασσόμενη τάση, για να φτάσει στους καταναλωτές οικιακής χρήσης.

Σχετικά με την ισχύ που αποδίδει μία ανεμογεννήτρια είναι συνάρτηση του κύβου της ταχύτητας του ανέμου, της πυκνότητας του ανέμου και των τεχνικών χαρακτηριστικών του συγκροτήματος. Ο λόγος για τον οποίο οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται πάντα στην κορυφή υψηλών πύργων

στήριξης είναι γιατί η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος. Βέβαια, όπως παρουσιάστηκε και στο κεφάλαιο 3.3 οι θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι για την παραγωγή ωφέλιμου έργου μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο το 53,9% της συνολικής ενέργειας του ανέμου. Η ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα με πτερύγια ανταποκρίνεται στις μεταβολές ταχύτητας του ανέμου με αυτόματη αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων. Ο άξονας της παραλληλίζεται αυτόματα προς τη διεύθυνση του ανέμου έτσι ώστε ο άνεμος να προσβάλλει κάθετα την επιφάνεια που διαγράφουν τα πτερύγια. Έτσι επιτυγχάνεται τελικά η βέλτιστη παραγωγή ενέργειας από το άνεμο με συντελεστή μέχρι 46 έως 48% και εξασφαλίζονται ικανοποιητικά όρια στα χαρακτηριστικά της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η γεννήτρια, που μπορεί να είναι σύγχρονη ή ασύγχρονη, παράγει την ηλεκτρική ενέργεια και τροφοδοτεί την κατανάλωση. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια είναι χρονικά ασυνεχής, επειδή ακολουθεί την παροχή του ανέμου, ενώ η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας εξαρτάται από τις ώρες της ημέρας, την εποχή, την οικονομική και κοινωνική δομή των καταναλωτών.

5.3 Είδη ανεμογεννητριών

Οι μηχανές με τις οποίες εκμεταλλευόμαστε τον άνεμο, ονομάζονται ανεμογεννήτριες. Οι ανεμογεννήτριες χωρίζονται ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων αλλά κατά κύριο λόγο με την θέση του άξονα περιστροφής ως προς την Γη. Ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων χωρίζονται σε τρίπτερες και δίπτερες ανεμογεννήτριες. Ανάλογα με την θέση του άξονα υπάρχουν οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα (HAWT-horizontal axis wind turbine) και οι καθέτου άξονα (VAWT-vertical axis wind turbine).

5.3.1 Τρίπτερες ανεμογεννήτριες

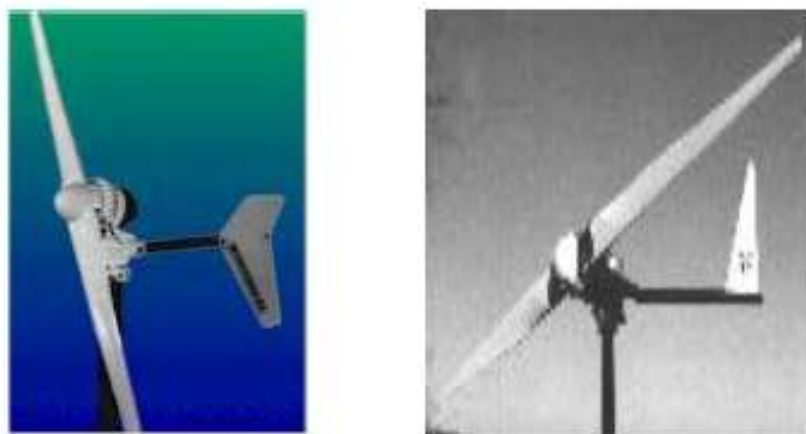
Οι τρίπτερες ανεμογεννήτριες, με ρότορα μικρότερο των 10m έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού δυναμικού (ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου) και κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρό καθώς τα προβλήματα αντοχής και δυναμικής καταπόνησης μηχανικών μερών είναι περιορισμένα στις μηχανές αυτής της κατηγορίας. Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι δίπτερες, με κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρότερο των αντίστοιχων τρίπτερων.



Σχήμα 13: Τρίπτερες ανεμογεννήτριες.

5.3.2 Δίπτερες ανεμογεννήτριες

Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι δίπτερες, με κόστος κατασκευής και συντήρησης σαφώς μικρότερο, από αυτό των τριπτέρυγων αντιστοίχου μεγέθους



Σχήμα 14: Δίπτερες ανεμογεννήτριες.

5.3.3 Ανεμογεννήτριες Οριζόντιου Άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της Γης και συνήθως παράλληλα και με την διεύθυνση του ανέμου. Αυτού του τύπου οι ανεμογεννήτριες έχουν συνήθως 2 ή 3 πτερύγια. Ένα χαρακτηριστικό των πτερυγίων αυτών είναι ότι έχουν μεγάλο αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης. Τα κύρια μηχανικά μέρη, όπως φαίνονται και στο Σχήμα 12, είναι ο δρομέας ή φτερωτή, το σύστημα μετάδοσης κίνησης (κύριος άξονας και κιβώτιο ταχυτήτων), η γεννήτρια, ο πύργος στήριξης στον οποίο είναι τοποθετημένος ο δρομέας, το σύστημα πέδησης (η ανεμογεννήτρια πρέπει να μειώνει ταχύτητα όταν υπερβαίνει ένα όριο ταχύτητας, για να μην υποστεί κάποια βλάβη) και το σύστημα ελέγχου, σύνδεσης και αποθήκευσης (συσσωρευτές) της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος υπάρχει και σύστημα προσανατολισμού ανάλογα με την διεύθυνση του ανέμου, το οποίο γίνεται είτε με αισθητήρες είτε με καθοδηγητικό πτερύγιο (κάτι σαν ανεμοδείκτη). Τα κυριότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα είναι τα εξής:

Πλεονεκτήματα:

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

Μειονεκτήματα:

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

5.3.4 Ανεμογεννήτριες Καθέτου Άξονα

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

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



Σχήμα 15:(α) Darrieus ανεμογεννήτρια, (β)Savonius ανεμογεννήτρια.

Γενικά πάντως τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της ανεμογεννήτριας καθέτου άξονα είναι τα εξής:

Πλεονεκτήματα:

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

Μειονεκτήματα:

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

5.4 Γενική διάταξη ανεμογεννήτριας

Τα βασικά μέρη που αποτελείται μια τυπική ανεμογεννήτρια είναι:

- Ο δρομέας, που αποτελείται από δύο ή τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα τους μεταβάλλοντας το βήμα. Είναι κατασκευασμένα από σύνθετα υλικά (υαλονήματα και ειδικές ρητίνες), παρόμοια με αυτά που κατασκευάζονται τα ιστιοπλοϊκά σκάφη. Είναι δε σχεδιασμένα για να αντέχουν σε μεγάλες καταπονήσεις. Το πτερύγιο δέχεται τον άνεμο κατά μήκος του υπό διαφορετικές γωνίες, η γωνία πρόσπτωσης αυξάνεται προς τη βάση του πτερυγίου. Οι πολύ μεγάλες γωνίες δεν έχουν το επιθυμητό αποτέλεσμα προκειμένου να υπάρχει ενιαία γωνία πρόσπτωσης κατά μήκος πτερυγίου, το πτερύγιο έχει μορφή περιστροφική.
- το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, αποτελούμενο από τον κύριε άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα χαμηλών στροφών περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής. Το κιβώτιο πολλαπλασιασμού των στροφών η κιβώτιο ταχυτήτων είναι παρόμοιας κατασκευής με εκείνο του αυτοκινήτου μας με την διαφορά ότι έχει μόνον μια σχέση τροχών ενός αυτοκινήτου με υδραυλικά δισκόφρενα. Ο ελεγκτής εκκινά τη μηχανή για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από 8 με 16 mph και την κλείνει όταν φτάσουν στα 55 mph περίπου. Οι τουρμπίνες δεν λειτουργούν για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 55 mph γιατί κινδυνεύουν να καταστραφούν. Γρανάζια αυξάνουν τις ταχύτητες περιστροφής από περίπου 30 έως 60 περιστροφές το λεπτό σε 1000 έως 1800 περιστροφές το λεπτό, που είναι η ταχύτητα περιστροφής που οι περισσότερες ανεμογεννήτριες απαιτούν ώστε να παραγάγουν ηλεκτρισμό.
- το σύστημα προσανατολισμού, αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου κάθε στιγμή της λειτουργίας της

ανεμογεννήτριας. Αυτό συνεπάγεται ότι θα αξιοποιείται από την ανεμογεννήτρια μικρότερο μέρος της ενέργειας του ανέμου και η ανεμογεννήτρια θα δέχεται μεγαλύτερα φορτία κόπωσης.

- τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Κατασκευάζονται από ατσάλι σε σωληνοειδή μορφή, τσιμέντο, ή από ατσάλι σε καφασωτή μορφή, σαν πλέγμα και συνήθως αποτελείται από δύο ή τρία συνδεδεμένα τμήματα. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος, οι ψηλότεροι πύργοι δίνουν τη δυνατότητα στις τουρμπίνες να εκμεταλλεύονται περισσότερη ενέργεια του ανέμου. Για τον υπολογισμό του πύργου επιπλέον λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος του δρομέα.
- τον ηλεκτρονικό πίνακα ελέγχου, ο οποίος είναι τοποθετημένος στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας.
- την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους. Αποτελεί, μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος και βρίσκεται συνδεδεμένη με την έξοδο του κιβωτίου πολλαπλασιασμού στροφών, με τη βοήθεια ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου. Μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο της ανεμογεννήτριας.
- Υπάρχει και το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που το οποίο τοποθετείται στον κύριο άξονα ή στον άξονα της γεννήτριας.
- Ανεμοδείκτης (Wind vane), ο οποίος μετρά την κατεύθυνση του ανέμου και επικοινωνεί με τον οδηγό για την αποφυγή εκτροπής για να προσανατολίσει την ανεμογεννήτρια σωστά.
- Οδηγός για την Αποφυγή Εκτροπής (Yawdrive). Ο Οδηγός για την Αποφυγή Εκτροπής χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει ότι ο ρότορας θα είναι στραμμένος προς τον άνεμο καθώς ο άνεμος αλλάζει κατεύθυνση.
- Κινητήρας του Οδηγού για την Αποφυγή Εκτροπής (Yawmotor). Δίνει ενέργεια στο προαναφερόμενο εξάρτημα.
- Το ατρακτίδιο (Nacelle) που περιέχει τα μηχανικά υποσυστήματα (κύριος άξονα, σύστημα πέδησης, κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών και ηλεκτρική γεννήτρια, κτλ.).

5.5 Λειτουργικά χαρακτηριστικά μιας ανεμογεννήτριας

Οι βασικές παράμετροι μιας ανεμογεννήτριας είναι οι εξής:

- **Ταχύτητα εκκίνησης:** Είναι η ταχύτητα του ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει ισχύ. Αυτή η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για να αρχίσουν να στρέφονται τα πτερύγια.
- **Ταχύτητα αποκοπής:** Μόλις η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει την ταχύτητα αποκοπής διακόπτεται η λειτουργία της ανεμογεννήτριας για αποφυγή υπερφόρτισης της.
- **Ονομαστική Ισχύς:** Είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παραχθεί συνεχώς κατά την κανονική λειτουργία.
- **Ονομαστική ταχύτητα:** Είναι η ταχύτητα του ανέμου υπό την οποία παράγεται η ονομαστική ισχύς.

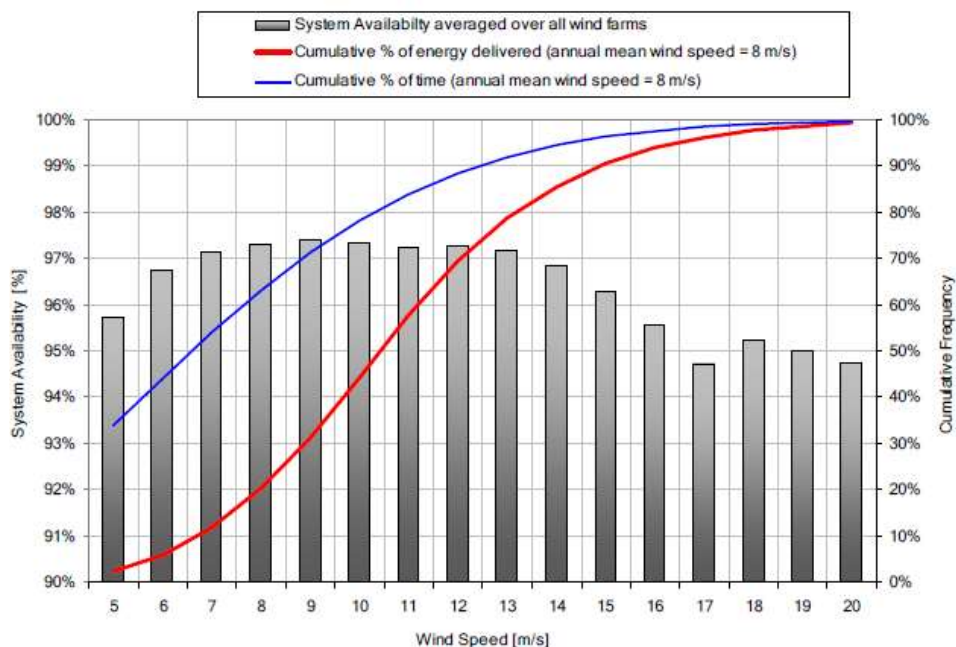
5.6 Διαθεσιμότητα αιολικών συστημάτων

Η διαθεσιμότητα ορίζεται ως το ποσοστό του χρόνου που οι ανεμογεννήτριες είναι διαθέσιμες να λειτουργήσουν και είναι ουσιαστικά ένας ποσοτικός προσδιορισμός της αξιοπιστίας του αιολικού συστήματος [16].

Η διαθεσιμότητα είναι παράγοντας πρωταρχικής σημασίας, βασικότερη και από τον ρυθμό απόδοσης ενός μηχανήματος. Υπάρχουν διάφορα είδη διαθεσιμότητας: η διαθεσιμότητα κατασκευής, η θεωρητική, η οργανωτική, η παραγωγική, η τεχνική, η αποδοτική και η ποιοτική.

5.6.1 Διαθεσιμότητα και ταχύτητα του ανέμου

Ύστερα από μελέτη και αξιολόγηση που έγινε σχετικά με τη διαθεσιμότητα σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου [19, 20] διαπιστώθηκε ότι η διαθεσιμότητα είναι σχετικά σταθερή για ταχύτητες μεταξύ 7 και 14 m/s (εύρος στο οποίο παράγεται η περισσότερη ενέργεια) ενώ για ταχύτητες πάνω από 15 m/s η διαθεσιμότητα μειώνεται (Σχήμα 16). Αυτό μπορεί να οφείλεται σε σφάλματα υψηλού φορτίου, όπως είναι οι συναγερμοί δόνησης, υπερθέρμανση γεννήτριας, περιορισμένη χωρητικότητα του δικτύου, καθώς και μεγάλοι χρόνοι επισκευής λόγω περιορισμένης πρόσβασης. Για ταχύτητες ανέμου κάτω από 7 m/s η διαθεσιμότητα είναι επίσης χαμηλότερη. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζετε η σχέση της διαθεσιμότητας με την ταχύτητα του ανέμου, σε ανάλυση που έγινε σε 25 αιολικά πάρκα με διαφορετικές κλιματικές συνθήκες, διαφορετική τοποθεσία και μέγεθος.



Σχήμα 16: Διαθεσιμότητα και ταχύτητα του ανέμου.

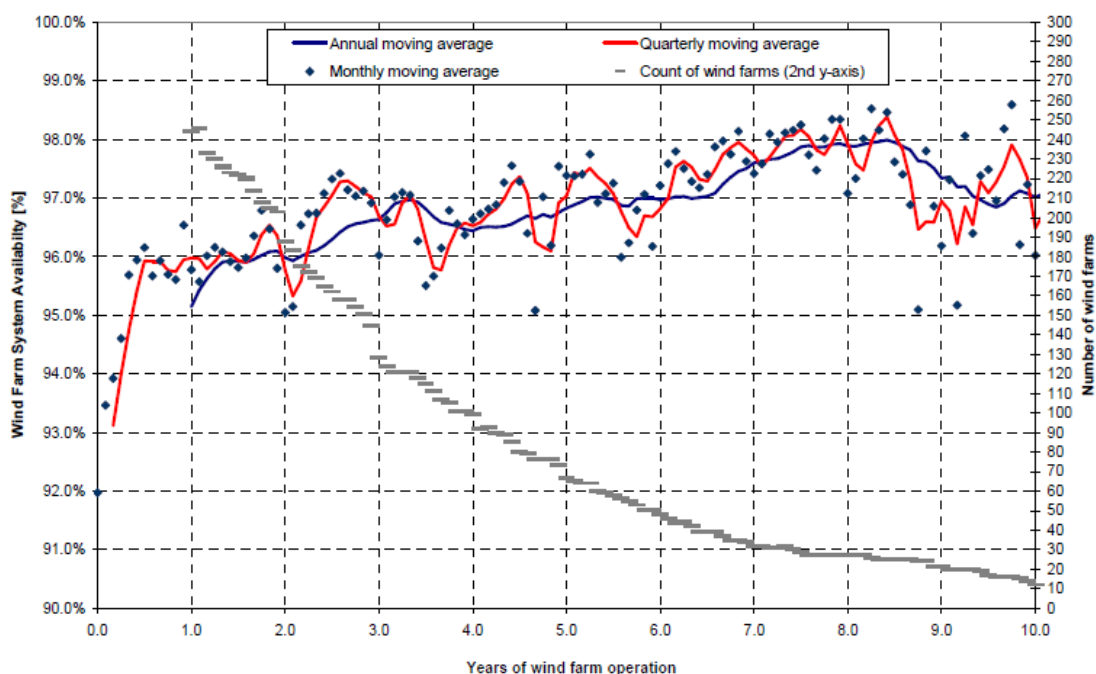
5.6.2 Διαθεσιμότητα και μέγεθος τουρμπίνας

Κατά τα δυο πρώτα έτη λειτουργίας του αιολικού πάρκου η διαθεσιμότητα είναι σχετικά ανεξάρτητη τόσο από το μέγεθος της τουρμπίνας όσο και από το μέγεθος του πάρκου. Κατά τη διάρκεια του πρώτου έτους, μεγαλύτερες ανεμογεννήτριες έχουν χαμηλότερη διαθεσιμότητα από τις μικρότερες ανεμογεννήτριες, κυρίως λόγω της μεγαλύτερης πολυπλοκότητας των νεότερων και μεγαλύτερων μονάδων.

5.6.3 Διαθεσιμότητα και ηλικία

Η διαθεσιμότητα διαφέρει ανάλογα με την ηλικία του αιολικού πάρκου. Το Σχήμα 8.9 δείχνει ότι η διαθεσιμότητα αυξάνεται με την πάροδο του χρόνου (όταν επιλύονται οι “παιδικές ασθένειες”).

Κατά μέσο όρο, τα αιολικά πάρκα επιτυγχάνουν τιμή διαθεσιμότητας 93%, περίπου κατά το πρώτο τρίμηνο της λειτουργίας τους. Το ποσοστό αυτό ανέρχεται σε σχεδόν 96% στο τέλος του δεύτερου έτους. Μετά από δύο χρόνια, η διαθεσιμότητα φτάνει περίπου 97%, και αυξάνεται ακόμα περισσότερο μετά τον έκτο χρόνο, [20].



Σχήμα 17: Η σχέση της διαθεσιμότητας με την ηλικία του αιολικού πάρκου.

5.6.4 Διαθεσιμότητα αιολικών πάρκων

Η διαδικασία συντήρησης των ανεμογεννητριών τόσο των χερσαίων όσο και των υπεράκτιων απαιτεί παρόμοια τεχνογνωσία, λόγω του ότι χρησιμοποιούν παρόμοιες συνιστώσες [21]. Ωστόσο, η λειτουργία και συντήρηση των υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι πιο δύσκολη και μεγαλύτερου κόστους από τις ισοδύναμες δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα σε παράκτια αιολικά πάρκα. Οι συνθήκες των υπεράκτιων περιοχών καθιστούν το έργο της συναρμολόγησης και τις διαδικασίες προμηθειών επαχθές. Η προσβασιμότητα δε για την καθιερωμένη συντήρηση των μηχανημάτων καθίσταται μεγάλο ζήτημα. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, ένα ολοκληρωμένο

αιολικό πάρκο μπορεί να μην είναι προσβάσιμο για αρκετές ημέρες λόγω την θάλασσας, του αέρα και της κακής ορατότητας.

Ακόμα όμως και κατά τη διάρκεια των περιόδων που οι καιρικές συνθήκες είναι καλές, το έργο της λειτουργίας και συντήρησης είναι πιο ακριβό από εκείνο που λαμβάνει χώρα στις παράκτιες περιοχές επειδή επηρεάζεται από την απόσταση που έχουν από την ακτή και το λιμάνι, την έκθεση της τοποθεσίας, το μέγεθος, την αξιοπιστία των ανεμογεννητριών και τη στρατηγική συντήρησης κάτω από την οποία καθίστανται λειτουργικά. Οι υπεράκτιες εγκαταστάσεις απαιτούν ειδικό εξοπλισμό ανέγερσης προκειμένου να εγκατασταθούν και να αλλαχθούν τα μεγάλα εξαρτήματα. Για τα παράκτια αιολικά πάρκα, ένας τέτοιος εξοπλισμός ανέγερσης εφοδιάζεται συνήθως από την περιοχή που βρίσκεται και χωρίς να απαιτείται από πριν χρόνος.

Η διαθεσιμότητα και η αξιοπιστία των ανεμογεννητριών χερσαίας σχεδίασης μειώνεται καθώς απομακρυνόμαστε από τη στεριά και πέφτει στο 50% όταν εγκαθίστανται σε πολύ απομακρυσμένα από την ακτή αιολικά πάρκα. Αντίθετα, οι βελτιωμένες τεχνολογίας ανεμογεννήτριες είναι πιο αξιόπιστες και έχουν αυξημένα ποσοστά λειτουργικής διαθεσιμότητας και επομένως το υπεράκτιο αιολικό πάρκο αν και έχει μεγαλύτερο κόστος από ένα χερσαίο, εφόσον λειτουργεί συνεχώς θα αντισταθμίζει το αρχικό κεφαλαιακό κόστος από τα αυξημένα έσοδα λόγω της μεγαλύτερης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, [22].

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.

Συμπεραίνουμε ότι η μελλοντική εξέλιξη των ανεμογεννητριών για χρήση στα παράκτια αιολικά πάρκα θα πρέπει να καθοδηγηθεί με περαιτέρω προσαρμογή στο περιβάλλον της θάλασσας. Σε ότι αφορά τη μείωση του κόστους ζωής των παράκτιων συστημάτων θα πρέπει να λυθούν τα εξής ζητήματα:

- Βελτίωση των μεθόδων προσβασιμότητας
- Ανάπτυξη μεθόδων προσβασιμότητας που θα είναι λιγότερο ευαίσθητες στις εκάστοτε συνθήκες αέρα/κύματος.
- Μείωση του χρόνου που απαιτείται για τις εργασίες στις παράκτιες περιοχές
- Σχεδιασμός της ανεμογεννήτριας με σκοπό τη μειωμένη συντήρηση.

Αυτό επίσης συνεπάγεται:

- Μείωση του συνολικού αριθμού εξαρτημάτων και απλοποίηση του σχεδιασμού.
- Τμηματικό σχεδιασμό της ανεμογεννήτριας που διευκολύνει την ανταλλαγή των ελαττωματικών τμημάτων.
- Χρήση εξαρτημάτων υψηλής αξιοπιστίας.
- Επανατοποθέτηση των ηλεκτρικών μονάδων σε τμήμα της γεννήτριας που ελέγχεται περιβαλλοντολογικά.
- Εφαρμογή τεχνολογίας για την προστασία από την παράκτια διάβρωση.
- Ανάπτυξη αποτελεσματικής εποπτείας των συνθηκών και συστημάτων τηλεχειρισμού.
- Ανάπτυξη κατάλληλων στρατηγικών συντήρησης και επισκευές.

5.7 Ετήσιος υπολογισμός ενέργειας

Κατά την περίοδο των μετρήσεων των δεδομένων του ανέμου και πριν την εγκατάσταση μίας ανεμογεννήτριας, είναι δυνατό να υπολογιστεί η αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή, δηλαδή η ηλεκτρική ενέργεια που μπορεί να παραχθεί θεωρητικά για την κατανομή ανέμου μίας περιοχής και για μία συγκεκριμένη καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας. Επιπροσθέτως, και με μεγαλύτερη ακρίβεια, αυτός ο υπολογισμός μπορεί να γίνει και μετά την εγκατάσταση μίας ανεμογεννήτριας και την παράλληλη μέτρηση της πραγματικής της καμπύλης ισχύος. Αναφέρεται ο όρος πραγματική καμπύλη ισχύος, αφού συχνά οι κατασκευαστικές καμπύλες ισχύος που συνοδεύουν μία ανεμογεννήτρια είναι ιδανικότερες κι εξιδανικευμένες σε σχέση με την πραγματική συμπεριφορά της. Συνήθως, αυτός ο υπολογισμός γίνεται για περίοδο ενός έτους και για αυτό έχει καθιερωθεί ο όρος ετήσια αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή (Ετήσια ΑΕΠ) και δίνεται συνήθως από τη σχέση:

$$E = \frac{8760}{100} \sum_{V_{\text{cut-in}}}^{V_{\text{cut-out}}} P \cdot H$$

Όπου,

E είναι η ετήσια αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή (kWh),

h=8760 και είναι οι ώρες ενός έτους,

P είναι η ηλεκτρική ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας (kW),

H είναι η διακριτή και συνεχής κατανομή του ανέμου σε ποσοστά % (όταν δεν είναι γνωστά αρκετά στοιχεία, λαμβάνεται ως Rayleigh).

Ένα άλλο χαρακτηριστικό μέγεθος μιας ανεμογεννήτριας που εξαρτάται από την κατανομή της ταχύτητας του ανέμου κατά την διάρκεια του έτους, τον τόπο εγκατάστασής και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της, είναι ο συντελεστής εκμετάλλευσής της, CF. Ο συντελεστής αυτός ουσιαστικά εκφράζει το λόγο της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας προς αυτήν που θα παράγονταν αν η ανεμογεννήτρια λειτουργούσε στην ονομαστική ισχύ της συνεχώς κατά την διάρκεια του έτους. Δίνεται δε από την εξίσωση:

$$CF = \frac{E}{8760 \cdot P} = \frac{\bar{P}}{P}$$

Όπου,

CF είναι ο συντελεστής χρησιμοποίησης,

E είναι η ετήσια αναμενόμενη ενεργειακή παραγωγή (kWh),

P_n είναι η ονομαστική ηλεκτρική ισχύς μίας ανεμογεννήτριας(kW),

\bar{P} είναι η μέση τιμή της παραγόμενης ισχύος (kW).

Ο συντελεστής χρησιμοποίησης σχετίζεται άμεσα με τη βιωσιμότητα μίας ενεργειακής επένδυσης αφού δείχνει το πόσο αξιοποιείται η ανεμογεννήτρια στον τόπο εγκατάστασής της. Συνήθεις τιμές

του είναι 25-35%, δίχως να αποκλείονται χαμηλότερες τιμές. Είναι προφανές, ότι εάν προκύπτουν τιμές χαμηλότερες αυτού του διαστήματος, τότε η επένδυση αποτυγχάνει και δύσκολα αποσβένει το αρχικό κεφάλαιο επένδυσης. Επιπλέον, οι μεγαλύτερες τιμές προκύπτουν, όπως γίνεται αντιληπτό για περιοχές με μεγάλη ετήσια ταχύτητα ανέμου, αλλά εξαρτάται επίσης από τη μορφή της καμπύλης ισχύος της ανεμογεννήτριας και από τη διαθεσιμότητα της.

Τέλος θα πρέπει να υπολογίζεται ένα ακόμα χαρακτηριστικό μέγεθος το οποίο είναι οι Συμβατικές Ανοιγμένες Ώρες Λειτουργίας. Αυτό το μέγεθος αποτελεί ένα ακόμα χαρακτηριστικό της λειτουργίας των ανεμογεννητριών και ορίζεται ως το πηλίκο της μέγιστης δυνατής ετήσιας παραγωγής του προς την ονομαστική του ισχύ. Δίνετε από την εξίσωση:

$$\Sigma\Omega\Lambda = 8760 \cdot CF$$

5.8 Συντήρηση μιας ανεμογεννήτριας

Η συντήρηση των ανεμογεννητριών ενός αιολικού πάρκου είναι ένα πολύ σημαντικό κεφάλαιο για την εύρυθμη λειτουργία του πάρκου. Περιλαμβάνει διάφορους επιτόπιους ελέγχους όλων των εξαρτημάτων και των συνδέσεων με το δίκτυο σε τακτική βάση, επιδιόρθωση βλαβών και αντικατάσταση των εξαρτημάτων που συμπλήρωσαν τον χρόνο ζωής τους ή αστόχησαν. Οι δονήσεις που δέχονται, κυρίως τα περύγια κατά κύριο λόγο αλλά και υπόλοιπα μέρη μιας ανεμογεννήτριας από τον άνεμο είναι ένας πολύ βασικός παράγοντας που καθορίζει τη πιθανότητα αστοχίας ή ατυχήματος. Οι δονήσεις μπορούν να προκαλέσουν τη μετατόπιση υλικών, την αποκόλληση κάποιων συνδέσεων ακόμα και το μερικό ή ολικό σπάσιμο των περυγίων.

Ένας άλλος παράγοντας που μπορεί να οδηγήσει σε μία πιθανή βλάβη στην ανεμογεννήτρια είναι η σκόνη. Η σκόνη (με τη μορφή γύρης, χνουδιών, σπόρων, εντόμων, κλπ.) παρεμποδίζει τη ροή του αέρα και μειώνει την ψύξη και κατά συνέπεια αυξάνεται η θερμοκρασία των διαφόρων μηχανικών και ηλεκτρικών εξαρτημάτων, όπως είναι η γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, το κιβώτιο ταχυτήτων, κλπ. Για την εξάλειψη αυτών των προβλημάτων και την ελαχιστοποίηση της πιθανότητας λειτουργικής αστοχίας ή ατυχήματος είναι απαραίτητη η εκτέλεση της κατάλληλης προληπτικής συντήρησης.

Η ετήσια προληπτική συντήρηση περιλαμβάνει διάφορες εργασίες, ελέγχους, και δραστηριότητες στα διαφορετικά μέρη των ανεμογεννητριών. Η προληπτική συντήρηση είναι σημαντική εκτός των άλλων και για τη βελτίωση της λειτουργίας των ανεμογεννητριών. Για παράδειγμα, η λίπανση των κινούμενων μερών που περιλαμβάνεται στην προληπτική συντήρηση εάν δεν εκτελεστεί, μπορεί να προκαλέσει σοβαρές συνέπειες ακόμα και σε βραχυπρόθεσμες λειτουργίες.

Εκτός της προληπτικής συντήρησης, υπάρχει και η «έγκαιρη» συντήρηση. Αυτού του τύπου η συντήρηση βασίζεται στην ανάλυση συγκεκριμένων στοιχείων για μία έγκαιρη ανίχνευση των μεταβολών στις συνθήκες λειτουργίας. Η συντήρηση αυτή επίσης εκτελείται τακτικά, αναλύοντας ορισμένα δεδομένα, τα οποία οι τεχνικοί καταχωρούν και προσφέρουν τη δυνατότητα ανάλυσης και σύγκρισης τους. Έτσι προκύπτουν σημαντικά συμπεράσματα σχετικά με την εξέλιξη κάποιων μεταβλητών. Η εκτίμηση αυτή επιτρέπει τον προγραμματισμό διορθωτικών εργασιών με την ελάχιστη δυνατή επίδραση στην παραγωγικότητα της κάθε ανεμογεννήτριας.

Ένα άλλο είδος συντήρησης, για τις ανεμογεννήτριες, είναι η προαιρετική (proactive) συντήρηση. Η προαιρετική συντήρηση ασχολείται κυρίως με την ανάλυση των υπάρχοντων βλαβών και την

προέλευσή τους. Εστιάζει στην αναγνώριση και διόρθωση των αιτιών των βλαβών τόσο στα εξαρτήματα της κάθε ανεμογεννήτριας όσο και στην διαδικασία εγκατάστασής της. Υπάρχουν πολλοί τρόποι για την πρόληψη αυτού του είδους των σφαλμάτων. Τροποποιήσεις στο σχεδιασμό, βελτίωση των διαδικασιών συντήρησης, και βελτιώσεις στην εκπαίδευση και την εμπλοκή του προσωπικού συντήρησης, είναι κάποιοι από αυτούς.

Σε οποιαδήποτε φάση συντήρησης η πρώτη εργασία που εκτελείται αμέσως με την άφιξη στο αιολικό πάρκο είναι ο έλεγχος της κατάστασης κάθε ανεμογεννήτριας. Εάν μία ανεμογεννήτρια δεν λειτουργεί εξαιτίας βλάβης, τότε απαιτείται διορθωτική ενέργεια (διορθωτική συντήρηση). Η διορθωτική συντήρηση σε μία ανεμογεννήτρια είναι η εκτέλεση των απαιτούμενων εργασιών συντήρησης με στόχο την διόρθωση πιθανών σφαλμάτων, την αντικατάσταση εξαρτημάτων ή τη διόρθωση οποιασδήποτε ανωμαλίας ανιχνεύθηκε κατά τη διάρκεια οποιουδήποτε είδους συντήρησης που προηγήθηκε. Η διορθωτική συντήρηση μπορεί να είναι αρκετά πολύπλοκη και χρονοβόρα ανάλογα με το είδος βλάβης που εντοπίζεται.

Η καθυστέρηση πραγματοποίησης μιας συντήρησης μπορεί να προκαλέσει προβλήματα λειτουργίας αλλά δεν είναι πάντα εύκολο να αποφευχθεί καθώς η συντήρηση εξαρτάται από τις καιρικές συνθήκες, το μέγεθος των παρατηρούμενων βλαβών κλπ.

Αυτά τα δεδομένα πρέπει αφενός να αποθηκεύονται και αφετέρου να αναλύονται συστηματικά. Ο αριθμός των ωρών λειτουργίας μιας ανεμογεννήτριας, η παραγωγική της ικανότητα, ο μέσος χρόνος μεταξύ των παρατηρούμενων βλαβών και ο μέσος χρόνος επιδιόρθωσης αποτελούν επίσης πολύ σημαντικές πληροφορίες που πρέπει πάντα να καταγράφονται για κάθε αιολικό πάρκο. Πέρα από τις τεχνικές εργασίες, υπάρχει και η ανάγκη διατήρησης εγγράφων σχετικά με τις διάφορες λειτουργίες και εργασίες στο αιολικό πάρκο. Σχεδόν όλα τα τεχνικά έγγραφα στα αιολικά πάρκα είναι εγχειρίδια συντήρησης, τα οποία περιλαμβάνουν ένα σύνολο εργασιών προληπτικής συντήρησης που πρέπει να εκτελεστούν. Υπάρχουν επίσης έγγραφα και προτεινόμενες διαδικασίες που καθορίζουν τον τρόπο διασφάλισης της ποιότητας, την πρόληψη ατυχημάτων, τη διαχείριση των πιθανών απορριμμάτων, τα ωράρια εργασίας του προσωπικού, κλπ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Αιολικά πάρκα

6.1 Εισαγωγή στα αιολικά πάρκα

Ένα αιολικό πάρκο στην ουσία είναι μία συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών, οι οποίες εγκαθίστανται και λειτουργούν σε μία περιοχή με υψηλό αιολικό δυναμικό. Σε ένα αιολικό πάρκο το σύνολο της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας διοχετεύεται στο ηλεκτρικό σύστημα. Υπάρχει η δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σε περιοχές που δεν ηλεκτροδοτούνται, [10].



Σχήμα 18: Μερική άποψη του «Αιολικού Πάρκου Παναχαϊκού».

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται κάποιες από τις ανεμογεννήτριες που έχουν τοποθετηθεί στο Παναχαϊκό όρος.

Ένα αιολικό πάρκο λειτουργεί παράλληλα με το συμβατικό δυναμικό παραγωγής. Οι σειρές μπορεί να αποτελούνται από μερικές δεκάδες έως και εκατοντάδες ανεμογεννήτριες με ένα συνδυασμένο δυναμικό ισχύος του αιολικού πάρκου της τάξης των εκατοντάδων MW. Βέβαια, οι συμβατικές πηγές παραγωγής ισχύος παρέχουν το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος που απαιτείται από το φορτίο. Ένας δείκτης που μας δείχνει την διείσδυση της αιολικής ενέργειας στο δίκτυο είναι ο λόγος του αιολικού δυναμικού προς το άθροισμα του αιολικού δυναμικού και του συμβατικού δυναμικού. Η σχέση που μας δίνει τον συντελεστή αυτό είναι:

$$WP = \frac{\text{αιολικό δυναμικό}}{\text{αιολικό δυναμικό} + \text{συμβατικό δυναμικό}}$$

Το τι κάνει αποδεκτή την τιμή του συντελεστή διεΐσδυσης είναι ένας συνδυασμός πολλών παραγόντων. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες είναι:

- οι λεπτομέρειες της αιολικής τεχνολογίας,
- τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των συμβατικών πηγών παραγωγής,
- η δυναμικότητα και
- το μήκος των γραμμών μεταφοράς που συνδέουν τις πηγές με το φορτίο.

Το άνω όριο στην ποσότητα της αιολικής ενέργειας που μπορεί να συνδυαστεί με τις συμβατικές πηγές δεν αποτελεί αυστηρό περιορισμό, αφού η τιμή του μπορεί να αλλάξει με την αλλαγή κάποιου/ων εκ των παραπάνω παραγόντων.

Τα αιολικά πάρκα χωρίζονται ανάλογα με τον τόπο, όπου εγκαθίστανται οι συστοιχίες των ανεμογεννητριών σε χερσαία και υπεράκτια.

6.2 Είδη αιολικών πάρκων

Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, τα αιολικά πάρκα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες. Στα χερσαία, τα υπεράκτια και σε αυτά που τοποθετούνται κοντά στην ακτή. Εξ'αυτών, τα χερσαία είναι τα επικρατέστερα με ένα ποσοστό περίπου 98% των εν λειτουργία αιολικών πάρκων. Η εγκατάστασή τους λαμβάνει χώρα στη στεριά, και ως επί των πλείστων στις κορυφογραμμές με σχετικά μεγάλο υψόμετρο. Στις εγκαταστάσεις αυτές μελετάται πολύ προσεκτικά η χωρική διάταξη των ανεμογεννητριών ώστε και να εξασφαλίζεται η βέλτιστη απόδοση, αλλά οπτικά να γίνει η ελάχιστη παρέμβαση στο περιβάλλον.

Η εγκατάσταση των υπεράκτιων πάρκων γίνεται στη θάλασσα. Η εγκαταστάσεις αυτές είναι πιο πολύπλοκες όσον αφορά την υποδομή τους. Από την άλλη τα υπεράκτια πάρκα παρουσιάζουν μεγαλύτερες ταχύτητες ανέμων με αποτέλεσμα μακροχρόνια να εμφανίζουν αύξηση στην απόδοσή τους. Επιπλέον, η αύξηση του μεγέθους των ανεμογεννητριών καθώς και της απόστασης από την ακτή συνεισφέρουν στην εγκατάσταση συνεχώς αποδοτικότερων ανεμογεννητριών κάτι που συμβάλει στην μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας.

Η κατασκευή τους είναι δυνατόν να οδηγήσει στη γένεση ορισμένων κοινωνικών ζητημάτων, τα οποία μπορούν να αποφευχθούν μέσω σωστής μελέτης. Για την σωστή μελέτη τους λαμβάνονται σοβαρά υπόψη οι μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής, διάφορα βυθομετρικά και ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά, ο πιθανός μηχανισμός έδρασης της ανεμογεννήτριας, η απόσταση από την ακτή και τους σταθμούς εξυπηρέτησης, η ναυσιπλοΐα και αλιεία της περιοχής και οι επιπτώσεις στο θαλάσσιο οικοσύστημα. Ορισμένα από τα κριτήρια καταλληλότητας μιας περιοχής προς εγκατάσταση υπεράκτιων αιολικών πάρκων είναι:

- α) το βάθος (έως περίπου 50m),
- β) η απόσταση από την ακτή (έως 10km).
- γ) η οπτική όχληση από την ακτή,

- δ) η ικανοποιητική ταχύτητα ανέμου και
- ε) το αν η περιοχή ανήκει σε προστατευόμενη ζώνη.

Όσον αφορά τον τεχνικό εξοπλισμό, ορισμένες απαιτήσεις των υπεράκτιων ανεμογεννητριών είναι:

- Μεγάλη αντιδιαβρωτική προστασία των δομικών στοιχείων.
- Άτρακτοι με καλύτερη σφράγιση.
- Κλειστό σύστημα ψύξης για τη γεννήτρια.
- Συστήματα παρακολούθησης και ελέγχου με δυνατότητα τηλε-ελέγχου από τη στεριά.
- Ύπαρξη ειδικού γερανού επάνω στην άτρακτο για τη διευκόλυνση της συντήρησης και επισκευής.
- Ειδικά εργαλεία άρσης στην άτρακτο και στον πύργο για τα βαρέα στοιχεία και φορτία.
- Πλατφόρμες σύνδεσης για σκάφη συντήρησης
- Φωτισμό, σύμφωνα με τους κανόνες στη θάλασσα.

6.3 Λειτουργία αιολικού πάρκου

Η λειτουργία ενός αιολικού πάρκου ξεκινάει τη στιγμή που αέρας κινεί τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας συμβάλλοντας στην παραγωγή ρεύματος. Το ρεύμα αυτό μέσω των καλωδίων μεταβαίνει στον μικρό υποσταθμό-μετασχηματιστή που βρίσκεται στην βάση κάθε ανεμογεννήτριας όπου μετατρέπεται η τάση του από χαμηλή σε μέση. Στην συνέχεια μέσω του δικτύου μέσης τάσης περνά στον κεντρικό υποσταθμό μέσης τάσης. Σε αυτόν τον υποσταθμό γίνεται η συλλογή του ρεύματος από όλες τις ανεμογεννήτριες του πάρκου και στην συνέχεια μεταφέρεται στον υποσταθμό υψηλής τάσεως. Εκεί η τάση μετατρέπεται σε υψηλή και τελικά διοχετεύεται στο εθνικό δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της γραμμής διασύνδεσης υψηλής τάσης.

Η λειτουργία ενός αιολικού πάρκου παρακολουθείται και ελέγχεται σε καθημερινή βάση με ένα εποπτικό σύστημα ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA), το οποίο συνδέει όλα τα δομικά μέρη του αιολικού πάρκου με ένα κεντρικό υπολογιστή μέσω του οποίου ένας χειριστής έχει τη δυνατότητα να επιβλέπει τη λειτουργία του πάρκου και να εξασφαλίζει τη βέλτιστη απόδοση του. Παράλληλα το σύστημα αποθηκεύει τις πληροφορίες αυτές συμβάλλοντας στον εντοπισμό αστοχιών και προβλημάτων λειτουργίας συγκεκριμένων αιολικών μηχανών.

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να αναφερθεί ότι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την σωστή λειτουργία ενός αιολικού πάρκου είναι η ασφάλεια του προσωπικού, και των περιόικων. Για την ασφάλεια του προσωπικού θα πρέπει να δίνονται όλα τα απαραίτητα μέσα ατομικής προστασίας και να εξασφαλίζεται η εφαρμογή του κανονισμού ασφαλείας τόσο κατά την διάρκεια εγκατάστασης όσο και κατά την διάρκεια λειτουργίας του πάρκου.

Η αντικεραυνική προστασία των εγκαταστάσεων του πάρκου εξασφαλίζεται με αλεξικέραυνα σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 1197/1991 και ο αριθμός τους καθορίζεται από σχετική μελέτη. Για λόγους πυρασφάλειας αφαιρείται η βλάστηση γύρω από όλους τους υποσταθμούς σε όλη την

περίοδο λειτουργίας της αιολικής εγκατάστασης και επιπλέον προστίθεται χαλίκι στην επιφάνεια του εδάφους για να γίνετε αποστράγγιση των υδάτων.

Ένα επιπλέον σύστημα ασφάλειας των αιολικών πάρκων είναι το σύστημα γείωσης, το οποίο βασίζεται στη γείωση κάθε υποσταθμού και της αντίστοιχης ανεμογεννήτριας μέσω ενός συνδυασμού «Θεμελιακής Γείωσης» με δακτυλιοειδή και ακτινικά ηλεκτρόδια γείωσης, επιτυγχάνοντας αντίσταση γείωσης μικρότερη των 10Ω ανά αιολική μηχανή. Επιπλέον, όλος ο ηλεκτρικός εξοπλισμός τοποθετείται επάνω σε πλάκες σκυροδέματος, καθώς επίσης μεταλλικό πλέγμα θάβεται κάτω από τους υποσταθμούς διαχείρισης ρεύματος για την επίτευξη της γείωσης. Για την αποφυγή πρόσβασης σε μη εξουσιοδοτημένα άτομα ή/και άγριων ζώων στους χώρους του πάρκου, γύρω από όλες τις εγκαταστάσεις τοποθετείται περίφραξη με ψηλούς μεταλλικούς φράκτες. Όλα τα παραπάνω είναι οι βασικές ενέργειες που θα πρέπει να γίνονται για την αποφυγή προβλημάτων.

6.4 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια θεαματική άνοδος της εγκατεστημένης ηλεκτρικής ισχύος από ανεμογεννήτριες. Ο μεγάλος ρυθμός ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας συνοδεύτηκε από την ανησυχία των τοπικών κοινωνιών σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον.

Είναι κοινά αποδεκτό ότι η παγκόσμια αλλαγή του κλίματος αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες απειλές για το μέλλον της ανθρωπότητας, [23]. Η αλλαγή αυτή οφείλεται κατά κύριο λόγο στις εκπομπές των λεγομένων «αερίων του θερμοκηπίου» που συνοδεύουν αναπόφευκτα την παραγωγή ενέργειας από συμβατικά καύσιμα. Θεωρείται, λοιπόν, δεδομένο ότι η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ιδιαίτερα της αιολικής είναι η μοναδική μεσοπρόθεσμη λύση για την αντιμετώπιση του φαινομένου των κλιματικών αλλαγών. Τα οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση της αιολικής ενέργειας είναι, [23, 24]:

- Ο άνεμος είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενέργειας, η οποία μάλιστα παρέχεται δωρεάν.
- Η Αιολική ενέργεια είναι μια τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά ανταγωνιστική και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή επιλογή.
- Προστατεύει τη Γη καθώς κάθε μία κιλοβατώρα που παράγεται από τον άνεμο αντικαθιστά μία κιλοβατώρα που παράγεται από συμβατικούς σταθμούς και ρυπαίνει την ατμόσφαιρα με αέρια του θερμοκηπίου.
- Δεν επιβαρύνει το τοπικό περιβάλλον με επικίνδυνους αέριους ρύπους, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, καρκινογόνα μικροσωματίδια κ.α., όπως γίνεται με τους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια κάτι ιδιαίτερα σημαντικό για τη χώρα μας και την Ευρώπη γενικότερα.
- Βοηθά στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενέργειας.

Οι αρνητικές επιπτώσεις που θα μπορούσε να έχει η εγκατάσταση και χρήση των ανεμογεννητριών σε αιολικά πάρκα είναι:

Α) προβλήματα θορύβου: Στις ανεμογεννήτριες ο εκπεμπόμενος θόρυβος μπορεί να υπαχθεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευση του. Στον μηχανικό και στον αεροδυναμικό. Ο πρώτος προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα κλπ.) ενώ ο δεύτερος προέρχεται από την περιστροφή των πτερυγίων. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι μηχανές πολύ ήσυχες συγκριτικά με την ισχύ τους και με συνεχείς βελτιώσεις από τους κατασκευαστές γίνονται όλο και πιο αθόρυβες. Η αντιμετώπιση του θορύβου γίνεται είτε στην πηγή είτε στη διαδρομή του. Οι μηχανικοί θόρυβοι έχουν ελαχιστοποιηθεί με εξαρχής σχεδίαση (γρανάζια πλάγιας οδόντωσης), ή με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Επίσης ο μηχανικός θόρυβος αντιμετωπίζεται στη διαδρομή του με ηχομονωτικά πετάσματα και αντικραδασμικά πέλματα στήριξης. Αντίστοιχα ο αεροδυναμικός θόρυβος αντιμετωπίζεται με προσεκτική σχεδίαση των πτερυγίων από τους κατασκευαστές, που δίνουν άμεση προτεραιότητα στην ελάττωση του, [24].

Β) Προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών: 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. Τα κινούμενα πτερύγια των ανεμογεννητριών μπορούν να προκαλέσουν αυξομείωση σήματος λόγω αντανάκλασεων. Αυτό ήταν εντονότερο στην πρώτη γενιά ανεμογεννητριών που έφερε μεταλλικά πτερύγια. Τα πτερύγια των συγχρόνων ανεμογεννητριών κατασκευάζονται αποκλειστικά από συνθετικά υλικά, τα οποία έχουν ελάχιστη επίπτωση στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η Ελληνική νομοθεσία προβλέπει την προώθηση αδειοδότησης ενός αιολικού πάρκου μόνον εφόσον τηρούνται κάποιες ελάχιστες αποστάσεις από τηλεπικοινωνιακούς ή ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς.

Όσον αφορά τις εκπεμπόμενες ακτινοβολίες, όπως φαίνεται και από την περιγραφή των τμημάτων της ανεμογεννήτριας, τα μόνα υποσυστήματα που θα μπορούσαμε να πούμε ότι «εκπέμπουν» ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χαμηλού επιπέδου, είναι η ηλεκτρογεννήτρια και ο μετασχηματιστής μέσης τάσης. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της ηλεκτρογεννήτριας είναι εξαιρετικά ασθενές και περιορίζεται σε μια πολύ μικρή απόσταση γύρω από το κέλυφος της που είναι τοποθετημένο τουλάχιστον 40-50 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, [24].

Γ) Αισθητικά προβλήματα και προσβολή του φυσικού τοπίου: Η οπτική όχληση είναι κάτι υποκειμενικό και δύσκολα μπορούν να τεθούν κοινά αποδεκτοί κανόνες. Από έρευνες σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης προκύπτει ότι κάποιος που είναι ευνοϊκά διατεθειμένος απέναντι στην ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, αποδέχεται τις ανεμογεννήτριες και οπτικά πολύ πιο εύκολα από κάποιον που είναι αρνητικός εξαρχής. Από τις ίδιες μελέτες, προκύπτει ότι τα αιολικά πάρκα είναι πιο αποδεκτά από αισθητικής άποψης σε ανθρώπους που είναι ενημερωμένοι για τα οφέλη που προέρχονται από την χρήση τους, [24].

Δ) Επίδραση στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες: Δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι τα αιολικά πάρκα επιβαρύνουν τη γεωργία ή την κτηνοτροφία. Επιπλέον, το 99% της γης που φιλοξενεί ένα αιολικό πάρκο είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις, οπότε οι αγροτικές δραστηριότητες μπορούν να συνεχίζονται και μετά την εγκατάσταση του. Οι συνήθεις θέσεις

αιολικών πάρκων είναι σε ορεινές περιοχές με θαμνώδη βλάστηση ακριβώς λόγω των υψηλών ταχυτήτων του ανέμου που ευνοούν την εγκατάσταση του. Σε αυτές τις περιοχές, η χρήση γης είναι κυρίως για βοσκή αιγοπροβάτων οι οποία μπορεί να συνεχισθεί χωρίς κανένα πρόβλημα και μετά την εγκατάσταση του αιολικού πάρκου, [24].

Ε)Επιπτώσεις στον πληθυσμό των πτηνών: Από μελέτες που έχουν γίνει σε διάφορες Ευρωπαϊκές Χώρες παρατηρήθηκε ότι οι ανεμογεννήτριες δεν προκαλούν ιδιαίτερο πρόβλημα στον πληθυσμό των πτηνών. Βέβαια θα πρέπει να γίνετε ιδιαίτερη μελέτη σε ευαίσθητες οικολογικά και προστατευόμενες περιοχές κατά τη φάση σχεδιασμού και χωροθέτησης του αιολικού πάρκου, [24].

Συνοψίζοντας, είναι σημαντικό να κατανοήσουμε, ότι οι οποιεσδήποτε επιπτώσεις από τις ανεμογεννήτριες, αφενός είναι άμεσα «ορατές» και αφετέρου είναι δυνατόν να ελαχιστοποιηθούν με σωστή αντιμετώπιση και προσχεδιασμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Επιλογή περιοχής και ενεργειακή μελέτη πάρκου

7.1 Επιλογή περιοχής και ενεργειακή μελέτη πάρκου

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

- Μελέτη σκοπιμότητας και εκκίνηση του έργου (1.5-3.5 έτη)
- Προκατασκευαστική περίοδος (1-1.5 έτη)
- Κατασκευαστική περίοδος (1-2 έτη)
- Λειτουργία και συντήρηση.

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

7.2 Κριτήρια επιλογής περιοχής μελέτης αιολικού πάρκου

Γενικά τα κριτήρια επιλογής μιας περιοχής για την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου είναι, αρχικά η εξασφάλιση τέτοιας έκτασης εγκατάστασης ώστε να καλύπτεται η αντίστοιχη επιθυμητή τιμή ονομαστικής ισχύος του αιολικού πάρκου και του επιλεγμένου μοντέλου ανεμογεννήτριας για την εγκατάσταση αυτή. Δεύτερον μεγάλο και σημαντικό ρόλο έχει η δυνατότητα επίλυσης θεμάτων όσον αφορά την ιδιοκτησία, τη θέση της εγκατάστασης, τη μορφολογία της επιλεγμένης περιοχής και τη προσβασιμότητα που θα έχει κάποιος στο χώρο αυτό. Ένα άλλο κομμάτι του κριτηρίου της επιλογής είναι και αυτό του περιορισμού του θορύβου από το εργοτάξιο λόγω των εργασιών και των θορύβων που θα προκαλούνται από τα μηχανήματα του.

Επίσης ένα από τα στοιχεία που έχει σημαντικό ρόλο στη δημιουργία του αιολικού πάρκου είναι και το καλό αιολικό δυναμικό της περιοχής το οποίο μελετάται από χάρτες αιολικού δυναμικού. Η τιμή του αιολικού δυναμικού θα πρέπει να ξεπερνά το 5.5 m/sec για την προσέλκυση ενδιαφέροντος. Και πιο ενδεικτικά και αναλυτικά οι τιμές του αιολικού δυναμικού για την επιλεγμένη περιοχή της εγκατάστασης του αιολικού πάρκου είναι:

- Όταν το αιολικό δυναμικό είναι ανεπαρκές η τιμή του αιολικού δυναμικού είναι μικρότερη από 4 m/sec,
- Όταν το αιολικό δυναμικό είναι χαμηλό η τιμή του αιολικού δυναμικού είναι από 4-5.5 m/sec.
- Όταν το αιολικό δυναμικό είναι μέσο η τιμή του αιολικού δυναμικού είναι από 5.5 -7m/sec,
- Όταν το αιολικό δυναμικό είναι υψηλό η τιμή του αιολικού δυναμικού είναι από 7-9 m/sec.
- Όταν το αιολικό δυναμικό είναι πολύ υψηλό η τιμή του αιολικού δυναμικού είναι μεγαλύτερη από 9 m/sec.

Οι μετεωρολογικές συνθήκες στις οποίες πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά την επιλογή της τοποθεσίας και της μετέπειτα μελέτης είναι οι παρακάτω:

- 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. Βέβαια, με την αύξηση της υγρασίας σε επίπεδα κορεσμού εμφανίζονται σταγόνες νερού πάνω στα πτερύγια οι οποίες όπως και στην περίπτωση της βροχής αλλοιώνουν την αεροδυναμική συμπεριφορά των πτερυγίων οδηγώντας σε πρόωρη αποκόλληση του οριακού στρώματος και σε πρόωρη απώλεια στήριξης των πτερυγίων της μηχανής.
- Ο παγετός. Η επικάλυψη πάγου στα μέρη της εγκατάστασης αυξάνει τη στατική και δυναμική τους καταπόνηση, με ως αποτέλεσμα να αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα κατά τον υπολογισμό των μερών της εγκατάστασης αλλά και των γραμμών μεταφοράς ενέργειας σε καταπονήσεις των μηχανικών φορτίων. Επίσης είναι πιθανόν να προκληθεί εκτόξευση τμημάτων πάγου κατά την περιστροφή των πτερυγίων καθώς και τη καταστροφή των ανεμομέτρων ή βλάβη των συστημάτων ελέγχου της εγκατάστασης.
- Το υψόμετρο και η θερμοκρασία σε συνάρτηση με την αποδιδόμενη ισχύ μιας ανεμογεννήτριας. Η συχνότητα εμφάνισης υπερβολικά ισχυρών ανέμων. Κάνοντας χρήση των διαθέσιμων ανεμολογικών στοιχείων που θα προκύψουν από μετέπειτα μετρήσεις, είναι δυνατόν να επιλεγθούν κατασκευές που είναι ικανές να λειτουργούν και σε μεγάλες ταχύτητες του ανέμου ενώ διαθέτουν και την απαραίτητη στιβαρότητα να επιβιώσουν σε ιδιαίτερα δυσμενείς ανεμολογικές καταστάσεις, δηλαδή σε αιολικό δυναμικό ανωτέρων κλάσεων από τις συνήθειες.
- Η έντονη τριβή της περιοχής εγκατάστασης έχει σαν συνέπεια τη διαρκή μεταβολή του μέτρου και της διεύθυνσης του ανέμου. Οι διαρκείς αυτές μεταβολές προκαλούν κόπωση των υλικών της κατασκευής, με αποτέλεσμα τη μείωση της διάρκειας ζωής της ανεμογεννήτριας, αλλά και την αύξηση του κόστους συντήρησης της αιολικής εγκατάστασης.
- Τα μεταφερόμενα υλικά από τον άνεμο όπως η σκόνη η ακόμα και μεγαλύτερης κλίμακας υλικά προκαλούν συχνά σημαντικά προβλήματα στα μέρη της μηχανής.
- Η σταθερότητα των πνεόντων ανέμων σε μία περιοχή συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση της καταπόνησης μιας ανεμογεννήτριας, με ως αποτέλεσμα την επιμήκυνση του χρόνου ζωής της εγκατάστασης και την πιο ομαλή λειτουργία της.

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

Ως αιολικό δυναμικό ορίζεται η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου που μπορεί να δεσμευτεί ανά μονάδα επιφάνειας που προσβάλλεται από τον άνεμο. Ο προσδιορισμός του αιολικού δυναμικού μιας θέσης γίνεται σε ετήσια βάση με βάση την κατανομή της ταχύτητας (εντάσεως) του ανέμου η οποία καθορίζεται πλήρως όταν είναι δεδομένες(κατ' ελάχιστον) οι ωριαίες τιμές της έντασης του ανέμου καθώς και η συχνότητα εμφάνισης τους στη διάρκεια του έτους. Πρακτικά, η καταγραφή των δεδομένων που απαρτίζουν το αιολικό δυναμικό μιας θέσης γίνεται

μέσω της μέτρησης και καταγραφής της ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου κατά τη διάρκεια ενός με δύο ετών το μέγιστο, με τη χρήση μετεωρολογικού ιστού ο οποίος με τα όργανα που φέρει λαμβάνει όλες τις απαραίτητες μετρήσεις.

Η βέλτιστη επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης αιολικού πάρκου σε σχέση με το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό προϋποθέτει την επιλογή μέρος με:

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

Βάσει των παραπάνω κριτηρίων, το ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε μέρη που αποτελούν κορυφές λείων και κυκλοτερών λόφων με ελαφρές κατωφέρειες και ανοιχτό ορίζοντα καθώς και σε ανοιχτές πεδιάδες, σε ακρογιαλιές ή τέλος στα ανοίγματα των βουνών που δημιουργούν φυσικούς επιταχυντές ανέμου (ρεύματα αέρα).

Το αιολικό δυναμικό στην χώρα μας μπορεί να μας γνωστοποιηθεί από τον διαθέσιμο χάρτη που μας δείχνει την μέση ταχύτητα ανέμου σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο όμως, όταν έρθει η ώρα να μάθουμε το δυναμικό ενός συγκεκριμένου σημείου «τότε πρέπει να προβούμε σε υπολογισμούς. Ο υπολογισμός του τεχνικά αξιοποιήσιμου αιολικού δυναμικού είναι μια αρκετά πολύπλοκη διαδικασία ακόμα και αν ληφθεί υπόψη μόνο η διαθεσιμότητα του ανέμου και τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας που χρησιμοποιούμε. Η μέση μηνιαία ή ετήσια ταχύτητα ανέμου και ο βαθμός απόδοσης των ανεμογεννητριών δεν αρκούν για τον υπολογισμό.

Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε ακριβώς την μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου κατά την διάρκεια του έτους. Πολλές φορές η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου συναρτήσεται του χρόνου παριστάνεται με την βοήθεια της κατανομής Weibull.

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

Αφού γίνει το παραπάνω βήμα και βρεθεί η περιοχή που πρόκειται να τοποθετηθούν οι ανεμογεννήτριες, θα πρέπει να μελετηθεί με βάση την μορφολογία της. Έτσι ελέγχουμε τις δύο περιπτώσεις όπου:

- Η μορφολογία του εδάφους είναι επίπεδη
- Η μορφολογία του εδάφους είναι ανώμαλη

Τοποθεσία με επίπεδο έδαφος

Στην τοποθεσία με επίπεδο έδαφος πρέπει να ελεγχθεί εάν υπάρχουν κάποια εμπόδια όπως τα δέντρα διότι η παρουσία τους έχει σαν αποτέλεσμα το μηδενισμό της ταχύτητας του ανέμου μέχρι και το ύψος της κορυφής τους, ενώ το οριακό στρώμα επιρροής φαίνεται να αναπτύσσεται από την κορυφή τους και κατάντη.

Στην περίπτωση αυτή το ύψος της ζώνης επιρροής του ανέμου είναι τουλάχιστον πέντε έως έξι φορές το μέσο ύψος των δένδρων και η τοποθέτηση της πτερωτής της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να βρίσκεται εκτός του οριακού στρώματος της ζώνης επιρροής . που αναπτύσσεται στην περιοχή της συστοιχίας των δέντρων.

Τυχόν παρακείμενα κτίρια αποτελούν ένα άλλο είδος εμποδίων. Δεδομένου ότι η παρουσία τους διαταράσσει και αυτή σε σημαντική έκταση το πεδίο ροής του ανέμου. Επιπλέον, οι οξείες γωνίες του κτιρίου αποτελούν την πηγή εκροής μεμονωμένων στροβίλων με ως αποτέλεσμα την πλήρη τροποποίηση των χαρακτηριστικών του ανέμου.

Τοποθεσία με ανώμαλη μορφολογία εδάφους

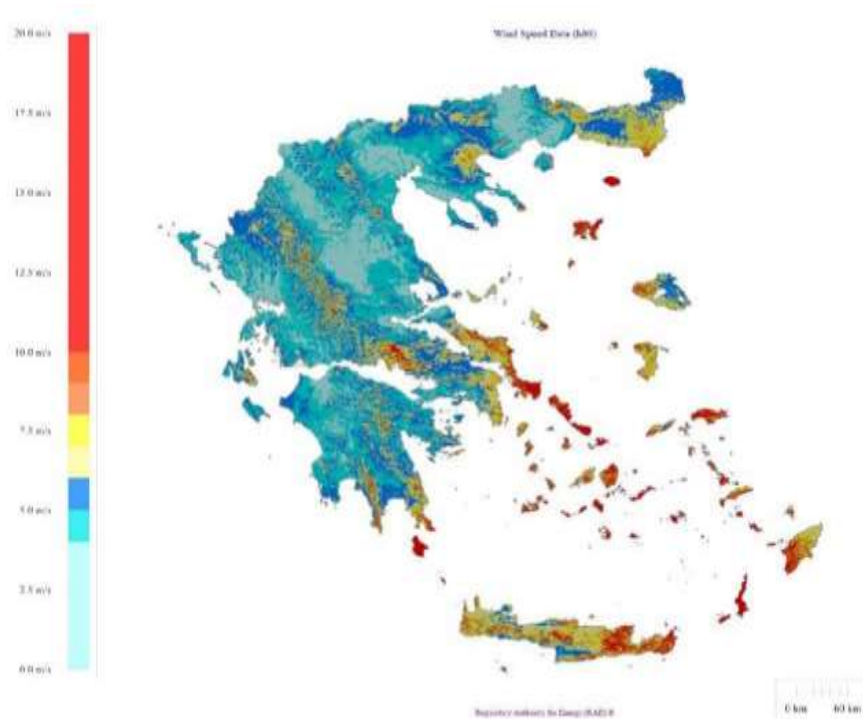
Στην περίπτωση που η μορφολογία του εδάφους είναι ανώμαλη τότε δεν υπάρχει συγκεκριμένος τρόπος εξέτασης διότι κάθε περίπτωση είναι ξεχωριστή. Για να γίνει λοιπόν η μελέτη τέτοιων περιπτώσεων κατασκευάζεται ομοίωμα της περιοχής για πειράματα μέσα σε αεροδυναμική σήραγγα ή γίνεται προσημείωση της τοποθεσίας με την χρήση υπολογιστή χρησιμοποιώντας μαθηματικά μοντέλα και διάφορα προγράμματα.

Πάραυτα, μερικές μορφολογικές τοπογραφίες μπορούν να τυποποιηθούν και να χρησιμεύσουν ως κατευθυντήριες γραμμές στην προκαταρκτική λήψη της απόφασης για την τοποθεσία τοποθέτησης μιας ανεμογεννήτριας. Επίσης, κατά τη φάση προεπιλογής των θέσεων εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου πρέπει να ληφθούν υπόψη οι τοπικοί νόμοι και οι κανονισμοί, που πιθανόν να εμποδίζουν τη χρησιμοποίηση της γης για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου. Τέτοιοι νόμοι αναφέρονται είτε στην προστασία ιστορικών και αρχαιολογικών χώρων. είτε στην προστασία του περιβάλλοντος με τη διατήρηση των τοπικών οικοσυστημάτων.

Επιπλέον πρέπει να αποφεύγονται περιοχές με έντονη σεισμικότητα. περιοχές με πρόβλημα κατολισθήσεων όπως επίσης και βραχώδεις περιοχές που θα δυσχεράνουν την προσπάθεια μεταφοράς και θεμελίωσης των μηχανών. Τέλος, στα θέματα χρήσης γης υπάρχει μία σαφής τάση για περιορισμό της απαιτούμενης έκτασης, είτε με την εγκατάσταση μεγαλύτερων και συνεπώς λιγότερων μηχανών, είτε με την πυκνότερη διάταξη των ανεμογεννητριών στα ιδρυόμενα αιολικά πάρκα.

7.3 Αιολικό δυναμικό

Η επιλογή θέσης για τη μελέτη και την κατασκευή ενός αιολικού πάρκου προϋποθέτει την ύπαρξη καλού αιολικού δυναμικού. Για να δούμε εάν η περιοχή έχει καλό αιολικό δυναμικό, θα πρέπει να εγκατασταθεί μετεωρολογικός σταθμός που θα καταγράφει δεδομένα για τουλάχιστον ένα έτος. Βέβαια, μεγάλο ρόλο παίζει και η ποιότητα του αέρα αφού θα πρέπει η ροή του να είναι όσο το δυνατό στρωτή, (στρωτή ροή συνήθως συναντάμε στην επιφάνεια της θάλασσας). Στη στεριά η περιοχή που θα επιλεγεί θα πρέπει να μην έχει απότομες πλαγιές και πυκνή βλάστηση. Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζεται το αιολικό δυναμικό της Ελλάδας. Βέβαια θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο εν λόγω χάρτης κατασκευάστηκε με μετρήσεις που πάρθηκαν μεταξύ 1983 και 1990 και οι τιμές πάρθηκαν από μετεωρολογικούς σταθμούς. Οπότε οι τιμές δεν θεωρούνται ακριβείς μιας και όπως προαναφέρθηκε για να είναι αξιόπιστες οι μετρήσεις θα πρέπει να παρθούν στο χώρο που θα τοποθετηθούν οι ανεμογεννήτριες.



Σχήμα 19: Χάρτης της Ελλάδας που απεικονίζει το αιολικό δυναμικό κάθε περιοχής.

7.4 Κριτήριο επιλογής των ανεμογεννητριών

Για την επιλογή του τύπου των ανεμογεννητριών που θα απαρτίζουν ένα αιολικό πάρκο λαμβάνονται υπόψιν οι εξής παράγοντες:

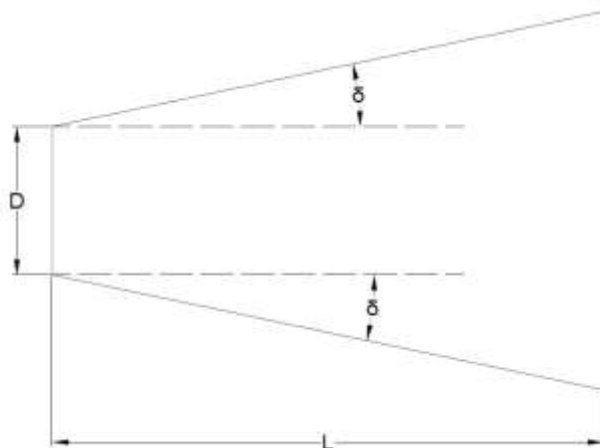
- καμπύλη ισχύος κάθε τύπου ανεμογεννήτριας,
- οι διαστάσεις της ανεμογεννήτριας σε συνάρτηση με τη διαθέσιμη έκταση του γηπέδου εγκατάστασης και την επιθυμητή ισχύ του αιολικού πάρκου,
- περιορισμοί περιβαλλοντικής και χωροταξικής φύσεως,
- τεχνικά και κατασκευαστικά θέματα (π.χ. τρόπος μεταφοράς ανεμογεννητριών, συναρμολόγησης κτλ.),
- οικονομική προσφορά αγοράς και
- πρόγραμμα συντήρησης αιολικού πάρκου από τον προμηθευτή.

7.5 Χωροθέτηση αιολικού πάρκου

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο για την χωροθέτηση ενός αιολικού πάρκου θα πρέπει πριν να μελετηθούν όλα τα χαρακτηριστικά της περιοχής όπως τα τοπογραφικά και ανεμολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής.

Επιπλέον εξετάζετε η περιοχή σκίασης μιας ανεμογεννήτριας κατά τη διέλευση του ανέμου από το ρότορα της. Αυτό γιατί επηρεάζει την ταχύτητα του ανέμου που θα περάσει από την ανεμογεννήτρια και δημιουργείται υψηλή τύρβη.

Ένας ακόμα λόγος είναι ότι οι ανεμογεννήτριες δεσμεύουν μεγάλο ποσοστό της ενέργειας από τον άνεμο που περνά από αυτές με αποτέλεσμα να επιβραδύνουν τη ροή του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι υπόλοιπες ανεμογεννήτριες που βρίσκονται πίσω από την πρώτη να λαμβάνουν άνεμο χαμηλής ενεργειακής στάθμης. Η απόσταση στην οποία ο άνεμος ανακτά τα αρχικά του χαρακτηριστικά έχει εκτιμηθεί από πειραματικά δεδομένα ότι είναι στην περιοχή $8\cdot D$ έως $10\cdot D$ (όπου D η διάμετρος του ρότορα). Η γωνία δ που φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα κυμαίνεται από 11.5° έως 12.5° . συνήθως οι τιμές που λαμβάνονται στην μελέτη των αιολικών πάρκων είναι $L=10\cdot D$ και $\delta=12^\circ$.



Σχήμα 20: Περιοχή σκίασης.

Το πρώτο βήμα για τη σωστή χωροθέτηση των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου είναι η εύρεση με τη βοήθεια του ροδογράμματος (Σχήμα 1) της επικρατούσας διεύθυνσης του ανέμου, καθώς επίσης της διάρκειας πνοής του ανέμου από κάθε κατεύθυνση. Ο κενός χώρος σε μια συστοιχία δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 2-4 διαμέτρους σάρωσης και ο κενός χώρος μεταξύ των συστοιχιών δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 7-10 διαμέτρους σάρωσης. Συνυπολογίζοντας κάποια επιπλέον στρέμματα που απαιτούνται για οδοποιία και άλλα έργα (πλατείες ανέγερσης κτλ.).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Κατασκευή αιολικού πάρκου

8.1 Κατασκευή και διασύνδεση αιολικού πάρκου

8.1.1 Κατασκευή δρόμου προσπέλασης και εσωτερικής οδοποιίας αιολικού πάρκου

Οι προδιαγραφές του δρόμου πρόσβασης στο αιολικό πάρκο ορίζονται από την εκάστοτε κατασκευάστρια εταιρία. Για παράδειγμα τυπικές τιμές που δίνονται είναι:

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

8.1.2 Διαμόρφωση πλατειών

Για την εγκατάσταση των ανεμογεννητριών του αιολικού πάρκου απαιτείται διαμόρφωση του περιβάλλοντος χώρου γύρω από τη θέση εγκατάστασης κάθε μίας ανεμογεννήτριας. Γύρω από τη θέση της κάθε ανεμογεννήτριας θα πρέπει να κατασκευαστεί ένα πλήρως ισοπεδωμένο πλατώματος συγκεκριμένων διαστάσεων που εξαρτώνται από το μέγεθος της ανεμογεννήτριας (συνήθως τιμές είναι 40m x 40m ή 50m x 50m) για την τοποθέτηση του πυλώνα, του θαλάμου και τη συναρμολόγηση των πτερυγίων στο έδαφος επί της πλήμνης, πριν την τελική ανέγερση και εγκατάσταση τους στην τελική θέση. Η ισοπέδωση της επιφάνειας ανέγερσης θα γίνει στο μεγαλύτερο βαθμό με εκχέρσωση του χώρου, ώστε να υπάρχει στέρεο έδαφος στην ευρύτερη περιοχή που θα εναποτεθεί ο εξοπλισμός και όπου θα κινηθούν τα οχήματα μεταφοράς και τα ανυψωτικά μηχανήματα. Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί εξομάλυνση της νεοδημιουργηθείσας επιφάνειας και κατασκευή απισωτικής στρώσης ώστε να προκύψει οριζόντια επιφάνεια, ενώ τέλος θα υλοποιηθεί τελική διάστρωση. Οι πλατείες που θα διαμορφωθούν θα έχουν επίπεδη επιφάνεια και θα έχουν υποστεί τη διεργασία συμπύκνωσης με κατάλληλα βαρέα δονητικά οχήματα.

8.1.3 Κατασκευή βάσεων θεμελίωσης ανεμογεννήτριας

Μετά την εκσκαφή και μορφοποίηση της σκάφης των πλατειών θα πρέπει να κατασκευαστούν τα θεμέλια των βάσεων των ανεμογεννητριών. Τα πρηνή του σκάμματος κάθε βάσης θα έχουν κατάλληλες κλίσεις ανάλογα με την ποιότητα του εδάφους ενώ το δάπεδο του σκάμματος θα είναι εντελώς οριζόντιο. Οι βάσεις των πύργων στήριξης θα κατασκευαστούν από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Σε κάθε σκάμμα απαιτείται μία πρώτη στρώση με μπετόν καθαριότητας C12-15 και στη συνέχεια οπλισμένο σκυρόδεμα ποιότητας C25-30. Για τον έλεγχο της ποιότητας του σκυροδέματος πρέπει να παρθούν εγκαίρως (κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης) τουλάχιστον 12 δοκίμια από κάθε μία βάση και να εξετασθούν σε έλεγχο θραύσης στο αρμόδιο εργαστήριο του Υπουργείου Δημοσίων Έργων. Με το πέρας της σκυροδέτησης θα γίνει η επίχωση των θεμελίων με τα κατάλληλα προϊόντα εκσκαφής σε στρώσεις 30 εκατοστών και τα οποία υπόκεινται σε συμπύκνωση.

8.1.4 Ανέγερση πύργου πλήμνης και πτερυγίων των ανεμογεννητριών

Αφού ολοκληρωθεί η μεταφορά και εκφόρτωση των βασικών τμημάτων της ανεμογεννήτριας στην πλατεία κάθε ανεμογεννήτριας, ξεκινά η συναρμολόγηση των πτερυγίων και η σύνδεση τους στην πλήμνη. Στη συνέχεια γίνεται η ανέγερση της, η καθετοποίηση της και τελικά η πάκτωση των τμημάτων του πύργου. Για όλα τα παραπάνω χρησιμοποιούνται ειδικοί γερανοί και πάντα σύμφωνα με τις προδιαγραφές της κατασκευάστριας εταιρείας.

8.1.5 Κατασκευή οικισμού ελέγχου και βοηθητικών χώρων

Σε στρατηγική θέση του αιολικού πάρκου θα ανεγερθεί οικισμός κατάλληλος για να στεγάσει το σύστημα ελέγχου, εποπτείας και μετρήσεων του αιολικού πάρκου, τους χώρους αποθήκευσης των απαραίτητων εργαλείων, αναλώσιμων και ανταλλακτικών, να παρέχει τις απαραίτητες διευκολύνσεις για την παραμονή των τεχνικών συντήρησης και λειτουργίας. Το κέντρο ελέγχου αιολικού πάρκου θα είναι ισόγειο. Η επιφάνεια του κτηρίου εξαρτάται από τον κατασκευαστή. Ένα τυπικό κτίριο είναι περίπου 80 m².

Το κτίριο θα είναι κατάλληλα διαχωρισμένο για να ανταποκρίνεται στους κανονισμούς καθώς και στις λειτουργικές απαιτήσεις του αιολικού πάρκου και θα περιλαμβάνει τους εξής ανεξάρτητους χώρους :

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

Η παροχή νερού θα γίνεται με την βοήθεια δεξαμενής νερού και η αποχέτευση με την κατασκευή κατάλληλου σηπτικού βόθρου. Στο χώρο του κτηρίου θα υπάρχουν :

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

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

8.2 Ηλεκτρολογικός εξοπλισμός

Για την διασύνδεση της κάθε ανεμογεννήτριας με το εσωτερικό δίκτυο μέσης τάσης του αιολικού πάρκου χρησιμοποιούνται υποσταθμοί ΧΤ/ΜΣ, οι οποίοι είναι εγκατεστημένοι στη βάση του πυλώνα κάθε ανεμογεννήτριας. Η ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ των ανεμογεννητριών αποτελείται από έναν κλάδο. Τα καλώδια μέσης τάσης θα συνδέουν την πλευρά του υποσταθμού της κάθε ανεμογεννήτριας (πίνακας εξόδου) με την πλευρά μέσης τάσης του υποσταθμού της επόμενης ανεμογεννήτριας (πίνακας εισόδου). Τα καλώδια μέσης τάσης 20kV για τη διασύνδεση της κάθε ομάδας ανεμογεννητριών θα οδεύουν σε υπόγειο κανάλι μέσα σε πλαστικούς σωλήνες για πρόσθετη μηχανική αντοχή και θα βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο σε απόσταση 20 cm περίπου μεταξύ τους.

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

8.3 Δίκτυο σύνδεσης ανεμογεννήτριας

Η σύνδεση των ανεμογεννητριών θα γίνει με υπόγειο καλώδιο μέσης τάσης 20kV το οποίο συνήθως είναι τύπου XLPE, 12/20 kV (κατά IEC502). Τα καλώδια θα τοποθετηθούν υπογείως από βρόχους σε κανάλι όδευσης καλωδίων, (συνήθως είναι διαστάσεων 0.60x1.0 m σύμφωνα με τις προδιαγραφές της Δ.Ε.Η). Ο κεντρικός πίνακας ελέγχου της μέσης τάσης, θα περιλαμβάνει κυψέλη εξόδου μέσης τάσης 20kV, από την οποία θα αναχωρεί καλώδιο προς της γραμμής Μ/Τ. Η κυψέλη εξόδου θα περιλαμβάνει και μονάδα προστασίας (Διακοπή Ισχύος), ελέγχου και μετρήσεων, με όλες τις απαιτούμενες προστασίες και μετρήσεις. Η βοηθητική τάση λειτουργίας των 400V, του Οικίσκου Ελέγχου, θα εξασφαλίζεται μέσω ενός Μ/Τα ελαίου ισχύος 20kV/ 0.4kV.

8.4 Κατασκευή καναλιού καλωδίων

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

8.5 Εγκατάσταση καλωδίων

Επειδή μέσα στο κανάλι τοποθετούνται πολλά καλώδια είναι απαραίτητο να υπάρχει αρκετός χώρος για αερισμό τους. Για ο σκοπό αυτό θα πρέπει η οριζόντια απόσταση μεταξύ των καλωδίων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με δύο φορές τη διάμετρο των καλωδίων και η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ των καλωδίων δεν πρέπει να είναι μικρότερη από τέσσερις φορές τη διάμετρο τους. Ακόμα θα πρέπει να τοποθετούνται σε οριζόντια διάταξη ακόμα και αν ο αριθμός των καλωδίων υπερβαίνει τα τρία. Επιτρεπόμενη ακτίνα κάμψης κατά την εγκατάσταση σε συνάρτηση με την εξωτερική διάμετρο D του καλωδίου. Η επιτρεπόμενη ακτίνα κάμψης των καλωδίων δίνεται από τον πίνακα 8.1 συναρτήσει της εξωτερικής διαμέτρου του καλωδίου D .

Η επιτρεπόμενη δύναμη έλξης των καλωδίων από τους αγωγούς θα πρέπει να είναι:

- για καλώδια με χάλκινους αγωγούς η επιτρεπόμενη δύναμη έλξης να είναι ίση με 50Nt/mm^2 διατομής καλωδίου,
- για τα καλώδια με αγωγό από αλουμίνιο ίση με 30Nt/mm^2 .

Η έλξη των καλωδίων θα πρέπει να γίνεται με ειδική κάλτσα πάνω στον μανδύα.

Όταν έχουμε μεγάλα καλώδια τότε χρησιμοποιούνται παράλληλα καλώδια με διατομές άνω των 150mm^2 . Η προστασία μπορεί να γίνει με ένα κοινό όργανο προστασίας ή με ένα επιμέρους όργανο.

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

Οι μονωτήρες στήριξης ή διέλευσης των ζυγών που θα χρησιμοποιηθούν είναι μονωτήρες εσωτερικού χώρου από εποξειδική ρητίνη. Οι διαστάσεις των ζυγών και των συνοδευτικών μπαρών πρέπει να αντέχουν στο ρεύμα συνεχούς φορτίου και των βραχυκυκλωμάτων. Οι μπάρες είναι χάλκινες με διαστάσεις τουλάχιστον $50 \times 50\text{mm}^2$. Οι συνδέσεις γίνονται με επικαδμιόμενους χαλύβδινους κοχλίες M10, κατηγορίας αντοχής 5.8.

Ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ καλωδίων

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

8.6 Σύστημα Γείωσης

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

- Οδηγία διανομής Νο119ΩΕΩ/TTE D-23
- Προδιαγραφή ASPK3/1988
- ΕΛΟΤ 1197/2002, και με τους διεθνείς κανονισμούς61936-1. Firstedition, 2002-10. Powerinstallationsexceeding1kV_{a.c.}-Part1
- IEC 62305-1. Protection against lightning –part1:general principles. Edition 1.0,01/00/06.
- IEC62305-3. Protection against lightning –part3:physical damage to structures and life hazard. Edition 1.0, 01/00/06.
- IEC62305-4. Protection against lightning –part4: electrical and electronic systems within structures. Edition 06,04/30/08. •IEC61400-24, Windturbinegeneratorsystems–part24: lightning protection. Edition 1.0, 07/00/02.

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

Σε κάθε ανεμογεννήτρια θα τοποθετηθεί θεμελιακή γείωση, η οποία θα συνδεθεί με τον οπλισμό της βάσης έτσι, ώστε να δράσει σαν ισοδύναμο πλέγμα, κατά Φ.Ε.Κ. 8/1525/31-12-73. Το σύστημα της γείωσης αποτελείται ενδεικτικά από ένα ηλεκτρόδιο δακτυλίου και χάλκινα ηλεκτρόδια γείωσης. Η εφαρμογή του γίνεται ως εξής:

- Το ηλεκτρόδιο δακτυλίου (50 mm²Cu) τοποθετείται σε απόσταση 1 μέτρου από τον πυλώνα σε βάθος 1 μέτρου.
- Το ηλεκτρόδιο δακτυλίου (50 mm²Cu) ενισχύεται με 2 χάλκινα ηλεκτρόδια γείωσης(ράβδοι 6 m(min. 016)), και τοποθετούνται σε 180°μεταξύ τους.
- Το ηλεκτρόδιο δακτυλίου (50 mm²Cu) συνδέεται στις 2 μπάρες γείωσης του πυλώνα (κοινή μπάρα γείωσης του πυλώνα).

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

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

Στον οικίσκο ελέγχου (Υ/Σ του Α.Π) θα γίνει θεμελιακή γείωση, η οποία τοποθετείται μέσα στο σκυρόδεμα σε βάθος 1mκαι σε απόσταση από τους τοίχους 1 m(IEC1024-1clause2.3.5 installation of earth electrodes). Παράλληλα τοποθετείται και ισοδύναμο πλέγμα γείωσης με τετραγωνικά ανοίγματα πλάτους 0,7 μεντός του δαπέδου του Υ/Σ σε βάθος 5 cmέως 10cm, το οποίο ενισχύεται με 4 ηλεκτρόδια γείωσης στις κορυφές του. Στο σύστημα γείωσης του Υ/Σ του πάρκου εξέχουν διάφορες αναμονές γείωσης (απολήξεις). Πάνω στις απολήξεις αυτές, οι οποίες βρίσκονται 30 cmαπό το δάπεδο, συνδέεται μια ταινία περιμετρικά του οικίσκου ελέγχου ενώ όλα τα μεταλλικά μέρη του Υ/Σ συνδέονται σε αυτήν, π.χ. η πόρτα, ο πίνακας Μ/Τ, ο πίνακας Χ/Τ. του Υ/Σ κλπ. η διατομή του χαλκού θα είναι τέτοια που θα αντέχει στο ονομαστικό βραχυκύκλωμα κατά IEC60298.

Οι διαστάσεις των αγωγών γείωσης και γενικότερα ο τρόπος γείωσης θα είναι τέτοιος ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική τιμή αντίστασης γείωσης (1Ω). Όλες οι παραπάνω γειώσεις θα είναι διασυνδεδεμένες με υπόγειο χάλκινο επικασσιτερωμένο αγωγό, ο οποίος τοποθετείται σε βάθος 0,6m και διατρέχει εντός του καναλιού διελεύσεως των καλωδίων σε όλο το μήκος του Α.Π. (κεντρικός αγωγός γείωσης). Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται ενίσχυση της γείωσης του Α/Π και ομογενοποίησή της. Η διατομή του αγωγού θα είναι τέτοια που θα αντέχει στο ονομαστικό βραχυκύκλωμα κατά IEC60298.

Σύμφωνα με τις σχετικές προδιαγραφές CEI/DPR547, πρέπει να κατασκευαστεί φρεάτιο με καλύμματα από χυτοσίδηρο έτσι ώστε να είναι επισκέψιμο το άνω τμήμα των ράβδων μειώσεως και των συγκολήσεων, εφόσον αυτό είναι εφικτό.

8.7 Αντικεραυνική προστασία

Πάνω στην άτρακτο και στα περύγια της ανεμογεννήτριας υπάρχουν αλεξικέραυνα, τα οποία συνδέονται με τη γεννήτρια, το Μ/Σ, τον πίνακα και όλα τα μεταλλικά μέρη της Α/Γ (κατά IEC61024-1). Ο αγωγός που συνδέει όλα τα παραπάνω, καταλήγει στη θεμελιακή γείωση –ενιαία γείωση του αιολικού πάρκου. Για την προστασία του αιολικού πάρκου από κάθε είδους υπερτάσεις θα συνδεθούν αντικεραυνικά στοιχεία στον πίνακα Μ/Τα (σύμφωνα με over voltage category IIDIN0110-1:1997-04).

8.8 Διασύνδεση με το Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας

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

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

Νομικό πλαίσιο

9.1 Νομικό πλαίσιο αδειοδοτήσεων Αιολικών Πάρκων

Η διαδικασία αδειοδότησης για αιολικά πάρκα διέπεται κατά κύριο λόγο από το Ν. 3851/ «Επιτάχυνση της ανάπτυξης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής», ο οποίος τροποποίησε τον προηγούμενο Ν. 3468/2006. Με το Ν. 4001/2011 «Για τη λειτουργία Ενεργειακών Αγορών Ηλεκτρισμού και Φυσικού Αερίου, για Έρευνα,

Παραγωγή και δίκτυα μεταφοράς Υδρογονανθράκων και άλλες ρυθμίσεις» προστέθηκαν ορισμένες κρίσιμες ρυθμίσεις που έπρεπε να γίνουν στον προηγούμενο νόμο.

9.2 Κύρια αδειοδοτικά στάδια αιολικών έργων

9.2.1 Άδεια Παραγωγής

Η άδεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας απαιτείται για αιολικά πάρκα με εγκατεστημένη ισχύ μεγαλύτερη των 100 kW, ενώ για τα πάρκα με μικρότερη εγκατεστημένη ισχύ δεν απαιτείται άδεια παραγωγής ή άλλη σχετική διαπιστωτική πράξη. Η άδεια παραγωγής χορηγείται με απόφαση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.), κατόπιν σχετικής αίτησης, ενώ για τη χορήγησή της αξιολογούνται κριτήρια που αναφέρονται στο άρθρο 2 παρ. 1 του Ν. 3851/2010. Η Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας, αφού εξετάσει αν πληρούνται τα κριτήρια αυτά, αποφασίζει για τη χορήγηση ή μη άδειας παραγωγής μέσα σε δύο (2) μήνες από την υποβολή της αίτησης, εφόσον ο φάκελος είναι πλήρης, άλλως από τη συμπλήρωση του. Ο φάκελος θεωρείται πλήρης, αν μέσα σε τριάντα (30) ημέρες από την υποβολή του δεν ζητηθούν εγγράφως από τον αιτούντα συμπληρωματικά στοιχεία.

Η άδεια παραγωγής χορηγείται για χρονικό διάστημα είκοσι πέντε (25) ετών και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρόνο. Στην περίπτωση, όμως, που εντός τριάντα (30) μηνών από τη χορήγηση της δεν εκδοθεί άδεια εγκατάστασης, η άδεια παραγωγής παύει αυτοδικαίως να ισχύει, εκδιδομένης σχετικής διαπιστωτικής πράξης από τη Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας.

9.2.2 Προσφορά Σύνδεσης

Μετά την έκδοση της άδειας παραγωγής από τη Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας, ο ενδιαφερόμενος προκειμένου να του χορηγηθεί άδεια εγκατάστασης, ζητά ταυτόχρονα την έκδοση:

α) Προσφοράς Σύνδεσης από τον αρμόδιο Διαχειριστή, ο οποίος θεωρεί τα τοπογραφικά διαγράμματα αποτύπωσης του τρόπου σύνδεσης. β) Απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων (Ε.Π.Ο.), κατά το άρθρο 4 του ν. 1650/1986, όπως ισχύει, και

γ) Άδειας Επέμβασης σε δάσος ή δασική έκταση, κατά την παρ. 2 του άρθρου 58 του ν. 998/1979 (ΦΕΚ 289 Α'), εφόσον απαιτείται, ή γενικά των αναγκαίων αδειών για την απόκτηση του δικαιώματος χρήσης της θέσης εγκατάστασης του έργου.

Ο αρμόδιος Διαχειριστής χορηγεί μέσα σε τέσσερις (4) μήνες την Προσφορά Σύνδεσης που του ζητήθηκε, η οποία αρχικώς είναι μη δεσμευτική και οριστικοποιείται και καθίσταται δεσμευτική:

α) με την έκδοση της απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων για το σταθμό Α.Π.Ε. ή,
β) αν δεν απαιτείται απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων, με τη βεβαίωση από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας Περιφέρειας ότι ο σταθμός Α.Π.Ε. απαλλάσσεται από την υποχρέωση αυτή.

Η Προσφορά Σύνδεσης ισχύει για τέσσερα (4) έτη από την οριστικοποίηση της και δεσμεύει τον Διαχειριστή και τον δικαιούχο.

9.2.3 Άδεια Εγκατάστασης

Αφού καταστεί δεσμευτική η Προσφορά Σύνδεσης, ο δικαιούχος ενεργεί:

α) για τη χορήγηση άδειας εγκατάστασης,

β) για τη σύναψη της Σύμβασης Σύνδεσης και της Σύμβασης Πώλησης, σύμφωνα με τα άρθρα 9, 10 και 12 και τους Κώδικες Διαχείρισης του Συστήματος και του Δικτύου. Σύμφωνα με το άρθρ.187 του ν.4001/2011 (Α'179) που τροποποιεί το άρθρ.8 του ν.3468/2006, η σύναψη της Σύμβασης Σύνδεσης προηγείται της σύναψης Πώλησης Ηλεκτρικής Ενέργειας. Οι Συμβάσεις αυτές υπογράφονται και ισχύουν από τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, εφόσον απαιτείται,
γ) για τη χορήγηση αδειών, πρωτοκόλλων ή άλλων εγκρίσεων που τυχόν απαιτούνται σύμφωνα με τις διατάξεις της ισχύουσας νομοθεσίας για την εγκατάσταση του σταθμού, οι οποίες εκδίδονται χωρίς να απαιτείται η προηγούμενη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης,
δ) για την τροποποίηση της απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων ως προς τα έργα σύνδεσης, εφόσον απαιτείται.

Η άδεια εγκατάστασης χορηγείται μέσα σε προθεσμία δεκαπέντε (15) εργάσιμων ημερών από την ολοκλήρωση της διαδικασίας ελέγχου των δικαιολογητικών. Κατά τη διαδικασία έκδοσης της άδειας εγκατάστασης, ελέγχεται η απόσταση κάθε ανεμογεννήτριας του σταθμού από την πλησιέστερη ανεμογεννήτρια σταθμού του ίδιου ή άλλου παραγωγού, η οποία καθορίζεται με ανέκκλητη συμφωνία των παραγωγών, για την οποία ενημερώνεται η Ρ.Α.Ε. και οι αδειοδοτούσες αρχές.

Η άδεια εγκατάστασης ισχύει για δύο (2) έτη και μπορεί να παρατείνεται, κατ' ανώτατο όριο, για ίσο χρόνο, μετά από αίτηση του κατόχου της, εφόσον:

α) κατά τη λήξη της διετίας έχει εκτελεσθεί έργο, οι δαπάνες του οποίου καλύπτουν το 50% της επένδυσης, ή

β) δεν συντρέχει η προϋπόθεση της ανωτέρω περίπτωσης αλλά έχουν συναφθεί οι αναγκαίες συμβάσεις για την προμήθεια του εξοπλισμού ο οποίος απαιτείται για την υλοποίηση του έργου, ή

γ) υφίσταται αναστολή με δικαστική απόφαση οποιασδήποτε άδειας απαραίτητης για τη νόμιμη εκτέλεση του έργου.

9.2.4 Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων

Για αιολικά πάρκα, των οποίων η εγκατεστημένη ισχύς είναι μικρότερη των 20 kW, δεν απαιτείται βεβαίωση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων, αλλά βεβαίωση απαλλαγής από αυτήν. Η βεβαίωση

απαλλαγής εκδίδεται από τη ΔΙ.ΠΕ.ΧΩ. της οικείας Περιφέρειας εντός αποκλειστικής προθεσμίας 20 ημερών, μετά την άπρακτη παρέλευση της οποίας θεωρείται αυτή χορηγηθείσα, κατά τις διατάξεις του άρθρου 3 του Ν. 3851/2010. Για την απόδειξη της άπρακτης παρέλευσης, ο ενδιαφερόμενος πρέπει στα επόμενα στάδια να προσκομίζει σχετική βεβαίωση της Περιφέρειας, ή εναλλακτικά, αντίγραφο του αιτήματός του με τον αριθμό πρωτοκόλλου και την ημερομηνία κατάθεσής του, μαζί με υπεύθυνη δήλωση για την παρέλευση του 20ημέρου χωρίς έκδοση ούτε απαλλαγής, ούτε αρνητικής απόφασης. Κατ' εξαίρεση απαιτείται Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων εάν:

α) το έργο εγκαθίσταται εντός περιοχής Natura 2000 ή σε απόσταση < 100m από αιγιαλό, ή
β) γειτνιάζει σε απόσταση <150m με άλλο σταθμό ίδιας τεχνολογίας, η δε αθροιστική ισχύς υπερβαίνει το όριο των 20kW.

Για την έκδοση απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων κατά τις διατάξεις του άρθρου 4 του ν.1650/1986, όπως ισχύει, υποβάλλεται πλήρης φάκελος και Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (Μ.Π.Ε.) στην αρμόδια για την περιβαλλοντική αδειοδότηση αρχή.

Η αρμόδια αρχή εξετάζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και τα προτεινόμενα μέτρα πρόληψης και αποκατάστασης, μεριμνά για την τήρηση των διαδικασιών δημοσιοποίησης και αποφαινεται για τη χορήγηση ή μη απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων μέσα σε τέσσερις (4) μήνες από το χρόνο που ο φάκελος θεωρήθηκε πλήρης.

Η απόφαση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων για την εγκατάσταση σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από Α.Π.Ε. ισχύει για δέκα (10) έτη και μπορεί να ανανεώνεται, με αίτηση που υποβάλλεται υποχρεωτικά έξι (6) μήνες πριν από τη λήξη της, για μία ή περισσότερες φορές, μέχρι ίσο χρόνο κάθε φορά. Μέχρι την έκδοση της απόφασης ανανέωσης εξακολουθούν να ισχύουν οι προηγούμενοι περιβαλλοντικοί όροι.

Βεβαίωση Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων ή απαλλαγή από αυτήν δεν απαιτείται για ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται εντός οργανωμένων υποδοχέων βιομηχανικών δραστηριοτήτων (ΒΙ.ΠΕ., ΒΙ.ΠΑ. κτλ), ή πάνω σε κτίρια και άλλες δομικές κατασκευές (Ν. 3468/2006, αρθ. 8, όπως αντικαταστάθηκε με τον Ν. 3851/2010, αρθ. 3, §2). Στην περίπτωση αυτή, πρέπει να προσκομίζεται τοπογραφικό διάγραμμα ή έγγραφο προσφοράς σύνδεσης απ' όπου να προκύπτει σαφώς η εγκατάσταση σε υποδοχέα ή πάνω σε κτίριο αντίστοιχα.

9.2.5 Άδεια λειτουργίας

Πριν τη χορήγηση άδειας λειτουργίας, απαιτείται να προηγηθεί προσωρινή σύνδεση του πάρκου για δοκιμαστική λειτουργία, κατόπιν αιτήσεως στον αρμόδιο Διαχειριστή. Εφόσον επιτευχθεί απροβλημάτιστη λειτουργία 15 ημερών, ο Διαχειριστής εκδίδει βεβαίωση επιτυχούς περάτωσης των δοκιμών (ΥΑ.13310/2007, ΦΕΚ.Β'1153, άρθ.14).

Εν συνεχεία, ο παραγωγός ενεργεί για τη χορήγηση άδειας λειτουργίας. Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του οργάνου που είναι αρμόδιο για τη χορήγηση της άδειας εγκατάστασης, μετά από αίτηση του ενδιαφερομένου και έλεγχο από κλιμάκιο των αρμόδιων Υπηρεσιών της τήρησης των τεχνικών όρων εγκατάστασης στη δοκιμαστική λειτουργία του σταθμού, καθώς και έλεγχο της διασφάλισης των αναγκαίων λειτουργικών και τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού του, που μπορεί να διενεργείται και από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.). Η

άδεια λειτουργίας χορηγείται μέσα σε αποκλειστική προθεσμία είκοσι (20) ημερών από την ολοκλήρωση των ανωτέρω ελέγχων.

Η άδεια λειτουργίας ισχύει για είκοσι (20) τουλάχιστον έτη και μπορεί να ανανεώνεται μέχρι ίσο χρονικό διάστημα.

Σημειώνεται πως σε περιπτώσεις αιολικών πάρκων με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση με 100 kW δεν απαιτείται η έκδοση άδειας παραγωγής, άδειας εγκατάστασης ή άδειας λειτουργίας, ενώ δεν απαιτείται επίσης και περίοδος δοκιμαστικής λειτουργίας.

Συμπεράσματα

Το βασικό πλεονέκτημα της Ελλάδας είναι ότι διαθέτει αρκετά υψηλό αιολικό δυναμικό κάτι που ευνοεί την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε το τι πρέπει να γνωρίζουμε για την επιλογή της θέσης εγκατάστασης ενός αιολικού πάρκου. Από τα παραπάνω προέκυψε ότι εκτός από τα ανεμολογικά δεδομένα της περιοχής πρέπει να εξετάζονται μια σειρά από παραμέτρους, όπως η εύκολη πρόσβαση στο σημείο εγκατάστασης, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις, οι ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής, κτλ.

Αφού επιλεγεί αρχικά η περιοχή εγκατάστασης του αιολικού πάρκου τότε θα πρέπει να γίνουν μία σειρά από μελέτες, όπως ανεμολογικές (μελέτες δυναμικού), μελέτες έργων κατασκευής όπως είναι οι ηλεκτρολογικές μελέτες και οι μελέτες χωροταξίας και εγκατάστασης που αφορούν μελέτες πολιτικού μηχανικού.

Ο χώρος εγκατάστασης του πάρκου θα πρέπει να είναι από 303 m² και πάνω, και να βρίσκεται κοντά σε δίκτυο της ΔΕΗ. Επιπλέον, θα πρέπει να είναι σχετικά μακριά από οικισμούς να έχει χαμηλό κόστος και κυρίως να παρουσιάζει υψηλό αιολικό δυναμικό.

Τέλος από το νομοθετικό πλαίσιο που διέπει αυτές τις επενδύσεις προκύπτει ότι η έκδοση της άδειας εγκατάστασης και λειτουργίας του πάρκου είναι αρκετά χρονοβόρα μιας και στη διαδικασία αυτή εμπλέκονται πολλοί δημόσιοι φορείς (Υπουργείο Ανάπτυξης, Πολεοδομία, Πολεμική Αεροπορία, Εφορία, Δημοτικές Αρχές, Υπουργείο Γεωργίας, Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, ΔΕΣΜΗΕ, ΚΑΠΕ).

Βιβλιογραφία

[1] Fthenakis V., HyungChul Kim, Land use and electricity generation: A life-cycle analysis, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 13, Issues 6–7, August–September 2009, pages 1465-1474.

[2] International Energy Agency, Energy Technology Perspectives 2015, <https://www.iea.org/etp/publications/previouseditions/etp2008/>

[3] Timmons D., Harris J.M., Roach B., The Economics of Renewable Energy, 2014, Global Development and Environment Institute, Tufts University.

- [4] REN21 – Renewable Policy Network for the 21st Century: Renewables 2012 – Global Status Report, www.ren21.net
- [5] ΕΛΕΤΑΕΝ, Ελληνική Εταιρεία Αιολικής Ενέργειας, Η Στατιστική της Αιολικής Ενέργειας το 2018,
<http://eletaen.gr/wp-content/uploads/2019/01/2019-02-01-hwea-statistics-greece-2018f.pdf>, [Ανάκτηση την 7/6/2019].
- [6] Wind turbines: Fundamentals, Technologies, Applications, Economic, Eric Hau 2006.
- [7] Καλδέλλης Ι., Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας, εκδόσεως Σταμούλης, 2005.
- [8] Αλεξιάδης Μ., Στατιστική ανάλυση και χαρακτηριστικά ανέμου, επιχειρησιακό πρόγραμμα Εκπαίδευση και δια βίου μάθηση.
- [9] Mohamed A.A, Elmabrouk A.M. (2008), “Assessment of the Wind Energy Potential on the coast of Tripoli”, 7th World Wind Energy Conference, June 2008, Ontario, Canada
- [10] Κατσιγιάννης Γ., Ανεμογεννήτριες, http://ape.chania.teicrete.gr/gr/files/HPIESI_Pres_02_Wind_Turbines.pdf, [Ανάκτηση την 7/6/2019].
- [11] Hellenic Wind Energy Association (2017). HWEA Wind Energy Statistics 2017 Download from: <http://eletaen.gr/wp-content/uploads/2018/07/2017-hwea-wind-statistics-greece.pdf>, [Ανάκτηση την 7/6/2019].
- [12] ΚΑΠΕ, Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για δυνητικούς χρήστες, http://www.cres.gr/cres/files/xrisima/ekdoseis/ekdoseis_GR5.pdf, [Ανάκτηση την 7/6/2019].
- [13] Commission of The European Communities, Energy for the Future: Renewable Sources of Energy. White Paper for a Community Strategy and Action Plan. COM (97) 599 final, 26 November 1997 [follow-up to the Green Paper], Last Modified: 27 May 2014.
- [14] European Wind Energy Association, 2017. Wind in Power: 2017 European Statistics. Available at: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2018.pdf> [Ανάκτηση την 7/6/2019].
- [15] Global Wind Energy Council, 2018. *Global Wind Report: Annual Market Update 2018*. Annual Report. Available at: <https://gwec.net/wp-content/uploads/2019/04/GWEC-Global-Wind-Report-2018.pdf> [Ανάκτηση την 7/6/2019].
- [16] Troen I.B., Lundtang Petersen E., (1989), *European Wind Atlas*, Roskilde: Risø National Laboratory.
- [17] REN21, 2019. *Renewables 2019 Global Status Report*, https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2019_full_report_en.pdf, [Ανάκτηση την 7/6/2019].
- [18] Καλδέλλης Ι., Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, Αθήνα 2005.

[19] Wright S., Divjak R., Chamberlain J., White G., «Characterising turbine availability: Many uses, many definitions», 13 April 2011.

[20] Harman, K., Walker, R., Wilkinson, M., «Availability Trends Observed At Operational Wind Farms», EWEC 2008, Brussels.

[21] State of the Art and Technology Trends for Offshore Wind Energy: Operation and Maintenance Issues, G.J.W. van Bussel, A.R. Henderson.

[22] Van Bussel G.J.W. – «Reliability, availability and maintenance aspects of large-scale offshore wind farms, a concepts study», Delft University of Technology, The Netherlands, MAREC 2001 Conference Proceedings.

[23] ΚΑΠΕ, Altener, 1997. Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και περιβάλλον. Αθήνα, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

[24] European Commission, 1999. A plan for Europe: Wind Energy – The Facts., pp. 78, 142-153. Belgium: European Communities.

[25] Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας,

<http://www.rae.gr/site/categories_new/renewable_power/regulation/national.csp>, [Ανάκτηση την 7/6/2019].