

1. Εισαγωγή

1.1 Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας

Από την ευρύτατη χρήση των ανανεωσίμων πηγών ενέργειας δύναται κανείς να διαπιστώσει ότι η χρήση των παραδοσιακών μορφών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας πλησιάζει προς το τέλος της. Η περιορισμένη διαθεσιμότητα τους, η μόλυνση του περιβάλλοντος και το συνεχώς αυξανόμενο κόστος τους είναι σημαντικοί παράμετροι που καθιστούν επιτακτική την ανάγκη για στροφή σε άλλες μορφές ενέργειας. Η πυρηνική ενέργεια θα αποτελούσε μια καλή λύση λόγω των τεράστιων δυνατοτήτων της αλλά λόγω των καταστροφικών κινδύνων που εγκυμονούν σε πιθανή περίπτωση ατυχήματος αλλά και λόγω των πολύ επικίνδυνων αποβλήτων καθίσταται λίαν επιφυλακτική η χρήση της, τουλάχιστον για το άμεσο μέλλον. Το μέλλον ανήκει στις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Η απεριόριστη διαθεσιμότητα τους, η φιλικότητα τους προς το περιβάλλον και το συνεχώς ελαττωμένο κόστος δείχνουν το δρόμο που πρέπει να ακολουθηθεί. Από τις ΑΠΕ αυτή που είναι άμεσα εκμεταλλεύσιμη, ιδίως για τον Ελληνικό χώρο είναι σίγουρα η Αιολική ενέργεια.

Αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια που αναπτύσσει ο άνεμος και η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί με κατάλληλες μηχανές. Είναι μια ακόμη μορφή ηλιακής ενέργειας επειδή το δυναμικό της πηγάζει από τον ήλιο. Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου γίνεται μέσω ανεμοκινητήρων, που τη μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ενέργεια μέσω ΑνεμοΓεννητριών (Α/Γ), δηλ. ανεμοκινητήρων που διαθέτουν

ηλεκτρογεννήτρια και τη μετατρέπουν απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια. Η Αιολική ισχύς, πέραν της βασικής της ιδιότητας, χρησιμοποιείται στη λειτουργία αντλιών ύδατος, στην ύδρευση και άρδευση περιοχών, στη θέρμανση αγροτικών μονάδων και κατοικιών και στη λειτουργία εγκαταστάσεων αφαλατώσεως ύδατος. Τέλος, χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενεργείας όπως η υδροδυναμική.

Συγκροτήματα από πολλές μηχανές μαζί, τα οποία ονομάζονται Αιολικά πάρκα Σχήμα 1.1, χρησιμοποιούνται για μαζική παραγωγή ηλεκτρικής ενεργείας. Το κυριότερο μειονέκτημα της Αιολικής ενεργείας είναι το αυξημένο κόστος συνδέσεως αυτών με το υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο, δεδομένου ότι η εγκατάστασή των κατά κανόνα ευρίσκεται σε απρόσιτες σχετικά περιοχές. Αυτό το μειονέκτημα όμως το αντιμετωπίζουν και όλοι οι άλλοι συμβατικοί ή όχι σταθμοί παραγωγής ενεργείας. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται, εν μέρει, με τη συγκέντρωση του ενεργειακού δυναμικού σε λιγότερα πάρκα αλλά με μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ.

Η τεχνολογία της παραγωγής ενεργείας από τον πνέοντα άνεμο προοδεύει σημαντικώς. Αυτό κυρίως οφείλεται στην επιστημονική πρόοδο της Μηχανικής Ρευστών των στροβιλομηχανών είτε αυτή επιτυγχάνεται μέσω υπολογιστικής είτε πειραματικής ανάλυσεως. Η υπολογιστική μηχανική ανάλυση έχει βοηθηθεί σε λίαν μεγάλο βαθμό από την ανάπτυξη κατάλληλου λογισμικού αλλά και ηλεκτρονικών υπολογιστών. Η υπολογιστική τεχνική κυριαρχεί σε πολλούς τομείς της ηλεκτρικής ενεργειακής παραγωγής είτε με συμβατικούς σταθμούς παραγωγής, όπως ατμοστρόβιλοι και αεριοστρόβιλοι είτε σε μη-συμβατικούς σταθμούς όπως υδροδυναμικοί και Αιολικοί. Η Αιολική ενέργεια δύναται σε μερικά χρόνια να

αποτελέσει την κύρια μορφή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα. Η Ελλάδα είναι ιδιαίτερα προικισμένη χώρα όσον αφορά την εκ του ανέμου ενέργεια. Αρκετές περιοχές της ηπειρωτικής και νησιωτικής Ελλάδας έχουν σταθερούς και δυνατούς ανέμους σε συνεχή βάση. Λόγω της μορφολογίας του εδάφους και των φυσικών συνθηκών, κυρίως στη Ανατολική Ελλάδα, υπάρχουν οι πλέον κατάλληλες συνθήκες για τη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η ανάπτυξη και εκμετάλλευση της εκ των ανέμων ενέργειας αποτελεί βασικό στοιχείο της ενεργειακής πολιτικής των τεχνολογικά ανεπτυγμένων χωρών όπως των Η.Π.Α., Ηνωμένο Βασίλειο, Γερμανία κ.ά. Στο Σχήμα 1.1 δείχνεται ένα συγκρότημα ανεμογεννητριών που στην ουσία αποτελούν ένα Αιολικό πάρκο, <http://www.fotosearch.com/photos-images/wind-turbines.html>.



Σχήμα 1.1 Αιολικό πάρκο σε λοφοσειρά.

Στην Ελλάδα η διείσδυση των ΑΠΕ μέχρι πρότινος ήταν χαμηλή. Το 1995 μ.Χ., η συμμετοχή των ΑΠΕ ήταν γύρω στο 6.0 % της συνολικής παραγωγής. Είναι μόνο τα τελευταία χρόνια που άρχισε σημαντική αύξηση της Αιολικής ενεργείας. Υπήρχε δυσπιστία των κυβερνήσεων, των εταιρειών ηλεκτροπαραγωγής, των διαφόρων επιχειρήσεων και των μεμονωμένων ατόμων προς τις ΑΠΕ που σχετιζόνταν με το στρεβλό τρόπο με τον οποίο υπολογίζονταν τα κόστη και οι τιμές της ενεργείας. Το ενδιαφέρον της πολιτείας για την ανάπτυξη του τομέα αυτού τα τελευταία χρόνια έχει αλλάξει προς το καλύτερο και είναι εξαιρετικά έντονο. Συνέπεια αυτού του ενδιαφέροντος είναι η εφαρμογή αξιόλογων προγραμμάτων, που σχετίζονται με την ανάπτυξη και διάδοση των ΑΠΕ. Πολλά από τα προγράμματα αναπτύχθηκαν από τα διάφορα ΑΕΙ και ΤΕΙ της χώρας καθώς και από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΚΑΠΕ) το οποίο ως βασικό του σκοπό έχει ακριβώς την προώθηση και αξιοποίηση των πηγών αυτών, www.cres.gr.

1.2 Ιστορική αναδρομή

Ο από παλαιών ετών ανεμόμυλος που κύριο σκοπό λειτουργίας του ήταν η χρήση της ενεργείας για άντληση, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά ως ανεμογεννήτρια το 1890 μ.Χ. όταν εγκαταστάθηκε πάνω σε χαλύβδινο πύργο ο ανεμόμυλος του Λα Κούρ στη Δανία, με ιστία με σχισμές και διπλά πτερύγια αυτόματου προσανατολισμού προς τη διεύθυνση του ανέμου. Πραγματικές μηχανές λειτούργησαν στις ΗΠΑ κατά τη δεκαετία του 1940 μ.Χ., στην Αγγλία στη δεκαετία του 1950 μ.Χ. καθώς και στη Γαλλία. Η πιο πετυχημένη μηχανή αναπτύχθηκε στη Δανία με 3 πτερύγια αλληλοσυνδεόμενα μεταξύ τους και με έναν πρόβολο στο μπροστινό μέρος του άξονα περιστροφής. Στην Ολλανδία έγιναν πειράματα με αντικείμενο τη μετασκευή των παλαιών ανεμόμυλων αλέσεως δημητριακών, ώστε η

πλεονάζουσα ενέργεια να χρησιμοποιηθεί για ηλεκτροπαραγωγή. Χρησιμοποιήθηκε ασύγχρονος ηλεκτροκινητήρας που κινούσε τον ανεμόμυλο, σε περίπτωση άπνοιας, ή λειτουργούσε σαν γεννήτρια, όταν φυσούσε αέρας.

Οι προσπάθειες εντάθηκαν μετά την πετρελαϊκή κρίση του 1973 *μ.Χ.* και στηρίχθηκαν κατά μεγάλο μέρος στην σύγχρονη αεροδιαστημική τεχνολογία. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980 *μ.Χ.* υπήρχαν και συγκροτήματα μηχανών μικρής εγκατεστημένης ισχύος μέχρι 25.0 *KW*. Οι μηχανές προηγμένης τεχνολογίας, που παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον είναι κυρίως οι οριζοντίου άξονα και οι Darrieus με κατακόρυφο άξονα. Οι μηχανές οριζοντίου άξονα, που είναι πιο εξελιγμένες και διαδεδομένες, έχουν εγκατεστημένη ισχύς τους κυμαίνεται από λίγα *kW* έως μερικά *MW*. Οι τύπου Darrieus είναι απλούστερες και μικρότερης ισχύος.

Επερχομένου του χρόνου, μειώθηκε σταδιακά το λειτουργικό κόστος των σε επίπεδο που κατέστησε οικονομικά συμφέρουσα την εκμετάλλευσή της. Αντιμετωπίστηκαν ικανοποιητικά τα μηχανολογικά τους προβλήματα και δόθηκε έμφαση στην ασφάλή τους λειτουργία και στην αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών τους επιπτώσεων. Συγκεκριμένα, η απόδοσή τους αυξήθηκε σημαντικά χάρη στη βελτίωση του μηχανολογικού σχεδιασμού τους και κυρίως της αεροδυναμικής τους συμπεριφοράς, στη χρησιμοποίηση σύγχρονων υλικών κατασκευής και στην εισαγωγή ηλεκτρονικών διατάξεων όπως μικροεπεξεργαστών και αισθητήρων ελέγχου στο σύστημα λειτουργίας τους.

Η χώρα με το μεγαλύτερο ποσοστό εγκατεστημένης Αιολικής ισχύος ήταν οι Η.Π.Α. με 1723.0 *MW* στις αρχές της δεκαετίας του 1990 *μ.Χ.* και ειδικότερα η

πολιτεία της Καλιφόρνια. Αιολικά πάρκα υπάρχουν, επίσης και στη Χαβάη, ενώ τότε άρχισε ο σχεδιασμός για την κατασκευή Αιολικών πάρκων και σε άλλες πολιτείες. Δεύτερη χώρα έρχεται η Δανία, η οποία έχει αναπτύξει και την πιο αξιόπιστη τεχνολογία στον τομέα κατασκευής κατέχοντας μεγάλο ποσοστό στην αντίστοιχη παγκόσμια αγορά. Η συνολική εγκατεστημένη Αιολική ισχύς στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης εκείνη την δεκαετία ήταν $862.0 MW$, www.ewea.com, ενώ ανάλογα προγράμματα αναπτύσσονταν στη Ρωσία και την Κίνα. Ακόμη, στις αρχές της ίδιας δεκαετίας άρχισαν να λειτουργούν στη Δανία και την Ολλανδία τα πρώτα Αιολικά πάρκα εγκατεστημένα μέσα στη θάλασσα και σε κυρίως αβαθείς περιοχές κοντά στις ακτές. Η ανάπτυξη της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνεχίσθηκε αλματωδώς και στα τέλη του 2016 μ.Χ. η συνολική εγκατεστημένη Αιολική ισχύς στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ενώσεως ανήρχετο $106200 MW$.

Το μέγεθος των εμπορικών διαθέσιμων μηχανών έχει εξελιχθεί μέχρι και μεγαλύτερο των $6.0 MW$ εγκατεστημένης ισχύος. Οι Α/Γ εγκαθίστανται συνήθως σε Αιολικά πάρκα εγκατεστημένης ισχύος από $10.0 MW$ έως $100.0 MW$. Για την εκτίμηση του διαθέσιμου δυναμικού του ανέμου έχει αναπτυχθεί ανάλογη τεχνολογία και απαραίτητο λογισμικό. Οι μηχανές έχουν ρυθμισθεί ώστε ακόμη και αν αυξηθεί η ταχύτητα του ανέμου η γεννήτρια να μην παράγει περισσότερη ισχύ από αυτή για την οποία έχει σχεδιαστεί.

Σημαντική εφαρμογή της Αιολικής ενέργειας είναι ο συνδυασμός της με την υδροηλεκτρική ενέργεια όταν δίνουν ισχύ στις αντλίες ύδατος τις ημέρες όπου το δυναμικό του ανέμου παρουσιάζεται αυξημένο. Η περίσσεια ισχύος χρησιμοποιείται για την αποταμίευση ύδατος σε ταμιευτήρες που βρίσκονται σε μεγάλο

ύψος. Το ύδωρ που ταμιεύεται μπορεί να χρησιμοποιείται για άρδευση ή σε ημέρες άπνοιας και να διατίθεται για την κίνηση υδροστροβίλων και την παραγωγή ηλεκτρικής ενεργείας.

Βασικός παράγοντας αναπτύξεως και εφαρμογής της εκ του ανέμου τεχνολογίας αποτελεί η χαρτογράφηση του Αιολικού δυναμικού. Η πραγματοποίησή της όμως είναι αρκετά δαπανηρή και απαιτεί χρόνο και για την καταγραφή αλλά και για την επεξεργασία των δεδομένων των ταχυτήτων και των διευθύνσεων του ανέμου. Η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών τόσο σε μνήμη όσο και σε ταχύτητα με το αντίστοιχο λογισμικό χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη αριθμητικών μοντέλων με τα οποία γίνεται μια πρώτη εκτίμηση της δυναμικής του χώρου πριν καν αρχίσουν οι μετρήσεις πεδίου. Με τον τρόπο αυτό μπορεί σε σύντομο χρόνο να εκτιμηθούν και να επιλεγούν περιοχές με αυξημένο δυναμικό και στη συνέχεια να πιστοποιηθούν οι εκτιμήσεις, με μετρήσεις επί τόπου. Κατασκευάζεται λοιπόν το μοντέλο που είναι ένας κατ' εκτίμηση Αιολικός χάρτης για μία ευρύτερη περιφέρεια, ο οποίος συντάσσεται με τη βοήθεια των προηγουμένως αναφερθέντων αριθμητικών μεθόδων και με βάση τα δεδομένα του ανέμου.

2. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ισχύος εκ του ανέμου

2.1 Γενικά οφέλη από την δημιουργία Αιολικών έργων

2.1.1 Κοινωνικοοικονομικά οφέλη

Η εμπειρία της τελευταίων ετών δείχνει ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση λειτουργούν ήδη πάμπολλοι ΑΠΕ, από τους οποίους οι περισσότεροι είναι Αιολικά πάρκα <http://www.eref-europe.org/>. Στην Ελλάδα φαίνεται καθαρά και πέρα από κάθε αμφιβολία, ότι η ίδρυση και η λειτουργία Αιολικών έργων εμπορικής κλίμακας δημιουργεί ισχυρούς πόλους τοπικής αναπτύξεως και περιβαλλοντικής αναβαθμίσεως και προσφέρει πολλαπλά, μετρήσιμα και ουσιαστικά οφέλη στις τοπικές κοινωνίες, στις περιοχές των οποίων εγκαθίστανται αυτά τα έργα. Πιο συγκεκριμένα και με βάση τα καταγεγραμμένα απολογιστικά στοιχεία των εν λειτουργία Αιολικών έργων τα έργα αυτά,

- Συμβάλλουν σημαντικά στην τοπική απασχόληση. Η συμβολή γενικά των Αιολικών έργων στην απασχόληση, τόσο στην τοπική όσο και σε εθνικό επίπεδο, γίνεται πραγματικά εντυπωσιακή εάν συμπεριληφθούν οι προοπτικές εγχώριας κατασκευής και συναρμολογήσεως μεγάλων τμημάτων του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού των έργων αυτών, όπως οι πυλώνες, οι μετασχηματιστές, κ.ά. Η λειτουργία Αιολικών πάρκων προσφέρει ένα μόνιμο και σημαντικό ετήσιο έσοδο στους τοπικούς

Δήμους, που είναι 2.0 % επί του τζίρου τους για όλη τη διάρκεια ζωής των, αλλά και στην τοπική οικονομία γενικότερα.

- Η κατασκευή αντιστοιχών έργων σε μία περιοχή συνοδεύεται από την παράλληλη υλοποίηση σειράς αντισταθμιστικών οφελών, πέραν των άμεσων και μετρήσιμων οικονομικών εισροών και των δημιουργούμενων θέσεων απασχόλησης. Έτσι,
 - 1) Κατασκευάζονται ή/και βελτιώνονται, χωρίς κόστος για τους δημότες, σημαντικά έργα υποδομής στην ευρύτερη περιοχή όπως, οδικό δίκτυο, τηλεπικοινωνίες, ηλεκτρικό δίκτυο.
 - 2) Κατασκευάζονται, ως αντισταθμιστικά οφέλη χωρίς κόστος για τους τοπικούς Δήμους, διάφορα κοινωφελή έργα, όπως κοινοτικοί δρόμοι, σχολεία, παιδικοί σταθμοί κ.ά., ενώ προσφέρονται από τους επενδυτές και ανάλογες χορηγίες.
 - 3) Προωθούνται νέες, εναλλακτικές και ιδιαίτερα κερδοφόρες μορφές τουρισμού στην περιοχή, όπως π.χ. επισκέψεις σε εγκαταστάσεις με Αιολικά πάρκα.

2.1.2 Περιβαλλοντικά οφέλη

Τα ενέργεια που λαμβάνεται από τον άνεμο συντελεί αποφασιστικά στην προστασία του περιβάλλοντος μιας περιοχής, αφού με τον τρόπο αυτό περιορίζεται σε σημαντικό βαθμό η εκπομπή επιβλαβών για την υγεία ρυπαντικών ουσιών, που προκαλούνται από την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως άνθρακα, πετρελαίου και αερίου. Η κατασκευή και λειτουργία μηχανών εγκατεστημένης ισχύος 50.0 MW έχει ως αποτέλεσμα την αποτροπή έκλυσης στην ατμόσφαιρα περίπου 128000.0 τόνων το χρόνο διοξειδίου του άνθρακα, αερίου που είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου. Έγκυρες μελέτες της Ευρωπαϊκής

Ένωσης έδειξαν ότι μία σημαντική υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων με ΑΠΕ και κυρίως με Αιολικά πάρκα που βρίσκονται ήδη στο στάδιο σχεδιασμού ή υλοποιήσεως, θα μπορούσε να συμβάλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή τουλάχιστον κατά 11.0 %, και επομένως να περιορίσει αντίστοιχα και τις δυσμενείς επιπτώσεις από το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

2.2 Πλεονεκτήματα

Πέραν των όσων σε γενικές γραμμές περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, τα αναλυτικά περιβαλλοντικά και ενεργειακά πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν,

- Μηδενικές ατμοσφαιρικές εκπομπές αερίων. Είναι δηλαδή ιδιαίτερα φιλική στο περιβάλλον, δεν εκπέμπει κανένα συντελεστή ρύπανσης π.χ διοξείδιο του άνθρακα που να συντελεί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, ή να δημιουργεί την όξινη βροχή.
- Μηδενικά προβλήματα μετά το τέλος λειτουργίας.
- Καλό ενεργειακό ισοζύγιο.
- Περιορισμένη χρήση γης. Η εκ του ανέμου ενέργεια δεν εμποδίζει τις γεωργικές και κτηνοτροφικές δραστηριότητες. Δεν υπάρχει καμία ένδειξη ότι τα Αιολικά πάρκα επιβαρύνουν τη γεωργία ή την κτηνοτροφία. Ενδεικτικά και για λόγους σύγκρισης, αναφέρεται ότι για την παραγωγή ενέργειας από έναν σταθμό ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιεί άνθρακα απαιτείται έως και 4.5 φορές μεγαλύτερη έκταση απ' αυτή που απαιτείται για να καλυφθούν οι ίδιες ενεργειακές ανάγκες με Αιολική ενέργεια. Όσον αφορά στην Ελλάδα, πρέπει να τονισθεί ότι στη μεγάλη τους πλειοψηφία οι μηχανές εγκαθίστανται σε ορεινές θέσεις

με αραιή θαμνώδη βλάστηση, η οποία οφείλεται, ως ένα βαθμό στις υψηλές ταχύτητες του ανέμου. Η παρουσία υψηλής βλαστήσεως σε μία περιοχή με συστάδες δένδρων και δασώδεις εκτάσεις δεν προσφέρεται για εκμετάλλευση, δεδομένου ότι επιβραδύνει τη ροή του ανέμου στα συνήθη ύψη του δρομέα, πράγμα που καθιστά τις θέσεις αυτές μη ελκυστικές. Η συνήθης χρήση γης στις θέσεις εγκαταστάσεως Αιολικών πάρκων είναι η βοσκή αιγοπροβάτων.

- Ο άνεμος είναι μια ανεξάντλητη πηγή ενεργείας, η οποία μάλιστα παρέχεται δωρεάν.
- Η Αιολική ενέργεια είναι μια τεχνολογικά ώριμη, οικονομικά ανταγωνιστική και φιλική προς το περιβάλλον ενεργειακή επιλογή. Εδώ δεν υπάρχουν ραδιενεργά κατάλοιπα ούτε ιονίζουσες ακτινοβολίες όπως με την ραδιενέργεια.
- Προστατεύει τη γη καθώς κάθε μια *kWh* που παράγεται από τον άνεμο αντικαθιστά μια *kWh* που παράγεται από συμβατικούς σταθμούς.
- Δεν επιβαρύνει το τοπικό περιβάλλον με επικίνδυνους αέριους ρύπους, μονοξείδιο του άνθρακα, διοξείδιο του θείου, καρκινογόνα μικροσωματίδια κ.ά
- Ενισχύει την ενεργειακή ανεξαρτησία και ασφάλεια κάτι ιδιαίτερα σημαντικό για τη χώρα μας.
- Βοηθά στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος μειώνοντας τις απώλειες μεταφοράς ενεργείας.
- Συμβάλλει στην τοπική ανάπτυξη. Για κάθε *1.0 MW* εγκατεστημένης ισχύος Αιολικής ενεργείας δημιουργούνται 15 με 22 θέσεις εργασίας, εκ των οποίων μερικές είναι μόνιμες. Ακόμη όμως και χωρίς να συμπεριληφθεί το περιβαλλοντικό κόστος, η Αιολική ενέργεια είναι

σήμερα μια οικονομικά ανταγωνιστική εναλλακτική λύση απέναντι στα ρυπογόνα ορυκτά καύσιμα και την επικίνδυνη πυρηνική ενέργεια.

- Επιπλέον, κάθε 1.0 kW που παράγεται με Αιολική ενέργεια και δεν παράγεται π.χ. με καύση άνθρακος, εξοικονομεί περίπου ένα kg CO_2 που δεν εκλύεται στην ατμόσφαιρα.
- Τέλος, η Αιολική ενέργεια είναι και μία ώριμη τεχνολογία. Η βιομηχανία αυτή είναι η ταχύτερα αναπτυσσόμενη ενεργειακή τεχνολογία, με εντυπωσιακούς ρυθμούς ανάπτυξης τα τελευταία χρόνια.

2.3 Μειονεκτήματα

Τα περιβαλλοντικά μειονεκτήματα σε τοπικό επίπεδο έχουν ως,

- Αισθητική επίπτωση στο τοπίο και τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικού.
- Πρόκληση θορύβου.
- Κινούμενες σκιές κατά την λειτουργία.
- Διάβρωση του εδάφους και υποβάθμιση από την διάνοιξη δρόμων σε κορυφογραμμές.
- Επιπτώσεις στα πουλιά.
- Ηλεκτρομαγνητικές παρενοχλήσεις, όπως τηλεπικοινωνίες, ραντάρ, τηλεόραση.
- Ασφάλεια προσωπικού. Λόγω του μεγάλου ύψους και του όγκου της κατασκευής υπάρχει ρίσκο ασφαλείας για τους εργαζομένους.

Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικά μερικά εκ των μειονεκτημάτων.

2.3.1 Αισθητική υποβάθμιση

Οι ανεμογεννήτριες σχεδιάζονται ώστε να τοποθετούνται σε ανοιχτές περιοχές και να είναι εκτεθειμένες στους ανέμους. Η οπτική εμφάνιση των ανεμογεννητριών μπορεί να αποτελέσει αρνητική επίπτωση δημιουργώντας προβλήματα στην εγκατάστασή τους σε συγκεκριμένες περιοχές. Η ορατότητα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το ύψος του πύργου, η αμεσότητα τους από γειτονικούς οικισμούς και αυτοκινητόδρομους, από την τοπική μορφολογία του εδάφους, από την κάλυψη σε δένδρα, από την απόσταση και τον τρόπο τοποθέτησης μεταξύ τους και την ομοιομορφία τους. Το ύψος μπορεί να φθάσει και τα 100.0 m που την κάνει διακριτή από απόσταση αρκετών χιλιομέτρων, Σχήμα 2.1. Η οπτική αισθητική επίδραση, είναι κάπως έντονη σε περιπτώσεις εγκαταστάσεων με μεγάλη διάμετρο πτερωτής σε σχετικά κλειστές περιοχές.



Σχήμα 2.1 Ανεμογεννήτριες και αισθητική παρέμβαση.

Οι μηχανές θα πρέπει να μην είναι ατάκτως τοποθετημένες αλλά σε γεωμετρικά ή γραμμικά σύνολα, όπου έχουν ληφθεί υπόψη η διεύθυνση, το χρώμα, το ύψος, η διάμετρος του δρομέα. Πολλές φορές είναι κατάλληλη η τοποθέτηση των σε υποσύνολα που το καθένα ξεχωρίζει ως μία αυτόνομη σύνθεση.

2.3.2 Θόρυβος

Ο θόρυβος προκαλείται από τα μηχανικά μέρη του συστήματος, δηλαδή από την περιστροφή των πτερυγίων, από το συριγμό της ηλεκτρογεννήτριας, από το κιβώτιο μετάδοσης και τα έδρανα στήριξης. Η στάθμη του θορύβου περιστροφής αυξάνεται με τη διάμετρο, τη μείωση του αριθμού των πτερυγίων, τη μεγαλύτερη ταχύτητα των ακροπτερυγίων και την αεροδυναμική φόρτιση των πτερυγίων, την αύξηση δηλ. της απορροφημένης ισχύος. Παράλληλα ο θόρυβος από την τυρβώδη ροή συνδέεται με το στροβιλισμό στο χείλος του απόρρου των ακροπτερυγίων αλλά και με το γενικό πεδίο τύρβης κατάντη του δρομέως. Οι μεγάλες μηχανές επειδή έχουν χαμηλό ρυθμό περιστροφής εκπέμπουν την μέγιστη ακουστική ενέργεια στην υποηχητική ακτίνα εκπομπής. Για τις μικρότερες, η μέγιστη τιμή εκτείνεται στην χαμηλή συχνότητα εκπομπής. Η ενέργεια των ηχητικών κυμάτων και συνεπώς η οξύτητα του ήχου μειώνεται με το τετράγωνο της απόστασης από την ηχητική πηγή. Ένας δρομέας παράγει 100.0 dB σε απόσταση 43.0 m από τη βάση της Α/Γ. Ο αεροδυναμικός θόρυβος πρέπει να αντιμετωπιστεί κατά το στάδιο του σχεδιασμού και κατασκευή της μηχανής. Για να μειωθεί ο θόρυβος τύρβης πρέπει να ελαττωθεί η ταχύτητα των ακροπτερυγίων, που όμως μειώνει και την αποδιδόμενη ισχύ.

2.3.3 Ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση

Η λειτουργία των μηχανών προκαλεί ηλεκτρομαγνητικά πεδία στον γύρω χώρο. Υπάρχει επίσης η αλληλεπίδραση λόγω της ανάκλασης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια του δρομέα. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού χρησιμοποιούνται νέα, σύνθετα πλαστικά υλικά που μειώνουν την δυνατότητα παρεμβολών.

2.3.4 Επιπτώσεις στην υγεία και την ασφάλεια

Πέραν των προηγουμένως αναφερθέντων, υπάρχει και το πρόβλημα από την εγκατάσταση γραμμών μεταφοράς του παραγόμενου ηλεκτρισμού που θα πρέπει να γίνεται μακριά από κατοικημένες περιοχές λόγω πιθανών κινδύνων στην υγεία. Σε πιθανή εγκατάσταση μέσα ή πλησίον κατοικημένων περιοχών υπάρχει ο κίνδυνος να εκσφενδονιστούν τμήματα των πτερυγίων του δρομέως και να θέσουν σε κίνδυνο την ζωή των ανθρώπων.

2.3.5 Επιπτώσεις σε απρόσιτα μέρη

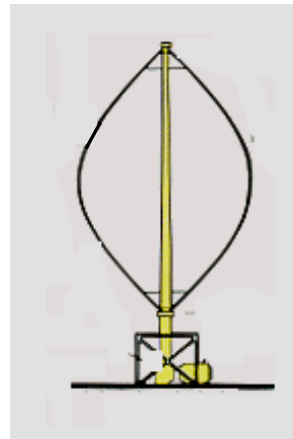
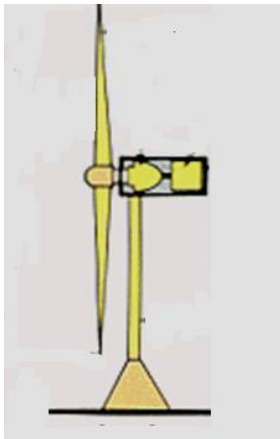
Η εγκατάσταση μεγάλων και πολλών ανεμογεννητριών απαιτεί σημαντική παρέμβαση στο περιβάλλον και υποχρεωτικώς συνοδεύεται με διάνοιξη νέων δρόμων, εγκατάσταση γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος, κυκλοφορία οχημάτων και προσωπικού συντήρησης. Απαιτείται συντονισμένη προσπάθεια ώστε να μειωθούν αυτές οι αλλαγές στον χώρο. Σε διαφορετική περίπτωση, υπάρχει σοβαρός κίνδυνος οι επιδράσεις αυτές να είναι και καταστροφικές και να οδηγήσουν σε μεταμόρφωση του τοπίου.

3. Ανεμογεννήτριες

3.1 Τύποι ανεμογεννητριών

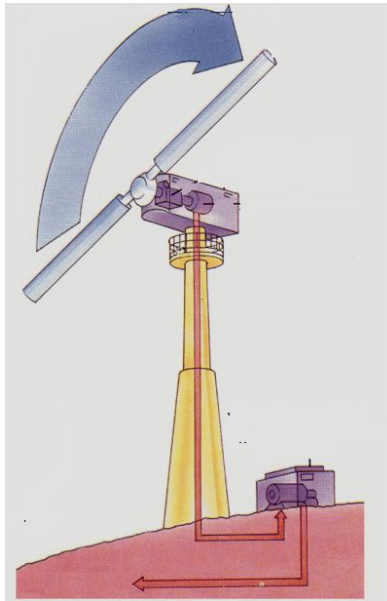
Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο Αιολικό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της, www.hellasres.gr. Υπάρχουν πολλών ειδών Α/Γ οι οποίες κατατάσσονται σε δύο βασικές κατηγορίες,

- Οριζοντίου άξονα, των οποίων ο δρομέας είναι τύπου έλικα και βρίσκεται συνεχώς παράλληλος με την κατεύθυνση του ανέμου και του εδάφους, Σχήμα 3.1 (αριστερά).
- Κατακόρυφου άξονα, ο οποίος παραμένει σταθερός και είναι κάθετος προς την επιφάνεια του εδάφους, Σχήμα 3.1 (δεξιά) <http://windturbine-analysis.com>.



Σχήμα 3.1 Ανεμογεννήτριες οριζοντίου (αριστερά) και κατακόρυφου άξονα (δεξιά).

Η απόδοση της μηχανής εξαρτάται από το μέγεθος της και την 3η δύναμη της ταχύτητας του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από 10.0^2 W μέχρι 10.0^6 W. Οι τυπικές διαστάσεις των 0.5 MW εγκατεστημένης ισχύος είναι, διάμετρος δρομέα, 40.0 m και ύψος στηρίξεως 40.0 - 50.0 m. Παρόλο που δεν υφίσταται κανένας καθοριστικός λόγος, στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι μηχανές οριζοντίου άξονα, με 2 ή 3 πτερύγια δρομέως, Σχήμα 3.2. Μια τυπική Α/Γ οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη,



Σχήμα 3.2 Δομή ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα με 2 πτερύγια.

- Το δρομέα, που αποτελείται από πολλαπλά πτερύγια. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω στην πλήμνη είτε σταθερά είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονα της μεταβάλλοντας το βήμα.

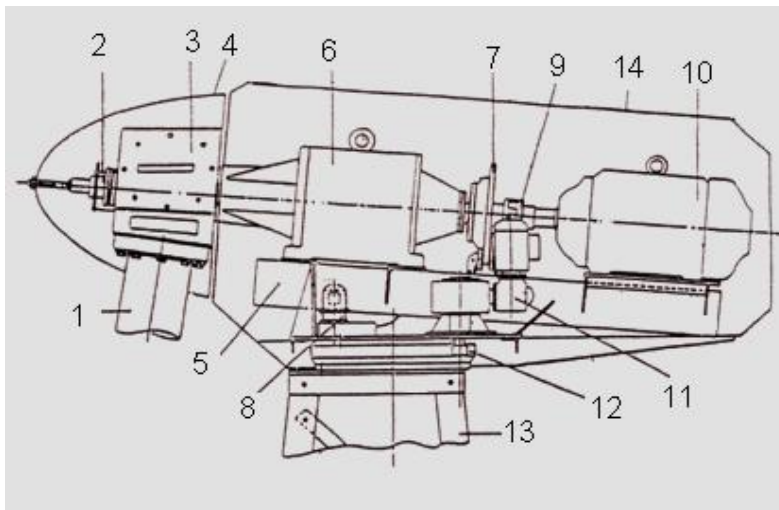
- Το σύστημα μετάδοσης της κινήσεως, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα του και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής.
- Την ηλεκτρική γεννήτρια, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή μέσω ενός ελαστικού ή υδραυλικού συνδέσμου και μετατρέπει τη μηχανική ενέργεια σε ηλεκτρική και βρίσκεται συνήθως πάνω στον πύργο. Υπάρχει και το σύστημα πέδης το οποίο είναι ένα συνηθισμένο δισκόφρενο που τοποθετείται στον κύριο άξονα περιστροφής.
- Το σύστημα προσανατολισμού, που αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με τη διεύθυνση του ανέμου.
- Τον πύργο, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση. Ο πύργος είναι συνήθως σωληνωτός ή δικτυωτός και σπανίως από οπλισμένο σκυρόδεμα.
- Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει και ελέγχει όλες τις λειτουργίες για την απρόσκοπτη λειτουργία, <http://ape.chania.teicrete.gr>.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να ομαδοποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως,

- Συνδεδεμένες σε μεγάλα ηλεκτρικά δίκτυα.
- Συνδεδεμένες σε υβριδικά ενεργειακά συστήματα που συνδυάζονται με άλλες ενεργειακές πηγές.

- Αυτόνομα συστήματα για άντληση ύδατος, φόρτιση μπαταριών, θέρμανση, κ.ά.

Σχηματικά περιγράφεται παρακάτω μια μηχανή του τύπου “*BW 10*” η οποία είναι σχεδιασμένη για να παρέχει ρεύμα για την εξυπηρέτηση εγκαταστάσεων που η σύνδεσή τους με το δίκτυο της ΔΕΗ δεν είναι δυνατή. Στο Σχήμα 3.3 φαίνεται η γενική μορφή της ατράκτου, η οποία αποτελείται από τα εξής μέρη, <http://en.wikipedia.org>,



Σχήμα 3.3 Γενική μορφή της ατράκτου.

- | | |
|---|---|
| 1) πτερύγιο | 5) πλαίσιο ατράκτου |
| 2) φυγοκεντρικός μηχανισμός
αεροδυναμικού φρένου | 6) κιβώτιο πολλαπλασιασμού |
| 3) πλήμνη | 7) δισκόφρενο |
| 4) κάλυμμα πλήμνης | 8) υδραυλική μονάδα ελέγχου του
φρένου |

9) ελαστικός σύνδεσμος

10) γεννήτρια.

11) μονάδα προσανετισμού
ατράκτου.

12) τράπεζα ολισθήσεως

13) πυλώνας

14) κάλυμμα ατράκτου

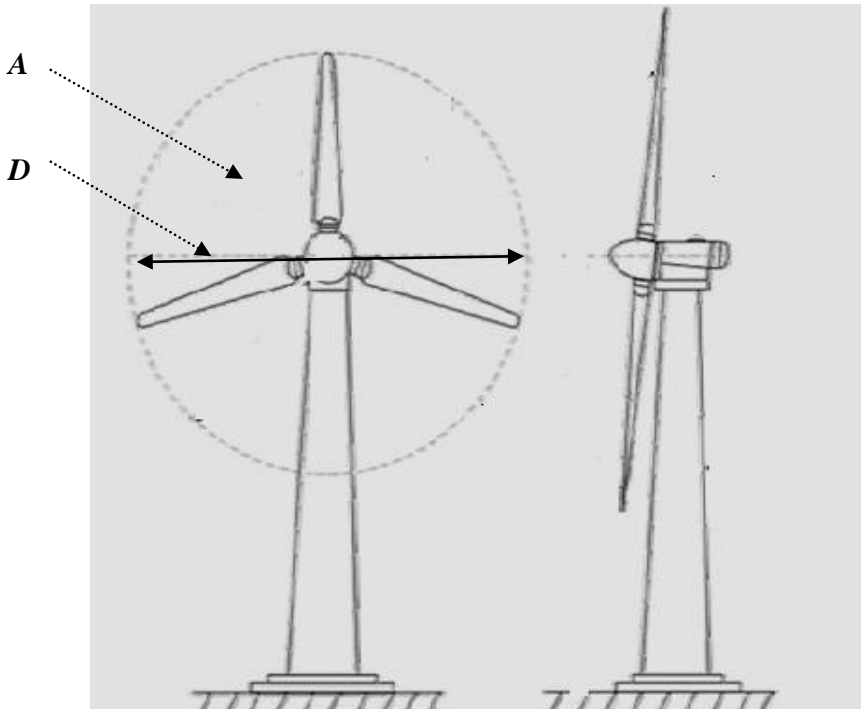
3.2 Αρχές λειτουργίας

Στις αρχές λειτουργίας των ανεμογεννητριών ενυπάρχουν τρεις βασικοί νόμοι. Αυτοί αναφέρονται ως προς την διαθέσιμη από τον άνεμο ενέργεια και την απόδοση λειτουργίας των μηχανών αυτών.

Ο 1ος νόμος δηλώνει ότι η παραγόμενη από τον άνεμο ισχύς I είναι ανάλογη της 3ης δυνάμεως της ταχύτητας του ανέμου, V . Η ισχύς του ανέμου σε χαμηλές ταχύτητες είναι πολύ μικρή. Τα δεδομένα της ταχύτητας του ανέμου θα πρέπει να είναι διαθέσιμα μετά από ακριβή και λεπτομερή καταμέτρηση αυτών για μια συγκεκριμένη περιοχή ώστε να είναι δυνατό να υπολογιστεί με ακρίβεια το επίπεδο της ενεργειακής παραγωγής. Οι μηχανές θα πρέπει να σχεδιαστούν και να διαστασιολογηθούν ακριβώς για την περιοχή αυτή.

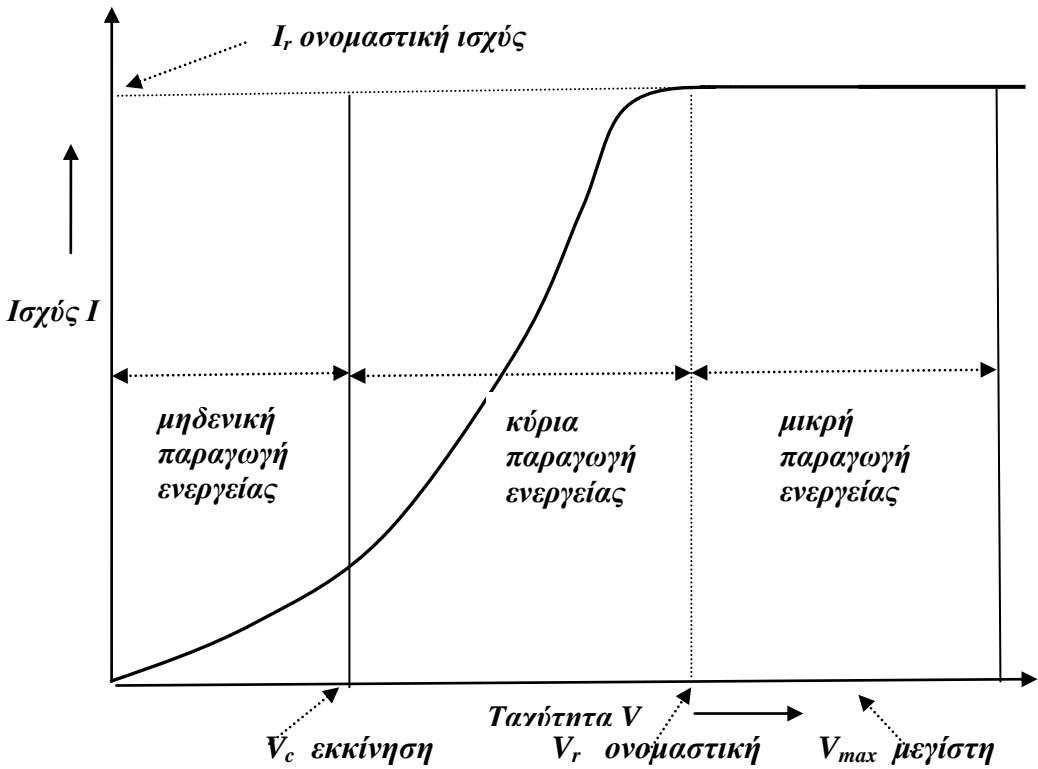
Ο 2ος νόμος δηλώνει ότι η διαθέσιμη ισχύς είναι ανάλογη της επιφανείας A που σαρώνουν οι πτέρυγες, είναι δηλ. ανάλογη του τετραγώνου της διαμέτρου D της πτέρυγας, Σχήμα 3.4, δηλ. $A = \pi D^2/4$.

Ο 3ος νόμος δηλώνει ότι υπάρχει μια μέγιστη θεωρητική απόδοση C_p που είναι 59.0 %. Στην πραγματικότητα οι περισσότερες μηχανές έχουν χαμηλότερο συντελεστή ισχύος, C_p . Οι καλύτερες μηχανές έχουν αποδόσεις της τάξεως 36.0 - 40.0 %.



Σχήμα 3.4 Διάταξη Α/Γ σε 2 τομές. Διάμετρος D και επίπεδο σαρώσεως A .

Οι μηχανές σχεδιάζονται να λειτουργούν σε συγκεκριμένες τιμές ταχύτητας ανέμου. Στο Σχήμα 3.5, V_c είναι η ταχύτητα εμπλοκής ή εκκινήσεως και είναι περίπου $4.0 - 6.0 \text{ m/s}$ στην οποία ο δρομέας ξεκινά να παράγει ισχύ. Κάτω από αυτή την ταχύτητα υπάρχει μικρή ενέργεια E ανέμου και δεν δύνανται να υπερκραστούν οι τριβές εκκινήσεως του συστήματος.



Σχήμα 3.5 Διάγραμμα ισχύος I και ταχύτητας V ανέμου.

Η V_r (*rated*) είναι η ταχύτητα λειτουργίας ή ονομαστική όπου η μηχανή φθάνει στην ισχύ σχεδιασμού.

Η ισχύς σχεδιασμού ή ονομαστική ισχύς είναι η I_r και αναπτύσσεται με την ονομαστική ταχύτητα. Η καμπύλη ισχύος I και ταχύτητας V του ανωτέρω σχήματος είναι τυπική. Η μηχανή ακολουθεί την καμπύλη της ισχύος μέχρι το μέγιστο της ισχύος I_r και ρυθμίζεται να παράγει σταθερή ισχύ μέχρι του να τεθεί εκτός λειτουργίας.

Η ταχύτητα αποκοπής, δηλ. η ανωτάτη ταχύτητα λειτουργίας V_{max} , είναι η τιμή της ταχύτητος όταν η μηχανή τίθεται εκτός λειτουργίας. Αυτή η ταχύτητα καθορίζεται από την ικανότητα της συγκεκριμένης μηχανής να αντέχει στην καταπόνηση σ' εκείνη την ταχύτητα του ανέμου.

Από το διάγραμμα λειτουργίας της Α/Γ, Σχήμα 3.5, είναι προφανές ότι η ισχύς I (W) που αναπτύσσεται είναι, Πίνακας 3.1,

Πίνακας 3.1 Διάγραμμα λειτουργίας ανεμογεννητριάς.

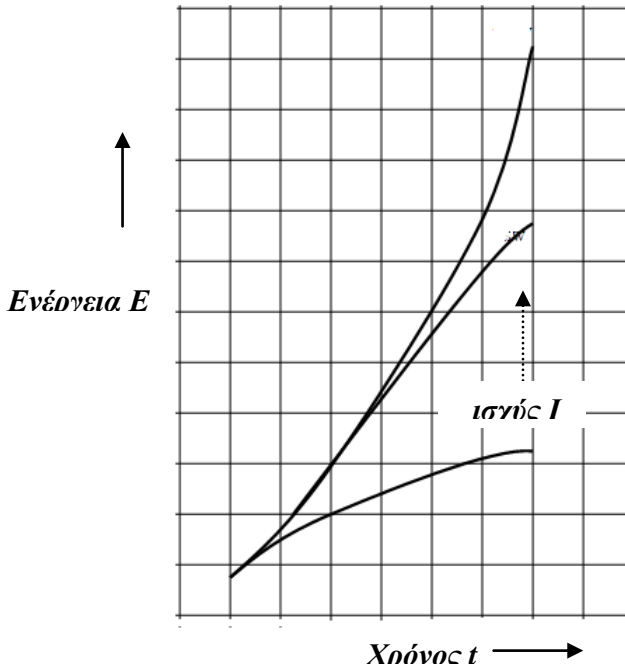
0	αν $V < V_c$
$I = n C_p(\lambda) \ 1/2 \ \rho A V^3$	αν $V_c < V < V_r$
I_r	αν $V_r < V < V_{max}$
0	αν $V > V_{max}$

Στην ανωτέρω εξίσωση $n = n_{μηχ} \ n_{γεν}$ είναι ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως της μηχανής, με $n_{μηχ}$ την απόδοση λειτουργίας λόγω τριβών του άξονος περιστροφής και $n_{γεν}$ το βαθμό αποδόσεως της γεννητριάς, ενώ $C_p(\lambda)$ είναι ο συντελεστής ισχύος εξαρτώμενος από τον λ τον αριθμό δηλ. της ταχυστροφίας, ιδέ Κεφάλαιο 6. Από τις ανωτέρω εξισώσεις είναι δυνατή η παραγωγή της ενεργείας εκ της μηχανής.

Σε τιμές ταχύτητος μικρότερες της ταχύτητος εκκινήσεως είναι προφανές ότι ουδεμία ενέργεια παράγεται. Η κυρίως ενέργεια παράγεται μεταξύ της ταχύτητος εκκινήσεως και της ονομαστικής ταχύτητος. Στην περιοχή αυτή ευρίσκονται μέσου μεγέθους ταχύτητες αλλά έχουν μεγάλη πιθανότητα χρονικών

εμφανίσεων. Σε τιμές ταχύτητας πέραν της ονομαστικής η ενέργεια είναι πάρα πολύ μικρή διότι ναι μεν η ταχύτητα είναι μεγάλη αλλά η πιθανότητα εμφανίσεων τέτοιων τιμών είναι πολύ μικρή.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας σχετίζεται με την μέση ταχύτητα του ανέμου. Αυξανόμενης όμως της εγκατεστημένης ισχύος της μηχανής η ετησία παραγωγή αυξάνεται, Σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας E ως συνάρτηση του χρόνου t για αυξανόμενες τιμές εγκατεστημένης ισχύος I .

3.3 Τα μέρη μιας ανεμογεννήτριας

Ακολουθεί, <http://windturbineanalysis.com> μια αναλυτική περιγραφή των τμημάτων μιας Α/Γ.

3.3.1 Δρομέας

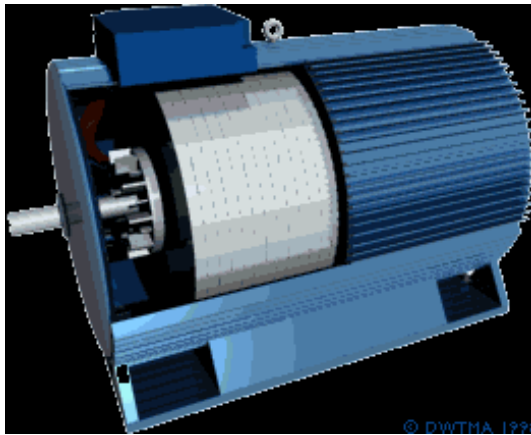
Το πλέον διακριτό τμήμα μιας ανεμογεννήτριας είναι ο δρομέας με τα πτερύγια που μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ανέμου σε περιστροφική ενέργεια στον άξονα περιστροφής. Οι σύγχρονες μηχανές αναπτύσσουν κατά την λειτουργία τους αερο-δυναμική άντωση λόγω της ροής του αέρα. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς η επιτάχυνση της ροής στο κυρτό τμήμα της πτέρυγος (επιφάνεια υποπίεσεως), προκαλεί διαφορά πίεσεως με το κοίλο τμήμα (επιφάνεια πίεσεως) όπου η ροή επιβραδύνεται, (Σούλης, 1993 μ.Χ., “Υδραυλικά Στροβιλομηχαναί Α! Τόμος, Υδροστρόβιλοι”), ιδέ Παράγραφο 6.5. Το μέγεθος των ποικίλλει από διάμετρο $D = 60.0 \text{ cm}$ και ονομαστική ισχύ $I_r \sim 50.0 \text{ W}$ έως διάμετρο $D = 60.0 \text{ m}$ και ισχύ $I_r \sim 3.0 \text{ MW}$ ή και περισσότερο. Οι πτέρυγες του δρομέα έχουν σχεδιαστεί να γυρίζουν με τον άνεμο, περιστρέφοντας την γεννήτρια, Σχήμα 3.7. Υπάρχει το κιβώτιο των ταχυτήτων για να αυξήσει την συχνότητα του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος. Για την κατασκευή των πτερύγων χρησιμοποιείται ένα ευρύ φάσμα υλικών. Οι μεγάλες μηχανές σχεδιάζονται συνήθως με 2 πτερύγια, ενώ με 3 πτερύγια σχεδιάζονται μηχανές εγκατεστημένης ισχύος κάτω από 500.0 W . Η ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων είναι περίπου αντιστρόφως ανάλογος με την διάμετρο του δρομέως, ώστε η προκύπτουσα γραμμική ταχύτητα $U \text{ (m/s)}$ του άκρου της πτέρυγας να είναι μεταξύ των τιμών ταχύτητας από 50.0 έως 100.0 m



Σχήμα 3.7 Δρομέας ανεμογεννήτριας με 3 πτερύγια.

3.3.2 Γεννήτρια

Παράγει τον ηλεκτρισμό όταν υπάρχει ικανοποιητική ταχύτητα του ανέμου για να περιστραφούν τα πτερύγια. Σχήμα 3.8. Υπάρχουν δύο είδη γεννητριών, η σύγχρονη και η ασύγχρονη γεννήτρια. Η τελευταία υπερτερεί στο ότι είναι απλή κατασκευαστικά και συνδέεσαι εύκολα στο δίκτυο, ενώ το γεγονός ότι χρειάζεται ρεύμα μαγνητίσεως από το δίκτυο δημιουργεί προβλήματα όταν η ισχύς της είναι συγκρίσιμη με του ηλεκτρικού δικτύου. Οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την φόρτιση μπαταριών. Υπάρχει και η μονάδα ελέγχου που συγχρονίζει το ρεύμα που παράγεται από την γεννήτρια με την ζήτηση ισχύος από το δίκτυο και το επίπεδο του ανέμου. Τέλος, υπάρχει η ανάγκη να μεταφερθεί το ηλεκτρικό ρεύμα στο σημείο συνδέσεως με το δίκτυο το οποίο μπορεί να βρίσκεται αρκετά χιλιόμετρα μακριά.



Εικόνα 3.8 Γεννήτρια μιας ανεμογεννήτριας.

3.3.3 Σύστημα διεύθυνσεως

Οι μηχανές οριζοντίου άξονα απαιτούν ένα μηχανισμό ο οποίος να τις φέρνει ώστε το επίπεδο που σαρώνει ο δρομέας να είναι κάθετο στην κατεύθυνση του ανέμου, Σχήμα 3.9. Οι μικρές έχουν έναν τέτοιο μηχανισμό στο ουραίο τμήμα, ενώ οι μεγάλες έχουν συνήθως έναν σερβομηχανισμό που τις προσανατολίζει ώστε να παράγουν την μέγιστη ισχύ σχεδιασμού τους.



Σχήμα 3.9 Σύστημα διεύθυνσεως.

3.3.4 Σύστημα προστασίας

Οι σύγχρονες μηχανές είναι εξοπλισμένες με μηχανισμό που τις θέτει εκτός λειτουργίας ώστε να μην υποστούν καταστροφικές δράσεις από υπερβολικά μεγάλες ταχύτητες ανέμων. Υπάρχουν πολλοί τρόποι ακινητοποίησης του δρομέα σε περίπτωση υπερβολικά μεγάλης ταχύτητος ανέμου όπως,

- η μεταβολή του βήματος του πτερυγίου,
- η ενεργοποίηση της αεροπέδης στο ακροπτερύγιο,
- η στροφή του δρομέα παράλληλα με τον άνεμο,
- η πέδηση του άξονα.

Ο προτιμότερος τρόπος ακινητοποίησης της γεννήτριας είναι η σταδιακή μείωση των αεροδυναμικών φορτίσεων στη μηχανή με παράλληλη αύξηση αντιρροπής. Έτσι, επιτυγχάνεται αποφυγή δημιουργίας κρουστικών φορτίων κατά την πέδηση, η οποία γίνεται με δισκόφρενο ασφαλείας.

3.3.5 Πυλώνας στηρίξεως

Ο πυλώνας επιτρέπει στα πτερύγια να βρίσκονται κατά το δυνατόν υπεράνω των τυρβωδών ρευμάτων του ανέμου. Περαιτέρω δεσμεύει ανέμους με μεγάλη ταχύτητα. Ο σχεδιασμός του ύψους είναι κρίσιμος διότι θα πρέπει να είναι αρκετά υψηλός αλλά και οικονομικός για το όλο κόστος του συστήματος. Το εύρος συχνοτήτων των πτερύγων να μην συμπίπτει με την συχνότητα συν-τονισμού του πύργου. Είδη πυλώνων είναι ο τύπου δικτυώματος και ο σωληνωτός.

- Πιο εύκολος στην επιτόπου συναρμολόγηση είναι ο τύπος δικτυώματος, ενώ παράλληλα είναι ελαφρύτερος, φθηνότερος και προτιμάται για την εγκατάσταση μικρών μονάδων.

- Ο σωληνωτός είναι αισθητικά προτιμότερος, ενώ το εσωτερικό του μπορεί να αποτελεί θάλαμο στέγασης όλων των οργάνων. Παρουσιάζεται όμως δυσκολία στην μεταφορά του και στην ανέγερση του, ενώ πρέπει να συγκολληθεί στον τόπο εγκαταστάσεως του. Αυτός ο τύπος προτιμάται για μεγάλες μηχανές.

Ο πυλώνας στηρίξεως είναι μια ειδική κατασκευή το ύψος του οποίου καθορίζεται από την ανάγκη να βρίσκεται μέσα στην οριακή στοιβάδα του ανέμου. Πρέπει δηλ. να αντέχει την αύξηση της ροπής στην βάση του. Η θεμελίωση του συνεπώς θα πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να αντέχει στη ροπή κάμψεως αλλά και στις αναπτυσσόμενες ταλαντώσεις που αναπτύσσονται από την συχνότητα περιστροφής του δρομέως.