

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αριθμός: 1112

ΘΕΜΑ: Μελέτη ισχυρών ρευμάτων ηλεκτρολογικής εγκατάστασης για την υλοποίηση βέλτιστης στρατηγικής πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας από οικιακή ανεμογεννήτρια

ΕΙΣΗΓΗΤΕΣ: ΓΕΩΡΓΑΚΑΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΧΑΡΑΛΑΜΠΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ-ΝΕΚΤΑΡΙΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΛΟΓΔΑΝΙΔΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος της Πάτρας και αναφέρεται στην βέλτιστη στρατηγική εγκατάστασης μιας οικιακής ανεμογεννήτριας ώστε να αποδίδει τα μέγιστα στον επενδυτή. Είναι αδιαμφισβήτητο πλέον ότι οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας αποτελούν την καλύτερη λύση στο ενεργειακό πρόβλημα. Ειδικά η αιολική ενέργεια παρουσιάζει πάρα πολλά πλεονεκτήματα. Έτσι, εξαιτίας και του πολύ υψηλού αιολικού δυναμικού που επικρατεί σε πολλές περιοχές της Ελλάδας αποτελεί την πρώτη επιλογή για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στη χώρα μας. Οι μικρές ανεμογεννήτριες προσφέρουν φτηνή ηλεκτρική ενέργεια σε σπίτια και μικρούς οικισμούς και παράλληλα αποφέρουν κέρδος στους επενδυτές μέσω της πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας στο κεντρικό δίκτυο.

Στις επόμενες σελίδες, αρχικά παρουσιάζονται τα βασικά σημεία της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στις μικρές ανεμογεννήτριες. Γίνεται αναφορά στο νομοθετικό πλαίσιο που υπάρχει για την εγκατάσταση των μικρών ανεμογεννητριών καθώς και σε σχετικές οικονομικές παραμέτρους. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι τρόποι λειτουργίας και σύνδεσης μιας μικρής ανεμογεννήτριας. Τέλος, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης εγκατάστασης μιας μικρής ανεμογεννήτριας διασυνδεδεμένης με το κεντρικό δίκτυο διανομής με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες μιας οικίας και να αποδίδει στο δίκτυο όλο το πλεόνασμα ηλεκτρικής ισχύος.

Θεωρώ υποχρέωσή μου να ευχαριστήσω θερμά τους Εισηγητές του θέματος της πτυχιακής αυτής εργασίας κκ. Βοβό Παναγή και Γεωργάκα Κωνσταντίνο καθώς και τον κ. Χαραλαμπάκο Βασίλειο-Νεκτάριο, που αντικατέστησε τον κ. Βοβό, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

Λογδανίδης Άγγελος
Πάτρα Σεπτέμβριος 2013

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία έχει σαν θέμα την βέλτιστη στρατηγική εγκατάστασης μιας οικιακής ανεμογεννήτριας ώστε να αποδίδει το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος στον επενδυτή.

Στο πρώτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά σημεία της τεχνολογίας των ανεμογεννητριών

Το δεύτερο κεφάλαιο είναι αφιερωμένο στις μικρές ανεμογεννήτριες. Γίνεται αναφορά στο νομοθετικό πλαίσιο που υπάρχει για την εγκατάσταση των μικρών ανεμογεννητριών καθώς και σε σχετικές οικονομικές παραμέτρους.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται αναλυτικά οι τρόποι λειτουργίας και σύνδεσης μιας μικρής ανεμογεννήτριας.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης εγκατάστασης μιας μικρής ανεμογεννήτριας διασυνδεδεμένης με το κεντρικό δίκτυο διανομής με τέτοιο τρόπο ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες μιας οικίας και να αποδίδει στο δίκτυο όλο το πλεόνασμα ηλεκτρικής ισχύος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1. ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ	
1.1 Γενικά	5
1.2 Ανεμογεννήτριες	7
1.3 Κατηγορίες Ανεμογεννητριών	11
1.4 Ισχύς Ανεμογεννήτριας	20
2. ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ	
2.1 Γενικά	25
2.2 Συντήρηση των Αιολικών Συστημάτων Μικρής Ισχύος	28
2.3 Αδειοδότηση και Θεσμικό Πλαίσιο	29
2.4 Εγκατάσταση και Προϋποθέσεις	31
2.5 Βιωσιμότητα της Επένδυσης	31
3. ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΙΚΡΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ	
3.1 Γενικά	35
3.2 Μικροδίκτυα	35
3.3 Κατηγορίες Αιολικών Συστημάτων Μικρής Ισχύος	38
3.4 Ηλεκτρικές Διατάξεις Συστημάτων Αιολικής Ενέργειας	41
4. ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ	
4.1 Σχεδίαση της Εγκατάστασης	45
4.2 Επιλογή Ανεμογεννήτριας	47
4.3 Ηλεκτρολογικός Εξοπλισμός	49
4.4 Κόστος Επένδυσης και Αποπληρωμή	55
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	57

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εποχή μας η ηλεκτρική ενέργεια είναι η πιο γενικευμένη μορφή ενέργειας σε χρήση σε παγκόσμια κλίμακα. Η συνεχώς αυξανόμενη ζήτησή της, κυρίως στις αναπτυσσόμενες χώρες, και η παράλληλη μείωση των αποθεμάτων των συμβατικών καυσίμων (πετρέλαιο, άνθρακας κ.τ.λ.) πάνω στα οποία στηρίχθηκε παραδοσιακά η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας, οδηγεί την ανθρωπότητα σε διλήμματα και προβληματισμό σχετικά με το μέλλον και τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών.

Οι εναλλακτικές λύσεις που προτάθηκαν κατά καιρούς και για πολλά χρόνια είχαν περιορισμένο ερευνητικό ενδιαφέρον για διάφορους λόγους βρέθηκαν και πάλι στην πρώτη γραμμή της επικαιρότητας.

Η κατάσταση όπως παρουσιάζεται σήμερα είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντική. Οι περισσότερες ανεπτυγμένες χώρες επενδύουν σημαντικά ποσά προς την κατεύθυνση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Α.Π.Ε.) επιδιώκοντας τη βελτίωση των εγκαταστάσεων που υπάρχουν σήμερα αλλά και το σχεδιασμό νέων με καλύτερα αποτελέσματα κυρίως από πλευράς κόστους και απόδοσης. Ο αντικειμενικός στόχος του εγχειρήματος αυτού είναι η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από συστήματα Α.Π.Ε. να γίνει συγκρίσιμη τόσο από πλευράς κόστους όσο και από πλευράς αξιοπιστίας με την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από συστήματα που χρησιμοποιούν συμβατικά καύσιμα.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε. είναι τα εξής:

- Το βασικό χαρακτηριστικό των Α.Π.Ε. από το οποίο έχει προέλθει και το όνομά τους είναι ότι από τη φύση τους ανανεώνονται διαρκώς και προσφέρονται στον άνθρωπο δωρεάν για εκμετάλλευση. Συνεπώς, είναι απαραίτητη η στροφή προς τις Α.Π.Ε. τη στιγμή που τα αποθέματα των συμβατικών καυσίμων μειώνονται με ραγδαίο ρυθμό ο οποίος συνεχώς αυξάνεται λόγω και της υπερκατανάλωσης ενέργειας. Η υπερκατανάλωση της ενέργειας οφείλεται κύρια στον υπερπληθυσμό, στην βελτίωση του βιοτικού επιπέδου της ανθρωπότητας η οποία δημιούργησε νέες καταναλωτικές

ανάγκες και συνήθειες αλλά και σε άλλους παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες.

- Ένα δεύτερο ιδιαίτερα ευπρόσδεκτο χαρακτηριστικό των Α.Π.Ε. είναι ότι οι τεχνολογίες εκμετάλλευσής τους βρίσκονται μέσα στις κατασκευαστικές δυνατότητες των αναπτυσσόμενων τεχνολογικά χωρών. Συνεπώς εκτός από τη συνεισφορά τους στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, συνεισφέρουν σημαντικά και στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.
- Ένα τρίτο χαρακτηριστικό τους είναι ότι δεν είναι εξαγωγίμες, δηλαδή η εκμετάλλευσή τους πρέπει να γίνει στη θέση όπου εμφανίζονται άρα πρόκειται για ένα αποκεντρωμένο σύστημα παραγωγής ενέργειας.
- Επιπλέον, οι Α.Π.Ε. δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον, οπότε η εκμετάλλευσή τους είναι συνεπής προς μία οικολογικά σωστή αντιμετώπιση της σχέσης ανάμεσα στην ανθρώπινη δραστηριότητα και στο περιβάλλον. Η αλήθεια είναι ότι μόνο τα τελευταία χρόνια ο άνθρωπος συνειδητοποίησε ότι η σχέση αυτή πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη σε όλα τα σενάρια οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης.
- Το κόστος τους δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και τις τιμές των συμβατικών καυσίμων.
- Μπορούν σε πολλές περιπτώσεις να αποτελέσουν πυρήνα για την αναζωογόνηση οικονομικά και κοινωνικά υποβαθμισμένων περιοχών και πόλο για την τοπική ανάπτυξη, με την προώθηση επενδύσεων που στηρίζονται στη συμβολή των ΑΠΕ.

Τα κύρια μειονεκτήματα των Α.Π.Ε. είναι τα εξής:

- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος, να μεταφερθεί και να αποθηκευθεί.
- Έχουν χαμηλή πυκνότητα ισχύος και ενέργειας και συνεπώς για να επιτευχθούν υψηλά επίπεδα ισχύος απαιτούνται συχνά εκτεταμένες εγκαταστάσεις.
- Παρουσιάζουν συχνά διακυμάνσεις στη διαθεσιμότητά τους που μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας απαιτώντας την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών (υβριδικά συστήματα) ή γενικά δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Η χαμηλή διαθεσιμότητά τους συνήθως οδηγεί σε χαμηλό συντελεστή χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων εκμετάλλευσής τους, Το κόστος

επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές των συμβατικών καυσίμων είναι ακόμη υψηλό.

Η χώρα μας λόγω ανεπιτυχών ενεργειακών επιλογών έφτασε να βασίζει την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών σε πολύ μεγάλο ποσοστό στο εισαγόμενο πετρέλαιο ενώ αποτελεί κοινή πεποίθηση ότι είναι προικισμένη με άφθονες ενεργειακές πηγές ανανεώσιμων μορφών. Ενεργειακή μελέτη για την Ελλάδα αποδεικνύει ότι η χώρα μας μπορεί να καλύψει με 500 μεγάλες ανεμογεννήτριες τουλάχιστον το 10% των ενεργειακών της αναγκών. Επιπλέον, τα νησιά του Αιγαίου τα οποία έχουν πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό αν διασυνδεθούν με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο μπορούν να αποτελέσουν αιολικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχους με τους θερμοηλεκτρικούς της ενδοχώρας.

Η αιολική ενέργεια ειδικότερα έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων Α.Π.Ε. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για οικιακή χρήση όσο και για ευρεία. Στην Ευρώπη και με ελάχιστες εξαιρέσεις παγκοσμίως τα φωτοβολταϊκά συστήματα χρησιμοποιούνται μόνο για οικιακές χρήσεις. Άλλα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά είναι:

- Μειωμένο κόστος ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας.
- Δυνατότητα παραγωγής μεγαλύτερων ποσοτήτων ηλεκτρικής ενέργειας σε κατασκευές που η στέγη ή το δώμα τους είναι μικρής έκτασης και δεν ευνοεί την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών πάνελ, ενώ ούτε το κέλυφός τους είναι κατάλληλο για την τοποθέτησή τους.
- Σχετικά απλή μέθοδος εγκατάστασής των οικιακών συστημάτων εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, κάτι το οποίο τα έχει κάνει αρκετά δημοφιλή τα τελευταία χρόνια.

Ωστόσο τα αιολικά συστήματα παρουσιάζουν και κάποια μειονεκτήματα σε σχέση με τα φωτοβολταϊκά. Αυτά είναι:

- Δεν μπορεί να προβλεφθεί με απόλυτη ακρίβεια η παραγωγή ενέργειας ενός τέτοιου συστήματος, σε αντίθεση με τα συστήματα φωτοβολταϊκών συλλεκτών.
- Τα αιολικά συστήματα απαιτούν συστηματική συντήρηση.
- Έχουν σχετικά μικρή διάρκεια ζωής (περίπου 15 χρόνια), όντας σημαντικά λιγότερη συγκριτικά με τους φωτοβολταϊκούς συλλέκτες (περίπου 25 χρόνια).
- Οι ανεμογεννήτριες θεωρούνται, προς το παρόν τουλάχιστον, αισθητικά ξένο σώμα για το αστικό και περιαστικό περιβάλλον.

- Είναι ένα σχετικά θορυβώδες σύστημα.

Η αιολική βιομηχανία παρουσιάζει σήμερα αλματώδη ανάπτυξη και είναι ακόμη στο ξεκίνημα. Μπορούμε με σιγουριά να πούμε ότι έχει μακρόπνοο ορίζοντα. Η αγορά των αιολικών μπορεί πολύ σύντομα να φτάσει στα 25.000.000.000 ευρώ σύμφωνα με στοιχεία της EWEA.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε μία βιβλιογραφική έρευνα σχετικά με την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και την τεχνολογία των ανεμογεννητριών με έμφαση στις μικρές οικιακές ανεμογεννήτριες. Στη συνέχεια υλοποιήθηκε μία τεχνοοικονομική μελέτη για την εγκατάσταση μιας μικρής ανεμογεννήτριας ώστε να αποφέρει το μεγαλύτερο δυνατό κέρδος στον ιδιοκτήτη της.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία σύντομη αλλά περιεκτική αναφορά στην τεχνολογία εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας. Παρουσιάζονται οι διάφοροι τύποι των ανεμογεννητριών, τα συστατικά μέρη αυτών καθώς και ο τρόπος λειτουργίας τους. Εξετάζονται οι τρόποι ελέγχου της λειτουργίας της ανεμογεννήτριας και δίνονται οι βασικές σχέσεις υπολογισμού της παραγόμενης ισχύος και της απόδοσης της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο εστιάζουμε στις μικρές ανεμογεννήτριες όπως αυτή που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη. Αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών μικρής ισχύος, οι εφαρμογές τους καθώς και θέματα που έχουν να κάνουν με την συντήρηση και την επιμήκυνση του χρόνου ζωής τους. Τέλος παρουσιάζεται το νομοθετικό πλαίσιο και η διαδικασία αδειοδότησης για αιολικά συστήματα μικρής ισχύος.

Στο τρίτο κεφάλαιο αρχικά γίνεται μία αναφορά στα μικροδίκτυα δηλαδή τα μικρά δίκτυα παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας που είναι ανεξάρτητα από το κεντρικό δίκτυο και μπορούν να εξυπηρετηθούν από μικρές ανεμογεννήτριες ή άλλα συστήματα Α.Π.Ε. μικρής ισχύος. Στη συνέχεια περιγράφονται οι βασικοί τύποι των αιολικών συστημάτων μικρής ισχύος. Αναλύεται η αυτόνομη καθώς και η λειτουργία αιολικού συστήματος διασυνδεδεμένου με το κεντρικό δίκτυο.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της μελέτης εγκατάστασης μιας μικρής ανεμογεννήτριας. Αναφέρονται λεπτομερώς ο τρόπος σύνδεσης με το δίκτυο, ο απαιτούμενος ηλεκτρικός εξοπλισμός και επίσης γίνεται και μία εκτίμηση του κόστους της εγκατάστασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

1.1 Γενικά

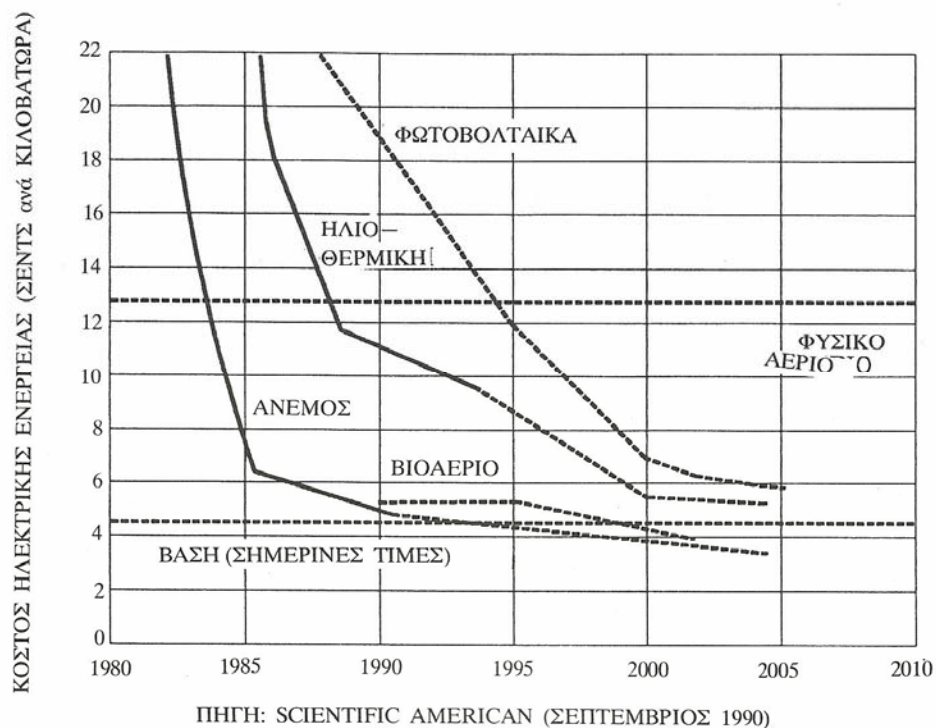
Ο άνεμος έχει χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας από τα πανάρχαια χρόνια. Πρώτη χρήση της αιολικής ενέργειας από τον άνθρωπο έγινε για την κίνηση των πλοίων του. Υπάρχουν επίσης ιστορικές και αρχαιολογικές μαρτυρίες ότι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν από πολλούς λαούς χιλιάδες χρόνια πριν για διάφορους σκοπούς. Στην Αίγυπτο σώζονται πύργοι ανεμόμυλων ηλικίας μεγαλύτερης των 3000 ετών. Στην Ελλάδα και στην Περσία οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν από πολύ παλιά για την άλεση δημητριακών και το πότισμα κήπων. Η μεγαλύτερη διάδοση ανεμόμυλων έγινε στην Ολλανδία από τον 15^ο αιώνα. Εκεί οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για την αποστράγγιση και τη διοχέτευση στη θάλασσα των υδάτων από πολλές περιοχές της χώρας. Στην Ελλάδα για την άντληση ποτιστικού νερού από πηγάδια χρησιμοποιήθηκαν οι ανεμόμυλοι κυρίως στην Ανατολική Κρήτη.

Το 1888 έγινε για πρώτη φορά χρήση της αιολικής ενέργειας με σκοπό την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον Αμερικανό Charles Brush ενώ η πρώτη μοντέρνα ανεμογεννήτρια κατασκευάστηκε από τον Δανό Poul la Cour. Οι προσπάθειες ανάπτυξης ανεμογεννητριών ατόνησαν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1970. Στη συνέχεια και μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση εντάθηκαν ξανά και μάλιστα στηρίχτηκαν πολύ στη σύγχρονη αεροδιαστημική τεχνολογία.

Η 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 έτσι τους ανέμους. Οπότε, άνεμος ονομάζεται κάθε οριζόντια μετακίνηση μάζας ατμοσφαιρικού αέρα. Προκαλείται από διαφορές στην πίεση μεταξύ δύο περιοχών, από τη γενική δηλαδή

κυκλοφορία στην ατμόσφαιρα. Για την πλήρη περιγραφή του ανέμου πρέπει να γνωρίζουμε την ένταση, δηλαδή, την ταχύτητα με την οποία κινείται και τη διεύθυνσή του.

Περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η ισχύς των ανέμων σε όλη τη Γη υπολογίζεται σε $3,6 \cdot 10^9 MW$. Ενδεικτικά, οι ενεργειακές ανάγκες των Η.Π.Α. είναι μόλις το 10% της ενέργειας των ανέμων που πνέουν εκεί, γεγονός που αποδεικνύει πόσο πλούσια πηγή ενέργειας είναι ο άνεμος.



Σχήμα 1.1 Σύγκριση του κόστους της kWh από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1 m/sec, σε ύψος 10 μέτρων πάνω από το έδαφος. Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα.

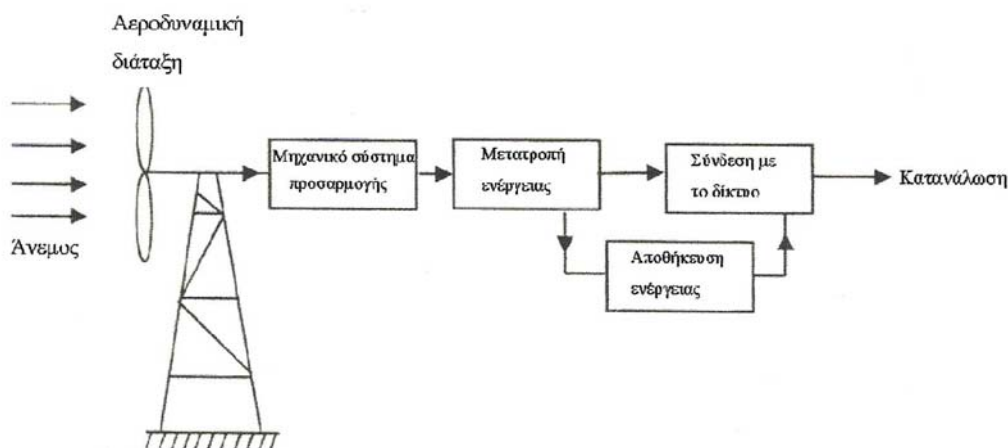
Άλλωστε το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την "πρώτη"

περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας. Στο σχήμα 1.1 φαίνεται η χρονική εξέλιξη του κόστους της kWh από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Είναι φανερό ότι η αιολική ενέργεια είναι μία πολύ οικονομική λύση.

Καθώς αναπτύσσονται τεχνολογίες για εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων στη θάλασσα, για ελαφρύτερες κατασκευές και για γεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας, η συμμετοχή της αιολικής ενέργειας στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά, με χρήση ανεμογεννητριών μεγάλης ισχύος και διάσπαρτων μεγάλων αιολικών πάρκων.

1.2 Ανεμογεννήτριες

Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούνται ανεμογεννήτριες οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική. Η σχεδίαση μιας ανεμογεννήτριας προϋποθέτει τη μελέτη του αεροδυναμικού, του μηχανικού και του ηλεκτρικού της μέρους.



Σχήμα 1.2 Διάταξη παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο.

Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας βασίζεται στη κίνηση των πτερυγίων της, τα οποία περιστρέφονται όταν φυσάει ο άνεμος. Η κίνηση αυτή μεταδίδεται σε ένα άξονα περιστροφής που με τη βοήθεια ενός συστήματος προσανατολισμού, βρίσκεται

συνεχώς παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου. Η κινητική ενέργεια του άξονα περιστροφής μετατρέπεται σε ηλεκτρι-κό ρεύμα από μια γεννήτρια. Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της, την ταχύτητα του ανέμου και την ποιότητα κατασκευής της. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει, οι οποίες ποικίλουν από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να παράγουν κατόπιν μετατροπής επιθυμητό είδος εναλλασσόμενης τάσης (με ασύγχρονες ή σύγχρονες μηχανές), ή συνεχή τάση (με μηχανές συνεχούς ρεύματος με μόνιμους μαγνήτες) που είναι απαραίτητο για κάποιες ειδικές εφαρμογές.

Συνήθως οι ανεμογεννήτριες συνδέονται με το ηλεκτρικό δίκτυο, συνθέτοντας έτσι αιολικά πάρκα (συστοιχίες πολλών ανεμογεννητριών), τα οποία εγκαθίστανται και λειτουργούν σε περιοχές υψηλού αιολικού δυναμικού, διοχετεύοντας την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στο δίκτυο. Στην Ελλάδα, υπάρχουν αρκετά αιολικά πάρκα σε διάφορες περιοχές της χώρας (Κάρυστος, Λαύριο, Μήλος κ.α.) και σχεδιάζεται η δημιουργία και άλλων σε διάφορες τοποθεσίες.



Σχήμα 1.3 Αποψη Αιολικού Πάρκου.

Υπάρχει επίσης δυνατότητα οι ανεμογεννήτριες να λειτουργούν αυτόνομα για κάλυψη ή τη συμπλήρωση ενεργειακών αναγκών απομακρυ-σμένων κατοικιών, αγροκτημάτων κ.ο.κ. Στις περιπτώσεις αυτές υπάρχει, όπως και στην περίπτωση των

αυτόνομων φωτοβολταϊκών συστημάτων, ανάγκη για αποθήκευση ενέργειας με εγκατάσταση μπαταριών ή τη χρήση ηλεκτροπαραγωγών ζεύγων (H/Z).

Σήμερα οι τεχνολογικές εξελίξεις στον τομέα αυτό, έχουν καταστήσει δυνατή την αθόρυβη λειτουργία των ανεμογεννητριών, την μείωση του όγκου τους και του κόστους εγκατάστασής τους. Η αιολική βιομηχανία είναι σήμερα η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ενεργειακή τεχνολογία, με εντυπωσιακούς ρυθμούς ανάπτυξης τα τελευταία χρόνια [1]. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της Δανίας, που σήμερα καλύπτει σχεδόν το 25% των αναγκών της σε ηλεκτρισμό με αιολική ενέργεια, ενώ ο εθνικός στόχος της χώρας αυτής είναι να καλύπτει το 50% των αναγκών της με αιολική ενέργεια ως το 2030 [1]. Ο Ευρωπαϊκός Σύνδεσμος Αιολικής Ενέργειας (EWEA) εκτιμά ότι η ισχύς των εγκατεστη-μένων αιολικών συστημάτων θα αγγίξει τα 180GW το 2020.

Καθώς αναπτύσσονται τεχνολογίες για εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων στη θάλασσα, για ελαφρύτερες κατασκευές και για γεννήτριες μεταβλητής ταχύτητας, η συμμετοχή της αιολικής ενέργειας στο παγκόσμιο ενεργειακό ισοζύγιο αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά, με χρήση ανεμογεννητριών μεγάλης ισχύος και διάσπαρτων μεγάλων αιολικών πάρκων.

Φυσικά, οι ανεμογεννήτριες δεν είναι βλαβερές για την υγεία. Δεν εκπέμπουν κανενός είδους ακτινοβολία ή ρύπο που θα μπορούσε να βλάψει την υγεία. Αντιθέτως, με τη λειτουργία τους παράγεται πράσινη ενέργεια και εξοικονομείται η χρήση άλλων ρυπογόνων μορφών ενέργειας ενώ αποφεύγεται η έκλυση στην ατμόσφαιρα ρύπων και αερίων που συμβάλλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Παράλληλα οδηγούν στη μείωση του οικολογικού αποτυπώματος είτε ατομικά είτε για την επιχείρηση του επενδυτή.

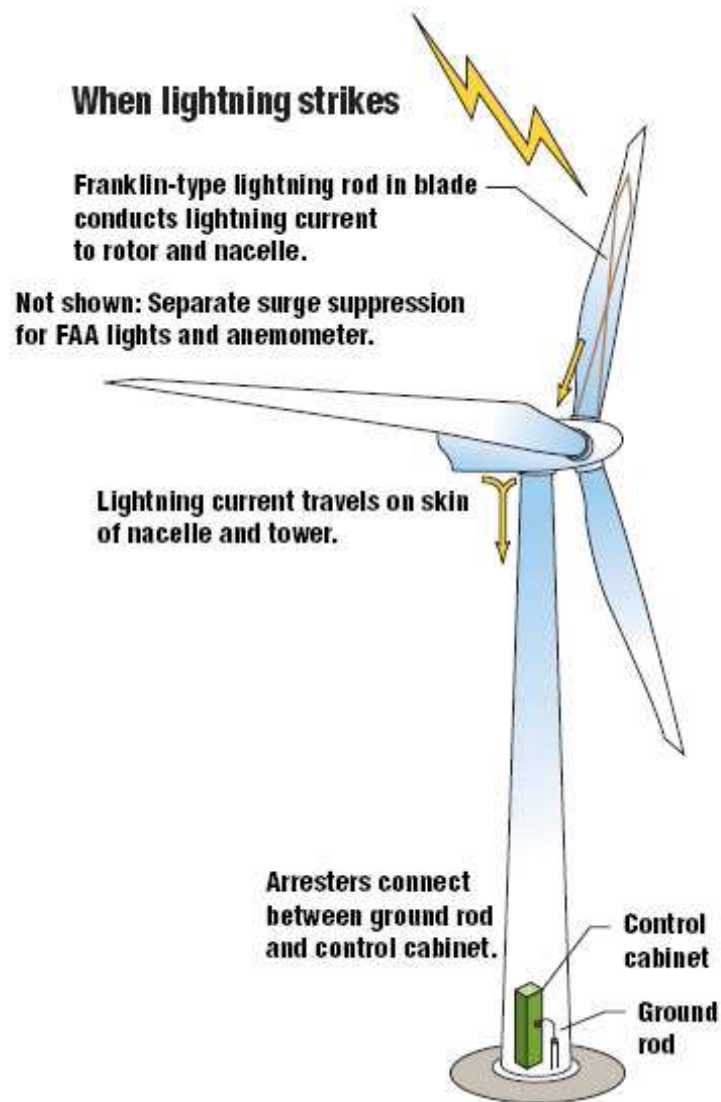
Όσον αφορά το θόρυβο, είναι σαφές ότι πέρα από τα ευρύτερα κοινωνικά οφέλη, μια ανεμογεννήτρια θα πρέπει να βρίσκεται σε αρμονία με το περιβάλλον της. Ο θόρυβος μιας ανεμογεννήτριας προέρχεται από τα μηχανικά της μέρη αλλά και από τον αεροδυναμικό θόρυβο που δημιουργείται από την κίνηση των φτερών. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν επιτευχθεί σχεδιασμοί ανεμογεννητριών που παράγουν πολύ χαμηλά επίπεδα θορύβου.



Σχήμα 1.4 Εκτροπείς υπερτάσεων σε μεγάλες ανεμογεννήτριες.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι είναι απαραίτητο να λαμβάνονται μέτρα αντικεραυνικής προστασίας των ανεμογεννητριών. Οι μεγάλες ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται συνήθως στο υψηλότερο σημείο της περιοχής. Έτσι, η προστασία τους από κεραυνούς θεωρείται επιβεβλημένη. Στην αντικεραυνική προστασία των ανεμογεννητριών τα απαραίτητα μέσα λαμβάνονται στο σώμα της ανεμογεννήτριας.

Στο σχήμα 1.4 φαίνονται εκτροπείς υπερτάσεων οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στον πύργο στήριξης μιας μεγάλης ανεμογεννήτριας, ενώ στο σχήμα 1.5 που ακολουθεί φαίνεται η πορεία που ακολουθεί το ρεύμα ως την διοχέτευσή του στο έδαφος με το ηλεκτρόδιο γείωσης.



Σχήμα 1.5 Διαδρομή του ρεύματος και διοχέτευσή του στο έδαφος με το ηλεκτρόδιο γείωσης.

1.3 Κατηγορίες Ανεμογεννητριών

Στην ενότητα αυτή θα γίνει μία σύντομη αναφορά στα είδη των ανεμογεννητριών που υπάρχουν με βάση διάφορα κριτήρια κατηγοριοποίησης. Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστούν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των λεγόμενων μικρών ανεμογεννητριών οι οποίες μας ενδιαφέρουν ιδιαίτερα γιατί στην κατηγορία αυτή ανήκει η ανεμογεννήτρια που χρησιμοποιείται στην παρούσα μελέτη.

1.3.1 Κατηγοριοποίηση με βάση τη θέση του άξονα

Οι ανεμογεννήτριες διακρίνονται με βάση τη θέση του άξονα τους, σε δύο κατηγορίες:

- Οριζόντιου άξονα οι οποίες είναι οι πλέον διαδεδομένες και
- Κατακόρυφου άξονα

Στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς τη διεύθυνση του ανέμου ενώ στις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης και κάθετος στη ροή του ανέμου.

A) Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

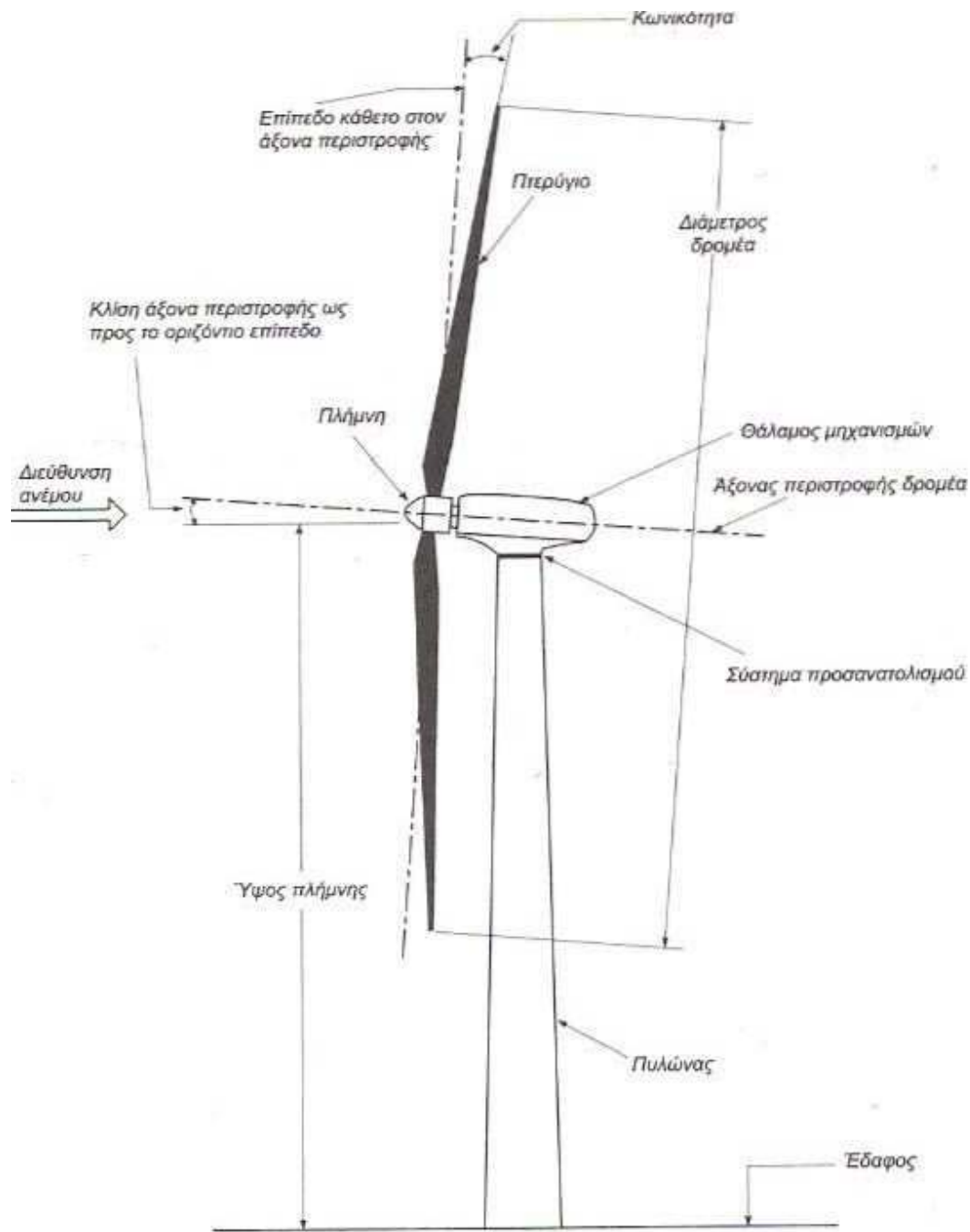
Τα μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα είναι:

1) Ο Πύργος: μπορεί να είναι μεταλλικός (δικτυωτός ή συνηθέστερα σωληνωτός) αλλά και από οπλισμένο σκυρόδεμα, για ανεμογεννήτρια μεγάλης ισχύος. Βασικής σημασίας για την επιλογή του πύργου είναι ο προβλεπόμενος τρόπος μεταφοράς και εγκατάστασής του, σε συνδυασμό με την όλη συναρμολόγηση της ανεμογεννήτριας και την έδρασή της.

Ο πύργος υπολογίζεται ως πακτωμένη δοκός, η οποία υφίσταται σύνθετη στατική και κυρίως δυναμική καταπόνηση. Ο σχεδιασμός του πύργου ώστε να αποφεύγονται συνθήκες συντονισμού έχει βασική σημασία.

2) Ο Δρομέας (Έλικα): οι ανεμογεννήτριες κατασκευάζονται με 2 (πιο σπάνια) ή 3 πτερύγια. Η στήριξη των πτερυγίων της έλικας στον άξονα του δρομέα μπορεί να είναι σταθερή (πτερύγιο σταθερού βήματος) ή μεταβλητή (πτερύγιο μεταβλητού βήματος). Επίσης το πτερύγιο μπορεί να αποτελείται από δύο τμήματα: ένα τμήμα σταθερό, στηριζόμενο στον άξονα και επιπλέον ένα ρυθμιζόμενο ακροπτερύγιο. Οι παραπάνω παραλλαγές είναι βασικής σημασίας για τον έλεγχο ισχύος-στροφών της ανεμογεννήτριας καθώς και για την ασφάλεια της λειτουργίας της.

Η τεχνολογία κατασκευής των πτερυγίων βρίσκεται σε συνεχή εξέλιξη και πολλά είδη υλικών έχουν χρησιμοποιηθεί. Για μικρές ανεμογεννήτριες (έως 100KW) χρησιμοποιούνται συνήθως πολυουρεθάνη, υαλονήματα (fiberglass) και ξύλο, για μεσαίου μεγέθους (μερικές εκατοντάδες KW) υαλονήματα σε πολλαπλές στρώσεις και εναλλαγή κατευθύνσεων ενώ για τις μεγάλες (της τάξεως MW) ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται συνήθως ανθρακονήματα.

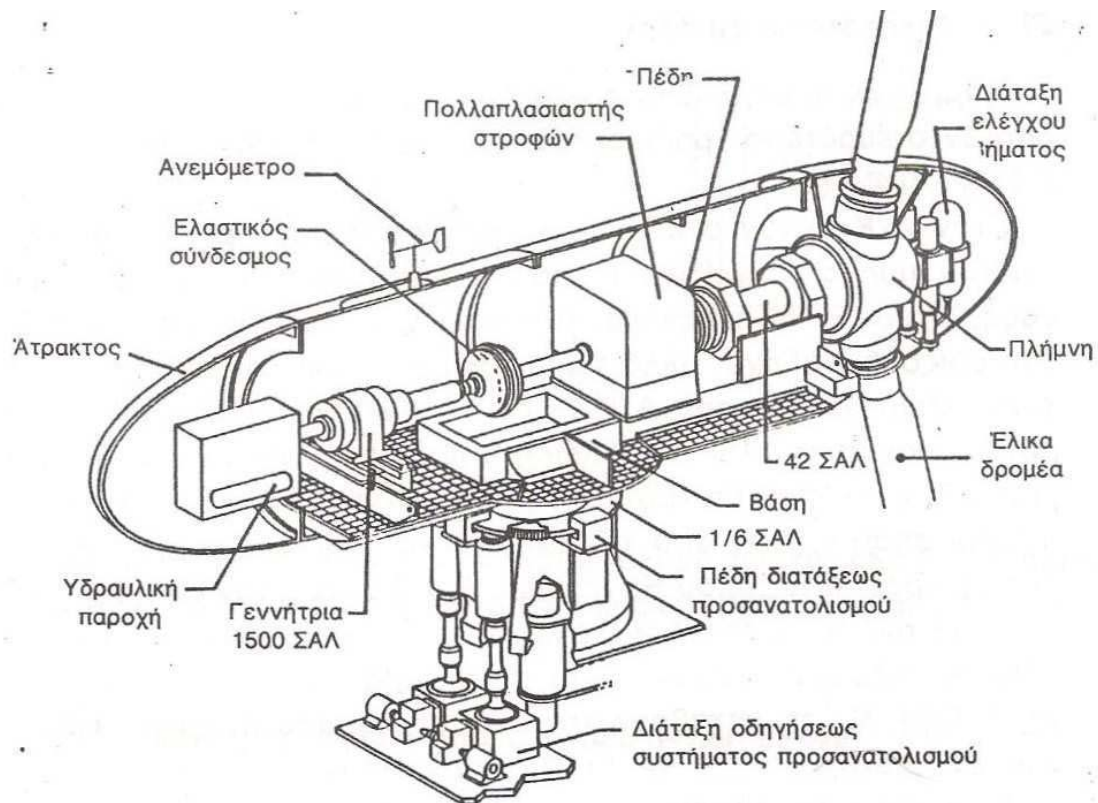


Σχήμα 1.6 Ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα.

3) Ο Χώρος Μηχανισμών (Άτρακτος): περιλαμβάνει κυρίως:

- το σύστημα εδράσεως του δρομέα στον πύργο
- τον πολλαπλασιαστή στροφών
- τη γεννήτρια
- το φρένο
- τους μηχανισμούς ελέγχου του βήματος των πτερυγίων και

- το σύστημα περιστροφής και προσανατολισμού προς την κατεύθυνση του ανέμου.



Σχήμα 1.7 Άτρακτος ανεμογεννήτριας.

Το ηλεκτρικό σύστημα της ανεμογεννήτριας μπορεί να περιλαμβάνει τη γεννήτρια, το διακοπτικό εξοπλισμό, τον εξοπλισμό προστασίας, μετασχηματιστές, γραμμές μεταφοράς καθώς και ένα σύστημα εποπτείας και ελέγχου.

Ένα σημαντικό στοιχείο για την όλη διαμόρφωση των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα είναι ο περιορισμός του εύρους των ταλαντώσεων και ιδιαίτερα η αποφυγή συνθηκών συντονισμού της όλης διάταξης με τις συχνότητες ταλαντώσεων που προκαλεί ο άνεμος.

Ο μηχανισμός προσανατολισμού της ανεμογεννήτριας περιστρέφει την άτρακτο και την έλικα ώστε το επίπεδο περιστροφής της τελευταίας να είναι κάθετο προς την κατεύθυνση του ανέμου. Η έλικα μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε προσήνεμη διάταξη (up-wind), δηλαδή μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε σε υπήνεμη (down-wind), δηλαδή πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου.

A) Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Οι κύριοι τύποι ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα είναι οι Darrieus και Savonius ενώ υπάρχουν και σχέδια ανεμογεννητριών στον άξονα των οποίων υπάρχουν και οι δύο τύποι.

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι δεν απαιτούν σύστημα αυτοματισμού για τον προσανατολισμό του δρομέα προς τη διεύθυνση του ανέμου καθώς επίσης και ότι η εγκατάσταση του συστήματος μετατροπής σε ηλεκτρική ενέργεια (πολλαπλασιαστής στροφών, γεννήτρια) βρίσκεται στο επίπεδο του εδάφους, στη βάση της ανεμογεννήτριας. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα των ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα, καθώς και το γεγονός ότι είναι κατασκευαστικά απλούστερες από τις ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, αντισταθμίζει εν μέρει το μικρότερο αεροδυναμικό συντελεστή ισχύος.



Σχήμα 1.8 Ανεμογεννήτρια τύπου Darrieus.



Σχήμα 1.9 Ανεμογεννήτρια τύπου Savonius

Σήμερα στην παγκόσμια αγορά έχουν καταγραφεί περίπου 200 κατασκευαστές και συνολικά περίπου 600 διαφορετικά μοντέλα μικρών ανεμογεννητριών. Από αυτά το 80% αφορούν σε ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα και το 20% σε ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα. Στις ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα η αγορά περιορίζεται σε ανεμογεννήτριες με ονομαστική ισχύ έως 10kW. Μικρός αριθμός κατασκευαστών ανεμογεννητριών κατακόρυφου άξονα διαθέτουν στην αγορά μοντέλα ανεμογεννητριών με ονομαστική ισχύ μεταξύ των 10kW και 100kW.

1.3.2 Κατηγοριοποίηση με βάση τον έλεγχο της ισχύος

Ο έλεγχος της παραγόμενης ισχύος γίνεται με μηχανικά μέσα και ειδικότερα με τον έλεγχο ορισμένων αεροδυναμικών στοιχείων που σχετίζονται με τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας.

A) Έλεγχος βήματος (pitch control)

Σε αυτήν την περίπτωση μεταβάλλεται η γωνία κλίσης των πτερυγίων β για την επίτευξη του ελάχιστου λόγου αντίστασης / άνωση. Πιο συγκεκριμένα ανάλογα με την ταχύτητα η γωνία β μεταβάλλεται για να έχουμε το βέλτιστο αεροδυναμικό συντελεστή. Με την τεχνική αυτή διατηρείται σταθερά η ταχύτητα περιστροφής της ανεμογεννήτριας και επιτυγχάνεται η βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής απόδοσης των πτερυγίων, ο έλεγχος της παραγόμενης ισχύος και ο περιορισμός των δυνάμεων που καταπονούν τα πτερύγια. Είναι γρήγορη μέθοδος ρύθμισης της ισχύος, δίνει τη

δυνατότητα εκμετάλλευσης μεγάλου εύρους ταχυτήτων του ανέμου μαζί με όλες τις διακυμάνσεις και τις πιθανές ριπές και η εκκίνηση της ανεμογεννήτριας γίνεται πιο εύκολα αφού το πτερύγιο τοποθετείται σε σωστή θέση ως προς τον άνεμο. Από την άλλη μεριά είναι ακριβή μέθοδος ενώ εξαιτίας της μηχανικής περιστροφής του πτερυγίου εμφανίζεται η ανάγκη για συχνή συντήρηση καθώς και αυξημένη πιθανότητα βλάβης αυτών. Επιπλέον τα ηλεκτρονικά που απαιτούνται για αυτήν τη λειτουργία είναι ευάλωτα σε περιπτώσεις κεραυνών ή ακραίες θερμοκρασίες.

B) Έλεγχος της ανυψωτικής δύναμης των πτερυγίων-αεροδυναμικός έλεγχος (passive stall regulation)

Σε αυτήν την περίπτωση τα πτερύγια είναι κατασκευασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε μετά από ορισμένη ταχύτητα ανέμου, να παύει να αυξάνεται η ανυψωτική δύναμη και συνεπώς να αποφεύγεται η φόρτιση της ανεμογεννήτριας πέρα από τα όρια από τα οποία έχει σχεδιαστεί.

Γ) Yawing system

Σύμφωνα με αυτό το σύστημα ελέγχου η έλικα περιστρέφεται πάντα με τέτοιο τρόπο ώστε το επίπεδο περιστροφής της να είναι κάθετο στην ταχύτητα του ανέμου. Σε πολύ μεγάλες ταχύτητες όπου μπορεί η παραγόμενη ισχύς να ξεπεράσει την ονομαστική και να προκληθούν διάφορα προβλήματα όπως υπερθέρμανση των τυλιγμάτων του στάτη, τότε η έλικα στρέφεται έτσι ώστε το επίπεδο περιστροφής της να μην είναι κάθετο στην ταχύτητα. Η περιστροφή της έλικας γίνεται με ένα πτερύγιο-ουρά που βρίσκεται στο πίσω από τη γεννήτρια.

Δ) Έλεγχος με κιβώτιο ταχυτήτων

Ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής, αλλάζουμε το λόγο μετάδοσης της κίνησης για να μεταβάλλουμε την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα για να πετύχουμε τις βέλτιστες στροφές

E) Έλεγχος της ισχύος με πέδηση της έλικας

Αυτή η μέθοδος δεν εφαρμόζεται απευθείας όταν η έλικα έχει πολύ υψηλή ταχύτητα, αλλά αφού πρώτα αυτή έχει μειωθεί με κάποιο άλλο μέσο.

ΣΤ) Έλεγχος της ισχύος μέσω ηλεκτρονικού μετατροπέα ισχύος

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από χρησιμοποιούμενα συστήματα ηλεκτρονικών μετατροπέων ισχύος και διάφοροι τρόποι ελέγχου τους. Χρησιμοποιούνται στις ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών με στόχο την μείωση της μεταβλητότητας της ενεργού ισχύος και της ηλεκτρομαγνητικής ροπής καθώς και τον έλεγχο της άεργου ισχύος.

1.3.3 Κατηγοριοποίηση με βάση τη μεταβολή των στροφών

Γίνεται διάκριση σε:

- Ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών και
- Ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών

A) Ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών

Οι ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών αποτελούν το σημαντικότερο κομμάτι από τις ανεμογεννήτριες εν λειτουργία αν και η χρήση τους έχει σημαντικούς περιορισμούς. Μπορούν να χρησιμοποιούν είτε γεννήτριες επαγωγής είτε σύγχρονες γεννήτριες. Η ασύγχρονη γεννήτρια παρουσιάζει το μειονέκτημα ότι δεν παράγει την άεργο ισχύ που απαιτείται για την εγκατάσταση του ηλεκτρομαγνητικού της πεδίου σε αντίθεση με τη σύγχρονη γεννήτρια. Οι σύγχρονες γεννήτριες παρουσιάζουν αυξημένη ταλάντωση της απόκρισής τους σε συνθήκες μεταβαλλόμενου ανέμου καθώς και αυξημένο κόστος και βάρος.

Στις ανεμογεννήτριες σταθερών στροφών η ταχύτητα του δρομέα είναι σταθερή και πρακτικά ίση με τη σύγχρονη, με αποκλίσεις της τάξης του 1%, δηλαδή όσο και η ολίσθηση ονομαστικής λειτουργίας. Επίσης οι ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου παρουσιάζουν και τα πλεονεκτήματα της εξαιρετικής απλότητας και αξιοπιστίας καθώς και των μηδενικών αναγκών συντήρησής τους.

Παράλληλα όμως η λειτουργία των σταθερών στροφών παρουσιάζει και κάποια σημαντικά μειονεκτήματα, τα σημαντικότερα από τα οποία είναι:

- Λειτουργία με μη βέλτιστο αεροδυναμικό συντελεστή
- Αυξημένη μεταβλητότητα ισχύος εξόδου
- Χαμηλός συντελεστής ισχύος εξόδου
- Μεταβατικά φαινόμενα εκκίνησης και ζεύξης – απόζευξης

Τα παραπάνω σημαντικά προβλήματα, έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη στροφή τόσο του επιστημονικού ενδιαφέροντος όσο και των κατασκευαστών προς τις ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών, οι οποίες φαίνονται να δίνουν αν όχι ριζική, τουλάχιστον ικανοποιητική λύση σε πολλά από τα παραπάνω.

B) Ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών

Η ιδέα των μεταβλητών στροφών, στηρίζεται στις αρχές λειτουργίας ενός σφονδύλου. Όταν παρατηρείται αύξηση της αεροδυναμικής ισχύος (της ισχύος που λαμβάνεται από τον άνεμο), μέρος της μετατρέπεται σε κινητική αποκόπτοντας με

αυτόν τον τρόπο τις γρήγορες μεταβολές της. Η αντίστροφη λειτουργία συμβαίνει κατά τη μείωση της ταχύτητας του ανέμου.

Για να είναι η απόδοση της ανεμογεννήτριας βέλτιστη, πρέπει η ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων να είναι ανάλογη της ταχύτητας του ανέμου. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας απαιτεί σημαντική μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής των πτερυγίων. Κάτι τέτοιο επιχειρήθηκε παλιότερα με διάφορες μεθόδους, όπως με χρήση υδραυλικών συστημάτων ή κιβωτίων ταχυτήτων μεταβαλλόμενου λόγου, αλλά αργότερα οι μέθοδοι αυτές εγκαταλείφθηκαν.

Τη θέση των παραπάνω μεθόδων πήρανε τα συστήματα ηλεκτρονικών μετατροπών συχνότητας τα οποία έχουν λίγες απώλειες και είναι αρκετά αξιόπιστα. Τα συστήματα αυτά παρεμβάλλονται ανάμεσα στο δίκτυο και στην ηλεκτρική γεννήτρια και έτσι ταχύτητα περιστροφής αποδεσμεύεται από τη σταθερή συχνότητα του δικτύου και είναι δυνατή η μεταβολή της εντός ευρέων ορίων.

Οι ανεμογεννήτριες μεταβλητών στροφών έχουν αρχίσει να κυριαρχούν στην αγορά λόγω των σημαντικών πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν όπως τα παρακάτω:

- Βελτιστοποίηση ενεργειακής απόδοσης της ανεμογεννήτριας
- Εξομάλυνση της μεταβλητότητας των μηχανικών ροπών
- Περιορισμός καταπονήσεων-μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
- Μείωση τυχαίας μεταβλητότητας της ισχύος εξόδου
- Περιορισμός ταχέων διακυμάνσεων της τάσης (flicker)
- Δυνατότητα μείωσης ενεργού ισχύος εξόδου
- Δυνατότητα ελέγχου αέργου ισχύος εξόδου
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου
- Διευκόλυνση διαδικασιών εκκίνησης

Τα μειονεκτήματα των ανεμογεννητριών μεταβλητών στροφών, μπορούν να τοποθετηθούν κυρίως στον οικονομικό τομέα. Πιο συγκεκριμένα, τα χρησιμοποιούμενα ηλεκτρονικά ισχύος που είναι απαραίτητα για τη σύνδεση τους στο δίκτυο, επιβαρύνουν κατά πολύ το κόστος τους, μιας και αυτά αντιπροσωπεύουν από οικονομικής πλευράς το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού. Εκτός όμως από τα οικονομικά μειονεκτήματα της λειτουργίας των μεταβλητών στροφών, πρέπει να αναφερθούν και τα παρακάτω μειονεκτήματα:

- Αυξημένη πολυπλοκότητα
- Εγκατάσταση φίλτρων
- Παραμόρφωση ρευμάτων γεννήτριας – αύξηση απωλειών

Όμως, τα παραπάνω προβλήματα καθώς και το πρόβλημα του κόστους, επιλύονται πλέον χάρη στην πρόοδο της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών ισχύος, η οποία επιτρέπει τη σταδιακή μείωση του κόστους τους, όσο και τη βελτίωση των λειτουργικών τους χαρακτηριστικών κάνοντας τη χρήση τους ακόμα πιο δημοφιλή.

1.4 Ισχύς Ανεμογεννήτριας

Η ισχύς του ανέμου δίνεται από τη σχέση:

$$P = \frac{1}{2} \rho S v^3 \quad (1.1)$$

όπου ρ , v είναι η πυκνότητα και η ταχύτητα του ανέμου αντίστοιχα και S είναι το εμβαδόν της επιφάνειας στην οποία προσπίπτει κάθετα ο άνεμος. Η ισχύς που αφαιρείται από τον άνεμο μέσω της ανεμογεννήτριας είναι η διαφορά της ισχύος που μεταφέρει ο αέρας που προσπίπτει στην έλικα μείον την ισχύ που μεταφέρει ο αέρας που αποχωρεί από αυτήν με μικρότερη ταχύτητα. Η θεωρία σύμφωνα με την οποία μια αιολική μηχανή δεν μπορεί να δεσμεύσει όλη την κινητική ενέργεια του ανέμου ονομάζεται θεωρία του δίσκου ενέργειας. Τελικά, η ισχύς του ανέμου που δεσμεύεται από την ανεμογεννήτρια δίνεται από τη σχέση:

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho S v^3 C_p \quad (1.2)$$

όπου ρ είναι η πυκνότητα του αέρα όπως και προηγουμένως, v είναι η ταχύτητα του προσπίπτοντος ανέμου, S είναι η επιφάνεια του δίσκου, δηλαδή, η επιφάνεια που σαρώνουν τα πτερύγια κατά την περιστροφή τους και C_p είναι ο συντελεστής ισχύος ή αλλιώς συντελεστής απόδοσης του δρομέα [2].

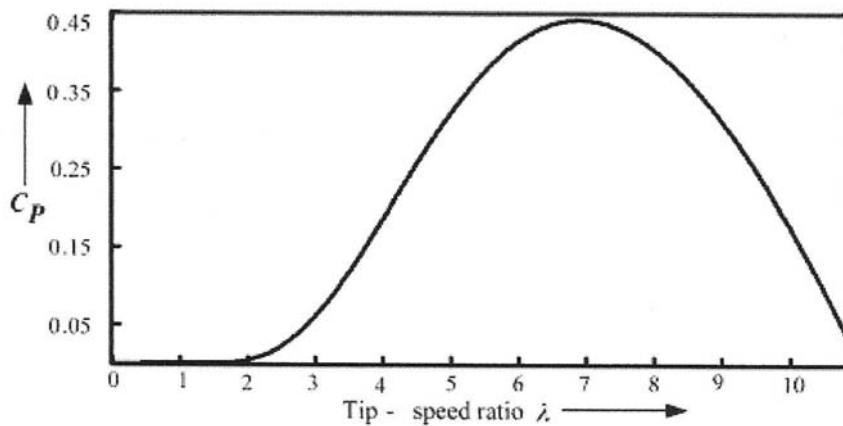
Ο συντελεστής C_p προκύπτει μέσω μετρήσεων και υπολογισμών και εκφράζει το κλάσμα της ισχύος που προσπίπτει στην έλικα το οποίο κατακρατείται για περαιτέρω εκμετάλλευση. Η υπόλοιπη ισχύς αποτελεί την κινητική ενέργεια του αέρα μετά την πρόσκρουση στην έλικα. Η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει ο συντελεστής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

$$C_{p\max} = \frac{19}{27} \approx 0,593 \quad (1.3)$$

Το όριο αυτό ονομάζεται όριο του Betz. Το όριο αυτό είναι κατά κάποιο τρόπο ο μέγιστος βαθμός απόδοσης ενός συστήματος με ιδανική έλικα κάτι ανάλογο με το βαθμό απόδοσης Carnot των θερμοδυναμικών κύκλων. Ο συντελεστής C_p εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας και στην απλούστερη περίπτωση είναι μια συνάρτηση του λόγου ακροπερυγίου λ και της κλίσης β των περυγίων. Ο λόγος ακροπερυγίου (tip-speed ratio) λ ορίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας του άκρου του περυγίου προς την ταχύτητα του ανέμου:

$$\lambda = \frac{\omega_{AG} \cdot R}{v} \quad (1.4)$$

όπου ω_{AG} είναι η γωνιακή ταχύτητα της ανεμογεννήτριας και R είναι η ακτίνα των περυγίων.

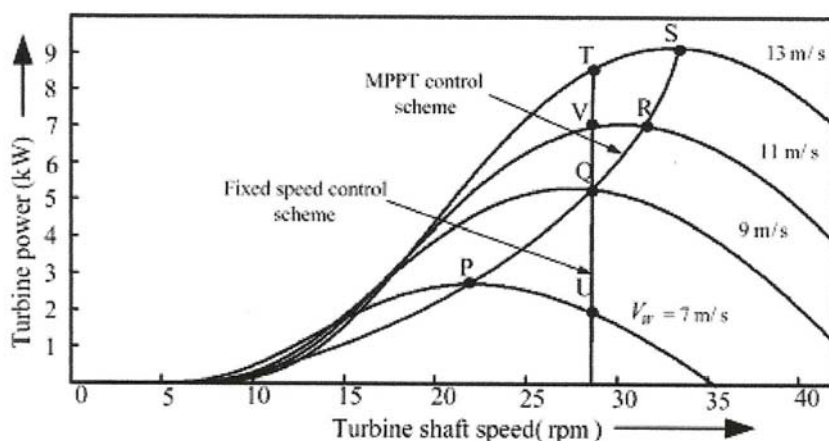


Σχήμα 1.10 Τυπική σχέση μεταξύ του αεροδυναμικού συντελεστή C_p με το λόγο ταχύτητας ακροπερυγίου λ [2].

Στην πραγματικότητα ο συντελεστής ισχύος του δρομέα θα είναι ακόμα μικρότερος λόγω φαινομένων συνεκτικότητας, πεπερασμένου αριθμού περυγίων και

της υπάρχουσας συστροφής του ρεύματος του αέρα πίσω από το δρομέα. Τελικά, στις περισσότερες εφαρμογές ο συντελεστής ισχύος C_p παίρνει τιμές κοντά στο 0,4.

Εισάγοντας στη σχέση (1.2) τη σχέση μεταξύ C_p και λ προκύπτουν οι καμπύλες του σχήματος 1.11 που δίνουν την αεροδυναμική ισχύ της έλικας συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής του δρομέα για διαφορετικές ταχύτητες ανέμου. Υπάρχει μία καμπύλη, που ονομάζεται βέλτιστη καμπύλη ελέγχου, που διέρχεται από τα σημεία όπου η αεροδυναμική ισχύς μεγιστοποιείται για κάθε τιμή της ταχύτητας του ανέμου. Όταν ακολουθείται αυτή η καμπύλη σε κάθε ταχύτητα ανέμου παρουσιάζεται ο βέλτιστος λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου και ο μέγιστος αεροδυναμικός συντελεστής. Από το ίδιο σχήμα είναι φανερό πως για λειτουργία σταθερών στροφών η αεροδυναμική ισχύς παίρνει χαμηλότερες τιμές εφόσον η έλικα δεν περιστρέφεται με τον μέγιστο αεροδυναμικό συντελεστή.



Σχήμα 1.11 Αεροδυναμική ισχύς της έλικας σε σχέση με την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα για διαφορετικές ταχύτητες του ανέμου και η βέλτιστη καμπύλη ελέγχου.

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

$$P_{\eta\lambda} = \frac{1}{2} \rho S v^3 C_p \eta_M \eta_H \quad (1.5)$$

Μέση ισχύς P_m μιας ανεμογεννήτριας ονομάζεται η σταθερή ισχύς που θα έπρεπε να έχει μια ανεμογεννήτρια για να ικανοποιήσει την ετήσια ενεργειακή ζήτηση της συγκεκριμένης εγκατάστασης. Δηλαδή, υπολογίζεται από το πηλίκο της απαιτούμενης ενέργειας για ένα έτος σε Joule προς το χρονικό διάστημα του ενός έτους αν το μετατρέψουμε σε δευτερόλεπτα.

Η ονομαστική ισχύς P_N της ανεμογεννήτριας ορίζεται από τη σχέση:

$$P_m = 0,2P_N \quad (1.6)$$

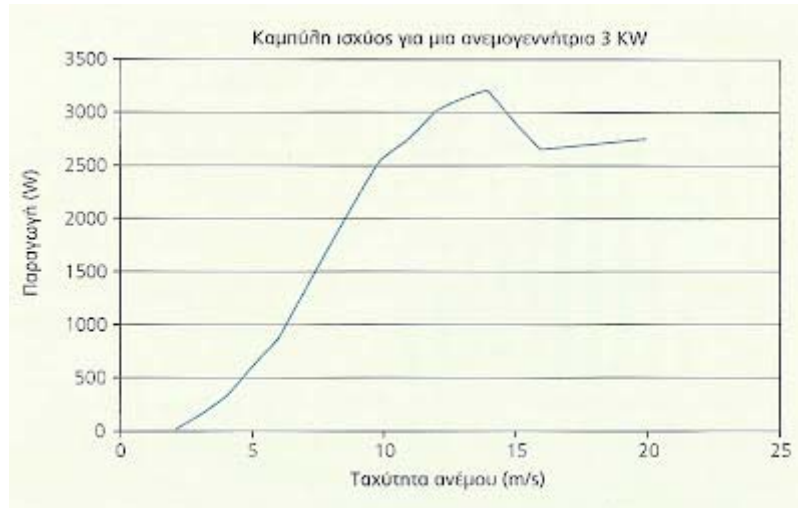
Η μέση ισχύς μπορεί να υπολογιστεί εύκολα από τις ενεργειακές ανάγκες των καταναλωτών. Στη συνέχεια από την (1.6) υπολογίζεται η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί στη συγκεκριμένη εφαρμογή.

Μία πολύ σημαντική παράμετρος που χαρακτηρίζει την απόδοση μιας ανεμογεννήτριας είναι ο συντελεστής φορτίου που ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικά παραγόμενης ενέργειας σε κάποιο χρονικό διάστημα (συνήθως έτος) προς την ενέργεια που θα παραγόταν αν η ανεμογεννήτρια λειτουργούσε συνεχώς στην ονομαστική της ισχύ.

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

$$U_E \geq 3,5 \frac{m}{s} \quad \text{και} \quad 22 \frac{m}{s} \leq U_\Sigma \leq 26 \frac{m}{s}$$

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



Σχήμα 1.12 Καμπύλη ισχύος τυπικής ανεμογεννήτριας 3kW.

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

$$v_N = 1,9v_m \quad (1.7)$$

όπου v_m είναι η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου. Στην πράξη θεωρούμε ότι έχουμε πολύ αποδοτική λειτουργία αν η ονομαστική ταχύτητα είναι από 1,5 έως 2 φορές μεγαλύτερη από τη μέση ταχύτητα του ανέμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΙΚΡΕΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

2.1 Γενικά

Μικρές ανεμογεννήτριες ονομάζονται αυτές των οποίων η ονομαστική ισχύς είναι μέχρι 50 kW αν και τα όρια δεν είναι σαφή. Τα μεγέθη τους ποικίλουν, ξεκινώντας από οικιακής εγκατάστασης ανεμογεννήτριες με διάμετρο μικρότερης του ενός μέτρου και ισχύος μικρότερης του 1 kW, μέχρι ανεμογεννήτριες διαμέτρου 20 μέτρων και ισχύος 50 kW.

Οι ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος διαθέτουν 3 ή 4 κινούμενα μέρη, ώστε να έχουν πολύ χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης. Έχουν 2 ή 3 πτερύγια, η διάμετρος του δρομέα κυμαίνεται μεταξύ 1 και 15 μέτρων και το ύψος του πύργου μεταξύ 5 και 30 μέτρων. Η ονομαστική ταχύτητα ανέμου είναι 12 - 16 m/s. Συνήθως επιθεωρούνται κάθε 2 έτη και η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται μεταξύ 20 και 40 ετών. Αν και δεν είναι στο προσκήνιο όσο άλλες τεχνολογίες, οι μικρές ανεμογεννήτριες έχουν αποδείξει την ικανότητά τους να παράγουν ενέργεια αξιόπιστα και με χαμηλό κόστος.

Υπάρχει μεγάλη εμπειρία στην λειτουργία τους αφού πάνω από 150.000 μονάδες έχουν εγκατασταθεί παγκοσμίως. Δεδομένου ότι η ζήτηση για μικρά συστήματα αιολικής ενέργειας αυξάνεται, το κόστος αυτών των συστημάτων αναμένεται να μειωθεί στο μισό κατά τη διάρκεια της επόμενης δεκαετίας.

Το επίπεδο θορύβου των περισσότερων σύγχρονων οικιακών ανεμογεννητριών είναι περίπου 52-55 decibels. Ο θόρυβος γίνεται αντιληπτός μόνο αν κάποιος προσπαθήσει να τον παρατηρήσει. Οι περισσότερες μικρές ανεμογεννήτριες κάνουν λιγότερο θόρυβο από ένα οικιακό κλιματιστικό.



Σχήμα 2.1 Σχηματική απεικόνιση μικρών ανεμογεννητριών εγκατεστημένων στις στέγες σπιτιών.

Επειδή οι μικρές ανεμογεννήτριες τοποθετούνται σε ψηλούς πύργους στήριξης, είναι ορατές από σχετικά μεγάλη απόσταση. Μπορεί να υπάρξουν αντιρρήσεις από τους γείτονες, οι οποίες ρυθμίζονται με την διατήρηση κατάλληλων αποστάσεων, ανάλογα με την επιφάνεια της ιδιοκτησίας.

Δεν έχει παρατηρηθεί ποτέ παρεμβολή από μικρές ανεμογεννήτριες στη λήψη της τηλεόρασης ή του ραδιοφώνου. Άλλωστε, τα υλικά από τα οποία είναι φτιαγμένα τα περύγια δεν επηρεάζουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ραδιοφώνου ή της τηλεόρασης.

Είναι πιθανόν να αναρωτηθεί ακόμα και να υποτιμήσει κάποιος τη χρησιμότητα τέτοιου μεγέθους ανεμογεννητριών αναφορικά με τη συνεισφορά τους στη συνολική παραγωγή ισχύος που απαιτείται σήμερα για να καλύψει τις ανάγκες

του ανθρώπου των πόλεων. Πράγματι η χρήση τέτοιου μεγέθους ανεμογεννητριών δε φιλοδοξεί να αντικαταστήσει τη μαζική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας η οποία απαιτείται για να καλύψει τις ανάγκες του σύγχρονου κόσμου.

Ακόμα και αν γεμίζαμε τις ταράτσες των πολυκατοικιών με μικρές ανεμογεννήτριες τα αποτελέσματα θα ήταν αμφίβολα. Παράγοντες όπως το χαμηλό αιολικό δυναμικό σε ένα αστικό περιβάλλον, η όχληση από το θόρυβο και η δύσκολη συντήρηση ενός τόσο μεγάλου αριθμού ανεμογεννητριών καθώς και η διασύνδεσή τους σε ένα δίκτυο όπως το υπάρχον καθιστούν μάλλον ανέφικτο ένα τέτοιο σχέδιο. Φυσικά δε γίνεται λόγος για την αντικατάσταση των μεγάλων ανεμογεννητριών της τάξης των MW που αποτελούν μέρος αιολικών πάρκων σε περιοχές με υψηλό δυναμικό αφού η παραγόμενη κιλοβατώρα θα ήταν πολύ πιο ακριβή .

Σε αντίθεση με τις μεγάλες ανεμογεννήτριες που κατά κανόνα συναντώνται σε αιολικά πάρκα, οι μικρές ανεμογεννήτριες είναι απλουστευμένα συστήματα μικρού μεγέθους που κάνουν προσιτή την ηλεκτρική παραγωγή και προσφέρουν τα περιβαλλοντικά αλλά και οικονομικά οφέλη της αιολικής ενέργειας στο ευρύτερο κοινό. Πέρα από τις οικίες βρίσκουν εφαρμογή σε σχολεία και πανεπιστήμια, αντλιοστάσια, απομακρυσμένους σταθμούς και σε αγροτικές και βιομηχανικές περιοχές.

Σε πολλές από τις παραπάνω εφαρμογές ο ρόλος τους είναι ζωτικός εφόσον πρόκειται για αυτόνομα ενεργειακά συστήματα ενώ σε άλλες απλά χρησιμοποιούνται ως διασυνδεδεμένα συστήματα για παραγωγή και πώληση ηλεκτρικής ενέργειας. Η τελευταία κατηγορία παρουσιάζει και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθώς λαμβάνει εγγυημένη επιδότηση από το διαχειριστή του ηλεκτρικού συστήματος και αποτελεί μια σίγουρη επιλογή για επενδύσεις.

Μια ανεμογεννήτρια των 50kW μπορεί να παράγει έως 250 MWh ετησίως, ποσό ενέργειας ικανό να καλύψει την ενέργεια που καταναλώνουν περισσότερα από 60 νοικοκυριά. Παράλληλα, βοηθά στις εξοικονόμηση 275 τόνων CO₂ που θα εκπέμπονταν από συμβατικές μορφές παραγωγής ενέργειας.

Εκτός από την ίδια την ανεμογεννήτρια, σε ένα αιολικό σύστημα μικρής ισχύος συνήθως απαιτούνται τα εξής:

1. Θεμέλια -συνήθως από ενισχυμένο σκυρόδεμα,
2. Καλωδίωση για την μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας,
3. Διακόπτης, ο οποίος επιτρέπει στην ηλεκτρική παραγωγή να απομονωθεί από το φορτίο,

4. Μια μονάδα επεξεργασίας της ισχύος, η οποία καθιστά την ισχύ της ανεμογεννήτριας συμβατή με το δίκτυο (inverter DC/AC),
5. Ένας μετρητής ενέργειας. ο οποίος καταγράφει τη ενεργειακή παραγωγή της ανεμογεννήτριας,
6. Εάν το σύστημα σχεδιάζεται για απομονωμένη λειτουργία ή έτσι ώστε να μπορεί να τροφοδοτήσει το φορτίο σε μια διακοπή ρεύματος, θα χρειαστούν μπαταρίες βαθιάς εκφόρτισης για να αποθηκεύσουν ενέργεια και ένας ελεγκτής της φόρτισης για να τις διαχειρίζεται κατάλληλα. Ένα σύστημα που συνδέεται με το δίκτυο και δεν προορίζεται για λειτουργία σε διακοπή ρεύματος, δεν απαιτεί μπαταρίες.

2.2 ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ υψηλή επιβαρύνεται πολύ η λειτουργία της ανεμογεννήτριας και μπορεί να προκληθούν σοβαρές βλάβες. Σε εγκαταστάσεις όπου η ανθρώπινη παρουσία είναι συνεχής, ο ιδιοκτήτης είναι δυνατόν να θέσει εκτός λειτουργίας την ανεμογεννήτρια βραχυκυκλώνοντάς την, για να την προστατέψει από τους ισχυρούς ανέμους. Αν το βραχυκύκλωμα διαρκέσει λίγα δευτερόλεπτα, η ανεμογεννήτρια επιβραδύνεται και μπορεί να σταματήσει. Αν ο παραπάνω χειρισμός γίνει από άτομα που δεν γνωρίζουν, υπάρχει κίνδυνος καταστροφής των κυκλωμάτων της ανεμογεννήτριας από υπερθέρμανση. Τα εγχειρίδια χειρισμού των ανεμογεννητριών θα πρέπει να περιγράφουν τον κατάλληλο τρόπο για το σταμάτημα της κάθε μηχανής.

Οι ανεμογεννήτριες που δεν εκτελούν έλεγχο της ισχύος εξόδου, κινδυνεύουν όταν η πραγματική ταχύτητα ανέμου γίνει μεγαλύτερη των 20m/s. Τοποθεσίες με μέση ταχύτητα ανέμου κοντά στα 5m/s αναμένεται να παρουσιάσουν ταχύτητα 20m/s μόνο κάποια λεπτά ανά έτος. Έτσι θεωρείται ότι σε τέτοιες περιοχές η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας χωρίς έλεγχο ισχύος είναι ασφαλής επιλογή. Παρόλα αυτά θα πρέπει να υπάρχει επίβλεψη του συστήματος και ο ιδιοκτήτης να είναι σε θέση να προστατέψει την ανεμογεννήτρια στην περίπτωση ισχυρών ανέμων.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες που ελέγχουν την ισχύ τους με αλλαγή της κατεύθυνσης του δρομέα μπορούν να εγκατασταθούν σε περιοχές όπου η ταχύτητα του ανέμου φτάνει τα 20m/s αρκετά συχνά μέσα στο έτος. Επομένως προτείνεται η εγκατάσταση τέτοιων ανεμογεννητριών σε τοποθεσίες με μέση ταχύτητα ανέμου μεταξύ 6 και 7m/s. Να σημειωθεί ότι οι συνεχείς αλλαγές στην κατεύθυνση του δρομέα καταπονούν μηχανικά την ανεμογεννήτρια και μειώνουν το χρόνο ζωής της. Για το λόγο αυτό δίνεται ιδιαίτερη προσοχή ώστε τέτοιου τύπου ανεμογεννήτριες να μην εγκαθίστανται σε περιοχές με υψηλές ταχύτητες ανέμου.

Οι ανεμογεννήτριες που διαθέτουν έλεγχο της γωνίας των πτερυγίων (pitch control) μπορούν να εγκατασταθούν πρακτικά οπουδήποτε αφού είναι οι πιο ανθεκτικές στις υψηλές ταχύτητες ανέμου. Όμως αυτή η μέθοδος ελέγχου εφαρμόζεται κυρίως σε ανεμογεννήτριες μεγάλης ισχύος, ενώ σε μικρές ανεμογεννήτριες η εφαρμογή της είναι περιορισμένη.

Εκτός από τη μέση ταχύτητα ανέμου σημασία για τον χρόνο ζωής της ανεμογεννήτριας έχει και η ποιότητα του ανέμου. Οι καλές τοποθεσίες είναι αυτές όπου η ροή του ανέμου δεν μεταβάλλεται από εμπόδια πριν την ανεμογεννήτρια και έτσι δεν διαταράσσεται.

Στις μεγάλες ανεμογεννήτριες το κόστος συντήρησης αποτελεί το 3% της αρχικής επένδυσης ετησίως. Το κόστος είναι χαμηλό όταν ο εξοπλισμός είναι καινούργιος και αυξάνεται με τα έτη λειτουργίας. Μια ανεμογεννήτριας καλής ποιότητας με τη σωστή συντήρηση μπορεί να έχει χρόνο ζωής κοντά στα 20 χρόνια.

Όσον αφορά τις μικρές ανεμογεννήτριες το κόστος συντήρησης εξαρτάται από το πόσο απομακρυσμένη είναι η τοποθεσία εγκατάστασης. Ένα αυτόνομο σύστημα που εξυπηρετεί για παράδειγμα ένα μικρό οικισμό, μπορεί να έχει υψηλό κόστος συντήρησης αν τα έξοδα για την επίσκεψη του τεχνικού και τη μεταφορά του εξοπλισμού που θέλει επιδιόρθωση φτάσουν το 1% της αρχικής επένδυσης.

2.3 ΑΔΕΙΟΔΟΤΗΣΗ ΚΑΙ ΘΕΣΜΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Στον νέο νόμο για τις Α.Π.Ε. που βρίσκεται σε ισχύ από τον Ιούνιο του 2010, γίνεται για πρώτη φορά ειδική μνεία για την κατηγορία των μικρών ανεμογεννητριών. Σύμφωνα με τον νόμο 3851/2010 για τις ανεμογεννήτριες ισχύος μέχρι 50kW

προβλέπεται ειδική επιδοτούμενη τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας και μια απλουστευμένη και εξορθολογισμένη αδειοδοτική διαδικασία. Επειδή αναπόφευκτα μας έρχεται στο μυαλό η χρονοτριβή που παρατηρείται στην υλοποίηση αιολικών πάρκων, θα πρέπει να τονίσουμε ότι η αδειοδότηση στην περίπτωση των μικρών ανεμογεννητριών είναι αρκετά πιο σύντομη. Οι μικρές ανεμογεννήτριες εξαιρούνται από την απαίτηση για λήψη άδειας παραγωγής, λειτουργίας και εγκατάστασης, μια διαδικασία χρονοβόρα και σύνθετη που είναι υποχρεωτική για μεγάλες εγκαταστάσεις Α.Π.Ε.

Ο επενδυτής, έχοντας εξασφαλίσει την κυριότητα του χώρου ή του δικαιώματος χρήσης αυτού στον οποίο θα γίνει η εγκατάσταση, καλείται να προβεί σε δυο μόλις κινήσεις: στην κατάθεση αιτήματος σύνδεσης της ανεμογεννήτριας στη ΔΕΗ και την κατάθεση μελέτης περιβαλλοντικών επιπτώσεων για την έγκριση περιβαλλοντικών όρων από τις τοπικές υπηρεσίες. Έχοντας ολοκληρώσει τις παραπάνω διαδικασίες, ο επενδυτής μπορεί να προχωρήσει κατά περίπτωση στην αίτηση της κατάλληλης άδειας από την αρμόδια πολεοδομική αρχή.

Να σημειωθεί ότι σύμφωνα με το νόμο 3861 του 2010 γενικά για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών και φωτοβολταϊκών συστημάτων δεν απαιτείται οικοδομική άδεια αλλά έγκριση εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας από την αρμόδια Διεύθυνση Πολεοδομίας. Ειδικά για την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών συστημάτων και μικρών ανεμογεννητριών σε κτίρια και στέγαστρα, αντί της έκδοσης έγκρισης εργασιών δόμησης μικρής κλίμακας μπορεί, με απόφαση του Υπουργού Περιβάλλοντος Ενέργειας και Κλιματικής Αλλαγής, να προβλέπεται μόνο η γνωστοποίηση των εργασιών αυτών στον οριζόμενο κατά περίπτωση αρμόδιο φορέα.

Όταν ολοκληρωθεί η αδειοδοτική διαδικασία και η κατασκευή του έργου τότε ο επενδυτής καλείται να συνάψει σύμβαση πώλησης ρεύματος με το διαχειριστή του δικτύου (ΔΕΣΜΗΕ). Μάλιστα, με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται μελλοντικά η επένδυση. Η σύμβαση πώλησης ρεύματος στο δίκτυο που υπογράφεται μεταξύ επενδυτή και ΔΕΣΜΗΕ και σε συμφωνία με τους όρους σύνδεσης είναι διάρκειας 20 ετών και προστατεύεται από την ελληνική νομοθεσία. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου ο ΔΕΣΜΗΕ είναι υποχρεωμένος να αγοράζει το παραγόμενο ρεύμα στην προβλεπόμενη τιμή (σύμβαση παραγωγού με ΔΕΣΜΗΕ).

2.4 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

Σχετικά με την τοποθεσία εγκατάστασης μιας μικρής ανεμογεννήτριας απαραίτητη προϋπόθεση είναι φυσικά η ύπαρξη ανεκτού αιολικού δυναμικού. Άλλες εξίσου σημαντικές προϋποθέσεις είναι η ύπαρξη δικτύου σε κοντινή απόσταση και η δυνατότητα πρόσβασης ενώ συνιστάται η αποφυγή μεγάλων εμποδίων στον χώρο εγκατάστασης, όπως ψηλά κτίρια ή δέντρα.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ακόμα και για τις μικρές ανεμογεννήτριες με τις μεγαλύτερες διαστάσεις οι απαιτήσεις για δέσμευση χώρου είναι ελάχιστες, καθώς ο απαραίτητος χώρος είναι μόλις αυτός που χρειάζεται από το συνεργείο για την εγκατάσταση. Μια μικρή ανεμογεννήτρια 50 kW, μπορεί να εγκατασταθεί σε ένα χώρο (χωράφι, οικόπεδο, βουνοκορφή, κ.τ.λ.) που έχει τουλάχιστον 15×15 μέτρα διαθέσιμα για την ανέγερσή της.

Είναι προτεινόμενο η εγκατάσταση να μη γίνεται σε απόσταση μικρότερη των 35 μέτρων από πολυσύχναστους δρόμους (κυρίως για λόγους ασφαλείας), όπως και σε απόσταση μικρότερη των 150 μέτρων από την κοντινότερη κατοικημένη οικία (κυρίως για λόγους οπτικής/ακουστικής όχλησης σε μικρότερες αποστάσεις). Οι παραπάνω αποστάσεις μπορούν να μειωθούν για αγροτικές οδούς και άλλου είδους κτίρια αντίστοιχα.

Ο καθορισμός, τώρα, του ανεκτού δυναμικού για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την τεχνολογία της. Πολλές ανεμογεννήτριες είναι σχεδιασμένες να παράγουν ικανοποιητική ενέργεια σε περιοχές με μέσο ή ακόμα και χαμηλό δυναμικό. Στην αναζήτηση της πιο αποδοτικής ανεμογεννήτριας θα πρέπει η προσοχή να επικεντρώνεται και στην ενέργεια που αναμένεται να παράγει η κάθε ανεμογεννήτρια και όχι μόνο στη δηλούμενη ισχύ της.

2.5 ΒΙΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ

Η οικονομική βιωσιμότητα των επενδύσεων σε μικρές ανεμογεννήτριες, όπως προαναφέραμε, επηρεάζεται σημαντικά από τους ακόλουθους παράγοντες:

1. Την καταλληλότητα της θέσης εγκατάστασης, την οποία καθορίζει το αιολικό δυναμικό, οι ανάγκες για διαμόρφωση του χώρου εγκατάστασης, η ύπαρξη δικτύου και η πρόσβαση
2. Το μοντέλο της ανεμογεννήτριας και συγκεκριμένα τη σχέση τιμής/ απόδοσης και την αξιοπιστία της.

Οι παραπάνω παράγοντες, πέραν της ενεργειακής παραγωγής και σε συνδυασμό με τις εταιρικές και αδειοδοτικές ανάγκες, μεταφράζονται στα ακόλουθα συγκεντρωτικά κόστη που πρέπει να ληφθούν υπ' όψη κατά τον υπολογισμό της οικονομικής βιωσιμότητας:

1. Αρχικό Κόστος Επένδυσης (CAPEX) δηλαδή σύσταση εταιρείας, αδειοδότηση, προμήθεια/ εγκατάσταση, και διασύνδεση
2. Λειτουργικά Έξοδα (OPEX) που απαρτίζονται από την συντήρηση, ασφάλιση και τα λογιστικά κόστη.

Συνυπολογίζοντας όλα τα παραπάνω μπορούμε να αποφανθούμε για τη βιωσιμότητα της επένδυσής μας.

Για μία εγκατάσταση μέσου κόστους, με υψηλό αιολικό δυναμικό (8 m/s) η απόσβεση μπορεί να γίνει μέσα σε 5 έτη. Φυσικά για τοποθεσίες όπου υπάρχει μικρότερο αλλά ανεκτό αιολικό δυναμικό η απόσβεση παρατείνεται για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα διατηρώντας ωστόσο ελκυστική την επένδυση.

Όσον αφορά για την εγγυημένη από το κράτος τιμή αυτή καθορίζεται σύμφωνα με τον νόμο 3851/2010 για τις ανεμογεννήτριες ισχύος μέχρι 50kW, όπου προβλέπεται ειδική επιδοτούμενη τιμή πώλησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας που αγγίζει σχεδόν την τριπλάσια τιμή σε σχέση με τα μεγάλα αιολικά και πιο συγκεκριμένα τα 250 ευρώ/MWh. Επιπλέον, θα πρέπει να τονίσουμε ότι επενδυτές που σχεδιάζουν μια επένδυση σε μικρή ανεμογεννήτρια μπορούν να ενταχθούν στον νέο Αναπτυξιακό νόμο 3908/2011.

Στον πίνακα 2.1 που ακολουθεί γίνεται μία σύγκριση των εξόδων εγκατάστασης και συντήρησης καθώς και των αναμενόμενων εσόδων για μια εγκατάσταση μικρής ανεμογεννήτριας. Παρουσιάζονται τιμές για τρεις διαφορετικές τιμές ισχύος της ανεμογεννήτριας και για τρεις διαφορετικές τιμές της ταχύτητας του ανέμου. Τα στοιχεία έχουν ληφθεί από σχετική παρουσίαση του κ. Ηρακλή Μαθιόπουλου, διευθύνοντα συμβούλου της εταιρείας MiniWind E.Π.Ε.

Είναι φανερό ότι το κόστος ανά kW εγκατεστημένης ισχύος ανεβαίνει σημαντικά όσο η εγκατεστημένη ισχύς μικραίνει. Παράλληλα το Feed-in-Tariff,

δηλαδή η τιμή αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ παραμένει σταθερή για εγκατεστημένη ισχύ κάτω των 50kW και ίση με 250 ευρώ/MWh όπως έχει ήδη αναφερθεί. Το γεγονός αυτό καθιστά δύσκολη τη βιωσιμότητα της επένδυσης στις μικρές κατηγορίες.

Να σημειωθεί ότι σε άλλες χώρες υπάρχει η πρόβλεψη για την αντιμετώπιση αυτού του προβλήματος με κατάλληλη κλιμάκωση των τιμών. Για παράδειγμα στη Μεγάλη Βρετανία το Feed-in-Tariff είναι:

417 ευρώ/MWh για ισχύ μέχρι 1,5kW

322 ευρώ/MWh για ισχύ 1,5kW έως 15kW

291 ευρώ/MWh για ισχύ από 15kW έως 100kW

Πίνακας 2.1 Ενδεικτικές τιμές για τις οικονομικές παραμέτρους μιας εγκατάστασης μικρής ανεμογεννήτριας

Ισχύς Ανεμογεννήτριας (kW)	Ταχύτητα Ανέμου (m/s)	Αρχικό Κόστος Επένδυσης (ευρώ)	Λειτουργικά Έξοδα (ευρώ/έτος)	Έσοδα (ευρώ/έτος)
1,5	5	9000	600	470
	6			720
	7			920
20	5	100000	2000	9000
	6			13400
	7			17500
50	5	220000	5000	19000
	6			28500
	7			39500

Σχετικά με την τραπεζική χρηματοδότηση θα πρέπει να αναφερθεί ότι ακόμα δεν υπάρχει έτοιμο κάποιο επενδυτικό προϊόν όπως συμβαίνει με τα φωτοβολταϊκά. Την παρούσα στιγμή για την έγκριση σχετικού δανείου σημαντικό ρόλο έχει η

προσωπική οικονομική φερεγγυότητα του επενδυτή. Να σημειωθεί ότι οι τράπεζες δεν έχουν ακόμη αποφασίσει αν θα ζητούν ανεμολογικά δεδομένα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΝΔΕΣΗ ΜΙΚΡΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η εγκατάσταση μιας ή περισσότερων μικρών ανεμογεννητριών μπορεί να έχει σκοπό την εξυπηρέτηση ενός μικροδικτύου, ενός αυτόνομου συστήματος ή/και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας προς πώληση στο κεντρικό δίκτυο. Στην πρώτη περίπτωση μιλάμε για ένα αυτόνομο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ενώ στις άλλες περιπτώσεις το αιολικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι διασυνδεδεμένο με το δίκτυο. Όλοι αυτοί οι τρόποι λειτουργίας των μικρών ανεμογεννητριών εξετάζονται εκτενώς στο κεφάλαιο αυτό αρχίζοντας με μια περιγραφή των μικροδικτύων.

3.2 ΜΙΚΡΟΔΙΚΤΥΑ

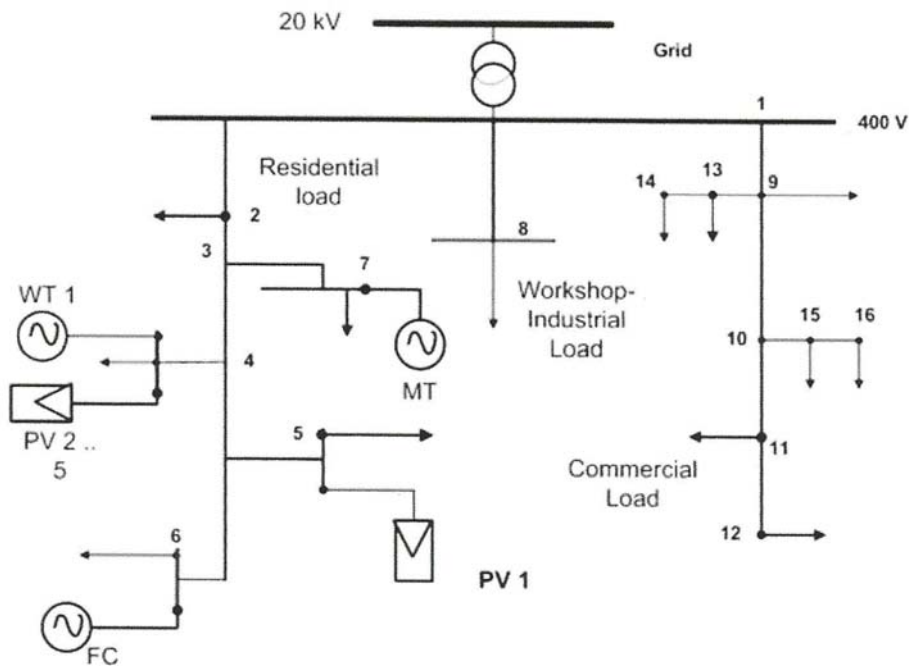
Το γεγονός πως το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μειώνεται όσο αυξάνεται το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος οδήγησε στην επικράτηση του λεγόμενου συγκεντρωτικού μοντέλου παραγωγής ενέργειας, δηλαδή στη δημιουργία λίγων και μεγάλων μονάδων ηλεκτροπαραγωγής είτε πρόκειται για θερμοηλεκτρικούς, υδροηλεκτρικούς ή πυρηνικούς σταθμούς. Η ηλεκτρική ενέργεια διοχετεύεται στους καταναλωτές που βρίσκονται σε μακρινή απόσταση από τις μονάδες παραγωγής μέσω γραμμών υψηλής τάσης και στη συνέχεια μέσω μετασχηματιστών υποβιβασμού της τάσης που βρίσκονται κοντά στους καταναλωτές. Έχοντας το οικονομικό κόστος ως το βασικότερο κριτήριο περιβαλλοντικά και κοινωνικά κριτήρια όπως η έκλυση ρύπων και διοξειδίου του άνθρακα, οι επιπτώσεις

στην υγεία των ανθρώπων που ζουν κοντά στις μονάδες ηλεκτροπαραγωγής κ.α. δεν λήφθηκαν σοβαρά υπόψη. Σήμερα, η επανεξέταση όλων αυτών των επιπτώσεων καθιστά επιτακτική την ανάγκη επανατοποθέτησης του προβλήματος και την αναζήτηση και άλλων μοντέλων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Μια άλλη πρόταση είναι η διεσπαρμένη παραγωγή ενέργειας η οποία βασίζεται σε ένα πλήθος μικρότερων μονάδων. Κατά τη διεσπαρμένη παραγωγή τοποθετούνται μονάδες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε περιοχές όπου υπάρχει διαθέσιμη η πρωταρχική πηγή ενέργειας καθώς και μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας κοντά σε τόπους κατανάλωσης όπως πόλεις και βιομηχανίες. Οι μονάδες παραγωγής που βρίσκονται κοντά στην κατανάλωση περιορίζουν τις απώλειες στις γραμμές παραγωγής και στις περιπτώσεις συμπαραγωγής τροφοδοτούν και με ζεστό νερό τους καταναλωτές.

Ένα δίκτυο που περιέχει μονάδες διεσπαρμένης παραγωγής και πιθανώς μονάδες αποθήκευσης και το οποίο σχεδιάζεται ανεξάρτητα από το κεντρικό δίκτυο ονομάζεται μικροδίκτυο. Το μικροδίκτυο μπορεί να λειτουργεί αυτόνομα ή να ανταλλάσει ισχύ με το κεντρικό δίκτυο. Κατά την αυτόνομη λειτουργία απαιτείται συνεχής ρύθμιση της τάσης και της συχνότητας, ενώ όταν υπάρχει αλληλεπίδραση με το κεντρικό δίκτυο μπορεί να δίνει ισχύ σε αυτό όταν διαθέτει περίσσεια ισχύος και να απορροφά από αυτό όταν έχει έλλειψη.

Οι πηγές του μπορεί να είναι ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά, μικρά υδροηλεκτρικά, μονάδες συμπαραγωγής, γεννήτριες ντήζελ, κυψέλες καυσίμου, μονάδες βιομάζας κ.τ.λ. Λόγω της σχετικά μικρής εγκατεστημένης ισχύος των μονάδων και των μικρών αποστάσεων μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης, η παραγωγή και η διανομή της ισχύος γίνεται συνήθως στη χαμηλή τάση. Υπάρχουν μικροδίκτυα που αποτελούνται από φωτοβολταϊκά πλαίσια και συσσωρευτές για την κάλυψη των αναγκών μιας οικίας μέχρι μικροδίκτυα που αποτελούνται από αιολικά πάρκα, γεννήτριες ντήζελ και μονάδες συμπαραγωγής που τροφοδοτούν μεγάλους καταναλωτές. Ένα μικροδίκτυο που αποτελείται από διάφορες μονάδες παραγωγής για την εξυπηρέτηση οικιακών, εμπορικών και βιομηχανικών φορτίων φαίνεται στο σχήμα 2.1



Σχήμα 3.1 Μικροδίκτυο που αποτελείται από ανεμογεννήτρια, φωτοβολταϊκά, κυψέλη καυσίμου, μικροτουρμπίνα, οικιακά, εμπορικά και βιομηχανικά φορτία.

Τα μικροδίκτυα παρουσιάζουν μια σειρά από πλεονεκτήματα. Οι πηγές τους μπορεί να είναι μονάδες Α.Π.Ε. ή μονάδες συμπαραγωγής με υψηλή απόδοση και περιορισμένες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον. Η ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας οδηγεί σε εξοικονόμηση ενέργειας αυξάνοντας την απόδοση έως 30%. Επίσης ο τοπικός χαρακτήρας της παραγωγής μειώνει τις απώλειες μεταφοράς. Όταν το μικροδίκτυο λειτουργεί παράλληλα με το κεντρικό δίκτυο μπορεί να το στηρίζει προσφέροντας του ισχύ τις ώρες αιχμής και απορροφώντας ή διοχετεύοντας ενεργό και άεργο ισχύ όταν απαιτείται. Τέλος η αξιοπιστία του συστήματος βελτιώνεται εφόσον σε περίπτωση απώλειας του κεντρικού δικτύου το μικροδίκτυο μπορεί να τροφοδοτεί, κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, μέρος των καταναλωτών.

Όσον αφορά μικρές εγκαταστάσεις, τα μικροδίκτυα δίνουν τη δυνατότητα ηλεκτροδότησης απομονωμένων περιοχών στις οποίες δεν υπάρχει κεντρικό δίκτυο και όπου πολλές φορές το κόστος σύνδεσης με το κεντρικό δίκτυο είναι μεγαλύτερο από την εγκατάσταση αυτόνομου συστήματος. Τέτοιες περιπτώσεις αποτελούν σπίτια και οικισμοί σε βουνά, δάση και άλλες δύσβατες περιοχές στις αναπτυγμένες χώρες

και ολόκληρα χωριά στις αναπτυσσόμενες χώρες όπου ένα μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού δεν έχει πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια.

3.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΙΚΡΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

3.3.1 Γενικά

Οι δυνατότητες διαμόρφωσης των συστημάτων με ανεμογεννήτριες είναι πολλές. Αυτό σημαίνει ότι διαφοροποιούνται ανάλογα με τις ανάγκες της εγκατάστασης και του ιδιοκτήτη θέτοντας έτσι τη λειτουργικότητα σε πρώτο πλάνο. Αυτό θα πρέπει να αποτελεί και στόχο του σχεδιαστή κάθε αιολικού συστήματος δηλαδή, η κάλυψη των αναγκών του πελάτη του με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.

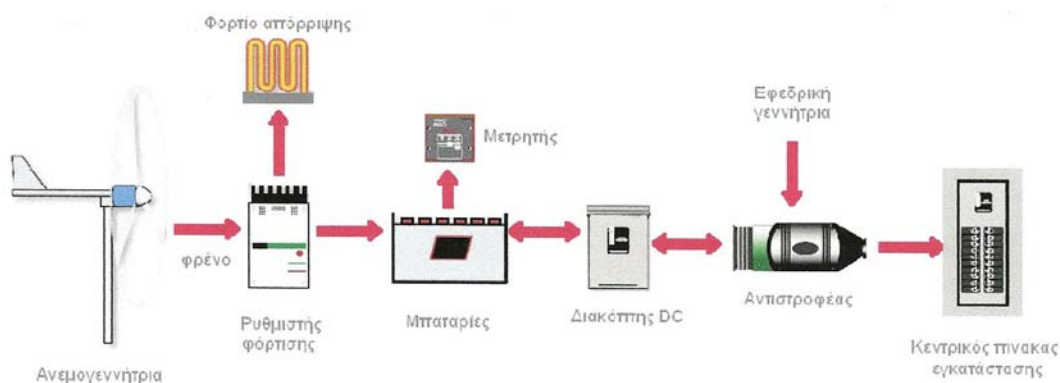
Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συστημάτων ηλεκτροπαραγωγής από αιολική ενέργεια. Τα απομονωμένα συστήματα και τα διασυνδεδεμένα. Ο σχεδιασμός των ανεμογεννητριών μικρής ισχύος μπορεί να περιλαμβάνει κατακόρυφο ή οριζόντιο άξονα με τον τελευταίο να είναι με διαφορά ο πιο συνηθισμένος. Η επιλογή μεταξύ των διαφόρων ανεμογεννητριών θα γίνει ανάλογα με τις ανάγκες και τις ιδιαιτερότητες της κάθε εφαρμογής. Όπως έχει ήδη αναφερθεί υπάρχουν ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος έως 50kW. Οι μικρότερες από αυτές χρησιμοποιούνται για τη φόρτιση μπαταριών σε αυτόνομα συστήματα. Ανεμογεννήτριες με ισχύ μεταξύ 600W και 50 kW μπορούν να εγκατασταθούν για την παροχή ενέργειας σε σπίτια και επιχειρήσεις με τα μοντέλα που προορίζονται για τοποθέτηση σε στέγες να κυμαίνονται από 500W έως 2,5kW.

3.3.2 Αυτόνομα Συστήματα Αιολικής Ενέργειας

Τα αυτόνομα συστήματα αιολικής ενέργειας βασίζονται στη δυνατότητα αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας σε μπαταρίες. Οι μπαταρίες αποτελούν την εφεδρική πηγή ενέργειας η οποία διασφαλίζει την εξυπηρέτηση του φορτίου όταν δεν φυσάει. Δεν είναι υπερβολή να πούμε ότι οι μπαταρίες αποθήκευσης είναι η καρδιά ενός αυτόνομου συστήματος. Η ικανότητα αποθήκευσης των μπαταριών πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να καλύπτει τις ανάγκες κατά τη διάρκεια

περιόδων μειωμένης παραγωγής. Συνήθως η συστοιχία των μπαταριών σχεδιάζεται για 1 έως 3 ημέρες λειτουργίας χωρίς άνεμο και μπορεί να συνδυασθεί με Η/Ζ.

Συνήθως τέτοια συστήματα επιλέγονται όταν στην τοποθεσία της εγκατάστασης δεν υπάρχει δίκτυο και η σύνδεση με αυτό είναι ιδιαίτερα ακριβή. Άλλοι πάλι μπορεί να προτιμήσουν την ανεξαρτησία από το δίκτυο που θα τους παρέχει ένα αυτόνομο σύστημα ή να μην θέλουν να εμπλακούν στην γραφειοκρατία της σύνδεσης στο δίκτυο ενός συστήματος παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η ενεργειακή ικανότητα των αυτόνομων συστημάτων περιορίζεται από την ισχύ που μπορούν να αποδώσουν τα διάφορα συστήματα ανανεώσιμων πηγών (στην περίπτωση μας η ανεμογεννήτρια), τους διαθέσιμους πόρους της ανανεώσιμης ενέργειας (π.χ. ταχύτητα ανέμου) και την ενέργεια που μπορούν να αποθηκεύσουν οι μπαταρίες. Ο ιδιοκτήτης ενός αυτόνομου συστήματος θα πρέπει να μάθει να ζει με τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τους παραπάνω παράγοντες, κάνοντας σωστή διαχείριση των δυνατοτήτων του συστήματός του. Ένα τυπικό αυτόνομο σύστημα με ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος και μπαταρίες φαίνεται στο σχήμα 3.2.

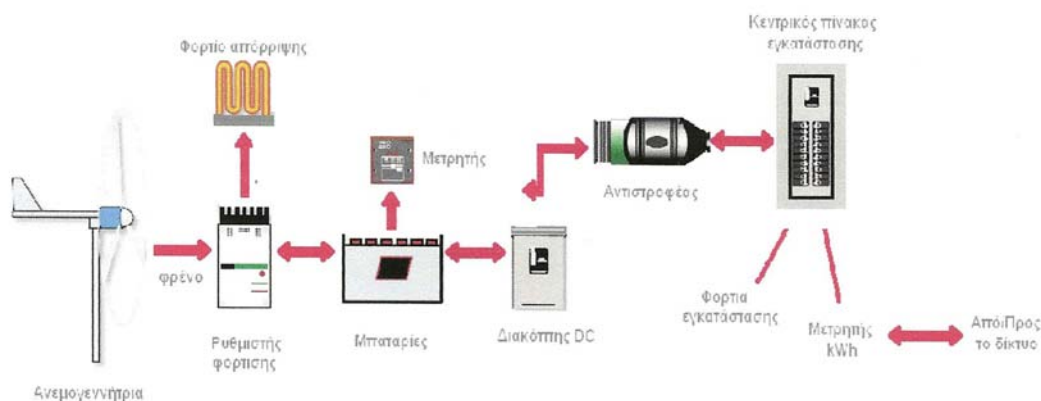


Σχήμα 3.2 Απλοποιημένο διάγραμμα αυτόνομου συστήματος με ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος και μπαταρίες.

3.3.3 Διασυνδεδεμένα Συστήματα Αιολικής Ενέργειας με Μπαταρίες

Η σύνδεση του συστήματος αιολικής ενέργειας στο δίκτυο είναι η καλύτερη περίπτωση από την πλευρά της κάλυψης των ενεργειακών αναγκών του σπιτιού ή της επιχείρησης (σχήμα 3.3). Η ενέργεια από το δίκτυο είναι συνεχώς διαθέσιμη, οπότε σε περίπτωση που υπάρξει κάποιο πρόβλημα στο σύστημα παραγωγής, τα φορτία θα

μπορούν και πάλι να εξυπηρετηθούν. Όταν όμως όλα λειτουργούν κανονικά η ενέργεια από τον άνεμο θα καλύπτει το φορτίο και το πλεονάζον μέρος της θα φορτίζει τις μπαταρίες. Το μόνο μειονέκτημα αυτού του τύπου συστήματος είναι το υψηλό του κόστος που ξεπερνά τα κόστη όλων των υπόλοιπων διαμορφώσεων.



Σχήμα 3.3 Απλοποιημένο διάγραμμα διασυνδεδεμένου συστήματος με ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος και μπαταρίες.

3.3.4 Διασυνδεδεμένα Συστήματα Αιολικής Ενέργειας χωρίς Μπαταρίες

Η διασύνδεση της ανεμογεννήτριας στο δίκτυο μέσω των κατάλληλων διατάξεων (σχήμα 3.4) είναι ο πιο οικονομικός και φιλικός προς το περιβάλλον τρόπος να υλοποιηθεί το σύστημα αιολικής ενέργειας. Η αφαίρεση των μπαταριών οι οποίες προσθέτουν σημαντικά στο κόστος του συστήματος, έχουν απώλειες και απαιτούν συχνή συντήρηση καθιστούν το σύστημα πιο αποδοτικό. Το μόνο μειονέκτημα είναι ότι σε περίπτωση που παρουσιαστεί διακοπή στο δίκτυο, το σύστημα της ανεμογεννήτριας θα βγει εκτός λειτουργίας. Όμως οι διακοπές της τροφοδότησης από το δίκτυο είναι φαινόμενο που συμβαίνει μόνο μερικές ώρες το χρόνο. Έτσι δεν μπορεί να αποτελέσει ανασταλτικό παράγοντα για την επιλογή τέτοιων συστημάτων.



Σχήμα 3.4 Απλοποιημένο διάγραμμα διασυνδεδεμένου συστήματος με ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος χωρίς μπαταρίες.

3.4 ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Στη συνέχεια περιγράφουμε όλα τα ηλεκτρικά μέρη ενός συστήματος αιολικής ενέργειας.

Ανορθωτής AC/DC. Το ρεύμα που παράγεται από την ανεμογεννήτρια είναι ακαθόριστης συχνότητας και πλάτους αφού αυτά μεταβάλλονται με την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα. Το ρεύμα αυτό μετατρέπεται σε συνεχές με τη βοήθεια ενός ανορθωτή AC/DC. Ο ανορθωτής περιλαμβάνεται συνήθως στη διάταξη της ανεμογεννήτριας. Έτσι το συνεχές ρεύμα μπορεί να φορτίσει μπαταρίες.

Ρυθμιστής Φόρτισης. Ο ρυθμιστής φόρτισης έχει σαν πρωταρχική του λειτουργία την προστασία των μπαταριών από υπερφόρτιση. Παρακολουθεί την κατάσταση των μπαταριών και όταν αντιληφθεί ότι αυτές είναι πλήρως φορτισμένες, στέλνει την πλεονάζουσα ενέργεια στο φορτίο απόρριψης (dump load). Πολλοί ρυθμιστές φόρτισης είναι ενσωματωμένοι στον ανορθωτή AC/DC. Προστασία από υπερένταση χρειάζεται μεταξύ των μπαταριών και του ρυθμιστή ή του φορτίου απόρριψης. Στα συστήματα που δεν υπάρχουν μπαταρίες, δεν είναι αναγκαία η εγκατάσταση ρυθμιστή φόρτισης. Θα πρέπει όμως να υπάρχει μία λειτουργία ελέγχου σε περίπτωση που αποσυνδεθεί το δίκτυο. Είναι απαραίτητος Ηλεκτρονικός Μετατροπέας Ισχύος πριν τον αντιστροφέα ώστε να υπάρχει ρύθμιση της τάσης εισόδου σε αυτόν. Μεταξύ της ανεμογεννήτριας και του ρυθμιστή ή του ελεγκτή θα

πρέπει να τοποθετηθεί μία διάταξη για το σταμάτημα της ανεμογεννήτριας (φρένο) σε περιπτώσεις όπου αυτό απαιτείται (συντήρηση ή έκτακτη ανάγκη). Οι διατάξεις αυτές είτε βραχυκυκλώνουν την έξοδο της ανεμογεννήτριας, ή εκτρέπουν το δρομέα εκτός του πεδίου του ανέμου ώστε να επιβραδύνουν τη διάταξη. Ο δεύτερος τρόπος είναι γενικά πιο αξιόπιστος και αποδοτικός.

Φορτίο απόρριψης ή εκτροπής. Οι ανεμογεννήτριες με διάμετρο δρομέα μικρότερη του 1m δεν διαθέτουν συνήθως σύστημα ελέγχου της ισχύος τους. Τέτοιου τύπου ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούνται επί το πλείστον για τη φόρτιση μπαταριών. Όταν υπάρχουν άνεμοι υψηλών ταχυτήτων οι μπαταρίες μπορεί να φτάσουν το σημείο υπερφόρτισης και να αρχίσουν να χάνουν υγρά. Για να περιοριστεί αυτός ο κίνδυνος, τοποθετείται ένα φορτίο απόρριψης η τροφοδότηση του οποίου ενεργοποιείται από την υψηλή τάση της συστοιχίας των μπαταριών. Η λειτουργία αυτή ελέγχεται από το ρυθμιστή φόρτισης, ο οποίος θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα εκτροπής της πλεονάζουσας ενέργειας. Το φορτίο απόρριψης είναι συνήθως μία αντίσταση η οποία στη συνέχεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη θέρμανση αέρα ή νερού. Θα πρέπει να επιλεγεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να αντέξει την πλήρη ισχύ της ανεμογεννήτριας του συστήματος.

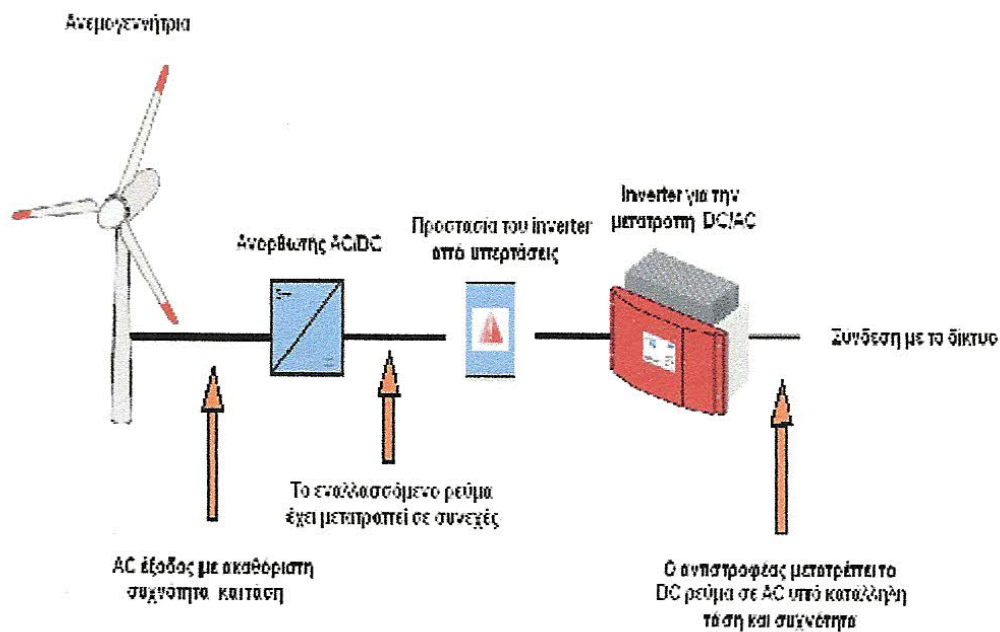
Συστοιχία μπαταριών. Η ανεμογεννήτρια παράγει ενέργεια όποτε η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει την ταχύτητα λειτουργίας (~ 4m/s). Αν το σύστημα είναι απομονωμένο, θα χρειαστούν μπαταρίες, ώστε η ενέργεια να αποθηκεύεται για χρήση όταν η ανεμογεννήτρια δεν παράγει. Σε τέτοιες περιπτώσεις οι μπαταρίες θα πρέπει να έχουν την ικανότητα κάλυψης του φορτίου για 1 έως 3 ημέρες χωρίς άνεμο. Σε διασυνδεδεμένα συστήματα οι μπαταρίες μπορεί να υπάρχουν για χρήση σε περιπτώσεις απώλειας του δικτύου, ώστε τα σημαντικά φορτία να παραμείνουν σε λειτουργία. Σε συστήματα ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως είναι τα αιολικά ή τα φωτοβολταϊκά συστήματα, οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται είναι βαθειάς εκφόρτισης. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέως μέσα σε υγρό ηλεκτρολύτη αποτελούν την πιο οικονομική λύση. Απαιτούν όμως συντήρηση με προσθήκη νερού, αφού χάνουν υγρό κατά τη φόρτιση. Επίσης πρέπει ανά τακτά χρονικά διαστήματα να υπόκεινται σε εξισωτική φόρτιση. Αυτού του είδους η φόρτιση θα φροντίσει να φορτιστούν εξίσου όλες οι μπαταρίες που συνδέονται σε σειρά στη συστοιχία. Οι μπαταρίες τύπου AGM δεν χρειάζονται συντήρηση αλλά είναι πιο ακριβές. Είναι κατάλληλες για διασυνδεδεμένα συστήματα όπου η χρήση των μπαταριών είναι λιγότερο συχνή,

αφού οι μπαταρίες AGM παρουσιάζουν λιγότερο από 2% αυτό-εκφόρτιση σε περιόδους αποθήκευσης (όταν δηλαδή δεν φορτίζονται και εκφορτίζονται συνεχώς). Επίσης δεν απαιτούν συντήρηση με προσθήκη νερού και δεν χρειάζονται εξισωτική φόρτιση. Οι μπαταρίες τύπου sealed gel-cell έχουν τα πλεονεκτήματα των AGM αλλά η φόρτισή τους είναι πιο αργή. Προτιμώνται σε μη θερμαινόμενους χώρους λόγω της αντοχής τους στις χαμηλές θερμοκρασίες.

Αντιστροφέας (inverter). Το συνεχές ρεύμα που παράγει η ανεμογεννήτρια δεν μπορεί να αποδοθεί απευθείας στο δίκτυο. Για τη σύνδεση στο δίκτυο πρέπει πρώτα να γίνει μετατροπή σε AC, μέσω ενός αντιστροφέα ο οποίος αποτελεί ξεχωριστή διάταξη από το σύστημα της ανεμογεννήτριας. Ένα παράδειγμα αντιστροφέα που είναι κατάλληλος για ανεμογεννήτρια μικρής ισχύος είναι ο Windy Boy της εταιρείας SMA. Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.5 η ανεμογεννήτρια παράγει ένα εναλλασσόμενο ρεύμα με ακαθόριστη συχνότητα και υπό μη-σταθερή τάση. Για να γίνει η μετατροπή αυτού του ρεύματος στην κατάλληλη μορφή θα πρέπει πρώτα να ανορθωθεί, να μετατραπεί δηλαδή σε συνεχές και στη συνέχεια να περάσει μέσα από τον αντιστροφέα, ο οποίος ξαναμετατρέπει το ρεύμα σε εναλλασσόμενο, αυτή τη φορά όμως με συχνότητα 50Hz, ενώ η τάση στο σημείο σύνδεσης με το δίκτυο θα διατηρείται στην τιμή που επιβάλλει το δίκτυο. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δοθεί στην τάση εισόδου του αντιστροφέα καθώς τέτοιες διατάξεις ηλεκτρονικών ισχύος είναι αρκετά ευαίσθητες στις υπερτάσεις. Μια υπέρταση, αν δεν υπάρχει η κατάλληλη προστασία πριν τον αντιστροφέα, μπορεί να προκαλέσει ανεπανόρθωτη βλάβη. Κάτι τέτοιο είναι επιζήμιο, γιατί εκτός του ότι το σύστημα θα μείνει εκτός λειτουργίας για κάποιο διάστημα, οι εταιρείες δεν καλύπτουν τέτοιου είδους παράλειψη μέσω της εγγύησης.

Μετρητές. Οι μετρητές σε ένα σύστημα αιολικής ενέργειας επιτρέπουν τη μέτρηση της ενέργειας που παράγεται από την ανεμογεννήτρια, της τάσης και του ρεύματος των μπαταριών καθώς και της ενέργειας που αποδίδεται στο δίκτυο ή καταναλώνεται από τα φορτία. Υπάρχουν διάφορα πολύоргана διαθέσιμα στην αγορά, που εκτελούν τις παραπάνω λειτουργίες και μπορούν σε κάθε σημείο του συστήματος να μετρούν πολλά μεγέθη (π.χ. τάση, ρεύμα, συχνότητα, συντελεστή ισχύος, ενεργό και άεργο ισχύ για την AC πλευρά-τάση, ρεύμα και ισχύ στην DC πλευρά). Επιπλέον τέτοιου είδους όργανα δίνουν συνήθως τη δυνατότητα σύνδεσης σε BUS και λήψης των μετρήσεων σε υπολογιστή. Η πιο απλή λύση βέβαια για την

εμφάνιση των μετρούμενων μεγεθών είναι η εμφάνισή τους στις οθόνες των πολυοργάνων.



Σχήμα 3.5 Διασύνδεση ανεμογεννήτριας μικρής ισχύος στο δίκτυο με τον αντιστροφέα Windy Boy της SMA.

Διακόπτης απομόνωσης DC. Ένας διακόπτης για την απομόνωση των μπαταριών από τον αντιστροφέα θα πρέπει να είναι εγκατεστημένος για τις περιπτώσεις που χρειάζεται η αποσύνδεση των μπαταριών για συντήρηση. Αυτός ο διακόπτης είναι κατάλληλος για DC δίκτυα και προστατεύει τα καλώδια μεταξύ μπαταριών και αντιστροφέα.

Διακόπτης AC. Το σύστημα αιολικής ενέργειας (έξοδος του αντιστροφέα) θα συνδεθεί στον κεντρικό πίνακα του σπιτιού, μέσω ενός αυτόματου διακόπτη όπως όλα τα υπόλοιπα κυκλώματα της εγκατάστασης. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα αποσύνδεσης του αντιστροφέα για συντήρηση και επιπλέον επιτυγχάνεται και προστασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

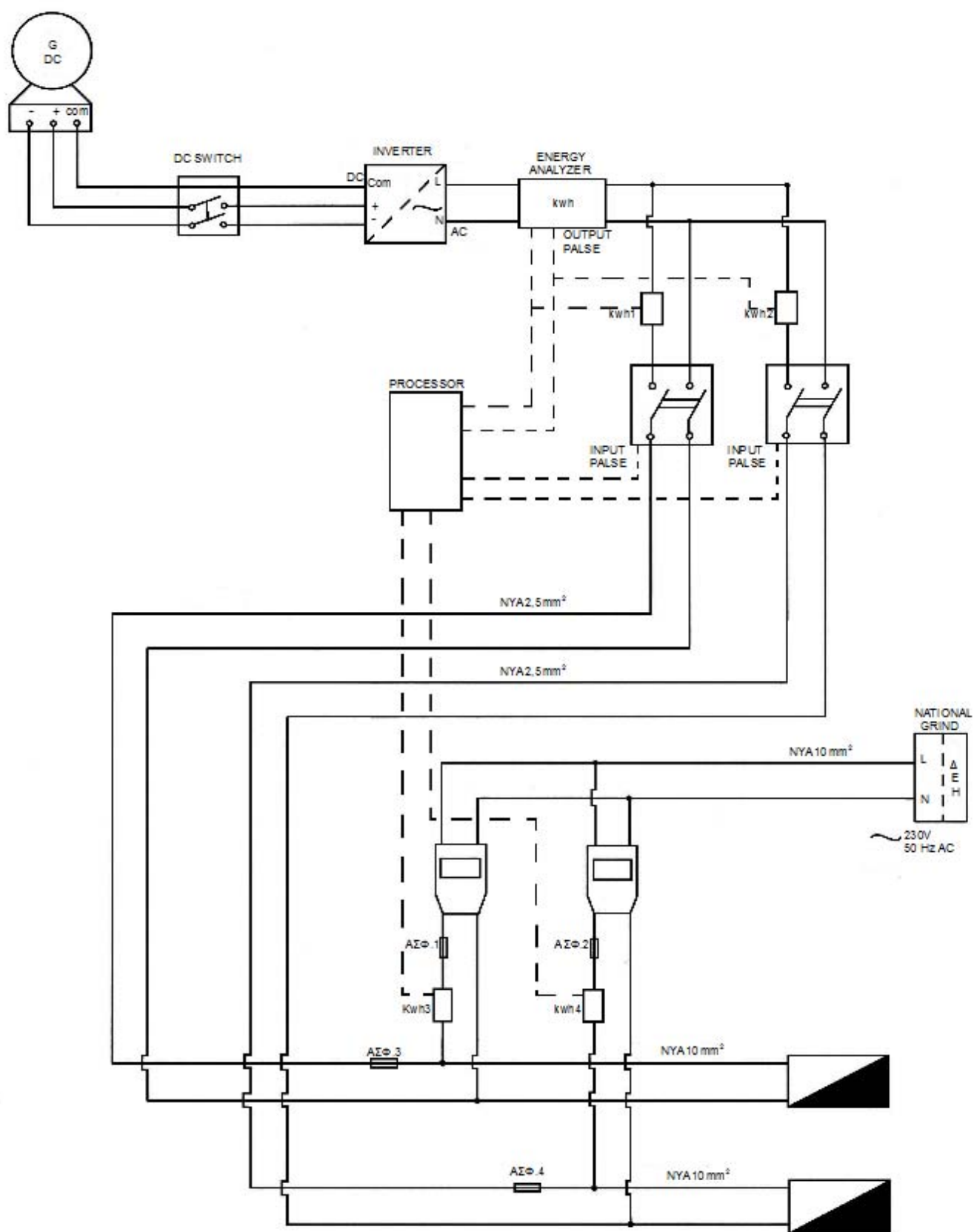
ΤΕΧΝΟΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

4.1 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Στο σχήμα 4.1 που ακολουθεί φαίνεται το κύκλωμα που υλοποιεί τη βέλτιστη στρατηγική εγκατάστασης μιας οικιακής ανεμογεννήτριας για την τροφοδοσία με ηλεκτρική ισχύ δύο διαμερισμάτων. Οι μετρητές 1 και 2 μετράνε την ενέργεια που απορροφά κάθε διαμέρισμα από την ανεμογεννήτρια και οι ενδείξεις τους «τρέχουν» στον επεξεργαστή. Οι μετρητές 3 και 4 μετράνε την ολική κατανάλωση σε kWh για κάθε διαμέρισμα. Σύμφωνα με το κλιμακωτό τιμολόγιο της ΔΕΗ όποιο διαμέρισμα περάσει κάποιο όριο kWh είναι προς το συμφέρον του να πάρει ισχύ από την ανεμογεννήτρια και όχι από τη ΔΕΗ. Ο επεξεργαστής συγκρίνοντας την κατανάλωση κάθε διαμερίσματος βρίσκει το δυσμενέστερο και δίνει την εντολή να οπλίσει το κατάλληλο ρελέ.

Οι ασφάλειες 3 και 4 προστατεύουν τις γραμμές από υπερφόρτιση (ΑΣΦ.3, ΑΣΦ.4). Οι ασφάλειες 1 και 2 υπάρχουν για να προστατεύουν τα ρολόγια της ΔΕΗ (ΑΣΦ.1, ΑΣΦ.2). Δεν χρειάζεται να γίνει πρόβλεψη ασφάλειας της ανεμογεννήτριας από ρεύμα προς τα πίσω γιατί αυτή προστατεύεται από τη γέφυρα του inverter.

Σχήμα 4.1



————— ΓΡΑΜΜΕΣ ΙΣΧΥΡΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ
 - - - - - ΓΡΑΜΜΕΣ ΑΣΘΕΝΩΝ ΡΕΥΜΑΤΩΝ

4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Η επιλογή της κατάλληλης ανεμογεννήτριας είναι συνάρτηση των ενεργειακών απαιτήσεων και της οικονομικής δυνατότητας του αγοραστή. Στην παρούσα εργασία επιλέξαμε την ανεμογεννήτρια: Swift Wind Energy System της εταιρείας Renewable Devices Ltd που έχει έδρα το Εδιμβούργο της Σκωτίας.



Σχήμα 4.2 Η ανεμογεννήτρια swift.

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές είναι παγκοσμίως η πρώτη ανεμογεννήτρια ειδικά σχεδιασμένη για εγκατάσταση σε στέγες κτιρίων, αφού είναι πιο αποδοτική σε τυρβώδη ροή αέρα. Θεωρείται ιδιαίτερα ασφαλής, αποδοτική και όσο το δυνατόν αθόρυβη. Τέτοιες ανεμογεννήτριες εγκαθίστανται συνεχώς, εδώ και περισσότερο από οκτώ χρόνια, σε πάρα πολλές χώρες παγκοσμίως προσφέροντας καθαρή ενέργεια σε σπίτια, οικισμούς και βιομηχανικές μονάδες

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας παρατίθενται στη συνέχεια:

Τύπος: οριζόντιου άξονα σε προσήνεμη διάταξη (upwind)

Ακτίνα ρότορα: 1m

Εμβαδόν (swept area): 3,4m²

Ταχύτητα έναρξης: $3,4 \frac{m}{s}$

Ονομαστική ταχύτητα ανέμου: $12 \frac{m}{s}$

Ονομαστική ισχύς εξόδου: 1,5kW

Στροφές στην ονομαστική ταχύτητα ανέμου: 450RPM

Μηχανισμός πέδησης: Δυναμικό φρένο

Γεννήτρια: Μόνιμων μαγνητών

Συχνότητα 50/60Hz

Τάση εξόδου 220/230V

Θόρυβος: <35dB

Χρόνος ζωής: 20 χρόνια

Εγγύηση: 2 χρόνια

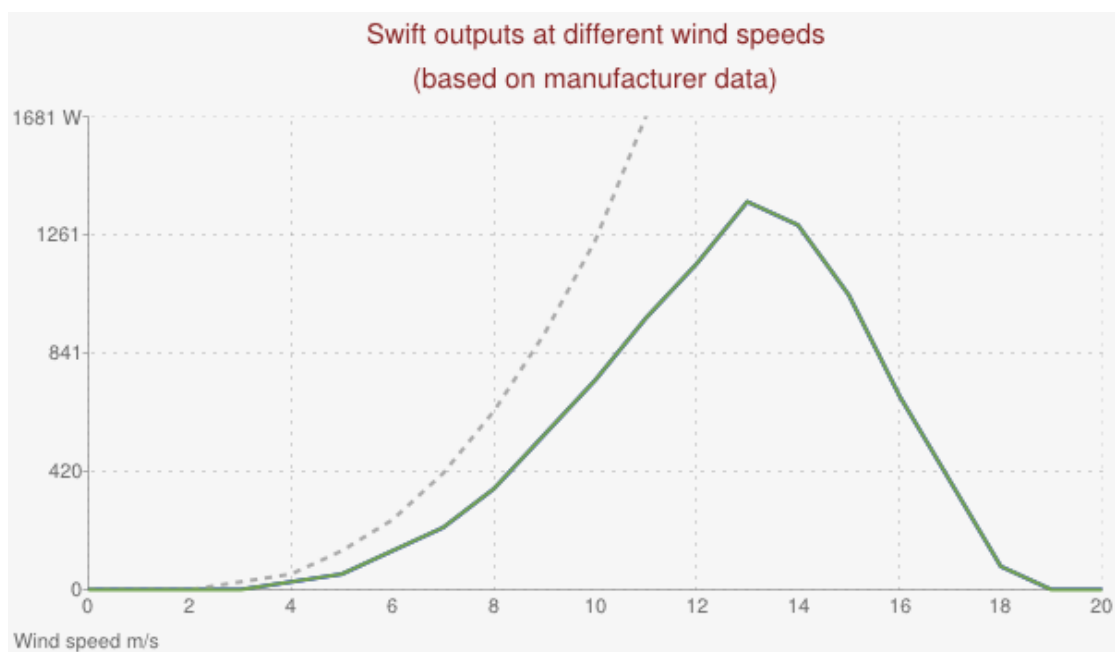


Σχήμα 4.3 Εγκατάσταση πολλών ανεμογεννητριών swift για εμπορική χρήση.

Στο παρακάτω διάγραμμα δίνεται η ισχύς εξόδου της ανεμογεννήτριας swift σε διαφορετικές τιμές ταχύτητας ανέμου. Η διακεκομμένη καμπύλη δείχνει τη μέγιστη θεωρητική ισχύ που θα μπορούσε να δώσει η ανεμογεννήτρια σύμφωνα με το όριο του Betz (απόδοση 59,3%). Η πράσινη καμπύλη δείχνει την πραγματική ισχύ

που δίνει η ανεμογεννήτρια για δεδομένη ταχύτητα ανέμου σύμφωνα με τον κατασκευαστή. Σε μία τυπική τιμή ταχύτητας ανέμου 5 m/s η ανεμογεννήτρια swift έχει απόδοση 25,54%.

Το κόστος ανέρχεται σε περίπου 7000 ευρώ για την αγορά του συστήματος και περίπου 2000 ευρώ για την εγκατάσταση. Επιπλέον τα λειτουργικά έξοδα, σύμφωνα και με τον πίνακα 2.1 (κεφάλαιο 2), είναι περίπου 600 ευρώ ανά έτος για ανεμογεννήτριες αυτής της κατηγορίας. Σύμφωνα όμως με τον κατασκευαστή, τα λειτουργικά έξοδα της συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας είναι 300 ευρώ άτυπα.



Σχήμα 4.4 Παραγόμενη ισχύς από την ανεμογεννήτρια Swift συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου. Η διακεκομμένη καμπύλη δείχνει την ισχύ στην ιδανική περίπτωση ενώ η συμπαγής είναι η πραγματική καμπύλη ισχύος.

4.3 ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΚΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ

Για την οικιακή εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας θα χρειαστούν τα παρακάτω:

1. Καλώδια παροχής μήκους 30 m
3. Ένας πίνακας αυτονομίας

3. Έναν inverter
4. Τέσσερις μετρητές ενέργειας
5. Δύο ηλεκτρονόμοι ισχύος
6. Δύο αυτόματες ασφάλειες υπερέντασης
7. 30 m κανάλι

Στη συνέχεια παρουσιάζεται αναλυτικά ο υπολογισμός των απαιτούμενων στοιχείων της εγκατάστασης και δίνεται ένα ενδεικτικό κόστος σύμφωνα με τις τρέχουσες τιμές.

Καλώδια παροχής

Μέγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος: 45°C

Ισχύς: P=1500W

Τάση: V=230V

Συντελεστής ισχύος: $\cos\varphi=0,995$

Για το ρεύμα βρίσκουμε:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{1500}{230} = 6,52A$$

Συντελεστής θερμοκρασίας: $f_{\theta} = 0,695$

Συντελεστής ομαδοποίησης: $f_n = 1$

$$f = f_{\theta} \cdot f_n = 0,695$$

$$I_f = \frac{I}{f} = \frac{6,52}{0,695} = 9,38A$$

$$I_{av} = \frac{I}{\cos\varphi} = \frac{6,52}{0,995} = 6,55A$$

$$I_{o\lambda} = \frac{I_{av}}{\cos\varphi} = \frac{6,55}{0,995} = 6,58A$$

Στη χειρότερη περίπτωση αν:

$f_\theta = 0,79$ και $f_n = 0,66$ θα έχουμε:

$$f = f_\theta \cdot f_n = 0,52$$

$$I_f = \frac{I}{f} = \frac{6,58}{0,52} = 12,65A$$

Από τον πίνακα 7.4 του βιβλίου: Π. Ντοκόπουλος, *Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών Μέσης και Χαμηλής Τάσης* θα επιλέξουμε καλώδια $2,5\text{mm}^2$. Το κόστος για καλώδιο τύπου NYA είναι 0,47 ευρώ το μέτρο. Οπότε το συνολικό κόστος είναι:

$$30 \cdot 0,47 \cdot 3 = 42,3 \text{ ευρώ}$$

όπου πολλαπλασιάσαμε με το 3 γιατί είναι τρεις αγωγοί (φάση, ουδέτερος και γείωση).

Πίνακας Αυτονομίας

Για πίνακα αυτονομίας θα επιλέξουμε έναν πίνακα δύο γραμμών για να χωρέσει όλα τα ηλεκτρικά στοιχεία και υλικά που χρειαζόμαστε για την αυτονομία.

Κόστος 25-30 ευρώ.

Inverter

Για τη μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη επιλέξαμε τον μονοφασικό αντιστροφέα Aurora power one PVI-3.0-TL-OUTD. Ανήκει στην ίδια σειρά και έχει εντελώς παρόμοια τεχνικά χαρακτηριστικά με τους αντιστροφείς PVI-3.6-TL-OUTD και PVI-4.2-TL-OUTD. Οι αντιστροφείς αυτοί χρησιμοποιούνται ευρύτατα στα φωτοβολταϊκά συστήματα. Διατίθεται με 5 χρόνια εγγύηση συν επιπλέον άλλα 5 χρόνια προαιρετικά. Η τιμή του (σε διαδικτυακό κατάστημα του εξωτερικού) είναι 1782 δολάρια ή 1380 ευρώ.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αντιστροφέα αυτού παρατίθενται αμέσως παρακάτω:

Συνεχής τάση εισόδου έναρξης: 200V

Εύρος λειτουργίας συνεχούς τάσης εισόδου: 140V-580V

Ονομαστική συνεχής τάση εισόδου: 360V

Ονομαστική ισχύς εναλλασσομένου: 3000W

Μέγιστη ισχύς εναλλασσομένου: 3300W

Μέγιστο ρεύμα εναλλασσομένου: 14,5A

Εύρος συχνότητας εξόδου: 47Hz-53Hz

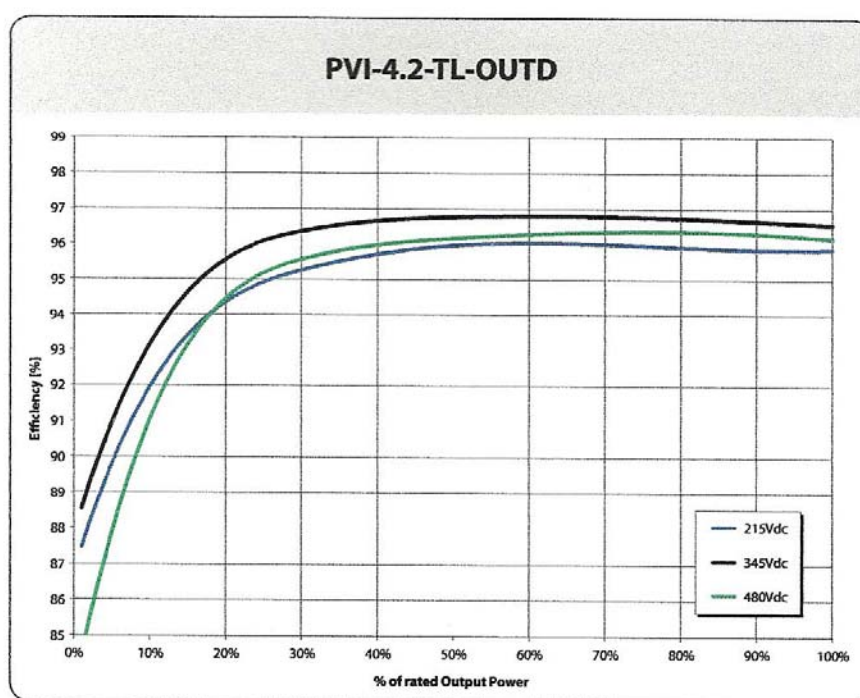
Ονομαστικός συντελεστής ισχύος: >0,995

Μέγιστη απόδοση: 96,8%

Εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας: -25°C-60°C

Βάρος: 17,5Kg

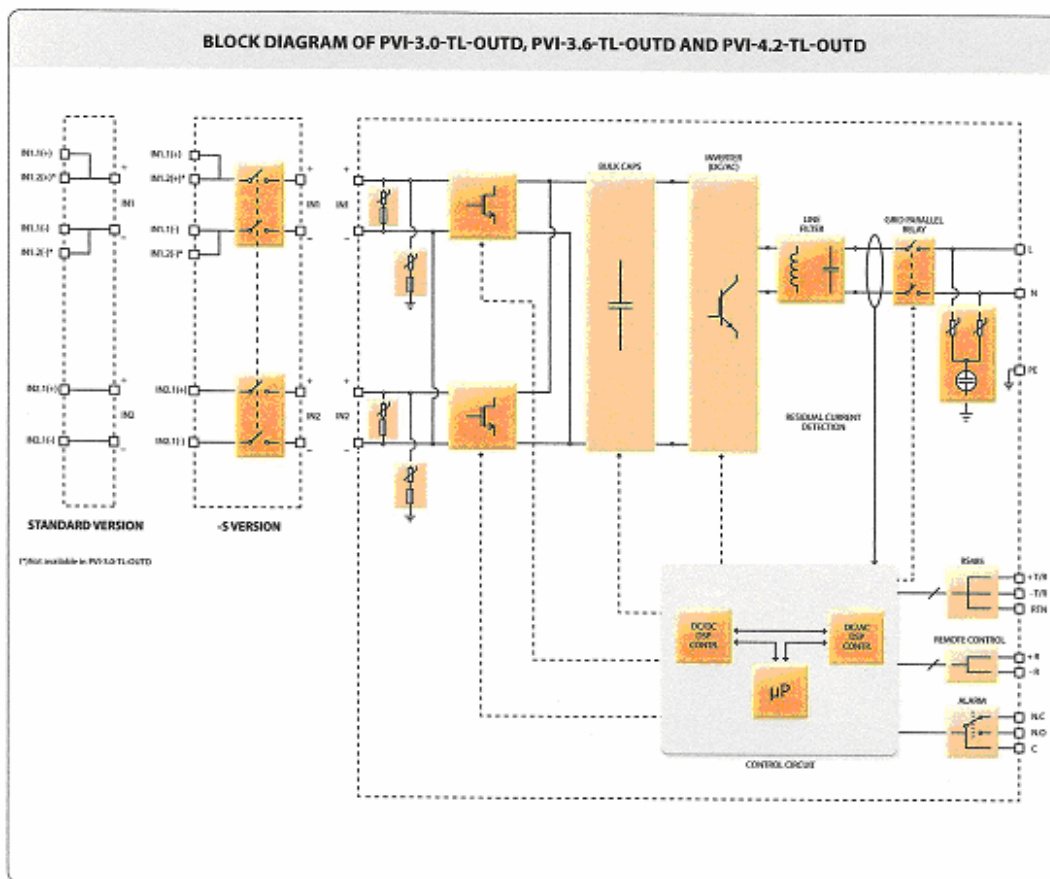
Διαστάσεις: 617mm x 325mm x 222mm



Σχήμα 4.5 Καμπύλη απόδοσης του inverter PVI-4,2-TL-OUTD. Η αντίστοιχη καμπύλη του PVI-3.0-TL-OUTD είναι εντελώς παρόμοια.



Σχήμα 4.6 Ο Inverter Aurora power one PVI-3.0-TL-OUTD



Σχήμα 4.7 Block diagram των αντιστροφέων της σειράς του PVI-3.0-TL-OUTD.

Μετρητές Ενέργειας

Για τη μέτρηση της ενέργειας επιλέξαμε το μονοφασικό ασύρματο μετρητή κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας EFERGY E2 V2.0 με απλό πομπό. Ο μετρητής E2 είναι η πιο πρόσφατη εξέλιξη στον τομέα των ασύρματων οθονών μέτρησης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνοδεύεται με ένα καινοτόμο λογισμικό, έτσι ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση της χρήσης της ενέργειας στον υπολογιστή. Ο μετρητής E2 έχει τη δυνατότητα παρακολούθησης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα αν και αυτό δεν είναι απαραίτητο στην ηλεκτρολογική εγκατάσταση. Ο αισθητήρας μεταδίδει ασύρματα τις πληροφορίες σχετικά με την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, απεικονίζοντας τα δεδομένα στην οθόνη προβολής. Ο μετρητής μετατρέπει την μετρήσιμη ενέργεια σε κιλοβατώρες.

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μετρητών αυτών είναι τα παρακάτω:

- Εύκολη εγκατάσταση και απλή χρήση.
- Μεταφερόμενη οθόνη μετρητή
- Έως 5 διαφορετικές επιλογές νομίσματος
- Πληροφορίες στιγμιαίας κατανάλωσης ενέργειας
- Πληροφορίες ιστορικού κατανάλωσης ενέργειας ανά ημέρα, βδομάδα και μήνα
- Πληροφορίες υπολογισμένου συνολικού ημερησίου κόστους χρήσης ενέργειας
- Επιλογή 4 διαφορετικών περιόδων χρέωσης
- Λογισμικό Διαχείρισης Ενέργειας eLink
- Μεγαλύτερη ανάλυση στην επιλογή ρύθμισης τιμών Τάσης, κόστους και εκπομπών CO₂
- Ηχητική σήμανση υπέρβασης μέγιστου ορίου κατανάλωσης
- Έως 70 μέτρα εμβέλεια εκπομπής σήματος
- Μεγαλύτερη μνήμη: έως 24 μήνες αποθήκευση δεδομένων

Το κόστος μιας μονάδας είναι 76,32 ευρώ οπότε για τέσσερις μετρητές έχουμε συνολικό κόστος: $4 \cdot 76,32 = 305,28$ ευρώ.

Για τη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων θα χρειαστούμε ακόμη τη συσκευή Engage hub (έκδοση solo). Η συσκευή αυτή δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης των ενεργειακών δαπανών μέσω του internet, σε πραγματικό χρόνο, από παντού και όποτε το επιθυμούμε. Τα δεδομένα συλλέγονται ασύρματα

στη συσκευή από τον εγκατεστημένο πομπό, και μεταφέρονται μέσω της σύνδεσης του internet (σύνδεση στο router) στην υψηλής ασφάλειας ειδική πλατφόρμα διαχείρισης ενέργειας Engage. Η χρήση των υπηρεσιών της πλατφόρμας είναι εντελώς δωρεάν και θα χρειαστεί μόνο η δημιουργία ενός λογαριασμού χρήστη κατά τη διάρκεια αρχικής εγκατάστασης της συσκευής.

Η συσκευή είναι συμβατή με όλους τους ασύρματους μετρητές Elite και E2, όπως επίσης με τους πομπούς και αισθητήρες αυτών. Το μόνο που απαιτείται είναι μια μόνιμη σύνδεση internet. Το κόστος της συσκευής αυτής είναι 76,41 ευρώ.

Ηλεκτρονόμοι Ισχύος

Για την αυτονομία θα χρειαστούμε 2 ηλεκτρονόμους ισχύος, έναν για κάθε διαμέρισμα. Το κόστος για μονοφασικό είναι 15 ευρώ και για τριφασικό είναι 30 ευρώ. Άρα το συνολικό κόστος είναι αντίστοιχα 30 ή 60 ευρώ.

Αυτόματες Ασφάλειες

Θα χρειαστούμε 2 αυτόματες ασφάλειες 10 A της εταιρείας ABB. Να σημειωθεί ότι για την αντιμετώπιση της δυσμενέστερης περίπτωσης σύμφωνα με τις τιμές των ρευμάτων που υπολογίστηκαν προηγουμένως θα έπρεπε να χρησιμοποιηθούν ασφάλειες 16A. Το μοντέλο S201-B10 της ABB στοιχίζει 7,16 ευρώ. Δηλαδή το κόστος για δύο ασφάλειες είναι 14,32 ευρώ.

Κανάλι

Θα χρειαστούμε 30m κανάλι 20·13cm ή 25·25cm. Το κόστος για κανάλι 20·13cm είναι 0,75 ευρώ ανά μέτρο. Άρα συνολικά: $0,75 \cdot 30 = 22,5$ ευρώ. Το κόστος για κανάλι 25·25cm είναι 0,95 ευρώ ανά μέτρο. Άρα συνολικά: $0,95 \cdot 30 = 28,5$ ευρώ.

4.4 ΚΟΣΤΟΣ ΕΠΕΝΔΥΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗ

Σύμφωνα με τις τιμές του απαιτούμενου εξοπλισμού που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα προκύπτει ότι το συνολικό κόστος εγκατάστασης είναι περίπου 10900 ευρώ. Το κόστος συντήρησης ανέρχεται σε περίπου 300 ευρώ ανά έτος. Η

συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια μπορεί να παρέχει μέχρι και 7,5 MWh ετησίως. Αν όλη η παραγόμενη ισχύς πωλείται στο κεντρικό δίκτυο τα ετήσια έσοδα θα είναι: $7,5 \cdot 250 = 1875$ ευρώ.

Το καθαρό κέρδος, αν αφαιρέσουμε τα λειτουργικά έξοδα, θα είναι 1550 ευρώ, οπότε προκύπτει ότι σε περίπου 7 χρόνια θα έχει γίνει η αποπληρωμή της αρχικής επένδυσης ύψους 10900 ευρώ.

Να σημειωθεί ότι θα μπορούσαμε να πετύχουμε μία πιο οικονομική λύση αν επιλέγαμε ανεμογεννήτρια με υψηλότερο επίπεδο θορύβου. Για παράδειγμα το μοντέλο 16.FD3.6-2000E της εταιρείας Coyote S.A. ισχύος 2 KW έχει συνολικό κόστος αγοράς και εγκατάστασης 4300 ευρώ αλλά το επίπεδο θορύβου είναι >45 dB. Η λύση αυτή θα μείωνε το χρόνο αποπληρωμής σε λιγότερο από 4 χρόνια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία-Άρθρα

- 1] *Οδηγός Τεχνολογιών Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ*, εκδόσεις ΚΑΠΕ, Αθήνα
Αύγουστος 2001.
- 2] Μπεργελές Γ., *Ανεμοκινητήρες*, εκδόσεις Συμεών, Αθήνα 2005.
- 3] Ντοκόπουλος Π., *Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Καταναλωτών*, εκδόσεις Ζήτη 2005.
- 4] Παρασκευαδάκη Ε., Άρθρα για την αιολική ενέργεια διαθέσιμα στην ιστοσελίδα:
www.electroepistimi.blogspot.com.
- 5] Μαθιόπουλος Η., *Μικρές Ανεμογεννήτριες στην Ελληνική Πραγματικότητα*,
παρουσίαση διαθέσιμη στην ιστοσελίδα: www.leaderexpo.gr

Ιστοσελίδες

- <http://www.bettergeneration.co.uk>
<http://renewabledevices.com>