

**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ-ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΣ (ΑΜ:mm20078)**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΣΙΓΑΡΙΔΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΕΡΓΑΣΙΑ**

# **ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ**



|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....                                                 | 4  |
| ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ .....                   | 5  |
| ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ .....                                  | 6  |
| ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ .....                | 7  |
| Οι πρώτοι ευρωπαϊκοί ανεμόμυλοι .....                          | 8  |
| ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ .....                      | 10 |
| ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ .....                              | 11 |
| Ανεμόμετρο .....                                               | 11 |
| Πτερύγια .....                                                 | 11 |
| Φρένο .....                                                    | 11 |
| Ελεγκτής .....                                                 | 11 |
| Κιβώτιο ταχυτήτων .....                                        | 11 |
| Γεννήτρια .....                                                | 11 |
| Άξονας υψηλής ταχύτητας .....                                  | 11 |
| Άξονας χαμηλής ταχύτητας .....                                 | 11 |
| Κέλυφος .....                                                  | 12 |
| Κλίση .....                                                    | 12 |
| Ρότορας .....                                                  | 12 |
| Πύργος .....                                                   | 12 |
| Ανεμοδείκτης .....                                             | 12 |
| Οδηγός εκτροπής .....                                          | 12 |
| Κινητήρας εκτροπής .....                                       | 12 |
| ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΠΡΟΚΑΛΕΣΟΥΝ ΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ..... | 13 |
| Α. Προκαλούν προβλήματα θορύβου οι ανεμογεννήτριες; .....      | 13 |
| Β . Η ανησυχία για τις παρεμβολές .....                        | 13 |
| Γ. Θανάτωση Πουλιών .....                                      | 14 |
| ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ .....               | 14 |
| 1 Ταχύτητα εκκίνησης .....                                     | 14 |
| 2 Ταχύτητα αποκοπής .....                                      | 14 |
| 3 Ταχύτητα κατωφλίου εισόδου .....                             | 14 |
| 4 Ταχύτητα κατωφλίου εξόδου: .....                             | 14 |

|                                                                                                                 |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5 Ονομαστική Ισχύς.....                                                                                         | 14        |
| 6 Ονομαστική ταχύτητα .....                                                                                     | 15        |
| 7 Διαθεσιμότητα .....                                                                                           | 15        |
| <b>ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ .....</b>                                                                             | <b>15</b> |
| Η άτρακτος .....                                                                                                | 15        |
| Ο κύριος (ή χαμηλής ταχύτητας) άξονας .....                                                                     | 15        |
| Το δισκόφρενο .....                                                                                             | 15        |
| Κιβώτιο ταχυτήτων.....                                                                                          | 15        |
| Η ηλεκτρογεννήτρια .....                                                                                        | 16        |
| Η διάταξη προσανατολισμού .....                                                                                 | 16        |
| Ο πύργος στήριξης .....                                                                                         | 16        |
| <b>ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ .....</b>                                                                   | <b>17</b> |
| Περιγραφή ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα.....                                                                 | 17        |
| <b>ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ.....</b>                                                                       | <b>18</b> |
| <b>ΠΩΣ ΜΠΟΡΟΥΜΕ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΟΥΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΜΕ ΜΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ .....</b> | <b>19</b> |
| <b>ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ .....</b>                                                                     | <b>20</b> |
| Ο κύριος (ή χαμηλής ταχύτητας) άξονας .....                                                                     | 21        |
| Το δισκόφρενο .....                                                                                             | 21        |
| Κιβώτιο ταχυτήτων.....                                                                                          | 21        |
| Η ηλεκτρογεννήτρια .....                                                                                        | 21        |
| <b>ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ.....</b>                                                                    | <b>22</b> |
| <b>ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΙΔΑΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....</b>                                                     | <b>23</b> |
| <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ .....</b>                                                                                         | <b>23</b> |
| <b>Πηγές.....</b>                                                                                               | <b>24</b> |

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι να αναφερθούν οι λόγοι για τους οποίους η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, μέσω των ανεμογεννητριών, γίνεται όλο και περισσότερο αναγκαία.

Επίσης σκοπός είναι να επισημανθεί ότι η ανεμογεννήτρια είναι μία μονάδα παραγωγής ενέργειας η οποία αξιοποιεί την ενέργεια του ανέμου και δεν μολύνει το περιβάλλον σε αντίθεση με τις μονάδες εκείνες που λειτουργούν με την καύση πετρελαίου ή άνθρακα.

Ακολουθεί αναφορά των βασικότερων τύπων των αιολικών ανεμογεννητριών καθώς και των παραμέτρων τους.

Δίνονται με λεπτομέρεια τα τεχνολογικά και μηχανικά χαρακτηριστικά της ανεμογεννήτριας και καταλήγουμε στα συμπεράσματα μετά από ανάλυση του αντικείμενου.

## **ABSTRACT**

The purpose of this paper is to state the reasons why the exploitation of wind energy, through wind turbines, is becoming increasingly necessary.

It should also be noted that the wind turbine is an energy production unit that utilizes wind energy and does not pollute the environment in contrast to those units that operate on oil or coal combustion.

The following is a report of the main types of wind turbines as well as their parameters.

The technological and mechanical characteristics of the wind turbine are given in detail and we come to the conclusions after analyzing the object.

## **ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΗΣ**

Γενικά αιολική ενέργεια ονομάζεται η ενέργεια που παράγεται από την εκμετάλλευση του πνέοντος ανέμου. Η ενέργεια αυτή χαρακτηρίζεται "ήπια μορφή ενέργειας" και περιλαμβάνεται στις "καθαρές" πηγές, όπως συνηθίζονται να λέγονται οι πηγές ενέργειας που δεν εκπέμπουν ή δεν προκαλούν ρύπους.

Η αρχαιότερη μορφή εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ήταν τα ιστία (πανιά) των πρώτων ιστιοφόρων πλοίων και πολύ αργότερα οι ανεμόμυλοι στην ξηρά.

Ονομάζεται αιολική γιατί στην ελληνική μυθολογία ο Αίολος ήταν ο θεός του ανέμου. Η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα μια ελκυστική λύση στο πρόβλημα της ηλεκτροπαραγωγής. Το «καύσιμο» είναι άφθονο, αποκεντρωμένο και δωρεάν. Δεν εκλύονται αέρια θερμοκηπίου και άλλοι ρύποι, και οι επιπτώσεις στο περιβάλλον είναι μικρές σε σύγκριση με τα εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής από συμβατικά καύσιμα.

Επίσης, τα οικονομικά οφέλη μιας περιοχής από την ανάπτυξη της αιολικής βιομηχανίας είναι αξιοσημείωτα. Η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ή/και ηλεκτρική ενέργεια, μέσω των ανεμογεννητριών. Οι άνεμοι, δηλαδή οι μεγάλες μάζες αέρα που μετακινούνται με ταχύτητα από μία περιοχή σε κάποια άλλη, οφείλονται στην ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της Γης από την ηλιακή ακτινοβολία. Η κινητική ενέργεια των ανέμων είναι τόση που, με βάση τη σημερινή τεχνολογία εκμετάλλευσής της, θα μπορούσε να καλύψει πάνω από δύο φορές τις ανάγκες της ανθρωπότητας σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι πλέον ευνοημένες περιοχές του πλανήτη μας από πλευράς αιολικού δυναμικού είναι οι χώρες της πολικής και εύκρατης ζώνης, ιδιαίτερα κοντά στις ακτές.

Από τεχνικοοικονομικής άποψης η αιολική ενέργεια αποτελεί σήμερα την πλέον συμφέρουσα ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, δεδομένου ότι ήδη το κόστος τη παραγόμενης αιολικής KWh συναγωνίζεται το κόστος της συμβατικής KWh, χωρίς μάλιστα να συμπεριληφθεί το κοινωνικό και περιβαλλοντικό κόστος από την παραγωγή ενέργειας. Για το λόγο αυτό τα τελευταία χρόνια γίνονται σοβαρές επενδύσεις στον τομέα της αιολικής ενέργειας, τόσο από δημόσιους όσο και από ιδιωτικούς φορείς, κυρίως στις πιο ανεπτυγμένες χώρες του πλανήτη μας. Από την άλλη, αντιπαρατίθεται το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια δεν είναι ακριβώς προβλέψιμη, ούτε και συνεχής, ενώ παράλληλα είναι μια μορφή ενέργειας χαμηλής

πυκνότητας, γεγονός που μας υποχρεώνει σε μεγαλύτερες κατασκευές.



Αν και ο άνεμος ποικίλλει με το χρόνο και τον τόπο και έχει μεταβαλλόμενη ένταση και διεύθυνση, η ενέργεια που μπορεί να προέλθει τελικά από αυτόν είναι τεράστια. Σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, η διεύθυνση, η ταχύτητα και η διάρκεια του ανέμου ποικίλλουν ανάλογα με την τοπική τοπογραφία, το γεωγραφικό πλάτος και τη θερμοκρασιακή μεταβολή στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, η ταχύτητα του ανέμου συχνά αυξάνει πάνω από πλαγιές λόφων ή βουνών ή από το άνοιγμα μεταξύ αυτών. Η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου πάνω από ένα βουνό οφείλεται σε μια κατακόρυφη σύγκλιση του ανέμου, ενώ αντίθετα η αύξηση της ταχύτητας δια μέσου μιας χαράδρας οφείλεται μερικώς σε μια οριζόντια σύγκλιση. Επειδή το σχήμα του βουνού ή της χαράδρας συνδέεται με τη γεωλογία, η προοπτική για αιολική ενέργεια αποτελεί ένα γεωλογικό και μετεωρολογικό πρόβλημα (Ahmed Duran Sahin, 2004).

## **ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ**

Η ανεμογεννήτρια λοιπόν είναι μία αιολική μηχανή που παράγει ρεύμα από τον αέρα (την αιολική ενέργεια) και μπορεί να τροφοδοτήσει με ρεύμα κατοικημένες περιοχές όπως πόλεις, κωμοπόλεις ή χωριά, ή και να την διοχετεύσει στην συνέχεια στο ηλεκτρικό σύστημα της χώρας. Αποτελεί δηλαδή ένα "μικρό" σταθμό παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με "καύσιμη ύλη" τον άνεμο. Δηλαδή μετατρέπει την αιολική ενέργεια (την ενέργεια του ανέμου) σε ηλεκτρική. Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, τα οποία με τη σειρά τους περιστρέφουν ένα μοτέρ το οποίο με την βοήθεια μιας γεννήτριας παράγει ρεύμα.

Το ρεύμα αυτό μπορεί να διοχετευθεί κατ' ευθείαν στο εθνικό δίκτυο ηλεκτροδότησης ή να αποθηκευθεί σε συσσωρευτές.

Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες, τις **οριζόντιου άξονα**, όπως είναι οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι και τις **κάθετου άξονα**, όπως είναι το μοντέλο Darrieus.



Η σύγχρονη τεχνολογία αιολικής ενέργειας έχει πλεονεκτήματα στην ανάπτυξη των υλικών, της μηχανικής, των ηλεκτρονικών και της αεροδυναμικής. Οι ανεμογεννήτριες συνήθως βρίσκονται σε αιολικά πάρκα και παράγουν συναθροισμένη ηλεκτρική ενέργεια. Ηλεκτρισμός από αυτές τις ανεμογεννήτριες μοιράζεται στο τοπικό δίκτυο και διανέμεται στους καταναλωτές όπως και στα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ενέργειας.

## **ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

Οι ανεμογεννήτριες λοιπόν είναι συνέχεια των ανεμόμυλων. Ο ανεμόμυλος είναι μια διάταξη που χρησιμοποιεί ως κινητήρια δύναμη την κινητική ενέργεια του

άνεμου (αιολική ενέργεια).



Χρησιμοποιείται για την άλεση σιτηρών, την άντληση νερού και σε άλλες εργασίες. Φαίνεται ότι οι αρχαίοι λαοί της Ανατολής χρησιμοποιούσαν ανεμόμυλους, αν και η πρώτη αναφορά σε ανεμόμυλο (ένα περσικό συγκρότημα ανεμόμυλων του 644 μ.χ.) εμφανίζεται σε έργα Αράβων συγγραφέων του 9 ου μ.χ. αιώνα. Αυτό το συγκρότημα των ανεμόμυλων βρισκόταν στο Σειστάν, στα σύνορα της Περσίας και Αφγανιστάν και ήταν οριζόντιου τύπου δηλαδή με ιστία (φτερά) τοποθετημένα ακτινικά σε έναν κατακόρυφο άξονα. Ο άξονας αυτός στηριζόταν σε ένα μόνιμο κτίσμα με ανοίγματα σε αντιδιαβητικά σημεία για την είσοδο και την έξοδο του αέρα. Κάθε μύλος έδινε απευθείας κίνηση σε ένα μόνο ζεύγος μυλόπετρες. Οι πρώτοι μύλοι είχαν τα ιστία κάτω από τις μυλόπετρες, όπως δηλαδή συμβαίνει και στους οριζόντιους νερόμυλους από τους οποίους φαίνεται ότι προέρχονταν. Σε μερικούς από τους μύλους που σώζονται σήμερα τα ιστία τοποθετούνται πάνω από τις μυλόπετρες. Τον 13ο αιώνα οι μύλοι αυτού του τύπου ήταν γνωστοί στην Βόρεια Κίνα, όπου μέχρι και τον 16ο αιώνα τους χρησιμοποιούσαν για εξάτμιση του θαλασσινού νερού στην παραγωγή αλατιού. Τον τύπο αυτό του μύλου χρησιμοποιούσαν επίσης στην Κριμαία, στις περισσότερες χώρες της Δυτικής Ευρώπης και στις ΗΠΑ, μόνο που λίγοι από αυτούς διασώζονται σήμερα. Ο πιο αντιπροσωπευτικός από όλους αυτούς τους τύπους των ανεμόμυλων είναι ο τύπος με το στροφείο σχήματος S (εφευρέτης ο Φιλανδός S.J.Savinious) που ακόμη και σήμερα χρησιμοποιείται σε φτωχές ή απομονωμένες περιοχές λόγω της φτηνής και εύκολης κατασκευής του.

**Οι πρώτοι ευρωπαϊκοί ανεμόμυλοι:** Ο ανεμόμυλος έφτασε στην Ευρώπη από τους Άραβες, χρησιμοποιήθηκε δε στον τύπο του κατακόρυφου ρωμαϊκού υδραυλικού τροχού, με τη διαφορά ότι ο ανεμόμυλος είχε στην θέση του τροχού κατακόρυφα φτερά που μετέδιδαν την κίνηση στις μυλόπετρες με ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών. Οι πρώτοι τέτοιοι περιστρεφόμενοι μύλοι εμφανίστηκαν στη Γαλλία το 1180, στην Αγγλία το 1191 και στη Συρία την εποχή των Σταυροφοριών (1190).





Στις αρχές του 14 ου αιώνα αναπτύχθηκε στη Γαλλία ο ανεμόμυλος σε σχήμα πύργου (μετοχάρης). Σε αυτόν τον τύπο ανεμόμυλου οι μυλόπετρες και οι οδοντωτοί τροχοί ήταν τοποθετημένοι σε ένα σταθερό πύργο με κινητή οροφή ή κάλυμμα, στην οποία στηρίζονταν τα ιστία και η οποία μπορούσε να στραφεί επάνω σε ειδική τροχιά, στην κορυφή του πύργου. Ο περιστρεφόμενος ανεμόμυλος με κοίλο εσωτερικά άξονα επινοήθηκε στις Κάτω Χώρες στις αρχές του 15 ου αιώνα. Διέθετε έναν κατακόρυφο άξονα με γρανάζι στα δύο του άκρα ο οποίος περνούσε μέσα από τον κοίλο άξονα και κινούσε ένα τροχό με περιφερειακά διαταγμένα σκαφίδια που μετέφερε το νερό σε υψηλότερη στάθμη.

Η πιο πετυχημένη ανεμογεννήτρια αναπτύχθηκε στη Δανία από τον J.Juul με τρία πτερύγια αλληλοσυνδεόμενα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Στην Ολλανδία χρησιμοποιήθηκε ένας ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο (σε περίπτωση άπνοιας) ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια, όταν φυσούσε. Ο μηχανισμός μετάδοσης κίνησης περιλάμβανε συμπλέκτη παράκαμψης με σκοπό ο ηλεκτροκινητήρας να μην κινεί τα ιστία παρά μόνο να εκτελεί χρήσιμο έργο. Η οροφή στρεφόταν με τη βοήθεια σερβοκινητήρα που ελεγχόταν από έναν ανεμοδείκτη.

## **ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ**

Τα τελευταία είκοσι χρόνια η ονομαστική ισχύς των ανεμογεννητριών έχει αυξηθεί κατά δύο τάξεις μεγέθους, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας έχει μειωθεί δραστικά και η αιολική βιομηχανία έχει μεταλλαχθεί από μία ιδεολογικής βάσης δραστηριότητα σε μία δραστηριότητα αιχμής στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής. Η ιστορία των σύγχρονων εμπορικών ανεμογεννητριών ξεκινά στις αρχές της δεκαετίας του '80 οπότε και ξεκίνησε η συστηματική χρήση τέτοιων μηχανών. Η τεχνολογική ανάπτυξη στόχευσε στον σχεδιασμό μεγαλύτερων μηχανών για την καλύτερη αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού. Η ραγδαία τάση μεγένθυσης της φτερωτής άρα και της απόδοσης της μηχανής ήταν ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά εκείνη την εποχή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η εταιρεία Vestas της οποίας το πρώτο μοντέλο το 1981 είχε διάμετρο φτερωτής 15m και σήμερα έχει φτάσει στο σημείο να παράγει μηχανές με διάμετρο 90m, δηλαδή 6 φορές μεγαλύτερη διάμετρο άρα 36 φορές μεγαλύτερη επιφάνεια σάρωσης. Όσο για την παραγωγή ενέργειας, θα χρειάζονταν 42 ανεμογεννήτριες με διάμετρο φτερωτής 15m για να μπορέσουν να παράγουν την ίδια ενέργεια με την μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια που αναφέραμε παραπάνω. Το βασικό πλεονέκτημα των μεγάλων ανεμογεννητριών είναι η οικονομία χώρου. Οι ανεμογεννήτριες αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα τεχνολογικά βήματα που έχει κάνει ο άνθρωπος στην προσπάθεια του για εκμετάλλευση και ανάπτυξη των ΑΠΕ. Σκοπός των ανεμογεννητριών είναι η αξιοποίηση του μεγαλύτερου δυνατού ποσοστού της κινητικής ενέργειας του ανέμου με αποτέλεσμα την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Λέγεται ότι έχουν επινοηθεί και εφαρμοσθεί περισσότεροι τύποι ανεμοκινητήρων από οποιονδήποτε άλλο τύπο εφεύρεσης, χωρίς όμως να έχει επιτευχθεί μέχρι σήμερα ο επιθυμητός βαθμός εκμετάλλευσης της ενέργειας του ανέμου.

## **ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ**

Μια ανεμογεννήτρια αποτελείται συνήθως από τα παρακάτω μέρη :

**Ανεμόμετρο (Anemometer):** μετράει την ταχύτητα του ανέμου και μεταβιβάζει τα ανεμολογικά δεδομένα σε έναν ελεγκτή.

**Πτερύγια (Blades):** οι περισσότερες ανεμογεννήτριες έχουν δύο ή τρία πτερύγια. Ο άνεμος πάνω στα πτερύγια δημιουργεί άνοση (lift) που έχει σαν αποτέλεσμα μια ροπή γύρω από τον άξονα περιστροφής και αναγκάζει τα πτερύγια να περιστρέφονται.

**Φρένο (Brake):** ένα δισκόφρενο το οποίο μπορεί να λειτουργεί μηχανικά, ηλεκτρικά ή υδραυλικά για να σταματήσει τον κινητήρα σε περίπτωση ανάγκης.

**Ελεγκτής (Controller):** ο ελεγκτής ξεκινά τη μηχανή σε ταχύτητες ανέμου περίπου 8-16 μίλια την ώρα και κλείνει τη μηχανή περίπου στα 65 μίλια την ώρα. Οι ανεμογεννήτριες δε μπορούν να δουλεύουν σε ταχύτητες ανέμου πάνω απ' τα 65 μίλια την ώρα γιατί οι γεννήτριές τους μπορούν να υπερθερμανθούν ή/και τα πτερύγιά τους να σπάσουν.

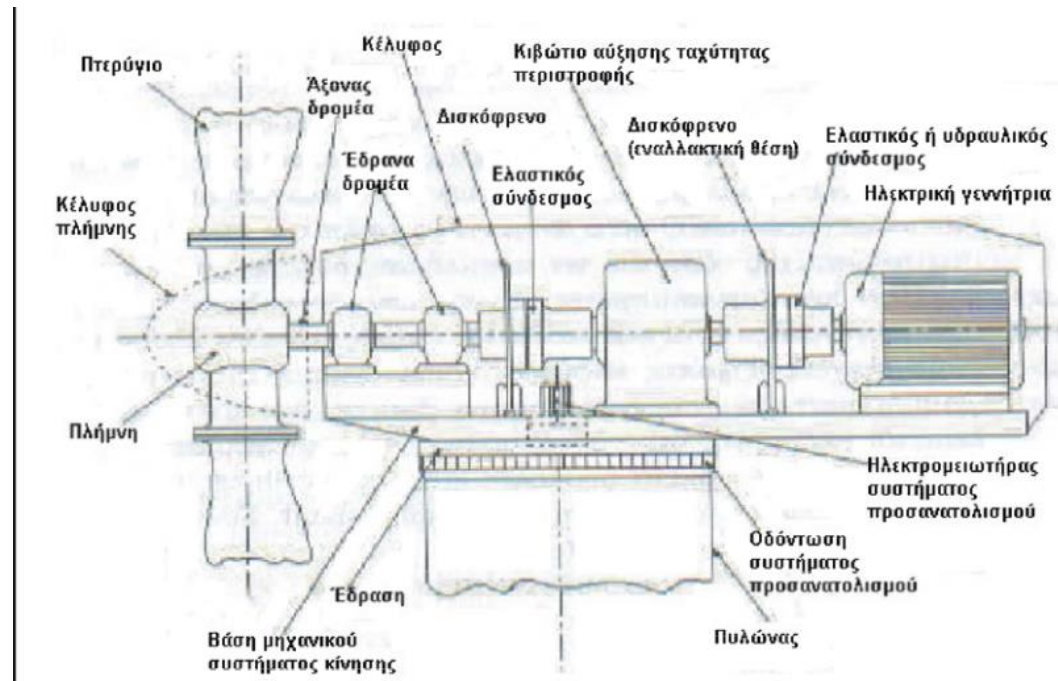
**Κιβώτιο ταχυτήτων (Gear box):** οι ταχύτητες συνδέουν τον άξονα χαμηλής ταχύτητας με τον άξονα υψηλής ταχύτητας και αυξάνει την ταχύτητα περιστροφής από τις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό στις 1200 με 1500 στροφές ανά λεπτό. Η ταχύτητα περιστροφής απαιτείται από τις περισσότερες γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Το κιβώτιο ταχυτήτων είναι ένα ακριβό (και βαρύ) μέρος μιας ανεμογεννήτριας και οι μηχανικοί μελετούν γεννήτριες οι οποίες θα λειτουργούν σε χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και δε θα απαιτούνται κιβώτια ταχυτήτων.

**Γεννήτρια (Generator):** συνήθως παράγει εναλλασσόμενο ρεύμα 60 κύκλων.

**Άξονας υψηλής ταχύτητας (High-speed Shaft):** οδηγεί τη γεννήτρια.

**Άξονας χαμηλής ταχύτητας (Low-speed Shaft):** ο ρότορας κινεί τον άξονα χαμηλής ταχύτητας περίπου στις 30 με 60 στροφές ανά λεπτό.

**Κέλυφος (Nacelle):** ο ρότορας συνδέεται με το κέλυφος, το οποίο βρίσκεται πάνω απ' τον πύργο και περιλαμβάνει το κιβώτιο ταχυτήτων, τους άξονες υψηλής και χαμηλής ταχύτητας, τη γεννήτρια, τον ελεγκτή και το φρένο. Ένα κάλυμμα προστατεύει τα μέρη εντός του κελύφους. Μερικά κελύφη είναι αρκετά μεγάλα ώστε να μπορεί ένας τεχνικός να κάθεται όρθιος μέσα σε αυτό ενώ δουλεύει.



**Κλίση (Pitch):** τα πτερύγια έχουν τη δυνατότητα να γύρω από τον διαμήκη άξονά τους, ώστε να μειώνουν τα αεροδυναμικά φορτία (lift) πάνω στην πτερύγωση στις μεγάλες ταχύτητες του ανέμου και να τα μειώνουν στις μικρές ταχύτητες.

**Ρότορας (Rotor):** τα πτερύγια και το κεντρικό σημείο ονομάζονται ρότορας.

**Πύργος (Tower):** οι πύργοι είναι κατασκευασμένοι από χαλύβδινο κέλυφος ή χωροδικτύωμα. Επειδή η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται με το ύψος, οι υψηλοί πύργοι περιέχουν γεννήτριες που συλλέγουν περισσότερη ενέργεια και παράγουν περισσότερο ηλεκτρισμό.

**Ανεμοδείκτης (Wind vane):** υπολογίζει την διεύθυνση και επικοινωνεί με τον οδηγό εκτροπής ώστε να προσανατολίζεται στον άνεμο.

**Οδηγός εκτροπής (Yaw drive):** φέρνει τις ανεμογεννήτριες προς τον άνεμο. Χρησιμοποιείται για να αφήνει το ρότορα να βρίσκεται προς τον άνεμο καθώς αυτός μεταβάλλεται. Οι ανεμογεννήτριες που λειτουργούν υπήνεμα δεν απαιτούν οδηγό εκτροπής. Ο άνεμος μόνος φέρνει υπήνεμα το ρότορα.

**Κινητήρας εκτροπής (Yaw motor):** δίνει ενέργεια στον οδηγό εκτροπής

## **ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΠΡΟΚΑΛΕΣΟΥΝ ΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ**

### **A. Προκαλούν προβλήματα θορύβου οι ανεμογεννήτριες;**

Πρόκειται για το μόνο ουσιαστικό πρόβλημα, αλλά συγχρόνως και το ευκολότερο να ελεγχθεί και να προληφθεί. Στις ανεμογεννήτριες ο εκπεμπόμενος θόρυβος μπορεί να υπαχθεί σε δύο κατηγορίες, ανάλογα με την προέλευση του: δηλαδή μηχανικός και αεροδυναμικός. Ο πρώτος προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα κλπ.) Ο δεύτερος προέρχεται από την περιστροφή των πτερυγίων. Οι σύγχρονες ανεμογεννήτριες είναι μηχανές πολύ ήσυχες συγκριτικά με την ισχύ τους και με συνεχείς βελτιώσεις από τους κατασκευαστές γίνονται όλο και πιο αθόρυβες. Η αντιμετώπιση του θορύβου γίνεται είτε στην πηγή είτε στη διαδρομή του. Οι μηχανικοί θόρυβοι έχουν ελαχιστοποιηθεί με εξαρχής σχεδίαση (γρανάζια πλάγιας οδόντωσης), ή με εσωτερική ηχομονωτική επένδυση στο κέλυφος της κατασκευής.

**B . Η ανησυχία για τις παρεμβολές** στις τηλεπικοινωνίες και στα σήματα μετάδοσης των τηλεοράσεων και των ραδιοφώνων, καθώς και η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών, αναφέρονται αφενός σε προβλήματα που προκαλούν οι ανεμογεννήτριες λόγω της θέσης τους σε σχέση με ήδη υπάρχοντες σταθμούς τηλεόρασης ή ραδιοφώνου και αφετέρου σε πιθανές ηλεκτρομαγνητικές εκπομπές από τις ίδιες. Είναι γεγονός ότι, η διάδοση των εκπομπών στις συχνότητες της τηλεόρασης ή και του ραδιοφώνου (κυρίως στις συχνότητες εκπομπών FM) επηρεάζεται από εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη.

**Γ. Θανάτωση Πουλιών** Πολλά κοπάδια αποδημητικών πουλιών σκοτώθηκαν εξαιτίας των ανεμογεννητριών που βρέθηκαν στο δρόμο τους.



### **ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

**1 Ταχύτητα εκκίνησης:** είναι η ταχύτητα του ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει καθαρή ισχύ. Αυτή η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από αυτή που απαιτείται για να αρχίσουν να στρέφονται τα πτερύγια.

**2 Ταχύτητα αποκοπής:** για αποφυγή υπερφόρτισης της ανεμογεννήτριας, διακόπτεται η λειτουργία της μόλις η ταχύτητα του ανέμου ξεπεράσει την ταχύτητα αποκοπής.

**3 Ταχύτητα κατωφλίου εισόδου:** είναι η ταχύτητα του ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει καθαρή ισχύ και είναι διαφορετική (μεγαλύτερη) από την ταχύτητα ανέμου που απαιτείται για να ξεκινήσει η περιστροφή του ρότορα.

**4 Ταχύτητα κατωφλίου εξόδου:** είναι η τιμή της ταχύτητας του ανέμου στην οποία η γεννήτρια παράγει ισχύ με ελαττωμένο μηχανικό και αεροδυναμικό φορτίο και χωρίς ηλεκτρικές απώλειες

**5 Ονομαστική Ισχύς:** είναι η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παραχθεί συνεχώς κατά την κανονική λειτουργία ανεμογεννήτριας.

**6 Ονομαστική ταχύτητα:** η ταχύτητα του ανέμου υπό την οποία παράγεται η ονομαστική ισχύς.

**7 Διαθεσιμότητα:** ορίζεται το μέρος του χρόνου όπου η ανεμογεννήτρια μπορεί να παράγει ισχύ. Οι τυπικές τιμές διαθεσιμότητας των σύγχρονων ανεμογεννητριών είναι 95-99%, λαμβάνοντας υπ' όψιν τις περιόδους συντήρησης ή επισκευής.

Η ωφέλιμη ισχύς παράγεται μεταξύ των ταχυτήτων κατωφλίου εισόδου και εξόδου.

Καθώς η λειτουργία της ανεμογεννήτριας εξαρτάται από τις επικρατούσες συνθήκες ανέμου, θα λειτουργεί σε επίπεδα χαμηλότερα της διαθεσιμότητάς της.

## **ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ**

**Η άτρακτος** περικλείει τα μηχανικά μέρη του ρότορα και τα στοιχεία ηλεκτροπαραγωγής καθώς επίσης και τον μηχανισμό προσανατολισμού της και ενδεχομένως συστήματα ελέγχου. Αυτά τα επιμέρους τμήματα είναι τα ακόλουθα:

**Ο κύριος (ή χαμηλής ταχύτητας) άξονας:** ο ρόλος του είναι να μεταφέρει την κίνηση από τις πτέρυγες στο κιβώτιο ταχυτήτων. Λόγω των ιδιαιτέρως σημαντικών ροπών που αναπτύσσονται σε αυτόν, αποτελεί ένα από τα πλέον ευαίσθητα τμήματα των αιολικών μηχανών. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να ελέγχεται σχολαστικά πριν την τοποθέτησή του.

**Το δισκόφρενο:** τοποθετείται είτε στον κύριο άξονα, πριν το κιβώτιο ταχυτήτων, είτε στον άξονα υψηλής ταχύτητας, μετά από αυτό. Η δεύτερη αυτή επιλογή έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτεί μικρότερου μεγέθους, άρα και φθηνότερο δισκόφρενο για την επιβράδυνση του ρότορα. Έχει όμως το μειονέκτημα να μην μπορεί να ελεγχθεί ο ρότοράς σε περίπτωση φθοράς του κιβωτίου ταχυτήτων.

**Κιβώτιο ταχυτήτων:** η ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται από την αιολική μηχανή, θα πρέπει να είναι συμβατή με την συχνότητα και την τάση του συμβατικού ηλεκτρικού δικτύου.

Η συχνότητα των περισσότερων δικτύων κυμαίνεται μεταξύ 50-60 Hz, ενώ η συχνότητα περιστροφής του ρότορα είναι περίπου 0,5 Hz. Η αύξηση της συχνότητας περιστροφής γίνεται με τον συνδυασμό ενός κιβωτίου ταχυτήτων και μιας ηλεκτρογεννήτριας πολλαπλών πόλων. Η προσθήκη του κιβωτίου ταχυτήτων μειώνει την απόδοση της αιολικής μηχανής, λόγω πρόσθετων απωλειών.



Η χρήση του μπορεί να αποφευχθεί εφ' όσον χρησιμοποιηθούν ειδικές ηλεκτρογεννήτριες χαμηλών στροφών. Αυτές όμως χρειάζονται πολύ μεγάλο ρότορα και στάτορα, ώστε να ενσωματώσουν τους 50 περίπου πόλους οι οποίοι απαιτούνται για την επίτευξη της επιθυμητής συχνότητας.

**Η ηλεκτρογεννήτρια:** μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ρότορα σε ηλεκτρισμό. Η έξοδος της πρέπει να είναι συμβατή με το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, εφόσον η αιολική μηχανή προορίζεται να λειτουργήσει διασυνδεδεμένη με το δίκτυο, ή με τις τοπικές ανάγκες κατανάλωσης εφ' όσον λειτουργήσει ως αυτόνομο σύστημα.

Οι μικρού μεγέθους αιολικές μηχανές διαθέτουν ηλεκτρογεννήτριες συνεχούς ρεύματος, το οποίο χρησιμοποιείται σε εφαρμογές χαμηλής τάσεως. Το συνεχές αυτό ρεύμα μπορεί να αποθηκευτεί φορτίζοντας συσσωρευτές ή να μετατραπεί σε εναλασσόμενο με τη βοήθεια ειδικής διάταξης και να συνδεθεί με το δίκτυο διανομής.

Πολλές αιολικές μηχανές συνδεδεμένες με το δίκτυο, διαθέτουν επαγωγικές γεννήτριες εναλασσόμενου ρεύματος στις οποίες το μαγνητικό πεδίο δημιουργείται με τη βοήθεια του ρεύματος του δικτύου. Με τον τρόπο αυτό η συχνότητα του παραγόμενου ρεύματος είναι η ίδια με αυτή του δικτύου.

**Η διάταξη προσανατολισμού:** είναι φανερό ότι η βέλτιστη λειτουργία μίας αιολικής μηχανής, απαιτεί τον συνεχή προσανατολισμό της προς τη διεύθυνση του ανέμου. Οι μηχανές χρησιμοποιούν διαφορετικά συστήματα προσανατολισμού, αναλόγως του μεγέθους τους.

Μικρές μηχανές (ισχύος έως 25 KW) διαθέτουν παθητικό σύστημα προσανατολισμού, το οποίο αποτελείται συνήθως από πτερύγια τοποθετημένα στο ουραίο τμήμα της ατράκτου. Οι μεγαλύτερες μηχανές διαθέτουν ηλεκτρικό σύστημα προσανατολισμού, το οποίο ενεργοποιείται μόλις αισθητήρες διαγνώσουν αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου, ώστε να προσανατολίσουν την άτρακτο στη σωστή διεύθυνση. Μηχανές με πτερύγια στην υπήνεμη πλευρά προσανατολίζονται παθητικά αυτομάτως, χωρίς να απαιτούνται πτερύγια ή ηλεκτρικός μηχανισμός.

**Ο πύργος στήριξης:** χρησιμεύει για να μπορεί να τοποθετηθεί η άτρακτος και ο ρότορας στο επιθυμητό ύψος στο οποίο η ταχύτητα του ανέμου είναι σημαντικά μεγαλύτερη και λιγότερο τυρβώδης από ότι κοντά στο έδαφος.

Το ύψος των σύγχρονων πύργων στήριξης μπορεί να υπερβαίνει και τα 100 m στη θάλασσα. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να είναι σχεδιασμένοι ώστε να αντέχουν διάφορα φορτία όπως λόγω βάρους, λόγω περιστροφικών κινήσεων και αιφνίδιων μεταβολών της ταχύτητας του ανέμου.



Οι πύργοι στήριξης χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: **τους σταθερούς και τους ανακλινόμενους.**

## **ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟΥ ΑΞΟΝΑ**

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

Ανάμεσα στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα συγκαταλέγονται οι κλασικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι (π.χ. τύπου Μυκόνου) καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων “αμερικανικού τύπου”, οι οποίες λόγω των περιορισμένων διαστάσεών τους και της χαμηλής περιφερειακής τους ταχύτητας έχουν εγκαταλειφθεί σήμερα, αν και εμφανίζουν σχετικά μεγάλες ροπές λειτουργίας.

### **Περιγραφή ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα**

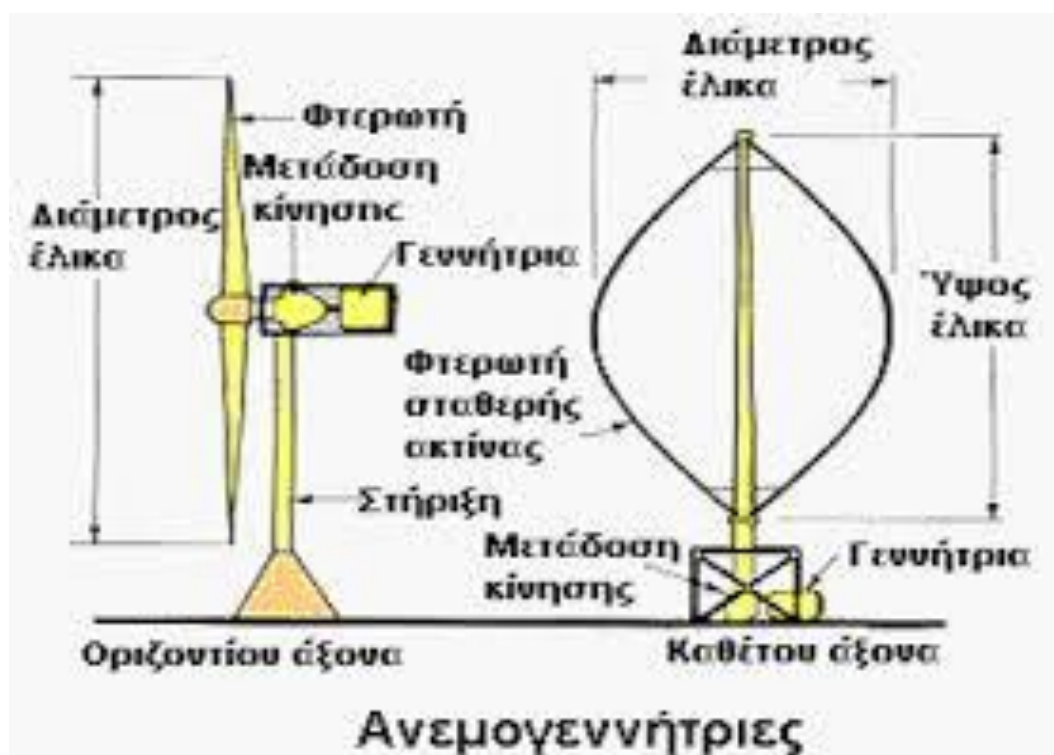
Τα βασικά μέρη μιας ανεμογεννήτριας οριζόντιου άξονα είναι ο **πύργος στηρίξεως, η πτερωτή, ο άξονας περιστροφής, το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, το σύστημα ελέγχου της ανεμογεννήτριας, η ηλεκτρική γεννήτρια** καθώς και το **σύστημα προσανατολισμού της μηχανής.**

Η πτερωτή τοποθετείται είτε στα ανάντη είτε στα κατάντη του πύργου στηρίξεως και τα πτερύγια καλύπτουν ένα μικρό ποσοστό (2% έως 10%) του εμβαδού της περιφέρειας που διαγράφουν. Όταν ο δρομέας λειτουργεί στα κατάντη του πύργου στηρίξεως έχουμε μεν αυξημένο επίπεδο αεροδυναμικού θορύβου, αλλά και αυτόματο προσανατολισμό της πτερωτής στη διεύθυνση του ανέμου.

Η επιλογή του πλήθους των πτερυγίων σχετίζεται με την αεροδυναμική φόρτιση των πτερυγίων, με το βαθμό απόδοσής τους, με το κόστος κατασκευής της

ανεμογεννήτριας καθώς και με θέματα αντοχής και συντονισμού λόγω ταλαντώσεων (προβλήματα ιδιοσυχνοτήτων).

Η ισχύ που αποδίδει κατ'επέκταση και η ενέργεια που παράγει, μια ανεμογεννήτρια είναι συνάρτηση του κύβου της ταχύτητας του ανέμου, της πυκνότητας του ανέμου και των τεχνικών χαρακτηριστικών του συγκροτήματος. Η ταχύτητα του ανέμου αυξάνει με το ύψος και γιαυτό οι ανεμογεννήτριες τοποθετούν τα πάντα στην κορυφή υψηλών πύργων στήριξης.



Παρ' όλα αυτά οι θεωρητικοί υπολογισμοί δείχνουν ότι για την παραγωγή ωφέλιμου έργου μπορεί να αξιοποιηθεί μόνο το 53,9% της συνολικής ενέργειας του ανέμου. Η ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα με πτερύγια ανταποκρίνεται στις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου με αυτόματη αλλαγή της κλίσης των πτερυγίων. Η μηχανική ισχύς που αναπτύσσεται στον άξονα των πτερυγίων από τον άνεμο μεταδίδεται στην ηλεκτρική γεννήτρια με τις κατάλληλες στροφές. Το αποτέλεσμα είναι στις ανεμογεννήτριες να παρουσιάζονται σημαντικές ταλαντώσεις ισχύος ακόμη και σε μικρά χρονικά διαστήματα, ενώ όταν επικρατεί άπνοια ή πολύ ισχυρός άνεμος παύει η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

## **ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ ΚΑΘΕΤΟΥ ΑΞΟΝΑ**

Οι ανεμογεννητριες κάθετου άξονα , περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα ο οποίος είναι κάθετος ως προς το επίπεδο του εδάφους.

Οι ανεμογεννητριες κάθετου άξονα, από τον τρόπο της κατασκευής τους, "πιάνουν" τον αέρα από κάθε κατεύθυνση. Οι ανεμογεννήτριες κάθετου άξονα έχουν τοποθετημένο το ρότορα κάθετα στο έδαφος. Το βασικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου είναι πως η γεννήτρια δε χρειάζεται να είναι στραμμένη προς την κατεύθυνση του ανέμου για να είναι παραγωγική, οπότε είναι πιο αποδοτική σε περιοχές με μεταβλητούς ανέμους, αφού περιστρέφονται κατά 360°. Επίσης, το κιβώτιο ταχυτήτων και η γεννήτρια βρίσκονται τοποθετημένα κοντά στο έδαφος, κάνοντάς τα πιο εύκολα προσβάσιμα για συντήρηση. Ωστόσο, το βασικό μειονέκτημα αυτών των ανεμογεννητριών είναι ότι παράγουν πολύ λιγότερη ενέργεια κατά μέσο όρο με την πάροδο του χρόνου.

### **ΠΩΣ ΜΠΟΡΟΥΜΕ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΟΥΜΕ ΤΟ ΠΟΣΟ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΔΙΑΘΕΣΙΜΟ ΜΕ ΜΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΑΕΡΑ**

Επειδή ο αέρας έχει τη μάζα, κατά συνέπεια μπορεί να κινηθεί, κι έτσι αποκτά κινητική ενέργεια.

Η κινητική ενέργεια δίνεται από τη σχέση: **κινητική ενέργεια =  $0.5 \times m \times V^2$**  (joules)  
(1)

όπου:

**m** = μάζα (kg) (1 kg = 2.2 λίμπρες)

**V** = ταχύτητα (m/sec) (meter = 3.281 πόδια = 39.37 ίντσες).

Η παραπάνω εξίσωση (1) της κινητικής ενέργειας μπορεί να μετατραπεί σε μία εξίσωση ροής εφόσον γνωρίζουμε ότι: **Ενέργεια = δύναμη \* χρόνο \* πυκνότητα**

Η Δύναμη στην περιοχή του στρόφέα:  **$P = 0.5 \times \rho \times A \times V^3$**

όπου:

**P** = δύναμη σε Watt (746 Watt = 1 hp) (1,000 Watt = 1 kilowatt)

**rho** = πυκνότητα αέρα (περίπου 1.225 kg/m<sup>3</sup>)

**A** = περιοχή του στροφέα (m<sup>2</sup>)

**V** = ταχύτητα αέρα σε m/sec (20 mph = 9 m/s) (mph/2.24 = m/sec)

Φυσικά, είναι αδύνατο να εξαχθεί όλη η δύναμη από τον αέρα επειδή κάποια ροή πρέπει να διατηρηθεί, μέσω του στροφέα. Έτσι, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μερικούς πρόσθετους όρους για να πάρουμε μια πρακτική εξίσωση για μία ανεμογεννήτρια.

Η **Δύναμη μιας ανεμογεννήτριας** δίνεται από τη σχέση:

$$P = 0.5 \times \rho \times A \times C_p \times V^3 \times N_g \times N_b$$

όπου:

**P** = δύναμη σε Watt (746 Watt = 1 hp) (1,000 Watt = 1 kilowatt)

**rho** = πυκνότητα αέρα (περίπου 1.225 kg/m<sup>3</sup>)

**A** = περιοχή του στροφέα (m<sup>2</sup>)

**C<sub>p</sub>** = Συντελεστής της απόδοσης (0.59 [όριο Betz] )

**V** = ταχύτητα αέρα μέσα m/sec (20 mph = 9 m/sec)

**N<sub>g</sub>** = αποδοτικότητα γεννητριών (50% για τον **εναλλάκτη αυτοκινήτων**, 80% ή ενδεχομένως περισσότεροι για μια μόνιμη γεννήτρια **μαγνητών ή την grid-connected** γεννήτρια επαγωγής)

**N<sub>b</sub>** = κιβώτιο ταχυτήτων / αποδοτικότητα ρουλεμάν

## **ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ**

Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα. Ο άξονας περνάει μέσα σε ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης όπου αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής.

Το κιβώτιο συνδέεται με έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής ο οποίος κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος. Αν η ένταση του ανέμου

ενισχυθεί πάρα πολύ, η τουρμπίνα έχει ένα φρένο που περιορίζει την υπερβολική αύξηση περιστροφής των πτερυγίων για να περιοριστεί η φθορά της. Ένα Kw ηλεκτρικού ρεύματος μπορεί να ανάψει 100 λάμπες των 100w. Καθώς η γεννήτρια περιστρέφεται παράγει ηλεκτρισμό με τάση 25.000 volt. Το ηλεκτρικό ρεύμα περνάει πρώτα από ένα μετασχηματιστή στην ηλεκτροπαραγωγική μονάδα ο οποίος ανεβάζει την τάση του στα 400.000 volt. Όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση του σύρματος τόσο πιο πολύ θερμαίνεται. Έτσι κάποιο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας χάνεται επειδή μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια. Τα σύρματα μεταφοράς ρεύματος καταλήγουν σε ένα υποσταθμό όπου οι μετασχηματιστές του μετατρέπουν την υψηλή τάση σε χαμηλή. Η άτρακτος περικλείει τα μηχανικά μέρη του ρότορα και τα στοιχεία ηλεκτροπαραγωγής καθώς επίσης και τον μηχανισμό προσανατολισμού της και ενδεχομένως συστήματα ελέγχου. Αυτά τα επιμέρους τμήματα είναι τα ακόλουθα:

**Ο κύριος (ή χαμηλής ταχύτητας) άξονας:** ο ρόλος του είναι να μεταφέρει την κίνηση από τις πτέρυγες στο κιβώτιο ταχυτήτων. Λόγω των ιδιαιτέρως σημαντικών ροπών που αναπτύσσονται σε αυτόν, αποτελεί ένα από τα πλέον ευαίσθητα τμήματα των αιολικών μηχανών. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να ελέγχεται σχολαστικά πριν την τοποθέτησή του.

**Το δισκόφρενο:** τοποθετείται είτε στον κύριο άξονα, πριν το κιβώτιο ταχυτήτων, είτε στον άξονα υψηλής ταχύτητας, μετά από αυτό. Η δεύτερη αυτή επιλογή έχει το πλεονέκτημα ότι απαιτεί μικρότερου μεγέθους, άρα και φθηνότερο δισκόφρενο για την επιβράδυνση του ρότορα. Έχει όμως το μειονέκτημα να μην μπορεί να ελεγχθεί ο ρότοράς σε περίπτωση φθοράς του κιβωτίου ταχυτήτων.

**Κιβώτιο ταχυτήτων:** η ηλεκτρική ενέργεια η οποία παράγεται από την αιολική μηχανή, θα πρέπει να είναι συμβατή με την συχνότητα και την τάση του συμβατικού ηλεκτρικού δικτύου.

Η συχνότητα των περισσότερων δικτύων κυμαίνεται μεταξύ 50-60 Hz, ενώ η συχνότητα περιστροφής του ρότορα είναι περίπου 0,5 Hz. Η αύξηση της συχνότητας περιστροφής γίνεται με τον συνδυασμό ενός κιβωτίου ταχυτήτων και μιας ηλεκτρογεννήτριας πολλαπλών πόλων. Η προσθήκη του κιβωτίου ταχυτήτων μειώνει την απόδοση της αιολικής μηχανής, λόγω πρόσθετων απωλειών.

**Η ηλεκτρογεννήτρια:** μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ρότορα σε ηλεκτρισμό.

## **ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ**

Οι ανεμογεννήτριες από την εποχή της εμφάνισης τους μέχρι σήμερα έχουν περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς τον τύπο τους (οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματά τους (πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κ.λπ.).

Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται από την ανεμογεννήτρια σε άλλη “αναβαθμισμένη” μορφή ενέργειας.

Η διάταξη αυτή είναι μια γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης (π.χ. μιας έλικας). Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο επί τόπου (π.χ. άντληση νερού). Στη γενικότερη όμως περίπτωση απαιτείται η μετατροπή του σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, είτε γιατί δεν χρειαζόμαστε μόνο μηχανικό έργο, είτε γιατί ο τόπος της κατανάλωσης δεν συμπίπτει με τον τόπο που είναι εγκατεστημένη η ανεμογεννήτρια, δηλαδή απαιτείται η μεταφορά της δεσμευόμενης αιολικής ενέργειας. Σ’ αυτήν την περίπτωση η πιο πρόσφορη διάταξη είναι εκείνη που μετατρέπει το μηχανικό έργο σε άλλη μορφή ενέργειας, που μπορεί να μεταφέρεται εύκολα και αποδοτικά στον τόπο κατανάλωσης. Εδώ και πολύ καιρό μάλιστα οι περισσότερες έρευνες στρέφονται προς την κατεύθυνση της μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα της ανεμογεννήτριας σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της, ή της παραγωγής επί τόπου υδρογόνου (με ηλεκτρόλυση) που μπορεί να αποθηκευθεί ή να μεταφερθεί και να καεί ως αέριο καύσιμο. Η τελευταία περίπτωση αποτελεί ίσως και την βέλτιστη από πολλές απόψεις πρόταση αξιοποίησης γενικότερα των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, δεδομένου ότι είναι οικολογικά αποδεκτή διότι με την καύση του υδρογόνου παράγεται μόνο νερό.

Είναι γνωστές οι μεγάλες διακυμάνσεις της ενέργειας του ανέμου με τον χρόνο. Είναι επίσης γεγονός ότι πολλές φορές δεν πνέει καθόλου άνεμος για ορισμένα χρονικά διαστήματα. Αυτά έχουν ως συνέπεια χρονική ασυμφωνία μεταξύ ζήτησης και παραγωγής ενέργειας. Η λύση στο πρόβλημα βρίσκεται βασικά στην αποθήκευση της ενέργειας. Η αποθηκευμένη ενέργεια καλύπτει το ενεργειακό έλλειμμα που παρουσιάζεται, όταν η ισχύς του ανέμου πέφτει κάτω από ένα ορισμένο επίπεδο. Το επίπεδο αυτό εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ενεργειακής ζήτησης και τα χαρακτηριστικά των άλλων πηγών ενέργειας που υπάρχουν για την ικανοποίηση της ζήτησης αυτής π.χ. “στιβαρότητα του ηλεκτρικού δικτύου”, είδος σταθμών παραγωγής κ.λπ.

## **ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΟΣ ΙΔΑΝΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

Ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός πλήρους συστήματος εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας περιλαμβάνει:

- Μελέτη των χαρακτηριστικών του ανέμου με σκοπό την εκλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του ανεμοκινητήρα και την πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας.
- Σχεδιασμός της αεροδυναμικής διάταξης, που να μετατρέπει κατά τον αποδοτικότερο τρόπο την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο.
- Μελέτη της περίπτωσης μετατροπής του μηχανικού έργου σε άλλη πιο συμφέρουσα μορφή ενέργειας και βέλτιστο σχεδιασμό του συστήματος μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα.
- Εύρεση του καλύτερου τρόπου αντιμετώπισης των διακυμάνσεων της ενέργειας του ανέμου.
- Μελέτη του βέλτιστου τρόπου μεταφοράς ενέργειας, αν απαιτείται.
- Διερεύνηση της καλύτερης προσαρμογής της μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας του συστήματος προς την κατανάλωση.

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ**

Οι ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα είναι ιδανικοί για τη δημιουργία αιολικών πάρκων και την ικανοποιητική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον πρέπει να προτιμούνται τοποθεσίες με μικρές καιρικές μεταβολές (μικρές αλλαγές στην ένταση και την κατεύθυνση του ανέμου) και η ένταση του ανέμου να μην είναι υπερβολικά μεγάλη (ανάλογα πάντα και με το υλικό του ανεμοκινητήρα, έτσι ώστε να αποφευχθεί ζημιά λόγω υψηλών στροφών περιστροφής ανά λεπτό).

Από την άλλη οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα είναι ιδανικοί για τοποθεσίες όπου ο αέρας δεν είναι σταθερός ή όπου περιβάλλονται από κάποια μικρά εμπόδια ή ο αέρας είναι πολύ ισχυρός και υπάρχει μεγάλη τύρβη.

Τέλος μέσα από την ανάλυση του αντικειμένου καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι η **Αιολική Ενέργεια** προέρχεται από μια φυσική και ανεξάντλητη πηγή, είναι καθαρή καθώς δεν παράγει εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, δεν εκπέμπει καθόλου ατμοσφαιρικούς ρύπους και χρησιμοποιεί ελάχιστο νερό.

## **Πηγές**

<http://ape1epalsyrou.weebly.com/alphanuepsilonpsilonmuomicrongammaepsilonpsilonnu942taurhoiotaepsilonsigmaf.html>

<https://slideplayer.gr/slide/11650454/>

<http://repository.library.teiwest.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/6395/%CE%91%CE%9D%CE%95%CE%9C%CE%9F%CE%93%CE%95%CE%9D%CE%9D%CE%97%CE%A4%CE%A1%CE%99%CE%95%CE%A3%20%CE%9A%CE%91%CE%99%20%CE%91%CE%99%CE%9F%CE%9B%CE%99%CE%9A%CE%91%20%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%9A%CE%91..pdf?sequence=1&isAllowed=y>

<https://dspace.lib.ntua.gr/>

[http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis\\_windmill.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis_windmill.htm)

<https://el.wikipedia.org>

<http://digilib.teiimt.gr/jspui/bitstream/123456789/2420/1/012008009.pdf>



