

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ – ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ- ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ



ΤΣΟΥΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (Α.Μ 6013)
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΒΟΥΡΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ (Π.Υ)

ΙΟΥΛΙΟΣ
ΠΑΤΡΑ 2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	4
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	6
1. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	9
1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	9
1.2. ΑΝΕΜΟΣ	9
1.3. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ	10
1.4. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ	13
1.4.1. Μεταβολές ταχύτητας του ανέμου	13
1.4.2. Ισχύς και ενέργεια ανέμου	15
1.4.3. Συντελεστής απόδοσης	15
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	19
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	19
2.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	19
2.3. ΔΟΜΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	20
2.4. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	22
2.5. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ	25
2.5.1. Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα	25
2.5.2. Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα	27
2.5.3. Σύγκριση ανεμογεννητριών οριζοντίου και κάθετου άξονα	29
2.6. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ	30
2.6.1. Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας (fixed speed)	30
2.6.2. Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας (variable speed)	31
2.6.3. Σύγκριση ανεμογεννητριών σταθερών και μεταβλητών στροφών	34
3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΘΕΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	36
3.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	36
3.1.1. Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή τοποθεσίας εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας	38
3.1.2. Μετρήσεις αιολικού δυναμικού με σκοπό την εγκατάσταση ανεμογεννητριών μικρής ισχύος	43
3.2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΔΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ	45

3.3.	ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	46
3.4.	ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ	47
4.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ	48
4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	48
4.2.	ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	48
4.2.1.	Αιολικό δυναμικό Ευβοίας	48
4.2.2.	Ενεργειακές ανάγκες οικίας	51
4.2.3.	Επιλογή οικιακής ανεμογεννήτριας	54
4.3.2.1.	<i>Παραγομένη ενέργεια Ανεμογεννήτριας</i>	<i>58</i>
4.3.2.2.	<i>Απώλειες ενέργειας</i>	<i>59</i>
4.3.2.3.	<i>Βασικά μέρη διάταξης εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας</i>	<i>62</i>
4.3.2.4.	<i>Σύνδεση ανεμογεννήτριας και αποθήκευση ενέργειας στους συσσωρευτές</i>	<i>63</i>
4.3.2.5.	<i>Μετατροπέας DC - AC (Inverter)</i>	<i>70</i>
4.3.2.6.	<i>Ρυθμιστής Φόρτισης</i>	<i>72</i>
4.3.2.7.	<i>Τοποθέτηση Ανεμογεννήτριας</i>	<i>73</i>
4.3.2.8.	<i>Αντικεραυνική προστασία</i>	<i>74</i>
5.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ	76
5.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	76
5.2.	ΟΡΓΑΝΟΓΡΑΜΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	76
5.3.	ΚΟΣΤΟΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	79
5.3.1.	Κόστος Αγοράς Ανεμογεννήτριας	79
5.3.2.	Κόστος γης – υποδομής	80
5.3.3.	Αιολικό δυναμικό περιοχής	80
5.3.4.	Κόστος kWh συμβατικών ενεργειακών σταθμών	81
5.3.5.	Διάρκεια ζωής ανεμογεννήτριας	82
5.3.6.	Κόστος χρήματος	82
5.3.7.	Κόστος συντήρησης	82
5.3.8.	Απόσβεση εγκατάστασης ανεμογεννήτριας	83
6.	ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ	84
6.1.	ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ	84
6.1.1.	Προβλήματα θορύβου	84
6.1.2.	Προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών	85
6.1.3.	Αισθητικά προβλήματα	86
6.1.4.	Επίδραση στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες	86

6.1.5. Επίπτώσεις στον πληθυσμό πουλιών	87
6.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ.....	88
7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	90
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	93
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ	102

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και πραγματοποιεί μελέτη εγκατάστασης και λειτουργίας ανεμογεννήτριας Οικιακής χρήσης.

Αφορμή για την παρούσα πτυχιακή εργασία αποτέλεσε η πρόθεσή μου να ασχοληθώ με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με στόχο την μέγιστη εκμετάλλευση ενέργειας. Στο παρόν τεύχος της πτυχιακής εργασίας μου αναφέρεται στο κύκλωμα εγκατάστασης του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού καθώς και στον τρόπο λειτουργίας του συστήματος μιας ανεμογεννήτριας οικιακής χρήσης. Ελπίζω στο μέλλον να γίνει εφικτή μια εγκατάσταση ανεμογεννήτριας στο χώρο του Τμήματος των Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας με σκοπό την παραγωγή ενέργειας και την χρήση προς την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του τμήματος.

Από τη θέση αυτή θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον Επιβλέποντα Παν/κό Υπότροφο κ.Βούρο Α., υπεύθυνο καθηγητή μου, για τις πολύτιμες συμβουλές του και την αμέριστη συμπαράστασή του κατά την διεξαγωγή της παρούσας εργασίας. Τον ευχαριστώ για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίησή της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την υπομονή και στήριξη που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας αλλά και συνολικά κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

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

Ο σπουδαστής

(Ονοματεπώνυμο)

.....

Υπογραφή

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει σκοπό την μελέτη, την εγκατάσταση και την λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας οικιακής χρήσης, η οποία θα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες οικίας 70m² που βρίσκονται στην Εύβοια και συγκεκριμένα στην περιοχή Κάψαλα.

Στο Πρώτο Κεφάλαιο πραγματοποιείται μια σύντομη ιστορική αναδρομή της αιολικής ενέργειας. Αναλύεται ο άνεμος και οι τρόποι μέτρησης του αιολικού δυναμικού. Δίνονται τα βασικά στοιχεία της αεροδυναμικής, τα οποία είναι η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου, η ισχύς και η ενέργειας του ανέμου και ο συντελεστής απόδοσης. Τα στοιχεία αυτά δίνονται με στόχο την διεξαγωγή των υπολογισμών που πρέπει να πραγματοποιηθούν για την ανεμογεννήτριας.

Στο Δεύτερο Κεφάλαιο αναλύεται η αρχή λειτουργίας και η δομή μιας ανεμογεννήτριας. Ακολουθεί η ταξινόμηση των ανεμογεννητριών και αναλύονται οι βασικοί τύποι τους που διαχωρίζονται σύμφωνα με τον άξονα και την ταχύτητα. Σε κάθε κατηγορίες δίνονται τα βασικά χαρακτηριστικά καθώς και τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα κάθε τύπου. Επιπλέον, πραγματοποιείται η σύγκριση των τύπων κάθε κατηγορίας.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο περιγράφεται ο τρόπος επιλογής της θέσης εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας και οι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη με στόχο την βέλτιστη απόδοση της. Επιπλέον, καταγράφονται οι βασικές άδειες της ενεργειακής νομοθεσίας και γίνεται και η τιμολόγηση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Σημειώνεται ότι δίνεται και Παράρτημα με την απαραίτητη Νομοθεσία καθώς και με την διαδικασία δανειοδότησης των ανεμογεννητριών μικρής ισχύος.

Στο Τέταρτο Κεφάλαιο πραγματοποιείται η μελέτη εγκατάστασης της οικιακής ανεμογεννήτριας. Αρχικά δίνεται η ακριβή τοποθεσία της οικίας (χάρτης) και ακολουθούν οι απαραίτητες πληροφορίες για το αιολικό δυναμικό της περιοχής, όπως αυτό έχει δοθεί από τις ερευνητικές μελέτες. Στην συνέχεια καταγράφονται οι ενεργειακές ανάγκες της οικίας και σύμφωνα με αυτές γίνεται επιλογή της ανεμογεννήτριας. Ακολουθούν οι υπολογισμοί με στόχο την διαβεβαίωση της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών και την καταλληλότητα της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας.

Στο Πέμπτο Κεφάλαιο πραγματοποιείται η οικονομοτεχνική μελέτης της οικιακής ανεμογεννήτριας. Δίνεται το οργανόγραμμα της οικονομοτεχνικής μελέτης και αναλύεται το κόστος της ανεμογεννήτριας και οι βασικοί παράμετροι που το επηρεάζουν όπως το κόστος γης, το κόστος συντήρησης το κόστος χρήματος κ.ά..

Τέλος, δίνονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας καθώς και η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε με σκοπό την εκπόνηση της.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η κινητήριος δύναμη στις δραστηριότητες των ανθρώπων καθώς επίσης και στην οικονομία και την τεχνολογία είναι η ενέργεια. Η κατά κεφαλή κατανάλωση ενέργειας αποτελεί κριτήριο της ποιότητας του βιοτικού επιπέδου ενός λαού, καθώς τα δύο μεγέθη σχετίζονται σχεδόν γραμμικά.

Οι ενεργειακές ανάγκες που παρουσιάζονται στην καθημερινότητα των ανθρώπων καλύπτονται από τις συμβατικές ενεργειακές πηγές (πετρέλαιο, βενζίνη και άνθρακα). Ωστόσο, η ολοένα αυξημένη ζήτηση τους θα οδηγήσει στην μη διαθεσιμότητα τους, αφού η επάρκεια των αποθεμάτων δεν είναι δεδομένη. Η κατανάλωση των συμβατικών καυσίμων πραγματοποιείται με γοργούς ρυθμούς με συνέπεια το πρόβλημα να γίνεται εντονότερο με το πέρασμα των χρόνων. Επιπλέον, οι αρνητικές επιπτώσεις που προκαλούν στο περιβάλλον είναι να το ρυπαίνουν ανεπανόρθωτα με συνέπεια να αναζητούνται νέοι τρόποι κάλυψης των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη χωρίς να τον επιβαρύνουν.

Οι περισσότερες χώρες στον κόσμο έχουν συνειδητοποιήσει την επείγουσα ανάγκη για παραγωγή ενέργειας, χωρίς την πρόκληση ρύπανση. Η λύση του προβλήματος είναι η παραγωγή ενέργειας από της Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.), όπου είναι πηγές που υπάρχουν σε αφθονία στο φυσικό περιβάλλον. Οι Α.Π.Ε. αναπληρώνονται μέσω των φυσικών κύκλων και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, η γεωθερμία, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες, όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας, που η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Εξάλλου, η αξιοποίησή τους για την παραγωγή ενέργειας δεν επιβαρύνει το περιβάλλον.

Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό Α.Π.Ε., οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μια πραγματική εναλλακτική λύση για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών μας αναγκών, συνεισφέροντας στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικά καύσιμα, στην ελάττωση του φαινομένου του Θερμοκηπίου, στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας καθώς και στην ανάπτυξη αποκεντρωμένων περιοχών.

Οι Α.Π.Ε. διαχωρίζονται σε κάποιες βασικές κατηγορίες οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

Αιολική ενέργεια: δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία, γιατί η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργώντας με τον τρόπο αυτό τους ανέμους. Είναι μια ήπια μορφή ενέργειας, φιλική προς το περιβάλλον και πρακτικά ανεξάντλητη. Αυτή η κατηγορία ανανεώσιμης ενέργειας είναι ευρέως γνωστή για την παραγωγή ηλεκτρισμού, αφού η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται σχεδόν αποκλειστικά με μηχανές που μετατρέπουν την ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική και ονομάζονται ανεμογεννήτριες.



Εικόνα 1: Αιολικό πάρκο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [1]

Ηλιακή ενέργεια: δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Ο ήλιος εκπέμπει τεράστια ποσότητα ενέργειας. Η ηλιακή ακτινοβολία αξιοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρισμού με δύο τρόπους: με θερμικές και φωτοβολταϊκές εφαρμογές. Η πρώτη είναι η συλλογή της ηλιακής ενέργειας με στόχο την παραγωγή θερμότητας (χρησιμοποιείται κυρίως για τη θέρμανση του νερού και τη μετατροπή του σε ατμό για την κίνηση τουρμπινών), ενώ στη δεύτερη εφαρμογή τα φωτοβολταϊκά συστήματα μετατρέπουν το φως του ήλιου σε ηλεκτρισμό με τη χρήση φωτοβολταϊκών κυψελών ή συστοιχιών.



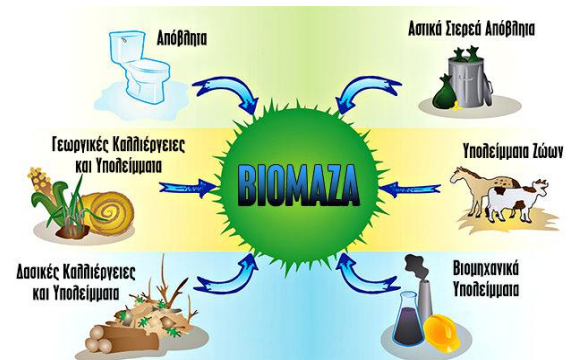
Εικόνα 2: Φωτοβολταϊκό σύστημα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας [1]

Γεωθερμική ενέργεια: είναι η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα. Ανάλογα με τη θερμοκρασία, η γεωθερμική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές. Η εκμετάλλευση της πραγματοποιείται με την αξιοποίηση της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στα υπόγεια πετρώματα και την επιφάνεια της γης. Η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται, είτε άμεσα ως θερμότητα, είτε με το μετασχηματισμό της σε ηλεκτρική ενέργεια.



Εικόνα 3: Η χρήση γεωθερμίας για μεταφορά ενέργειας/θερμότητας [2]

Βιομάζα: χρησιμοποιεί τους υδατάνθρακες των φυτών (κυρίως αποβλήτων της βιομηχανίας ξύλου, των τροφίμων, των ζωοτροφών και της βιομηχανίας ζάχαρης) με σκοπό την αποδέσμευση της ενέργειας που δεσμεύτηκε από το φυτό με τη φωτοσύνθεση. Ακόμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αστικά απόβλητα και απορρίμματα. Έχει την δυνατότητα να δώσει βιοαιθινόλη και βιοαέριο που είναι καύσιμα πιο φιλικά προς το περιβάλλον από τα παραδοσιακά. Είναι μια πηγή ενέργειας με πολλές δυνατότητες και εφαρμογές.



Εικόνα 4: Βιομάζα όπου η παραγόμενη ενέργεια για την παραγωγή θερμότητας [1]

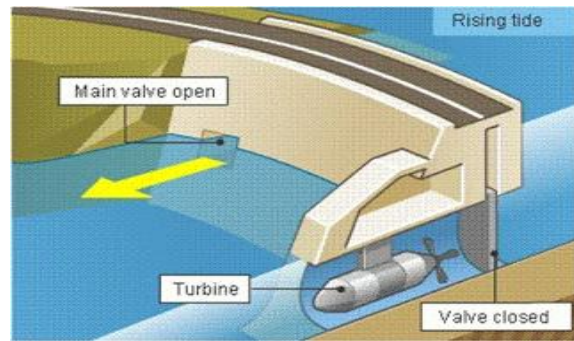
Υδραυλική ενέργεια: όταν βρίσκεται το νερό της φύσης σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο, έχει δυναμική ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε κινητική όταν αυτό ρέει προς χαμηλότερες περιοχές. Με τα υδροηλεκτρικά έργα είναι δυνατή η εκμετάλλευση της ενέργειας του νερού για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος όπου διοχετεύεται στην κατανάλωση με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τις υδραυλικές τουρμπίνες παράγει την υδροηλεκτρική ενέργεια



Εικόνα 5: Υδροηλεκτρικό φράγμα [1]

Ωστόσο, υπάρχει ακόμα μια μεγάλη κατηγορία των Α.Π.Ε. όπου είναι η *Ενέργεια της Θάλασσας* και διαχωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

Ενέργεια από παλίρροιες: εκμεταλλεύεται τη βαρύτητα του Ήλιου και της Σελήνης, που προκαλεί ανύψωση της στάθμης του νερού. Τα εισερχόμενα νερά της παλίρροιας στην ακτή κατά την πλημμυρίδα μπορούν να παγιδευτούν σε φράγματα, οπότε κατά την άμπωτη τα αποθηκευμένα νερά ελευθερώνονται και αναγκάζονται να περάσουν από την τουρμπίνα με συνέπεια να κινούν υδροστρόβιλο, παράγοντας ηλεκτρισμό. Τα πλέον κατάλληλα μέρη για την κατασκευή σταθμών ηλεκτροπαραγωγής είναι οι στενές εκβολές ποταμών.



Εικόνα 6: Φράγμα στις εκβολές ποταμού για την εκμετάλλευση της ενέργειας από παλίρροιες [3]

Ενέργεια από κύματα: εκμεταλλεύεται την κινητική ενέργεια των κυμάτων της θάλασσα όπου η ενέργεια αυτή μπορεί να περιστρέψει την τουρμπίνα. Η ανυψωτική κίνηση του κύματος πιέζει τον αέρα προς τα πάνω, μέσα στο θάλαμο και θέτει σε περιστροφική κίνηση την τουρμπίνα έτσι ώστε η γεννήτρια να παράγει ρεύμα. Αυτός είναι ένας μόνο τύπος εκμετάλλευσης της ενέργειας των κυμάτων. Η παραγόμενη ενέργεια είναι σε θέση να καλύψει τις ανάγκες μιας οικίας, ενός φάρου κ.ά..



Εικόνα 7: Διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον κυματισμό της θάλασσας [4]

Ενέργεια από ωκεανούς: εκμεταλλεύεται τη διαφορά θερμοκρασίας ανάμεσα στα στρώματα του ωκεανού, κάνοντας χρήση θερμικών κύκλων. Η θερμική ενέργεια των ωκεανών μπορεί να αξιοποιηθεί με την εκμετάλλευση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου επιφανειακού νερού και του ψυχρότερου νερού του πυθμένα. Η τεχνολογία μετατροπής της ωκεάνιας θερμικής ενέργειας, χρησιμοποιεί σε πρώτη φάση το θερμό νερό για να ζεστάνει σε ειδικό θάλαμο μια ποσότητα υγρού που έχει χαμηλό σημείο βρασμού, όπως η αμμωνία ή ένα μίγμα αμμωνίας και νερού. Όταν το μίγμα αυτό βράσει, το αέριο που απελευθερώνεται δημιουργεί αρκετή πίεση ώστε να οδηγήσει έναν αεριοστρόβιλο ο οποίος παράγει την ενέργεια. Στη συνέχεια, το αέριο αυτό παγώνει καθώς διέρχεται μέσα από το ψυχρό νερό του πυθμένα του ωκεανού. Σημειώνεται ότι η μέθοδος βρίσκεται ακόμα σε ερευνητικό στάδιο.

1.ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η αιολική ενέργεια παρέχει την δυνατότητα συνεχούς εκμετάλλευσης για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών που παρουσιάζονται καθημερινά, αφού πρακτικά είναι ανεξάντλητη. Το γεγονός αυτό είχε γίνει αντιληπτό κατά την αρχαιότητα, όπως επιβεβαιώνεται από αναφορές της αρχαίας μυθολογίας. Η αναγνώριση της αξία διαχείρισης του ανέμου διακρίνεται κατά τον Όμηρο, όπου θέλησε τον εγκλεισμό των ανέμων στους ασκούς του Αιόλου και τη μεταφορά και διάθεσή τους, όταν αυτό κρίνονταν απαραίτητο.

Στην συνέχεια ο άνεμος χρησιμοποιήθηκε ως κινητήρια δύναμη των ιστιοφόρων πλοίων όπου εξυπηρετούσαν πολεμικούς σκοπούς αλλά και για τις μεταφορές προϊόντων απαραίτητων για την επιβίωση των λαών. Με πέρασμα των χρόνων και την ανάπτυξη της τεχνολογίας οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούν τον άνεμο για να εξυπηρετήσουν ανθρώπινες δραστηριότητες κυρίως στον τομέα της γεωργίας.

Όλα τα προαναφερόμενα καθιστούν την αξιοσημείωτη διεξόδυση της αιολικής ενέργειας στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Όμως η ανακάλυψη και η χρήση συμβατικών καυσίμων οδηγεί στην περιθωριοποίηση της αιολικής ενέργειας, αφού δίνεται η δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία είναι απαραίτητη για την επιβίωση των ανθρώπων και για την υλοποίηση των καθημερινών δραστηριοτήτων τους.

Ωστόσο, η πετρελαϊκή κρίση της δεκαετίας του '70 και η σημαντική αύξηση της τιμής του πετρελαίου που επέφερε, σε συνδυασμό με την επαλήθευση της συσχέτισης της μόλυνσης του πλανήτη με τη χρήση συμβατικών καυσίμων, συνετέλεσαν στην παρακίνηση του παγκόσμιου ενδιαφέροντος για την αξιοποίηση του ανεξάντλητου, οικονομικότερου και φιλικού προς το περιβάλλον αιολικού δυναμικού.

Τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας οδηγούν στην δημιουργία αιολικών πάρκων για την μετατροπή της οικονομικής αυτής ενέργειας σε ηλεκτρική. Βελτιωμένα συστήματα υπόσχονται την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στο μέγιστο βαθμό (Αντωνάκη, 2010).

1.2. ΑΝΕΜΟΣ

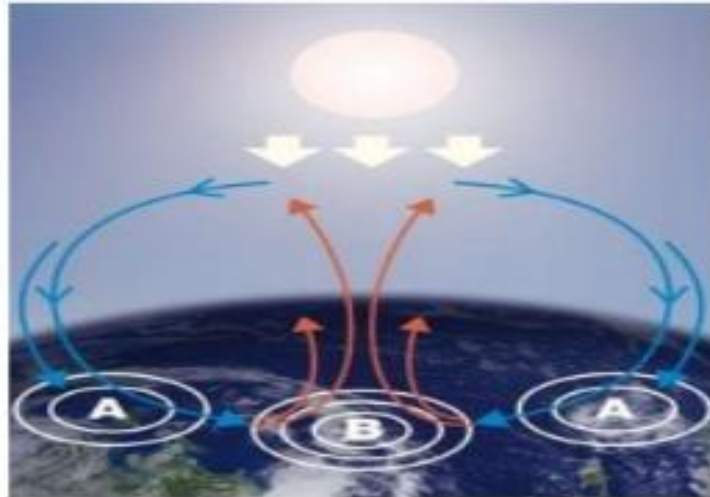
Άνεμος ονομάζεται κάθε οριζόντια μετακίνηση μάζας ατμοσφαιρικού αέρα. Ο άνεμος είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών πιέσεων που επικρατούν από τόπο σε τόπο. Οι μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης, δηλαδή τα βαρομετρικά χαμηλά, βαρομετρικά υψηλά και οι αλλαγές της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα προκαλούν δύο είδη κίνησης στα μόρια του αέρος:

- Την κατακόρυφο κίνηση των αερίων μαζών (ανοδικά και καθοδικά ρεύματα)
- Την οριζόντια κίνηση των αερίων μαζών.

Σημειώνεται ότι η οριζόντια κίνηση ή ροή των μορίων του αέρα μας δίνει την έννοια του ανέμου. Ο άνεμος χαρακτηρίζεται από δύο στοιχεία, την διεύθυνση και την ένταση.

Αναλυτικότερα η κίνηση του αέρα πραγματοποιείται με μία κυκλική ανοδική – καθοδική κίνηση θερμών και ψυχρών αερίων μαζών δημιουργώντας τα αιολικό δυναμικό. Όταν λοιπόν, μια αέρια μάζα θερμανθεί, εκτονώνεται με συνέπεια να γίνεται πιο ελαφριά και να έχει ανοδική πορεία. Ωστόσο, η θέση της δεν μένει κενή αφού καταλαμβάνεται από μια άλλη αέρια μάζα χαμηλότερης θερμοκρασίας από αυτή. Γενικά ένα ατμοσφαιρικό στρώμα ατμοσφαιρικού αέρα θα έρθει σε επαφή με τη γήινη επιφάνεια θα θερμανθεί και θα ανέλθει, τη θέση του θα πάρει ένα ψυχρότερο στρώμα όπου με την σειρά του θα θερμανθεί και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.

Όμως η κίνηση των αέριων μαζών επηρεάζεται και από την περιστροφή της γης, όπου διαμορφώνεται και το βαρομετρικό στο οποίο πραγματοποιείται η κυκλική κίνηση των αέριων μαζών. Αποτέλεσμα αυτού είναι η διαμόρφωση των ανέμων σύμφωνα με τα τοπικά φαινόμενα που οφείλονται στην ανομοιομορφία του εδάφους καθώς και στις διαφορές των βαρομετρικών πιέσεων. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι αυτό συμβαίνει από την άνιση θέρμανση των διαφορετικών περιοχών λόγω της θέσης του ήλιου (Εικόνα 1.1).



Εικόνα 1.1: Κύκλος θέρμανσης και ψύξης αιολικού δυναμικού [5]

Ωστόσο, η μετακίνηση των αέριων μαζών επηρεάζεται και από τον παράγοντα της θερμοχωρητικότητας αφού η στεριά έχει μικρότερη θερμοχωρητικότητα από τη θάλασσα με συνέπεια η διακύμανση της θερμοκρασίας να πραγματοποιείται με γρήγορους ρυθμούς. Το φαινόμενο αυτό δίνει την δυνατότητα στην πραγματοποίησει συνεχόμενων μετακινήσεων των αέριων στρωμάτων από τη θάλασσα στην στεριά την ημέρα για να θερμανθούν και το αντίστροφο κατά την διάρκεια της νύχτας, όπου η θάλασσα παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες από την ξηρά (Μπάρλας, 2012).

1.3. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Για την σωστή εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού θα πρέπει να πραγματοποιούνται μετρήσεις του ανέμου με στόχο την καταγραφή σημαντικών δεδομένων και την αξιοποίηση αυτών, δημιουργώντας σαφή εικόνα για τα αιολικά στοιχεία μίας περιοχής (Μπάρλας, 2012).

Για την μέτρηση του ανέμου και την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού χρησιμοποιούνται ειδικές συσκευές, οι οποίες ονομάζονται ανεμόμετρα και έχουν την δυνατότητα μέτρησης της ταχύτητας και την διεύθυνσης του ανέμου. Τα ανεμόμετρα ταχύτητας θεωρούνται τα απλούστερα, αφού η ένταση του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής που επιβάλλει ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης του ανέμου. Ωστόσο, στην περίπτωση που επιθυμείται καταγραφή στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα πίεσης, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου.

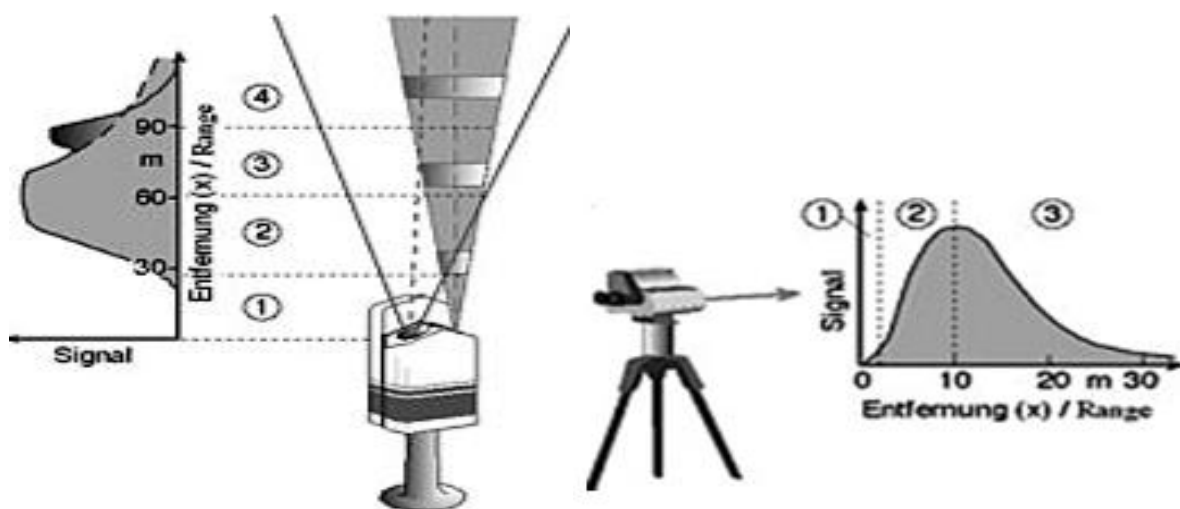
Τα πιο κλασσικά και διαδεδομένα ανεμόμετρα ταχύτητας είναι τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα, όπου αποτελούνται από ένα κατακόρυφο άξονα στην κορυφή του οποίου υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι. Στα άκρα κάθε

βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο, σε τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη (Σαρλάνης, 2014).



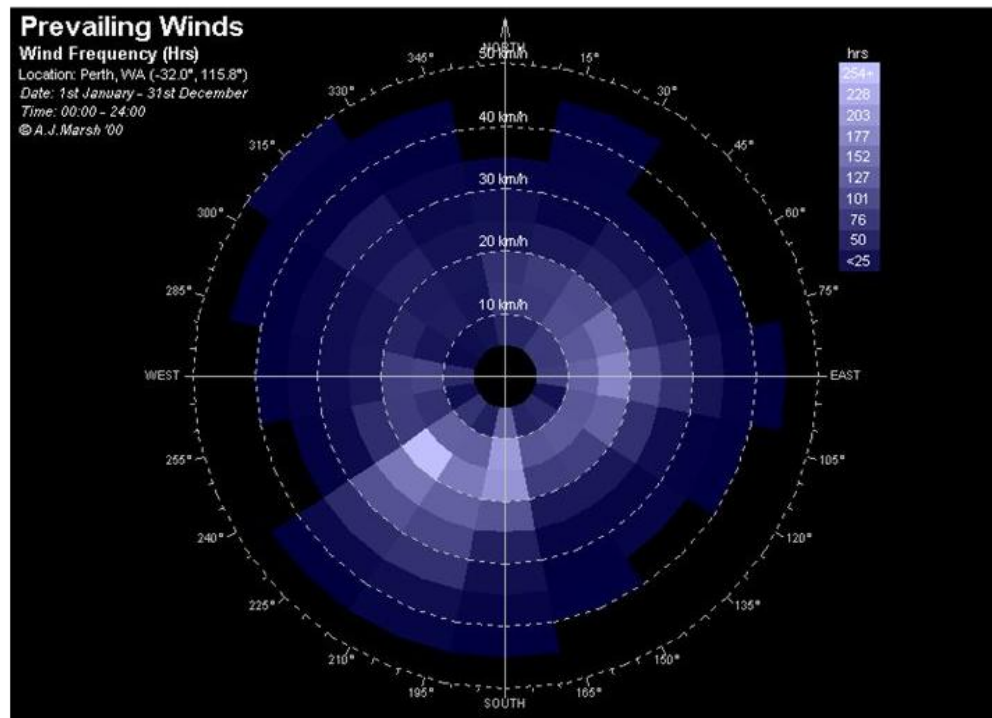
Εικόνα 1.2: Κυπελλοφόρα ανεμόμετρα (1.Vector 2.Thies 3.NRG)
(Βασιλείου, 2013)

Είναι σημαντικό να τονιστεί το σύστημα LiDar (light detection and ranging) όπου είναι ένα νέο τεχνολογικό σύστημα αιχμής για τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου σε μεγάλα ύψη και σε κάθε είδους καιρικές συνθήκες. Το σύστημα LiDar είναι μια πρωτοποριακή υπηρεσία που επιλύει το πρόβλημα της εγκατάστασης ιστών σε δυσπρόσιτες περιοχές, όπου το κόστος είναι υψηλό και οι συνθήκες εργασίας δυσμενείς. Συγκεκριμένα το σύστημα LiDar μετρά την ταχύτητα του αέρα έως και 150 μέτρα από το έδαφος, εκπέμποντας καθ' ύψος μία δέσμη laser. Διαθέτει ειδικές προδιαγραφές για διαρκή και αδιάλειπτη λειτουργία σε αντίξοες καιρικές συνθήκες, καθώς και ενσωματωμένες μονάδες υψηλής τεχνολογίας για την ανάλυση και επεξεργασία του σήματος. Η λειτουργία του συστήματος είναι πλήρως αυτοματοποιημένη (Βασιλείου, 2013).



Σχήμα 1.1: LiDar (light detection and ranging) [6]

Όμως σημαντική πληροφορία για τον άνεμο είναι η συχνότητα εμφάνισης κάθε κατεύθυνσης, η οποία μπορεί να δοθεί από το ροδόγραμμα του ανέμου (Σχήμα 1.2). Σημειώνεται ότι ως διεύθυνση/ κατεύθυνση του ανέμου ορίζεται το σημείο του ορίζοντα από το οποίο φυσά ο άνεμος σε σχέση με την θέση στην οποία μετράμε. Η διεύθυνση του ανέμου «ταλαντώνεται» συνεχώς γύρω από μία μέση θέση εμφανίζοντας όμως μικρότερες διακυμάνσεις από την ταχύτητα του ανέμου. Από το ροδόγραμμα δίνει την κατεύθυνση του ανέμου κατά την διάρκεια πνοής του σε συγκεκριμένη περιοχή. Ωστόσο, η δημιουργία του μπορεί να πραγματοποιηθεί μετά την συλλογή μετρήσεων μεγάλης χρονικής διάρκειας (10 έτη), ώστε να θεωρηθούν αξιόπιστες (Μπάρλας, 2012).



Σχήμα 1.2:Ροδόγραμμα του ανέμου
(Γαρίνη, 2012).

Σύμφωνα με την Γαρίνη (2012) οι κύριες διευθύνσεις του ανέμου είναι αυτές που συνεισφέρουν τουλάχιστον 10% στην συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια καθώς και αυτές που εξαρτώνται από τους προσανατολισμούς των τοποθεσιών, από την βλάστηση και από τα χαρακτηριστικά του εδάφους (λόφοι, βουνά, κοιλάδες, κτίρια κ.ά.). Επιπλέον, ως επικρατούσες διευθύνσεις του ανέμου αυτές που εμφανίζουν στην περιοχή που μελετάμε την μεγαλύτερη συχνότητα και η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου αλλάζει συχνά με την εποχή.

Ωστόσο υπάρχει και ο διαχωρισμός των περιοχών σε κατηγορίες οι οποίες είναι οι ακόλουθες:

- Προσήνεμη: Ο χώρος μεταξύ του σημείου που θέλουμε να εγκαταστήσουμε την αιολική μηχανή και του σημείου του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος (επικρατούσα διεύθυνση).
- Υπήνεμη: Η περιοχή που είναι προστατευόμενη από τον άνεμο. Συχνά είναι η αντίθετη της προσήνεμης. Περιοχή που εκτίθεται σε ανέμους με ελάχιστη συχνότητα εμφάνισης.

1.4. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Τα βασικά στοιχεία της αεροδυναμικής θεωρίας είναι τα ακόλουθα:

- Μεταβολές ταχύτητας του ανέμου
- Ισχύς και ενέργεια ανέμου
- Συντελεστής απόδοσης

Σκοπός της ανάλυσης αυτών των στοιχείων είναι η κατανόηση των αιολικών φαινομένων καθώς και κάποια ενεργειακά δεδομένα που μπορούν να προκύψουν από την μελέτη της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

1.4.1. Μεταβολές ταχύτητας του ανέμου

Το βασικό κριτήριο μέτρησης του ανέμου είναι η ταχύτητα όπου δεν είναι σταθερή σε χρόνο και ένταση. Θεωρείται σχεδόν ακατόρθωτο να υπολογιστεί ο χρόνος και η ένταση του ανέμου. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ταχύτητα να είναι μια συνεχής τυχαία μεταβολή που μπορεί να προσδιοριστεί με μαθηματικά μοντέλα.

Το μοντέλο που χρησιμοποιείται συνήθως για τον προσδιορισμό της κατανομής της ταχύτητας του ανέμου είναι μια κατανομή Weibull δύο παραμέτρων αφού έχει την δυνατότητα να προσαρμοστεί σε μεγάλο εύρος κατανομών. Το μοντέλο Weibull αντικατοπτρίζει την πραγματική διανομή των ωραίων ταχυτήτων του ανέμου σε πολλές περιοχές.

Η διανομή Weibull προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας βάσει μόνο δύο παραμέτρων, οι οποίες είναι της μορφοποίησης και της κλίμακας. Η σχέση είναι η ακόλουθη:

$$f_{(v)}dV = \frac{k}{c} \left[\frac{v}{c} \right]^{k-1} * \exp \left\{ - \left[\frac{v}{c} \right]^k \right\} dV \quad (1.1)$$

Ολοκληρώνοντας την σχέση 1.1 δίνεται η εξής εξίσωση:

$$f_{(v)} = \frac{k}{c} \left[\frac{v}{c} \right]^{k-1} * e^{- (v/c)^k} \quad (1.2)$$

Οι παράμετροι κλίμακας c και μορφοποίησης k δίνονται από τους εξής τύπους:

$$c = \frac{2\bar{v}}{\sqrt{\pi}} \quad (1.3)$$

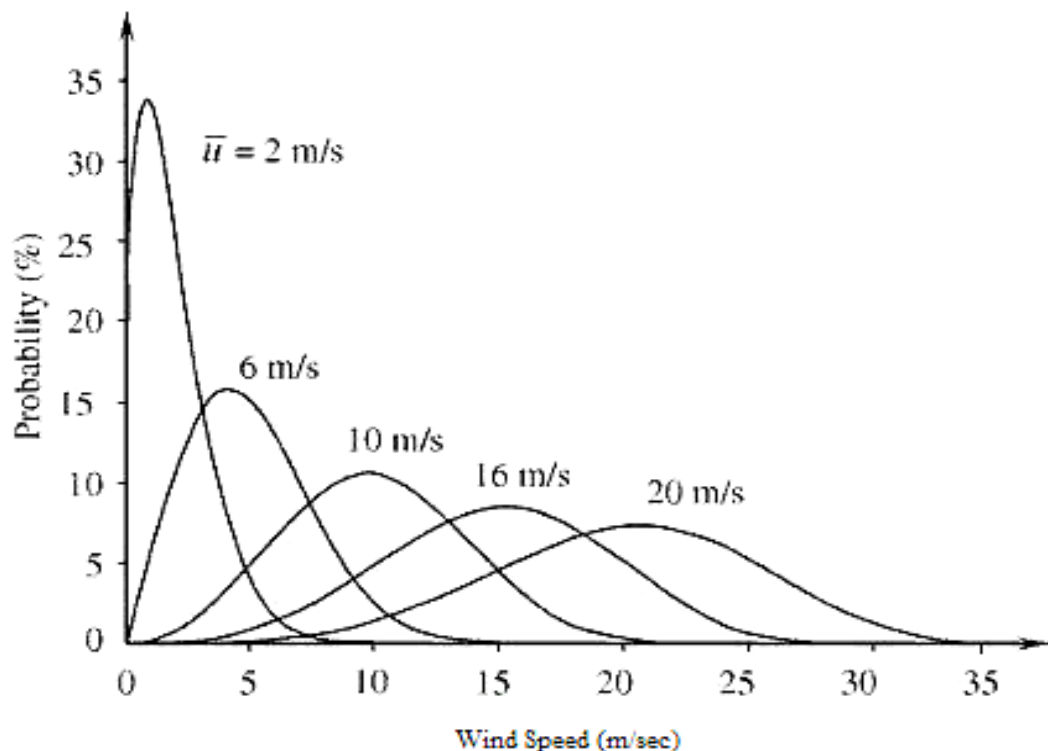
και

$$k = \frac{3c^3\sqrt{\pi}}{2\bar{v}^3} \quad (1.4)$$

Όπου:

$f_{(v)}$ = πυκνότητα πιθανότητας
 v = ταχύτητα του αέρα >0m/sec
 k = παράμετρος μορφοποίησης >0
 c = παράμετρος κλίμακας >0

Έχει παρατηρηθεί ότι μεγάλα χρονικά διαστήματα εβδομάδων, αλλά και μεγαλύτερα μπορούν να περιγραφούν ικανοποιητικά με την κατανομή Weibull, με το μειονέκτημα όμως να βρίσκεται στα μικρότερα διαστήματα που έχει η μέθοδος, όπου χάνεται αρκετά η ακρίβεια.



Διάγραμμα 1.1: Γραφική παράσταση κατανομής Weibull
Οι καμπύλες είναι το μοντέλο διανομής Rayleigh
(Μπάρλας, 2012)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το μοντέλο Rayleigh προσαρμόζεται σε ένα δείγμα δεδομένων, όπου δίνεται συνάρτηση της Weibull στην οποία καταγράφεται και η παράμετρος μορφοποίησης και περιγράφεται αρκετά καλά η πραγματική ωριαία κατανομή της ταχύτητας του ανέμου σε πολλές περιοχές (Γκίκας, 2011 ; Μπάρλας, 2012).

Για την σχεδίαση της καμπύλης Weibull θα πρέπει να αρχικά να υπολογιστεί η πιθανότητα για κάθε ταχύτητα ξεκινώντας από το 0 m/sec χωρίζοντας τις ταχύτητες σε κλάσεις εύρους 1m/sec, όπου συνθέτουν την κατανομή συχνοτήτων. Πειραματικές μελέτες έχουν αποδείξει ότι όταν μετρηθούν όλες οι ταχύτητες του ανέμου σε μία συγκεκριμένη περιοχή για ένα χρόνο, τότε δίνεται η δυνατότητα να παρατηρηθεί ότι οι πού ισχυροί άνεμοι είναι σπανιότερο να εμφανιστούν από ότι οι μέτριοι ή ασθενείς. Σημειώνεται ότι η ίδια σπανιότητα με τους ισχυρούς ανέμους υπάρχει για να επικρατήσει πλήρης άπνοια. Άρα η πιθανότητα να επικρατούν άνεμοι μηδενικής έντασης είναι πολύ κοντά στο μηδέν όπως επίσης η πιθανότητα να επικρατούν άνεμοι πού ισχυροί είναι επίσης πολύ μικρή.

Η εξοικείωση με το γράφημα κατανομής Weibull δίνει την δυνατότητα κατανόησης της διεξαγωγής μιας κατανομής πυκνότητας πιθανοτήτων. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η περιοχή – εμβαδό που σχηματίζει η κατανομή είναι πάντοτε ίση με την μονάδα. Επιπλέον, το αθροιστικό των συνολικών πιθανοτήτων θα ισούται με το 100%.

Αν παρατηρηθεί το γράφημα κατανομής Weibull διαπιστώνεται ότι η μισή επιφάνεια βρίσκεται αριστερά της γραμμής της κατανομής και η υπόλοιπη μισή βρίσκεται δεξιά της, γραμμή κατανομής προσδιορίζει ότι το μισό χρόνο η ταχύτητα του ανέμου θα βρίσκεται κάτω από αυτή και τον υπόλοιπο χρόνο πάνω από αυτή. Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι

ότι η μορφή της κατανομή διαφέρει από τόπο σε τόπο και εξαρτάται από τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, τα ανάγλυφο του εδάφους και άλλους γεωγραφικούς παράγοντες (Σαριδάκης & Σωτηρόπουλος, 2006).

1.4.2. Ισχύς και ενέργεια ανέμου

Η ενέργεια του ανέμου μπορεί να υπολογισθεί από την μαθηματική σχέση της κινητικής ενέργειας και δίνεται από τον τύπο:

$$E = \frac{1}{2}mv^2(t) \quad (1.5)$$

Όπου:

m= η μάζα του αέρα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα(gr/sec)

v= η ταχύτητα του αέρα (m/sec)

Για να δοθούν όμως καλύτερα αποτελέσματα θα πρέπει να μεταφέρουμε τον τύπο σε μία μονάδα πιο ουσιαστική στην θεωρία περύγωσης και να υπολογιστεί η ισχύς που παράγεται σε μία επιφάνεια από μια ταχύτητα του ανέμου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιείται η επιφάνεια που διαπερνά κάθετα ο άνεμος συγκεκριμένης μάζας σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Η σχέση είναι η εξής:

$$m(t) = \rho Av(t) \quad (1.6)$$

Ακόμα η πυκνότητα υπολογίζεται από την σχέση:

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (1.7)$$

m(t)= παροχή μάζας του αέρα (gr/sec)

ρ = η πυκνότητα του αέρα (gr/m³)

A= η επιφάνεια που διαπερνά κάθετα ο αέρας (m²)

v= η ταχύτητα του ανέμου (m/sec)

R= η παγκόσμια σταθερά των αερίων (joule/mole K)

T= η απόλυτη θερμοκρασία στην περιοχή που πραγματοποιείται η μελέτη (K)

Σύμφωνα με την σχέση (1.5) και (1.6) προκύπτει η σχέση της στιγμιαίας ισχύς που παράγεται από τον άνεμο σε μία συγκεκριμένη επιφάνεια και είναι η ακόλουθη:

$$P_{wind} = \frac{1}{2}\rho Av^3(t) \quad (1.8)$$

Όπου:

P_{wind}= ισχύς που παράγεται από τον άνεμο (watt)

ρ = η πυκνότητα του αέρα (gr/m³)

A= η επιφάνεια που διαπερνά κάθετα ο αέρας (m²)

v= η ταχύτητα του ανέμου (m/sec)

1.4.3. Συντελεστής απόδοσης

Ένα μέρος της ισχύς που παράγεται χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, αυτό συμβαίνει διότι ο άνεμος δεν χάνει όλη την ενέργεια αφού συνεχίζει να έχει

μια κίνηση στον χώρο. Επιπλέον, τα πτερύγια του ανεμοκινητήρα προκαλούν εκτροπή του ανέμου.

Ο συντελεστής C_p είναι ο λόγος της μηχανικής ισχύ που παράγεται στον άξονα του ανεμοκινητήρα προς της αιολική ισχύς του ανέμου και δίνεται από την σχέση:

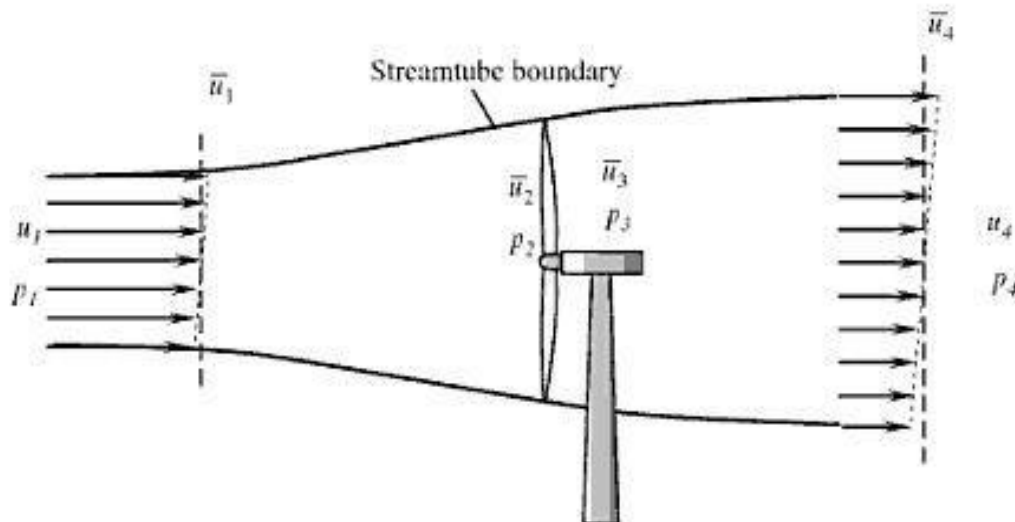
$$C_p = \frac{P_m}{P_{wind}} \quad (1.9)$$

Όπου

P_m = μηχανικής ισχύς στον άξονα του ανεμοκινητήρα

P_{wind} = αιολική ισχύς του ανέμου

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής C_p εξαρτάται από το μηχανισμό δέσμευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου, δηλαδή τον τύπο του ανεμοκινητήρα που έχει το υπομελέτη σύστημα. Άρα σύμφωνα με τον ανεμοκινητήρα υπάρχουν διαφορετικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου που ενεργεί πριν τη πρόσκρουση και της τιμής μετά από αυτή. Στο Σχήμα 1.3 απεικονίζεται το σχεδιάγραμμα ενός σωλήνα ροής ενός ανεμοκινητήρα και ειδικότερα τον λόγο των ταχυτήτων πριν και μετά τη επαφή με τα πτερύγια.



Σχήμα 1.3: Σωλήνας ροής ενός ανεμοκινητήρα
(Μπάραλας, 2012)

Η μέγιστη θεωρητική τιμή του συντελεστή C_p (Νόμος του Bentz) είναι 0.592 κάτι το οποίο πρακτικά είναι αδύνατο να επιτευχθεί, οι τιμές που δίνονται συνήθως είναι κοντά στο 0.45-0.5 και αυτό διότι υπάρχουν πολλές μηχανικές τριβές, στροβιλισμοί και άλλων αεροδυναμικών ατελειών

Ο συντελεστής C_p συνδέεται με τη ταχύτητα του ανέμου μέσω μιας σχέσης που μας δίνει την δυνατότητα να σχεδιαστεί μια καμπύλη και να παρατηρηθούν κάποια βασικά στοιχεία. Ο λόγος ταχύτητας του ακροπτερυγίου «λ» αποτελεί τον λόγο των ταχυτήτων στη βάση του ανεμοκινητήρα και αυτής στη άκρη του πτερυγίου, είναι διαστατό μέγεθος και δίνεται από την σχέση:

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

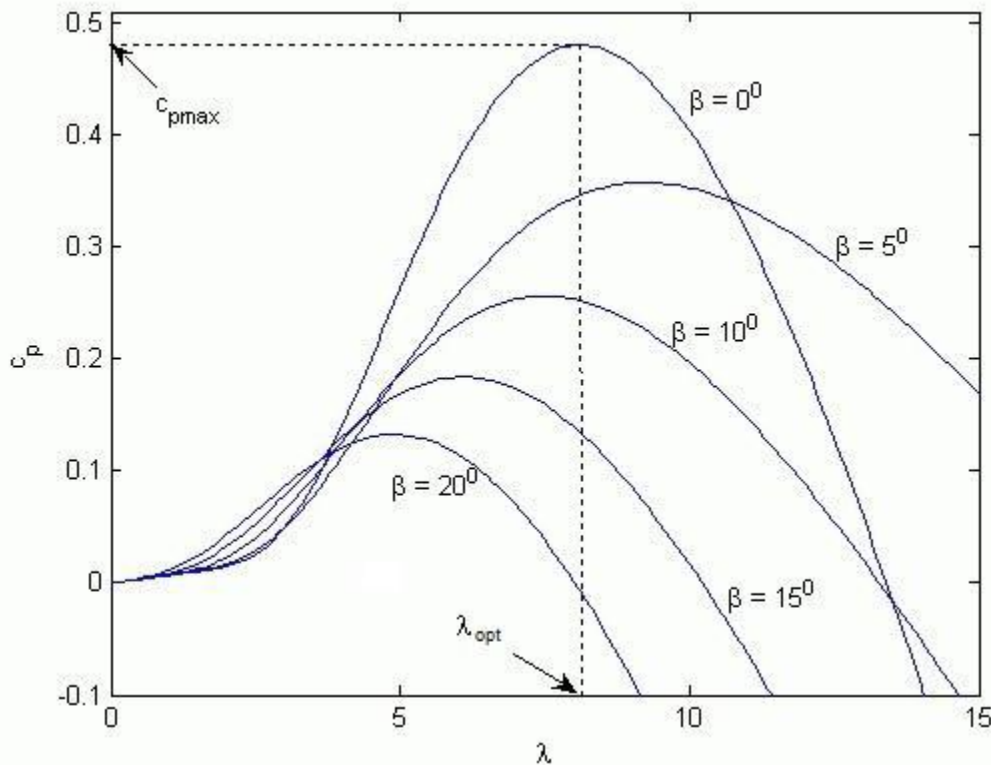
Όπου:

ω_R = η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας (rad/sec)

R = το μήκος του πτερυγίου του ανεμοκινητήρα (m)

v = η ταχύτητα του ανέμου (m/sec)

Στο Διάγραμμα 1.2 του συντελεστή C_p παρατηρείται ότι υπάρχει μια βέλτιστη τιμή του συντελεστή C_p σε μια τιμή του « λ ». Ωστόσο, η τιμή του συντελεστή C_p εξαρτάται ακόμα από μια μεταβλητή η οποία είναι η γωνία βήματος του πτερυγίου β που αποτελεί έναν ακόμα παράγοντα για τη βελτίωση της παρεχόμενης ισχύος στο δρομέα (Μπάρλας, 2012).



Διάγραμμα 1.2: Συντελεστής απόδοσης C_p σε σχέση με τη τιμή του « λ »
(Δημητρακάκης, 2014)

Όπως παρατηρείται από το παραπάνω σχήμα ο συντελεστής C_p για μηδενική γωνία βήματος ($\beta=0$), παίρνει τη μέγιστη δυνατή τιμή του $C_{p,max}$ για μια συγκεκριμένη τιμή του « λ » την οποία συμβολίζουμε λ_{opt} . Για κάθε διαφορετική τιμή της γωνίας βήματος υπάρχει μια βέλτιστη τιμή του λ για την οποία το C_p παίρνει την μέγιστη τιμή του για την συγκεκριμένη γωνία βήματος. Η βέλτιστη τιμή του « λ » (λ_{opt}), ορίζει και μια βέλτιστη τιμή για την γωνιακή ταχύτητα ακροπτερυγίου, $\omega_{R,opt}$, η οποία πλέον θα εξαρτάται μόνο από την ταχύτητα του ανέμου και ορίζεται από την σχέση:

$$\omega_{R,opt} = \frac{\lambda_{opt}}{R} \cdot v \quad (1.11)$$

Όπου:

λ_{opt} = βέλτιστη τιμή του λ (rad/sec)

R = το μήκος του πτερυγίου του ανεμοκινητήρα (m)

v = η ταχύτητα του ανέμου (m/sec)

Άρα λοιπόν για συγκεκριμένη κλίση των πτερυγίων β και για κάθε ταχύτητα ανέμου v , υπάρχει μια γωνιακή ταχύτητα ακροπτερυγίων τέτοια ώστε η ανεμογεννήτρια να απομαστεύει τη μέγιστη δυνατή ισχύ από τον άνεμο, για τη συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου (Δημητρακάκης, 2014).

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανεμογεννήτριες θεωρούνται ένα από τα μεγαλύτερα τεχνολογικά επιτεύγματα των ανθρώπων στην προσπάθεια τους να εκμεταλλευτούν την ανάπτυξη των Ανανεώσιμων Πηγών Ανεργίας. Ο στόχος των ανεμογεννητριών είναι η αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού της κινητικής ενέργειας του ανέμου με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες είναι οι σύγχρονες αιολικές μηχανές που έχουν την δυνατότητα παραγωγής ρεύματος από την αιολική ενέργεια. Με παραγόμενο ρεύμα τους μπορούν να τροφοδοτήσουν οικίες, βιομηχανίες κ.ά. Οι τοποθέτηση πολλών ανεμογεννητριών μαζί αποτελεί την δημιουργία αιολικού πάρκου.

Σύμφωνα με μελέτες έχουν επινοηθεί και εφαρμοσθεί περισσότεροι τύποι ανεμοκινητήρων από οποιονδήποτε άλλο τύπο εφεύρεσης, χωρίς όμως να έχει επιτευχθεί μέχρι σήμερα ο επιθυμητός βαθμός εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η κατασκευή και η τοποθέτηση ενός ανεμοκινητήρα και στις μέρες μας μιας ανεμογεννήτριας έχει πολύ μεγάλο κόστος και η μελέτη που θα πραγματοποιηθεί για την υλοποίηση αυτών θα έχει ως βασική παράμετρος τι ορίζει η Νομοθεσία για αυτές τις εγκαταστάσεις (Πελοποννήσιος, 2013).

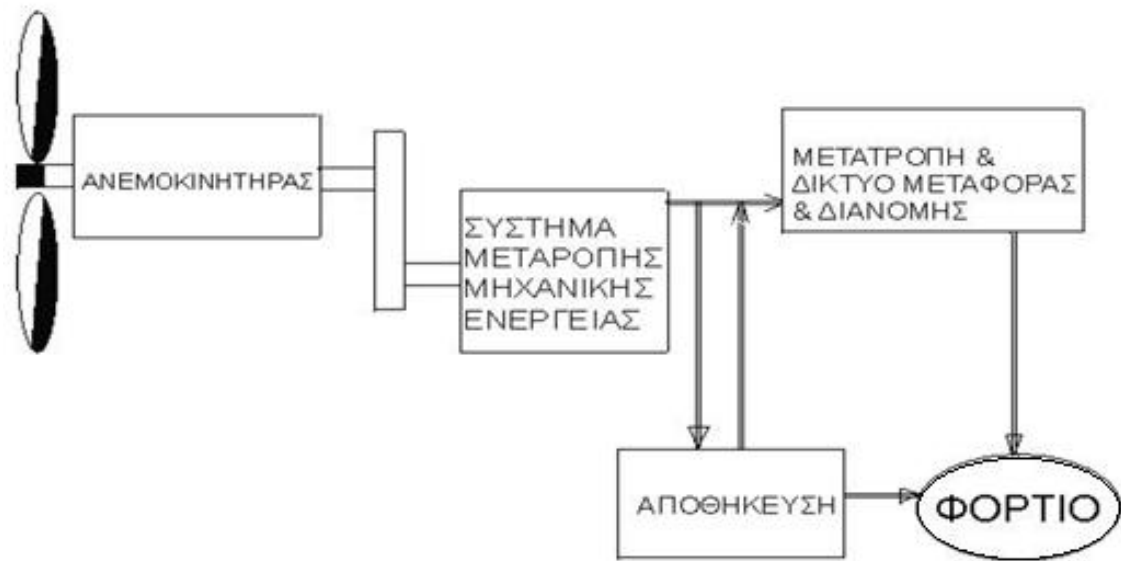


Εικόνα 2.1: Αιολικό πάρκο [7]

2.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

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

και την αποφυγή της καταστροφής της. Η ταχύτητα του ανέμου πρέπει να ξεπερνάει τα 15km/h για να καταφέρει η μια κοινή τουρμπίνα να παράγει ηλεκτρισμό.



Σχήμα 2.1: Διάταξη δέσμμευσης της αιολικής ενέργειας
(Σαμαρά & Σταματόπουλος, 2010)

Οι ανεμογεννήτριες έχουν την δυνατότητα να παράγουν συνήθων 50-300 KW η κάθε μία. Η γεννήτρια κατά την διάρκεια περιστροφής της έχει την δυνατότητα να παράγει ηλεκτρισμό με τάση 25.000 Volt. Το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει αρχικά από ένα μετασχηματιστή στην ηλεκτροπαραγωγική μονάδα, ο οποίος αυξάνει την τάση του στα 400.000 Volt. Όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διανύσει μεγάλες αποστάσεις είναι καλύτερα να υπάρχει υψηλή τάση (Κυρίτσης, 2015).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η αρχή λειτουργίας που προαναφέρθηκε βασίζεται στα κοινά χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανεμογεννητριών με συνέπεια να παρουσιάζουν σημαντικές διαφορές μεταξύ τους η ανάλυση αυτών θα πραγματοποιηθεί στα επόμενα εδάφια.

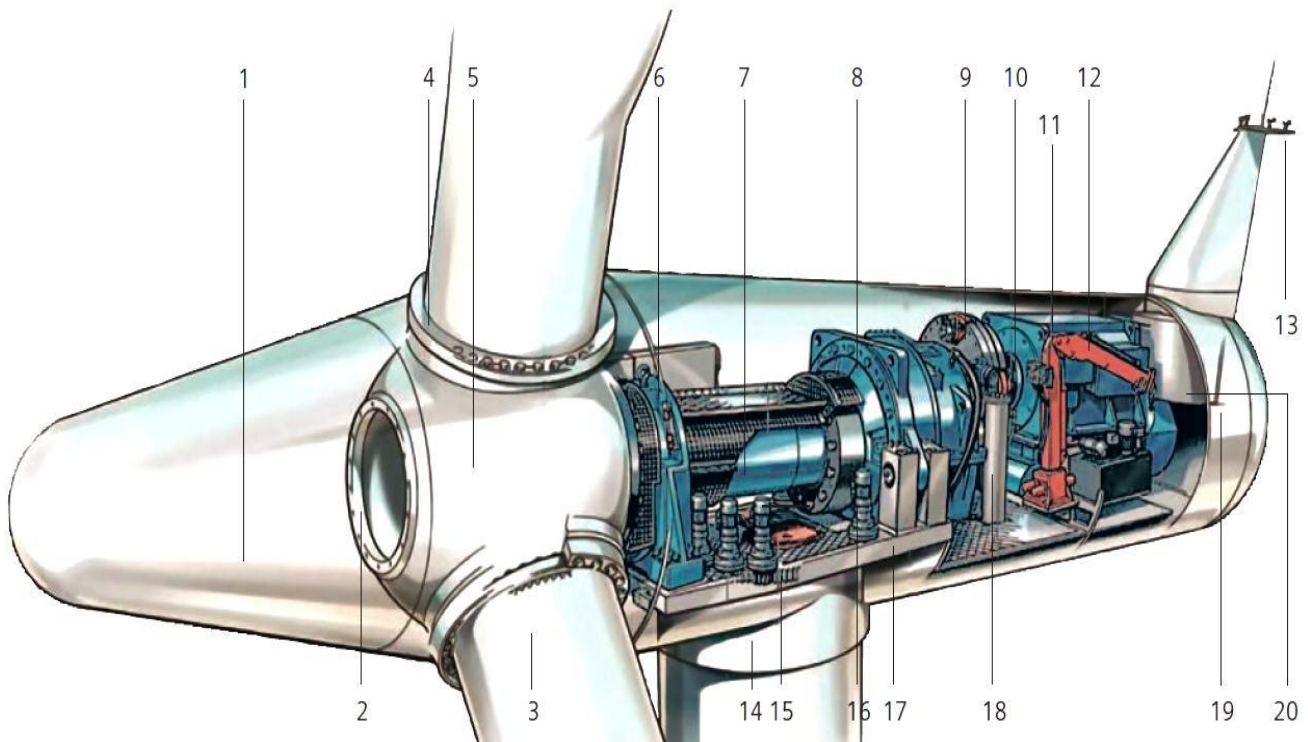
2.3. ΔΟΜΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Οι ανεμογεννήτριες, όπως προαναφέρθηκε είναι το μέσον με το οποίο γίνεται η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η ανεμογεννήτρια χωρίζεται σε δύο συστήματα μετατροπής ενέργειας και είναι τα ακόλουθα:

- 1^ο Μέρος → *Ανεμοκινητήρας*: ο οποίος είναι υπεύθυνος για την μετατροπή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική κινητική ενέργεια.
- 2^ο Μέρος → *Ηλεκτρογεννήτρια*: όπου μετατρέπει την μηχανική κινητική ενέργεια που προσλαμβάνει από τον ανεμοκινητήρα σε ηλεκτρική ενέργεια στην έξοδο της.

Για την διασύνδεση των δύο αυτών συστημάτων χρησιμοποιείται το κιβώτιο ταχυτήτων, το οποίο μπορεί να είναι είτε συμβατικό είτε υδραυλικό, σκοπός του είναι η

διασύνδεση του χαμηλόστροφου άξονα του ανεμοκινητήρα με τον υψίστροφο άξονα της ανεμογεννήτριας. Η δομή της ανεμογεννήτριας απεικονίζεται στο Σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2: Εσωτερική δομή μιας ανεμογεννήτριας (Δημητρακάκης, 2014)

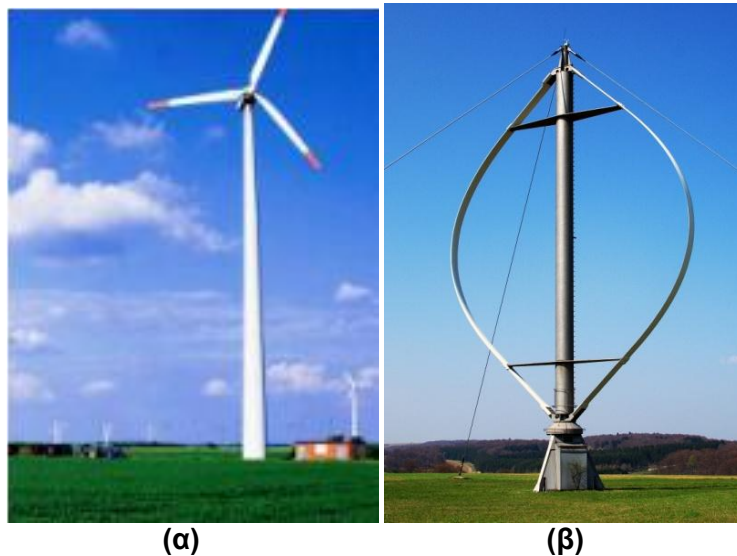
- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Στροβιλιστής ανεμοκινητήρα | 11. Γεννήτρια |
| 2. Βάση στήριξης στροβιλιστή | 12. Εσωτερικός γερανός |
| 3. Πτερύγια | 13. Αισθητήρες ανέμου |
| 4. Βάση στήριξης πτερυγίων | 14. Πυλώνας |
| 5. Πλήμνη | 15. Υδραυλικό σύστημα |
| 6. Κύριο ρουλεμάν | περιστροφής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

Η λεπτομερή περιγραφή μιας ανεμογεννήτριας ξεκινά από την πλήμνη η οποία είναι το μηχανικό εξάρτημα στο οποίο προσαρμόζονται τα πτερύγια και συνδέεται με τον άξονα χαμηλών στροφών. Ο άξονας χαμηλών στροφών, είναι ο άξονας που συνδέει την πλήμνη με το κιβώτιο ταχυτήτων και είναι ο άξονας του ρότορα του ανεμοκινητήρα. Από το κιβώτιο ταχυτήτων αρχίζει ένας ακόμα άξονας ο οποίος καταλήγει στη γεννήτρια και είναι ο άξονας υψηλών ταχυτήτων ο οποίος αποτελεί το δρομέα της γεννήτριας. Τέλος, η γεννήτρια υπό περιπτώσεις μπορεί να συνδέεται με έναν μετασχηματιστή έτσι ώστε να υπάρχει κατάλληλη προσαρμογή της τάσης στο εκάστοτε δίκτυο. Ακολουθεί η ύπαρξη του ανεμόμετρου και του ανεμοδείκτη, τα οποία είναι τα όργανα μέτρησης της ταχύτητας και του προσδιορισμού της κατεύθυνσης του ανέμου αντίστοιχα, όπως προαναφέρθηκαν στο Πρώτο Κεφάλαιο (Δημητρακάκης, 2014).

2.4. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Τα είδη των ανεμογεννητριών είναι πολλά, με συνέπεια να έχουν διαχωριστεί σε κατηγορίες. Η βασική κατηγορία διαχωρισμού τους είναι ο προσανατολισμός των αξόνων τους σύμφωνα με την ροή του ανέμου και είναι ο ακόλουθος:

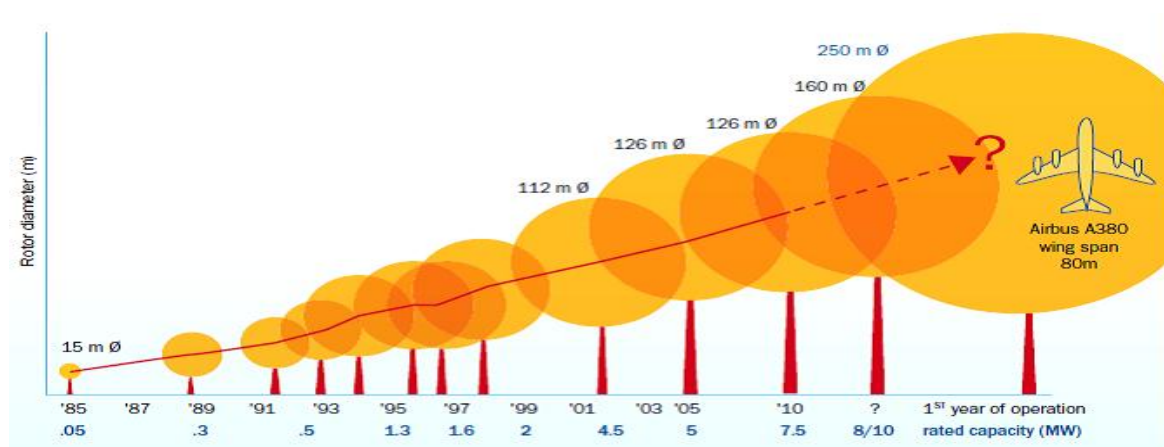
- *Οριζοντίου άξονα* (Horizontal axis -head on): στους οποίους ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου.
- *Οριζοντίου άξονα* (Horizontal axis -Crosswind): στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης αλλά κάθετος στη διεύθυνση του ανέμου.
- *Κατακόρυφου άξονα* (Vertical axis): στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στη ροή του ανέμου



Εικόνα 2.2: Κατηγορίες ανεμογεννητριών [8]

α) Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα, β) Ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα

Ωστόσο η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος της καθορίζεται από τις ανάγκες που καλείται να καλύψει και παρουσιάζει ποικιλομορφία στα Watt από εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια.



Σχήμα 2.3: Εξέλιξη μεγέθους ανεμογεννητριών
(Μπάρλας, 2012)

Πίνακας 2.1: Διαχρονική εξέλιξη ανεμογεννητριών από το 1980 έως το 2010
(Θυμάκης & Τσουνής, 2013)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΕΤΟΣ						
	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010
Ονομαστική Ισχύς (kW)	30	80	250	600	1500	3000	6000
Διάμετρος Ρότορα (m)	15	20	30	46	70	90	126
Ύψος Πύργου (m)	30	40	50	78	100	105	135
Ετήσια Ηλεκτροπαραγωγή (kWh)	35000	95000	4000000	1250000	3500000	6900000	20000000

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην αγορά έχουν επικρατήσει οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα. Στην πραγματικότητα δεν υπάρχει κάποιος κύριος λόγος, όμως αναφέρεται ότι θεωρούνται αισθητικά καλύτερες και περιορίζεται η αισθητική ρύπανση.

Ωστόσο οι ανεμογεννήτριες διαχωρίζονται επίσης βάση κάποιων βασικών χαρακτηριστικών. Οι κατηγορίες είναι οι ακόλουθες:

1^η Κατηγορία: Ταχύτητα Περιστροφής

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να διαχωριστούν σύμφωνα με την ταχύτητα περιστροφής σε:

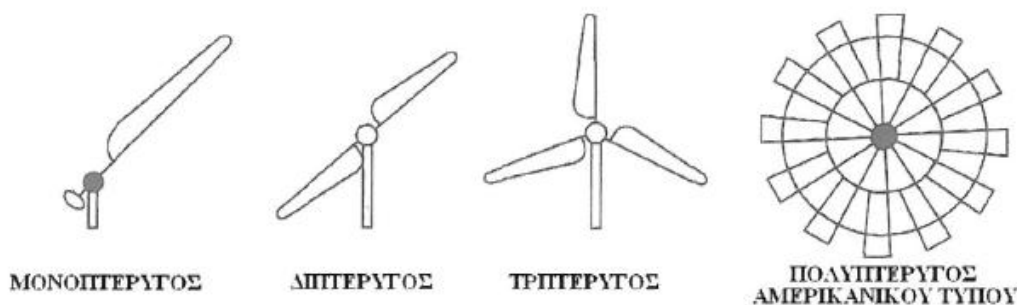
- Ταχύστροφες
- Αργόστροφες

Όπως έχει προαναφερθεί στην ουσία εξαρτάται από τον συντελεστή «λ» όπου είναι το μέγεθος που συνδέει άμεσα την γωνιακή ταχύτητα μιας πτερωτής.

2^η Κατηγορία: Σχεδιασμός πτερωτής

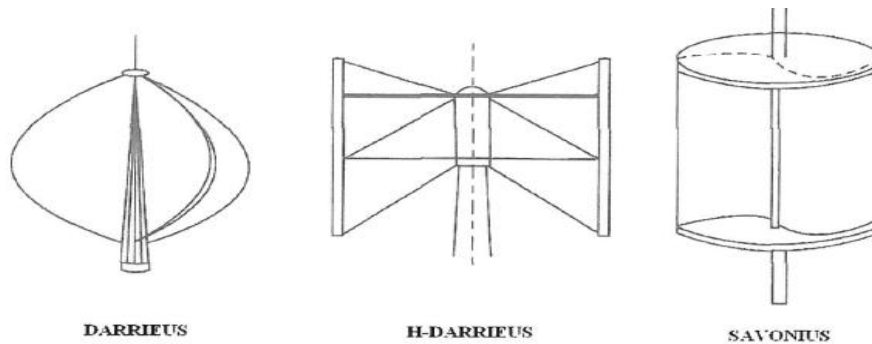
Βασική κατηγορία διαχωρισμού των τύπων ανεμογεννητριών. Για τον οριζόντιο άξονα ο διαχωρισμός γίνεται βάση τον αριθμό των πτερυγίων και είναι ο εξής:

- Πολύπτερες: χαρακτηρίζονται από την χαμηλή ταχύτητα περιστροφής (Ανεμόμυλοι)
- Ολιγόπτερες: είναι οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες με αριθμό πτερυγίων από ένα έως τρία σε κάθε πτερωτή (Μονόπτερες, Δίπτερες, Τρίπτερες)



Σχήμα 2.4: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα
(Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011)

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα διαχωρίζονται στους εξής τύπους Darrieus, H- Darrieus και Savonius.



Σχήμα 2.5: Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα
(Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011)

3^η Κατηγορία: Παράμετρος στιβαρότητας κατασκευής

Η παράμετρος της στιβαρότητας της κατασκευής επηρεάζει τα βασικά χαρακτηριστικά μιας ανεμογεννήτριας (Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011 ; Γαρίνη, 2012). Οι κατηγορίες είναι οι ακόλουθες:

- Μεγάλη στιβαρότητα: κατά κανόνα είναι μηχανές που ανήκουν στην κατηγορία των αργόστροφων, αποδίδοντας την μέγιστη ισχύ τους σε χαμηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής «λ», έχουν σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης ενώ χαρακτηρίζονται για την ανθεκτικότητά τους και για τις μικρές ανάγκες συντήρησης.
- Μικρή στιβαρότητα: είναι οι μηχανές που ανήκουν στην κατηγορία των πολύστροφων, αποδίδοντας την μέγιστη ισχύ τους σε υψηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής «λ», έχουν σχετικά μεγάλο βαθμό απόδοσης και συγκριτικά με τις μεγάλης στιβαρότητας ανεμογεννήτριες είναι πιο ευπαθείς.

Η στιβαρότητα της κατασκευής υπολογίζεται ως εξής:

- Για ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα:

$$\sigma = \frac{z \cdot c \cdot R}{\pi \cdot R^2} \quad (2.1)$$

- Για ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα:

$$\sigma = \frac{z \cdot c}{R} \quad (2.2)$$

Όπου:

z=ο αριθμός των πτερυγίων της πτερωτής

R= η ακτίνα πτερωτής

c=η χορδή (πλάτος) των πτερυγίων της πτερωτής

4^η Κατηγορία: Μηχανική Ισχύς

Ανάλογα με τη μηχανική ισχύ «No» που παρέχουν οι αεροκινητήρες κινητήρες στη έξοδο διαχωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Μικροί: η μηχανική ισχύς τους κυμαίνεται $50W \leq No \leq 30kW$
- Μεσαίοι: η μηχανική ισχύς του κυμαίνεται $30kW \leq No \leq 300kW$
- Μεγάλοι: η μηχανική ισχύς του κυμαίνεται $300kW \leq No \leq 5MW$

Στην συνέχεια του Κεφαλαίου θα πραγματοποιηθεί ανάλυση των προαναφερόμενων κατηγοριών δίνοντας έμφαση στα χαρακτηριστικά τους και στον τρόπο λειτουργίας.

2.5. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ

Οι τύποι των ανεμογεννητριών σύμφωνα με τον άξονα όπως προαναφέρθηκε είναι του οριζόντιου και του κατακόρυφου. Η αναλυτική περιγραφή που θα ακολουθήσει είναι σύμφωνα με τις Κουμουντέλη και Λάζαρη (2011).

2.5.1. Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα έχουν τον άξονά τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλο και με τη διεύθυνση του ανέμου, αν και κάποτε η διεύθυνσή τους είναι κάθετη προς την διεύθυνση του ανέμου. Επιπλέον, οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα μπορούν να έχουν ένα, δυο, τρία ή ακόμα και πενήντα πτερύγια ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη, δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη διάταξη, δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου.

Ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συγκαταλέγονται οι κλασικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι, καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων «αμερικανικού τύπου», οι οποίες λόγω των περιορισμένων διαστάσεών τους και της χαμηλής περιφερειακής τους ταχύτητας έχουν εγκαταλειφθεί σήμερα.

Στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζόντιου άξονα περιλαμβάνονται και οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα και οι οποίες ονομάζονται ανεμογεννήτριες τύπου «έλικας». Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγιά τους, που είναι συνήθως ένα έως τρία, βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων αλλά και σ' αυτή της έλικας των ελικοπτέρων.

Τέλος, έχουν επινοηθεί και προταθεί κατά καιρούς διάφορες μηχανές τύπου «cross-wind», οι οποίες όμως δεν είναι περισσότερο αποτελεσματικές σε σύγκριση με τους άλλους τύπους. Αντίθετα, οι συγκεκριμένοι ανεμοκινητήρες παρουσιάζουν μειονεκτήματα, όσον αφορά τη συλλογή της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και τη ρύθμιση της διεύθυνσης θέσης της πτερωτής σε περιπτώσεις έντονων μεταβολών της διεύθυνσης του ανέμου.

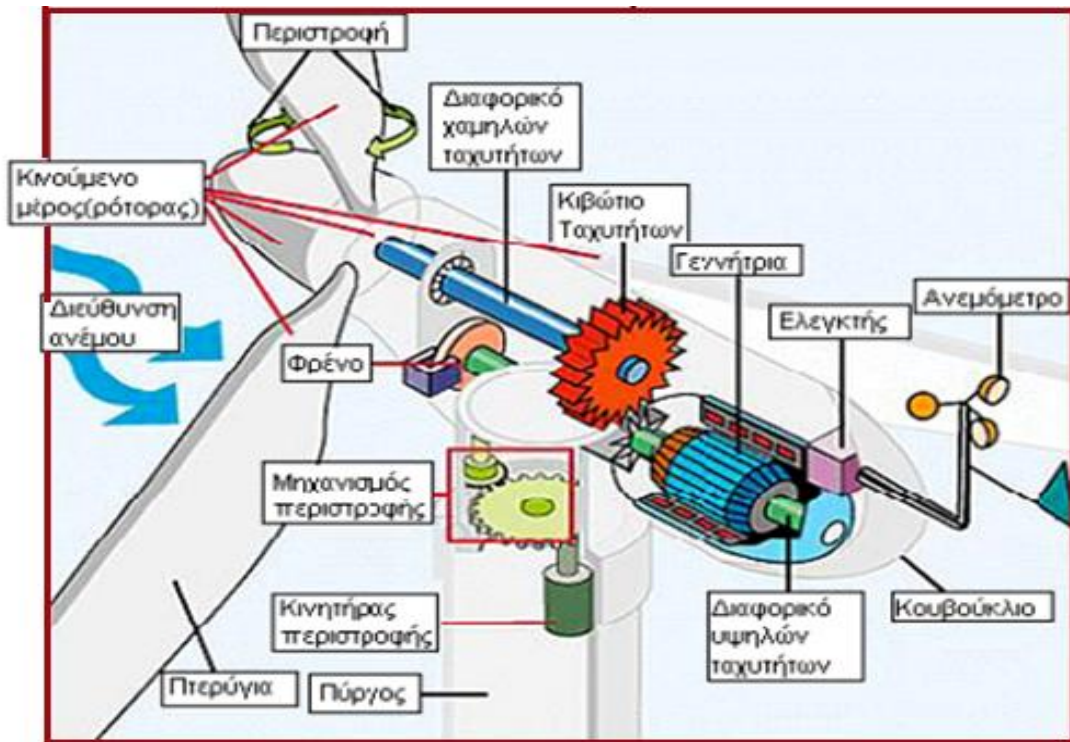
Τα προβλήματα που αντιμετωπίζει η βιομηχανία κατασκευής ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα και κυρίως οι μηχανές τύπου έλικα είναι:

- Ο βέλτιστος σχεδιασμός του δρομέα, με σκοπό τη βελτίωση των χαρακτηριστικών λειτουργίας της μηχανής.
- Η συμπεριφορά του δρομέα σε ειδικές καταστάσεις, όπως η εκκίνηση, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση, καθώς και άλλα δυναμικά φαινόμενα.
- Η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων και οι αντίστοιχοι αυτοματισμοί, που σχετίζονται με την έναρξη και την παύση λειτουργίας του ανεμοκινητήρα.
- Προσανεμισμός του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου, ο οποίος επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση καθοδηγητικού πτερυγίου, είτε με κατάλληλα αισθητήρια που καταγράφουν τη στιγμιαία διεύθυνση του ανέμου και προσανατολίζουν ηλεκτρονικά με τη χρήση σερβομηχανισμού την πτερωτή στη διεύθυνση του ανέμου.
- Προβλήματα αντοχής των υλικών που αφορούν την κατασκευή και την έδραση των πτερυγίων.
- Καθορισμός του ύψους του δρομέα επάνω από το έδαφος.

- Κατασκευή του πύργου στήριξης και θεμελίωσή του. Ο πύργος στήριξης πρέπει να συνδυάζει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα με τη σταθερότητα και την αντοχή σε χρονικά μεταβαλλόμενες καταπονήσεις.
- Μελέτη του πεδίου ροής πίσω από την πτερωτή και η επίδραση του ομόρου στο περιβάλλον καθώς και σε πιθανές επόμενες ανεμογεννήτριες.

Η μηχανή των ανεμογεννητριών οριζόντιου τύπου αποτελείται από τα εξής:

- **Δρομέας:** (στρεφόμενο μέρος της μηχανής): το άκρο του οποίου είναι τύπου έλικας και μπορεί να φέρει μία (μονόπτερος) δύο ή τρεις πτέρυγες. Η περιστροφή των πτερυγίων ενός δρομέα οριζοντίου άξονα οφείλεται στη συνδυασμένη δύναμη της άνωσης και της πίεσης που ασκείται, όταν οι μάζες του αέρα προσπίπτουν στα πτερύγια. Για τη μέγιστη αξιοποίηση αυτής της δύναμης απαιτείται κατάλληλος σχεδιασμός, στη μορφή των πτερυγίων, στη στρέψη τους ως προς τον άξονα στήριξης τους (κλίση) και στην ελικοειδή διάταξη τους (βήμα). Τα πτερύγια συνήθως κατασκευάζονται από ενισχυμένο πολυεστέρα.
- **Σύστημα μετάδοσης της κίνησης:** αποτελείται από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα περιστροφής (ταχύτητα με συγκεκριμένο αριθμό στροφών) της ανεμογεννήτριας. Με το σύστημα μετάδοσης δίνεται η κίνηση από το δρομέα (χαμηλές στροφές), στην ηλεκτρογεννήτρια (υψηλές στροφές).
- **Ηλεκτρογεννήτρια:** όπου είναι ένας σύγχρονος εναλλακτήρας, δηλαδή μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος με συνήθως 4 ή 6 πόλους. Συνδέεται με την έξοδο του κιβωτίου πολλαπλασιασμού των στροφών (κιβώτιο ταχυτήτων) μέσω ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου. Η ηλεκτρογεννήτρια μπορεί να είναι και μηχανή συνεχούς ρεύματος (DC). Μικρής ισχύος ανεμογεννήτριες παράγουν συνεχή τάση τροφοδοσίας και χρησιμοποιούνται για ηλεκτροδότηση σκαφών και μικρών κατοικιών. Σε μεγάλες ανεμογεννήτριες, που η παραγόμενη από αυτές τάση πρόκειται να παραλληλιστεί με το δίκτυο, η ηλεκτρογεννήτρια είναι μηχανή εναλλασσόμενου ρεύματος (AC).
- **Δισκόφρενο:** το οποίο τοποθετείται στον κύριο άξονα και αποτελεί το σύστημα πέδησης της ανεμογεννήτριας.
- **Σύστημα προσανατολισμού:** το οποίο αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου. Το σύστημα προσανατολισμού βρίσκεται τοποθετημένο μεταξύ της ατράκτου και του πύργου στερέωσης (μικρές ανεμογεννήτριες).
- **Πύργος:** μέσα στον οποίο στερεώνεται η ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως μεταλλικός, σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα (μπετόν), ενώ το ύψος του είναι τέτοιο, ώστε ο αέρας που προσπίπτει στα πτερύγια της ανεμογεννήτριας να έχει ομαλή ροή και όχι τυρβώδη. Έτσι, μειώνεται ο θόρυβος στο ελάχιστο.
- **Ηλεκτρικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου:** είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Ο πίνακας ελέγχου ρυθμίζει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 2.6: Τα μηχανικά μέρη μίας ανεμογεννήτριας
(Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011)

2.5.2. Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Αυτός ο τύπος φέρει πτερύγια που στηρίζονται και στρέφονται σε κατακόρυφο σταθερό άξονα. Τα πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα είναι τα εξής:

- Η κατακόρυφη συμμετρία συνεπάγεται απουσία ανάγκης προσανατολισμού του δρομέα προς τον άνεμο.
- Το μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα στο έδαφος όπου είναι τοποθετημένο το σύστημα μετατροπής σε άλλη μορφή ενέργειας.
- Απλή κατασκευή του πλαισίου στήριξης και γενικότερα απλούστερη κατασκευή.

Το μειονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι δεν μπορεί να περιστρέφεται μόνος του (αντίθετα με ότι συμβαίνει με τον κινητήρα οριζοντίου άξονα) και, για να αρχίσει να γυρίζει, πρέπει να υποστηρίζεται από κατάλληλο ηλεκτρικό κινητήρα. Αυτός ο τύπος έχει να επιδείξει μηχανές περισσότερο ερευνητικού ενδιαφέροντος παρά εμπορικού ανταγωνισμού.

Συνοπτικά, οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα κάθετο τόσο στη διεύθυνση του ανέμου όσο και στο έδαφος. Οι αιολικές μηχανές του τύπου αυτού έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση, ανεξαρτησία ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής και σχετικά απλά συστήματα ελέγχου.

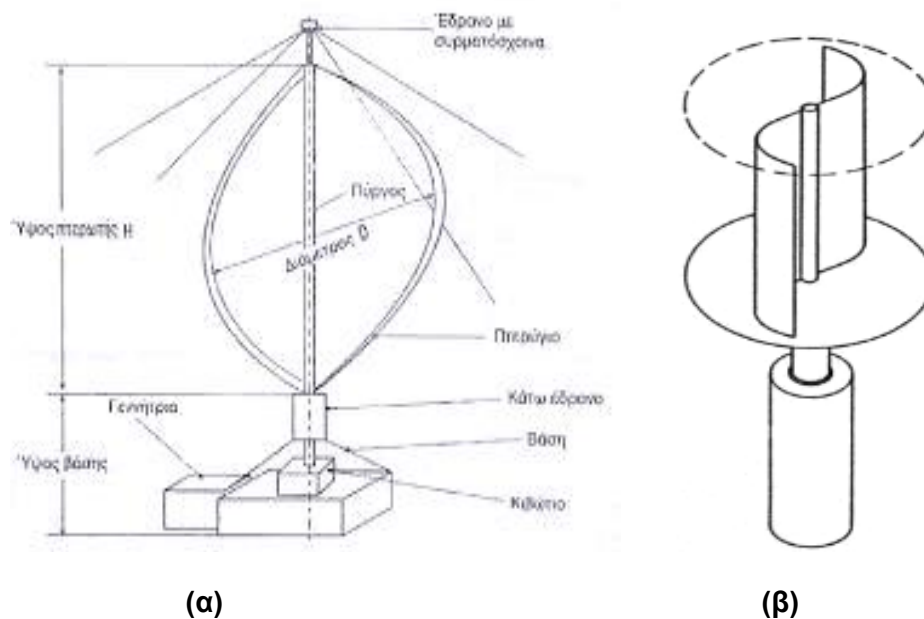
Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης δε παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφορές σε σύγκριση με το αντίστοιχο σύστημα των μηχανών οριζοντίου άξονα, εκτός βέβαια από το γεγονός ότι τα εξαρτήματα είναι τοποθετημένα κατακορύφως. Ο δρομέας στηρίζεται σε κατάλληλο έδρανο στη βάση του, το οποίο ακόμα και σε σταθερή ταχύτητα ανέμου καταπονείται από εναλλασσόμενα φορτία.

Οι ανεμογεννήτριες τύπου «Darrieus» έχουν ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες εκκίνησης και για μεγάλα συστήματα χρησιμοποιείται βοηθητικός κινητήρας για την εκκίνηση. Επιπλέον, οι μηχανές του τύπου αυτού παρέχουν τελικά χαμηλότερο μέσο ετήσιο συντελεστή ισχύος.

Συνοπτικά, είναι αποδεκτό ότι οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα τύπου «Darrieus» θεωρούνται συγκρίσιμες σε οικονομικοτεχνική ελκυστικότητα με τις πλέον σύγχρονες ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

Αντίστοιχα, οι ανεμογεννήτριες τύπου «Savonius» παρουσιάζουν χαμηλό συντελεστή ισχύος, μικρή ακραία περιφερειακή ταχύτητα, περιορισμένο μέγεθος, αλλά και εξαιρετική απλότητα και οικονομικότητα κατασκευής. Η απλότητα κατασκευής σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν απαιτείται σύστημα προσανατολισμού ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, αποτελούν σημαντικά κίνητρα για τη μελέτη και βελτιστοποίηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών παρόμοιων μηχανών.

Οι πιο γνωστοί τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα είναι οι μηχανές τύπου «Darrieus» και οι μηχανές τύπου «Savonius».



Σχήμα 2.8: Ανεμογεννήτριας α) Darrieus και β) Savonius

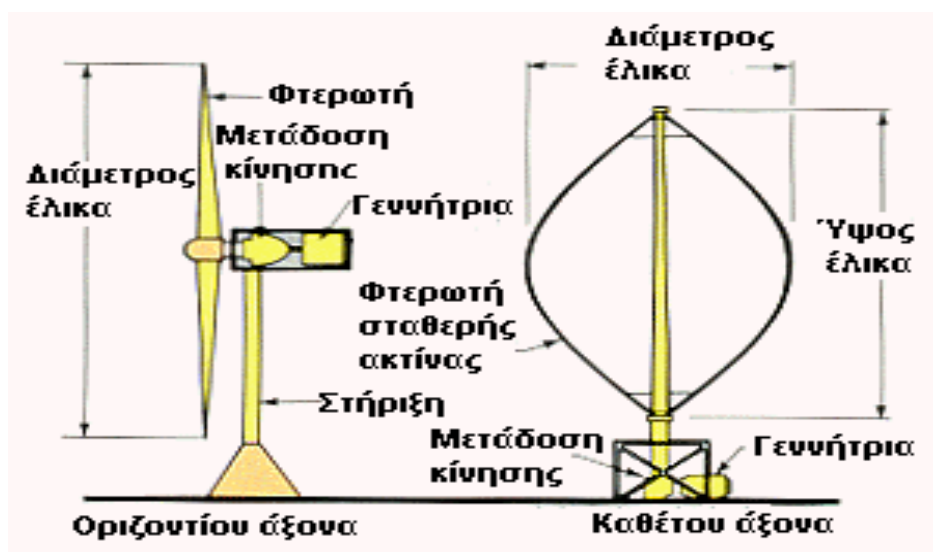
Και οι δύο προαναφερόμενοι τύποι, εκτός από τον πύργο, το δρομέα, τα πτερύγια και τη γεννήτρια διαθέτουν και τις ακόλουθες μονάδες:

- **Ρυθμιστή τάσης:** με τον οποίο επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση σε συγκεκριμένα όρια της παραγόμενης τάσης.
- **Συσσωρευτές (μπαταρίες):** για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση που οι γεννήτριες υποστηρίζουν αυτόνομα τα φορτία και δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο.
- **Μετατροπέα DC-AC:** για ανεμογεννήτρια που παράγει συνεχή τάση. Είναι ηλεκτρονική διάταξη, που μετατρέπει τη συνεχή τάση που παράγει η ανεμογεννήτρια σε εναλλασσόμενη. Η εναλλασσόμενη τάση κατόπιν οδηγείται σε μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης, για να αποκτήσει εκείνη την τιμή, που θα της επιτρέψει να συνδεθεί με το δίκτυο της ΔΕΗ. Τέλος η παραγόμενη από την ανεμογεννήτρια ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με καλώδια (γραμμή μεταφοράς).
- **Μετατροπέα AC-DC:** για ανεμογεννήτρια που παράγουν εναλλασσόμενη τάση και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πρόκειται να αποταμιευθεί σε συσσωρευτές.

2.5.3. Σύγκριση ανεμογεννητριών οριζοντίου και κάθετου άξονα

Σύμφωνα με τον Γκουντρουμάνη (2012) πραγματοποιείται η σύγκριση των ανεμογεννητριών οριζοντίου και κάθετου άξονα και είναι η ακόλουθη:

- Η ευκολότερη κατασκευή των πτερυγίων και η έλλειψη της ανάγκης για μηχανισμό φρεναρίσματος των ανεμογεννητριών κάθετου άξονα σε υψηλές ταχύτητες ανέμου σε αντίθεση με την αναγκαστική τοποθέτηση της γεννήτριας και του κιβωτίου ταχυτήτων πάνω στον πύργο των ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα καθιστά τις τελευταίες πιο δύσκολες κατασκευαστικά και ασύμφορες οικονομικά.
- Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα δεν χρειάζονται μηχανισμό προσανατολισμού της μηχανής με τον άνεμο σε αντίθεση με τις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα στις οποίες απαιτείται προσανατολισμός στην κατεύθυνση του ανέμου μέσω ενεργού μηχανισμού περιστροφής. Έτσι οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα είναι καταλληλότερες σε τοποθεσίες όπου ο αέρας δεν είναι σταθερός ή που περιβάλλονται από κάποια μικρά εμπόδια (με σημαντικά μειωμένη απόδοση όμως).
- Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα είναι ασφαλέστερες διότι δεν υπάρχει ο κίνδυνος να σπάσει κάποιο πτερύγιο, ούτε κινούνται με την μεγάλη ταχύτητα στροφών που κινούνται οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα.
- Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα έχουν πολύ χαμηλή απόδοση. Αυτό παρατηρείται σε μεγάλο βαθμό στον τύπο ανεμογεννητριών Savonius όπου η απόδοση δεν ξεπερνά το 15% αλλά και στους άλλους τύπους σε μικρότερο βαθμό. Αξίζει να αναφερθεί ότι μια καλή μικρή ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα έχει μέση απόδοση 30%-40%. Συνεπώς, για να επιτύχει μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα την ίδια περίπου παραγωγή με μια οριζοντίου άξονα, θα πρέπει η κάθετου άξονα να έχει μέχρι και τριπλάσια επιφάνεια επαφής με τον αέρα. Αυτό συνεπάγεται μεγάλο όγκο και βάρος της κατασκευής.
- Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα δεν απαιτούν πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμου για να ξεκινήσουν να περιστρέφονται, με αποτέλεσμα και στις πιο μικρές ταχύτητες ανέμου να έχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Αντίθετα, οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, λόγω χαμηλότερων στροφών περιστροφής ανά λεπτό, χρειάζονται πιο ισχυρούς ανέμους για να ξεκινήσουν την φόρτιση των συσσωρευτών (με δεδομένο το ίδιο μοτέρ σε οριζοντίου άξονα ανεμογεννήτρια).



Σχήμα 2.9: Απεικόνιση μερών ανεμογεννήτριας με οριζόντιο άξονα και ανεμογεννήτριας με κατακόρυφο άξονα (Γκουντρουμάνης, 2012)

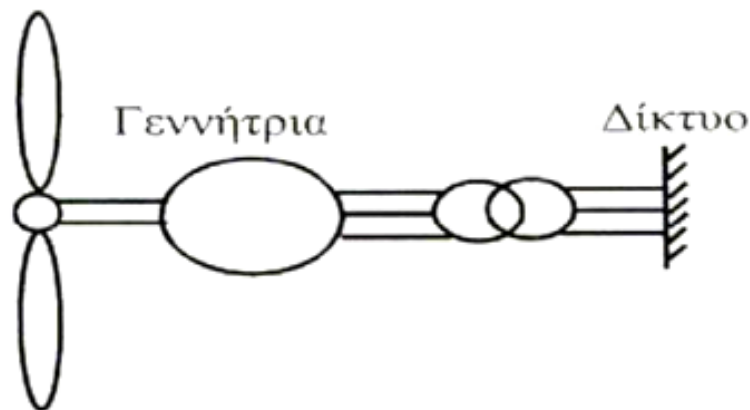
2.6. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ

Όπως προαναφέρθηκε οι ανεμογεννήτριες μπορούν να διαχωριστούν και σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας τους. Οι τύποι των ανεμογεννητριών σύμφωνα με την ταχύτητα τους είναι οι ακόλουθοι:

- Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας (fixed speed)
- Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας (variable speed)

2.6.1. Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας (fixed speed)

Οι ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας όταν βρίσκονται κατά την λειτουργία τους παρατηρείται ότι ο δρομέας στρέφεται με σταθερό αριθμό στροφών ανεξάρτητα από το ποία θα είναι η ταχύτητα του ανέμου. Η σύνδεση με το δίκτυο μιας ανεμογεννήτρια αυτού του τύπου είναι ίδιος με τον τρόπο σύνδεσης των γεννητριών που τροφοδοτούνται από συμβατικές πηγές ενέργειας. Άρα η σύνδεση γίνεται απευθείας, επιπλέον, γίνεται χρήση ενός μετασχηματιστή προσαρμογής του επιπέδου τάσης της γεννήτριας, σε αυτό του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ο τρόπος σύνδεσης μια ανεμογεννήτριας με το δίκτυο απεικονίζεται στο Σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10: Αναπαράσταση ανεμογεννήτριας σταθερών στροφών
(Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011)

Ο προαναφερόμενος τρόπος σύνδεσης «υποχρεώνει» την ανεμογεννήτρια μια συγκεκριμένη γωνιακή ταχύτητα. Η γεννήτρια που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι είτε σύγχρονη είτε ασύγχρονη. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται σύγχρονες μηχανές ως γεννήτριες, ο αριθμός στροφών παραμένει σταθερός, ενώ στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται ασύγχρονες μηχανές το εύρος μεταβολών των στροφών εξαρτάται από το φορτίο και είναι περιορισμένο.

Τα συστήματα σταθερών στροφών – σταθερής συχνότητας είναι συστήματα που βασίζονται στην υλοποίηση συστημάτων ελέγχου μεθόδου «stall» (απώλεια αεροδυναμικής στήριξης, εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των πτερυγίων), είτε συστημάτων ελέγχου μεθόδου «pitch» (έλεγχος μεταβολής της κλίσης των πτερυγίων).

Οι συμβατικές ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών διαθέτουν κυρίως γεννήτριες επαγωγής τύπου βραχυκυκλωμένου κλωβού. Ο λόγος που προτιμάται η ασύγχρονη γεννήτρια είναι γιατί είναι κατασκευαστικά απλούστερη κάτι που μειώνει το κόστος και αυξάνει την αξιοπιστία της συγκρινόμενη με τη σύγχρονη γεννήτρια. Επιπλέον, η γωνιακή της

ταχύτητα μπορεί να μεταβάλλεται σε ένα εύρος λίγο πάνω από τη σύγχρονη ταχύτητα. Αυτή η δυνατότητα έχει ως αποτέλεσμα να εξομαλύνονται οι διακυμάνσεις της ισχύος στην έξοδο της γεννήτριας καθώς και η καταπόνηση του μηχανικού συστήματος μεταφοράς. Το μεγάλο μειονέκτημα που παρουσιάζει είναι ότι, σε αντίθεση με την σύγχρονη γεννήτρια, απορροφά άεργο ισχύ. Για την τροφοδοσία της ασύγχρονης γεννήτριας με άεργο ισχύ, συνδέονται στους ακροδέκτες των τυλιγμάτων της κατάλληλοι πυκνωτές.

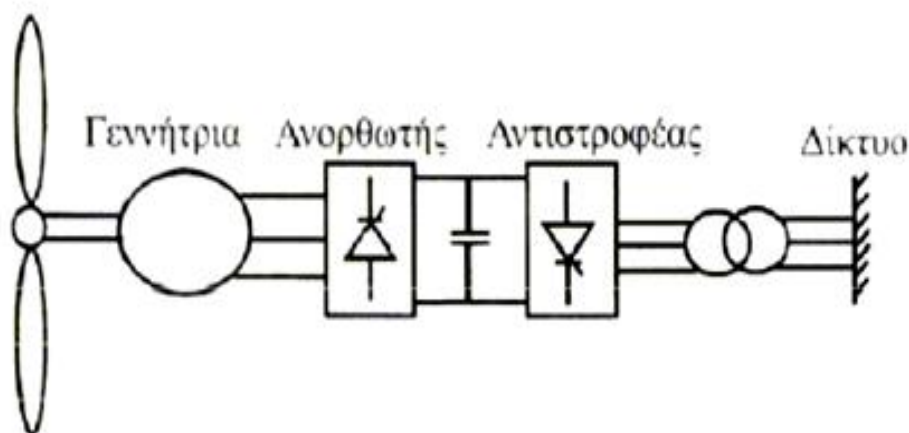
Το σύστημα σταθερών στροφών παρουσιάζει ένα βασικό πλεονέκτημα το οποίο είναι η εξαιρετική απλότητα και αξιοπιστία που προσφέρει καθώς και οι μηδενικές ανάγκες συντήρησης. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την καθιέρωση του, αφού στις μέρες μας είναι σημαντική η αξιοπιστία των συστημάτων. Ωστόσο, παράλληλα με το πλεονέκτημα υπάρχει και μια σειρά μειονεκτημάτων, τα οποία σχετίζονται με την σταθερότητα των στροφών με τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της μηχανής επαγωγής.

Στην περίπτωση που η μεταβαλλόμενη αεροδυναμική ροπή περιέχει αρμονικές συνιστώσες, που βρίσκονται κοντά στις συχνότητες συντονισμού του μηχανικού συστήματος μετάδοσης της ισχύος, θα εμφανιστούν έντονες ταλαντώσεις σε αυτό αλλά και στην ισχύ εξόδου της γεννήτριας. Συνέπεια αυτού είναι η αυξημένη μεταβλητότητα ροπών και της ισχύος εξόδου, ταλαντώσεις του μηχανικού συστήματος και η λειτουργία του δρομέα σε υποβέλτιστο αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος (Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011 ; Γαρίνη, 2012).

2.6.2. Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας (variable speed)

Στις ανεμογεννήτριες που κατά την λειτουργίας του μεταβάλουν την ταχύτητα, ο δρομέας παρουσιάζει ελεγχόμενη μεταβολή της ταχύτητας σύμφωνα με την ταχύτητα του ανέμου. Η σύνδεση της ανεμογεννήτριας με το δίκτυο σταθερής συχνότητας πραγματοποιείται με την χρήση ενός μετατροπέα συχνότητας, όπου με αυτό τον τρόπο δίνεται η δυνατότητα η ταχύτητα περιστροφής να αποδεσμεύεται από τη σταθερή συχνότητα του δικτύου και να μπορεί να επιτευχθεί η μεταβολή της.

Στο Σχήμα 2.11, απεικονίζεται η αρχή λειτουργίας του προαναφερόμενου συστήματος. Στην έξοδο της γεννήτριας συνδέεται ένας τριφασικός ανορθωτής ελεγχόμενος ή μη, που μετατρέπει τα εναλλασσόμενα ηλεκτρικά μεγέθη σε συνεχή. Η σύνδεση στο δίκτυο γίνεται μέσω ενός αντιστροφέα, ο οποίος μετατρέπει τα συνεχή ηλεκτρικά μεγέθη σε εναλλασσόμενα, συχνότητας ίδιας με αυτήν του δικτύου. Οι μετατροπείς αυτοί μπορούν να αποτελούνται είτε από θυρίστωρ, είτε από ημιαγωγικά στοιχεία ελεγχόμενης έναυσης κα σβέσης, όπως θυρίστωρ με πύλη σβέσης (GTO) ή τρανζίστωρ μονωμένης πύλης (IGBT).



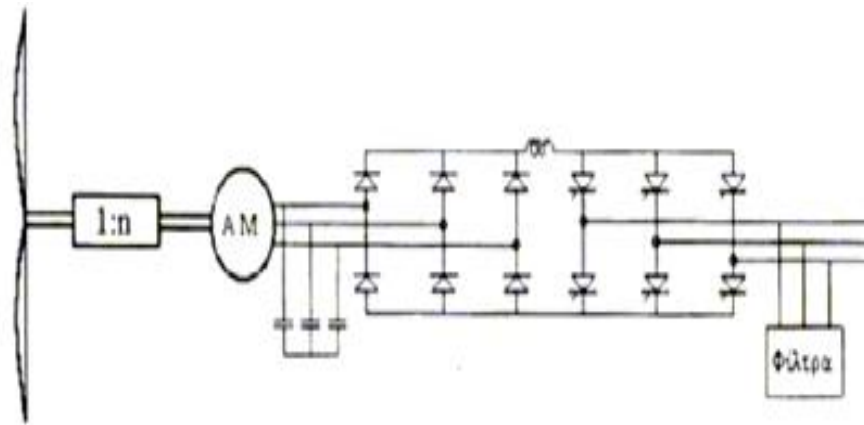
Σχήμα 2.11: Αναπαράσταση ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητα
(Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011)

Το βασικό πλεονέκτημα της λειτουργίας μεταβλητής ταχύτητας είναι η βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης της μηχανής. Αυτό πραγματοποιείται διότι αυξάνεται το ποσοστό εκμετάλλευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου κυρίως κατά τις χαμηλές ταχύτητες ανέμου, σε σχέση με την λειτουργία σταθερής ταχύτητας. Ωστόσο, δίνεται και το πλεονέκτημα της δυνατότητας ελέγχου της άεργου ισχύος ανάλογα με τον τύπο μετατροπέα που χρησιμοποιείται. Επιπλέον, τονίζεται ότι δίνεται το πλεονέκτημα από την λειτουργία μεταβλητής ταχύτητας να υπάρχει εξομάλυνση της μεταβλητότητας των μηχανικών ροπών και απόσβεση των συντονισμών του μηχανικού συστήματος μετάδοσης της κίνησης, με αποτέλεσμα την μείωση των μηχανικών καταπονήσεων και αύξηση της διάρκειας ζωής του συστήματος.

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει αυτό το σύστημα του είναι η αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω του μετατροπέα συχνότητας καθώς επίσης και η αντίστοιχη αύξηση του κόστους. Επιπλέον, λόγω του ηλεκτρονικού μετατροπέα παρουσιάζεται αύξηση των ανώτερων αρμονικών που εισέρχονται στο δίκτυο, κάτι που κάνει αναγκαία την εγκατάσταση φίλτρων για τον περιορισμό τους (Γαρίνη, 2012).

Στο Σχήμα 2.12 απεικονίζεται η απλούστερη δυνατή διάταξη ανεμογεννήτριας μεταβλητών στροφών με χρήση ασύγχρονης γεννήτριας, η οποία αυτοδιεγείρεται μέσω συστοιχίας πυκνωτών. Οι χρησιμοποιούμενοι μετατροπείς είναι ένας μη ελεγχόμενος ανορθωτής διόδων στους ακροδέκτες της μηχανής και μια εξαπαλμική γέφυρα με θυρίστορ που λειτουργεί ως αντιστροφέας.

Ο ανορθωτής διόδων μετατρέπει τη μεταβαλλόμενου πλάτους και μεταβαλλόμενης συχνότητας, τάση των ακροδεκτών της γεννήτριας σε συνεχή. Η συνεχής τάση από την πλευρά του αντιστροφέα ρυθμίζεται μέσω της γωνίας έναυσης των θυρίστορ. Η διαφορά μεταξύ των δύο τάσεων καθορίζει την τιμή του συνεχούς ρεύματος. Άρα, μεταβάλλοντας κατάλληλα την γωνία έναυσης των θυρίστορ, μπορούμε να ρυθμίζουμε την ροή ισχύος από την γεννήτρια στο δίκτυο, έτσι ώστε να ελέγχεται η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα κατά τον επιθυμητό τρόπο. Η διάταξη του Σχήματος 2.12 χρησιμοποιείται για τον έλεγχο αεροκινητήρων ισχύος μέχρι 250 kW.



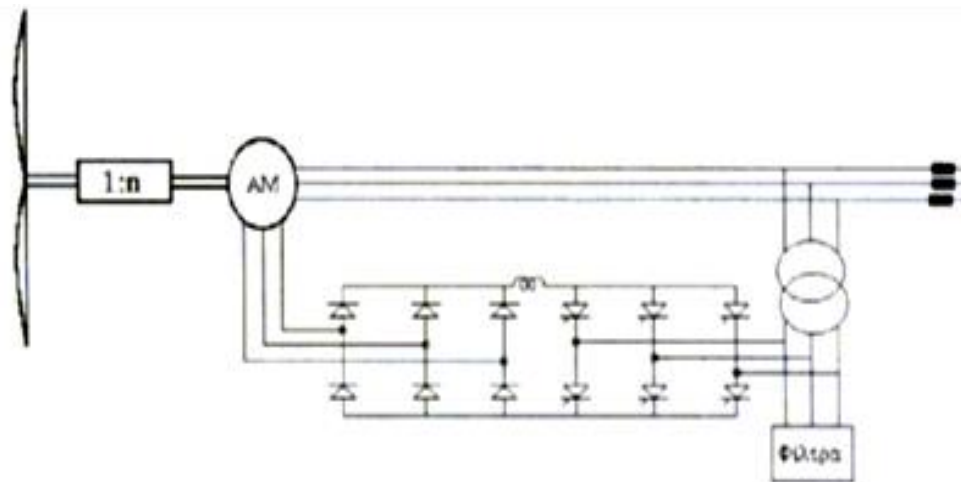
Σχήμα 2.12: Απλουστευμένη διάταξη ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητας (Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011)

Ο περιορισμός της ισχύος σε αυτά τα συστήματα, για μεγάλες ταχύτητες του ανέμου, επιτυγχάνεται μέσω ελέγχου του βήματος των πτερυγίων. Οι πυκνωτές στους ακροδέκτες της ασύγχρονης γεννήτριας τροφοδοτούν την άεργο ισχύ που απαιτείται για την διέγερσή της. Κύρια πλεονεκτήματα της διάταξης είναι βέβαια το χαμηλό κόστος της ασύγχρονης γεννήτριας και η απλότητα και αξιοπιστία του ανορθωτή διόδων.

Όμως, η επιλογή ανορθωτή διόδων δεν μας δίνει την δυνατότητα ελέγχου της τάσης στη διασύνδεση συνεχούς ρεύματος. Η τάση αυτή αυξάνεται καθώς αυξάνονται οι στροφές της γεννήτριας. Για τον λόγο αυτό έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι περιορισμού της, με

κατάλληλη διαμόρφωση της παλμοδότησης των ημιαγωγικών στοιχείων του αντιστροφέα. Από την πλευρά του δικτύου, απαιτούνται μεγάλα και δαπανηρά φίλτρα έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθούν οι αρμονικές ρεύματος που δημιουργούνται από τον αντιστροφέα. Εκτός από το πρόβλημα των αρμονικών, ο αντιστροφέας απορροφά και άεργο ισχύ από το δίκτυο.

Σε ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών έχει προταθεί και διερευνηθεί σε σημαντικό βαθμό η διάταξη ασύγχρονης μηχανής δακτυλιοφόρου δρομέα με σύστημα μετατροπών συνδεδεμένων στους ακροδέκτες του. Στην απλούστερη περίπτωση, η διάταξη των μετατροπών περιλαμβάνει μη ελεγχόμενο ανορθωτή στους ακροδέκτες του δρομέα και γέφυρα που λειτουργεί ως αντιστροφέας στην έξοδο, όπως δείχνεται στην Σχήμα 2.13, μέσω των οποίων πραγματοποιείται η ανάκτηση της ισχύος ολισθήσεως και η επιστροφή της στο δίκτυο.



Σχήμα 2.13: Απλουστευμένη διάταξη ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητας που περιλαμβάνει μη ελεγχόμενο ανορθωτή (Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011)

Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.13, ο αντιστροφέας αποτελείται από θυρίστορ. Σύμφωνα με τις Κουμουντέλη & Λάζαρη (2011) η ηλεκτρική ροπή της γεννήτριας είναι ανάλογη του ρεύματος του δρομέα και κατά συνέπεια του συνεχούς ρεύματος. Άρα, μεταβάλλοντας κατάλληλα την γωνία έναυσης των θυρίστορ του αντιστροφέα, δίνεται η δυνατότητα να ρυθμίζεται η ηλεκτρική ροπή με συνέπεια να μεταβάλλεται η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα κατά τον επιθυμητό τρόπο.

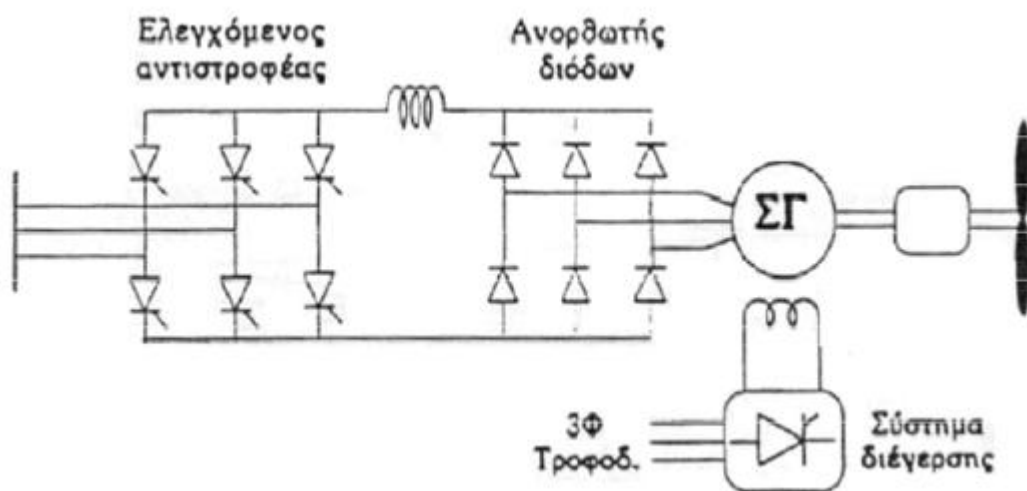
Σημειώνεται ότι η προαναφερόμενη συνδεσμολογία προτιμάται για συστήματα μεγάλης ισχύος (της τάξεως των MW). Επιπλέον, η ασύγχρονη μηχανή είναι δακτυλιοφόρου δρομέα, η οποία σε σχέση με την βραχυκυκλωμένου δρομέα είναι ακριβότερη και έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις συντήρησης.

Επειδή, οι ηλεκτρονικοί μετατροπείς είναι στον δρομέα, διαχειρίζονται μόνο ένα τμήμα της συνολικής ισχύος εξόδου, το οποίο καθορίζεται από το εύρος ολισθήσεων που θέλουμε να λειτουργεί η μηχανή. Αυτό το γεγονός οδηγεί σε μείωση της ονομαστικής ισχύος των μετατροπών και άρα και του κόστους τους. Αυτό είναι και το βασικό πλεονέκτημα αυτής της διάταξης που σε συνδυασμό με την απλότητα και την αξιοπιστία των μετατροπών την καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστική για εφαρμογές ανεμογεννητριών. Ακόμα υπάρχει μικρότερη καταπόνηση του δικτύου από αρμονικές. Παρόλα αυτά το πρόβλημα του μικρού συντελεστή ισχύος, λόγω του αντιστροφέα από θυρίστορ και η ύπαρξη αρμονικών συνεχίζουν να υφίστανται.

Επίσης, σε αρκετά χαμηλή συχνότητα έχουμε ταλαντώσεις της ηλεκτρικής ροπής λόγω των παραμορφωμένων ρευμάτων του δρομέα. Το τελευταίο γεγονός πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψη στον σχεδιασμό του μηχανικού συστήματος μεταφοράς της ισχύος, για την αποφυγή κάποιου πιθανού συντονισμού.

Ωστόσο, είναι δυνατές και άλλες παραλλαγές της διάταξης οι οποίες μπορεί να περιλαμβάνουν ελεγχόμενο ανορθωτή με thyristors αντί για τον ανορθωτή διόδων ή σύστημα διπλών μετατροπών PWM. Η τελευταία υλοποίηση μάλιστα είναι και η καλύτερη καθώς απαλείφει και τα προβλήματα των αρμονικών, διατηρώντας το πλεονέκτημα του μειωμένου μεγέθους των μετατροπών. Η χρησιμοποίηση σύγχρονης μηχανής για γεννήτρια έχει το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται τους πυκνωτές οι οποίοι αποτελούν εξωτερική πηγή άεργου ισχύος. Όμως το κόστος της είναι μεγαλύτερο από το κόστος ασύγχρονης μηχανής.

Μια διαφορετική διαμόρφωση με χρήση σύγχρονης γεννήτριας είναι αυτή που εικονίζεται στο Σχήμα 2.14 και στην οποία χρησιμοποιείται και ανορθωτής και αντιστροφάς με θυρίστορς.



Σχήμα 2.14: Διαμόρφωση σύγχρονης γεννήτριας που περιλαμβάνει ανορθωτή και αντιστροφή
(Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011)

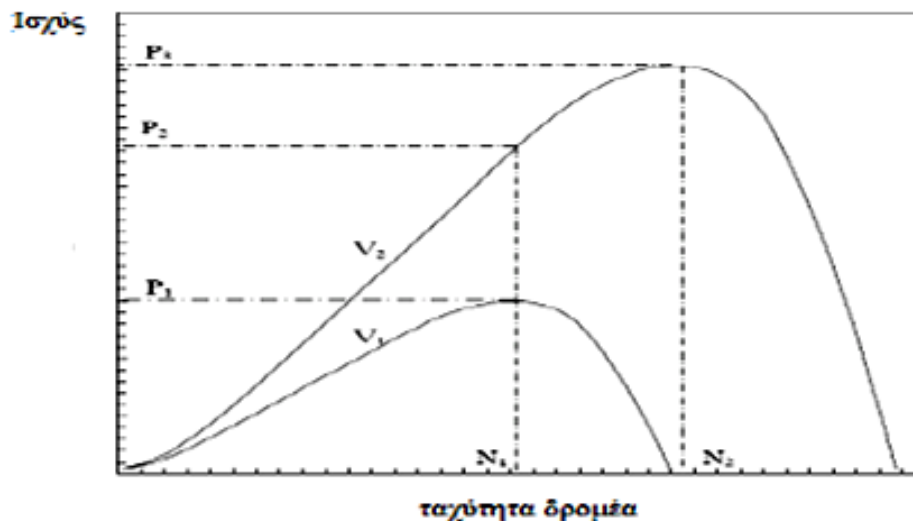
Αυτή η διάταξη επιτρέπει την αντιστροφή της ροής ισχύος για επιτάχυνση της ανεμογεννήτριας κατά την εκκίνηση. Το συνεχές ρεύμα ελέγχεται μέσω της γωνίας έναυσης των ηλεκτρονικών στοιχείων του αντιστροφά. Με αυτόν τον τρόπο, όπως και στην περίπτωση της ασύγχρονης μηχανής, ρυθμίζεται η ροή ισχύος από την ανεμογεννήτρια στο δίκτυο, έτσι ώστε να μεταβάλλεται η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα κατά τον επιθυμητό τρόπο. Η συμπεριφορά αυτού του συστήματος από την πλευρά του δικτύου είναι εξίσου άσχημη με τις προηγούμενες περιπτώσεις λόγω των αρμονικών που εισάγει ο αντιστροφάς (Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011).

2.6.3. Σύγκριση ανεμογεννητριών σταθερών και μεταβλητών στροφών

Συγκρίνοντας τις ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών με αυτές των μεταβλητών παρατηρείται ότι τις πρώτης κατηγορίας είναι πιο απλές κατασκευαστικά, με συνέπεια να είναι και πιο οικονομικές από τις ανεμογεννήτριες των μεταβλητών στροφών. Ωστόσο, επειδή δεν έχουν την δυνατότητα να ακολουθήσουν την ταχύτητα του ανέμου, η μετατροπή της ενέργειας δεν είναι τόσο αποδοτική όσο στα συστήματα μεταβλητών στροφών.

Όπως έχει προαναφερθεί ένας ανεμοκινητήρας έχει το μέγιστο συντελεστή ισχύος (C_p) στην καθορισμένη από τον κατασκευαστή τιμή του λόγου ακροπτερυγίου του (tip-speed ratio). Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι για τις ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας ο μέγιστος αριθμός του συντελεστή ισχύος μπορεί να επιτευχθεί σε συγκεκριμένη ταχύτητα του ανέμου. Στην περίπτωση των ανεμογεννητριών μεταβλητής ταχύτητας ο μέγιστος αριθμός του συντελεστή ισχύος εξαρτάται από την μεταβολή της ταχύτητας.

Για την κατανόηση των αυτών δίνεται το Διάγραμμα 2.1 όπου για μία ταχύτητα του ανέμου V_1 , στην οποία ο ανεμοκινητήρας λειτουργεί με μια ταχύτητα στροφών N_1 και παράγει μια ισχύ P_1 , ο ανεμοκινητήρας λειτουργεί στο μέγιστο συντελεστή ισχύος. Ωστόσο, αν μεταβληθεί η ταχύτητα του ανέμου από V_1 σε V_2 η ισχύς που αναπτύσσεται είναι P_2 αφού το σύστημα σταθερής ταχύτητας μπορεί να λειτουργήσει μόνο με την ίδια ταχύτητα N_1 . Συνεπώς, η μέγιστη ισχύς P_3 που παράγεται από το δρομέα για ταχύτητα ανέμου V_2 δεν χρησιμοποιείται πλήρως από το σύστημα. Για την περίπτωση της λειτουργίας με μεταβλητή ταχύτητα, το σύστημα μπορεί να σχεδιαστεί για να λειτουργήσει με μια ταχύτητα N_2 για ταχύτητα ανέμου V_2 , αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή μεγαλύτερης ισχύος P_3 .



Διάγραμμα 2.1: Ισχύς A/K συναρτήσει ταχύτητας δρομέα σε δύο διαφορετικές ταχύτητες ανέμου (Γκουντρουμάνης, 2012).

Συμπερασματικά λοιπόν ισχύει ότι, η λειτουργία με μεταβλητές στροφές επιτρέπει στον ανεμοκινητήρα να λειτουργήσει σε βέλτιστο επίπεδο μέσα σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η μέγιστη εκμετάλλευση ενέργειας ιδιαίτερα σε τοποθεσίες με έντονα μεταβαλλόμενες συνθήκες αέρα. Σε συγκεκριμένες περιοχές η ενέργεια μπορεί να είναι 8% έως 15% μεγαλύτερη (Γκουντρουμάνης, 2012).

3. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΘΕΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

3.1. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΠΟΘΕΣΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Η επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας πρέπει να γίνει με σκοπό να βρεθεί η πιο συμφέρουσα τοποθεσία έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα παροχής της μέγιστης ισχύς άρα και του βέλτιστου συντελεστή απόδοσης. Ωστόσο η επιλογή της εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας δεν εξαρτάται μόνο από την βέλτιστη απόδοση που επιθυμείται αλλά και από την αισθητική ρύπανση που μπορεί να δημιουργήσει. Μια ανεμογεννήτρια πρέπει να τοποθετηθεί σε θέση που δεν θα αποτελεί εμπόδιο για την οικιστική ομορφιά της περιοχής καθώς θα πρέπει να γίνεται αποδεκτή από τον κοινωνικό σύνολο.

Ωστόσο, υπάρχουν και βασικοί παράγοντες και προϋποθέσεις που θα πρέπει να πληρεί η θέση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας ώστε να θεωρηθεί κατάλληλη. Οι βασικές προϋποθέσεις είναι οι ακόλουθες:

- Η εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να βρίσκεται σε περιοχή προσπελάσιμη στα συνήθη μεταφορικά μέσα
- Να υπάρχει πρόσβαση σε λιμάνια ή συγκοινωνιακούς κόμβους
- Να είναι κοντά στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. στην περίπτωση σύνδεσης της με το εθνικό δίκτυο
- Απαιτείται η σύμφωνη γνώμη του κοινωνικού συνόλου, με τη διαβεβαίωση ότι η εγκατάσταση των ανεμογεννητριών δεν θα αλλοιώσει το περιβάλλον

Όσο αφορά την βέλτιστη επιλογή της θέσης εγκατάστασης μια ανεμογεννήτριας σύμφωνα με το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό πραγματοποιείται με την τήρηση των βασικών ανεμολογικών κριτηρίων προϋποθέτει την επιλογή των ακόλουθων:

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

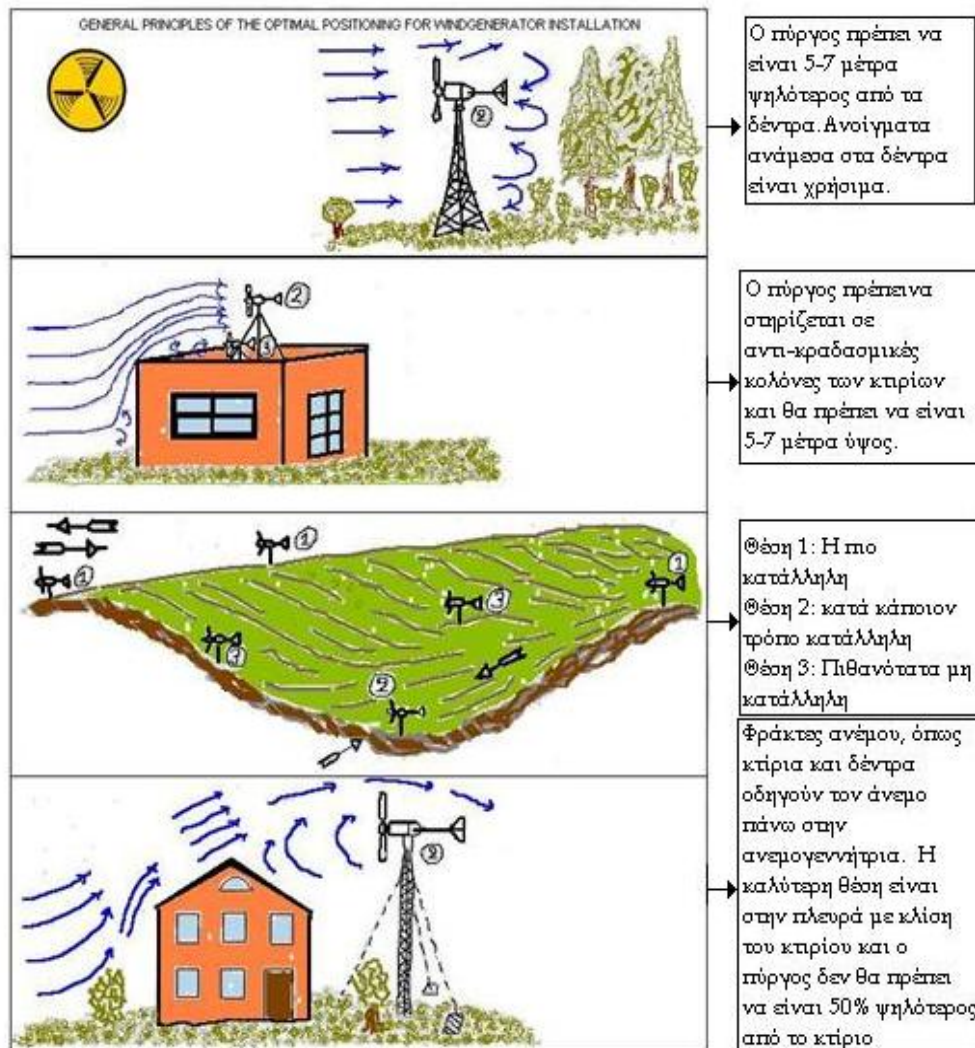
Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν η κατάλληλη και πιο αξιόπιστη θέση για την τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας είναι οι ορεινές και απομακρυσμένες περιοχές.

Η Ελλάδα παρουσιάζει μεγάλες υψομετρικές εναλλαγές με συνέπεια η τοπογραφία της να είναι αρκετά σύνθετη, αυτό είναι αντίθετο από τις αιολικά προηγμένες χώρες που χαρακτηρίζονται από την απλή τοπογραφία τους. Οι υψομετρικές διαφορές της Ελλάδας ευνοούν την εγκατάσταση αιολικών συστημάτων όμως δεν αποτελούν καλή επιλογή για χρήση μεγάλων ανεμογεννητριών (Πελοποννήσιος, 2013).

Σύμφωνα με τον Καλδέλλης (1999) οι ανεμολογικά αξιοποιήσιμες περιοχές στην Ελλάδα είναι συνήθως ορεινές και δυσπρόσιτες. Οι στενοί και πολύστροφοι δρόμοι που περνούν μέσα από ορεινά χωριά είναι σε πολλές περιπτώσεις απροσπέλαστοι για ανεμογεννήτριες με μήκος πτερυγίου πάνω από 20 - 25 m. Ακόμα και στην περίπτωση όπου η οδική πρόσβαση είναι εφικτή, η απαιτούμενη βελτίωση της οδοποιίας ώστε να εξυπηρετήσει τη μεταφορά μεγάλων πτερυγίων απαιτεί ένα σημαντικό κόστος.

Επίσης, λόγω του φαινομένου της συμπίεσης η καθ' ύψος αύξηση της ταχύτητας του ανέμου σε μια ελληνική κορυφογραμμή είναι, αν όχι μηδενική, αρκετά μικρότερη σε σύγκριση με τις πεδινές περιοχές της Ευρώπης. Αυτό σημαίνει ότι η μεγάλη ανεμογεννήτρια στην

Ελλάδα δεν εκμεταλλεύεται το πλεονέκτημα του ύψους που έχει απέναντι στις μικρές μηχανές. Στις ορεινές περιοχές της χώρας μας το μέσο κόστος χρήσης της γης είναι πολύ χαμηλότερο από το αντίστοιχο της Ευρώπης. Ούτε αυτός ο παράγοντας δηλαδή πριμοδοτεί την οικονομική ανταγωνιστικότητα της μεγάλης ανεμογεννήτριας απέναντι στα μικρότερα μοντέλα. Τέλος, λόγω του ότι η αιολική ενέργεια συλλέγεται σε απόκεντρες περιοχές, η δυνατότητα απορρόφησης στο ηλεκτρικό δίκτυο είναι περιορισμένη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σε πολλές περιπτώσεις η οικονομία χώρου να μην έχει νόημα, αφού η χωρητικότητα του δικτύου είναι μικρότερη από την αιολικά εκμεταλλεύσιμη έκταση.



Εικόνα 3.1: Γενικές αρχές για τη βέλτιστη τοποθέτηση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας (Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011)

Άρα σύμφωνα με όσα έχουν προαναφερθεί γίνεται κατανοητό ότι η επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας αποτελεί μια συνθέτη διαδικασία, που πρέπει να ληφθούν υπόψη πολλοί παράγοντες. Τα βασικά βήματα που ακολουθούνται για την επιλογή της τοποθέτησης της ανεμογεννήτριας είναι τα εξής:

- Επιλέγεται η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος
- Εντοπίζονται οι υποψήφιες περιοχές, που διαθέτουν αιολικό δυναμικό υψηλής ποιότητας

- Επιλέγονται τις υποψήφιες θέσεις στις οποίες είναι δυνατή από τεχνικής πλευράς η εγκατάσταση ανεμοκινητήρων
- Επιλογή και επαλήθευση της τελικής θέσεως

Για την εύρεση και αξιολόγηση της τελικής θέσης εγκατάστασης χρειάζονται περίπου 18 με 24 μήνες, με σκοπό να επιλεγεί η καλύτερη δυνατή θέση. Επιπλέον, για την τεκμηριωμένη επιλογή της θέσης εγκατάστασης, προτείνεται η χρήση πολυκριτηριακής μεθόδου αξιολόγησης των υποψήφιων περιοχών, που θα πρέπει να συμπληρώνεται από την απαραίτητη ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων. Στην περίπτωση αυτή καταγράφονται οι διάφοροι παράμετροι του προβλήματος και στη συνέχεια κατατάσσονται ανάλογα με τη σπουδαιότητά τους (Πελοποννήσιος, 2013).

3.1.1. Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή τοποθεσίας εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας

Ο προσδιορισμός μιας τοποθεσία που επικρατούν ισχυροί άνεμοι για μεγάλο χρονικό διάστημα δεν σημαίνει ότι είναι και η κατάλληλη τοποθεσία εγκατάστασης μια ανεμογεννήτριας. Υπάρχουν πολλοί παράμετροι που πρέπει να συνυπολογιστούν κατά την εκπόνηση της μελέτης εγκατάστασης με στόχο στην επιλογή της οριστικής θέσης εγκατάστασης. Σημειώνεται ότι η τελική αυτή επιλογή θα είναι η βέλτιστη, μόνον στην περίπτωση που πραγματοποιηθεί λεπτομερής αξιολόγηση των παραμέτρων τούτων.

Οι παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή της τοποθεσίας εγκατάστασης μια ανεμογεννήτριας είναι οι ακόλουθοι (Κουμουντέλα & Λάζαρη, 2011; Πελοποννήσιος, 2013):

❖ Οικονομική αξία

Ο βασικός στόχος μιας ανεμογεννήτριας είναι να ελαττώσει το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτέλεσμα αυτού είναι ότι η οικονομική βιωσιμότητα θεωρείται πρωταρχική ιδιότητα για την αποδοχή ή απόρριψη μιας προτιμώμενης θέσης εγκατάστασης. Η ανεμογεννήτρια έχει την δυνατότητα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια μόνο στην περίπτωση που υπάρχει άνεμος στην περιοχή. Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει χρησιμοποιείται συνήθως ως εξοικονομητής καυσίμου.

Το κόστος της παραγόμενης ενέργειας παρουσιάζει ποικιλομορφία ανάλογα με την ώρα, την μέρα, τον μήνα, την εποχή και το έτος. Άρα για να κριθεί η οικονομική βιωσιμότητα μιας θέσης ανεμογεννήτριας, απαιτούνται πληροφορίες που θα αποδεικνύουν το μέγεθος και τις διακυμάνσεις του ανέμου μέσα σε ένα έτος.

Ωστόσο, είναι αξιοσημείωτος ο παράγοντας του κόστους εγκατάστασης όπου παρουσιάζει μεγάλη μείωση στην περίπτωση που πραγματοποιηθεί κοντά σε υπάρχοντες δρόμους και γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

❖ Επιδράσεις στο περιβάλλον

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί οι επιδράσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον είναι πολύ μικρές. Ωστόσο, υπάρχουν και κάποιες περιπτώσεις που μπορεί να υπάρξουν κάποιες αρνητικές επιδράσεις περιβάλλον, αυτές είναι οι ακόλουθες:

- a) *Οπτικοαισθητική επίδραση*: όταν η περιοχή της εγκατάστασης δεν είναι «ανοιχτή» τότε η ανεμογεννήτρια δημιουργεί μια αρνητική οπτική εντύπωση. Σε αντίθετη περίπτωση, δηλαδή όταν η εγκατάσταση γίνει σε μια αχανή περιοχή τότε περνά σχεδόν απαρατήρητη.
- b) *Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση*: η ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια της πτερωτής δημιουργούν το πρόβλημα της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης.

- c) *Κανονισμοί και περιορισμοί στη χρησιμοποίηση της γης:* η κατάλληλη θέση για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας ή ενός αιολικού πάρκου πρέπει να γίνει σύμφωνα με τους νόμους και του κανονισμούς, με συνέπεια να μην επιτρέπεται η χρήση γης για εγκατάσταση ανεμογεννήτριας. Οι νόμοι αυτοί μπορεί να είναι σχετικοί με την προστασία του περιβάλλοντος, με την προστασία ιστορικών μνημείων και άλλων αρχαιολογικών χώρων.

❖ **Μετεωρολογικά προβλήματα**

Η επιλογή της θέσης της εγκατάστασης θα πρέπει να γίνει σύμφωνα με τις μετεωρολογικές συνθήκες μιας περιοχής. Η ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στην κατασκευή, αλλά και να επηρεάσουν το κόστος συντήρησης και τη διάρκεια ζωής της μηχανής. Κάποιες από τις ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες είναι οι ακόλουθες:

- a) *Παγετός:* Η δημιουργία παγετού επηρεάζει μια ανεμογεννήτρια με διάφορους τρόπους. Αρχικά η επικάλυψη στις κατασκευές αυξάνει τα στατικά και δυναμικά τους φορτία. Όλα τα συστήματα της ανεμογεννήτριας και οι γραμμές μεταφοράς πρέπει να έχουν υπολογιστεί ώστε να αντέχουν αυτά τα φορτία. Όμως όταν επικάλυπται σημαντικές ποσότητες πάγου στα πτερύγια, εκτός του ότι αυξάνεται το φορτίο τους, υπάρχει και ο κίνδυνος να εκτοξευθεί κάποιο κομμάτι πάγου καθώς τα πτερύγια στρέφονται. Όταν επικρατεί παγετός θα πρέπει να σταματάει η λειτουργία της ανεμογεννήτριας και να γίνεται καθαρισμός στα πτερύγια.



Εικόνα 3.2: Παγετός σε ανεμογεννήτρια (Πελοποννήσιος, 2013)

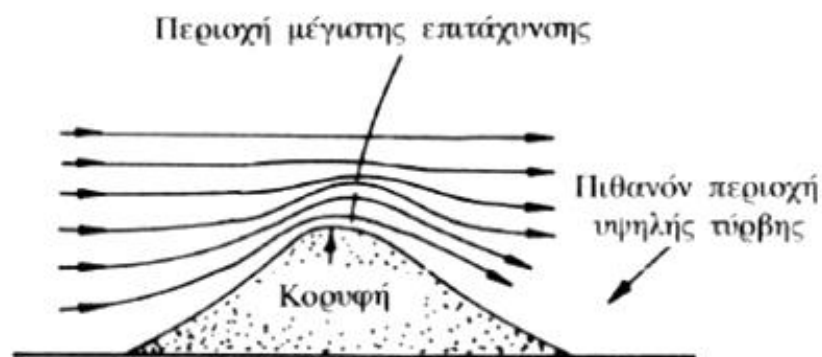
Όμως αυτό έχει σημαντικές επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας, ειδικά στην περίπτωση που η περιοχή εμφανίζει συχνά τα φαινόμενα του παγετού. Η εκλογή της θέσης της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να εκτιμάται και από μετεωρολόγο για τις πιθανότητες και τις συχνότητες που μπορούν να εμφανίζονται οι παγετώνες σε μια περιοχή. Επίσης, θα πρέπει να αποφεύγονται και οι περιοχές που παρουσιάζουν υπερβολικές χιονοπτώσεις, διότι αυξάνεται σημαντικά το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της ανεμογεννήτριας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή αποκλείεται συχνά από τα χιόνια.

- b) *Υπερβολικά ισχυροί άνεμοι:* όταν μια περιοχή παρουσιάζει συχνά το φαινόμενο των θυελλωδών και έντονων ανέμων τότε η ανεμογεννήτρια που θα εγκατάσταση θα πρέπει να σχεδιαστεί κατάλληλα με σκοπό να αντέχει σε μεγαλύτερα φορτία. Άρα ανάλογα με τη θέση που επιλέγεται, μεταβάλλεται και ο τύπος της ανεμογεννήτριας που θα εγκατασταθεί. Με συνέπεια να μεταβάλλεται το κόστος κατασκευής αλλά και το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.



Εικόνα 3.3: Ισχυροί άνεμοι σε ανεμογεννήτρια [9]

- c) **Τύρβη:** Σε μία τυρβώδη ροή, το άνυσμα της ταχύτητας σε κάθε σημείο του ρευστού, υφίσταται διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση. Αυτές οι διακυμάνσεις εκτείνονται σε μέγεθος και διάρκεια και μπορεί να προκαλέσουν κόπωση της κατασκευής. Η τύρβη επηρεάζει τη διάρκεια ζωής αλλά και το κόστος συντήρησης της μηχανής. Οι επιστήμονες γνωρίζουν ότι η τύρβη σε ροή πάνω από τραχύ, ανώμαλο έδαφος (βουνά, κοιλάδες, λόφοι, κ.λ.π.) είναι διαφορετική από αυτήν που παρατηρείται στη ροή πάνω από επίπεδο, ομαλό έδαφος (Σχήμα 3.1). Ωστόσο, υπάρχουν ελάχιστα δεδομένα που να αποσαφηνίζουν αυτές τις διαφορές. Η μεγάλη πλειοψηφία των μετρήσεων έχει γίνει πάνω από επίπεδο έδαφος, όπου μπορεί να περιγράψει η ροή με απλές θεωρίες. Αλλά και αν υπήρχαν μετρήσεις της τύρβης πάνω από ανώμαλο έδαφος, θα ήταν δύσκολο να εκτιμηθεί η επίδρασή της στη διάρκεια ζωής και το κόστος συντήρησης της μηχανής. Κάτι τέτοιο απαιτεί περισσότερη εμπειρία, από τη λειτουργία μεγάλης ποικιλίας ανεμογεννητριών κάτω από ένα ευρύ φάσμα κλιματολογικών και τοπογραφικών συνθηκών. Προς το παρόν, θα ήταν επιθυμητό, να διαλέγονται θέσεις με όσο το δυνατό χαμηλότερο επίπεδο τύρβης.



Σχήμα 3.1: Παραδείγματα τύρβης
(Πελοποννήσιος, 2013)

❖ Υλικά μεταφερόμενα από τον αέρα

Όταν οι ανεμογεννήτριες προορίζονται να εγκατασταθούν σε παραθαλάσσιες περιοχές μπορούν να πάθουν διάβρωση γιατί ο άνεμος περιέχει άλατα. Αυτό έχει συνέπεια την υποχρεωτική προστασία των μερών της ανεμογεννήτριας με σκοπό την αποφυγή της σκωρία τους. Όταν μια ανεμογεννήτρια προορίζεται να τοποθετηθεί σε άγονη περιοχή τότε υπάρχει περίπτωση ο αέρας να μεταφέρει σκόνη, άμμο, ψιλό χαλίκι κλπ. με συνέπεια να πέφτουν πάνω της. Αυτά τα υλικά είναι τραχιά και μπορούν να προξενήσουν ζημιές στα πτερύγια, τα προστατευτικά καλύμματα, τα λιπαντικά και αλλού.

Βασικό για την καλή λειτουργία της μηχανής κάτω από τις προαναφερόμενες συνθήκες είναι η καλή συντήρηση της μηχανής. Επιπλέον, απαιτείται να πραγματοποιηθούν κάποιες σχεδιαστικές τροποποιήσεις και ειδικές διαδικασίες συντήρησης τα οποία είναι και οι παράγοντες που αυξάνουν το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

❖ Σταθερότητα των ανέμων

Ο άνεμος όπως έχει προαναφερθεί δεν είναι σταθερός με συνέπεια να υπάρχουν αρκετές διακυμάνσεις στην ταχύτητα. Αυτό επηρεάζει την λειτουργία της μηχανής αλλά και την διάρκεια ζωής. Επιπλέον, υπάρχουν και αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου, όπου και αυτό επηρεάζει αρνητικά την ανεμογεννήτρια. Μια μελέτη της NASA πάνω στο μοντέλο ανεμογεννήτριας Clayton MOD-OA έδειξε ότι με την περιστροφή της μηχανής γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της (yawing), προκειμένου αυτή να παρακολουθεί τις αλλαγές της κατεύθυνσης του ανέμου, αναπτύσσονται σημαντικά καμπτικά φορτία στα πτερύγια της μηχανής. Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα γίνεται κατανοητό ότι η λειτουργία μιας

ανεμογεννήτριας σε θέση που παρουσιάζει συχνές αλλαγές στη διεύθυνση του ανέμου θα είναι μειονεκτικότερη μιας άλλης που είναι τοποθετημένη σε περιοχή με σταθερότερους ανέμους.

Επιπλέον, ένα σημαντικό αιολικό χαρακτηριστικό είναι η μεταβλητότητα των αιολικών χαρακτηριστικών από έτος σε έτος. Είναι γνωστό ότι οι μεταβολές αυτές είναι συνήθως πολύ μικρότερες από τις εποχιακές ή ημερήσιες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια ενός δεδομένου έτους. Η διαχρονική μεταβλητότητα επηρεάζει το μέσο κόστος της παραγόμενης ενέργειας μέσα στην διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας, αφού στα 20 χρόνια που δίνεται ως την μέγιστη διάρκεια ζωής μιας ανεμογεννήτριας υπάρχουν σημαντικές μεταβολές στα αιολικά χαρακτηριστικά. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι η διαχρονική μεταβλητότητα μπορεί να αποδειχθεί επικίνδυνη αν οι αποφάσεις για την επιλογή τοποθεσίας στηριχτούν σε δεδομένα ενός «κακού» ή «καλού» αιολικού έτους.

❖ Επίδραση του τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής

Η τραχύτητα του εδάφους και τα επιφανειακά εμπόδια επηρεάζουν την διαμόρφωση του πεδίου ταχύτητας, ωστόσο η μεγαλύτερή επίδραση πραγματοποιείται από τις εδαφολογικές ιδιομορφίες της περιοχή της πιθανής θέσης εγκατάστασης μιας αιολικής μηχανής. Για την ορθή επιλογή της θέσης εγκατάστασης θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μελέτη τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής είτε υπό κλίμακα σε αεροδυναμική σήραγγα είτε με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων πλήρους ανάλυσης του πεδίου ροής. Η έννοια της λοφοσειράς λαμβάνεται κάθετη στην επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2.

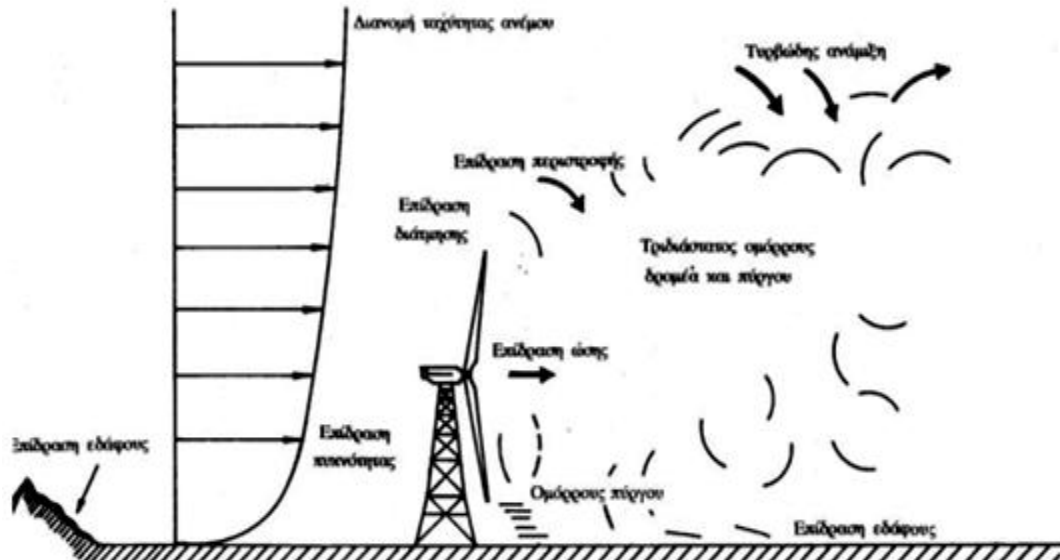


Σχήμα 3.2: Βέλτιστη τοποθεσία εγκατάστασης σε κορυφογραμμή (υψομετρικά)
(Πελοποννήσιος, 2013)

Το ύψος μιας λοφοσειράς δεν θα πρέπει να ξεπερνά τα 600 m και το πλάτος της είναι έως και δεκαπλάσιο του ύψους της. Η ανάλυσή βασίζεται στην υπόθεση ότι ο άνεμος περνάει επάνω από τη λοφοσειρά και δεν την παρακάμπτει κινούμενος πλαγίως

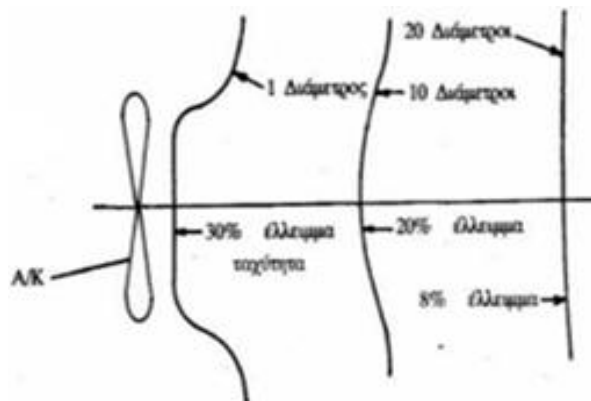
❖ Διάταξη τοποθέτησης ανεμογεννητριών

Η διάταξη τοποθέτησης των ανεμογεννητριών μεταξύ τους σύμφωνα με την επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου είναι το σημαντικότερο αντικείμενο μελέτης, με στόχο την μείωση της αλληλεπίδρασης των ανεμογεννητριών που μπορούν να εγκατασταθούν σε δεδομένη έκταση και στην μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του αιολικού πάρκου. Η ενεργειακή απόδοση μιας ανεμογεννήτριας η οποία γειτνιάζει με άλλες ανεμογεννήτριες εξαρτάται από το ρυθμό ανάπτυξης όμορου και την ενέργεια του ομόρου όταν φτάσει στη πίσω αιολική μηχανή. Το Σχήμα 3.3 απεικονίζει το πεδίο ροής του ομόρου.



Σχήμα 3.3: Πεδίο ροής όμορου
(Πελοποννήσιος, 2013)

Η φύση της ροής του ομόρου επηρεάζεται από την ώθηση που ασκείται από τη σαρωτή στο ρευστό. Ο όμορος δεν είναι αξονοσυμμετρικός (λόγω της ύπαρξης του πύργου) για τις μηχανές οριζόντιου άξονα. Η ταχύτητα ανέμου σε διαδοχικές σειρές αιολικών μηχανών φθίνει με γεωμετρική πρόοδο. Η ανεμογεννήτρια επιβραδύνει τον αέρα που προσπίπτει σε αυτή και δημιουργείται ένα όμορος χαμηλής ταχύτητας που ανοίγει βαθμιαία λόγω συνεκτικής και τυρβώδους ανάμιξης. Αν αυτό το ρεύμα αέρα συναντήσει δεύτερη ανεμογεννήτρια πριν ολοκληρωθεί η επαναφορά του στις τιμές πριν από την πρόσπτωση με την ανεμογεννήτρια, τότε η απόδοση της δεύτερης ανεμογεννήτριας μειώνεται αισθητά. Η απόδοση της δεύτερης μηχανής εξαρτάται από τη θέση της ως προς την πρώτη.



Σχήμα 3.3: Διανομή ταχυτήτων σε διάφορες αποστάσεις
(Πελοποννήσιος, 2013)

❖ **Αποδοχή από την πλευρά του κοινού**

Η κοινή γνώμη είναι αυτή που καθορίζει την τελική επιλογή της επιτυχής εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας. Το κοινό θα πρέπει να είναι σύμφωνο με τα έργα υποδομής που θα πραγματοποιηθούν με σκοπό την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας. Ωστόσο, θα πρέπει να είναι βέβαιο ότι δεν θα αλλοιωθεί το τοπίο και η ανεμογεννήτρια θα ταιριάζει στο σκηνικό των γύρω περιοχών.

Η στάση του κοινού μπορεί να επηρεασθεί είτε από τις αντιλήψεις για τις Α.Π.Ε. και συγκεκριμένα για τις ανεμογεννήτριες είτε από τα οικονομικά οφέλη που μπορούν να προσφέρουν με την εγκατάσταση τους στην συγκεκριμένη θέση. Μέχρι και σήμερα οι αντιλήψεις της πλειονότητας του κοινού για τις ανεμογεννήτριες είναι θετικές διότι δεν μολύνουν το περιβάλλον, χρησιμοποιούν σαν πρώτη ύλη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και εξοικονομούν καύσιμα.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι παράμετροι που αναλύθηκαν επηρεάζουν στην οικονομική βιωσιμότητα της συνολικής κατασκευής μιας ανεμογεννήτριας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την υποχρεωτική ανάλυση και μελέτη των παραγόντων από τον μηχανικό καθώς και τον μετεωρολόγο που έχει αναλάβει την μελέτη της εγκατάστασης. Ωστόσο, πάντα θα υπάρχει το θέμα του ρίσκου της επιλογής της θέσης, διότι τα μετεωρολογικά φαινόμενα βρίσκονται σε μία κατάσταση διαρκούς μεταβολής. Όσο προσεκτικές μετρήσεις και αν έχουν ληφθεί, όσο κι αν έχουν γίνει σοβαρές μελέτες των τοπογραφικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής, είναι πιθανό η απόφαση που θα παρθεί για τη θέση της εγκατάστασης να μην είναι η ορθή.

3.1.2. Μετρήσεις αιολικού δυναμικού με σκοπό την εγκατάσταση ανεμογεννητριών μικρής ισχύος

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

Αναλυτικότερα προτείνεται:

- Μέτρηση της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου σε ύψος κατ' ελάχιστον 10 μέτρων από το έδαφος στην θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας.
- Δειγματοληψία της στιγμιαίας τιμής των μετρούμενων μεγεθών ανά δευτερόλεπτο και καταγραφή των ακραίων τιμών, της μέσης τιμής και της τυπικής απόκλισης δεκαλέπτου.
- Χρήση βαθμονομημένων κυπελλοφόρων ανεμόμετρων.
- Ελάχιστη διάρκεια μετρήσεων 6 μηνών με 95% διαθεσιμότητα. Ενδεικνυόμενη διάρκεια μετρήσεων 1 έτος με 85% διαθεσιμότητα.
- Οι διαστάσεις των βραχιόνων και η τοποθέτηση των οργάνων να συμφωνούν με το πρότυπο IEC 61400-12-1 και ακόμη καλύτερα οι μετρήσεις να γίνονται από διαπιστευμένο κατά ISO 17025 εργαστήριο ώστε να είναι αποδεκτές από τράπεζες και χρηματοδοτικούς φορείς (Μακρή, 2013).

Ωστόσο, η βασική πληροφόρηση για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής μπορεί να πραγματοποιηθεί από τα κάτωθι (Μακρή, 2014):

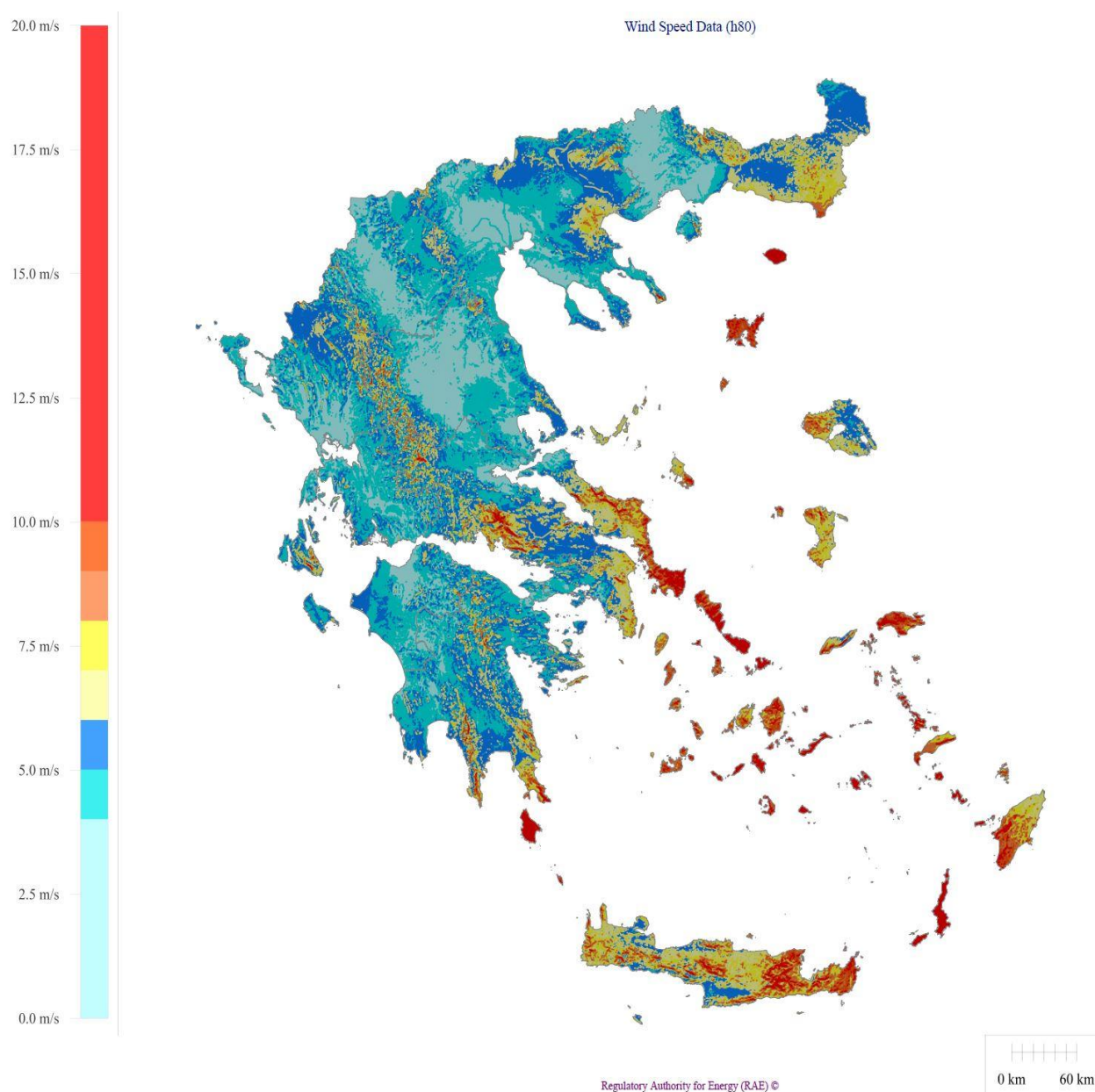
- Χάρτες αιολικού δυναμικού –ΚΑΠΕ-ΡΑΕ
- ΕΜΥ
- Μετρήσεις αιολικού δυναμικού
- Μακροσκοπικά μοντέλα μετεωρολογικών προβλέψεων.

Ο ενδιαφερόμενος, με τη συνεργασία εξειδικευμένου προμηθευτή, τελικά εκτιμά τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία των δεδομένων ή γενικά πληροφοριών από άλλες πηγές για το αιολικό δυναμικό στην περιοχή ενδιαφέροντος και να αποφασίσει αν θα προβεί ή όχι σε μετρήσεις στη θέση εγκατάστασης της μικρής ανεμογεννήτριας (Μακρή, 2013).

Με την προαναφερόμενη πληροφόρηση πραγματοποιείται η πρώτη εκτίμηση του αιολικού δυναμικού που διαχωρίζεται σε κατηγορίες (Πίνακας 3.1):

Πίνακας 3.1: Κατηγορίες αιολικού δυναμικού (Μακρή, 2014)

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



Εικόνα 3.4: Χάρτης Ελλάδας όπου απεικονίζεται το αιολικό δυναμικό κάθε περιοχής [12]

Πίνακας 3.2: Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμων (10m από το έδαφος)
(Μπεργελές, 1995)

A/A	ΠΕΡΙΟΧΗ	U m/sec
1	Άνδρος	9.7
2	Τήνος	9.5
3	Μύκονος	10.8
4	Κρήτη	8.1
5	Λήμνος	8.1
6	Λέσβος	8.7
7	Χίος	8.1
8	Σάμος	10.4
9	Εύβοια	9.2
10	Κάρπαθος	9.6
11	Σκύρος	6.5
12	Σαμοθράκη	6.6

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι προαναφερόμενες μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί μεταξύ των ετών 1983 έως 1990. Ωστόσο, δεν θεωρούνται ακριβείς διότι πραγματοποιήθηκαν από μετεωρολογικούς σταθμούς με συνέπεια να μην έχουν την κατάλληλη θέση για μέτρηση αιολικού δυναμικού (Μπεργελές, 1995).

3.2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΔΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ

Η εγκατάσταση μιας μικρής ανεμογεννήτριας απαιτεί μία σειρά αιτήσεων που αφορά τα εξής:

- Σύνδεσής ανεμογεννήτριας στο δίκτυο
- Περιβαλλοντική αδειοδότησή ανεμογεννήτριας
- Πολεοδομική άδεια.

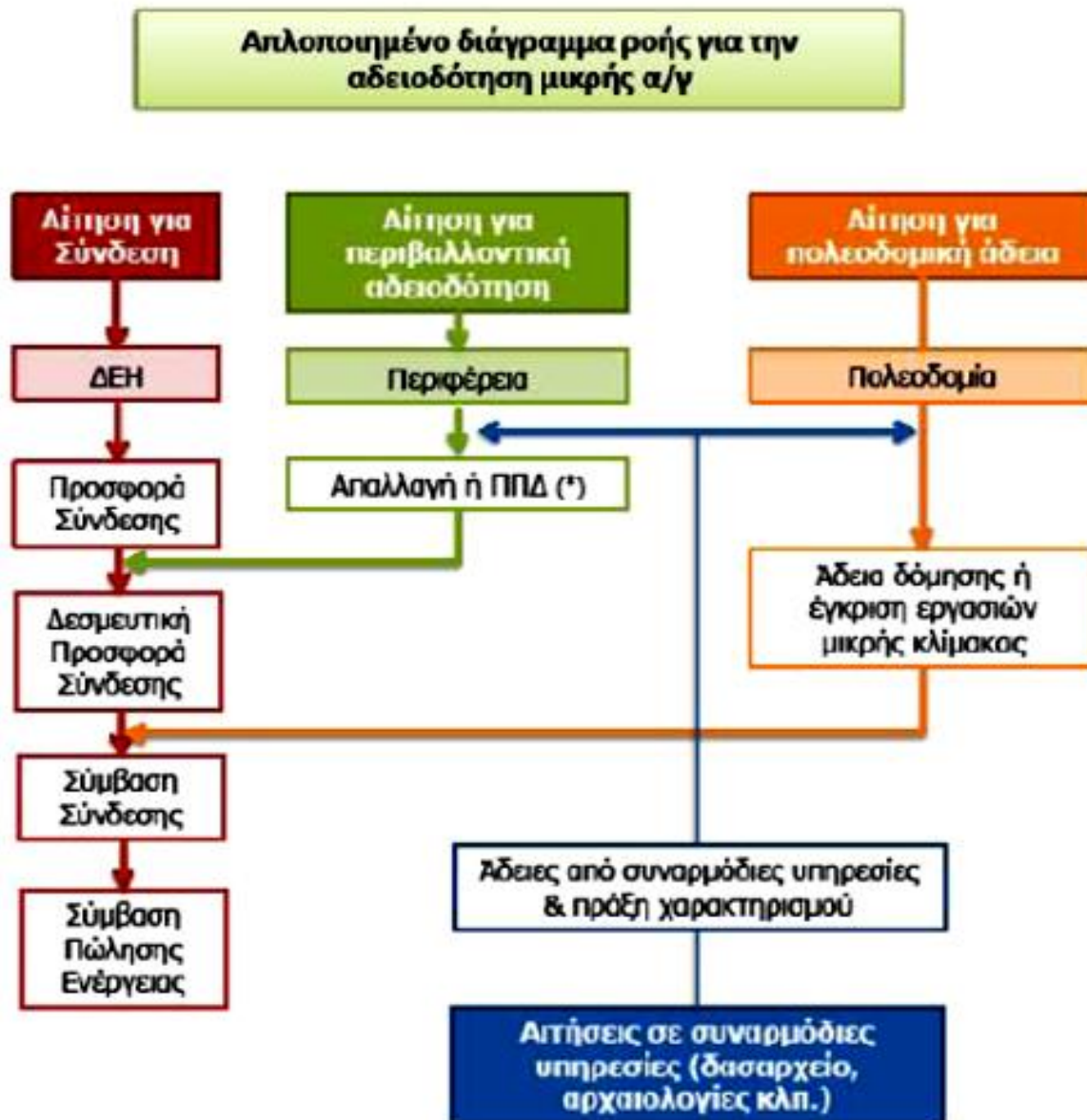
Τα βήματα που πρέπει να ακολουθούνται παρουσιάζονται στο Σχήμα 3.1.

Οι ανεμογεννήτριες ισχύος μεγαλύτερης των 100 kW και γενικά οι αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος άνω των 100 kW υποχρεούνται να εκδόσουν:

- Άδεια παραγωγής
- Άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας

Οι ανεμογεννήτριες και γενικά οι αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος έως 100 kW δεν έχουν αντίστοιχη υποχρέωση. Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται η πλήρωση των κριτηρίων αξιολόγησης για τη χορήγηση άδειας παραγωγής. Σημειώνεται ότι στις ανωτέρω περιπτώσεις δεν εκδίδεται καμία διοικητική πράξη.

Το Παράρτημα Α. της παρούσας πτυχιακής εργασίας περιλαμβάνει αναλυτικά την διαδικασία έκδοσης άδειας καθώς και το νομοθετικό πλαίσιο που ισχύει για κάθε περίπτωση.



Σχήμα 3.1: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για την αδειοδότηση μικρής ανεμογεννήτριας [11]

3.3. ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η τιμολόγηση της ενέργειας που παράγεται από μικρές ανεμογεννήτριες στην Ελλάδα διαμορφώνεται ως ακολούθως:

- Για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 50 KW, η τιμή ισούται με 250 €/MWh (τιμή ίδια για Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και Σύστημα και για μη Διασυνδεδεμένα Νησιά),
- Για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 50 kW, η τιμή ισούται με 87.85 €/MWh (Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και Σύστημα) και 99.45 €/ MWh (μη Διασυνδεδεμένα Νησιά).

Ο τρόπος αναπροσαρμογής των τιμών αυτών και λοιπές λεπτομέρειες μπορούν να αναζητηθούν στη σχετική διάταξη του νόμου, η οποία γενικά προβλέπει ως δείκτη αναπροσαρμογής τη μεσοσταθμική αναπροσαρμογή των τιμολογίων λιανικής της ΔΕΔΔΗΕ. Ο δείκτης αυτός εφαρμόζεται για όσο χρόνο τα τιμολόγια της ΔΕΔΔΗΕ καθορίζονται με υπουργική απόφαση. Όταν αυτό παύσει και η ΔΕΔΔΗΕ θα καθορίζει τα τιμολόγια της ελεύθερα, για την αναπροσαρμογή της τιμής πώλησης της ενέργειας από μικρές ανεμογεννήτριες, όπως και για τις λοιπές Α.Π.Ε. πλην φωτοβολταϊκών, θα εφαρμόζεται το 80% του πληθωρισμού. Για λόγους σύγκρισης, στη συνέχεια παρατίθεται η αντίστοιχη τιμολογιακή πολιτική της Αγγλίας η οποία έχει ως εξής:

- Για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 15 kW, η τιμή ισούται με 291 €/ MWh.
- Για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μεταξύ 1.5 και 15 kW, η τιμή ισούται με 322 €/MWh.
- Για αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 1.5 kW, η τιμή ισούται με 417 €/MWh.

3.4. ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΤΩΝ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Οι μικρές ανεμογεννήτριες έχουν την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε ένα μικροδίκτυο μικρής κλίμακας επιπέδου οικίας ή μικρού οικισμού. Η σύνδεση μίας μικρής ανεμογεννήτριες μπορεί να επιτευχθεί είτε στον AC ζυγό ενός μικροδικτύου είτε στον AC ζυγό του δικτύου χαμηλής τάσης.

Ωστόσο, δίνεται και ακόμα ένας τρόπος όπου η σύνδεση στον DC ζυγό ενός αυτόνομου συστήματος με συσσωρευτές ως μονάδα αποθήκευσης. Η σύνδεση σε ζυγό AC ενός μικροδικτύου παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με την σύνδεση σε ζυγό DC. Το AC σύστημα επιτρέπει τη σύνδεση πολλών διαφορετικών πηγών και μέσων αποθήκευσης σε έναν κοινό ζυγό AC. Οι πηγές και οι συσσωρευτές μπορεί να βρίσκονται σε διαφορετικές περιοχές και να συνδέονται απλά στον κοινό ζυγό. Επίσης, οι απώλειες του συστήματος είναι λιγότερες από το DC σύστημα εφόσον λειτουργεί σε υψηλότερη τάση (Hau, 2006).

4. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μικρές ανεμογεννήτριες έχουν την δυνατότητα να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος ή εξολοκλήρου τις ενεργειακές ανάγκες μιας οικίας. Μια ανεμογεννήτρια τέτοιου τύπου θα πρέπει να έχει ισχύ έως 3 kW, διάμετρο δρομέα 5-7 m και να τοποθετηθεί σε ύψος το οποίο κυμαίνεται από 15 έως 35 m. Η εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας οικιακής χρήσης απαιτεί ελάχιστο χώρο, ωστόσο, επισημάνεται ότι πρέπει να αποφευχθεί η τοποθέτηση της σε απάνεμα μέρη, όπου η ταχύτητα του ανέμου περιορίζεται από παρακείμενα δέντρα ή κτήρια.

Στην περίπτωση που η ανεμογεννήτρια εξυπηρετεί το φορτίο του σπιτιού παράλληλα με το δίκτυο, αν η ταχύτητα του ανέμου είναι χαμηλότερη του ορίου λειτουργίας, 3-5 m/s, η ανεμογεννήτρια δεν θα παράγει ενέργεια και έτσι η εγκατάσταση θα τροφοδοτείται από το δίκτυο. Στην περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου αυξηθεί θα παρουσιαστεί αύξηση και στην ενέργεια που αποδίδει η ανεμογεννήτρια οπότε θα μειωθεί, ανάλογα, η κατανάλωση από το δίκτυο. Επιπλέον, σε περίπτωση που η ενέργεια από τον άνεμο ξεπερνά την απαιτούμενη από το φορτίο του σπιτιού, η πλεονάζουσα ενέργεια αποδίδεται στο δίκτυο ή αποθηκεύεται σε συσσωρευτές.

Τονίζεται ότι αν υπάρχει πλεονάζουσα ενέργεια από την λειτουργία της ανεμογεννήτριας, ο ιδιοκτήτης θα πρέπει να έχει κάνει την απαραίτητη συμφωνία με τον διαχειριστή του δίκτυο με σκοπό να έχει τις απαραίτητες απολαβές από την πρόσφορα της ενέργειας που παράγει η ανεμογεννήτρια στο δίκτυο (Μακρή, 2013).

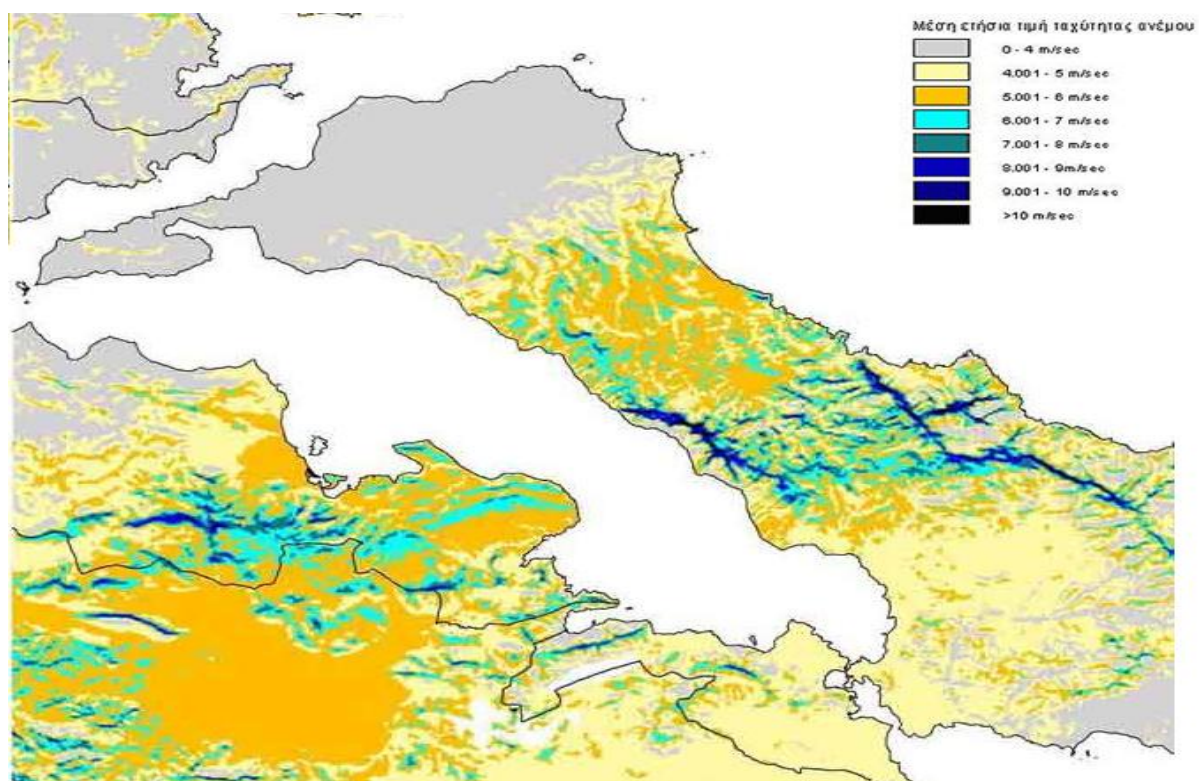
Για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασία θα γίνει επιλογή συστήματος για την κάλυψη οικίας 70 m² στο νησί Εύβοια και συγκεκριμένα στην περιοχή Κάψαλα. Σημειώνεται ότι δεν υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης της οικίας με το ηλεκτρικό δίκτυο με συνέπεια να απαιτείται η εξολοκλήρου κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από την ανεμογεννήτρια καθώς και να υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας.

4.2. ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

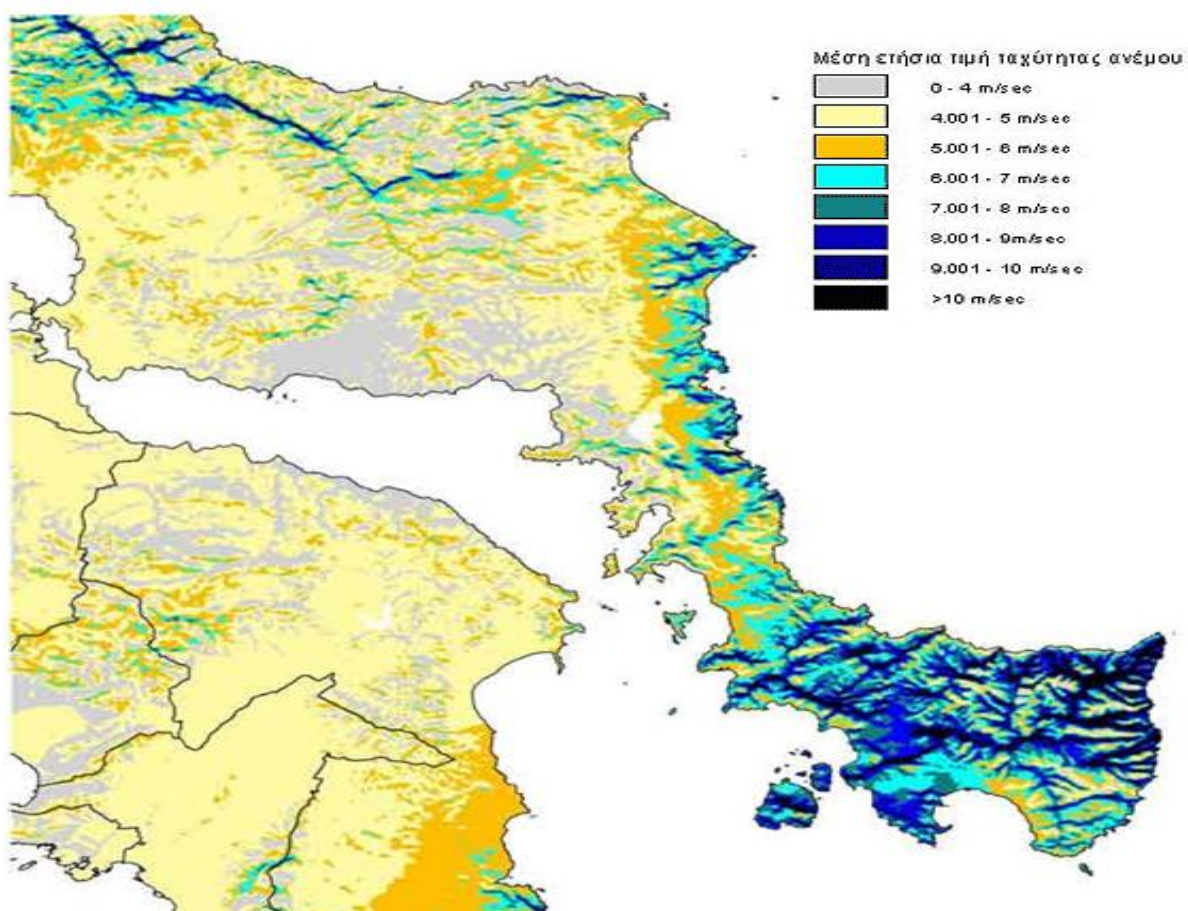
4.2.1. Αιολικό δυναμικό Ευβοίας

Η Εύβοιας χαρακτηρίζεται από το εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό της με αποτέλεσμα να είναι κατάλληλη για την εγκατάσταση αιολικού πάρκου και κατ' επέκταση μεμονωμένων ανεμογεννητριών οικιακής χρήσης για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών. Σύμφωνα με τα στοιχεία που έχει συλλέξει ο Μπεργελές (1995) η μέση ταχύτητα του ανέμου τα έτη 1983-1990 στην περιοχή της Ευβοίας κυμαινόταν στο 9,2 m/sec όπου και κατατάσσεται στην κατηγορία του υψηλού αιολικού δυναμικού.

Ωστόσο, οι νεότερες μελέτες έχουν δώσει πιο συγκεκριμένα αποτελέσματα για κάθε γεωγραφικό διαμέρισμα της Ελλάδας και κατ' επέκταση για κάθε νομό της. Το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας έχει προσκομίσει τους χάρτες καθώς και όλες τις απαραίτητες πληροφορίες του αιολικού δυναμικού όλης της χώρας. Κάποιοι από τους Χάρτες απεικονίζονται στις Εικόνες 4.1 και 4.2. όπου διακρίνεται το αιολικό δυναμικό κάθε περιοχής της Ευβοίας.



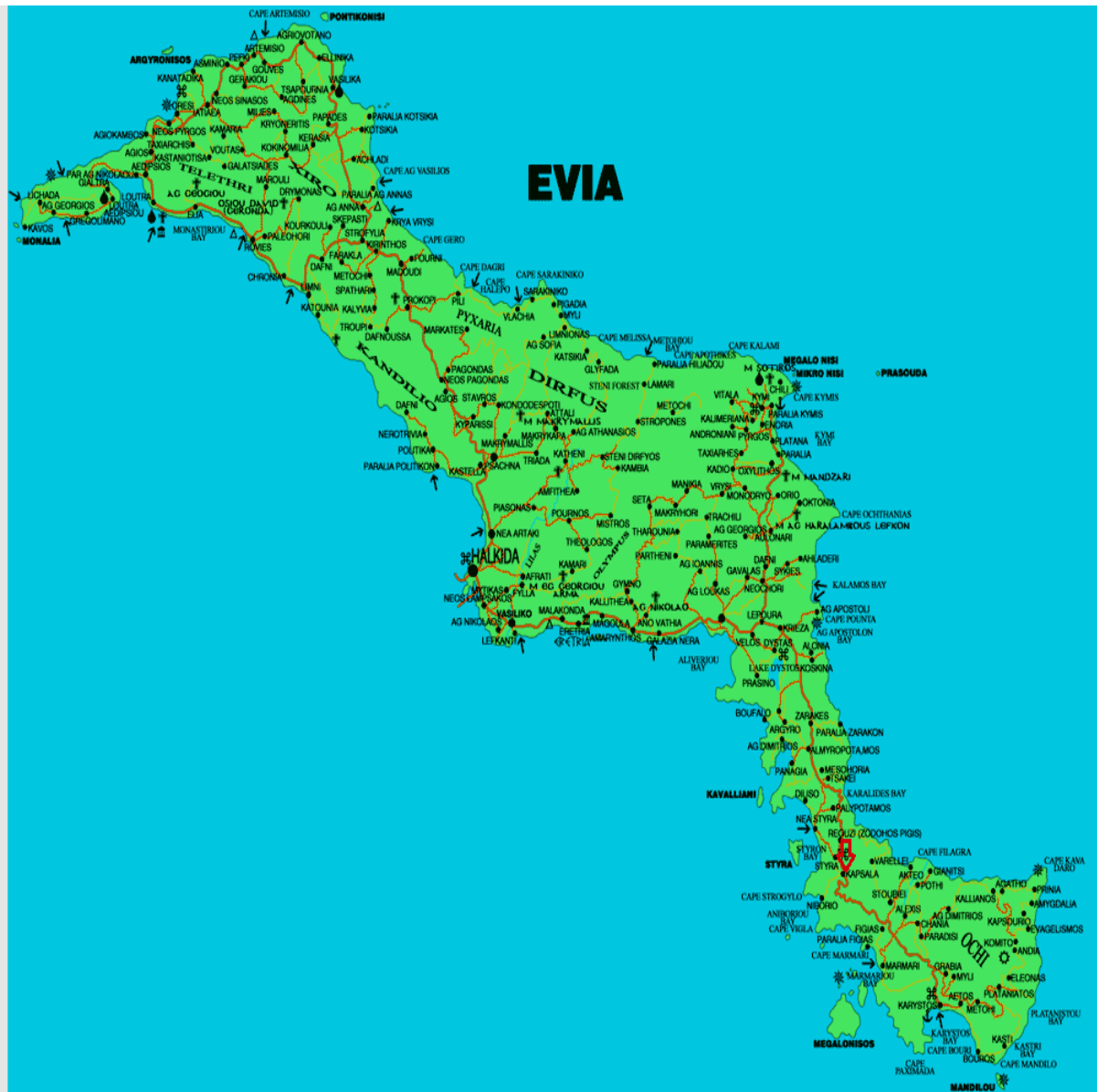
Εικόνα 4.1: Χάρτης Αιολικού δυναμικού Ευβοίας [13]



Εικόνα 4.2: Χάρτης Αιολικού δυναμικού Ευβοίας [13]

Παρατηρείται λοιπόν αυτό που προαναφέρθηκε αρχικά ότι το μεγαλύτερο τμήμα της Εύβοιας και συγκεκριμένα το Νοτιοανατολικό τμήμα, χαρακτηρίζεται για το πλούσιο αιολικό δυναμικό αφού η μέση ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 5 έως 10 m/sec.

Η οικία που προσφέρεται για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας βρίσκεται στην περιοχή Κάψαλα που ανήκει στον Δήμο Καρύστου της Εύβοιας. Στην Εικόνα 4.3 απεικονίζεται ο χάρτης της Εύβοιας όπου με βελάκι στιγματίζεται η συγκεκριμένη περιοχή.



Εικόνα 4.3: Χάρτης Εύβοιας [13]

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν η εγκατάσταση της οικιακής ανεμογεννήτριας στην συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να πραγματοποιηθεί δίνοντας εξαιρετικά υψηλή ενέργεια, αφού η μέση ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται μεταξύ 8 και 9 m/sec και παρουσιάζει σχετική σταθερότητα. Επιπλέον, σημειώνεται ότι δεν υπάρχουν εμπόδια γύρωθεν του σπιτιού, όπως άλλες οικίες και πολύ υψηλά δέντρα, με συνέπεια η εγκατάσταση και η επιλογή της ανεμογεννήτριας να γίνεται ευκολότερη.

4.2.2. Ενεργειακές ανάγκες οικίας

Για την επιλογή της ανεμογεννήτριας θα πρέπει αρχικά να υπολογιστούν οι ενεργειακές ανάγκες της οικίας, αφού ζητείται να καλυφθούν πλήρως, διότι δεν υπάρχει η δυνατότητα σύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Στον Πίνακα 4.1. καταγράφονται οι ηλεκτρικές συσκευές και η ισχύς που απαιτούν.

Πίνακας 4.1: Ηλεκτρικές συσκευές μονοκατοικίας 70m² [14]

Ηλεκτρικές Συσκευές	Ισχύς (Watt)	Ηλεκτρικές Συσκευές	Ισχύς (Watt)
Ψυγείο	340	Απορροφητήρας κουζίνας	100
Τηλεόραση 42΄	360	Στερεοφωνικό	16
Τηλεόραση 21΄ - 31΄	100	Σύστημα Σιδερώματος	1000
Φορτιστής κινητού	18	Θερμοσίφωνο	3000
Ασύρματο Τηλέφωνο	5	Κλιματισμός	1000(*2)
Υπολογιστής	200	Ηλεκτρική σκούπα	1400
Φούρνος μικροκυμάτων	1500	Φωτισμός κουζίνας	20
Τοστιέρα	650	Φωτισμός εξωτερικός	15(*2)
Καφετιέρα	350	Φωτισμός δωματίων	20 (*2)
Κουζίνα	2000	Φωτισμός μπάνιου	30
Σεσουάρ	1600	Φωτισμός Σαλονιού / Χωλ	100
Πλυντήριο πιάτων	1000	Καυστήρας / Κυκλοφορητής	250
Πλυντήριο ρούχων	2100		

Ωστόσο, για να πραγματοποιηθεί η πιο ακριβή ενεργειακή ανάλυση θα πρέπει να υπολογιστούν οι ενεργειακές ανάγκες της μονοκατοικίας κάθε εποχής. Είναι λογικό σε ένα σπίτι να διαφοροποιούνται οι ανάγκες σύμφωνα με τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν. Στην συνέχεια ακολουθούν οι Πίνακες των ενεργειακών αναγκών σύμφωνα με τις εποχές του χρόνου.

Υπενθυμίζεται ότι κάθε εποχή περιλαμβάνει τους εξής μήνες:

1. Φθινόπωρο: Σεπτέμβριος, Οκτώβριος, Νοέμβριος
2. Χειμώνας: Δεκέμβριος, Ιανουάριος, Φεβρουάριος
3. Άνοιξη: Μάρτιος, Απρίλιος, Μάιος
4. Καλοκαίρι: Ιούνιος, Ιούλιος, Αύγουστος

Πίνακα 4.2: Ενεργειακές ανάγκες φθινόπωρο και χειμώνα

Ηλεκτρικές Συσκευές	Ισχύς (Watt)	Ποσότητα	Φθινόπωρο			Χειμώνας		
			Ώρες / Ημέρα (h/day)	Ώρες / Μήνα (h/month)	Ενέργεια (Wh)	Ώρες / Ημέρα (h/day)	Ώρες / Μήνα (h/month)	Ενέργεια (Wh)
Ψυγείο	340	1	24	720	244800	24	720	244800
Τηλεόραση 42΄	360	1	6	180	64800	7	210	75600
Τηλεόραση 21΄ - 31΄	100	1	1,5	45	4500	1,5	45	4500
Φορτιστής κινητού	18	1	2	60	1080	2	60	1080
Ασύρματο Τηλέφωνο	5	1	24	720	3600	24	720	3600
Υπολογιστής	200	1	4	120	24000	4	120	24000
Φούρνος μικροκυμάτων	1500	1	0,25	7,5	11250	0,25	7,5	11250
Τοστιέρα	650	1	0,25	7,5	4875	0,25	7,5	4875
Καφετιέρα	350	1	0,3	9	3150	0,3	9	3150
Κουζίνα	2000	1	1,5	45	90000	1,5	45	90000
Σεσουάρ	1600	1	0,08	2,4	3840	0,08	2,4	3840
Πλυντήριο πιάτων	1000	1	1	30	30000	1	30	30000
Πλυντήριο ρούχων	2100	1	1	30	63000	1	30	63000
Απορροφητήρας κουζίνας	100	1	1,5	45	4500	1,5	45	4500
Στερεοφωνικό	16	1	2	60	960	2	60	960
Σύστημα Σιδερώματος	1000	1	1	30	30000	1	30	30000
Θερμοσίφωνο	3000	1	0,3	9	27000	0,3	9	27000
Κλιματισμός	1000	2	0	0	0	0	0	0
Ηλεκτρική σκούπα	1400	1	0,5	15	21000	0,5	15	21000
Φωτισμός κουζίνας	20	1	3	90	1800	4	120	2400
Φωτισμός εξωτερικός	15	2	5	150	4500	6	180	5400
Φωτισμός δωματίων	20	2	3	90	3600	3	90	3600
Φωτισμός μπάνιου	30	1	2	60	1800	2	60	1800
Φωτισμός Σαλονιού / Χωλ	100	1	3	90	9000	3	90	9000
Καυστήρας / Κυκλοφορητής	250	1	3	90	22500	6	180	45000
ΣΥΝΟΛΟ					675555			710355

Πίνακα 4.3: Ενεργειακές ανάγκες άνοιξη και καλοκαίρι

Ηλεκτρικές Συσκευές	Ισχύς (Watt)	Ποσότητα	Άνοιξη			Καλοκαίρι		
			Ώρες / Ημέρα (h/day)	Ώρες / Μήνα (h/month)	Ενέργεια (Wh)	Ώρες / Ημέρα (h/day)	Ώρες / Μήνα (h/month)	Ενέργεια (Wh)
Ψυγείο	340	1	24	720	244800	24	720	244800
Τηλεόραση 42΄	360	1	6	180	64800	6	180	64800
Τηλεόραση 21΄ - 31΄	100	1	1,5	45	4500	1,5	45	4500
Φορτιστής κινητού	18	1	2	60	1080	2	60	1080
Ασύρματο Τηλέφωνο	5	1	24	720	3600	24	720	3600
Υπολογιστής	200	1	4	120	24000	4	120	24000
Φούρνος μικροκυμάτων	1500	1	0,25	7,5	11250	0,25	7,5	11250
Τοστιέρα	650	1	0,25	7,5	4875	0,25	7,5	4875
Καφετιέρα	350	1	0,3	9	3150	0,3	9	3150
Κουζίνα	2000	1	1,5	45	90000	1,5	45	90000
Σεσουάρ	1600	1	0,08	2,4	3840	0,08	2,4	3840
Πλυντήριο πιάτων	1000	1	1	30	30000	1	30	30000
Πλυντήριο ρούχων	2100	1	1	30	63000	1	30	63000
Απορροφητήρας κουζίνας	100	1	1,5	45	4500	1,1	33	3300
Στερεοφωνικό	16	1	2	60	960	2	60	960
Σύστημα Σιδερώματος	1000	1	1	30	30000	1	30	30000
Θερμοσίφωνο	3000	1	0	0	0	0	0	0
Κλιματισμός	1000	2	0	0	0	2	60	120000
Ηλεκτρική σκούπα	1400	1	0,5	15	21000	0,5	15	21000
Φωτισμός κουζίνας	20	1	3	90	1800	2	60	1200
Φωτισμός εξωτερικός	15	2	4	120	3600	3	90	2700
Φωτισμός δωματίων	20	2	3	90	3600	2	60	2400
Φωτισμός μπάνιου	30	1	2	60	1800	2	60	1800
Φωτισμός Σαλονιού / Χωλ	100	1	3	90	9000	2	60	6000
Καυστήρας / Κυκλοφορητής	250	1	0	0	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ					625155			738255



Γράφημα 4.1: Ενεργειακή Κατανάλωση για κάθε εποχή

Αρά σύμφωνα με τα προαναφερόμενα θα πρέπει να κατασκευαστεί ή να επιλεγθεί μία οικιακή ανεμογεννήτρια που θα έχει την δυνατότητα να παράγει περισσότερη από την απαιτούμενη ενέργεια, για να δίνεται και η επιλογή αποθήκευσης ενέργειας στους συσσωρευτές.

Το σοβαρό μειονέκτημα στην τοποθεσία της οικίας είναι ότι δεν μπορεί το δίκτυο να παρέχει ρεύμα σε περίπτωση που η ανεμογεννήτρια σταματήσει την παραγωγή ενέργειας. Με συνέπεια να πρέπει να πραγματοποιείται αποθήκευση ενός ποσοστού ενέργειας, η οποία θα πρέπει να είναι πλεονάζουσα ώστε η οικία να μην αντιμετωπίζει έλλειψη ενέργειας.

4.2.3. Επιλογή οικιακής ανεμογεννήτριας

Η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της μονοκατοικίας θα πραγματοποιηθεί με μία ανεμογεννήτρια τύπου οριζόντιου άξονα με 3 πτερύγια και ισχύς 2kW. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας θα χρησιμοποιηθεί μια μικρή ανεμογεννήτρια του εμπορίου.

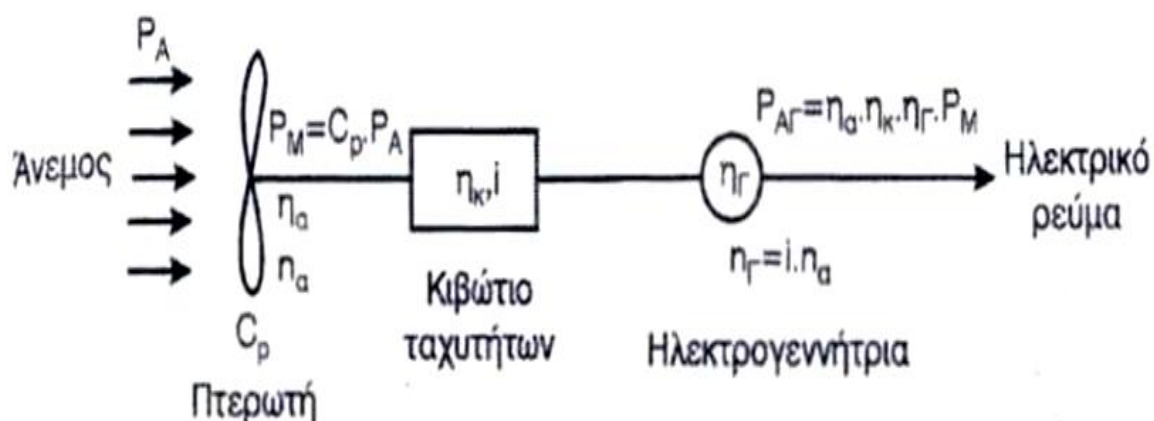


Εικόνα 4.4: Ανεμογεννήτρια οικιακής χρήσης, 2kW [15]

Πίνακας 4.4: Χαρακτηριστικά Ανεμογεννήτριας [15]

Model No.	FD-2KW
Performance	
Rated power	2000-2100@8,5m/s
Peak power	3000W*
Start-up wind speed	3m/s
Working wind speed	3-15m/s
Survival wind speed	40m/s
Rotor	
Rotor diameter	4m
Swept area	6.00m ²
Blade	3pcs fiber glass
Blade length	1,8 m
Shell material	aluminum alloy
Rated RPM	400
Weight	95KG
Others	
Generator type	3-phase AC PM, gearless
Speed regulation & protection	Yawing + electromagnetic brake
Rated voltage	DC 24/48V
Suggested battery capacity	8pcs 250AH/12VDC
Tower type	6~9m guyed cable / 7~10m free standing
Working temperature	-40°C - 60 °C

Για τον υπολογισμό της Ισχύς της ανεμογεννήτριας πρέπει να ληφθεί υπόψη το Σχήμα 4.1.



Σχήμα 4.1: Διάγραμμα ισχύος ανεμογεννήτριας
(Κερούλης, 2014)

Για να υπολογιστή η ισχύς του ανέμου γίνεται χρήση της σχέσης:

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (4.1)$$

Όπου:

$\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$:πυκνότητα του αέρα σε θερμοκρασία 20° C

V = ταχύτητα ανέμου (m/sec)

D = διάμετρο ρότορα (m)

$A = (\pi D^2/4)$:επιφάνεια ρότορα (m^2)

Για τον υπολογισμό της μηχανικής ισχύς χρησιμοποιείται η εξής σχέση:

$$P_M = P_A * C_p \quad (4.2)$$

Όπου

P_A = Ισχύς ανέμου (Watt)

C_p = Συντελεστής ισχύος

Σημειώνεται ότι στην σχέση της ισχύς της ανεμογεννήτριας συμπεριλαμβάνεται και ο συντελεστής ισχύος με στόχο να υπολογιστεί η πλησιέστερη τιμή της μετατρεπόμενης αιολικής ενέργειας σε μηχανική.

Όπως έχει προαναφερθεί η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο αεροδυναμικός συντελεστής C_p έχει υπολογιστεί ότι είναι $C_{p,max}=0,593$, γνωστή ως όριο του Betz, έτσι, σύμφωνα με το νόμο αυτό το λιγότερο από το 59% της κινητικής ενέργειας του ανέμου μπορούν να μετατραπούν σε μηχανική ενεργεία μέσω μιας ανεμογεννήτριας. Ο συντελεστής ισχύος της ανεμογεννήτριας προσδιορίζει πόσο αποδοτικά η μηχανή μετατρέπει την αιολική ενέργεια σε μηχανική.

Ο υπολογισμός Αποδιδόμενης Ισχύς δίνεται από την σχέση:

$$P_{AG} = n_a * n_k * n_r * P_M \quad (4.3)$$

Όπου:

n_a : βαθμός απόδοσης στην έδραση του άξονα της πτερωτής

n_k : βαθμός απόδοσης κιβωτίου ταχυτήτων

n_r : βαθμός απόδοσης ηλεκτρογεννήτριας

Σύμφωνα με τον κατασκευαστή δίνονται ως μέγιστες τιμές οι εξής:

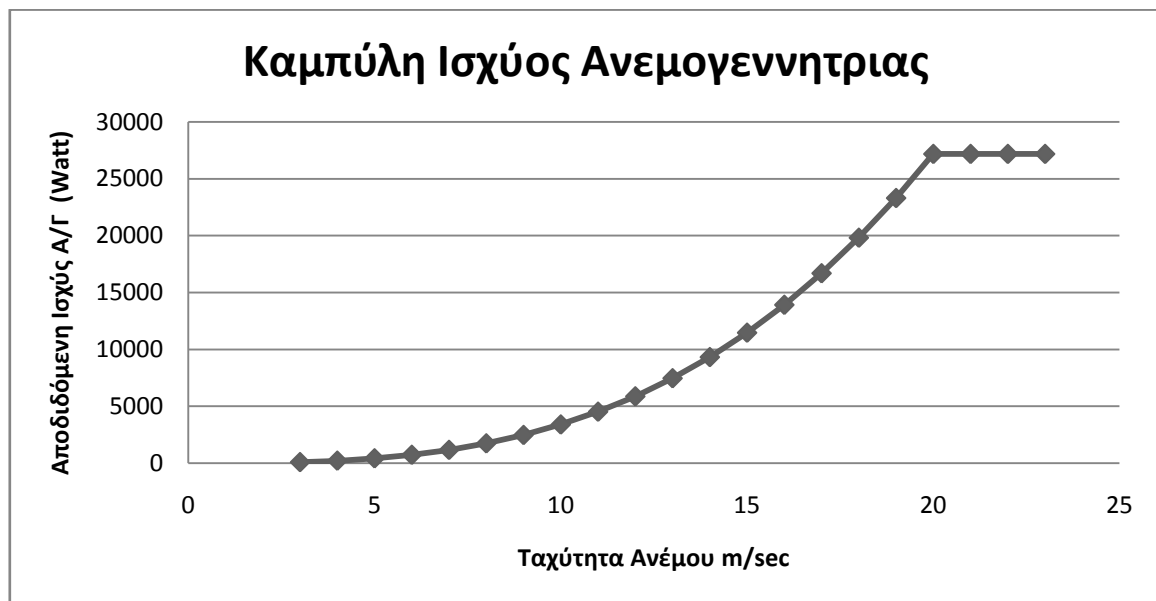
- $n_a * n_k = 0.95$
- $n_r = 0.80$

Σύμφωνα με την Σχέση 4.3 προκύπτει ότι η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς P_{AG} από την ηλεκτρογεννήτρια είναι μικρότερη από την μηχανική ισχύ P_M λόγω των απωλειών στην έδραση του άξονα, το κιβώτιο ταχυτήτων και την ηλεκτρογεννήτρια.

Επιπλέον, δεδομένου ότι η αποδιδόμενη ηλεκτρική ισχύς εξαρτάται από την δύναμη της ταχύτητας του ανέμου είναι ευνόητο ότι η εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας πρέπει να γίνει σε θέση με υψηλή μέση μηνιαία ταχύτητα ανέμου και μικρές μεταβολές της ταχύτητας του κατά τη διάρκεια του έτους (Κερούλης, 2014).

Πίνακας 4.5: Ισχύς Ανεμογεννήτριας

Ταχύτητα Ανέμου (m/sec)	Ισχύς Ανεμογεννήτριας P_A (Watt)	Ισχύς Ανεμογεννήτριας P_M (Watt)	Αποδιδόμενη Ισχύς Ανεμογεννήτριας P_{AG} (Watt)
3	203,472	120,659	91,701
4	482,304	286,006	217,365
5	942,000	558,606	424,541
6	1627,776	965,271	733,606
7	2584,848	1532,815	1164,939
8	3858,432	2288,050	1738,918
9	5493,744	3257,790	2475,921
10	7536,000	4468,848	3396,324
11	10030,416	5948,037	4520,508
12	13022,208	7722,169	5868,849
13	16556,592	9818,059	7461,725
14	20678,784	12262,519	9319,514
15	25434,000	15082,362	11462,595
16	30867,456	18304,401	13911,345
17	37024,368	21955,450	16686,142
18	43949,952	26062,322	19807,364
19	51689,424	30651,828	23295,389
20	60288,000	35750,784	27170,596
21	60288,000	35750,784	27170,596
22	60288,000	35750,784	27170,596



Διάγραμμα 4.1: Καμπύλη Ισχύος ανεμογεννήτριας

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι μετά μια συγκεκριμένη ταχύτητα του ανέμου η ανεμογεννήτρια δεν έχει την δυνατότητα εκμετάλλευσης όλης της ολικής ενέργειας που προσφέρεται με αποτέλεσμα να παράγει συγκεκριμένη ισχύ. Αυτό μπορεί να παρατηρηθεί και από το Διάγραμμα 4.1 όπου η Ισχύς της ανεμογεννήτριας παρουσιάζει σταθερότητα για ταχύτητα ανέμου $v \geq 20 \text{ m/sec}$.

Επιπλέον, η ταχύτητα όπου η ανεμογεννήτρια δεν θα έχει την δυνατότητα εκμετάλλευσης της μέγιστης αιολικής ενέργειας αλλά και διακοπής της λειτουργίας της εξαρτάται και ορίζεται από τον κατασκευαστή.

4.3.2.1. Παραγόμενη ενέργεια Ανεμογεννήτριας

Για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας θα έπρεπε να δίνεται πόσες φορές εμφανίζεται κάθε ταχύτητα μέσα σε ένα συγκεκριμένο χρόνο (μέρα, μήνα, έτος). Επειδή όμως στην περίπτωση της εργασίας αυτό δεν είναι εφικτό θα χρησιμοποιηθεί η μέση ταχύτητα του ανέμου όπως αυτή δίνεται από τις μελέτες του Αιολικού Δυναμικού της περιοχής. Επιπλέον, θα συνυπολογιστούν και οι απώλειες που προκύπτουν κατά την μεταφορά της ενέργειας.

Η σχέση που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας είναι η ακόλουθη:

$$E_{AG} = \Delta \cdot E \cdot \eta_{μπ} \cdot \eta_{in} \cdot \eta_{γρ} \cdot P_{AG} \quad (4.4)$$

Όπου:

E_{AG} = παραγωγή της ανεμογεννήτριας

$\Delta \cdot E$ = χρονική διάρκεια ταχύτητας (h)

η_{in} = Συντελεστής απόδοσης inverter $\eta_{μετ}=0,95$

$\eta_{μπ}$ = Απώλειες φόρτισης εκφόρτισης μπαταρίας $\eta_{μπ}=0,6$

$\eta_{γρ}$ = Συντελεστής γραμμής $\eta_{γρ}=0,98$

P_{AG} = Αποδιδόμενη ισχύς ανεμογεννήτριας για συγκεκριμένη ταχύτητα (Watt)

Πίνακας 4.6: Μηνιαία Παραγόμενη Ενέργεια

Μήνες	Ώρες Μήνα (h)	Ώρες Ανέμου (h)	Μέση Ταχύτητα Ανέμου m/sec	Αποδιδόμενη Ισχύς (Watt)	Παραγόμενη Ενέργεια (Wh)
Ιανουάριος	744	669,6	9	2475,921	926089,756
Φεβρουάριος	672	676,8	9	2475,921	936047,710
Μάρτιος	744	669,6	9	2475,921	926089,756
Απρίλιος	720	672	8,5	2085,768	782953,837
Μάιος	744	669,6	8,5	2085,768	780157,574
Ιούνιος	720	672	8	1738,918	652753,698
Ιούλιος	744	669,6	8	1738,918	650422,435
Αυγустός	720	672	8,5	2085,768	782953,837
Σεπτέμβριος	744	669,6	8,5	2085,768	780157,574
Οκτώβριος	720	672	8,5	2085,768	782953,837
Νοέμβριος	744	669,6	9	2475,921	926089,756
Δεκέμβριος	720	672	9	2475,921	929409,074

Λόγω έλλειψης των δεδομένων για τον χρόνο και την ταχύτητα του ανέμου υπολογίστηκε η παραγόμενη ενέργεια της ανεμογεννήτριας αφαιρώντας από τις συνολικές

ώρες του μήνα ένα ποσοστό της τάξης του 10% και για του καλοκαιρινούς μήνες η ταχύτητα του ανέμου πήρε την ελάχιστη τιμή της μέσης ταχύτητας. Σημειώνεται ότι σκοπός είναι να υπολογιστεί η πλησιέστερη δυνατή πραγματική τιμή της παραγόμενης ενέργειας.



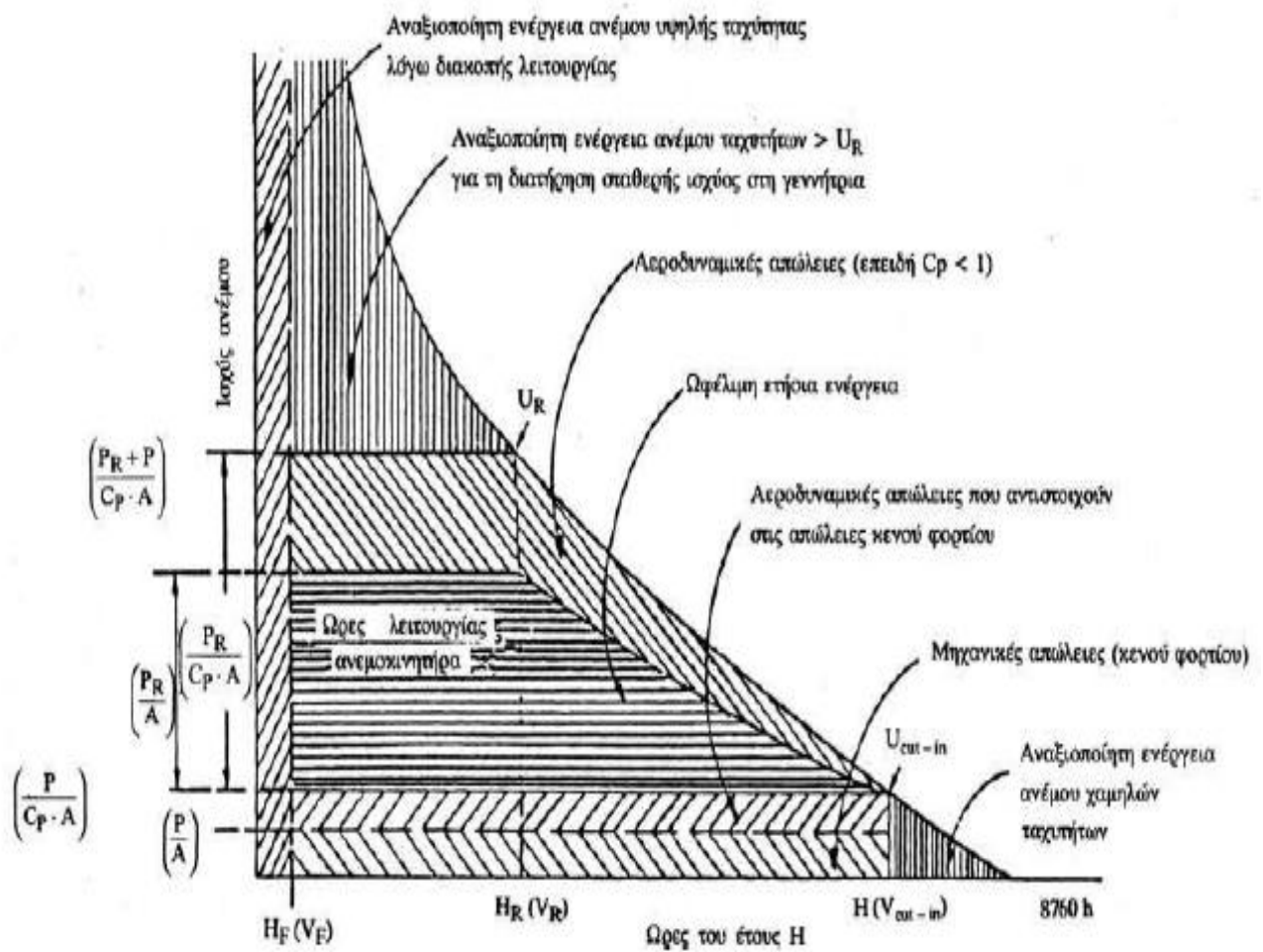
Γράφημα 4.2: Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια ανεμογεννήτριας

4.3.2.2. Απώλειες ενέργειας

Σύμφωνα με τον Μπεργελές (1995) Μια ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να αξιοποιήσει όλη την ετήσια ενέργεια του ανέμου για τους εξής λόγους:

1. Η ανεμογεννήτρια αποδίδει ωφέλιμη ισχύ μόνο όταν η ισχύς του ανέμου είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες κενού φορτίου (τριβές, άξονα, μειωτήρα, γεννήτριας). Έτσι, σε περιόδους με ταχύτητες μικρότερες της V_{cut-in} , η ενέργεια του ανέμου μένει ανεκμετάλλευτη, αφού δεν είναι σε θέση δώσει ροπή στον δρομέα.
2. Όταν η ταχύτητα του ανέμου γίνει μεγαλύτερη της ονομαστικής, επιδιώκεται να διατηρηθεί σταθερή η ισχύς του ανέμου. Αυτό επιτυγχάνεται με αλλαγή της γωνίας κλίσης των πτερυγίων ή με τα μικροπτερύγια (flaps) ή με την αλλαγή της γωνιακής θέσης του δρομέα ως προς τον άνεμο ή την αλλαγή της γωνιακής ταχύτητας του δρομέα, ανάλογα φυσικά με την γεννήτρια που έχει το σύστημα. Άρα για ταχύτητες μεγαλύτερες της V_R χάνεται ένα ποσό του αιολικού δυναμικού
3. Όταν ο άνεμος φθάσει σε υψηλές ταχύτητες ενδείκνυται η διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης για λόγους ασφαλείας. Επομένως, η ενέργεια του ανέμου για ταχύτητες μεγαλύτερες της V_F παραμένει τελείως αναξιοποίητη.
4. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας έχουμε αεροδυναμικές απώλειες.
5. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας έχουμε πρόσθετα μηχανικές απώλειες στον άξονα, στον μειωτήρα και στη γεννήτρια, που μπορούν να θεωρηθούν σταθερές και ίσες με τις απώλειες κενού φορτίου. Οι συνολικές απώλειες κενού φορτίου μπορεί να ανέρχονται και στο 10% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής.

Το Σχήμα 4.2 που ακολουθεί, παρουσιάζει τις ετήσιες ενεργειακές απώλειες μιας τυπικής ανεμογεννήτριας, σύμφωνα με την περιγραφή των απωλειών.



Σχήμα 4.2: Ενεργειακές απώλειες στην καμπύλη διάρκειας πνοής του ανέμου (Μπεργελές, 1995)

Επίσης, ενεργειακές απώλειες παρατηρούνται και κατά τη μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας από την ανεμογεννήτρια, αλλά και την μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος (αναστροφείς, συστήματα ελέγχου), προκειμένου να μπορεί να εκμεταλλευτεί με ασφάλεια και αξιοπιστία από τα φορτία.

Επομένως, αν E είναι η παραγόμενη από την ανεμογεννήτρια ενέργεια, όπως αυτή έχει υπολογιστεί σε προηγούμενο εδάφιο, η ενέργεια που παρέχεται στο φορτία E_{net} θα είναι μειωμένη κατά ένα ποσοστό και θα δίνεται από τη σχέση:

$$E_{WIND} = E * n \quad (4.5)$$

Όπου:

E = η παραγόμενη ενέργεια (Wh)

n = ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ανεμογεννητριών $n=0,90$

Στην συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός της E_{wind} καθώς και η σύγκριση με τις ενεργειακές ανάγκες της υπό μελέτη οικίας (Πίνακας 4.7)

Πίνακας 4.7: Συγκριτικός Πίνακας παραγόμενης και ζητούμενης ενέργειας

Μήνες	Παραγόμενη Ενέργεια E_{WIND} (kWh)	Ενεργειακές Ανάγκες Οικίας (kWh)
Ιανουάριος	833,481	710,355
Φεβρουάριος	842,443	710,355
Μάρτιος	833,481	625,155
Απρίλιος	704,659	625,155
Μάιος	702,142	625,155
Ιούνιος	587,478	743,055
Ιούλιος	585,380	743,055
Αύγουστος	706,599	743,055
Σεπτέμβριος	702,142	675,555
Οκτώβριος	704,659	675,555
Νοέμβριος	833,481	675,555
Δεκέμβριος	836,468	710,355

Από τον Πίνακα 4.7 γίνεται κατανοητό ότι η ανεμογεννήτρια των 2kW, που επιλέχθηκε, έχει την δυνατότητα να κάλυψη τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας των 70 m² αλλά και να αποθηκεύσει κάποιο ποσοστό ενέργειας με σκοπό να το χρησιμοποιήσει τον Ιούνιο, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο όπου δεν δίνεται η ικανότητα πλήρους κάλυψης από την παραγόμενη ενέργεια καθώς και σε περίπτωση όπου σταματήσει να λειτουργεί.

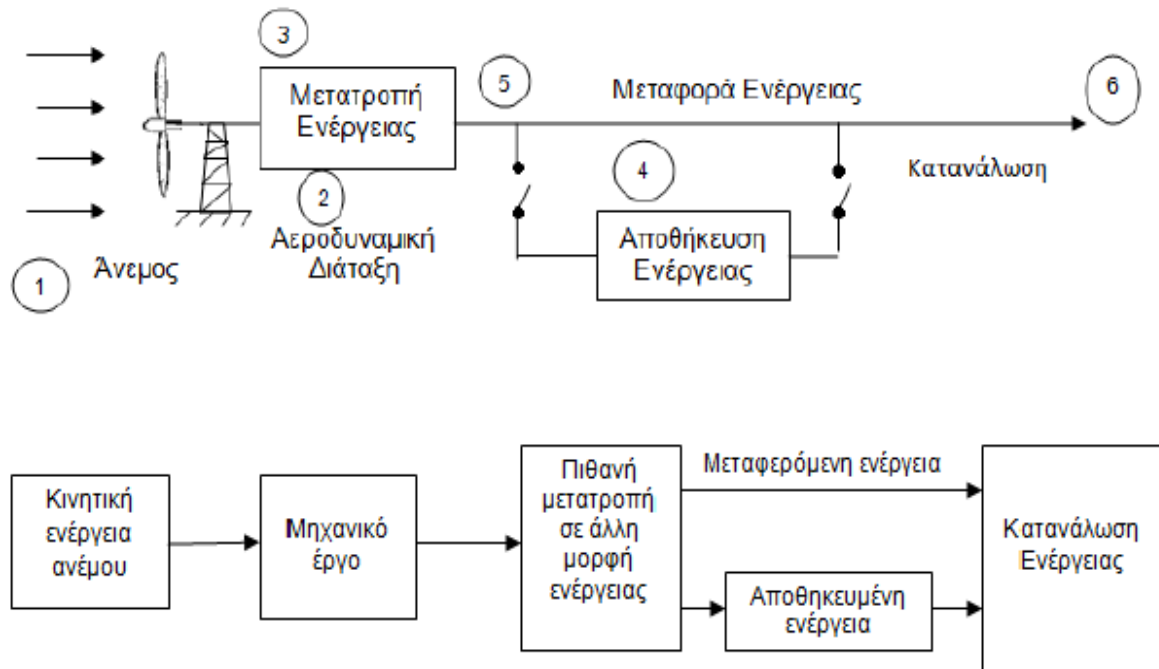


Γράφημα 4.3: Σύγκριση ενεργειακών αναγκών οικίας και παραγόμενης ενέργειας.

Όπως προαναφέρθηκε για τους καλοκαιρινούς μήνες υπολογίστηκε η παραγόμενη ενέργεια με την δυσμενέστερη ταχύτητα του ανέμου, δίνεται η δυνατότητα σε περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται σε υψηλότερα επίπεδα από τα 8m/sec να καλυφθούν οι ανάγκες της οικίας.

4.3.2.3. Βασικά μέρη διάταξης εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας

Μια εικόνα των βασικών μερών που αποτελούν μια διάταξη εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας όπως η προαναφερόμενη, δίνεται στο Σχήμα 4.3.



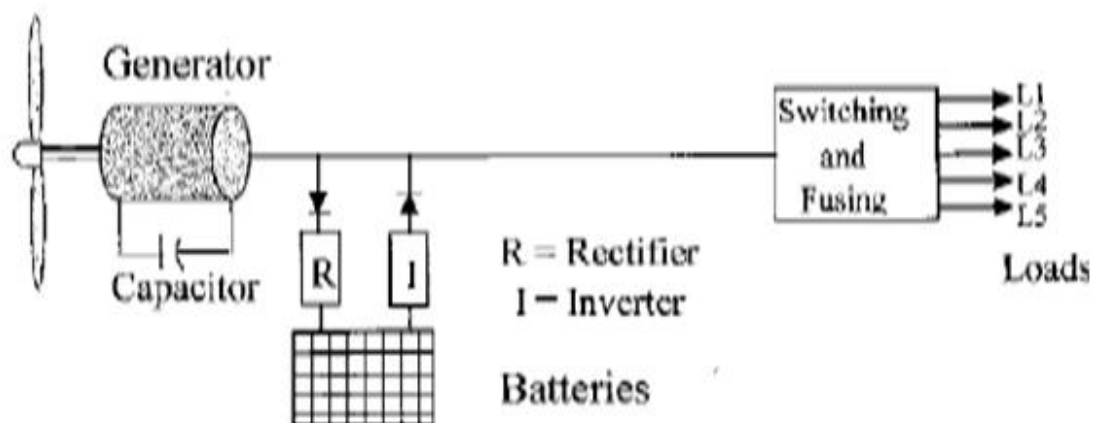
Σχήμα 4.3: Διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας (Μπεργελές, 1995)

Το Σχήμα 4.3 απεικονίζει την γενική διάταξη όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης. Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να γίνει εκμεταλλεύσιμο επί τόπου και να αποφευχθούν οι απώλειες από τη μετατροπή του σε άλλη μορφή ενέργειας.

Ωστόσο, στις περισσότερες περιπτώσεις απαιτείται η μετατροπή του μηχανικού έργου σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας. Σε αυτήν την περίπτωση, η πιο πρόσφορη διάταξη είναι αυτή που μπορεί να μετατρέπει το μηχανικό έργο σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της στον τόπο κατανάλωσης και της ικανότητας αποθήκευσής της στις διάφορες αποθηκευτικές διατάξεις όπως στις μπαταρίες (Μπεργελές, 1995).

Η ακολουθία των συμβάντων για την παραγωγή μέχρι την αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας, χονδρικά, για ένα τυπικό αυτόνομο σύστημα μπορεί να συνοψιστεί ως εξής:

- Καθώς ο άνεμος αλληλεπιδρά με το δρομέα της ανεμογεννήτριας παράγεται μια ροπή.
- Η σχετικά χαμηλή συχνότητα περιστροφής του δρομέα αυξάνεται μέσω ενός μετατροπέα στροφών, του οποίου ο άξονας εξόδου περιστρέφει μια γεννήτρια.
- Η γεννήτρια παράγει ρεύμα μεταβλητής συχνότητας, το οποίο μετατρέπεται σε συνεχές (DC) μέσω ενός μετατροπέα (rectifier) και φορτίζει τις μπαταρίες, που αποτελούν το πιο κλασικό μέσο αποθήκευσης. Οι μπαταρίες συμβάλλουν στη σταθερότητα του συστήματος.
- Στη συνέχεια, ένας άλλος μετατροπέας (inverter) μετατρέπει το ανορθωμένο συνεχές ρεύμα, αποφορτίζοντας τις μπαταρίες, σε ορισμένης τάσης και συχνότητας εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), το οποίο είναι άμεσα αξιοποιήσιμο από το τοπικό σύστημα (Σπύρου 2009)



Σχήμα 4.4: Αυτόνομο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτρια (Σπύρου, 2009)

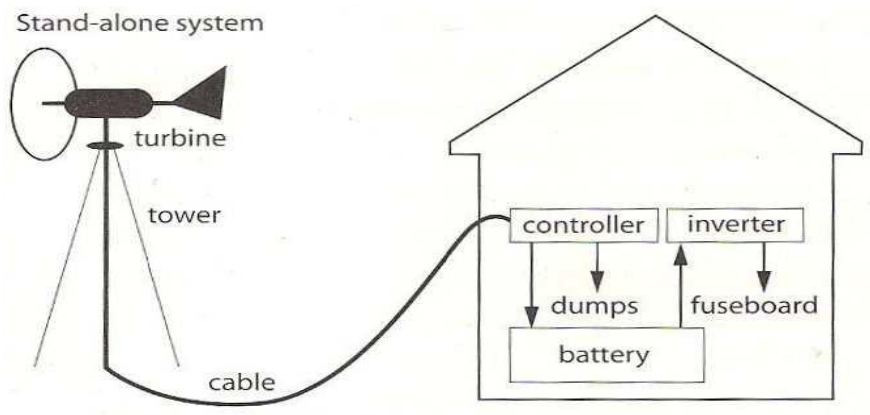
Το αυτόνομο σύστημα χρησιμοποιείται συχνά από αυτόνομες εφαρμογές, όπως για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών σπιτιών. Σε περιπτώσεις όπως τις παρούσες εργασίες είναι απαραίτητο να περιλαμβάνουν διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών σε περιόδους μειωμένου αιολικού δυναμικού. Οι μπαταρίες αποθήκευσης είναι η καρδιά ενός αυτόνομου συστήματος. Αποθηκεύουν την πλεονάζουσα ηλεκτρική ενέργεια για χρήση σε περιόδους που ανανεώσιμη πηγή δεν είναι διαθέσιμη. Η ικανότητα αποθήκευσης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες κατά τη διάρκεια περιόδων μειωμένης παραγωγής.

Όπως έχει υπολογισθεί σε αυτά τα συστήματα υπάρχουν πολλές απώλειες. Τα αυτόνομα συστήματα είναι σύνθετα και οι πολλές διαδοχικές μετατροπές ενέργειας αυξάνουν τις απώλειες και μειώνουν τη συνολική απόδοση του συστήματος. Απώλεια ενέργειας υπάρχουν, επίσης, σε περιόδους με αυξημένο άνεμο όπου η παραγόμενη ενέργεια ξεπερνά την απαιτούμενη για την κάλυψη του φορτίου και την φόρτιση των μπαταριών. Τότε μέρος της παραγόμενης ενέργειας δεν χρησιμοποιείται (Καραϊσκόκης & Κούκα, 2011)

4.3.2.4. Σύνδεση ανεμογεννήτριας και αποθήκευση ενέργειας στους συσσωρευτές

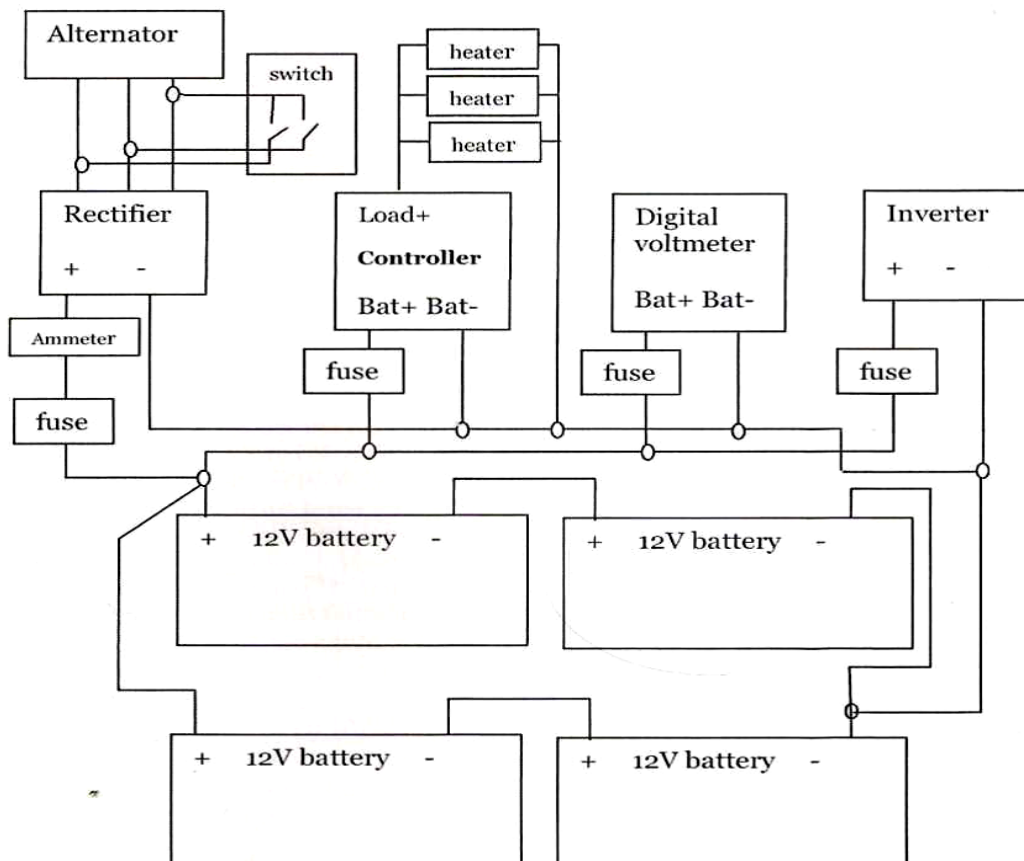
Οι μικρές ανεμογεννήτριες συνδέονται σε δίκτυα σχεδιασμένα ανεξάρτητα από το κεντρικό δίκτυο. Έχουν την δυνατότητα να συνδεθούν είτε με άλλες μορφές Α.Π.Ε. είτε με πηγές ενέργειας μικρής ισχύος (γεννήτριες ντίζελ), είτε συνδυασμό με μονάδες αποθήκευσης (συσσωρευτές ή σφονδύλους), τα οποία ονομάζονται μικροδίκτυα. Τα μικροδίκτυα έχουν το πλεονέκτημα ότι βρίσκονται κοντά στον τόπο κατανάλωσης, σε σχέση με το διασυνδεδεμένο δίκτυο στο οποίο και οι απώλειες λόγω του δικτύου μεταφοράς είναι μεγάλες.

Η σύνδεση της ανεμογεννήτριας μπορεί να είναι είτε σε DC ζυγό με την παράλληλη χρήση συσσωρευτών είτε σε ζυγό AC του μικροδικτύου ή του δικτύου χαμηλής τάσης. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας θα πραγματοποιηθεί σύνδεση σε DC ζυγό όπου η τάση της ανεμογεννήτριας αφού ανορθωθεί συνδέεται μέσω ενός ρυθμιστή φόρτισης και ένα απορριπτικό φορτίο σε μπαταρίες οι οποίες με τη σειρά τους συνδέονται σε αντιστροφή (Piggott, 2006 ; Δαγιόγλου, 2011).



Σχήμα 4.5: Σύνδεση σε ζυγό DC
(Piggott, 2006)

Η σύνδεση σε DC ζυγό απευθείας σε συσσωρευτές απεικονίζεται στο Σχήμα 4.6 όπου φαίνεται η σύνδεση της ανεμογεννήτριας σε ένα σύστημα μπαταριών.



Σχήμα 4.6: Σύνδεση Ανεμογεννήτριας σε DC ζυγό απευθείας σε συσσωρευτές (24V)
(Piggott,2010)

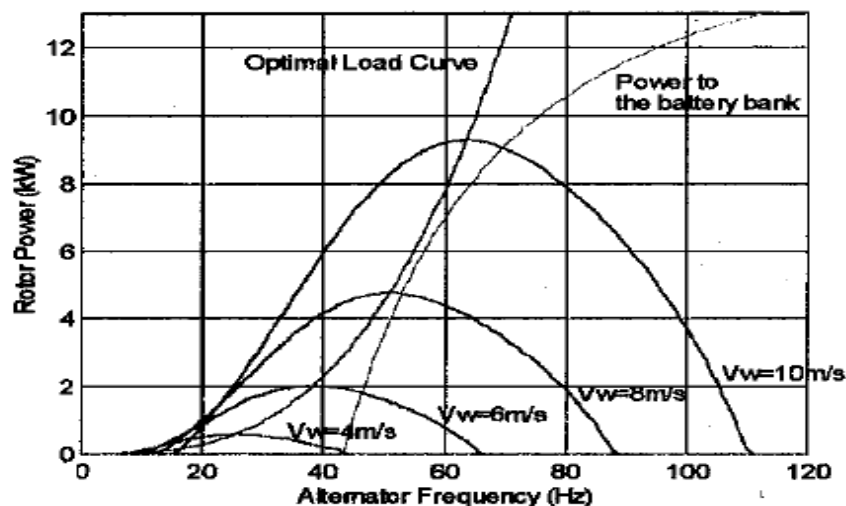
Αυτό που διακρίνεται στο Σχήμα 4.6. είναι ότι η έξοδος της γεννήτριας περνά από τριφασικό μη ελεγχόμενο ανορθωτή αφού πρώτα οι τρεις φάσεις έχουν περάσει από ένα διπολικό διακόπτη με τον οποίο βραχυκυκλώνουμε τη γεννήτρια σε περίπτωση που θέλουμε να τη σταματήσουμε (π.χ. για τη διενέργεια κάποιων εργασιών επάνω σε αυτήν).

Στην συνέχεια ακολουθεί ο ρυθμιστής φόρτισης (load-charge controller) ο οποίος μαζί με τα απορριπτικά φορτία (heaters-dump loads) είναι υπεύθυνος για τη σωστή διαχείριση της φόρτισης των μπαταριών. Ειδικότερα, όταν ο βαθμός φόρτισης των συσσωρευτών είναι μεγάλος και η ανεμογεννήτρια συνεχίζει να τροφοδοτεί το σύστημα με ενέργεια, τότε για να αποφευχθεί η υπερφόρτισή τους, ο ελεγκτής φόρτισης τροφοδοτεί με ενέργεια τα απορριπτικά φορτία (που είναι απλές ωμικές αντιστάσεις). Αντίθετα σε περίπτωση που ο βαθμός φόρτισης των συσσωρευτών είναι μικρός, ο ρυθμιστής φόρτισης λειτουργεί ώστε οι μπαταρίες να μη τροφοδοτούν τον inverter και κατά συνέπεια να μην καταναλώνεται ισχύς από φορτία. Ο ρυθμιστής φόρτισης λειτουργεί με κατάλληλο αλγόριθμο που εφαρμόζεται με κατάλληλη ρύθμιση διακοπών που βρίσκονται σε αυτόν και διαφέρει από σύστημα σε σύστημα. Ωστόσο, με τη συγκεκριμένη μέθοδο σύνδεσης δε πετυχαίνουμε πάντα τη μέγιστη παραγόμενη ισχύ.

Η ανορθωμένη τάση που αναπτύσσεται στη γεννήτρια είναι ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής της έλικας. Η ταχύτητα περιστροφής πρέπει να φτάσει κάποιο όριο πριν αρχίσει να τροφοδοτεί τους συσσωρευτές. Αυτό το όριο είναι εκείνο στο οποίο η ανορθωμένη τάση έχει τιμή ίση με των συσσωρευτών δηλαδή για εμάς 12V. Στην πραγματικότητα η τάση αυτή θα πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερη, περίπου στα 13,4 V αφού πρέπει να λάβουμε υπόψη πως από τη στιγμή που έχουμε ροή ρεύματος από τον ανορθωτή θα έχουμε και πτώση τάσης περίπου 0,7 V στις διόδους που άγουν το ρεύμα.

Επιπλέον, η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής θα έχει συνέπεια την περαιτέρω αύξηση της ηλεκτρεγερτικής δύναμης της γεννήτριας. Ο λόγος της διαφοράς της ηλεκτρεγερτικής δύναμης μείον την τάση της μπαταρίας προς τη σύνθετη αντίσταση του ισοδύναμου κυκλώματος καθορίζει το ρεύμα που τροφοδοτεί το κύκλωμα και επομένως και τους συσσωρευτές. Ταυτόχρονα με την αύξηση του ρεύματος έχουμε και αύξηση της πτώσης στην εσωτερική αντίσταση του στάτη με αποτέλεσμα η ηλεκτρεγερτική δύναμη να παραμένει σε τιμές τέτοιες ώστε μετά την ανόρθωση η τάση να είναι ίση με αυτήν της μπαταρίας και να συνεχίζεται η ροή ρεύματος προς τους συσσωρευτές.

Στην πραγματικότητα όταν υπάρχει μεγάλη αύξηση της ηλεκτρεγερτικής δύναμης η τάση ανόρθωσης γίνεται μεγαλύτερη από αυτήν της μπαταρίας με αποτέλεσμα να ασκείται ηλεκτρομαγνητική ροπή στον άξονα αντίθετη με την κινητήρια μηχανική ροπή με αποτέλεσμα να αποτρέπει την έλικα να φτάσει στην ονομαστική της ταχύτητα. Με αυτόν τρόπο δεν δίνεται η δυνατότητα να επιτευχθεί η βέλτιστη λειτουργία και έχει ως συνέπεια την να παρέχεται μικρότερη ισχύ (Piggott,2010).



Σχήμα 4.7: Παράδειγμα αεροδυναμικής ισχύς έλικας σε σχέση με τη συχνότητα του στάτη για διάφορες ταχύτητες ανέμου. Χαράσσεται η βέλτιστη καμπύλη και η καμπύλη απευθείας σύνδεσης σε συσσωρευτές (Piggott,2010)

Οι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται προτείνονται από τον κατασκευαστή και πωλούνται μαζί με την ανεμογεννήτρια. Σημειώνεται ότι αυτό συμβαίνει σε ανεμογεννήτριες του εμπορίου. Οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται είναι 8 των 12V και είναι συνδεδεμένες παράλληλα μεταξύ τους. Ωστόσο, θα πρέπει να γίνει ο έλεγχος αν οι μπαταρίες μπορούν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας αν για κάποιο λόγο σταματήσει να λειτουργεί η ανεμογεννήτρια. Συνήθως η συστοιχία των μπαταριών σχεδιάζεται για 1-3 ημέρες λειτουργίας χωρίς άνεμο.

Ο κατασκευαστής της ανεμογεννήτριας που έχει επιλεχθεί προτείνει 8 τεμάχια των 250Ah/12V DC. Η χωρητικότητα κάθε συσσωρευτή υπολογίζεται ως εξής:

$$Wh = Ah * V \Rightarrow Wh = 250 * 12 \Rightarrow Wh = 3000 \quad (4.6)$$

Άρα η δυνατότητα αποθήκευσης κάθε συσσωρευτή είναι 3000Wh. Το συνολικό ποσό ενέργειας των 8 συσσωρευτών ανέρχεται στις 24000Wh.

Στην συνέχεια ακολουθεί ο Πίνακας 4.8 όπου έχουν υπολογισθεί οι ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες της οικίας, η ημερήσια παραγόμενη ενέργεια και η πλεονάζουσα ενέργεια ημερησίως ανάλογα με τον Μήνα.

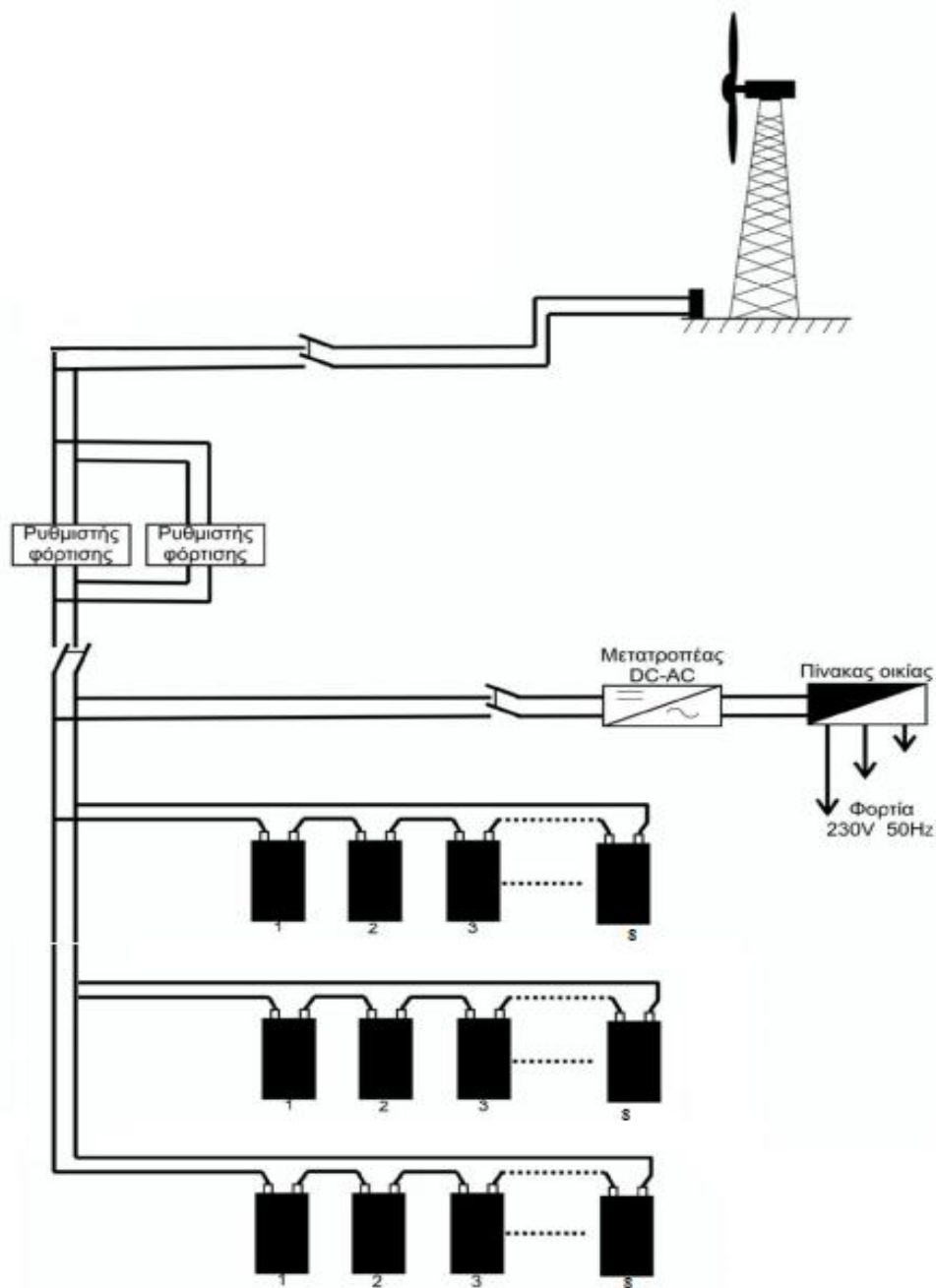
Πίνακας 4.8: Ημερήσιες Ενεργειακές ανάγκες – Ημερήσια Παραγόμενη Ενέργεια – Ημερήσια Πλεονάζουσα Ενέργεια οικίας

Μήνες	Ημερήσιες ενεργειακές Ανάγκες Οικίας (kWh)	Ημερήσια Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)	Ημερήσια Πλεονάζουσα Ενέργεια (kWh)
Ιανουάριος	22,915	27,783	4,868
Φεβρουάριος	25,370	30,087	4,717
Μάρτιος	20,166	26,886	6,720
Απρίλιος	20,839	23,489	2,650
Μάιος	20,166	22,650	2,483
Ιούνιος	24,769	19,583	-5,186
Ιούλιος	23,970	18,883	-5,086
Αύγουστος	23,970	22,794	-1,176
Σεπτέμβριος	22,519	23,405	0,886
Οκτώβριος	21,792	22,731	0,939
Νοέμβριος	22,519	27,783	5,264
Δεκέμβριος	22,915	26,983	4,068

Από τον Πίνακα 4.8. παρατηρούμε ότι και τους Καλοκαιρινούς Μήνες που δεν υπάρχει πλεονάζουσα ενέργεια οι συσσωρευτές θα μπορέσουν να καλύψουν τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας αφού η δυνατότητα αποθήκευσης τους είναι 24kWh. Σε περίπτωση όπου η λειτουργία της ανεμογεννήτριας σταματήσει καλύπτουν μόνο μια μέρα τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας.

Ωστόσο, επειδή όπως έχει προαναφερθεί δεν δίνεται η δυνατότητα σύνδεσης της ανεμογεννήτριας με το δίκτυο θα ήταν καλό να πραγματοποιηθεί έλεγχος είτε να αυξηθούν οι συσσωρευτές με σκοπό την αύξηση της αποθηκευμένης ενέργειας είτε να υπολογιστούν οι νέοι συσσωρευτές με διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία θα βασίζονται στα μέχρι τώρα αποτελέσματα. Στην πρώτη περίπτωση, η διαδικασία είναι πιο απλή αφού θα μελετηθεί μόνο

αν το σύστημα έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει με περισσότερους συσσωρευτές και συγκεκριμένα 24, όπου η αποθηκευμένη ενέργεια θα είναι 72kWh και θα μπορούν να καλυφθούν οι ενεργειακές ανάγκες της οικίας για 3 συνεχόμενες μέρες.



Σχήμα 4.8: Σύνδεση ανεμογεννήτριας με 24 συσσωρευτές.
(Γαλούζης, 2009)

Σύμφωνα με μελέτες για ανεμογεννήτριες των 2kW και πάνω θα πρέπει να χρησιμοποιούνται συσσωρευτές 48Volts με στόχο την ασφαλέστερη λειτουργία του συστήματος. Στην δεύτερη περίπτωση θα πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός των συσσωρευτών 48Volts.

Σύμφωνα με τον Γαλούζη (2009), αρχικά υπολογίζεται η χωρητικότητα των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθούν όπου εξαρτώνται από τα φορτία που θα εξυπηρετούν. Η χωρητικότητα των συσσωρευτών δίνεται από την σχέση:

$$E = \frac{E_{WIND}}{V} \Rightarrow E = \frac{24421}{48} \Rightarrow E = 508,77 Ah \quad (4.7)$$

Όπου:

E_{WIND} =μέση ημερήσια παραγόμενη ενέργεια
 V = τάση συστήματος

Στην συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός της απαιτούμενη χωρητικότητα όλου του υποσυστήματος των συσσωρευτών. Στη συγκεκριμένη μελέτη λόγω έλλειψης σύνδεσης με το δίκτυο επιλέγεται αυτονομία συστήματος 3 ημερών, η σχέση είναι η ακόλουθη:

$$C = \frac{E * A}{DoD_{max} * a_{\theta}} \quad (4.8)$$

Όπου:

E = η συνολική μέση ημερήσια ενέργεια (Ah/d)
 A = ο αριθμός ημερών αυτονομίας του συστήματος (1,2,3...)
 a_{θ} = ο θερμοκρασιακός συντελεστής του συσσωρευτή.
 DoD_{max} = το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών.

Η τιμή αυτή παρέχεται από τον κατασκευαστή, αν δεν παρέχεται τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι τιμές του Πίνακα 4.9, χωρίς σημαντικό σφάλμα.

Πίνακας 4.9: Μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών
(Γαλούζης, 2009)

Τύπος συσσωρευτή	Μέγιστο βάθος εκφόρτισης
Μολύβδου – Οξέος «εκκίνησης»	0.25
Μολύβδου – Οξέος «κίνησης»	0.75
Νικελίου – Καδμίου	0.90

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο συντελεστής θερμοκρασίας παρέχεται από τον κατασκευαστή και εκφράζει τη μείωση της χωρητικότητας των συσσωρευτών όταν αυτοί είναι τοποθετημένοι σε χώρο με χαμηλή θερμοκρασία. Όταν η θερμοκρασία στο χώρο που βρίσκονται οι συσσωρευτές κυμαίνεται κοντά στους 20 °C τότε η τιμή του συντελεστή είναι 1.

Άρα σύμφωνα με τα προαναφερόμενα η απαιτούμενη χωρητικότητα του συστήματος είναι:

$$C = \frac{508,77 * 3}{0,8 * 1} \Rightarrow C = 1907.89 Ah \Rightarrow C = 1908 Ah$$

Επειδή οι συσσωρευτές δεν έχουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που απαιτεί η κάθε εφαρμογή γι' αυτό πρέπει να συνδέουμε κάποιους συσσωρευτές παράλληλα μεταξύ τους και κάποιους σε σειρά. Ο αριθμός των παράλληλα συνδεδεμένων συσσωρευτών δίνεται από την σχέση:

$$B_P = \frac{C}{C_o} \quad (4.9)$$

Όπου:

C = η απαιτούμενη χωρητικότητα συστήματος
 C_o = η ονομαστική χωρητικότητα του κάθε συσσωρευτή

Η επιλογή των συσσωρευτών θα πρέπει να έχουν ονομαστική χωρητικότητα η οποία κυμαίνεται στις 1000Ah και ονομαστική τάση 2 V, στο εμπόριο υπάρχουν διάφοροι τύποι μπαταριών. Ο αριθμός των παράλληλα συνδεδεμένων συσσωρευτών:

$$B_p = \frac{1908 Ah}{1000 Ah} \Rightarrow B_p = 1,91$$

Άρα επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν 2 συσσωρευτές παράλληλα συνδεδεμένοι.

Ο αριθμός των σε σειρά συνδεδεμένων συσσωρευτών δίνεται από την σχέση:

$$B_s = \frac{V_s}{V_{a,b}} \quad (4.9)$$

Όπου:

V_s = τάση συστήματος

V_o = η ονομαστική τάση του κάθε συσσωρευτή (volt)

Κάνοντας αντικατάσταση στην σχέση 4.9 ο αριθμός των συσσωρευτών σε σειρά θα είναι:

$$B_s = \frac{48}{2} \Rightarrow B_s = 24$$

Άρα επιλέγεται να χρησιμοποιηθούν 24 συσσωρευτές σε σειρά συνδεδεμένοι.

Ο συνολικός αριθμός των συσσωρευτών που τελικά θα χρησιμοποιηθούν στο σύστημα δίνεται από την σχέση:

$$B = B_p * B_s \quad (4.10)$$

Όπου:

B_p = αριθμός παράλληλων συσσωρευτών

B_s = αριθμός συσσωρευτών σε σειρά

$$B = 2 * 24 = 48$$

Η συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών που τελικά θα χρησιμοποιηθούν δίνεται από την εξίσωση:

$$C_{tot} = B_p * C_o \quad (4.11)$$

Όπου:

B_p = αριθμός παράλληλων συσσωρευτών

C_o = η ονομαστική χωρητικότητα του κάθε συσσωρευτή

$$C_{tot} = 2 * 1000Ah \Rightarrow C_{tot} = 2000Ah$$

Η ωφέλιμη χωρητικότητα του συστήματος των συσσωρευτών δίνεται από την σχέση:

$$C_{\Omega\Phi} = DoD_{max} * C_{tot} \quad (4.12)$$

Όπου:

DoD_{max} = το μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών.

C_{tot} = η συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών

Κάνοντας αντικατάσταση της σχέσης 4.12 προκύπτει:

$$C_{\Omega\phi} = 0,8 * 2000Ah \Rightarrow C_{\Omega\phi} = 1600Ah$$

Στο DoD_{max} δίνεται η πλησιέστερη τιμή που δίνουν οι περισσότεροι συσσωρευτές. Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς η οικία μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές τις ανάγκες για 3 ημέρες αφού:

$$Wh' = Ah * V \Rightarrow Wh = 1600 * 48 = 76800 Wh$$

Πινάκας 4.10: Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικά συσσωρευτών

Χαρακτηριστικά	Συμβολισμός	Αποτελέσματα
Συνολική μέση ημερήσια ενέργεια	E	508,77 Ah
Αριθμός ημερών αυτονομίας του συστήματος	A	3
Θερμοκρασιακός συντελεστής του συσσωρευτή.	α_{θ}	1
Μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών	DoD_{max}	0.8
Απαιτούμενη χωρητικότητα συστήματος	C	1908 Ah
Ονομαστική χωρητικότητα του κάθε συσσωρευτή	C_o	1000 Ah
Αριθμός παράλληλων συσσωρευτών	B_p	2
Αριθμός συσσωρευτών σε σειρά	B_s	24
Συνολικός αριθμός συσσωρευτών	B	48
Συνολική χωρητικότητα συσσωρευτών	C_{tot}	2000Ah
Ωφέλιμη χωρητικότητα	$C_{\Omega\phi}$	1600 Ah
Τελική αποθηκευμένη Ενέργεια	Wh'	76,800 kWh

Τονίζεται ότι θα πρέπει να σημειωθεί ότι είναι απαραίτητο να πραγματοποιηθεί έλεγχος του συστήματος για την σωστή λειτουργία του εφόσον δεν θα χρησιμοποιηθούν τα προτεινόμενα μέρη σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Επιπλέον, θα πρέπει η επιλογή να γίνει βάση των χαρακτηριστικών που δίνονται για τους συσσωρευτές.

4.3.2.5. Μετατροπές DC - AC (Inverter)

Σύμφωνα με το Γαλούζη (2009) η ηλεκτρική ενέργεια που παρέχεται από τους συσσωρευτές είναι σε μορφή συνεχούς τάσης (DC). Η μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη (AC), που απαιτείται, από πολλές κοινές συσκευές, επιτυγχάνεται με τον μετατροπέα. Η αποδοτικότητα των μετατροπών είναι γενικά μεγαλύτερη από 90%, ενώ όταν λειτουργεί πάνω από το 10% της εκτιμημένης εξόδου του, μπορεί να φτάσει ως και το 96%.

Οι μετατροπείς ανήκουν σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Αυτόματου μετατροπέα
- Μετατροπέα γραμμής συγχρονισμού.

Ο αυτόματος μετατροπέας έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει ανεξάρτητα, ενεργοποιημένος απλώς από την πηγή ισχύος εισόδου, ενώ οι συγχρονισμένοι μετατροπείς προκαλούνται άμεσα από το σύστημα. Βασικό κριτήριο για την εκλογή κατάλληλου μετατροπέα που θα τοποθετηθεί σε αυτόνομο σύστημα είναι το είδος της εναλλασσόμενης τάσης που χρειάζεται για να λειτουργήσει ο καταναλωτής.

Για τα αυτόνομα συστήματα υπάρχουν δύο ειδών μετατροπείς:

- Με καθαρή ημιτονική κυματομορφή εξόδου
- Με τροποποιημένη ημιτονική κυματομορφή εξόδου

Στην περίπτωση της ανεμογεννήτρια για οικιακή χρήση ο μετατροπέας θα είναι με καθαρή ημιτονική κυματομορφή εξόδου διότι έχει την δυνατότητα να τροφοδοτήσει τις περισσότερες συσκευές μιας οικίας ακόμα και εκείνες που περιλαμβάνουν ευαίσθητα ηλεκτρονικά κυκλώματα (π.χ. υπολογιστής).

Επιπλέον, ένα ακόμα χαρακτηριστικό του μετατροπέα αυτόνομου συστήματος είναι η σταθερότητα τάσης που δίνει στον καταναλωτή, επειδή η κατάσταση φόρτισης των συσσωρευτών δεν είναι ίδια υπάρχουν αυξομειώσεις στην τάση που δέχεται ο μετατροπέας. Η ισχύς του μετατροπέα πρέπει να υπερκαλύπτει την μέγιστη ισχύ ζήτησης, που προσδιορίζεται από το σύνολο των συσκευών κατανάλωσης καθώς επίσης και την ισχύ της υπέρτασης, που είναι συνήθως η τριπλάσια της ονομαστικής και μάλιστα για αρκετά δευτερόλεπτα.

Τα κύρια χαρακτηριστικά ενός μετατροπέα αυτοτελούς συστήματος είναι τα εξής:

- Ονομαστική ισχύς (V_A),
- Μέγιστη ισχύς (V_A)
- Ονομαστική τάση εισόδου (V),
- Όρια της τάσης εισόδου (V),
- Μέγιστη ένταση εισόδου (A),
- Τάση εξόδου (V),
- Ένταση εξόδου (A),
- Συχνότητα εξόδου (Hz),
- Κυματομορφή εξόδου και η απόδοση (%)

Ο επιλογή του μετατροπέα DC – AC γίνεται βάσει της ισχύος αιχμής του συστήματος πολλαπλασιασμένη με 1,5.

$$P_{INV} = 1,5 * P_p \quad (4.13)$$

Όπου:

P_p = η ισχύς αιχμής είναι η αποδιδόμενη ισχύς κάτω από τυπικές συνθήκες λειτουργίας.

Άρα στην παρούσα μελέτη η ισχύς αιχμής θα είναι η μέση τιμή της αποδιδόμενης ισχύς 2191 Watt.

$$P_{INV} = 1,5 * 2191 \text{ W} \Rightarrow P_{INV} = 3286,5 \text{ Watt}$$

Ο μετατροπέας θα πρέπει να είναι ισχύος πάνω από 3,5 kW, θα πρέπει ανήκει στην κατηγορία με καθαρή ημιτονική κυματομορφή εξόδου, να έχει τάση εισόδου ίση με την τάση του συστήματος (V_s) και τάση εξόδου 230 V. Οι μετατροπείς με τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά απεικονίζονται στις Εικόνα 4.6 α,β.



Εικόνα 4.6.α: Μετατροπέας Ισχύος 4 kW της εταιρίας Sotec SK [17]



Εικόνα 4.6.β: Μετατροπέας Ισχύος 4 kW της εταιρίας Steca [17]

4.3.2.6. Ρυθμιστής Φόρτισης

Για την επιλογή του ρυθμιστή φόρτισης θα πρέπει να υπολογιστεί το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να παρέχει η ανεμογεννήτρια. Το μέγιστο ρεύμα δίνεται από την σχέση:

$$I_{A/\Gamma max} = \frac{P_N}{V_S} \quad (4.14)$$

Όπου:

P_N = ονομαστική ισχύς ανεμογεννήτριας
 V_S = τάση συστήματος

Άρα το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να παρέχει η ανεμογεννήτρια σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν προκύψει θα είναι:

$$I_{A/\Gamma max} = \frac{2000W}{48V} \Rightarrow I_{A/\Gamma} = 41,67 A$$

Ο ρυθμιστής φόρτισης πρέπει να διαθέτει τάση λειτουργίας ίδια με την τάση του συστήματος και να μπορεί να διαχειριστεί το ρεύμα της ανεμογεννήτριας πολλαπλασιασμένο με το 1,5.

$$I_{cc} = 1,5 * 41,67 A \Rightarrow I_{cc} = 62,5 A \Rightarrow I_{cc} \cong 63A$$

Σημειώνεται ότι ο ρυθμιστής φόρτισης πρέπει να διαθέτει τάση λειτουργίας ίδια με την τάση του συστήματος, δηλαδή ο ρυθμιστής φόρτισης θα πρέπει να έχει τάση λειτουργίας 48V και να αντέχει σε ρεύμα 63 A. Δίνεται η δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν δύο ρυθμιστές φόρτισης. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης επιλέγεται ρυθμιστής φόρτισης με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Τάση συστήματος : 12/24/36/48/60 V
- DC ρεύμα λειτουργίας : 80A
- Μεγίστη τάση εισόδου : 150V DC

Ρυθμιστές φόρτισης με τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά απεικονίζονται στην Εικόνα 4.7. α,β.



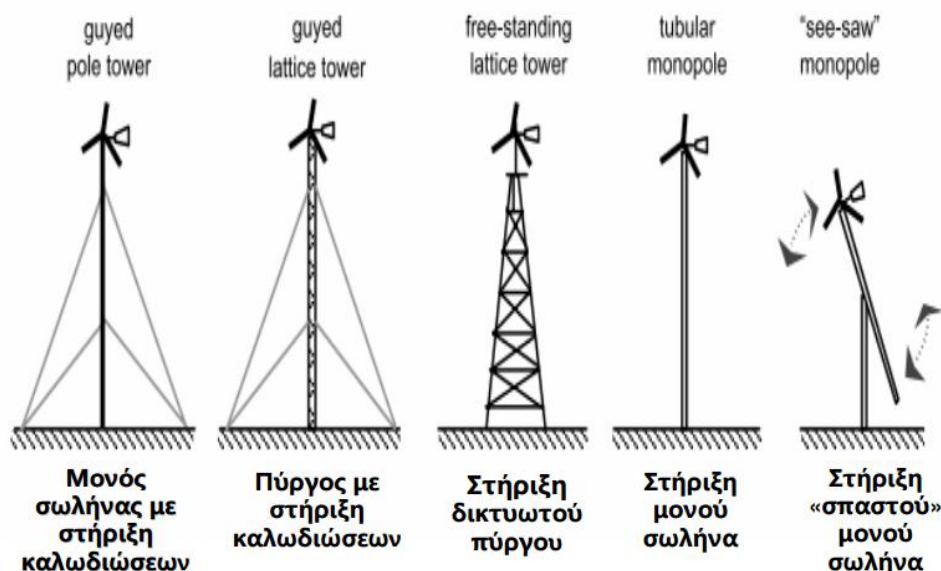
Εικόνα 4.7.α: Ρυθμιστής φόρτισης Outback Flexmax 80A - 150VDC [18]



Εικόνα 4.7.β: Ρυθμιστής φόρτισης Phocos MP S80 [16]

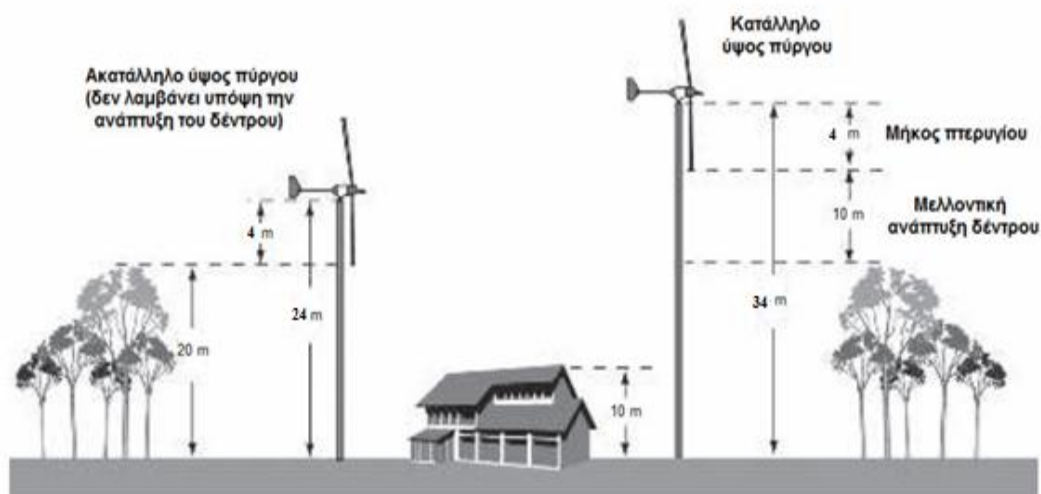
4.3.2.7. Τοποθέτηση Ανεμογεννήτριας

Αρχικά θα πραγματοποιηθούν τα απαραίτητα έργα υποδομής με στόχο να τοποθετηθεί ο πύργος στήριξης της ανεμογεννήτριας. Στις περισσότερες περιπτώσεις δημιουργείται μία βάση από τσιμέντο, η οποία προκαθορίζεται από το είδος του εδάφους. Επιπλέον, υπάρχουν διάφοροι τύποι πύργων στήριξης που μπορεί να τοποθετηθεί η οικιακή ανεμογεννήτρια, οι οποίοι απεικονίζονται στην Σχήμα 4.9.



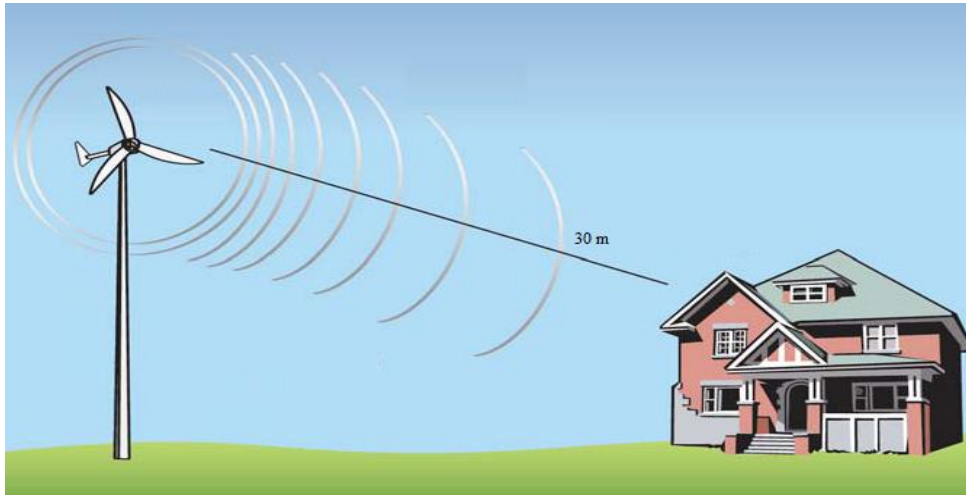
Σχήμα 4.9: Τρόπο στήριξης μικρής ανεμογεννήτριας
(Κατσιγιάννης, 2012)

Επιπλέον, θα πρέπει να υπολογισθεί το ύψος του πύργου το οποίο εξαρτάται από τα εμπόδια που βρίσκονται στον περιβάλλοντα χώρο τις οικίας, όπως για παράδειγμα δέντρα, φράκτες, άλλα κτίρια.



Σχήμα 4.10: Υπολογισμός ύψος πύργου μικρής ανεμογεννήτριας
(Κατσιγιάννης, 2012)

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης θα προτιμηθεί ο πύργος με στήριξης καλωδιώσεων γιατί όπως έχει προαναφερθεί υπάρχουν έντονα καιρικά φαινόμενα και το αιολικό δυναμικό κατατάσσεται στο υψηλό, αρά έντονοι άνεμοι αφού η μέση ταχύτητα της Ευβοίας κυμαίνεται στα 9m/sec. Ακόμα, το ύψος του πύργου θα είναι 34m γιατί τα δέντρα που βρίσκονται γύρωθεν τις οικίας έχουν αναπτυχθεί πλήρως. Ωστόσο, δεν δύνεται η δυνατότητα να κτιστούν οικίες με περισσότερους ορόφους, αφού βάσει νομοθεσίας οι οικίες δεν μπορούν να ξεπερνούν τα 10m. Επιπλέον, η ανεμογεννήτρια θα πρέπει να τοποθετηθεί σε απόσταση $\geq 30\text{m}$ από την οικία με στόχο να μειώνεται αισθητά ο θόρυβος (Εικόνα 4.8).



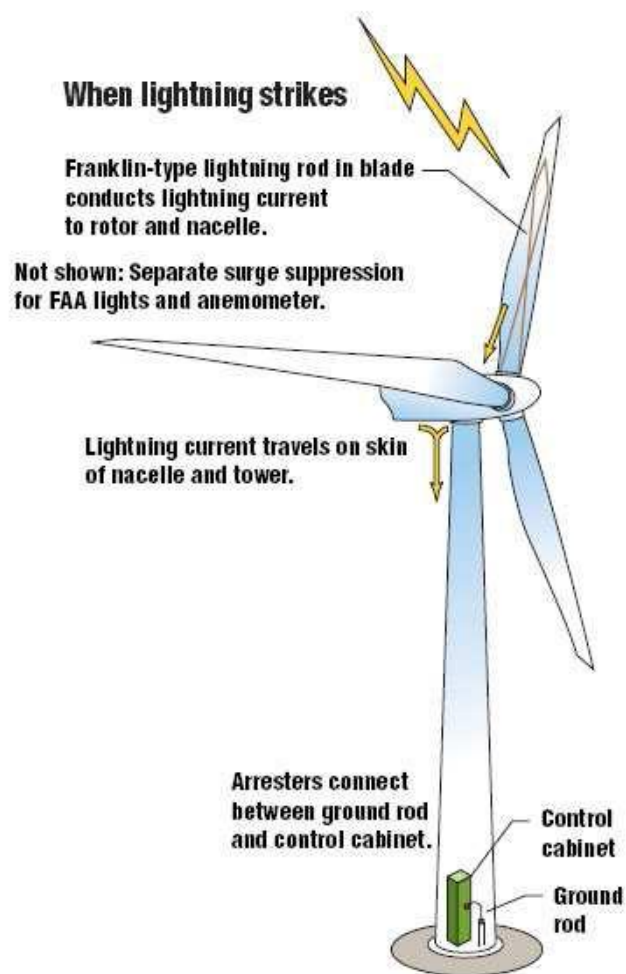
Εικόνα 4.8: Απόσταση μικρής ανεμογεννήτριας από οικία [18]

4.3.2.8. Αντικεραυνική προστασία

Σημαντικό θεωρείται να πραγματοποιηθεί μια αναφορά για την αντικεραυνική προστασία της ανεμογεννήτριας, διότι θα τοποθετηθεί σε μία περιοχή η οποία έχει έντονα καιρικά φαινόμενα. Υπάρχουν δύο τρόποι για να προστατευτεί μια ανεμογεννήτρια από τους κεραυνούς. Η πρώτη περίπτωση είναι ότι τα απαραίτητα μέσα της αντικεραυνικής προστασίας λαμβάνονται στο σώμα της ανεμογεννήτριας. Στην Εικόνα 4.9 φαίνονται εκτροπείς υπερτάσεων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη του πύργου στήριξης μιας ανεμογεννήτριας ενώ στο Σχήμα 4.11 διακρίνεται η πορεία που ακολουθεί το ρεύμα ως την διοχέτευσή του στο έδαφος με το ηλεκτρόδιο γείωσης.



Εικόνα 4.9: Εκτροπείς υπερτάσεων σε ανεμογεννήτριες (Δαγιάλογλου, 2011)



Σχήμα 4.11: Διαδρομή του ρεύματος και ακίδα αντικεραυνικής στο πίσω μέρος της ατράκτου (Δαγιάγλου, 2011)

Στην δεύτερη περίπτωση, όπου μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε μικρές ανεμογεννήτριες, δίνεται η δυνατότητα να τοποθετηθεί μια ακίδα σαν συλλεκτήριο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Ωστόσο, για να γίνει η χρήση αυτού του συστήματος θα πρέπει να το επιτρέπει η θέση της ανεμογεννήτριας, διότι προστατεύεται σαν να ήταν μια απλή ηλεκτρική συσκευή η οποία θα έπρεπε να είναι στα όρια που καθορίζει η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας (ακτίνας 45m). Αυτό έχει σαν συνέπεια να είναι προκαθορισμένες οι θέσεις που μπορεί να πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας για να υπάρχει και η απαραίτητη ασφάλεια.

5. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Οικονομική βιωσιμότητα μιας αιολικής ενεργειακής μονάδας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι από αυτούς είναι οι εξής:

- Κόστος αγοράς ανεμογεννήτριας
- Κόστος γης – υποδομής
- Αιολικό δυναμικό περιοχής
- Συντελεστής χωρητικότητας μηχανής
- Κόστος kWh που παράγεται από συμβατικούς ενεργειακούς σταθμούς
- Διάρκεια ζωής ανεμογεννήτριας
- Χρηματικό κόστος μελέτης – διαδικασία

Όλοι οι προαναφερόμενοι παράγοντες εμπλέκονται κατά την διαδικασία έλεγχου της οικονομικής βιωσιμότητας της επένδυσης της εγκατάστασης εκμετάλλευσης αιολικού δυναμικού. Αυτό έχει σαν συνέπεια την αναγκαία σοβαρότητα κατά την εκπόνηση της οικονομοτεχνικής μελέτης.

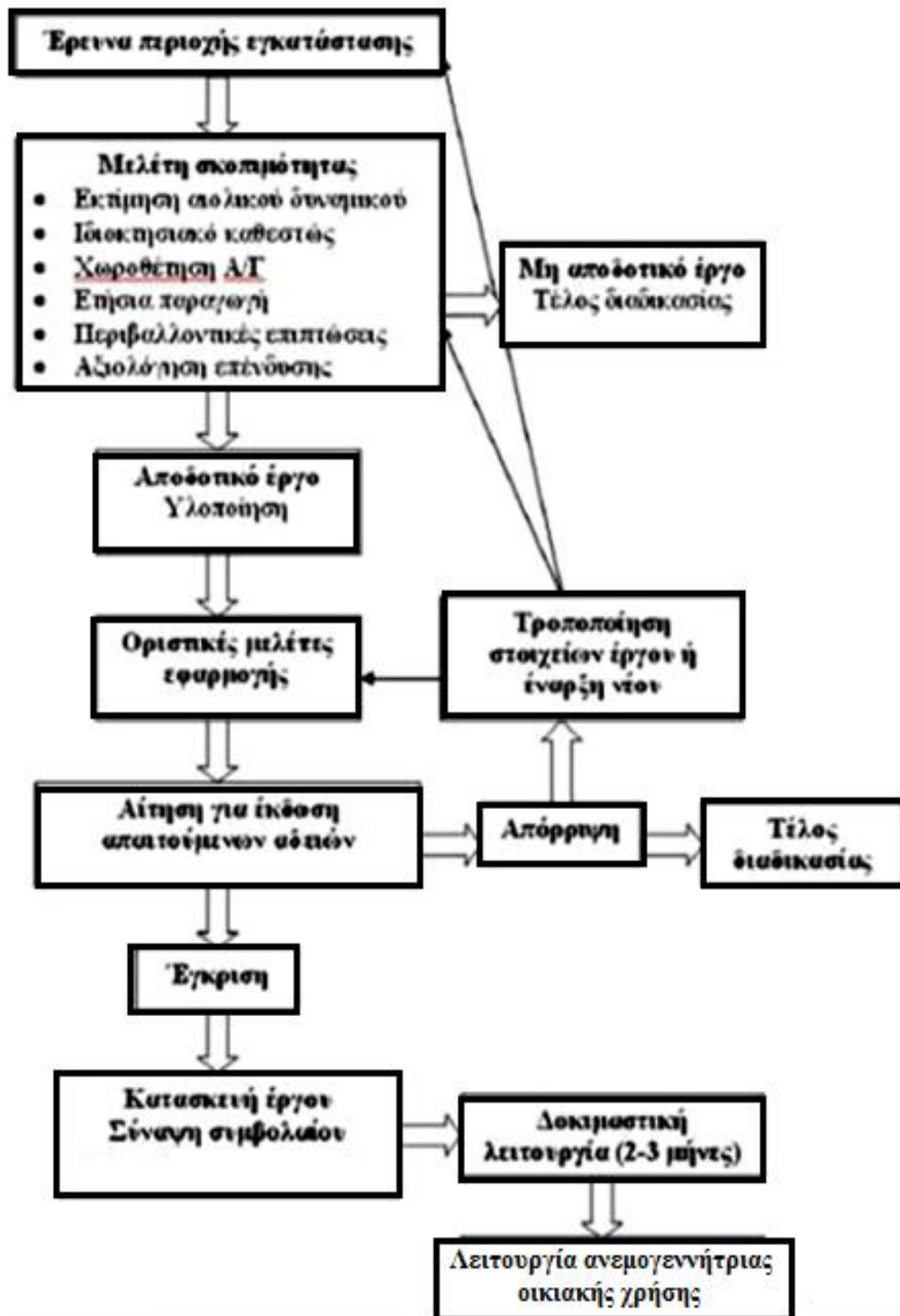


Εικόνα 5.1: Ανεμογεννήτριας οικιακής χρήσης

5.2. ΟΡΓΑΝΟΓΡΑΜΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η μελέτη για την εγκατάσταση της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνει τα στάδια για την ανάπτυξη και λειτουργία της. Τα στάδια αυτά είναι τα ακόλουθα (Πελοποννήσιος, 2013):

- Μελέτη σκοπιμότητας και εκκίνηση του έργου
- Προκατασκευαστική περίοδος
- Κατασκευαστική περίοδος
- Λειτουργία και συντήρηση



Διάγραμμα 5.1: Οργανόγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης
(Πελοποννήσιος, 2013)

Ωστόσο, για την υλοποίηση των στάδια απαιτείται χρόνος και χρήμα. Αυτός είναι και ο λόγος που για την έναρξη μιας τέτοιας μελέτης θα πρέπει να τεθεί αρχικά το ερώτημα αν δίνεται η δυνατότητα απόσβεσης και αν ναι σε πόσα χρόνια (Θυμάκης & Τσουνής, 2013). Σημειώνεται ότι με τον νέο αναπτυξιακό νόμο δίνεται η δυνατότητα μερικής κρατικής επένδυσης για ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος με συνέπεια η εγκατάστασή τους να γίνεται πιο ελκυστική.

Τα βασικά έξοδα που δημιουργούνται κατά την εκπόνηση της μελέτης και την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας και είναι τα ακόλουθα (Φλάμος, 2010):

❖ **Μελέτη σκοπιμότητας:**

Το πρώτο στάδιο ενός επενδυτή πριν ξεκινήσει να υλοποιεί ένα έργο είναι να πραγματοποιεί μια μελέτη σκοπιμότητας. Η μελέτη αυτή γίνεται για να διαπιστωθεί αν το έργο είναι οικονομικά βιώσιμο ενώ αποτελεί για τον επενδυτή ένα αναγκαίο αρχικό κόστος. Στα έξοδα της μελέτης σκοπιμότητας υπάγεται η διερεύνηση του χώρου, η περιβαλλοντική αξιολόγηση, προκαταρκτικός σχεδιασμός, η αναλυτική εκτίμηση κόστους, η διαχείριση του έργου καθώς και έξοδα ταξιδιών που δύνανται να προκύψουν.

❖ **Ανάπτυξη του έργου**

Το δεύτερο ποσό εξόδων αφορά την ανάπτυξη του έργου στο οποίο υπάγονται: οι διαπραγματεύσεις για τα συμβόλαια, οι ενέργειες για τις άδειες, τα δικαιώματα της γης που θα χρησιμοποιηθεί, διάφορες νομικές και λογιστικές υπηρεσίες καθώς και έξοδα ταξιδιών που δύνανται να προκύψουν. Εάν ο επενδυτής δεν έχει ήδη στη κυριότητά του την έκταση γης όπου θα γίνει η εγκατάσταση του έργου τότε το μεγαλύτερο ποσοστό κόστους θα καταλαμβάνουν οι ενέργειες για τις άδειες απόκτησης έκτασης γης. Ας θεωρήσουμε ότι ο επενδυτής έχει στην κυριότητα του την άδεια για να χρησιμοποιήσει την γη.

❖ **Μηχανολογικά**

Ένα επιπλέον έξοδο είναι και αυτό που σχετίζεται με το μηχανολογικό τομέα το οποίο προκύπτει από τον μηχανολογικό, ηλεκτρολογικό και οικοδομικό σχεδιασμό, τη προκήρυξη διαγωνισμών, την υπογραφή συμβάσεων.

❖ **Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**

Το σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελεί το μεγαλύτερο κόστος. Το υψηλό κόστος είναι αποτέλεσμα της αγοράς της ανεμογεννήτριας, της μεταφοράς, των ανταλλακτικών όπως και άλλων μη προσδοκώμενων εξόδων που δύνανται να προκύψουν. Σε πρώτο στάδιο αξίζει να αναφερθεί ότι το κόστος της ανεμογεννήτριας διαφέρει ανάλογα με την κατασκευάστρια εταιρία. Ωστόσο η παραγγελία θα περιλαμβάνει τόσο τις ανεμογεννήτριες όσο και κάποια από τα ανταλλακτικά τα οποία αφορούν τα κινητά της μέρη, όπως για παράδειγμα τα πτερύγια. Το κόστος των ανταλλακτικών καταλαμβάνει κατά προσέγγιση το 3% του συνολικού ποσού που θα δοθεί για τις ανεμογεννήτριες. Ωστόσο, ανάλογα με το μέγεθος της ανεμογεννήτριας εξίσου μεγάλο είναι και το κόστος μεταφοράς.

❖ **Ισοζύγιο του συστήματος**

Το ισοζύγιο του συστήματος είναι εκείνο το οποίο περιλαμβάνει τις υπολειπόμενες εργασίες οι οποίες είναι απαραίτητες για την εγκατάσταση του έργου. Τα επιπλέον έξοδα που θα χρειαστούν είναι αυτά που σχετίζονται με την ανέγερση της ανεμογεννήτριας, τα έργα οδοποιίας, τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρισμού.

❖ **Απρόβλεπτα**

Πέραν των αρχικών εξόδων που δύνανται να υπολογιστούν από την αρχή, προκύπτουν και κάποια κατά την διάρκεια του έργου. Τα έξοδα αυτά είναι δύσκολο να υπολογιστούν πρωτύτερα γεγονός το οποίο έχει ως αποτέλεσμα να υπολογίζεται κατά προσέγγιση ένα επιπλέον ποσοστό της τάξεως έως και 10% στο συνολικό ποσό των εξόδων. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται η πιθανότητα σφάλματος ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η πιθανότητα εγκυρότερης προσέγγισης του ποσού των εξόδων. Ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια στην μελέτη επιτυγχάνεται με τον υπολογισμό της μεταβολής της αξίας του χρήματος κατά την διάρκεια κατασκευής του έργου.

❖ **Ετήσια Κόστη**

Δεν πρέπει θεωρηθούν αμελητέα τα ετήσια κόστη για την συντήρηση του έργου. Τα συγκεκριμένα έξοδα είναι τα ασφάλιστρα, η συντήρηση και τα ανταλλακτικά. Μεγαλύτερη

ακρίβεια επιτυγχάνεται με την 10% αύξηση του προαναφερθέντος ποσού, ποσοστό το οποίο εντάσσονται όλα τα μη προσδοκώμενα έξοδα.

❖ **Περιοδικά Κόστη**

Ωστόσο ορισμένες εργασίες οι οποίες αφορούν την συντήρηση του έργου είναι προγραμματισμένες να γίνουν μετά το πέρας συγκεκριμένων ετών λειτουργίας της. Μια τέτοιου είδους εργασία είναι τα στρεφόμενα μέρη της γεννήτριας, όμως πραγματοποιείται και έλεγχος του κιβωτίου ταχυτήτων. Οι εργασίες αυτές κοστολογούνται στο 20% της συνολικής τιμής της ανεμογεννήτριας.

5.3. ΚΟΣΤΟΣ ΟΙΚΙΑΚΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

5.3.1. Κόστος Αγοράς Ανεμογεννήτριας

Το κόστος πώλησης μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από την τυποποίηση της κατασκευής της μηχανής και το πλήθος των μηχανών που κατασκευάζονται και πωλούνται. Σε πολλές περιπτώσεις υπάρχει μείωση του αρχικού κόστους μιας ανεμογεννήτριας μέχρι και στο $\frac{1}{4}$ του κόστους κατασκευής της πρωτότυπης μονάδας ένα από παραγωγή – τυποποίηση της πρώτης εκατοντάδας ανεμογεννητριών.

Για τον υπολογισμό του κόστους της οικιακής ανεμογεννήτριας δεν αρκεί μόνο το κόστος της ανεμογεννήτριας αλλά και του μετατροπέα, του ρυθμιστή φόρτισης καθώς και των μπαταριών, οι οποίες θα καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας για 3 ημέρες.



Εικόνα: 5.2: Βασικά μέρη συστήματος ανεμογεννήτριας [18]

Πίνακας 5.1: Οικονομικά στοιχεία οικιακής ανεμογεννήτριας

Στοιχεία	Τιμή (€)
Ανεμογεννήτρια	4600,00
Μετατροπέας καθαρού ημιτόνου	550,00
Ρυθμιστής φόρτισης	450,00
Μπαταρίες (24 _(τεμ) *12V →250 Ah)	250/ τεμ →6000
Σύνολο	11600

Σημειώνεται ότι οι τιμές είναι ενδεικτικές. Υπάρχουν πολλές επιλογές για την δημιουργία του αυτόνομου συστήματος. Ωστόσο, αυτά που έχουν επιλεγεί θεωρούνται ότι μπορούν να διασφαλίσουν την τροφοδοσία της οικίας χωρίς προβλήματα.

5.3.2. Κόστος γης – υποδομής

Το κόστος γης και υποδομής μιας ανεμογεννήτριας θεωρείται εξίσου σημαντικό αφού περιλαμβάνει την αγορά ή την ενοικίαση γης, την μεταφορά της ανεμογεννήτριας, τα έργα υποδομής για την εγκατάσταση και την λειτουργία καθώς και την μελέτη του πολιτικού μηχανικού για την θεμελίωση της ανεμογεννήτριας και την διαμόρφωση χώρου. Ωστόσο, σημαντικό είναι και το κόστος των γραμμών μεταφοράς στο ηλεκτρικό δίκτυο και η αντικεραυνική προστασία.

Στην εγκατάσταση της παρούσας οικιακής ανεμογεννήτριας τα έξοδα αυτά παρουσιάζονται στην Πίνακα 5.2. Σημειώνεται ότι κάποια από τα προαναφερόμενα έξοδα δεν υπάρχουν διότι η εγκατάσταση θα πραγματοποιηθεί σε ήδη υπάρχον οικόπεδο, άρα δεν υπάρχουν τα έξοδα αγοράς ή ενοικίασης. Επιπλέον, δεν επιβαρύνεται η εγκατάσταση με την δημιουργία γραμμών μεταφοράς αφού είναι αυτόνομο και δεν δίνεται η δυνατότητα να συνδεθεί με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Πίνακας 5.2: Κόστος Υποδομής Ανεμογεννήτριας

Στοιχεία	Τιμή (€)
Αγορά ή ενοικίαση γης	-
Μελέτη εγκατάστασης	3000
Έργα υποδομής	1500
Μεταφορά ανεμογεννήτριας	2000
Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας	2000
Γραμμές μεταφοράς	-
Αντικεραυνική προστασία	1000
Σύνολο	9500

5.3.3. Αιολικό δυναμικό περιοχής

Όπως έχει προαναφερθεί η υπέρχει του καλού αιολικού δυναμικού στην περιοχή έχει άμεση επίδραση στην ενεργειακή παραγωγή της ανεμογεννήτριας, κυρίως λόγω της κυβικής μεταβολής της αιολικής ισχύος με την ταχύτητα του ανέμου. Συνέπεια αυτού είναι ότι το αιολικό δυναμικό είναι ο βασικός παράγοντας που επιδρά στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης. Ωστόσο, είναι σημαντικό να επιλεγεί η καταλληλότερη θέση για την τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας με σκοπό να αποδοθεί η μέγιστη ηλεκτρική ενέργεια. Εξίσου σημαντική είναι και η επιλογή της ανεμογεννήτριας που θα πρέπει να έχει την απαραίτητη αεροδυναμική με στόχο τον υψηλό βαθμό απόδοσης.

Μία ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος αποδίδει την ισχύ αυτή για μια συγκεκριμένη ταχύτητα του ανέμου και μεγαλύτερη. Όμως όπως έχει προαναφερθεί η ενέργεια που παράγει μια ανεμογεννήτρια μέσα στο έτος είναι μικρότερη από αυτή που αποδίδει, άρα για να χαρακτηριστεί μια ανεμογεννήτρια καλής σχεδίασης και κατασκευής καθώς και κατάλληλη για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών θα πρέπει να υπολογιστεί ο συντελεστής χωρητικότητας.

Ο συντελεστής χωρητικότητας ενός ανεμοκινητήρα (CF) υποδηλώνει ουσιαστικά την ποιότητα – σχεδίας του ανεμοκινητήρα και υπολογίζεται από την μέση ισχύς του ανεμοκινητήρα που παρουσιάζει κατά την διάρκεια του έτους και δίνεται από την σχέση:

$$CF = \frac{E}{E_r} = \frac{P}{P_r} \quad (5.1)$$

Όπου:

E = Μέση παραγόμενη ενέργεια έτους
 E_r = Μέγιστη ισχύς κινητήρα ($E_r = 8760 \cdot P_r$)
 P_r = Μέγιστη ισχύς ανεμοκινητήρα
 $\bar{P}$ = Μέση παραγόμενη ισχύς έτους

Για να θεωρηθεί η ανεμογεννήτρια ότι είναι οικονομικά βιώσιμη θα πρέπει ο συντελεστής CF να κυμαίνεται μεταξύ των ορίων 15% (ελάχιστη τιμή) και 40% (μέγιστη τιμή). Ωστόσο, σύμφωνα με μελέτες ένας ανεμοκινητήρας με συντελεστής 25% θεωρείται ότι είναι καλής σχεδίασης και κατασκευής και μπορεί να ανταπεξέρθει στις απαιτήσεις ενεργειακών προσδοκιών (Μπεργελές, 1995)

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς που προέκυψαν από το προηγούμενο Κεφάλαιο η μέση παραγόμενη ενέργεια το έτος είναι $\overline{E_{WIND}} = 8870471 \text{ Wh}$ και ο κατασκευαστής δίνει δυνατότητα μέγιστης ισχύς ανεμογεννήτριας 3000W (8760 ώρες έτους), άρα από την σχέση 5.1 προκύπτει:

$$CF = \frac{8870471 \text{ Wh}}{8760 \text{ h} \cdot 3000 \text{ Watt}} \Rightarrow CF = 0,337 \Rightarrow CF = 34\%$$

Η επιλογή της ανεμογεννήτριας θεωρείται κατάλληλη έχοντας καλή σχεδίαση και κατασκευή με συνέπεια να θεωρείται ότι είναι μια οικονομικά βιώσιμη επένδυση.

5.3.4. Κόστος kWh συμβατικών ενεργειακών σταθμών

Οι συμβατικοί ενεργειακοί σταθμοί έχουν φθάσει σε ένα καλό επίπεδο τεχνολογικής ωρίμανσης, έχει επιτευχθεί η τυποποίηση στη τεχνολογική σχεδίαση, κατασκευή και αυτοματισμό τους με αποτέλεσμα η σύγκριση τους κόστους της παραγόμενης kWh με το κόστος της αιολικής kWh να είναι άνιση.

Ωστόσο, με το πέρασμα των χρόνων η αιολική kWh μπορεί να συγκριθεί με το κόστος kWh από συμβατικούς πετρελαϊκούς σταθμούς. Ιδιαίτερα στην Ελλάδα υπάρχουν δύο παράγοντες που ευνοούν αυτή την επιλογή της εγκατάστασης εκμετάλλευσης αιολικού δυναμικού. Ο πρώτος παράγοντας είναι ότι πολλές περιοχές έχουν μεγάλο αιολικό δυναμικό και ο δεύτερος ότι υπάρχει υψηλό κόστος για την παραγωγή kWh από αυτόνομες συνήθως μικρής ισχύος, νηζελοκινητήρες μηχανές ηλεκτροπαραγωγής (Μπεργελές, 1995)

Το κόστος kWh ενός μικρού αυτόνομου σταθμού Diesel εξαρτάται από την ισχύς του σταθμού καθώς και από ένα χαρακτηριστικό μέγεθος που δείχνει τη διακύμανση του φορτίου. Στην συνέχεια ακολουθεί η ανάλυση του κόστους πετρελαίου ανά έτος για το μικρό αυτόνομο σύστημα Diesel (Ευθυμιάδης, 2013).

Για τον υπολογισμό της θερμικής τιμής του πετρελαίου πρέπει να είναι γνωστά τα εξής στοιχεία:

- Κατώτερη θερμογόνος δύναμη πετρελαίου: $10250 \text{ kcal/kg} = 11.92 \text{ kWh/kg}$
- Πυκνότητα πετρελαίου: $\rho_{\text{pet}} = 0,86 \text{ kg/lit}$
- Καθαρή θερμογόνος δύναμη: $\text{KΘΜ} = 10,3 \text{ kWh/lit}$
- Βαθμός απόδοσης μηχανής: $\eta = 75\%$
- Τιμή πετρελαίου κίνησης: $1,07 \text{ €}$

Υπολογισμός Θερμικής τιμής πετρελαίου:

$$\text{Θερμική τιμή} = \frac{\text{Τιμή πετρελαίου}}{\text{ΚΘΜ} * \text{Βαθμ. ό. απόδοσης μηχαν. ής}} \quad (5.2)$$

Αρα κάνοντας αντικατάσταση η θερμική τιμή προκύπτει 0,139 €/ kWh.

Ο υπολογισμός του κόστους της κατανάλωσης πετρελαίου προκύπτει από μέση παραγόμενη ενέργεια του έτους πολλαπλασιαζόμενη με την θερμική τιμή του πετρελαίου και δίνεται από την σχέση:

$$\text{Κόστος Πετρελαίου} = E_{WIND} * \text{Θερμική τιμή} \quad (5.3)$$

Κάνοντας αντικατάσταση όπου $\overline{E_{WIND}} = 8870471$ Wh και θερμική τιμή 0,139 €/ kWh προκύπτει ότι το κόστος πετρέλαιο ανά έτους φτάνει στα 1232,99 €/έτος.

5.3.5. Διάρκεια ζωής ανεμογεννήτριας

Η διάρκεια ζωής μια ανεμογεννήτριας κυμαίνεται από 20 έως 30 χρόνια. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και με την βελτίωση των υλικών κατασκευής επιτυγχάνεται μεγαλύτερος χρόνος ζωής. Ωστόσο, σημαντικός παράγοντας για την αύξηση της ζωής μιας ανεμογεννήτριας είναι οι νέες γνώσεις σχετικά με την αλληλεπίδραση του ανέμου και των αιολικών μηχανών σε συνδυασμό με τη χρήση κωδικών ηλεκτρονικών υπολογιστών που δίνουν την δυνατότητα να επιτρέπουν τον ακριβή υπολογισμό των φορτίων σε μεταβαλλόμενες ανεμολογικές συνθήκες.

Δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής μια ανεμογεννήτριας έχει άμεση επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης η παραδοχή ως διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας 20 έτη αποτελεί συντηρητική εκτίμηση. Ο κατασκευαστής της επιλεγμένης ανεμογεννήτριας ορίζει διάρκεια ζωής 25 έτη εφόσον, το σύστημα λειτουργεί κάτω από τα προκαθορισμένα όρια τα οποία έχουν τεθεί από την εταιρία, καθώς και οι συντηρήσεις πραγματοποιούνται σύμφωνα με τις προδιαγραφές (Μπεργελές, 1995).

5.3.6. Κόστος χρήματος

Η αρχική επένδυση του κεφαλαίου για την κατασκευή και την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας επιβαρύνεται από τους τόκους του δανείου του κεφαλαίου επένδυσης και με το ετήσιο κεφάλαιο αποπληρωμής του. Οι τόκοι το δανείου εξαρτώνται από το ετήσιο επιτόκιο, ενώ το ετήσιο κεφάλαιο εξαρτάται από την διάρκεια αποπληρωμής του. Για την Ελλάδα με τον υψηλό πληθωρισμό της το επιτόκιο ανέρχεται πάνω από το 30% ενώ η διάρκεια αποπληρωμής μπορεί να κυμαίνεται από 10 έως 25 έτη (Μπεργελές, 1995).

Σημειώνεται ότι στις ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος με τον επενδυτικό νόμο δίνεται η δυνατότητα κρατικής χορηγίας έως και 55% εφόσον ελέγχει, εγκριθεί και αδειοδοτηθεί η διαδικασία εγκατάστασης της οικιακής ανεμογεννήτριας (Μαρκίδης, 2010).

5.3.7. Κόστος συντήρησης

Η ανεμογεννήτρια έχει πολύ λίγα ετήσια λειτουργικά έξοδα καθώς και έξοδα συντήρησης. Με τα ειδικευμένα συνεργεία και την βελτίωση της τεχνολογία το ποσό αυτό κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Μπεργελές, 1995). Όπως έχει προαναφερθεί στο

αρχικό κόστος πολλές φορές συμπεριλαμβάνονται και τα βασικά ανταλλακτικά. Οπότε τα ετήσια έξοδα συντήρησης κυμαίνονται από 100 έως 150 € (Μαρκίδης, 2010).

5.3.8. Απόσβεση εγκατάστασης ανεμογεννήτριας

Σε αυτό το σημείο θα πραγματοποιηθεί συγκριτική ανάλυση της αγοράς και εγκατάσταση της οικιακής ανεμογεννήτρια με ή χωρίς δανεισμό. Επίσης, θα γίνει σύγκριση με την περίπτωση της μηχανής πετρελαίου που θα χρησιμοποιείτο για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών με στόχο τον υπολογισμό των ετών απόσβεσης.

Πίνακας: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομικών στοιχείων ανεμογεννήτριας χωρίς δανεισμό και με δανεισμό

Στοιχεία	Χωρίς Δανεισμό	Με δανεισμό
Μέση παραγόμενη ενέργεια του έτους $\overline{E_{WIND}}$	8.870,471kWh	8.870,471kWh
Αρχικό Κόστος Ανεμογεννήτριας	11600€	11600€
Κόστος Υποδομής	9500€	9500€
Συνολικό κόστος εγκατάστασης	21200€	21200€
Χορηγία 55%	11605€	11605
Καθαρό κόστος	9595€	9595€
Ετήσιο κόστος συντήρησης	125€	125€
Επιτόκιο	-	7%
Μηνιαία δόση	-	70€
Ετήσια έξοδα πετρελαίου	1232,99 €	1232,99 €
Χρόνια απόσβεσης	8 Χρόνια	12 χρόνια

6. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΠΕΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΚΤΙΜΗΣΗ

6.1. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

Τα περιβαλλοντικά προβλήματα που προκαλούν οι αιολικές μηχανές είναι περιορισμένα. Στην συνέχεια του Κεφαλαίου θα αναπτυχθούν οι πιο διαδεδομένες ανησυχίες για τις αρνητικές επιπτώσεις της εγκατάστασης και χρήσης των ανεμογεννητριών. Κάποια από τα βασικά προβλήματα είναι τα κάτωθι:

- Θόρυβος
- Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές
- Αισθητική
- Επίδραση στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες
- Επίδραση στον πληθυσμό των πτηνών

6.1.1. Προβλήματα θορύβου

Το πρόβλημα του θορύβου θεωρείται ουσιαστικό ότι είναι το μόνο ουσιαστικό πρόβλημα, το οποίο βέβαια μπορεί να ελεγχθεί και να αποτραπεί. Στις ανεμογεννήτριες ο εκπεμπόμενος θόρυβος μπορεί να υπαχθεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευση του και μπορεί να είναι:

- Μηχανικός θόρυβος: προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα κλπ.)
- Αεροδυναμικός θόρυβος: προέρχεται από την περιστροφή των πτερυγίων.

Οι ανεμογεννήτριες βελτιώνεται διαρκώς κατασκευαστικά με συνέπεια να γίνονται όλο και πιο αθόρυβες. Ωστόσο, δίνεται η δυνατότητα αντιμετώπισης του θορύβου που μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε στην πηγή είτε στη διαδρομή του. Οι μηχανικοί θόρυβοι της πηγής έχουν ελαχιστοποιηθεί από την σχεδίαση με την κατασκευή βελτιώνοντας τα γρανάζια πλάγια οδόντωσης και χρησιμοποιώντας εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής. Ακόμα, οι μηχανικοί θόρυβοι που υπάρχουν στην διαδρομή αντιμετωπίζονται με ηχομονωτικά πετάσματα και αντικραδασμικά πέλματα στήριξης. Στην περίπτωση του αεροδυναμικού θορύβου αντιμετωπίζεται με προσεκτική σχεδίαση των πτερυγίων από τους κατασκευαστές, που δίνουν άμεση προτεραιότητα στην ελάττωση του.

Το επίπεδο του αντιληπτού θορύβου από μία ανεμογεννήτρια μεγάλης ισχύος και σύγχρονων προδιαγραφών σε απόσταση 200 μέτρων, είναι μικρότερο από αυτό που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος μιας μικρής επαρχιακής πόλης και δεν αποτελεί πηγή ενόχλησης. Με δεδομένη τη νομοθετημένη απαίτηση να εγκαθίστανται οι ανεμογεννήτριες σε ελάχιστη απόσταση 500 μέτρων από τους οικισμούς, το επίπεδο είναι ακόμη χαμηλότερο και αντιστοιχεί πλέον σε αυτό ενός ήσυχου καθιστικού δωματίου. Επιπλέον, στις ταχύτητες ανέμου που λειτουργούν οι ανεμογεννήτριες ο φυσικός θόρυβος (θόρυβος ανέμου σε δένδρα και θάμνους) υπερκαλύπτει οποιονδήποτε θόρυβο που προέρχεται από τις ίδιες.

Στην συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας με τα ντεσιμπέλ που προκύπτουν από διάφορες πηγές καθώς και τα αποτελέσματα από διαφορές για την κατανόηση του προβλήματος του θορύβου που προκαλείται από τις ανεμογεννήτριες.

Πίνακας 6.1: Μέσες στάθμες θορύβου σε ντεσιμπέλ
(Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2001)

Πηγή	Ήχος dB
Αεροσκάφος	140
Κομπρεσέρ	120
Βιομηχανικός θόρυβος	100
Στερεοφωνικό	90
Εσωτερικό αυτοκινήτου	80
Γραφείο	60
Ανεμογεννήτρια	45-60
Σπίτι	50
Υπνοδωμάτιο	30
Ψίθυρος	20
Πτώση φύλλων	10

Σύμφωνα με μελέτες European Commission (1999) το επίπεδο του ήχου σε απόσταση 40 μέτρων από μία ανεμογεννήτρια είναι 50-60 dB(A), που είναι αντίστοιχο με την ένταση μίας συζήτησης. Σε απόσταση 200 μέτρων, η στάθμη του θορύβου πέφτει στα 44 dB(A), στα υπήνεμα της ανεμογεννήτριας, για ταχύτητα ανέμου 8 m/s. Σημειώνεται ότι για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες των 8 m/s, ο θόρυβος που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες καλύπτεται από το φυσικό θόρυβο. Το συγκεκριμένο επίπεδο θορύβου που αναφέρθηκε (44 dB) αντιστοιχεί σε αυτό μιας ήσυχης μικρής πόλης, και δεν αποτελεί βέβαια πηγή όχλησης. Δεδομένης δε της απαιτούμενης ελάχιστης απόστασης των ανεμογεννητριών από γειτονικούς οικισμούς (500m), το επίπεδο αυτό είναι ακόμη χαμηλότερο, της τάξης των 30-35 dB, που αντιστοιχεί στο επίπεδο θορύβου ενός ήσυχου καθιστικού, και που καλύπτεται πλήρως από φυσικές και τεχνικές πηγές θορύβου εγγύτερες προς τους οικισμούς.

Συμπερασματικά με όσα προαναφέρθηκαν σε συνδυασμός με την θέση των «οικοπέδων» που θα εγκατασταθεί μια ανεμογεννήτρια ή ακόμα και ένα αιολικό πάρκο στην Ελλάδα για να έχουν καλύτερη απόδοση, μπορούμε να πούμε με βεβαιότητα ότι δεν προκαλείται:

- Αύξηση της υπάρχουσας στάθμης θορύβου εκτός των ορίων τους και ακόμη περισσότερο σε κατοικημένες περιοχές
- Έκθεση ανθρώπων σε υψηλή στάθμη θορύβου.

Για να πειστεί κάποιος για το ζήτημα του θορύβου μπορεί να πραγματοποιήσει μια επίσκεψη είτε σε ένα αιολικό πάρκο είτε σε μία οικία που εξυπηρετεί τις ενεργειακές τις ανάγκες από την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας μια μέρα που οι ανεμογεννήτριες βρίσκονται σε κανονική λειτουργία (Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2001).

6.1.2. Προβλήματα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών

Το πρόβλημα των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών παρουσιάζεται συνήθως σε ανεμογεννήτριες όπου τοποθετούνται σε θέση που δεν εγκρίνεται από τους σταθμούς τηλεόρασης και ραδιοφώνου. Η διάδοση των εκπομπών στις συχνότητες των προαναφερόμενων επηρεάζεται από εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη. Το κυριότερο πρόβλημα από τις ανεμογεννήτριες προέρχεται από τα κινούμενα πτερύγια που μπορούν να προκαλέσουν αυξομείωση σήματος λόγω αντανάκλασεων. Αυτό ήταν πολύ εντονότερο στην πρώτη γενιά ανεμογεννητριών που έφερε μεταλλικά πτερύγια. Τα πτερύγια των συγχρόνων ανεμογεννητριών κατασκευάζονται αποκλειστικά από συνθετικά

υλικά, τα οποία έχουν ελάχιστη επίπτωση στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η Ελληνική νομοθεσία προβλέπει την προώθηση αδειοδότησης ενός αιολικού πάρκου καθώς και ανεμογεννήτριες οικιακής χρήσης μόνον εφόσον τηρούνται κάποιες ελάχιστες αποστάσεις από τηλεπικοινωνιακούς ή ραδιοτηλεοπτικούς σταθμούς. Οποιαδήποτε πιθανά προβλήματα παρεμβολών μπορούν να προληφθούν με σωστό σχεδιασμό και χωροθέτηση ή να διορθωθούν με μικρό σχετικά κόστος. Σε σχέση με την συμβατότητα και τις παρεμβολές στις τηλεπικοινωνίες, αξίζει να αναφέρουμε, ότι σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες οι πύργοι των ανεμογεννητριών όχι μόνον δεν δημιουργούν εμπόδια, αλλά χρησιμοποιούνται ήδη για την εγκατάσταση κεραιών προς διευκόλυνση υπηρεσιών επικοινωνιών.

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 30-50 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. Μπορούμε λοιπόν να ισχυριστούμε με βεβαιότητα, ότι αυτά που ακούγονται για εκπομπή ραδιενέργειας ή ακτινοβολιών άλλου τύπου από τις ανεμογεννήτριες δεν ευσταθούν (Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2001).

6.1.3. Αισθητικά προβλήματα

Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί στο αισθητικό πρόβλημα που δημιουργείται στην εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας ή ενός αιολικού πάρκου. Η οπτική όχληση είναι υποκειμενικός παράγοντας ο οποίος εξαρτάται, όπως δείχνουν σχετικές μελέτες, όχι τόσο από την ίδια την εικόνα της εγκατάστασης, όσο από τη γενικότερη εικόνα που έχει διαμορφώσει ο παρατηρητής για τη χρήση της (π.χ. ως οικολογική πηγή ενέργειας, ως πηγή τοπικών αναπτυξιακών οφελών, κλπ.). και δύσκολα δίνεται η δυνατότητα να τεθούν κοινά αποδεκτοί κανόνες (Λαζάρου, 2005).

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 εξ αρχής. Από τις ίδιες μελέτες προκύπτει ότι οι άνθρωποι που είναι πιο ενημερωμένοι για τα οφέλη που προέρχονται από την χρήση των ανεμογεννητριών είναι πιο αποδεκτές αυτές οι εγκαταστάσεις (Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2001).

Ωστόσο, σημειώνεται ότι κάθε εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας θα πρέπει να ενσωματώνεται στο τοπίο. Προτείνεται να χρησιμοποιούνται χρώματα απαλά και ουδέτερα με συνέπεια να μειώνεται η οπτική όχληση. Επιπλέον, το κλειδί για την λύση του προβλήματος είναι να αποφευχθεί η τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας ή ενός αιολικού πάρκου σε σημεία τα οποία θεωρούνται «μοναδικά» για το ξεχωριστό τοπίο που προσφέρουν (Γκίκας, 2011).

6.1.4. Επίδραση στις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες

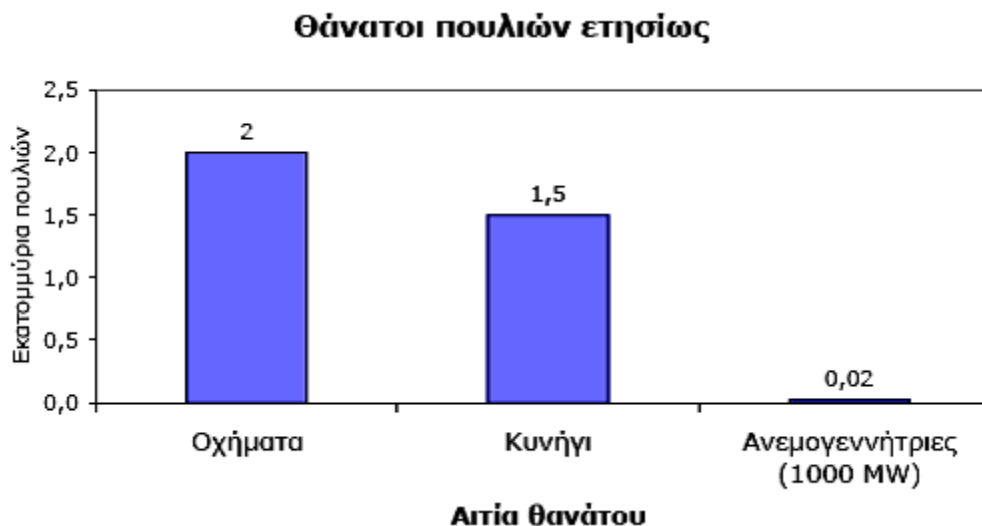
Από μελέτες δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι οι ανεμογεννήτριες οικιακής χρήσης επιβαρύνουν την γεωργία και την κτηνοτροφία της περιοχής. Δεδομένου ότι περίπου το 99%

της γης που φιλοξενεί μια ανεμογεννήτρια είναι διαθέσιμο για άλλες χρήσεις, μπορούμε να κατανοήσουμε ότι οι αγροτικές δραστηριότητες μπορούν να συνεχίζονται και μετά την εγκατάσταση. Οι συνήθεις τοποθεσίες μιας ανεμογεννήτριας ή ενός αιολικού πάρκου είναι σε ορεινές περιοχές λόγω των υψηλών ταχυτήτων του ανέμου. Σε αυτές τις περιοχές, η χρήση γης είναι κυρίως για βοσκή αιγοπροβάτων οι οποία μπορεί να συνεχισθεί χωρίς κανένα πρόβλημα και μετά την εγκατάσταση τους (Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2001).

6.1.5. Επιπτώσεις στον πληθυσμό πουλιών

Αρχικά το πρόβλημα στον πληθυσμό των πτηνών εμφανίστηκε στα πρώτα αιολικά πάρκα όπου κατά την μεταναστευτική περίοδο μεγάλος αριθμός πτηνών συγκρούοντας επάνω στις ανεμογεννήτριες. Οι περισσότερες προτάσεις για την κατασκευή ανεμογεννητριών απαιτούν από υπεύθυνο να παρουσιάσει μια εκτίμηση της περιβαλλοντικής επίδρασης. Σε περιοχές όπου χαρακτηρίζοντας ως διαδρομή της πορεία των πτηνών μπορούν να πραγματοποιηθούν έργα παρεμβάσεις αλλαγής πορείας της πτήσης τους. Μερικές αρχές χωροταξικού σχεδιασμού απαιτούν παρακολούθηση, αφότου τοποθετηθεί και εγκατασταθεί μια ανεμογεννήτρια με στόχο να εξασφαλιστεί κάθε πρόβλημα που μπορεί να προκύψει (Γκίκας, 2011).

Σύμφωνα με μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί σε Ευρωπαϊκές χώρες (Γερμανία, Ολλανδία, Δανία και Αγγλία) οι ανεμογεννήτριες δεν προκαλούν ιδιαίτερο πρόβλημά στις πτήσεις των πτηνών. Συγκεκριμένα έχει αποδειχθεί ότι ο συνολικός αριθμός πουλιών που σκοτώνονται ετησίως, είναι μόνον 20 θάνατοι που οφείλονται σε ανεμογεννήτριες (για εγκατεστημένη ισχύ 1000MW), ενώ αντίστοιχα 1.500 θάνατοι οφείλονται στους κυνηγούς και 2.000 σε πρόσκρουση με οχήματα και τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αφού είναι σχεδόν αόρατες για τα πουλιά (Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2001).



Γράφημα 6.1: Αίτιες θανάτου πτηνών
(Λαζάρου, 2005)

Σημειώνεται ότι αυτά τα προβλήματα παρουσιάζονται σπάνια τα τελευταία χρόνια διότι ο πληθυσμός των πτηνών δείχνει την ικανότητα να αποφεύγει αυτά τα εμπόδια με συνέπεια τα ποσοστά σύγκρουσης να είναι μειωμένα. Ασφαλώς βέβαια, το θέμα της προστασίας του πληθυσμού των πουλιών σε ευαίσθητες οικολογικά και προστατευόμενες περιοχές πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη φάση σχεδιασμού και χωροθέτησης μιας ανεμογεννήτριας ή ενός αιολικού πάρκου (Γκίκας, 2011).

6.2. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟ ΟΦΕΛΟΣ

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από μικρές ανεμογεννήτριες, μπορεί να συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, συμβάλλοντας παράλληλα και στον αγώνα κατά των κλιματικών αλλαγών. Οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα πυροδοτούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και αλλάζουν το κλίμα της Γης, ενώ η ατμοσφαιρική ρύπανση έχει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων, ζώων και φυτών καθώς και στο περιβάλλον.

Κάθε κιλοβατώρα (kWh) που παράγεται από αιολική ενέργεια, και άρα όχι από συμβατικά καύσιμα, συνεπάγεται την αποφυγή έκλυσης περίπου 1 kg διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) στην ατμόσφαιρα. Επιπλέον, συνεπάγεται λιγότερες εκπομπές άλλων επικίνδυνων ρύπων όπως:

- Αιωρούμενα μικροσωματίδια
- Οξείδια του αζώτου
- Ενώσεις του θείου

Ενδεικτικά κάθε εγκατεστημένο μεγαβάτ (MW) αιολικής ενέργειας αποσοβεί την έκλυση περίπου 3.000 τόνων CO₂ ετησίως ενώ η λειτουργία ενός αιολικού πάρκου, ισχύος 10 MW, προσφέρει ετήσια την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται περίπου 7.250 νοικοκυριά και εξοικονομεί περίπου 2.580 τόνους ισοδύναμου πετρελαίου. Συγκεκριμένα με ένα σύστημα 2-3kW το οποίο καλύπτει τις ανάγκες μιας μέσης οικογένειας, οι εκπομπές CO₂ που εξοικονομούνται ετησίως είναι περίπου 4 - 5 τόνοι (Μαρκίδης, 2010)

Συνοψίζοντας αφενός υπάρχουν κάποιες σημαντικές επιπτώσεις στην εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας αφετέρου έχουν και το σημαντικό όφελος της παγκόσμιας μείωσης του διοξειδίου του άνθρακα, με συνέπεια να συμβάλλουν αποτελεσματικά στην αποτροπή των κλιματικών αλλαγών προσφέροντας συγχρόνως ποικίλα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη. Τονίζεται ότι η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη με συνέπεια να επιβάλλεται η επιλογή του «σωστού» μέσου παραγωγής της. Το «σωστό» μέσο παράγωγης ηλεκτρικής ενέργειας είναι αυτό που προκαλεί τις λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Επίσης, οι εγκαταστάσεις για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας δίνουν την δυνατότητα να μειωθεί με το πέρασμα των χρόνων το κόστος της αγοράς της ενέργειας, δεδομένου ότι από τεχνολογική και οικονομική πλευρά, η πιο ώριμη μορφή ανανεώσιμης και «καθαρής» ενέργειας είναι η αιολική (Μπινόπουλος & Χαβιαρόπουλος, 2001).

7. ΚΕΦΑΛΑΙΟ: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε με στόχο να πραγματοποιήσει μελέτη εγκατάστασης και λειτουργίας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος η οποία θα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες οικίας η οποία βρίσκεται στο νησί Εύβοια, στην περιοχή Καψαλα και είναι 70m². Βασικό μειονέκτημα της οικίας είναι ότι στην περιοχή όπου βρίσκεται δεν υπάρχει ακόμα πρόσβαση στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Για την επιλογή της ανεμογεννήτριας αρχικά μελετήθηκε το αιολικό δυναμικό της Ευβοίας με στόχο να δοθούν τα βασικά χαρακτηριστικά του καθώς και η μέση ταχύτητα του ανέμου. Το αιολικό δυναμικό της περιοχής χαρακτηρίζεται υψηλό και η μέση ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 8 έως 9m/sec, με συνέπεια να ευνοεί την επιλογή της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας συγκρίσιμης με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Για την πραγματοποίηση της επιλογής του μεγέθους της ανεμογεννήτριας πραγματοποιήθηκε καταγραφή των ενεργειακών αναγκών σύμφωνα με τις εποχές του έτους, δίνοντας την δυνατότητα να υπολογιστούν οι πλησιέστερες τιμές τους και να επιλεγεί το κατάλληλο σύστημα. Η μικρή ανεμογεννήτρια που επιλέχθηκε σύμφωνα με του υπολογισμούς των ενεργειακών αναγκών ήταν μέγεθος 2kW και διατίθεται στο εμπόριο. Ο λόγος που επιλέχθηκε μια ανεμογεννήτρια του εμπορίου ήταν για την ευκολία της εκπόνηση της μελέτης. Είναι βέβαιο ότι καλύτερα αποτελέσματα θα δινόντουσαν από ανεμογεννήτρια κατασκευασμένη για τα αεροδυναμικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζει ο άνεμος της περιοχής, δίνοντας έμφαση στην σχεδίαση των πτερυγίων. Ωστόσο, η επιλεγμένη ανεμογεννήτρια του εμπορίου είχε βασικά χαρακτηριστικά που καλύπτουν τις ανάγκες αλλά έχει και τις απαραίτητες προδιαγραφές και αντοχές για έντονα καιρικά φαινόμενα και ιδιαίτερα για δυνατούς ανέμους που χαρακτηρίζουν την περιοχή.

Από τους υπολογισμούς των δυνατοτήτων παραγωγής ενέργειας προέκυψε η δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της οικίας από την επιλεγμένη ανεμογεννήτρια παρουσιάζοντας όμως μειωμένη παραγωγή τους καλοκαιρινούς μήνες όπου το αιολικό δυναμικό μειώνεται με συνέπεια η κάλυψη τους να μην μπορεί να πραγματοποιηθεί πλήρως. Αυτός ο λόγος κάνει απαραίτητη την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας από συσσωρευτές. Οι συσσωρευτές θα πρέπει να έχουν την δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών της οικίας για τρεις περίπου μέρες, αφού υπάρχουν οι περιπτώσεις ακινητοποίησης της ανεμογεννήτριας όπως άπνοια ή ακραίες καιρικές συνθήκες.

Επιπλέον, η επιλογή των επιμέρους τμημάτων μιας αιολικής εγκατάσταση θεωρείται εξίσου σημαντική εφόσον το σύστημα θα πρέπει να λειτουργεί άρτια και δίνοντας απαραίτητη «ενεργειακή ασφάλεια». Η επιλογή του ρυθμιστή φόρτισης και του μετατροπέας πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με την υπολογιζόμενη αποδιδόμενη ισχύς της ανεμογεννήτριας. Επιπλέον, σημαντικός παράγοντας στην άρτια λειτουργία του συστήματος καθώς και την αποφυγής δυσάρεστων επιπτώσεων (π.χ. θόρυβος) είναι η τοποθέτηση της που θα πρέπει να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με το νομοθετικό πλαίσιο.

Αξιοσημείωτο είναι ότι η αιολική ενέργεια είναι ανεξάντλητη και τα συστήματα εκμετάλλευσης της δίνουν την δυνατότητα μέσα σε λίγα χρόνια να πραγματοποιήσουν την απόσβεση της εγκατάστασης, αφού υπάρχει και επενδυτικός νόμος που προσφέρει το 55% τέτοιων επενδύσεων. Επιπλέον, τα λειτουργικά έξοδα και η συντήρηση για συστήματα μικρής ισχύος είναι πολύ λίγα με συνέπεια να γίνονται ολοένα και πιο ελκυστικά.

Τέλος, οι αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την εγκατάσταση μιας οικιακής ανεμογεννήτρια θεωρούνται μικρές έως και μηδενικές αφού αποφεύγονται οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου που αποσταθεροποιούν το παγκόσμιο κλίμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Αντωνάκη Ι., 2010, *Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και ο ρόλος της Αιολικής Ενέργειας στην Τοπική και Περιφερειακή Ανάπτυξη*, Εκδόσεις Εθνικό Κέντρο και Δημόσιας Διοίκησης και Αυτοδιοίκησης, Αθήνα.
2. Βασιλείου Α., 2013, *Σύγκριση μεταξύ κυπελλοφόρων ανεμομέτρων και LiDAR σε σύνθετη τοπογραφία*, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα.
3. Γαλούζης Γ., 2009, *Οικονομοτεχνική μελέτη εξυπηρέτησης φορτίου μικρής αυτόνομης κατοικίας με χρήση Α/Γ και Φ/Β διατάξεων*, Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Κρήτης Ηράκλειο.
4. Γαρίνη Ε., 2012, *Ανάλυση διαθεσιμότητας και βαθμού χρησιμοποίησης αιολικών συστημάτων*, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα
5. Γκίκας Δ., 2011, *Δημιουργία αρχείου ανεμολογικών δεδομένων ανάπτυξη προγράμματος υπολογισμού καμπυλών Weibull για διαχείριση της αιολικής ενέργειας*, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα
6. Γκουντρουμάνης Β., 2012, *Ανάλυση και Έλεγχος Αιολικού Συστήματος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Σύγχρονη Μηχανή με μόνιμους μαγνήτες*, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα
7. Δουσλατζή Ν., 2010, *Αντικεραυνική προστασία Ανεμογεννητριών*, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική εργασία, Πάτρα
8. Δημητρακάκη Σ., 2014, *Ανάπτυξη Δυναμικού Μοντέλου και Έλεγχος Ανεμογεννήτριας Συνδεδεμένης στο Δίκτυο και σε Αυτόνομη Λειτουργία Εφοδιασμένη με Διάταξη Αποθήκευσης Ενέργειας*, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματικής Εργασία, Πάτρα
9. Ευθυμιάδης Α., 2013, *Ρύπανση από αιθαλομίχλη, το χρονικό άστοχών επιλογών: τα λάθη – οι επιπτώσεις – οι λύσεις*, Εκδόσεις Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα
10. European Commission, 1999. *A plan for Europe: Wind Energy – The Facts*, pp. 78, 142-153.
11. Hau E, 2006, *Wind Turbines, fundamentals, technologies, application, economics*, second edition
12. Θυμάκης Γ. & Τσουνής Δ., 2013, *Μελέτη αιολικού πάρκου ισχύος 2 MW*, Εκδόσεις ΤΕΙ Κεντρικής Ελλάδας, Πτυχιακή Εργασία, Αθήνα
13. Καραγιάννη Α., 2014, *Σχεδιασμός και ανάλυση αυτόνομων ενεργειακών συστημάτων με διαφορετικές ανανεώσιμες πηγές και χρήση υδρογόνου*, Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Πτυχιακή Εργασία, Καβάλα.
14. Καραϊσκός Ε. & Κούκα Ε., 2011, *Σύστημα διαχείρισης ενεργείας σε υβριδικό σύστημα ΑΠΕ με χρήση ασαφής λογικής και προσομοίωση λειτουργίας με εξειδικευμένο λογισμικό*, Εκδόσεις ΤΕΙ Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Πτυχιακή Εργασία, Καβάλα
15. Καλδέλλης Ι., 1999, *Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας*, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα
16. Κερούλης Ε., 2014, *Μελέτη ενεργειακής αυτονομίας 3 τύπων κατοικιών με μεμονωμένη και συνδυασμένη χρήση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας*, Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Κρήτης, Πτυχιακή Εργασία, Ηράκλειο.
17. Κουμουντέλη Θ. και Λάζαρη Ι., 2011, *Μελέτη εγκατάστασης ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα για θέρμανση*, Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Κρήτης, Πτυχιακή Εργασία, Χανιά
18. Κυρίστης Σ., 2015, *Αιολικά Πάρκα*, Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Δυτικής Ελλάδας, Εργασία, Πάτρα
19. Κώτση Κ., 2013, *Έλεγχος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες σε αυτόματα δίκτυα*, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα.

20. Λαζάρου Σ., 2005, *Παραγωγή Ντοκιμαντέρ με θέμα την αιολική ενέργεια στην Ελλάδα και τίτλο όσα παίρνει ο άνεμος*, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Αιγίου, Πτυχιακή εργασία, Μυτιλήνη
21. Μακρής Θ., 2009, *Συνδυασμένη χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών κτιρίων*, Πανεπιστήμιο Πάτρας, Μεταπτυχιακή Εργασία, Πάτρα
22. Μακρή Μ., 2014, *Διερεύνηση τεχνολογιών μικρών ανεμογεννητριών και των εφαρμογών του*, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Αθήνας, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αθήνα
23. Μακρή Χ., 2013, *Σχεδιασμός και προσομοίωση πρωτότυπης οικιακής ανεμογεννήτριας καθέτου άξονα*, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αθήνα
24. Μαρκίδης, 2010, *Μικρές Ανεμογεννήτριες και Εφαρμογές στον Οικιακό τομέα*, Εκδόσεις Ενεργειακό Γραφείο Κύπριων Πολιτών, Κύπρος, Λευκωσία.
25. Μπάρλα Ι., 2012, *Μελέτη υπεράκτιου αιολικού πάρκου και σύνδεση του στο δίκτυο*, Διπλωματική Εργασία, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα.
26. Μπεργελές, 1995, *Ατμοκινητήρες*, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα
27. Μπινόπουλος Ε. – Χαβιαρόπουλος Π, 2001, *Περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αιολικών πάρκων. Μύθος και πραγματικότητα*, Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ), Έκδοσης Εφημερίδα: Ευβοϊκός Χρόνος.
28. Μουρτάκος Ε., 2009, *Προμελέτη Σκοπιμότητας ίδρυσης μονάδας παραγωγής αιολικής ενέργειας*, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πειραιά, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αθήνα
29. Πελοποννήσιος Ε., 2013, *Αιολική Ενέργεια – Μελέτη και Εφαρμογές*, Πτυχιακή Εργασία, Εκδόσεις Α.Τ.Ε.Ι Πειραιά, Αθήνα
30. Σαριδάκης & Σωτηρόπουλος, 2006, *Σχεδιασμός και Διαχείρισης Συστημάτων Α.Π.Ε*, Σημειώσεις, Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Κρήτης, Χάνια
31. Σαρλάνης Γ., 2014, *Μελέτη και υπολογισμός λειτουργικών χαρακτηριστικών ανεμογεννήτριας με τη βοήθεια λογισμικού προγράμματος επεξεργασίας Windrose. Εφαρμογή σε πραγματικό μοντέλο*, Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Κεντρικής Ελλάδας, Πτυχιακή Εργασία, Αθήνα
32. Σπύρου Ι, 2009, *Ανάπτυξη Αλγορίθμου για Προσομοίωση και Βέλτιστο Σχεδιασμό Αυτόνομου Συστήματος Αφαλάτωσης Τροφοδοτούμενο από Υβριδικό Σύστημα Α.Π.Ε. με Αντλησιοταμίευση*, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική εργασία, Αθήνα
33. Τακαλούδης Γ., 2014, *Μελέτη και εγκατάσταση αυτόνομου υβριδικού συστήματος*, Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Κρήτης, Πτυχιακή Εργασία, Χάνια

Διαδίκτυο

1. <http://www.allaboutenergy.gr/AiolikiEnergeia.html>
2. <http://www.ecofriendly.com>.
3. <http://green-energies.gr>.
4. <http://www.enallaktikos.gr>
5. <http://www.slideshare.net>
6. <http://www.dlr.de/schoollab>
7. <http://www.nanodomi.com>
8. <http://windturbo.weebly.com/>
9. <http://hdimagelib.com>
10. <http://www.opengov.gr/minenv/?p=4717>
11. www.home-electricity.org.

12. <http://www.oleng.eu/off-grid-systems-tropos-leitourgias/>
13. <http://www.ypeka.gr>
14. <http://www.dei.gr>
15. <http://www.eco-clima.gr>
16. <http://www.eshops.gr>
17. <http://www.skroutz.gr>
18. <http://www.econews.gr>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

1. ΌΡΟΙ ΚΑΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΗΣ ΓΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΜΙΚΡΩΝ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Οι όροι και οι προϋποθέσεις για την εγκατάσταση μια μικρής ανεμογεννήτριας σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας είναι:

- Η εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών που συνδέονται στο δίκτυο γίνεται αποκλειστικά στο πλαίσιο Ειδικού Προγράμματος Ανάπτυξης μικρών Ανεμογεννητριών που καταρτίζεται με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής. Το Πρόγραμμα αφορά εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών για σταθμούς συνολικής ισχύος μέχρι 50 kW σε γήπεδα, οικόπεδα και κτιριακές εγκαταστάσεις, που εγχέουν ενέργεια στο δίκτυο διανομής.
- Κατά την κατάρτιση του προγράμματος, λαμβάνονται ιδίως υπόψη η δυνατότητα απορρόφησης και η ασφάλεια της λειτουργίας των δικτύων καθώς και θέματα ασφαλούς λειτουργίας των ανεμογεννητριών.
- Για την απορρόφηση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από αιολικό σταθμό μικρών ανεμογεννητριών μπορεί να προβλέπεται ο συμψηφισμός παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας σε εγκαταστάσεις που βρίσκονται στον ίδιο χώρο στον οποίο αναπτύσσεται ο σταθμός. Με την ίδια απόφαση, καθορίζεται, κατά παρέκκλιση των λοιπών διατάξεων οποία περιλαμβάνεται και ο τρόπος της υποβολής των σχετικών αιτήσεων, η τιμολόγηση της παραγόμενης ενέργειας και η τυχόν διαφοροποίησή της σε σχέση με αυτή που προβλέπεται στις διατάξεις του άρθρου 13 του ν.3468/2006, λαμβάνοντας υπόψη κυρίως την ισχύ του σταθμού και τη γεινιάσή του με το δίκτυο, το περιεχόμενο των συμβάσεων πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και κάθε άλλη αναγκαία λεπτομέρεια για την εφαρμογή του ως άνω Ειδικού Προγράμματος.
- Ο αρμόδιος Διαχειριστής απορρίπτει αιτήματα για χορήγηση προσφοράς σύνδεσης, εάν διαπιστώσει ότι καταστρατηγούνται οι διατάξεις για την εξαίρεση από την υποχρέωση λήψης άδειας παραγωγής ή την υπαγωγή σε διαδικασία Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων ή την αντιστοίχιση σε κατηγορία τιμολόγησης της παραγόμενης ενέργειας.
- Δεν ικανοποιούνται περισσότερα από δύο (2) αιτήματα για προσφορά σύνδεσης ανά φυσικό ή νομικό πρόσωπο ή ανά φορείς στη μετοχική ή εταιρική σύνθεση των οποίων συμμετέχει το ίδιο φυσικό ή νομικό πρόσωπο με ποσοστό άνω του 50%. Επίσης δεν ικανοποιούνται αιτήματα για σταθμούς σε απομακρυσμένες από τα δίκτυα διανομής θέσεις, για τη σύνδεση των οποίων απαιτείται, σε ευθεία απόσταση, ανάπτυξη νέου δικτύου μέσης τάσης μήκους άνω των χιλίων μέτρων (1.000 m).
- Η περίπτωση δ) της παραγράφου 1 του άρθρου 4 του ν. 3468/2006 αντικαθίσταται ως ακολούθως: «δ) αιολικές εγκαταστάσεις με εγκατεστημένη ηλεκτρική ισχύ μικρότερη ή ίση των πενήντα (50) kW»
- που αφορούν στην ανάπτυξη αιολικών σταθμών, η αδειοδοτική διαδικασία, στην

2. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΔΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ

Η εγκατάσταση μιας μικρής ανεμογεννήτριας απαιτεί μία σειρά αιτήσεων που αφορά τα εξής:

- Σύνδεσής ανεμογεννήτριας στο δίκτυο
- Περιβαλλοντική αδειοδότησή ανεμογεννήτριας
- Πολεοδομική άδεια.

Οι ανεμογεννήτριες ισχύος μεγαλύτερης των 100 kW και γενικά οι αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος άνω των 100 kW υποχρεούνται να εκδόσουν:

- Άδεια παραγωγής (άρθρο 4, παράγραφος 4δ του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 2, παράγραφος 12 του ν.3851/2010)
- Άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας (άρθρο 8, παράγραφος 8 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 8, παράγραφος 13 του ν.3851/2010)

Οι ανεμογεννήτριες και γενικά οι αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος έως 100 kW δεν έχουν αντίστοιχη υποχρέωση. Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτείται η πλήρωση των κριτηρίων αξιολόγησης για τη χορήγηση άδειας παραγωγής, π.χ. δεν απαιτείται η προσκόμιση ανεμολογικών μετρήσεων από διαπιστευμένα κατά IEC-17025 φορέα). Σημειώνεται ότι στις ανωτέρω περιπτώσεις δεν εκδίδεται καμία διοικητική πράξη, όπως για παράδειγμα ήταν κατά το παρελθόν η Απόφαση Εξαίρεσης από τη Ρ.Α.Ε., δεδομένου ότι αυτό ρητά καθορίζεται στη νέα διατύπωση που εισήγαγε ο ν.3851/2010.

2.1. ΑΙΤΗΣΗ ΓΙΑ ΣΥΝΔΕΣΗ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ

Ταυτόχρονα με την αίτηση για την περιβαλλοντική αδειοδότηση και την αίτηση στην αρμόδια πολεοδομική αρχή, ο ενδιαφερόμενος πρέπει να υποβάλει αίτηση σύνδεσης στον αρμόδιο Διαχειριστή, που μέχρι σήμερα είναι η ΔΕΔΔΗΕ Α.Ε..

2.1.1. Προσφορά Σύνδεσης

Αιτήσεις σύνδεσης για μικρές ανεμογεννήτριες, όπως και γενικά για σταθμούς Α.Π.Ε. & Σ.Η.Θ.Υ.Α., πλην φωτοβολταϊκών, υποβάλλονται στη Διεύθυνση Διαχείρισης Δικτύου, (Πατησίων 27, 10432 Αθήνα, 8^{ος} όροφος) με το έντυπο του παραρτήματος της Υ.Α. 13310/2007, που βρίσκεται αναρτημένο στον δικτυακό τόπο της ΔΕΔΔΗΕ.

Σύμφωνα με τη διαδικασία που έχει καθορίσει η ΔΕΗ, κατά την αίτηση προσκομίζονται τα ακόλουθα δικαιολογητικά, σε τρία αντίτυπα:

- Τοπογραφικό 1:5000 ΓΥΣ της θέσης εγκατάστασης του σταθμού.
- Τίτλος κυριότητας ή νόμιμης κατοχής του χώρου εγκατάστασης.
- Τεχνικά χαρακτηριστικά και πιστοποιήσεις του εξοπλισμού.
- Στοιχεία Μ/Σ ανύψωσης, όταν πρόκειται για σύνδεση στη μέση τάση.
- Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο σύνδεσης του σταθμού, όπου θα παρουσιάζεται λεπτομερώς ο σημαντικός εξοπλισμός της εγκατάστασης, οι μονάδες παραγωγής με διακριτή αρίθμηση, οι Μ/Σ ανύψωσης τάσης, οι διατάξεις αντιστάθμισης και τα μέσα απόζευξης και προστασίας.
- Σύντομη τεχνική περιγραφή.

Τα στοιχεία της αίτησης στη ΔΕΗ θα πρέπει να συμπληρωθούν:

- Με αντίγραφο της έγκρισης από την Πολεοδομία (μικρής κλίμακας ή δόμησης), όταν αυτή εκδοθεί,
- Με αντίγραφο της απαλλαγής από Ε.Π.Ο. ή αποδεικτικό παρέλευσης του 20ημέρου από την υποβολή της αίτησης στην Δ/ση Περιβάλλοντος της αιρετής Περιφέρειας ή απόφαση Ε.Π.Ο ή Π.Π.Δ. κατά περίπτωση.

Με βάση τα ανωτέρω στοιχεία, η ΔΕΔΔΗΕ, ως διαχειριστής του δικτύου, θα εκδώσει την Προσφορά Σύνδεσης, που θα καταστεί δεσμευτική με την προσκόμιση της απαλλαγής

από Ε.Π.Ο. ή αποδεικτικό παρέλευσης του 20ημέρου από την υποβολή της αίτησης, και θα περιγράφει τους τεχνικούς και οικονομικούς όρους της σύνδεσης.

Σημειώνεται ότι, κατά τον νόμο, ο τίτλος κυριότητας και η έγκριση της Πολεοδομίας, δεν απαιτούνται για την έκδοση της προσφοράς σύνδεσης με τη ΔΕΔΔΗΕ, αλλά απαιτούνται για την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης η οποία έπεται αυτών, με βάση τις σχετικές οδηγίες και την πρακτική της ΔΕΔΔΗΕ. Επίσης, οι σχετικές διατάξεις της Υ.Α. 13310/2007 που αφορούν στα ζητούμενα δικαιολογητικά για τη χορήγηση προσφοράς σύνδεσης, δεν θα πρέπει να ακολουθούνται, τουλάχιστον όχι εξαντλητικά, διότι αφενός δεν τις καταλαμβάνουν τυπικά, αφού η συγκεκριμένη Υ.Α. αφορά έργα, τα οποία δεν απαλλάσσονται από την έκδοση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας, δηλαδή αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος έως 100 KW, αφετέρου δεν είναι κατάλληλες για τις μικρές ανεμογεννήτριες.

2.1.2. Σύμβαση Σύνδεσης και Παροχή Εγγυήσεων για τη Σύνδεση

Μετά την έκδοση της δεσμευτικής προσφοράς σύνδεσης από τη ΔΕΔΔΗΕ, την υποβολή του τίτλου κυριότητας και την έγκριση της Πολεοδομίας, ο φορέας υποβάλλει στη ΔΕΔΔΗΕ αίτηση για την υπογραφή της Σύμβασης Σύνδεσης. Με την υπογραφή της Σύμβασης αυτής, ο φορέας καταβάλλει στη ΔΕΔΔΗΕ όλο το κόστος σύνδεσης που έχει καθορισθεί στη δεσμευτική προσφορά.

Ένα σημείο που είναι αδιευκρίνιστο σχετίζεται με την υποχρέωση να έχει εκδοθεί η έγκριση από την Πολεοδομία προκειμένου να υπογραφεί η σύμβαση σύνδεσης. Η ακολουθούμενη πρακτική από τη ΔΕΔΔΗΕ, στην περίπτωση των μικρών φωτοβολταϊκών, για τα οποία όμως απαιτείται μόνο έγκριση εργασιών μικρής κλίμακας όταν δεν συνοδεύονται από κάποια δομική κατασκευή, π.χ. μη προκατασκευασμένος οικίσκος, επιβάλλει την προσκόμιση της έγκρισης αυτής. Στην περίπτωση των μεγάλων ανεμογεννητριών για τις οποίες απαιτείται άδεια δόμησης για το θεμέλιο (διαδικασία σαφώς πιο χρονοβόρα από αυτή της έγκρισης εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας) αυτή δεν απαιτείται για την υπογραφή της σύμβασης σύνδεσης.

Είναι ασαφές πώς θα αντιμετωπισθούν οι μικρές Α/Γ που απαλλάσσονται από την άδεια εγκατάστασης και θεμελιώνονται σε γήπεδο. Ένα, επίσης, βασικό σημείο στη διαδικασία, που θα πρέπει να είναι εκ των προτέρων γνωστό, είναι η υποχρέωση παροχής εγγυήσεων. Στις συμβάσεις σύνδεσης που συνάπτει ο Διαχειριστής με τους φορείς σταθμών ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε. οι οποίοι εξαιρούνται από την υποχρέωση για λήψη άδειας παραγωγής, εν προκειμένω για μικρές Α/Γ έως 100 KW, καθορίζεται σύμφωνα με το άρθρο 8, παρ. 15 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 3 παρ. 2 ν.3851/2010, προθεσμία σύνδεσης στο Σύστημα ή το Δίκτυο, η οποία είναι αποκλειστική, και ορίζεται εγγύηση ή ποινική ρήτρα, 150 €/kW εγκατεστημένης ισχύος, που καταπίπτει αν ο φορέας δεν υλοποιήσει τη σύνδεση εντός της καθορισθείσας προθεσμίας. Από την παροχή εγγυήσεων, σύμφωνα με την ίδια παράγραφο και το άρθρο του ν.3851/2010 εξαιρούνται:

- Ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται σε κτίρια
- Ανεμογεννήτριες για τις οποίες έχει υπογραφεί σύμβαση σύνδεσης πριν τη θέση σε ισχύ του ν.3851/2010.

2.1.3. Σύναψη Σύμβασης Πώλησης και Αγοράς της Ενέργειας

Μετά την υπογραφή της σύμβασης σύνδεσης με τη ΔΕΔΔΗΕ θα πρέπει να υπογραφεί η σύμβαση πώλησης ενέργειας με τον αρμόδιο Διαχειριστή που είναι ο ΔΕΣΜΗΕ (Κάστορος 72, Τ.Κ. 18 545, Πειραιάς) για το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και η ΔΕΔΔΗΕ για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.

Σημειώνεται ότι, μετά την αναδιάρθρωση του Διαχειριστή και τη δημιουργία των ΑΔΜΗΕ και ΛΑΓΗΕ, όπως προβλέπεται από τον ν.4001/2011, ο αντισυμβαλλόμενος θα αλλάξει. Ο τύπος της σύμβασης πώλησης έχει καθορισθεί με υπουργική απόφαση και βρίσκεται στον δικτυακό τόπο του Υ.Π.Ε.Κ.Α. στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

- <http://www.ypeka.gr> > Υπηρεσία Εξυπηρέτησης Επενδυτών Α.Π.Ε. > Θεσμικό Πλαίσιο > 30.08.2010.

Τα απαιτούμενα δικαιολογητικά αναφέρονται αναλυτικά στο δικτυακό τόπο του ΑΔΜΗΕ, στην ηλεκτρονική διεύθυνση:

- <http://www.admie.gr> > Α.Π.Ε. & ΣΗΘΥΑ.

Σχετικά με τη σύναψη Σύμβασης πώλησης και αγοράς της ενέργειας, μετά την υπογραφή της σύμβασης σύνδεσης με τη ΔΕΔΔΗΕ, θα πρέπει να υπογραφεί η σύμβαση πώλησης ενέργειας με τον αρμόδιο διαχειριστή που είναι ο ΑΔΜΗΕ για το Διασυνδεδεμένο Δίκτυο και η ΔΕΔΔΗΕ για τα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά.

Τέλος, χρήσιμες διευθύνσεις, όπου μπορεί να αντλούνται πληροφορίες είναι:

- Η Υπηρεσία Α.Π.Ε. του ΥΠΕΚΑ (www.ypeka.gr > Ενέργεια > menu Υπηρεσία Α.Π.Ε.) όπου υπάρχει ενημερωμένη λίστα του εκδιδόμενου θεσμικού πλαισίου μετά τον ν.3851/2010.
- Η σελίδα της ΔΕΔΔΗΕ για τη σύνδεση παραγωγών Α.Π.Ε. στο Δίκτυο Διανομής www.deddie.gr > Φωτοβολταϊκά και άλλες ΑΠΕ > Συνδέσεις Σταθμών Α.Π.Ε..
- Η σελίδα του ΑΔΜΗΕ για τα απαιτούμενα δικαιολογητικά (www.admie.gr > Δικαιολογητικά Συμβάσεων Α.Π.Ε. και Σ.Η.Θ.Υ.Α.).
- Η σελίδα της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας, όπου υπάρχει η βασική νομοθεσία περί Α.Π.Ε. (www.rae.gr > Τι είναι η ΡΑΕ-Θεσμικό πλαίσιο ενέργειας > Νομοθεσία για την ενέργεια > Α.Π.Ε. και Συμπαράγωγή).
- Η σελίδα του ΚΑΠΕ όπου υπάρχει οδηγός για μικρά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής από Α.Π.Ε..

2.1.4. Αίτηση για περιβαλλοντική αδειοδότηση

Η διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης και οι απαιτούμενες μελέτες καθορίζονται από τις Υ.Α. 104247/2006 και 104248/2006 (ΦΕΚ Β' 663). Ωστόσο, ο νόμος 3851/2010 και ο νόμος 4014/2011 έχουν επιφέρει σημαντικές αλλαγές στη διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης, αλλά οι ανωτέρω υπουργικές αποφάσεις δεν έχουν ακόμα τροποποιηθεί (Πίνακας 1).

Σύμφωνα με την απόφαση του ΥΠΕΚΑ 1958/13.1.2012 (ΑΔΑ: ΒΟΝΝ0-ΜΒ0) για την κατάταξη των έργων σε κατηγορίες περιβαλλοντικής αδειοδότησης, οι μικρές ανεμογεννήτριες κατατάσσονται στην κατηγορία Β, όπως ισχύει πλέον μετά την ισχύ του νέου περιβαλλοντικού νόμου 4014/2011. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι οι μικρές ανεμογεννήτριες δεν υπόκεινται σε διαδικασία Ε.Π.Ο., αλλά θα λαμβάνουν τις λεγόμενες Πρότυπες Περιβαλλοντικές Δεσμεύσεις (Π.Π.Δ.) με απλή αίτησή τους στη Διεύθυνση Περιβάλλοντος της οικείας Περιφέρειας. Για την πλήρη εφαρμογή αυτής της διαδικασίας θα πρέπει να εκδοθεί η υπουργική απόφαση που θα καθορίζει το περιεχόμενο των Π.Π.Δ. Μέχρι τότε, οι μικρές ανεμογεννήτριες αδειοδοτούνται περιβαλλοντικά σύμφωνα με την παλιά κατηγορία Β4 και λαμβάνουν Ε.Π.Ο. από την αιρετή Περιφέρεια κατ' εφαρμογή της παρ. 3 του αρ. 30 του ν.4014/2011.

Μετά την έκδοση της απόφασης για το περιεχόμενο των Π.Π.Δ., οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει να απευθύνονται στις Διευθύνσεις Περιβάλλοντος των οικείων αιρετών Περιφερειών

ώστε να λάβουν Π.Π.Δ. Μέχρι τότε όμως, οι ενδιαφερόμενοι πρέπει να απευθύνονται κατά περίπτωση ως ακολούθως:

Προκειμένου για μικρές ανεμογεννήτριες που απαλλάσσονται από Ε.Π.Ο., δηλ. για μικρές ανεμογεννήτριες σε κτίρια ή εντός οργανωμένων βιομηχανικών υποδοχέων ή ισχύος μικρότερης των 20 kW πλην της περίπτωση που αναφέρθηκε προηγουμένως, στις Διευθύνσεις Περιβάλλοντος των οικείων αιρετών Περιφερειών, προκειμένου να λάβουν βεβαίωση απαλλαγής από Ε.Π.Ο.. Ειδικά σε αυτήν την αίτηση θα πρέπει να ληφθεί μέριμνα από τον αιτούντα για παραλαβή του αριθμού πρωτοκόλλου της υπηρεσίας, αν είναι δυνατό πάνω σε αντίγραφο της αίτησης, ώστε να τεκμαίρεται με ασφάλεια η παρέλευση του 20ημέρου που προβλέπεται στο άρθρο 8 του ν.3468/2006, όπως ισχύει, και μετά την παρέλευση του οποίου η εν λόγω βεβαίωση θεωρείται χορηγηθείσα. Παρά την ύπαρξη της αποκλειστικής αυτής προθεσμίας, οι ενδιαφερόμενοι παροτρύνονται να επιδιώκουν με υπομονή τη χορήγηση της βεβαίωσης από την Περιφέρεια δεδομένου ότι ένας πλήρης φάκελος διευκολύνει σημαντικά την συνέχιση της αδειοδοτικής διαδικασίας και να επικαλούνται το αποκλειστικό της προθεσμίας μόνο σε έσχατη ανάγκη.

Προκειμένου για μικρές ανεμογεννήτριες που υποχρεούνται να λάβουν Ε.Π.Ο., δηλ. για μικρές ανεμογεννήτριες ισχύος μεγαλύτερης των 20kW ή ισχύος μικρότερης των 20 kW που εμπίπτουν στην περίπτωση που αναφέρθηκε πιο πριν, οι ενδιαφερόμενοι θα πρέπει και πάλι να απευθύνονται στις Διευθύνσεις Περιβάλλοντος των οικείων αιρετών Περιφερειών προκειμένου να λάβουν Ε.Π.Ο. ως έργα κατηγορίας Β4, σύμφωνα με την παρ. 3 του αρ. 30 του ν.4014/2011. Η αίτηση θα συνοδεύεται από Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων.

Αν και δεν υπάρχει κάποια ειδική υπουργική απόφαση ή εγκύκλιος που να ρυθμίζει το περιεχόμενο της αίτησης για τις μικρές ανεμογεννήτριες, με βάση την εμπειρία άλλων τεχνολογιών και τις διατάξεις του νόμου, εκτιμάται ότι η αίτηση θα πρέπει να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστο τα ακόλουθα:

- Τοπογραφικό διάγραμμα του γηπέδου με σημειωμένο το κτίριο ή τη θέση, όπου πρόκειται να εγκατασταθεί η μικρή ανεμογεννήτρια σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ87.
- Απόσπασμα χάρτη ΓΥΣ κλίμακας 1:50000.
- Φωτογραφίες του χώρου εγκατάστασης.
- Τομή της ανεμογεννήτριας και διαστάσεις.
- Στοιχεία του φορέα εγκατάστασης.
- Στοιχεία του εξοπλισμού με βασικές πληροφορίες από τα τεχνικά φυλλάδια, π.χ. φωτογραφία του εξοπλισμού, ταχύτητα περιστροφής κ.λπ., που επιτρέπουν σε μη τεχνικούς να αποκτήσουν άποψη της σκοπούμενης εγκατάστασης. Αν και οι μικρές ανεμογεννήτριες, όπως και όλες οι ανεμογεννήτριες, δεν δημιουργούν ηχητική όχληση, θα πρέπει να επιδιώκεται να προσκομίζονται στοιχεία για την προκαλούμενη στάθμη θορύβου, ώστε να προληφθούν σχετικά ερωτήματα από τις αδειοδοτούσες υπηρεσίες.
- Στοιχεία των απαιτούμενων εγκαταστάσεων υποδομής, τρόπος στήριξης/θεμελίωσης, τρόπος ανέγερσης, κ.λπ..

Τέλος, προκειμένου, μετά το πέρας της αδειοδοτικής διαδικασίας, να αποφευχθούν προβλήματα με άλλες υπηρεσίες, η αρμοδιότητα των οποίων υφίσταται πιθανά ανάλογα με το είδος και τον χαρακτήρα του χώρου εγκατάστασης με βάση άλλες νομοθεσίες, δασική, αρχαιολογική κ.λπ., συνιστάται οι ενδιαφερόμενοι να απευθύνονται εγκαίρως με σχετικό αίτημά τους και στις ακόλουθες αρχές: Εφορεία Προϊστορικών και Κλασσικών Αρχαιοτήτων, Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων, Εφορεία Νεωτέρων Μνημείων, Δασαρχείο, Δ/ση Αγροτικής Ανάπτυξης, Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας, ΓΕΕΘΑ, ΓΕΑ.

	Σε κτίρια ή ΒΠΕ	Σε γήπεδα		
		≤ 20kW		> 20 kW
		εκτός περιοχής Natura κλπ.	εντός περιοχής Natura κλπ. (παρ. 4.2)	
Ισχύοντα σήμερα (Ιαν. 2012)	Απαλλαγή από Ε.Π.Ο.	Απαλλαγή από Ε.Π.Ο.	Υποχρέωση για Ε.Π.Ο. ως Β4	Υποχρέωση για Ε.Π.Ο. ως Β4
	-	Περιφέρεια	Περιφέρεια	Περιφέρεια
Μετά την απόφαση για τις Π.Π.Δ.	Απαλλαγή από Ε.Π.Ο.	Απαλλαγή από Ε.Π.Ο.	Υποχρέωση για Π.Π.Δ.	Υποχρέωση για Π.Π.Δ.
	-	Περιφέρεια	Περιφέρεια	Περιφέρεια

Πίνακας 1: Υποχρέωση και αρμόδιες υπηρεσίες για περιβαλλοντική αδειοδότηση μικρών ανεμογεννητριών (Μακρή, 2013)

Με βάση το άρθρο 8, παράγραφος 13 του ν.3468/2006, όπως τροποποιήθηκε με το άρθρο 3, παράγραφος 2 του ν.3851/2010, οι μικρές ανεμογεννήτριες απαλλάσσονται από την υποχρέωση περιβαλλοντικής αδειοδότησης (έκδοσης Απόφασης Έγκρισης Περιβαλλοντικών Όρων Ε.Π.Ο. ή λήψης Πρότυπων Περιβαλλοντικών Δεσμεύσεων Π.Π.Δ.) όταν εγκαθίστανται σε γήπεδα, εφόσον η συνολική τους ισχύς δεν υπερβαίνει τα 20kW. Στην περίπτωση αυτή, απαιτείται η χορήγηση βεβαίωσης απαλλαγής από Ε.Π.Ο. εντός αποκλειστικής προθεσμίας 20 ημερών από την αρμόδια περιβαλλοντική αρχή της οικείας αιρετής Περιφέρειας (Εγκύκλιος 17 ΥΠΕΚΑ, 18.11.2011). Επιπλέον, ανεμογεννήτριες που εγκαθίστανται σε κτίρια ή εντός οργανωμένων βιομηχανικών υποδοχέων, ανεξαρτήτως ισχύος, απαλλάσσονται τόσο από την υποχρέωση έκδοσης Απόφασης Ε.Π.Ο. όσο και βεβαίωσης απαλλαγής από Ε.Π.Ο.. Ωστόσο, σε διαδικασία περιβαλλοντικής αδειοδότησης υπόκεινται οι μικρές ανεμογεννήτριες με εγκατεστημένη ισχύ μικρότερη ή ίση με το ως άνω όριο των 20 kW εφόσον εγκαθίστανται:

- Εγκαθίστανται σε γήπεδα που βρίσκονται σε οριοθετημένες περιοχές του δικτύου Natura 2000 ή σε παράκτιες ζώνες που απέχουν λιγότερο από 100 m από την οριογραμμή του αιγιαλού, εκτός βραχονησίδων.
- Σε απόσταση μικρότερη των 150 m από το γήπεδο εγκατάστασης, ως γήπεδο εγκατάστασης νοούνται οι κορυφές του πολυγώνου του γηπέδου, χωροθετείται γήπεδο άλλου αιολικού σταθμού για τον οποίο έχει εκδοθεί άδεια παραγωγής ή απόφαση Ε.Π.Ο. ή προσφορά σύνδεσης και εφόσον η συνολική ισχύς όλων αυτών των ανεμογεννητριών υπερβαίνει το προαναφερθέν καθοριζόμενο όριο των 20 kW, με βάση δημοσιοποιημένα στοιχεία ή ίδια προφανή γνώση του επενδυτή.

2.2. Αίτηση για πολεοδομική αδεία

Ταυτόχρονα με την αίτηση για την περιβαλλοντική αδειοδότηση, ο ενδιαφερόμενος πρέπει να υποβάλει αίτηση στην αρμόδια πολεοδομική αρχή. Δυστυχώς, για τις μικρές ανεμογεννήτριες δεν έχουν θεσπιστεί ειδικές διατάξεις σχετικά με τους όρους δόμησης στον χώρο, σε κτίρια ή άλλες δομικές κατασκευές.

2.2.1. Βαθμοί Όχλησης και Αποστάσεις από Οικισμούς

Με βάση την υπουργική απόφαση 13727/724/24.7.2003 (ΦΕΚ Β' 1087/5.8.2003), όπως τροποποιήθηκε και συμπληρώθηκε με την Δ6/Φ1/ οικ.19500/4.11.2004 (ΦΕΚ Β'

1671/11.11.2004), σχετικά με την αντιστοίχιση δραστηριοτήτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τους βαθμούς όχλησης που αναφέρονται στην πολεοδομική νομοθεσία, οι ανεμογεννήτριες κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες βαθμών όχλησης, όπως φαίνονται στον Πίνακα 2.

Ονομαστική ισχύς	$P \leq 20 \text{ kW}$	$20 \text{ kW} < P \leq 700 \text{ kW}$	$P > 700 \text{ kW}$
Βαθμός όχλησης	μη οχλούσα	χαμηλής όχλησης	μέσης όχλησης

Πίνακας 2: Βαθμοί όχλησης μικρών ανεμογεννητριών
(Μακρή, 2013)

Με βάση την ίδια Υπουργική Απόφαση, ισχύουν οι ακόλουθοι περιορισμοί:

- Δεν επιτρέπεται (άρθρο 2 παρ.1) η χωροθέτηση μικρών ανεμογεννητριών σε παραδοσιακούς οικισμούς, περιοχές ιστορικών τμημάτων πόλεων και περιοχές RAMSAR
- Επιτρέπεται (άρθρο 2 παρ.3) η εγκατάσταση σταθμών μηδενικής όχλησης, δηλαδή μικρών ανεμογεννητριών ισχύος μικρότερης ή ίσης από 20 KW, σε περιοχές:
 - ✓ Εντός σχεδίου,
 - ✓ Εντός ορίων οικισμών με πληθυσμό μικρότερο από 2000 κατοίκους,
 - ✓ Εντός ορίων οικισμών προϋφιστάμενων του 1923
 - ✓ Εκτός σχεδίου

Με βάση το από 24.4.1985 προεδρικό διάταγμα (ΦΕΚ Δ' 181), και συγκεκριμένα το άρθρο 7 παρ.3 αυτού, όπως τροποποιήθηκε με το από 16.5.1989 (ΦΕΚ Δ' 293), η ελάχιστη απόσταση από οικισμούς για εγκαταστάσεις μέσης όχλησης ορίζεται σε 500 m. Επομένως, οι απαιτούμενες αποστάσεις από οικισμούς έχουν όπως αναφέρονται στον Πίνακα 3.

Ονομαστική ισχύς	$P \leq 20 \text{ kW}$	$20 \text{ kW} < P \leq 700 \text{ kW}$	$P > 700 \text{ kW}$
Απόσταση από οικισμό	Εντός οικισμού ¹	Εκτός οικισμού ασφάλτως απόστασης	> 500 μέτρα

Πίνακας 3: Αποστάσεις από οικισμούς για εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών
(Μακρή, 2013)

Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε η προκαλούμενη ηχητική όχληση να μην ξεπερνά το όριο των 45 db από κατοικίες.

2.2.2. Όροι Δόμησης

Με βάση το ν.2244/1994 άρθρο 3 παρ. 4, εδάφιο τρίτο, όπως προστέθηκε με τον ν.2941/2001 άρθρο 2 παρ. 7, αντικαταστάθηκε με τον ν.3734/2009 άρθρο 27Α παρ. 9 και τροποποιήθηκε με τον ν.3851/2010 άρθρο 9 παρ. 8:

Για την εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών δεν απαιτείται άδεια δόμησης, αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας.

Ειδικά για την τοποθέτηση μικρών ανεμογεννητριών σε κτίρια και στέγαστρα, μπορεί, με απόφαση του Υπουργού Π.Ε.Κ.Α. να προβλέπεται μόνο γνωστοποίηση των εργασιών αυτών στον οριζόμενο, κατά περίπτωση, αρμόδιο φορέα. Τέτοια απόφαση δεν έχει ακόμα εκδοθεί. Δεν απαλλάσσονται από την υποχρέωση έκδοσης οικοδομικής άδειας δομικές κατασκευές, όπως τα θεμέλια των πύργων ανεμογεννητριών, οικήματα στέγασης εξοπλισμού ελέγχου και μετασχηματιστών.

Για την έκδοση οικοδομικής άδειας ανέγερσης δεν απαιτείται έγκριση της αρμόδιας Επιτροπής Πολεοδομικού και Αρχιτεκτονικού Ελέγχου (Ε.Π.Α.Ε.), εκτός εάν η εγκατάσταση προβλέπεται να γίνει σε παραδοσιακούς οικισμούς ή περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, που προστατεύονται ως προς την πολεοδομική ανάπτυξη από ειδικά διατάγματα.

Η εγκατάσταση μικρών ανεμογεννητριών υπάγεται στις περί βιομηχανικών εν γένει εγκαταστάσεων διατάξεις του άρθρου 4 του από 24.5.1985 προεδρικού διατάγματος (ΦΕΚ Δ' 270) για την εκτός σχεδίων πόλεων δόμηση, καθώς και σε κάθε άλλη ειδική διάταξη του ίδιου προεδρικού διατάγματος, που αφορά σε έργα της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού Α.Ε., ανεξάρτητα από το φορέα υλοποίησής τους.

Σε υπουργική απόφαση μπορεί να καθορίζονται ειδικοί όροι και περιορισμοί δόμησης για την ανέγερση εγκαταστάσεων εκμετάλλευσης Α.Π.Ε. κατά παρέκκλιση των διατάξεων των άρθρων 1, 4 και 7 του από 24.5.1985 προεδρικού διατάγματος, που δημοσιεύθηκε στις 31.5.1985 (ΦΕΚ Δ' 270), καθώς και ειδικές αποστάσεις από τα όρια οικισμών, κατά παρέκκλιση των διατάξεων του άρθρου 4 του ίδιου προεδρικού διατάγματος και των διατάξεων του άρθρου 7 του από 24.4.1985 προεδρικού διατάγματος που δημοσιεύθηκε στις 3.5.1985 (ΦΕΚ Δ' 181). Συγκεκριμένα το από 24.5.1985 προεδρικό διάταγμα (ΦΕΚ Δ' 270), καθορίζει τα ακόλουθα:

- Άρθρο 1 παρ.1: αρτιότητα, οικοδομησιμότητα, περίφραξη.
- Άρθρο 4: αποστάσεις εγκαταστάσεων μέσης όχλησης από οικισμούς, αποστάσεις από όρια γηπέδου, ποσοστό κάλυψης, ύψος, συντελεστής δόμησης, παρεκκλίσεις.
- Άρθρο 7: όροι δόμησης για υποσταθμούς και κτίρια που στεγάζουν ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

1. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας
<http://www.opengov.gr/minenv/>
2. Υπουργείο Περιβάλλοντος, Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής
<http://www.ypoka.gr>