



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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΛΥΨΗ ΑΝΑΓΚΩΝ ΜΟΝΟΚΑΤΟΙΚΙΑΣ ΜΕ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΚΑΙ ΜΕ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΠΛΕΟΝΑΖΟΥΣΑΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΣΩΤΗΡΙΟΣ
ΤΡΙΑΝΤΑΦΥΛΛΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΡ. ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ
ΠΑΤΡΑ 2017

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 για την ενεργειακή κάλυψη των αναγκών μονοκατοικίας με ανεμογεννήτρια και με αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας.

Αφορμή για την παρούσα πτυχιακή εργασία αποτέλεσε η πρόθεσή μας να ασχοληθούμε με τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας με στόχο την μέγιστη εκμετάλλευση ενέργειας. Το παρόν τεύχος της πτυχιακής εργασίας αναφέρεται στην λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας οικιακής χρήσης όπου δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας με στόχο την κάλυψη των αναγκών και σε συνθήκες που η ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να λειτουργήσει (αντίξοες καιρικές συνθήκες). Στο μέλλον θα θέλαμε να ελπίζουμε ότι πολλές οικίες θα εκμεταλλεύονται την άφθονη αιολική ενέργεια για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών καθώς και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που δημιουργούνται με την χρήση των συμβατικών ενεργειών.

Από τη θέση αυτή θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμότερες ευχαριστίες μας στον Επιβλέποντα Καθηγητή Δρ. Καλογήρου Ιωάννη, υπεύθυνο καθηγητή μας, για τις πολύτιμες συμβουλές του και την αμέριστη συμπαράστασή του κατά την διεξαγωγή της παρούσας εργασίας. Τον ευχαριστούμε για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας.

Επίσης, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας 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 Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

Γεωργίου Σωτήρης

.....

Τριανταφύλλου Δημήτρης

.....

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία θα πραγματοποιηθεί με σκοπό την εκπόνηση μελέτης για εγκατάσταση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος, η οποία θα παρέχει την δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών οικίας 100m², η οποία βρίσκεται στο νησί Κάρπαθο. Το σύστημα θα είναι αυτόνομο με συνέπεια να απαιτείται η αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας είτε για μέρες που απαιτείται επιπλέον ενέργεια είτε σε περιπτώσεις που το αιολικό δυναμικό δεν επαρκεί (άπνοια ή ακραία καιρικά φαινόμενα) ή υπάρχει κάποια βλάβη στην ανεμογεννήτρια με συνέπεια να μην παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

Επιπλέον, η εργασία διαχωρίζεται σε δύο μέρη όπου στο πρώτο μέρος καταγράφεται το θεωρητικό υπόβαθρο που απαιτείται για την πραγματοποίηση της μελέτης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος και το δεύτερο μέρος είναι η εκπόνηση της μελέτης. Αρχικά γίνεται και μια εισαγωγή όπου αναφέρονται όλες οι ενέργειες είτε αυτές κατατάσσονται στις συμβατικές – εξαντλήσιμες ενέργειες είτε κατατάσσονται στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μη εξαντλήσιμες.

Στο πρώτο Κεφάλαιο αναλύεται η αιολική ενέργεια. Αρχικά δίνεται ο ορισμός αυτής και ακολουθεί μια σύντομη ιστορική αναδρομή όπου καταγράφονται οι τρόποι εκμετάλλευσης της από το παρελθόν μέχρι και σήμερα. Στην συνέχεια αναλύεται ο άνεμος και τα μέσα που υπάρχουν για την μέτρηση αυτού καθώς επίσης και τα βασικά στοιχεία της αεροδυναμικής που απαιτούνται με στόχο την πραγματοποίηση της μελέτης.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο καταγράφονται τα βασικά στοιχεία για τις αιολικές μηχανές. Αναλύεται η αρχή λειτουργίας τους και ακολουθεί η ταξινόμηση αυτών. Επιπλέον, περιγράφονται οι τύποι των ανεμογεννητριών δίνοντας έμφαση στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζει κάθε τύπος έχοντας την δυνατότητα σύγκρισης για την επιλογή του κατάλληλου τύπου που θα χρησιμοποιηθεί για την μελέτη.

Στο τρίτο Κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην θέση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας. Υπάρχουν βασικές προϋποθέσεις που πρέπει να τηρούνται για την εγκατάσταση μιας αιολικής μηχανής, πρέπει να πραγματοποιηθεί συγκεκριμένη διαδικασία και να ελεγχους οι παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή της τοποθεσίας. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας με στόχο να διευκρινιστεί αν θεωρείται βέλτιστη λύση η παραγωγή ενέργειας να γίνει από την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο ξεκινά η εκπόνηση της μελέτης της εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος με σκοπό την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας. Αρχικά αναλύεται το αιολικό δυναμικό της περιοχής που βρίσκεται η οικία με στόχο να επιβεβαιωθεί η δυνατότητα εκμετάλλευσης του. Στην συνέχεια καταγράφονται οι ενεργειακές ανάγκες της οικίας και επιλέγεται η κατάλληλη ανεμογεννήτρια για την κάλυψη αυτών. Ακολουθούν οι υπολογισμοί για την αποδιδόμενη και παραγόμενη ενέργεια της λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες που παρουσιάζονται στο σύστημα. Έπειτα, πραγματοποιείται ο υπολογισμός της

πλεονάζουσας ενέργειας και η δυνατότητα αποθήκευσης αυτής σε συσσωρευτές. Επιπλέον, γίνεται επιλογή των κατάλληλων εξαρτημάτων (μετατροπέας, ρυθμιστής φόρτισης, αντικεραυνική προστασία) για την ολοκλήρωση της διάταξης και την ασφαλή λειτουργία του. Ακόμα, υπολογίζεται το ύψος του πύργου στήριξης της ανεμογεννήτριας καθώς και η απόσταση ασφαλείας που θα πρέπει να έχει από την οικία.

Στο πέμπτο Κεφάλαιο πραγματοποιείται η οικονομοτεχνική μελέτη της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος με δυνατότητα αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας. Είναι πολύ σημαντικό σε μία μελέτη που αφορά αυτόνομα συστήματα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας να γίνεται υπολογισμός της οικονομική βιωσιμότητα λαμβάνοντας όλους τους παράγοντες που αυξάνουν το κόστος τέτοιων διατάξεων.

Στο έκτο Κεφάλαιο δίνεται μια εναλλακτική λύση αποθήκευση ενέργειας όπου χρησιμοποιείται συμπιεστής με στόχο την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας σε μορφή πεπιεσμένου αέρα. Η διάταξη αυτή προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα όπως ότι μπορεί να τροφοδοτεί την οικία με αδιάκοπη ενέργεια, η αποθήκευση της πλεονάζουσας δεν έχει περιορισμούς και είναι πιο φιλική προς το περιβάλλον συγκρινόμενη με τους συσσωρευτές.

Τέλος, καταγράφονται τα συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας, όπου συνοψίζεται το αυτόνομο σύστημα που επιλέχθηκε χρησιμοποιώντας ως μέσο αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας τους συσσωρευτές συγκρινόμενοι με την εναλλακτική λύση αποθήκευσης ενέργειας σε συμπιεστές. Επιπλέον, στην συνέχεια δίνεται η βιβλιογραφία που απαιτήθηκε με στόχο την εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	ii
Μέρος Α΄: Θεωρητικό Υπόβαθρο.....	1
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
1. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	4
1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	4
1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	4
1.3. ΑΝΕΜΟΣ.....	5
1.4. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ.....	7
1.5. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ.....	10
1.5.1. Μεταβολές ταχύτητας του ανέμου.....	10
1.5.2. Ισχύς και ενέργεια ανέμου.....	12
1.5.3. Συντελεστής απόδοσης.....	13
2. ΑΙΟΛΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ.....	16
2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
2.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ.....	16
2.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....	17
2.4. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ.....	21
2.4.1. Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.....	21
2.4.2. Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα.....	24
2.4.3. Σύγκριση ανεμογεννητριών οριζοντίου και κάθετου άξονα.....	26
2.5. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ.....	28
2.5.1. Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας.....	28
2.5.2. Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας.....	29
2.5.3. Σύγκριση ανεμογεννητριών σταθερών και μεταβλητών στροφών.....	32
3. ΘΕΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	34
3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	34
3.2. ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	35
3.2.1. Βασικά βήματα επιλογής τοποθεσίας.....	35
3.2.2. Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή τοποθεσίας.....	36
3.2.3. Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος στον Ελλαδικό χώρο..	41
3.2.3.1. Μετρήσεις αιολικού δυναμικού για εγκατάσταση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος.....	42
3.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΔΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ.....	45

3.4.	ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	46
3.5.	ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	47
	Μέρος Β΄: Μελέτη εγκατάστασης ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	48
4.	ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	49
4.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	49
4.2.	ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ.....	49
4.2.1.	Αιολικό δυναμικό Καρπάθου	49
4.2.2.	Ενεργειακές ανάγκες οικίας.....	52
4.2.3.	Επιλογή ανεμογεννήτριας μικρή ισχύος	55
4.2.3.1.	Αποδιδόμενη ισχύς ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	58
4.2.3.2.	Παραγομένη ενέργεια ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	61
4.2.3.3.	Απώλειες ενέργειας.....	63
4.2.3.4.	Διάταξη ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	66
4.2.3.5.	Σύνδεση ανεμογεννήτριας και αποθήκευση ενέργειας στους συσσωρευτές.....	67
4.2.3.6.	Μετατροπέας DC - AC (Inverter).....	75
4.2.3.7.	Ρυθμιστής Φόρτισης	76
4.2.3.8.	Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	77
4.2.3.9.	Αντικεραυνική προστασία	79
5.	ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	80
5.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	80
5.2.	ΟΡΓΑΝΟΓΡΑΜΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	80
5.3.	ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ	83
5.3.1.	Κόστος αγοράς ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	84
5.3.2.	Κόστος γης και υποδομής για εγκατάσταση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	85
5.3.3.	Αιολικό δυναμικό περιοχής και συντελεστής χωρητικότητας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος.....	86
5.3.5.	Διάρκεια ζωής ανεμογεννήτριας.....	88
5.3.6.	Κόστος χρήματος	89
5.3.7.	Κόστος συντήρησης.....	89
5.3.8.	Απόσβεση εγκατάστασης ανεμογεννήτριας	89
6.1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	91
6.2.	ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	91
6.2.1.	Καινοτομική αυτόματη αιολική διάταξη αδιάκοπης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας	93
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	96
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	98

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και μη.	2
Εικόνα 2: Τα ιστιοφόρα χρησιμοποιούν αποκλειστικά τον άνεμο ως κινητήριο δύναμη	5
Εικόνα 3: Οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνται για την άλεση και την άντληση του νερού	5
Εικόνα 4: Αιολικά πάρκα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας	5
Εικόνα 5: Κύκλος θέρμανσης και ψύξης αιολικού δυναμικού	6
Εικόνα 6: Κίνηση αερίων μαζών (α) κατά την διάρκεια της ημέρας (β) κατά την διάρκεια την νύχτας.....	7
Εικόνα 7: Κυπελλοφόρα ανεμόμετρα (1.Vector 2.Thies 3.NRG).....	8
Εικόνα 8: Τα ακραία καιρικά φαινόμενα επηρεάζουν αρνητικά την λειτουργία της ανεμογεννήτριας α) παγετός β) ισχυροί άνεμοι σε ανεμογεννήτρια	37
Εικόνα 9: Χάρτης Αιολικού δυναμικού Ελλάδας	44
Εικόνα 10: Αιολικό δυναμικό Καρπάθου	50
Εικόνα 11: Χάρτης Καρπάθου	51
Εικόνα 12: Ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος 10kWatt	57
Εικόνα 13: Μετατροπέας Ισχύος 4kW της εταιρίας SotecSK	76
Εικόνα 14: Ρυθμιστής φόρτισης Victron Energy Smartsolar MPPT 250/100 Tr	77
Εικόνα 15: Εκτροπείς υπερτάσεων σε ανεμογεννήτριες	79

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1: LiDar (light detection and ranging)	8
Σχήμα 2: Ροδόγραμμα του ανέμου	9
Σχήμα 3: Σωλήνας ροής ενός ανεμοκινητήρα	13
Σχήμα 4: Διάταξη συστήματος εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας	17
Σχήμα 5: Εξέλιξη μεγέθους ανεμογεννητριών	18
Σχήμα 6: Διαχωρισμός ανεμογεννητριών σύμφωνα με την πτερωτή ανεμογεννήτριες (α) οριζόντιου άξονα και (β) κατακόρυφου άξονα.....	19
Σχήμα 7: Τυπικό διάγραμμα συντελεστή απόδοσης C_p σε σχέση με τη ταχύτητα του ακροπτερυγίου «λ» για μια ποικιλία διατάξεων και πτερυγίων ανεμογεννητριών.....	20
Σχήμα 8: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.....	22
Σχήμα 9: Εσωτερική δομή μιας ανεμογεννήτριας.....	24
Σχήμα 10: Ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus	25
Σχήμα 11: Ανεμογεννήτρια τύπου Savonius	26
Σχήμα 12: Απεικόνιση μερών ανεμογεννήτριας με οριζόντιο άξονα και ανεμογεννήτριας με κατακόρυφο άξονα.....	27
Σχήμα 13: Αναπαράσταση ανεμογεννήτριας σταθερών στροφών	28
Σχήμα 14: Αναπαράσταση ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητα	30
Σχήμα 15: Απλουστευμένη διάταξη ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητας	30
Σχήμα 16: Απλουστευμένη διάταξη ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητας που περιλαμβάνει μηελεγχόμενο ανορθωτή.....	31
Σχήμα 17: Διαμόρφωση σύγχρονης γεννήτριας που περιλαμβάνει ανορθωτή και αντιστροφή	32
Σχήμα 18: Επιλογή θέσης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της περιοχής.....	34
Σχήμα 19: Απεικόνιση περιοχών ανάπτυξης τύρβης	38
Σχήμα 20: Η επίδραση ενός εμποδίου στη ροή του ανέμου.....	38
Σχήμα 21: Απεικόνιση του πεδίου ροής όμορου	40
Σχήμα 22: Διανομή ταχυτήτων σε διάφορες αποστάσεις	40
Σχήμα 23: Γενικές αρχές για τη βέλτιστη τοποθέτηση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας	42
Σχήμα 24: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για την αδειοδότηση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος.....	46
Σχήμα 25: Απεικόνιση διαδικασία παραγωγής ενέργειας από ανεμογεννήτρια	58
Σχήμα 26: Διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας και διαδικασία μετατροπής ενέργειας σε άλλες μορφές	66
Σχήμα 27: Αυτόνομο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτρια	67

Σχήμα 28: Σύνδεση με συνεχή τάση (ζυγό DC)	68
Σχήμα 29: Σύνδεση ανεμογεννήτριας σε DC ζυγό απευθείας σε συσσωρευτές.....	68
Σχήμα 30: Προτεινόμενη σύνδεση ανεμογεννήτριας με συσσωρευτές.....	71
Σχήμα 31: Τρόποι στήριξης ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	77
Σχήμα 32: Σκαρίφημα υπολογισμού ύψους πύργου ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	78
Σχήμα 33: Διαδρομή ρεύματος και ακίδα αντικεραυνικής στο πίσω μέρος της ατράκτου	79
Σχήμα 34: Οργανόγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης.....	81
Σχήμα 35: Βασικά μέρη συστήματος ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	84
Σχήμα 36: Βασική δομή της διάταξης μετατροπής αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική με ικανότητα αδιάκοπης παροχής.....	94

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Γραφική παράσταση κατανομήςWeibull. Οι καμπύλες είναι το μοντέλο διανομής Rayleigh	11
Διάγραμμα 2: Συσχέτιση του συντελεστής απόδοσης C_p σε σχέση με τη ταχύτητα του ακροπτερυγίου «λ»	14
Διάγραμμα 3: Ισχύς αιολικού κινητήρα συναρτήσει ταχύτητας δρομέα σε δύο διαφορετικές ταχύτητες ανέμου.....	33
Διάγραμμα 4: Ενεργειακές ανάγκες οικίας σύμφωνα με την εποχή.....	55
Διάγραμμα 5: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 10 kWatt.....	61
Διάγραμμα 6: Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος.....	62
Διάγραμμα 7:Ενεργειακές απώλειες στην καμπύλη διάρκειας πνοής του ανέμου.....	64
Διάγραμμα 8: Συγκριτικό διάγραμμα μηνιαίων ενεργειακών αναγκών οικίας και μηνιαία ενέργεια που παρέχεται από το σύστημα	65

ΠΕΡΙΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Πηγές και μορφές Ενέργειας	3
Πίνακας 2: Διαχρονική εξέλιξη ανεμογεννητριών από το 1980 έως το 2010	18
Πίνακας 3: Χαρακτηρισμός αιολικού δυναμικού σύμφωνα με την ταχύτητα του ανέμου	43
Πίνακας 4: Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμων (10m από το έδαφος)	45
Πίνακας 5: Ηλεκτρικές συσκευές μονοκατοικίας 100m ²	52
Πίνακας 6: Ενεργειακές ανάγκες οικίας για τις εποχές φθινόπωρο και χειμώνα	53
Πίνακας 7: Ενεργειακές ανάγκες οικίας για τις εποχές άνοιξη και καλοκαίρι	54
Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά Ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος.....	57
Πίνακας 9: Αποδιδόμενη ισχύς ανεμογεννήτριας «P _{ΑΓ} » για ταχύτητα ανέμου «V» από 0 έως 20m/sec	59
Πίνακας 10: Αποδιδόμενη ισχύς ανεμογεννήτριας «P _{ΑΓ} » για ταχύτητα ανέμου «V» από 20 έως 30m/sec.....	60
Πίνακας 11: Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	62
Πίνακας 12: Τελική ενέργεια που παρέχεται από την ανεμογεννήτρια E _{wind}	65
Πίνακας 13: Ημερήσια Πλεονάζουσα Ενέργεια οικίας.....	70
Πίνακας 14: Μέγιστος επιτρεπόμενος βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών.....	72
Πίνακας 15: Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικά συσσωρευτών	74
Πίνακας 16: Οικονομικά στοιχεία ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος	85
Πίνακας 17: Κόστος υποδομής ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος.....	86
Πίνακας 18: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομικών στοιχείων ανεμογεννήτριας χωρίς δανεισμό και με δανεισμό.....	90

ΜΕΡΟΣ Α΄

Θεωρητικό Υπόβαθρο

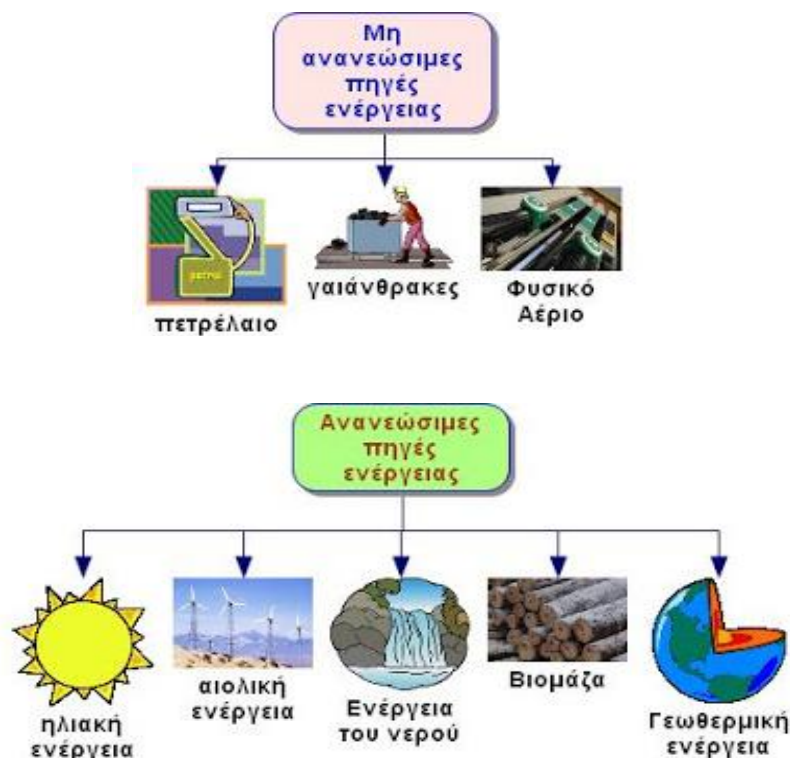
ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ενέργεια αποτελεί ένα από τα βασικά αγαθά που απαιτούνται για την επιβίωση αλλά και για την βελτίωση της ζωής του ανθρώπου. Η καθημερινές δραστηριότητες απαιτούν χρήση ενέργειας, η οποία μπορεί να είναι σε διάφορες μορφές όπως ηλεκτρική, θερμική κ.ά. και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απαιτούνται αλλά και να αυξάνονται διαρκώς οι ανάγκες για μεγάλα ποσά ενέργειας με στόχο την παγκόσμια κάλυψη των ανθρώπινων αναγκών.

Οι αυξημένες απαιτήσεις για ενέργεια οδήγησε στην ακατάπαυστη κατανάλωση συμβατικών πηγών ενέργειας όπως πετρέλαιο, βενζίνη και άνθρακα, οι οποίες είναι εξαντλήσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, ένα από τα βασικά προβλήματα της χρήσης των συμβατικών ενεργειών είναι ότι δεν είναι δεδομένη η επάρκεια των αποθεμάτων τους. Όμως θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει ένα ακόμα μειονέκτημα από την χρήση αυτών των ενεργειών και είναι η επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα γίνεται κατανοητό ότι υπήρξε επιτακτική ανάγκη να βρεθούν εναλλακτικές λύσεις για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του πλανήτη με πηγές οι οποίες θα είναι ανεξάντλητες αλλά και φιλικές προς το περιβάλλον. Η λύση δίνεται από την εκμετάλλευση του ήλιου, του ανέμου, των ποταμών, της γεωθερμίας και των οργανικών υλών τα οποία βρίσκονται στον πλανήτη σε αφθονία και η αξιοποίησή τους δεν επιβαρύνει το περιβάλλον.

Οι πηγές αυτές ονομάζονται Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) διότι αναπληρώνονται διαρκώς μέσω των φυσικών κύκλων με αποτέλεσμα να μην εξαντλούνται ποτέ.



Εικόνα 1: Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και μη.

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας παρουσιάζουν μεγάλο επιστημονικό ενδιαφέρον αφού είναι απόλυτα φιλικές με το περιβάλλον. Επίσης, με την βοήθεια της τεχνολογικής εξέλιξης δημιουργούνται νέα συστήματα με στόχο την μέγιστη εκμετάλλευση των ανεξάντλητων πηγών ενέργειας. Στην συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 1 όπου καταγράφονται οι πηγές ενέργειας, ο φορέας που τις δημιουργεί και η μορφή που εκμεταλλεύεται ο άνθρωπος.

Πίνακας 1: Πηγές και μορφές Ενέργειας
[Πηγή: Ασημακόπουλος και συν., 2015]

ΠΗΓΗ	ΦΟΡΕΑΣ	ΜΟΡΦΗ
Ήλιος	Ηλιακή ακτινοβολία	Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
Θερμό εσωτερικό γης	Έδαφος – υπόγεια ύδατα	Θερμική
Έλξη ουράνιων σωμάτων	Επιφανειακά ύδατα της γης (παλίρροιες)	Δυναμική
Άνεμος	Κινούμενες αέριες μάζες	Κινητική
Κατακρημνίσεις υδάτων	Κινούμενο νερό	Δυναμική – κινητική
Βιομάζα	Οργανική ύλη	Χημική
Αποθέματα ορυκτών καυσίμων	Άνθρακες υδρογονάνθρακες	Χημική
Πυρηνικά ορυκτά	Ακτινοβολία Σωματιδίων	Κινητική

Ωστόσο, όλες οι χώρες δεν μπορούν να εκμεταλλευτούν όλες τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας διότι εξαρτώνται άμεσα από την γεωγραφική τους θέση καθώς επίσης και το κλίμα που επικρατεί (συνήθεις καιρικές συνθήκες). Η χώρα μας λόγω της γεωφυσικής της θέσης θεωρείται ότι διαθέτει ένα αρκετά αξιόλογο δυναμικό Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας με αποτέλεσμα να δίνεται η δυνατότητα να καλύπτεται μεγάλο μέρος των ενεργειακών αναγκών της χώρας. Η δυνατότητα αυτή έχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα την μείωση της χρήσης των συμβατικών ενεργειών με συνέπεια την διαφύλαξη του περιβάλλοντος δηλαδή την ελάττωση του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η Ελλάδα έχει την δυνατότητα να εκμεταλλευτεί τις περισσότερες από τις προαναφερόμενες ανεξάντλητες πηγές και προσπαθεί με το κατάλληλο νομοθετικό πλαίσιο και νομοθετικές διατάξεις να δώσει αυτή την δυνατότητα στους ανθρώπους που κατοικούν σε αυτή. Επιπλέον, δίνεται σε πολλές περιπτώσεις οικονομική στήριξη από Ευρωπαϊκά Προγράμματα για τις εγκαταστάσεις και τον εξοπλισμό που απαιτείται για την εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

1. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

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.

1.2. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) δίνουν την δυνατότητα συνεχούς εκμετάλλευσης διότι θεωρητικά είναι ανεξάντλητες. Αυτός είναι και ο λόγος που μπορούν να καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες που παρουσιάζει καθημερινά ο άνθρωπος. Η αιολική ενέργεια είναι μια ΑΠΕ η οποία έχει αναγνωριστεί από την αρχαιότητα και αυτό επιβεβαιώνεται από κάποιες αναφορές που έχουν γίνει από την αρχαία μυθολογία. Χαρακτηριστικό παράδειγμα της αναγνώρισης της 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.

Με το πέρασμα του χρόνου (3500 π.Χ.) ο άνεμος χρησιμοποιήθηκε ως την κινητήρια δύναμη των ιστιοφόρων πλοίων, τα οποία τα χρησιμοποιούσαν είτε για πολεμικούς σκοπούς είτε για την μεταφορά προϊόντων και αντικειμένων με στόχο την επιβίωση και αργότερα την βελτίωση της ανθρώπινης ζωής. Ωστόσο, στην συνέχεια με την βοήθεια της τεχνολογίας έρχεται η χρήση του ανέμου στους ανεμόμυλους (7^ο με 10^ο αιώνα), όπου με ειδικούς μηχανισμούς ο άνεμος έδινε την απαραίτητη δύναμη να περιστραφεί ο έλικας του ανεμόμυλου και στην συνέχεια το σύστημα μέσα σε αυτό. Ο άνεμος ξεκινά και χρησιμοποιείται στην γεωργία με πολύ καλά αποτελέσματα.

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα γίνεται κατανοητό ότι η αιολική ενέργεια έχει διείσδυση από την αρχαιότητα στις ανθρώπινες δραστηριότητες. Ωστόσο, μετά την ανακάλυψη των συμβατικών καυσίμων έρχεται η περιθωριοποίηση της αιολικής ενέργειας για τον λόγο ότι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας που πραγματοποιείται από τα συμβατικά καύσιμα καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες των ανθρώπων.

Όμως την δεκαετία του 70 λαμβάνει χώρα η πετρελαϊκή κρίση, με συνέπεια την εκτόξευση της τιμής του πετρελαίου στα ύψη. Επιπλέον, τα περιβαλλοντικά προβλήματα (ρύπανση – μόλυνση) στον πλανήτη από την χρήση τέτοιων πηγών αρχίζουν και διαφαίνονται με αποτέλεσμα την παρακίνηση του παγκόσμιου

ενδιαφέροντος για την αξιοποίηση του ανεξάντλητου, οικονομικότερου και φιλικού προς το περιβάλλον αιολικού δυναμικού.

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν με την χρήση της αιολικής ενέργειας έδωσαν το βήμα για την κατασκευή αιολικών πάρκων με στόχο την μετατροπή της ενέργειας αυτής σε ηλεκτρική. Με συνέπεια η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας να πραγματοποιείται από μια πολύ οικονομική πηγή. Η οποία είναι σχεδόν απόλυτα φιλική με το περιβάλλον. Με το πέρασμα των χρόνων και την ανάπτυξη της τεχνολογίας συστήματα εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας υπόσχονται μέγιστο βαθμό απόδοσης (Αντωνάκη, 2010 ; Τσούλης, 2016).



Εικόνα 2: Τα ιστιοφόρα χρησιμοποιούν αποκλειστικά τον άνεμο ως κινητήριο δύναμη

[Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/>]



Εικόνα 3: Οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνται για την άλεση και την άντληση του νερού

[Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/>]



Εικόνα 4: Αιολικά πάρκα χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

[Πηγή: <https://el.wikipedia.org/wiki/>]

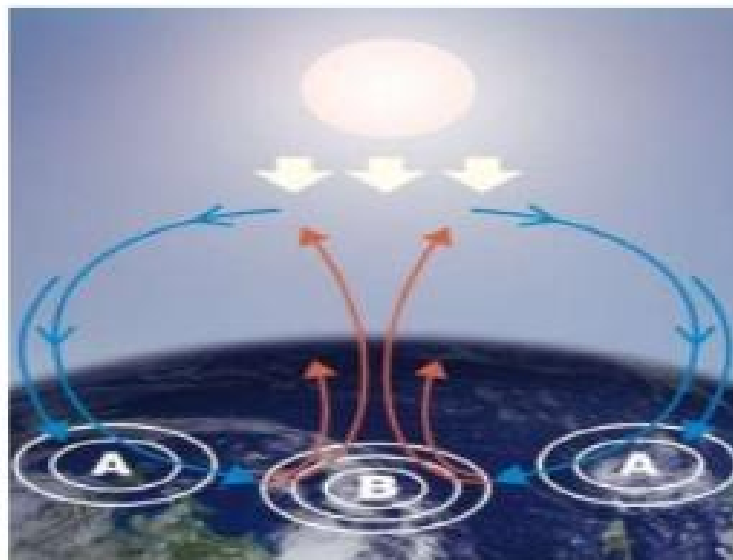
1.3. ΑΝΕΜΟΣ

Άνεμος ορίζεται κάθε οριζόντια μετακίνηση μάζας ατμοσφαιρικού αέρα. Ο άνεμος είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών πιέσεων που επικρατούν από τόπο σε τόπο και εξαρτάται άμεσα από το γεωγραφικό πλάτος και μήκος μιας περιοχής

καθώς επίσης και από το κλίμα που επικρατεί σε κάθε περιοχή. Οι μεταβολές της ατμοσφαιρικής πίεσης (βαρομετρικό χαμηλό ή υψηλό) και οι θερμοκρασιακές αλλαγές στην ατμόσφαιρα προκαλούν δύο είδη κίνησης στα μόρια του αέρος είτε την κατακόρυφο κίνηση των αερίων μαζών που είναι τα ανοδικά και τα καθοδικά ρεύματα είτε την οριζόντια κίνηση των αερίων μαζών. Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα γίνεται κατανοητό ότι η έννοια του ανέμου δίνεται από την οριζόντια κίνηση ή ροή των μορίων του αέρα. Επιπλέον, τα βασικά χαρακτηριστικά του ανέμου είναι η διεύθυνση και η ένταση του (Μπάρλας, 2012).

Η κίνηση του αέρα γίνεται με μια κυκλική κίνηση είτε ανοδική είτε καθοδική κίνηση των αερίων μαζών θερμών και ψυχρών δημιουργώντας με αυτό τον τρόπο το αιολικό δυναμικό. Συγκεκριμένα η δημιουργία του αιολικού δυναμικού γίνεται με την θέρμανση μιας αέριας μάζας η οποία εκτονώνεται με αποτέλεσμα να μειώνεται το βάρος της και να έχει ανοδική πορεία. Όμως η θέση της καλύπτεται με μια αέρια μάζα η οποία χαρακτηρίζεται από την χαμηλότερη θερμοκρασία. Σε γενικές γραμμές ένα 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 (Τσούλης, 2016).

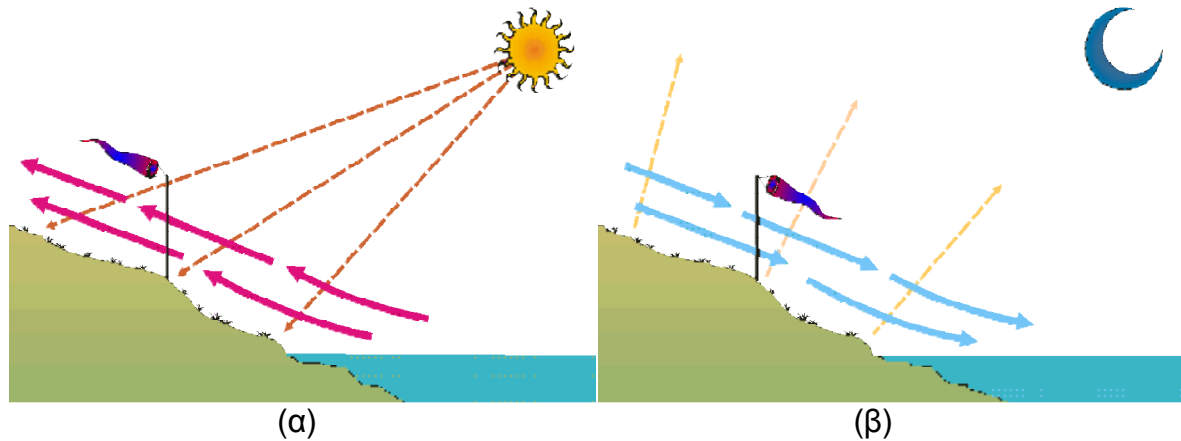
Ωστόσο, υπάρχει ακόμα ένας παράγοντας που επηρεάζει την κίνηση των αερίων μαζών και είναι η περιστροφή της γης, αφού με αυτό τον τρόπο διαμορφώνεται το βαρομετρικό στο οποίο πραγματοποιείται η κυκλική κίνηση των αερίων μαζών. Συνέπεια των προαναφερόμενων είναι οι άνεμοι να διαμορφώνονται ανάλογα με τα τοπικά φαινόμενα. Τονίζεται ότι η άνιση θερμοκρασία των τόπων επηρεάζεται άμεσα από την θέση του ήλιου (εικόνα 5).



Εικόνα 5: Κύκλος θέρμανσης και ψύξης αιολικού δυναμικού
[Πηγή: Τσούλης, 2016]

Η διακύμανση της θερμοκρασίας πραγματοποιείται με πολύ γρήγορους ρυθμούς διότι η μετακίνηση των αερίων μαζών επηρεάζεται από την γήινη επιφάνεια που μπορεί να είναι είτε στεριά η οποία έχει μικρότερη θερμοχωρητικότητα είτε θάλασσα ή οποία έχει μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα. Άρα με αυτόν τον τρόπο πραγματοποιείται συνεχόμενη μετακίνηση αερίων μαζών - στρωμάτων από τη

θάλασσα στην στεριά κατά την διάρκεια της ημέρας με στόχο την θέρμανση τους και αντίστροφα κατά την διάρκεια της νύχτας, όπου η θάλασσα παρουσιάζει υψηλότερες θερμοκρασίες από την ξηρά (εικόνα 6) (Μπάρλας, 2012).



Εικόνα 6: Κίνηση αερίων μαζών (α) κατά την διάρκεια της ημέρας (β) κατά την διάρκεια την νύχτας.

[Πηγή: <http://www.paragliding.org/book>]

1.4. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

Η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού μπορεί να πραγματοποιηθεί στο μέγιστο μόνο στην περίπτωση που υπάρχουν οι απαραίτητες μετρήσεις του ανέμου. Με την σωστή καταμέτρηση σημαντικών δεδομένων του ανέμου δημιουργείται μια σαφής εικόνα για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής (Μπάρλας, 2012). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας έχει πραγματοποιήσει μετρήσεις του αιολικού δυναμικού σε όλη την Ελλάδα με στόχο την διευκόλυνση της συλλογής δεδομένων.

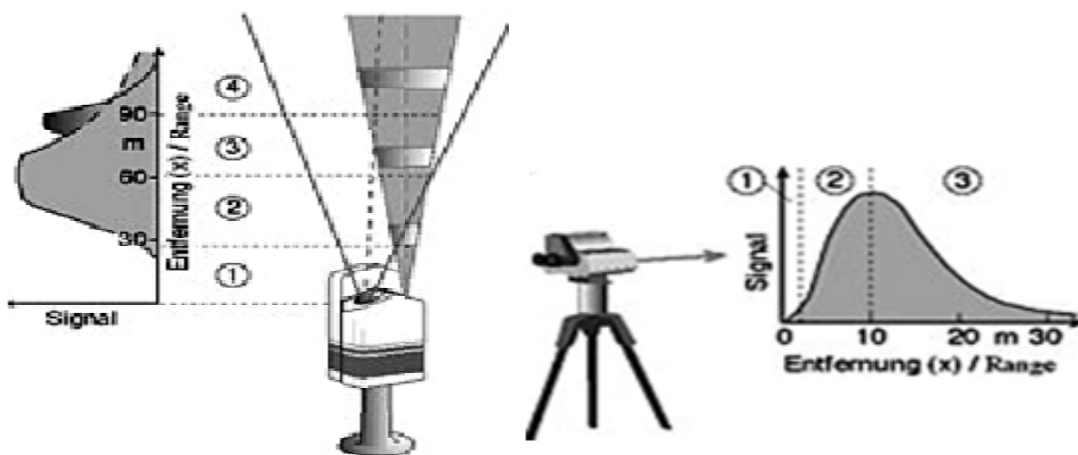
Το αιολικό δυναμικό καθώς και ο άνεμος μετρούνται με ανεμόμετρα, οι οποίες είναι ειδικές συσκευές για την μέτρηση της ταχύτητας και την διεύθυνση του ανέμου. Οι πιο απλές συσκευές μέτρησης ταχύτητας του ανέμου είναι τα ανεμόμετρα αφού η ταχύτητα που περιστρέφει το άνω μέρος του οργάνου είναι ίδια με την ταχύτητα του ανέμου που επικρατεί στο συγκεκριμένο σημείο. Επιπλέον, τα ανεμόμετρα μετρούν μέσες τιμές έντασης του ανέμου με συνέπεια να θεωρούνται αθροιστικά ανεμόμετρα. Η καταγραφή στιγμιαίας μέτρησης του ανέμου γίνεται με την χρήση του ανεμόμετρου πίεσης, όπου η ένταση του δίνεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου.

Τα πιο διαδεδομένα ανεμόμετρα είναι τα κυπελλοφόρα, τα οποία αποτελούνται από ένα κατακόρυφο άξονα και στην κορυφή αυτού υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες, οι οποίοι είναι νομοθετημένοι σε συμμετρία. Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο, σε τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη (εικόνα 7) (Σαρλάνης, 2014).



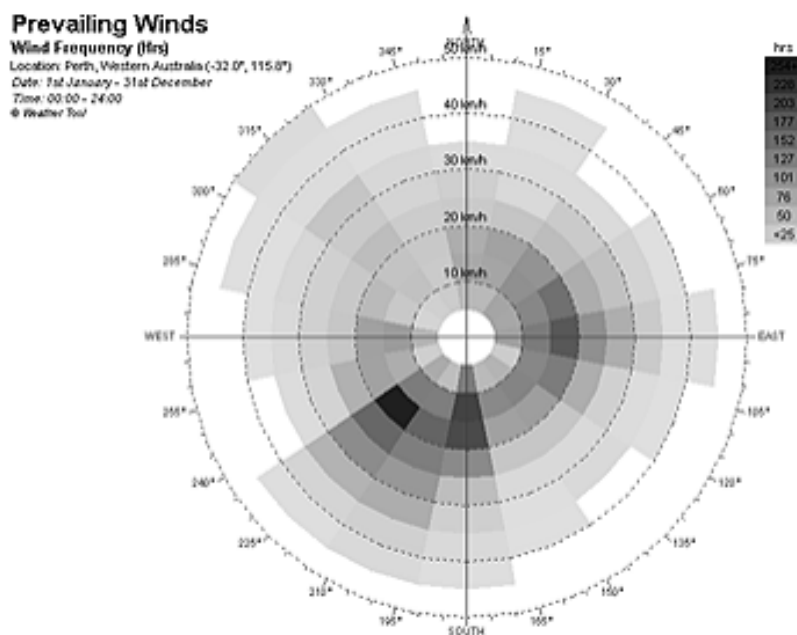
Εικόνα 7: Κυπελλοφόρα ανεμόμετρα (1.Vector 2.Thies 3.NRG)
[Πηγή: Βασιλείου, 2013]

Ωστόσο, με την εξέλιξη της τεχνολογίας δημιουργείται ένα νέο σύστημα LiDar (lightdetection and ranging) (σχήμα 1) το οποίο μπορεί να μετρά την ταχύτητα του ανέμου σε μεγάλα υψόμετρα καθώς και σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. Το σύστημα LiDar θεωρείται μια από τις πιο πρωτοποριακές συσκευές που λύνει το πρόβλημα της εγκατάστασης ιστών σε δυσπρόσιτες περιοχές, όπου και ανεβάζουν πολύ το οικονομικό κόστος αλλά και οι συνθήκες εργασίες θεωρούνται αντίξοες. Το σύστημα LiDar έχει την δυνατότητα να μετρά την ταχύτητα του αέρα έως και 150m από το έδαφος, εκπέμποντας καθ' ύψος μία δέσμη laser. Επιπλέον, διαθέτει ειδικές προδιαγραφές για διαρκή και αδιάλειπτη λειτουργία σε ακραίες συνθήκες καθώς και κάποιες ενσωματωμένες μονάδες υψηλής τεχνολογίας για την ανάλυση και επεξεργασία του σήματος. Σημειώνεται ότι το σύστημα LiDar λειτουργεί πλήρως αυτοματοποιημένα (Βασιλείου, 2013).



Σχήμα1: LiDar (light detection and ranging)
[Πηγή: <http://www.dlr.de/schoollab/>]

Ωστόσο, μια από τις βασικές πληροφορίες για τον άνεμο είναι η συχνότητα εμφάνισης του σε κάθε κατεύθυνση. Η πληροφορία αυτή δίνεται από το ροδόγραμμα του ανέμου και απεικονίζεται όπως στο σχήμα 2 (Μπάρλας, 2012).



Σχήμα 2: Ροδόγραμμα του ανέμου
 [Πηγή: Μπάρλας, 2012]

Η διεύθυνση 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» συνέχεια γύρω από μία μέση θέση εμφανίζοντας όμως μικρότερες διακυμάνσεις από την ταχύτητα του ανέμου. Με την βοήθεια του ροδογράμματος δίνεται η δυνατότητα προσδιορισμού της κατεύθυνσης του ανέμου κατά την διάρκεια πνοής του σε συγκεκριμένη περιοχή. Σημειώνεται ότι για την δημιουργία του ροδογράμματος απαιτείται μεγάλο χρονικό διάστημα με στόχο την συλλογή δεδομένων και μετρήσεων. Το χρονικό διάστημα ανέρχεται περίπου στα 10 χρόνια με στόχο τα αποτελέσματα να θεωρούνται πλήρως αξιόπιστα. (Μπάρλας, 2012 ; Τσούλης, 2016).

Η διαθέσιμη αιολική ενέργεια εξαρτάται άμεσα από τον προσανατολισμό, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά (λόφοι, βουνά) καθώς και την βλάστηση κάθε περιοχής. Άρα για την πλήρη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού θα πρέπει να δίνονται πληροφορίες για την διεύθυνση του ανέμου με στόχο να ελέγχονται τα προαναφερόμενα για τυχόν μείωση αυτού. Ωστόσο, ως βασική διεύθυνση του ανέμου μιας περιοχής καθορίζεται η μεγαλύτερη συχνότητα και η επικρατούσα διεύθυνση του ανέμου (Γαρίνη, 2012).

Οι περιοχές διαχωρίζονται σε κατηγορίες σύμφωνα με την κατεύθυνση και την συχνότητα των ανέμων. Συγκεκριμένα περιοχές διαχωρίζονται στις προσήνεμες όπου ο άνεμος πνέει μεταξύ του σημείου εγκατάστασης της αιολικής μηχανής και το σημείου του ορίζοντα αυτού και θεωρείται η επικρατούσα διεύθυνση και η υπήνεμη όπου είναι η προστατευμένη περιοχή από τον άνεμο και συχνά είναι η αντίθετη της προσήνεμης, δηλαδή είναι η περιοχή που εκτίθεται σε ανέμους με ελάχιστη συχνότητα εμφάνισης (Γαρίνη, 2012 ; Τσούλης, 2016).

1.5. ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΕΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ

Για την ανάλυση του αιολικού δυναμικού θα πρέπει να αναλυθούν τα βασικά στοιχεία της αεροδυναμικής τα οποία είναι οι μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου, η ισχύς και η ενέργεια του ανέμου καθώς επίσης και ο συντελεστής απόδοσης. Στόχος της ανάλυσης των προαναφερόμενων στοιχείων είναι η κατανόηση των αιολικών φαινομένων καθώς και κάποια ενεργειακά δεδομένα που απαιτούνται με σκοπό την υλοποίηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

1.5.1. Μεταβολές ταχύτητας του ανέμου

Η ταχύτητα του ανέμου θεωρείται ως το βασικό κριτήριο μέτρησης του. η ταχύτητα δεν είναι σταθερή κατά την διάρκεια του έτους και παρουσιάζει διαφορετική ένταση. Ωστόσο, θεωρείται σχεδόν ακατόρθωτη η καταγραφή του χρόνου και της έντασης του ανέμου, με συνέπεια η ταχύτητα να είναι μια συνεχής τυχαία μεταβολή που μπορεί να προσδιοριστεί με μαθηματικά μοντέλα.

Για τον προσδιορισμό της ταχύτητας χρησιμοποιείται η κατανομή Weibull δύο παραμέτρων οι οποίες είναι της μορφοποίησης και της κλίμακας. Σημειώνεται ότι η κατανομή Weibull έχει την δυνατότητα να προσαρμόζεται σε μεγάλο εύρος κατανομών. Επιπλέον, με αυτό το μοντέλο αντικατοπτρίζεται η πραγματική διανομή των ωραρίων της ταχυτήτων του ανέμου σε πολλές περιοχές.

Η κατανομή – διανομή Weibull δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

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

Στην συνέχεια ολοκληρώνοντας την σχέση (1) δίνεται η παρακάτω εξίσωση:

$$f(v) = \frac{k}{c} \left[\frac{v}{c} \right]^{k-1} * e^{-(v/c)^k} \quad [2]$$

Επιπλέον, στην εξίσωση (2) περιλαμβάνονται οι παράμετροι κλίμακας c και μορφοποίησης k , οι οποίοι δίνονται από τους εξής ακόλουθες σχέσεις αντίστοιχα:

$$c = \frac{2\bar{v}}{\sqrt{\pi}} \quad [3]$$

και

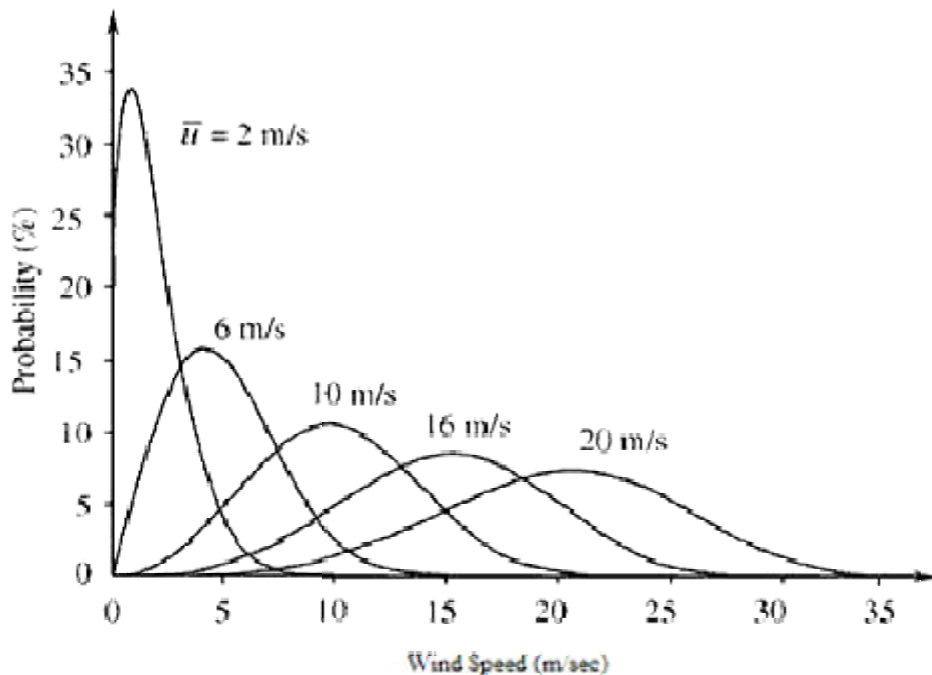
$$k = \frac{3c^3\sqrt{\pi}}{2\bar{v}^3} \quad [4]$$

Όπου: $f(v)$ = πυκνότητα πιθανότητας
 v = ταχύτητα του αέρα > 0 m/sec
 k = παράμετρος μορφοποίησης > 0
 c = παράμετρος κλίμακας > 0

Σύμφωνα με τις πειραματικές μελέτες έδειξαν ότι η κατανομή Weibull μπορεί να περιγραφεί σε ικανοποιητικό επίπεδο ακόμα και σε διάστημα εβδομάδων. Ωστόσο,

η κατανομή αυτή βρίσκεται στα μικρότερα διαστήματα της μεθόδου με συνέπεια να χάνεται εν μέρει η ακρίβεια. Στην συνέχεια ακολουθεί ένα διάγραμμα της κατανομής Weibull όπου οι καμπύλες είναι το μοντέλο διανομή Rayleigh (Μπάρλας, 2012).

Όμως ένα ακόμα μοντέλο χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του ανέμου. Το μοντέλο Rayleigh μπορεί να προσαρμοστεί σε ένα δείγμα δεδομένων, όπου δίνεται συνάρτηση της Weibull στην οποία καταγράφεται και η παράμετρος μορφοποίησης. Με το συνδυασμό αυτό περιγράφεται αρκετά καλά η πραγματική ωριαία κατανομή της ταχύτητας του ανέμου σε διάφορες περιοχές (Γκίκας, 2011 ; Μπάρλας, 2012).



Διάγραμμα 1: Γραφική παράσταση κατανομής Weibull. Οι καμπύλες είναι το μοντέλο διανομής Rayleigh
[Πηγή: Μπάρλας, 2012]

Η σχεδίαση της καμπύλης Weibull πραγματοποιείται κάτω από συγκεκριμένες προδιαγραφές. Αρχικά υπολογίζεται η πιθανότητα για κάθε ταχύτητα ξεκινώντας από την ελάχιστη τιμή όπου είναι 0 m/sec και χωρίζονται σε κλάσεις εύρους 1m/sec, με αποτέλεσμα να γίνεται η σύνθεση της κατανομής των συχνοτήτων (Γκίκας, 2011 ; Μπάρλας, 2012).

Σύμφωνα με τις πειραματικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί προέκυψε ότι όταν μετρηθούν όλες οι ταχύτητες του ανέμου σε μία περιοχή σε διάστημα ενός έτους τότε μπορεί να παρατηρηθεί που μπορούν να υπάρχουν ισχυρότεροι άνεμοι και πού μπορεί να υπάρχουν οι μέτριοι έως ασθενείς. Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι πολύ ισχυροί άνεμοι παρουσιάζουν την ίδια σπανιότητα με την πλήρη άπνοια. Αρά με τα προαναφερόμενα γίνεται κατανοητό ότι άνεμοι με ένταση σχεδόν μηδενικοί είναι πού δύσκολο να επικρατούν σε μια περιοχή όσο δύσκολο είναι να επικρατούν παρά πολύ ισχυροί άνεμοι.

Για την κατανομή Weibull θα πρέπει να σημειωθεί ότι σε κάθε περιοχή (εμβαδό) που σχηματίζεται μια κατανομή είναι πάντα ίση με την μονάδα. Ακόμα, το άθροισμα των συνολικών πιθανοτήτων θα πρέπει να ισούται πάντα με το 100%. Από

το γράφημα επιπλέον διακρίνεται ότι η μισή επιφάνεια βρίσκεται αριστερά της γραμμής της κατανομής και η υπόλοιπη μισή βρίσκεται δεξιά της, άρα το μισό χρόνο η ταχύτητα του ανέμου θα πρέπει να βρίσκεται κάτω από αυτή και τον υπόλοιπο χρόνο πάνω από αυτή.

Τέλος, για την κατανομή Weibull θα πρέπει να τονιστεί ότι διαφοροποιείται από τόπο σε τόπο διότι εξαρτάται άμεσα από παράγοντες όπως οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες το ανάγλυφο της περιοχής καθώς και από διαφόρους άλλους γεωγραφικούς παράγοντες (Σαριδάκης & Σωτηρόπουλος, 2006).

1.5.2. Ισχύς και ενέργεια ανέμου

Η ενέργεια του ανέμου υπολογίζεται από την σχέση της κινητικής ενέργειας, η οποία είναι η ακόλουθη:

$$E = \frac{1}{2}mv^2(t) \quad [5]$$

Όπου: m = μάζα του αέρα για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (gr/sec)
 v = ταχύτητα του ανέμου (m/sec)

Με στόχο τα πιο ακριβή αποτελέσματα θα πρέπει να δοθεί μια σχέση με πιο ουσιαστική μονάδα της πτερύγωσης για να μπορεί να υπολογισθεί η ισχύς που παράγεται σε μία επιφάνεια από μια ταχύτητα του ανέμου.

$$P_{wind} = \frac{1}{2}\rho Av^3(t) \quad [6]$$

Όπου: P_{wind} = ισχύς που παράγεται από τον άνεμο (watt)
 ρ = πυκνότητα του αέρα (gr/m³)
 A = επιφάνεια που διαπερνά κάθετα ο αέρας (m²)
 v = ταχύτητα του ανέμου (m/sec)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι χρησιμοποιείται η επιφάνεια που διαπερνά κάθετα ο άνεμος συγκεκριμένης μάζας σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, και δίνεται η ακόλουθη σχέση:

$$m(t) = \rho Av(t) \quad [7]$$

Επιπλέον, η πυκνότητα υπολογίζεται ως εξής:

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad [8]$$

Όπου: $m(t)$ = παροχή μάζας του αέρα (gr/sec)
 ρ = πυκνότητα του αέρα (gr/m³)
 A = επιφάνεια που διαπερνά κάθετα ο αέρας (m²)
 v = ταχύτητα του ανέμου (m/sec)
 R = παγκόσμια σταθερά των αερίων (joule/moleK)
 T = απόλυτη θερμοκρασία στην περιοχή που πραγματοποιείται η μελέτη (K)

1.5.3. Συντελεστής απόδοσης

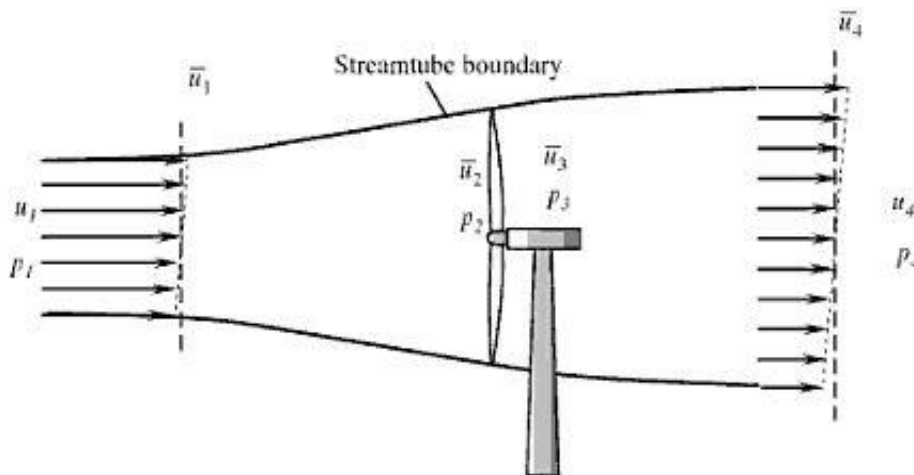
Η ισχύς που παράγεται από έναν ανεμοκινητήρα χρησιμοποιείται με στόχο την παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως δεν μπορεί να μετατραπεί όλη η ενέργεια διότι ένα μέρος κινείται στον χώρο και κάποιο μέρος χάνεται. Επιπλέον, τα πτερύγια του ανεμοκινητήρα δημιουργούν εκτροπή του ανέμου.

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

$$C_p = \frac{P_m}{P_{wind}} \quad [9]$$

Όπου: P_m = μηχανική ισχύς στον άξονα του ανεμοκινητήρα
 P_{wind} = αιολική ισχύς του ανέμου

Ο συντελεστής C_p εξαρτάται από το μηχανισμό δέσμευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου, δηλαδή τον τύπο του ανεμοκινητήρα που έχει το υπό μελέτη σύστημα. Άρα υπάρχουν διαφορετικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου που ενεργεί πριν τη πρόσκρουση και της τιμής μετά από αυτή. Στο σχήμα 3 απεικονίζεται ένας σωλήνας ροής ανεμοκινητήρα και καταγράφονται οι ταχύτητες πριν και μετά την επαφή του ανέμου στα πτερύγια.



Σχήμα 3: Σωλήνας ροής ενός ανεμοκινητήρα
[Πηγή: Μπάρλας, 2012]

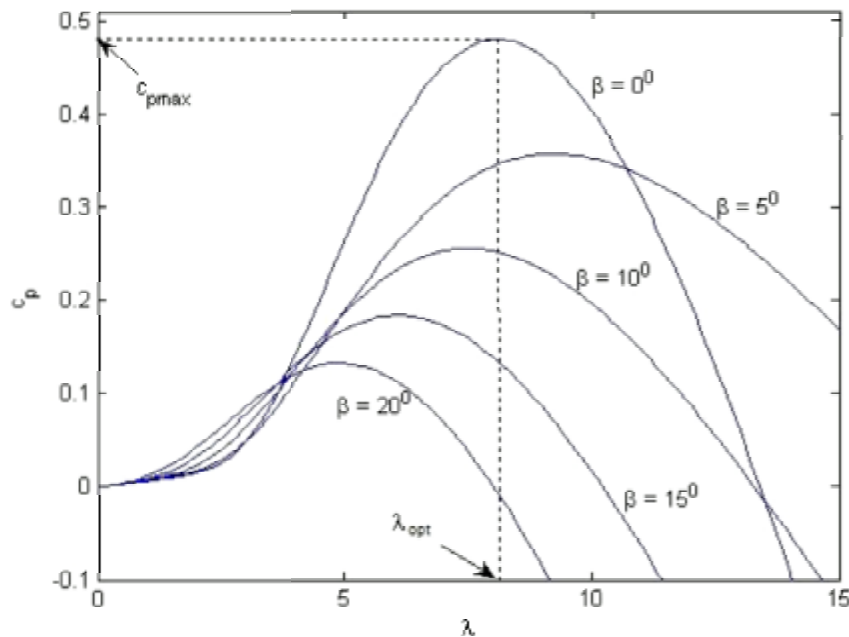
Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε η μέγιστη θεωρητική τιμή του συντελεστή C_p (Νόμος του Bentz) είναι 0.592. Ωστόσο, κάτι τέτοιο είναι πρακτικά αδύνατο να επιτευχθεί και οι τιμές που δίνονται κυμαίνονται από 0.45 έως 0.5. οι τιμές αυτές οφείλονται στις μηχανικές τριβές, τους στροβιλισμούς, καθώς και διάφορες άλλες ατέλειες.

Ο συντελεστής C_p συνδέεται με τη ταχύτητα του ανέμου μέσω μιας σχέσης όπου δημιουργείται – σχεδιάζεται μια καμπύλη από όπου διεξάγονται βασικά στοιχεία. Ο λόγος ταχύτητας του ακροπτερυγίου «λ» αποτελεί τον λόγο των ταχυτήτων στη βάση του ανεμοκινητήρα και αυτής στη άκρη του πτερυγίου, είναι αδιάστατο μέγεθος και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\lambda = \frac{\omega_R \cdot R}{v} \quad [10]$$

Όπου: ω_R = γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας (rad/sec)
 R = μήκος του πτερυγίου του ανεμοκινητήρα (m)
 v = ταχύτητα του ανέμου (m/sec)

Το Διάγραμμα 2 απεικονίζει το συντελεστή C_p συναρτήσει του « λ ». Αυτό που παρατηρείται είναι ότι υπάρχει μια βέλτιστη τιμή του συντελεστή C_p σε μια τιμή του « λ ». Όμως, η τιμή του συντελεστή C_p εξαρτάται από την γωνία του βήματος του πτερυγίου β , όπου παίζει σημαντικό ρόλο στην βελτίωση της παρεχόμενης ισχύος στο δρομέα (Μπάρλας, 2012).



Διάγραμμα 2: Συσχέτιση του συντελεστή απόδοσης C_p σε σχέση με τη ταχύτητα του ακροπτερυγίου « λ »
 [Πηγή: Δημητρακάκης, 2014]

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από το διάγραμμα 2 είναι ότι ο συντελεστής C_p για μηδενική γωνία βήματος ($\beta=0$), παίρνει τη μέγιστη τιμή του $C_{p,max}$ για μια συγκεκριμένη τιμή του « λ » όπου συμβολίζεται με λ_{opt} . Επιπλέον, από το ίδιο διάγραμμα γίνεται κατανοητό ότι 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:

$$\omega_{R,opt} = \frac{\lambda_{opt}}{R} \cdot v \quad [11]$$

Όπου: λ_{opt} = βέλτιστη τιμή του λ (rad/sec)
 R = μήκος του πτερυγίου του ανεμοκινητήρα (m)
 v = ταχύτητα του ανέμου (m/sec)

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα γίνεται κατανοητό ότι για μια 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 ; Τσούλης 2016).

2. ΑΙΟΛΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

2.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σύμφωνα με τον Ασημακόπουλο και τους συνεργάτες του (2015) αιολικές μηχανές ονομάζονται οι μηχανές οι οποίες μπορούν να μετατρέψουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες είναι αιολικές μηχανές που μετατρέπουν τον άνεμο σε περιστροφική – μηχανική ενέργεια και μετά σε ηλεκτρική ενέργεια.

Οι ανεμογεννήτριες της νέας γενιάς είναι περίπλοκες ηλεκτρομηχανολογικές κατασκευές με αεροδυναμικά σχεδιασμένα πτερύγια, συστήματα μετάδοσης και υψηλής απόδοσης γεννήτριας. Η ισχύς μιας αιολικής μηχανής μπορεί να είναι από μερικά Watt έως και κάποια MWatt, με την τάση να είναι διαρκώς αυξητική, αφού με την πάροδο του χρόνου μειώνονται τα ειδικά κόστη λόγω οικονομιών κλίμακας (Ασημακόπουλος και συν., 2015).

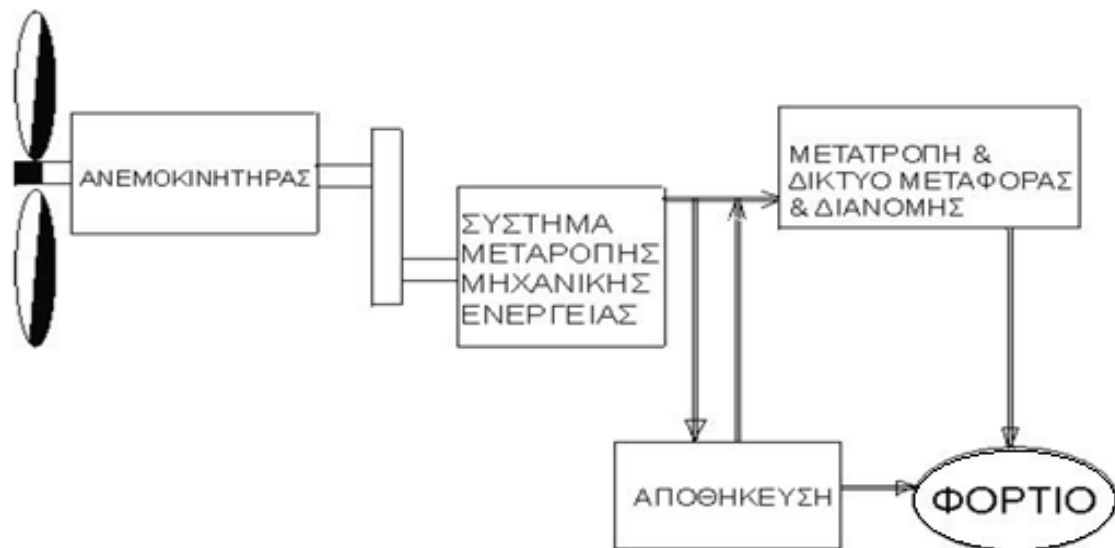
Οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε περιοχές που έχουν υψηλό αιολικό δυναμικό με στόχο την εκμετάλλευσή του και κατ' επέκταση την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες τοποθετούνται είτε πολλές μαζί σχηματίζοντας αιολικά πάρκα και τροφοδοτώντας τις πλησιέστερες περιοχές για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών είτε τοποθετούνται μεμονωμένα για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών οικίας ή βιομηχανίας.

Ωστόσο, αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι η κατασκευή και η τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας δεν θεωρείται απλή διότι θα πρέπει να τηρείται η ισχύουσα Νομοθετική Διάταξη καθώς επίσης να δίνεται η δυνατότητα για την οικονομική κάλυψη γιατί τέτοιου είδους έργα έχουν μεγάλο κόστος (Πελοποννήσιος, 2013).

2.2. ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Η αρχή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας είναι πανομοιότυπη για κάθε τύπου ανεμογεννήτρια. Τα πτερύγια (έλικας) περιστρέφονται με την βοήθεια του ανέμου, τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα. Στην συνέχεια ο άξονας συνδέεται σε σειρά με κιβώτιο μετάδοσης κίνησης με στόχο την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής. Επιπλέον, το κιβώτιο συνδέεται με άξονα υψηλών στροφών ο οποίος κινεί την γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος (σχήμα 4).

Στην περίπτωση που παρατηρηθεί μεγάλη αύξηση του ανέμου τότε ενεργοποιείται το φρένο το οποίο είναι τοποθετημένο στην τουρμπίνα. Το φρένο αυτό έχει την δυνατότητα να περιορίσει την ανεξέλεγκτη αύξηση της περιστροφής των πτερυγίων για την προστασία του συστήματος είτε από την καταστροφή είτε από μεγάλες βλάβες. Ο άνεμος πρέπει να έχει ταχύτητα που ξεπερνάτα 15km/h για να υπάρξει πιθανότητα καταστροφής των τουρμπινών που χρησιμοποιούνται για τέτοιου είδους συστήματα.



Σχήμα 4: Διάταξη συστήματος εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας
[Πηγή: Σαμαρά & Σταματόπουλος, 2010]

Οι δυνατότητες των ανεμογεννητριών κυμαίνονται από 50-300 KW. Επιπλέον, κάθε γεννήτρια στο σύστημα της ανεμογεννήτριας έχει την δυνατότητα να παράγει ηλεκτρισμό με τάση 25.000 Volt. Το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει από ένα μετασχηματιστή στην ηλεκτροπαραγωγική μονάδα, ο οποίος χρησιμοποιείται με στόχο την αύξηση της τάσης έως και 400.000 Volt. Στην περίπτωση που το ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να διανύσει μεγάλες αποστάσεις είναι καλύτερα να υπάρχει υψηλή τάση (Τσούλης, 2016).

Η αρχή λειτουργίας των ανεμογεννητριών είναι πανομοιότυπη, όμως η ποικιλία των τύπων οδηγεί σε μικροδιαφορές μεταξύ τους. Στην συνέχεια θα πραγματοποιηθεί μια ταξινόμηση των ανεμογεννητριών και θα ακολουθήσει ανάλυση των τύπων καθώς και των διαφορών και δυνατοτήτων που παρουσιάζουν.

2.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

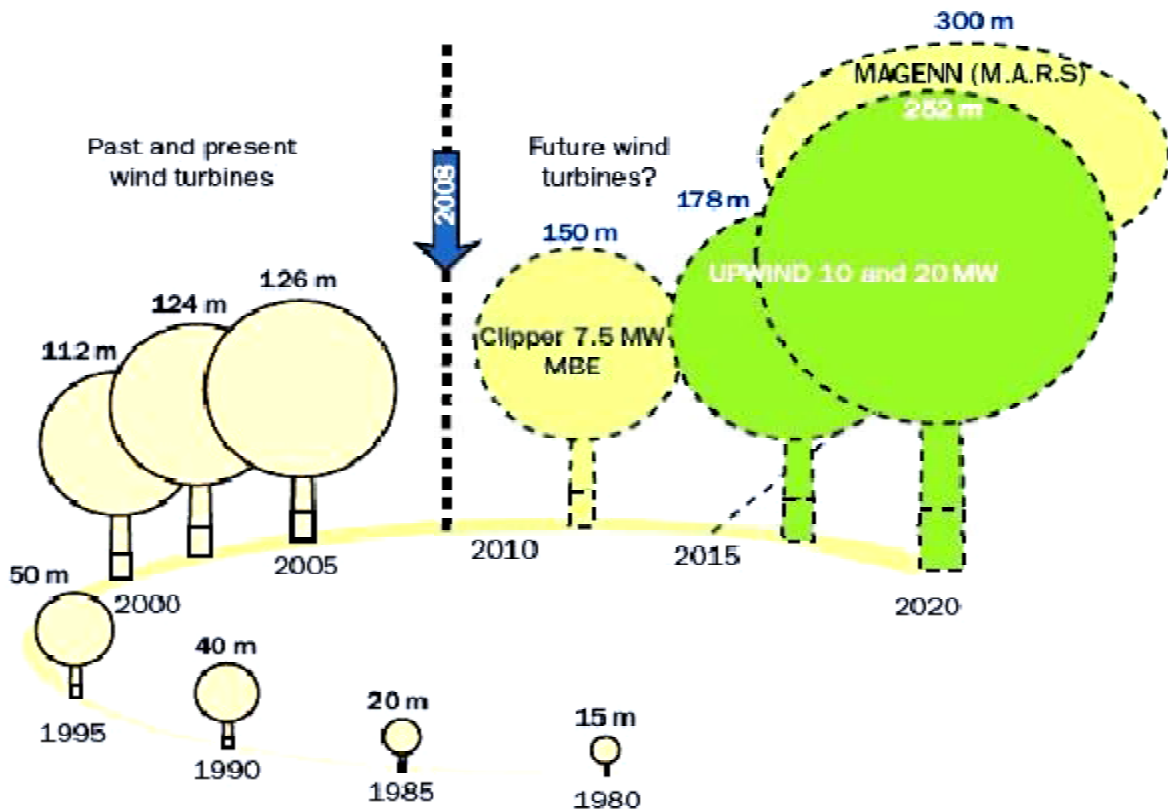
Ο διαχωρισμός των ανεμογεννητριών βασίζεται στον προσανατολισμό των αξόνων σύμφωνα με την ροή του ανέμου και είναι ο ακόλουθος (Τσούλης, 2016):

- Οριζοντίου άξονα (Horizontalaxis -head on): ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου.
- Οριζοντίου άξονα (Horizontalaxis -Crosswind): ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος προς τη επιφάνεια της γης αλλά κάθετος στη διεύθυνση του ανέμου.
- Κατακόρυφου άξονα (Verticalaxis): ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στη ροή του ανέμου.

Η απόδοση της ανεμογεννήτριας εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες που είναι το αιολικό δυναμικό κάθε περιοχής που τοποθετείται μια ανεμογεννήτρια καθώς επίσης και το μέγεθος της, το οποίο και καθορίζεται σύμφωνα με τις ανάγκες

που καλείται να καλύψει. Οι δυνατότητες σε παραγωγή ενέργειας των ανεμογεννητριών μπορεί να είναι από κάποια εκατοντάδες Watt μέχρι και μερικά εκατομμύρια.

Στην συνέχεια δίνεται μια σχηματική απεικόνιση της εξέλιξης των ανεμογεννητριών καθώς και των δυνατοτήτων που έχουν (σχήμα 5) και ο πίνακας 2 δίνοντας τα χαρακτηριστικά τους (ονομαστική ισχύς, διάμετρος ρότορα, ύψος πύργου, ετήσια παραγωγή).



Σχήμα 5: Εξέλιξη μεγέθους ανεμογεννητριών
[Πηγή: Μπάρλας, 2012]

Πίνακας 2: Διαχρονική εξέλιξη ανεμογεννητριών από το 1980 έως το 2010
[Πηγή: 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)	$35 \cdot 10^3$	$95 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^5$	$12,5 \cdot 10^5$	$35 \cdot 10^5$	$69 \cdot 10^5$	$20 \cdot 10^6$

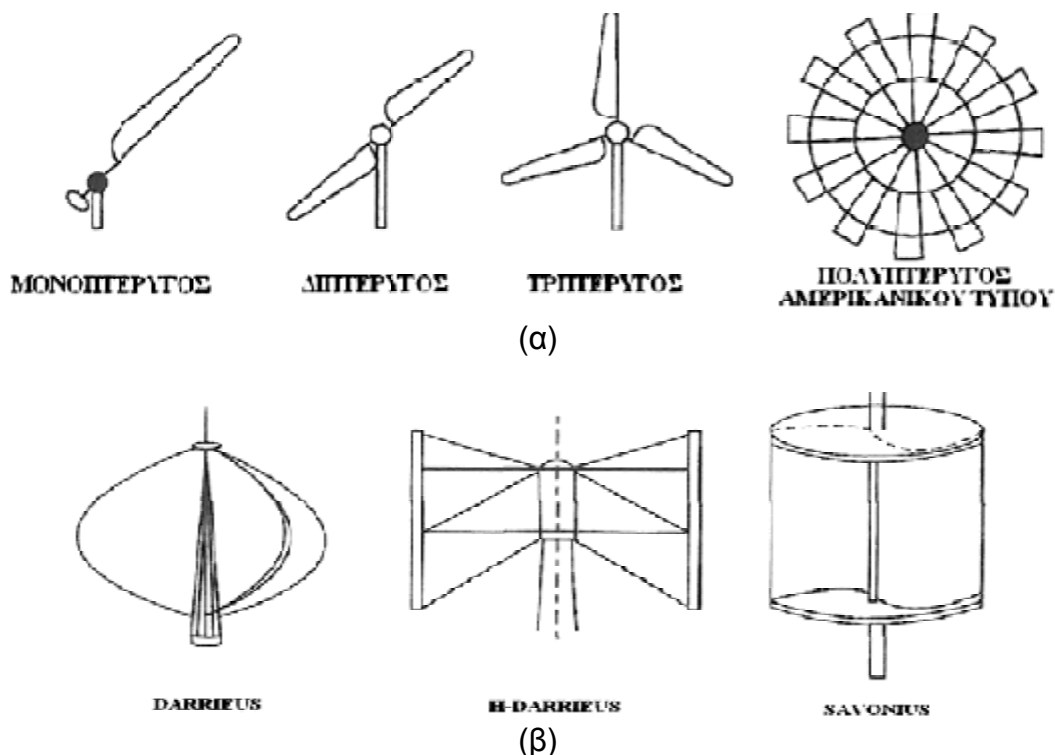
Οι ανεμογεννήτριες διαχωρίζονται επίσης σύμφωνα με κάποια βασικά χαρακτηριστικά τα οποία είναι η ταχύτητα περιστροφής, ο τρόπος σχεδίασης της πτερωτής, ο παράγοντας στιβαρότητας και η μηχανική ισχύς. Στην συνέχεια θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση των προαναφερόμενων με στόχο τον περαιτέρω διαχωρισμό των κατηγοριών (Μπάρλας 2012, Θυμάκης & Τσούνης, 2013).

1) Ταχύτητα Περιστροφής

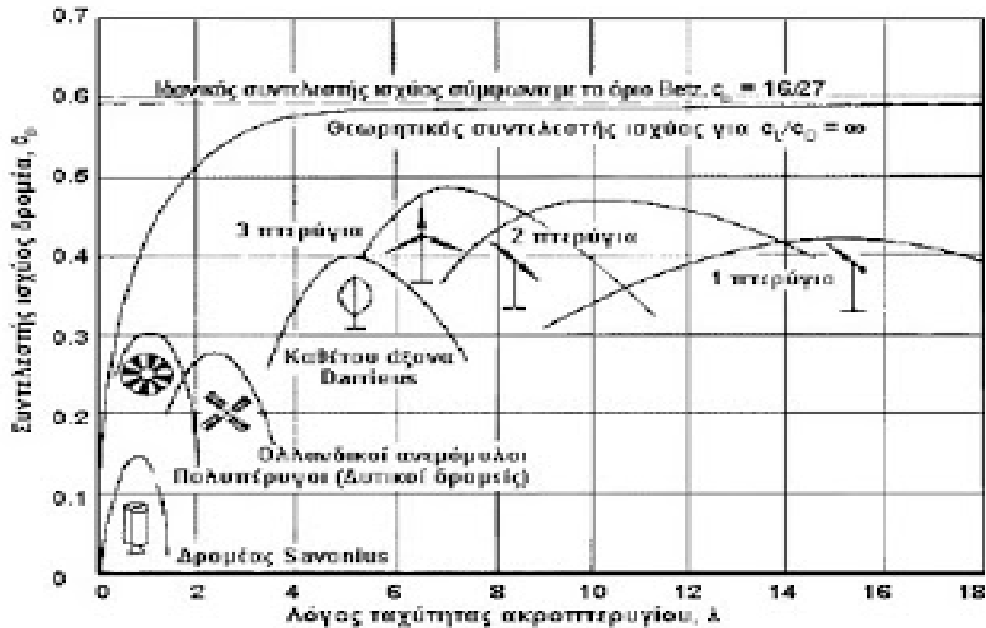
Η ταχύτητα περιστροφής των πτερωτών των ανεμογεννητριών παίζει σημαντικό ρόλο αφού στην ουσία είναι το τμήμα που εκμεταλλεύεται την αιολική ενέργεια. Οι ανεμογεννήτριες μπορεί να είναι είτε **ταχύστροφες** είτε **αργόστροφες** και αυτό εξαρτάται από τον συντελεστή «λ», που όπως αναλύθηκε στο πρώτο Κεφάλαιο είναι το μέγεθος που συνδέει άμεσα την γωνιακή ταχύτητα μιας πτερωτής (Τσούλης, 2016).

2) Σχεδιασμός πτερωτής

Η σχεδίαση της πτερωτής μπορεί να βασίζεται σε οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα. Οι ανεμογεννήτριες του κατακόρυφου άξονα διαχωρίζονται ανάλογα με τον αριθμό των πτερυγίων και είναι οι **πολύπτερες** που είναι για χαμηλές ταχύτητες περιστροφής όπως οι ανεμόμυλοι, και οι **ολιγόπτερες** που είναι οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες με αριθμό πτερυγίων από ένα έως τρία (μονόπτερες, δίπτερες, τρίπτερες) (σχήμα 6 (α)). Όσον αφορά τις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα, διαχωρίζονται στους τύπους Darrieus, H- Darrieus και Savonius (σχήμα 6 (β)) (Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011).



Σχήμα 6: Διαχωρισμός ανεμογεννητριών σύμφωνα με την πτερωτή ανεμογεννήτριες (α) οριζόντιου άξονα και (β) κατακόρυφου άξονα [Πηγή: Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011]



Σχήμα 7: Τυπικό διάγραμμα συντελεστή απόδοσης C_p σε σχέση με τη ταχύτητα του ακροπτερυγίου « λ » για μια ποικιλία διατάξεων και πτερυγίων ανεμογεννητριών
 [Πηγή: <http://gneng.blogspot.gr/p/blog-page.html>]

3) Στιβαρότητα κατασκευής

Η παράμετρος στιβαρότητας κατασκευής μιας ανεμογεννήτριας επηρεάζει τα βασικά χαρακτηριστικά της. Οι κατηγορίες σύμφωνα με αυτό τον παράγοντα είναι μεγάλης η μικρής στιβαρότητας. Οι ανεμογεννήτριες που κατατάσσονται στις αργόστροφες αιολικές μηχανές αποδίδοντας την μέγιστη ισχύ σε χαμηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής « λ », έχουν σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης, μικρές ανάγκες συντήρησης και χαρακτηρίζονται για την μεγάλη ανθεκτικότητά τους με συνέπεια να κατατάσσονται στις αιολικές μηχανές με **μεγάλη στιβαρότητα**. Οι ανεμογεννήτριες που κατατάσσονται στις πολύστροφες αιολικές μηχανές αποδίδοντας την μέγιστη ισχύ τους σε υψηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής « λ », έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης και συγκριτικά με τις μεγάλης στιβαρότητας ανεμογεννήτριες είναι πιο ευπαθείς με συνέπεια να κατατάσσονται στις αιολικές μηχανές με **μικρή στιβαρότητα** (Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011 ; Γαρίνη, 2012).

Η στιβαρότητα της κατασκευής υπολογίζεται σύμφωνα με τον άξονα της ανεμογεννήτριας. Συγκεκριμένα για ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα η στιβαρότητα δίνεται από την σχέση:

$$\sigma = \frac{z \cdot c \cdot R}{\pi \cdot R^2} \quad [12]$$

Ενώ για ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα η στιβαρότητα δίνεται από την σχέση:

$$\sigma = \frac{z \cdot c}{R} \quad [13]$$

Όπου: z = αριθμός των πτερυγίων της πτερωτής

R = ακτίνα πτερωτής

c = χορδή (πλάτος) των πτερυγίων της πτερωτής

4) Μηχανική Ισχύς

Η μηχανική ισχύς που συμβολίζεται με «No» θεωρείται από τους βασικούς παράγοντες διαχωρισμού των αιολικών μηχανών. Οι κατηγοριοποιήσεις γίνονται σε **μικρές** όπου η μηχανική ισχύς τους κυμαίνεται από $50W \leq N_o \leq 30kW$ σε **μεσαίες** όπου η μηχανική ισχύς τους κυμαίνεται από $30kW \leq N_o \leq 300kW$ και σε **μεγάλες** όπου η μηχανική ισχύς τους κυμαίνεται από $300kW \leq N_o \leq 5MW$ (Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011).

Στην συνέχεια αναλύονται περεταίρω οι προαναφερόμενες κατηγορίες των ανεμογεννητριών δίνοντας έμφαση στα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες τους. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση η ανεμογεννήτριες που προτιμώνται είναι αυτές του οριζόντιου άξονα, όχι όμως για κάποιο ιδιαίτερο λόγο, δηλαδή δεν θεωρούνται ότι έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά ή καλύτερες δυνατότητες. Θεωρούνται ότι έχουν καλύτερη αισθητική δηλαδή μειώνουν εν μέρει την αισθητική ρύπανση (Τσούλης, 2016)

2.4. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ ΑΞΟΝΑ

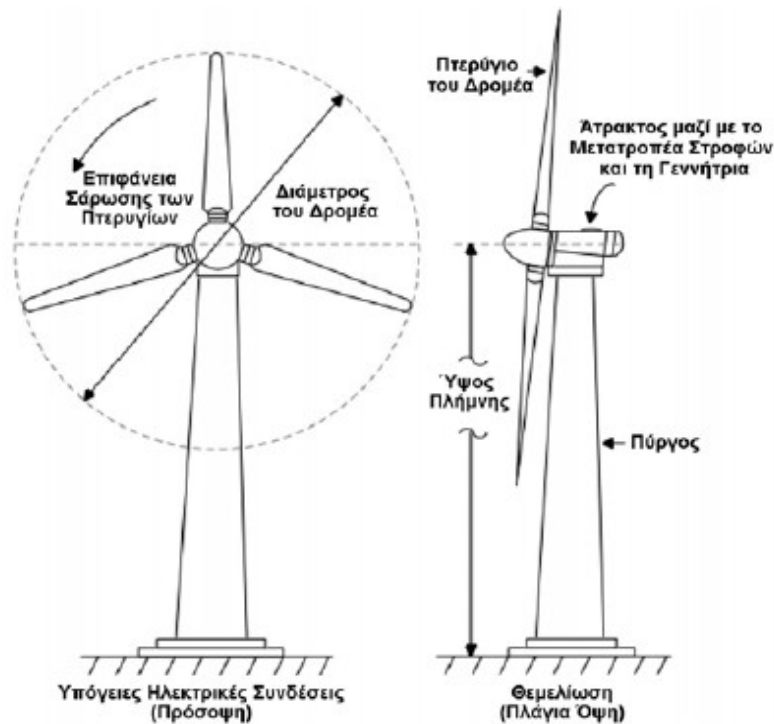
Οι ανεμογεννήτριες διαχωρίζονται κατά κύριο λόγο σύμφωνα με τον άξονα τους και είναι είτε κατακόρυφου είτε οριζόντιου. Στην συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή των προαναφερόμενων τύπων.

2.4.1. Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

Οι αιολικές μηχανές οριζόντιου άξονα διαθέτουν έναν άξονα ο οποίος είναι παράλληλος με το οριζόντιο επίπεδο της γης και τις περισσότερες φορές είναι παράλληλος με την διεύθυνση του ανέμου. Επιπλέον, όπως προαναφέρθηκε αυτές οι αιολικές μηχανές μπορούν να διαθέτουν από 1 έως 5 πτερύγια και η πτερωτή τοποθετείται είτε σε προσήνεμη διάταξη, δηλαδή στο μπροστινό τμήμα του πύργου στήριξης είτε σε υπήνεμη διάταξη, δηλαδή στο πίσω τμήμα του πύργου στήριξης σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου.

Στις αιολικές μηχανές οριζόντιου άξονα κατατάσσονται οι κλασικοί ανεμόμυλοι και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων οι οποίες είναι αμερικανικού τύπου και ο περιορισμός των στροφών επηρεάζεται από τις μεγάλες διαστάσεις τους και το μεγάλο βάρος τους. Ωστόσο, σε αυτή την κατηγορία κατατάσσονται και οι σύγχρονες αιολικές μηχανές, οι ανεμογεννήτριες που είναι τύπου έλικα (σχήμα 8). Οι ανεμογεννήτριες αυτές παρουσιάζουν σημαντικές ταχύτητες περιστροφής και συνήθως τα πτερύγια τους είναι τρία διότι η τεχνολογία τους βασίζεται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων αλλά και σ' αυτή της έλικας των ελικοπτήρων.

Όμως με το πέρασμα των χρόνων έχουν προταθεί διάφορες αιολικές μηχανές (cross-wind), οι οποίες όμως δεν είχαν καλύτερα αποτελέσματα συγκρινόμενες με τις υπάρχουσες και παρουσίαζαν μειονεκτήματα ιδιαίτερα στην συλλογή της παραγόμενης ενέργειας, στη ρύθμιση της διεύθυνσης της πτερωτής ιδιαίτερα σε έντονες μεταβολές της διεύθυνσης του ανέμου.



Σχήμα 8: Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα
 [Πηγή: <http://gneng.blogspot.gr>]

Οι ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν κάποια προβλήματα κατά την κατασκευή τους. Η βιομηχανία που ασχολείται με την κατασκευή αυτών των αιολικών μηχανών προσπαθεί να μειώσει όσο το δυνατόν περισσότερο αυτά τα προβλήματα με στόχο την άριστη λειτουργία αλλά και την βέλτιστη απόδοση αυτών. Τα προβλήματα που δημιουργούνται κατά την κατασκευή των οριζόντων αιολικών μηχανών είναι ο σχεδιασμός του δρομέα ο οποίος επηρεάζει την λειτουργία της μηχανής για αυτό και πρέπει να έχει συγκεκριμένες προδιαγραφές. Ωστόσο, ο δρομέας μπορεί να ανταπεξέλθει σε ειδικές περιπτώσεις όπως η εκκίνηση, η επιτάχυνση, η επιβράδυνση, καθώς και άλλα δυναμικά φαινόμενα.

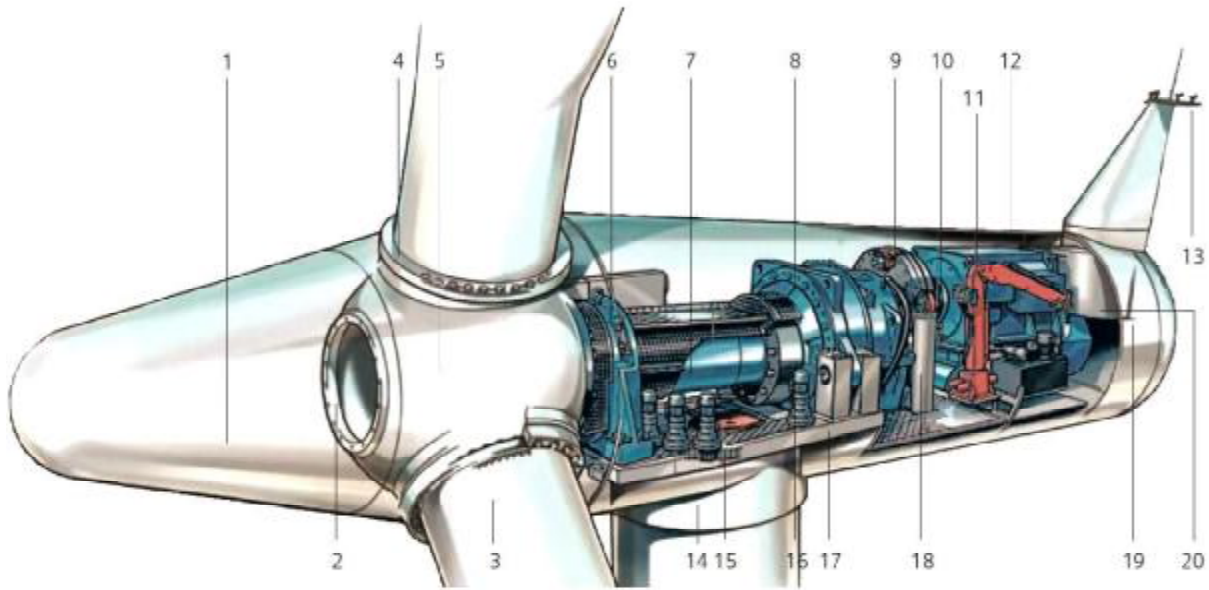
Επιπλέον, προβλήματα αντιμετωπίζονται και κατά τον προσανατολισμό του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου, ο οποίος επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση καθοδηγητικού πτερυγίου, είτε με κατάλληλα αισθητήρια που καταγράφουν τη στιγμιαία διεύθυνση του ανέμου και προσανατολίζουν ηλεκτρονικά με τη χρήση σερβομηχανισμού την πτερωτή στη διεύθυνση του ανέμου. Όμως και η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων καθώς και οι αυτοματισμοί που διαθέτουν τέτοια συστήματα που αφορούν την έναρξη και την παύση λειτουργίας της αιολικής μηχανής, θεωρούνται σημεία κατά την κατασκευή που απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των αιολικών μηχανών μελετώνται για την αντοχή τους. Ακόμα, η θεμελίωση που πρέπει να χρησιμοποιείται σε τέτοια συστήματα πραγματοποιείται μετά από μελέτη και λαμβάνοντας υπόψη παράγοντες όπως είναι το πεδίο ροής πίσω από τα πτερύγια αλλά και η επίδραση του περιβάλλοντος. Αυτοί οι παράγοντες καθορίζουν και το ύψος του δρομέα καθώς και την επιλογή του πύργου στήριξης (Κουμουντέλη&Λάζαρη, 2011 ; Τσούλης 2016).

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα αποτελούνται από συγκεκριμένα μέρη σύμφωνα με τις Κουμουντέλη και Λάζαρη (2011) και είναι τα ακόλουθα:

- **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.

Στην συνέχεια ακολουθεί σχηματική απεικόνιση των μερών μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα (σχήμα 9).



Σχήμα 9: Εσωτερική δομή μιας ανεμογεννήτριας

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 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 περιστροφής |
| 6. Κύριο ρουλεμάν | 16. Κινητήρας περιστροφής |
| 7. Κύρια κινητήρια άτρακτο (χαμηλές rpm) | 17. Έδρανο στήριξης ατράκτου |
| 8. Κιβώτιο ταχυτήτων | 18. Φίλτρα λαδιού |
| 9. Δισκόφρενο | 19. Κουβούκλιο |
| 10. Σύζευξη με γεννήτρια (υψηλές rpm) | 20. Ψύκτρα γεννήτριας |

[Πηγή: Δημητρακάκης, 2014]

Πραγματοποιώντας μια σύντομη περιγραφή της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας είναι σωστό να ξεκινήσει από την πλήμνη, η οποία είναι το μηχανικό εξάρτημα στο οποίο προσαρμόζονται τα πτερύγια και συνδέεται με τον άξονα χαμηλών στροφών. Ο άξονας αυτός είναι του ρότορα και έχει συνδετικό ρόλο αφού συνδέει την πλήμνη με το κιβώτιο ταχυτήτων. 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, η οποία υπό περιπτώσεις έχει την δυνατότητα να συνδέεται με έναν μετασχηματιστή με στόχο την κατάλληλη προσαρμογή της τάσης στο εκάστοτε δίκτυο. Επιπλέον, υπάρχει ένα ανεμόμετρο και ένας ανεμοδείκτης, τα οποία είναι όργανα μέτρησης της ταχύτητας και του προσδιορισμού της κατεύθυνσης του ανέμου αντίστοιχα (Δημητρακάκης, 2014).

2.4.2. Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

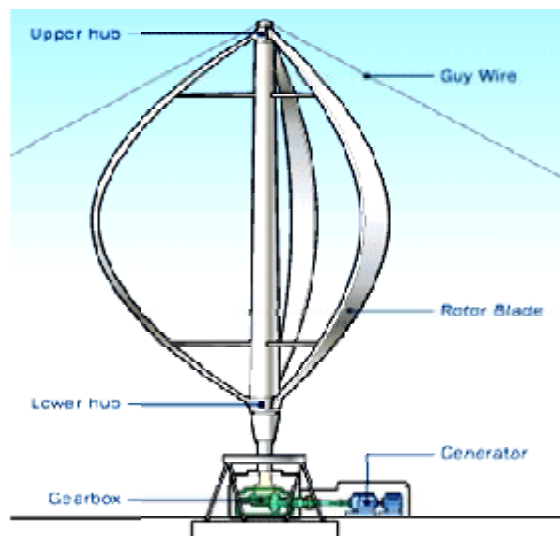
Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα έχουν πτερύγια τα οποία στρέφονται κατακόρυφα με τον σταθερό άξονα της κατασκευής. Οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται για την κατακόρυφη συμμετρία με συνέπεια να μην υπάρχει η επιτακτική ανάγκη να προσανατολιστεί ο δρομέας σύμφωνα με την διεύθυνση του

ανέμου. Επιπλέον, το μηχανικό έργο μεταφέρεται μέσω του κατακόρυφου άξονα στο έδαφος όπου είναι τοποθετημένο το σύστημα μετατροπής σε άλλη μορφή ενέργειας. Βασικό πλεονέκτημα των αιολικών μηχανών αυτού του τύπου είναι ότι θεωρητικά είναι απλές κατασκευές που βασίζονται σε ένα πλαίσιο στήριξης.

Ωστόσο, αυτού του τύπου αιολικές μηχανές έχουν κάποια βασικά μειονεκτήματα όπως ότι δεν υπάρχει περιστροφή από μόνη της, με αποτέλεσμα να απαιτείται κατάλληλος ηλεκτροκινητήρας. Αυτές οι αιολικές μηχανές χρησιμοποιούνται και κατασκευάζονται περισσότερο για ερευνητικούς λόγους και όχι για να ενταχθούν στην αγορά.

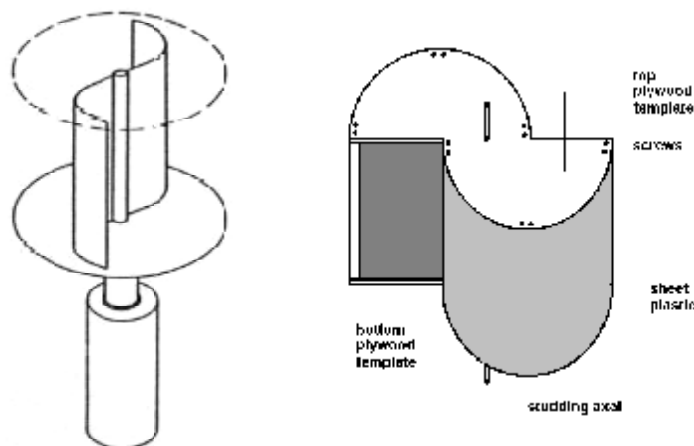
Πραγματοποιώντας μια σύντομη περιγραφή της λειτουργίας των κατακόρυφων αιολικών μηχανών, διακρίνεται η περιστροφή γύρω από τον κατακόρυφο άξονα που είναι κάθετος όχι μόνο στην διεύθυνση του ανέμου αλλά και στο έδαφος. Επιπλέον, το σύστημα μετάδοσης κίνησης τοποθετείται και αυτό κατακόρυφο και η λειτουργία του είναι πανομοιότυπη με αυτή του οριζοντίου άξονα. Ο δρομέας στηρίζεται σε κατάλληλο έδρανο στη βάση του, το οποίο ακόμα και σε σταθερή ταχύτητα ανέμου καταπονείται από εναλλασσόμενα φορτία.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αιολικές μηχανές αυτού του τύπου έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση, ανεξαρτησία ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής και σχετικά απλά συστήματα ελέγχου. Οι πιο διαδεδομένες ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα είναι οι Darrieus και χαρακτηρίζονται για τις υψηλές ταχύτητες εκκίνησης, όμως για τα μεγάλα συστήματα χρησιμοποιείται βοηθητικός κινητήρας για την εκκίνηση. Αν και θεωρούνται σχετικά οικονομικές συγκρινόμενες με του οριζοντίου άξονα παρέχουν χαμηλότερο μέσο ετήσιο συντελεστή ισχύος.



Σχήμα 10: Ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus
[Πηγή: <https://urjart.wordpress.com/>]

Άλλος ένας τύπος αιολικής μηχανής του κατακόρυφου άξονα είναι ο Savonius ο οποίος παρουσιάζει χαμηλό συντελεστή ισχύος, μικρή ακραία περιφερειακή ταχύτητα, περιορισμένο μέγεθος, αλλά και εξαιρετική απλότητα και οικονομικότητα κατασκευής. Αυτή η απλότητα καθώς και ότι δεν απαιτείται σύστημα προσανατολισμού για την διεύθυνση του ανέμου, αποτελούν βασικά κίνητρα για τη περαιτέρω μελέτη και βελτιστοποίηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών παρόμοιων μηχανών.



Σχήμα 11: Ανεμογεννήτρια τύπου Savonius
 [Πηγή: <https://urjart.wordpress.com/>]

Οι ανεμογεννήτριες τύπου Darrieus και Savonius διαθέτουν συγκεκριμένο μηχανισμό. Αρχικά κάθε ανεμογεννήτρια είτε κάθετου είτε οριζόντιου άξονα απαρτίζεται από πύργο, δρομέα, πτερύγια και γεννήτρια. Ωστόσο, αυτοί οι δύο τύποι ανεμογεννητριών σύμφωνα με τις Κουμουντέλη και Λάζαρη (2011) διαθέτουν και τα ακόλουθα:

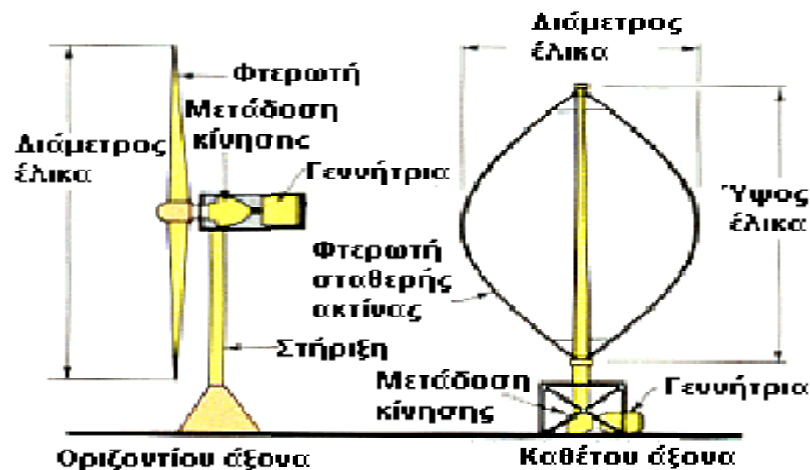
- **Ρυθμιστή τάσης:** με τον οποίο επιτυγχάνεται η σταθεροποίηση σε συγκεκριμένα όρια της παραγόμενης τάσης.
- **Συσσωρευτές (μπαταρίες):** για την αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην περίπτωση που οι γεννήτριες υποστηρίζουν αυτόνομα τα φορτία και δεν είναι συνδεδεμένες με το δίκτυο.

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 παράγει εναλλασσόμενη τάση και η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πρόκειται να αποταμιευθεί σε συσσωρευτές.

2.4.3. Σύγκριση ανεμογεννητριών οριζοντίου και κάθετου άξονα

Σε αυτό το εδάφιο θα πραγματοποιηθεί μια σύντομη σύγκριση των ανεμογεννητριών κάθετου και οριζόντιου άξονα (σχήμα 12).



Σχήμα 12: Απεικόνιση μερών ανεμογεννήτριας με οριζόντιο άξονα και ανεμογεννήτριας με κατακόρυφο άξονα
[Πηγή: Γκουντρουμάνης, 2012]

Σύμφωνα με τον Γκουντρουμάνη (2012) πραγματοποιείται η σύγκριση των ανεμογεννητριών οριζόντιου και καθέτου 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 οριζόντιου 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 οριζόντιου 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 οριζόντιου 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 οριζόντιου άξονα έχει μέση απόδοση 30%-40%. Συνεπώς, για να επιτύχει μια ανεμογεννήτρια κάθετου άξονα την ίδια περίπου παραγωγή με μια οριζόντιου 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 οριζόντιου 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

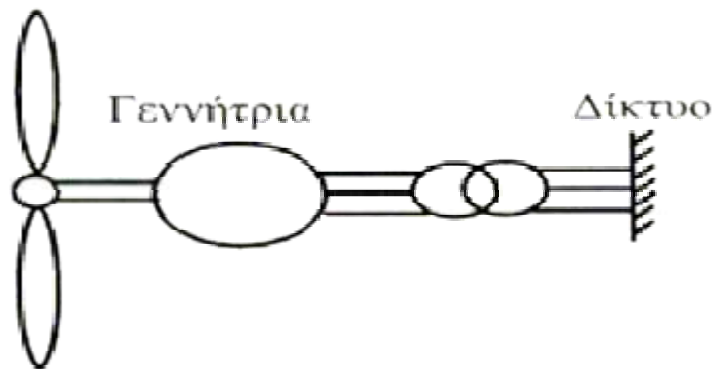
ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα, λόγω χαμηλότερων στροφών περιστροφής ανά λεπτό, χρειάζονται πιο ισχυρούς ανέμους για να ξεκινήσουν την φόρτιση των συσσωρευτών (με δεδομένο το ίδιο μοτέρ σε οριζόντιου άξονα ανεμογεννήτρια).

2.5. ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ

Ο διαχωρισμός των ανεμογεννητριών μπορεί να πραγματοποιηθεί με διάφορους τρόπους, ένας από αυτούς όπως προαναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου είναι σύμφωνα με τον τρόπο λειτουργίας και την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα. Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να είναι είτε σταθερής ταχύτητας (fixedspeed) είτε μεταβλητής ταχύτητας (variablespeed). Στην συνέχεια πραγματοποιείται η ανάλυση των προαναφερόμενων τύπων καθώς και των ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζουν κατά την λειτουργία τους.

2.5.1. Ανεμογεννήτριες σταθερής ταχύτητας

Το χαρακτηριστικό των ανεμογεννητριών με σταθερή ταχύτητα είναι ότι ο δρομέας στρέφεται με σταθερό αριθμό στροφών με συνέπεια να μην επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου όποια και αν είναι αυτή. Οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου συνδέονται με τον ίδιο τρόπο στο δίκτυο όπως κάθε γεννήτρια που τροφοδοτείται από συμβατικές πηγές ενέργειας, άρα η σύνδεση γίνεται απευθείας. Ωστόσο, απαιτείται ένας μετασχηματιστής προσαρμογής του επιπέδου τάσης της γεννήτριας στο σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (σχήμα 13)(Μαρούδας 2008; Γαρίνη, 2012).



Σχήμα 13: Αναπαράσταση ανεμογεννήτριας σταθερών στροφών
[Πηγή: Μαρούδας 2008]

Για την απευθείας σύνδεση απαιτείται η ανεμογεννήτρια να έχει συγκεκριμένη γωνιακή ταχύτητα. Ακόμα, η γεννήτρια που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι ασύγχρονη ή σύγχρονη. Στην περίπτωση των σύγχρονων γεννητριών ο αριθμός στροφών παραμένει σταθερός ενώ στην περίπτωση των ασύγχρονων υπάρχει κάποιο περιορισμένο εύρος μεταβολής των στροφών το οποίο επηρεάζεται από το

φορτίο (Γαρίνη, 2012). Σύμφωνα με τον Τσούλης (2016) 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 τις περισσότερες φορές χρησιμοποιούν ασύγχρονες γεννήτριες διότι θεωρούνται κατασκευαστικά πιο απλές και με μεγαλύτερη αξιοπιστία από τις σύγχρονες γεννήτριες. Ωστόσο, σημαντικό είναι η δυνατότητα της μεταβολής της γωνιακής ταχύτητας η οποία δεν ξεπερνά ένα μικρό εύρος τιμών λίγο πάνω από την σύγχρονη ταχύτητα. Η δυνατότητα αυτή εξομαλύνει τις διακυμάνσεις της ισχύος στην έξοδο της γεννήτριας καθώς και την καταπόνηση του μηχανικού συστήματος μεταφοράς. Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι οι ασύγχρονες γεννήτριες απορροφούν άεργο ισχύ, με συνέπεια να απαιτείται η τροφοδοσία τους συνδέοντας στους ακροδέκτες των τυλιγμάτων τους κατάλληλους πυκνωτές.

Στην περίπτωση που μια ανεμογεννήτρια αποτελείται από σύστημα σταθερών στροφών χαρακτηρίζεται από την απλότητα, την αξιοπιστία καθώς και τις μηδενικές ανάγκες για συντήρηση, με συνέπεια να είναι ένα σύστημα ανταγωνιστικό. Επιπλέον, στην περίπτωση που η μεταβαλλόμενη αεροδυναμική ροπή αποτελείται από αρμονικές συνιστώσες οι οποίες πλησιάζουν τις συχνότητες συντονισμού του μηχανικού συστήματος μετάδοσης της ισχύος, τότε δημιουργούνται έντονες ταλαντώσεις σε αυτό και στην ισχύ εξόδου της γεννήτριας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η μεταβλητότητα των ροπών και της ισχύος εξόδου, καθώς επίσης και οι ταλαντώσεις του μηχανικού συστήματος και η λειτουργία του δρομέα σε υποβέλτιστο αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος (Μαρούδας, 2008 ; Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011 ; Γαρίνη, 2012).

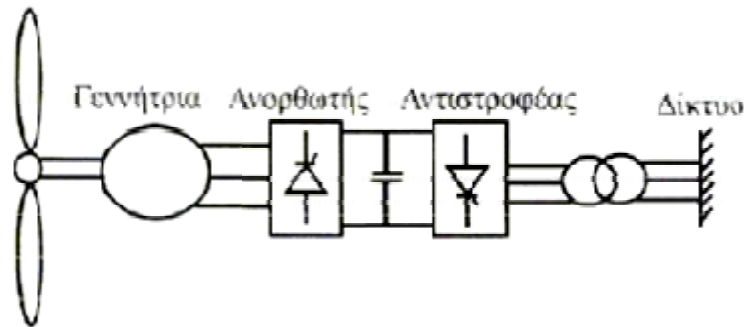
2.5.2. Ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας

Οι ανεμογεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας έχουν ως βασικό χαρακτηριστικό η ταχύτητα του δρομέα να μεταβάλλεται σύμφωνα με την ταχύτητα του ανέμου. Η σύνδεση με το δίκτυο σταθερής συχνότητας απαιτεί να χρησιμοποιηθεί ένας μετατροπέας συχνότητας για να υπάρχει η αποδέσμευση από τη σταθερή συχνότητα του δικτύου και να μπορεί να επιτευχθεί η μεταβολή της.

Η ανεμογεννήτρια αυτού του τύπου συνδέεται με μία γεννήτρια η οποία με τη σειρά της συνδέεται με ένα τριφασικό ανορθωτή ο οποίος μπορεί να είναι ελεγχόμενος ή μη. Ο ρόλος του ανορθωτή είναι η μετατροπή των εναλλασσόμενων ηλεκτρικών μεγεθών σε συνεχή. Στην συνέχεια υπάρχει ένα αντιστροφέας ο οποίος συνδέει το σύστημα με το δίκτυο όπου κάνει την αντίστροφη μετατροπή με τον ανορθωτή δηλαδή τα συνεχή ηλεκτρικά μεγέθη σε εναλλασσόμενα έχοντας πάντα την ίδια συχνότητα με το δίκτυο. Οι μετατροπείς αυτοί μπορούν να αποτελούνται από θυρίστορ ή από ημιαγωγικά στοιχεία ελεγχόμενης έναυσης και σβέσης, όπως θυρίστορ με πύλη σβέσης (GTO) ή τρανζίστορ μονωμένης πύλης (IGBT) (σχήμα 14).

Όταν υπάρχει σύστημα μεταβλητής ταχύτητας τότε δίνεται το πλεονέκτημα βελτιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης της μηχανής. Αυτό γίνεται γιατί αυξάνεται το ποσοστό εκμετάλλευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου ιδιαίτερα στις χαμηλές ταχύτητες. Ακόμα, μπορεί να ελεγχθεί η άεργος ισχύς που χρησιμοποιείται με την βοήθεια κατάλληλου μετατροπέα. Ένα ακόμα βασικό

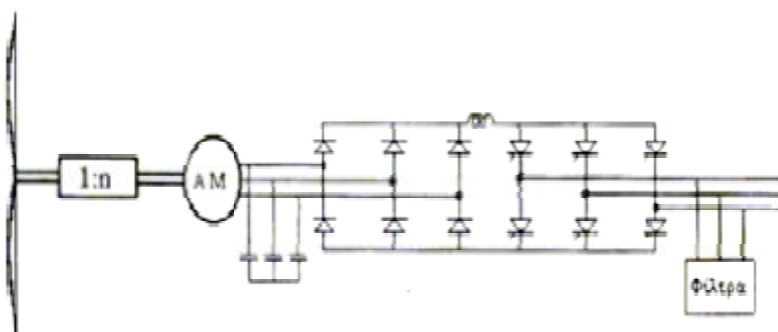
πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι δίνεται η δυνατότητα εξομάλυνσης της μεταβλητότητας των μηχανικών ροπών και απόσβεσης των συντονισμών του μηχανικού συστήματος μετάδοσης της κίνησης, με συνέπεια την μείωση των μηχανικών καταπονήσεων και αύξηση της διάρκειας ζωής του συστήματος.



Σχήμα 14: Αναπαράσταση ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητα
[Πηγή: Μαρούδας, 2008]

Ωστόσο, τα συστήματα μεταβλητής ταχύτητας παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα. Θεωρούνται συστήματα με αυξημένη πολυπλοκότητα, επειδή αποτελούνται από μετατροπέα συχνότητας καθώς και αυξημένου κόστους λόγω των προαναφερόμενων. Θα πρέπει να τονιστεί ότι με τον μετατροπέα πραγματοποιείται αύξηση των ανώτερων αρμονικών ταλαντώσεων που εισέρχονται στο δίκτυο, κάτι που κάνει αναγκαία την εγκατάσταση φίλτρων για τον περιορισμό τους (Γαρίνη, 2012 ; Τσούλης 2016).

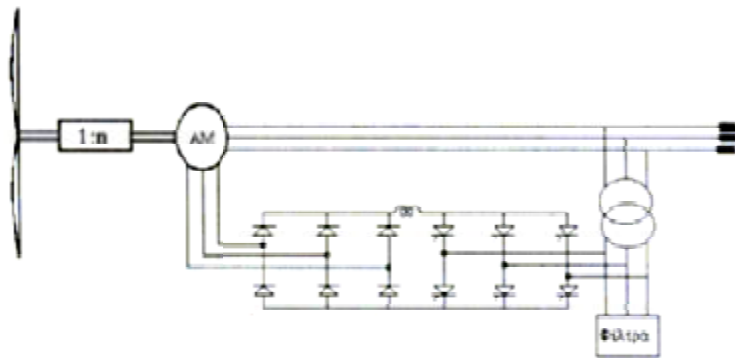
Μια απλή διάταξη ανεμογεννήτριας μεταβλητών στροφών με χρήση ασύγχρονης γεννήτριας αυτοδιεγείρεται μέσω συστοιχίας πυκνωτών (σχημα15). Οι μετατροπείς είναι ένας μη ελεγχόμενος ανορθωτής διόδων στους ακροδέκτες της μηχανής και μια εξαπαλμική γέφυρα με θυρίστορ που λειτουργεί ως αντιστροφείας. Ο ανορθωτής διόδων μετατρέπει την τάση των ακροδεκτών της γεννήτριας των μεταβαλλόμενων στοιχείων πλάτους και συχνότητας. Η συνεχής τάση από την πλευρά του αντιστροφεία ρυθμίζεται μέσω της γωνίας έναυσης των θυρίστορ. Η διαφορά των δύο τάσεων καθορίζει την τιμή του συνεχούς ρεύματος. Με την μεταβολή της γωνίας έναυσης των θυρίστορ, ρυθμίζεται η ροή ισχύος από την γεννήτρια στο δίκτυο για να ελέγχεται η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα (Μαρούδας,2008).



Σχήμα 15: Απλουστευμένη διάταξη ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητας
[Πηγή: Μαρούδας, 2008]

Στις μεγάλες ταχύτητες του ανέμου πραγματοποιείται περιορισμός της ισχύος ο οποίος γίνεται μέσω 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, ο οποίος δεν μπορεί να ελέγξει την τάση στη διασύνδεση συνεχούς ρεύματος, διότι αυξάνεται καθώς αυξάνονται οι στροφές της γεννήτριας. Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα γίνεται κατανοητό ότι απαιτούνται τρόποι για τον περιορισμό της ισχύος, η οποία πραγματοποιείται με διαμόρφωση της παλμοδότησης των ημιαγωγικών στοιχείων του αντιστροφέα. Ακόμα, για το δίκτυο απαιτούνται φίλτρα για να ελαχιστοποιηθούν οι αρμονικές ρεύματος που δημιουργούνται από τον αντιστροφέα, ο οποίος απορροφά και άεργο ισχύ από το δίκτυο (σχήμα 16).

Σύμφωνα με τον Μαρούδα (2008) 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. Η συνδεσμολογία (σχήμα 16) θεωρείται κατάλληλη για συστήματα μεγάλης ισχύος (MWatt).



Σχήμα 16: Απλουστευμένη διάταξη ανεμογεννήτριας μεταβλητής ταχύτητας που περιλαμβάνει μηελεγχόμενο ανορθωτή
[Πηγή: Μαρούδας, 2008]

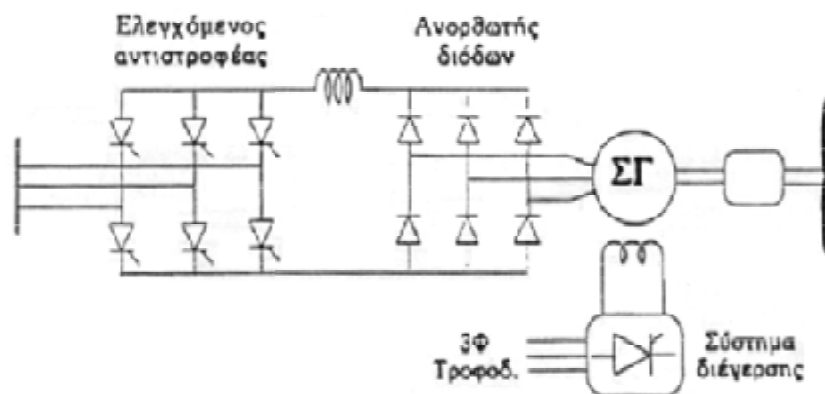
Τα προαναφερόμενα συστήματα χαρακτηρίζονται από υψηλό κόστος αλλά και από μεγάλες απαιτήσεις συντήρησης. Στον δρομέα τοποθετούνται ηλεκτρονικοί μετατροπείς, οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να διαχειρίζονται κάποιο τμήμα από την συνολική ισχύ εξόδου. Το ποσοστό αυτό της ισχύος καθορίζεται από το εύρος ολισθήσεων που επιθυμείται να λειτουργεί η μηχανή, γνωρίζοντας ότι υπάρχει μείωση της ονομαστικής ισχύος. Η χρήση των μετατροπέων κάνει αυτό το σύστημα αρκετά ελκυστικό και αξιόπιστο για εφαρμογές όπως η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες. Ωστόσο, διερευνούνται ακόμα και σήμερα τα προβλήματα του μικρού συντελεστή ισχύος, λόγω της αντικατάστασης του αντιστροφέα από θυρίστορ καθώς και της ύπαρξη αρμονικών.

Όταν υπάρχουν χαμηλές συχνότητες τότε υπάρχουν και ταλαντώσεις στην ηλεκτρική ροπή, διότι υπάρχουν παραμορφώσεις των ρευμάτων του δρομέα. Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη έμφαση κατά τον σχεδιασμό του συστήματος μεταφοράς ισχύος με στόχο την αποφυγή κάποιου συντονισμού.

Όμως στην διάταξη αυτή μπορούν να πραγματοποιηθούν και κάποιες παραλλαγές όπως της ελεγχόμενης ανορθωτή με θυρίστορ αντί για τον ανορθωτή

διόδων ή σύστημα διπλών μετατροπέντων PWM. Το σύστημα διπλών μετατροπέντων PWM θεωρείται από τα καλύτερα διότι υπάρχει η δυνατότητα να απαλείφουν τα προβλήματα των αρμονικών έχοντας ως βασικό πλεονέκτημα το μειωμένο μέγεθος των μετατροπέντων. Η χρήση μιας σύγχρονης μηχανής για γεννήτρια δεν απαιτεί πυκνωτές αλλά έχει μεγάλο κόστος.

Στην συνέχεια απεικονίζεται (σχήμα 17) μια διαφορετική διαμόρφωση με χρήση σύγχρονης γεννήτριας στην οποία χρησιμοποιείται και ανορθωτής και αντιστροφέας με θυρίστρος. Με αυτή την διάταξη μπορεί να γίνει η αντιστροφή της ροής ισχύος για επιτάχυνση της ανεμογεννήτριας κατά την εκκίνηση. Το συνεχές ρεύμα ελέγχεται μέσω της γωνίας έναυσης των ηλεκτρονικών στοιχείων του αντιστροφέα. Έτσι γίνεται ρύθμιση της ροής ισχύος από την ανεμογεννήτρια στο δίκτυο, με στόχο να μεταβάλλεται η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα κατά τον επιθυμητό τρόπο. Η συμπεριφορά αυτού του συστήματος από την πλευρά του δικτύου δεν είναι καλή όπως και με τις προηγούμενες περιπτώσεις που αναλύθηκαν και ο λόγος είναι πάλι λόγω των αρμονικών που εισάγει ο αντιστροφέας (Μαρούδας 2008 ; Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011).



Σχήμα 17: Διαμόρφωση σύγχρονης γεννήτριας που περιλαμβάνει ανορθωτή και αντιστροφέα

[Πηγή: Μαρούδας, 2008]

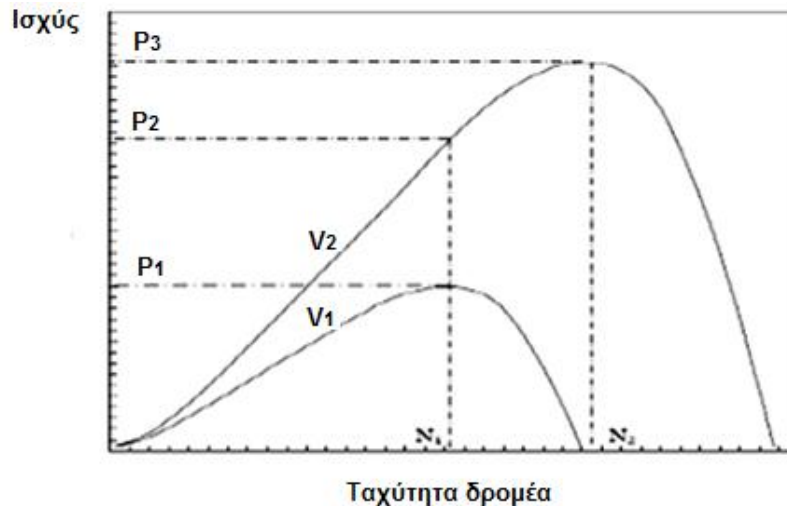
2.5.3. Σύγκριση ανεμογεννητριών σταθερών και μεταβλητών στροφών

Για την επιλογή του κατάλληλου τύπου ανεμογεννήτριας απαιτείται σύγκριση. Για την περίπτωση των σταθερών ή των μεταβλητών στροφών σύμφωνα με τα προαναφερόμενα παρατηρείται ότι το πρώτο σύστημα θεωρείται αρκετά απλό ιδιαίτερα το κατασκευαστικό τμήμα του με συνέπεια και το χαμηλότερο κόστος. Όμως η μη δυνατότητα να ακολουθήσει την ταχύτητα του ανέμου μειώνει την αποδοτικότητα του συγκρινόμενο με το σύστημα μεταβλητών στροφών.

Όπως αναλύθηκε και στο πρώτο κεφάλαιο μια αιολική μηχανή έχει έναν μέγιστο συντελεστή ισχύος (C_p), ο οποίος καθορίζεται από τον κατασκευαστή (μηχανική ισχύς) και από την αιολική ισχύ του ανέμου. Άρα, γίνεται κατανοητό ότι ο μέγιστος συντελεστής ισχύος για αιολικές μηχανές σταθερών στροφών μπορεί να επιτευχθεί σε συγκεκριμένη ταχύτητα του ανέμου. Για αιολικές μηχανές μεταβλητής ταχύτητας η μέγιστη τιμή του συντελεστή ισχύος εξαρτάται από την μεταβολή της ταχύτητας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω δίνεται το διάγραμμα 3 όπου παρατηρείται για ταχύτητα ανέμου V_1 η αιολική μηχανή έχει ταχύτητα στροφών N_1 και μπορεί να παράγει ισχύ P_1 . Σε αυτές τις συνθήκες η αιολική μηχανή λειτουργεί με τον μέγιστο συντελεστή ισχύος. Στην περίπτωση όμως που μεταβληθεί η ταχύτητα από V_1 σε V_2 , η ισχύς που παράγεται μεταβάλλεται σε P_2 τονίζοντας ότι η ταχύτητα στροφών παραμένει σταθερή N_1 με συνέπεια να μειώνεται ο συντελεστής ισχύος.

Συμπερασματικά λοιπόν, η μέγιστη ισχύς P_3 που παράγεται από το δρομέα για ταχύτητα ανέμου V_2 δεν χρησιμοποιείται πλήρως από το σύστημα. Αν το σύστημα ήταν μεταβλητών στροφών τότε για να παραγάγει ισχύ P_3 θα λειτουργούσε με ταχύτητα στροφών N_2 για ταχύτητα ανέμου V_2 .



Διάγραμμα 3: Ισχύς αιολικού κινητήρα συναρτήσει ταχύτητας δρομέα σε δύο διαφορετικές ταχύτητες ανέμου
[Πηγή: Γκουντρουμάνης, 2012]

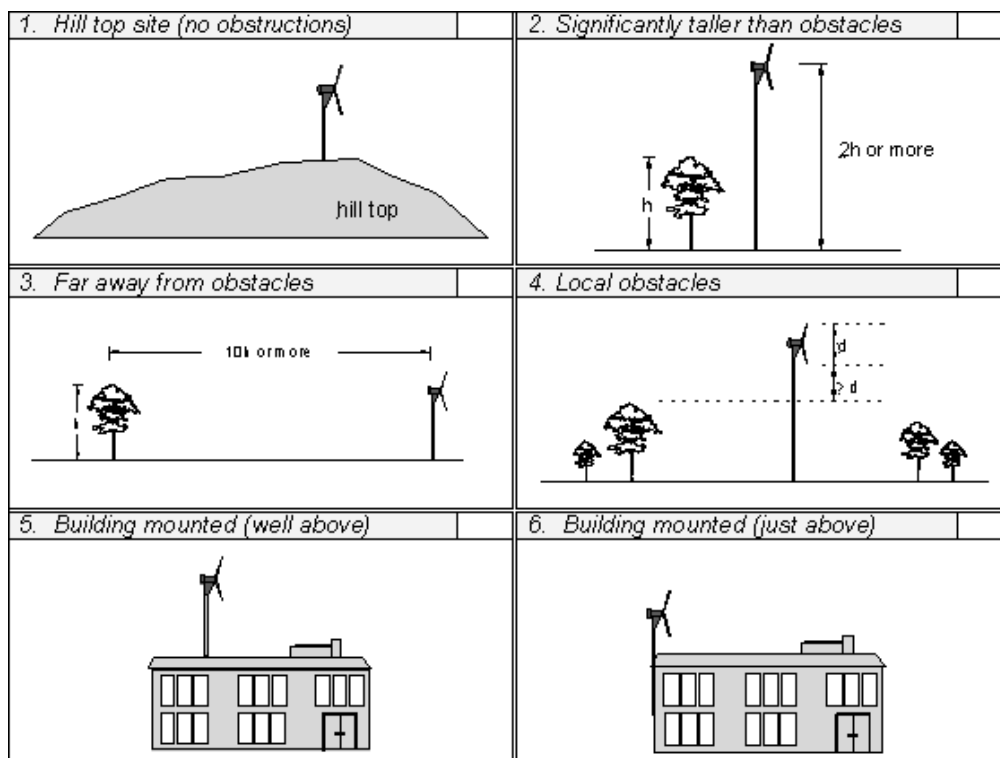
Σύμφωνα με τα παραπάνω η λειτουργία με μεταβλητές στροφές επιτρέπει στην αιολική μηχανή να λειτουργεί με τον μέγιστο συντελεστή ισχύος δίνοντας την μέγιστη απόδοση και έχοντας την δυνατότητα λειτουργίας σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων ανέμου. Έτσι μπορεί να γίνει η μέγιστη εκμετάλλευση ενέργειας ιδιαίτερα σε τοποθεσίες που παρουσιάζουν μεγάλο αιολικό δυναμικό. Υπάρχουν περιοχές που η ενέργεια μπορεί να είναι μεγαλύτερη σε ποσοστό που κυμαίνεται από 8% έως 15% (Γκουντρουμάνης, 2012)

3. ΘΕΣΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τοποθέτηση μιας αιολικής μηχανής πραγματοποιείται μελετώντας παραμέτρους και τηρώντας πάντα το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα πραγματοποιηθεί ανάλυση της διαδικασίας εγκατάστασης και τοποθέτησης μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος αφού όπως έχουμε προαναφέρει χρησιμοποιείται με στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας μονοκατοικίας.

Ο αρχικός στόχος για την τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας είναι η εύρεση του σημείου όπου θα δίνεται ο μέγιστος συντελεστής ισχύος ή βέλτιστος βαθμός απόδοσης, δίνοντας την δυνατότητα εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Ωστόσο, η επιλογή της θέσης εγκατάστασης δεν εξαρτάται μόνο από το βέλτιστο σημείο αλλά και από παράγοντες όπως η αισθητική ρύπανση που μπορεί να προκαλείται, γεωγραφικά και εδαφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής κ.ά.. Άρα γίνεται κατανοητό ότι η τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας δεν θεωρείται απλή αφού θα πρέπει να τηρεί συγκεκριμένες προϋποθέσεις και προδιαγραφές (Χριστόδουλος, 2010).



Σχήμα 18: Επιλογή θέσης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της περιοχής

[Πηγή: <http://www.greencollarjobtraining-free.com/>]

Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα αναπτυχθούν οι προϋποθέσεις και παράμετροι που απαιτούνται καθώς επίσης και η διαδικασία αδειοδότησης μιας ανεμογεννήτριας. Επιπλέον, θα δοθεί έμφαση στο αιολικό δυναμικό της Ελλάδας και ποιες περιοχές θεωρούνται κατάλληλες για την τοποθέτηση είτε ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών οικιών ή βιομηχανιών είτε ολόκληρου αιολικού πάρκου.

3.2. ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Για την τοποθέτηση – εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος υπάρχουν κάποιες προϋποθέσεις όπως η περιοχή που θα εγκατασταθεί να είναι προσπελάσιμη ή να υπάρχουν κάποιοι συγκοινωνιακοί κόμβοι διότι η μεταφορά των ανεμογεννητριών πραγματοποιείται με συνήθη μεταφορικά μέσα και τις περισσότερες φορές απαιτούνται οχήματα βαρέως τύπου. Επιπλέον, θα πρέπει να τοποθετείται κοντά στο δίκτυο της ΔΕΗ με στόχο να μπορεί να συνδεθεί με το δίκτυο σε κάθε περίπτωση. Στην περίπτωση που μια περιοχή δεν έχει δίκτυο θα πρέπει να υπολογισθεί το σημείο που θα τοποθετηθούν κολώνες της ΔΕΗ. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ότι για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να δοθεί η συγκατάθεση του κοινωνικού συνόλου και να μηδενιστούν οι πιθανότητες να αλλοιώσει το περιβάλλον και να δημιουργήσει οπτική ρύπανση (Χριστόδουλος, 2010).

Όμως μέσα στις προϋποθέσεις είναι και η επιλογή της κατάλληλης θέσης σύμφωνα με το αιολικό δυναμικό της περιοχής, άρα απαιτείται η μελέτη των ανεμολογικών κριτηρίων που προϋποθέτει την επιλογή των ακολούθων (Τσούλης, 2016):

- 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

Άρα σύμφωνα με όσα αναλύθηκαν γίνεται κατανοητό ότι οι καλύτερες περιοχές για τοποθέτηση ανεμογεννήτριας είναι οι ορεινές περιοχές και εν μέρει κάπως απομακρυσμένες από τα αστικά κέντρα.

3.2.1. Βασικά βήματα επιλογής τοποθεσίας

Η επιλογή της θέσης εγκατάστασης θεωρείται μια πολύπλοκη και σύνθετη διαδικασία όπου πρέπει να συνυπολογιστούν διάφοροι παράγοντες με στόχο το βέλτιστο αποτέλεσμα. Τα βασικά βήματα για την επιλογή της τοποθέτησης της ανεμογεννήτριας είναι τα ακόλουθα (Πελοποννήσιος, 2013):

- Επιλέγεται η ευρύτερη περιοχή ενδιαφέροντος
- Εντοπίζονται υποψήφιας περιοχές, που διαθέτουν αιολικό δυναμικό υψηλής ποιότητας
- Επιλέγονται οι υποψήφιας θέσεις στις οποίες είναι δυνατή από τεχνικής πλευράς η εγκατάσταση αιολικών συστημάτων
- Επιλογή και επαλήθευση της τελικής θέσεως

Όμως η εύρεση και η αξιολόγηση της τελικής θέσης μιας εγκατάστασης μπορεί να πραγματοποιηθεί μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το οποίο κυμαίνεται από 18 έως 24 μήνες. Ο λόγος είναι ότι για την βέλτιστη θέση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας προτείνεται η χρήση πολυκριτηριακής μεθόδου αξιολόγησης των υποψήφιων περιοχών, όπου θα συμπληρώνονται και θα αναλύονται τα απαραίτητα στοιχεία και αποτελέσματα. Με αυτό τον τρόπο καταγράφονται οι παράμετροι που μπορούν να δημιουργούν κάποια προβλήματα και στην συνέχεια κατατάσσονται σύμφωνα με την σπουδαιότητά τους. Με την προαναφερόμενη διαδικασία και ακολουθώντας τα βήματα εκμηδενίζεται η πιθανότητα να τοποθετηθεί μια ανεμογεννήτρια σε λανθασμένη θέση (Πελοποννήσιος, 2013).

3.2.2. Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή τοποθεσίας

Μια περιοχή με έντονο αιολικό δυναμικό καθ' όλη της διάρκειας του έτους δεν θεωρείται οπωσδήποτε κατάλληλη για τοποθέτηση ανεμογεννήτριας. Υπάρχουν παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την εκπόνηση μιας μελέτης εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού με την χρήση ανεμογεννήτριας και την επιλογή της καταλληλότερης θέσης εγκατάστασης. Για την βέλτιστη λοιπόν επιλογή της θέσης εγκατάστασης θα πρέπει να μελετηθούν οι παρακάτω παράμετροι (Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011; Πελοποννήσιος, 2013):

1) Οικονομική αξία

Η χρήση των συστημάτων για την εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με στόχο την μείωση του κόστους της. Συνέπεια αυτού ο πρωταρχικός στόχος πριν την τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας είναι ο έλεγχος για την οικονομική βιωσιμότητα. Με το αντίστοιχο αποτέλεσμα γίνεται αποδεκτή η απορρίπτεται η πρόταση για εγκατάσταση ενός συστήματος εκμετάλλευσης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Μια αιολική μηχανή όπως η ανεμογεννήτρια έχει την δυνατότητα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια μόνο στην περίπτωση που της παρέχεται ο άνεμος. Η ενέργεια που παράγεται έχει σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου και την μείωση του κόστους σε περίπτωση που γινόταν χρήση συμβατικού καυσίμου. Ωστόσο, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας παρουσιάζει διακυμάνσεις ανάλογα με την ώρα, την ημέρα, τον μήνα, την εποχή και το έτος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα για την σωστή κρίση της βιωσιμότητας μιας θέσης ανεμογεννήτριας, απαιτούνται πληροφορίες που θα αποδεικνύουν το μέγεθος και τις διακυμάνσεις του ανέμου μέσα σε ένα έτος.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το κόστος της εγκατάστασης μειώνεται αισθητά ιδιαίτερα στην περίπτωση που η θέση βρίσκεται κοντά σε δρόμους και γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

2) Περιβαλλοντικές επιδράσεις

Οι ανεμογεννήτριες σύμφωνα με τις μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί παρουσιάζουν πολύ μικρές περιβαλλοντικές περιπτώσεις, κάποιες από αυτές είναι η *οπτικοαισθητική επίδραση* που παρουσιάζεται σε περιοχές που δεν έχουν μεγάλο ελεύθερο χώρο με συνέπεια να δημιουργείται μια αρνητική οπτική εντύπωση. Σε αντίθετη περίπτωση η ανεμογεννήτρια μπορεί να περάσει σχεδόν απαρατήρητη. Μία ακόμα επίδραση είναι η *ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση* όπου η ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια της πτερωτής δημιουργούν το πρόβλημα της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης. Για την αποφυγή

των περιβαλλοντικών επιπτώσεων απαιτείται να ακολουθούνται οι κανονισμοί και οι περιορισμοί που έχουν δημιουργηθεί από το νομοθετικό πλαίσιο. Τονίζεται ότι οι νόμοι αυτοί μπορεί να είναι σχετικοί με την προστασία του περιβάλλοντος, με την προστασία ιστορικών μνημείων και άλλων αρχαιολογικών χώρων.

3) Μετεωρολογικά προβλήματα

Οι μετεωρολογικές συνθήκες μιας περιοχής παίζουν σημαντικό ρόλο για την επιλογή της θέσης εγκατάστασης μιας αιολικής μηχανής. Αν σε κάποια περιοχή επικρατούν συχνά ακραία μετεωρολογικά φαινόμενα τότε υπάρχουν μεγάλες πιθανότητες να δημιουργούνται ζημίες στην κατασκευή. Οι ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες που μελετώνται συνήθως είναι ο παγετός ο οποίος μπορεί να δημιουργήσει πολλά προβλήματα στην λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας. Ο πάγος μπορεί να επικαθίσει στην αιολική μηχανή με συνέπεια να αυξηθούν τα στατικά και δυναμικά φορτία. Όμως δεν είναι μόνο αυτό το αρνητικό που δημιουργείται διότι ο πάγος (μεγαλύτερη ποσότητα) πάνω στα πτερύγια μπορεί να εκτοξευτεί κατά την περιστροφή με συνέπεια να γίνεται επικίνδυνος.

Σε περιπτώσεις παγετού θεωρείται σωστό η ανεμογεννήτρια να μην λειτουργεί με συνέπεια αυτό να έχει σοβαρές επιπτώσεις στην παραγωγή ενέργειας και ιδιαίτερα σε περιοχές που παρουσιάζονται συχνά αυτά τα καιρικά φαινόμενα. Άρα η θέση και η εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας θα πρέπει να ελέγχεται και να εγκρίνεται και από έναν μετεωρολόγο με στόχο την ενημέρωση για την εμφάνιση τέτοιων φαινομένων. Τονίζεται ότι θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση αιολικών μηχανών σε περιοχές με έντονες χιονοπτώσεις, γιατί αυξάνεται σημαντικά το κόστος λειτουργίας και συντήρησης της ανεμογεννήτριας, ιδιαίτερα όταν η περιοχή απομονώνεται συχνά από τα χιόνια.

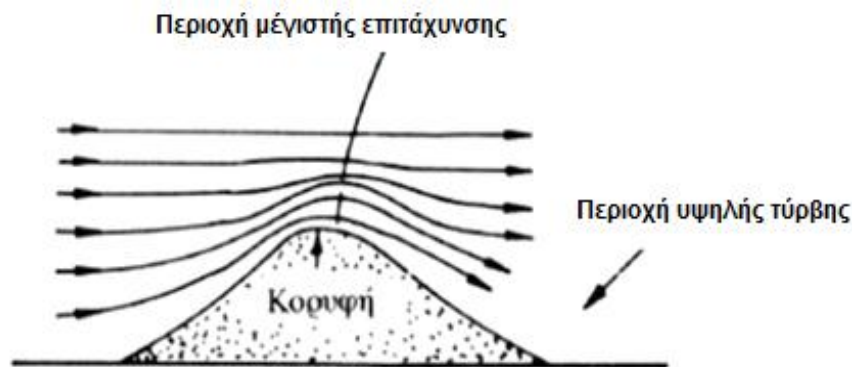
Όπως έχει προαναφερθεί, το αιολικό δυναμικό παίζει σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ενέργειας, όταν όμως αυτό χαρακτηρίζεται από υπερβολικά ισχυρούς ανέμους η ανεμογεννήτρια δεν δύναται να λειτουργήσει με συνέπεια να σταματά. Επιπλέον, σε περιοχές που χαρακτηρίζονται από ισχυρούς ανέμους απαιτείται ειδικός σχεδιασμός με στόχο να αντέχει μεγάλα φορτία στα πτερύγια της. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι με την επιλογή της θέσης εγκατάστασης θα πρέπει να επιλέγεται και ο κατάλληλος τύπος ανεμογεννήτριας με στόχο να αντέχει τα αντίστοιχα καιρικά φαινόμενα.



Εικόνα 8: Τα ακραία καιρικά φαινόμενα επηρεάζουν αρνητικά την λειτουργία της ανεμογεννήτριας α) παγετός β) ισχυροί άνεμοι σε ανεμογεννήτρια

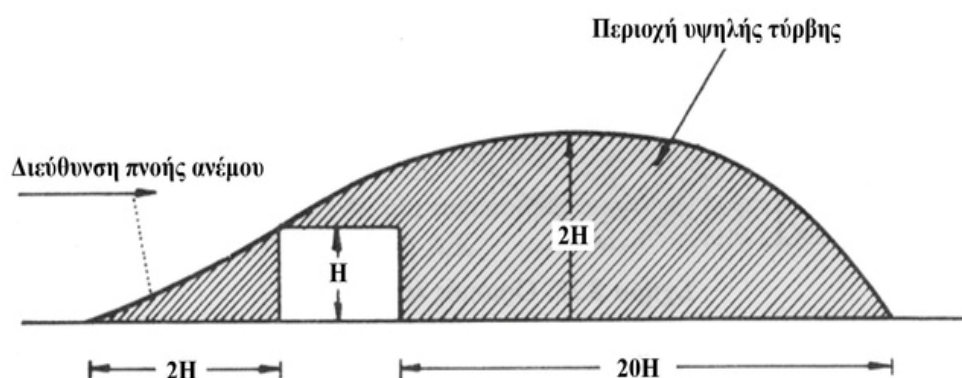
[Πηγή: <http://hdimagelib.com>]

Ακόμα ένα πρόβλημα είναι η τύρβη που μπορεί να δημιουργείται. Συμφώνα με τον Πελοποννήσιο (2013) 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 19).



Σχήμα 19: Απεικόνιση περιοχών ανάπτυξης τύρβης
[Πηγή: Πελοποννήσιος, 2013]

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι διαφορές δεν μπορούν να αποσαφηνιστούν εύκολα διότι υπάρχουν ελάχιστες διαφορές. Σύμφωνα με τις πειραματικές μελέτες οι μετρήσεις λαμβάνονται πάνω σε επίπεδο έδαφος για τον λόγο ότι μπορεί να περιγραφεί η ροή με απλούστερα. Ωστόσο, σε περίπτωση που 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. Οι παράμετροι αυτές απαιτούν εμπειρία για τις συνθήκες λειτουργίας διαφόρων τύπων ανεμογεννητριών σε διαφορές κλιματολογικές και εδαφολογικές συνθήκες. Τονίζεται ότι μέχρι σήμερα προτείνεται να τοποθετούνται ανεμογεννήτριες σε θέσεις με χαμηλά επίπεδα τύρβης.



Σχήμα 20: Η επίδραση ενός εμποδίου στη ροή του ανέμου
[Πηγή: <http://www.aiolikigi.gr/>]

4) Αιωρούμενα υλικά

Με την έκφραση αιωρούμενα υλικά εννοείται ότι από τον αέρα μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς κάποιων υλικών. Στην περίπτωση που η ανεμογεννήτρια μπορεί να τοποθετηθεί σε παραθαλάσσια περιοχή τότε ο άνεμος περιέχει άλατα με συνέπεια να απαιτείται η απαραίτητη προστασία για την αποφυγή διάβρωσης (σκουριάσματος) κάποιων τμημάτων της αιολικής μηχανής. Στην περίπτωση που η ανεμογεννήτρια προορίζεται να τοποθετηθεί σε άγρονη περιοχή τότε υπάρχει πιθανότητα ο αέρας να μεταφέρει σκόνη, άμμο, ψιλό χαλίκι κ.ά. με συνέπεια τα υλικά αυτά να προκαλέσουν ζημιές στα πτερύγια και γενικά στα τμήματα της ανεμογεννήτριας. Για τις προαναφερόμενες συνθήκες λειτουργίας απαιτείται η καλή συντήρηση της ανεμογεννήτριας καθώς και να ληφθούν κάποια μέτρα με στόχο την αποφυγή των διαβρώσεων της. Αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους.

5) Σταθερότητα ανέμων

Ο άνεμος παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις στην ταχύτητα κατά την διάρκεια του έτους, με συνέπεια να επηρεάζεται άμεσα η λειτουργία της μηχανής καθώς επίσης και η διάρκεια ζωής της. Ωστόσο, μια αιολική μηχανή επηρεάζεται αρνητικά και από τις αλλαγές που παρουσιάζει η κατεύθυνση του ανέμου. Σύμφωνα με της πειραματικές μελέτες της NASA πάνω στο μοντέλο ανεμογεννήτριας Clayton MOD-OA έδειξε ότι με την περιστροφή της μηχανής γύρω από τον κατακόρυφο άξονά της (yawing), με στόχο να ακολουθηθεί η διεύθυνση του ανέμου με επιτυχία πάνω στη μηχανή αναπτυσσόταν σημαντικά φορτία στα πτερύγια της. Άρα σύμφωνα με τα παραπάνω όταν μια αιολική μηχανή τοποθετείται σε μια θέση όπου παρουσιάζονται συχνές μεταβολές της διεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου θα έχει δυσμενέστερη λειτουργεί σε με μια αιολική μηχανή σε μια τοποθεσία με πιο σταθερά τα χαρακτηριστικά του ανέμου.

Επιπλέον, σε αυτό που πρέπει να δίνεται έμφαση είναι η μεταβλητότητα των αιολικών χαρακτηριστικών από έτος σε έτος, οι οποίες τις περισσότερες φορές είναι μικρότερες από τις ημερήσιες ή εποχιακές διακυμάνσεις εντός του έτους. Ωστόσο, αυτή η μεταβλητότητα επηρεάζει το μέσο όρος του κόστους της παραγόμενης ενέργειας μέσα στην διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας (20-30 έτη). Αποτέλεσμα αυτού είναι η επικινδυνότητα που παρουσιάζεται για την επιλογή της τοποθεσίας αφού απαιτείται περιοχή με τις μικρότερες μεταβολές στα αιολικά χαρακτηριστικά.

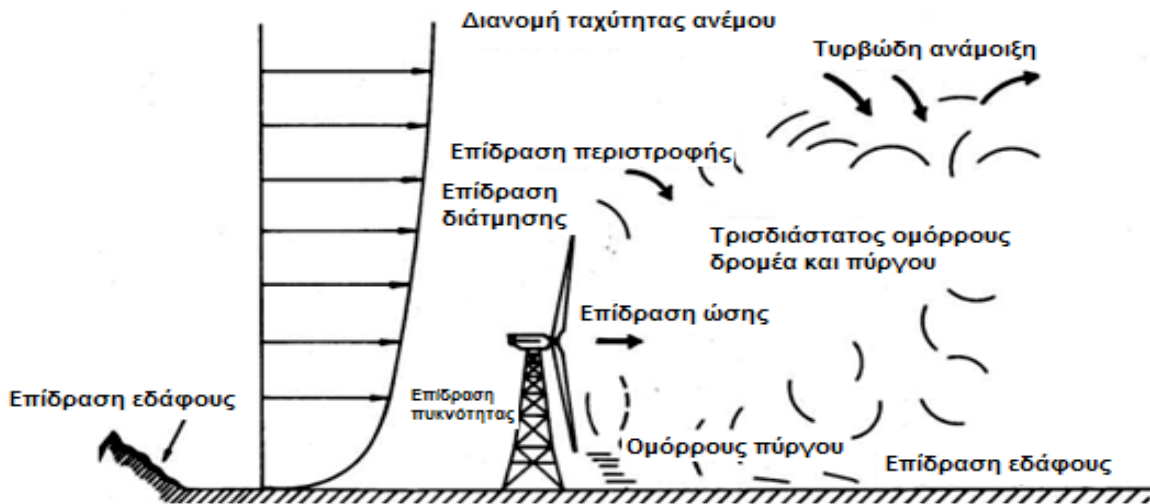
6) Τοπογραφικό ανάγλυφο περιοχής

Το πεδίο ταχύτητας που λαμβάνει μια αιολική μηχανή επηρεάζεται από παράγοντες όπως η τραχύτητα του εδάφους, τα εμπόδια που υπάρχουν στην περιοχή καθώς επίσης και από τις εδαφολογικές ιδιομορφίες της περιοχής. Η σωστή θέση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας θα πρέπει να πραγματοποιείται αφού υπάρξει μελέτη τοπογραφικού ανάγλυφου της περιοχής είτε υπό κλίμακα σε αεροδυναμική σήραγγα είτε με τη χρήση αριθμητικών μεθόδων ανάλυσης του πεδίου ροής.

7) Διάταξη τοποθέτησης ανεμογεννητριών

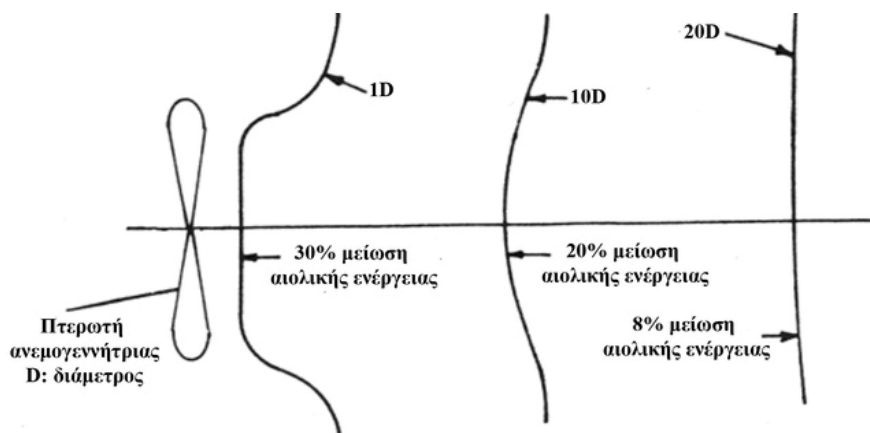
Για την επιλογή της επικρατούσας θέσης θα πρέπει να συνυπολογιστεί και η πιθανότητα στην ίδια περιοχή να τοποθετηθούν πάνω από μια ανεμογεννήτριες. Αυτό έχει σαν συνέπεια η διάταξη της τοποθέτησης των ανεμογεννητριών να παίζει καθοριστικό ρόλο αφού θα πρέπει να επιτυγχάνεται η μέγιστη ενεργειακή απόδοση και δεν θα πρέπει να επηρεάζεται η διεύθυνση του ανέμου από την διάταξη τους. Η

ενεργειακή απόδοση που παρουσιάζει μια ανεμογεννήτρια η οποία είναι μέλος ενός αιολικού πάρκου εξαρτάται άμεσα από το ρυθμό του ομόρρου καθώς και την ενέργεια του ομόρρου όταν φτάσει στην πίσω αιολική μηχανή. Η φύση της ροής του ομόρρου επηρεάζεται από την ώθηση που ασκείται από τη σαρωτή στο ρευστό. Ο ομόρρος δεν είναι αξονοσυμμετρικός στις αιολικές μηχανές τύπου οριζώντιου άξονα διότι υπάρχει ο πύργος (σχήμα 21).



Σχήμα 21: Απεικόνιση του πεδίου ροής όμορου
[Πηγή: Πελοποννήσιος, 2013]

Η ταχύτητα του ανέμου σε διαδοχικές σειρές ανεμογεννητριών παρουσιάζει φθίνουσα γεωμετρική πρόοδο (σχήμα 22). Όταν ο άνεμος προσπίπτει πάνω στην αιολική μηχανή τότε επιβραδύνεται με συνέπεια να δημιουργείται ένας ομόρρος χαμηλής ταχύτητας ο οποίος ανοίγει σταδιακά διότι υπάρχει συνεκτική και τυρβώδης ανάμιξη. Στην περίπτωση που ο αέρας αυτός συναντήσει μια δεύτερη αιολική μηχανή, χωρίς να έχει προλάβει να επανέρθει στα αρχικά επίπεδα πριν την πρόσπτωσή του στην πρώτη αιολική μηχανή, τότε η απόδοση της δεύτερης παρουσιάζει αισθητή μείωση. Σημειώνεται ότι η απόδοση της δεύτερης αιολικής μηχανής εξαρτάται άμεσα από τη θέση της ως προς την πρώτη αιολική μηχανή.



Σχήμα 22: Διανομή ταχυτήτων σε διάφορες αποστάσεις
[Πηγή: Πελοποννήσιος, 2013]

8) Αποδοχή αιολικών μηχανών από το κοινό

Η τοποθέτηση μιας αιολικής μηχανής εξαρτάται άμεσα από την κοινή γνώμη, αφού είναι απαραίτητο να συμφωνήσει αν επιθυμεί να τοποθετηθεί στην περιοχή και αν ακόμα είναι σύμφωνη με τα έργα εγκατάστασης που θα πραγματοποιηθούν για κάποιο χρονικό διάστημα. Επιπλέον, η τοποθέτηση μιας αιολικής μηχανής για να γίνει δεκτή σε μια περιοχή θα πρέπει να μην αλλοιώνει το τοπίο και να ταιριάζει στο σκηνικό γύρω από αυτήν.

Ωστόσο, η στάση του κοινού επηρεάζεται από την γνώμη που έχει για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας καθώς και τα οφέλη αυτών (οικονομικά κυρίως). Οι ανεμογεννήτριες είναι φιλικές προς το περιβάλλον αφού δεν το μολύνουν και χρησιμοποιούν ως πρώτη ύλη των άνεμο που είναι μια ανεξάντλητη πηγή. Με την χρήση των αιολικών μηχανών πραγματοποιείται άμεση εξοικονόμηση καυσίμου και ταυτόχρονη προστασία του περιβάλλοντος.

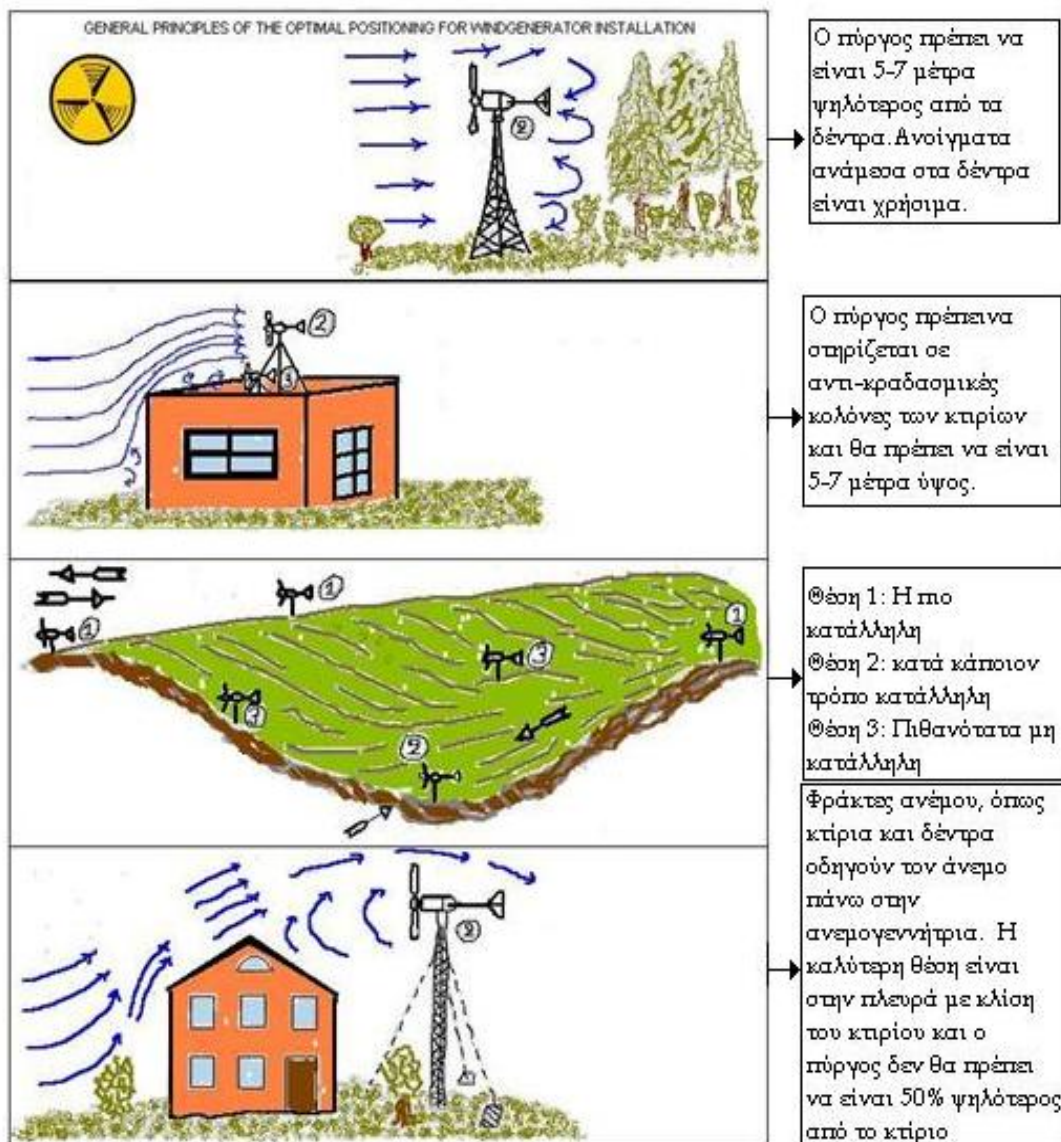
Σύμφωνα με τις οκτώ παραμέτρους που αναλύθηκαν γίνεται κατανοητό ότι θα πρέπει να μελετηθούν εξίσου με στόχο να βρεθεί η βέλτιστη θέση εγκατάστασης. Ωστόσο, σε κάθε περίπτωση όσο και αν μελετηθούν οι παράμετροι υπάρχει το ρίσκο της επιλεγμένης θέσης διότι τα μετεωρολογικά φαινόμενα βρίσκονται σε μία κατάσταση διαρκούς μεταβολής. Όσο και αν οι μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί με ιδιαίτερη προσοχή δίνοντας έμφαση στις μετρήσεις που έχουν ληφθεί και όσο κι αν ελέγχονται όλες οι παράμετροι, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής μπορεί να αλλάξουν ριζικά με συνέπεια να μην έχει επιλεγεί η «σωστή» θέση εγκατάστασης μιας αιολικής μηχανής (Τσούλης, 2016)

3.2.3. Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος στον Ελλαδικό χώρο

Η Ελλάδα είναι μια χώρα η οποία ξεχωρίζει για την γεωγραφική της θέση καθώς και για τα έντονα εδαφολογικά της στοιχεία με συνέπεια να έχει πολλά πλεονεκτήματα για την σωστή εκμετάλλευση του πλούσιου ηλιακού και αιολικού δυναμικού που παρουσιάζει. Λόγω της σύνθετης τοπογραφίας της δηλαδή τις μεγάλες υψομετρικές εναλλαγές, η Ελλάδα θεωρείται κατάλληλη για την εγκατάσταση αιολικών συστημάτων (Πελοποννήσιος, 2013).

Σύμφωνα με τον Καλδέλλη (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 (Καλδέλλης, 1999).

Στην Ελλάδα τα αιολικά συστήματα που επιλέγονται δεν είναι πολύ μεγάλα διότι αυτά δεν εκμεταλλεύονται πλήρως το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στην Ελλάδα η αιολική ενέργεια συλλέγεται σε περιοχές οι οποίες είναι πιο απομακρυσμένες από τα αστικά κέντρα με συνέπεια η δυνατότητα απορρόφησης της ηλεκτρικής ενέργειας από το ηλεκτρικό δίκτυο να είναι κάπως περιορισμένη. Αυτό έχει ως συνέπεια η οικονομία του χώρου να μην παίζει σημαντικό ρόλο, διότι η χωρητικότητα του δικτύου είναι μικρότερη από την αιολικά εκμεταλλεύσιμη έκταση (Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011).



Σχήμα 23: Γενικές αρχές για τη βέλτιστη τοποθέτηση εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας
 [Πηγή: Κουμουντέλη & Λάζαρη, 2011]

3.2.3.1. Μετρήσεις αιολικού δυναμικού για εγκατάσταση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν η τελική απόφαση για την τοποθέτηση μιας ανεμογεννήτριας δίνεται από το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό της περιοχής που θα εγκατασταθεί. Ο υπολογισμός του αιολικού δυναμικού δίνει την δυνατότητα εκτίμησης της παραγόμενης ενέργειας καθώς επίσης και τον υπολογισμό των εισροών από τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας. Οι αλλαγές στα καιρικά φαινόμενα και κυρίως οι ακραίες τιμές που εμφανίζονται στην ένταση του ανέμου, καθιστούν αναγκαίες τις μετρήσεις του αιολικού δυναμικού διότι είναι ένα βασικό εργαλείο που

χρησιμοποιείται για την σωστή σχεδίαση και εγκατάσταση μιας αιολικής μηχανής με στόχο την άριστη και ασφαλή λειτουργία της. Οι μετρήσεις που λαμβάνονται θα πρέπει να έχουν προδιαγραφές οι οποίες αρμόζουν για την εφαρμογή ανεμογεννητριών μικρής ισχύος με στόχο να δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης και σύγκρισης από διαφορετικό επενδυτή σε διαφορετική περιοχή.

Οι προδιαγραφές που προτείνονται σύμφωνα με τον Μακρή (2013) είναι οι ακόλουθες:

- 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.

Σύμφωνα με την Μακρή (2013) η βασική πληροφόρηση για το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής μπορεί να πραγματοποιηθεί από τα κάτωθι:

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

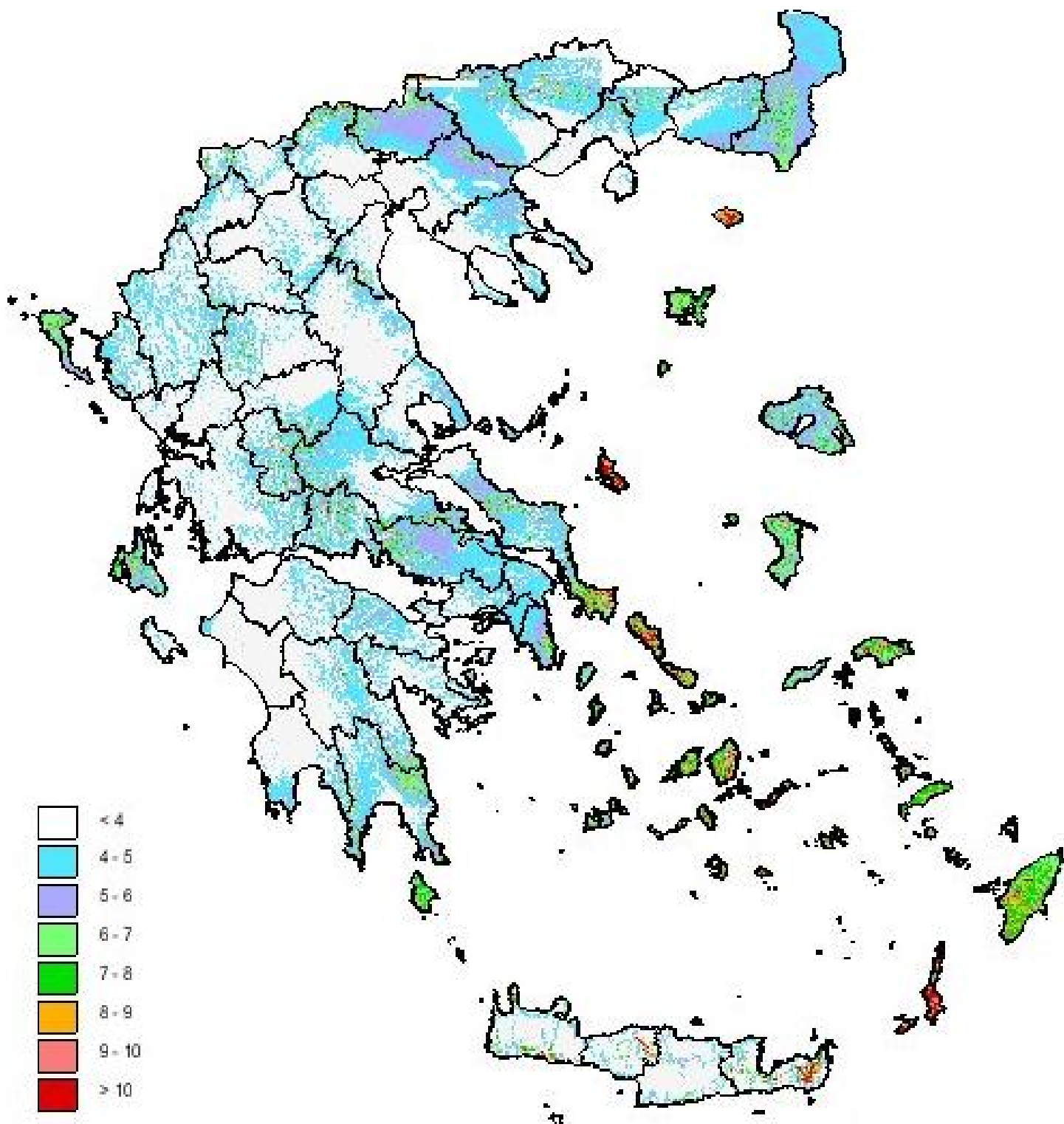
Η εκτίμηση της διαθεσιμότητας και της αξιοπιστίας των δεδομένων ή πληροφοριών γίνεται από τον ενδιαφερόμενο ο οποίος συμβουλευτεί εξειδικευμένο προμηθευτή. Θα πρέπει να ελέγχονται οι μετρήσεις που είδη υπάρχουν και να λαμβάνονται νέες στην θέση που θα εγκατασταθεί η αιολική μηχανή μικρής ισχύος (Μακρή, 2014).

Στην συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 3 που απεικονίζει την πρώτη εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, η οποία διαχωρίζεται σε κατηγορίες σύμφωνα με την ταχύτητα του ανέμου.

Πίνακας 3: Χαρακτηρισμός αιολικού δυναμικού σύμφωνα με την ταχύτητα του ανέμου

[Πηγή: 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 9: Χάρτης Αιολικού δυναμικού Ελλάδας
 [Πηγή: <http://www.ypeka.gr>]

Πίνακας 4: Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμων (10m από το έδαφος)
[Πηγή: Μπεργελές, 1995]

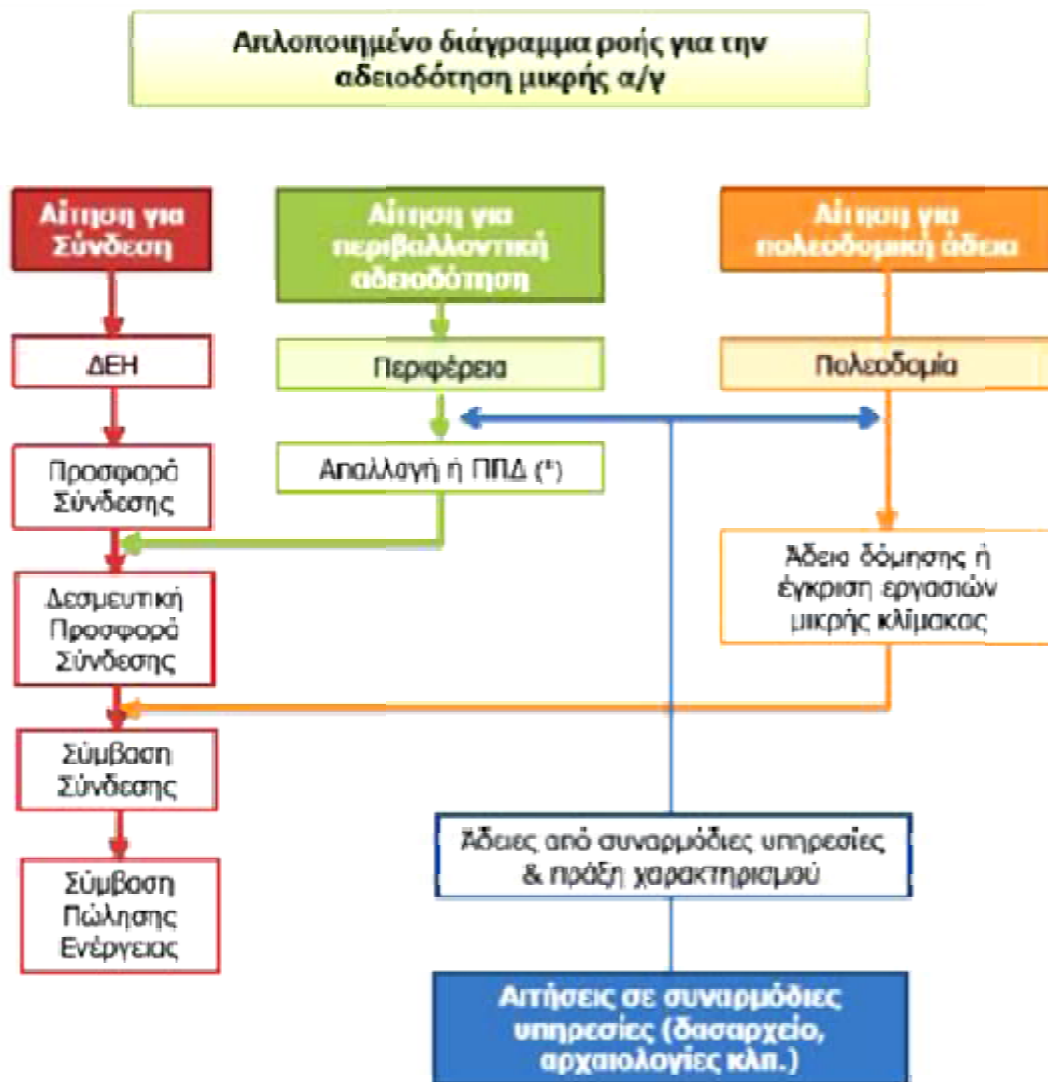
A/A	ΠΕΡΙΟΧΗ	U m/sec
1	Άνδρος	1.7
2	Τήνος	9.5
3	Μύκονος	10.8
4	Κρήτη	8.1
5	Λήμνος	8.1
6	Λέσβος	8.7
7	Χίος	8.1
8	Σάμος	10.4
9	Εύβοια	9.2
10	Κάρπαθος	9.6
11	Σκύρος	6.5
12	Σαμοθράκη	6.6

Στον πίνακα 4 καταγράφεται η μέση ετήσια ταχύτητα των ανέμων οι οποίες δόθηκαν κατά την χρονική περίοδο μεταξύ των ετών 1983 έως 1990. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο προαναφερόμενες μετρήσεις δεν θεωρούνται ακριβείς 100% διότι έχουν πραγματοποιηθεί από μετεωρολογικούς σταθμούς με συνέπεια να μην έχουν την κατάλληλη θέση για μέτρηση αιολικού δυναμικού (Μπεργελές, 1995).

3.3. ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΔΕΙΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΝΟΜΟΘΕΣΙΑΣ

Η εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος απαιτεί μια σειρά αιτήσεων όπως η σύνδεση της ανεμογεννήτριας στο δίκτυο, η περιβαλλοντική αδειοδότησή της καθώς και η πολεοδομική άδεια (Τσούλης, 2016). Ωστόσο, θα πρέπει να ακολουθηθούν συγκεκριμένα βήματα τα όποια απεικονίζονται στο σχήμα 24.

Οι ανεμογεννήτριες ισχύος μεγαλύτερης των 100 kW και γενικά οι αιολικές εγκαταστάσεις συνολικής ισχύος άνω των 100 kW υποχρεούνται να εκδώσουν άδεια παραγωγής καθώς και άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας. Σημειώνεται ότι κάθε αιολική εγκατάσταση συνολικής ισχύος έως 100 kW δεν έχει αντίστοιχη υποχρέωση. Δηλαδή δεν απαιτείται η πλήρωση των κριτηρίων αξιολόγησης για τη χορήγηση άδειας παραγωγής. Επιπλέον, στις παραπάνω περιπτώσεις δεν εκδίδεται καμία διοικητική πράξη.



Σχήμα 24: Απλοποιημένο διάγραμμα ροής για την αδειοδότηση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος
 [Πηγή: <http://www.aveco.gr/>]

3.4. ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Σε κάθε χώρα η τιμολόγηση της ενέργειας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Στην Ελλάδα η τιμολόγηση της ενέργειας που παράγεται από μικρές ανεμογεννήτριες διαμορφώνεται ως εξής (<http://www.desmie.gr/>):

- Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με εγκαταστάσεις ισχύος μικρότερης ή ίσης των 50 KW η τιμή είναι 250 €/MWh και η τιμή είναι ίδια για διασυνδεδεμένο δίκτυο και σύστημα και για μη διασυνδεδεμένα νησιά.
- Αιολική ενέργεια που αξιοποιείται με χερσαίες εγκαταστάσεις ισχύος μεγαλύτερης των 50 kW, η τιμή είναι 87.85 €/MWh για διασυνδεδεμένο δίκτυο και σύστημα και 99.45 €/ MWh για μη διασυνδεδεμένα νησιά.

Η σχετική διάταξη του νόμου δίνει τον τρόπο προσαρμογής των τιμών καθώς επίσης και κάποιες επιπλέον λεπτομέρειες. Σημειώνεται ότι κάθε διάταξη προβλέπει γενικά τον δείκτη αναπροσαρμογής σύμφωνα με τη μεσοσταθμική αναπροσαρμογή των τιμολογίων λιανικής της ΔΕΔΔΗΕ. Ακόμα, ο δείκτης αυτός εφαρμόζεται για όσο χρόνο τα τιμολόγια της ΔΕΔΔΗΕ καθορίζονται με υπουργική απόφαση.

Στην περίπτωση που σταματήσει η ΔΕΔΔΗΕ τότε τα τιμολόγια θα καθορίζονται ελεύθερα με στόχο την αναπροσαρμογή της τιμής πώλησης της ενέργειας από μικρές ανεμογεννήτριες, όπως και για τις λοιπές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εκτός των φωτοβολταϊκών συστημάτων, θα εφαρμόζεται το 80% του πληθωρισμού.

Για λόγους σύγκρισης, στη συνέχεια παρατίθεται η αντίστοιχη τιμολογιακή πολιτική της Αγγλίας η οποία έχει ως εξής (<http://www.desmie.gr/>):

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

3.5. ΤΡΟΠΟΙ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Οι ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών είτε μιας οικίας είτε ενός μικρού οικισμού. Στην ουσία χρησιμοποιούνται για ένα δίκτυο μικρής κλίμακας. Η σύνδεση μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος μπορεί να επιτευχθεί στον AC ζυγό ενός μικροδικτύου ή στον AC ζυγό του δικτύου χαμηλής τάσης (Hau, 2006).

Σύμφωνα όμως με τον Hau (2006) υπάρχει ακόμα ένας τρόπος σύνδεσης στο 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 έχει την δυνατότητα να συνδέει πολλές διαφορετικές πηγές καθώς και πολλά μέσα αποθήκευσης έχοντας ένα κοινό ζυγό AC. Οι πηγές ή συσσωρευτές ή ακόμα και συμπιεστές έχουν την δυνατότητα να βρίσκονται σε άλλες περιοχές αλλά να συνδέονται στον κοινό ζυγό. Ακόμα, οι απώλειες του συστήματος είναι λιγότερες από το DC σύστημα εφόσον λειτουργεί σε υψηλότερη τάση (Hau, 2006).

ΜΕΡΟΣ Β΄

**Μελέτη εγκατάστασης ανεμογεννήτριας
μικρής ισχύος**

4. ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

4.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται για οικιακή χρήση, δηλαδή για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας οικίας, είναι μικρής ισχύος και έχουν δυνατότητα μέγιστης δυναμικότητας έως και 20kWatt, διάμετρο δρομέα από 5 έως 8 m και μπορούν να τοποθετηθούν σε ύψος από 15 έως 35 m. Το βασικό πλεονέκτημα εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος είναι ο ελάχιστος χώρος που απαιτείται έχοντας όμως την δυνατότητα μέγιστης εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού της περιοχής, αφού τηρούνται οι βασικοί κανόνες η ταχύτητα του ανέμου να μην περιορίζεται από εμπόδια (κτήρια και δέντρα).

Η ανεμογεννήτρια μπορεί να καλύπτει τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας και αν υπάρχει κάποιο ποσοστό πλεονάζουσας ενέργειας τότε είτε παρέχεται (μεταφέρεται) στο ηλεκτρικό δίκτυο αφού αρχικά έχει γίνει η απαραίτητη συμφωνία με τον διαχειριστή του δικτύου με στόχο τις απαραίτητες απολαβές από την πρόσφορα της ενέργειας που παράγει η ανεμογεννήτρια, είτε την αποθηκεύει σε συσσωρευτές (μπαταρίες) ή συμπιεστές με στόχο να καλύψει ανάγκες της όταν δεν επαρκεί το αιολικό δυναμικό.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα πραγματοποιηθεί μελέτη και εγκατάσταση ανεμογεννήτριας με στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών οικίας η οποία είναι 100 m² και βρίσκεται στην Κάρπαθο και συγκεκριμένα βρίσκεται μεταξύ των χωριών Μεσοχώρι και Σποά. Η μελέτη θα πραγματοποιηθεί με το δεδομένο ότι δεν θα υπάρχει σύνδεση στο δίκτυο με συνέπεια να απαιτείται εξ' ολοκλήρου κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας από την ανεμογεννήτρια αλλά και η αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας. Ωστόσο, η επιλογή εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας απαιτεί αρχικά τον έλεγχο του αιολικού δυναμικού της Καρπάθου καθώς επίσης και αν δίνεται η δυνατότητα να τοποθετηθεί ανεμογεννήτρια στο συγκεκριμένο σημείο και κατ' επέκταση την μελέτη των ενεργειακών αναγκών της οικίας και την κάλυψη αυτών από την ανεμογεννήτρια.

4.2. ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

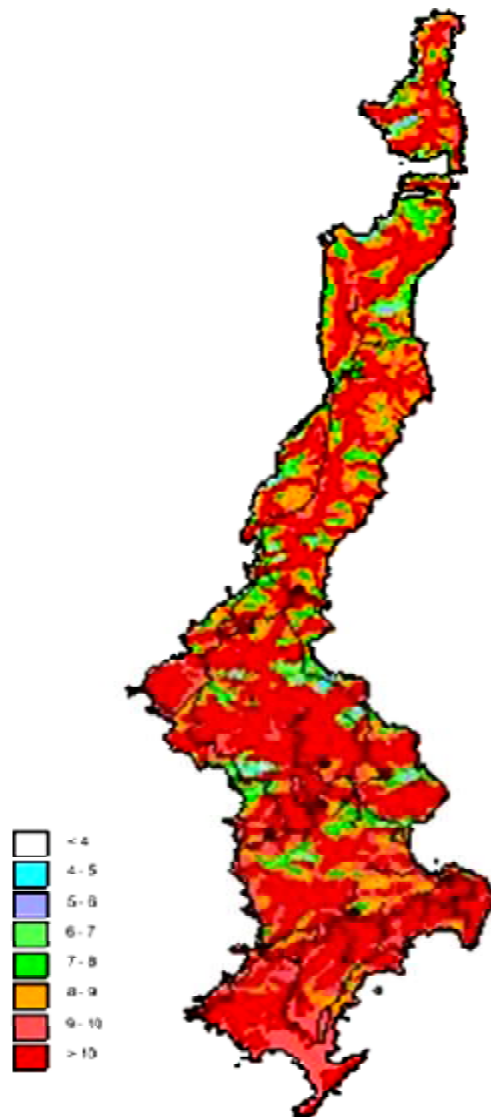
4.2.1. Αιολικό δυναμικό Καρπάθου

Η Ελλάδα όπως αναλύθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο χαρακτηρίζεται από το πλούσιο αιολικό δυναμικό της με συνέπεια να θεωρείται μια χώρα κατάλληλη για την χρήση αιολικών μηχανών. Τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα έχουν κατασκευαστεί αρκετά αιολικά πάρκα είτε χερσαία είτε θαλάσσια, όμως

τοποθετούνται και μεμονωμένες ανεμογεννήτριες με στόχο την κάλυψη ενεργειακών αναγκών μικρών συγκροτημάτων ή μόνο μιας οικίας ή βιομηχανιών.

Σύμφωνα με το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ, 2017) και το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ, 2015) δίνονται συγκεκριμένα αποτελέσματα για κάθε γεωγραφικό διαμέρισμα της Ελλάδας και κατ' επέκταση για κάθε νομό της Ελλάδας. Ακόμα, για διευκόλυνση του κάθε ενδιαφερόμενου προσκομίζονται από τους παραπάνω δημόσιους οργανισμούς οι χάρτες του αιολικού δυναμικού της Ελλάδας καθώς επίσης και οι απαραίτητες πληροφορίες.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική και διαδικτυακή ανασκόπηση που πραγματοποιήθηκε τα στοιχεία που δίνονται από τον Μπεργελές (1995) είναι ότι η μέση ταχύτητα του ανέμου, για τα έτη 1983-1990, για το νησί της Καρπάθου κυμαινόταν στο 9,6 m/sec όπου και κατατάσσεται στην κατηγορία του υψηλού αιολικού δυναμικού (Πινάκας 4). Ωστόσο, με το πέρασμα των χρόνων, όπως προαναφέρθηκε, δόθηκαν πιο πρόσφατα και αναλυτικά δεδομένα για το αιολικό δυναμικό της Καρπάθου το οποίο διακρίνεται στην Εικόνα 10.



Εικόνα 10: Αιολικό δυναμικό Καρπάθου
[Πηγή: <http://www.ypeka.gr>]

Το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής μεταβάλλεται με το πέρασμα των χρόνων και αυτό οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως οι κλιματολογικές αλλαγές που συμβαίνουν παγκοσμίως. Όσον αφορά το αιολικό δυναμικό της Καρπάθου χαρακτηρίζεται ακόμα και σήμερα πολύ υψηλό αφού στις περισσότερες περιοχές του νησιού η ταχύτητα του ανέμου ξεπερνά τα 8 m/sec και πολλές φορές ξεπερνά ακόμα και τα 10 m/sec. Ελάχιστες είναι οι περιοχές που η ένταση του ανέμου κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα (Εικόνα 10).

Στην παρούσα πτυχιακή η μελέτη που θα εκπονηθεί αφορά μια ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος που θα εγκατασταθεί σε ένα μικρό χωριό το οποίο βρίσκεται μεταξύ του χωριού Μεσοχωριού και Σποά (Εικόνα 11) και σύμφωνα με το ΥΠΕΚΑ (<http://www.ypeka.gr>) δίνονται τα δεδομένα του αιολικού δυναμικού της περιοχής όπου η ταχύτητα του ανέμου κυμαίνεται από 8 έως 9 m/sec.



Εικόνα 11: Χάρτης Καρπάθου
[Πηγή: <http://www.ypeka.gr>]

Σύμφωνα με τις πληροφορίες που συλλέχθηκαν γίνεται κατανοητό ότι η τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος στην συγκεκριμένη περιοχή μπορεί να πραγματοποιηθεί έχοντας δυνατότητα απολαβής εξαιρετικά υψηλών ποσοστών ενέργειας, αφού η μέση ταχύτητα του ανέμου είναι 8,5 m/sec και παρουσιάζει σχετική σταθερότητα. Αυτό που θα πρέπει να τονιστεί είναι ότι στο γύρω περιβάλλον του οικοπέδου, που θα πραγματοποιηθεί η εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας, δεν υπάρχουν εμπόδια δηλαδή κάποιιοι λόφοι ή αλλά κτήρια ή οικοδομικά έργα και η βλάστηση είναι σε πλήρη ανάπτυξη και αποτελείται από φυτά που δεν ξεπερνούν τα 20m.

4.2.2. Ενεργειακές ανάγκες οικίας

Η επιλογή της ανεμογεννήτριας θα βασιστεί στις ενεργειακές ανάγκες που παρουσιάζει μια οικία 100 m². Από την διαδικτυακή σελίδα της ΔΕΗ λάβαμε την συνηθέστερη ισχύ που καταναλώνουν οι ηλεκτρικές συσκευές (πίνακας 5) με στόχο τον υπολογισμό της απαιτούμενης ενέργειας.

Πίνακας 5: Ηλεκτρικές συσκευές μονοκατοικίας 100m²
[Πηγή: <http://www.dei.gr>]

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 (*2)	Θερμοσίφωνο	3000
Ασύρματο Τηλέφωνο	5	Κλιματισμός	1000(*3)
Υπολογιστής	200	Ηλεκτρική σκούπα	1400
Πλυντήριο πιάτων	1000	Φωτισμός κουζίνας	20
Πλυντήριο ρούχων	2100	Φωτισμός εξωτερικός	15 (*3)
Τοστιέρα	650	Φωτισμός δωματίων	20 (*3)
Καφετιέρα	350	Φωτισμός μπάνιου	30
Κουζίνα	2000	Φωτισμός Σαλονιού / Χωλ	80
Σεσουάρ	1600	Φωτισμός Χωλ	20
Φούρνος μικροκυμάτων	1500	Καυστήρας / Κυκλοφορητής	250

Όμως σε κάθε εποχή παρουσιάζεται μια μικρή διακύμανση στις ενεργειακές ανάγκες μιας οικίας. Για παράδειγμα ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες αλλάζει και η θερμοκρασία περιβάλλοντος η οποία απαιτεί θέρμανση ή ψύξη των χώρων αντίστοιχα. Επιπλέον, ανάλογα με την διάρκεια της ημέρας (χειμώνας μικρότερη – καλοκαίρι μεγαλύτερη) προσαρμόζεται και ο ανάλογος φωτισμός της οικίας. Συμπέρασμα αυτών είναι ότι υπάρχει μια μικρή προβλεπόμενη διακύμανση των ενεργειακών αναγκών μιας οικίας που οδηγεί στην επιτακτική ανάγκη για μια πιο ακριβή ενεργειακή ανάλυση των αναγκών της (πίνακας 6 και 7) σύμφωνα με την εποχή.

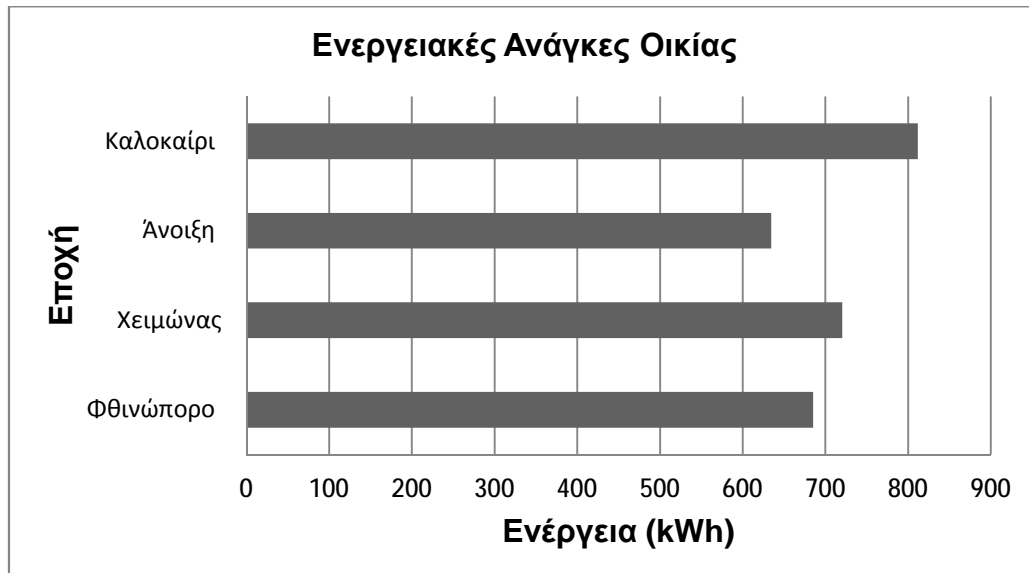
Πίνακας 6: Ενεργειακές ανάγκες οικίας για τις εποχές φθινόπωρο και χειμώνα

Ηλεκτρικές Συσκευές	Ισχύς (Watt)	Τεμ.	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	2	1,5	45	9000	1,5	45	9000
Φορτιστής κινητού	18	2	2	60	2160	2	60	2160
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	3	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	3	5	150	6750	6	180	8100
Φωτισμός δωματίων	20	3	3	90	5400	3	90	5400
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					685185			720435

Πίνακας 7: Ενεργειακές ανάγκες οικίας για τις εποχές άνοιξη και καλοκαίρι

Ηλεκτρικές Συσκευές	Ισχύς (Watt)	Τεμ.	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	2	1,5	45	9000	1,5	45	9000
Φορτιστής κινητού	18	2	2	60	2160	2	60	2160
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	3	0	0	0	2	60	180000
Ηλεκτρική σκούπα	1400	1	0,5	15	21000	0,5	15	21000
Φωτισμός κουζίνας	20	1	3	90	1800	3	90	1800
Φωτισμός εξωτερικός	15	3	4	120	5400	3	90	4050
Φωτισμός δωματίων	20	3	3	90	5400	3	90	5400
Φωτισμός μπάνιου	30	1	2	60	1800	2	60	1800
Φωτισμός Σαλονιού	100	1	3	90	9000	3	90	9000
Καυστήρας / Κυκλοφορητής	250	1	0	0	0	0	0	0
ΣΥΝΟΛΟ					634335			811785

Οι υπολογισμοί οδήγησαν στην εξακρίβωση της διακύμανσης της απαιτούμενης ενέργειας ανάλογα με την εποχή. Στο διάγραμμα 4 το καλοκαίρι είναι από τις πιο απαιτητικές εποχές αφού οι ενεργειακές ανάγκες της οικίας ανέρχονται στις 811,785 kWh/month ενώ η άνοιξη από τις λιγότερο απαιτητικές εποχές με τις ενεργειακές ανάγκες να ανέρχονται στις 634,335 kWh/month.



Διάγραμμα 4: Ενεργειακές ανάγκες οικίας σύμφωνα με την εποχή

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα θα πρέπει να κατασκευαστεί ή να επιλεγθεί μία ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος δηλαδή έως 20 kWatt, που θα έχει την δυνατότητα να παράγει περισσότερη από την απαιτούμενη ενέργεια, για να δίνεται και η επιλογή αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας.

4.2.3. Επιλογή ανεμογεννήτριας μικρή ισχύος

Για την επιλογή της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να λαμβάνονται διάφοροι παράγοντες υπόψη και δεν αρκούν μόνο οι μηνιαίες ή οι ημερήσιες ανάγκες της οικίας για ενέργεια. Σίγουρα ο αρχικός γνώμονας είναι ότι πρέπει να παράγεται η απαραίτητη ενέργεια για να καλύψει τις μέγιστες ενεργειακές ανάγκες της, όμως θα πρέπει να ελεγχθεί πόση ενέργεια απαιτείται για να λειτουργούν πολλές ηλεκτρικές συσκευές ταυτόχρονα χωρίς να πρέπει να γίνεται διακοπή της λειτουργίας τους, καθώς επίσης να ελεγχθεί η περίπτωση που η ανεμογεννήτρια δεν θα μπορεί να λειτουργεί για κάποιες ημέρες λόγω βλάβης ή ακραίων καιρικών συνθηκών (άπνοια ή ισχυροί άνεμοι).

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση (Μπεγλερές, 1995 ; Μακρή, 2013; Τσούλης, 2016), όταν μια οικία δεν είναι διασυνδεδεμένη στο ηλεκτρικό δίκτυο και η ενέργεια που χρειάζεται δίνεται μόνο από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας τότε απαιτείται να αποθηκεύεται ενέργεια για δύο με τρία συνεχόμενα εικοσιτετράωρα ώστε να αποκατασταθεί κάθε βλάβη ή να γίνουν πιο ήπια τα καιρικά φαινόμενα, δηλαδή να επανέλθουν στα φυσιολογικά επίπεδα για την περιοχή. Επιπλέον, θα

πρέπει να παράγεται ένα ποσοστό πλεονάζουσας ενέργειας με στόχο την αποθήκευσή της. Η αποθήκευσή της μπορεί να γίνει είτε σε συσσωρευτές (μπαταρίες), είτε σε συμπιεστές, αφού όπως τονίστηκε η ανεμογεννήτρια δεν έχει την δυνατότητα να συνδεθεί με το τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο.

Σε αυτό που θα πρέπει να δοθεί έμφαση πριν την επιλογή της ανεμογεννήτριας είναι τα αιολικά χαρακτηριστικά της περιοχής. Η ανεμογεννήτρια θα πρέπει να έχει την δυνατότητα να εκμεταλλευτεί πλήρως το αιολικό δυναμικό της περιοχής χωρίς αυτό να δημιουργεί προβλήματα στην λειτουργία της. Δηλαδή στην περίπτωση που μελετά η παρούσα πτυχιακή εργασία, όπου επιθυμείται να τοποθετηθεί μια ανεμογεννήτρια στην Κάρπαθο με μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου από 8 έως 9 m/sec, θα πρέπει η ανεμογεννήτρια να δίνει την μέγιστη ισχύ της σε αυτές τις τιμές του ανέμου.

Επιπλέον, επειδή η Κάρπαθος είναι ένα νησί που το αιολικό δυναμικό της χαρακτηρίζεται πολύ υψηλό θα πρέπει η ανεμογεννήτρια που θα επιλεγεί να παρουσιάζει μεγάλες αντοχές στα ακραία καιρικά φαινόμενα εντός του έτους δηλαδή στους έντονους ανέμους αφού υπάρχουν μήνες, ιδιαίτερα ο Ιούλιος και Αύγουστος, που η ταχύτητα του ανέμου παρουσιάζει μεγάλη αύξηση (Φλόκας, 1997 ; Μαζαράκης, 2017).

Ο τύπος της ανεμογεννήτριας που προτείνεται είναι οριζόντιου άξονα, 3 πτερυγίων. Ο λόγος που επιλέγεται αυτός ο τύπος είναι γιατί όπως αναλύθηκε και στο θεωρητικό υπόβαθρο της πτυχιακής εργασίας είναι ο τύπος που χρησιμοποιείται ευρύτατα με συνέπεια να δίνεται η δυνατότητα εύκολης συντήρησης και επισκευής βλαβών. Επιπλέον, υπάρχουν περισσότερες πληροφορίες για την λειτουργία του, αρά πιο ακριβείς υπολογισμοί για την παραγόμενη ενέργεια καθώς επίσης και για την πλήρη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού. Τέλος, επειδή είναι ο πιο εμπορεύσιμος τύπος υπάρχει μεγάλη ποικιλία ανεμογεννητριών στο εμπόριο με αποτέλεσμα η επιλογή για κάθε περίπτωση να πραγματοποιείται πιο εύκολα έχοντας σημαντικά χαρακτηριστικά που είναι απαραίτητα όχι μόνο για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού αλλά και για την λειτουργία της.

Όσον αφορά την ισχύ-της ανεμογεννήτριας σύμφωνα με τα αποτελέσματα (διάγραμμα 4), μια ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος μεταξύ 3 - 5 kWatt θα κάλυπτε τις ενεργειακές ανάγκες της οικίας. Όμως δεν θα μπορούσε να τηρεί πλήρως τις προϋποθέσεις που αναλύθηκαν παραπάνω, δηλαδή την αποθήκευση πλεονάζουσας ενέργειας καθώς και την λειτουργία πολλών συσκευών ταυτόχρονα. Αρά, η ανεμογεννήτρια που θεωρείται κατάλληλη είναι εκείνη των 10 kWatt.

Η ανεμογεννήτρια που θα τοποθετηθεί για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της υπό μελέτη οικίας είναι της εταιρίας Senwer, η οποία είναι μια από τις μεγαλύτερες πράσινες βιομηχανίες ηλεκτρικής ενέργειας και θεωρητικά προτείνει οικονομικές και αποδοτικές λύσεις. Η Senwer παρέχει μεγάλη γκάμα ανεμογεννητριών είτε μικρής ισχύος για βιομηχανική και οικιακή χρήση με μέγεθος ανεμογεννητριών από 1 έως 20 kWatt είτε ανεμογεννήτριες για αιολικά πάρκα χερσαία ή θαλάσσια όπου η ισχύς τους κυμαίνεται από 30 έως 60 kWatt (<http://www.windpowercn.com/>).

Η ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος σύμφωνα με τα παραπάνω θα είναι η SW -10 kWatt Wind Turbine και απεικονίζεται στην εικόνα 12 και τα βασικά χαρακτηριστικά της καταγράφονται στον πίνακα 8.



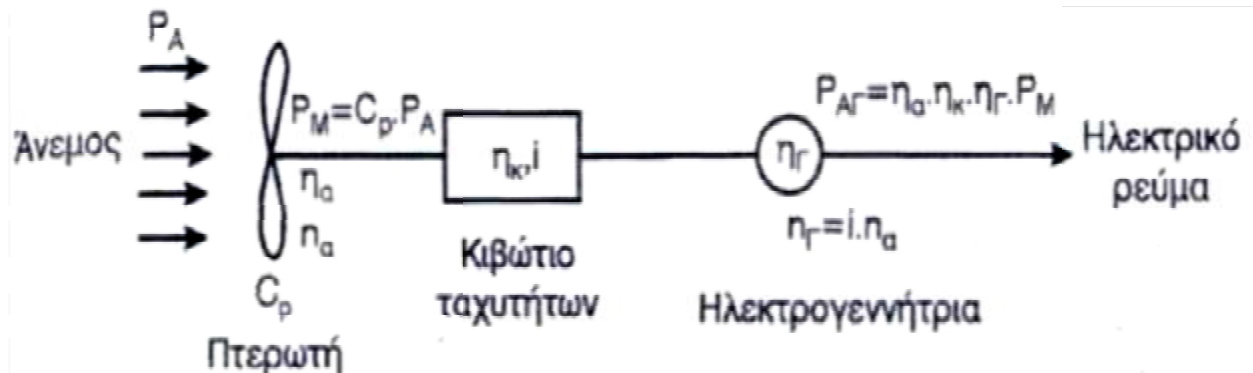
Εικόνα 12: Ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος 10kWatt
 [Πηγή: <http://www.windpowercn.com/>]

Πίνακας 8: Χαρακτηριστικά Ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος
 [Πηγή: <http://www.windpowercn.com/>]

SW - Wind Turbine		10 kWatt
Ειδικά χαρακτηριστικά		
Όνομαστική ισχύς		10000Watt
Μέγιστη Ισχύς εξόδου		13000~14000 Watt
Εκκίνηση ταχύτητας ανέμου		3m/s
Ταχύτητα εργασίας ανέμου		3 - 20m/s
Μέγιστη ταχύτητα επιβίωσης		30m/s
Στροφέας		
Διάμετρος στροφέα (ρότορα)		7 m
Έλεγχος κλίσης λεπίδας		Σταθερό βήμα
Περιοχή έδρασης		8.00 m ²
Λεπίδα – πτερύγια		3 πλαστικά ενισχυμένα με ίνες υάλου
Μήκος Λεπίδας		3m
Βάρος		120kg
Έχτρα χαρακτηριστικά		
Τύπος γεννήτριας		3-phase AC PM, gearless
Τάση λειτουργίας		DC 240 / 500V, AC 220V / 380V
Ρύθμιση και προστασία ταχύτητας		Ηλεκτρομαγνητικό φρένο
Ηλεκτρική τάση		DC 12/24/48V
Προτεινόμενη χωρητικότητα ενέργειας		8 pcs 250Ah/12VDC
Πλήρης φόρτιση		≈ 8 ώρες
Θερμοκρασίας λειτουργίας		-40°C έως 60 °C

4.2.3.1. Αποδιδόμενη ισχύς ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Η τελική ισχύς μιας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα υπολογίζεται ακολουθώντας συγκεκριμένη διαδικασία (σχήμα 25), αφού γίνεται κατανοητό ότι δεν μπορεί η ισχύς του ανέμου να είναι και η τελική ισχύς που λαμβάνεται διότι υπάρχουν απώλειες συστήματος.



Σχήμα 25: Απεικόνιση διαδικασία παραγωγής ενέργειας από ανεμογεννήτρια
[Πηγή: Κερούλης, 2014]

Αρχικά δίνεται η ισχύς της ταχύτητας του ανέμου, όπου εξαρτάται από την πυκνότητα του αέρα, την επιφάνεια του στροφέα (ρότορα) καθώς και από την ταχύτητα του ανέμου και δίνεται από την σχέση που ακολουθεί:

$$P_A = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad [14]$$

Όπου: ρ = πυκνότητα του αέρα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος

V = ταχύτητα ανέμου (m/sec)

D = διάμετρος ρότορα (m)

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

Στην συνέχεια δίνεται η μηχανική ισχύς όπου εξαρτάται από την ισχύ του ανέμου και τον συντελεστή ισχύος, ο οποίος σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Μπεργελές, 1995 ; Ασημακόπουλος και συν., 2015) είναι ο αεροδυναμικός συντελεστής C_p και δίνεται ίσος με 0,593 (όριο Betz) άρα μόνο το 59,3% της κινητικής ενέργειας του ανέμου μπορεί να μετατραπεί σε μηχανική ενέργεια μέσω μιας ανεμογεννήτριας.

$$P_M = P_A * C_p \quad [15]$$

Όπου: P_A = ισχύς ανέμου (Watt)

C_p = συντελεστής ισχύος

Σημειώνεται ότι ο συντελεστής ισχύος είναι αυτός που προσδιορίζει την αποδοτικότητα μιας ανεμογεννήτριας δηλαδή ποσό αποδοτικά μετατρέπεται αυτή η μηχανή την αιολική ενέργεια σε μηχανική.

Στην συνέχεια δίνεται η αποδιδόμενη ισχύς η οποία εξαρτάται άμεσα από τον βαθμό απόδοσης στην έδραση του άξονα της πτερωτής, τον βαθμό απόδοσης του

κιβωτίου ταχυτήτων καθώς και από τον βαθμό απόδοσης της ηλεκτρογεννήτριας και δίνεται από την σχέση:

$$P_{AG} = n_a * n_k * n_{\Gamma} * P_M \quad [16]$$

Όπου: n_a : βαθμός απόδοσης στην έδραση του άξονα της πτερωτής
 n_k : βαθμός απόδοσης κιβωτίου ταχυτήτων
 n_{Γ} : βαθμός απόδοσης ηλεκτρογεννήτριας

Οι προαναφερόμενοι βαθμοί απόδοσης δίνονται από κάθε κατασκευαστή. Συγκεκριμένα στις περισσότερες περιπτώσεις δίνεται το γινόμενο του βαθμού απόδοσης στην έδραση του άξονα της πτερωτής με τον βαθμό απόδοσης του κιβωτίου ($n_a * n_k$) με συνηθέστερη τιμή 0,95 και ο βαθμός απόδοσης της ηλεκτρογεννήτριας (n_{Γ}), ο οποίος κυμαίνεται από 0,75 έως 0,85.

Άρα από τα παραπάνω, η αποδιδόμενη ισχύς της ανεμογεννήτριας (P_{AG}) παρουσιάζει μικρότερες τιμές από την μηχανική ισχύ (P_M) λόγω των απωλειών. Επιπλέον, η αποδιδόμενη ισχύς εξαρτάται άμεσα από την θέση της ανεμογεννήτριας αφού θα πρέπει να τοποθετείται στην θέση με την μέγιστη μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου έχοντας μικρές μεταβολές εντός του έτους (Κερούλης, 2014).

Στην συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός της αποδιδόμενης ισχύος της ανεμογεννήτριας των 10kWatt που επιλέχθηκε για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας στο νησί της Καρπάθου. Τα δεδομένα τα οποία είναι γνωστά από τον κατασκευαστή του συστήματος είναι τα ακόλουθα:

- $\rho=1,2 \text{ kg/m}^3$: πυκνότητα του αέρα σε θερμοκρασία 20°C
- $C_p= 0,593$: συντελεστής ισχύος
- $n_{\Gamma}=0.80$: βαθμός απόδοσης της ηλεκτρογεννήτριας
- $n_a * n_k=0.95$: βαθμός απόδοσης στην έδραση του άξονα της πτερωτής με τον βαθμό απόδοσης του κιβωτίου ταχυτήτων

Πίνακας 9: Αποδιδόμενη ισχύς ανεμογεννήτριας « P_{AG} » για ταχύτητα ανέμου «V» από 0 έως 20m/sec

Ταχύτητα Ανέμου V (m/sec)	Ισχύς Ανεμογεννήτριας P_A (Watt)	Ισχύς Ανεμογεννήτριας P_M (Watt)	Αποδιδόμενη Ισχύς Ανεμογεννήτριας P_{AG} (Watt)
0 έως $\geq 2,99$	0	0	0
3	623,13	369,52	280,83
4	1477,06	875,89	665,68
5	2884,88	1710,73	1300,16
6	4985,06	2956,14	2246,67
7	7916,10	4694,25	3567,63
8	11816,45	7007,15	5325,44
9	16824,59	9976,98	7582,51
10	23079,00	13685,85	10401,24
11 έως ≥ 20	30718,15	18215,86	13844,06

Από τον πίνακα 9 παρατηρείται ότι η ανεμογεννήτρια σε πολύ χαμηλές ταχύτητες ανέμου δηλαδή από 0 έως $\geq 2,99$ m/sec δεν έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει άρα η αποδιδόμενη ισχύς είναι μηδενική. Επιπλέον, όταν η ανεμογεννήτρια λειτουργεί με ταχύτητα ανέμου πάνω από 11 m/sec δεν μπορεί να παράγει μεγαλύτερη ενέργεια από την μέγιστη ισχύ που δίνεται από τον κατασκευαστή δηλαδή δεν μπορεί να ξεπεράσει τα 14 kWatt. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι για ταχύτητες ανέμου μεταξύ 11 έως 20 m/s η ανεμογεννήτρια παράγει την μέγιστη ισχύ χωρίς όμως να έχει την δυνατότητα να εκμεταλλευτεί εξολοκλήρου το αιολικό δυναμικό.

Στην συνέχεια ακολουθεί ο υπολογισμός της αποδιδόμενης ισχύος της ανεμογεννήτριας για ταχύτητες ανέμου που ξεπερνούν το 20 m/sec (πίνακας 10).

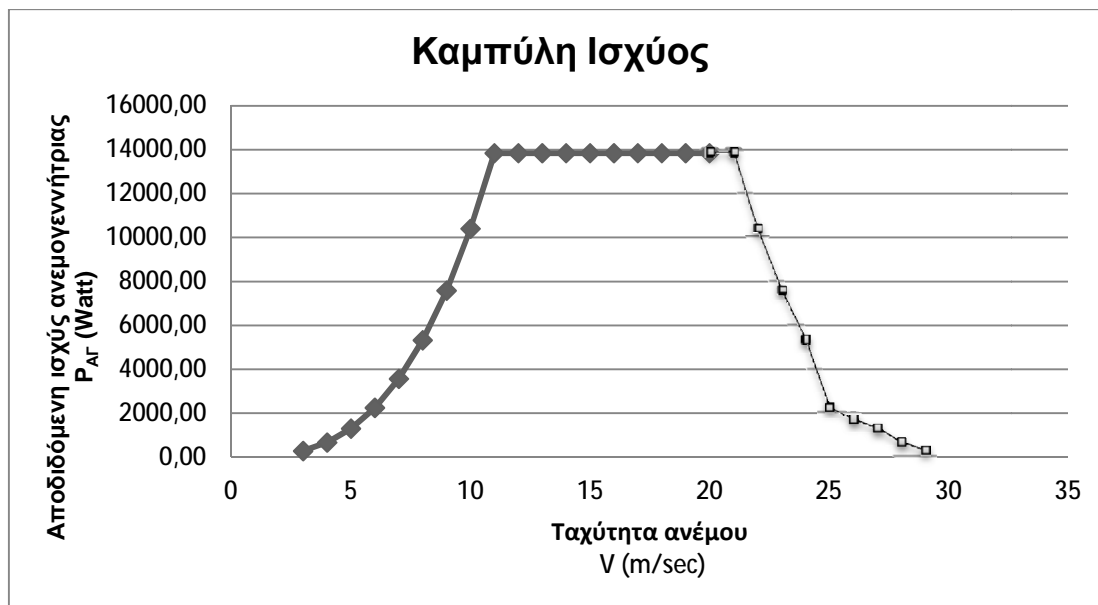
Πίνακας 10:Αποδιδόμενη ισχύς ανεμογεννήτριας «P_{ΑΓ}» για ταχύτητα ανέμου «V» από 20 έως 30m/sec

Ταχύτητα Ανέμου V (m/sec)	Ισχύς Ανεμογεννήτριας P _A (Watt)	Ισχύς Ανεμογεννήτριας P _M (Watt)	Αποδιδόμενη Ισχύς Ανεμογεννήτριας P _{ΑΓ} (Watt)
11 έως ≥ 20	30718,15	18215,86	13844,06
21	23079,00	13685,85	10401,24
22	16824,59	9976,98	7582,51
23	11816,45	7007,15	5325,44
24	7916,10	4694,25	1707,47
25	4985,06	2956,14	2246,67
26	2884,88	1710,73	1300,16
27	1477,06	875,89	665,68
28	623,13	369,52	280,83
29	0	0	0
30	0	0	0

Από τον πίνακα 10 παρατηρείται ότι η ανεμογεννήτρια λειτουργεί με μέγιστη ισχύ σε ταχύτητες ανέμου έως και 20 m/sec, όμως με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου παρατηρείται ότι η ισχύς μειώνεται σταδιακά μέχρις ότου μηδενιστεί. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης έχουν ληφθεί υπόψη τέλειες συνθήκες για αυτό και δίνει μηδενική αποδιδόμενη ισχύ σε ταχύτητα ανέμου 29 - 30 m/sec. Σε περιπτώσεις που τα καιρικά φαινόμενα είναι πολύ έντονα ή υπάρχουν στροβιλισμοί ανέμου ή υπάρχει συχνή εναλλαγή του προσανατολισμού του ανέμου η ανεμογεννήτρια μπορεί να σταματήσει να παράγει ενέργεια και σε μικρότερη ταχύτητα ανέμου.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι από τον κατασκευαστή δίνεται ότι σε ταχύτητα ανέμου 30 m/sec η ανεμογεννήτρια παρουσιάζει πρόβλημα επιβίωσης, για αυτό και απαιτείται να σταματήσει η λειτουργία της. Ωστόσο, η περιοχή που θα τοποθετηθεί η ανεμογεννήτρια στο νησί της Καρπάθου δεν παρουσιάζει τόσο υψηλές τιμές ανέμου και θεωρείται ως μια περιοχή με σχετική σταθερότητα καιρικών συνθηκών.

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς της αποδιδόμενης ισχύος μπορεί να κατασκευαστεί η καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας (διάγραμμα 5). Σε περιπτώσεις που η ανεμογεννήτρια δεν είναι βηματική όπως στην παρούσα μελέτη η καμπύλη ισχύος δίνεται από τον κατασκευαστή.



Διάγραμμα 5: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 10 kWatt

4.2.3.2. Παραγόμενη ενέργεια ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Η παραγόμενη ενέργεια της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος υπολογίζεται μόνο στην περίπτωση που η ταχύτητα του ανέμου είναι γνωστή. Για τον ακριβή υπολογισμό της θα πρέπει να δίνεται η ταχύτητα του ανέμου κάθε μέρα για κάποια συνεχόμενα έτη με στόχο την εκτίμηση και τις διακυμάνσεις που παρουσιάζει το αιολικό δυναμικό της περιοχής εντός ενός έτους. Οι μετρήσεις του αιολικού δυναμικού συνήθως πραγματοποιούνται από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας τα δεδομένα αυτά δεν είναι εφικτό να είναι γνωστά με συνέπεια να χρησιμοποιούνται οι πληροφορίες που δίνονται από το ΥΠΕΚΑ (<http://www.ypeka.gr>).

Η παραγόμενη ενέργεια μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$E_{AG} = \Delta E * n_{μπ} * n_{in} * n_{γρ} * P_{AG} \quad [17]$$

Όπου: E_{AG} = παραγωγή της ανεμογεννήτριας

ΔE = χρονική διάρκεια ταχύτητας (h)

n_{in} = συντελεστής απόδοσης inverter

$n_{μπ}$ = απώλειες φόρτισης εκφόρτισης μπαταρίας

$n_{γρ}$ = συντελεστής γραμμής

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

Από την σχέση 17 παρατηρείται ότι για τον ακριβή υπολογισμό λαμβάνονται υπόψη και οι απώλειες του συστήματος, οι οποίες προκύπτουν κατά την μεταφορά της ενέργειας. Επιπλέον, σύμφωνα με τον Μπεργελές (1995) όταν υπάρχει έλλειψη δεδομένων για την ταχύτητα του ανέμου και λαμβάνεται μια μέση τιμή προτείνεται

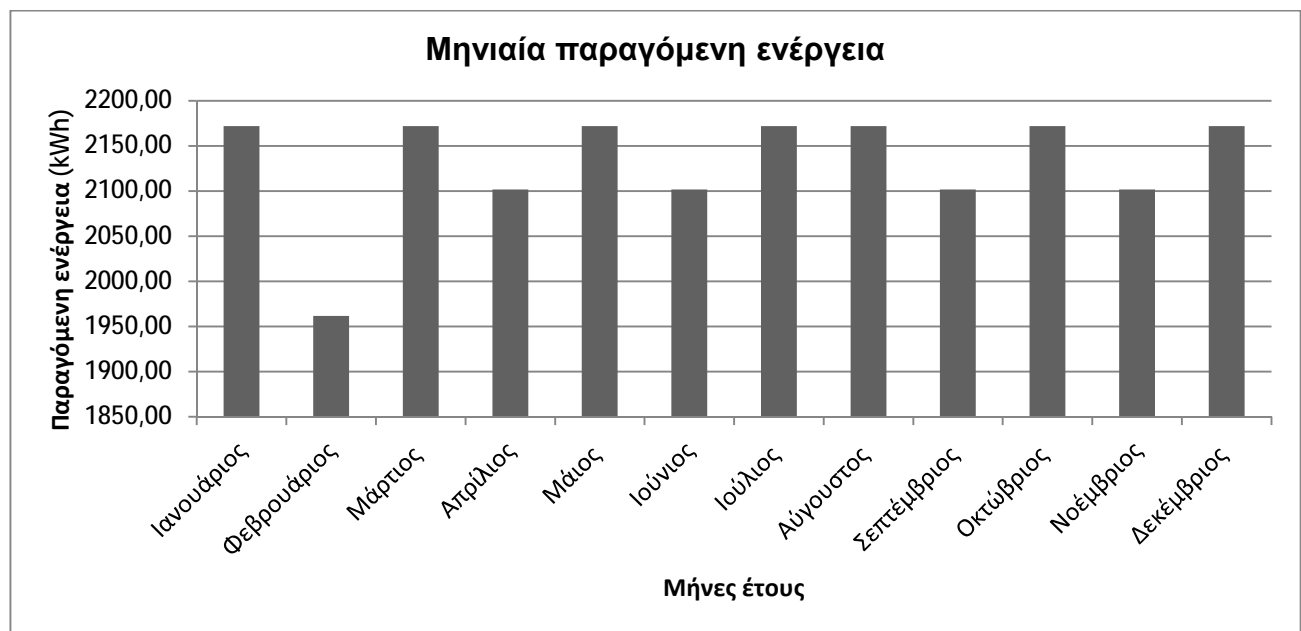
από τις συνολικές ώρες του μήνα να αφαιρείται ένα ποσοστό της τάξης του 10%, με στόχο τα αποτελέσματα να παρουσιάζουν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Επιπλέον, για το σύστημα που επιλέχθηκε για την παρούσα μελέτη έχει τις ακόλουθες απώλειες:

- $\eta_{in} = 0,95$: συντελεστής απόδοσης inverter
- $\eta_{μπ} = 0,6$: συντελεστής απωλειών φόρτισης - εκφόρτισης μπαταρίας
- $\eta_{γρ} = 0,98$: συντελεστής γραμμής

Πίνακας 11: Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Μήνες	Ώρες Μήνα	Ώρες Ανέμου	Μέση Ταχύτητα Ανέμου m/sec	Αποδιδόμενη Ισχύς (Watt)	Παραγόμενη Ενέργεια (Watt)	Παραγόμενη Ενέργεια (kWh)
Ιανουάριος	744	669,60	8,5	5805,99	2171664,14	2171,66
Φεβρουάριος	672	604,80	8,5	5805,99	1961503,09	1961,50
Μάρτιος	744	669,60	8,5	5805,99	2171664,14	2171,66
Απρίλιος	720	648,00	8,5	5805,99	2101610,46	2101,61
Μάιος	744	669,60	8,5	5805,99	2171664,14	2171,66
Ιούνιος	720	648,00	8,5	5805,99	2101610,46	2101,61
Ιούλιος	744	669,60	8,5	5805,99	2171664,14	2171,66
Αύγουστος	744	669,60	8,5	5805,99	2171664,14	2171,66
Σεπτέμβριος	720	648,00	8,5	5805,99	2101610,46	2101,61
Οκτώβριος	744	669,60	8,5	5805,99	2171664,14	2171,66
Νοέμβριος	720	648,00	8,5	5805,99	2101610,46	2101,61
Δεκέμβριος	744	669,60	8,5	5805,99	2171664,14	2171,66
Σύνολο					25569593,89	25569,59



Διάγραμμα 6: Μηνιαία παραγόμενη ενέργεια ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Από το διάγραμμα 6 παρατηρείται ότι την μικρότερη μηνιαία παράγωγη την έχει ο μήνας Φεβρουάριος και αυτό θεωρείται λογικό αφού οι υπολογισμοί πραγματοποιήθηκαν με 28 ημέρες, με συνέπεια λιγότερες ώρες λειτουργίας της ανεμογεννήτριας αλλά και λιγότερες ενεργειακές απαιτήσεις.

Επιπλέον, όπως αναλύθηκε και παραπάνω ο Ιούλιος και ο Αύγουστος θεωρούνται οι μήνες με το μεγαλύτερο αιολικό δυναμικό αφού ιδιαίτερα στο Αιγαίο εμφανίζονται ακόμα πιο ισχυροί άνεμοι. Όμως με στόχο τα πιο ακριβή αποτελέσματα, επιλέγεται η δυσμενέστερη περίπτωση και για όλο το έτος παραμένει η ταχύτητα στα 8,5 m/sec.

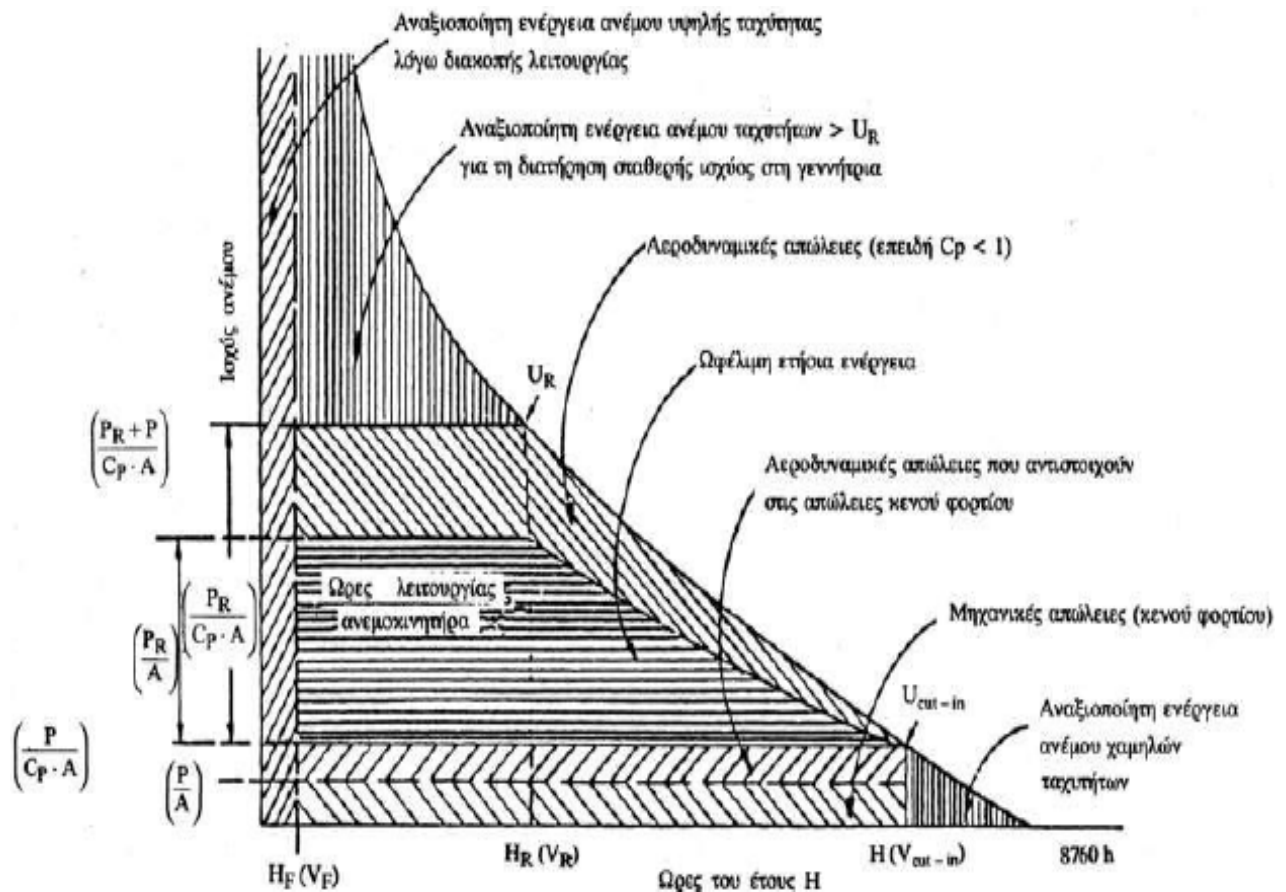
4.2.3.3. Απώλειες ενέργειας

Κάθε ανεμογεννήτρια δεν έχει την δυνατότητα να αξιοποιήσει εξολοκλήρου την ετήσια αιολική ενέργεια, αφού υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που διακόπτουν την λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας. Επιπλέον, σε κάθε σύστημα μετατροπής ενέργειας υπάρχουν απώλειες, με συνέπεια να χάνεται ένα μεγάλο μέρος της παραγόμενης ενέργειας.

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

- 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.
- 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.
- 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.
- Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας έχουμε αεροδυναμικές απώλειες.
- Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας έχουμε πρόσθετες 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.

Στο διάγραμμα 7 απεικονίζονται οι ετήσιες ενεργειακές απώλειες που παρουσιάζονται σε μια τυπική ανεμογεννήτρια, σύμφωνα με την προαναφερόμενη περιγραφή απωλειών (Μπεργελές, 1995).



Διάγραμμα 7: Ενεργειακές απώλειες στην καμπύλη διάρκειας πνοής του ανέμου [Πηγή: Μπεργελές, 1995]

Ένα μεγάλο μέρος των απωλειών υπάρχει κατά την μεταφορά της παραγόμενης ενέργειας και κατά την μετατροπή του ηλεκτρικού ρεύματος (αναστροφείς, συστήματα ελέγχου). Αυτό συμβαίνει, διότι υπάρχουν συστήματα για κάθε μεταφορά και μετατροπή όπου έχουν συγκεκριμένη αρχή λειτουργίας με στόχο να μπορούν να εκμεταλλευτούν με ασφάλεια και να αξιοποιούν τόσο μεγάλα φορτία. Αν θεωρηθεί ότι η παραγόμενη ενέργεια είναι «E» τότε η ενέργεια που παρέχεται στα φορτία είναι «E_{wind}» και θα είναι μειωμένη κατά ένα ποσοστό που δίνεται για τυπικές ανεμογεννήτριες. Η σχέση που δίνει την ενέργεια που παρέχεται είναι η ακόλουθη:

$$E_{WIND} = E * n \quad [18]$$

Όπου: E= η παραγόμενη ενέργεια (Wh)

n = ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ανεμογεννητριών

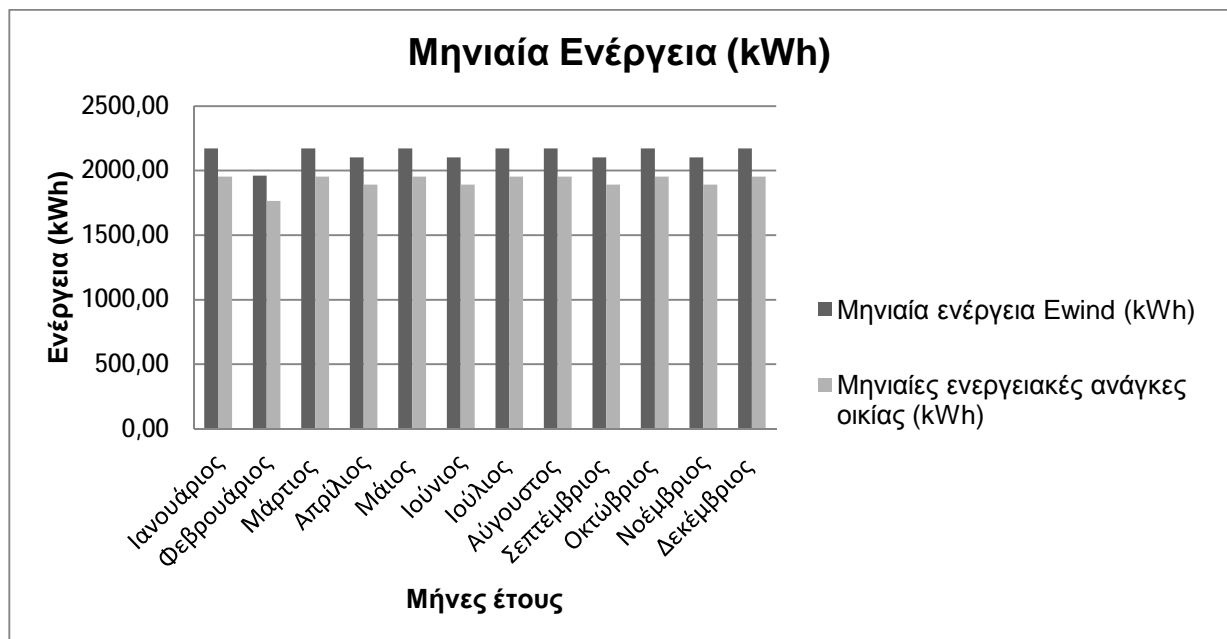
Σημειώνεται ότι ο συνηθέστερος βαθμός απόδοσης ενός συστήματος για ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι n=0,90.

Στην συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 12 όπου υπολογίζεται η ενέργεια που παρέχεται, δηλαδή το τελικό φορτίο που μπορεί να εκμεταλλευτεί η οικία με στόχο να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες της.

Πίνακας 12: Τελική ενέργεια που παρέχεται από την ανεμογεννήτρια E_{wind}

Μήνες	Μηνιαία παραγόμενη Ενέργεια E (kWh)	Μηνιαία παραγόμενη Ενέργεια E_{wind} (kWh)	Μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες οικίας (kWh)
Ιανουάριος	2171,66	1954,50	720,44
Φεβρουάριος	1961,50	1765,35	720,44
Μάρτιος	2171,66	1954,50	634,34
Απρίλιος	2101,61	1891,45	634,34
Μάιος	2171,66	1954,50	634,34
Ιούνιος	2101,61	1891,45	811,79
Ιούλιος	2171,66	1954,50	811,79
Αύγουστος	2171,66	1954,50	811,79
Σεπτέμβριος	2101,61	1891,45	685,19
Οκτώβριος	2171,66	1954,50	685,19
Νοέμβριος	2101,61	1891,45	685,19
Δεκέμβριος	2171,66	1954,50	720,44
Σύνολο	25569,59	23012,63	8555,22

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα (πίνακας 12) οι ανάγκες μπορούν να καλυφθούν έχοντας και την δυνατότητα ταυτόχρονης λειτουργίας πολλών ηλεκτρικών συσκευών αλλά και αποθήκευση πλεονάζουσας ενέργειας. Αυτός ήταν και ο αρχικός σκοπός που επιλέχθηκε ανεμογεννήτρια 10 kWatt, αρκετά μεγαλύτερη από τις απαραίτητες ενεργειακές ανάγκες της οικίας των 100 m². Στο διάγραμμα 8 που ακολουθεί απεικονίζονται οι μηνιαίες ενεργειακές ανάγκες της οικίας καθώς και η μηνιαία ενέργεια που παρέχεται από το σύστημα της ανεμογεννήτριας.

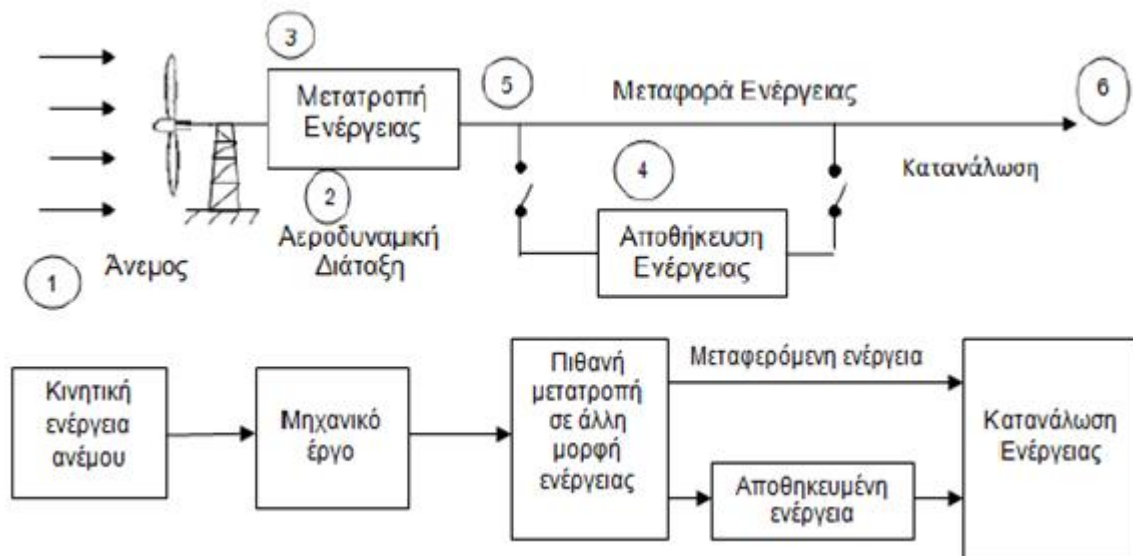


Διάγραμμα 8: Συγκριτικό διάγραμμα μηνιαίων ενεργειακών αναγκών οικίας και μηνιαία ενέργεια που παρέχεται από το σύστημα

4.2.3.4. Διάταξη ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Η διάταξη μιας ανεμογεννήτριας αποτελείται από διάφορα βασικά μέρη (σχήμα 26), τα οποία είναι το αιολικό δυναμικό, η αεροδυναμική διάταξη, ο μετατροπέας ενέργειας, το μέσο αποθήκευσης πλεονάζουσας ενέργειας, το σύστημα μεταφοράς ενέργειας και τέλος οι καταναλωτές (ηλεκτρικές συσκευές). Σε κάθε ένα από τα μέρη της διάταξης η ενέργεια που λαμβάνεται μπορεί να μετατρέπεται σε μία άλλη μορφή ενέργειας.

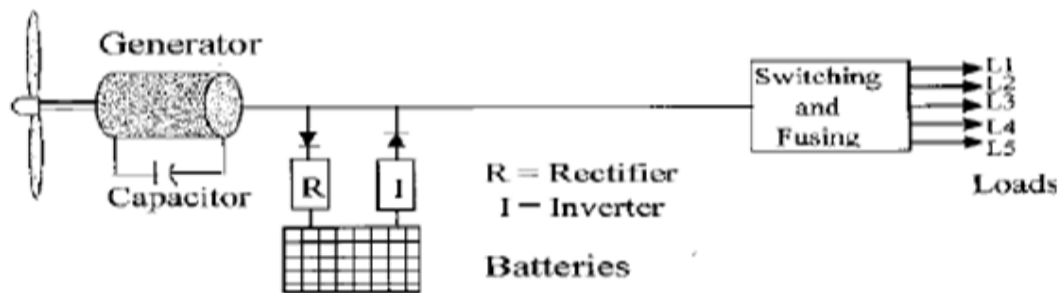
Αρχικά ο άνεμος είναι η κινητική ενέργεια που λαμβάνει το σύστημα και έπειτα με την βοήθεια της αιολικής διάταξης μετατρέπεται σε μηχανικό έργο. Στην συνέχεια το μηχανικό έργο μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε απευθείας με συνέπεια την μείωση των απωλειών είτε να μετατραπεί σε άλλη ενέργεια που συνήθως είναι ηλεκτρική με στόχο την χρήση ή την αποθήκευση αυτής. Ο λόγος που μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια είναι γιατί γίνεται πιο εύκολη η μεταφορά στους καταναλωτές (ηλεκτρικές συσκευές) καθώς και στα μέσα αποθήκευσης (συνήθως συσσωρευτές) (Μπεργελές, 1995).



Σχήμα 26: Διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας και διαδικασία μετατροπής ενέργειας σε άλλες μορφές
[Πηγή: Μπεργελές, 1995]

Η διαδικασία που ακολουθείται από την παραγωγή έως και την αξιοποίηση της ηλεκτρικής ενέργειας σε ένα τυπικό σύστημα εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας περιγράφεται ως εξής. Αρχικά ο άνεμος δίνει κίνηση στον δρομέα της ανεμογεννήτριας με συνέπεια να δημιουργείται μια ροπή. Ο δρομέας περιστρέφεται σχετικά αργόστροφα και με την βοήθεια ενός μετατροπέα στροφών περιστρέφεται η γεννήτρια με την βοήθεια του άξονα εξόδου. Με την σειρά της η γεννήτρια παράγει ρεύμα μεταβλητής συχνότητας, το οποίο μετατρέπεται σε συνεχές με την χρήση ενός μετατροπέα (rectifier) και φορτίζει τους συσσωρευτές, που αποτελούν το πιο κλασικό μέσο αποθήκευσης, όμως μπορεί να τροφοδοτήσει οποιοδήποτε άλλο μέσο αποθήκευσης. Έπειτα, ένας ακόμα μετατροπέας (inverter) μετατρέπει το ανορθωμένο συνεχές ρεύμα με συνέπεια να αποφορτίζεται το μέσο αποθήκευσης, σε

ορισμένη τάση και συχνότητα εναλλασσόμενου ρεύματος, το οποίο μπορεί άμεσα να χρησιμοποιηθεί από το τοπικό σύστημα (Σπύρου, 2009 ; Τσούλης 2016).



Σχήμα 27: Αυτόνομο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτρια
[Πηγή: Σπύρου, 2009]

Τα αυτόνομα συστήματα χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον σε εφαρμογές όπως η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών οικίας ή βιομηχανιών ή γεωργικών εφαρμογών όπως θερμοκήπια κ.ά.. Ωστόσο, σε κάθε μια από τις προαναφερόμενες περιπτώσεις απαιτούνται διατάξεις αποθήκευσης ενέργειας με στόχο την κάλυψη ενεργειακών αναγκών σε περιπτώσεις που είτε το αιολικό δυναμικό δεν είναι επαρκές είτε η αιολική μηχανή δεν είναι σε θέση να λειτουργήσει (βλάβη και ακραία καιρικά φαινόμενα). Το μέσο αποθήκευσης θεωρείται η καρδιά ενός αυτόνομου συστήματος αφού δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας με στόχο την κάλυψη των αναγκών σε δυσμενείς περιπτώσεις. Η ικανότητα αποθήκευσης κάθε μέσου θα πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη διότι θα πρέπει να καλύπτει εξολοκλήρου τις ενεργειακές ανάγκες τουλάχιστον για δύο με τρία εικοσιτετράωρα.

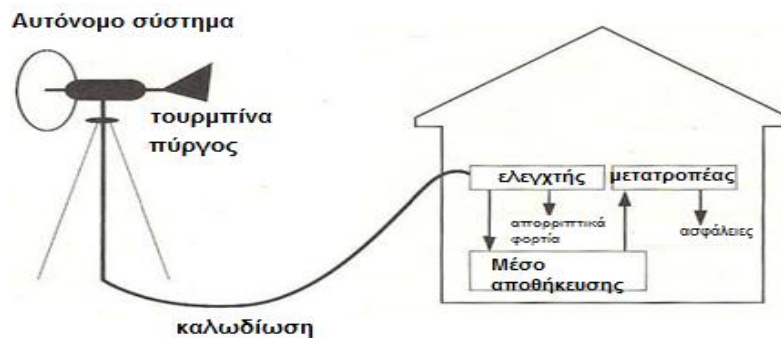
Όμως σε συστήματα εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και αποθήκευσης αυτών παρουσιάζονται μεγάλες απώλειες διότι είναι σύνθετα συστήματα και πολλές φορές πρέπει να μετατρέπουν συχνά την μορφή ενέργειας. Αποτέλεσμα αυτού είναι η μειωμένη τελική απόδοση των συστημάτων εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών. Ωστόσο, τονίζεται ότι δεν είναι μόνο οι απώλειες που υπάρχουν στα συστήματα είναι και η μη εκμετάλλευση ενέργειας όταν αυτές βρίσκονται σε αφθονία διότι κάθε σύστημα έχει συγκεκριμένες δυνατότητες χρήσης και αποθήκευσης με συνέπεια ένα μέρος να μην χρησιμοποιείται. Αυτό είναι και το βασικό μειονέκτημα των αυτόνομων συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δεν δίνεται η δυνατότητα να συνδεθούν με τα τοπικά δίκτυα (Καραϊσκόσ & Κούκα, 2011).

4.2.3.5. Σύνδεση ανεμογεννήτριας και αποθήκευση ενέργειας στους συσσωρευτές

Οι ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος συνδέονται συνήθως σε μικροδίκτυα τα οποία είναι ανεξάρτητα από το κεντρικό δίκτυο. Ωστόσο, οι ανεμογεννήτριες δίνουν δυνατότητες σύνδεσης με άλλες μορφές ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με πηγές ενέργειας μικρής ισχύος όπως είναι οι γεννήτριες πετρελαίου καθώς επίσης και με μονάδες αποθήκευσης ενέργειας. Το βασικό πλεονέκτημα που παρουσιάζουν τα

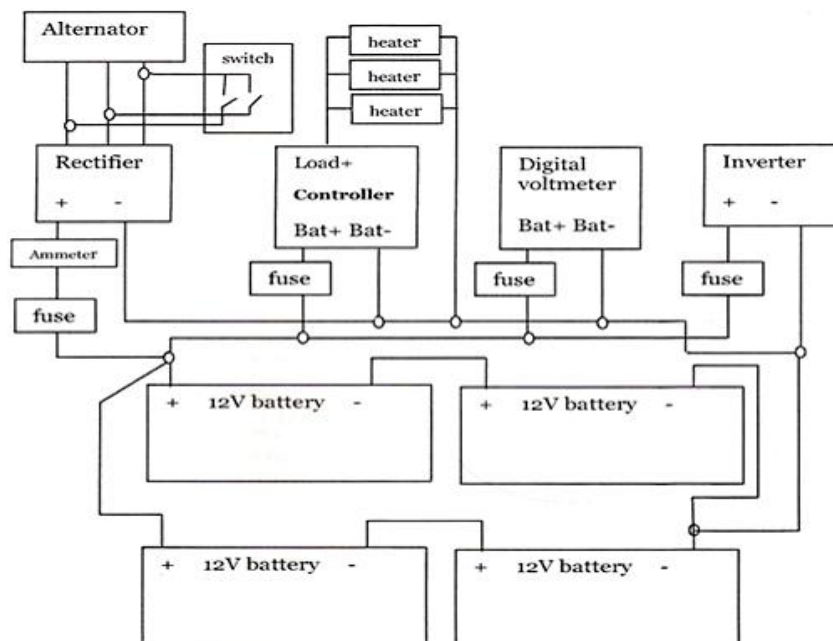
μικροδίκτυα συγκρινόμενα με το κεντρικό δίκτυο, είναι ότι βρίσκονται πλησίον των καταναλωτών με συνέπεια την μεγάλη μείωση των απωλειών κατά την μεταφορά της ενέργειας.

Η ανεμογεννήτρια μπορεί να συνδεθεί είτε με συνεχή τάση (ζυγό DC) και ταυτόχρονα να υπάρχει παράλληλη χρήση αποθηκευτικού μέσου είτε σε εναλλασσόμενη τάση (ζυγό AC) του μικροδικτύου ή του δικτύου χαμηλής τάσης. Στην παρούσα μελέτη της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος θα χρησιμοποιηθεί η πρώτη περίπτωση η σύνδεση σε DC ζυγό όπου η τάση της ανεμογεννήτριας όταν ανορθωθεί συνδέεται μέσω ενός ρυθμιστή φόρτισης και ένα απορριπτικό φορτίο οδηγείται στο αποθηκευτικό μέσο το οποίο στην συνέχεια συνδέεται σε αντιστροφή (Piggott, 2006 ; Δαγιόγλου, 2011).



Σχήμα 28: Σύνδεση με συνεχή τάση (ζυγό DC)
[Πηγή: Piggott, 2006]

Στην περίπτωση που η ανεμογεννήτρια χρησιμοποιεί συσσωρευτές ως μέσο αποθήκευσης, η σύνδεση γίνεται απευθείας από τον DC ζυγό στο μέσο (σχήμα 29) (Piggott,2010).



Σχήμα 29: Σύνδεση ανεμογεννήτριας σε DC ζυγό απευθείας σε συσσωρευτές
[Πηγή: Piggott, 2010]

Στο σχήμα 29 απεικονίζεται η συνδεσμολογία της ανεμογεννήτριας με τους συσσωρευτές. Συγκεκριμένα διακρίνονται οι τρεις φάσεις οι οποίες περνούν από διπολικό διακόπτη με τον οποίο βραχυκυκλώνεται η γεννήτρια με στόχο την διακοπή λειτουργίας της αν αυτό επιθυμείται (π.χ. συντήρηση ή διόρθωση κάποιας βλάβης). Επιπλέον, η έξοδος της γεννήτριας περνά από έναν τριφασικό μη ελεγχόμενο ανορθωτή (Διαδόγλου, 2011).

Ωστόσο, απαραίτητος είναι ο ρυθμιστής φόρτισης (load-charge controller), ο οποίος έχει τον ρόλο να ρυθμίζει την φόρτιση των συσσωρευτών αφού υπάρχουν σχεδόν πάντα απορριπτικά φορτία. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση που ο βαθμός φόρτισης των συσσωρευτών είναι μεγάλος και η ανεμογεννήτρια συνεχίζει να τροφοδοτεί το σύστημα με ενέργεια, τότε ο ρυθμιστής φόρτισης τροφοδοτεί με ενέργεια τα απορριπτικά φορτία, τα οποία είναι ωμικές αντιστάσεις. Στην αντίθετη περίπτωση που ο βαθμός φόρτισης των συσσωρευτών είναι μικρός, ο ρυθμιστής φόρτισης λειτουργεί με στόχο να μην τροφοδοτούν οι συσσωρευτές τον inverter με αποτέλεσμα να μην γίνεται κατανάλωση ισχύος από φορτία. Σημειώνεται ότι η λειτουργία του ρυθμιστή φόρτισης διαφοροποιείται από σύστημα σε σύστημα.

Για την τροφοδότηση των συσσωρευτών θα πρέπει η ανορθωμένη τάση της γεννήτριας να είναι ανάλογη με την ταχύτητα περιστροφής του έλικα της ανεμογεννήτριας και να έχει τιμή κοντά και λίγο περισσότερο από την τιμή των volts των συσσωρευτών αφού υπάρχει και κάποια πτώση τάσης στις διόδους που άγουν το ρεύμα. Σε περίπτωση όμως που η ταχύτητα περιστροφής είναι μεγαλύτερη από την επιθυμητή θα υπάρχει αύξηση στην ηλεκτρεγερτική δύναμη της γεννήτριας όπου ισχύει ότι ο λόγος της διαφοράς της ηλεκτρεγερτικής δύναμης και της τάσης των συσσωρευτών προς τη σύνθετη αντίσταση του ισοδύναμου κυκλώματος δίνει το ρεύμα που τροφοδοτεί το κύκλωμα άρα και το ρεύμα των συσσωρευτών. Με την αύξηση του ρεύματος πραγματοποιείται ταυτόχρονη αύξηση της εσωτερικής αντίστασης του στάτη με συνέπεια οι τιμές της ηλεκτρεγερτικής δύναμης να μεταβάλλονται με στόχο η ανόρθωση τη τάσης να είναι η απαιτούμενη για τους συσσωρευτές και να πραγματοποιείται η ομαλή ροή ρεύματος προς αυτούς.

Στην ουσία όταν παρατηρείται μεγάλη αύξηση της ηλεκτρεγερτικής δύναμης η τάση ανόρθωσης αυξάνεται συγκρινόμενη με αυτή των συσσωρευτών με συνέπεια να δημιουργείται ηλεκτρομαγνητική ροπή στον άξονα, η οποία είναι αντίθετη από την ροπή του κινητήρα και με αυτόν τον τρόπο αποτρέπει τον έλικα να φτάσει στις ονομαστικές του στροφές. Συμπερασματικά λοιπόν, δεν μπορεί να επιτευχθεί η βέλτιστη λειτουργία άρα δεν παρέχεται η μέγιστη ισχύς (Piggott,2010).

Όπως προαναφέρθηκε τα αυτόνομα συστήματα εκμετάλλευσης του αιολικού δυναμικού χρησιμοποιούν επί το πλείστον συσσωρευτές με στόχο την αποθήκευση ενέργειας. Έτσι και στην περίπτωση της παρούσας εργασίας ο κατασκευαστής προτείνει να χρησιμοποιηθούν 8 συσσωρευτές των 12V και είναι συνδεδεμένοι παράλληλα μεταξύ τους. Επιπλέον, κάθε συσσωρευτής θα έχει χωρητικότητα 300Ah. Στην συνέχεια απαιτείται ο έλεγχος των συσσωρευτών για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας για δύο με τρία συνεχόμενα εικοσιτετράωρα.

Η δυνατότητα αποθήκευσης κάθε συσσωρευτή εξαρτάται από την τάση κάθε συσσωρευτή καθώς και την χωρητικότητα αυτού. Η σχέση που υπολογίζεται η δυνατότητα αποθήκευσης κάθε συσσωρευτή είναι η ακόλουθη:

$$Wh = Ah * V \quad [19]$$

Όπου: V= τάση κάθε συσσωρευτή (Volts)

Ah= χωρητικότητα κάθε συσσωρευτή

Αρά σύμφωνα με την σχέση 19 η δυνατότητα αποθήκευσης κάθε συσσωρευτή είναι **3000 Wh** και το σύνολο των 8 συσσωρευτών ανέρχεται στις **24000 Wh ή 24 kWh**.

Στην συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 13 με την ημερήσια πλεονάζουσα ενέργεια του συστήματος της ανεμογεννήτριας η οποία υπολογίζεται από την ημερήσια παραγόμενη ενέργεια της ανεμογεννήτριας αφαιρώντας τις ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες της οικίας.

Πίνακας 13: Ημερήσια Πλεονάζουσα Ενέργεια οικίας

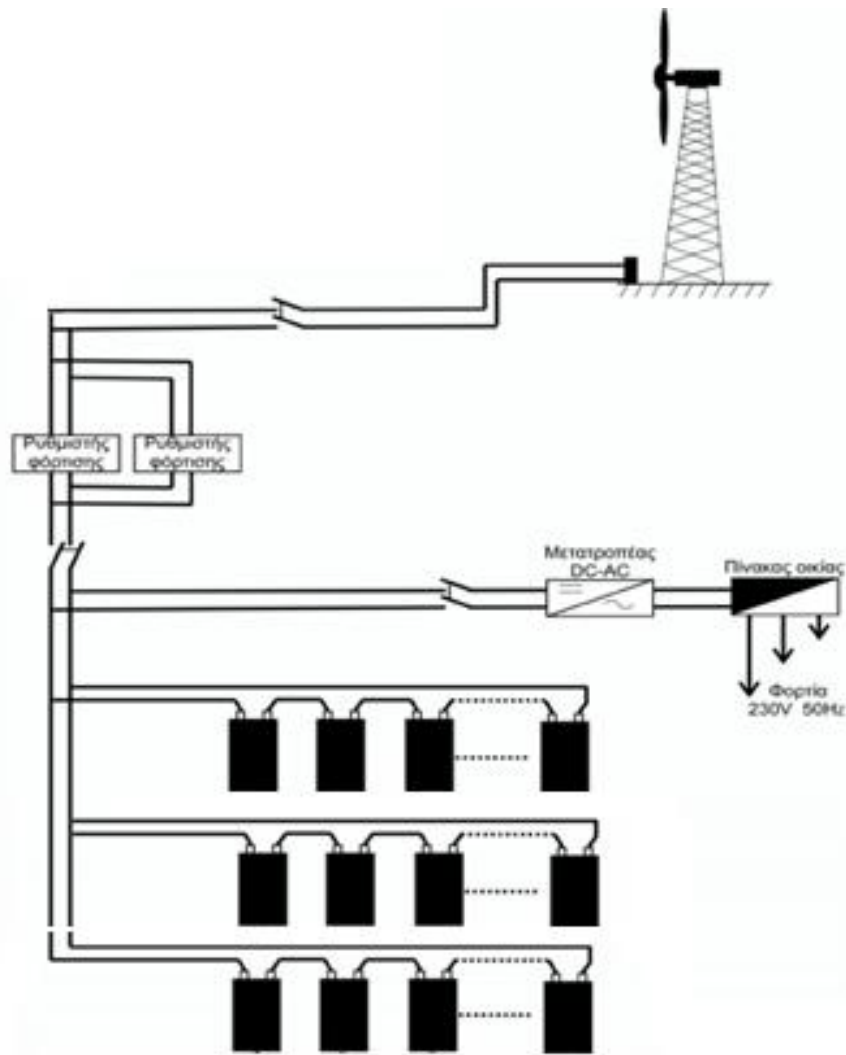
Μήνες	Μέρες μήνα	Ημερήσια παραγόμενη ενέργεια (kWh)	Ημερήσιες ενεργειακές ανάγκες οικίας (kWh)	Πλεονάζουσα ενέργεια (kWh)
Ιανουάριος	31	63,05	23,24	39,81
Φεβρουάριος	28	63,05	25,73	37,32
Μάρτιος	31	63,05	20,46	42,59
Απρίλιος	30	63,05	21,14	41,90
Μάιος	31	63,05	20,46	42,59
Ιούνιος	30	63,05	27,06	35,99
Ιούλιος	31	63,05	26,19	36,86
Αύγουστος	31	63,05	26,19	36,86
Σεπτέμβριος	30	63,05	22,84	40,21
Οκτώβριος	31	63,05	22,10	40,95
Νοέμβριος	30	63,05	22,84	40,21
Δεκέμβριος	31	63,05	23,24	39,81

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 13 παρατηρείται ότι η αποθήκευση ενέργειας αρκεί μόνο για ένα εικοσιτετράωρο. Επιπλέον, παρατηρείται ότι ένα μέρος της παραγόμενης ενέργειας παραμένει ανεκμετάλλευτο και χάνεται. Άρα θα πρέπει είτε να αυξήσουμε την ποσότητα των συσσωρευτών είτε να επιλεχθούν συσσωρευτές με διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία ωστόσο θα μπορούν να συνδεθούν με το υπάρχον σύστημα της ανεμογεννήτριας.

Ø Πρώτη λύση

Η πρώτη λύση είναι η αύξηση των συσσωρευτών και θεωρείται ως η πιο απλή, αφού για την κάλυψη του επιθυμητού χρόνου αρκεί να τριπλασιαστεί η ποσότητα των συσσωρευτών που προτείνονται από τον κατασκευαστή. Συγκεκριμένα οι συσσωρευτές των **12Volts** με χωρητικότητα **250 Ah** θα αυξηθούν σε **24** και η δυνατότητα αποθηκευόμενης ενέργειας θα ανέρχεται στις **72kWh**. Με την αύξηση αυτή των συσσωρευτών καλύπτονται οι ενεργειακές ανάγκες της οικίας για τρία συνεχόμενα εικοσιτετράωρα με συνέπεια την μεγαλύτερη ενεργειακή ασφάλεια της οικίας σε περιπτώσεις ακραίων καιρικών συνθηκών ή κάποιας βλάβης τους συστήματος της ανεμογεννήτριας.

Η σύνδεση της ανεμογεννήτριας με τους συσσωρευτές πραγματοποιείται όπως διακρίνεται στο σχήμα 30, δηλαδή προτείνονται τρεις παράλληλες σειρές συσσωρευτών όπου η κάθε μια θα αποτελείται από οκτώ συσσωρευτές.



Σχήμα 30: Προτεινόμενη σύνδεση ανεμογεννήτριας με συσσωρευτές
[Πηγή: Γαλούζης, 2009]

Ωστόσο, αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι αυτή η προτεινόμενη λύση έχει ένα βασικό μειονέκτημα και αυτό είναι η απαίτηση του αποθηκευτικού χώρου αφού οι 24 συσσωρευτές με χωρητικότητα 250 Ah απαιτούν περίπου 20 με 30 m², δηλαδή ένα δωμάτιο, για την φύλαξη και αποθήκευση αυτών.

Ø Δεύτερη λύση

Ο κατασκευαστής δίνει την δυνατότητα στην ανεμογεννήτρια να μπορεί να έχει ηλεκτρική τάση 12V/24V/48V. Αποτέλεσμα αυτού είναι να μπορούν να χρησιμοποιηθούν και συσσωρευτές με μεγαλύτερη τάση.

Αρχικά υπολογίζεται πόση είναι η ημερήσια παραγόμενη ενέργεια σε Ah με στόχο την επιλογή της κατάλληλης χωρητικότητας των συσσωρευτών με στόχο την άρτια λειτουργία και εξυπηρέτηση των φορτιών (Γαλούζης, 2009). Η σχέση που δίνει την απαιτούμενη χωρητικότητα των συσσωρευτών σύμφωνα με την μέση ημερήσια παραγόμενη ενέργεια είναι η ακόλουθη:

$$E = \frac{E_{WIND}}{V} \quad [20]$$

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

Από τα δεδομένα του πίνακα 13 η μέση ημερήσια παραγόμενη ενέργεια θα είναι **63,05 kWh** άρα αν χρησιμοποιηθούν συσσωρευτές των **48 V** και σύμφωνα με την σχέση 20 η ημερήσια παραγόμενη ενέργεια θα είναι **1313,54 Ah**.

Επιπλέον, απαιτείται ο υπολογισμός της απαιτούμενης χωρητικότητας του συνολικού υποσυστήματος των συσσωρευτών. Όπως αναλύθηκε και προηγουμένως στο υπό μελέτη σύστημα λόγο της αδυναμίας που υπάρχει για την μη σύνδεσή του στο τοπικό δίκτυο θα πρέπει να υπάρχει αποθηκευμένη ενέργεια με στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών για τρία συνεχόμενα εικοσιτετράωρα. Η απαιτούμενη χωρητικότητα του υποσυστήματος των συσσωρευτών δίνεται από την σχέση:

$$C = \frac{E \cdot A}{DoD_{max} \cdot \alpha_{\theta}} \quad [21]$$

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

Ο μέγιστος βαθμός εκφόρτισης των συσσωρευτών (DoD_{max}) δίνεται συνήθως από τον κατασκευαστή. Ωστόσο, στην περίπτωση που δεν δίνεται χρησιμοποιείται ο πίνακας 14, όπου σύμφωνα με την βιβλιογραφία (Γαλούζης, 2009 ; Τσούλης, 2016) δεν θα υπάρχει σημαντικό σφάλμα στους υπολογισμούς.

Πίνακας 14: Μέγιστος επιτρεπόμενος βάθος εκφόρτισης των συσσωρευτών
 [Πηγή: Γαλούζης, 2009]

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

Επιπλέον, από τον κατασκευαστή δίνεται και ο συντελεστής θερμοκρασίας ο οποίος εκφράζει τη μείωση της χωρητικότητας των συσσωρευτών όταν αυτοί τοποθετούνται σε περιβάλλον με χαμηλότερη θερμοκρασία από την δεδομένη. Στις περισσότερες περιπτώσεις που η θερμοκρασία του περιβάλλοντα χώρου των συσσωρευτών κυμαίνεται κοντά στους 20 °C τότε η τιμή του συντελεστή θερμοκρασίας 1.

Άρα με τα προαναφερόμενα (σχέση 21), η απαιτούμενη χωρητικότητα του συστήματος με ημερήσια παραγόμενη ενέργεια **$E=1313,54 Ah$** , για τρία συνεχόμενα εικοσιτετράωρα **$A=3$** , με μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης συσσωρευτών **$DoD_{max}=0,8$** , ο οποίος επιλέχθηκε σύμφωνα με το επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης που χρησιμοποιούν οι περισσότεροι κατασκευαστές συσσωρευτών, και με συντελεστή θερμοκρασίας **$\alpha_{\theta}=1$** είναι **$C=3152,5 Ah$** άρα **$C=3153Ah$** .

Ωστόσο, σε αυτό που θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση είναι η συνδεσμολογία των συσσωρευτών, διότι οι συσσωρευτές δεν έχουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που απαιτεί η κάθε εφαρμογή με συνέπεια να απαιτείται κάποιος να συνδέονται σε σειρά και κάποιος παράλληλα.

Για τον υπολογισμό του αριθμού των παράλληλα συνδεδεμένων συσσωρευτών χρησιμοποιείται η σχέση:

$$B_p = \frac{C}{C_o} \quad [22]$$

Όπου: C = απαιτούμενη χωρητικότητα συστήματος (Ah)

C_o = ονομαστική χωρητικότητα του κάθε συσσωρευτή (Ah)

Η ονομαστική χωρητικότητα των συσσωρευτών θα πρέπει να είναι περίπου στις **$C_o=1000 \text{ Ah}$** με ονομαστική τάση **$V_o= 2 \text{ V}$** . Επιπλέον, όπως υπολογίστηκε η απαιτούμενη χωρητικότητα συστημάτων είναι **$C=31523 \text{ Ah}$** άρα με την αντικατάσταση της σχέσης 22 ο αριθμός των παράλληλων συνδεδεμένων συσσωρευτών θα είναι 3,15, δηλαδή απαιτούνται **3 συσσωρευτές συνδεδεμένοι παράλληλα**.

Στην συνέχεια πραγματοποιείται ο υπολογισμός για τους συσσωρευτές που θα είναι συνδεδεμένοι σε σειρά με την σχέση:

$$B_s = \frac{V_s}{V_{a,b}} \quad [23]$$

Όπου: V_s = τάση συστήματος (Volts)

V_o = ονομαστική τάση του κάθε συσσωρευτή (Volts)

Σύμφωνα με την σχέση 23 ο αριθμός των συσσωρευτών είναι **24**. Άρα επιλέγονται **24 συσσωρευτές συνδεδεμένοι σε σειρά**. Η επιλογή της ονομαστικής τάσης των συσσωρευτών εξαρτάται από τον μηχανικό της μελέτης. Υπάρχουν πολλοί τύποι συσσωρευτών με συνέπεια να δίνονται εκατοντάδες επιλογές.

Τέλος, ο συνολικός αριθμός των συσσωρευτών που τελικά θα χρησιμοποιηθούν στο σύστημα για την αποθήκευση της παραγόμενης ενέργειας με στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας για τρία συνεχόμενα εικοσιτετράωρα εξαρτάται από τους συνδεδεμένους σε σειρά αλλά και παράλληλα συσσωρευτές και δίνεται από την σχέση:

$$B = B_p * B_s \quad [24]$$

Όπου: B_p = αριθμός παράλληλων συσσωρευτών

B_s = αριθμός συσσωρευτών σε σειρά

Άρα από την σχέση 24, οι **συνολικοί συσσωρευτές** θα είναι **72**.

Στην συνέχεια δίνεται η σχέση για τον υπολογισμό της συνολικής χωρητικότητας των συσσωρευτών που θα χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας και είναι η ακόλουθη:

$$C_{tot} = B_p * C_o \quad [25]$$

Όπου: B_p = αριθμός παράλληλων συσσωρευτών

C_o = ονομαστική χωρητικότητα του κάθε συσσωρευτή (Ah)

Οι παράλληλοι συσσωρευτές είναι $B_p=3$ και η ονομαστική χωρητικότητα του κάθε συσσωρευτή ανέρχεται στις $C_o=1000 \text{ Ah}$ άρα η συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών θα είναι $C_{tot}=3000 \text{ Ah}$.

Ακολουθεί ο υπολογισμός της ωφέλιμης χωρητικότητας του συστήματος των συσσωρευτών η οποία δίνεται από την σχέση:

$$C_{\Omega\Phi} = DoD_{max} * C_{tot} \quad [26]$$

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

C_{tot} = συνολική χωρητικότητα των συσσωρευτών

Άρα για μέγιστο επιτρεπόμενο βάθος εκφόρτισης συσσωρευτών $DoD_{max}=0,8$ και συνολική χωρητικότητα συσσωρευτών $C_{tot}=3000 \text{ Ah}$, η ωφέλιμη χωρητικότητα του συστήματος των συσσωρευτών ανέρχεται σε $C_{\Omega\Phi}=2400 \text{ Ah}$.

Από την σχέση 19 προσδιορίζεται η νέα αποθηκευόμενη ενέργεια στους συσσωρευτές με ωφέλιμη χωρητικότητα συστήματος συσσωρευτών $C_{\Omega\Phi}=2400 \text{ Ah}$ και τάση συστήματος $V=48 \text{ Volts}$ με συνέπεια η ενέργεια που αποθηκεύεται να ανέρχεται $Wh'=115200 \text{ Wh}$ ή $115,200 \text{ kWh}$

Πίνακας 15: Συγκεντρωτικός πίνακας χαρακτηριστικά συσσωρευτών

Χαρακτηριστικά	Συμβολισμός	Αποτελέσματα
Συνολική μέση ημερήσια ενέργεια	E	1314 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	3153Ah
Ονομαστική χωρητικότητα του κάθε συσσωρευτή	C_o	1000Ah
Αριθμός παράλληλων συσσωρευτών	B_p	3
Αριθμός συσσωρευτών σε σειρά	B_s	24
Συνολικός αριθμός συσσωρευτών	B	12
Συνολική χωρητικότητα συσσωρευτών	C_{tot}	3000 Ah
Ωφέλιμη χωρητικότητα	$C_{\Omega\Phi}$	2400 Ah
Τελική αποθηκευμένη Ενέργεια	Wh'	115,200 kWh

Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αν υπάρξει αλλαγή στο προτεινόμενο σύστημα του κατασκευαστή, δηλαδή αν χρησιμοποιηθεί η δεύτερη περίπτωση αποθήκευσης πλεονάζουσας ενέργειας, θα πρέπει να πραγματοποιηθεί έλεγχος με στόχο την εξακρίβωση της σωστής λειτουργίας του συστήματος. Υπάρχουν περιπτώσεις αυτόνομων συστημάτων που δεν προτείνεται αλλαγή σε κανένα από τα προτεινόμενα μέρη του κατασκευαστή. Επιπλέον, τονίζεται ότι η λειτουργία σε ότι αφορά τα ηλεκτρολογικά τμήματα του συστήματος θα πρέπει να γίνει από Ηλεκτρολόγο Μηχανικό.

4.2.3.6. Μετατροπές DC - AC (Inverter)

Στους συσσωρευτές παρέχεται ενέργεια η οποία είναι σε μορφή συνεχούς τάσης (DC) με συνέπεια να απαιτείται μετατροπή σε εναλλασσόμενη τάση (AC) με στόχο την εκμετάλλευσή της από κοινές ηλεκτρικές συσκευές. Η μετατροπή αυτή επιτυγχάνεται με την χρήση μετατροπέα. Οι μετατροπείς επί των πλείστων έχουν αποδοτικότητα μεγαλύτερη από 90% και σε περίπτωση που λειτουργούν με πάνω από το 10% της εκτιμημένης εξόδου, η αποδοτικότητά τους μπορεί να αγγίξει και το 96% (Γαλούζης, 2009).

Οι μετατροπείς διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες και είναι είτε οι αυτόνομοι μετατροπείς, είτε οι μετατροπείς γραμμής συγχρονισμού. Οι αυτόνομοι μετατροπείς έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν ανεξάρτητα και ενεργοποιούνται από την πηγή ισχύος εισόδου, σε αντίθεση με τους μετατροπείς γραμμής συγχρονισμού όπου εξαρτώνται άμεσα από το σύστημα. Για την επιλογή του κατάλληλου αυτόνομου μετατροπέα λαμβάνουμε υπόψη μας το είδος της εναλλασσόμενης τάσης που απαιτείται με στόχο να λειτουργήσουν οι καταναλωτές, δηλαδή οι ηλεκτρικές συσκευές. Επιπλέον, οι μετατροπείς για αυτόνομα συστήματα διαχωρίζονται στους μετατροπείς με καθαρή ημιτονική κυματομορφή εξόδου και στους μετατροπείς με τροποποιημένη ημιτονική κυματομορφή εξόδου (Γαλούζης, 2009 ; Τσούλης, 2016).

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης όπου χρησιμοποιείται ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος ο μετατροπέας που θεωρείται κατάλληλος είναι αυτόνομος μετατροπέας με καθαρή ημιτονική κυματομορφή εξόδου. Ο λόγος που επιλέγεται αυτός ο τύπος μετατροπέα είναι διότι μπορεί να τροφοδοτεί περισσότερους από ένα καταναλωτές ακόμα και όταν κάποιος καταναλωτής αποτελείται από ευαίσθητα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο ηλεκτρονικός υπολογιστής.

Ωστόσο, βασικό πλεονέκτημα των αυτόνομων μετατροπέων είναι ότι η τάση που προσφέρουν σε κάθε καταναλωτή είναι σταθερή αν και κατά την διάρκεια φόρτισης των συσσωρευτών υπάρχουν αυξομειώσεις στην τάση που δέχεται ο μετατροπέας. Ο μετατροπέας θα πρέπει να έχει ισχύ με τιμή που θα υπερκαλύπτει την μέγιστη ισχύ ζήτησης που προσδιορίζεται από το σύνολο των καταναλωτών καθώς και την ισχύ της υπέρτασης, που είναι συνήθως η τριπλάσια της ονομαστικής και μάλιστα για αρκετά δευτερόλεπτα (Γαλούζης, 2009).

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός μετατροπέα αυτόνομου συστήματος είναι η ονομαστική ισχύς (V_A), η μέγιστη ισχύς (V_A), η ονομαστική τάση εισόδου (V), τα όρια της τάσης εισόδου (V), η μέγιστη ένταση εισόδου (A), η τάση εξόδου (V), η ένταση εξόδου (A), η συχνότητα εξόδου (Hz) και η κυματομορφή εξόδου και η απόδοση (%) (Τσούλης, 2016).

Για την επιλογή του κατάλληλου μετατροπέα από DC σε AC θα πρέπει να είναι γνωστή η ισχύς αιχμής του συστήματος με στόχο την χρήση της παρακάτω σχέσης:

$$P_{INV} = 1,5 * P_p \quad [27]$$

Όπου: P_p = ισχύς αιχμής (αποδιδόμενη ισχύς σε τυπικές συνθήκες λειτουργίας)

Στην περίπτωση της μελέτης η ισχύς αιχμής θα είναι η μέση τιμή της αποδιδόμενης ισχύος είναι **63,05 kWh/day** άρα η ισχύς αιχμής θα είναι **$P_p=2627,08$ Watt**. Πραγματοποιώντας αντικατάσταση στην σχέση 27 ο μετατροπέας θα πρέπει να είναι ισχύος **3940,6Watt**, άρα θα έχει ονομαστική ισχύ **4kW**. Επιπλέον, ο

μετατροπέας θα πρέπει να είναι τύπου καθαρής ημιτονικής κυματομορφή εξόδου, η τάση εισόδου να είναι ίση με την τάση του συστήματος (V_s) και η τάση εξόδου να είναι 230 V.



Εικόνα 13: Μετατροπέας Ισχύος 4kW της εταιρίας SotecSK

4.2.3.7. Ρυθμιστής Φόρτισης

Η επιλογή του ρυθμιστή φόρτισης γίνεται σύμφωνα με το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να παρέχει η ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος. Το μέγιστο ρεύμα υπολογίζεται από τον λόγο της ονομαστικής ισχύος της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος προς την τάση του συστήματος και δίνεται από την σχέση:

$$I_{A/\Gamma max} = \frac{P_N}{V_s} \quad [27]$$

Όπου: P_N = ονομαστική ισχύς ανεμογεννήτριας
 V_s = τάση συστήματος

Η ονομαστική ισχύς ανεμογεννήτριας είναι **$P_N=10 \text{ kWatt}$** και η τάση του συστήματος είναι **$V=48 \text{ Volts}$** άρα το μέγιστο ρεύμα που παρέχεται είναι **$I_{A/\Gamma max}=208,33 \text{ A}$** .

Ωστόσο, η επιλογή του ρυθμιστή φόρτισης δεν εξαρτάται μόνο από την τάση λειτουργίας του συστήματος, όπου θα πρέπει να διαθέτει την ίδια καθώς και από το μέγιστο ρεύμα που παρέχεται από την ανεμογεννήτρια και υπολογίζεται από την σχέση:

$$I_{cc} = 1,5 * I_{A/\Gamma max} \quad [28]$$

Αρά για να μπορεί να διαχειριστεί το μέγιστο ρεύμα της ανεμογεννήτριας ο ρυθμιστής φόρτισης σύμφωνα με την σχέση 28 θα πρέπει να είναι έχει **$I_{cc}=312,5 \text{ A}$** δηλαδή **$I_{cc}=313 \text{ A}$** .

Παρατηρείται ότι ο ρυθμιστής φόρτισης που απαιτείται πρέπει να έχει αντοχή σε 313 A με συνέπεια να είναι δύσκολο έως και ακατόρθωτο να βρεθεί ρυθμιστής φόρτισης με τέτοια αντοχή. Αυτός είναι και ο λόγος που προτείνονται να τοποθετηθούν 3 ρυθμιστές φόρτισης έχοντας τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Τάση συστήματος : 12/24/36/48/60 V
- DC ρεύμα λειτουργίας : 100A
- Μεγίστη τάση εισόδου : 250V DC

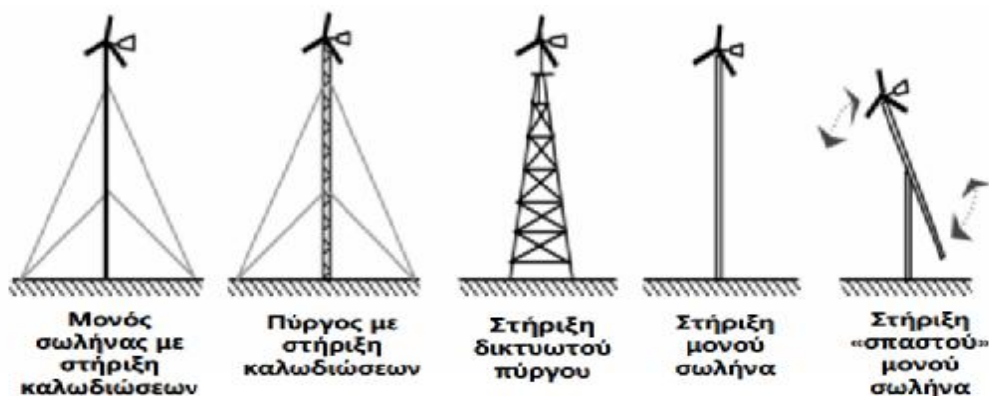


Εικόνα 14: Ρυθμιστής φόρτισης Victron Energy Smartsolar MPPT 250/100 Tr

4.2.3.8. Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος θα πρέπει να πραγματοποιηθούν κάποια έργα υποδομής. Ο πύργος της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να τοποθετηθεί πάνω σε σταθερό έδαφος στο οποίο δεν θα υπάρχουν ανώμαλες επιφάνειες και δεν θα επηρεάζεται με το πέρασμα των χρόνων. Στις περισσότερες περιπτώσεις που η ανεμογεννήτρια τοποθετείται στο έδαφος και όχι πάνω στην οικήα προτείνεται η βάση να είναι από τσιμέντο, η οποία έχει κατασκευαστεί σύμφωνα με τα εδαφικά χαρακτηριστικά (Τσούλης, 2016).

Επιπλέον, ο πύργος στήριξης της ανεμογεννήτριας συνήθως προτείνεται από τον κατασκευαστή διότι όπως έχει αναλυθεί και στα προηγούμενα κεφάλαια κάθε ανεμογεννήτρια έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά αντοχής, άρα απαιτείται και πύργος ο οποίος θα μπορεί να ανταπεξέλθει σε συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες καθώς και στις συνθήκες περιβάλλοντος της κάθε περιοχής (Κατσιγιάννης, 2012 ; Τσούλης 2016). Οι πύργοι που μπορεί να τοποθετηθεί μια ανεμογεννήτρια απεικονίζονται στο σχήμα 31.

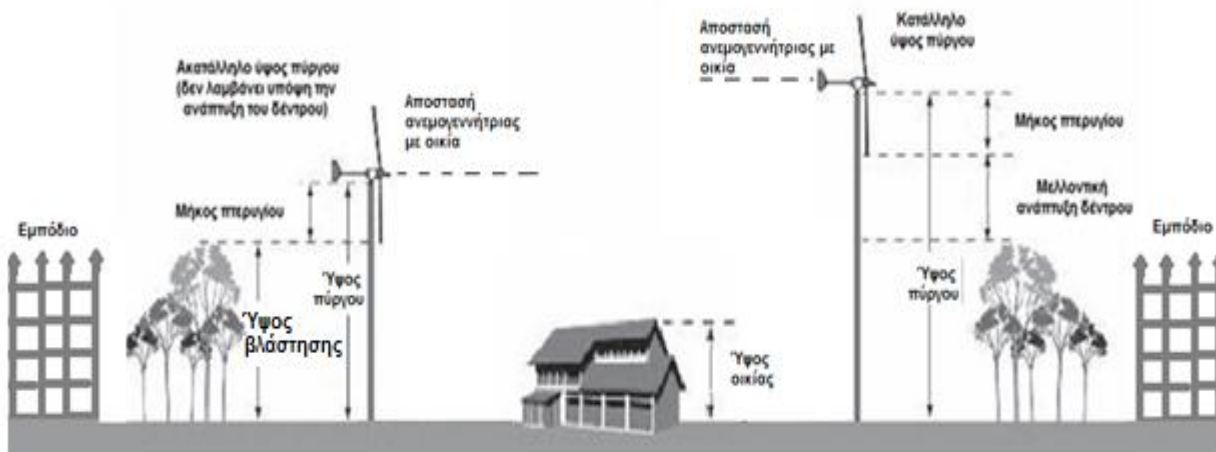


Σχήμα 31: Τρόποι στήριξης ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος
 [Πηγή: Κατσιγιάννης, 2012]

Όμως για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας σημαντικό ρόλο παίζει ο περιβάλλοντας χώρος της οικήας και συγκεκριμένα αν υπάρχουν άλλες οικήες ή

κάποια εμπόδια (φράκτες, μάντρες κ.ά.) γύρωθεν αυτής καθώς και το είδος της βλάστησης.

Στο σχήμα 32 απεικονίζεται ο τρόπος που υπολογίζεται το ύψος του πύργου της ανεμογεννήτριας. Αρχικά υπολογίζεται το ύψος της οικίας και στην συνέχεια τα ύψη των εμποδίων. Όταν τα εμπόδια γύρωθεν της ανεμογεννήτριας είναι σταθερά τότε ο υπολογισμός του ύψους του πύργου είναι πιο εύκολος διότι δεν υπάρχει το πρόβλημα της μεταβολής αυτών. Σε αυτή την περίπτωση αρκεί τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας να βρίσκονται στο ανώτερο σημείο του εμποδίου με το μεγαλύτερο ύψος. Άρα το ύψος του πύργου θα είναι το άθροισμα του ύψους του ψηλότερου εμποδίου και το μήκος του πτερυγίου της ανεμογεννήτριας. Όταν όμως το ύψος των εμποδίων μπορεί να μεταβληθεί με το πέρασμα του χρόνου τότε περιπλέκεται λίγο ο υπολογισμός του ύψους του πύργου στήριξης. Τα εμπόδια που παρουσιάζουν μεταβολή στο ύψος τους συνήθως είναι η βλάστηση και ιδιαίτερα τα δέντρα της περιοχής, με συνέπεια να απαιτείται η γνώμη ειδικού (Γεωπόνου συνήθως) γιατί ποιο μπορεί να είναι το μέγιστο ύψος που μπορεί να αναπτυχθεί κάθε φυτό – δέντρο στην περιοχή. Αφού δοθεί η μελλοντική ανάπτυξη των φυτών τότε συνυπολογίζεται στο άθροισμα του ύψους του ψηλότερου εμποδίου και του μήκους του πτερυγίου της ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 32: Σκαρίφημα υπολογισμού ύψους πύργου ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος [Πηγή: Κατσίγιαννης, 2012]

Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης ο πύργος στήριξης που προτείνεται είναι με καλωδίωση διότι θεωρείται από τους πιο σταθερούς τύπους και προτείνεται για περιοχές που παρουσιάζουν υψηλό αιολικό δυναμικό όπως στην Κάρπαθο. Επιπλέον, το ύψος του πύργου στήριξης θα ξεπερνά τα **30 m** διότι όπως έχει προαναφερθεί δεν υπάρχουν εμπόδια αλλά και η βλάστηση δεν ξεπερνά τα 23 m. Ακόμα, σε περίπτωση που στην περιοχή κτιστούν κάποια κτήρια σύμφωνα με τον συντελεστή δόμησης δεν θα μπορούν να ξεπεράσουν τα 15 m, με συνέπεια να μην επηρεάζουν την λειτουργία της ανεμογεννήτριας. Τέλος, η απόσταση ανεμογεννήτριας και οικίας πρέπει να είναι $\geq 30m$ με στόχο να μην υπάρχει το πρόβλημα της ηχορύπανσης από τον θόρυβο που δημιουργείται κατά την λειτουργία της.

4.2.3.9. Αντικεραυνική προστασία

Η αντικεραυνική προστασία σε μια αιολική μηχανή δεν θεωρείται πάντα απαραίτητη. Συνήθως προτείνεται σε περιοχές όπου υπάρχουν έντονα καιρικά φαινόμενα τα οποία συνοδεύονται με κεραυνούς. Η προστασία της ανεμογεννήτριας από τέτοια φαινόμενα (κεραυνούς) μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους και είναι οι ακόλουθοι:

✓ 1^{ος} Τρόπος αντικεραυνικής προστασίας

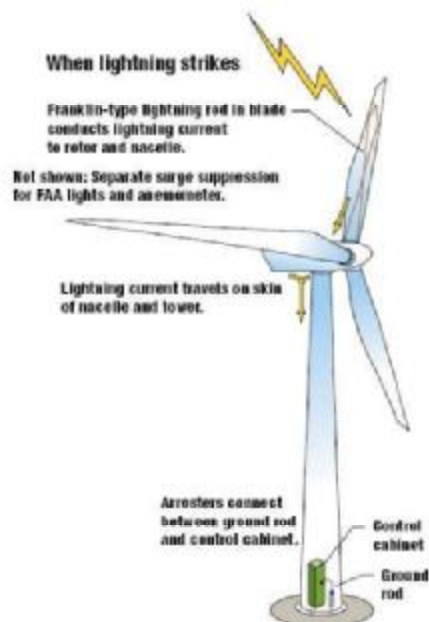
Στον πρώτο τρόπο της αντικεραυνικής προστασίας της ανεμογεννήτριας τα μέσα της προστασίας είναι τοποθετημένα στο σώμα της ανεμογεννήτριας δηλαδή στον πύργο στήριξης. Το σύστημα αντικεραυνικής προστασίας αποτελείται βασικά από εκτροπείς υπερτάσεων. Σε περίπτωση κεραυνού το ρεύμα που παρέχεται ακολουθεί συγκεκριμένη πορεία και διοχετεύεται στο έδαφος με ένα ηλεκτρόδιο γείωσης (Δουσλατζη, 2010).



Εικόνα 15: Εκτροπείς υπερτάσεων σε ανεμογεννήτριες
[Πηγή: Δαγιόγλου, 2011]

✓ 2^{ος} Τρόπος αντικεραυνικής προστασίας

Στον δεύτερο τρόπο της αντικεραυνικής προστασίας της ανεμογεννήτριας χρησιμοποιείται μια ακίδα που είναι σαν συλλεκτήριο σύστημα αντικεραυνικής προστασίας. Όμως η χρήση αυτού του συστήματος απαιτεί έλεγχο της θέσης της ανεμογεννήτριας διότι η συσκευή αυτή προστατεύεται σαν μια απλή ηλεκτρική συσκευή η οποία πρέπει να είναι στα όρια που καθορίζει η μέθοδος της κυλιόμενης σφαίρας (ακτίνας 45m). Αποτέλεσμα αυτού είναι οι θέσεις που έχει δυνατότητα να τοποθετηθεί η αντικεραυνική προστασία να είναι προκαθορισμένες και να υπάρχει η απαραίτητη ασφάλεια (Δαγιόγλου, 2011).



Σχήμα 33: Διαδρομή ρεύματος και ακίδα αντικεραυνικής στο πίσω μέρος της ατράκτου
[Πηγή: Δαγιόγλου, 2011]

5. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΜΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Για την πραγματοποίηση της εγκατάστασης ενός συστήματος εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θα πρέπει να πραγματοποιηθεί και ο έλεγχος για την οικονομική βιωσιμότητα του. Η οικονομική βιωσιμότητα μιας τέτοιας εγκατάστασης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ο βασικός είναι το κόστος του επιλεγμένου συστήματος που θα εγκατασταθεί σύμφωνα με την παραγόμενη ενέργεια που θα διαθέτει. Επιπλέον, η θέση εγκατάστασης επηρεάζει αρκετά την θέση βιωσιμότητας γιατί θα πρέπει να εκμεταλλεύεται το μέγιστο αιολικό δυναμικό της περιοχής αλλά και να μην απαιτούνται μεγάλα έργα υποδομής. Ακόμα, η διάρκεια ζωής του συστήματος και τα έξοδα συντήρησης του, θεωρούνται παράγοντες που θα πρέπει να συνυπολογίζονται γιατί αποδεικνύουν και αυτοί με την σειρά τους αν η εγκατάσταση θα μπορέσει να επιβιώσει από οικονομικής άποψης.

Αυτό που θα πρέπει να σημειωθεί είναι ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας θεωρούνται ως η βέλτιστη λύση με στόχο την μείωση των συμβατικών καυσίμων για παραγωγή ενέργειας. Αυτό οδήγησε στην δημιουργία πολλών Ευρωπαϊκών Προγραμμάτων με συνέπεια πολλά συστήματα εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών να χρηματοδοτούνται έως και 40%.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα αναλυθεί το οργανόγραμμα που απαιτείται για μια οικονομοτεχνική μελέτη μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος και οι παράγοντες που προαναφέρθηκα με στόχο την διακρίβωση της οικονομικής βιωσιμότητας της ανεμογεννήτριας που θα τοποθετηθεί στο νησί της Καρπάθου με στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της υπό μελέτη οικίας. Επιπλέον, θα πραγματοποιηθεί σύγκριση του συστήματος εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας με σύστημα που χρησιμοποιεί συμβατικά καύσιμα με στόχο την επιλογή της πιο συμφέρουσας λύσης.

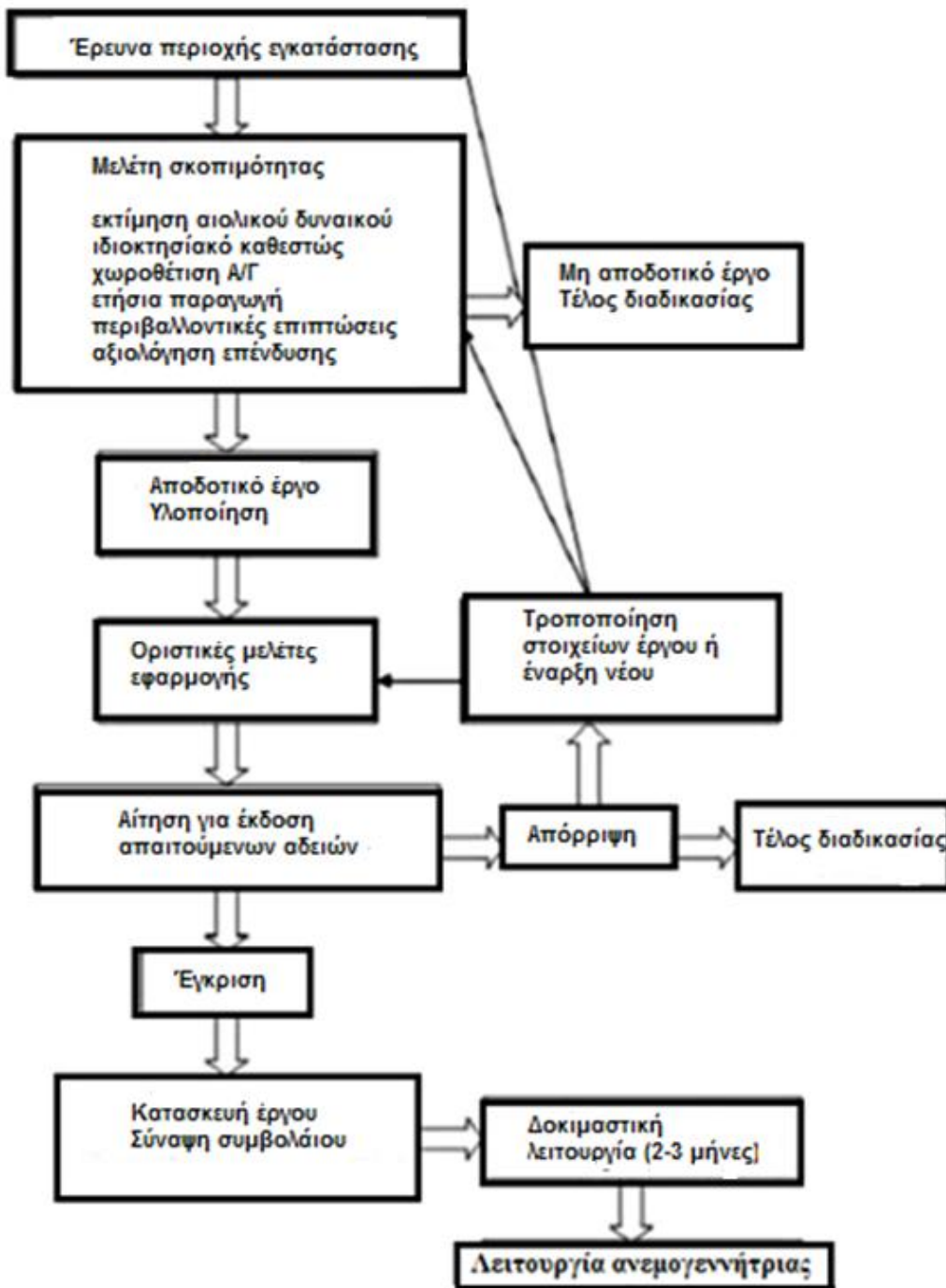
5.2. ΟΡΓΑΝΟΓΡΑΜΜΑ ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Για την πραγματοποίηση μιας μελέτης εγκατάστασης συστήματος εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας απαιτούνται κάποια στάδια τα οποία είναι τα εξής (Πελοποννήσιος, 2013):

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

Όμως κάθε ένα από τα προαναφερόμενα στάδια απαιτούν χρόνο καθώς και χρήματα για την υλοποίησή τους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι απαιτείται πριν την έναρξη της μελέτης να τίθεται το ερώτημα αν το έργο που θα πραγματοποιηθεί έχει την δυνατότητα να κάνει χρηματική απόσβεση και αν ναι πόσα χρόνια απαιτούνται (Θυμάκης & Τσουνής, 2013).

Στην συνέχεια ακολουθεί το οργανόγραμμα της οικονομοτεχνικής μελέτης εγκατάστασης αιολικής μηχανής (ανεμογεννήτριας) μικρής ισχύος και συγκεκριμένα οικιακής χρήσης (σχήμα 34).



Σχήμα 34: Οργανόγραμμα οικονομοτεχνικής μελέτης
[Πηγή: Πελοποννήσιος, 2013]

Σύμφωνα με τα παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι τα έξοδα που προκύπτουν κατά την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος παίζουν σημαντικό ρόλο για την υλοποίηση του έργου. Επιπλέον, θα πρέπει να σημειωθεί ότι με τον υπάρχοντα αναπτυξιακό νόμο δίνεται η δυνατότητα μερικής κρατικής επένδυσης για ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος με συνέπεια η εγκατάσταση τους να γίνεται οικονομικά πιο ελκυστική (Τσούλης, 2016).

Στην συνέχεια αναλύονται τα βασικά έξοδα που δημιουργούνται κατά την εκπόνηση της μελέτης και την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος και είναι τα εξής (Φλάμος, 2010):

- Ø **Μελέτη σκοπιμότητας:** σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνονται τα έξοδα για τη γνωμάτευση του έργου που πρόκειται να πραγματοποιηθεί αν είναι οικονομικά βιώσιμο και γνωστοποιείται το αρχικό κόστος της επένδυσης. Επιπλέον, το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τα έξοδα για τη διερεύνηση του χώρου, τη περιβαλλοντική αξιολόγηση, τον προκαταρκτικό σχεδιασμό, την αναλυτική εκτίμηση κόστους, τη διαχείριση του έργου και τα οδοιπορικά (έξοδα μετακίνησης στο τόπο της εγκατάστασης από τον μελετητή) που δύνανται να προκύψουν.
- Ø **Ανάπτυξη του έργου:** σε αυτό το στάδιο περιλαμβάνονται τα έξοδα που αφορούν τις διαπραγματεύσεις της τελικής τιμής, τα συμβόλαια, τις ενέργειες για την διεξαγωγή άδειας, τα δικαιώματα της γης που απαιτείται για την τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας, διάφορες νομικές και λογιστικές υπηρεσίες καθώς και οδοιπορικά για κάθε έναν που εργάζεται για την υλοποίηση του έργου.
- Ø **Μηχανολογικές απαιτήσεις:** σε αυτό το στάδιο τα έξοδα σχετίζονται με τον μηχανολογικό τομέα δηλαδή σχεδιασμό του συστήματος που αφορά μηχανολογικό, ηλεκτρολογικό εξοπλισμό καθώς και το οικόπεδο εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας. Επιπλέον, στα στάδια αυτό περιλαμβάνονται τα έξοδα για τη προκήρυξη διαγωνισμών καθώς και την διαδικασία για την υπογραφή συμβάσεων.
- Ø **Σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας:** αυτό το στάδιο περιλαμβάνει και το μεγαλύτερο μέρος των εξόδων αφού αφορά το κόστος αγοράς του συστήματος της αιολικής εγκατάστασης, της μεταφοράς η οποία εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος της ανεμογεννήτριας καθώς επίσης και κάποιων ανταλλακτικών και μη προσδοκώμενων εξόδων που απαιτούνται για την ολοκλήρωση του συστήματος. Τονίζεται ότι το κόστος της ανεμογεννήτριας εξαρτάται από την κατασκευαστική εταιρία γιατί ως επί το πλείστον η τιμή επηρεάζεται από κάποια υποχρεωτικά ανταλλακτικά (συνήθως κινητά μέρη της ανεμογεννήτριας) που πρέπει να αγοραστούν με το αρχικό σύστημα. Το κόστος των ανταλλακτικών κυμαίνεται περίπου στο 3% του συνολικού ποσού του αιολικού συστήματος.
- Ø **Ισοζύγιο του συστήματος:** στο στάδιο αυτό περιλαμβάνονται τα έξοδα που απαιτούνται για τις υπολειπόμενες εργασίες οι οποίες είναι απαραίτητες για την πραγματοποίηση του έργου. Κάποια ακόμα έξοδα σχετίζονται με την ανέγερση της αιολικής μηχανής, τα έργα οδοποιίας, τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρισμού.

- ∅ **Απρόβλεπτα:** σε αυτό το στάδιο είναι κάποια έξοδα τα οποία προκύπτουν κατά την διάρκεια των εργασιών. Τις περισσότερες φορές δεν δίνεται η δυνατότητα να υπολογισθεί με ακρίβεια το τελικό κόστος λόγω αυτών των εξόδων με συνέπεια να προσεγγίζονται και είναι της τάξης του 10% των συνολικών εξόδων του έργου. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η πιθανότητα σφάλματος και αυξάνεται η πιθανότητα εγκυρότερης προσέγγισης του ποσού των εξόδων. Επιπλέον, ο συνυπολογισμός της μεταβολής της αξίας του χρήματος κατά την διάρκεια της υλοποίησης του έργου μειώνει τα ποσοστά λανθασμένης οικονομικής εκτίμησης.
- ∅ **Ετήσια Κόστη:** αυτά τα έξοδα περιλαμβάνουν τα ετήσια έξοδα συντήρησης του συστήματος της ανεμογεννήτριας. Για τον ακριβή υπολογισμό τους προτείνεται μια αύξηση της τάξης του 10% από την αρχική τιμή που ορίζεται για την συντήρηση με στόχο τον συνυπολογισμό κάποιων μη προσδόκιμων εξόδων.
- ∅ **Περιοδικά Κόστη:** σε αυτά τα κόστη περιλαμβάνονται κάποιες εργασίες (έλεγχος κιβωτίου ταχυτήτων και στρεφόμενα μέρη συστήματος), οι οποίες πραγματοποιούνται με το πέρασμα συγκεκριμένων ωρών λειτουργίας του αιολικού συστήματος και των συνθηκών λειτουργίας αυτού. Τα έξοδα αυτά κοστολογούνται στο 20% της συνολικής τιμής του αιολικού συστήματος (ανεμογεννήτριας και μηχανολογικός εξοπλισμός).

5.3. ΚΟΣΤΟΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Η διεξαγωγή του κόστους μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος όπως έγινε κατανοητό εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και απαιτεί οργάνωση για την μη παράλειψη βασικών εξόδων. Προσπαθώντας να πραγματοποιηθεί ομαδοποίηση και διαχωρισμός των προαναφερόμενων στοιχείων που αναλύθηκαν στο οργανόγραμμα της οικονομοτεχνικής μελέτης αυτόνομων αιολικών συστημάτων διαχωρίζονται σε επιμέρους βήματα υπολογισμού των εξόδων της εγκατάστασης και είναι τα ακόλουθα (Τσούλης, 2016):

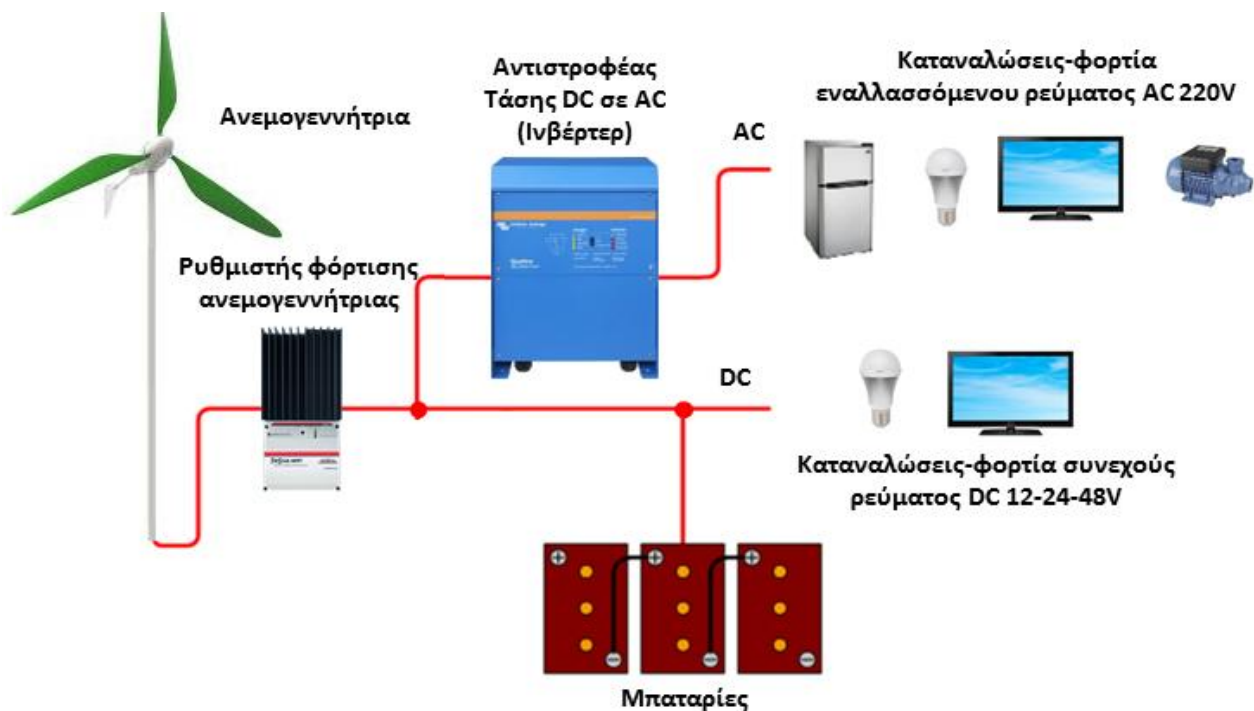
- Κόστος αγοράς ανεμογεννήτριας
- Κόστος γης – υποδομής
- Αιολικό δυναμικό περιοχής και συντελεστής χωρητικότητας μηχανής
- Συμβατικοί ενεργειακοί σταθμοί και κόστος παραγόμενης ενέργειας
- Διάρκεια ζωής ανεμογεννήτριας
- Συντήρηση ανεμογεννήτριας
- Χρηματικό κόστος μελέτης – διαδικασίας

Στην συνέχεια ακολουθεί η ανάπτυξη των προαναφερόμενων για την υπό μελέτη ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος. Τονίζεται ότι θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη έμφαση με στόχο να διαπιστωθεί αν όντως είναι οικονομικά βιώσιμη και αν η απόσβεση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε σχετικά μικρό χρονικό διάστημα.

5.3.1. Κόστος αγοράς ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Η χρηματική αξία μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος δεν εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της αλλά και από την εταιρία κατασκευής, αφού το κόστος των παραγόμενων προϊόντων της εξαρτάται από το πλήθος και τα χαρακτηριστικά των αιολικών μηχανών που προωθούνται για πώληση, δηλαδή το κόστος συμβαδίζει πολλές φορές με την ζήτηση. Επιπλέον, η χρηματική αξία μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται και από την περίπτωση που έχει ζητηθεί κάποια μικρή εφικτή αλλαγή στο σύστημα η οποία σε κάθε περίπτωση επιβαρύνει το αρχικό κόστος.

Στον υπολογισμό του αρχικού κόστους της ανεμογεννήτριας συμπεριλαμβάνεται το βασικό σύστημα δηλαδή ο μετατροπέας, ο ρυθμιστής φόρτισης καθώς και οι συσσωρευτές που προτείνονται από τον κατασκευαστή. Σε περίπτωση που απαιτούνται παραπάνω συσσωρευτές (για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών για τρία συνεχόμενα εικοσιτετράωρα) συνυπολογίζονται στα έξοδα. Στο σχήμα 35 απεικονίζονται τα βασικά μέρη που υπολογίζονται για το αρχικό κόστος μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος.



Σχήμα 35: Βασικά μέρη συστήματος ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος
[Πηγή: <https://www.oleng.eu/anemogenitria-times-leitourgia/>]

Στην συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 16 με τα οικονομικά στοιχεία του συστήματος της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος του υπό μελέτη συστήματος. Οι τιμές που αναγράφονται είναι ενδεικτικές σύμφωνα με την έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε στο διαδίκτυο. Ο εξοπλισμός που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση του αυτόνομου συστήματος ποικίλλει όχι μόνο στα χαρακτηριστικά των προϊόντων αλλά και στην χρηματική τους αξία.

Πίνακας 16: Οικονομικά στοιχεία ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Στοιχεία	Τεμ.	Τιμή (€/Τεμ.	Συν. Τιμή (€)
Ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος 10 kWatt	1	7000	7000
Μετατροπέας καθαρού ημιτόνου	1	550	550
Ρυθμιστής φόρτισης	3	950	2850
Συσσωρευτές (12V →250 Ah)	24	250	6000
Σύνολο			16400

5.3.2. Κόστος γης και υποδομής για εγκατάσταση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Το κόστος γης και υποδομής της εγκατάστασης εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας θεωρείται εξίσου σημαντικό με το κόστος του συστήματος. Στο κόστος γης και υποδομής περιλαμβάνονται τα ακόλουθα έξοδα:

- Αγορά ή ενοικίαση της γης: για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος απαιτούνται συγκεκριμένα τετραγωνικά για την τοποθέτηση της αλλά και για την κάλυψη της απόστασης ασφαλείας από την οικία. Αυτό έχει συνέπεια τον έλεγχο των τετραγωνικών του οικοπέδου. Στην περίπτωση της παρούσας μελέτης το οικόπεδο της οικίας είναι ιδιόκτητο και η έκταση του είναι 2 στρέμματα με συνέπεια να μην υπάρχει το πρόβλημα των τετραγωνικών.
- Μεταφορά συστήματος: η μεταφορά του συστήματος πραγματοποιείται με οχήματα βαρέος τύπου καθώς και με πλοία σε περιπτώσεις που το σύστημα θα εγκατασταθεί σε κάποιο νησί. Το κόστος της μεταφοράς αυξάνεται ανάλογα με την χιλιομετρική απόσταση, το πόσο δύσβατη είναι η περιοχή καθώς και τα μέσα που θα χρησιμοποιηθούν. Στην παρούσα μελέτη το οικόπεδο βρίσκεται στην Κάρπαθο με οδικό δίκτυο που αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα με συνέπεια η μεταφορά να έχει αυξημένο κόστος.
- Έργα υποδομής: πριν την τοποθέτηση της ανεμογεννήτριας θα πρέπει να πραγματοποιηθούν κάποια έργα υποδομής, όπως το έδαφος πρέπει να είναι σταθερό και ευθυγραμμισμένο. Αυτό απαιτεί μελέτη πολιτικού μηχανικού με στόχο να πραγματοποιηθεί η κατάλληλη διαμόρφωση του χώρου και η ανεμογεννήτρια να έχει σωστή θεμελίωση. Επιπλέον σε αυτό το βήμα συμπεριλαμβάνεται το κόστος των γραμμών μεταφοράς στο ηλεκτρικό δίκτυο και η αντικεραυνική προστασία.

Στην συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας 17 που αναγράφονται τα προαναφερόμενα έξοδα για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος της παρούσας μελέτης.

Πίνακας 17: Κόστος υποδομής ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Στοιχεία	Τιμή (€)
Αγορά ή ενοικίαση γης	-
Μελέτη εγκατάστασης	4000
Έργα υποδομής	3000
Μεταφορά ανεμογεννήτριας	3000
Εγκατάσταση ανεμογεννήτριας	2000
Γραμμές μεταφοράς	-
Αντικεραυνική προστασία	1000
Σύνολο	13000

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στην παρούσα μελέτη το κόστος γης είτε για αγορά είτε για ενοικίαση δεν υπάρχει, αφού ο χώρος είναι ιδιόκτητος με συνέπεια να μειώνεται αισθητά το τελικό κόστος. Επιπλέον, δεν περιλαμβάνονται και τα έξοδα για τις γραμμές μεταφοράς διότι όπως έχει αναφερθεί η οικία δεν έχει την δυνατότητα να συνδεθεί ακόμα με το τοπικό δίκτυο. Ωστόσο, κατά την τοποθέτησή της θα πρέπει να ληφθεί υπόψη, η θέση της να είναι η πλησιέστερη στις γραμμές μεταφοράς του ηλεκτρικού δικτύου σε περίπτωση που κάποια στιγμή θεωρηθεί απαραίτητο ότι θα πρέπει να συνδεθεί με αυτό.

5.3.3. Αιολικό δυναμικό περιοχής και συντελεστής χωρητικότητας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος

Το καλό αιολικό δυναμικό μιας περιοχής επιδρά άμεσα στην ενεργειακή παραγωγή ενός αιολικού συστήματος, διότι η κυβική μεταβολή της αιολικής ισχύος εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου. Άρα είναι κατανοητό ότι η οικονομική βιωσιμότητα ενός τέτοιου συστήματος εξαρτάται άμεσα από το αιολικό δυναμικό της περιοχής που εγκαθίσταται, καθώς και από την θέση της αφού πρέπει να εκμεταλλεύεται πλήρως τον άνεμο για να έχει την μέγιστη απόδοση για την μέγιστη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Κάθε ανεμογεννήτρια αποδίδει την ονομαστική της ισχύ (και λίγο παραπάνω συνήθως) για μια συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου. Όμως, η ενέργεια που παράγεται εντός του έτους είναι μικρότερη από αυτή που αποδίδει με συνέπεια να απαιτείται ο υπολογισμός του συντελεστή χωρητικότητας για να χαρακτηριστεί αν είναι κατάλληλη για την κάλυψη συγκεκριμένων ενεργειακών αναγκών.

Ο συντελεστής χωρητικότητας μια ανεμογεννήτριας (CF= Capacity factor) υποδηλώνει ουσιαστικά την ποιότητα του σχεδιασμού της και μπορεί να υπολογιστεί από την μέση ισχύ που παρουσιάζει κατά την διάρκεια του έτους. Η σχέση που υπολογίζεται ο συντελεστής χωρητικότητας είναι η ακόλουθη:

$$CF = \frac{\bar{E}}{E_r} = \frac{\bar{P}}{P_r} \quad [29]$$

Όπου: E = μέση παραγόμενη ενέργεια έτους
 E_r = μέγιστη ισχύς κινητήρα ($E_r = 8760 * P_r$)
 P_r = ονομαστική ισχύς ανεμοκινητήρα
 \bar{P} = μέση παραγόμενη ισχύς έτους

Σύμφωνα με την βιβλιογραφική ανασκόπηση (Μπεργελές, 1995 ; Ασημακόπουλος και συν., 2015), μια ανεμογεννήτρια για να θεωρηθεί οικονομικά βιώσιμη θα πρέπει ο συντελεστής χωρητικότητας CF να κυμαίνεται μεταξύ των ορίων 15% (ελάχιστη τιμή) και 40% (μέγιστη τιμή). Οι μέχρι τώρα πειραματικές μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί έχουν αποδείξει ότι μια ανεμογεννήτρια με συντελεστή 25% κατατάσσεται στην κατηγορία των ανεμοκινητήρων με καλή κατασκευή και σχεδίαση έχοντας δυνατότητες να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις ενεργειακών προσδοκιών. Οι υπολογισμοί που προέκυψαν από την μελέτη της παρούσας εργασίας κατέληξαν ότι η μέση παραγόμενη ενέργεια του έτους από την ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος είναι $\bar{E}_{WIND} = 23012,63 \text{ kWh}$, επιπλέον, από τα δεδομένα του κατασκευαστή η ανεμογεννήτρια έχει ονομαστική ισχύ **10 kW**. Πραγματοποιώντας αντικατάσταση στην σχέση 29 ο συντελεστής χωρητικότητας CF υπολογίζεται 0,2627 δηλαδή **26,3%**.

Σύμφωνα με τα προαναφερόμενα η ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος που επιλέχθηκε για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας που βρίσκεται στην Κάρπαθο θεωρείται κατάλληλη αφού ο συντελεστής χωρητικότητας της είναι **CF = 26,3%** αποδεικνύοντας την καλή κατασκευή και σχεδίαση έχοντας την δυνατότητα να ανταπεξέλθει όχι μόνο στα καιρικά φαινόμενα που επικρατούν στην περιοχή αλλά και στην ζητούμενη παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια.

5.3.4. Συμβατικοί ενεργειακοί σταθμοί και κόστος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας

Στις μέρες μας οι συμβατικοί ενεργειακοί σταθμοί κατασκευάζονται σύμφωνα με συγκεκριμένες προδιαγραφές, οι οποίες βασίζονται σε δοκιμασμένες τεχνολογίες, εξελιγμένους αυτοματισμούς καθώς και βελτιωμένους σχεδιασμούς με στόχο την απολαβή μέγιστης ενέργειας, σε αντίθεση με τα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπου βρίσκονται ακόμα στα αρχικά στάδια σχεδιασμών προσπαθώντας να εκμεταλλευτούν την τεχνολογική ανάπτυξη με στόχο την αύξηση της παραγωγικότητας τους. Όλα αυτά οδηγούν σε μία άνιση σύγκριση των παραπάνω διότι οι τεχνολογικές δοκιμές των συστημάτων που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνουν το κόστος της παραγόμενης ενέργειας, με συνέπεια να μην θεωρείται σε όλες τις περιπτώσεις ως την πιο συμφέρουσα λύση (Μπεργελές, 1995 ; Ευθυμιάδης, 2013).

Ωστόσο, η Ελλάδα επειδή είναι από τις χώρες που διαθέτουν έντονο ηλιακό και αιολικό δυναμικό δίνεται η δυνατότητα να συγκριθεί το κόστος της παραγόμενης ενέργειας των αντίστοιχων συστημάτων εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών με συμβατικούς πετρελαϊκούς σταθμούς. Επιπλέον, αυτή η δυνατότητα δίνεται και από το υψηλό κόστος της παραγόμενης ενέργειας που παρουσιάζουν μικρής ισχύος μηχανές (νητζελοκινητήρες) ηλεκτροπαραγωγής (Μπεργελές, 1995).

Ο υπολογισμός του κόστους της παραγόμενης ενέργειας (kWh) από ένα αυτόνομο σταθμό πετρελαίου μικρής ισχύος εξαρτάται από δύο παράγοντες οι οποίοι είναι η ονομαστική ισχύς του σταθμού καθώς και το μέγεθος που χαρακτηρίζει την διακύμανση του φορτίου. Σύμφωνα με τον Ευθυμιάδη (2013) ο υπολογισμός ενός

αυτόνομου συστήματος πετρελαίου απαιτεί συγκεκριμένα βήματα. Αρχικά απαιτούνται κάποια στοιχεία για το χρησιμοποιούμενο καύσιμο που είναι η κατώτερη και η καθαρή θερμογόνος δύναμη, η πυκνότητά του και το κόστος του ανά λίτρο. Για την μηχανή αρκεί ο βαθμός απόδοσης που δίνεται από τον κατασκευαστή.

Ο υπολογισμός της θερμικής τιμής του πετρελαίου υπολογίζεται από την σχέση:

$$\Theta.T = \frac{\text{Τιμήπετρελαίου}}{\text{ΚΘΜ} * \text{Βαθμόαπόδοσηςμηχανής}} \quad [30]$$

Όπου: Κατώτερη θερμογόνος δύναμη πετρελαίου: $q_{\text{πετ}} = 10250 \text{ kcal/kg} = 11.92 \text{ kWh/kg}$

Καθαρή θερμογόνος δύναμη: $\text{ΚΘΜ} = 10,3 \text{ kWh/lit}$

Τιμή πετρελαίου κίνησης: $1,07 \text{ €/lit}$

Πυκνότητα πετρελαίου: $\rho_{\text{πετ}} = 0,86 \text{ kg/lit}$

Βαθμός απόδοσης μηχανής: $n = 35\%$

Με την αντικατάσταση στην σχέση 30 η θερμική τιμή του πετρελαίου προκύπτει **0,239 €/ kWh**.

Στην συνέχεια ακολουθεί το κόστος της κατανάλωσης του πετρελαίου που προκύπτει από τη μέση παραγόμενη ενέργεια του έτους πολλαπλασιαζόμενη με την θερμική τιμή του πετρελαίου και δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\text{Κ.Π} = E_{\text{WIND}} * \Theta.T \quad [31]$$

Η μέση τιμή της παραγόμενης ενέργειας όπως προαναφέρθηκε ανέρχεται στην τιμή $\overline{E_{\text{WIND}}} = 23012,63 \text{ kWh}$ και θερμική τιμή υπολογίσθηκε $\Theta.T. = 0,239 \text{ €/kW}$, πραγματοποιώντας αντικατάσταση στην σχέση 31 το κόστος του πετρελαίου που απαιτείται ανέρχεται στα $6862,89 \text{ €/έτος}$ δηλαδή περίπου **Κ.Π= 6863 €/έτος**.

5.3.5. Διάρκεια ζωής ανεμογεννήτριας

Η διάρκεια ζωής μιας αιολικής μηχανής θεωρείται ένας βασικός παράγοντας για τον υπολογισμό της οικονομικής βιωσιμότητας. Σύμφωνα με την έρευνα αγοράς που πραγματοποιήθηκε με στόχο την επιλογή της κατάλληλης ανεμογεννήτριας καθώς επίσης και από την βιβλιογραφική ανασκόπηση, μια ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος έχει διάρκεια ζωής που κυμαίνεται από 20 έως 30 χρόνια. Ωστόσο, με το πέρασμα των χρόνων και την τεχνολογική ανάπτυξη των υλικών επιτυγχάνεται μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Τα βελτιωμένα χαρακτηριστικά των υλικών δημιουργούν ανεμογεννήτριες με καλύτερες αντοχές σε αντίξοες καιρικές συνθήκες καθώς και λιγότερες φθορές κατά την διάρκεια του χρόνου λειτουργίας.

Επιπλέον, ένας ακόμα παράγοντας που έχει βελτιώσει την διάρκεια ζωής των αιολικών μηχανών είναι οι γνώσεις που έχουν προκύψει από μελέτες για την αλληλεπίδραση του ανέμου στην επιφάνειά τους. Με την βοήθεια υπολογιστικών προγραμμάτων δίνεται η δυνατότητα υπολογισμού των φορτίων σε μεταβαλλόμενες συνθήκες ανέμου κατά την λειτουργία των αιολικών μηχανών. Αυτό έχει σαν συνέπεια την βελτίωση της κατασκευής και του σχεδιασμού με στόχο να ανταπεξέλθουν σε συγκεκριμένα φορτία (Μπεργελές, 1995).

Ο κατασκευαστής της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος που χρησιμοποιήθηκε με στόχο την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας της Καρπάθου ορίζει ότι η

Διάρκεια ζωής της μπορεί να αγγίξει τα **30 χρόνια** έχοντας όμως ως βασική προτεραιότητα να τηρούνται οι απαραίτητες συντηρήσεις και επισκευές καθώς και να λειτουργεί σύμφωνα με τα όρια που έχουν οριστεί.

5.3.6. Κόστος χρήματος

Η πραγματοποίηση της κατασκευής ή της αγοράς καθώς και της εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος απαιτεί ένα αρχικό κεφάλαιο όπου τις περισσότερες φορές δεν υπάρχει με συνέπεια να απαιτείται η διεξαγωγή δανείου το οποίο επιβαρύνεται με τόκους μέχρι την μέρα αποπληρωμής τους. Οι τόκοι του δανείου εξαρτώνται από το ετήσιο επιτόκιο, ενώ το ετήσιο κεφάλαιο εξαρτάται από το χρονικό διάστημα αποπληρωμής του. Λόγω του υψηλού πληθωρισμού της Ελλάδας πριν κάποια χρόνια το επιτόκιο μπορεί να άγγιζε και το 30% αλλά στις μέρες μας έχει περιοριστεί σε μικρότερα ποσοστά. Ωστόσο, η διάρκεια αποπληρωμής κυμαίνεται ακόμα και σήμερα από 10 έως 25 έτη (Μπεργελές, 1995 ; Τσούλης 2016).

Τονίζεται ότι, η οικονομική κατάσταση της χώρας οδηγεί στην απόρριψη έκδοσης δανείων με συνέπεια ακόμα και τέτοια έργα (αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας) να μην μπορούν να πραγματοποιηθούν. Ωστόσο, υπάρχει ο επενδυτικός νόμος όπου δίνεται η δυνατότητα κρατικής χορηγίας έως και 55% εφόσον ελεγχθεί, εγκριθεί και αδειοδοτηθεί η διαδικασία εγκατάστασης ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος (Μαρκίδης, 2010).

5.3.7. Κόστος συντήρησης

Μια εγκατάσταση εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας παρουσιάζει σχετικά μικρά λειτουργικά και έξοδα συντήρησης. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας και με την εκπαίδευση των ανθρώπων τα έξοδα αυτά κυμαίνονται σε πολύ χαμηλά επίπεδα (Μπεργελές, 1995). Ωστόσο, είναι πολύ σημαντικό να υπενθυμιστεί ότι με την αγορά της ανεμογεννήτριας συμπεριλαμβάνονται και κάποια βασικά ανταλλακτικά. Όλα αυτά έχουν σαν αποτέλεσμα τα ετήσια έξοδα συντήρησης να κυμαίνονται από 100 έως 200 € (Μαρκίδης, 2010). Όμως η τιμή αυτή μπορεί να μεταβληθεί αρκετά διότι σε περίπτωση που δεν υπάρχει εξειδικευμένο συνεργείο στην περιοχή που θα εγκατασταθεί η ανεμογεννήτρια απαιτούνται έξοδα μεταφοράς με συνέπεια τα έξοδα συντήρησης να αυξάνονται κατά 100%.

5.3.8. Απόσβεση εγκατάστασης ανεμογεννήτριας

Σύμφωνα λοιπόν με τα προαναφερόμενα οικονομικά στοιχεία που αναλύθηκαν για την αγορά και εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος θα πραγματοποιηθεί σύγκριση πραγματοποίησης έργου με και χωρίς δανεισμό κεφαλαίου. Επιπλέον, θα πραγματοποιηθεί σύγκριση με την περίπτωση της μηχανής πετρελαίου η οποία θα έπρεπε να χρησιμοποιηθεί ως συμβατική λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας στην Κάρπαθο. Τονίζεται ότι η

σύγκριση με την μηχανή πετρελαίου πραγματοποιήθηκε με στόχο να διαπιστωθεί αν όντως συμφέρει η εγκατάσταση αυτόνομου συστήματος εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας.

Πίνακας 18: Συγκεντρωτικός πίνακας οικονομικών στοιχείων ανεμογεννήτριας χωρίς δανεισμό και με δανεισμό

Στοιχεία	Χωρίς Δανεισμό	Με δανεισμό
Μέση παραγόμενη ενέργεια του έτους $E_{\text{μετ}} [\text{kWh}]$	23012,63kWh	23012,63kWh
Αρχικό Κόστος Ανεμογεννήτριας	16.400 €	16.400 €
Κόστος Υποδομής	13.000 €	13.000 €
Συνολικό κόστος εγκατάστασης	29.400 €	29400
Χορηγία 55%	16.170 €	16170
Καθαρό κόστος	13.230 €	13.230 €
Ετήσιο κόστος συντήρησης	400 €	400 €
Επιτόκιο	-	7%
Μηνιαία δόση	-	100 €
Ετήσια έξοδα πετρελαίου	6863 €	6863 €
Χρόνια απόσβεσης	2	3,5

6. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΥΤΟΝΟΜΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΕ

6.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μέχρι σήμερα αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας η οποία παράγεται από συστήματα εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (φωτοβολταϊκά, ανεμογεννήτριες) γίνεται σε συσσωρευτές, τις κοινές μπαταρίες. Ωστόσο, πειραματικές μελέτες εστιάζουν σε εναλλακτικές μεθόδους αποθήκευσης της πλεονάζουσας ενέργειας με στόχο όχι μόνο στην συνεχή τροφοδοσία των καταναλωτών αλλά και στην δυνατότητα αποθήκευσης της πλεονάζουσας χωρίς να χάνεται κάποιο ποσοστό αυτής.

Η εύρεση των νέων εναλλακτικών τρόπων αποθήκευσης ενέργειας μελετά και τον παράγοντα των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Οι συσσωρευτές που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα μετά το πέρας συγκεκριμένων κύκλων φόρτισης απαιτούν αλλαγή διότι δεν μπορούν να έχουν την ίδια δυνατότητα αποθήκευσης παρουσιάζοντας μεγάλες απώλειες. Η αντικατάστασή τους έχει δύο βασικά μειονεκτήματα τα οποία είναι η αύξηση του κόστους της εγκατάστασης, διότι όπως αναφέρθηκε και στην οικονομοτεχνική μελέτη είναι ένα από τα βασικά έξοδα του βασικού συστήματος εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών και μπορεί να αγγίζει και το 30% του κόστους, καθώς επίσης και η υποχρεωτική ανακύκλωση που πρέπει να πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τις νομοθετικές προδιαγραφές που και αυτό με την σειρά του έχει κάποια έξοδα και κάποια γραφειοκρατική διαδικασία.

Στην συνέχεια του Κεφαλαίου θα αναπτυχθεί η εναλλακτική λύση που δίνεται από έναν Έλληνα επιστήμονα του Πανεπιστημίου Πατρών τον Δρ. Νικόλαο Πήττα, ο οποίος ήταν από τους πρωτοπόρους που ανέδειξε ένα εναλλακτικό σύστημα αποθήκευσης ενέργειας για αυτόνομα συστήματα εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Επιπλέον, η διάταξη που δημιούργησε ήταν αποτέλεσμα μακροχρόνιων ερευνών και καταχωρήθηκε στο Ο.Β.Ι. με αριθμό 1005918 και διεθνώς με τον αριθμό WO/2008/152432. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα και σήμερα η εναλλακτική λύση αποθήκευσης ενέργειας από αυτόνομα συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας βρίσκονται υπό μελέτη με στόχο την τελειοποίηση των συστημάτων και την εμπορευσιμότητα τους.

6.2. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Η εναλλακτική λύση αποθήκευσης ενέργειας μελετήθηκε με στόχο να μπορεί να πραγματοποιηθεί σε συστήματα ανεμογεννητριών οι οποίες δεν έχουν την δυνατότητα σύνδεσης στο δίκτυο με στόχο την πλήρη αποθήκευση της πλεονάζουσας και συνεχούς τροφοδοσίας των καταναλωτών είτε σε φωτοβολταϊκά συστήματα για τους ίδιους προαναφερόμενους λόγους. Δηλαδή αναφέρεται σε συστήματα αυτόνομα.

Η εναλλακτική λύση είναι η χρήση συμπιεστών, οι οποίοι αποθηκεύουν την ενέργεια σε πεπιεσμένο αέρα και στη συνέχεια την μετατρέπουν σε ηλεκτρική ενέργεια. Με αυτή την διάταξη δίνεται η δυνατότητα στα προαναφερόμενα συστήματα να κατατάσσονται σε μια αυτόνομη μονάδα ηλεκτροπαραγωγικής αντίστοιχης ισχύος, άνευ καύσεως υδρογονανθράκων (στερεών, υγρών ή σε αέριαφάση).

Η πραγματοποίηση της διάταξης που θα αναλυθεί θεωρείται ως η πλήρης έκφραση της αιφόρου ανάπτυξης, αφού έχει την δυνατότητα να παράγει συνεχώς ηλεκτρική ενέργεια για μεγάλο χρονικό διάστημα ανεξάρτητα από την ύπαρξη ανέμου ή ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, η λύση αυτή δεν μπορεί να τροφοδοτεί μόνο μικρά συστήματα (μεμονωμένες εγκαταστάσεις) αλλά μπορεί να παράγει ενέργεια για την κάλυψη οικισμών, πόλεων ακόμα και ολόκληρων νησιών με συνέπεια να είναι ανεξάρτητα από τα ορυκτά καύσιμα.

Τα μεγαλύτερα προβλήματα που παρουσιάζονται στις εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι ο τρόπος αποθήκευσης της ενέργειας, η διοχέτευση της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο όταν αυτό είναι απαραίτητο, το κόστος που έχει η πρώτη ύλη (καύσιμο) για την παραγωγή της αλλά και τα περιβαλλοντικά προβλήματα που παρουσιάζονται με την χρήση συμβατικών καυσίμων. Ο εναλλακτικός τρόπος αποθήκευσης ενέργειας οδηγεί στα προαναφερόμενα προβλήματα.

Μια αιολική μηχανή έχει την δυνατότητα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια όσο υπάρχει η αιολική δύναμη (άνεμος) και όσο αυτή βρίσκεται κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, όπως η ταχύτητα του ανέμου να κυμαίνεται σε συγκεκριμένα όρια είτε να για να περιστρέψει τον έλικα είτε για να εκμεταλλευτεί τον άνεμο χωρίς να υπάρχει λειτουργικό πρόβλημα. Όπως αναλύθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια μια αιολική μηχανή μπορεί να μην έχει την δυνατότητα να παράγει ηλεκτρική ενέργεια όταν υπάρχει άπνοια ή πολύ έντονα καιρικά φαινόμενα.

Ακόμα και η ανεμογεννήτριες νέας γενιάς δεν έχουν την δυνατότητα να παράγουν ενέργεια σταθερής ισχύος με συνέπεια να δημιουργείται ιδιαίτερο πρόβλημα όταν υπάρχει άμεση ανάγκη για ενέργεια και απαιτείται έκχυση ισχύος. Η κατάσταση αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι η ταχύτητα του ανέμου δεν παρουσιάζει σταθερότητα στον χρόνο. Το πρόβλημα αυτό δεν μπορεί να αποφευχθεί, αφού όπως είναι γνωστό η φύση είναι απρόβλεπτη. Σε αυτό το σημείο δημιουργείται η επιτακτική ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας σε μέσα όπως υδροηλεκτρικά φράγματα, συσσωρευτές, κυψέλες υδρογόνου κ.ά.(Πήττας, 2010 , Ασημακόπουλος, 2010).

Σύμφωνα με τον Πήττα (2010) η αποθηκευτική ικανότητα της ενέργειας του πεπιεσμένου αέρα υπερβαίνει αυτή του φράγματος, και έχει ασύγκριτα μικρότερο κόστος, μεγαλύτερη ασφάλεια χρήσης, δεν αλλοιώνει και δεν καταστρέφει το περιβάλλον και δεν υπόκειται σε γεωγραφικούς περιορισμούς. Η δε σύγκριση με συσσωρευτές και (σε πειραματικό επίπεδο) με κυψέλες υδρογόνου δεν τίθεται λόγω της περιορισμένης αποθηκευτικής τους ικανότητας όπως και των περιβαλλοντικών κινδύνων από τους πρώτους (περιεκτικότητα σε οξέα και βαρέα μέταλλα) και της μη ανταποδοτικότητας των δεύτερων που απαιτούν στη διαχείρισή τους ειδική τεχνολογία και σύνθετο εξοπλισμό με συνέπεια να μην είναι εύχρηστοι στο σημερινό τουλάχιστον τεχνολογικό επίπεδο, και αυτό είναι το ανυπέρβλητο δομικό πρόβλημα των συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτριες.

Η αναζήτηση της λύσης ξεκινά με την αποθήκευση της αιολικής ενέργειας για επόμενη χρήση. Αυτή θεωρητικά είναι και η μεγάλη πρόκληση, η οποία φαντάζει αδύνατη. Ωστόσο η λύση προσεγγίζεται ως ακολούθως. Το πρόβλημα της έλλειψης ενέργειας έχει την δυνατότητα να λυθεί με την χρήση μιας διάταξης η οποία θα εκμεταλλεύεται το αιολικό δυναμικό με την βοήθεια μίας ή πολλών ανεμογεννητριών, οι οποίες θα είναι κατάλληλα συνδεδεμένες με μία συγκεκριμένη διάταξη μηχανών,

που θα παράγει ενέργεια με μεγάλη αξιοπιστία η οποία θα παρέχει συνεχή, σταθερά και αδιάλειπτη ηλεκτρική ισχύ.

Αυτή η προσέγγιση μπορεί να επιτευχθεί με την χρήση της τεχνικής του πεπιεσμένου αέρα όπου πραγματοποιείται μετατροπή της προσπίπτουσας αιολικής ενέργειας στον έλικα της κάθε ανεμογεννήτριας, σε μηχανική περιστροφική ενέργεια και στην συνέχεια γίνεται μετατροπή σε ενέργεια πεπιεσμένου αέρα είτε με είτε χωρίς, να παραχθεί ενδιάμεσα ηλεκτρική ενέργεια. Σημειώνεται ότι για τις φωτοβολταϊκές συστοιχίες είναι υποχρεωτική η παραγωγή ενδιάμεσης ηλεκτρικής ενέργειας (Πήττας, 2010).

6.2.1. Καινοτομική αυτόματη αιολική διάταξη αδιάκοπης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

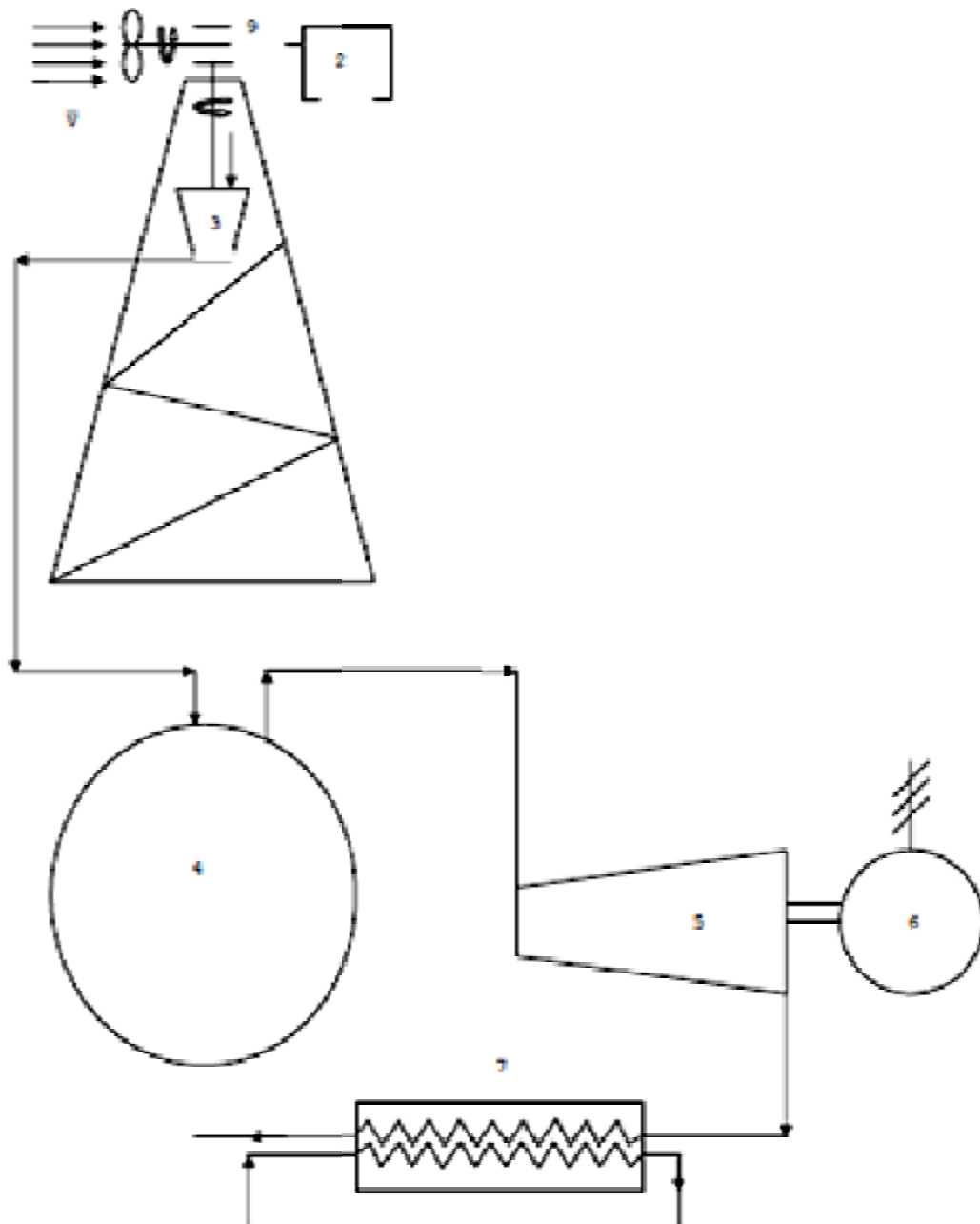
Η ενέργεια, η οποία προέρχεται από την περιστροφή του έλικα μιας ανεμογεννήτριας και έχει την μορφή κινητικής ενέργειας, αποθηκεύεται σε μορφή πεπιεσμένου αέρα σε μία αεροστεγή δεξαμενή δια μέσου συμπιεστή και στην συνέχεια έχει την δυνατότητα να μετατραπεί σε ηλεκτρική ενέργεια με την βοήθεια ενός συστήματος κρυογενικού αεριοστρόβιλου-γεννήτριας. Το σύστημα αυτό προτείνεται σε περιοχές που έχουν κατάλληλο αιολικό δυναμικό (σταθερότητα συχνότητας ανέμων) και παρουσιάζουν ταχύτητες ανέμου που υπερβαίνουν τα 5m/sec.

Στην συνέχεια θα πραγματοποιηθεί η ανάλυση της προαναφερόμενης διάταξης, όπου η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού πραγματοποιείται από μια αιολική μηχανή, δεν παρουσιάζονται διαφορές στην διάταξη στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται περισσότερες αιολικές μηχανές. Η διάταξη αυτή θα αποτελείται από την αιολική μηχανή (ανεμογεννήτρια) και έναν αεριοστρόβιλο – ηλεκτρογεννήτρια όπου μεταξύ τους θα παρεμβάλλεται ο συμπιεστής, μια αεροστεγής δεξαμενή η οποία θα είναι κατάλληλης ογκομετρικής δυναμικότητας και θα είναι κατασκευασμένη από υλικά συγκεκριμένης αντοχής, όπως το οπλισμένο σκυρόδεμα.

Στην περίπτωση που η αιολική μηχανή έχει την δυνατότητα παραγωγής ενέργειας (ύπαρξη ανέμου) μπορούν να επιθυμούνται τα ακόλουθα:

- Χρήση όλης της παραγόμενης ενέργειας στο δίκτυο
- Αποθήκευση όλης της παραγόμενης ενέργειας
- Χρήση κάποιου ποσοστού ενέργειας και αποθήκευση της πλεονάζουσας.

Η διάταξη του προτείνεται για την πραγματοποίηση των προαναφερόμενων αποτελείται από τον έλικα (πτερωτή) της ανεμογεννήτριας (1) όπου παράγει μηχανική ενέργεια κατά την περιστροφή του με το κατάλληλο αιολικό δυναμικό και στην συνέχεια με την βοήθεια συστήματος οδοντωτών τροχών (καρδανικός σύνδεσμος) μεταδίδεται στον άξονα του συμπιεστή (3). Αυτός είναι ο ένας από τους δύο δρόμους μετατροπής ενέργειας. Υπάρχει και η δυνατότητα (2 δρόμος) ένα μέρος της παραγόμενης ενέργειας να τροφοδοτεί τον συμπιεστή ο οποίος συμπιέζει τον αέρα στον επιθυμητό βαθμό και τον εισάγει στην σφαιρική αεροστεγή δεξαμενή πεπιεσμένου αέρα. Η λειτουργία της διάταξης παρουσιάζεται στο σχήμα 12.



Σχήμα 36: Βασική δομή της διάταξης μετατροπής αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική με ικανότητα αδιάκοπης παροχής.
 [Πηγή: Πήττας, 2010]

Η αρχή λειτουργίας της διάταξης (σχήμα 12) σύμφωνα με τον Πήττα (2010) είναι η ακόλουθη. Αρχικά ενεργοποιείται η μηχανική σύνδεση του άξονα περιστροφής του έλικατης ανεμογεννήτριας (1), με τον άξονα περιστροφής του συμπιεστή (3) δια μέσου μηχανισμών (π.χ. συμπλέκτης (9)), ο οποίος συμπιέζει τον αέρα στον επιθυμητό βαθμό και τον εισάγει στην αεροστεγή δεξαμενή πεπιεσμένου αέρα(4). Ο πεπιεσμένος αέρας οδηγείται στον κρουγενικό αεριοστρόβιλο, όπου εκτονώνεται θέτοντας σε περιστροφή την ηλεκτρική μηχανή (σύγχρονη ή ασύγχρονη) (6) που είναι συνδεδεμένη με αυτόν παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια.

Η δεξαμενή που επιλέγεται θα πρέπει να είναι κατάλληλα διαμορφωμένη και διαστασιολογημένη με στόχο να δίνεται η δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών για το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα που μπορεί το αιολικό δυναμικό να μην είναι επαρκές (άπνοια), σύμφωνα πάντα με τα ανεμολογικά στοιχεία της κάθε περιοχής. Σε κάθε περίπτωση άπνοιας ή όχι από την δεξαμενή του πεπιεσμένου αέρα (4) εξέρχεται ο αέρας και εισέρχεται σε έναν κρυογενικό αεριοστρόβιλο (5), όπου πραγματοποιείται εκτόνωση των αερίων με συνέπεια να προκαλείται περιστροφική κίνηση του άξονα του αεριοστρόβιλου, ο οποίος με την σειρά του θέτει σε περιστροφή την ηλεκτρική μηχανή (σύγχρονη ή ασύγχρονη) (6) που είναι συνδεδεμένη με αυτόν παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια. Με τον εξερχόμενο αέρα εκτόνωσης από τον κρυογενικό αεριοστρόβιλο στη θερμοκρασία $T=-20^{\circ}\text{C}$ περίπου, δύνатаι να επιτευχθεί και τηλεψύξη (7).

Η προαναφερόμενη διάταξη έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει τον πεπιεσμένο αέρα όποτε επιθυμείται και να παράγει ταυτόχρονα ηλεκτρική ενέργεια από την ηλεκτρική μηχανή, η οποία συνδέεται με τον άξονα περιστροφής της ανεμογεννήτριας. Η διάταξη αυτή είναι πλήρως αυτοματοποιημένη και τα βασικά μηχανολογικά εξαρτήματα που αποτελείται είναι γρανάζια, κόμπλερ, μειωτήρες, αισθητήρες, ανεμόμετρα, πρεσσοστάτες, PLC και inverters.

Σύμφωνα με τα όσα προαναφέρθηκαν γίνεται κατανοητό ότι η διάταξη αυτή δίνει την δυνατότητα στην συνεχή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς να υπάρχουν διακοπές και ελλείψεις αυτής. Επιπλέον, θεωρείται μια λύση αξιόπιστη αφού βασίζεται στην εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού χωρίς περιορισμούς. Ακόμα τονίζεται ότι με την χρήση της αιολικής ενέργειας απ' ευθείας αποφεύγεται ένα μεγάλο κόστος εξαρτημάτων και μείωση των απωλειών από τις συνεχόμενες μετατροπές μορφών ενέργειας (Πήττας, 2010).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε με σκοπό την εκπόνηση μελέτης για εγκατάσταση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος, η οποία θα παρέχει την δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών οικίας 100m², η οποία βρίσκεται στο νησί της Καρπάθου και η περιοχή που είναι τοποθετημένη έχει αιολικό δυναμικό 8-9m/sec. Το σύστημα που μελετήθηκε είναι αυτόνομο με συνέπεια να απαιτείται η αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της οικίας είτε για μέρες που απαιτείται επιπλέον ενέργεια είτε σε περιπτώσεις που το αιολικό δυναμικό δεν επαρκεί (άπνοια ή ακραία καιρικά φαινόμενα) ή υπάρχει κάποια βλάβη στην ανεμογεννήτρια με συνέπεια να μην παράγεται ηλεκτρική ενέργεια.

Για την εγκατάσταση του συστήματος εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας αρχικά πραγματοποιήθηκε έλεγχος σύμφωνα με το νομοθετικό πλαίσιο ότι μπορεί να τοποθετηθεί στο υπάρχον οικόπεδο χωρίς να «παραβιάζει» τα μέτρα που έχουν τεθεί. Επιπλέον, ελέγχθηκε η δυνατότητα εγκατάστασης, αν δηλαδή υπάρχει επαρκές αιολικό δυναμικό κατά την διάρκεια του έτους και αν η τοποθεσία είναι κατάλληλη, δηλαδή να μην υπάρχουν εμπόδια μη προσπελάσιμα, που θα περιορίσουν ή θα δημιουργήσουν προβλήματα στην παραγωγική της δυνατότητα.

Η επιλογή της κατάλληλης ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος έγινε βασιζόμενη στα στοιχεία των υπολογισμών των ενεργειακών αναγκών της οικίας όπου οι πληροφορίες για τις απαιτήσεις των καταναλωτών βρέθηκαν από τον ιστότοπο της ΔΕΗ που καταγράφονται οι συνηθέστερες τιμές αυτών, με στόχο η οικία να είναι πλήρως λειτουργική έχοντας πλήρη κάλυψη ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συσκευών. Ωστόσο, συνυπολογίστηκε η παραγόμενη ενέργεια από την ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος θα μπορεί να καλύπτει πολλούς καταναλωτές ταυτόχρονα με στόχο την παράλληλη λειτουργία αυτών. Επιπλέον, συνυπολογίστηκε ότι θα πρέπει να απομένει ένα ποσοστό χωρίς να χρησιμοποιείται άμεσα με στόχο την αποθήκευση του.

Η ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος επιλέχθηκε αφού αρχικά πραγματοποιήθηκε έρευνα αγοράς με στόχο να καλύπτονται τα προαναφερόμενα αλλά και να μπορεί να έχει την δυνατότητα να εκμεταλλευτεί στο μέγιστο το αιολικό δυναμικό της Καρπάθου. Κάθε ανεμογεννήτρια έχει συγκεκριμένες δυνατότητες και αντοχές. Λόγω του υψηλού αιολικού δυναμικού η αιολική μηχανή που επιλέχθηκε παρουσιάζει μεγάλες αντοχές σε δυνατούς ανέμους και ακραία καιρικά φαινόμενα. Επιπλέον, επιλέχθηκε και με το κριτήριο ότι είναι κατασκευασμένη από αξιόπιστη εταιρία με στόχο να δίνεται πάντα η δυνατότητα εύρεσης ανταλλακτικών καθώς και τεχνικού γραφείου (συνεργείου) να μπορεί να αναλάβει την συντήρηση και τον έλεγχο που απαιτείται εντός του έτους.

Όμως κατά τον σχεδιασμό ενός αυτόνομου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να ελέγχεται και ο παράγοντας κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε περιπτώσεις που η ανανεώσιμη πηγή δεν προσφέρεται ή δεν είναι επαρκής. Η αποθήκευση ενός ποσοστού ενέργειας θεωρείται απαραίτητο για κάθε τέτοιο σύστημα για να μηδενίζεται η περίπτωση της μη κάλυψης των ενεργειακών αναγκών. Η ενέργεια που πρέπει να είναι αποθηκευμένη θα πρέπει να καλύπτει ανάγκες τριών συνεχόμενων εικοσιτετράωρων. Στην περίπτωση της

παρούσας μελέτης η αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας πραγματοποιήθηκε σε συσσωρευτές όπου θεωρείται και το πιο διαδεδομένο μέσο αποθήκευσης.

Οι συσσωρευτές δίνουν μια σχετική ενεργειακή ασφάλεια για την αποθήκευση της πλεονάζουσας ενέργειας όμως αδυνατούν στο να εκμεταλλευτούν πλήρως το αιολικό δυναμικό αφού ένα ποσοστό ενέργειας θα χάνετε όταν η φόρτισή τους είναι σε επίπεδο 100%. Επιπλέον, κάθε τύπος συσσωρευτή έχει συγκεκριμένη διάρκεια ζωής και μπορεί να πραγματοποιήσει συγκεκριμένους κύκλους φόρτισης. Αυτό έχει σαν συνέπεια, το αυτόνομο σύστημα να επιβαρύνεται οικονομικά περίπου κάθε 8 έτη για να πραγματοποιεί αντικατάσταση αυτών. Ένα ακόμα αρνητικό είναι ότι οι συσσωρευτές θα πρέπει να ανακυκλωθούν και να απομακρυνθούν από την οικία σύμφωνα με το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο με αποτέλεσμα την επιπλέον οικονομική επιβάρυνση.

Την λύση στα προαναφερόμενα προβλήματα δίνει ο εναλλακτικός τρόπος αποθήκευσης ενέργειας από συστήματα εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών, όπου γίνεται χρήση συμπιεστή και αποθηκεύεται η παραγόμενη ενέργεια ως πεπιεσμένος αέρας σε μία κατάλληλη δεξαμενή όπου η χωρητικότητά της εξαρτάται από τις δυνατότητες που προσφέρει το σύστημα και όχι από την απαίτηση της «ασφαλούς» ενεργειακής κάλυψης (τρία συνεχόμενα εικοσιτετράωρα). Η εναλλακτική αυτή λύση έχει πλεονεκτήματα όπως ότι μπορεί να αποθηκεύει την πλεονάζουσα ενέργεια χωρίς να χάνεται κάποιο ποσοστό ακόμα και όταν η ανεμογεννήτρια παράγει την μέγιστη ενέργεια. Ακόμα, έχει την δυνατότητα να προσφέρει στο σύστημα σταθερή ισχύ και ως υπάρχει μεταβολή των ανεμών και το χρονικό διάστημα που μπορεί να καλύψει τις ενεργειακές ανάγκες όταν παρουσιάζεται πρόβλημα στην παραγωγή ενέργειας είναι πολύ μεγαλύτερο.

Ωστόσο, η λύση αυτή ακόμα βρίσκεται σε ερευνητικό στάδιο και χρησιμοποιείται σε συγκεκριμένες εφαρμογές με στόχο την βελτίωση της λειτουργίας της διάταξης καθώς και την εκμηδένιση των μειονεκτημάτων της. Γίνεται κατανοητό ότι το βασικό μειονέκτημα είναι η κατασκευή της δεξαμενής που απαιτεί συγκεκριμένες προδιαγραφές καθώς και να υπάρχουν αρκετά διαθέσιμα τετραγωνικά για την εγκατάστασή της. Παρόλα αυτά, δεν παύει να θεωρείται ως η λύση του μέλλοντος για αδιάκοπη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την πλήρη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού χωρίς κανέναν περιορισμό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

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.

Ασημακόπουλος και συν., 2015, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δυναμικό και τεχνολογία, Εκδόσεις σοφία, Αθήνα

Βασιλείου Α., 2013, Σύγκριση μεταξύ κυπελλοφόρων ανεμομέτρων και LiDAR σε σύνθετη τοπογραφία, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Διπλωματική Εργασία, Αθήνα

Γαλούζης Γ., 2009, Οικονομοτεχνική μελέτη εξυπηρέτησης φορτίου μικρής αυτόνομης κατοικίας με χρήση Α/Γ και Φ/Β διατάξεων, Εκδόσεις Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης, Πτυχιακή Εργασία, Ηράκλειο.

Γαρίνη Ε., 2012, Ανάλυση διαθεσιμότητας και βαθμού χρησιμοποίησης αιολικών συστημάτων, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα

Γκίκας Δ, 2011, Δημιουργία αρχείου ανεμολογικών δεδομένων ανάπτυξη προγράμματος υπολογισμού καμπυλών Weibull για διαχείριση της αιολικής ενέργειας, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα

Γκουντρούμης Β., 2012, Ανάλυση και Έλεγχος Αιολικού Συστήματος Παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας με Σύγχρονη Μηχανή με μόνιμους μαγνήτες, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα

Δημητρακάκη Σ, 2014, Ανάπτυξη Δυναμικού Μοντέλου και Έλεγχος Ανεμογεννήτριας Συνδεδεμένης στο Δίκτυο και σε Αυτόνομη Λειτουργία Εφοδιασμένη με Διάταξη Αποθήκευσης Ενέργειας, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα

Διαδόγλου Σ., 2011, Μελέτη και κατασκευή ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος και σύνδεσή της σε αυτόνομο δίκτυο, Εκδόσεις Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Διπλωματική Εργασία, Θεσσαλονίκη.

Δουσλατζη Ν., 2010, Αντικεραυνική προστασία Ανεμογεννητριών, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική εργασία, Πάτρα

Ευθυμιάδης Α., 2013, Ρύπανση από αιθαλομίχλη, το χρονικό άστοχών επιλογών: τα λάθη – οι επιπτώσεις – οι λύσεις, Εκδόσεις Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδας, Αθήνα

Hau E, 2006, Wind Turbines, fundamentals, technologies, application, economics, second edition

Θυμάκης Γ. και Τσουνής Δ., 2013, Μελέτη αιολικού πάρκου ισχύος 2 MW , Εκδόσεις Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κεντρικής Ελλάδας, Πτυχιακή Εργασία, Αθήνα

Καραϊσκόκης Ε. & Κούκα Ε., 2011, Σύστημα διαχείρισης ενεργείας σε υβριδικό σύστημα ΑΠΕ με χρήση ασαφούς λογικής και προσομοίωση λειτουργίας με εξειδικευμένο λογισμικό, Εκδόσεις Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ανατολικής Μακεδονίας και Θράκης, Πτυχιακή Εργασία, Καβάλα

Καλδέλλης Ι., 1999, Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας, Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε., Αθήνα

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.

Κουμουντέλη Θ. και Λάζαρη Ι., 2011, Μελέτη εγκατάστασης ανεμογεννήτριας κατακόρυφου άξονα για θέρμανση, Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Κρήτης, Πτυχιακή Εργασία, Χανιά

Μαζαράκης Ν., 2017, Το μελτέμι του Αιγαίου: Ιστορική αναδρομή, αιτία δημιουργίας, ένταση και εποχή εμφάνισης του, <http://www.e-nautilia.gr/to-meltemi-tou-aigaiou-h-istorkh-anadromh-h-aitia-dhmiourgias-h-entash-kai-h-epoxh-emfanishs-tou/>

Μακρής Θ., 2009, Συνδυασμένη χρήση ηλιακής και αιολικής ενέργειας για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών κτιρίων, Πανεπιστήμιο Πάτρας, Μεταπτυχιακή Εργασία, Πάτρα

Μακρή Μ., 2014, Διερεύνηση τεχνολογιών μικρών ανεμογεννητριών και των εφαρμογών του, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Αθήνας, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αθήνα

Μακρή Χ., 2013, Σχεδιασμός και προσομοίωση πρωτότυπης οικιακής ανεμογεννήτριας καθέτου άξονα, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Μεταπτυχιακή Εργασία, Αθήνα

Μαρούδας Δ., 2008, Συγκριτική ανάλυση αιολικών συστημάτων και έλεγχος ισχύος σε σύστημα με ασύγχρονη μηχανή διπλής τροφοδοσίας, Διπλωματική Εργασία, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο, Πάτρα

Μαρκίδης Α., 2010, Μικρές ανεμογεννήτριες και εφαρμογές στον οικιακό τομέα, Εκδόσεις Ενεργειακό Γραφείο Κύπριων Πολιτών, Κύπρος, Λευκωσία.

Μπάρλα Ι., 2012, Μελέτη υπεράκτιου αιολικού πάρκου και σύνδεση του στο δίκτυο, Εκδόσεις Πανεπιστήμιο Πατρών, Διπλωματική Εργασία, Πάτρα

Μπεργελές, 1995, Ατμοκινητήρες, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα

Πελοποννήσιος Ε., 2013, Αιολική Ενέργεια – Μελέτη και Εφαρμογές, Πτυχιακή Εργασία, Εκδόσεις Α.Τ.Ε.Ι Πειραιά, Αθήνα

Πήττας Ν., 2010, Ενέργεια: σημερινή εικόνα – Σχεδιασμός – Προοπτικές, Καινοτομική αυτόματη αιολική διάταξη αδιάκοπης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, Εκδόσεις ΤΕΕ, Αθήνα

Σαριδάκης & Σωτηρόπουλος, 2006, *Σχεδιασμός και Διαχείριση Συστημάτων Α.Π.Ε*, Σημειώσεις, Εκδόσεις Τ.Ε.Ι Κρήτης, Χάνια

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

Τσούλης Γ., 2016, Μελέτη εγκατάστασης και λειτουργίας ανεμογεννήτριας Οικιακής χρήσης, Εκδόσεις Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας, Πτυχιακή Εργασία, Πάτρα

Φλόκας Α., 1997, Μαθήματα μετεωρολογίας και κλιματολογίας, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Θεσσαλονίκη.

Φλάμος, 2010, Ολοκληρωμένη μεθοδολογία υποστήριξης αποφάσεων για την επιλογή έργων του μηχανισμού καθαρής ανάπτυξης, Εκδόσεις Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Διπλωματική εργασία, Αθήνα

Χριστόδουλος Ν., 2010, Παράκτιο αιολικό πάρκο στη περιοχή του Λεωνιδίου της Κυνουρίας, Εκδόσεις Ανώτατο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Πτυχιακή εργασία, Κύπρος

ΙΣΤΟΤΟΠΟΙ

Αιολικό δυναμικό Ελλάδας: <http://www.energyproject.gr/energywind.php>

Αιολικό δυναμικό Ελλάδας <http://aims.cres.gr/grwind150/viewer.htm>

Ανεμογεννήτριες τύπου Darrieus: Πηγή: <https://urjart.wordpress.com/>

Διάγραμμα ροής για την αδειοδότηση μικρής ανεμογεννήτριας: http://www.aveco.gr/docs/odigos_mikron_anemogennitron.pdf

Διαχείριση Ελληνικού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας Α.Ε. (ΔΕΣΜΗΕ) <http://www.desmie.gr/ape-sithya/adeiodotiki-diadikasia-kodikopoiisi-nomothesias-ape/periexomena/timologisi-energeias-ape-ape/>

Εταιρία ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος <http://www.windpowercn.com/>

Θέσης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας: <http://www.greencollarjobtraining-free.com/>

Καταστροφή ανεμογεννητριών από καιρικά φαινόμενα <http://hdimagelib.com>

Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας (ΚΑΠΕ, 2015)
<http://aims.cres.gr>

Κίνηση αερίων μαζών: <http://www.paragliding.org/book>
Στοιχεία για την εγκατάσταση αιολικών μηχανών σύμφωνα με αιολικό δυναμικό
<http://www.aiolikigi.gr/>

Μέτρηση αιολικού δυναμικού LiDar (light detection and ranging):
<http://www.dlr.de/schoollab/>

Υπουργείο περιβάλλοντος και ενέργειας (ΥΠΕΚΑ): <http://www.ypeka.gr/>