

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ Α.Π.Ε.
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ



ΑΛΥΚΑΡΙΔΗΣ ΑΝΤΩΝΗΣ

Α.Μ. 3876

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Επιβλέπων Καθηγητής: Πλοκαμάκης Γεώργιος

ΤΕΙ Κρήτης

Παράρτημα Χανίων - Τμήμα Ηλεκτρονικής

ΜΑΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με τον όρο ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Α.Π.Ε.) ή ήπιες μορφές ενέργειας, εννοούμε φυσικές διαθέσιμες μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που υπάρχουν στο φυσικό περιβάλλον και προέρχονται από διάφορες φυσικές διαδικασίες όπως ο άνεμος, η γεωθερμία, η κυκλοφορία του νερού και άλλες οι οποίες ανανεώνονται συνεχώς. Ως «ανανεώσιμες πηγές» θεωρούνται γενικά οι εναλλακτικές των παραδοσιακών πηγών ενέργειας (π.χ. του πετρελαίου ή του άνθρακα), όπως η ηλιακή και η αιολική. Οι Α.Π.Ε. ουσιαστικά έχουν μελετηθεί ως λύση στο πρόβλημα της εξάντλησης των αποθεμάτων των ορυκτών καυσίμων επειδή είναι φιλικές προς το περιβάλλον. Τα τελευταία χρόνια που το ενεργειακό πρόβλημα ολοένα και αυξάνεται, πολλές γνωστές εταιρίες στο τομέα του περιβάλλοντος και των βιομηχανικών ηλεκτρονικών, στράφηκαν στην εκμετάλλευση των Α.Π.Ε. για την εξοικονόμηση της ενέργειας.

Τα πρώτα κεφάλαια της εργασίας ασχολούνται με το αιολικό δυναμικό και γενικότερα με την αιολική ενέργεια.

Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου από τον άνθρωπο αποτελεί μια πρακτική που βρίσκει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Η χώρα μας διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό σε αρκετές περιοχές της χώρας (Κρήτη, Εύβοια, Πελοπόννησος, νησιά Αιγαίου).

Στη συνέχεια των κεφαλαίων θα ασχοληθούμε και θα εμβαθύνουμε στους τύπους και τα χαρακτηριστικά των ανεμογεννητριών, στην ενεργειακή τους απόδοση καθώς και στην δομή τους. Οι ανεμογεννήτριες είναι οι μηχανές οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική ενέργεια, χρησιμοποιούνται είτε για την πλήρη κάλυψη είτε για την συμπλήρωση των ενεργειακών αναγκών. Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) ιδρύθηκε το 1987 με στόχο την προώθηση της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την εφαρμοσμένη έρευνα των συστημάτων εκμετάλλευσης τους.

Η αιολική ενέργεια είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή ενέργειας. Η εκμετάλλευση του υψηλού της δυναμικού στη χώρα μας, σε συνδυασμό με τη ραγδαία ανάπτυξη των τεχνολογιών που ενσωματώνεται στις σύγχρονες αποδοτικές ανεμογεννήτριες, έχει τεράστια σημασία για τη βιώσιμη ανάπτυξη, την εξοικονόμηση ενεργειακών πόρων, την προστασία του περιβάλλοντος και την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής.

Στο ισχύον νομοθετικό πλαίσιο για την Ελλάδα έχουν γίνει κάποια βήματα προόδου όμως είμαστε αρκετά μακριά σε σχέση με τα αντίστοιχα ευρωπαϊκά. Ένα νομοθετικό πλαίσιο δέν θα πρέπει να λειτουργεί ως ανασταλτικός παράγοντας αλλά ως παράγοντας ανάπτυξης.

Abstract

The term renewable sources of energy or mild energy sources signifies the natural energy sources that are available in the environment and derive from natural procedures such as wind, geothermal energy, hydropower and others that constantly rejuvenate. We consider as "renewable sources" those that differ from the traditional energy sources (e.g. oil, anthrax) such as solar and wind energy. These renewable energy sources have mostly been studied as a solution to the exhaustion of fossil fuels resources as well as for being friendlier to the environment. Since in the last couple of years the energy issue becomes more and more severe a vast number of well established companies from the environment and electrical industry have turned to these sources as a means of reducing energy consumption.

In the first chapters of this assignment we shall address the capability and potential of the wind energy.

The practice of exploiting the possibilities offered by wind energy has its roots in ancient times. Our country has an exceptionally high wind capacity in various parts of its land (Crete, Evoia, Peloponnesus, islands of the Aegean).

In the following chapters we shall gain insight into the types and characteristics of wind generators, their energy efficiency as well as their structure. Wind turbines are engines specifically designed to transform wind power into electricity and are commonly used to assist or fully cover a country's energy needs.

The Centre for Renewable Energy Sources and Saving (CRESS) was founded in 1987 with the aim to promote the use of renewable sources of energy and support the scientific research around energy system operators.

Wind power is practically an unlimited source of energy. To make use of this great wind potential this country has to offer in addition to the rapid growth of technology encompassed today in the modern wind turbines is of vital importance to energy growth, conservation of energy sources, protecting the environment and facing climate change.

There have been some steps forward in the current Greek legislation but we are still far behind the respective European ones. The legislation system should not act as drawback but as a development agent.

Πίνακας Περιεχομένων

Περιεχόμενα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι Αιολικό δυναμικό	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ Γενικά για την αιολική ενέργεια	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ Τύποι και χαρακτηριστικά Α/Γ	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙV Ενεργειακή απόδοση	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ V Σύγχρονες και ασύγχρονες ανεμογεννήτριες.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI Κ.Α.Π.Ε.	114
ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII Έρευνα αγοράς - Γλωσσάρι όρων - Νομοθεσία	146
Βιβλιογραφία.....	183

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

1.1 Γενικά για την ατμόσφαιρα

Ο χώρος μέσα στον οποίο δημιουργούνται τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα είναι η ατμόσφαιρα, η οποία ορίζεται ως το σφαιροειδές αέριο περίβλημα που περικλείει ένα ουράνιο σώμα. Οι δυνάμεις που την συγκρατούν σε υδροστατική ισορροπία γύρω από το σώμα αυτό είναι οι βαρυτικές δυνάμεις του πλανήτη. Οι διάφορες διαταραχές και τα φαινόμενα που αυτές συνεπάγονται, οφείλονται σε μικρές αποκλίσεις από αυτήν την κατάσταση ισορροπίας.

Το μείγμα των αερίων που συνιστούν την ατμόσφαιρα της γης εκτείνεται μέχρι ύψους 800 με 1000 km από την επιφάνεια του εδάφους με μεγαλύτερο ύψος (ή βάθος) στον ισημερινό και μικρότερο στους πόλους. Τα συνιστώμενα αέρια είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένα στο ύψος αυτό με τρόπο ώστε το 99,9% της ολικής μάζας της ατμόσφαιρας να βρίσκεται στα πρώτα 50 km και το 0,099% στην περιοχή μεταξύ 50 και 100 km ύψος.

Τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας, εκτός από την σύνθεση της είναι η θερμοκρασία, η πίεση και η πυκνότητα. Τα χαρακτηριστικά αυτά υπόκεινται σε σημαντικές μεταβολές που εξαρτώνται από το υψόμετρο, την ώρα, την ηλιακή επίδραση (δηλαδή την εποχή) και άλλους παράγοντες.

Η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται από ένα ελάχιστο -138°C που μετρήθηκε σε ύψος 85 km, μέχρι ένα μέγιστο σε περιόδους μέγιστης ηλιακής επίδρασης 1227°C σε ύψη μεγαλύτερα των 400 km. Τα αέρια της θερμόσφαιρας είναι όλο και περισσότερο λεπτότερα απ'ό, τι στη μεσόσφαιρα.

Υπό αυτήν τη μορφή, η εισερχόμενη υψηλής ενέργειας υπεριώδης ακτίνα και η των ακτίνα X από τον ήλιο, απορροφάται από μόρια σε αυτό το στρώμα, προκαλώντας μια μεγάλη αύξηση θερμοκρασίας.

Λόγω αυτής της απορρόφησης, η θερμοκρασία αυξάνεται με το ύψος και μπορεί να φθάσει τόσο σε υψηλό όσο 1227°C κοντά στην κορυφή αυτού του στρώματος εντούτοις, παρά την υψηλή θερμοκρασία, σε αυτό το στρώμα της ατμόσφαιρας θα αισθανόμασταν ακόμα πολύ κρύο στο δέρμα μας λόγω του εξαιρετικά λεπτού αέρα. Το συνολικό ποσό της ενέργειας από τα πολύ λίγα μόρια σε αυτό το στρώμα δεν είναι αρκετό ώστε να θερμάνει το δέρμα μας.

Η πίεση της ατμόσφαιρας που εξαρτάται από το ολικό βάρος του αέρα που βρίσκεται από πάνω της, μειώνεται προοδευτικά καθώς το ύψος αυξάνει. Πιο συγκεκριμένα, ενώ στην επιφάνεια της θάλασσας έχει μια μέση τιμή 760 mmHg, σε ύψος 100 km πέφτει στα $2,26 \cdot 10^{-4}$ mmHg, στα $1,00 \cdot 10^{-6}$ mmHg στο ύψος των 200 km και ούτω καθ' εξής.

Η πυκνότητα της ατμόσφαιρας μειώνεται με την αύξηση του υψόμετρου. Στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας βρίσκεται μια τιμή $1,226 \text{ kg/m}^3$ ενώ στα 100 km η μέση πυκνότητα είναι μόνο $4,97 \cdot 10^{-7} \text{ kg/m}^3$ και στα 200 km έχει μειωθεί στα $3,32 \cdot 10^{-10} \text{ kg/m}^3$.

Τμήμα	Ιδιότητες - Χαρακτηριστικά
Τροπόσφαιρα 0 - 12 Km	Το 75 % της μάζας της ατμόσφαιρας βρίσκεται στην τροπόσφαιρα. Η πίεση του αέρα ελαττώνεται εκθετικά με την αύξηση του ύψους. Η θερμοκρασία μεταβάλλεται κατά ~ 6,5 °C / km από 20 °C στο έδαφος μέχρι -55 °C στο ανώτερο όριο. Η ποσότητα του οξυγόνου ελαττώνεται με το ύψος.
Τροπόπαυση (Ισημερινός 17 km, Πόλοι 7 km)	Είναι το λεπτό στρώμα που χωρίζει την τροπόσφαιρα από την στρατόσφαιρα. Το ύψος της μεταβάλλεται ανάλογα με την εποχή και το γεωγραφικό πλάτος. Μεγαλύτερη τιμή έχει στο τέλος του καλοκαιριού και μικρότερη στο τέλος του χειμώνα. Στους πόλους η θερμοκρασία μπορεί να φτάσει και τους -85 °C.
Στρατόσφαιρα 12 - 50 Km	<p>Η ονομασία προέρχεται από την κατά στρώματα διάταξη των αερίων που την αποτελούν (είναι διατεταγμένα ανάλογα με το ειδικό τους βάρος). Υπάρχουν υδρατμοί σε ελάχιστη ποσότητα και στα κατώτερα στρώματα επικρατεί το όζον (οζονόσφαιρα). Η θερμοκρασία παραμένει σχεδόν σταθερή για μερικά χιλιόμετρα πάνω από την τροπόπαυση και αρκετά κάτω από το μηδέν, ενώ στη συνέχεια αυξάνεται βαθμιαία (-55 έως 0 °C).</p> <p>Η θερμική αυτή αναστροφή, η οποία οφείλεται στη θέρμανση της περιοχής από το όζον και στην ψύξη από το CO₂, εμποδίζει την είσοδο μεγάλων μαζών τροποσφαιρικού αέρα μέσα στην στρατόσφαιρα.</p>

<p>Μεσόσφαιρα 50 - 80 km</p>	<p>Είναι η περιοχή που εκτείνεται πάνω από την στρατόσφαιρα, έως τα 80 χιλιόμετρα. Στην περιοχή αυτή η θερμοκρασία ελαττώνεται βαθμιαία με το ύψος (0 έως -100 °C). Κοντά στη μεσόπαιση δημιουργούνται συχνά αραιά νέφη, τα οποία πιστεύεται ότι αποτελούνται από παγοκρυστάλλους και είναι ορατά από επίγειο παρατηρητή.</p>
<p>Θερμόσφαιρα 80 - 500 km</p>	<p>Από θερμική άποψη αντιπροσωπεύει το εξώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας. Η θερμοκρασία της θερμόσφαιρας καθορίζεται από την ηλιακή δραστηριότητα και παρατηρείται βαθμιαία αύξησή της (-100 έως και πάνω από 1000 °C) μέχρι τα 300 περίπου χιλιόμετρα. Από την άποψη της απορρόφησης της υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) διακρίνεται μια περιοχή η οποία ονομάζεται ιονόσφαιρα και περιλαμβάνεται σε ύψος περίπου 60 - 400 χιλιόμετρα.</p>
<p>Εξώσφαιρα > 400 km</p>	<p>Πέρα από την ιονόσφαιρα εκτείνεται η εξώσφαιρα, η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλη διασπορά των αερίων και από πολύ υψηλές θερμοκρασίες (~1250 °C) και της οποίας δεν είναι γνωστό το ανώτερο υψομετρικό όριο.</p>

Στις επιφάνειες διαχωρισμού αυτών των στρωμάτων δίνονται ιδιαίτερες ονομασίες, για παράδειγμα τροπόσφαιρα και στρατόσφαιρα, στρατόσφαιρα και μεσόσφαιρα κ.ο.κ. Ο διαχωρισμός αυτός φτάνει μέχρι τα 500 περίπου χιλιόμετρα ύψους πέρα από τα οποία εκτείνεται η εξώσφαιρα. Σε ύψη μεγαλύτερα των 60 km (μέχρι τα 400 km) παρατηρείται ιονισμός των συστατικών της ατμόσφαιρας λόγω απορρόφησης υπεριώδους ακτινοβολίας (UV) και γι' αυτό η περιοχή αυτή ονομάζεται ιονόσφαιρα. Ο πίνακας που ακολουθεί παρουσιάζει

συνοπτικά τις ιδιότητες της στρωμάτωσης της ατμόσφαιρας.

Τα κύρια συστατικά της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρας) είναι το άζωτο (N₂) το οξυγόνο (O₂) το αργόν (Ar) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Επί πλέον ο ατμοσφαιρικός αέρας περιέχει υδρατμούς (H₂O)

σεσυγκεντρώσεις 0,1 - 5 % κατ' όγκο και διάφορες άλλες χημικές ουσίες σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις. Η χημική αυτή σύσταση είναι σχεδόν σταθερή σε πολύ μεγάλα ύψη και οφείλεται στηντυρβώδη ανάμιξη των συστατικών. Σε ακόμα μεγαλύτερα ύψη (πάνω από 100 km), λόγω της μοριακήςδιάχυσης των συστατικών, παρατηρούνται σημαντικές διαφορές της χημικής σύστασης. Ανάλογα με το βάρος τους τα ελαφρύτερα αέρια, όπως τουδρογόνο (H₂) φεύγουν σε μεγαλύτερα ύψη, ενώ ταβαρύτερα μένουν σε χαμηλότερα στρώματα.

Τροπόσφαιρα: Το κατώτατο στρώμα της ατμόσφαιρας, η τροπόσφαιρα εκτείνεται σε ένα μέσο ύψος περίπου 11 km. Πάνω από τον ισημερινό το μέσο ύψος είναι 18 Km περίπου και πάνω από τους πόλους8 Km. Η τροπόσφαιρα είναι μια περιοχή αδιάκοπης τυρβώδους κίνησης και ανάμιξης. Είναι η περιοχή περιδίνησης των αέριων μαζών, του σχηματισμού των νεφών και των συνεχώς μετακινούμενων θερμών και ψυχρών μετώπων. Είναι επίσης η περιοχή της βροχής, του χιονιού, των αστραπών και των καταιγίδων. Είναι η "πηγή" του αέρα που αναπνέεται καθώς σ' αυτήν συμβαίνουν όλα τα καιρικά φαινόμενα.

Στην τροπόσφαιρα βρίσκεται σχεδόν όλη η ποσότητα του υδρατμού της ατμόσφαιρας και παρόλο που η τροπόσφαιρα καταλαμβάνει ένα λεπτό τμήμα της ατμόσφαιρας, περιέχει το 80% περίπου της ολικής αέριας μάζας της.

Η θερμοκρασία στην τροπόσφαιρα μειώνεται σχεδόν γραμμικά με το ύψος. Η μείωση αυτή είναι περίπου 6,5°C ανά χιλιόμετρο και οφείλεται στην αυξανόμενη απόσταση από την πηγή θερμότητας που είναι η γήινη επιφάνεια και που θερμαίνεται άμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Στην κορυφή της τροπόσφαιρας η θερμοκρασία βρίσκεται στην περιοχή των -56°C. Η ατμοσφαιρική ευστάθεια και οι θερμοκρασιακές αναστροφές που εμφανίζονται δημιουργούν αποκλίσεις από τη γραμμική αυτή μείωση της θερμοκρασίας με το ύψος.

Λόγωτης πλήρους ανάμιξης του αέρα στην τροπόσφαιρα, η χημική σύσταση του κανονικού, ξηρού και χωρίς ρύπανση αέρα παραμένει ουσιαστικά αναλλοίωτη με την αύξηση του ύψους. Δύο αέρια, το άζωτο και το οξυγόνο συνιστούν το 99,03% κατ' όγκο του καθαρού ξηρού αέρα. Τα δύο αυτά αέρια μαζί με το αργό και το διοξείδιο του άνθρακα καταλαμβάνουν το 99,997% κατ' όγκο του αέρα. Τα υπόλοιπα αέρια που συμπεριλαμβάνονται στηνσύνθεση της ατμόσφαιρας καταλαμβάνουν το πολύ μικρό ποσοστό του 0,003%.

Τέλος εκτός από τα αέρια, η τροπόσφαιρα περιέχει μια μεγάλη ποικιλία στερεών μικρών σωματιδίων όπως η σκόνη, άνθρακα (στάχτη), άλατα, βακτηρίδια. Περιέχει επίσης αιωρούμενες ποσότητες υγρών το πιο σημαντικό των οποίων είναι το νερό.

Στρατόσφαιρα: Αμέσως πάνω από την τροπόσφαιρα βρίσκεται η στρατόσφαιρα που εκτείνεται από 11 μέχρι 50 Km. Στο ύψος των 50 Km η θερμοκρασία είναι περίπου -2°C. Η τιμή αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν είναι πολύ μικρότερη των 15°C που είναι η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους. Στην περιοχή αυτή της ατμόσφαιρας έχουν ανακαλυφθεί και μελετηθεί ρεύματα αέρα (jet - streams) που μερικές φορές είναι μέχρι δύο φορές πιο ισχυρά από τα ρεύματα της τροπόσφαιρας.

Η θερμοκρασία μεταβάλλεται επίσης με το υψόμετρο, αλλά σε αντίθεση με την τροπόσφαιρα αυξάνει με την αύξηση του ύψους. Πιο συγκεκριμένα, από τα 11 Km μέχρι τα 20 Km υπάρχει μια ισόθερμη περιοχή. Στην συνέχεια, από τα 20 Km μέχρι τα 50 Km παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι τους -2°C που είναι στο όριο της στρατόπαυσης.

1.2 Άνεμοι

Οι άνεμοι αποτελούν κίνηση αέριας μάζας στην ατμόσφαιρα που κυρίως προκαλείται από την

ηλιακή ακτινοβολία. Ειδικότερα, είναι αποτέλεσμα των θερμοκρασιακών διαφορών που

δημιουργούνται στην Τροπόσφαιρα είτε λόγω γεωγραφικού πλάτους είτε λόγω διαφορετικής

θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης. Οι διαφορετικές γεωγραφικές θερμοκρασίες οφείλονται σε δύο

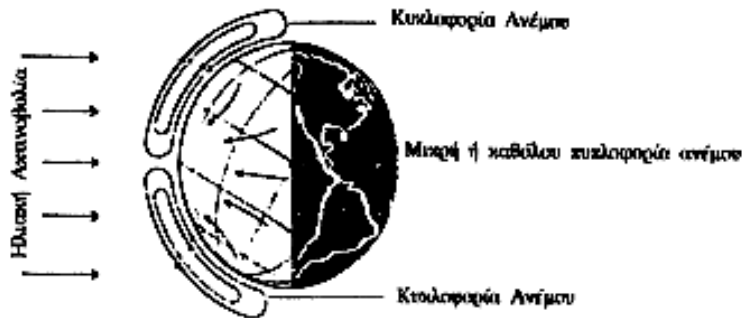
κύριους παράγοντες:

- ❖ υψομετρική διαφορά δύο σημείων
- ❖ διαφορετική φύση της επιφάνειας (έδαφος ή νερό)

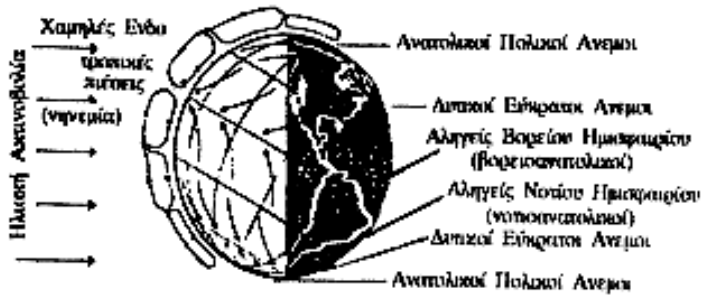
Οι άνεμοι που δημιουργούνται λόγω διαφορετικού γεωγραφικού πλάτους είναι φαινόμενα σχεδόν σταθερά ή μεταβλητά με μεγάλη περίοδο μεταβολής (εποχιακά). Λόγω των μεγάλων γεωγραφικών αποστάσεων που καλύπτουν οι κινήσεις αυτές καθώς και της μεγάλης ατμοσφαιρικής μάζας που μετακινείται, τα φαινόμενα αυτά επηρεάζονται και από την περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονά της.

Οι άνεμοι που οφείλονται στην διαφορετική φύση της επιφάνειας χαρακτηρίζονται από μικρή χρονική διάρκεια (ωριαία ή ημερήσια) και παρατηρούνται είτε κοντά σε ορεινούς όγκους, σε κοιλάδες ή σε λεκανοπέδια, είτε σε περιοχές κοντά σε θάλασσα ή λίμνη που υπάρχει διαφορετικός ρυθμός θέρμανσης ή ψύξης του εδάφους και του υδάτινου όγκου. Όπως για οποιοδήποτε ρευστό ευρισκόμενο σε κίνηση, έτσι και στην περίπτωση του ανέμου, για τον καθορισμό του διανύσματος της ταχύτητας του απαιτείται η γνώση του μέτρου (ένταση του ανέμου) και της φοράς-διεύθυνσης (διεύθυνση) του ανέμου. Η διεύθυνση και η ένταση του ανέμου εξαρτώνται τόσο από ειδικούς παράγοντες (γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία, πεδίο πίεσης) όσο και από τους τοπικούς παράγοντες (δηλ. ανάγλυφο της περιοχής, ύπαρξη θάλασσας κ.λπ.). Η γενική ατμοσφαιρική κυκλοφορία οφείλεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία και στην περιστροφή της γης. Πράγματι η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ ισημερινού και πόλων, αποτέλεσμα της διαφορετικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα διαφορετικά σημεία του πλανήτη μας, έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση αερίων μαζών από τους πόλους στον ισημερινό και αντίθετως. Πιο συγκεκριμένα, ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι πνέουν από τους πόλους στον ισημερινό για να αντικαταστήσουν το θερμό αέρα που ανυψώνεται λόγω μείωσης της πυκνότητάς του και ο οποίος κινείται δια μέσου της ανώτερης ατμόσφαιρας προς τους πόλους, (Σχ.1.2 και Σχ. 1.3). Παράλληλα, η περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της έχει σαν αποτέλεσμα την κίνηση ψυχρών αερίων επιφανειακών μαζών προς τα δυτικά, ενώ ο θερμός αέρας μετακινείται σε μεγαλύτερη ύψη και προς τα ανατολικά, Σχ.1.2. Τέλος πρέπει να ληφθεί υπόψη και η ανομοιομορφία της θερμικής συμπεριφοράς θάλασσας και ξηράς, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ζωνών διαφορετικής θερμοκρασίας, που οδηγούν σε αντίστοιχα πεδία στατικής πίεσης.

Αποτέλεσμα του συνδυασμού των ανωτέρω παραγόντων είναι η συνεχής μεταβολή της κατάστασης της ατμόσφαιρας και η δημιουργία περιοχών υψηλών πιέσεων (αντικυκλώνες), όπως και περιοχών χαμηλών πιέσεων (κυκλώνες). Εν γένει ο άνεμος έχει μεγαλύτερη ένταση επάνω από τους ωκεανούς παρά επάνω από την ξηρά, ενώ στην Ευρώπη περιοχές με υψηλή μέση ταχύτητα του ανέμου είναι η Ιρλανδία, η Αγγλία, το Βέλγιο, η Ολλανδία, η Γαλλία, η Πορτογαλία καθώς και οι περιοχές της ανατολικής Μεσογείου ανάμεσα στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και η χώρα μας.



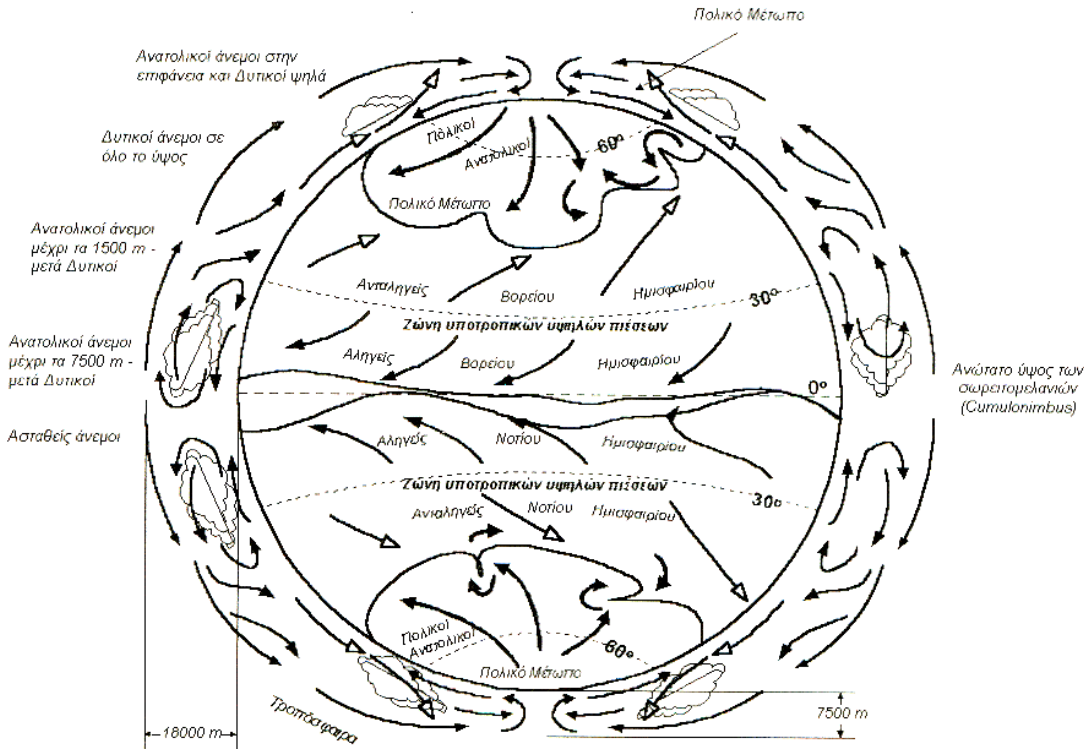
α) Αν δεν υπήρχε η περιστροφή της Γης, το πεδίο θα ήταν σταθερό.



β) Λόγω περιστροφής δημιουργείται μεταβλητό πεδίο τατακών ανέμων.

Σχ. 1.2 Άνεμοι λόγω περιστροφής της γης και λόγω

διαφορετικού γεωγραφικού πλάτους



Σχ. 1.3 Πεδίο ανέμων γύρω από τον πλανήτη μας

1.3 Ένταση του ανέμου

Η κίνηση του ανέμου ακολουθεί τους νόμους της μηχανικής των ρευστών, οι οποίοι διέπουν την τυρβώδη ροή συνεκτικού ρευστού. Συνεπώς η ταχύτητα του ανέμου είναι ένα ιδιαίτερα μεταβλητό μέγεθος, το οποίο εμφανίζει διακυμάνσεις τόσο σε χρονικά διαστήματα εκατοστών του δευτερολέπτου όσο και σε διαστήματα ωρών. Ακολουθώντας την ανάλυση που ισχύει για τυρβώδη πεδία ροής, η στιγμιαία ταχύτητα του ανέμου γράφεται σαν άθροισμα της μέσης

ταχύτητας του ανέμου " \bar{V} " και μιας διακύμανσης " $V'(t)$ ", δηλαδή:

$$\bar{V}(t) = V + V'(t)$$

ενώ η μέση ταχύτητα του ανέμου σε μια χρονική περίοδο " T " δίνεται από την εξισ. 2.1 :

$$\bar{V} = \int_t^{t+T} V(t) dt \quad \text{εξισ. 2.1}$$

Εξετάζοντας το πεδίο ταχυτήτων μιας περιοχής, είναι σημαντικό να καταγραφούν και οι μέγιστες τιμές της ταχύτητας του ανέμου. Η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου επηρεάζει σημαντικά την κατασκευαστική αντοχή του πύργου στήριξης της ανεμογεννήτριας καθώς και τη μέγιστη φόρτιση των πτερυγίων της μηχανής. Όπως είναι λογικό οι μέγιστες ταχύτητες του ανέμου εξαρτώνται από τη γεωγραφική θέση της περιοχής καθώς και από το τοπογραφικό της ανάγλυφο.

1.4 Μέτρηση Έντασης Ανέμου

Για τη μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα ή οι ανεμογράφοι. Τα πλέον απλά είναι τα ανεμόμετρα ταχύτητας, στα οποία η ένταση του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής που επιβάλλει ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης του ανέμου. Για την

καταγραφή των στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα πίεσης, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου.

Επιπλέον των προαναφερόμενων συνηθισμένων τρόπων μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιούνται και ανεμόμετρα θερμού στοιχείου καθώς και ανεμόμετρα τύπου "laser", κύρια σε πειραματικές εγκαταστάσεις υψηλής ακρίβειας, όπως για παράδειγμα στη περίπτωση μελέτης του ορόρου ανεμογεννήτριας μέσα σε αεροδυναμική σήραγγα.

Από τα κλασσικά ανεμόμετρα ταχύτητας, τα πλέον γνωστά είναι τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα. Αυτά αποτελούνται (βλέπε Σχ. 2.4) από έναν κατακόρυφο άξονα στην κορυφή του οποίου υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι. Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο, με τέτοιο τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη. Γνωρίζοντας ότι η αεροδυναμική αντίσταση της κοίλης πλευράς είναι σημαντικά μεγαλύτερη της κυρτής, το σύστημα περιστρέφεται υπό την επίδραση του ανέμου και ο αριθμός των περιστροφών του καταγράφεται διαμέσου του κατακόρυφου άξονα σε ένα καταγραφικό σύστημα. Για την καταγραφή των στροφών του κατακόρυφου άξονα χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα, που περιλαμβάνουν:

- Μηχανικό στροφόμετρο, που καταγράφει τον αριθμό των περιστροφών των κυπέλλων από τη στιγμή έναρξης λειτουργίας του οργάνου.
- Ηλεκτρική επαφή, η οποία κλείνει μετά από ένα ορισμένο αριθμό στροφών, και μέσω καταγραφικού δίνει απ' ευθείας τη μέση ταχύτητα του ανέμου.
- Μικρή ηλεκτρογεννήτρια, η οποία μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του άξονα σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο και μετατρέπεται σε ένδειξη ταχύτητας.
- Φωτοηλεκτρικό διακόπτη, ο οποίος μετατρέπει την ταχύτητα περιστροφής σε στιγμιαία ταχύτητα ανέμου στην έξοδο του συστήματος.

Ένα βασικό μειονέκτημα των ανεμόμετρων αυτού του τύπου είναι το γεγονός ότι δεν έχουν συμμετρική απόκριση στην αύξηση ή μείωση της έντασης του ανέμου, δεδομένου ότι τα κύπελλα του οργάνου εξακολουθούν λόγω αδράνειας να περιστρέφονται ακόμα και όταν ο άνεμος σταματήσει.

Στις περιπτώσεις αυτές οι ενδείξεις του οργάνου είναι μεγαλύτερες από την πραγματική ένταση του ανέμου. Για κλιματολογικούς και πρακτικούς λόγους έχει συμφωνηθεί ότι σε μια ομογενή περιοχή (η οποία εκτείνεται 300 μέτρα γύρω από το όργανο), ο ανεμογράφος πρέπει να τοποθετείται σε ύψος 10 μέτρα από το έδαφος, ώστε να επιτυγχάνεται μια αντιπροσωπευτική καταγραφή του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Σε μια τοποθεσία με ομοιόμορφη κατανομή εμποδίων με μέσο ύψος εμποδίων «H», το όργανο πρέπει να τοποθετηθεί σε ύψος «10 + H» μέτρων από το έδαφος, όπου $H_{max} \leq 12m$. Στην περίπτωση ύπαρξης εμποδίων γύρω από το όργανο, πρέπει

να λαμβάνονται υπόψη στην εύρεση βέλτιστης θέσης του οργάνου οι διαστάσεις των εμποδίων, εφόσον είναι απαραίτητο να γίνουν μετρήσεις στην περιοχή αυτή. Αντίστοιχες διορθώσεις πρέπει να ληφθούν υπόψη στην περίπτωση υποχρεωτικής τοποθέτησης του ανεμομέτρου σε ειδικές θέσεις, για παράδειγμα στην κορυφή ενός κτιρίου, δεδομένου ότι το ίδιο το κτήριο διαταράσσει τη ροή του ανέμου.



Σχ. 1.4 Κυπελλοφόρο ανεμόμετρο

1.5 Διεύθυνση Ανέμου

Η διεύθυνση του ανέμου σε μια θέση δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται συνεχώς, καθορίζεται δε με βάση το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, σε σχέση με τη θέσημέτρησης. Στο Σχ. 1.5 δίνεται η ονοματολογία των ανέμων με βάση ναυτικές, ενετικές και αρχαιοελληνικές ονομασίες. Η διεύθυνση του ανέμου είναι συνάρτηση του αληθούς βορρά, και μετρείται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, σε μοίρες ή σε τιμές που αντιστοιχούν σεολόκληρο κυκλικό τομέα. Ανάλογα με την επιθυμητή ακρίβεια χρησιμοποιούνται 8, 16 ή 32 τομείς(βλέπε Πίνακα 1.1) όπου καθορίζονται οι κυκλικοί τομείς για κάθε μία από τις 32 διευθύνσεις.

Διεύθυνση	Σε μοίρες	Τομέας
N	360	355 – 5
NE	11,25	6 – 16
NNE	22,5	17 – 28
NEN	33,75	29 – 39
NE	45	40 – 50
NEE	56,25	51 – 61
ENE	67,5	62 – 73
EN	78,75	74 – 84
E	90	85 – 95
ES	101,25	96 – 106
ESE	112,5	107 – 118
SEE	123,75	119 – 129
SE	135	130 – 140
SES	146,25	141 – 151
SSE	157,5	152 – 163
SE	168,75	164 – 174

Διεύθυνση	Σε μοίρες	Τομέας
S	180	175 – 185
SW	191,25	186 – 196
SSW	202,5	197 – 208
SWS	213,75	209 – 219
SW	225	220 – 230
SWW	236,25	231 – 241
WSW	247,5	242 – 253
WS	258,75	254 – 264
W	270	265 – 275
WN	281,25	276 – 286
WNW	292,5	287 – 298
NWW	303,75	299 – 309
NW	315	310 – 320
NWN	326,25	321 – 331
NNW	337,5	332 – 343
NW	348,75	344 – 354

Πίνακας 1.1 Διευθύνσεις ανέμου σε μοίρες και τομείς

1.6 Μέτρηση Διεύθυνσης Ανέμου

Η διεύθυνση του ανέμου βρίσκεται συνήθως με τη βοήθεια των ανεμοδεικτών. Ο

ανεμοδείκτης αποτελείται από έναν κατακόρυφο άξονα στο πάνω άκρο του οποίου περιστρέφεται ένας οριζόντιος άξονας με ένα ή δύο ελάσματα στο ένα άκρο του, βλέπε Σχ. 1.4 και Σχ. 1.7. Όταν η πίεση που ασκεί ο άνεμος εξισορροπηθεί και από τις δύο πλευρές του ελάσματος του ανεμοδείκτη, αυτός έχει στραφεί έτσι ώστε ο δείκτης του ανεμοδείκτη (που βρίσκεται και το αντίβαρο εξισορρόπησης του ελάσματος) να διευθύνεται προς τη μεριά από την οποία φυσά ο άνεμος. Ένας ακριβής ανεμοδείκτης έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Περιστρέφεται γύρω από τον κατακόρυφο άξονά

του με ελάχιστες τριβές.

- Δεν παρουσιάζει τάσεις κλίσεως προς μια

διεύθυνση. Αυτό επιτυγχάνεται με την ακριβή

αντιστάθμιση των ελασμάτων με τη χρήση

αντίβαρου.

- Εμφανίζει τη μέγιστη ροπή στρέψης για δεδομένη

αλλαγή της διεύθυνσης του ανέμου σε σχέση με

την αδράνεια του οργάνου.

- Παρουσιάζει γρήγορη απόκριση στις διαρκείς

διακυμάνσεις της διεύθυνσης του ανέμου.

- Παρουσιάζει επαρκή απόσβεση των στρεπτικών

ταλαντώσεων

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί ότι επειδή η

διεύθυνση του ανέμου μετριέται συναρτήσει του

αληθούς βορρά, το όργανο πρέπει να

προσανατολισθεί με τη βοήθεια της

χαρακτηριστικής γραμμής που υπάρχει επάνω του.

Για μικρό-μετεωρολογικές κυρίως

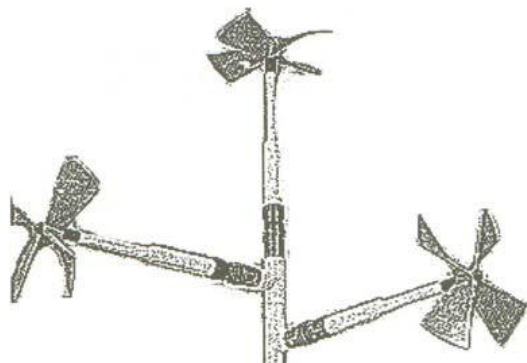


Σχ. 1.7 Ανεμοδείκτης αεροδρομίων

εφαρμογές χρησιμοποιούνται πλέον εξελιγμένοι τύποι ανεμογράφων. Ο τριαξονικός ανεμογράφος, Σχ. 1.8, χρησιμοποιείται για να καταγράψει και τις τρεις συνιστώσες της ταχύτητας του ανέμου, δηλαδή μας δίνει ταυτόχρονα την ένταση και τη διεύθυνση του ανέμου.

Ο τριαξονικός ανεμογράφος αποτελείται από ένα κατακόρυφο άξονα, που στην κορυφή του έχει ένα σύστημα τριών αξόνων καθέτων ανά δύο μεταξύ τους. Στην άκρη του κάθε άξονα στρέφεται μια έλικα αποτελούμενη από τέσσερα ελάσματα. Ο αριθμός των περιστροφών στη μονάδα του χρόνου καταγράφεται υπό τη μορφή ηλεκτρικών παλμών.

Οι άξονες του οργάνου μπορεί να προσανατολισθούν προς το βορρά, προς την ανατολή και προς το ζενίθ του τόπου. Με τον τρόπο αυτό ο ανεμογράφος αυτός μετράει τις τρεις ορθογώνιες συνιστώσες του διανύσματος της ταχύτητας του ανέμου. Με κατάλληλο Σχ.



1.8 Τριαξονικός ανεμογράφος

προγραμματισμό είναι δυνατό να καταγράφονται οι στιγμιαίες και οι μέσες τιμές του διανύσματος της ταχύτητας. Οι ανεμογράφοι του τύπου αυτού θεωρούνται υψηλής ακρίβειας, και δεν επηρεάζονται από την αύξηση ή τη μείωση της ταχύτητας του ανέμου. Τέλος η διεύθυνση του ανέμου μπορεί να υπολογισθεί και με οποιαδήποτε άλλη μέθοδο της § 1.4, μέσα από τη μέτρηση των τριών συνιστωσών της ταχύτητας του ανέμου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙ

Γενικά για την αιολική ενέργεια

2.1 Ο άνεμος

Οι άνεμοι της γης παράγονται κυρίως από άνιση θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο. Ως γνωστό οι θάλασσες παρουσιάζουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα, αφού εκτός από την εξάτμιση, η θερμότητα μεταφέρεται προς τα κάτω μέσα στις υδάτινες μάζες. Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας ο αέρας πάνω από τις λίμνες, θάλασσες και ωκεανούς παραμένει σχετικά κρύος, σε σχέση πάντα με τον αέρα που βρίσκεται πάνω από την ξηρά και που θερμαίνεται περισσότερο. Από την θέρμανση του αέρα της ξηράς έχουμε ελάττωση της πυκνότητας του με συνέπεια την ανύψωση του και ο βαρύτερος κρύος αέρας που βρίσκεται πάνω από το νερό κινείται για να πάρει τη θέση του. Με τον τρόπο αυτό παράγονται τα τοπικά παραλιακά ρεύματα. Κατά την διάρκεια της νύχτας τα παραλιακά αυτά ρεύματα αντιστρέφονται, επειδή η θερμοκρασία της ξηράς ελαττώνεται γρηγορότερα από αυτήν του νερού και έτσι ο ψυχρότερος, άρα και βαρύτερος αέρας της ξηράς κινείται προς την θάλασσα όπου αναπληρώνει τον αέρα που ανυψώνεται από την επιφάνεια της θάλασσας. Παρόμοια τοπικά ρεύματα συμβαίνουν στις βουνοπλαγιές κατά την διάρκεια της ημέρας όταν ο θερμός αέρας ανυψώνεται κατά μήκος των θερμών πλαγιών που θερμαίνονται από τον ήλιο. Κατά τη νύκτα ο σχετικά κρύος αέρας των πλαγιών κινείται κάτω προς τις πεδιάδες.

Κατά τον ίδιο τρόπο παράγονται οι πλανητικοί άνεμοι, λόγω της μεγαλύτερης θέρμανσης της επιφάνειας της γης κοντά στον ισημερινό από ότι στους πόλους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κρύοι επιφανειακοί άνεμοι να φυσούν από τους πόλους προς τον ισημερινό προς αντικατάσταση του αέρα που ανυψώνεται στις τροπικές περιοχές και κινείται στην ανώτερη ατμόσφαιρα προς τους πόλους.

Υπάρχουν επίσης και οι εποχιακοί άνεμοι όπως οι μουσώνες καθώς και οι ετήσιοι ή όπως διαφορετικά αποκαλούνται μελέτμια. Είναι οι άνεμοι του καλοκαιριού, βόρειο-βορειοανατολικοί κυρίως στην περιοχή του αιγαίου, μέχρι και βορειοδυτικής κυρίως διεύθυνσεως. Αρχίζουν να πνέουν από τις αρχές Μαΐου και εξασθενούν μέσα Οκτωβρίου, με μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα από τα μέσα Ιουλίου μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου. Η ημερήσια διακύμανση τους παρουσιάζει ένα μέγιστο κατά τις απογευματινές ώρες ενώ η ένταση τους κατά τη νύκτα ελαττώνεται.

2.2 Αιολική ενέργεια

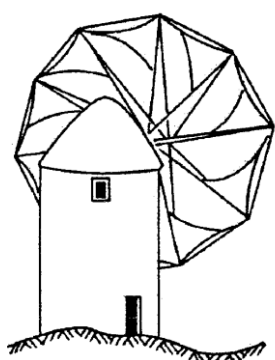
Η κινητική ενέργεια του ανέμου οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία και περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η ισχύς των ανέμων σε όλη την γη υπολογίζεται σε $3,6 \cdot 10^9$ MW. Η ισχύς ρεύματος γενικά είναι ανάλογη της πυκνότητας του και του κύβου της ταχύτητας του. Έτσι για την ίδια ταχύτητα και διατομή ένα ρεύμα αέρα θα έχει περίπου 800 φορές μικρότερη ενέργεια από την αντίστοιχη δέση νερού. Η αιολική ενέργεια συνεπώς είναι μια "αραιή" ή "ήπια" μορφή ενέργειας, δηλαδή είναι μικρή η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χρόνου που μπορεί να δεσμευτεί σε κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας που προσβάλλεται από τον άνεμο. Για παράδειγμα άνεμος εντάσεως 5 μποφόρ, περίπου 9,5m/sec, έχει ισχύ 500W ανά m² προσβαλλόμενης επιφάνειας, ενώ ένας ανεμοκινητήρας μπορεί στην καλύτερη περίπτωση να δεσμεύσει το 48% αυτής της ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη κατασκευής μονάδων, μεγάλων διαστάσεων. Σε αυτό το μειονέκτημα αντεπεξέρχεται με επιτυχία η σημερινή τεχνολογία με την κατασκευή ανεμοκινητήρων μεγάλων διαστάσεων που ανταγωνίζονται οικονομικά

τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Παράλληλα η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα ότι δίνει απ' ευθείας μηχανική ενέργεια, μία "αναβαθμισμένη" κατά την τεχνική ορολογία μορφή ενέργειας που με πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης και απλά μέσα μετατρέπεται σε οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας.

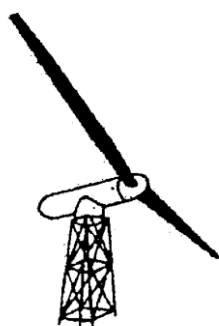
Η αιολική ενέργεια αποτελεί συνεπώς μια αστείρευτη πηγή ενέργειας με αξιοσημείωτο δυναμικό και με δωρεάν πρώτη ύλη στην διάθεση της ανθρωπότητας και προβάλλεται σήμερα ως μία από τις πιο κατάλληλες εναλλακτικές πηγές για την παραγωγή ηλεκτρισμού αλλά και για άλλες χρήσεις.

2.3 Ανεμοκινητήρες

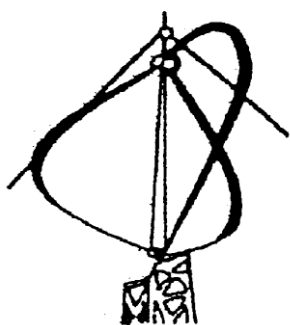
Οι ανεμοκινητήρες αναπτύχθηκαν από αρχαιοτάτων χρόνων και για πολλούς αιώνες χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα ιδιαίτερα σε αγροτικές εφαρμογές. Την τελευταία δεκαετία το ενδιαφέρον σχετικά με την αιολική ενέργεια γνωρίζει νέα άνθιση. Το κίνητρο ήταν καθαρά οικονομικό γιατί έπρεπε να βρεθούν και να αξιοποιηθούν νέες πηγές ενέργειας. Στην συνέχεια εμφανίστηκε και ένας νέος παράγοντας, ο οικολογικός. Η προστασία του φυσικού περιβάλλοντος άρχισε να απασχολεί έντονα τους επιστήμονες και την κοινή γνώμη. Δημιουργήθηκε έτσι ένα νέο ενδιαφέρον για τις ήπιες μορφές ενέργειας, οι οποίες έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό που τις κάνει ιδιαίτερα ελκυστικές, είναι ανανεώσιμες. Κάτω από αυτές τις συνθήκες οι ανεμόμυλοι μπήκαν στην (συμ)παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.



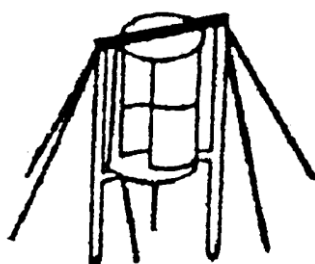
(α)



(β)



(γ)



(δ)

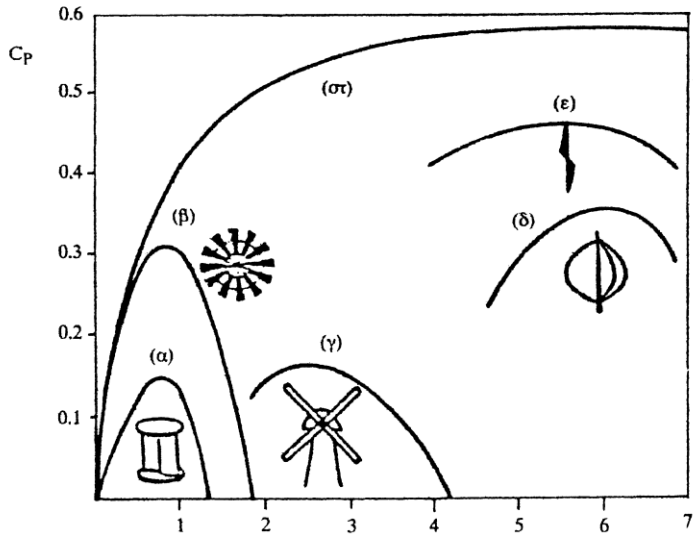
Σχήμα 1 Τύποι κινητήρων:

- α. Παραδοσιακός νησιωτικός Α/Κ β. Διπτέρυγος Α/Κ οριζοντίου άξονα
γ. Τριπτέρυγος Α/Κ Darrieus δ. Α/Κ τύπου Savonius

Ο πιο γνωστός τύπος ανεμοκινητήρα είναι με δρομέα οριζοντίου άξονα (σχήμα 1β) και θυμίζει έντονα έλικα αεροπλάνου ή ελικοπτέρου. Γύρω στο 1970 εμφανίζεται ένας νέος τύπος ανεμοκινητήρα με δρομέα κατακόρυφου άξονα περιστροφής και καμπύλα πτερύγια. Ο ανεμοκινητήρας αυτός αποτελεί εξέλιξη μιας παλιάς ιδέας του Γάλλου G. Darrieus (σχήμα 1γ). Η μορφή των πτερυγίων του δρομέα Darrieus είναι τέτοια, ώστε να μην αναπτύσσονται καθόλου καμπτικές τάσεις από τις φυγόκεντρες δυνάμεις που δημιουργεί η περιστροφή και ουσιαστικά είναι η μορφή που παίρνει ένα σχοινί που περιστρέφεται γύρω από άξονα. Ένας τρίτος τύπος ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα είναι αυτός που φαίνεται στο σχήμα 1δ και καλείται Savonius. Ο ανεμοκινητήρας αυτός βασίζει την κίνησή του στην αντίσταση που παρουσιάζει στη ροή και όχι στην άνωση και γι' αυτό έχει πολύ χαμηλότερο βαθμό απόδοσης από τους άλλους δύο τύπους όπως φαίνεται και στο σχήμα 3(καμπύλη α).

Η έρευνα πάνω σε θέματα αιολικής ενέργειας καθώς και η εξέλιξη της τεχνολογίας είχαν σαν αποτέλεσμα οι σημερινοί ανεμοκινητήρες να μοιάζουν ελάχιστα ή και καθόλου με τους παραδοσιακούς ανεμόμυλους. Χαρακτηριστική είναι η διαφορά που υπάρχει στην αρχή λειτουργίας τους. Οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι κινούνται είτε με τη βοήθεια της αντίστασης των πτερυγίων τους στον άνεμο, είτε με εκμετάλλευση της άνωσης που ασκείται πάνω τους. Στους σύγχρονους ανεμοκινητήρες η κίνηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στην άνωση.

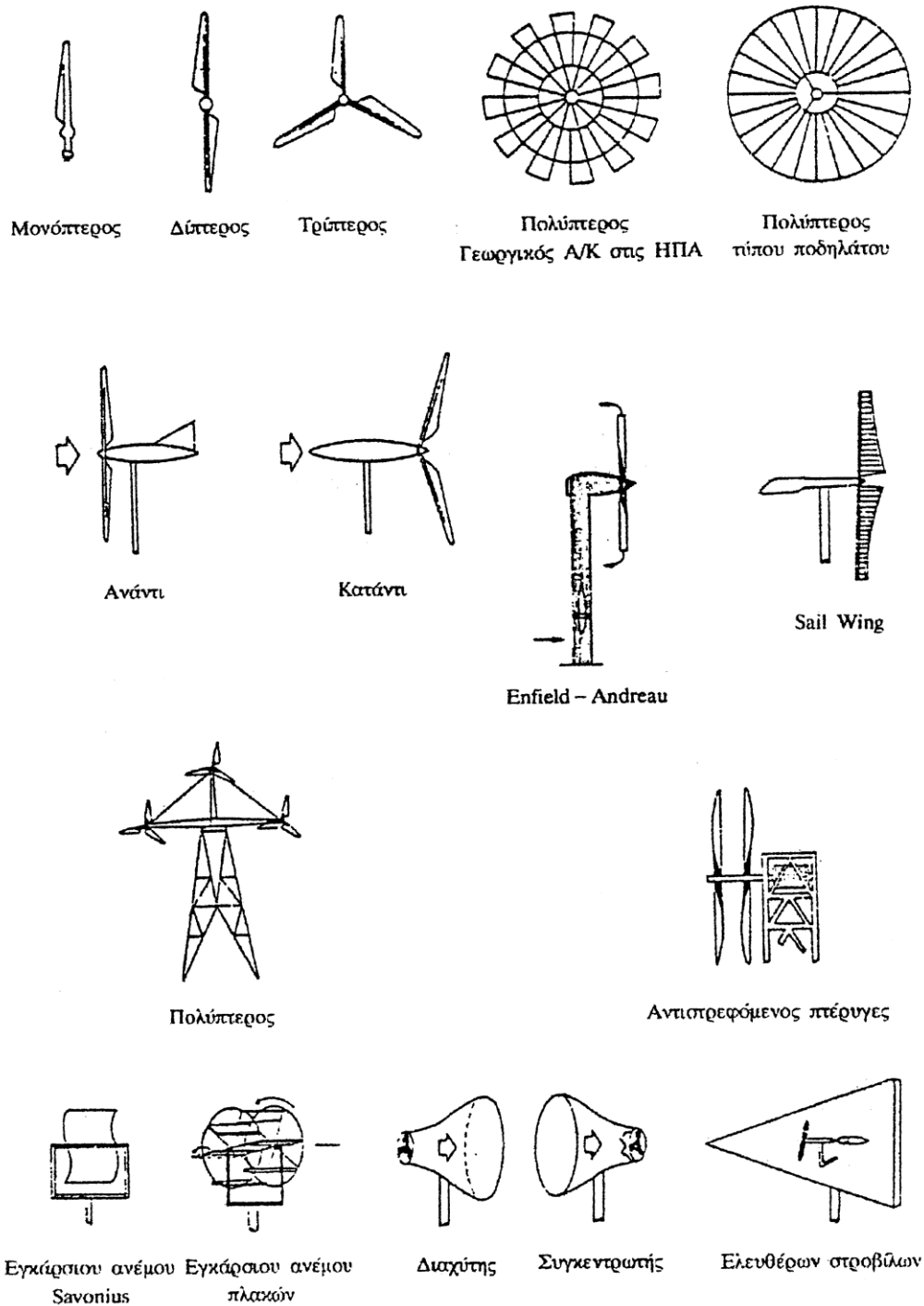
Στο σχήμα 3 δίνονται τυπικές καμπύλες του συντελεστή ισχύος για διάφορα είδη ανεμοκινητήρων. Φαίνεται καθαρά ότι οι σύγχρονοι ανεμοκινητήρες υπερέχουν των παραδοσιακών διότι παρουσιάζουν μεγαλύτερους συντελεστές ισχύος και μάλιστα σε μεγάλες τιμές καταστάσεως λειτουργίας (μεγάλη περιφερειακή ταχύτητα δρομέα).



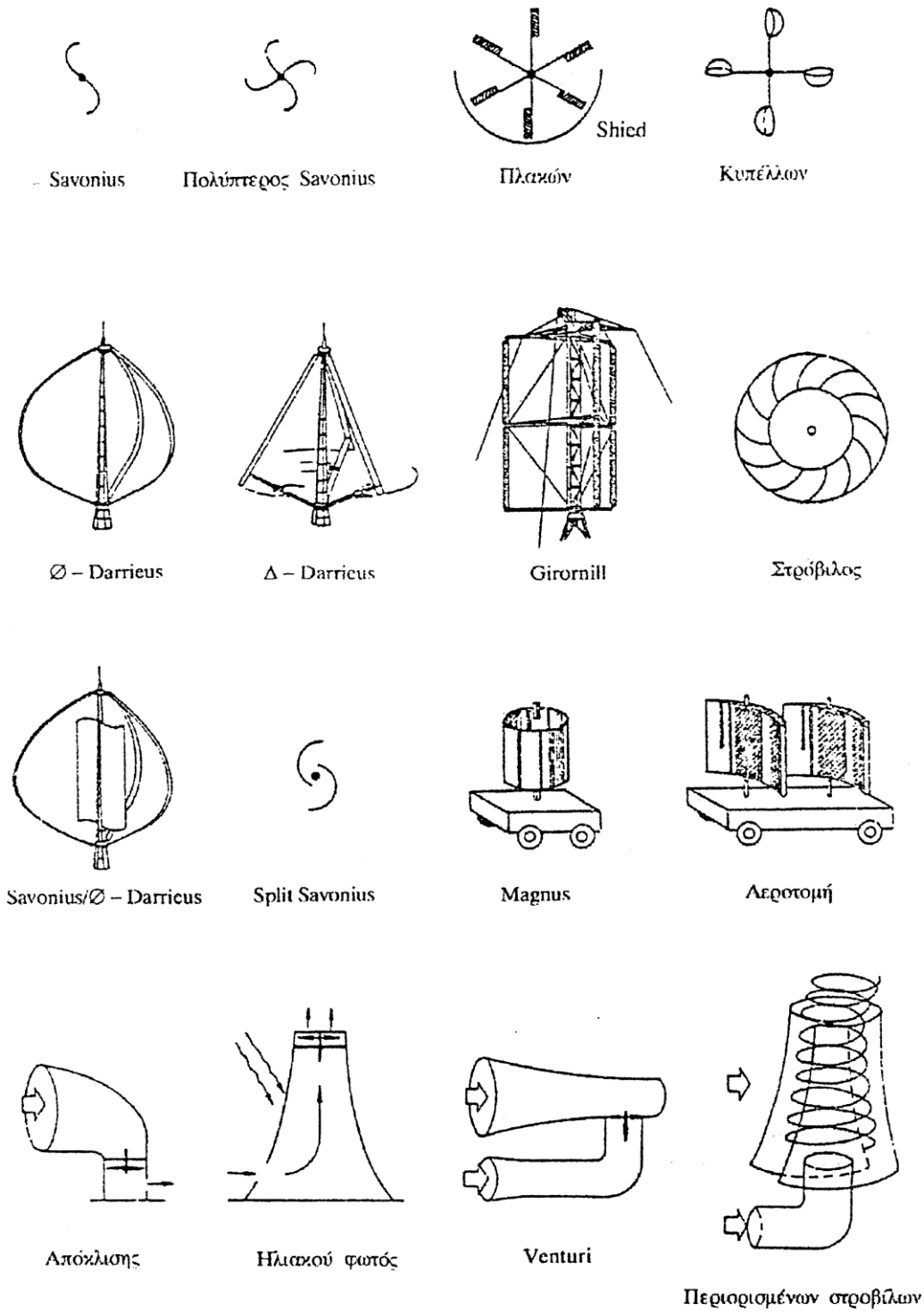
$$\lambda = \Omega r / V$$

Σχήμα 3 Συντελεστής ισχύος ως συνάρτηση της ταχύτητας ακροπτερυγίου

Στο σχήμα 4 φαίνονται οι διάφοροι τύποι ανεμοκινητήρων που έχουν κατά καιρούς επινοηθεί.



Σχήμα 4α Τύποι ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα



Σχήμα 4β Τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα

Παρακάτω αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα για τη χρήση και την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας. Για να έχουμε μια καλύτερα διαμορφωμένη εικόνα σχετικά με τις δυνατότητες και τους περιορισμούς αξιοποίησης της ενέργειας αυτής, θα πρέπει επίσης να λάβουμε υπόψιν όλους εκείνους τους παράγοντες που ισχύουν για τη χώρα μας, οι οποίοι συντελούν και διαμορφώνουν τα ενδιάμεσα στάδια περισυλλογής της ενέργειας, μέχρι αυτή να καταλήξει στον καταναλωτή.

2.4 Πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας

- Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας
- Αποτελεί μια καθαρή μορφή ενέργειας, ήπια προς το περιβάλλον
- Υπάρχει υψηλό προσπαιτούμενο αιολικό δυναμικό
- Υπάρχουν απεριόριστες δυνατότητες δημιουργίας αιολικών εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας
- Δημιουργεί νέες χρηματοοικονομικές δραστηριότητες
- Εντάσσονται όλο και περισσότερες νέες κατασκευαστικές εταιρίες στο χώρο αυτό επενδύοντας μεγάλα κεφάλαια
- Ενισχύεται η εθνική οικονομία
- Αποκτούνται νέες γνώσεις πάνω σε ηλεκτρο-μηχανολογικά θέματα και επιπλέον επιστημονικό προσωπικό ασχολείται με εξειδικευμένα ζητήματα έρευνας στον τομέα των ΑΠΕ
- Υπάρχει δυνατότητα αξιοποίησης καινούργιων επενδυτικών προγραμμάτων
- Δημιουργούνται δυνατότητες αποκεντρωμένης ανάπτυξης
- Δημιουργούνται καινούργιες θέσεις απασχόλησης
- Γενικότερα αποκεντρωμένη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, με επιπλέον υποστήριξη στα τοπικά δίκτυα παροχής

2.5 Μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας

- Η χαμηλή ροή αξιοποίησης της κινητικής ενέργειας του ανέμου κατατάσσει την αιολική ενέργεια στις «αραιές» μορφές ενέργειας
- Αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου, καθιστούν την αιολική ενέργεια ως εφεδρική πηγή ενέργειας
- Μη συμβατότητα με τα τοπικά δίκτυα για την περαιτέρω αξιοποίηση της ενέργειας
- Αναγκαιότητα ύπαρξης συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας
- Περιορισμένη δυνατότητα αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού
- Μη εκμετάλλευση ολόκληρης της παραχθείσας ενέργειας λόγω αεροδυναμικών και μηχανικών απωλειών
- Ύπαρξη υψηλού αρχικού κόστους επένδυσης για την εγκατάσταση μια ανεμογεννήτριας

Εφαρμογές των ανεμοκινητήρων

Οι ανεμοκινητήρες κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες βάσει της ισχύος τους και διακρίνονται σε:

1. Ανεμοκινητήρες μικρής ισχύος μέχρι 30KW
2. Ανεμοκινητήρες μέσης ισχύος 30 - 300KW
3. Ανεμοκινητήρες μεγάλης ισχύος > 300KW

Οι ανεμοκινητήρες μικρής ισχύος χρησιμοποιούνται σε απομονωμένες περιοχές για κάλυψη αγροτικών ή κτηνοτροφικών αναγκών, για άντληση και θέρμανση νερού, θέρμανση κατοικίας, φωτισμό και άλλες μικροεφαρμογές. Οι ανεμοκινητήρες του τύπου αυτού είναι ανεξάρτητοι, μη συνδεδεμένοι με δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιούν γεννήτρια συνεχούς ρεύματος που φορτίζει συσσωρευτές.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με ανεμοκινητήρες μέσης και μεγάλης ισχύος μπορεί να γίνεται σε συνεργασία με δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

- α. Λειτουργία του ανεμοκινητήρα για εξοικονόμηση καυσίμου.
- β. Λειτουργία ανεμοκινητήρα ως σταθμού βάσης θεωρώντας ότι εγκατεστημένη ισχύς της νηζελογεννήτριας μειώνεται κατά ποσοστό της ονομαστικής ισχύος του ανεμοκινητήρα.
- γ. Λειτουργία ως αντλητικού σταθμού για αποθήκευση νερού, και χρησιμοποίηση του στην υδροηλεκτρική εκμετάλλευση.

2.5.1 Εφαρμογές άντλησης

Οι ανεμόμυλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για άρδευση όπως μαρτυρεί το οροπέδιο τον Λασιθίου της Κρήτης. Μια παραλλαγή εφαρμογής άντλησης είναι το σύστημα άντλησης με ανεμόμυλους που σχεδιάστηκε στον Καναδά με σκοπό την άντληση νερού και κατόπιν την εκτόξευσή του με μεγάλη πίεση ως τεχνητή βροχή για πότισμα.

Στις εφαρμογές άντλησης μπορούν να αναφερθούν και σύγχρονα συστήματα εμφιάλωσης στα οποία ο ανεμοκινητήρας μέσω αντλιών προωθεί νερό δια μεμβρανών αντιστροφής ώσμωσης και παράγει πόσιμο νερό.

Πολλά πειραματικά κέντρα μελετούν την συνεργασία αιολικών συστημάτων με νηζελογεννήτριες ή ηλεκροκίνητες μονάδες άντλησης με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου. Από τα μέχρι τώρα αποτελέσματα προκύπτει ότι υπάρχει σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας. Μελετάται επίσης και η συνεργασία αιολικών μηχανών και μικρών υδροτροβίλων για τη δημιουργία αυτόνομων υδροηλεκτρικών σταθμών. Στην περίπτωση

αυτή οι ανεμοκινητήρες θα προωθούν νερό στον ταμιευτήρα υψηλής ενεργειακής στάθμης απ' όπου και όταν απαιτείται θα τροφοδοτείται ο υδροστρόβιλος του σταθμού. Με αυτόν τον τρόπο λύνεται το πρόβλημα της αποθήκευσης της ενέργειας.

2.5.2 Εφαρμογές Θερμότητας

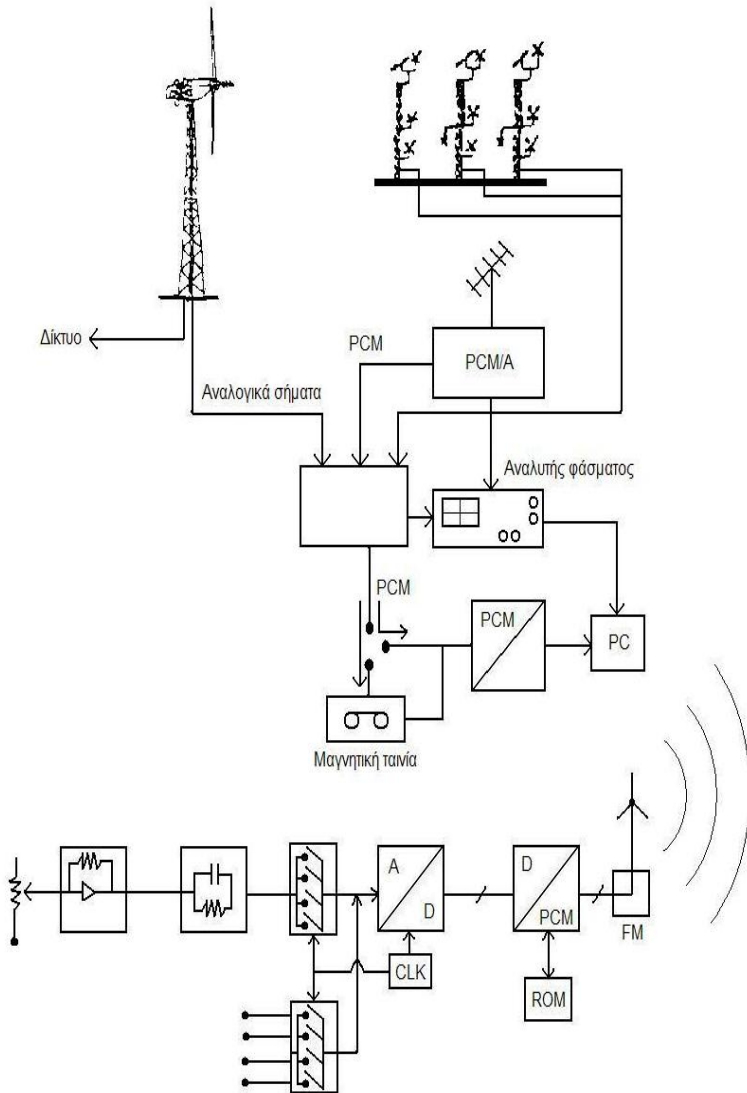
Η μηχανική κίνηση που παράγεται από την ενέργεια του ανέμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί απ' ευθείας στην παραγωγή θερμότητας είτε με την τριβή μεταξύ των στερεών είτε με κατάθλιψη υγρών. Η θερμότητα αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρων, θερμοκηπίων, στη βιομηχανία, στην αποξήρανση γεωργικών προϊόντων κ.α.

2.5.3 Εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρισμού

Η μηχανική ενέργεια του δρομέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το παραγόμενο ρεύμα μπορεί να χρησιμοποιείται για τη φόρτιση συσσωρευτών ή να διοχετεύεται απ' ευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο, οπότε στην περίπτωση αυτή γίνεται εξοικονόμηση καυσίμου από τον κεντρικό σταθμό ηλεκτροπαραγωγής. Μια άλλη δυνατότητα είναι η χρήση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για ηλεκτρόλυση νερού και η αποθήκευση του παραγόμενου υδρογόνου. Το υδρογόνο θα μπορούσε να μεταφερθεί σε άλλες θέσεις για καύση με προϊόν καύσης το νερό.

Στην Κύθνο έχουν εγκατασταθεί και λειτουργούν από το 1982 πέντε ανεμογεννήτριες οι οποίες παρέχουν ηλεκτρικό ρεύμα στο νησί σε συνδυασμό με το τοπικό δίκτυο της ΔΕΗ, το πρώτο παγκοσμίως αιολικό πάρκο. Οι αιολικές αυτές μηχανές έχουν κατασκευασθεί με δρομέα δύο πτερύγων οριζοντίου άξονα. Η διάμετρος κάθε δρομέα είναι 11,6m. Ανήκουν στην κατηγορία των μικρών μηχανών και είναι από τις πρώτες εγκατεστημένες στον ελληνικό χώρο και πιο σύγχρονης τεχνολογίας ανεμογεννήτριες. Παρέχουν ισχύ 20 KWη κάθε μια, επειδή όμως πρόκειται για αιολικό πάρκο, το άθροισμα της ισχύος τους είναι μεγάλο. Η λειτουργία τους προσφέρει τη δυνατότητα μελέτης για την επέκταση των εγκαταστάσεων των αιολικών πάρκων στον τόπο μας. Ο σχεδιασμός των συστημάτων είναι αποτέλεσμα συνεργασίας της ΔΕΗ και του γερμανικού εργοστασίου MAN. Η μέγιστη ζήτηση ηλεκτρικής ισχύος του νησιού είναι περίπου 550 KW με ελάχιστη απαίτηση 60 KW

Η συνολική ενεργειακή απόδοση τον αιολικού πάρκου σε περίοδο 10446 ωρών λειτουργίας των μηχανών, έφθασε σε 89515 KWH. Κάνοντας μια εκτίμηση των αριθμών αυτών και σύμφωνα με τις παραμέτρους ότι οι μηχανές αποδίδουν με ταχύτητα του ανέμου μεγαλύτερη από 3.5 μέτρα το δευτερόλεπτο και η συνεχής ισχύς τους είναι 8.6 KW, αυτό αποτελεί το 43% της ονομαστικής ισχύος της κάθε μηχανής. Η ταχύτητα του ανέμου σε αυτό το μέγεθος συμπίπτει και με τις ώρες όπου η ενεργειακή ζήτηση στο νησί γίνεται και η πλέον σημαντική. Στο σχήμα 5 που ακολουθεί φαίνεται η τοπολογία ενός αιολικού πάρκου για τη συλλογή πληροφοριών καθώς επίσης και ο τρόπος διασύνδεσης του με το τοπικό δίκτυο ηλεκτροδότησης.



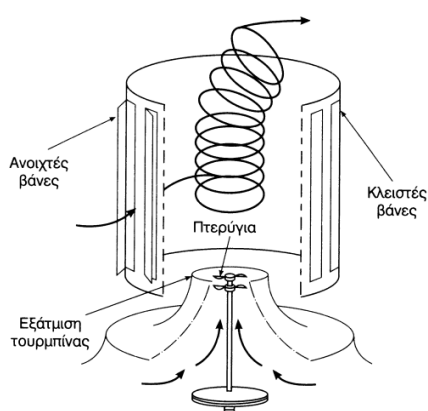
Σχήμα 5 Διάταξη συνδεσμολογίας αιολικού πάρκου για τη συλλογή πληροφοριών και τη σύνδεση των ανεμογεννητριών στο δίκτυο του ηλεκτρικού ρεύματος της παροχής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΙΙΙ

Τύποι και χαρακτηριστικά Α/Γ

3.1 Βασικοί τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα (Ιστορική διαδρομή)

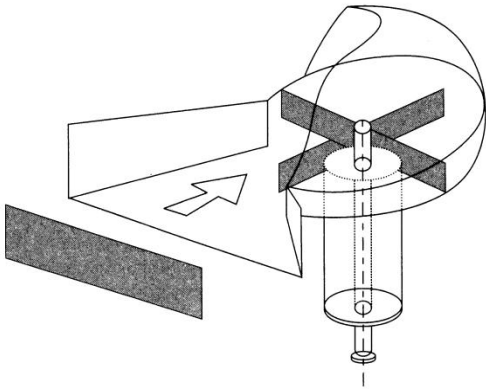
Εκτός από τους ανεμοκινητήρες «Darrieus» και «Savonius» που αναλύσαμε προηγουμένως που είναι οι πλέον διαδεδομένοι τύποι αιολικών μηχανών κατακόρυφου άξονα, υπάρχει επίσης ένα μεγάλο πλήθος παραλλαγών των ανεμογεννητριών αλλά και άλλων επινοήσεων. Από τις υπόλοιπες αιολικές μηχανές ενδιαφέρον παρουσιάζει η μηχανή «τεχνητού ανεμοστρόβιλου» ή «Tornado» (σχήμα 17), όπου ο αέρας εισρέει σε ένα κατακόρυφο κυλινδρικό κτίριο διαμέσου ενός συστήματος από κατακόρυφες σχισμές, με τη χρήση κινητών βανών που προσδίδουν την περιστροφική κίνηση του αέρα. Ο ανεμοστρόβιλος που δημιουργείται έχει στον πυρήνα του χαμηλή πίεση, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ισχυρού ρεύματος αέρα μεταξύ του περιβάλλοντος και του πυρήνα του στρόβιλου, το οποίο εισερχόμενο από η βάση του κυλίνδρου θέτει σε κίνηση λενα δρομέα κατακόρυφου άξονα.



Σχήμα 17 Αιολική μηχανή «Tornado»

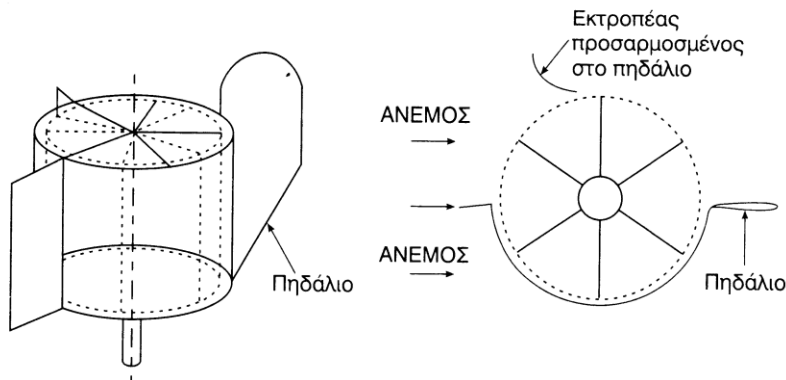
Η διάταξη αυτή αποτελεί σχετικά πρόσφατη επινοήση και προβάλλεται σαν ένας αξιόλογος τρόπος για να κατασκευασθούν μονάδες της τάξης των 10-1000MW. Για το λόγο αυτό και δεδομένου ότι οι υπόλοιπες αιολικές μηχανές εμφανίζουν κατασκευαστικά προβλήματα για ισχύς άνω των 45MW, έχει υπάρξει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον, χωρίς βέβαια να υπάρχουν μέχρι σήμερα δοκιμές σε αντίστοιχες εγκαταστάσεις.

Μια άλλη επινοήση είναι ο ανεμοκινητήρας τύπου «Lebost» που αποτελείται από ένα δρομέα κατακόρυφου άξονα και ένα συγκλινόν ακροφύσιο (σχήμα 18), το οποίο καθοδηγεί τον αέρα και αυξάνει την ισχύ του ρεύματος, προκαλώντας την ανάλογη επιτάχυνση.



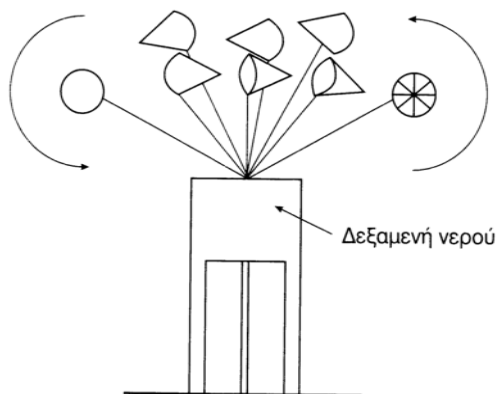
Σχήμα 18 Ανεμοκινητήρας τύπου «Lebast»

Διάφορες άλλες διατάξεις που χρησιμοποιήθηκαν στο παρελθόν είναι η μηχανή προπετάσματος (σχήμα 19) καθώς και το πανεμόνιο (σχήμα 20), οι οποίες αποτελούν τους παλαιότερους ίσως τύπους ανεμόμυλου δεδομένου ότι χρησιμοποιήθηκαν από τους αρχαίους Ασύριους και Πέρσες για την άντληση υδάτων.



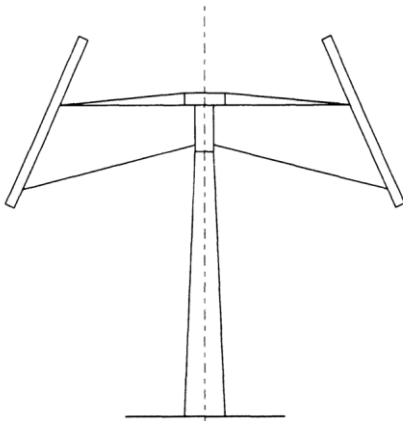
Σχήμα 19 Μηχανή τύπου «Προπετάσματος»

Στις διατάξεις αυτές τα μισά πτερύγια του δρομέα βρίσκονται στη «σκιά» μιας ακίνητης κυλινδρικής επιφάνειας με κατακόρυφη γενέτειρα. Οι μηχανές του τύπου αυτού είναι σχετικά απλές, έχουν όμως κακή αεροδυναμική απόδοση και είναι αργόστροφες.



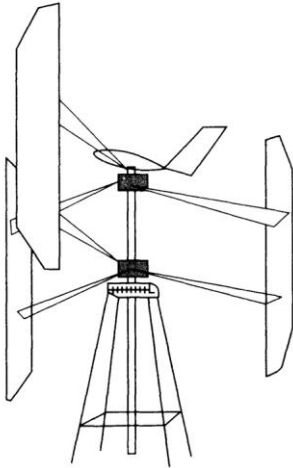
Σχήμα 20 Ανεμοκινητήρας τύπου «Πανεμόνιο»

Ένα άλλο είδος, ο ανεμόμυλος μεταβλητής γεωμετρίας του «Musgrove» εμφανίζει ικανοποιητική αεροδυναμική συμπεριφορά, έχει μικρό λόγο στερεότητας και εργάζεται σε υψηλές στροφές. Αποτελείται από πτερύγια των οποίων η κλίση μεταβάλλεται συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής (σχήμα 21), βελτιώνοντας με τον τρόπο αυτό την απόδοση του συστήματος. Η μηχανή του τύπου αυτού θεωρείται κατάλληλη για ηλεκτροπαραγωγή σε μέτριες και μεγάλες τιμές ισχύος, είναι δε δυνατή η χρήση της τόσο στην ξηρά όσο και στη θάλασσα.



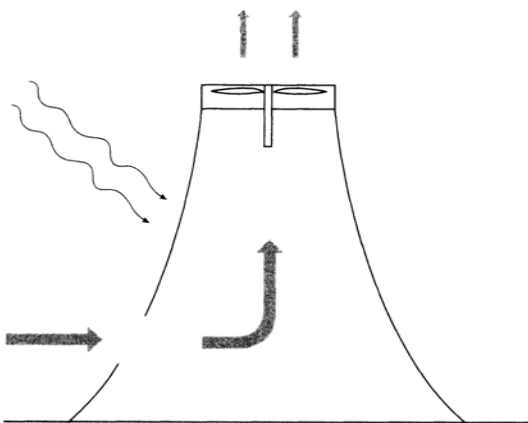
Σχήμα 21 Ανεμόμυλος τύπου «Musgrove»

Ο ανεμόμυλος τύπου «Gyromill» αποτελείται από κατακόρυφα πτερύγια αεροδυναμικής διατομής (σχήμα 22), τα οποία περιστρέφονται γύρω από τον κεντρικό άξονα της εγκατάστασης, ενώ ταυτόχρονα το καθένα περιστρέφεται γύρω από τον άξονα του. Όπως και η προηγούμενη μηχανή, η μηχανή αυτή έχει καλό βαθμό απόδοσης, μικρή στερεότητα και κατατάσσεται στις πολύστροφες μηχανές.



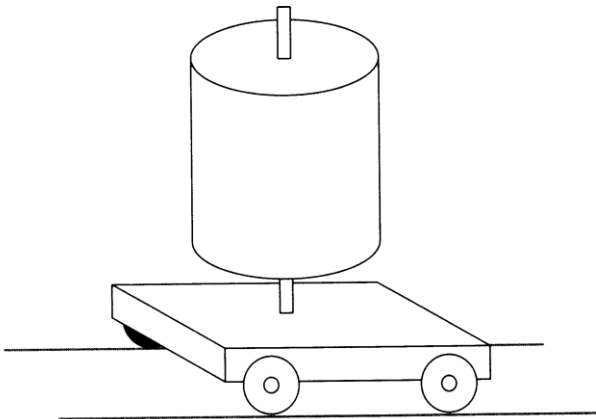
Σχήμα 22 Ανεμόμυλος τύπου «Gyromill»

Το σύστημα «Cyclonico» στο σχήμα 23 βασίζεται στο συνδυασμό της ηλιακής και της αιολικής ενέργειας. Στην περίπτωση αυτή, κάτω από μια τεράστια διαφανή χοάνη ο αέρας ζεσταίνεται με ηλιακή ενέργεια και ανυψώνεται λόγω διαφοράς πυκνότητας, δίνοντας κίνηση σε έναν ανεμοκινητήρα. Υπολογισμοί οι οποίοι χρησιμοποιούν χοάνη με εμβαδόν βάσης 1000m^2 προβλέπουν παραγωγή απόδοσης ενέργειας ισχύος εκατοντάδων MW. Το πρόβλημα που συνοδεύει την εγκατάσταση αυτή είναι ότι δεν λειτουργεί σε μικρή κλίμακα και συνεπώς είναι δύσκολη η δοκιμή του σε πειραματική φάση. Από τα διαθέσιμα στοιχεία, κατασκευάζεται σήμερα στην Ισπανία αντίστοιχη εγκατάσταση από ομάδα Ισπανών και Γερμανών ερευνητών.



Σχήμα 23 Ενεργειακό σύστημα «Cyclonico»

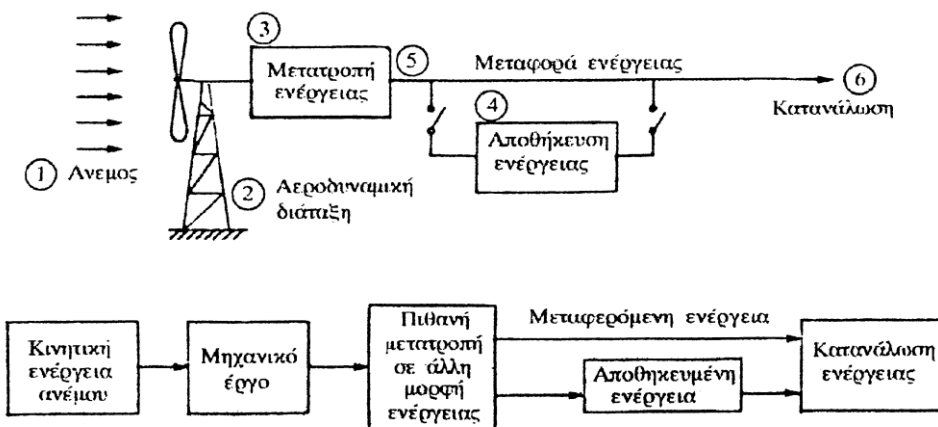
Τέλος έχουν προταθεί και διατάξεις οι οποίες βασίζονται σε ιστιοφόρα βαγονάκια, που κυκλοφορούν σε κλειστές τροχιές υπό την επίδραση του ανέμου. Η απόληψη ενέργειας γίνεται από τις ρόδες του κινητού, ενώ στη θέση των ιστίων μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αεροδυναμικά πτερύγια. Πανομοιότυπο με το τελευταίο σύστημα είναι το σύστημα «Madaras» όπου στη θέση των ιστίων ή των πτερυγίων χρησιμοποιείται ένας περιστροφικός κύλινδρος, ο οποίος αξιοποιεί το φαινόμενο «Mangus» όπως φαίνεται στο σχήμα 24.



Σχήμα 24 Σύστημα «Madaras»

3.2 Εισαγωγή

Ο ανεμοκινητήρας από την εποχή της εμφάνισης του μέχρι σήμερα έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης τόσο ως προς τον τύπο του (οριζοντίου ή κατακόρυφου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματα του (πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κλπ.). Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται από τον ανεμοκινητήρα σε άλλη αναβαθμισμένη μορφή ενέργειας. Μια εικόνα των βασικών μερών που αποτελούν μια διάταξη εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας καθώς και της ροής ενέργειας παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1 Διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής 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 χρειαζόμαστε μόνο μηχανικό έργο, είτε γιατί απαιτείται η μεταφορά της δεσμευμένης αιολικής ενέργειας στον τόπο κατανάλωσης. Για την τελευταία περίπτωση η πιο πρόσφατη διάταξη είναι εκείνη που μετατρέπει το μηχανικό έργο σε άλλη μορφή ενέργειας, που μπορεί να μεταφέρεται εύκολα και αποδοτικά στον τόπο κατανάλωσης.

Είναι γνωστές οι μεγάλες διακυμάνσεις της ενέργειας του ανέμου με το 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 ηλεκτρικής ενέργειας και η λύση για το πρόβλημα αυτό είναι η 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.

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

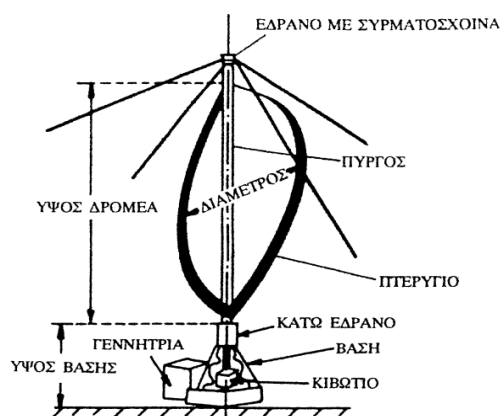
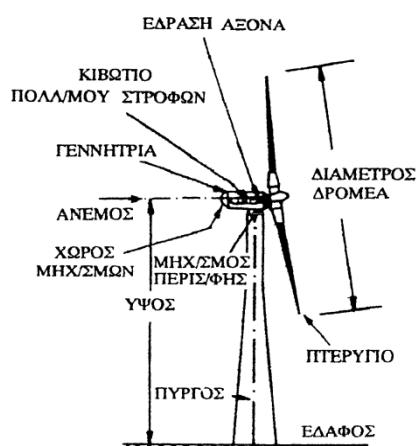
1. Μελέτη των χαρακτηριστικών του ανέμου με σκοπό την εκλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του ανεμοκινητήρα και την πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας.
2. Σχεδιασμός της αεροδυναμικής διάταξης, που να μετράει κατά τον αποδοτικότερο τρόπο την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο.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

Οι λέξεις "καλύτερος", "βέλτιστος" υποδηλώνουν βελτιστοποιημένη τόσο από τεχνικής όσο και οικονομικής σκοπιάς.

3.3 Τύποι συλλογής της αιολικής ενέργειας

Οι ανεμοκινητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με την ροή του ανέμου σε:

- Οριζοντίου άξονα, στους οποίους ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου. (σχήμα 2)
- Οριζοντίου άξονα (Cross-Wind) στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης αλλά κάθετος στην κατεύθυνση της ροής του ανέμου.
- Κάθετου άξονα στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης και κάθετος στη ροή του ανέμου. (σχήμα 3)

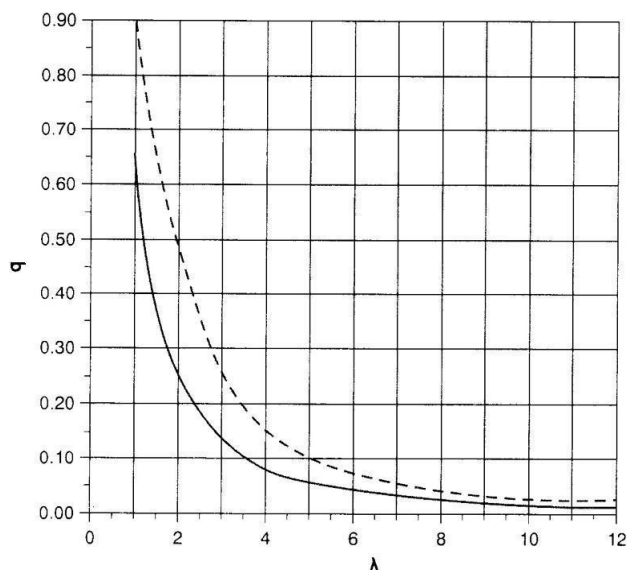


Σχήμα 2 Ανεμοκινητήρας οριζοντίου άξονα Σχήμα 3 Ανεμοκινητήρας κατακόρυφου άξονα

3.4 Βασικά χαρακτηριστικά μεγέθη αιολικών μηχανών

Κατά το σχεδιασμό και την επιλογή μιας εγκατάστασης αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας οι παράγοντες, οι οποίοι θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν και χαρακτηρίζουν μια ανεμογεννήτρια που πρόκειται να επιλεχθεί είναι:

α. *Η διάμετρος της πτερωτής «D»*, η οποία καθορίζει το εμβαδόν το οποίο σαρώνει η πτερωτή και συνεπώς την ενεργό επιφάνεια δια μέσου της οποίας επιχειρούμε να αξιοποιήσουμε την αιολική ενέργεια. Έχοντας κάποιες εκτιμήσεις για τη μέση ροή ενέργειας μιας περιοχής καθώς και για το ποσοστό το οποίο μπορούμε να αξιοποιήσουμε (σε $Watt/m^2$), είναι δυνατός ο κατ' αρχήν καθορισμός της διαμέτρου της πτερωτής, εφόσον είναι γνωστή η απαιτούμενη ισχύς.



Σχήμα 4 Στατιστική μορφή της σχέσης $\sigma = \sigma(\lambda)$

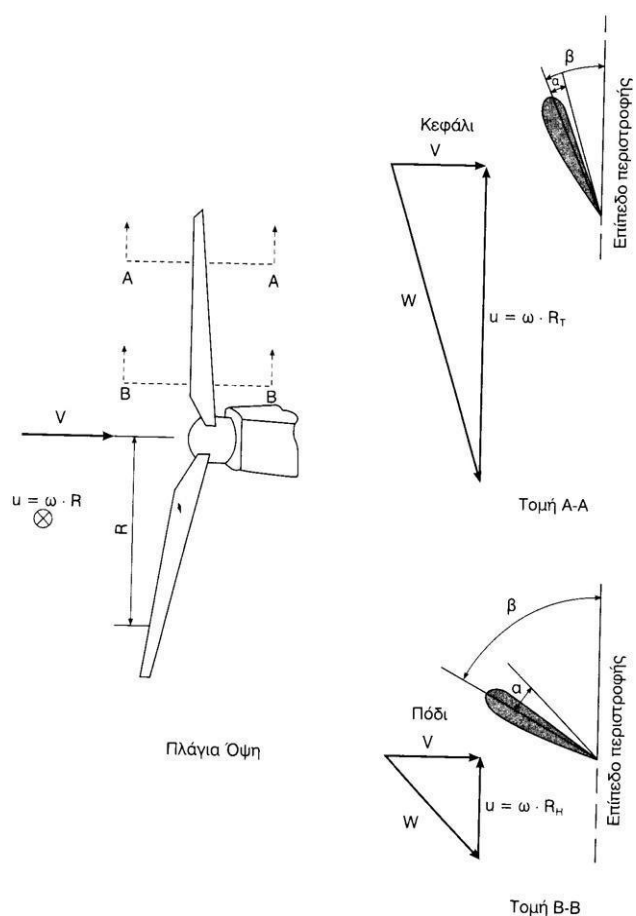
β. **Το ύψος τοποθέτησης «H»** για μηχανές οριζοντίου άξονα ή απλά το ύψος του δρομέα για μηχανές κατακόρυφου άξονα. Γνωρίζουμε ότι αυξανόμενου του ύψους αυξάνεται αφενός το διαθέσιμο αιολικό δυναμικό , αφετέρου το βάρος και το κόστος της εγκατάστασης. Επιπλέον υπάρχουν και περιορισμοί ελάχιστου ύψους που βασίζονται στο γεγονός ότι τα πτερύγια δεν πρέπει να βρίσκονται πολύ κοντά στο έδαφος, για να αποφεύγονται φαινόμενα αλληλεπίδρασης εδάφους. Τελικά το ύψος ενός ανεμοκινητήρα καθορίζεται με βάση τη διάμετρο της πτερωτής και οι χρησιμοποιούμενες αριθμητικές τιμές είναι μεταξύ του $H/D=1.0$ και $H/D=1.5$

γ. **Το πλήθος των πτερυγίων «z»** της πτερωτής, το οποίο συνδέεται και με τη στιβαρότητα «σ» της μηχανής. Χρησιμοποιώντας το παραπάνω στατικό σχήμα όπου παρουσιάζονται τυπικές τιμές « $\sigma = \sigma(\lambda)$ » για διάφορες ανεμογεννήτριες, είναι δυνατή η εκτίμηση του πλήθους των πτερυγίων. Βέβαια στις σημερινές εφαρμογές χρησιμοποιούνται κατά κανόνα τριπτέρυγες και διπτέρυγες πτερωτές.

δ. **Το είδος των πτερυγίων** της πτερωτής, που περιλαμβάνει αφενός τον τύπο των πτερυγίων, το πάχος τους, τη συστροφή τους και τον τύπο πτερυγίων με βάση τη ροή αέρα (εμπρός ή πίσω της ανεμογεννήτριας) αφετέρου δε τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους.

ε. **Η ονομαστική ταχύτητα περιστροφής** τους «n» της πτερωτής, η οποία καθορίζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η συχνότητα του ηλεκτρικού δικτύου σε περιπτώσεις διασυνδεδεμένων μηχανών και η αντοχή των πτερυγίων σε φυγόκεντρες τάσεις.

στ. Το **βήμα της πτερωτής** « $\beta = \beta(\rho)$ », το οποίο ορίζεται από τη γωνία « β » η οποία σχηματίζεται από τη χορδή της αεροτομής και από το επίπεδο περιστροφής της πτερωτής (σχήμα 5). Το βήμα της πτερωτής αποτελεί γεωμετρικό στοιχείο αυτής και συνήθως μεταβάλλεται από το πόδι έως το κεφάλι των πτερυγίων, δηλαδή $\beta = \beta(\rho)$. Το βήμα της έλικας μειώνεται συνήθως από το πόδι έως το κεφάλι της πτερύγωσης, ενώ ο τρόπος μεταβολής του βήματος κατά το ύψος του πτερυγίου αποτελεί ένα από τα βασικά στοιχεία επιτυχούς σχεδιασμού του δρομέα. Συνήθως ο ορισμός του βήματος μιας πτερωτής αναφέρεται κατά σύμβαση σε απόσταση 2/3 της ακτίνας της μηχανής από τον άξονα της ή στη θέση 2/3 του ύψους του πτερυγίου.



Σχήμα 5 Ορισμός του βήματος κατά το ύψος της πτερωτής

ζ. Ο **συντελεστής ισχύος** « C_p » της ανεμογεννήτριας αποτελεί στην ουσία τον αεροδυναμικό βαθμό απόδοσης της πτερωτής. Ο συντελεστής αυτός περιγράφει το ποσοστό της ισχύος του ανέμου που εκμεταλλεύεται η πτερωτή της μηχανής. Για μια ιδανική έλικα ο συντελεστής ισχύος δεν είναι δυνατόν να υπερβεί το όριο του Betz, δηλαδή:

$$C_p \leq \frac{16}{17} = 0.593$$

Στην πραγματικότητα ο συντελεστής ισχύος είναι πάντοτε αρκετά μικρότερος του ορίου του Betz, λόγω της συνεκτικότητας του ανέμου, του πεπερασμένου αριθμού των πτερυγίων της πτερωτής και της απώλειας κινητικής ενέργειας που δεν μετατρέπεται σε στατική πίεση λόγω της μη βέλτιστης σχεδίασης των πτερυγίων της ανεμογεννήτριας.

η. **Η ονομαστική ισχύς** «P» της μηχανής, η οποία καθορίζει το μέγεθος μιας ανεμογεννήτριας και αποτελεί το μέτρο της στιγμιαίας ωφέλιμης παραγόμενης ενέργειας από την αξιοποίηση της αιολικής ισχύος σε μια επιφάνεια εμβαδού «A», όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι «V» και η πυκνότητα του αέρα είναι «ρ». Στην περίπτωση αυτή ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot n \cdot \rho \cdot A \cdot V^3$$

όπου $n = n_M \cdot n_E$

n_M : απώλειες μηχανικού συστήματος

n_E : απώλειες ηλεκτρομηχανικής μετατροπής

Ανάλογα με τη μηχανική ισχύ «No» που παρέχουν οι ανεμοκινητήρες στην έξοδο τους, κατατάσσονται από πλευράς μεγέθους σε:

- «Μικροί», όταν για την ονομαστική ισχύ τους ισχύει ότι:
 $50W \leq N_o \leq 30KW$ (1)

- «Μεσαίοι», όταν για την ονομαστική τους ισχύ έχουμε ότι:
 $30W \leq N_o \leq 300KW$ (2)

- «Μεγάλοι», όταν για την ονομαστική τους ισχύ έχουμε ότι:

$$300W \leq N_o \leq 5MW$$

(3)

Ο χαρακτηρισμός μιας ανεμογεννήτριας σε μικρή ή μεγάλη δεν ακολουθεί αυστηρά τις τιμές των εξισώσεων (1) και (3), επειδή οι τιμές είναι ενδεικτικές και αλλάζουν από χρονική περίοδο σε χρονική περίοδο καθώς και από συγγραφέα σε συγγραφέα.

Οι αιολικές μηχανές κατατάσσονται και βάσει του αριθμού των πτερυγίων που διαθέτει η πτερωτή τους. Με αυτόν τον τρόπο οι ανεμογεννήτριες διαχωρίζονται σε πολυπτέρυγες όπως οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι χαμηλών ταχυτήτων περιστροφής και οι ολιγοπτέρυγοι που αποτελούν την πλειοψηφία των σύγχρονων ανεμογεννητριών οριζοντίου και κάθετου άξονα, με αριθμό πτερυγίων που κυμαίνεται από ένα έως τρία πτερύγια σε κάθε πτερωτή.

3.5 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

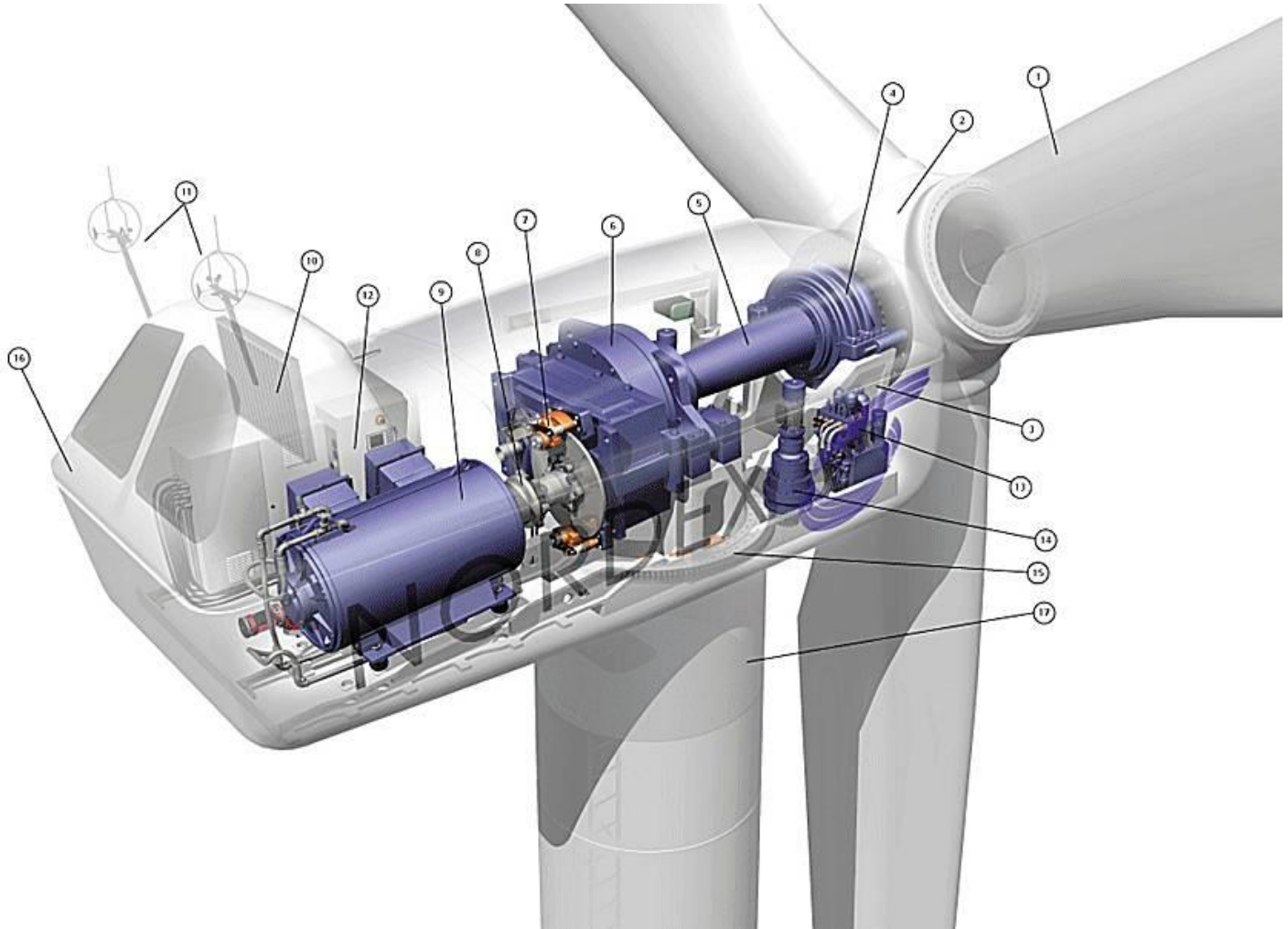
Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν τον άξονα τους παράλληλο προς την επιφάνεια της γης και συνήθως παράλληλο και με τη διεύθυνση του ανέμου (headon), αν και κάποτε η διεύθυνση τους είναι κάθετη προς τη διεύθυνση του ανέμου (cross-wind). Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα μπορούν να έχουν ένα, δύο, τρία ή και πενήντα πτερύγια, ενώ η πτερωτή τους μπορεί να τοποθετηθεί είτε μπροστά από τον πύργο στήριξης, είτε πίσω από τον πύργο στήριξης σε σχέση με την διεύθυνση του ανέμου.

Οριζοντίου άξονα ανεμογεννήτριες είναι και οι κλασικοί παραδοσιακοί ανεμόμυλοι (π.χ. της Μυκόνου) καθώς και οι αργές μηχανές πολλών πτερυγίων «αμερικάνικου τύπου», οι οποίες λόγω των περιορισμένων διαστάσεων τους και της χαμηλής τους περιφερειακής τους ταχύτητας έχουν ουσιαστικά εγκαταλειφθεί σήμερα, αν και εμφανίζουν σχετικά μεγάλες ροπές λειτουργίας. Στο παρελθόν κατασκευάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακα αντίστοιχες μηχανές και βρήκαν ευρεία εφαρμογή για την άντληση νερού και άλλες γεωργικές χρήσεις.

Στην κατηγορία των αιολικών μηχανών οριζόντιου άξονα περιλαμβάνονται και οι ανεμογεννήτριες που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο σήμερα (περίπου το 90% του συνόλου των εγκατεστημένων παγκοσμίως μηχανών) και οι οποίες ονομάζονται ανεμογεννήτριες τύπου «έλικας». Οι μηχανές αυτές εμφανίζουν σημαντικές περιφερειακές ταχύτητες, ενώ τα πτερύγια τους που είναι συνήθως ένα έως τρία βασίζονται στην τεχνολογία των αεροπορικών ελίκων αλλά και σ' αυτή της έλικας των ελικοπτέρων. Ένα από τα βασικά τους χαρακτηριστικά είναι ο μεγάλος αεροδυναμικός βαθμός απόδοσής τους, αλλά και η βέλτιστη λειτουργία τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου περιστροφής «λ», με αποτέλεσμα την αρκετά μεγάλη σχετική ταχύτητα προσβολής των πτερυγίων από τον άνεμο. Οι πρώτοι δρομείς, που κατασκευάστηκαν είχαν πλατιά πτερύγια, ενώ σήμερα κατασκευάζονται μηχανές με αρκετά λεπτά πτερύγια.

Σε μηχανές τύπου «έλικα» γίνεται ρύθμιση της ταχύτητας περιστροφής της πτερωτής και για λόγους προστασίας της σε περιπτώσεις πολύ ισχυρών ανέμων, είτε με τη χρήση ειδικών αεροδυναμικών βοηθημάτων (π.χ. «flaps») στο πίσω μέρος της ατράκτου είτε με τη στροφή της πτερωτής υπό γωνία σε σχέση με τη διεύθυνση του ανέμου. Η αιολική ισχύς από την πτερωτή μεταφέρεται στον άξονα περιστροφής (ρότορας) και μέσω του κιβωτίου στην ηλεκτρική γεννήτρια τα οποία βρίσκονται στην πάνω πλευρά του πύργου στήριξης. Οι μηχανές οριζόντιου άξονα συνεχίζουν να αναπτύσσονται και σήμερα, ενώ έχουν κατασκευασθεί ή κατασκευάζονται μονάδες με ισχύ, που κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες Watt έως και αρκετά MW.

Έχουν επινοηθεί και προταθεί επίσης κατά καιρούς διάφορες μηχανές τύπου «Cross-Wind», οι οποίες όμως δεν είναι περισσότερο αποτελεσματικές σε σύγκριση με τους άλλους τύπους. Αντίθετα, οι συγκεκριμένοι ανεμοκινητήρες παρουσιάζουν μειονεκτήματα, όσον αφορά τη συλλογή της παραγόμενης ενέργειας, καθώς και τη ρύθμιση της διεύθυνσης θέσης της πτερωτής σε περιπτώσεις έντονων μεταβολών της διεύθυνσης του ανέμου. Στην παρακάτω εικόνα έχουμε μια σύγχρονη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα της εταιρείας Nordex, η οποία αποτελείται από τρεις έλικες:



Εικόνα 1 Σύγχρονη μηχανή οριζοντίου άξονα

Τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται είναι τα εξής:

1. Πτερύγιο έλικας
2. Κεφαλή έλικας
3. Βάση ατράκτου
4. Ρουλεμάν έλικας
- 5 Άξονας έλικας

6. Κιβώτιο γραναζιών
7. Μηχανικό φρένο
8. Σύνδεσμος ηλεκτρογεννήτριας
9. Ηλεκτρογεννήτρια
10. Σύστημα ψύξης
11. Ανεμόμετρα
12. Σύστημα ελέγχου
13. Υδραυλικό σύστημα
14. Κινητήρας περιστροφής ατράκτου
15. Ρουλεμάν περιστροφής ατράκτου
16. Κάλυμμα ατράκτου
17. Πύργος στήριξης ατράκτου

3.6 Χαρακτηριστικά ανεμοκινητήρων οριζόντιου άξονα

Δρομέας

Ο σχεδιασμός του δρομέα βασίζεται στο βέλτιστο συνδυασμό διαφόρων παραμέτρων που συνθέτουν τον δρομέα: ταχύτητα περιστροφή, διάμεσος δρομέα, αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους πτερυγίου, κατάλληλη αεροτομή ή αεροτομές, συστροφή, μέσο γεωμετρικό βήμα. Τα κριτήρια επιλογής είναι η μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής της.

Η διάμεσος του δρομέα εξαρτάται από την απαιτούμενη ονομαστική ισχύ της μηχανής και το αεροδυναμικό της περιοχής εγκατάστασης του ανεμοκινητήρα.

Η γωνιακή ταχύτητα λειτουργίας του δρομέα επιλέγεται έτσι ώστε ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου προς την ονομαστική ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται στην περιοχή της βέλτιστης τιμής του συντελεστή ισχύος του ανεμοκινητήρα. Η κατανομή του πλάτους των πτερυγίων προκύπτει από την βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής σχεδίασης του δρομέα και τέλος το πλήθος των πτερυγίων (η στερεότητα του δρομέα) εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής του ανεμοκινητήρα.

Ανάλογα με τη μορφή τον δρομέα διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τύπους:

α. Δρομείς με πολλά λεπτά πτερύγια (πολυπτέρυγους)

Χαρακτηριστικό των δρομέων αυτών είναι η μικρή διάμετρος, η μικρή περιφερειακή ταχύτητα και η μεγάλη ροπή. Η κατασκευή πολυπτέρυγων ανεμοκινητήρων τείνει να εγκαταλειφθεί για πολλούς λόγους, όπως ο μικρός συντελεστής ισχύος και η μικρή διάμετρος που μπορούν να κατασκευαστούν.

β. Δρομείς με λίγα πτερύγια

Οι δρομείς αυτοί έχουν συνήθως δύο ή τρία πτερύγια. (τελευταία κατασκευάστηκαν δρομείς με ένα πτερύγιο, μονόπτερος). Έχουν τη μορφή των πτερυγίων των ελίκων των αεροσκαφών με αρκετή συστροφή από τη βάση μέχρι το ακροπτερύγιο και μεταβαλλόμενη χορδή με λέπτυνση προς το ακροπτερύγιο. Η τεχνολογία κατασκευής του είναι παρόμοια με εκείνη των ελίκων αεροπλάνων, δανείζεται και μερικά στοιχεία από εκείνη του δρομέα των ελικοπτέρων. Τα βασικά χαρακτηριστικά του δρομέα είναι ο μεγάλος συντελεστής ισχύος και η βέλτιστη λειτουργία του σε σχετικά μεγάλο λόγο ταχυτήτων ακροπτερυγίου λ . Οι σύγχρονοι δρομείς έχουν λεπτά πτερύγια και οι αεροτομές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αυτών είναι σύγχρονες αεροτομές που παρουσιάζουν μεγάλο συντελεστή άνωσης σε μικρές γωνίες πρόσπτωσης ενώ συγχρόνως διατηρούν χαμηλό συντελεστή αντίστασης σε ευρεία περιοχή γωνιών πρόσπτωσης.

Οι δρομείς αυτοί είναι πιο ταχύστροφοι από τους πολυπτέρυγους δρομείς ελαφρώς οικονομικότεροι και παρουσιάζουν ευκολία στην επιτόπου συναρμολόγηση του ανεμοκινητήρα. Γενικά ο τρίπτερος δρομέας είναι κατά 5% περισσότερο αποδοτικός από τον δίπτερο και τα φορτία που ενεργούν σε κάθε πτερύγιο είναι μικρότερα. Αντίθετα ο μονόπτερος δρομέας έχει 10% μικρότερη ενεργειακή απόδοση από τον δίπτερο, έχει θορυβώδη λειτουργία και η ζυγοστάθμιση του παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα.

Μέγεθος ανεμοκινητήρα

Οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα κατασκευάζονται για ισχύ μερικών εκατοντάδων W μέχρι πάνω από 1 MW . Γενικά διακρίνουμε:

Μικρά μεγέθη (έως λίγα KW) με διάμετρο έως 10 μέτρα

Μεσαία μεγέθη (50 - 250 KW) με διάμετρο έως 25 μέτρα

Μεγάλα μεγέθη (500 - 2500 KW) με διάμετρο έως 40 μέτρα

Υλικά πτερυγίων

Διάφορα είναι τα υλικά κατασκευής των πτερυγίων των δρομέων. Στους μικρούς ανεμοκινητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως πολυουρεθάνη, υαλόνημα και ξύλο, υλικά που δεν υποφέρουν από διάβρωση αλλά η εναλλασσόμενη φόρτιση, οδηγεί σε πρόωρη γήρανση το υλικού.

Στους μεσαίου μεγέθους δρομείς χρησιμοποιούνται υαλόνηματα με εναλλαγή της κατεύθυνσης των υαλονημάτων σε πολλαπλές στρώσεις ενώ στους μεγάλου μεγέθους ανεμοκινητήρες χρησιμοποιείται η τεχνολογία των ελίκων των αεροσκαφών (ανθρακονήματα με μηχανές αυτομάτου τυλίγματος - HamiltonStandard) ή και ξύλο

ή και τεχνολογία πτερυγίων αεροσκαφών.

Το βήμα του πτερυγίου

Υπάρχουν δρομείς με πτερύγια μεταβλητού βήματος και σταθερού βήματος. Η μηχανική ρύθμιση ισχύος σε μια ανεμογεννήτρια έχει σκοπό να εξισορροπεί, για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από την ονομαστική, την ισχύ την παραγόμενη από τα πτερύγια με την ονομαστική ισχύ της εγκατάστασης (π.χ. γεννήτριας), ώστε η εγκατάσταση να μην υπερφορτίζεται.

Τρόποι μηχανικής ρύθμισης ισχύος

Είναι δυνατόν να μειωθεί το μέγεθος της παραγόμενης από τα πτερύγια ισχύος με την αλλαγή του προσανατολισμού ολόκληρου του πτερυγίου ή μέρους του (ακροπτερύγιο) ως προς τη διεύθυνση του ανέμου. Ο τρόπος αυτός απαιτεί την ύπαρξη σερβομηχανισμού και έχει εφαρμογή στις ανεμογεννήτριες μικρής και μεγάλης ισχύος.

Ένας δεύτερος τρόπος ρύθμισης της ισχύος είναι η ρύθμιση με τη βοήθεια αεροδυναμικών φρένων στη βάση (αξονα) των πτερυγίων. Η διάταξη αυτή αποτελεί περισσότερο μέσο προστασίας της ανεμογεννήτριας έναντι υπερτάχυνσης της και τίθεται σε λειτουργία όταν η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα υπερβεί την επιτρεπόμενη τιμή. Αυτό μπορεί να συμβεί σε περίπτωση υπερβολικής ταχύτητας ανέμου ή όταν ο δρομέας παράγει έργο, ενώ δεν υπάρχει κατανάλωση.

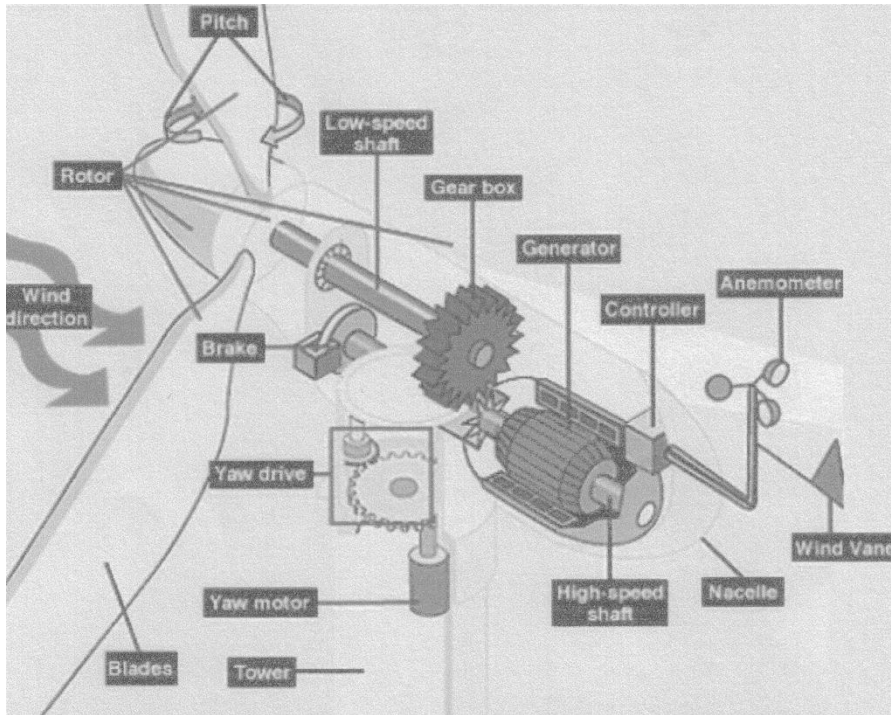
Οι ανεμογεννήτριες με σύστημα ρύθμισης του βήματος του πτερυγίου παρουσιάζουν τεχνολογική πολυπλοκότητα στο ρυθμιστικό μηχανισμό και τα πτερύγια είναι ακριβότερα και βαρύτερα. Παρουσιάζουν όμως καλή ρύθμιση ισχύος, μειωμένα αεροδυναμικά φορτία, ευκολία στην εκκίνηση της ανεμογεννήτριας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για πέδηση.

Οι ανεμογεννήτριες που δεν έχουν μηχανική ρύθμιση ισχύος (πτερύγιο σταθερού βήματος) είναι απλούστερες τεχνολογικά και φθηνότερες, έχουν όμως περίπου 5-10% μικρότερη παραγωγή ενέργειας, μεγαλύτερα φορτία καταπόνησης και απαιτούν δισκόφρενα ασφαλείας αστοχίας ή αεροπέδες.

Σύστημα αύξηση στροφών (Σ.Α.Σ.)

Το σύστημα αύξησης των στροφών του δρομέα είναι υπεύθυνο για την προσαρμογή του δρομέα στις στροφές της γεννήτριας ή της αντλίας. Η τεχνολογική εξέλιξη των συστημάτων αύξησης στροφών έχει δώσει πολλούς και καλούς τύπους κιβωτίου ταχυτήτων από άποψη αντοχής υλικού, φθοράς, μεταφερόμενης ισχύος και διαστάσεων.

Βασικά κριτήρια επιλογής του είναι η διάρκεια ζωής του, ο βαθμός απόδοσής του και ο θόρυβος λειτουργίας του. Λόγω της συνεχούς μεταβολής της ισχύος του ανέμου, το κιβώτιο ταχυτήτων λειτουργεί συνεχώς με κρουστικά φορτία τα οποία οδηγούν σε πρόωρη φθορά του υλικού και μείωση της διάρκειας ζωής του κιβωτίου. Για το λόγο αυτό, το κιβώτιο ταχυτήτων της ανεμογεννήτριας επιλέγεται να έχει ονομαστικό μέγεθος ισχύος πολύ μεγαλύτερο από το ονομαστικό μέγεθος της μηχανής, ακόμα και ονομαστική ροπή 200% μεγαλύτερη της ονομαστικής ροπής της μηχανής. Διακρίνονται δυο είδη κιβωτίων, το κιβώτιο με παράλληλες οδοντώσεις γραναζιών (κιβώτιο παράλληλων αξόνων) και το κιβώτιο στο οποίο οι οδοντωτοί τροχοί που χρησιμοποιούνται έχουν ελικοειδή οδόντωση (συνήθως κιβώτιο με πλανητικό σύστημα οδοντωτών τροχών). Το πρώτο είδος κιβωτίου είναι απλούστερο κατασκευαστικά και έχει χαμηλότερο κόστος συντήρησης. Το κιβώτιο με ελικοειδή οδόντωση έχει υψηλότερο κόστος αγοράς και συντήρησης αλλά καλύτερο βαθμό απόδοσης και χαμηλότερη στάθμη θορύβου. Για την αύξηση της ζωής του κιβωτίου και τη μείωση των κρουστικών φορτίων λειτουργίας, σε ορισμένες περιπτώσεις το κιβώτιο ταχυτήτων στηρίζεται πάνω σε ελατήρια απόσβεσης κραδασμών.



Εικόνα 2 Εσωτερικά χαρακτηριστικά ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα

Σύστημα πέδησης άξονα δρομέα

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ακινητοποίησης του δρομέα του ανεμοκινητήρα:

1. Μεταβολή του βήματος του πτερυγίου ή του ακροπτερυγίου ή και ενεργοποίησης της ακροπέδης στο ακροπτερύγιο.
2. Στροφή του ίδιου του δρομέα ώστε να γυρίσει παράλληλα προς τον άνεμο
3. Αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης του πτερυγίου με την ενεργοποίηση αεροπέδης (τύπου spoiler)
4. Πέδηση του άξονα

Από τα παραπάνω διαπιστώνουμε ότι ο προτιμότερος τρόπος ακινητοποίησης της μηχανής είναι η σταδιακή μείωση των αεροδυναμικών φορτίων στη μηχανή με παράλληλη αύξηση της αντι-ροπής. Με τον τρόπο αυτό δεν αναπτύσσονται κρουστικά φορτία κατά την πέδηση της μηχανής. Υπάρχουν περιπτώσεις αστοχίας των μηχανισμών ρύθμισης του βήματος των πτερυγίων ή οποιουδήποτε άλλου μηχανισμού από όσους αναφέραμε. Όταν συμβεί αυτό απαιτείται η πέδηση του δρομέα με μηχανικό τρόπο. Αυτό γίνεται συνήθως με δισκόφρενο τύπου ασφάλειας αστοχίας που επενεργεί αυτόματα στο δρομέα. Τοποθετείται συνήθως στον υψηλόστροφο άξονα της μηχανής (μετά το κιβώτιο ταχυτήτων) διότι έτσι η απαιτούμενη ροπή πέδησης είναι πολύ μικρή λόγω της υψηλής γωνιακής ταχύτητας και συνεπώς το δισκόφρενο είναι φθινό και μικρό σε όγκο. Συνήθως,

εξαρτάται από την κάθε εταιρεία κατασκευής αιολικών συστημάτων. Η πέδη είναι ηλεκτρομαγνητικού τύπου και ενεργοποιείται αυτόματα με τη διακοπή του ρεύματος. Για να γίνει σαφές, η

πέδη αυτή παραμένει πάντα ανοικτή με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητών και σε

περίπτωση διακοπής ρεύματος ενεργοποιείται από τα ελατήρια. Τοποθετώντας όμως την πέδη στον υψηλόστροφο άξονα υπερφορτίζουμε το κιβώτιο ταχυτήτων κατά την πέδηση, αφού αυτή επιτυγχάνεται μετά από 2 με 3 πλήρεις περιστροφές του δρομέα ενώ όπως προαναφέραμε η αντικατάσταση, συντήρηση ή και επισκευή του παρουσιάζει δυσκολίες ειδικά στις μηχανές οριζοντίου άξονα που μας απασχολούν κύρια. Βέβαια από την άλλη, η τοποθέτηση δισκόφρενου στο χαμηλόστροφο άξονα απαιτεί εκ των πραγμάτων μεγάλο μέγεθος και κόστους δισκόφρενο. Στην περίπτωση αυτή είναι υδραυλικού τύπου ασφαλείας αστοχίας. Όταν χρησιμοποιείται υδραυλικό δισκόφρενο εμφανίζονται προβλήματα διαρροής λαδιού, λειτουργίας αισθητήρων μέτρησης στάθμης και θερμοκρασίας λαδιού οι οποίοι ελέγχονται από έναν κεντρικό ηλεκτρονικό ελεγκτή. Κύριος σκοπός του υδραυλικού συστήματος είναι να επαναφέρει τα αεροδυναμικά φρένα της ανεμογεννήτριας στην αρχική τους θέση. Το σύστημα προσανατολισμού (yawcontrol) χρησιμεύει στην περιστροφή του κουβουκλίου της γεννήτριας ανάντι δηλαδή «κόντρα» στον άνεμο. Όταν ο δρομέας δεν είναι κάθετος στον αέρα συνεπάγεται ότι η επιφάνεια σάρωσης του δρομέα δεν προσβάλλεται από το ποσό του αέρα που κανονικά θα έπρεπε εξαιτίας του λάθους προσανατολισμού του κουβουκλίου. Το τμήμα εκείνο του δρομέα που είναι πιο κοντά στην πηγή του ανέμου υπόκειται τη μεγαλύτερη καμπτική ροπή σε σχέση με τα άλλα τμήματα (πτερύγια). Αφ' ενός, αυτό σημαίνει ότι ο δρομέας θα έχει μια τάση να παρεκκλίνει της πορείας ενάντια στον αέρα αυτόματα, ανεξάρτητα από εάν εξετάζουμε έναν ανάντι ή κατάντι ανεμοκινητήρα. Αφ' ετέρου, σημαίνει ότι τα πτερύγια θα κάμπτονται μπρος πίσω για κάθε στροφή του στροφέα. Σχεδόν όλες οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα έχουν σύστημα εξαναγκασμένης περιστροφής της ατράκτου με μηχανισμούς που περιλαμβάνουν μικρούς ηλεκτρικούς κινητήρες και σύστημα γρναζιών που διατηρούν την Α/Γ κόντρα (ανάντι) στον άνεμο. Εκτός αυτών υπάρχουν και ειδικά φρένα για να σταματούν την άτρακτο στη σωστή θέση. Ο όλος μηχανισμός περιστροφής ενεργοποιείται από ηλεκτρονικούς ελεγκτές οι οποίοι ελέγχουν πολλές φορές το δευτερόλεπτο τη θέση του ανεμοδείκτη καθώς ο δρομέας περιστρέφεται.

Ελαστικοί σύνδεσμοι

Για την σύνδεση αξόνων μεταξύ των (π.χ. άξονας δρομέα με κιβώτιο ή δισκόφρενο με γεννήτρια κλπ.) απαιτείται ελαστικός σύνδεσμος απορρόφησης κραδασμών. Συνήθως οι σύνδεσμοι αυτοί βασίζονται στην απορροφητική ικανότητα του καουτσούκ.

Σε ακριβές κατασκευές χρησιμοποιείται και υδραυλικού τύπου συμπλέκτης ο οποίος συγχρόνως μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως μέσο προσαρμογής των στροφών του δρομέα στις στροφές της γεννήτριας και έτσι η μηχανή να δουλεύει σε σταθερές σύγχρονες στροφές μεγίστου συντελεστή *ισχύος*.

Ηλεκτρική γεννήτρια

Υπάρχουν δύο δυνατές λύσεις:

1. Ασύγχρονη γεννήτρια
2. Σύγχρονη γεννήτρια

Η απλότητα στην κατασκευή και η ευκολία με την οποία συνδέεται στο δίκτυο η ασύγχρονη γεννήτρια, είναι τα πλεονεκτήματά της. Όμως η ανάγκη να παίρνει ρεύμα μαγνήτισης από το δίκτυο δημιουργεί προβλήματα όταν η ισχύς της ανεμογεννήτριας είναι συγκρίσιμη με την ισχύ του ηλεκτρικού δικτύου.

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και γεννήτρια συνεχούς ρεύματος, πράγμα που γίνεται στις εφαρμογές φόρτισης συσσωρευτών, αλλά οι γεννήτριες συνεχούς ρεύματος είναι ογκώδεις και ακριβές.

Σύστημα προσανατολισμού

Ο δρομέας μπορεί να βρίσκεται μπροστά από τον πύργο ή πίσω από αυτόν. Στις μικρού μεγέθους ή και μεσαίου μεγέθους ανεμογεννήτριες για τον προσανατολισμό χρησιμοποιείται καθοδηγητικό πτερύγιο (ουρά). Στις ανεμογεννήτριες μεγάλου μεγέθους χρησιμοποιείται σερβοκινητήρας ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και που προσανατολίζει τα πτερύγια κάθετα στην κατεύθυνση του ανέμου. Η τοποθέτηση του δρομέα κατάντι φαινομενικά τουλάχιστον φαίνεται να οδηγεί σε απλούστερη κατασκευή ανεμοκινητήρα γιατί δεν απαιτείται σύστημα προσανατολισμού, αλλά στην περίπτωση αυτή ο ανεμοκινητήρας είναι περισσότερο θορυβώδης στη λειτουργία του λόγω σκίασης του πύργου πάνω στο δρομέα και επίσης δημιουργούνται αυξημένες καταπονήσεις στα πτερύγια λόγω της περιοδικότητας φορτίσεων του πτερυγίου καθώς αυτό σε κάθε περιστροφή σκιάζεται από τον πύργο. Τέλος απαιτείται κάποιο είδος αποσβεστήρα για τον περιορισμό των άσκοπων μετακινήσεων του κουβουκλίου λόγω πλευρικής "τύρβης" του ανέμου.

Πύργος

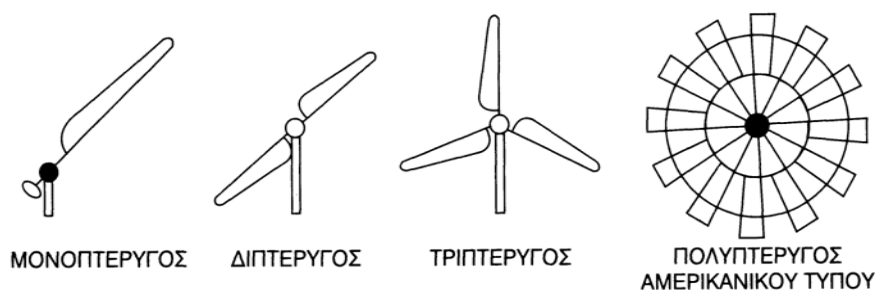
Κριτήρια επιλογής του είδους του πύργου είναι εκτός από το κόστος του, η ευκολία μεταφοράς του στον τόπο εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας και η ευκολία ανέγερσης του. Δύο είναι κυρίως οι τύποι πύργων που έχουν επικρατήσει, ο σωληνωτός και ο τύπος δικτυώματος.

Ο πύργος τύπου δικτυώματος είναι ευκολότερος στην επιτόπου συναρμολόγηση και ανάρτηση, ελαφρότερος και φθηνότερος. Επειδή έχει πολλά μικρά κομμάτια είναι ευκολότερο να υποστεί ψυχρό γαλβάνισμα σε μικρά γαλβανιστήρια. Ο σωληνωτός πύργος είναι αισθητικά καλύτερος, το εσωτερικό του πύργου μπορεί να αποτελεί και το θάλαμο στέγασσης όλων των οργάνων της ανεμογεννήτριας και να έχει εσωτερική σκάλα ή και ασανσέρ πρόσβασης στο κουβούκλιο στην κορυφή του. Παρουσιάζει όμως δυσκολία στην μεταφορά του, ιδίως από κάποιο ύψος και πάνω, δυσκολία στην ανέγερση του (απαιτείται οπωσδήποτε γερανός), και αν είναι μεγάλος πρέπει να γαλβανισθεί σε κομμάτια και να συγκολληθεί επί τόπου, αλλά τότε καταστρέφεται το γαλβάνισμα τοπικά.

Ο σωληνωτός πύργος έχει χαμηλή ιδιοσυχνότητα (μικρότερη από την ιδιοσυχνότητα του δρομέα) γι' αυτό κατά την εκκίνηση του δρομέα η περιοχή ιδιοσυχνότητας του πύργου πρέπει να περνιέται γρήγορα για αποφυγή φαινομένων συντονισμού. Αντίθετα ο δικτυωτός πύργος έχει υψηλή ιδιοσυχνότητα ως προς την ιδιοσυχνότητα ή και τις πρώτες αρμονικές του δρομέα.

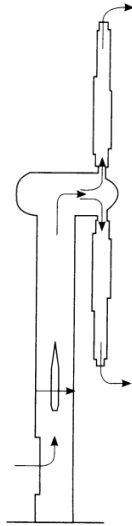
3.7 Βασικοί τύποι ανεμοκινητήρων οριζόντιου άξονα

Εκτός από τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα τύπου έλικας με ένα, δύο ή τρία πτερύγια (σχήμα 6) με τοποθέτηση της πτερωτής ανάντη ή κατόντη του πύργου στήριξης και τους πολυπτερυγους αργόστροφους «αμερικάνικους» ανεμόμυλους, αναφέρονται και άλλες αιολικές μηχανές όπως ο ανεμοκινητήρας τύπου «Andreau-Enfield».



Σχήμα 6 Ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα

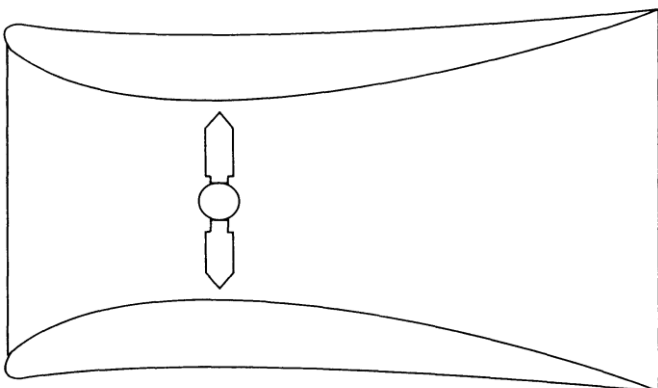
Ο εν λόγω ανεμοκινητήρας τύπου «Andreau-Enfield» αποτελείται από μια έλικα αεροπλάνου (σχήμα 7), με κοίλα πτερύγια, που κάτω από την επίδραση του ανέμου περιστρέφεται και ενεργεί σαν φυγοκεντρική αντλία αέρα. Το ρεύμα αέρα που εισροφάται από τη βάση του πύργου αποβάλλεται από τα ακροπτερύγια, κινώντας ενδιάμεσως ένα δρομέα στο εσωτερικό του πύργου.



Σχήμα 7 Παρουσίαση Α/Κ Andreau-Enfield

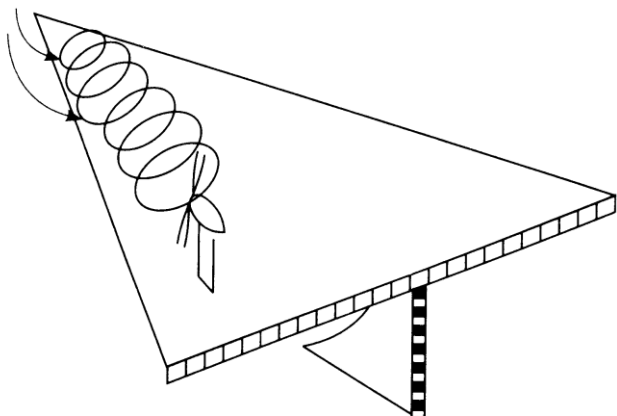
Μια μεγάλη αντίστοιχη πειραματική εγκατάσταση ισχύος 100KW κατασκευάσθηκε και λειτούργησε στην Αλγερία την περίοδο 1950-60. Όμως η λειτουργία της διεκόπη σύντομα λόγω κάποιων σημαντικών προβλημάτων. Οι μηχανές του τύπου αυτού δεν χρησιμοποιούνται σήμερα, αν και είναι σχετικά ελαφρές επειδή παρουσιάζουν πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης.

Ένας άλλος τύπος αιολικής μηχανής οριζόντιου άξονα βασίζεται στη χρήση αεροπορικής έλικας μέσα σε περίβλημα τύπου «Venturi». Η παρουσία του περιβλήματος και η χρησιμοποιούμενη διάταξη οδηγεί σε αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, ιδιαίτερα στην περιοχή του λαιμού του ακροφυσίου όπου τοποθετείται συνήθως η πτερωτή. Ένα πλεονέκτημα της συγκεκριμένης διάταξης (σχήμα 8) είναι και η μείωση των αεροδυναμικών απωλειών. Όμως η διάταξη εμφανίζει αυξημένο βάρος και κόστος κατασκευής και το κυριότερο, πρόβλημα διαρκούς προσανατολισμού στη διεύθυνση του ανέμου. Αν και η διερευνούμενη διάταξη δε χρησιμοποιείται ευρέως, εξακολουθεί να προκαλεί το ενδιαφέρον των ερευνητών με στόχο τη βελτιστοποίηση της.



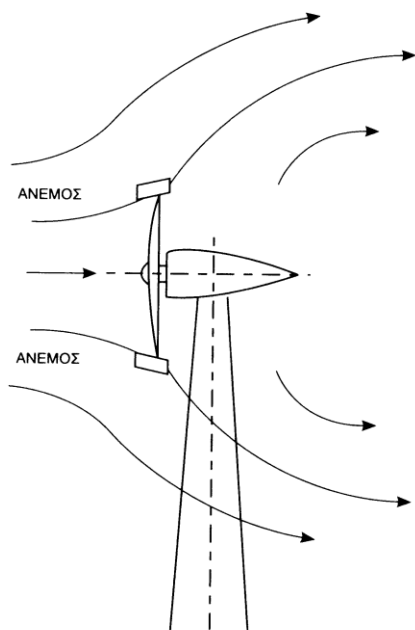
Σχήμα 8 Σχηματική παρουσίαση Α/Κ με περίβλημα τύπου «Venturi»

Μια άλλου τύπου ανεμογεννήτρια βασίζεται στην τεχνητή δημιουργία αεροδυναμικής δίνης. Πράγματι σε πολύ κεκλιμένες τριγωνικές πτέρυγες (τύπου Δέλτα) δημιουργείται τοπική αύξηση της κινητικής ενέργειας του ανέμου, λόγω της δημιουργίας στροβίλων κυκλοφορίας γύρω από την πτέρυγα (σχήμα 9). Ασφαλώς και στην περίπτωση αυτή έχουμε αυξημένη δυσχέρεια περιστροφής του συστήματος.



Σχήμα 9 Παρουσίαση στροβίλων, πτέρυγες τύπου Δέλτα

Μια σχετικά πρόσφατη επινόηση όχι ευρέως χρησιμοποιούμενη είναι οι ανεμογεννήτριες τύπου (tip-vanes). Σε αυτές τα ακροπτερύγια του δρομέα αποτελούνται από μικρές εγκάρσιες επιφάνειες οι οποίες βοηθούν στη σύγκλιση των γραμμών ροής διαμέσου της πτερωτής με αποτέλεσμα την αύξηση της παροχής αέρα που διασχίζει την πτερωτή, ενώ δεν παρουσιάζονται προβλήματα στο γρήγορο προσανεμισμό του συστήματος. Ωστόσο η χρήση «tip-vanes» επιβαρύνει με δυσανάλογα δυναμικά φορτία το σύνολο της πτερωτής.



Σχήμα 10 Επίδραση των «tip-vanes» στη ροή

3.8 Εξαγωγή ισχύος

Οι μεγάλες μάζες του ανέμου που διαρκώς μετακινούνται στην ατμόσφαιρα περιέχουν τεράστια ποσά ενέργειας. Η στιγμιαία ισχύς που περιέχεται σε ένα ρεύμα αέρα διατομής A ομοιόμορφης στιγμιαίας ταχύτητας V και πυκνότητας ρ υπολογίζεται από τη σχέση:

$$P = \frac{\rho \cdot V^3 \cdot A}{2}$$

Και είναι ανάλογη του κύβου της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου. Η ταχύτητα δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε ευρύτατα όρια με το χρόνο. Το γεγονός της ευρύτατης χρονικής μεταβολής επιβάλλει ένα ξεχωριστό τρόπο επεξεργασίας των μετεωρολογικών δεδομένων όταν ενδιαφερόμαστε για την εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου και την εύρεση του κατάλληλου ανεμοκινητήρα για μια ορισμένη περιοχή. Η ισχύς που παρέχει η έλικα είναι μικρότερη από την ισχύ του ανέμου, σύμφωνα με την σχέση:

$$P_{A/K} = C_p \cdot \frac{\rho \cdot V^3 \cdot A}{2}$$

Το μέγεθος C_p λέγεται συντελεστής ισχύος. Προσοχή χρειάζεται στο ότι το C_p δεν είναι αυστηρά ο βαθμός απόδοσης του δρομέα, αφού αναφέρεται σε μια ισχύ που δεν μπορούμε να εκμεταλλευτούμε ολόκληρη, ακόμη και με μια ιδανική έλικα. Όπως έδειξε ο Betz, η μέγιστη τιμή του είναι:

$$C_p = \frac{16}{27}$$

Το όριο αυτό καλείται το όριο του Betz.

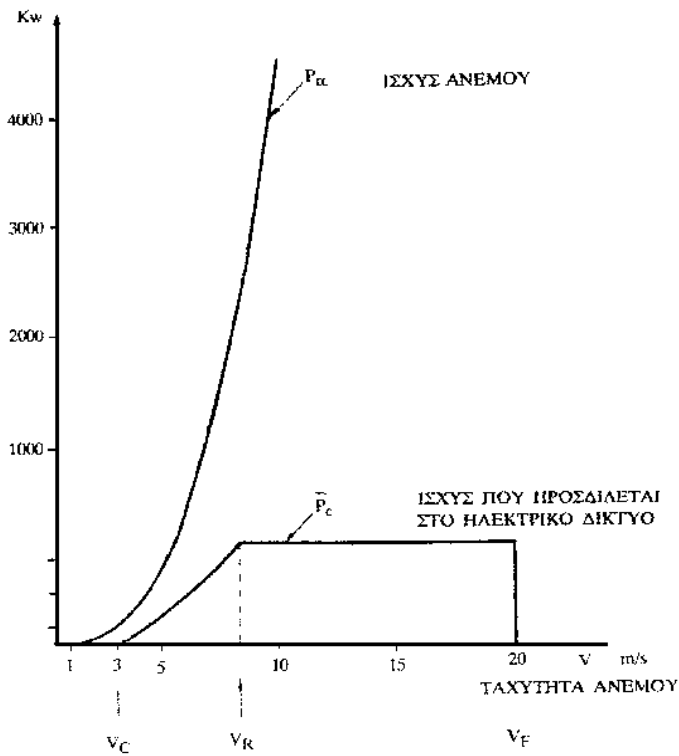
Στην πραγματικότητα ο συντελεστής ισχύος του δρομέα είναι ακόμα μικρότερος λόγω φαινομένων συνεκτικότητας, πεπερασμένου αριθμού πτερυγιών και της υπάρχουσας συστροφής του ρεύματος του αέρα πίσω από το δρομέα η οποία τελικά αποτελεί απώλεια ενέργειας λόγω μη μετατροπής της σε πίεση και λόγω τρομερών τριβών μέσα στην άτρακτο όπου μειώνουν κι άλλο την παραγόμενη ισχύ.

3.9 Ενεργειακές απώλειες

Ο ανεμοκινητήρας δεν μπορεί να αξιοποιήσει όλη την ετήσια ενέργεια του ανέμου για τους ακόλουθους λόγους:

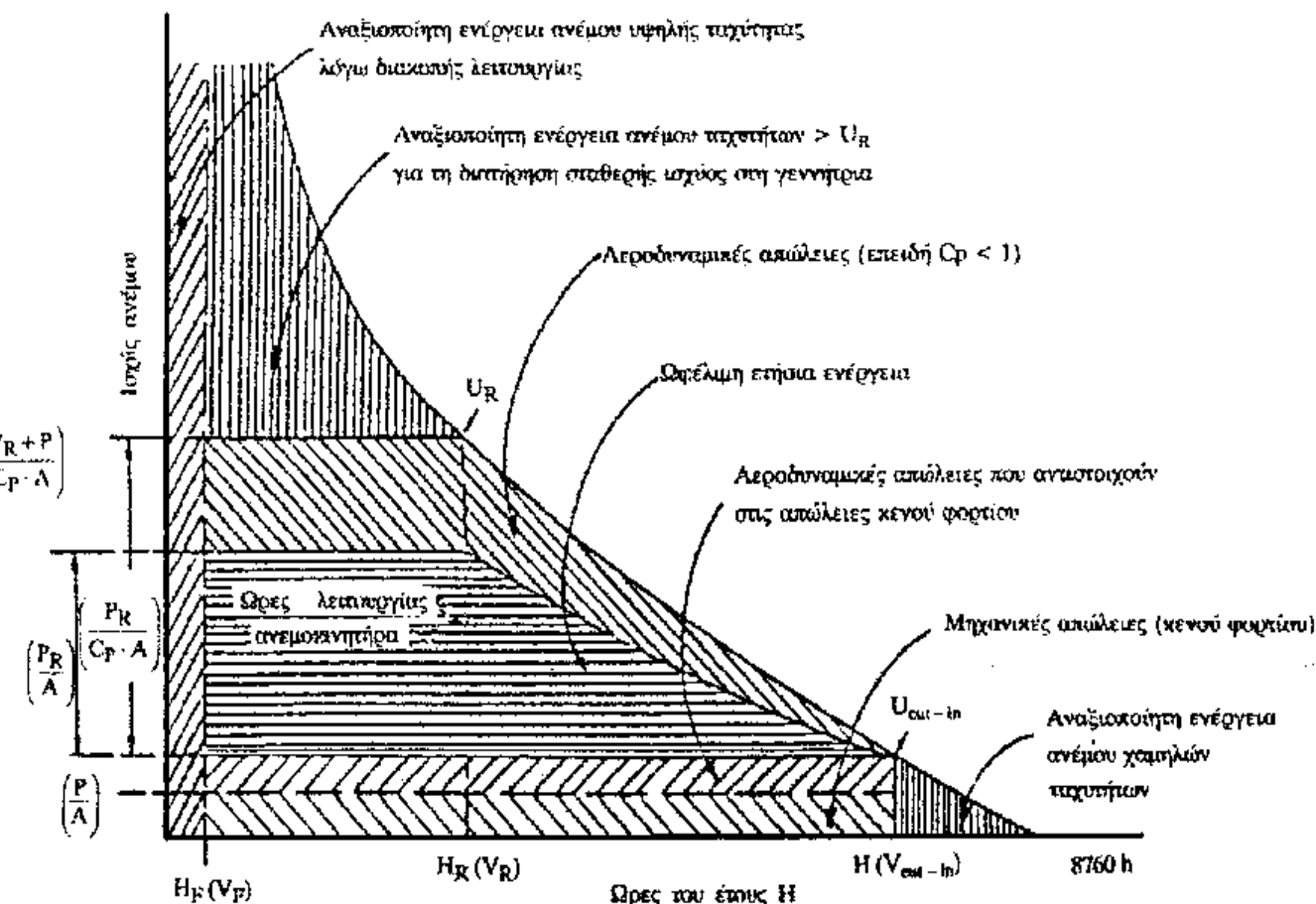
1. Ο ανεμοκινητήρας είναι σε θέση να αποδώσει ωφέλιμη ισχύ μόνο όταν η ισχύς του ανέμου είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες κενού φορτίου (τριβές, άξονα μειωτήρα, γεννήτριας). Την ταχύτητα του ανέμου στην οποία ο ανεμοκινητήρας ξεκινάει ονομάζουμε ταχύτητα έναρξης λειτουργίας και συμβολίζεται με V_{cut-in} .
2. Καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται, αυξάνει και η αποδιδόμενη ισχύς μέχρι να φθάσει την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας. Κατόπιν, όσο και να αυξάνεται η ισχύς του ανέμου επιδιώκουμε να διατηρήσουμε την ισχύ σταθερή. Αυτό γίνεται με την αλλαγή της γωνίας κλίσεως των πτερυγίων ή με τα μεταπτερύγια (flaps) ή με την αλλαγή της γωνιακής θέσης του δρομέα ως προς τον άνεμο ή την αλλαγή της γωνιακής ταχύτητας του δρομέα, ανάλογα φυσικά με την γεννήτρια που έχει το σύστημα ή με το σύστημα φρένων εντός της ατράκτου. Η μικρότερη ταχύτητα ανέμου στην οποία ο δρομέας αναπτύσσει την ονομαστική ισχύ της μηχανής - γεννήτριας ορίζεται ως V_R και ονομάζεται ονομαστική ταχύτητα ανέμου. Άρα για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες της V_R χάνεται ένα ποσό του αιολικού δυναμικού.
3. Όταν ο άνεμος φθάνει σε υψηλές ταχύτητες ενδείκνυται η διακοπή λειτουργίας της εγκατάστασης για λόγους ασφαλείας. Η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας (Furlingspeed), συμβολίζεται με V_F και η ενέργεια του ανέμου για ταχύτητες μεγαλύτερες από αυτή παραμένει τελείως αναξιοποίητη.
4. Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας υπάρχουν αεροδυναμικές απώλειες.
5. Κατά την διάρκεια της λειτουργίας δημιουργούνται πρόσθετες μηχανικές απώλειες στον άξονα, μειωτήρα και γεννήτρια, που μπορούν να θεωρηθούν σταθερές και ίσες με τις απώλειες κενού φορτίου. Ανάλογα με τα υποσυστήματα του ανεμοκινητήρα, οι συνολικές απώλειες κενού φορτίου μπορεί να ανέρχονται και στο 10% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής.

Στο σχήμα 11, παρουσιάζεται τυπική καμπύλη ισχύος ανεμοκινητήρα, διαμέτρου $D=32m$, ονομαστικής ισχύος $P_R= 225kW$, ονομαστικής ταχύτητας $V_R= 9,0m/sec$ με ταχύτητα έναρξης και διακοπής λειτουργίας αντίστοιχα ίση με $4,2m/sec$ και $20m/sec$, μετρούμενες στα $10m$ από το έδαφος.



Σχήμα 11 Ισχύς ανέμου και ανεμοκινητήρα

Στο σχήμα 12 παρουσιάζονται οι ετήσιες ενεργειακές απώλειες τυπικού ανεμοκινητήρα σύμφωνα με την προηγούμενη περιγραφή των απωλειών ανά κατηγορία. Είναι φανερό ότι η ετήσια ενεργειακή απόδοση ενός ανεμοκινητήρα είναι πολύ μικρότερη από την ποσότητα $8760 \cdot P_R$, δηλαδή την ενέργεια που θα απέδιδε ο ανεμοκινητήρας σε ετήσια βάση αν δούλευε συνεχώς στην ονομαστική του ισχύ.



Σχήμα 12 Ενεργειακές απώλειες στην καμπύλη διάρκειας πνοής του ανέμου

Στην πραγματικότητα όμως ο ανεμοκινητήρας αποδίδει ετησίως ενέργεια ίση με $8760 \cdot \bar{P}$ όπου \bar{P} η μέση ισχύς του ανεμοκινητήρα που υπολογίζεται από τη σχέση:

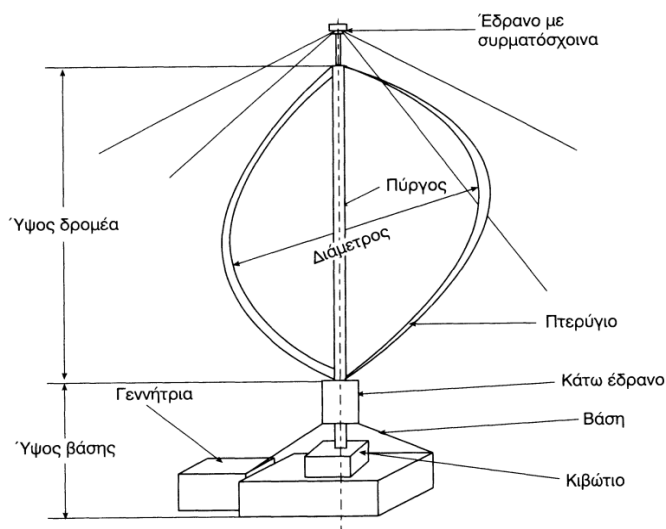
$$\bar{P} = \int_0^{\infty} C_p \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^3 \cdot P(V) \cdot dV$$

Η μέση αυτή τιμή ισχύος εξαρτάται από τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας και από τη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου \bar{V} . Ειδικότερα για την ανεμογεννήτρια με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται στο σχήμα 11, διαπιστώνεται ότι η μέση ισχύς της ανεμογεννήτριας είναι για $\bar{V} = 10\text{m/s}$, $\bar{P} = 1000\text{KW}$ και για $\bar{V} = 15\text{m/s}$, $\bar{P} = 2000\text{KW}$.

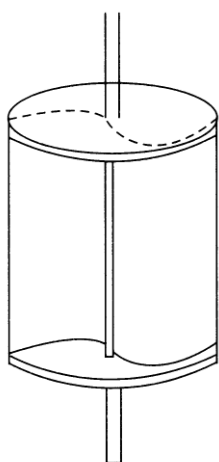
Ως συντελεστής χωρητικότητας (Capacityfactor) ανεμοκινητήρα ο λόγος \bar{P}/P_R . Για την ανεμογεννήτρια $D=32m$, ο συντελεστής χωρητικότητας είναι 21,3% για $\bar{V} = 5m/s$, 32,4% για $\bar{V} = 6m/s$ και 42,2% για $\bar{V} = 7m/s$.

3.10 Ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα

Οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα της αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, έτσι αποτελούν πιο απλές κατασκευές. Οι πλέον γνωστοί τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα είναι οι μηχανές τύπου «Darrieus» (σχήμα 13) και οι μηχανές τύπου «Savonius» (Σχήμα 14). Να πούμε ότι οι μηχανές τύπου «Darrieus» αποτελούν έναν από τους πλέον διαδεδομένους τύπους ανεμοκινητήρων στη διεθνή αγορά.



Σχήμα 13 Ανεμοκινητήρας «Darrieus», κατακόρυφου άξονα



Σχήμα 14 Ανεμοκινητήρας «Savonius», κατακόρυφου άξονα

Συνοπτικά, οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα περιστρέφονται γύρω από έναν άξονα κάθετο τόσο στη διεύθυνση του ανέμου όσο και στο έδαφος. Οι αιολικές μηχανές του τύπου αυτού έχουν καλή αεροδυναμική απόδοση, ανεξαρτησία ως προς τη διεύθυνση του ανέμου, χαμηλό κόστος κατασκευής και σχετικά απλά συστήματα ελέγχου. Υπάρχει αρκετή ποικιλία δρομέων κατακόρυφου άξονα, όμως ο δρομέας τύπου «Darrieus» είναι ο περισσότερο εξελιγμένος και έτσι ο περισσότερο διαδεδομένος.

Ένα άλλο πλεονέκτημα των μηχανών κατακόρυφου άξονα είναι ότι οι μηχανισμοί και η γεννήτρια βρίσκονται κατά κανόνα στο έδαφος, με αποτέλεσμα να απαιτείται ελαφρότερος πυλώνας και να διευκολύνεται η λειτουργία και η συντήρηση του όλου συστήματος.

Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης δε παρουσιάζει ιδιαίτερες διαφορές σε σύγκριση με το αντίστοιχο σύστημα των μηχανών οριζόντιου άξονα, εκτός βέβαια από το γεγονός ότι τα εξαρτήματα βρίσκονται στο έδαφος αντί στην άτρακτο. Ο δρομέας στηρίζεται σε κατάλληλο έδρανο στη βάση του, το οποίο ακόμα και σε σταθερή ταχύτητα ανέμου καταπονείται από εναλλασσόμενα φορτία. Επίσης, ο πύργος διατηρείται σε κατακόρυφη θέση με τη βοήθεια καλωδίων στη βάση και σύρματα που συνδέουν την κορυφή του άξονα της μηχανής με το έδαφος.

Τέλος, οι ανεμογεννήτριες τύπου «Darrieus» έχουν ιδιαίτερα υψηλές ταχύτητες εκκίνησης και για μεγάλα συστήματα χρησιμοποιείται βοηθητικός κινητήρας για την εκκίνηση. Επιπλέον, οι μηχανές του τύπου αυτού παρέχουν τελικά χαμηλότερο μέσο ετήσιο συντελεστή ισχύος. Συνοπτικά, είναι αποδεκτό ότι οι ανεμογεννήτριες κατακόρυφου άξονα τύπου «Darrieus» θεωρούνται συγκρίσιμες σε οικονομικοτεχνική ελκυστικότητα με τις πλέον σύγχρονες ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα.

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

3.11 Ανεμοκινητήρας τύπου «Darrieus»

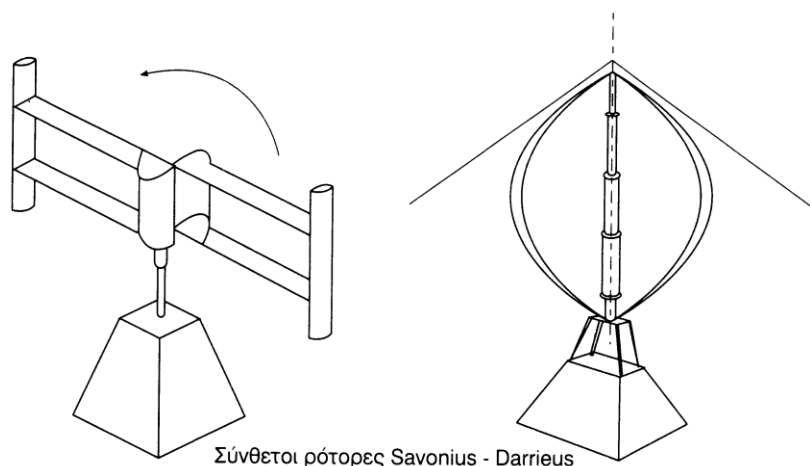
Η ανεμογεννήτρια τύπου «Darrieus» χαρακτηρίζεται από καμπτόμενα πτερύγια και λειτουργεί με τη χρήση των δυνάμεων άνωσης που ασκούνται πάνω στα πτερύγια. Οι εν χρήσει ανεμοκινητήρες αποτελούνται από ένα, δύο, τρία ή και περισσότερα πτερύγια. Η μορφή των πτερυγίων του σχήματος 13 δεν είναι η μόνη, δεδομένου ότι υπάρχουν και παραλλαγές του δρομέα με ευθύγραμμα κατακόρυφα πτερύγια. Λόγω όμως της περιστροφής οι φυγόκεντρες δυνάμεις δημιουργούν μεγάλες καμπτικές τάσεις στα πτερύγια. Αυτές οι καμπτικές τάσεις στα πτερύγια μειώνονται σημαντικά, εάν τα πτερύγια έχουν τη μορφή του σχήματος 13, που αποκαλείται και «σχοινοειδής». Αυτή είναι η μορφή που θα έπαιρνε κατά την περιστροφή του ένα χαλαρό σχοινί ή ένα τελείως εύκαμπτο καλώδιο σταθερού μήκους με τα άκρα του προσαρμοσμένα, όπως και στην περίπτωση της υπό ανάλυση ανεμογεννήτριας, στον άξονα περιστροφής. Λόγω του σχήματος αυτού, τα πτερύγια καταπονούνται σε σταθερές εφελκυστικές μόνο δυνάμεις (εκμηδενίζονται σχεδόν οι καμπτικές

τάσεις), με αποτέλεσμα τα πτερύγια του δρομέα «Darrieus» να έχουν λιγότερες κατασκευαστικές απαιτήσεις και το υλικό τους να υφίσταται μικρότερη κόπωση σε δυναμικές τάσεις.

Τα άκρα των πτερυγίων του δρομέα είναι πακτωμένα στον άξονα περιστροφής, ενώ ο λόγος ύψους «H» προς διάμετρο «D=2R» του δρομέα *κυμαίνεται* μεταξύ των τιμών 1 και 1.5. Η ακτίνα «R» του δρομέα καθορίζεται σαν η μέγιστη απόσταση των πτερυγίων από τον άξονα της μηχανής. Με δεδομένο το σχήμα των πτερυγίων επιδιώκεται ο δρομέας να σαρώνει ένα ρεύμα αέρα μέγιστης επιφάνειας, οπότε και επιδιώκεται να ισχύει $H=D$. Όμως από την άλλη πλευρά, τεχνικοοικονομικοί λόγοι επιβάλλουν μεγαλύτερες τιμές του λόγου H/D . Τα πτερύγια του δρομέα «Darrieus» δεν παρέχουν τη δυνατότητα ρύθμισης της γωνίας προσβολής και κατά συνέπεια βελτίωσης της αεροδυναμικής τους συμπεριφοράς, σε αντιδιαστολή με τις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα μεταβλητού βήματος. Οι μηχανές του τύπου αυτού έχουν κατά κανόνα δυο ή τρία πτερύγια σε διάταξη 180° ή 120° αντίστοιχα. Για την επιλογή του πλήθους των πτερυγίων πρέπει να γνωρίζουμε ότι ο διπτέρυγος δρομέας παρουσιάζει έντονη κυκλική μεταβολή της αεροδυναμικής του ροπής, με έντονες αποκλίσεις από τη μέση τιμή (που φθάνουν μέχρι και το 100% από τη μέση τιμή) και οι οποίες μπορούν να περιορισθούν στο 20-25%, με κατάλληλη σχεδίαση του συστήματος κίνησης. Αντίθετα, η αεροδυναμική ροπή του τριπτέρυγου δρομέα είναι σχετικά σταθερή σε ολόκληρη σχεδόν την περιοχή λειτουργίας του. Επίσης η αεροδυναμική απόδοση του τριπτέρυγου δρομέα είναι κατά κανόνα καλύτερη αυτής του διπτέρυγου, ο τελευταίος όμως είναι απλούστερος στην κατασκευή, συμβάλλοντας με τον τρόπο αυτό στη μείωση του κόστους ίδρυσης και στη διευκόλυνση των εργασιών ανέγερσης στον τόπο εγκατάστασης.

Για να ολοκληρώσουμε την παρουσίαση του δρομέα μιας ανεμογεννήτριας τύπου «Darrieus» πρέπει να αναφέρουμε ότι τα πτερύγια που χρησιμοποιούνται είναι συνήθως συμμετρικής διατομής, σταθερής χορδής και χωρίς συστροφή. Τα πτερύγια αυτά χρησιμοποιούνται σε μεγάλες τιμές (4-10) της παραμέτρου περιστροφής «λ», με αποτέλεσμα να παρουσιάζουν υψηλή αεροδυναμική απόδοση. Ο πλέον χρησιμοποιούμενος τρόπος κατασκευής των πτερυγίων είναι η εξέλαση ειδικών κραμάτων αλουμινίου, ενώ η σχοινοειδής μορφή του προσδίδεται στη συνέχεια με κάμψη των ευθύγραμμων τμημάτων.

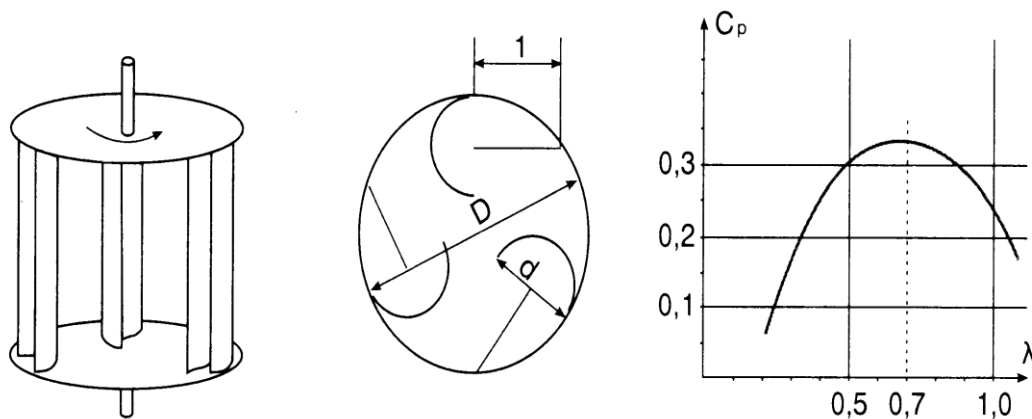
Επειδή όπως προαναφέραμε ο δρομέας «Darrieus» δεν αναπτύσσει ικανοποιητική ροπή κατά την εκκίνηση, είναι απαραίτητη η ύπαρξη βοηθητικής πηγής ενέργειας για την εκκίνησή του όπως και σε όλους τους τύπους ανεμογεννήτριας. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται είτε η ηλεκτρική γεννήτρια σαν κινητήρας, είτε τοποθετούνται ένας ή δύο ομοαξονικοί δρομείς τύπου «Savonius», οι οποίοι αναπτύσσουν υψηλή αεροδυναμική ροπή κατά την εκκίνηση (σχήμα 15). Μάλιστα στην τελευταία περίπτωση έχει αποδειχθεί ότι ο χρησιμοποιούμενος «Savonius» δεν επηρεάζει αρνητικά την αεροδυναμική απόδοση του «Darrieus» κατά την κανονική λειτουργία του συστήματος και το μόνο πρόβλημα που υπάρχει είναι το αυξημένο βάρος της κατασκευής.



Σχήμα 15 Συνδυασμένη χρήση «Savonius» - «Darrieus»

Όπως και στην περίπτωση των μηχανών οριζόντιου άξονα, η πέδηση της πτερωτής του «Darrieus» σε περιπτώσεις υψηλών ταχυτήτων γίνεται και με αεροδυναμική πέδη, δηλαδή με τη φυγοκεντρική απελευθέρωση μιας επίπεδης πλάκας ή ενός τμήματος του δρομέα σε κάθετη θέση, αυξάνοντας σημαντικά την αεροδυναμική αντίσταση της πτερωτής και επιβραδύνοντας την.

Το μηχανικό σύστημα κίνησης περιλαμβάνει τον άξονα του δρομέα και την έδραση του, το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών, ελαστικούς συνδέσμους για την απόσβεση των στρεπτικών ταλαντώσεων, το σύστημα πέδησης, την ηλεκτρική γεννήτρια με τη βάση και το κέλυφος προστασίας των μηχανισμών αυτών. Αξιοσημείωτη είναι η διαφορά στα έδρανα στήριξης των ανεμοκινητήρων κάθετου άξονα σε σχέση με αυτά που χρησιμοποιούνται σε μηχανές οριζόντιου άξονα. Πράγματι, και εδώ ο άξονας της μηχανής στηρίζεται σε δύο έδρανα. Το άνω έδρανο περιλαμβάνει κυρίως τις ακτινικές δυνάμεις που αναπτύσσονται πάνω στα πτερύγια, ενώ το κάτω έδρανο παραλαμβάνει μεγάλες ωστικές δυνάμεις συμπεριλαμβανομένου και του βάρους του δρομέα. Για τους λόγους αυτούς, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη σχεδιάσή τους, ενώ ορισμένοι κατασκευαστές χρησιμοποιούν ειδικά κατασκευασμένα ωστικά υδροδυναμικά έδρανα, τα οποία λειτουργούν με βάση τις αρχές της υδραυλικής σχέσης και παρουσιάζουν ελάχιστη αντίσταση τριβής, στη θέση των συνηθισμένων ένσφαιρων ωστικών εδράνων.



Σχήμα 16 Παραλλαγές -

εφαρμογές κινητήρα «Savonius»

3.12 Ανεμοκινητήρας τύπου «Savonius»

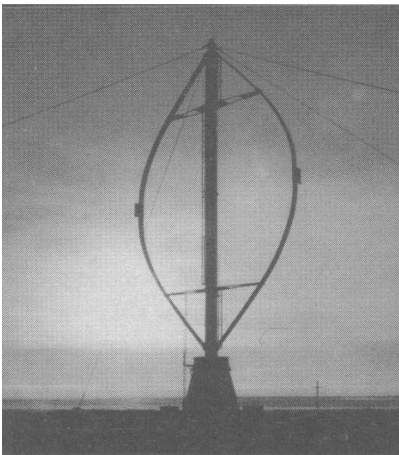
Η πτερωτή της ανεμογεννήτριας αυτής ονομάζεται συχνά τύπου «S» λόγω του σχήματος της κάτοψης των πτερυγίων της. Η περιστροφή της πτερωτής από τον άνεμο δεν οφείλεται μόνο στη διαφορετική αντίσταση του κοίλου και του κυρτού πτερυγίου, αλλά και στην ύπαρξη του διάκενου «X» (ανάμεσα στα δύο πτερύγια), λόγω του οποίου ο αέρας επιστρέφει και αυξάνει την πίεση στο πίσω μέρος του κυρτού πτερυγίου, αυξάνοντας με τον τρόπο αυτό τη ροπή που αναπτύσσεται γύρω από τον άξονα της μηχανής. Το πεδίο ταχυτήτων γύρω από την πτερωτή του «Savonius» είναι χρονικά μεταβαλλόμενο, με περίοδο μεταβολής διπλάσια της γωνιακής ταχύτητας του δρομέα και συνεπώς εμφανίζει ιδιαίτερη δυσκολία κατά τη μελέτη του.

Οι ανεμογεννήτριες «Savonius», όπως όλες οι μηχανές κατακόρυφου άξονα, παρουσιάζουν συμμετρία και αυτόματο προσανεμισμό καταργώντας τις ακριβές διατάξεις προσανατολισμού, που έχουν οι μηχανές οριζόντιου άξονα. Επίσης ο «Savonius» έχει όπως και ο «Darrieus» όργανα μετατροπής και μεταφοράς της μηχανικής ενέργειας στο έδαφος, παρουσιάζοντας ένα σημαντικό πλεονέκτημα κόστους σε σχέση με τις μηχανές οριζόντιου άξονα. Παράλληλα και ο πύργος στήριξης είναι απλούστερος και οικονομικότερος.

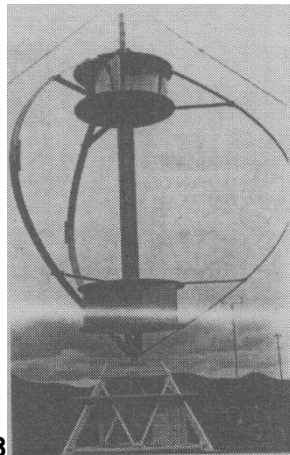
Τα πλεονεκτήματα του «Savonius», σε σύγκριση με του «Darrieus», είναι ότι ο πρώτος παρουσιάζει μεγάλη ροπή εκκίνησης και λειτουργίας, χρησιμοποιούμενος για το λόγο αυτό και σαν εκκινητής του δεύτερου. Το πλεονέκτημα αυτό επιβεβαιώνεται γνωρίζοντας ότι το διάγραμμα της ροπής εκκίνησης του «Savonius» είναι θετικό σχεδόν για όλες τις γωνίες πρόσπτωσης του ανέμου στην πτερωτή, πράγμα που εξασφαλίζει την αυτοεκκίνηση της μηχανής. Ένα δεύτερο πλεονέκτημα του «Savonius» είναι η απλότητα και συνεπώς η οικονομικότητα της κατασκευής του. Απλές μηχανές του τύπου αυτού κατασκευάζονται ακόμα και με διαίρεση σε δυο κομμάτια ενός βαρελιού και ενώνοντας τα κομμάτια σε σχήμα «S».

Ανάμεσα στα μειονεκτήματα του «Savonius» περιλαμβάνεται ο χαμηλός βαθμός απόδοσης του, που σύμφωνα με έμπειρους ερευνητές δεν ξεπερνάει το 0.18, καθώς και η λειτουργία του σε μικρές τιμές της παραμέτρου περιστροφής, δηλαδή $\lambda \approx 1.0$. Τέλος, ο «Savonius» έχει μεγάλο βάρος ανά μονάδα ονομαστικής ισχύος και η επιφάνεια των πτερυγίων του είναι έως και τριάντα φορές μεγαλύτερη από τους άλλους ανεμοκινητήρες με την ίδια ονομαστική ισχύ.

Συνοπτικά, η ανεμογεννήτρια τύπου «Savonius», παρ' όλη τη χαμηλή της απόδοση έχει σημαντικά πλεονεκτήματα, με αποτέλεσμα να θεωρείται η ιδανική αιολική μηχανή για μικρές ισχύς, για οικιακή χρήση, αλλά και για παραγωγή ενέργειας σε φτωχές χώρες ή σε απομακρυσμένες περιοχές. Για το λόγο αυτό έχει δοθεί τελευταία αξιόλογη ώθηση στη μελέτη και βελτιστοποίηση των κατασκευαστικών χαρακτηριστικών των εν λόγω μηχανών, συμπεριλαμβανομένων του λόγου ύψους προς τη διάμετρο της πτερωτής, του αριθμού και του σχήματος των πτερυγίων, καθώς και της μορφής του διάκενου μεταξύ των πτερυγίων της μηχανής.

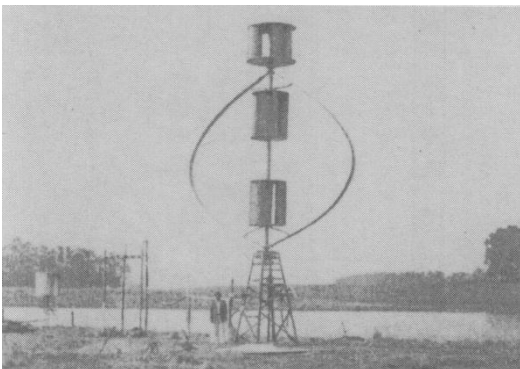


Εικόνα 3

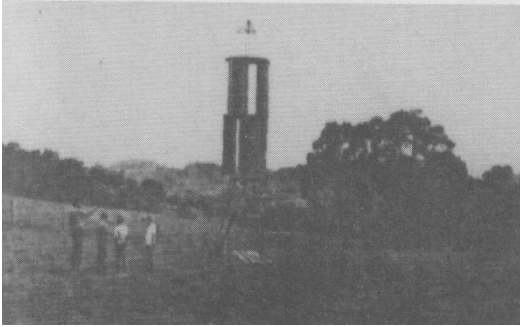


Εικόνα 4

Εικόνα 3&4 Συνδυασμός του μοντέλου «Darrieus» με άλλο μοντέλο κατακόρυφου άξονα τύπου Savonius. Το μοντέλο «savonius» έχει τοποθετηθεί για να βοηθήσει στην εκκίνηση του ανεμοκινητήρα. Η μονάδα αυτή έχει ισχύ 20KW. Είναι εγκατεστημένη στο Comodoro της Αργεντινής. Η κατασκευή όλη είναι από αλουμίνιο.



Εικόνα 5



Εικόνα 6

Εικόνα 5&6 Η μονάδα αυτή «Darrieus» και «Savonius» χρησιμεύει εδώ για την άντληση νερού. Και εδώ το σύστημα «Savonius» έχει συνδυαστεί με το «Darrieus» για την αυτόματη εκκίνηση της ανεμογεννήτριας.

3.13 Στάδια μελέτης κατά την σχεδίαση ανεμοκινητήρα

Τα επί μέρους στάδια μελέτης που συναντάμε κατά τη σχεδίαση ενός ανεμοκινητήρα είναι τα εξής:

- Βελτιστοποίηση αεροδυναμικής σχεδίασης του δρομέα
- Συμπεριφορά του δρομέα σε ειδικές καταστάσεις όπως εκκίνηση, επιτάχυνση, επιβράδυνση, απότομο φρενάρισμα και άλλα δυναμικά φαινόμενα
- Επιλογή είδους ρύθμισης βήματος πτερυγίων και επιλογή αυτοματισμών που αφορούν τη ρύθμιση ισχύος, την έναρξη και παύση λειτουργίας του ανεμοκινητήρα.
- Σύστημα προσανατολισμού του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου
- Επιλογή υποσυστημάτων της ανεμογεννήτριας
- Μελέτη αντοχής των υλικών που αφορούν την κατασκευή και την έδραση των πτερυγίων, των αξόνων, του κουβούκλιου κλπ.
- Σχεδίαση για αποφυγή φαινομένων συντονισμού
- Επιλογή ύψους του δρομέα πάνω από το έδαφος
- Σχεδίαση και θεμελίωση πύργου στήριξης.
- Έλεγχος αντοχής της κατασκευής σε σεισμό, μελέτη ταλαντώσεων του πύργου
- Αντιδιαβρωτική προστασία
- Αντικεραυνική προστασία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

Ενεργειακή απόδοση

4.1 Ισχύς ανέμου – ωφέλιμη αιολική ισχύς

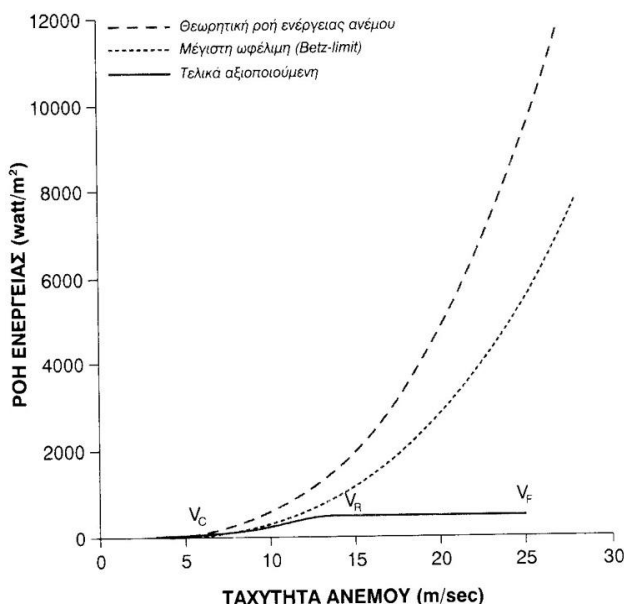
Σε ένα αιολικό σύστημα ακόμα και στην ιδανικότερη περίπτωση, έστω και αν παραβλέψουμε τις μηχανικές απώλειες ή τις απώλειες λόγω στροβιλισμού είναι αδύνατο να δεσμευτεί ολόκληρη η ισχύς του ανέμου για τους εξής λόγους:

α. Ο αέρας που διαπερνά την πτερωτή μιας αιολικής μηχανής πρέπει να διαθέτει την απαραίτητη ταχύτητα, ώστε να απομακρύνεται από αυτή βάση του θεωρήματος διατήρησης της μάζας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα αξιόλογο μέρος της κινητικής ενέργειας του προσπίπτοντος επί της πτερωτής ανέμου να χάνεται με τη δέσμη διαφυγής του ανέμου.

β. Ένα μικρό ποσοστό της μάζας του αέρα, που θα διερχόταν από την επιφάνεια που καταλαμβάνει η πτερωτή, στην πραγματικότητα παρακάμπτει την φτερωτή λόγω της απόκλισης των γραμμών ροής που η πτερωτή επιβάλλει στον προσπίπτοντα άνεμο.

γ. Επίσης ένα μικρό μέρος της κινητικής ενέργειας του ανέμου παραμένει ανεκμετάλλευτο, δεδομένης της χρονικής υστέρησης προσανατολισμού της πτερωτής στη διεύθυνση του ανέμου. Σήμερα βέβαια με τα σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα προσανατολισμού που υπάρχουν, η απόκριση της ανεμογεννήτριας είναι σχεδόν ακαριαία. Παρ' όλα αυτά, σε περιπτώσεις διαρκούς μεταβολής της διεύθυνσης του ανέμου, είναι αναπόφευκτη η απώλεια μέρους της ενέργειας του ανέμου.

Εκτός από τους παραπάνω προφανείς λόγους μειωμένης αξιοποίησης του αιολικού δυναμικού μιας αέριας δέσμης, μηχανικές αλλά και αεροδυναμικές απώλειες επάνω στις πτερυγώσεις καθώς και άλλοι περιορισμοί μειώνουν σημαντικά σε μέγεθος και σε εύρος το πραγματικά αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό μιας περιοχής (σχήμα 1).



Σχήμα 1 Ροή ενέργειας ανέμου-ωφέλιμη ενέργεια

Η ισχύς «P» αέριας δέσμης, σταθερής ταχύτητας «V» και πυκνότητας «ρ» που διέρχεται από μια νοητή επιφάνεια εμβαδού «A» κάθετη στο διάνυσμα της ταχύτητας δίνεται από τη σχέση:

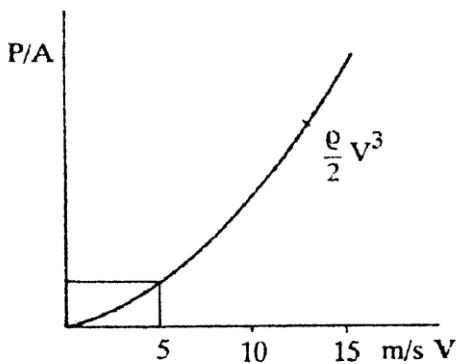
$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A$$

Θα πρέπει να αναφέρουμε λοιπόν ότι η ισχύς του ανέμου είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του, με αποτέλεσμα μικρές μεταβολές της ταχύτητας(π.χ. κατά 10%) να οδηγούν σε σημαντικές μεταβολές της διαθέσιμης ισχύος του ανέμου(π.χ. κατά 33%).

Ο βαθμός απόδοσης C_p που χαρακτηρίζει τους ανεμοκινητήρες και που ονομάζεται και συντελεστής ισχύος ορίζεται ως εξής:

$$C_p = \frac{P}{1/2 \cdot \rho \cdot V^3 \cdot A}$$

όπου P η ισχύς που αποδίδεται από τον ανεμοκινητήρα ως προς την ισχύ που έχει ο άνεμος ταχύτητας V και που περνάει από τον ανεμοκινητήρα μετωπικής επιφάνειας A (ρ πυκνότητα του αέρα). Η ισχύς του ανέμου ανά τετραγωνικό μέτρο μετωπικής επιφάνειας (ανεμοκινητήρα) είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου όπως παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα αυτή η τυπική μεταβολή.



Σχήμα 2 Ισχύς του ανέμου προς την ταχύτητα

4.2 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμογεννήτρια

Η μέγιστη αιολική ενέργεια που δεσμεύει μια ιδανική αιολική μηχανή είναι ένα τμήμα της κινητικής ενέργειας του ανέμου και ισούται με:

$$E_{\max} = C_p \cdot E_{\text{wind}} \quad \text{όπου } C_p = 0.59 \text{ το όριο του Betz}$$

Η ηλεκτρική ισχύς που παίρνουμε από την αιολική μηχανή θα είναι:

$$P_{\text{electric}} = C_p \cdot n_{\text{gearbox}} \cdot n_{\text{generator}} \cdot n_{\text{accumulator}} \cdot P_{\text{wind}}$$

όπου n_{gearbox} : η απόδοση του πολλαπλασιαστή στροφών

$n_{\text{generator}}$: η απόδοση της γεννήτριας

$n_{\text{accumulator}}$: η απόδοση των συσσωρευτών

4.3 Δυναμική συμπεριφορά αιολικής μηχανής

Οι αιολικές μηχανές κατατάσσονται επίσης σε ταχύστροφες και σε αργόστροφες, ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους ή πιο συγκεκριμένα ανάλογα με την τιμή της παραμέτρου λ . Η ταχύτητα περιστροφής μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται εκτός από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής, δεδομένου ότι πρέπει να ληφθούν υπόψιν λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγοκεντρικές δυνάμεις κλπ. Καθοριστικό ρόλο επίσης παίζει και η διασύνδεση ή μη της εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο, δεδομένου ότι σε περιπτώσεις σύγχρονων ηλεκτρογεννητριών διασυνδεδεμένων με το δίκτυο, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να έχει τη συχνότητα του κεντρικού δικτύου, δηλαδή 50Hz για τη χώρα μας ενώ για τις Η.Π.Α 60Hz. Ένα μέγεθος που συνδέεται άμεσα με τη γωνιακή ταχύτητα μιας πτερωτής είναι η παράμετρος περιστροφής (tip-speedratio) της μηχανής « λ ». Για ανεμοκινητήρα γνωστών γεωμετρικών χαρακτηριστικών ο συντελεστής ισχύος C_p αποτελεί μονοπαραμετρική συνάρτηση της αδιάστατης ταχύτητας ακροπτερυγίου λ , όπου ω η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα και R η ακτίνα του. Η αδιάστατη ταχύτητα ακροπτερυγίου καλείται και κατάσταση λειτουργίας του δρομέα και ορίζεται ως εξής:

$$\lambda = \frac{R \cdot \omega}{V}$$

όπου R: είναι η ακτίνα της πτερωτής

ω : η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα

V: η ταχύτητα του ανέμου στον άξονα της μηχανής

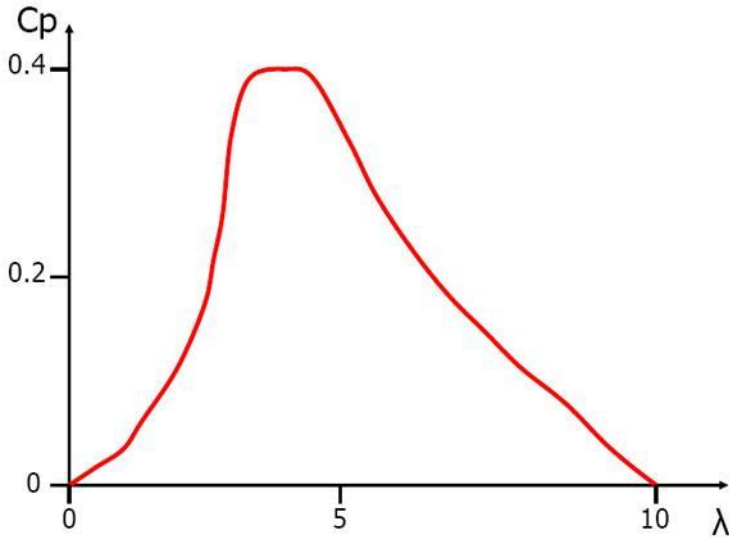
Ενώ για μέγιστη ισχύ θα έχουμε:

$$\lambda = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{n \cdot d} = \frac{2 \cdot \pi}{\kappa \cdot n}$$

όπου n: ο αριθμός των ακροπτερυγίων

d: πλάτος των ακροπτερυγίων

και $\kappa = D/R$



Σχήμα 3 Συντελεστής ισχύος ως συνάρτηση του λόγου ακροπτερυγίου

Μια άλλη παράμετρος που χρησιμοποιείται για το χαρακτηρισμό και την ταξινόμηση των ανεμοκινητήρων είναι παράμετρος στιβαρότητας «σ» της κατασκευής, η οποία για μηχανές οριζοντίου άξονα ορίζεται σαν:

$$\sigma = \frac{z \cdot c \cdot R}{\pi \cdot R^2}$$

ενώ για τις μηχανές κατακόρυφου άξονα ορίζεται:

$$\sigma = \frac{z \cdot c}{R}$$

όπου z : ο αριθμός των πτερυγίων της πτερωτής

R : η ακτίνα της πτερωτής

C : το πλάτος των πτερυγίων της μηχανής

Η παράμετρος στιβαρότητας δίνει το λόγο του εμβαδού όλων των πτερυγίων προς το εμβαδόν της επιφάνειας που διαγράφουν τα πτερύγια κατά την επιστροφή τους. Κατά κανόνα οι ανεμογεννήτριες μεγάλης στιβαρότητας είναι μηχανές αργόστροφες, αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε χαμηλές τιμές της παραμέτρου περιστροφής λ , έχουν σχετικά μικρό βαθμό απόδοσης, ενώ είναι ανθεκτικές με ελάχιστες ανάγκες συντήρησης. Επίσης χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλες δυνάμεις στα πτερύγια και συνεπώς μεγάλη ροπή στον άξονα περιστροφής, ξεκινούν μόνες τους όταν αρχίζει να φυσάει ο άνεμος και είναι κατάλληλες για αγροτικές χρήσεις.

Από την άλλη μεριά οι ανεμογεννήτριες μικρής στιβαρότητας είναι μηχανές πολύστροφες, αποδίδοντας τη μέγιστη ισχύ τους σε μεγάλες τιμές της παραμέτρου λ , διαθέτουν σχετικά μεγάλο βαθμό απόδοσης και είναι πλέον ευσταθείς από τις μηχανές μεγάλης στιβαρότητας και χαρακτηρίζονται από σχετικά μικρές δυνάμεις στα πτερύγια και περιορισμένη ροπή στον άξονα τους. Επίσης οι μηχανές αυτές απαιτούν σε ορισμένες περιπτώσεις εξωτερική βοήθεια για να ξεκινήσουν, είναι κατάλληλες για ηλεκτροπαραγωγή και θεωρούνται προϊόντα αρκετά υψηλής τεχνολογίας.

4.4 Κατανομή Weibull

Για τον υπολογισμό της ετήσιας ενεργειακής απόδοσης του δρομέα σε μια περιοχή είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την καμπύλη διάρκειας πνοής του ανέμου στην περιοχή, δηλαδή την καμπύλη κατανομής ταχυτήτων Weibull. Για τις ανάγκες υπολογισμού του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν επαρκεί η γνώση της μέσης ταχύτητας του ανέμου της περιοχής, αλλά μας χρειάζονται αναλυτικές πληροφορίες για την κατανομή της πιθανότητας εμφάνισης των διαφόρων τιμών ταχύτητας του ανέμου μέσα στο χρόνο, με έμφαση στην καταγραφή των διαστημάτων νηνεμίας καθώς και των διαστημάτων εμφάνισης πολύ ισχυρών ανέμων.

Για το σκοπό αυτό πριν πάρουμε την τελική απόφαση για την εγκατάσταση μιας Α/Γ σε μια περιοχή είναι απαραίτητο να συγκεντρώσουμε τα διαθέσιμα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής, να τα επεξεργαστούμε στατιστικά και να δημιουργήσουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα πυκνότητας πιθανότητας και διάρκειας των ανέμων. Επιπλέον είναι απαραίτητος ο εντοπισμός της συχνότητας και της διάρκειας των περιόδων χαμηλών ταχυτήτων και άπνοιας. Στις χρονικές αυτές περιόδους πρέπει να αναζητήσουμε άλλες πηγές ενέργειας, γεγονός που επηρεάζει ταυτόχρονα την επιλογή και καταπνέει τους συσσωρευτές αποθήκευσης ενέργειας.

Για να καταλήξει κανείς σε ασφαλή αποτελέσματα απαιτούνται μακροχρόνιες και αναλυτικές μετρήσεις. Όμως το σημαντικό κόστος μετρήσεων αλλά και η αναπόφευκτη καθυστέρηση σε συνδυασμό με την έλλειψη κατά κανόνα μακροχρόνιων μετρήσεων στις συγκεκριμένες «ενδιαφέρουσες» περιοχές, μας υποχρεώνει να καταφύγουμε σε ημιεμπειρικά αναλυτικά μοντέλα, που περιγράφουν το τοπικό αιολικό δυναμικό μιας περιοχής βάσει μικρού αριθμού παραμέτρων. Οι χρησιμοποιούμενες αυτές σχέσεις, πέρα από τα προβλήματα ακριβείας που παρουσιάζουν, εμφανίζουν και επιπλέον προβλήματα αξιοπιστίας σε τοπικό επίπεδο για μια συγκεκριμένη περιοχή.

Η ευρύτερα χρησιμοποιούμενη αναλυτική διανομή πυκνότητας πιθανότητας είναι η διανομή «Weibull». Η κατανομή που προτάθηκε από τον Weibull περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100m από το έδαφος. Η εν λόγω κατανομή προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας «V» βάσει δύο μόνο παραμέτρων. Η αναλυτική έκφραση της κατανομής Weibull δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$f(V) = \frac{k}{C} \left[\frac{V}{C} \right]^{k-1} \cdot \exp \left\{ - \left[\frac{V}{C} \right]^k \right\}$$

όπου C: η παράμετρος κλίμακας της κατανομής, σχετίζεται με τη μέση τιμή του ανέμου

και μετριέται σε m/s

k : η παράμετρος μορφής της κατανομής, σχετίζεται με τη μορφή της κατανομής

και είναι καθαρός αριθμός

Τότε μπορούμε να υπολογίσουμε την ετήσια ενεργειακή απόδοση του ανεμοκινητήρα υπολογίζοντας το ακόλουθο ολοκλήρωμα:

$$E = 8760 \cdot \int_{V=0}^{\infty} P(V) \cdot f(V) \cdot dV$$

όπου f(V): είναι η πιθανότητα να πνέει ο άνεμος μεταξύ $V - 0,5 \cdot dV$ και $V + 0,5 \cdot dV$ ή αλλιώς $8760 \cdot f(V)$ είναι η χρονική διάρκεια πνοής του ανέμου ταχύτητας μεταξύ

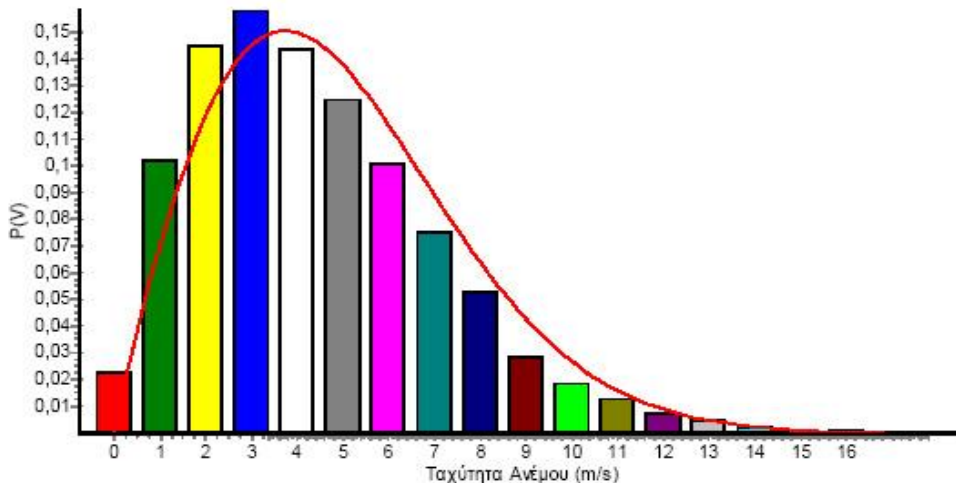
$V - 0,5 \cdot dV$ και $V + 0,5 \cdot dV$.

Το ολοκλήρωμα:

$$\bar{P} = \int_0^{\infty} P(V) \cdot f(V) \cdot dV$$

εκφράζει τη μέση ετήσια τιμή ισχύος της ανεμογεννήτριας που αλλιώς σημαίνει ότι η ανεμογεννήτρια φαίνεται σε ετήσια βάση ως γεννήτρια συνεχούς παραγωγής ενέργειας με σταθερή ισχύ ίση με \bar{P} .

Αν χωρίσουμε το εύρος των ταχυτήτων σε διαστήματα ίσου εύρους (συνήθως 1 m/s, [0..1],[1..2],[n-1..n]) και μετρήσουμε τις συχνότητες των παρατηρήσεων σε αυτά τα διαστήματα προκύπτει η κατανομή των ταχυτήτων που φαίνεται σε ράβδους στο γράφημα του σχήματος 3. Η κατανομή αυτή προσεγγίζεται πολύ καλά με την διπαραμετρική κατανομή **Weibull** (η λεπτή κόκκινη γραμμή του σχήματος).



Σχήμα 4 Διανομή weibull

Η παράμετρος C της παραπάνω εξίσωσης συνδέεται με τη μέση ταχύτητα « \bar{V} » βάσει της σχέσης:

$$\bar{V} = C \cdot \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$$

όπου με « Γ » συμβολίζουμε την αριθμητική συνάρτηση «Γάμα». Τυπικές τιμές της συνάρτησης «Γάμα» δίνονται στον πίνακα 1, ενώ για γρήγορους υπολογισμούς και για την περιοχή του Αιγαίου ($k = 1.3 - 2.0$) μπορούμε να θεωρήσουμε ότι:

$$C = 1.1 \cdot \bar{V}$$

n	Γ(n)
1.00	1.0000
1.10	0.9514
1.20	0.9182
1.30	0.8975
1.40	0.8873
1.50	0.8862
1.60	0.8935
1.70	0.9086
1.80	0.9314
1.90	0.9618
2.00	1.0000

Πίνακας 1 Συνάρτηση «Γάμα» τυπικές τιμές

Επιπλέον για τη συνάρτηση «Γάμα» ισχύει ότι:

$$\Gamma(n+1) = n \cdot \Gamma(n) \quad n > 0$$

με αποτέλεσμα να είναι δυνατός ο υπολογισμός της $\Gamma(n)$ για κάθε τιμή του $n > 0$ με τη βοήθεια του πίνακα 1

Αντίστοιχα η δεύτερη παράμετρος της κατανομής Weibull, δηλαδή η παράμετρος «k», είναι αντιστρόφως ανάλογη της διασποράς « σ^2 » των ταχυτήτων του ανέμου ως προς τη μέση ταχύτητα, δηλαδή:

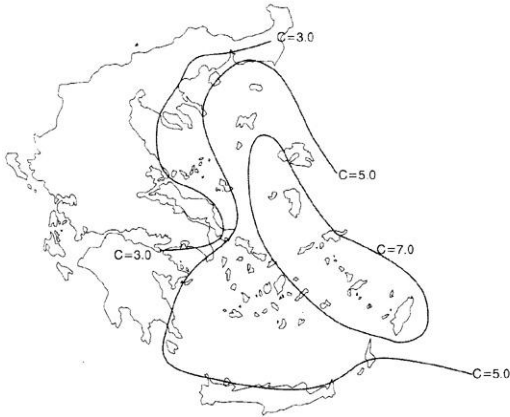
$$\sigma^2 = C^2 \left[\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \left(\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right) \right)^2 \right]$$

Πιο συγκεκριμένα, μεγαλύτερες τιμές του «k» εκφράζουν μικρότερη διασπορά των ταχυτήτων του ανέμου και συνεπώς μεγαλύτερη συγκέντρωση τους γύρω από τη μέση τιμή της ταχύτητας.

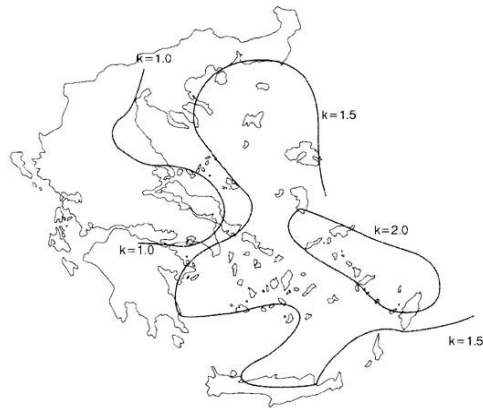
Για την εύρεση της καμπύλης διάρκειας των ταχυτήτων του ανέμου πρέπει να προσδιορίσουμε το χρονικό διάστημα για το οποίο η μετρούμενη ταχύτητα είναι μεγαλύτερη από κάποια προκαθορισμένη τιμή. Στην περίπτωση της κατανομής «Weibull» η καμπύλη διάρκειας μπορεί να βρεθεί βάσει της συνάρτησης ολικής πιθανότητας δηλαδή:

$$F(V \leq V_0) = 1 - \exp \left[- \left(\frac{V_0}{C} \right)^k \right]$$

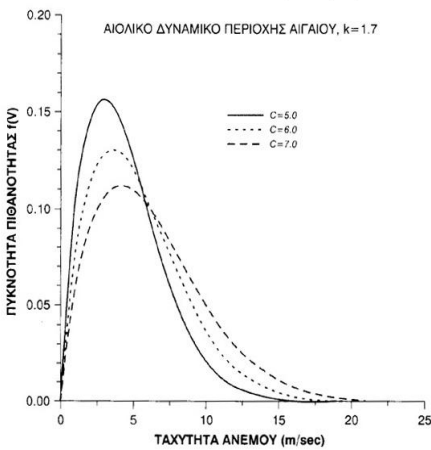
η οποία είναι συμπληρωματική (έχουν άθροισμα μονάδα) της καμπύλης διάρκειας και δίνει την πιθανότητα «F» η ταχύτητα «V» να είναι μικρότερη μιας τιμής «v».



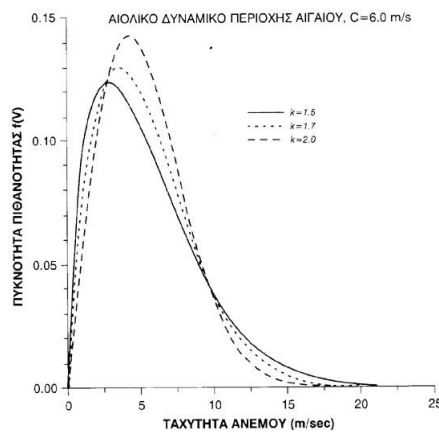
Σχήμα 5 Γεωγραφική διανομή παραμέτρου «C»



Σχήμα 6 Γεωγραφική διανομή παραμέτρου «k»



Σχήμα 7 Επίδραση παραμέτρου «C» στην εξίσωση (1)

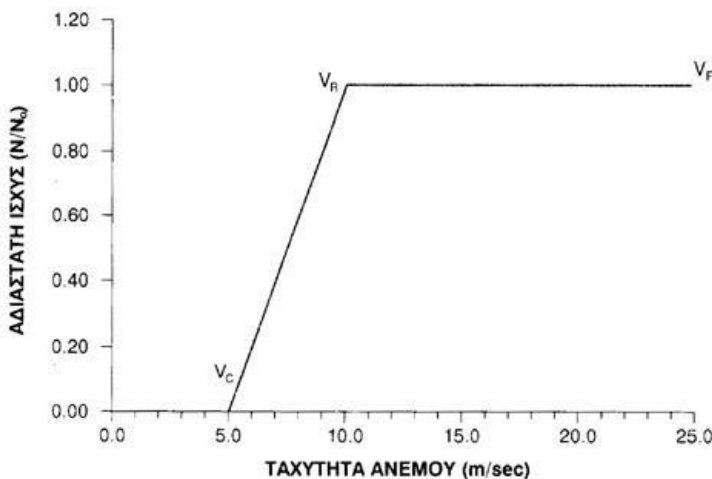


Σχήμα 8 Επίδραση παραμέτρου «k» στην εξίσωση (1)

4.5 Χαρακτηριστική καμπύλη λειτουργίας A/Γ

Στο σχήμα 9 παρουσιάζεται μια απλοποιημένη αλλά αλλά αντιπροσωπευτική μορφή της καμπύλης παραγόμενης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας του πνέοντος ανέμου. Παρατηρούμε συνεπώς ότι η παραγόμενη ισχύς της ανεμογεννήτριας είναι μηδενική, όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη από την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας « V_c », δεδομένου ότι η παραγόμενη ισχύς δεν αρκεί να καλύψει τις απώλειες κενού φορτίου. Συνεπώς για ταχύτητες ανέμου μικρότερες της « V_c », δεν έχουμε αξιοποίηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού. Οι συνήθεις τιμές της ταχύτητας έναρξης λειτουργίας κυμαίνονται μεταξύ 3 m/s και 6 m/s.

Όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβεί την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας και μέχρι την ταχύτητα ονομαστικής ισχύος « V_R », η ισχύς της ανεμογεννήτριας αυξάνεται καθώς αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου. Ο ρυθμός αύξησης της ισχύος στη λεγόμενη «μεταβατική» περιοχή λειτουργίας της ανεμογεννήτριας ποικίλλει, και εκτός από τη γραμμική μορφή του σχήματος, έχουμε παραβολικούς ή και εκθετικούς ρυθμούς μεταβολής, ανάλογα με τον τύπο της συγκεκριμένης μηχανής. Οι τιμές της ταχύτητας ονομαστικής ισχύος βρίσκονται από 8 m/s έως 15 m/s.

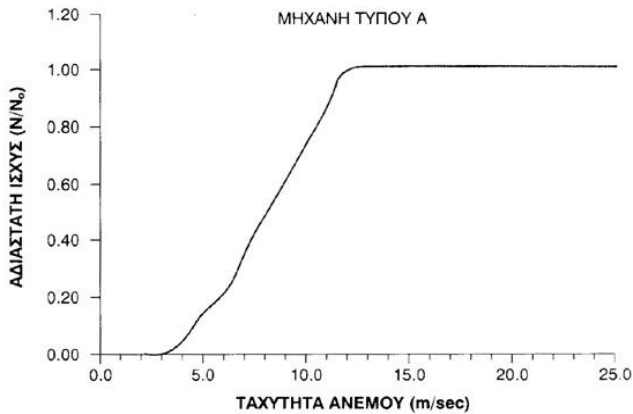


Σχήμα 9 Τυπική καμπύλη ισχύος « $N = N(v)$ » ανεμογεννήτριας

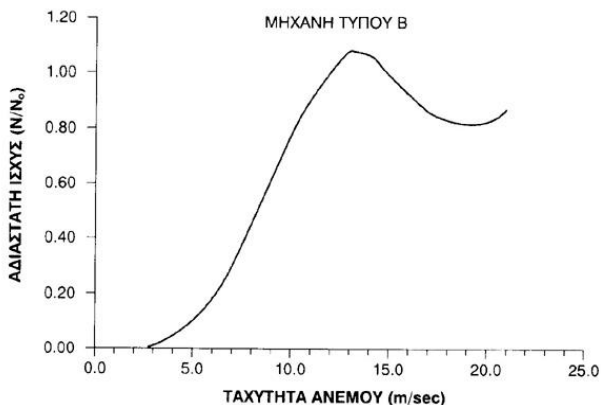
Από την ταχύτητα ονομαστικής λειτουργίας και μέχρι την ταχύτητα διακοπής λειτουργίας « V_F » μιας ανεμογεννήτριας επιχειρείται η παραγόμενη ισχύς να είναι κατά το δυνατόν σταθερή και ίση με την ονομαστική τιμή της μηχανής, ανεξάρτητα από τη διαθέσιμη ισχύ του ανέμου. Η σταθεροποίηση της ισχύος ενός ανεμοκινητήρα αποκαλείται διαδικασία ρύθμισης ισχύος και γίνεται για να αποφευχθεί η υπερφόρτιση της εγκατάστασης.

Η ρύθμιση ισχύος κυρίως σε μηχανές οριζώντιου άξονα, γίνεται μηχανικά με τη χρήση αερόφρενων ή με τη μεταβολή της διεύθυνσης της πτερωτής σε σχέση με αυτήν του ανέμου, καθώς και με τη μεταβολή του βήματος των πτερυγίων ή με τη μεταβολή των στροφών της πτερωτής. Όπως φαίνεται στο σχήμα 10 και 11, η ρύθμιση ισχύος δεν είναι πάντοτε ούτε επιθυμητή ούτε τελείως επιτυχής, ενώ και ο ρυθμός ανόδου της ισχύος

στη μεταβατική περιοχή λειτουργίας συχνά είναι υπεργραμμικός. Οι τιμές της ταχύτητας διακοπής λειτουργίας μεταβάλλονται από 20 m/s για ελαφρές κατασκευές μέχρι τα 30 m/s για πλέον στοιβαρές εγκαταστάσεις.



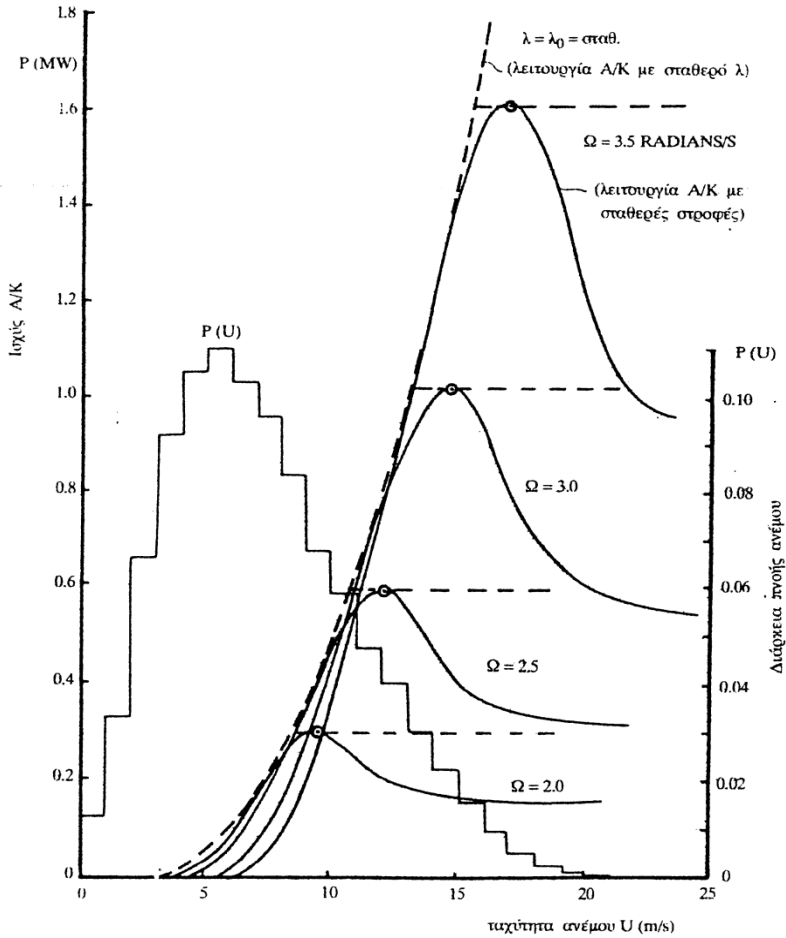
Σχήμα 10 Καμπύλη ισχύος Α/Γ τύπου Α



Σχήμα 11 Καμπύλη ισχύος Α/Γ τύπου Β

4.6 Καμπύλη ισχύος δρομέα

Από την καμπύλη του συντελεστή ισχύος του δρομέα ως συνάρτηση της ταχύτητας ακροπτερυγίου λ μπορεί να προκύψουν οι καμπύλες ισχύος του ανεμοκινητήρα για καθορισμένες στροφές του δρομέα ως συνάρτηση της ταχύτητας του πνέοντος ανέμου.



Σχήμα 12 Καμπύλη ισχύος δρομέα διαμέτρου 50m. Διακρίνονται οι δύο στρατηγικές λειτουργίας του δρομέα: (α) σταθερού λ (β) σταθερού βήματος - σταθερών στροφών

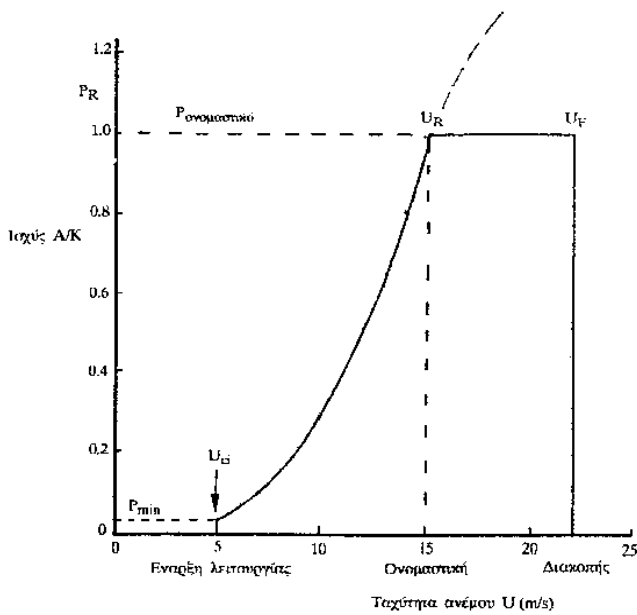
Συγκεκριμένα από την καμπύλη του συντελεστή ισχύος και για ορισμένες στροφές του δρομέα προκύπτει η καμπύλη του συντελεστή ισχύος της ταχύτητας ανέμου η οποία στη συνέχεια με τις σχέσεις:

$$P = \overline{C_p} \cdot \frac{\rho}{2} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot V^3$$

και

$$M = \frac{P}{\Omega}$$

μετατρέπεται σε καμπύλη ισχύος ή ροπής του δρομέα ως συνάρτηση της ταχύτητας του πνέοντος ανέμου. Τυπικές μορφές καμπυλών ισχύος και ροπής για δρομέα 50m παρουσιάζονται στο σχήμα 12.

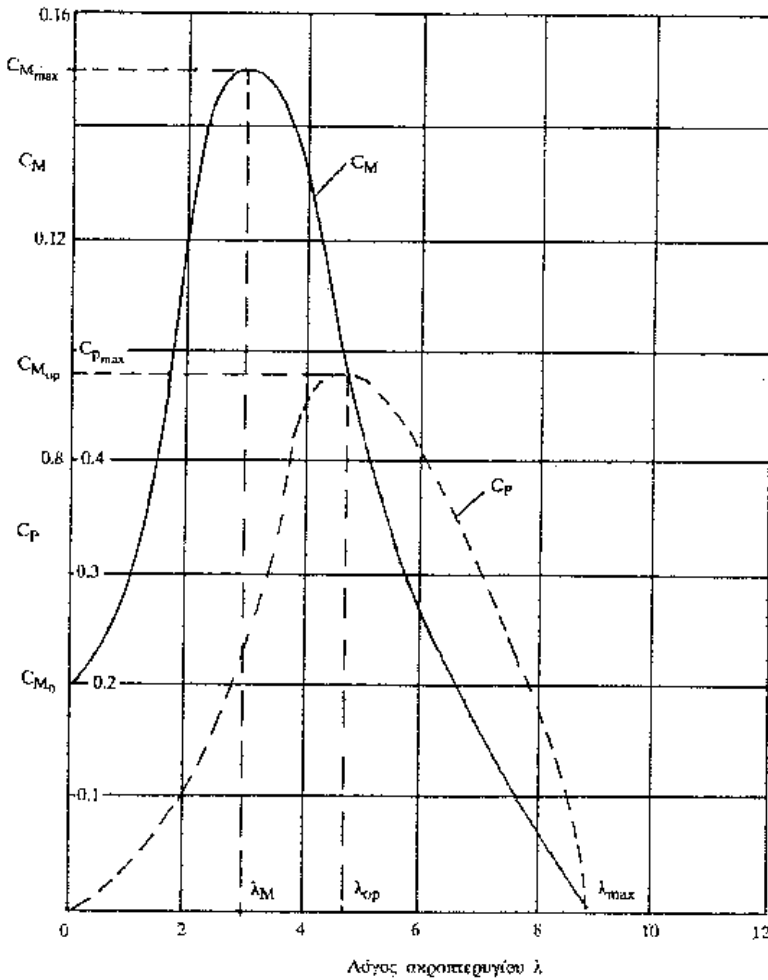


Σχήμα 13 Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας διαμέτρου δρομέα 50m

Όπως είναι γνωστό λόγω τριβών η ανεμογεννήτρια αποδίδει στον άξονα της λιγότερη ενέργεια και ροπή. Η ανεμογεννήτρια αρχίζει να λειτουργεί από μία ελάχιστη ταχύτητα ανέμου και πάνω, της ταχύτητας έναρξης λειτουργίας, V_{cut-in} . Αποδίδει την ονομαστική ισχύ της P_R στην ονομαστική ταχύτητα V_R και για ταχύτητες ανέμου μέχρι την ταχύτητα V_F στην οποία σταματάει να λειτουργεί η ανεμογεννήτρια, η ισχύς της διατηρείται σταθερή. Η πραγματική καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας πνέοντος ανέμου θα προκύψει από τη θεωρητική καμπύλη ισχύος αφού ληφθούν υπόψη τόσο οι ενεργειακές μηχανικές απώλειες όσο και οι χαρακτηριστικές ταχύτητες V_{cut-in} , V_R και V_F . Τυπική καμπύλη ισχύος παρουσιάζεται στο σχήμα 13 ενώ με διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η ισχύς του δρομέα χωρίς αεροδυναμικό έλεγχο της μέγιστης ισχύος.

4.7 Καμπύλες λειτουργίας δρομέα ανεμογεννήτριας

Η ενεργειακή απόδοση του δρομέα ανεμοκινητήρα εκφράζεται από την καμπύλη συντελεστή ισχύος C_p και ταχύτητας ακροπερυγίου λ ($\lambda = \omega \cdot R / V$), όπου ω η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα, R η ακτίνα του και V η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος του άξονα του δρομέα.



Σχήμα 14 Τυπικές καμπύλες C_M και C_P ενός ανεμοκινητήρα τριών περυγίων οριζοντίου άξονα

Η ροπή περιστροφής M που αναπτύσσει ο δρομέας και η οποία έχει πρωταρχική σημασία για την κίνηση της μηχανής εκτέλεσης έργου (π.χ. γεννήτρια, αντλία, συμπιεστής) εκφράζεται από τη σχέση:

$$P = M \cdot \omega \Rightarrow M = \frac{P}{\omega}$$

όπου M : η μηχανική ροπή της γεννήτριας

ω : η ταχύτητα περιστροφής του ρότορα

όπου P η ισχύς του δρομέα. Αλλά:

$$P = C_p \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

οπότε ορίζεται ο συντελεστής ροπής:

$$C_M = \frac{M}{\rho/z \cdot V^2 \cdot \pi/4 \cdot D^2 \cdot R}$$

Άρα από τη σχέση ορισμού της ροπής προκύπτει:

$$C_M = \frac{C_p}{\lambda}$$

Τυπική καμπύλη $C_p(\lambda)$ παρουσιάζεται στο σχήμα 14. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται και η τυπική μεταβολή της σχέσης συντελεστή ροπής C_M συναρτήσει της ταχύτητας ακροπτερυγίου λ .

Για τον υπολογισμό του σημείου λειτουργίας του ανεμοκινητήρα απαιτείται η γνώση των καμπυλών λειτουργίας του ανεμοκινητήρα όπως αυτές εκφράζονται από τις σχέσεις της μορφής:

$$P = P(V, n)$$

$$M = M(V, n)$$

όπου V : οι στροφές του δρομέα του ανεμοκινητήρα

Οι καμπύλες αυτές είναι εύκολο να προκύψουν από την καμπύλη του συντελεστή ισχύος $C_p(\lambda)$ του ανεμοκινητήρα. Από τις σχέσεις ισχύος ή ροπής και ταχύτητας:

$$P = C_p \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^3 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

$$M = C_M \cdot \frac{\rho}{2} \cdot V^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot R$$

μπορεί να προκύψει η καμπύλη λειτουργίας της μηχανής για διάφορα V με παράμετρο τις στροφές διότι για δοσμένη περιστροφή n (rpm), υπολογίζεται η ταχύτητα ακροπτερυγίου $\lambda = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot R / 60 \cdot V$, από τη σχέση $C_p(\lambda)$, η τιμή του συντελεστή ισχύος και στην συνέχεια η ισχύς ή η ροπή του ανεμοκινητήρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

**Σύγχρονες και ασύγχρονες
γεννήτριες**

5.1 Εισαγωγή

Η γεννήτρια ενός ανεμοκινητήρα μετατρέπει την μηχανική ενέργεια αυτού σε ηλεκτρική. Οι γεννήτριες των ανεμοκινητήρων είναι λίγο ασυνήθιστες, σε σύγκριση με άλλες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας οι οποίες μπορούν να συνδεθούν με το ηλεκτρικό δίκτυο.

Οι βασικοί τύποι ανεμογεννητριών είναι γεννήτριες:

- ❖ είτε *σταθερών στροφών* οι οποίες συνδέονται απευθείας στο δίκτυο και η ταχύτητα περιστροφής τους δεν εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου, αλλά από τη συχνότητα του δικτύου το λόγο του κιβωτίου ταχυτήτων και το σχεδιασμό της γεννήτριας. Έτσι λειτουργούν σε ένα στενό εύρος ταχύτητας περιστροφής λίγο πάνω από τη σύγχρονη ταχύτητα. Λόγω των σταθερών στροφών, οι Α/Γ αυτές δεν εκμεταλλεύονται με βέλτιστο τρόπο την αεροδυναμική ροπή, συνεπώς έχουν χαμηλότερη απόδοση.
- ❖ είτε *μεταβλητών στροφών*, οι οποίες συνδέονται στο δίκτυο μέσω ενός μετατροπέα ηλεκτρονικών ισχύος AC/DC/AC, όπου ο ρυθμός περιστροφής τους μεταβάλλεται ανάλογα με τη ταχύτητα του ανέμου και/ή με τις ανάγκες της απαιτούμενης ισχύος. Συνήθως οι Α/Γ αυτού του είδους χρησιμοποιούν έλεγχο της γωνίας βήματος των πτερυγίων για τον περιορισμό της ισχύος στις υψηλές ταχύτητες ανέμου. Με τη λειτουργία μεταβλητών στροφών η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας μπορεί να προσαρμόζεται στην εκάστοτε ταχύτητα ανέμου. Αυτό επιτυγχάνεται με το λόγο ταχύτητας ακροπτερυγίου

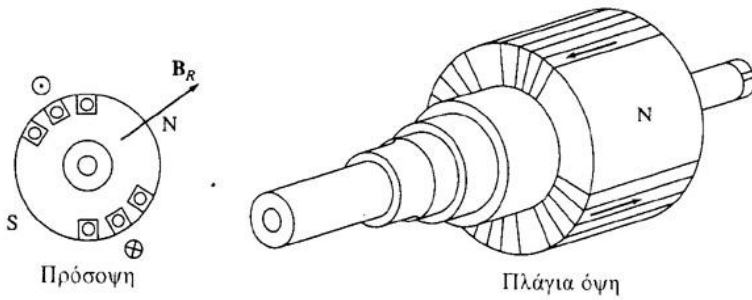
$$\lambda = \omega \cdot R / V_w$$

όπου ω : η ταχύτητα περιστροφής, R: η ακτίνα της έλικας και V_w

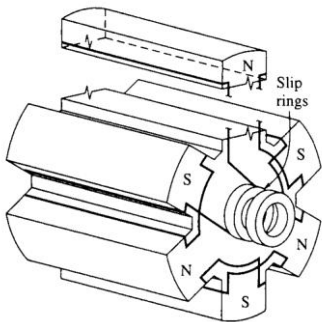
5.2 Δομή των σύγχρονων γεννητριών

Απαραίτητη προϋπόθεση για να λειτουργήσει μια σύγχρονη γεννήτρια είναι η τροφοδοσία του τυλίγματος του δρομέα της με συνεχές ρεύμα. Αυτό το ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό της γεννήτριας και καθώς ο δρομέας περιστρέφεται παίρνοντας κίνηση από κάποια εξωτερική κινητήρια μηχανή, το πεδίο περιστρέφεται μαζί του. Τελικά το στρεφόμενο μαγνητικό πεδίο παράγει τάση, η οποία εμφανίζεται στην έξοδο της μηχανής.

Ο δρομέας μιας σύγχρονης γεννήτριας μπορεί να θεωρηθεί σαν ένας μεγάλος ηλεκτρομαγνήτης τόσο στην περίπτωση που η γεννήτρια είναι έκτυπων πόλων, όσο και όταν αυτή διαθέτει κυλινδρικό δρομέα. Οι πόλοι μιας γεννήτριας έκτυπων πόλων διακρίνονται στην επιφάνεια του δρομέα ενώ όταν ο δρομέας είναι κυλινδρικός, οι πόλοι της βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο με την υπόλοιπη επιφάνεια του. Στο σχήμα 1 φαίνεται ένας δρομέας με κυλινδρική επιφάνεια και στο σχήμα 2, ο δρομέας μιας γεννήτριας έκτυπων πόλων. Δρομείς με κυλινδρική επιφάνεια έχουν συνήθως οι γεννήτριες δύο ή τεσσάρων πόλων, ενώ οι γεννήτριες έκτυπων πόλων συνήθως διαθέτουν πάνω από τέσσερις πόλους. Ο δρομέας των σύγχρονων γεννητριών κατασκευάζεται από δυναμοελάσματα με σκοπό τη μείωση των απωλειών εξαιτίας των δινορρευμάτων. Αφού ο δρομέας εκτίθεται σε συχνές μεταβολές του μαγνητικού του πεδίου, η ανάπτυξη δινορρευμάτων στο εσωτερικό του είναι αναπόφευκτη.



Σχήμα 1 Κυλινδρικός δρομέας σύγχρονης γεννήτριας δύο πόλων



Σχήμα 2 Δρομέας έκτυπων πόλων σύγχρονης γεννήτριας έξι πόλων

Επίσης το τυλίγμα του δρομέα στις σύγχρονες γεννήτριες θα πρέπει να τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα. Επειδή όμως ο δρομέας περιστρέφεται, είναι ανάγκη να αναπτυχθεί κάποιος ειδικός τρόπος τροφοδοσίας του τυλίγματος του. Οι πιο συνηθισμένες τεχνικές τροφοδοσίας του δρομέα είναι:

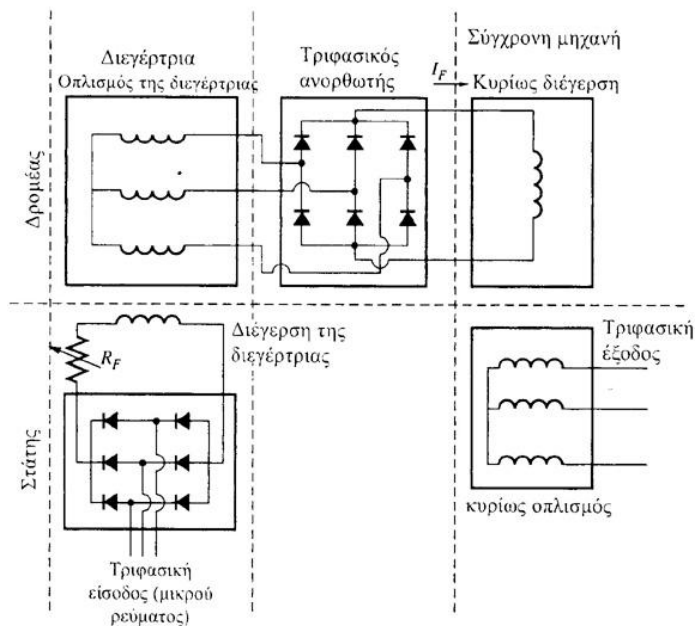
- α. Με τροφοδοσία από εξωτερική πηγή συνεχούς ρεύματος, οπότε ο δρομέας θα πρέπει να είναι εφοδιασμένος με ψήκτρες και δακτυλίδια.
- β. Με τροφοδοσία από ειδική πηγή συνεχούς ρεύματος τοποθετημένη πάνω στον άξονα της γεννήτριας.

Τα μεταλλικά δακτυλίδια της γεννήτριας καλύπτουν όλη την περίμετρο του άξονα της και μονώνονται ηλεκτρικά απ' αυτόν. Συνήθως το ένα άκρο του τυλίγματος του δρομέα συνδέεται στο πρώτο από τα δύο δακτυλίδια και το άλλο άκρο στο δεύτερο. Οι ψήκτρες τοποθετούνται ώστε να εφάπτονται μια στο κάθε δακτυλίδι. Έτσι με την σύνδεση του θετικού άκρου της πηγής στη μια ψήκτρα και του αρνητικού στην άλλη, επιτυγχάνεται η συνεχής τροφοδοσία του δρομέα.

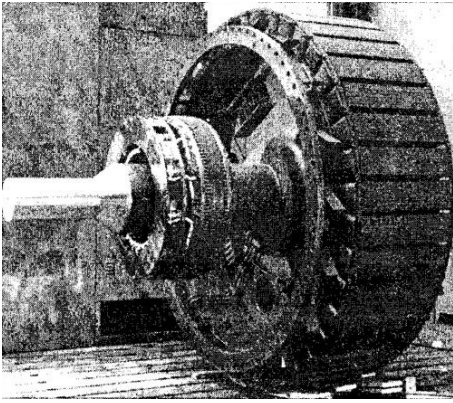
Η χρήση όμως δακτυλιδίων και ψηκτρών για την τροφοδοσία του δρομέα της γεννήτριας με συνεχές ρεύμα παρουσιάζει δύο μειονεκτήματα. Το πρώτο είναι ότι απαιτείται συχνή αντικατάσταση των ψηκτρών, που

φθείρονται λόγω τριβής και το δεύτερο ότι η πτώση τάσης στις ψήκτρες μπορεί να προκαλέσει αρκετά σημαντικές απώλειες ισχύος, ιδίως όταν τα ρεύματα που τις διαρρέουν έχουν μεγάλη ένταση. Παρόλα αυτά ο συνδυασμός δαχτυλιδίων και ψηκτρών χρησιμοποιείται σε σύγχρονες γεννήτριες μικρής ισχύος, όπου η χρήση άλλων μεθόδων είναι εξαιρετικά δαπανηρή.

Σε μεγαλύτερες γεννήτριες χρησιμοποιούνται διεγέρτριες μηχανές χωρίς ψήκτρες για να τροφοδοτήσουν με συνεχές ρεύμα το δρομέα της γεννήτριας. Αυτές οι διεγέρτριες μηχανές είναι μικρές γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος των οποίων το κύκλωμα διέγερσης τροφοδοτείται από το στάτη της κύριας γεννήτριας, ενώ το κύκλωμα του σπλισμού τους τοποθετείται στον άξονα του δρομέα. Η τριφασική έξοδος της διεγέρτριας ανορθώνεται από έναν τριφασικό ανορθωτή, που βρίσκεται πάνω στον άξονα της μηχανής και το συνεχές ρεύμα εξόδου του ανορθωτή οδηγείται στο τύλιγμα διέγερσης της κύριας γεννήτριας. Με αυτή τη μέθοδο μπορεί να ρυθμιστεί το ρεύμα διέγερσης της σύγχρονης γεννήτριας μεταβάλλοντας απλά το συνεχές ρεύμα διέγερσης της διεγέρτριας, που βρίσκεται πάνω στο στάτη και έχει πολύ μικρή τιμή. Στο σχήμα 3 φαίνεται το συμβολικό διάγραμμα μιας σύγχρονης γεννήτριας που χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο ενώ στη Εικόνα 1 φαίνεται ο δρομέας μιας σύγχρονης μηχανής με τη διεγέρτρια στον άξονα της. Είναι προφανές προφανές ότι αφού δεν εμπλέκονται μηχανικά τμήματα στη διαδικασία τροφοδοσίας της διέγερσης της γεννήτριας, τα μειονεκτήματα της προηγούμενης μεθόδου έχουν ξεπεραστεί.



Σχήμα 3 Κύκλωμα διέγερσης χωρίς ψήκτρες



Εικόνα 1 Φωτογραφία του δρομέα σύγχρονης γεννήτριας, με διεγέρτρια

Για να γίνει όμως η διαδικασία τροφοδοσίας του δρομέα εντελώς ανεξάρτητη από εξωτερικές πηγές, μπορεί να εισαχθεί στο σύστημα μια προ-διεγέρτρια μηχανή. Αυτή είναι μια μικρή γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος με δρομέα που διαθέτει μόνιμους μαγνήτες και τοποθετείται στον άξονα της σύγχρονης γεννήτριας. Η προ-διεγέρτρια παράγει τριφασική τάση που ανορθώνεται και τροφοδοτεί τη διέγερση της διεγέρτριας, η οποία με τη σειρά της τροφοδοτεί το δρομέα της σύγχρονης γεννήτριας. Έτσι η γεννήτρια δεν έχει πια ανάγκη από καμιά εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.

Συχνά επίσης οι γεννήτριες με διεγέρτριες διαθέτουν δαχτυλίδια και ψήκτρες ώστε να έχουν εναλλακτικούς τρόπους τροφοδοσίας της διέγερσής τους σε έκτακτες περιπτώσεις.

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι σύγχρονες γεννήτριες είναι τα εξής :

- α. Από την στιγμή που θα συνδεθούν με το δίκτυο οι στροφές τους διατηρούνται σταθερές , ανεξάρτητα των μεταβολών στην ταχύτητα του άνεμου. Αυτό οφείλεται στο ότι η ροπή συγχρονισμού της κρατάει σε συγχρονισμό με το δίκτυο . Το δίκτυο πρέπει να είναι μεγάλο για να εξασφαλίζει σταθερή συχνότητα .
- β. Μπορούν να διεγερθούν έτσι ώστε να παρέχουν άεργη ισχύ στο δίκτυο με αποτέλεσμα τη βελτίωση του συντελεστή ισχύος .
- γ. Η τεχνολογία των σύγχρονων γεννητριών είναι ήδη πολύ προχωρημένη και τέτοιες μηχανές , βρίσκονται εύκολα και σε μεγάλη ποικιλία .

Εκτός όμως από τα παραπάνω πλεονεκτήματα οι σύγχρονες γεννήτριες παρουσιάζουν και μειονεκτήματα, τα κυριότερα των οποίων είναι τα εξής:

- α. Λόγω της ιδιότητας που έχουν να στρέφονται πάντα με τις σύγχρονες στροφές, απαιτούν ακριβή συγχρονισμό πριν τη σύνδεση τους με το δίκτυο. Ο συγχρονισμός αυτός γίνεται με έλεγχο στροφών ο οποίος ρυθμίζει τη γωνία των περύγιων (BladePitchAngle).
- β. Επίσης απαιτείται έλεγχος τάσης ο οποίος στο στάδιο του συγχρονισμού, θα ρυθμίζει τη τάση της γεννήτριας στην τάση του δικτύου.
- γ. Η μετακίνηση από μια λειτουργική κατάσταση στην άλλη συνοδεύεται, λόγω αλλαγών της ισχύος εισόδου από ταλαντώσεις της γωνίας φορτίου δ. Οι ταλαντώσεις αυτές επιδρούν αρνητικά στη συχνότητα ενός μικρού δικτύου.
- δ. Υπάρχει στην σύγχρονη μηχανή ο κίνδυνος του αποσυγχρονισμού. Πρέπει λοιπόν πολύ προσεκτικά να καθοριστεί η ονομαστική ισχύς λειτουργίας της ανεμογεννήτριας ώστε να ληφθούν υπόψη απότομες και μεγάλες αλλαγές φορτίου.

5.3 Ταχύτητα περιστροφής των σύγχρονων γεννητριών

Οι γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος ονομάζονται σύγχρονες επειδή οι συχνότητες των τάσεων που παράγουν βρίσκονται σε συγχρονισμό με την ταχύτητα περιστροφής τους. Ο δρομέας των μηχανών αυτών είναι ένας ηλεκτρομαγνήτης του οποίου το μαγνητικό πεδίο περιστρέφεται με φορά ίδια με αυτή του δρομέα. Η σχέση της ηλεκτρικής συχνότητας του στάτη με την ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου δίνεται από τη σχέση:

$$f_c = \frac{n_m \cdot P}{120}$$

όπου f_c : η ηλεκτρική συχνότητα σε Hz

n_m : η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα(r/min)

P: ο αριθμός των πόλων

Επειδή λοιπόν ο δρομέας της μηχανής περιστρέφεται με την ίδια ταχύτητα που περιστρέφεται και το μαγνητικό πεδίο της, η παραπάνω εξίσωση δίνει τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας περιστροφής της μηχανής και της ηλεκτρικής συχνότητας της.

Όλες οι γεννήτριες παράγουν όμως συχνότητες 50Hz ή 60Hz οπότε η ταχύτητα περιστροφής τους για συγκεκριμένο αριθμό πόλων είναι προκαθορισμένη.

5.4 Παραγόμενη τάση στο εσωτερικό μιας σύγχρονης γεννήτριας

Η τάση στα άκρα της κάθε φάσης μιας μηχανής εναλλασσόμενου ρεύματος

είναι:

$$E_A = \sqrt{2} \cdot \pi \cdot N_c \cdot \Phi \cdot f$$

όπου N_c : η ταχύτητα περιστροφής της μηχανής

Φ : η μαγνητική ροή

f : η συχνότητα

Δηλαδή η E_A εξαρτάται από τη μαγνητική ροή, από τη συχνότητα και την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής και από κάποια κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της.

Μια πιο απλή μορφή της παραπάνω εξίσωσης είναι:

$$E_A = K \cdot \Phi \cdot \omega$$

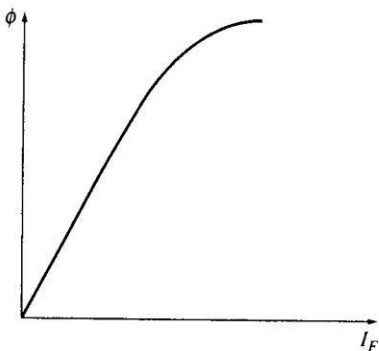
όπου K : σταθερά η οποία εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά

και είναι:
$$K = \frac{N_c}{\sqrt{2}}$$

Αν όμως η ω δίνεται σε μηχανικά rad/s τότε ισχύει:

$$K = \frac{N_c \cdot P}{\sqrt{2}}$$

Η τάση E_A που παράγεται στο εσωτερικό της γεννήτριας είναι ανάλογη της μαγνητικής ροής στη μηχανή και της ταχύτητας περιστροφής της. Όμως η μαγνητική ροή εξαρτάται από το ρεύμα του δρομέα I_F σύμφωνα με την καμπύλη του σχήματος 4.



Σχήμα 4 Γραφική παράσταση της μαγνητικής ροής ως προς το ρεύμα διέγερσης

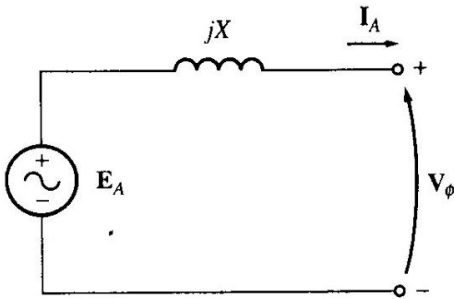
5.5 Ισοδύναμο κύκλωμα της σύγχρονης γεννήτριας

Έστω E_A η τάση στα άκρα της μιας φάσης που παράγεται στο εσωτερικό της γεννήτριας. Αυτή η τάση σπάνια εμφανίζεται στα άκρα της μηχανής. Αντίθετα είναι ίση με την αντίστοιχη τάση στα άκρα της μηχανής V_Φ μόνο όταν το ρεύμα οπλισμού της γεννήτριας είναι μηδέν. Η ανάλυση των αιτιών που διαφοροποιούν την E_A από τη V_Φ οδηγεί στην ανάπτυξη του μοντέλου της σύγχρονης γεννήτριας.

Οι λόγοι που διαφοροποιούν την E_A από τη V_Φ είναι οι εξής:

α. Η παραμόρφωση του μαγνητικού πεδίου στο διάκενο της μηχανής που προκαλείται από το ρεύμα του στάτη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αντίδραση οπλισμού.

- β. Οι αυτεπαγωγές των αγωγών του στάτη
- γ. Οι αντιστάσεις των αγωγών του στάτη
- δ. Το σχήμα των έκτυπων πόλων του δρομέα



Σχήμα 5 Απλό ηλεκτρικό κύκλωμα

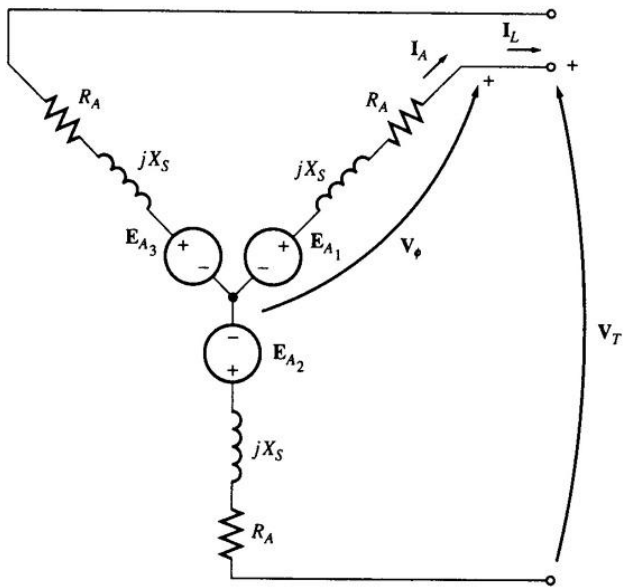
Η παράσταση του ισοδύναμου κυκλώματος μιας σύγχρονης γεννήτριας φαίνεται στο σχήμα 5 όπου είναι ευδιάκριτο το κύκλωμα διέγερσης(δρομέα) της μηχανής με την πηγή που τροφοδοτεί τα δρομέα. Το τύλιγμα της διέγερσης αντιπροσωπεύεται από μια αυτεπαγωγή και από μια αντίσταση. Σε σειρά με την R_F έχει συνδεθεί η ρυθμιστική αντίσταση R_{adj} που μπορεί να μεταβάλλει το ρεύμα διέγερσης. Το υπόλοιπο κύκλωμα αποτελείται από τα ισοδύναμα κυκλώματα των τριών φάσεων. Στο καθένα απ' αυτά φαίνονται η αντίστοιχη τάση που παράγεται στο εσωτερικό της μηχανής, σε σειρά με τη σύγχρονη αντίδραση X_s και την αντίδραση του τυλίγματος της φάσης R_A . Οι τάσεις και τα ρεύματα των τριών φάσεων διαφέρουν μεταξύ τους μόνο στη φάση(παρουσιάζουν διαφορά φάσης 120° η μια από την άλλη), ενώ κατά τα άλλα είναι εντελώς όμοιες.

Στο σχήμα 6 οι τρεις φάσεις του στάτη συνδέονται σε αστέρα ή σε τρίγωνο. Όταν είναι συνδεδεμένες σε αστέρα, οι αντίστοιχες πολικές τάσεις V_T είναι:

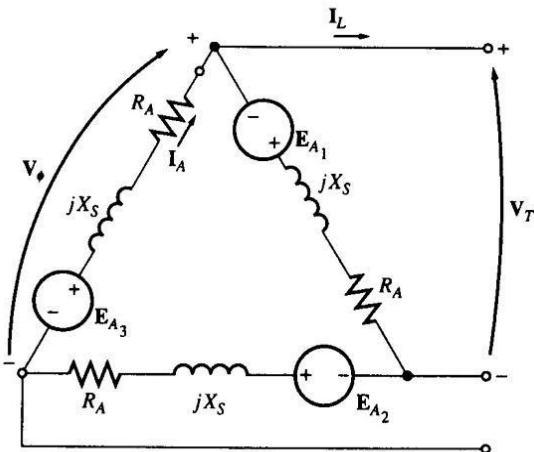
$$V_T = \sqrt{3} \cdot V_\phi$$

Ενώ όταν συνδέονται σε τρίγωνο ισχύει:

$$V_T = V_\phi$$



Σχήμα 6 Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας συνδεδεμένης σε αστέρα



Σχήμα 7 Ισοδύναμο κύκλωμα σύγχρονης γεννήτριας συνδεδεμένης σε τρίγωνο

5.6 Ισχύς και ροπή στην έξοδο των σύγχρονων γεννητριών

Η σύγχρονη γεννήτρια είναι μια σύγχρονη μηχανή που λειτουργεί ως γεννήτρια μετατρέποντας μηχανική ισχύ σε τριφασική ηλεκτρική ισχύ στην έξοδο της. Η κινητήρια δύναμη μιας τέτοιας γεννήτριας μπορεί να είναι κάποιος κινητήρας ντίζελ, ένας ατμοστρόβιλος, ένας υδροστρόβιλος ο άνεμος και κάθε άλλη παρόμοια δύναμη. Ανεξάρτητα όμως από τη φύση της, αυτή η μηχανή πρέπει οπωσδήποτε να λειτουργεί σε κάποια σταθερή συχνότητα χωρίς να εξαρτάται από την ισχύ που απαιτεί κάθε φορά το φορτίο της γεννήτριας. Χωρίς αυτή την προϋπόθεση η προσφερόμενη από τη γεννήτρια ηλεκτρική ισχύς δε θα έχει σταθερή συχνότητα.

Φυσικά μια σύγχρονη γεννήτρια παρουσιάζει απώλειες κατά τη μετατροπή της μηχανικής ισχύος σε ηλεκτρική, γι' αυτό και ποτέ η ισχύς εισόδου της δεν είναι ίση με την ισχύ εξόδου. Στο διάγραμμα ροής ισχύος μιας σύγχρονης γεννήτριας (σχήμα 8), φαίνεται ότι η ισχύς εισόδου στη γεννήτρια είναι η μηχανική ισχύς που εφαρμόζεται στον άξονα της, ενώ η ισχύς που μετατρέπεται σε ηλεκτρική στο εσωτερικό της μηχανής είναι ίση με:

$$P_{conv} = 3 \cdot E_A \cdot I_A \cdot \cos \gamma$$

όπου γ : η γωνία μεταξύ των E_A και I_A

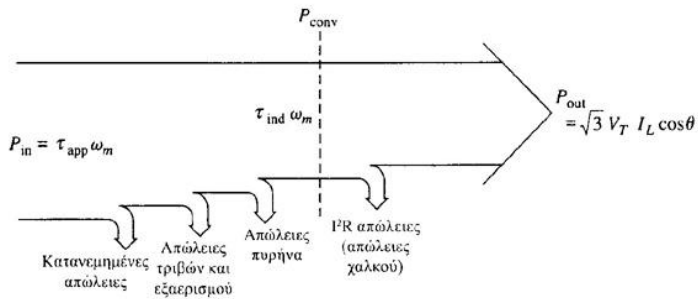
Η διαφορά μεταξύ της ισχύος εισόδου στη γεννήτρια και της ισχύος που μετατρέπεται τελικά σε ηλεκτρική οφείλεται στις απώλειες πυρήνα, στις μηχανικές απώλειες και στις κατανεμημένες απώλειες της γεννήτριας.

Η ενεργός ισχύς εξόδου της γεννήτριας P_{out} , δίνεται (σε πολικά μεγέθη) από τη σχέση:

$$P_{out} = \sqrt{3} \cdot V_T \cdot I_L \cdot \cos \theta$$

και σε φασικά μεγέθη:

$$P_{out} = 3 \cdot V_\phi \cdot I_A \cdot \cos \theta$$



Σχήμα 8 Διάγραμμα ροής ισχύος μιας σύγχρονης γεννήτριας

Η άεργος ισχύς στην έξοδο της μηχανής(σε πολικά μεγέθη) είναι:

$$Q_{out} = \sqrt{3} \cdot V_T \cdot I_L \sin \theta$$

και σε φασικά μεγέθη:

$$Q_{out} = 3 \cdot V_{\Phi} \cdot I_A \cdot \sin \theta$$

5.7 Χαρακτηριστικές συχνότητας-ισχύος και τάσης-άεργης ισχύος στις σύγχρονες γεννήτριες

Όπως είναι γνωστό , η πηγή της μηχανικής ενέργειας μιας γεννήτριας είναι η κινητήρια μηχανή της που συνήθως είναι ένας ατμοστρόβιλος, χωρίς αυτό να αποκλείει άλλου είδους κινητήριες μηχανές, όπως οι κινητήρες εσωτερικής καύσεως, οι αεριοστρόβιλοι, οι υδροστρόβιλοι και οι ανεμοστρόβιλοι.

Ανεξάρτητα όμως από το είδος τους, αυτές οι μηχανές παρουσιάζουν παρόμοιο τρόπο συμπεριφοράς. Η αύξηση της ισχύος που προσφέρουν στη γεννήτρια προκαλεί μείωση της ταχύτητας περιστροφής τους. Αυτή η μείωση της ταχύτητας τους δεν είναι γενικά γραμμική, αλλά συνήθως εισάγεται στο σύστημα ένα είδος

μηχανισμού ελέγχου που κάνει τη μείωση της ταχύτητας της κινητήριας μηχανής γραμμική κατά την αύξηση της ισχύος που αυτή προσφέρει στη γεννήτρια.

Ο μηχανισμός ελέγχου έχει συνήθως τη δυνατότητα να δίνει στην ταχύτητα της κινητήριας μηχανής κάποια φθίνουσα χαρακτηριστική με μικρή κλίση, καθώς το φορτίο της γεννήτριας αυξάνεται. Αυτή η πτώση της ταχύτητας της κινητήριας μηχανής περιγράφεται από τη εξίσωση:

$$SD = \frac{n_{nl} - n_{fl}}{n_{fl}} \cdot 100\%$$

όπου n_{nl} και n_{fl} : οι ταχύτητες της κινητήριας μηχανής στις περιπτώσεις λειτουργίας χωρίς φορτίο και υπό πλήρες φορτίο, αντίστοιχα.

Οι πιο συνηθισμένες τιμές της πτώσης της ταχύτητας των κινητήριων μηχανών, αυτή ορίζεται στην παραπάνω εξίσωση, είναι 2% με 4%. Ακόμη, οι περισσότερες κινητήριες μηχανές που δίνουν μηχανική ισχύ στις γεννήτριες διαθέτουν κάποιο ρυθμιστή κλίμακας για τη μεταβολή της ταχύτητας τους στη λειτουργία χωρίς φορτίο. Στο σχήμα 9 φαίνεται μια τυπική γραφική παράσταση της ταχύτητας σε συνάρτηση με την ισχύ.



Σχήμα 9 Το συγχρονοσκόπιο

Επειδή η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας συνδέεται με την ηλεκτρική της συχνότητα μέσω της σχέσης:

$$f_e = \frac{n_m \cdot P}{120}$$

συνεπάγεται ότι και η ισχύς εξόδου της γεννήτριας θα συνδέεται με την ηλεκτρική συχνότητα της. Αυτή ακριβώς η σχέση φαίνεται στο σχήμα 10 και είναι πολύ σημαντική κατά την παράλληλη λειτουργία σύγχρονων γεννητριών.

Η σχέση μεταξύ ισχύος και ηλεκτρικής συχνότητας εκφράζεται ποσοτικά με την εξίσωση:

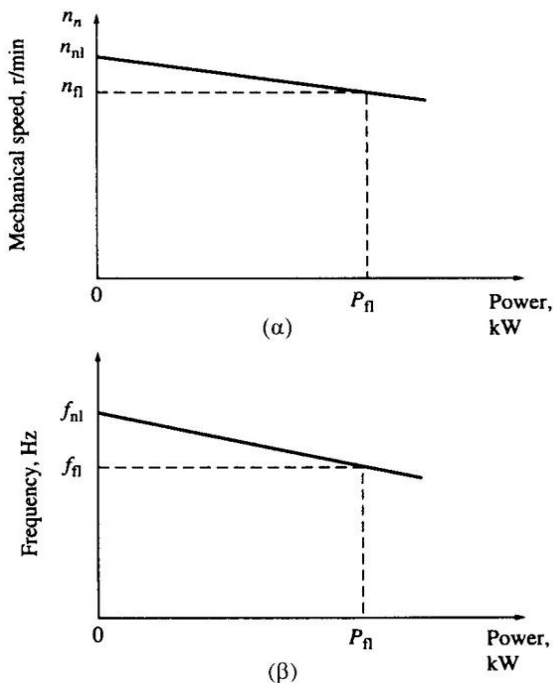
$$P = S_p (f_{nl} - f_{sys})$$

όπου P : η ισχύς εξόδου της γεννήτριας

f_{nl} : η συχνότητα της γεννήτριας που αντιστοιχεί στη λειτουργία χωρίς φορτίο

f_{sys} : η συχνότητα λειτουργίας του συστήματος

S_p : η κλίση της παραπάνω καμπύλης σε kW/Hz ή MW/Hz

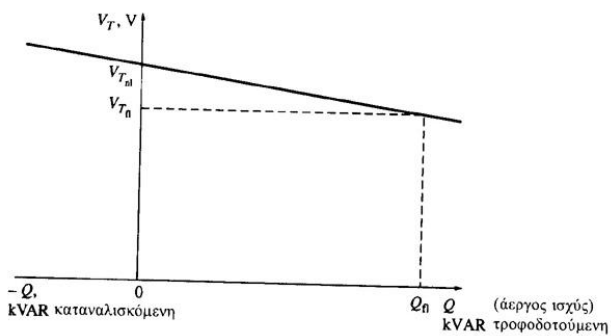


Σχήμα 10 (α) Χαρακτηριστική ταχύτητας-ισχύος μιας τυπικής κινητήριας μηχανής

(β) Χαρακτηριστική συχνότητας ισχύος μιας σύγχρονης γεννήτριας

Μια παρόμοια εξίσωση είναι δυνατό να περιγράψει τη σχέση της άεργης ισχύος με την τάση V_T στα άκρα της γεννήτριας. Όπως αναφέρθηκε πιο πριν, η εισαγωγή επαγωγικού φορτίου στα άκρα της γεννήτριας προκαλεί μείωση της τάσης V_T ενώ η εισαγωγή χωρητικού φορτίου αυξάνει την τάση V_T . Είναι δυνατή λοιπόν η σχεδίαση της γραφικής παράστασης της άεργης ισχύος συναρτήσει της τάσης V_T , η οποία θα είναι φθίνουσα όπως ακριβώς αυτή μεταξύ της ισχύος και της συχνότητας. Κάτι τέτοιο φαίνεται και στο σχήμα 11. Αυτή η χαρακτηριστική δεν είναι απαραίτητα γραμμική αλλά συνήθως οι σταθεροποιητές τάσης που συνεργάζονται με τις γεννήτριες μπορούν να προσφέρουν αυτή τη δυνατότητα. Η μετακίνηση της παραπάνω καμπύλης προς τα πάνω ή προς τα κάτω γίνεται με τη μεταβολή της τάσης της γεννήτριας στην αφόρτιστη λειτουργία που πραγματοποιείται με τη μετακίνηση του ρυθμιστή κλίμακας ενός σταθεροποιητή τάσης. Όπως η χαρακτηριστική πραγματικής ισχύος-συχνότητας, έτσι και η χαρακτηριστική άεργης ισχύος-πολικής τάσης είναι πολύ σημαντική κατά την παράλληλη λειτουργία σύγχρονων γεννητριών.

Θα πρέπει να πούμε επίσης ότι στην περίπτωση που μια γεννήτρια τροφοδοτεί αυτόνομα το φορτίο της, τόσο η ενεργός όσο και η άεργος ισχύς εξόδου της προσδιορίζονται αποκλειστικά από το ίδιο φορτίο. Όταν όμως περισσότερες από μια γεννήτριες τροφοδοτούν κάποιο φορτίο, είναι δυνατή η μεταβολή της συνολικής ισχύος που παρέχει η κάθε γεννήτρια, μέσω κυκλωμάτων που ελέγχουν τη λειτουργία της. Έτσι στη δεύτερη περίπτωση, για κάθε τιμή της ενεργού ισχύος τα κυκλώματα ελέγχου της γεννήτριας έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τη συχνότητα λειτουργίας της, ενώ για κάθε τιμή της άεργης ισχύος, η τάση στα άκρα της είναι δυνατό να μεταβάλλεται μέσω του ρεύματος διέγερσης.



Σχήμα 11 Χαρακτηριστική πολικής τάσης-άεργης ισχύος μιας σύγχρονης γεννήτριας

5.8 Προδιαγραφές σύγχρονων γεννητριών

Σε μια οποιαδήποτε σύγχρονη γεννήτρια τόσο η ταχύτητα περιστροφής όσο και η ισχύς που παράγεται, ποτέ δεν είναι απεριόριστες. Αντίθετα ορίζονται οι προδιαγραφές της γεννήτριας που εκφράζουν κάποια όρια ασφαλούς λειτουργίας της.

Αυτά τα στοιχεία συνήθως βρίσκονται στην πινακίδα της γεννήτριας.

Οι τυπικές προδιαγραφές μιας σύγχρονης γεννήτριας είναι: η τάση, η συχνότητα, η ταχύτητα, η φαινόμενη ισχύς, ο συντελεστής ισχύος, το ρεύμα διέγερσης και ο συντελεστής υπερφόρτισης.

5.9 Ονομαστική τάση, ταχύτητα και συχνότητα

Η ονομαστική συχνότητα μιας σύγχρονης γεννήτριας προσδιορίζεται από τη συχνότητα του συστήματος ισχύος στο οποίο είναι συνδεδεμένη. Οι συχνότητες που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι τα 50Hz(Ευρώπη, Ασία), τα 60Hz(Αμερική) και σε ειδικές εφαρμογές η συχνότητα των 400Hz. Όπως αναφέρθηκε η συχνότητα μιας γεννήτριας με ορισμένο αριθμό πόλων προσδιορίζει μονοσήμαντα την ταχύτητα περιστροφής της μηχανής μέσω της εξίσωσης:

$$f_e = \frac{n_m \cdot P}{120}$$

Το πιο σημαντικό στοιχείο των προδιαγραφών μιας γεννήτριας είναι η τάση που παράγει στην κανονική λειτουργία της. Αυτή η τάση εξαρτάται από την μαγνητική ροή στο εσωτερικό της μηχανής, από την ταχύτητα περιστροφής και από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της. Επειδή όμως η ταχύτητα και η δομή της μηχανής είναι δεδομένες, η αύξηση της τάσης στα άκρα της είναι αποτέλεσμα της αύξησης της ροής στο εσωτερικό της. Όμως η μαγνητική ροή δεν είναι δυνατό να αυξάνεται απεριόριστα αφού εξαρτάται άμεσα από το ρεύμα διέγερσης της γεννήτριας το οποίο παρουσιάζει κάποιο μέγιστο ασφαλούς λειτουργίας.

Ακόμη ένας παράγοντας που περιορίζει την τάση λειτουργίας μιας σύγχρονης γεννήτριας είναι η τάση διάσπασης της μόνωσης των τυλιγμάτων της. Η τάση εξόδου της μηχανής ποτέ δε θα πρέπει να προκαλεί ρεύματα που να πλησιάζουν τα όρια διάσπασης αυτής της μόνωσης.

Μια αρκετά συνηθισμένη απορία που δημιουργείται και αφορά την ονομαστική συχνότητα είναι, το αν μια γεννήτρια των 60Hz μπορεί να λειτουργήσει στα 50Hz και αντίστροφα. Η απάντηση είναι καταφατική, αν ληφθούν υπόψη κάποιες νέες συνθήκες ασφαλούς λειτουργίας. Ειδικότερα υπάρχει κάποια μέγιστη μαγνητική ροή στο εσωτερικό της μηχανής. Επειδή $E_A = K_\phi \cdot \omega$, η μέγιστη επιτρεπόμενη τάση E_A μεταβάλλεται με τη

συχνότητα. Έτσι στην παραπάνω περίπτωση η τάση λειτουργίας της γεννήτριας θα πρέπει να μειωθεί στο 50/60 ή στο 83,3%. Ακριβώς το αντίθετο θα πρέπει να συμβεί, αν μια γεννήτρια των 50Hz πρόκειται να λειτουργήσει στα 60Hz.

5.10 Ονομαστική φαινόμενη ισχύς - Ονομαστικός συντελεστής ισχύος

Οι δύο παράγοντες που προσδιορίζουν τα όρια ισχύος μιας ηλεκτρικής μηχανής είναι από τη μια η ροπή που εφαρμόζεται στον άξονα της και από την άλλη η θερμότητα που αναπτύσσεται στα τυλίγματα της. Όλες σχεδόν οι σύγχρονες μηχανές διαθέτουν άξονα με αρκετά μεγάλη μηχανική αντοχή, ώστε να μπορούν να εργαστούν με ισχύ πολύ μεγαλύτερη από την ονομαστική στη μόνιμη κατάσταση ισορροπίας. Έτσι οι περιορισμοί της μέγιστης ισχύος προσδιορίζονται αποκλειστικά από τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στα τυλίγματα τους στη μόνιμη κατάσταση. Ειδικότερα σε μια σύγχρονη γεννήτρια τόσο τα τυλίγματα του στάτη, όσο και τα τυλίγματα του δρομέα θα πρέπει να προστατευτούν από υπερθέρμανση. Το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα οπλισμού της γεννήτριας ορίζει τη μέγιστη φαινόμενη ισχύ της μέσω της σχέσης:

$$S = 3 \cdot V_{\phi} I_A$$

Αν είναι γνωστή η ονομαστική τάση της γεννήτριας, τότε το μέγιστο ρεύμα οπλισμού προσδιορίζει την ονομαστική φαινόμενη ισχύ:

$$S_{rated} = 3 \cdot V_{\phi, rated} \cdot I_{A, max}$$

ή

$$S_{rated} = \sqrt{3} \cdot V_{L, rated} \cdot I_{L, max}$$

Ας σημειωθεί εδώ ότι ο συντελεστής ισχύος του ρεύματος οπλισμού δεν παίζει κανένα ρόλο στην υπερθέρμανση των τυλιγμάτων του οπλισμού της. Η ισχύς που μετατρέπεται σε θερμότητα στο κύκλωμα οπλισμού της έχει τιμή:

$$P_{SCL} = 3 \cdot I_A^2 \cdot R_A$$

Δηλαδή, πράγματι η θερμοκρασία του οπλισμού δεν εξαρτάται από τη φάση(ως προς την τάση V_{ϕ}) του αντίστοιχου ρεύματος. Γι' αυτόν ακριβώς τον λόγο οι σύγχρονες μηχανές προδιαγράφονται με βάση τη φαινόμενη

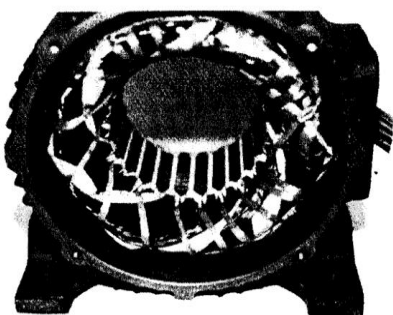
ισχύς(KVA) αντί της ενεργού ισχύος(KW). Η ισχύς που μετατρέπεται σε θερμότητα στο κύκλωμα διέγερσης της γεννήτριας είναι ίση με τις αντίστοιχες απώλειες του χαλκού:

$$P_{RCL} = I_F^2 \cdot R_F$$

Έτσι η μέγιστη επιτρεπόμενη θερμοκρασία των τυλιγμάτων διέγερσης θέτει ένα μέγιστο ρεύμα διέγερσης και αυτό με τη σειρά του περιορίζει τη μέγιστη αποδεκτή τιμή της τάσης E_A . Το γεγονός ότι ορίστηκε μέγιστη επιτρεπόμενη τάση στο εσωτερικό της γεννήτριας E_A και μέγιστο ρεύμα διέγερσης I_F , σημαίνει ότι κατά τη λειτουργία με ονομαστική φαινόμενη ισχύ θα πρέπει να οριστεί και κάποιος ελάχιστος επιτρεπτός συντελεστής ισχύος.

5.11 Δομή των ασύγχρονων γεννητριών

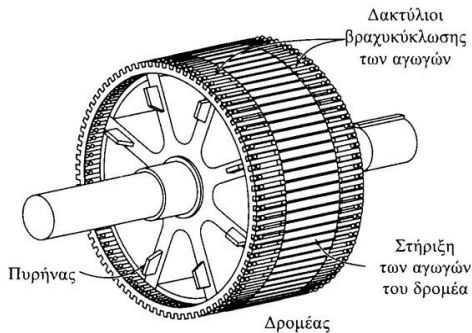
Μια ασύγχρονη γεννήτρια έχει τον ίδιο στάτη με μια σύγχρονη γεννήτρια, ενώ ο δρομέας του έχει διαφορετική δομή. Ένας τυπικός στάτης φαίνεται στο σχήμα 12, που στην πραγματικότητα είναι εντελώς όμοιος με το στάτη μιας σύγχρονης μηχανής. Οι τύποι των δρομέων που τοποθετούνται στο εσωτερικό του στάτη μιας ασύγχρονης γεννήτριας είναι δύο. Ο ένας απ' αυτούς ονομάζεται δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού και ο άλλος δακτυλιοφόρος δρομέας.



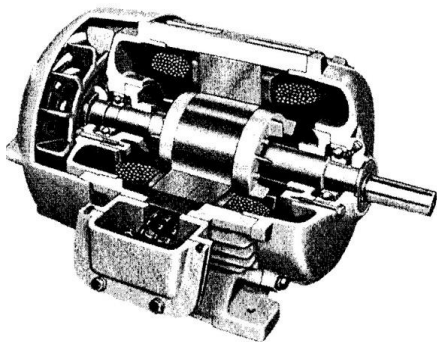
Σχήμα 12 Τυπικός στάτης ασύγχρονης γεννήτριας, όπου φαίνονται τα τυλίγματα του στάτη

Στο σχήμα 13 φαίνεται ο δρομέας μιας ασύγχρονης γεννήτριας βραχυκυκλωμένου κλωβού. Ο δρομέας βραχυκυκλωμένου κλωβού αποτελείται από μια σειρά αγώγιμων ράβδων που είναι τοποθετημένες σε αυλάκια

της επιφάνειας του δρομέα και βραχυκυκλωμένες στα δύο άκρα τους μέσω μεγάλων δακτυλίων βραχυκύκλωσης.

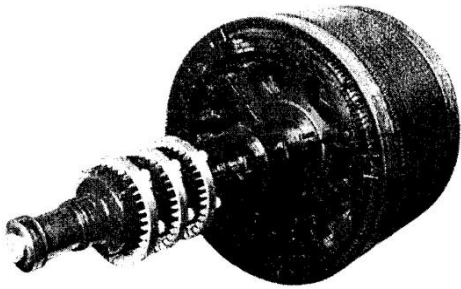


Σχήμα 13 Σχεδιάγραμμα ενός δρομέα βραχυκυκλωμένου κλωβού

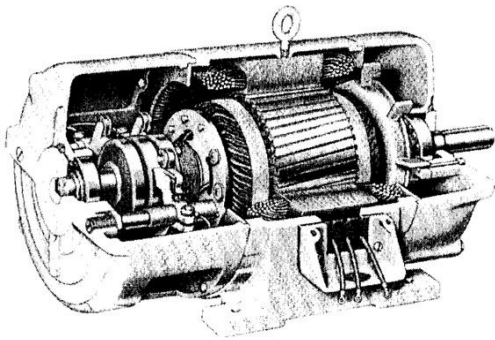


Σχήμα 14 Ασύγχρονη γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού σε τομή

Ο άλλος τύπος δρομέας είναι ο δακτυλιοφόρος δρομέας, που διαθέτει ολοκληρωμένο τριφασικό τύλιγμα, το οποίο είναι τοποθετημένο ώστε να αποτελεί το κατοπτρικό είδωλο του τυλίγματος του στάτη. Οι τρεις φάσεις ενός τέτοιου τυλίγματος συνδέονται συνήθως σε αστέρα, ενώ τα άκρα των αγωγών συνδέονται σε δακτυλίους. Οι αγωγοί του δρομέα βραχυκυκλώνονται μέσω ψηκτρών που εφάπτονται στους δακτυλίους. Έτσι τα ρεύματα στο δακτυλιοφόρο δρομέα μιας ασύγχρονης γεννήτριας μπορούν να μετρηθούν στις ψήκτρες και ακόμη είναι δυνατή η σύνδεση εξωτερικών αντιστάσεων στο κύκλωμα διέγερσης. Η τελευταία δυνατότητα δίνει το πλεονέκτημα ρύθμισης της χαρακτηριστικής ροπής-ταχύτητας μιας ασύγχρονης γεννήτριας δακτυλιοφόρου δρομέα. Στο σχήμα 15 φαίνονται τυπικοί δακτυλιοφόροι δρομείς μιας ασύγχρονης γεννήτριας όπου είναι ευδιάκριτοι οι δακτύλιοι και οι ράβδοι που συνδέουν τα τυλίγματα του δρομέα με τους δακτυλίους. Ενώ στο σχήμα 16 έχουμε μια γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα σε τομή όπου φαίνονται οι ψήκτρες και οι δακτύλιοι. Παρατηρούμε επίσης ότι τα τυλίγματα στο δρομέα έχουν κάποια κλίση, ώστε να περιορίζονται οι αρμονικές εγκοπών.



Σχήμα 15 Δακτυλιοφόροι δρομείς ασύγχρονης γεννήτριας



Σχήμα 16 Ασύγχρονη γεννήτρια δακτυλιοφόρου δρομέα σε τομή

Οι ασύγχρονες γεννήτριες για να λειτουργήσουν από μόνες τους απαιτούν, την ύπαρξη πυκνωτών που θα παρέχουν το ρεύμα διέγερσης. Στην συνηθισμένη περίπτωση συνδέονται με το δίκτυο το οποίο παρέχει αυτό το ρεύμα διέγερσης. Οι ασύγχρονες ανεμογεννήτριες παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα, σε σχέση με τις σύγχρονες, κυρίως στην περίπτωση σύνδεσης με το μικρό δίκτυο:

- α. Δεν απαιτούν ακριβή συγχρονισμό, για την σύνδεση τους. Τους αρκεί ένας μικρός, χονδροειδής συγχρονισμός. Κατά την παράλληλη λειτουργία τους με το δίκτυο οι στροφές τους επιτρέπεται να μεταβάλλονται σε ένα μικρό περιθώριο, πάνω από τις σύγχρονες.
- β. Δεν παρουσιάζουν ταλαντώσεις στις αλλαγές φορτίων όπως οι σύγχρονες.
- γ. Είναι φθηνές, συμπαγείς κατασκευές και δεν χρειάζονται συντήρηση.

δ. Μπορούν χωρίς προβλήματα να συνδεθούν κατ'ευθειαν με οποιοδήποτε δίκτυο.

Τα μειονεκτήματά τους είναι τα εξής:

α. Απορροφούν από το δίκτυο άεργη ισχύ για την διέγερση τους. Αποτέλεσμα είναι η μείωση του συντελεστή ισχύος του δικτύου και η υπερφόρτωση των γραμμών.

β. Κατά τη σύνδεση τους με το δίκτυο, παρουσιάζονται μεταβατικά υπερρεύματα. Μάλιστα στις ανεμογεννήτριες οι συχνές συνδέσεις - αποσυνδέσεις είναι κάτι το συνηθισμένο.

γ. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτόνομη λειτουργία(σε μέρη που δεν υπάρχει ηλεκτρικό δίκτυο).

Στην λειτουργία παράλληλα με το δίκτυο λειτουργούν με μεγαλύτερη αξιοπιστία, και αυτό διότι διεγείρονται παίρνοντας ρεύμα μαγνήτισης από το δίκτυο. Στο αιολικό πάρκο της Κύθου χρησιμοποιούνται ασύγχρονες γεννήτριες .

5.12 Ανάπτυξη της επαγόμενης ροπής

Το σχήμα 17 δείχνει μια ασύγχρονη γεννήτρια βραχυκυκλωμένου κλωβού. Στο στάτη της μηχανής εφαρμόζεται τριφασικό σύστημα τάσεων με αποτέλεσμα οι αγωγοί του στάτη να διαρρέονται από τριφασικό σύστημα ρευμάτων. Αυτά τα ρεύματα παράγουν το πεδίο του στάτη B_s που περιστρέφονται με ταχύτητα:

$$n_{sync} = \frac{120 \cdot f_e}{P}$$

όπου f_e : η συχνότητα του συστήματος σε Hz

P: ο αριθμός των πόλων της γεννήτριας

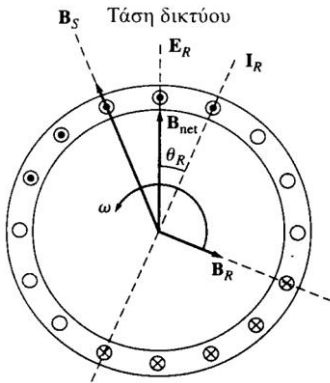
Το μαγνητικό πεδίο B_s καθώς διέρχεται πάνω από τους αγωγούς του δρομέα επάγει κάποια τάση στα άκρα τους. Η τάση εξ' επαγωγής στα άκρα του συγκεκριμένου αγωγού του δρομέα δίνεται από την εξίσωση:

$$e_{ind} = (v \times B) \cdot l$$

όπου v : η σχετική ταχύτητα των αγωγών του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο

B : η μαγνητική επαγωγή του πεδίου του στάτη

l : το μήκος του αγωγού του δρομέα



Σχήμα 17 Μαγνητικό πεδίο δρομέα και στάτη

Η τάση στα άκρα των αγωγών του δρομέα προκαλείται από τη σχετική κίνηση του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο του στάτη. Η σχετική ταχύτητα των αγωγών του επάνω μέρους του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο έχει φορά προς τα δεξιά και έτσι η τάση που επάγεται στα άκρα αυτών των αγωγών έχει φορά προς τα έξω της σελίδας. Αντίθετα η τάση στους αγωγούς του κάτω μέρους του δρομέα έχει φορά προς τη σελίδα. Αυτό σημαίνει πως το ρεύμα στους πάνω αγωγούς έχει φορά από τη σελίδα προς τα έξω, ενώ στους κάτω αγωγούς έχει φορά προς τη σελίδα. Όμως επειδή οι αγωγοί του δρομέα συνθέτουν ένα επαγωγικό φορτίο, η μέγιστη τιμή του ρεύματος του δρομέα καθυστερεί σε σχέση με τη μέγιστη τιμή της τάσης του. Το ρεύμα το δρομέα προκαλεί το αντίστοιχο μαγνητικό πεδίο του δρομέα B_R .

Τελικά, επειδή η επαγόμενη ροπή στη μηχανή δίνεται από τη σχέση:

$$\tau_{ind} = k \cdot B_R \times B_S$$

η φορά της είναι αντίθετη. Αυτό σημαίνει ότι ο δρομέας της γεννήτριας επιταχύνεται κατά την αντίθετη φορά. Όμως υπάρχει κάποιο πεπερασμένο πάνω όριο για την ταχύτητα του δρομέα. Αν η ταχύτητα του δρομέα ήταν ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα, δε θα υπήρχε σχετική κίνηση των αγωγών του δρομέα ως προς το μαγνητικό πεδίο του στάτη και δε θα αναπτυσσόταν τάση εξ' επαγωγής στα άκρα τους. Αν η τάση e_{ind} ήταν μηδενική, οι

αγωγοί του δρομέα δε θα διαρρέονταν από ρεύμα και δε θα αναπτυσσόταν μαγνητικό πεδίο στο δρομέα. Όμως σε αυτήν την περίπτωση η επαγόμενη ροπή θα ήταν μηδενική και θα επακολουθούσε επιβράδυνση του δρομέα λόγω απωλειών τριβής. Τελικά μια ασύγχρονη γεννήτρια μπορεί να περιστρέφεται με ταχύτητα πολύ κοντά στη σύγχρονη ταχύτητα, αλλά δεν είναι ποτέ δυνατό να περιστρέφεται με ταχύτητα ακριβώς ίση με τη σύγχρονη ταχύτητα.

5.13 Η έννοια της ολίσθησης του δρομέα

Η τάση που επάγεται σε κάποιους από τους αγωγούς του δρομέα μιας ασύγχρονης γεννήτριας εξαρτάται από τη σχετική κίνηση του δρομέα ως προς τα μαγνητικά πεδία. Όμως επειδή η συμπεριφορά μιας σύγχρονης γεννήτριας εξαρτάται βασικά από τις τάσεις και ρεύματα του δρομέα, είναι λογικό να γίνεται συχνά λόγος για την παραπάνω σχετική ταχύτητα. Δύο είναι συνήθως τα μεγέθη που περιγράφουν τη σχετική κίνηση του δρομέα ως προς τα μαγνητικά πεδία. Το πρώτο απ' αυτά είναι η ταχύτητα ολίσθησης, που ορίζεται ως η διαφορά της ταχύτητας του δρομέα από τη σύγχρονη ταχύτητα:

$$n_{slip} = n_{sync} - n_m$$

όπου n_{slip} : η ταχύτητα ολίσθησης της μηχανής

n_{sync} : η ταχύτητα των μαγνητικών πεδίων

n_m : η μηχανική ταχύτητα του άξονα της μηχανής

Το δεύτερο μέγεθος με το οποίο εκφράζεται η σχετική κίνηση είναι η ολίσθηση και ουσιαστικά πρόκειται για τη σχετική ταχύτητα ολίσθησης εκφρασμένη σε εκατοστιαία ή σε ανά μονάδα βάση. Έτσι η ολίσθηση ορίζεται από τη σχέση:

$$s = \frac{n_{slip}}{n_{sync}} (\times 100\%)$$

$$s = \frac{n_{sync} - n_m}{n_{sync}} (\times 100\%)$$

Αυτή η εξίσωση μπορεί επίσης να εκφραστεί και μέσω της γωνιακής ταχύτητας(rad/s)

$$s = \frac{\omega_{sync} - \omega_m}{\omega_{sync}} (\times 100\%)$$

Σημειώνουμε ότι, αν ο δρομέας της μηχανής περιστρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα, είναι $s=0$, ενώ αν ο δρομέας είναι ακίνητος, είναι $s=1$. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση η τιμή της ολίσθησης μεταβάλλεται μεταξύ αυτών των δύο οριων.

Ακόμη, η ταχύτητα περιστροφής του άξονα της μηχανής μπορεί να εκφραστεί μέσω της ολίσθησης και της σύγχρονης ταχύτητας:

$$n_m = (1-s) \cdot n_{sync}$$

ή

$$\omega_m = (1-s) \cdot \omega_{sync}$$

Αυτές οι σχέσεις είναι πολύ σημαντικές κατά την εξαγωγή των εξισώσεων για την επαγόμενη ροπή και την ισχύ μιας ασύγχρονης γεννήτριας.

5.14 Η ηλεκτρική συχνότητα στο δρομέα

Η ασύγχρονη γεννήτρια λειτουργεί με τάσεις και ρεύματα εξ' επαγωγής στο δρομέα της και γι' αυτό το λόγο συχνά ονομάζεται στρεφόμενος μετασχηματιστής. Όπως σ' ένα μετασχηματιστή, το πρωτεύον τύλιγμα(του στάτη) επάγει κάποια τάση στο δευτερεύον τύλιγμα(του δρομέα). Αντίθετα όμως, απ' ότι συμβαίνει σε ένα μετασχηματιστή, η συχνότητα του δευτερεύοντος δεν είναι απαραίτητα ίση με αυτή του πρωτεύοντος.

Αν ο δρομέας της μηχανής είναι ακίνητος, τότε η συχνότητα του είναι ίση με τη συχνότητα του στάτη. Όμως αν ο δρομέας κινείται με τη σύγχρονη ταχύτητα, η συχνότητα της τάσης στο δρομέα θα είναι μηδενική.

Επειδή η ολίσθηση ορίζεται από την εξίσωση:

$$s = \frac{n_{sync} - n_m}{n_{sync}}$$

Η συχνότητα στο δρομέα είναι δυνατό να γραφτεί ως:

$$f_r = s \cdot f_e$$

Διάφορες μορφές που μπορεί να πάρει η παραπάνω εξίσωση είναι μερικές φορές πολύ χρήσιμες. Μια από τις πιο συνηθισμένες εξισώσεις εξάγεται με αντικατάσταση του τύπου της ολίσθησης στην τελευταία σχέση και κατόπιν με αντικατάσταση του παρανομαστή της εξίσωσης:

$$f_r = \frac{n_{sync} - n_m}{n_{sync}} \cdot f_e$$

Αλλά $n_{sync} = \frac{120 \cdot f_e}{P}$, οπότε:

$$f_r = (n_{sync} - n_m) \frac{P}{120 \cdot f_e} f_e$$

Έτσι, $f_r = \frac{P}{120} (n_{sync} - n_m)$

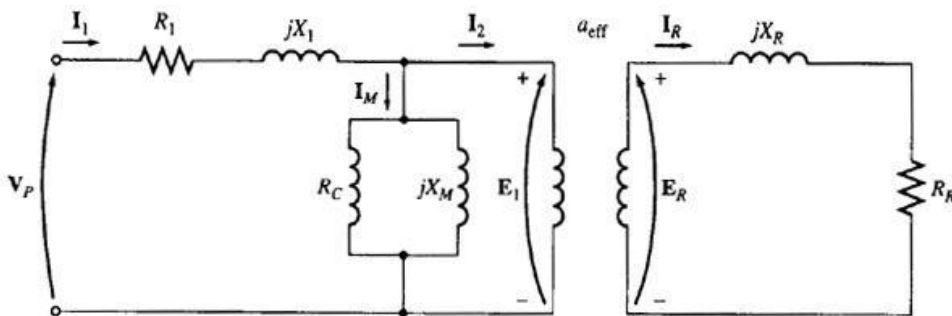
5.15 Το ισοδύναμο κύκλωμα της ασύγχρονης γεννήτριας

Η λειτουργία της γεννήτριας βασίζεται στις τάσεις και τα ρεύματα που παράγονται εξ' επαγωγής στο δρομέα και οφείλονται στο μαγνητικό πεδίο του στάτη. Επειδή κατά την παραγωγή των τάσεων και των ρευμάτων η ασύγχρονη γεννήτρια λειτουργεί εντελώς όμοια με ένα μετασχηματιστή, το ισοδύναμο κύκλωμα της γεννήτριας θα μοιάζει με αυτό του μετασχηματιστή. Η ασύγχρονη γεννήτρια ονομάζεται και μηχανή απλής διέγερσης σε αντιδιαστολή με τις σύγχρονες μηχανές που ονομάζονται διπλής διέγερσης, επειδή τροφοδοτείται με ισχύ μόνο το κύκλωμα του στάτη του. Επειδή η ασύγχρονη γεννήτρια δεν διαθέτει ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης, στο ισοδύναμο κύκλωμα της δεν υπάρχει εσωτερική πηγή τάσης, όμοια με την εσωτερική τάση E_A των σύγχρονων μηχανών.

5.16 Το ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή στο ισοδύναμο κύκλωμα της ασύγχρονης γεννήτριας

Το άνα φάση ισοδύναμο κύκλωμα ενός μετασχηματιστή που περιγράφει τη λειτουργία μιας ασύγχρονης γεννήτριας φαίνεται στο σχήμα 18.

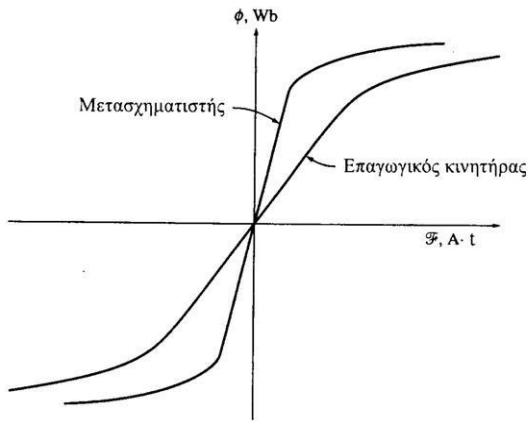
Όπως σε κάθε μετασχηματιστή, στο πρωτεύον τύλιγμα(του στάτη) εμφανίζεται μια αντίσταση και μια αυτεπαγωγή που πρέπει να αντιπροσωπεύονται και στο ισοδύναμο κύκλωμα της μηχανής. Η αντίσταση του στάτη συμβολίζεται με R_1 και η αντίδραση διαρροής με X_1 . Αυτές οι δύο ποσότητες εμφανίζονται στην είσοδο του ισοδύναμου κυκλώματος της μηχανής.



Σχήμα 18 Το ισοδύναμο κύκλωμα μετασχηματιστή σε μια ασύγχρονη γεννήτρια, όπου ο στάτης συνδέεται με το δρομέα μέσω ενός ιδανικού μετασχηματιστή με λόγο μετασχηματισμού a_{eff}

Επίσης όπως σε κάθε μετασχηματιστή που διαθέτει σιδηρομαγνητικό πυρήνα, η μαγνητική ροή στο εσωτερικό της μηχανής εξαρτάται από το ολοκλήρωμα της εφαρμοζόμενης τάσης E_1 . Στο σχήμα 19, η γραφική παράσταση της μαγνητεγερτικής δύναμης ως προς τη μαγνητική ροή στο εσωτερικό της μηχανής(καμπύλη μαγνήτισης) συγκρίνεται με την αντίστοιχη καμπύλη ενός μετασχηματιστή ισχύος. Φαίνεται καθαρά πως η κλίση της καμπύλης μαγνήτισης της ασύγχρονης γεννήτριας είναι πολύ λιγότερο απότομη απ' αυτή ενός καλά σχεδιασμένου μετασχηματιστή.

Αυτό συμβαίνει, επειδή στη μηχανή υπάρχει κάποιο διάκενο που αυξάνει τη μαγνητική αντίσταση κατά τη διαδρομή της ροής, πράγμα που μειώνει τη σύζευξη μεταξύ του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος.



Σχήμα 19 Καμπύλη μαγνήτισης μιας ασύγχρονης γεννήτριας σε σύγκριση με αυτήν ενός Μ/Τα

Όσο μεγαλύτερη μαγνητική αντίσταση παρουσιάζει το διάκενο της μηχανής, τόσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα μαγνήτισης που απαιτείται για την εξασφάλιση μιας δεδομένης ροής. Έτσι η αντίσταση μαγνήτισης X_M θα έχει πολύ μικρότερη τιμή απ' αυτήν ενός συνηθισμένου μετασχηματιστή.

Η εσωτερική τάση στο στάτη της μηχανής E_1 συνδέεται με την τάση δευτερεύοντος E_R μέσω ενός ιδανικού μετασχηματιστή με κάποιον ενεργό λόγο μετασχηματισμού a_{eff} . Στις ασύγχρονες μηχανές δακτυλιοφόρου δρομέα είναι εύκολος ο προσδιορισμός του λόγου μετασχηματισμού a_{eff} . Αυτός είναι ίσος με τον αριθμό των αγωγών ανά φάση του στάτη προς τον αριθμό των αγωγών ανά φάση του δρομέα επί τους συντελεστές βήματος και κατανομής. Όμως στον κινητήρα βραχυκυκλωμένου κλωβού, του οποίου ο δρομέας δε διαθέτει συγκεκριμένο αριθμό αγωγών, είναι μάλλον δύσκολος ο ακριβής προσδιορισμός του a_{eff} . Πάντως και στις δύο περιπτώσεις ορίζεται ο λόγος μετασχηματισμού του κινητήρα.

Η τάση E_R που παράγεται στο δρομέα της μηχανής παράγει με τη σειρά της κάποιο ρεύμα στο βραχυκυκλωμένο κύκλωμα του δρομέα(δευτερεύον) της μηχανής.

Οι σύνθετες αντιστάσεις πρωτεύοντος και το ρεύμα μαγνήτισης της ασύγχρονης γεννήτριας είναι σχεδόν όμοια μεγέθη με τα αντίστοιχα στο ισοδύναμο κύκλωμα του μετασχηματιστή. Το ισοδύναμο κύκλωμα της ασύγχρονης μηχανής διαφέρει από το ισοδύναμο κύκλωμα πρωτεύοντος του μετασχηματιστή στις επιπτώσεις που έχει η μεταβολή της συχνότητας στο δρομέα πάνω στην τάση του δρομέα E_R και στις σύνθετες αντιστάσεις R_R και jX_R .

5.17 Το τελικό ισοδύναμο κύκλωμα

Στο τελικό ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα της ασύγχρονης γεννήτριας είναι απαραίτητη η μεταφορά του τμήματος του δρομέα στο επίπεδο τάσης του κυκλώματος του στάτη. Μετά και από αυτή τη μεταφορά το ισοδύναμο κύκλωμα της ασύγχρονης γεννήτριας είναι πλήρες. Το κύκλωμα του δρομέα που μεταφέρεται στο κύκλωμα του στάτη είναι αυτό του σχήματος 20. Στη σύνθετη αντίσταση που έχουν περιληφθεί όλες οι επιπτώσεις της μεταβολής της ταχύτητας.

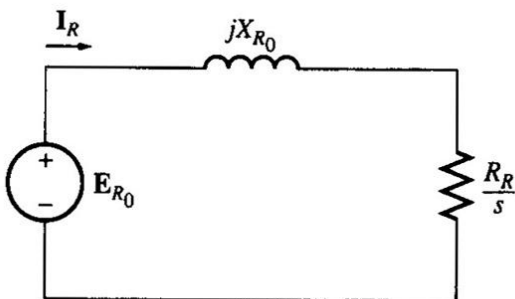
Στον κανονικό μετασχηματιστή οι τάσεις, τα ρεύματα και οι σύνθετες αντιδράσεις του δευτερεύοντος, μεταφέρονται στο πρωτεύον με τη βοήθεια του λόγου μετασχηματισμού:

$$V_p = V'_s = a \cdot V_s$$

όπου τα τονούμενα μεγέθη είναι οι τιμές της τάσης, του ρεύματος και της σύνθετης αντίστασης που αναφέρονται στο πρωτεύον τύλιγμα.

Το ρεύμα του δρομέα θα είναι:

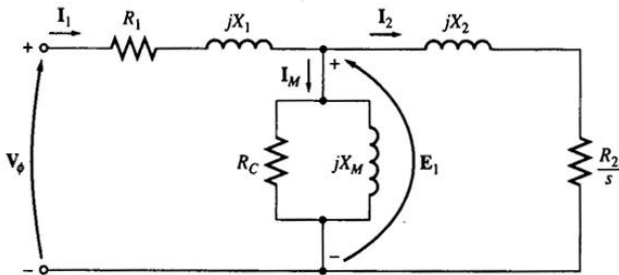
$$I_2 = \frac{I_R}{a_{eff}}$$



Σχήμα 20 Το ρεύμα του δρομέα συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής

5.18 Απώλειες και διάγραμμα ροής

Η ασύγχρονη γεννήτρια λειτουργεί όπως γνωρίζουμε ως στρεφόμενος μετασχηματιστής. Η είσοδος του είναι κάποιο τριφασικό σύστημα τάσεων και ρευμάτων. Σε έναν κανονικό μετασχηματιστή η ηλεκτρική ισχύς εξόδου είναι η ισχύς στο δευτερεύον τύλιγμα.



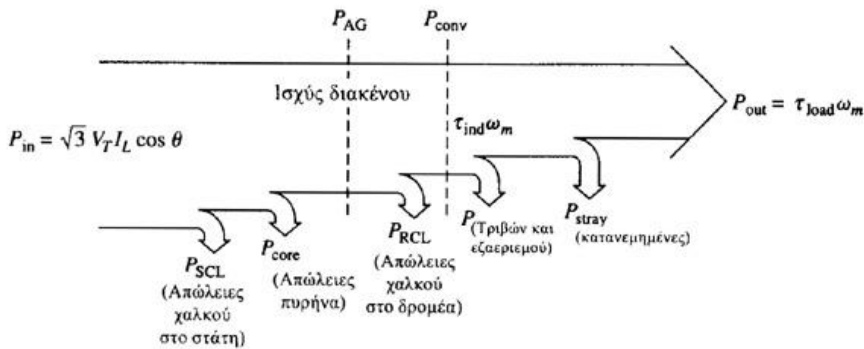
Σχήμα 21 Το ανά φάση ισοδύναμο κύκλωμα της ασύγχρονης γεννήτριας

Στην ασύγχρονη μηχανή το δευτερεύον τύλιγμα(δρομέας) είναι βραχυκυκλωμένο και έτσι δεν εμφανίζεται ηλεκτρική ισχύς στην έξοδο της μηχανής. Αντίθετα η ισχύς εξόδου του κινητήρα είναι μηχανική. Η σχέση ανάμεσα στην ηλεκτρική ισχύ εισόδου και στη μηχανική ισχύ εξόδου μιας ασύγχρονης γεννήτριας παρουσιάζεται στο διάγραμμα ροής του σχήματος 22.

Η ηλεκτρική ισχύς εισόδου στον κινητήρα P_{in} έχει τη μορφή τριφασικού συστήματος τάσεων και ρευμάτων. Το πρώτο είδος απωλειών που υπολογίζεται στον κινητήρα είναι οι ωμικές (I^2R) απώλειες στο τύλιγμα του στάτη (P_{SCL} , απώλειες χαλκού στο στάτη). Κατόπιν κάποιο ποσό ισχύος χάνεται με τη μορφή απωλειών υστέρησης και απωλειών εξαιτίας των δινορρευμάτων στο στάτη (P_{core}). Η ισχύς που απομένει μεταφέρεται στο δρομέα της μηχανής περνώντας από το διάκενο που υπάρχει μεταξύ του στάτη και του δρομέα. Αυτή η ισχύς ονομάζεται ισχύς διακένου P_{AG} της μηχανής. Ένα μέρος της ισχύος που μεταφέρεται στο δρομέα χάνεται με τη μορφή ωμικών (I^2R) απωλειών στα τυλίγματα του δρομέα (P_{SCL} , απώλειες χαλκού στο δρομέα), ενώ η ισχύς που απομένει μετατρέπεται από ηλεκτρική σε μηχανική μορφή (P_{conv}). Απ' αυτήν την ισχύ αφαιρούνται τελικά οι απώλειες τριβών και εξαερισμού $P_{F\&w}$, καθώς και οι κατανεμημένες απώλειες P_{misc} . Το υπόλοιπο ποσό της μηχανικής ισχύος αποτελεί την ισχύ εξόδου P_{out} της μηχανής.

Οι απώλειες πυρήνα δεν εμφανίζονται πάντα στο σημείο του διαγράμματος που φαίνεται στο σχήμα 22. Η φύση των απωλειών πυρήνα κάνει κάπως αυθαίρετη την επιλογή του σημείου στο οποίο πρόκειται να ληφθούν υπόψη. Στην πραγματικότητα οι απώλειες πυρήνα μιας ασύγχρονης μηχανής προέρχονται κατά ένα μέρος από το κύκλωμα του στάτη και κατά ένα μέρος από το κύκλωμα του δρομέα. Επειδή ο κινητήρας συνήθως

περιστρέφεται με ταχύτητα που είναι πολύ κοντά στη σύγχρονη, η σχετική ταχύτητα των μαγνητικών πεδίων είναι πολύ μικρή και έτσι οι απώλειες πυρήνα στο δρομέα είναι πολύ μικρές σε σχέση με τις αντίστοιχες απώλειες στο στάτη. Έτσι, επειδή το μεγαλύτερο μέρος των απωλειών πυρήνα προέρχεται από το κύκλωμα του στάτη, οι συνολικές απώλειες πυρήνα συνήθως προστίθενται στο σημείο του διαγράμματος που φαίνεται στο σχήμα 22.



Σχήμα 22 Διάγραμμα ροής μιας ασύγχρονης μηχανής

Στο ισοδύναμο κύκλωμα της ασύγχρονης μηχανής αυτές οι απώλειες αντιστοιχίζουν στην αντίσταση R_C . Στην περίπτωση που οι απώλειες πυρήνα δίνονται με κάποια αριθμητική τιμή(π.χ. watts) και όχι με την τιμή κάποιου ηλεκτρικού στοιχείου, αυτές προστίθενται στις μηχανικές απώλειες της μηχανής και αφαιρούνται σε εκείνο το σημείο του διαγράμματος ροής ισχύος που αφαιρούνται και οι μηχανικές απώλειες.

Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα, τόσο μεγαλύτερες είναι οι απώλειες τριβών, εξαερισμού και οι κατανεμημένες απώλειες. Από την άλλη όσο μεγαλύτερη(πιο κοντά στη n_{sync}) είναι η ταχύτητα του κινητήρα, τόσο λιγότερες είναι οι απώλειες πυρήνα. Αυτές οι τρεις κατηγορίες απωλειών συνήθως προστίθενται μεταξύ τους και ονομάζονται απώλειες περιστροφής μιας ασύγχρονης μηχανής συνήθως θεωρούνται σταθερές καθώς μεταβάλλεται η ταχύτητα, αφού οι επιμέρους απώλειες μεταβάλλονται σε αντίθετη κατεύθυνση.

5.19 Ισχύς και ροπή

Οι απώλειες χαλκού του στάτη, οι απώλειες πυρήνα και οι απώλειες χαλκού στο δρομέα είναι δυνατό να υπολογιστούν. Οι απώλειες χαλκού στις τρεις φάσεις του στάτη υπολογίζονται από τη σχέση:

$$P_{SCL} = 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1$$

Οι απώλειες στον πυρήνα δίνονται από τη σχέση:

$$P_{core} = 3 \cdot E_1^2 \cdot G_C$$

Έτσι η ισχύς διακένου υπολογίζεται ως εξής

$$P_{AG} = P_{in} - P_{SCL} - P_{core}$$

Αν εξετάσουμε τώρα το κύκλωμα του δρομέα, το μοναδικό στοιχείο του κυκλώματος όπου είναι δυνατό να καταναλώνεται η ισχύς διακένου είναι η αντίσταση R_2 / s .

Έτσι η ισχύς διακένου δίνεται από τη σχέση:

$$P_{AG} = 3 \cdot I_2^2 \cdot \frac{R_2}{s} \quad *$$

Οι ωμικές απώλειες στο κύκλωμα του δρομέα δίνονται από την εξίσωση

$$P_{SCL} = 3 \cdot I_R^2 \cdot R_R$$

Επειδή η ισχύς στις δύο πλευρές ενός ιδανικού μετασχηματιστή είναι πάντα η ίδια, οι απώλειες χαλκού στο δρομέα εκφράζονται επίσης από τη σχέση

$$P_{RCL} = 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \quad *$$

Μετά την αφαίρεση των απωλειών χαλκού του στάτη, των απωλειών πυρήνα και των απωλειών χαλκού στο δρομέα από την ισχύ εισόδου του κινητήρα, η ισχύς που απομένει μετατρέπεται από ηλεκτρική σε μηχανική μορφή. Αυτή η ισχύς, που μερικές φορές ονομάζεται αναπτυσσόμενη μηχανική ισχύς, δίνεται από τη σχέση

$$\begin{aligned}
 P_{conv} &= P_{AG} - P_{RCL} \\
 &= 3 \cdot I_2^2 \cdot \frac{R_2}{s} - 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \\
 &= 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \cdot \left(\frac{1}{s} - 1 \right) \\
 &= 3 \cdot I_2^2 \cdot R_2 \left(\frac{1-s}{s} \right)
 \end{aligned}$$

* Από τις δύο εξισώσεις φαίνεται ότι οι απώλειες χαλκού στο δρομέα είναι ίσες με το γινόμενο της ισχύος διακένου επί την ολίσθηση

$$P_{RCL} = s \cdot P_{AG}$$

Δηλαδή όσο μικρότερη είναι η ολίσθηση, τόσο μικρότερη είναι η τιμή των απωλειών στο δρομέα της μηχανής. Ας σημειωθεί ακόμα ότι, στην περίπτωση που ο κινητήρας δεν περιστρέφεται, η ολίσθηση είναι $s=1$ και η ισχύς διακένου καταναλώνεται εξ' ολοκλήρου στο κύκλωμα του δρομέα. Το γεγονός αυτό έχει λογική εξήγηση. Αφού ο κινητήρας δεν περιστρέφεται, η ισχύς εξόδου του $P_{out} = \tau_{load} \cdot \omega_n$, θα πρέπει να είναι μηδενική. Μια άλλη σχέση μεταξύ της ισχύς διακένου και της ισχύος που μετατρέπεται από ηλεκτρική σε μηχανική μορφή εξάγεται από τη σχέση

$$\begin{aligned}
 P_{conv} &= P_{AG} - P_{RCL} \\
 &= P_{AG} - s \cdot P_{AG}
 \end{aligned}$$

$$= (1-s)P_{AG}$$

Τελικά αν οι απώλειες τριβής, εξαερισμού και οι κατανεμημένες απώλειες είναι γνωστές, η ισχύς εξόδου του κινητήρα θα είναι:

$$P_{out} = P_{conv} - P_{F\&W} - P_{misc}$$

Η επαγόμενη ροπή τ_{ind} στο εσωτερικό μιας μηχανής έχει οριστεί στα προηγούμενα ως η ροπή εκείνη που παράγεται κατά τη μετατροπή της ηλεκτρικής ισχύος σε μηχανική. Αυτή η ροπή διαφέρει από τη ροπή που είναι πραγματικά αξιοποιήσιμη στην έξοδο του κινητήρα κατά τις ροπές τριβών και εξαερισμού που καταναλώνονται στη μηχανή. Η επαγόμενη ροπή δίνεται από την εξίσωση:

$$\tau_{ind} = \frac{P_{conv}}{\omega_n}$$

Αυτή η ροπή ονομάζεται και αναπτυσσόμενη ροπή της μηχανής.

Η επαγόμενη ροπή μιας ασύγχρονης μηχανής εκφράζεται και με κάποιο διαφορετικό τρόπο, συναρτήσει του P_{AG} :

$$\tau_{ind} = \frac{(1-s)P_{AG}}{(1-s)\omega_{sync}}$$

$$\tau_{ind} = \frac{P_{AG}}{\omega_{sync}}$$

Η τελευταία εξίσωση είναι πολύ χρήσιμη, επειδή εκφράζει την επαγόμενη ροπή σε άμεση σχέση με την ισχύ διακένου και τη σύγχρονη ταχύτητα, η οποία δε μεταβάλλεται. Έτσι η τ_{ind} υπολογίζεται αν είναι γνωστή η P_{AG} .

5.20 Σχόλια για την καμπύλη ροπής-ταχύτητας των ασύγχρονων γεννητριών

Η καμπύλη ροπής-ταχύτητας μιας ασύγχρονης γεννήτριας, όπως φαίνεται στο σχήμα 24 και 25 δίνει σημαντικές πληροφορίες για τη λειτουργία των ασύγχρονων μηχανών. Αυτά τα στοιχεία συνοψίζονται στα εξής:

1. Η επαγόμενη ροπή μιας ασύγχρονης γεννήτριας είναι ίση με μηδέν στη σύγχρονη ταχύτητα.
2. Μεταξύ των σημείων λειτουργίας χωρίς φορτίο και υπό πλήρες φορτίο η καμπύλη ροπής-ταχύτητας είναι σχεδόν γραμμική. Σ' αυτή την περιοχή η αντίσταση του δρομέα είναι πολύ μεγαλύτερη από την αντίδραση του και έτσι το ρεύμα του δρομέα, το μαγνητικό πεδίο του δρομέα και η επαγόμενη ροπή αυξάνονται γραμμικά με την αύξηση της ολίσθησης.
3. Υπάρχει μια μέγιστη επιτρεπτή ροπή που είναι αδύνατο να ξεπεραστεί. Αυτή η ροπή ονομάζεται ροπή ανατροπής ή ροπή κατάρρευσης και είναι δύο έως τρεις φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ροπή της γεννήτριας κατά την πλήρη φόρτιση.
4. Η ροπή εκκίνησης της γεννήτριας είναι λίγο μεγαλύτερη από τη ροπή κατά την πλήρη φόρτιση. Με αυτό τον τρόπο μπορεί να ξεκινήσει με οποιοδήποτε από τα φορτία που είναι ικανή να κινήσει στη λειτουργία υπό πλήρη ισχύ.
5. Η ροπή της γεννήτριας για μια δεδομένη ισχύ της ολίσθησης μεταβάλλεται με το τετράγωνο της τάσης εισόδου. Το γεγονός αυτό είναι πολύ χρήσιμο σε μια από τις τεχνικές ελέγχου της ταχύτητας της ασύγχρονης μηχανής.
6. Αν η φορά περιστροφής της μηχανής είναι αντίθετη από τη φορά περιστροφής των μαγνητικών πεδίων στο εσωτερικό του, η επαγόμενη ροπή θα σταματήσει τη μηχανή και θα προσπαθήσει να τον περιστρέψει προς την αντίθετη φορά.

Ας σημειωθεί επίσης ότι, η μέγιστη τιμή της ισχύος που αποδίδει μια γεννήτρια εμφανίζεται σε διαφορετική ταχύτητα απ' ότι η μέγιστη ροπή. Επίσης όταν η ταχύτητα της γεννήτριας είναι μηδενική, δεν υφίσταται καμιά μετατροπή της μηχανικής ισχύος σε ηλεκτρική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VI

*Κ.Α.Π.Ε.(Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών
Ενέργειας)*

6.1 Εισαγωγή

Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) ιδρύθηκε το 1987 με στόχο την προώθηση της αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την εφαρμοσμένη έρευνα των συστημάτων εκμετάλλευσής τους. Στον τομέα της αιολικής ενέργειας το Κ.Α.Π.Ε. έχει προχωρήσει στη δημιουργία της απαιτούμενης υποδομής για την ανάλυση, σχεδιασμό και αξιολόγηση των ανεμοκινητήρων, ενώ λειτουργεί και εργαστήριο δοκιμών ανεμογεννητριών σε κατάλληλη έκταση το νομού Αττικής. Ο κύριος σκοπός του είναι η προώθηση των εφαρμογών ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ σε εθνικό και διεθνές επίπεδο, καθώς και η κάθε είδους υποστήριξη δραστηριοτήτων στους παραπάνω τομείς συνυπολογίζοντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Παράλληλα έχει αναπτύξει σύμφωνα με δηλώσεις εκπροσώπων του, πλήρη μεθοδολογία πρόβλεψης και μέτρησης του αιολικού δυναμικού, ενώ σήμερα με τη βοήθεια πανεπιστημίων και ερευνητικών κέντρων της χώρας και του εξωτερικού ερευνά τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής τύρβης στην απόδοση και τη διάρκεια λειτουργίας των ανεμοκινητήρων. Επιπλέον το Κ.Α.Π.Ε. έχει εγκαταστήσει για ερευνητικούς και εκπαιδευτικούς σκοπούς ιδιόκτητη ανεμογεννήτρια ονομαστικής ισχύος 110KW (της Δανικής εταιρίας WinconWestWind) στην Αγία Μαρίνα Αττικής, η οποία αναμένεται να συμβάλει και στην εξοικείωση της κοινής γνώμης με την αιολική τεχνολογία. Τελευταία το Κ.Α.Π.Ε. έχει προμηθευτεί και εγκαταστήσει στο Λαύριο τέσσερις μηχανές των 500KW αντιπροσωπευτικών τεχνολογιών, με στόχο την παρακολούθηση της λειτουργίας τους και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διαφορετικών τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται σήμερα. Στη συνεισφορά του Κ.Α.Π.Ε. στη διάδοση της αιολικής τεχνολογίας συγκαταλέγονται οι κινητοί σταθμοί αξιολόγησης αιολικών έργων. Η τεχνική βοήθεια και η επιμόρφωση, που παρέχεται σε χρήστες της αιολικής ενέργειας και σε μικρές βιομηχανίες, καθώς και οι προτάσεις του για την αναμόρφωση του θεσμικού πλαισίου που διέπει τη διαχείριση της αιολικής ενέργειας στη χώρα μας.

Συνοψίζοντας, μπορούμε να πούμε ότι το Κ.Α.Π.Ε. :

- είναι ο επίσημος σύμβουλος της πολιτείας σε θέματα εθνικής πολιτικής, στρατηγικής και προγραμματισμού των ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ
- εκτελεί εφαρμοσμένη έρευνα και αναπτύσσει νέες τεχνολογίες που είναι ταυτόχρονα τεχνικοοικονομικά βιώσιμες και περιβαλλοντικά φιλικές
- οργανώνει, επιβλέπει και εκτελεί επιδεικτικά και πιλοτικά προγράμματα με σκοπό την προώθηση των ως άνω τεχνολογιών
- υλοποιεί εφαρμογές ΑΠΕ/ΟΧΕ/ΕΞΕ σε έργα του ιδιωτικού τομέα, της Τοπικής Αυτοδιοίκησης, επαγγελματικών ενώσεων, κ.λ.π.
- παρέχει τεχνικές υπηρεσίες και συμβουλές με τη μορφή εξειδικευμένης τεχνογνωσίας και πληροφόρησης προς τρίτους
- προβαίνει σε δράσεις διάδοσης της τεχνολογίας σε τομείς της αρμοδιότητάς του και παρέχει αντικειμενική πληροφόρηση και υποστήριξη προς κάθε ενδιαφερόμενο φορέα και επενδυτή
- οργανώνει ή/και συμμετέχει σε τεχνικά και επιστημονικά σεμινάρια, εκπαιδευτικά προγράμματα, εξειδικευμένες εκπαιδευτικές εκδηλώσεις, συναντήσεις, κ.λ.π.

6.2 Τοπολογία

Το επιδεικτικό Αιολικό Πάρκο του Κ.Α.Π.Ε. ισχύος 3,01MW βρίσκεται στην περιοχή της Λαυρεωτικής στην Αττική και αποτελείται από πέντε Α/Γ, εκ των οποίων οι τρεις αγοράστηκαν από το εξωτερικό (NEG-Micon 750kW, Enercon E-40 500kW και Vestas V47/660kW) και οι δύο είναι ελληνικής προέλευσης (ΑΟΑ 500kW και ΑΟΑ 600kW, κατασκευής ΠΥΡΚΑΛ). Σε πλήρη λειτουργία αναμένεται να παράγει 7.9GWh/έτος. Βασικός στόχος του Α/Π είναι η αξιολόγηση ανεμογεννητριών με διαφορετικές αρχές λειτουργίας, σε συνθήκες σύνθετης τοπογραφίας, που είναι οι κατ' εξοχήν χώροι εγκατάστασης Α/Π στην χώρα μας.

Συγκεκριμένα υπάρχουν οι εξής τύποι Α/Γ:

- α) με έλεγχο ισχύος λόγω αεροδυναμικής αποκόλλησης (stall) ή λόγω μεταβλητής γωνίας πτερυγίου (pitch)
- β) με σταθερές ή μεταβαλλόμενες στροφές δρομέα
- γ) με σύγχρονες ή ασύγχρονες ηλεκτρογεννήτριες.



από ύψος 5000m

Εικόνα 1 Δορυφορική φωτογραφία του Κ.Α.Π.Ε.

Ο κύριος ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός του σταθμού αποτελείται από τις ανεμογεννήτριες με τους αντίστοιχους υποσταθμούς ανύψωσης Χ.Τ.-Μ.Τ. (Χαμηλής Τάσεως-Μέσης Τάσεως), τον κεντρικό υποσταθμό Μ.Τ. και τον υποσταθμό Μ.Τ. της ΔΕΗ. Όλες οι ανεμογεννήτριες είναι οριζοντίου άξονα και είναι αντιπροσωπευτικές των διαφόρων τεχνολογιών που εμφανίζονται στην παγκόσμια αγορά.



Εικόνα 2 Δορυφορική φωτογραφία του Κ.Α.Π.Ε. από ύψος 2000m, με τα αντίστοιχα μοντέλα των Α/Γ

Οι ανεμογεννήτριες παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα χαμηλής τάσεως, το οποίο με την κατάλληλη ανύψωση, διοχετεύεται στο δίκτυο μέσης τάσεως της ΔΕΗ. Η ανύψωση γίνεται μέσω μετασχηματιστών για κάθε ανεμογεννήτρια ξεχωριστά. Οι μετασχηματιστές αυτοί βρίσκονται πλησίον των ανεμογεννητριών. Η σύνδεση γίνεται μέσω υποσταθμού για κάθε Α/Γ ξεχωριστά και μέσω υπογείου δικτύου Μ.Τ. 20 kV. Η συνδεσμολογία του δικτύου 20 kV παρουσιάζεται παρακάτω και αποτελείται από δύο κλάδους, οι οποίοι καταλήγουν σε έναν οικίσκο, όπου είναι το σημείο σύνδεσης του αιολικού πάρκου με τη ΔΕΗ. Για την διέλευση των καλωδίων, κατασκευάστηκε ξεχωριστό κανάλι για κάθε κλάδο, τετραγωνικής διατομής.



Εικόνα 3 Φωτογραφία από τον 100m μετεωρολογικό ιστό, ΒΒΔ του Α/Π, πριν την εγκατάσταση της ατράκτου της ΟΑ-600

6.3 Αντικεραυνική προστασία

Η δημιουργία οργανωμένων αιολικών πάρκων για την εμπορική εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται πλέον σήμερα οικονομικά συμφέρουσα και την καθιστά από τις πλέον διαδεδομένες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ωστόσο, παρά τη μακροχρόνια εμπειρία που έχει αποκτηθεί, τεχνικά προβλήματα δεν έχουν βρει ακόμα τη λύση τους σε ικανοποιητικό βαθμό, το σημαντικότερο από τα οποία είναι η προστασία τους από κεραυνούς, επιβαρύνοντας σημαντικά το λειτουργικό τους κόστος.

Για τη μεγαλύτερη λειτουργική απόδοση των ανεμογεννητριών (Α/Γ), παράκτιες και ορεινές περιοχές επιλέγονται για την εγκατάστασή τους οι οποίες όμως είναι από τις πλέον εκτεθειμένες τοποθεσίες σε κεραυνικά πλήγματα. Το επιβαρυντικό αυτό στοιχείο προστιθέμενο στο ύψος των ανεμογεννητριών που ξεπερνά τα 150m στις ανεμογεννήτριες (Α/Γ) νέας γενιάς, δημιουργούν ιδανικές συνθήκες ώστε να δέχονται συχνά κεραυνικά πλήγματα με αποτέλεσμα να προξενούνται εκτεταμένες βλάβες στα πτερύγια, στο μηχανικό μέρος τους, στο ηλεκτρικό και στο ηλεκτρονικό σύστημά τους.

Αξιοσημείωτο είναι το μεγάλο ποσοστό των βλαβών στα ηλεκτρικά και στα ηλεκτρονικά συστήματα, καθώς επίσης η σημαντική απώλεια παραγωγής ενέργειας από την αιτία αυτή. Ο λόγος του μεγάλου πλήθους τέτοιων βλαβών οφείλεται στο ότι τα συστήματα αυτά είναι πιο ευαίσθητα σε υπερτάσεις οι οποίες αναπτύσσονται στο ενεργειακό δίκτυο και στο δίκτυο γείωσης και οι οποίες είναι συχνότερες από εκείνες που αναπτύσσονται από άμεσο κεραυνικό πλήγμα.



Εικόνα 4 Κεραυνικό πλήγμα

Η μεγάλη έκταση επίσης που καταλαμβάνουν και η διασύνδεσή τους με τις υπόλοιπες Α/Γ αυξάνουν την πιθανότητα επίδρασής τους από τα κεραυνικά πλήγματα στη γύρω περιοχή σε ακτίνα μέχρι και ένα χιλιόμετρο από την Α/Γ. Τα παραπάνω ποσοστά δεν θα πρέπει να λαμβάνονται τα ίδια και για τη χώρα μας που υπάρχει εγκατεστημένος ένας σημαντικός αριθμός Α/Γ διότι μία πολύ σημαντική παράμετρος που επηρεάζει το πλήθος των βλαβών, όπως είναι λογικό, είναι η πυκνότητα των κεραυνών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και ανά έτος [N_g] που πλήττουν την περιοχή, που έχει άμεση σχέση με το μέσο ετήσιο όρο ημερών καταιγίδων [T_d] της περιοχής.

Από τον παγκόσμιο χάρτη στις βόρειες ευρωπαϊκές χώρες η παράμετρος [T_d] είναι 10 ημέρες έναντι 30

ημερών στη χώρα μας. Εξετάζοντας επί πλέον τον αναλυτικό επίσημο χάρτη [Td] που έχει υιοθετήσει ο ΕΛΟΤ παρατηρεί κανείς ότι στη χώρα μας οι συνθήκες είναι ακόμη δυσμενέστερες όταν υπάρχουν περιοχές όπως Κυκλάδες, Κρήτη και Θράκη με αρκετές εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων που η παράμετρος [Td] κυμαίνεται από 25 έως 50 ημέρες.

Ένας σημαντικός παράγων αστοχίας της προστασίας των Α/Γ γενικότερα από άμεσο κεραυνικό πλήγμα, δεν είναι η αδυναμία σχεδιασμού του συστήματος προστασίας η οποία εφαρμόζεται με τη μέθοδο της κυλιόμενης σφαίρας σύμφωνα από τα διεθνή πρότυπα IEC 61024, αλλά κυρίως η αστοχία των μερών της Α/Γ και του πρόσθετου εξοπλισμού, ειδικού σχεδιασμού, που αποτελούν το σύστημα σύλληψης τα οποία πλην ελαχίστων περιπτώσεων δεν ελέγχονται εργαστηριακά ως προς την αντοχή τους σε κεραυνικό ρεύμα, όπως προβλέπεται από τα ευρωπαϊκά πρότυπα σειράς EN 50164 για τα συμβατικά εξαρτήματα.

Ένα άλλο συμπέρασμα που εξάγεται από την σύγκριση των βλαβών των Α/Γ παλαιάς και νέας γενιάς είναι η διαφοροποίηση που προκαλείται στα ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματά τους. Παρά το γεγονός ότι οι νέες Α/Γ δέχονται περισσότερα κεραυνικά πλήγματα, υπάρχει μία σημαντική μείωση του χρόνου μη λειτουργίας τους και μείωση της δαπάνης αποκατάστασης των ζημιών γεγονός που οφείλεται στο ότι όλο και περισσότεροι κατασκευαστές Α/Γ προβλέπουν προστασία των συστημάτων αυτών από τη συνέπεια των κεραυνικών πληγμάτων σχεδιάζοντας και πραγματοποιώντας προστασία τους σύμφωνα με τα ευρωπαϊκά και διεθνή πρότυπα EN και IEC αντίστοιχα.

Η προβλεπόμενη από τα πρότυπα προστασία η οποία και εφαρμόζεται είναι της μεθόδου των Κεραυνικών Ζωνών Προστασίας (LPZ), που προβλέπει ισοδυναμικές συνδέσεις των εκτεθειμένων και ξένων αγωγίμων μερών και στοιχείων και προστασία των ενεργών μερών δικτύων και συστημάτων εγκαθιστώντας ανάλογα με την οριζόμενη LPZ, Απαγωγούς Κεραυνικών Ρευμάτων [T1] που έχουν υποστεί ηλεκτρικές δοκιμές class I με κεραυνικό ρεύμα κυματομορφής 10/350μs, Κρουστικών Ρευμάτων [T2] που έχουν υποστεί δοκιμές class II με κρουστικό ρεύμα 8/20μs και Διατάξεις Περιορισμού Υπερτάσεων [T3] που έχουν υποστεί δοκιμές class III με σύνθετο κύμα κρουστικού ρεύματος 8/20μs και κρουστικής τάσεως 1,2/50, όπως απαιτούν τα αντίστοιχα Πρότυπα EN και IEC.

Η βελτίωση των δεικτών βλαβών των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών συστημάτων των Α/Γ νέας γενιάς έχει οδηγήσει πρόσφατα πολλούς χρήστες - ιδιοκτήτες Α/Γ παλαιάς γενιάς στην προστασία των συστημάτων σύμφωνα με τα παραπάνω πρότυπα και από τα λίγα διαθέσιμα στοιχεία η βελτίωση των δεικτών είναι εντυπωσιακή επιτυγχάνοντας δείκτες χαμηλότερους από τους αντίστοιχους των Α/Γ νέας γενιάς.

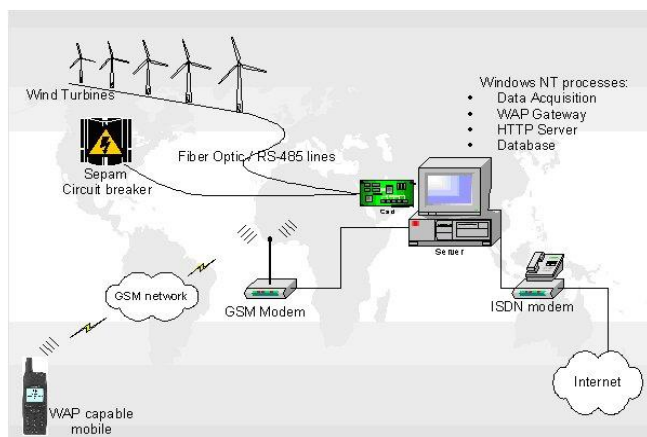
Πίνακας 1 Κλιματολογικά - μετεωρολογικά χαρακτηριστικά

Μέση Νέφωση	Βροχόπτωση σε mm	Διεύθυνση ανέμου N	Ημέρες με Βροχή R(mm)	Ημέρες με Χιόνι 0,8	Ημέρες με Ομίχλη 0	Ημέρες με Καταιγίδα THUND	Ημέρες με Χαλάζι HAIL	Ημέρες με παγετό	Θέρμοκρασία εδάφους σε βάθος 1,0μ. οC	Μέση ταχύτητα Ανέμου m/sec
4,8	48,3	N	12,9	0,9	0	1,4	0	1,2	11,3	6,8
4,8	40,9	N	11,3	0,5	0,1	1,7	0,1	0,7	10,9	6,5
4,5	39,7	S	11,5	0	0,1	1,8	0	0,3	11,8	6,6
4,1	26	S	9,5	0	0,1	1,5	0	0	14,3	6,2
3,4	15,2	S	6,2	0	0	2,1	0	0	17,7	6
2,1	5,6	N	3,5	0	0	1,6	0	0	21,6	6,4
1,1	5,2	N	1,4	0	0	1	0	0	24,7	7,2
1,1	7	N	1,6	0	0	1	0	0	25,7	7
1,9	9,6	N	3,7	0	0	1,3	0	0	24,2	6,4
3,5	47,8	N	8,8	0	0	2,9	0	0	21,1	6,4
4,4	55,4	N	11,1	0	0	3,2	0,1	0	16,9	6
4,7	64,1	N	13,5	0,3	0,1	2,6	0	0,4	13,6	6,6

6.4 Έλεγχος και παρακολούθηση λειτουργίας Α/Γ

Συνήθως, η παρακολούθηση της λειτουργίας (remote monitoring) και ο εξ' αποστάσεως έλεγχος Α/Γ (remote control), γίνεται με προγράμματα που παραδίδει ο εκάστοτε κατασκευαστής και τα οποία επικοινωνούν με το Α/Γ με γραμμές σταθερής τηλεφωνίας. Δυστυχώς, μεταξύ των κατασκευαστών Α/Γ, δεν υπάρχει καμία συμβατότητα στα προγράμματα αυτά, με αποτέλεσμα ο έλεγχος και η παρακολούθηση της λειτουργίας πολλών διαφορετικών Α/Γ, να καθίσταται περίπλοκος και χρονοβόρος διαδικασία.

Το πρόγραμμα παρακολούθησης και ελέγχου που αναπτύχθηκε, επικοινωνεί με τον ελεγκτή (controller) της κάθε Α/Γ, μέσω καλωδίου οπτικών ινών και με ξεχωριστό τρόπο ανάλογα την Α/Γ (πρωτόκολλα: *Modbus/Jbus, VMP, RS-232/485*). Αν χρειαστεί μπορεί να επικοινωνήσει μέσω ειδικού καλωδίου σημάτων και με ανεξάρτητες μετρητικές συσκευές (transducers, ανεμόμετρα, κλπ) που ενδέχεται να εγκατασταθούν σε κάποιο σημείο του Α/Γ. Παρόμοια, συνδέεται και ο κεντρικός διακόπτης της μέσης τάσης του Α/Γ (Sepam 2000), για την καταγραφή της συνολικής ισχύος. Ο Η/Υ βρίσκεται στον κεντρικό οικίσκο του Α/Γ και διαθέτει 2 modem (ένα GSM και ένα γραμμής-ISDN) όπως φαίνεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1 Τρόπος διασύνδεσης του Α/Γ

Η εφαρμογή είναι βασισμένη στην πολυδιεργασία (multiprocessing), ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του λειτουργικού συστήματος Windows NT, έτσι ώστε η ενδεχόμενη αποτυχία μιας δραστηριότητας (δηλ. μιας σύνδεσης με Α/Γ ή με το internet ή με το GSM δίκτυο) να μην έχει επίπτωση σε μία άλλη δραστηριότητα που εκτελείται ταυτόχρονα. Τα (ταυτόχρονα) δεδομένα από κάθε Α/Γ αποθηκεύονται κάθε 10λεπτά. Η στατιστική τους επεξεργασία γίνεται, επίσης, παράλληλα με την συλλογή τους.

6.5 Το ηλεκτρονικό μέρος της μετρητικής διάταξης

Η ηλεκτρονική μονάδα του συστήματος ελέγχου αποτελείται από:

- α. Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU)
- β. Μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D)
- γ. Μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (D/A)
- δ. Μετατροπέα συχνότητας σε τάση (F/V)
- ε. Δύο ενισχυτές δυναμοκυψέλης (Load Cell Amplifier)
- στ. Ενισχυτή ισχύος (Power Amplifier)
- ζ. Θύρα επικοινωνίας RS232
- η. Πέντε μετατροπείς πίεσης σε ηλεκτρικό σήμα (pressure transducers)
- θ. Δυναμοκυψέλη (LoadCell)
- ι. Αισθητήριο θέσης/ταχύτητας (Shaft encoder)

Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (CPU)

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας υλοποιείται από έναν μικροελεκτή. Η μονάδα συλλέγει τα δεδομένα πίεσης, δύναμης, ταχύτητας περιστροφής του δρομέα από τη μονάδα μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, τα οποία μεταβιβάζει στον υπολογιστή, μέσω της θύρας RS232. Η μονάδα επίσης ελέγχει τη τάση διέγερσης της γεννήτριας του συστήματος μέσω της μονάδας μετατροπής ψηφιακού σήματος σε αναλογικό.

Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D)

Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό έχει ακρίβεια 16 ψηφίων και έχει οκτώ εισόδους -10V - +10V.

Μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (D/A)

Η μονάδα έχει ακρίβεια 12 ψηφίων και μέγιστη τάση εξόδου 12V.

Μετατροπέας συχνότητας σε τάση (F/V)

Η μονάδα μετατρέπει τη συχνότητα των παλμών από την έξοδο του αισθητήρα ταχύτητας σε τάση 0-10V.

Ενισχυτές δυναμοκυψέλης (Load Cell Amplifier)

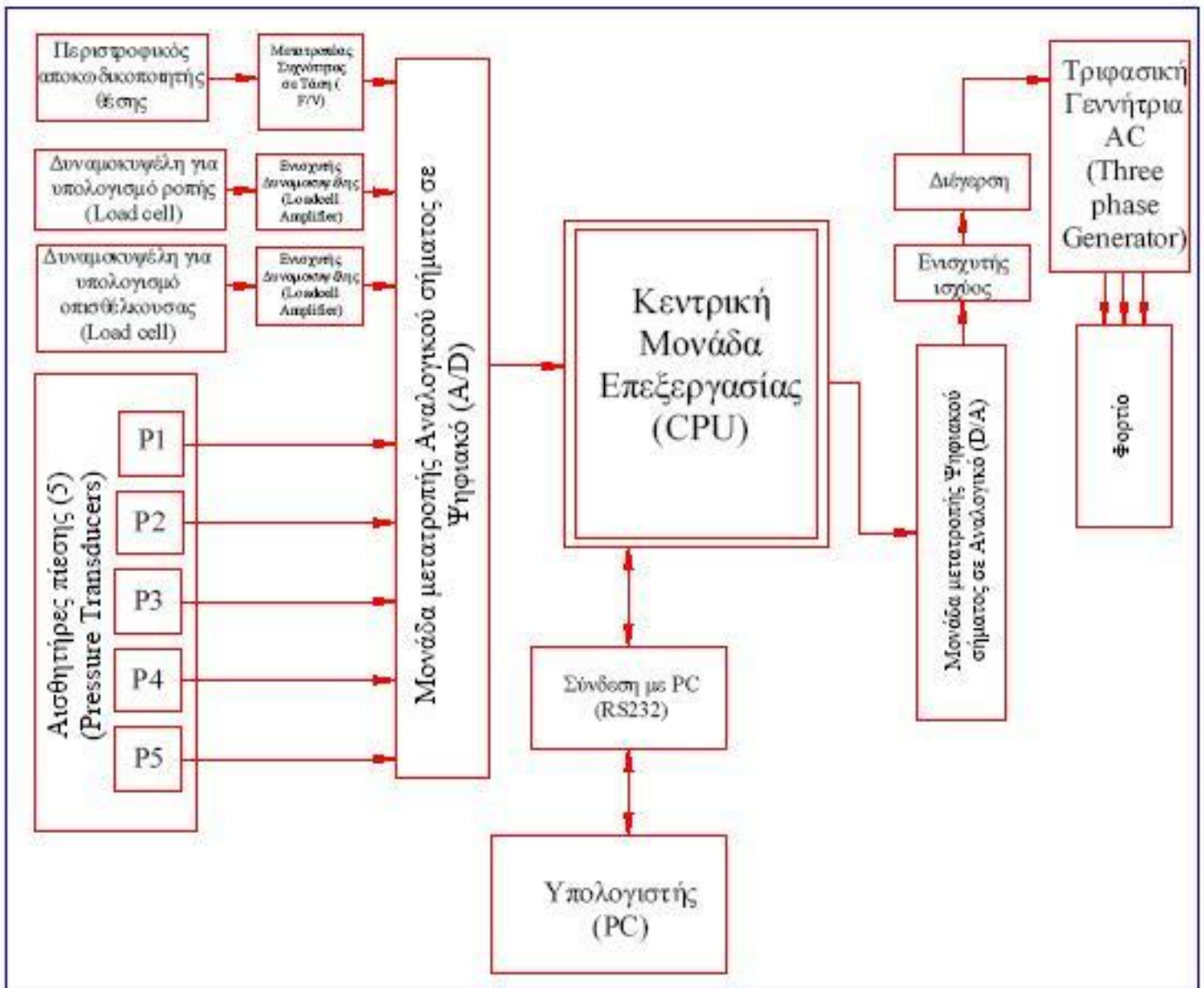
Οι μονάδες παρέχουν έξοδο -10 - +10V με δυνατότητα ρύθμισης της κλίμακας καθώς και του σημείου γύρω από το μηδέν.

Ενισχυτής ισχύος (Power Amplifier)

Ο ενισχυτής παρέχει την απαιτούμενη για τη διέγερση της γεννήτριας ισχύ.

Θύρα επικοινωνίας RS232

Η επικοινωνία με τον υπολογιστή γίνεται μέσω της θύρας RS232 με ταχύτητα 9600 bit/sec.



Σχήμα 2 Μπλόκ διάγραμμα διάταξης μετρήσεων Α/Γ

Σημαντικό χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι η δυνατότητα εκκίνησης και σταματήματος Α/Γ ή και του Α/Π, είτε τοπικά, είτε μέσω μηνύματος SMS, είτε WAP, φυσικά μετά από μία ασφαλή διαδικασία αναγνώρισης του χρήστη.

6.6 Παροχές προς τους χρήστες

Το πρόγραμμα σχεδιάστηκε για δύο τύπου χρήστες:

- τους διαχειριστές (administrators)
- τους απλούς χρήστες (guests)

Οι διαχειριστές του Α/Π είναι αυτοί οι οποίοι λαμβάνουν συνεχή και αναλυτική πληροφορία για την λειτουργία του Α/Π 2 φορές την ημέρα (μία στις 7πμ και μία στις 4μμ), καθώς και ανά 3ωρο αν ο άνεμος είναι >8m/s. Η πληροφορία αποστέλλεται με μήνυμα SMS ή και με e-mail. Επίσης, οι χρήστες αυτοί (διαχειριστές) ειδοποιούνται άμεσα για τα ενδεχόμενα σφάλματα λειτουργίας και έχουν την δυνατότητα, ανάλογα με το σφάλμα, να επανεκκινήσουν εξ' αποστάσεως την Α/Γ (reset) με SMS ή WAP.

Οι απλοί χρήστες έχουν την δυνατότητα της παρακολούθησης της λειτουργίας του Α/Π (και κατ' επέκταση των βασικών μετεωρολογικών χαρακτηριστικών της περιοχής) είτε από το internet είτε από το κινητό τους τηλέφωνο. Το τελευταίο πραγματοποιείται αποστέλλοντας ένα μήνυμαSMS με τον χαρακτήρα ? (λατινικό ερωτηματικό) στο6944 560 987. Το πρόγραμμα θα τους στείλει ένα μήνυμα-απάντηση με την ισχύ του Α/Π και της κάθε Α/Γ, καθώς και της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου (μέσοι όροι του τελευταίου 10λεπτου).

Για την δεδομένη εφαρμογή της παρακολούθησης και ελέγχου ενός Α/Π με κινητή τηλεφωνία, το πρωτόκολλο WAP και τα μηνύματα SMS είναι συμπληρωματικές τεχνολογίες. Τα μηνύματα SMS υποστηρίζονται απ' όλα τα κινητά, με χαμηλό κόστος και χωρίς καμία ιδιαίτερη ρύθμιση. Έτσι, αρκεί ο χρήστης να έχει το τηλέφωνό του ανοικτό για να δεχθεί μηνύματα (status, errors, warnings) από το Α/Π. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα σε σχέση με το πρωτόκολλο WAP, γιατί ο χρήστης για να το χρησιμοποιήσει, πρέπει να κάνει ένα επιπλέον βήμα: να συνδεθεί με τον παροχέα κινητής τηλεφωνίας. Η επιπλέον σύνδεση αυτή δεν είναι μόνιμη, κοστίζει, είναι σχετικά αργή, και δεν δέχεται ταυτόχρονες κλήσεις. Όμως, μπορεί να ανακτήσει σε πραγματικά αμφίδρομη επικοινωνία (online), μια πιο εξειδικευμένη πληροφορία μέσω γραφικών διαγραμμάτων και μενού επιλογών. Στο μέλλον, η τρίτη γενιά κινητής τηλεφωνίας (GPRS, 3G, push technologies) θα εξαλείψει τα παραπάνω μειονεκτήματα και θα αποτελέσει την κύρια μορφή επικοινωνίας (π.χ. μήνυμα με το γράφημα ταχύτητας του ανέμου, την καμπύλη ισχύος, κλπ).

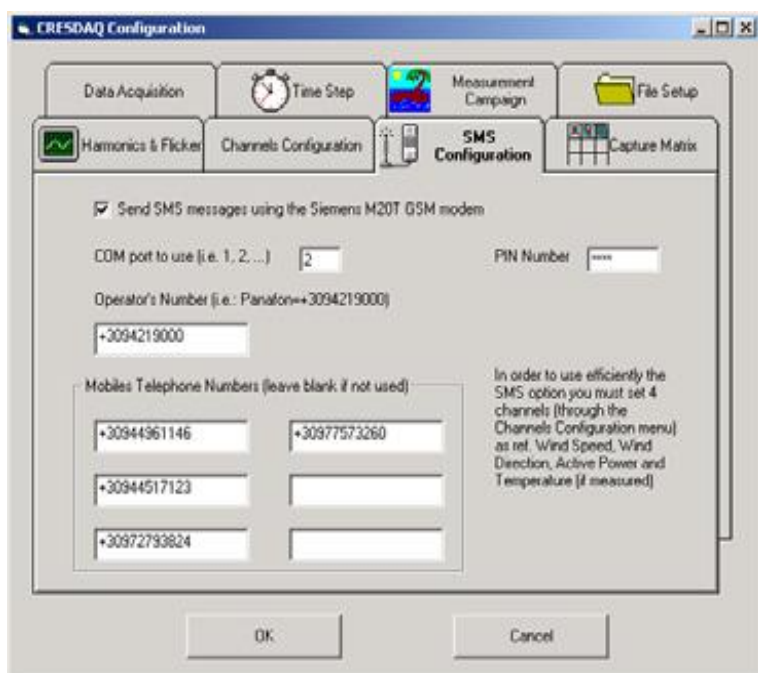
6.7 Υλοποίηση

Βασικό χαρακτηριστικό μιας τέτοιας εφαρμογής είναι ότι η διαθέσιμη πληροφορία (π.χ. το περιεχόμενο μιας σελίδας web) είναι "δυναμική", μεταβάλλεται δηλαδή στον χρόνο. Όμως, η αδυναμία παροχής μισθωμένης τηλ. γραμμής με φορέα internet, αλλά και το υψηλό κόστος της, οδήγησε στο να προκριθεί η λύση της ISDNdial-up γραμμής με τον φορέα (provider), για την συνεχή (ανά 10λεπτο) ανανέωση των ιστοσελίδων στο internet καθώς και την αποστολή e-mail. Για τους ίδιους λόγους, αλλά και για λόγους ασφάλειας, η υλοποίηση της επικοινωνίας μέσω WAP επιλέχθηκε να γίνεται μέσω απ' ευθείας κλήσεων στο Α/Π. Ως εκ τούτου, ο Η/Υ

εκτελεί, ταυτόχρονα με την συλλογή και την επεξεργασία των δεδομένων, χρέη πύλης WAP (gateway) και HTTPServer, με δυνατότητα υλοποίησης δυναμικών σελίδων ASP (ActiveServerPages). Αυτή την στιγμή η επικοινωνία μέσω WAP βρίσκεται σε δοκιμαστική λειτουργία, σύντομα δε στο site του ΚΑΤΠΕ θα υπάρχει link για την λειτουργία του Α/ΤΠ.

Συνοπτικά, η διαδικασία μιας επικοινωνίας με WAP γίνεται ως εξής:

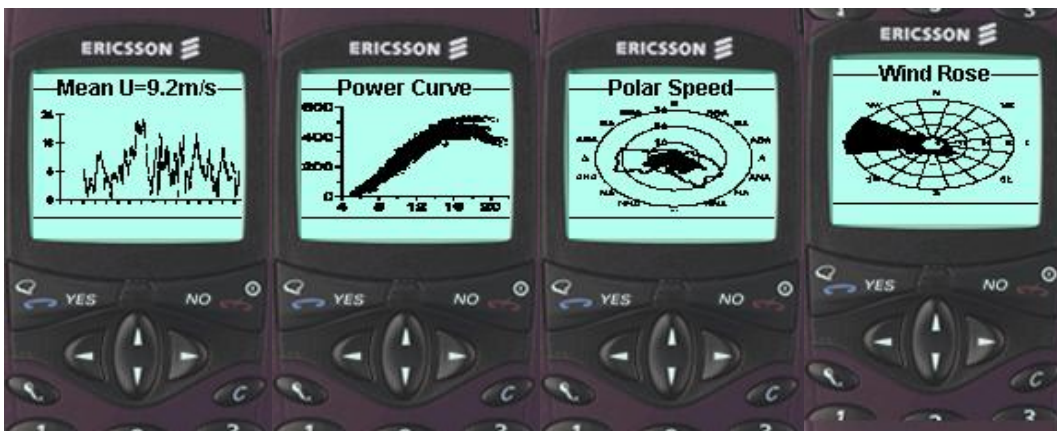
- ο χρήστης καλεί το Α/ΤΠ μέσω WAP και ζητά μία συγκεκριμένη σελίδα URL
- η πύλη (gateway) WAP μετατρέπει την εντολή σε κανονικό περιεχόμενο HTTP
- οHTTPserver επεξεργάζεται το ASP αρχείο, πραγματοποιεί την στατιστική επεξεργασία, ανακτά τα δεδομένα και μορφοποιεί ανάλογα την ιστοσελίδα
- η πύλη WAP μετατρέπει και συμπιέζει την πληροφορία αυτή, έτσι ώστε να μειώσει τον όγκο της ιστοσελίδας, αλλά και να επιταχύνει την απεικόνιση στην οθόνη του κινητού, μιας που διαθέτει μειωμένης δυνατότητας επεξεργαστή.
- τέλος, ο πλοηγός (browser) WAP εμφανίζει την ιστοσελίδα.



Εικόνα 5 Υπομένου αυτόματης ειδοποίησης μέσω sms



Εικόνα 6 Πλοήγηση μέσα στο μενού του Κ.Α.Π.Ε. με την εφαρμογή WindFarm



Εικόνα 7 Λήψη δειγμάτων-κυματομορφών μέσω του WarServer του δικτύου

6.8 Αποτελέσματα

Εκτός από την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, βασικός στόχος του Α/Π είναι και η σύγκριση της απόδοσης των 5 Α/Γ. Αυτό προϋποθέτει έναν ενιαίο και αξιόπιστο σύστημα παρακολούθησης των λειτουργικών χαρακτηριστικών τους. Ήδη, η λειτουργία του έχει επιτρέψει την μεγιστοποίηση της διαθεσιμότητας των Α/Γ, καθώς και την δημιουργία μιας σημαντικής βάσης δεδομένων. Σύντομα, οι Α/Γ θα εξοπλιστούν με μετρητικά συστήματα, ώστε να καταστεί δυνατό να μελετηθούν σε βάθος, φαινόμενα όπως: η επίδραση της τυρβώδους ροής του αέρα σε ανώμαλη τοπογραφία στην καταπόνηση των Α/Γ και στην διακύμανση της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος ανά τύπο Α/Γ.

Στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πέντε Α/Γ που αποτελείται το Α/Π:



	ENERCON	VESTAS	NEG-MICON	ΠΥΡΚΑΛ Α.Ε.	ΠΥΡΚΑΛ Α.Ε.
	E40-500	V47-660	NM750/48	0A500	0A600
ΡΟΤΟΡΑΣ					
Διάμετρος:	40m	47m	48,2m	39,83m	40,58m
Περιοχή κάλυψης:	1275m ²	1735m ²	1824m ²	1246m ²	1293m ²
Ταχύτητα περιστροφής:	18-38rpm	28,5rpm	22/14rpm	0-29rpm	0-29rpm
Αριθμός πτερυγίων:	3	3	3	3	3
Μήκος πτερυγίων:	19m			19m	19m
Υλικό πτερυγίων:	Fiberglass			Ξύλο	Ξύλο
Τύπος:	Οριζοντίου άξονα	Οριζοντίου άξονα	Οριζοντίου άξονα	Οριζοντίου άξονα	Οριζοντίου άξονα
ΠΥΡΓΟΣ					
Τύπος:	Ατσάλινο	Ατσάλινο	Κωνικό, ατσάλινο	Ατσάλινο, βαμμένο	Ατσάλινο, βαμμένο
Ύψος:	44m	45m	45m	38m	38m
ΓΕΝΗΗΤΡΙΑ					
Τύπος:	Δακτυλίου	Ασύγχρονη	Ασύγχρονη, 4/6 πόλους	Ασύγχρονη, 4 πόλους	Ασύγχρονη, 4 πόλους
Ισχύς:	500KW	660KW	750/200KW	530KW	600KW
Ονομαστική τάση:	690V	690V	690V	690V	690V
Ονομαστική συχνότητα:	50Hz	50Hz	50Hz	50Hz	50Hz
Πλήμνη:	Ακαμπτη				
Ψύξη:			Υδρόψυκτη αντλία	Αερόψυκτη	Αερόψυκτη
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ ΠΛΗΡΟΦ. :					
Ονομαστική έξοδος:	500KW	660KW	750KW	500KW	600KW
Ταχύτητα ανέμου (Min):	2,5m/s	4m/s	4m/s	4m/s	4m/s
Ταχύτητα ανέμου (Max):		25m/s	25m/s		
Ονομαστική ταχύτητα ανέμου:	12m/s	15m/s	16m/s	14,5m/s	14,5m/s
ΚΙΒΩΤΙΟ ΤΑΧΥΤΗΤΩΝ:					
Τύπος:		Επίπεδα γρανάζια/άξονας	Επίπεδα γρανάζια/άξονας	Γρανάζια βαρύ τύπου	Γρανάζια βαρύ τύπου
Αναλογία:			1/68,2	1/52,18	1/52,18
Ψύξη:			Υδρόψυκτη αντλία	Διπλή παροχή λαδιού	Διπλή παροχή λαδιού
ΕΛΕΓΧΟΣ					
Σύστημα φρένων:	Φρένο στο ρότορα Κλειδίωμα ασφαλείας	Αερόψυκτος δίσκος	Υδραυλικός δίσκος Κλειδίωμα ασφαλείας	Δύο υδραυλικοί δίσκοι	Δύο υδραυλικοί δίσκοι
Τύπος:		Microprocessor-based control	Computer Control Soft by Thyristors Μέσω modem	Φρένο DC με Inverter PLC based control IGBT online έλεγχος Μέσω modem ή δικτύου Τάση παλμού -0,8V-0,8V	Φρένο DC με Inverter PLC based control IGBT online έλεγχος Μέσω modem ή δικτύου Τάση παλμού -0,8V-0,8V
ΔΙΣΘΗΤΗΡΕΣ					
Αισθητήρες RPM:			Ρότορα, γεννήτρια	Γεννήτρια παλμών, άξονα	Γεννήτρια παλμών, άξονα
Αισθητήρες θερμοκρασίας:			Κιβώτιο, γεννήτρια, ηλεκτική	Κιβώτιο, γεννήτρια, ηλεκτική υδραυλικά, περιβάλλον	Κιβώτιο, γεννήτρια, ηλεκτική υδραυλικά, περιβάλλον
Αισθητήρες δόνησης:			Θάλαμο, ρότορα	Θάλαμο	Θάλαμο
Μετεωρολογία:			Ανεμόμετρο, ανεμοδείκτη, θερμόμετρο	Ανεμόμετρο, ανεμοδείκτη	Ανεμόμετρο, ανεμοδείκτη
Υδραυλικό σύστημα:			Ευαίσθησια πίεσης	Ευαίσθησια πίεσης	Ευαίσθησια πίεσης
ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΚΕΡΑΥΝΟΥΣ					
Τύπος:			Πρότυπο 1024 Άκρες πτερυγίων	Μηχανική/ηλεκτρική Άκρες πτερυγίων έως βάση	Μηχανική/ηλεκτρική Άκρες πτερυγίων έως βάση

Πίνακας 2 Τεχνικά χαρακτηριστικά

6.9 Σύνδεση Α/Γ στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. (ΜΤ)

Διατάξεις ζεύξης

Η σύνδεση εγκατάστασης παραγωγής (ή εγκατάστασης καταναλωτή που περιλαμβάνει μονάδες παραγωγής) στο δίκτυο γίνεται μέσω διάταξης ζεύξης, η οποία πρέπει να διαθέτει τη δυνατότητα διακοπής ρεύματος φορτίου, να περιλαμβάνει μέσο ορατής απόζευξης και να είναι ανά πάσα στιγμή προσιτή στο προσωπικό

της ΔΕΗ. Για την επιλογή των στοιχείων και τη διαμόρφωση της διάταξης ζεύξης, η οποία βρίσκεται συνήθως στον Υ/Σ ζεύξης της συνδεδεμένης εγκατάστασης, εφαρμόζονται οι σχετικές οδηγίες (π.χ. Οδηγία Διανομής 34 της ΔΕΗ, «Παροχές ΜΤ»). Όπως και στην περίπτωση των καταναλωτών ΜΤ, η διάταξη ζεύξης πρέπει να διαθέτει τα αναγκαία μέσα προστασίας έναντι βραχυκυκλωμάτων στο εσωτερικό των εγκαταστάσεων, τα οποία πρέπει να συνεργάζονται με τα μέσα προστασίας του δικτύου της ΔΕΗ.

Σε εγκαταστάσεις παραγωγής με περισσότερες από μία μοναδιαίες εγκαταστάσεις, οι οποίες συνδέονται στον υποσταθμό ζεύξης μέσω εσωτερικού δικτύου ΜΤ (π.χ. αιολικά πάρκα), συνιστάται η εγκατάσταση *προτασσόμενης* προστασίας απόζευξης, η οποία αποσυνδέει κεντρικά το σύνολο των εγκαταστάσεων παραγωγής. Η προστασία αυτή πρέπει να επενεργεί σε *διακόπτη ισχύος*, ο οποίος μπορεί να αναλάβει και τη λειτουργία της διάταξης ζεύξης.

Για την επιλογή των διατάξεων ζεύξης πρέπει να ληφθεί υπόψη η μέγιστη ισχύς βραχυκύκλωσης, στην οποία συμβάλλει τόσο το δίκτυο όσο και οι μονάδες των γεννητριών (ιδιαίτερα στην περίπτωση εγκαταστάσεων με σύγχρονες γεννήτριες). Η στάθμη βραχυκύκλωσης που προκύπτει δεν πρέπει να υπερβαίνει το όριο των 250 MVA. Σε αντίθετη περίπτωση ο παραγωγός πρέπει να λαμβάνει μέτρα περιορισμού του ρεύματος βραχυκύκλωσης των εγκαταστάσεών του. Για τις γειώσεις του υποσταθμού ζεύξης της εγκατάστασης θα εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στις σχετικές Οδηγίες της ΔΕΗ (π.χ. Οδηγία Διανομής 34). Γενικά, η μέθοδος γείωσης των εγκαταστάσεων παραγωγών θα είναι αυτή που εφαρμόζει η ΔΕΗ, δηλαδή η ουδετέρωση (εκτός ορισμένων περιοχών της Αττικής, όπου εφαρμόζεται ακόμα η άμεση γείωση). Επίσης, πρέπει να υφίσταται η δυνατότητα γείωσης μέσω καταλλήλων συσκευών των στοιχείων που πρέπει να γειώνονται για την εκτέλεση εργασιών.

Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης (ΑΔΔ)

Για τη σύνδεση των μονάδων παραγωγής με το δίκτυο της ΔΕΗ, ή με την υπόλοιπη εγκατάσταση, πρέπει να εγκατασταθεί διακόπτης με ικανότητα διακοπής τουλάχιστον ρεύματος φορτίου (διακόπτης ισχύος, ασφαλειοδιακόπτης φορτίου, επαφάς με ασφάλειες προστασίας έναντι βραχυκυκλωμάτων), ο οποίος εξασφαλίζει τον γαλβανικό διαχωρισμό όλων των φάσεων. Ο διακόπτης αυτός αναφέρεται ως *Αυτόματος Διακόπτης Διασύνδεσης (ΑΔΔ)* και σε αυτόν επενεργεί το σύστημα προστασίας απόζευξης.

Ως ΑΔΔ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο διακόπτης που συνδέει την όλη εγκατάσταση με το δίκτυο (οπότε και είναι εγκατεστημένος στον Υ/Σ ζεύξης), ή διακόπτης που συνδέει τις εγκαταστάσεις παραγωγής με την υπόλοιπη εγκατάσταση. Ο ΑΔΔ μπορεί γενικά να βρίσκεται στην πλευρά ΜΤ ή ΧΤ. Σε εγκαταστάσεις που δεν διαθέτουν τη δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας, τον ρόλο του ΑΔΔ μπορεί να παίξει ο διακόπτης της γεννήτριας (ή των γεννητριών), εφόσον διαθέτει την απαιτούμενη προστασία απόζευξης. Εάν προβλέπεται η δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας των εγκαταστάσεων, τότε ο ΑΔΔ εγκαθίσταται στο όριο των εγκαταστάσεων που λειτουργούν απομονωμένα και πρέπει να διαθέτει *σύστημα συγχρονισμού ακριβείας* για τον παραλληλισμό με το δίκτυο.

Στο Σχήμα 3.1 παρατίθενται παραδείγματα συνδέσεων εγκαταστάσεων παραγωγής, μίας ή περισσότερων

γεννητριών, με και χωρίς δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας. Στα παραδείγματα αυτά σημειώνονται οι εναλλακτικές θέσεις εγκατάστασης του ΑΔΔ. Μια ενδεικτική διαμόρφωση του Υ/Σ ζεύξης εγκατάστασης παραγωγής εικονίζεται στο σχήμα 3.2. Το συγκρότημα σύνδεσης περιλαμβάνει τον πίνακα άφιξης των καλωδίων ΜΤ από τις μονάδες παραγωγής, τον πίνακα προστασίας και τον πίνακα αναχώρησης προς τη γραμμή ΜΤ. Ο διακόπτης ζεύξης της εγκατάστασης παίζει τον ρόλο του ΑΔΔ, στον οποίο επενεργεί το σύστημα προστασίας απόζευξης. Ο διακόπτης αυτός είναι συνήθως διακόπτης ισχύος, αλλά σε εγκαταστάσεις μικρής ισχύος μπορεί να είναι και διακόπτης φορτίου (με ασφάλειες για προστασία έναντι βραχυκυκλωμάτων, κατ' αναλογία με τις παροχές ΜΤ τύπου Β1). Ο αποζεύκτης στον πίνακα αναχώρησης εξασφαλίζει την ορατή απόζευξη της εγκατάστασης.

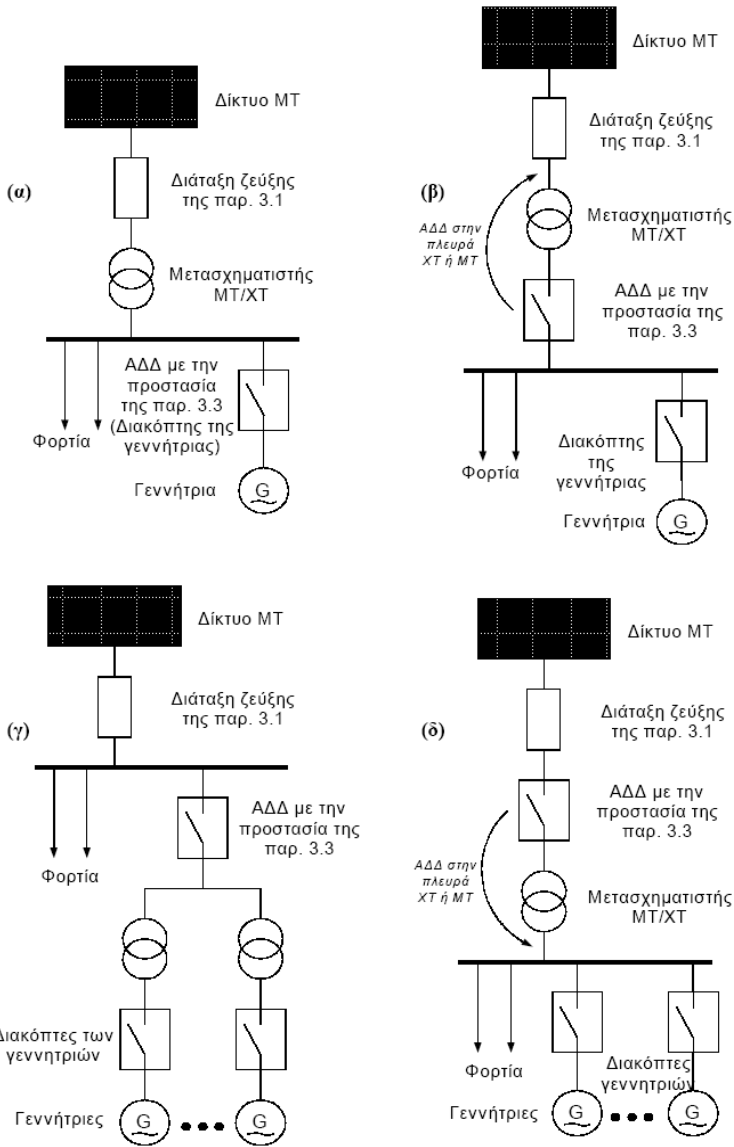
Προστασία απόζευξης

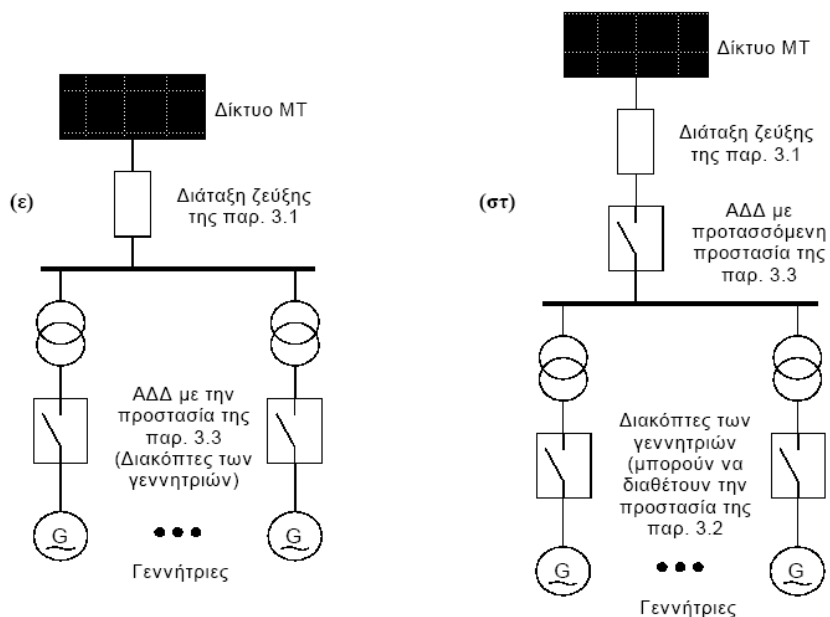
Για την προστασία της εγκατάστασης του παραγωγού, αλλά και άλλων συνδεδεμένων εγκαταστάσεων, απαιτείται η τοποθέτηση συστήματος προστασίας απόζευξης, το οποίο επενεργεί στον ΑΔΔ της εγκατάστασης παραγωγής και εξασφαλίζει την άμεση απόζευξη της όταν εμφανιστούν ανεπιτρεπτες διακυμάνσεις της τάσης και της συχνότητας.

Μέσω της προστασίας απόζευξης αποτρέπεται η νησιδοποίηση τμήματος του δικτύου που έχει απομονωθεί από το υπόλοιπο δίκτυο (π.χ. λόγω της λειτουργίας διακόπτη στα ανάντη της γραμμής ΜΤ όπου συνδέεται ο παραγωγός), τα φορτία του οποίου τροφοδοτούνται από την εγκατάσταση παραγωγής. Τέτοιες καταστάσεις απομονωμένης λειτουργίας μπορούν να προκαλέσουν την εμφάνιση σοβαρών υπερτάσεων (ιδιαίτερα στην περίπτωση ασύγχρονων γεννητριών, λόγω αυτοδιέγερσής τους), αλλά και εγκυμονούν κινδύνους για την ασφάλεια του προσωπικού που εργάζεται στο δίκτυο.

Σχήμα 3.1 Παραδείγματα σύνδεσης εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο ΜΤ.

- (α) Μία γεννήτρια χωρίς δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας
- (β) Μία γεννήτρια με δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας
- (γ) Περισσότερες γεννήτριες χωρίς δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας
- (δ) Περισσότερες γεννήτριες με δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας

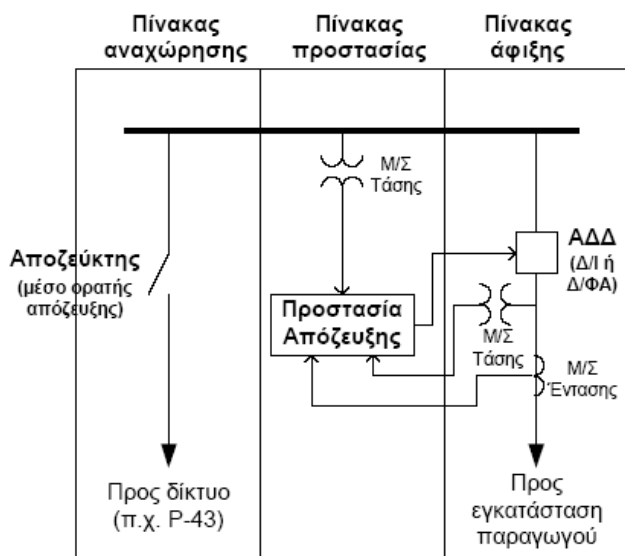




Σχήμα 3.1 Παραδείγματα σύνδεσης εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο ΜΤ.

(ε) Εγκατάσταση παραγωγής με περισσότερες γεννήτριες, χωρίς κεντρικό διακόπτη διασύνδεσης (Διακόπτες των γεννητριών ως ΑΔΔ)

(στ) Εγκατάσταση παραγωγής με περισσότερες γεννήτριες και κεντρικό διακόπτη διασύνδεσης με προτασόμενη προστασία απόζευξης



Σχήμα 3.2 Ενδεικτική διαμόρφωση του Υ/Σ ζεύξης εγκατάστασης παραγωγής

Εάν η εγκατάσταση παραγωγής συνδέεται σε γραμμή ΜΤ με σύστημα αυτόματης επανάζευξης (διακόπτης στην αναχώρηση της γραμμής ή ΔΑΕ σε ενδιάμεσο σημείο), τότε είναι αναγκαίο το σύστημα προστασίας απόζευξης να αποσυνδέει τις μονάδες παραγωγής οπωσδήποτε πριν από τη λειτουργία επαναφοράς του διακόπτη. Με τον τρόπο αυτόν εξασφαλίζεται επιπλέον ότι το σφάλμα στο απομονωμένο τμήμα του δικτύου δεν εξακολουθεί να τροφοδοτείται από τις γεννήτριες του παραγωγού, προϋπόθεση αναγκαία για την αποτελεσματικότητα του συστήματος βραχείας διακοπής/ταχείας επανάζευξης των εναερίων δικτύων ΜΤ.

Το σύστημα προστασίας απόζευξης περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον προστασίες υπότασης, υπέρτασης, υποσυχνότητας και υπερσυχνότητας, περιοχές ρύθμισης και ενδεικτικές ρυθμίσεις των οποίων δίνονται στον πίνακα 3. Η επιτήρηση της τάσης πρέπει να γίνεται και στις τρεις φάσεις, ώστε να ανιχνεύονται ακόμη και μονοφασικές διαταραχές. Η επιτήρηση της συχνότητας αρκεί να γίνεται σε μία φάση. Το σύστημα προστασίας απόζευξης μπορεί να περιλαμβάνει, επιπλέον των προστασιών του πίνακα 3, και επιτήρηση της ομοπολικής συνιστώσας της τάσης, U_0 , για την ανίχνευση σφαλμάτων γης επί της γραμμής όπου συνδέεται η εγκατάσταση παραγωγής. Μπορεί ακόμη να διαθέτει ηλεκτρονόμο υπέρεντασης για την ανίχνευση της τροφοδότησης εξωτερικών σφαλμάτων από την εγκατάσταση παραγωγής, εφόσον όμως μπορεί να εξασφαλιστεί η επιλογική του συνεργασία με τα λοιπά μέσα προστασίας έναντι υπερεντάσεων της εγκατάστασης και η μη διέγερσή του από τα ρεύματα ζεύξης αυτής.

Τύπος ηλεκτρονόμου	Περιοχή Ρύθμισης Τιμής Διέγερσης	Ενδεικτική Ρύθμιση	
		Τιμή Διέγερσης	Χρονική Καθυστέρηση
Υπότασης (mV)	$0.70 \cdot U_n \div 1.00 \cdot U_n$	$0.90 \cdot U_n$	0.3 s
Υπέρτασης (MV)	$1.00 \cdot U_n \div 1.15 \cdot U_n$	$1.10 \cdot U_n$	0.3 s
Υποσυχνότητας (mf)	48 ÷ 50 Hz	49.5 (48) Hz	0.3 s
Υπερσυχνότητας (Mf)	50 ÷ 52 Hz	50.5 (51) Hz	0.3 s

Πίνακας 3 Προστασία αποσύζευξης εγκατάστασης παραγωγής

όπου U_n : ονομαστική τάση του δικτύου ΜΤ

Οι συγκεκριμένες ρυθμίσεις των τιμών διέγερσης και των χρονικών καθυστερήσεων του συστήματος προστασίας επιλέγονται κατά περίπτωση, λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη κατά το δυνατόν ταχύτερης απόζευξης της εγκατάστασης παραγωγής μετά από την εμφάνιση σφάλματος ή άλλης διαταραχής στο δίκτυο ΜΤ όπου αυτή συνδέεται. Συνεπώς πρέπει να επιλέγονται στενά όρια μεταβολής της τάσης και της συχνότητας και μικροί χρόνοι ενεργοποίησης. Για μονάδες παραγωγής που εγκαθίστανται σε αυτόνομα νησιωτικά συστήματα απαιτείται γενικά ελαστικότερη ρύθμιση των ορίων τάσης και κυρίως συχνότητας, λόγω των αυξημένων διακυμάνσεών τους, αλλά και για την αποφυγή συχνής απώλειας σημαντικού ποσοστού παραγωγής.

Για την ανίχνευση της απομονωμένης λειτουργίας της εγκατάστασης χρησιμοποιούνται σε ορισμένες περιπτώσεις ηλεκτρονόμοι απότομης μεταβολής του ανύσματος της τάσης, απότομης μεταβολής του φορτίου, ρυθμού μεταβολής της συχνότητας κ.ά. Τα μέσα αυτά είναι γενικά αποδεκτά, αλλά δεν μπορούν να υποκαταστήσουν τις βασικές λειτουργίες του πίνακα 3 για την προστασία της διασύνδεσης.

Σε εγκαταστάσεις παραγωγής μεγάλου μεγέθους μπορεί να εφαρμοστεί αλληλένδεση (transfertrip) του ΑΔΔ της εγκατάστασης με τον διακόπτη στην αναχώρηση της γραμμής ΜΤ. Με τον τρόπο αυτόν εξασφαλίζεται η άμεση απόζευξη της εγκατάστασης για οποιαδήποτε διαταραχή προκαλεί το άνοιγμα του διακόπτη της γραμμής και αποκλείεται η ασύγχρονη επανάζευξή του. Το ίδιο επιτυγχάνεται με την εφαρμογή συστήματος διαφορικής προστασίας σε εγκαταστάσεις που συνδέονται μέσω αποκλειστικών καλωδιακών γραμμών.

Μετά από λειτουργία απόζευξης του ΑΔΔ, η ζεύξη του πρέπει να καθυστερήσει μέχρι να επανέλθει η τάση και η συχνότητα του δικτύου εντός της προβλεπόμενης ζώνης κανονικής λειτουργίας. Για την προστασία της εγκατάστασης παραγωγής, συνιστάται να προβλεφθεί μια χρονική καθυστέρηση της τάξης των τριών λεπτών της ώρας μεταξύ της επανόδου της τάσης και της ζεύξης της εγκατάστασης, ώστε να έχουν ολοκληρωθεί ενδεχόμενοι χειρισμοί ζεύξεων στο δίκτυο. Για εγκαταστάσεις με δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας, η ζεύξη αυτή θα πρέπει να πραγματοποιείται από αυτόματο σύστημα συγχρονισμού ακριβείας.

Οι λειτουργίες της προστασίας απόζευξης της εγκατάστασης μπορεί να υλοποιούνται μέσω συμβατικών ηλεκτρονόμων ή να αποτελούν μέρος ολοκληρωμένων ψηφιακών συστημάτων προστασίας. Σε κάθε περίπτωση, η απώλεια της τάσης τροφοδότησης των συσκευών προστασίας και ζεύξης πρέπει να οδηγεί αυτόματως στην απόζευξη της εγκατάστασης παραγωγής, επειδή, σε αντίθετη περίπτωση, σφάλματα στο δίκτυο της ΔΕΗ δεν οδηγούν σε λειτουργία των ηλεκτρονόμων και απόζευξη.

Για τη διεξαγωγή δοκιμών λειτουργίας των διατάξεων προστασίας πάντοτε προβλέπεται κατάλληλο σημείο πρόσβασης (π.χ. σύστημα ακροδεκτών με διαμήκη διαχωρισμό και αναμονές δοκιμών). Το σύστημα προστασίας ασφαλιζεται/σφραγίζεται και οποιαδήποτε μεταβολή στις ρυθμίσεις του γίνεται κατόπιν έγκρισης από τη ΔΕΗ.

Αντιστάθμιση αέργου ισχύος

Ο συντελεστής ισχύος στην έξοδο της εγκατάστασης παραγωγής (ή της συνολικής εγκατάστασης καταναλωτή, ο οποίος διαθέτει και εγκαταστάσεις παραγωγής) πρέπει να ανταποκρίνεται στα συμφωνημένα στη σύμβαση πώλησης ηλεκτρικής ενέργειας. Συνήθως περιοχή αποδεκτών τιμών του είναι μεταξύ 0.95 επαγωγικού και 0.95 χωρητικού.

Δεδομένου ότι η απορρόφηση σημαντικής αέργου ισχύος από μια εγκατάσταση συνεπάγεται αυξημένες απώλειες και πτώσεις τάσεως στο δίκτυο, μπορεί να είναι αναγκαία η αντιστάθμιση της καταναλισκόμενης αέργου ισχύος, συνήθως με τη βοήθεια αποζεύξιμων συστοιχιών πυκνωτών. Η αντιστάθμιση μπορεί να πραγματοποιείται

τοπικά για κάθε μονάδα γεννήτριας ή ομάδα γεννητριών, ή/και κεντρικά για το σύνολο της εγκατάστασης. Όταν η ενεργός ισχύς εξόδου της εγκατάστασης παραγωγής παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις (όπως π.χ. στις αιολικές εγκαταστάσεις), τότε είναι συνήθως αναγκαία η αυτόματη ρύθμιση της αντιστάθμισης, προκειμένου να διατηρείται ο συντελεστής ισχύος κοντά στην επιθυμητή τιμή. Η αναγκαία αντιστάθμιση γενικά καθορίζεται από το είδος και τον τρόπο λειτουργίας των εγκαταστάσεων, αλλά και από τις προκαλούμενες επιπτώσεις στην τάση του δικτύου. Οι ασύγχρονες γεννήτριες καταναλώνουν άεργο ισχύ, η οποία ανέρχεται περίπου στο 50% της φαινομένης ισχύος εξόδου υπό ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας. Συνεπώς, σε εγκαταστάσεις αυτού του τύπου είναι αναγκαία η εγκατάσταση πυκνωτών αντιστάθμισης. Κατά την απόζευξη της γεννήτριας, οι πυκνωτές πρέπει να αποσυνδέονται ταυτόχρονα με το άνοιγμα του διακόπτη, προκειμένου να αποφευχθούν φαινόμενα αυτοδιέγερσης. Επίσης, οι πυκνωτές δεν πρέπει να συνδέονται πριν από τη ζεύξη της γεννήτριας. Οι σύγχρονες γεννήτριες διαθέτουν τη δυνατότητα ελέγχου της διέγερσής τους, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη ρύθμιση του συντελεστή ισχύος εξόδου τους και άρα γενικά δεν απαιτείται η εγκατάσταση πυκνωτών αντιστάθμισης.

Οι ανάγκες αέργου ισχύος των μετατροπέων ισχύος εξαρτώνται από τον τύπο του μετατροπέα. Μετατροπείς με μεταγωγή από την τάση του δικτύου (όπως οι ανορθωτές/αντιστροφείς γέφυρας με thyristors) καταναλώνουν σημαντική άεργο ισχύ και απαιτούν την εγκατάσταση διατάξεων αντιστάθμισης. Οι σύγχρονοι αυτομεταγόμενοι (self-commutated) μετατροπείς (όπως οι μετατροπείς τύπου πηγής τάσης με IGBTs που χρησιμοποιούνται ευρέως σε διατάξεις διεσπαρμένης παραγωγής) παρουσιάζουν ελάχιστες ανάγκες αέργου ισχύος και συνήθως παρέχουν τη δυνατότητα ρύθμισης του συντελεστή ισχύος στην έξοδό τους εντός μιας περιορισμένης περιοχής (π.χ. 0.95 επαγ. - 0.95 χωρ.). Κατά τη μελέτη των πυκνωτών αντιστάθμισης πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επίπτωσή τους στις αρμονικές του δικτύου. Συγκεκριμένα οι εγκάρσιες χωρητικότητες σε συνδυασμό με τις επαγωγικές αντιδράσεις σειράς του δικτύου (π.χ. αντιδράσεις σκεδάσεως των Μ/Σ) δημιουργούν συχνότητες συντονισμού οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε αύξηση της αρμονικής παραμόρφωσης της τάσης. Για τον λόγο αυτό μπορεί να απαιτηθεί, κατόπιν ειδικής μελέτης και σε συνεννόηση με τη ΔΕΗ, η εγκατάσταση στραγγαλιστικών πηνίων σε σειρά με τους πυκνωτές. Επίσης πρέπει να εξετάζεται και ενδεχόμενη επίπτωση στη λειτουργία του συστήματος ΤΑΣ του δικτύου.

Γενικά, η επιλογή και ο τρόπος ρύθμισης και ζεύξης της εγκατάστασης αντιστάθμισης αέργου ισχύος πρέπει να συμφωνούνται με τη ΔΕΗ. Σημειώνεται ακόμη ότι στα νησιωτικά συστήματα όπου λειτουργούν ΑΣΤΠ και ΤΣΠ, πιθανόν να απαιτείται πρόσθετη αντιστάθμιση στους ζυγούς ΜΤ αυτών λόγω της λειτουργίας ασύγχρονων γεννητριών παραγωγών.

Συνθήκες ζεύξης

Η ζεύξη των εγκαταστάσεων παραγωγής στο δίκτυο είναι δυνατή μόνον όταν η τάση και συχνότητα του δικτύου είναι κοντά στις ονομαστικές τους τιμές και συγκεκριμένα διαφέρουν από αυτές λιγότερο από τα όρια ρύθμισης των σχετικών προσασιών τάσης και συχνότητας. Ασύγχρονες γεννήτριες είναι επιθυμητό να

συνδέονται στο δίκτυο χωρίς τάση, με αριθμό στροφών μεταξύ 95% και 105% των σύγχρονων, κατά προτίμηση μέσω διάταξης ομαλής εκκίνησης. Για σύγχρονες γεννήτριες απαιτείται διάταξη συγχρονισμού η οποία εξασφαλίζει κατ' ελάχιστον τις παρακάτω συνθήκες συγχρονισμού:

Διαφορά τάσης $\Delta U \pm 10 \%$

Διαφορά συχνότητας $\Delta f \pm 0.5 \text{ Hz}$

Διαφορά φασικής γωνίας $\Delta \varphi < \pm 10^\circ$

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του δικτύου, είναι δυνατό να απαιτούνται στενότερα όρια ρύθμισης. Γενικά, ο παραλληλισμός σύγχρονων γεννητριών πρέπει να πραγματοποιείται μέσω αυτόματης διάταξης συγχρονισμού ακριβείας. Για εγκαταστάσεις παραγωγής με αντιστροφείς ΣΡ/ΕΡ, η ζεύξη πρέπει να γίνεται με την πλευρά ΕΡ του μετατροπέα χωρίς τάση. Εάν προβλέπεται δυνατότητα απομονωμένης λειτουργίας της όλης εγκατάστασης, τότε ο ΑΔΔ πρέπει να διαθέτει διάταξη συγχρονισμού ακριβείας. Ο χρόνος καθυστέρησης κατά την επανάζευξη μιας γεννήτριας και η διαβάθμιση των χρόνων επανάζευξης περισσότερων γεννητριών πρέπει να είναι επαρκούν ώστε να έχουν αποκατασταθεί πλήρως τα μεταβατικά φαινόμενα και οι διαδικασίες ρύθμισης που σχετίζονται αφενός με την αποκατάσταση της τάσης του δικτύου και αφετέρου με την ένταξη των γεννητριών. Συνήθως, χρόνοι της τάξης των λίγων λεπτών της ώρας είναι επαρκείς.

6.10 Εργαστήρια αιολικών συστημάτων

Τα εργαστήρια αιολικών συστημάτων παρέχουν τις ακόλουθες υπηρεσίες:

- ✓ Μετρήσεις λειτουργικών χαρακτηριστικών ανεμογεννητριών (καμπύλη ισχύος, ποιότητα ισχύος, στάθμη θορύβου)
- ✓ Δοκιμές ελέγχου αντοχής πτερυγίων ανεμογεννητριών (στατική, κοπωτική και δυναμική δοκιμή)
- ✓ Βαθμονόμηση ανεμομέτρων στην αερομοσήραγγα του ΚΑΠΕ.
- ✓ Μέτρηση αιολικού δυναμικού περιοχής (ανατάραξη αέρα και χαρακτηριστικές παράμετροι ανέμου)
- ✓ Ανάλυση και σχεδιασμός ανεμογεννητριών μέσω αεροελαστικού κώδικα προσομοίωσης λειτουργίας ανεμογεννήτριας οριζοντίου άξονα (ΑΛΚΥΟΝΗ)
- ✓ Υπηρεσίες υβριδικού εργαστηρίου ανεμογεννητριών - νηζελογεννητριών (εξοικονόμησης καυσίμου, ευστάθεια κλπ)
- ✓ Μελέτες βέλτιστου σχεδιασμού ένταξης της αιολικής ενέργειας σε τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα, με τη χρήση GIS.

6.10.1 Μετρήσεις λειτουργικών χαρακτηριστικών Α/Γ

Η καμπύλη ισχύος, η ποιότητα της παραγόμενης ισχύος, τα φορτία που αναπτύσσονται σε κρίσιμα τμήματα της ανεμογεννήτριας και ο εκπεμπόμενος θόρυβος αποτελούν τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά μιας ανεμογεννήτριας.

Η αξιόπιστη πληροφόρηση για αυτά τα λειτουργικά χαρακτηριστικά έχει καθοριστική σημασία για το βέλτιστο σχεδιασμό, την οικονομική βιωσιμότητα, την ασφάλεια και την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κάθε εφαρμογής της αιολικής ενέργειας.

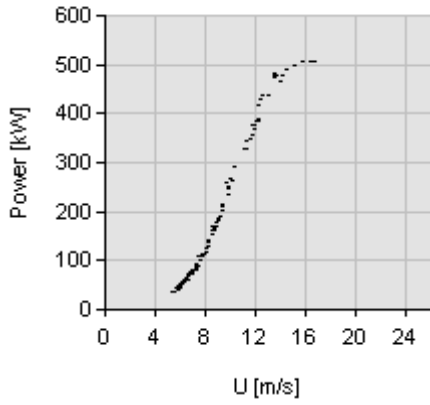
Οι μετρήσεις που μπορούν να γίνουν είναι οι ακόλουθες:

- Μέτρηση καμπύλης ισχύος ανεμογεννήτριας (προσδιορισμός της ωφέλιμης ηλεκτρικής ισχύος σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου)
- Μέτρηση ποιότητας ισχύος ανεμογεννήτριας (κατανάλωση αέργου ισχύος, αρμονικές και διακυμάνσεις τάσεως)
- Μέτρηση φορτίων σε ανεμογεννήτρια (καταγραφή των καταπονήσεων στις πτέρυγες, στον άξονα, στον πύργο ή σε οποιοδήποτε τμήμα ανεμογεννήτριας)
- Μέτρηση θορύβου εκπεμπόμενου από ανεμογεννήτρια (πλήρης ανάλυση και χαρακτηρισμός του εκπεμπόμενου θορύβου)

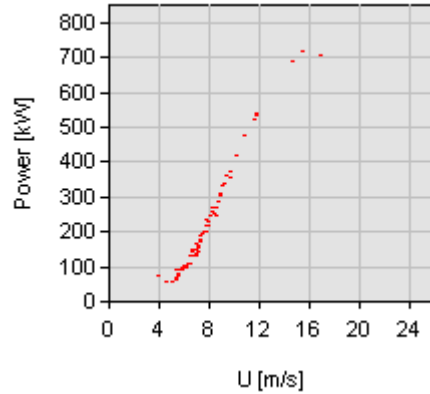
Για την εκτέλεση των μετρήσεων συγκροτούνται κινητές μετρητικές μονάδες οι οποίες εγκαθίστανται κοντά στην ανεμογεννήτρια.

Ο βασικός εξοπλισμός των μονάδων αυτών περιλαμβάνει:

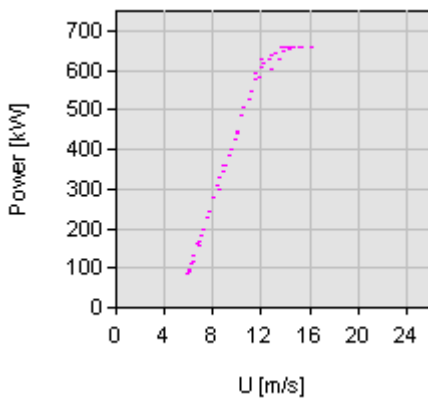
- Μετεωρολογικό ιστό εξοπλισμένο με ανεμόμετρα, ανεμοδείκτες και αισθητήρες μετεωρολογικών μεγεθών
- Αισθητήρες μέτρησης ηλεκτρικών μεγεθών
- Αισθητήρες μέτρησης φορτίων σε τμήματα της ανεμογεννήτριας
- Σύστημα τηλεμετάδοσης για καταγραφή σημάτων από τα κινούμενα μέρη της ανεμογεννήτριας
- Όργανα μέτρησης θορύβου
- Σύστημα συλλογής δεδομένων
- Λογισμικό εποπτείας του μετρητικού συστήματος που εξασφαλίζει τη μακροχρόνια λειτουργία του χωρίς επιτήρηση



(α)

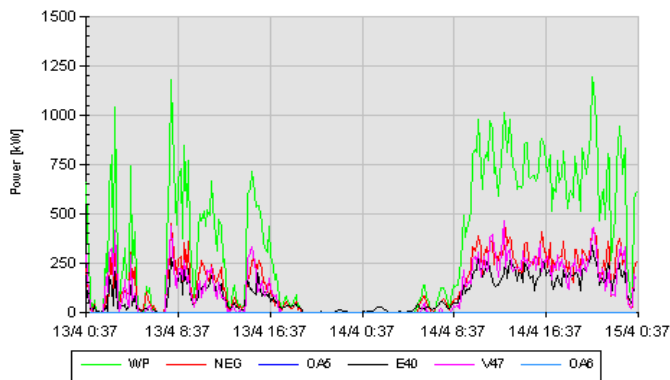


(β)

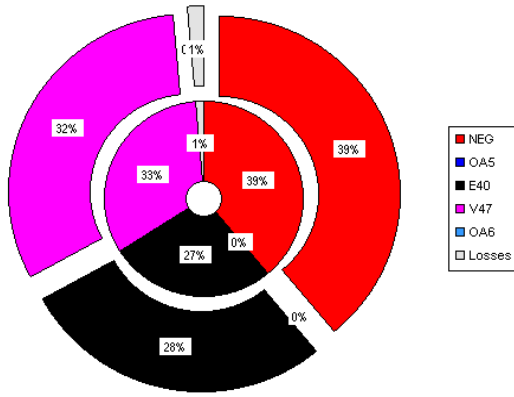


(γ)

Διάγραμμα 1 Διαγράμματα ισχύος (α)EnerconE-40 (β)NEG-Micon 750 (γ)VestasV-47

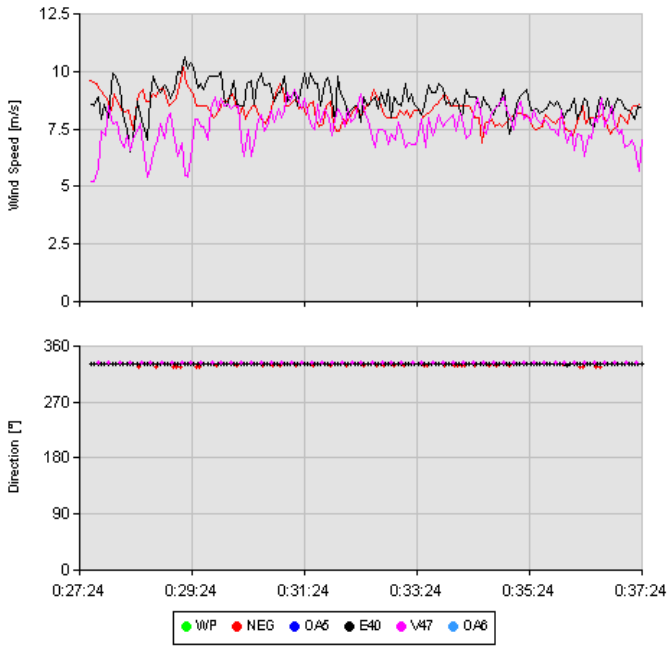


Διάγραμμα 2 Διάγραμμα με την εξέλιξη της ισχύος(KW) του Α/Π, τις τελευταίες 48 ώρες

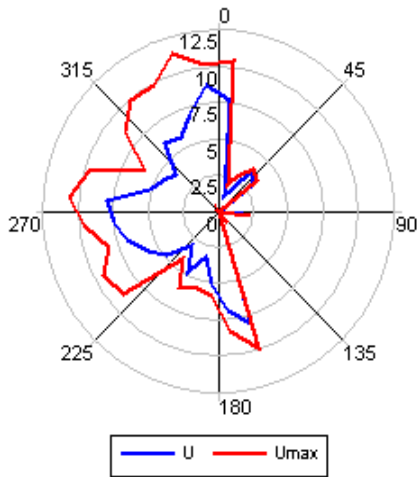


Διάγραμμα 3 Κατανομή της συνολικής παραχθείσης ενέργειας ανά Α/Γ

Εσωτερικός κύκλος: οι τελευταίες 48 ώρες *Εξωτερικός κύκλος:* ο τρέχων μήνας



Διάγραμμα 4 Ταχύτητα ανέμου και προσανατολισμός ανά Α/Γ, τα τελευταία 10 λεπτά



Διάγραμμα 5 Μέση και μέγιστη τιμή της ταχύτητας ανά διεύθυνση(EnerconE-40)

6.10.2 Δοκιμές ελέγχου αντοχής πτερυγίων ανεμογεννητριών

Οι κύριοι στόχοι των εργαστηρίων δοκιμών ελέγχου ανεμογεννητριών είναι οι ακόλουθοι:

- Ανάπτυξη διαδικασιών ελέγχου πτερυγίου ανεμογεννητριών, με βάση τον τύπο της Α/Γ και τις συνθήκες λειτουργίας της.
- Πιστοποίηση πτερυγίων.
- Επιβεβαίωση σχεδιασμού και κατασκευής πτερυγίων
- Βελτιστοποίηση δομικού σχεδιασμού πτερυγίων.
- Ανάπτυξη νέων τεχνικών σχεδιασμού πτερυγίων



Εικόνα 8 Στατική δοκιμή αντοχής πτερυγίου

Το εργαστήριο δοκιμών έχει σχεδιαστεί για τη δοκιμή πτερυγίων ανεμογεννητριών, μήκους έως 25 μ. Οι κύριες δοκιμές που μπορούν να γίνουν είναι οι ακόλουθες:

- Μέτρηση χαρακτηριστικών ιδιοτήτων πτερυγίου
- Μέτρηση κατανομής μάζας πτερυγίου (MassDistribution).
Κατά τη δοκιμή μέτρησης κατανομής μάζας του πτερυγίου μετράται το συνολικό βάρος, η θέση του κέντρου βάρους σε ισομήκη τμήματα του πτερυγίου.
- Ιδιοανυσματική δοκιμή (ModelTesting).
Κατά την ιδιοανυσματική δοκιμή του πτερυγίου γίνεται μέτρηση των ιδιοσυχνοτήτων, ιδιομορφών και των συντελεστών απόσβεσης.
- Στατική δοκιμή δυσκαμψίας (Static Strength Testing).
- Στατική Δοκιμή αντοχής του πτερυγίου σε φορτία που αντιστοιχούν σε ακραίες συνθήκες φόρτισης. Προσδιορίζεται το φορτίο αστοχίας ή και θραύσης καθώς και η μορφή αστοχίας (π.χ. λυγισμός, τοπική θραύση κλπ.).

6.10.3 Βαθμονόμηση ανεμόμετρων

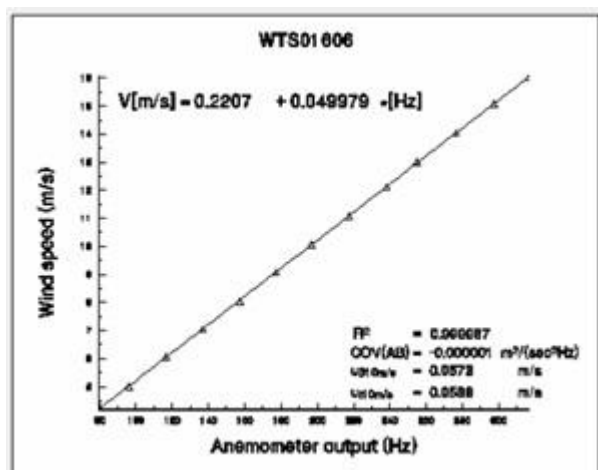
Το ανεμόμετρο κυπέλλων είναι ένα πολύ κρίσιμο εργαλείο στις μετρήσεις αιολικής μηχανικής. Η συστηματική βαθμονόμησή τους (δηλαδή ο προσδιορισμός της σχέσης που συνδέει το σήμα εξόδου του ανεμομέτρου με την πραγματική ταχύτητα του ανέμου) αποτελεί προϋπόθεση για την αξιόπιστη λειτουργία τους.

Το εργαστήριο δοκιμών ανεμογεννητριών εκτελεί βαθμονομήσεις ανεμόμετρων στην αεροσήραγγα ανοικτού κυκλώματος. Η άμεση και συνεχής πρόσβαση στην αεροσήραγγα εξασφαλίζει άμεση απόκριση σε κάθε αίτημα για βαθμονόμηση. Παρέχονται εκθέσεις βαθμονόμησης που πληρούν τις προδιαγραφές του δικτύου εργαστηρίων MEASNET. Το διάστημα βαθμονόμησης είναι 4m/s ως 16 m/s.



Εικόνα 9 Αεροσήραγγα ανοικτού κυκλώματος

Το άνω όριο του διαστήματος βαθμονόμησης μπορεί να επεκταθεί αν αυτό απαιτείται. Η συνολική αβεβαιότητα της βαθμονόμησης είναι μικρότερη από 1% σε ταχύτητα αναφοράς ίση με 10m/s. Το εργαστήριο δοκιμών ανεμογεννητριών συντονίζει και συμμετέχει σε διεργαστηριακές δοκιμές βαθμονόμησης ανεμόμετρων του δικτύου εργαστηρίων MEASNET με στόχο την διασφάλιση της αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων των βαθμονομήσεων. Βαθμονομούνται πάνω από 150 ανεμόμετρα κάθε χρόνο και υπάρχει δυνατότητα για βαθμονομήσεις άνω των 1200 ανεμόμετρων κάθε έτος.

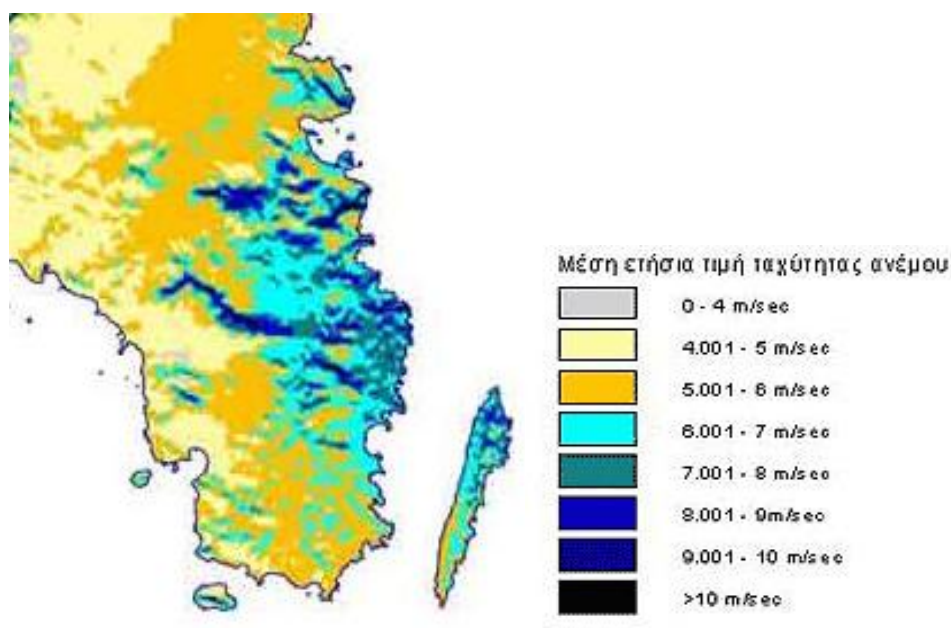


Διάγραμμα 6 Βαθμονόμηση οργάνου

6.10.4 Μέτρηση αιολικού δυναμικού περιοχής

Η μέτρηση του αιολικού δυναμικού είναι το κρίσιμότερο στάδιο στην ανάπτυξη κάθε εφαρμογής της αιολικής ενέργειας. Έχει στόχο τον προσδιορισμό των ανεμολογικών χαρακτηριστικών μια περιοχής υποψήφιας για εγκατάσταση ανεμογεννητριών. Αποτελεί την απαραίτητη προϋπόθεση για τη σωστή επιλογή θέσης ενός αιολικού πάρκου, καθώς και τη βέλτιστη διάταξη των ανεμογεννητριών σε αυτό.

Η μετρήση του αιολικού δυναμικού γίνεται με αυτόνομο σταθμό μέτρησης, ο οποίος καταγράφει την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου για περίοδο ενός έτους. Μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε προκαταρκτική μελέτη (με τη χρήση ιστού 10m και ένα ανεμόμετρο και ανεμοδείκτη), είτε αναλυτική καταγραφή των τοπικών συνθηκών ροής του ανέμου (με ιστούς 30m και/ή ανεμόμετρα υπερήχων). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μπορούν να συνοδευτούν και από πλήρη οικονομοτεχνική μελέτη σκοπιμότητας για την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής.



Εικόνα 10 Χάρτης αιολικού δυναμικού, λόφος Σταυραετού Κερατέας

Ο βασικός εξοπλισμός που χρησιμοποιείται περιλαμβάνει:

- Μετεωρολογικό ιστό εξοπλισμένο με ανεμόμετρο και ανεμοδείκτη
- Μονάδα συλλογής δεδομένων
- Λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων

6.10.5 Κώδικας προσομοίωσης λειτουργίας ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα <<ΑΛΚΥΟΝΗ>>

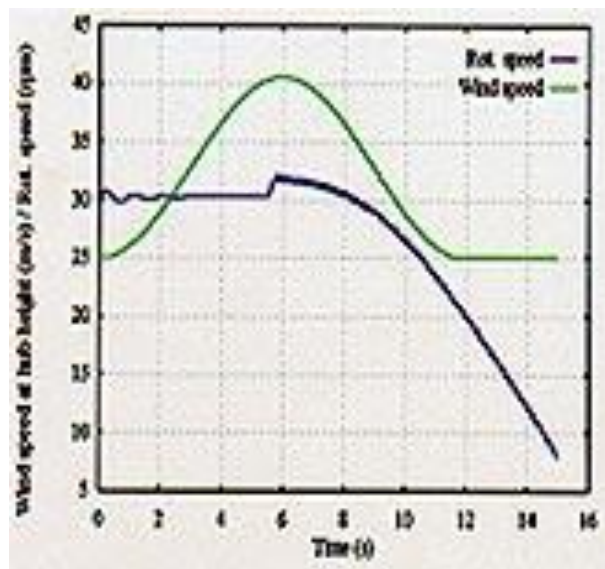
Η δυνατότητα αποτίμησης της ενεργειακής παραγωγής και φόρτισης των ανεμογεννητριών οριζόντιου άξονα (ΑΓΟΑ) με κατάλληλα υπολογιστικά εργαλεία είναι κρίσιμος παράγοντας για το σχεδιασμό, ανάλυση και πιστοποίησή τους.

Το Κ.Α.Π.Ε. σε συνεργασία με τον τομέα ρευστών του ΕΜΠ κατασκεύασε πρόσφατα ένα τέτοιο υπολογιστικό εργαλείο, την ΑΛΚΥΟΝΗ, τα αποτελέσματα του οποίου επαληθεύτηκαν επιτυχώς για διάφορους τύπους ανεμογεννητριών.

Ο αερολαστικός κώδικας ΑΛΚΥΟΝΗ αποτελεί έναν προσομοιωτή φορτίων και ισχύος για Α/Γ οριζόντιου άξονα. Η ανάπτυξη γίνεται στο πεδίο του χρόνου. Το δομικό μέρος της Α/Γ αντιμετωπίζεται με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Το αεροδυναμικό μέρος αντιμετωπίζεται με την κλασική θεωρία προπέλλας που εφαρμόζεται στα επιμέρους τμήματα της πτερωτής.

Το μοντέλο αντιμετωπίζει όλη την Α/Γ ταυτόχρονα (τον πύργο, τον δρομέα και το σύστημα μετάδοσης ισχύος), μπορεί μάλιστα να χρησιμοποιηθεί για την επίλυση του στατικού και δυναμικού προβλήματος φόρτισης καθώς και για την ανάλυση των ιδιοτιμών του συστήματος. Η προσομοίωση της φόρτισης της Α/Γ σε στοχαστικό άνεμο επιτυγχάνεται μέσω συνοδευτικού μοντέλου, το οποίο παράγει

τυπικές χρονοσειρές ταχύτητας ανέμου επί του δίσκου του δρομέα. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται, ως παράδειγμα εφαρμογής, οι χρονοσειρές της καμπτικής ροπής που υπολογίστηκαν στη ρίζα των τριών πτερυγίων μιας Α/Γ 500 kW, σε συνθήκες πέδησης με μεταβλητή υψηλή ταχύτητα ανέμου.



Διάγραμμα 7 Διάγραμμα ροπής σε συνθήκες πέδησης

Η εφαρμογή αυτή απευθύνεται σε:

- κατασκευαστές Α/Γ
- οργανισμούς πιστοποίησης Α/Γ
- ερευνητικά κέντρα και πανεπιστήμια που ασχολούνται με την αιολική ενέργεια

6.10.6 Υπηρεσίες υβριδικού εργαστηρίου ανεμογεννητριών - ντιζελογεννητριών

Η εφαρμογή υβριδικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με ανεμογεννήτριες και ντιζελογεννήτριες (Wind-Diesel Systems) σε απομακρυσμένες περιοχές ή σε μικρά νησιά παρουσιάζει ιδιαιτερότητες, ιδιαίτερα όταν η διείσδυση σε αιολική ισχύ ξεπερνά κάποια όρια. Με σκοπό να μελετηθούν τα θέματα αυτά, έχει αναπτυχθεί εργαστηριακό σύστημα που προσομοιώνει τη λειτουργία ηλεκτρικών δικτύων με παραγωγή ενέργειας από ανεμογεννήτριες και ντιζελογεννήτριες.

Το υβριδικό εργαστήριο ανεμογεννητριών - ντιζελογεννητριών είναι κατάλληλα σχεδιασμένο για να χρησιμοποιείται για την προσομοίωση διαφόρων σεναρίων λειτουργίας και τη μελέτη απόδοσης των υποσυστημάτων του.

Ακόμα σχεδιάζεται η εφαρμογή συστημάτων συσσώρευσης ενέργειας (μπαταρίες) και η εισαγωγή άλλων μορφών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το σύστημα ελέγχου ποιότητας του εργαστηρίου σχεδιάζεται με βάση το EN45001. Το εργαστήριο παρέχει υπηρεσίες σε κάθε ενδιαφερόμενο με αντικείμενο την πραγματοποίηση προσομοιώσεων της λειτουργίας αυτόνομων υβριδικών συστημάτων με τελικό σκοπό το βέλτιστο σχεδιασμό τους.



Εικόνα 11 Υβριδικό σύστημα ενέργειας

Το σύστημα αποτελείται από ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος ονομαστικής ισχύος 45 kW, προσομοιωτή ανεμογεννήτριας 30 kW, πραγματικά φορτία και φορτία απόρριψης, μαζί με συστήματα ελέγχου και συλλογής μετρήσεων. Ο έλεγχος του συστήματος και η καταγραφή των δεδομένων γίνεται μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή. Τα όργανα μέτρησης που περιλαμβάνει είναι μετασχηματιστές τάσεως και εντάσεως, όργανα μέτρησης ροπής και στροφών, αισθητήρια θερμοκρασίας, καθώς και όργανα για τη μέτρηση της στιγμιαίας κατανάλωσης καυσίμου των νηζελογεννητριών.

Οι κύριες δοκιμές οι οποίες πραγματοποιούνται είναι:

- Η ποιότητα της ηλεκτρικής ισχύος
- Η κατανάλωση / εξοικονόμηση καυσίμου
- Η απόδοση του κινητήρα ντήζελ σε διάφορες καταστάσεις λειτουργίας

6.10.7 Μελέτες βέλτιστου σχεδιασμού ένταξης της αιολικής ενέργειας σε τοπικά ηλεκτρικά δίκτυα, με τη χρήση GIS

Σκοπός των μελετών αυτού του είδους, είναι ο βέλτιστος ενεργειακός σχεδιασμός και η οικονομοτεχνική ανάλυση εγκαταστάσεων, διασυνδεδεμένων σε δίκτυο συστημάτων εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας σε τοπικό επίπεδο. Μελέτη σε τοπικό επίπεδο που υποδεικνύει τις βέλτιστες θέσεις για την εγκατάσταση αιολικών πάρκων, καθώς και το μέγεθος και τον τρόπο διασύνδεσης των πάρκων στις θέσεις αυτές, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραμέτρους που υπεισέρχονται, όπως τα γεωγραφικά δεδομένα, οδικό δίκτυο, χρήσεις γης, το αιολικό δυναμικό της υπό μελέτη περιοχής, οικονομικά στοιχεία και τεχνικά στοιχεία δικτύου ΔΕΗ και Α/Γ.

Για το σκοπό αυτό, έχει εκπονηθεί μεθοδολογία βασισμένη σε αλγόριθμους εκτελέσιμους σε περιβάλλον γεωγραφικού συστήματος πληροφοριών (GIS), ώστε να δίνεται η δυνατότητα συνδυασμένης χρήσης των διαφόρων ειδών βάσεων δεδομένων και απεικόνισης της υπό μελέτη περιοχής με όλες τις πληροφορίες που έχουν συλλεχθεί.



Εικόνα 12 Σύστημα πληροφοριών GIS

Η τεχνικο-οικονομική αξιολόγηση επενδύσεων συνίσταται στον προσδιορισμό του επονομαζόμενου "Levelized Electricity Cost", που αποτελεί εκτίμηση του συνολικού κόστους της παραγόμενης από αιολικό σύστημα KWh ανά μονάδα επιφάνειας. Η μεθοδολογία αναπτύχθηκε σε συνεργασία με το Ε.Μ.Π. στα πλαίσια του ευρωπαϊκού ερευνητικού προγράμματος και η αντίστοιχη μελέτη εφαρμογής εκπονήθηκε για την Κρήτη.

Η πλατφόρμα αυτή απευθύνεται σε:

- Οργανισμούς τοπικής αυτοδιοίκησης
- Επενδυτές

ΚΕΦΑΛΑΙΟ VII

Έρευνα αγοράς -Γλωσσάρι όρων -Νομοθεσία

7.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία είκοσι χρόνια που το ενεργειακό πρόβλημα ολοένα και αυξάνεται, πολλές γνωστές εταιρίες στον τομέα του περιβάλλοντος και των βιομηχανικών ηλεκτρονικών, στράφηκαν στην εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας(ΑΠΕ) για την εξοικονόμηση της ενέργειας με φυσικούς τρόπους και την ευρύτερη προστασία του περιβάλλοντος.

Οι εταιρίες αυτές ασχολούνται ως επί το πλείστον με τη βαριά βιομηχανία και γενικότερα με τις βιομηχανικές εφαρμογές και σαν σκόπο έχουν την ανάπτυξη καινούργιων τεχνολογιών που θα διασφαλίσουν ένα καλύτερο μέλλον, πιο οικολογικό με όσο το δυνατόν λιγότερη κατασπατάληση ενέργειας και διατήρησης της ήδη υπάρχουσας.

Τα σημαντικότερα βήματα έχουν γίνει από το εξωτερικό και κυρίως από γερμανικούς οίκους, κατασκευαστικές εταιρίες που είναι πρωτοπόροι στον τομέα της αιολικής ενέργειας και στην κατασκευή ανεμοκινητήρων. Η Ελλάδα θέλοντας να ακολουθήσει τις εξελίξεις στο διεθνή χώρο έκανε τα πρώτα της βήματα στο χώρο της αιολικής ενέργειας μέσω της ΠΥΡΚΑΛ κατασκευάζοντας ορισμένα μοντέλα ανεμογεννητριών που ακολουθούν την φιλοσοφία των ξένων κατασκευαστών.

Στις επόμενες σελίδες που ακολουθούν αναφέρονται τα βασικότερα μοντέλα και τα τεχνικά χαρακτηριστικά ανεμογεννητριών από οίκους του εξωτερικού που έχουν επικρατήσει τόσο στην Ελλάδα όσο και στις υπόλοιπες χώρες. Συνοπτικά οι σημαντικότεροι κατασκευαστές στην αγορά της αιολικής ενέργειας είναι οι εξής:





E-44 - 900Kw

Έχει σχεδιαστεί για τη διεθνή αγορά και για αρκετά δυνατούς ανέμους, Το μοντέλο E-44 θέτει νέα πρότυπα στις ανεμογεννήτριες μέσης ισχύος. Όπως και τα υπόλοιπα προϊόντα της Enercon έτσι και η E-44 είναι εφοδιασμένη με την τελευταία λέξη της τεχνολογίας σχεδιαστικά, με νεό ρότορα και πτερύγια υψηλότερης αντοχής. Η ισχύς που αποδίδει είναι της τάξεως των 900Kw.

Μοντέλο:	Άνοιξη 2006
Ισχύς:	900 Kw
Διάμετρος ρότορα:	44 m
Ύψος πύργου:	55 m
Κλάση (IEC):	IEC/NVN I A
Γεννήτρια:	κιβώτιο ταχυτήτων, μεταβλητή ταχύτητα, μεταβλητός έλεγχος βήματος έλικας
Ρότορας	
Τύπος:	κατευθυνόμενος στον άνεμο
Διεύθυνση περιστροφής:	δεξιόστροφα
Αριθμός λεπίδιων:	3
Κάτοψη:	1,521 m ²



Υλικό:	Fibreglass, με ολοκληρωμένη αντικεραυνική προστασία
Ταχύτητα περιστροφής:	Μεταβλητή, 12 - 34 rpm
Έλεγχος γραναζιών:	Σύστημα της Enercon, με ένα ανεξάρτητο γραναζοσύστημα στο ρότορα και σύστημα επείγουσας πέδησης



Κουβούκλιο

Υλικό:	άκαμπτο
Βασικός προσανατολισμός:	κυλινδρική περιστρεφόμενη ράβδος
Γεννήτρια:	ENERCON σύγχρονη δακτυλιοειδής γεννήτρια
Ηλεκτρικό δίκτυο ισχύος:	ENERCON μετατροπέας τάσης
Σύστημα πέδησης:	- 3 ανεξάρτητα γραναζοσυστήματα με σύστημα επείγουσας πέδησης - φρένο στο ρότορα - κλειδίωμα ρότορα
Έλεγχος κίνησης:	Ενεργός, μέσω ρυθμιστή ταχύτητας
Ταχύτητα ανέμου αποκοπής:	28 - 34 m/s
Τρόπος παρακολούθησης:	ENERCON SCADA



E-70 - 2.3Mw

Με την ανεμογεννήτρια E-70 συνεχίζεται η διαχρονική φήμη για αξιοπιστία για τάξεις μεγέθους των 2Mw. Είναι ιδανική για περιοχές με πολύ υψηλές ταχύτητες ανέμων και η ισχύς της είναι 2,3Mw. Ο πύργος είναι κατασκευασμένος από συμπαγές ατσάλι και έρχεται προκατασκευασμένος σε τρία τμήματα. Είναι σχεδιασμένη για να διασφαλίσει μέγιστη απόδοση και μέγιστη παραγωγή ισχύος.

Ισχύς:	2,300 kW
Διάμετρος ρότορα:	71 m
Ύψος πύργου:	58 - 113 m
Κλάση (IEC):	IEC/NVN I
Γεννήτρια:	κιβώτιο ταχυτήτων, μεταβλητή ταχύτητα, μεταβλητός έλεγχος βήματος έλικας
Ρότορας	
Τύπος:	κατευθυνόμενος στον άνεμο
Διεύθυνση περιστροφής:	δεξιόστροφα
Αριθμός λεπιδίων:	3
Κάτοψη:	3,959 m ²
Υλικό:	Fibreglass, με ολοκληρωμένη αντικεραυνική προστασία
Ταχύτητα περιστροφής:	Μεταβλητή, 6 - 21.5 rpm
Έλεγχος γραναζιών:	Σύστημα της Epercon, με ένα ανεξάρτητο γραναζοσύστημα στο ρότορα και σύστημα επείγουσας πέδησης
Κουβούκλιο	
Υλικό:	άκαμπτο
Βασικός προσανατολισμός:	κυλινδρική περιστρεφόμενη ράβδος
Γεννήτρια:	ENERCON σύγχρονη δακτυλιοειδής γεννήτρια



Ηλεκτρικό δίκτυο ισχύος:	ENERCON μετατροπέας τάσης
Σύστημα πέδησης:	- 3 ανεξάρτητα γρναζοσυστήματα με σύστημα επείγουσας πέδησης - φρένο στο ρότορα - κλείδωμα ρότορα
Έλεγχος κίνησης:	Ενεργός, μέσω ρυθμιστή ταχύτητας
Ταχύτητα ανέμου αποκοπής:	28 - 34 m/s
Τρόπος παρακολούθησης:	ENERCON SCADA



V80 - 2.0 Mw

Ρότορας

Διάμετρος:	80 m
Εμβαδόν:	5,027 m ²
Ταχύτητα περιστροφής:	16,7 rpm
Λειτουργική ταχύτητα:	9-19 rpm
	3
Αριθμός πτερυγίων	
Ελεγκτής ισχύος:	OptiSpeed
Φρένα:	3 υδραυλικά ανεξάρτητα δισκόφρενα

Πύργος

Ύψος πύργου:	60 -67 -78 - 85 - 100 m
--------------	-------------------------

Λειτουργικά δεδομένα

Ταχύτητα έναρξης:	4 m/s
Ταχύτητα αποκοπής:	25 m/s

Κανονική ταχύτητα: 15 m/s

Γεννήτρια

Τύπος:

Ασύγχρονη με σύστημα OptiSpeed

Ισχύς:

2,000 Kw

Τάσης

690 V

Συχνότητα:

50Hz/60Hz

Κιβώτιο ταχυτήτων

Τύπος:

Επίπεδων/παράλληλων τροχών

Έλεγχος

Τύπος:

Μικροεπεξεργαστής σε συνεργασία με το σύστημα

OptiSpeed για online απεικόνιση όλων των ηλεκτρικών παραμέτρων

Βάρος

Θαλάμου:

67 t

Ρότορα:

37 t

Πύργος

Ύψος:

60m - 105 t

67m - 125 t

78m - 170 t

85m - 185 t

100m - 200 t



V120 - 4.5 Mw

Ρότορας

Διάμετρος:	120 m
Εμβαδόν:	11,310 m^2
Ταχύτητα περιστροφής:	12,4 rpm
Λειτουργική ταχύτητα:	9,9-14,9 rpm
Αριθμός πτερυγίων:	3
Ελεγκτής ισχύος:	OptiSpeed
Φρένα:	3 υδραυλικά ανεξάρτητα δισκόφρενα

Πύργος

Ύψος πύργου:	60 -67 -78 - 85 - 100 m
--------------	-------------------------

Λειτουργικά δεδομένα

Ταχύτητα έναρξης:	4 m/s
Ταχύτητα αποκοπής:	25 m/s
Κανονική ταχύτητα:	12 m/s

Γεννήτρια

Τύπος

Ισχύς:	4,500 Kw
Τάσης	6000 V
	Ασύγχρονη με σύστημα OptiSpeed

Συχνότητα	50Hz
Κιβώτιο ταχυτήτων	
Τύπος:	Επίπεδων/παράλληλων τροχών
Έλεγχος	
Τύπος:	Μικροεπεξεργαστής σε συνεργασία με το σύστημα OrbiSpeed για online απεικόνιση όλων των ηλεκτρικών παραμέτρων
Βάρος	
Θαλάμου:	145 t
	75 t
Ρότορα	
Πύργος	
Ύψος:	60m - 140 t 67m - 160 t 78m - 205 t 85m - 220 t 100m - 235 t



Nordex N60 - 1.3Mw

Ρότορας

Αριθμός λεπίδων:	3
Ταχύτητα περιστροφής:	12,8/19,2 rpm
Διάμετρος:	60m
Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας:	3-4 m/s
Ταχύτητα παύσης λειτουργίας:	25 m/s
Βάρος:	21,500 Kg

Έλικα

Μήκος λεπίδων:	29 m
Υλικό:	GRP
Βάρος:	5000 Kg

Κιβώτιο ταχυτήτων

Τύπος:	3 επιπέδων ταχύτητας
Λόγος:	50Hz 1/78,3 60Hz 1/94,4
Βάρος:	10,900 Kg
Ποσότητα λαδιού:	280 L
Αλλαγή λαδιού:	κάθε 6 μήνες

Γεννήτρια

Ισχύς:	250/1,300 Kw
Τάση:	690 V
Τύπος:	Ασύγχρονη 6/4 πόλων, υδρόψυκτη
Ταχύτητα περιστροφής:	50Hz 1000/1500 rpm 60Hz 1200/1800 rpm

Κλάση:	IP 54
Βάρος:	5,500 Kg

Σύστημα περιστροφής

Προσανατολισμός:	κυκλική κίνηση
Φρένα:	δισκόφρενο
Οδηγός περιστροφής:	3 ασύγχρονα μοτέρ με ενσωματωμένα φρένα
Ταχύτητα περιστροφής:	<0,6 m/s

Σύστημα ελέγχου

Τύπος:	PLC, Remote Field Controller(RFC)
Τροφοδοσία:	με Thyristor
Απεικόνιση δεδομένων:	Επίβλεψη 300 διαφορετικών παραμέτρων, με αισθητήρες θερμοκρασίας, ανέμου, υδραυλικούς
Οπτική απεικόνιση:	Panel-PC με πίνακα ελέγχου μαζί με το απαραίτητο λογισμικό

Φρένα

Σχεδίαση:	Δύο ανεξάρτητα συστήματα πέδησης
Τύπος:	Υδραυλικά δισκόφρενα

Πύργος

Τύπος:	σκληνοειδής ατσάλινος, γαλβνισμένος με εποξική επίστρωση
Διαθέσιμα ύψη:	Σκληνοειδής πύργος 46m πιστοποίησης GL 1
	Σκληνοειδής πύργος 60m πιστοποίησης GL 1, DIBt 3
	Σκληνοειδής πύργος 69m πιστοποίησης DIBt 3
	Σκληνοειδής πύργος 85m πιστοποίησης DIBt 2
	Δικτυωτός πύργος 65m κατόπιν παραγγελίας
	Δικτυωτός πύργος 69m κατόπιν παραγγελίας



Nordex N80 - 2,5Mw

Ρότορας

Αριθμός λεπίδιων:	3
Ταχύτητα περιστροφής:	10,9 - 19,1 rpm
Διάμετρος:	80m
Ταχύτητα έναρξης λειτουργίας:	3 m/s
Ταχύτητα παύσης λειτουργίας:	25 m/s
Βάρος:	50,000 Kg

Έλικα

Μήκος λεπίδιων:	38,8 m
Υλικό:	GRP
Βάρος:	8700 Kg

Κιβώτιο ταχυτήτων

Τύπος:	3 επιπέδων ταχύτητας, επίπεδων γραναζιών
Λόγος:	1/68,1
Βάρος:	18,500 Kg
Ποσότητα λαδιού:	360 L
Αλλαγή λαδιού:	κάθε 6 μήνες

Γεννήτρια

Ισχύς:	2500 Kw
Τάση:	660 V
Τύπος:	Ασύγχρονη 6/4 πόλων, υδρόψυκτη
Ταχύτητα περιστροφής:	740 - 1310 rpm

Κλάση:	IP 54
Βάρος:	12,000 Kg

Σύστημα περιστροφής

Προσανατολισμός:	κυκλική κίνηση
Φρένα:	δισκόφρενο
Οδηγός περιστροφής:	2 ασύγχρονα μοτέρ με ενσωματωμένα φρένα
Ταχύτητα περιστροφής:	<0,5 m/s

Σύστημα ελέγχου

Τύπος:	PLC, Remote Field Controller(RFC)
Τροφοδοσία:	IGBT μετατροπέας
Απεικόνιση δεδομένων:	Επίβλεψη 300 διαφορετικών παραμέτρων, με αισθητήρες θερμοκρασίας, ανέμου, υδραυλικούς
Οπτική απεικόνιση:	Panel-PC με πίνακα ελέγχου μαζί με το απαραίτητο λογισμικό

Φρένα

Σχεδίαση:	Τρία ανεξάρτητα συστήματα πέδησης
Τύπος:	Υδραυλικά δισκόφρενα

Πύργος

Τύπος:	σωληνοειδής ατσάλινος, γαλβνισμένος με εποξική επίστρωση
Διαθέσιμα ύψη:	Σωληνοειδής πύργος 60m, πιστοποίησης IEC 1a, DIBt 3
	Σωληνοειδής πύργος 80m, πιστοποίησης IEC 1a, NVN 1a, DIBt 3
	Σωληνοειδής πύργος 90m, πιστοποίησης IEC 1a, NVN 1a, DIBt 3



SWT - 2.3Mw - 82

Ρότορας

Τύπος:	3 πτερύγια
Θέση:	κάθετη στον άνεμο
Διάμετρος:	82,4 m
Ταχύτητα περιστροφής:	17/11 rpm

Πτερύγια

Μήκος:	40 m
Αιχμή:	0.80 m
Αεροδυναμική:	NACA 63.xxx, FFAxxx
Υλικό:	GRE

Κιβώτιο Ταχυτήτων

Τύπος:	3 επιπέδων, επίπεδων γκρανζίων
Συμπίεση:	1/91
Ποσότητα λαδιού:	400 L
Αερισμός:	Υδρόψυκτο

Φρένα

Τύπος:	δισκόφρενα ασφαλείας
Αριθμός:	2 δισκόφρενα

Γεννήτρια

Τύπος:	Ασύγχρονη
Ισχύς:	2300/400 Kw
Σύγχρονη ταχύτητα:	1500/1000 rpm
Τάση:	690 V
Συχνότητα:	50Hz
Προστασία:	IP 54

Σύστημα περιστροφής

Τύπος:	Ενεργό
Οδηγός περιστροφής:	8 μοτέρ ηλεκτρικά

Ελεγκτές

Τύπος:	Μικροεπεξεργαστής
SCADA:	WPS Modem

Πύργος

Τύπος:	Κυλινδρικός, σωληνοειδές
Ύψος:	60 m ή 80 m
Προστασία διάβρωσης:	Βαφή

Λειτουργικά δεδομένα

Ταχύτητα έναρξης:	4 m/s
Ταχύτητα αποκοπής:	25 m/s
Κανονική ταχύτητα:	13-14 m/s

Βάρος

Ρότορα:	54 t
Θαλάμου:	82 t

Πύργου (60 m):	98 t
Πύργου (80m):	158 t



SWT - 3.6Mw - 107

Ρότορας

Τύπος:	3 πτερύγια
Θέση:	κάθετη στον άνεμο
Διάμετρος:	107 m
Ταχύτητα περιστροφής:	5-13 rpm

Πτερύγια

Μήκος:	52 m
Αιχμή:	1,0 m
Αεροδυναμική:	NACA 63.xxx, FFAxxx
Υλικό:	GRE

Κιβώτιο Ταχυτήτων

Τύπος:	3 επιπέδων, επίπεδων γκρανζίων
Συμπίεση:	1/119
Ποσότητα λαδιού:	750 L
Αερισμός:	Υδρόψυκτο

Φρένα

Τύπος:	δισκόφρενα ασφαλείας
Αριθμός:	2 δισκόφρενα

Γεννήτρια

Τύπος:	Ασύγχρονη
Ισχύς:	3600 Kw
Σύγχρονη ταχύτητα:	1500 rpm
Τάση:	690 V
Συχνότητα:	Μεταβλητή
Προστασία:	IP 54

Σύστημα περιστροφής

Τύπος:	Ενεργό
Οδηγός περιστροφής:	6 μοτέρ ηλεκτρικά

Ελεγκτές

Τύπος:	Μικροεπεξεργαστής
SCADA:	WebWPS

Πύργος

Τύπος:	Κυλινδρικός, σωληνοειδές
Ύψος:	80 m ή 100 m
Προστασία διάβρωσης:	Βαφή

Λειτουργικά δεδομένα

Ταχύτητα έναρξης:	3 m/s
Ταχύτητα αποκοπής:	25 m/s
Κανονική ταχύτητα:	12-14 m/s

Βάρος

Ρότορα:	95 †
Θαλάμου:	125 †
Πύργου (80 m):	250 †
Πύργου (100m):	350 †



Ανεμογεννήτριες Whisper (χαμηλής ισχύος)

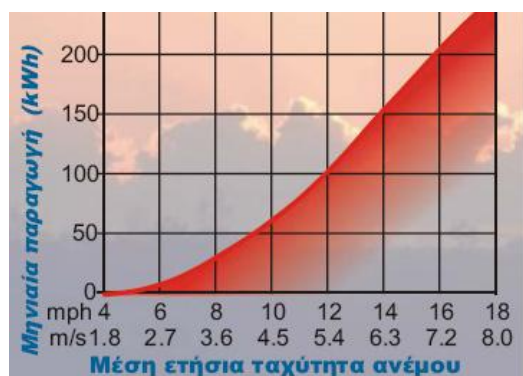
Τύπος		Ampair		Southwest Windpower		
		Pacific 100	AIR - X - 400	Whisper H-40	Whisper H-80	Whisper H-175
Μέγιστη ισχύς	W	100	400	900	1000	3000
Ονομαστική τάση	V	12 V / 24 V				
Διαρκείς ισχύς (12,5 m/s)	W	100	400	900	1000	3000
Διάμετρο	m	0,9	1,14	2,1	3	5
Ταχύτητα εκκίνησης	m/sec	3,5	2,7	3,4	3,1	3,1
Βάρος	kg	11	6	21	30	30
Ρυθμιστής φόρτισης		εξωτερικό	ενσωματωμένο		εξωτερικό	
Εγγύηση	έτη	2	2	2	2	2

Πίνακας χαρακτηριστικών

Pacific 100:

Αυτή η ανεμογεννήτρια δημιουργήθηκε να αντέχει ακόμα και τις πιο σκληρές συνθήκες στον ναυτιλιακό τομέα και εγκαθίσταται ως επί το πλείστον σε σκάφη αναψυχής. Η γεννήτρια αποδίδει μέχρι 100W και καθιστά δυνατή ακόμα και τη φόρτιση τελείως άδειων συσσωρευτών. Μια υπερθέρμανση της γεννήτριας αποκλείεται ακόμα και σε ιδιαίτερη καταπόνηση. Ένας εξωτερικός ρυθμιστή

φόρτισης αναλαμβάνει τη σωστή φόρτιση των συσσωρευτών.



Air-X:

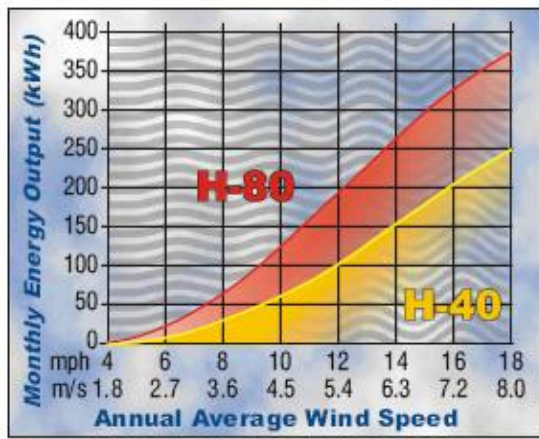
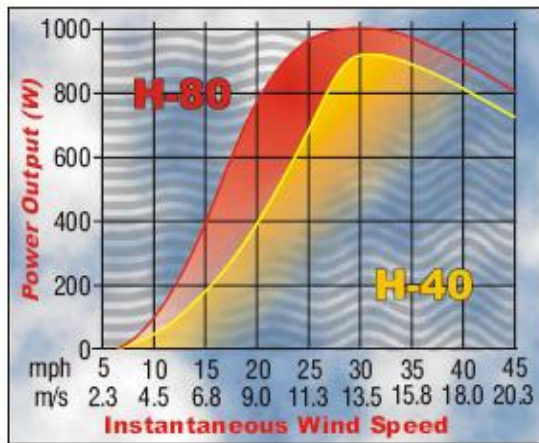
Οι μηχανές Air-X υπάρχουν σε δύο εκδόσεις: σάνταρντ και ναυτιλιακή. Ο ρότορας είναι κατασκευασμένος από υαλόνημα και το περίβλημα από αλουμίνιο. Τα ανταλλακτικά όπως ο ρότορας, η γεννήτρια κτλ. είναι διαθέσιμα. Ο ευφυής ρυθμιστής δεν επιτρέπει μια υπερφόρτιση του συσσωρευτή μέσω μιας ταυτόχρονης μείωσης του αριθμού στροφών και μειώνει έτσι τη δημιουργία θορύβου (auto-break-feature). Χωρίς σύνδεση συσσωρευτή (συντήρηση) πρέπει να βραχυκυκλωθεί ο αρνητικός και ο θετικός πόλος της ανεμογεννήτριας.

WhisperH40:

Η ανεμογεννήτρια H-40 δημιουργήθηκε για τη χρήση σε περιοχές με μεσαίες ή υψηλές ταχύτητες ανέμου: από 5,4 m/s και υψηλότερες. Σε μια ταχύτητα ανέμου 5,4 m/s αυτή η μηχανή αποδίδει πάνω από 100 kWh το μήνα, που αντιστοιχεί σε μια ημερήσια απόδοση περίπου 3,4 kWh. Η διάμετρος του ρότορα της ανέρχεται στα 2,1 m και ενδείκνυται για ακραίες συνθήκες.

WhisperH80:

Η ανεμογεννήτρια H-80 δημιουργήθηκε για τη χρήση σε μέτριες ταχύτητες ανέμων. Ως ο «μεγαλύτερος αδερφός» της H-40, η H-80 με διάμετρο ρότορα 3,1 m έχει σε ανέμους ταχύτητας 5,4 m/s περίπου τη διπλή απόδοση. Στην κατηγορία της και σε σχέση με στροβίλους άλλων κατασκευαστών αυτή η μηχανή διακρίνεται για τις υψηλότερες αποδόσεις ενέργειας. Σε μια μέση ταχύτητα ανέμου των 5,4m/s η H-80 αποδίδει ενέργεια περίπου 6,3 kWh την ημέρα.



helix turbine

specs s322

- * Swept Area - 3.19m² (34.33 ft²)
- * Rotor Dimensions - 1.21m W x 2.65m H
(4 ft X 8.66 ft)
- * Overall Height - 3.3m (10.8')
- * Rotor Construction - Ultra tough Aluminum Alloy
- * Type - Vertical axis helical Savonius rotor (VAWT)
- * Generator - 2.0 kW (peak) high efficiency Permanent Magnet Generator
- * Cut-in Speed - 5 m/s (11.1 MPH)
 - » The lowest wind speed at which the turbine begins producing usable power.
- * Optimal Annual Wind Speed - An average of 7 m/s (15.6 MPH) or greater
- * Braking - No braking needed for normal operation. Manual override for maintenance.
- * Grid Connection - 110 VAC - 240 VAC, 50-60 Hz Grid Tied Inverter.
- * Weight - 135 kg (295 lb)
- * Design Life - 30 years
- * Monopole Tower - 4.5m to 6.0m (15 ft to 20 ft) depending on obstructions
- * Warranty - 5 year Limited Warranty.
- * Monopole - NOT INCLUDED
- * Certifications - Current List

Other Details

- * Unique patent pending design.
- * Rugged aluminum and steel construction for extreme environments
- * Modular, 3D blade for easy assembly and toughness.
- * Helical turbine for smooth power production.

- * Ultra reliable Low RPM Permanent magnet generator.
- * Design gives silent operation at less than 5 decibels above background noise.
- * Completely safe for our friends, the birds and bats.
- * Utilizes turbulent omni-directional air instantly, no yaw control required.



HELIX

SPECS S594

- * Swept Area - 5.88m² (63.29 ft²)
- * Rotor Dimensions - 1.21m W x 4.87m H
(4ft x 16ft)
- * Overall Height - 6.0m (19.8')
- * Rotor Construction - Ultra tough Aluminum Alloy
- * Type - Vertical axis helical Savonius rotor (VAWT)
- * Generator - 4.5 kW (peak) high efficiency Permanent Magnet Generator

- * Cut-in Speed - 5 m/s (11.1 MPH)
 - » The lowest wind speed at which the turbine begins producing usable power.
- * Optimal Annual Wind Speed - An average of 7 m/s (15.6 MPH) or greater
- * Braking - No braking needed for normal operation. Manual override for maintenance.
- * Grid Connection - 110 VAC - 240 VAC, 50-60 Hz Grid Tied Inverter.
- * Tower - Recommended 4.57m (15 ft) depending on obstructions.
- * Weight - 605 kg (1330 lb)
- * Design Life - 30 years
- * Monopole Tower - 4.5m to 6.0m (15 ft to 20 ft) depending on obstructions
- * Warranty - 5 year Limited Warranty.
- * Monopole - NOT INCLUDED
- * Certifications - Current List

Other Details

- * Unique patent pending design.
- * Rugged aluminum and steel construction for extreme environments
- * Modular, 3D blade for easy assembly and toughness.
- * Helical turbine for smooth power production.
- * Ultra reliable Low RPM Permanent magnet generator.
- * Design gives silent operation at less than 5 decibels above background noise.
- * Completely safe for our friends, the birds and bats.
- * Utilizes turbulent omni-directional air instantly, no yaw control required.

7.2 Γλωσσάρι όρων

Άδεια: Η άδεια που εκδίδεται σύμφωνα με το άρθρο 34 του Νόμου.

Άεργος Ισχύς: Το γινόμενο της τάσης, του ρεύματος και του ημιτόνου της φασικής γωνίας μεταξύ τους, εκφρασμένο σε μονάδες VA_r και στα τυποποιημένα πολλαπλάσια του.

Ανανεώσιμη Πηγή Ενέργειας (ΑΠΕ): Όπως ορίζεται στο άρθρο 2 του Νόμου.

Απομακρυσμένες Εγκαταστάσεις Μεταφοράς: Οποιοσδήποτε εγκαταστάσεις και μηχανήματά μετρητές που ανήκουν στον ιδιοκτήτη συστήματος μεταφοράς.

Αποσύνδεση: Ο φυσικός διαχωρισμός των χρηστών (ή των πελατών) από το σύστημα μεταφοράς ή από το σύστημα χρήστη, ανάλογα με την περίπτωση.

Αυτόματη Αποσύνδεση Ξορτίου Από Υπέρταση: Η αυτόματη αποσύνδεση των πελατών ζήτησης όταν η τιμή της τάσης αυξάνεται ή ο ρυθμός αύξησης της τάσης έχει υπερβεί τα αποδεκτά όρια.

Γείωση: Τρόπος εξασφάλισης μίας σύνδεσης μεταξύ αγωγών και γης μέσω συσκευής Γείωσης.

Διαγράμματα Λειτουργίας: Διαγράμματα που αποτελούν μία σχηματική αναπαράσταση των μηχανημάτων Υψηλής ή Μέσης Τάσης ανάλογα με την περίπτωση και των συνδέσεων όλων των εξωτερικών κυκλωμάτων σε ένα χώρο σύνδεσης.

Διακίνηση Ισχύος: Όπως ορίζεται στους κανόνες αγοράς ηλεκτρισμού.

Διαχειριστής Συστήματος Διανομής: Η αρχή ηλεκτρισμού, η οποία αποτελεί τον Ιδιοκτήτη συστήματος διανομής και λειτουργώντας ως διαχειριστής συστήματος διανομής, είναι υπεύθυνη μεταξύ των άλλων για το σχεδιασμό, την ανάπτυξη, τη λειτουργία και τη συντήρηση του συστήματος διανομής.

Εγκαταστάσεις: Σταθερές και κινητές συσκευές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή και/ή την παροχή και/ή τη μεταφορά ηλεκτρισμού, εκτός από τα Μηχανήματα.

Ελάχιστη Παραγωγή: Η ελάχιστη ενεργός ισχύς εξόδου μονάδας (MW) που μπορεί να παράγει μία μονάδα παραγωγής συνεχώς, όπως έχει καταχωρηθεί από το διαχειριστή συστήματος μεταφοράς.

Ενεργός Ισχύς: Το γινόμενο της τάσεως και της ομοφασικής συνιστώσας του εναλλασσομένου ρεύματος, μετρούμενο σε μονάδες Watt ή τα τυποποιημένα πολλαπλάσια.

Ενεργός Ισχύς Εξόδου Μονάδας (MW): Η ενεργός ισχύς που παράγεται από μία μονάδα παραγωγής και δεν περιλαμβάνει την ισχύ τροφοδότησης του βοηθητικού φορτίου μονάδας παραγωγής.

Ηλεκτρικό Σύστημα: Το σύστημα μεταφοράς, το σύστημα διανομής και όλα τα συστήματα χρηστών.

Κανόνες Αγοράς Ηλεκτρισμού: Οι κανόνες που διέπουν την εμπορική λειτουργία της αγοράς και δημοσιεύονται από το διαχειριστή συστήματος μεταφοράς σύμφωνα με το άρθρο 79 του Νόμου.

Κατανεμόμενες Μονάδες Παραγωγής (ΚΜΠ): Μία μονάδα παραγωγής η οποία υπόκειται κανονικά στις εντολές κατανομής του διαχειριστή συστήματος μεταφοράς.

Κέντρο Ελέγχου Ενέργειας: Το κέντρο ελέγχου ενέργειας του διαχειριστή συστήματος μεταφοράς, όπως γνωστοποιείται από το διαχειριστή συστήματος μεταφοράς στους χρήστες σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Λειτουργία: Μία προγραμματισμένη ή σχεδιασμένη ενέργεια η οποία σχετίζεται με τη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς, του συστήματος διανομής ή του συστήματος χρήση σε κανονικές συνθήκες ή καταστάσεις εκτάκτου ανάγκης.

Λειτουργικά Χαρακτηριστικά: Οι τεχνικές δυνατότητες, η προσαρμοστικότητα και οι περιορισμοί για τη λειτουργία μίας μονάδας παραγωγής όπως καταχωρούνται ή δηλώνονται, σύμφωνα με τους

όρους των κανόνων συστήματος μεταφοράς.

Μεγάλοι Καταναλωτές: Συμμετέχοντες στην αγορά από την πλευρά της ζήτησης που έχουν μέγιστη ζήτηση (αιχμή διακίνησης ισχύος) μεγαλύτερη ή ίση με 10 MW σε ένα μετρητή διακίνησης ενέργειας.

Μέγιστη Αναμενόμενη Διακίνηση Ισχύος: Όπως ορίζεται στους κανόνες αγοράς ηλεκτρισμού.

Μέση Τάση ή ΜΤ: Η τάση που χρησιμοποιείται για την παροχή ηλεκτρισμού και η ονομαστική τιμή ρίζας μέσου τετραγώνου της ευρίσκεται μεταξύ των 1000 V και των 36 kV. Προς το παρόν, η

Μέση Τάση που λειτουργεί ευρίσκεται στα 11 kV και 22 kV (ονομαστική τιμή).

Μετασχηματιστής Μονάδας Παραγωγής: Ο μετασχηματιστής του οποίου η πρωταρχική λειτουργία είναι να παρέχει διασύνδεση μεταξύ της μονάδας παραγωγής και του δικτύου και να μετασχηματίζει την τάση της μονάδας παραγωγής στην τάση του δικτύου.

Μετασχηματιστής που Συνδέεται στο Σύστημα Μεταφοράς: Οποιοσδήποτε μετασχηματιστής συνδέεται άμεσα στο Σύστημα Μεταφοράς.

Μετρητής: Η συσκευή για τη μέτρηση και καταγραφή των μονάδων ηλεκτρικής ενέργειας.

Μετρητικές Διατάξεις: Μετρητές, χρονοδιακόπτες, μετασχηματιστές μετρήσεων (περιλαμβανομένων και διευθετήσεων για αθροιστικό συνδυασμό), εξοπλισμός για την προστασία και απομόνωση μετρήσεων, στοιχεία των κυκλωμάτων και ο σχετικός εξοπλισμός και καλωδιώσεις για την αποθήκευση δεδομένων και την επικοινωνία δεδομένων, τα οποία είναι μέρος του εξοπλισμού μέτρησης ενεργού ισχύος και άεργου ισχύος που σχετίζονται με ένα Χώρο Εγκατάστασης.

Μη Αδειοδοτημένος Σταθμός Παραγωγής Πολύ Μικρής Ισχύος: Ένας (μη κατανεμόμενος) σταθμός παραγωγής με καταχωρημένη ικανότητα μικρότερη ή ίση με 1 MW ή, στην περίπτωση των σταθμών ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, με καταχωρημένη ικανότητα μικρότερη ή ίση με 5 MW.

Μονάδα Παραγωγής: Εάν δεν καθορίζεται διαφορετικά στους κανόνες μεταφοράς και διανομής, πρόκειται για κάθε μηχανήμα το οποίο παράγει ηλεκτρισμό, συμπεριλαμβάνοντας, για την αποφυγή αμφιβολιών, μία μονάδα παραγωγής της ΑΗΚ.

Παραγωγή: Η διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με μετατροπή από άλλες μορφές ενέργειας. Η ποσότητα ενέργειας που παράγεται, συνήθως μετράται σε MWh.

Παραγωγοί Μικρής Ισχύος: Παραγωγοί που λειτουργούν αδειοδοτημένους ή μη αδειοδοτημένους σταθμούς παραγωγής πολύ μικρής ισχύος και παραγωγοί που λειτουργούν σταθμούς παραγωγής μικρής ισχύος, για τους οποίους ο διαχειριστής συστήματος μεταφοράς θεωρεί ότι ο παραγωγός ευρίσκεται σε τοποθεσία η οποία δεν κάνει τη λειτουργία του ιδιαίτερα κρίσιμη για τη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς.

Παραγωγός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Παραγωγός που λειτουργεί μονάδες παραγωγής οι οποίες παράγουν ενέργεια από ανανεώσιμη μορφή ενέργειας.

Περιφερειακά Κέντρα Ελέγχου: Οι εγκαταστάσεις χειρισμών που χρησιμοποιούνται από το διαχειριστή συστήματος διανομής για την παρακολούθηση και τον έλεγχο ενός τμήματος (συγκεκριμένης περιοχής ευθύνης) του συστήματος διανομής, όπως γνωστοποιείται από το διαχειριστή συστήματος διανομής στο διαχειριστή συστήματος μεταφοράς και τους χρήστες σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Ποιότητα Ισχύος: Οι επιθυμητές καταστάσεις της ποιότητας ισχύος παροχής και της μεταβολής της ποιότητας ισχύος που αναμένονται στα σημεία σύνδεσης.

Προειδοποίηση Έλλειψης Επάρκειας Ικανότητας Παραγωγής: Προειδοποίηση που εκδίδεται από το διαχειριστή συστήματος μεταφοράς όταν εκτιμά, βασιζόμενος στις προβλέψεις της διαθεσιμότητας και της ζήτησης, ότι δεν υπάρχει επαρκής ικανότητα παραγωγής για να καλύψει την αιχμή της ζήτησης.

Προστασία: Οι διατάξεις για την ανίχνευση των μη ομαλών καταστάσεων λειτουργίας του

συστήματος μεταφοράς, του συστήματος διανομής ή του συστήματος χρήστη, που προκαλούν εκκαθάριση σφαλμάτων ή ενεργοποίηση σημάτων ή ενδείξεων.

Ρύθμιση Συχνότητας: Η αυτόματη προσαρμογή της εξόδου ενεργού ισχύος της μονάδας παραγωγής, η οποία έχει αφετηρία από τις ελεύθερες αντιδράσεις του ρυθμιστή στροφών ως απόκριση στις συνεχείς μικρές διακυμάνσεις της συχνότητας του ηλεκτρικού συστήματος.

Ρύθμιση Τάσης: Η διατήρηση της τάσης του συστήματος μεταφοράς ή του συστήματος χρήστη μέσα στα επιτρεπτά όρια με αυτόματα ή χειροκίνητα μέσα.

Σημείο Μέτρησης: Πραγματικό ή Καθορισμένο Σημείο Μέτρησης.

Σταθεροποιητής Ηλεκτρικού Συστήματος: Συσκευή που εγχέει συμπληρωματικό σήμα στον αυτόματο ρυθμιστή τάσης έτσι ώστε να βελτιώσει την απόσβεση των ταλαντώσεων του ηλεκτρικού συστήματος.

Σταθμός Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: Σταθμοί παραγωγής που λειτουργούν μονάδες παραγωγής οι οποίες παράγουν ενέργεια από ανανεώσιμη μορφή ενέργειας.

Σταθμός Παραγωγής: Μία εγκατάσταση που αποτελείται από αριθμών Μονάδων Παραγωγής.

Σύστημα Διανομής: Όπως ορίζεται στο άρθρο 2 του Νόμου.

Σύστημα Συλλογής Δεδομένων: Ένα σύστημα βασισμένο σε ηλεκτρονικούς υπολογιστές, το οποίο συλλέγει ή λαμβάνει δεδομένα μέσω τυποποιημένης διαδικασίας από τη μετρητική διάταξη.

Συχνότητα: Ο αριθμός των κύκλων ανά δευτερόλεπτο του εναλλασσομένου ρεύματος (εκφρασμένος σε Hertz) με τον οποίο λειτουργεί το Ηλεκτρικό Σύστημα.

Τάση: Η τάση του σχετικού τμήματος του συστήματος μεταφοράς ή του συστήματος διανομής ανάλογα με την περίπτωση - με ονομαστική τιμή 220 kV, 132 kV, 66 kV, 22 kV 11 kV ή 400 V.

Τιμή Ζήτησης: Η τιμή που είναι δυνατόν να καταγραφεί από ένα μετρητή.

Υπέρταση: Η κατάσταση λειτουργίας κατά την οποία η αύξηση της τάσης έχει παραβιάσει τα αποδεκτά όρια, όπως αυτά καθορίζονται από το διαχειριστή συστήματος διανομής.

Υπόταση: Η κατάσταση λειτουργίας κατά την οποία η πτώση τάσης έχει παραβιάσει τα αποδεκτά όρια, όπως αυτά καθορίζονται από το διαχειριστή συστήματος διανομής.

Υψηλή Τάση ή ΥΤ: Η τάση που χρησιμοποιείται για την παροχή ηλεκτρισμού και η ονομαστική τιμή ρίζας μέσου τετραγώνου της υπερβαίνει τα 36.000 Volt.

Φαινομένη Ισχύς: Το γινόμενο της τάσης και του ρεύματος εκφρασμένο σε μονάδες VA και στα τυποποιημένα πολλαπλάσια του.

Χαμηλή Τάση ή ΧΤ: Η τάση που χρησιμοποιείται για την παροχή ηλεκτρισμού και έχει ως όριο της ονομαστικής τιμής ρίζας μέσου τετραγώνου τα 1.000 V (ονομαστική τιμή).

Χώρος Εγκατάστασης: Ο χώρος του ιδιοκτήτη συστήματος μεταφοράς, του συστήματος διανομής ή ο χώρος του χρήστη, ανάλογα με την περίπτωση.

7.3 Νομοθεσία

7.3.1 Ευρωπαϊκό νομοθετικό-πολιτικό πλαίσιο για την αιολική ενέργεια

Καθώς τα περιβαλλοντικά προβλήματα ολοένα και μεγαλώνουν και σταδιακά μειώνονται τα αποθέματα πετρελαίου και άνθρακα, η ευρωπαϊκή ένωση από τα τέλη της δεκαετίας του ογδόντα στράφηκε στην ανάπτυξη και αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στην πράσινη βίβλο της ευρωπαϊκής ένωσης για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιγράφονται τα πλεονεκτήματα της αυξημένης χρήσης ΑΠΕ καθώς επίσης και τους στόχους της και τη στρατηγική της, που πρέπει να εφαρμοσθεί τόσο σε επίπεδο κοινότητας όσο και σε επίπεδο κρατών μελών. Στη συνέχεια δόθηκε από την επιτροπή η λευκή βίβλος για την «ενεργειακή πολιτική» της ευρωπαϊκής ένωσης, η οποία συνοδεύεται και από ένα δυναμικό σχέδιο δράσης για τη χάραξη ενεργειακής

πολιτικής που θα ανταποκρίνεται στους στόχους της ανταγωνιστικότητας και της προστασίας του περιβάλλοντος.

Έτσι με τον τρόπο αυτό η ευρωπαϊκή ένωση ενίσχυσε και συνεχίζει να ενισχύει διάφορα προγράμματα έρευνας και ανάπτυξης «μη πυρηνικών» μορφών ενέργειας με μια σειρά από χρηματοδοτικά προγράμματα, όπως τα προγράμματα Joule, Brite, Thermie, Synergy, Save κλπ. Τα τελευταία χρόνια η ευρωπαϊκή ένωση και ιδιαίτερα η γενική διεύθυνση ενέργειας και μεταφορών έχει με το πρόγραμμα Alternet και AlternetII καθορίσει τους ακόλουθους στόχους μέχρι το έτος 2010:

- Χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας για την κάλυψη του 12% των συνολικών ενεργειακών αναγκών
- Τριπλασιασμό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ σε σχέση με το 1990
- Αντικατάσταση των υγρών καυσίμων για τις μεταφορές σε ποσοστό 5% από βιοκαύσιμα.

Με την διακήρυξη της Μαδρίτης (Μάρτιος 1994) τέθηκε σαν στόχος η κάλυψη του 15% των συνολικών αναγκών σε ηλεκτρική ενέργεια για την ευρωπαϊκή ένωση από ΑΠΕ για το έτος 2010, ο οποίος αναπροσαρμόστηκε εν συνεχεία μπροστά στην επιδείνωση των φαινομένων της κλιματικής αλλαγής σε επίπεδα του 22%.

Σημαντικά προγράμματα όπως το Joule και Thermie χρηματοδοτήθηκαν από το 5^ο πρόγραμμα πλαισίου στήριξης, τονίζοντας το ρόλο της ευρωπαϊκής επιτροπής στην ανάπτυξη των ΑΠΕ μέσα στα κράτη μέλη της ένωσης. Ταυτόχρονα ενθαρρύνονται οι κυβερνήσεις των κρατών μελών να προβούν σε εκσυγχρονισμό των υφιστάμενων νομοθετικών πλαισίων που διέπουν την αξιοποίηση των ΑΠΕ σε εθνικό επίπεδο.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η τροποποίηση του γερμανικού νόμου (2000) για την παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ, η οποία οδήγησε σε εντυπωσιακή άνοδο όχι μόνο τις εφαρμογές της αιολικής ενέργειας αλλά και αυτές της ηλιακής ενέργειας, παρά τη γεωγραφική θέση της χώρας. Επίσης το Βέλγιο και η Ολλανδία προσαρμόζουν τις νομοθεσίες τους σύμφωνα με τις αλλαγές που πραγματοποιούνται στην Γερμανία.

Παράλληλα η Ισπανική βουλή έχει ψηφίσει νέο νομοσχέδιο νόμου που αλλάζει εντελώς την εκεί υπάρχουσα κατάσταση στον τομέα των ΑΠΕ. Στην περίπτωση της Ισπανίας γίνεται σαφής διευκρίνιση για περιπτώσεις

εγγυημένης και προγραμματισμένης ηλεκτρικής παραγωγής. Στη Γαλλία όπως και στην Ιταλία επανακαθορίζονται τα τιμολόγια των αυτοπαραγωγών, ενώ στην Πορτογαλία τα τιμολόγια των αυτοπαραγωγών ακολουθούν την αρχή της δυαδικής τιμολόγησης, με βάση αφενός της ενέργειας την οποία πληρώνει ο καταναλωτής και αφετέρου την ισχύ που παραδίδεται σε ώρες αιχμής. Επιπλέον στην Πορτογαλία τα πρώτα οκτώ χρόνια το κράτος εγγυάται ένα εισόδημα από τις πωλήσεις ηλεκτρικής ενέργειας ισοδύναμο με το 90% της τιμής που πληρώνει ο τελικός καταναλωτής και που ισχύει τη στιγμή που υπογράφεται η σύμβαση του αυτοπαραγωγού. Στη Μεγάλη Βρετανία μετά την κατάργηση του μονοπωλίου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 1989 είναι ελεύθερη η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από οποιονδήποτε.

Κάνοντας μια έρευνα αγοράς για τις τιμές αγοράς της αιολικής-ηλεκτρικής ενέργειας εκ μέρους των επιχειρήσεων ηλεκτρισμού στις διάφορες ευρωπαϊκές χώρες, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα στοιχεία αφορούν διασυνδεδεμένα συστήματα παραγωγής και όχι μη διασυνδεδεμένα νησιά, προκύπτει η σαφής σύνδεση της τιμής πώλησης της αιολικής ενέργειας με τη μέση ετήσια τιμή πώλησης στον καταναλωτή της ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις γίνεται αναφορά και για εγγύηση τιμής μέχρι κάποιο χρονικό όριο. Θα πρέπει επίσης να τονίσουμε ότι τόσο οι τοπικές κυβερνήσεις όσο και η ευρωπαϊκή ένωση χρηματοδοτούν σε μεγάλο βαθμό το αρχικό κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας .

7.3.2 Η νομοθεσία για την αιολική ενέργεια στη χώρα μας

Η έντονη δραστηριότητα που παρουσιάστηκε τα τελευταία χρόνια στην ευρωπαϊκή ένωση και οι αλλαγές στη νομοθεσία των υπόλοιπων κρατών μελών της ενθάρρυναν και τη χώρα μας να ετοιμάσει στις αρχές του '09 και να καθιερώσει ένα ανάλογο νομοθετικό πλαίσιο που αναφέρεται στη «ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας». Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι ο νόμος 2244/94 αποτελεί μια ουσιαστική βελτίωση του νόμου 1559/85 και έχει συνταχθεί με βάση τη διακήρυξη της Μαδρίτης, την οποία υπέγραψε η χώρα μας τον Απρίλιο του '94.

Το καινούργιο αυτό νομοθετικό πλαίσιο επιχειρεί να βελτιώσει τις καθυστερήσεις και τα προβλήματα που υπήρχαν για την ανάπτυξη των ΑΠΕ τη δεκαετία του '80, οι οποίες οφείλονταν αφενός στα κενά του θεσμικού πλαισίου του νόμου του 1985 και αφετέρου στην χαμηλή οικονομική απόδοση των επενδύσεων λόγω των προσφερόμενων από τη Δ.Ε.Η. χαμηλών τιμών αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

7.3.3 Νόμος 1559/85

Ο νόμος 1559 του '85 μπορεί να θεωρηθεί πρωτοποριακός για την εποχή του όσον αφορά την πολιτική βούληση, εμφάνισε όμως αρκετές τεχνικές αδυναμίες. Η φιλοσοφία του νόμου αυτού ήταν να δοθεί η δυνατότητα σε επιμέρους καταναλωτές ηλεκτρικής ενέργειας να καλύψουν μέρος των αναγκών τους με την εγκατάσταση και τη λειτουργία μονάδων ηλεκτροπαραγωγής βασισμένων στην αξιοποίηση των ΑΠΕ.

Ακόμα υπήρχε η δυνατότητα μόνο για την περίσσεια της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, να διατεθεί στο τοπικό ηλεκτρικό δίκτυο με τιμή που καθορίζει η Δ.Ε.Η. Με τον τρόπο αυτό δόθηκε η ευκαιρία στον

γραφειοκρατικό μηχανισμό της Δ.Ε.Η. να καθυστερήσει τις εφαρμογές των ΑΠΕ στη χώρα μας, καθώς διέθετε τη δικαιοδοσία καθορισμού χαμηλών τιμών πώλησης της περίσσειας της αιολικής ενέργειας στο τοπικό δίκτυο. Το γεγονός αυτό θα έπρεπε να είχε προβλεφθεί καθώς και η ίδια η Δ.Ε.Η. αποτελούσε παραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας. Στα πλαίσια αυτά η διοίκηση της επιχείρησης δεν είχε κανένα λόγο να ενθαρρύνει τους νέους ανταγωνιστές να αμφισβητήσουν το μονοπώλιο της.

Με βάση τον παλαιότερο ενεργειακό νόμο 1559/85, η Δ.Ε.Η. δεν είχε την αποκλειστικότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα μας και συνεπώς οι ανεμογεννήτριες μπορούσαν να εγκατασταθούν πρακτικά από οποιονδήποτε καταναλωτή και οπουδήποτε για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του. Επίσης το περίσσειμα της παραγόμενης ενέργειας μπορούσε να πωληθεί στη Δ.Ε.Η. Αν και η φιλοσοφία του νόμου είναι φανερή δημιουργήθηκαν παράλληλα διάφορα προβλήματα, όπως το τεχνικό πρόβλημα της σύνδεσης μεμονωμένων ανεμογεννητριών ή αιολικών πάρκων με το εθνικό δίκτυο, καθώς και ο καθορισμός της τιμής αγοράς του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος από τη Δ.Ε.Η.

Συνθήκες Παροχής Ενέργειας	Ανώτατη Τιμή, 1988	Ανώτατη Τιμή, 1993	Κατώτατη Τιμή, 1988	Κατώτατη Τιμή, 1993
Διασυνδεδεμένο Δίκτυο Ώρες Αιχμής	6.33(XT) 8.51(MT)	6.06(XT) 7.68(MT)	6.04(MT) 5.76(YT)	5.79(MT) 7.31(YT)
Διασυνδεδεμένο Δίκτυο Χαμηλό Φορτίο	2.80(XT) 4.37(MT)	4.04(XT) 3.85(MT)	2.68(MT) 2.55(YT)	3.85(MT) 3.67(YT)
Διασυνδεδεμένο Δίκτυο Ενδιάμ. Φορτίο	3.80(XT) 5.73(MT)	6.06(XT) 4.92(MT)	3.63(MT) 3.46(YT)	5.79(MT) 4.69(YT)
Νησιά Μαζούτι Νο3 Ημερήσιο Φορτίο	7.49(XT) 8.13(MT)	9.51(XT) 9.06(MT)	7.14(MT) 8.13(MT)	9.06(MT) 9.06(MT)
Νησιά Μαζούτι Νο3 Υπόλοιπες Ώρες	6.77(XT) 5.39(MT)	8.60(XT) 8.19(MT)	6.45(MT) 5.39(MT)	8.19(MT) 8.19(MT)
Νησιά Μαζούτι Νο1 Ημερήσιο Φορτίο	5.83(XT) 8.13(MT)	7.76(XT) 7.76(MT)	5.83(MT) 8.13(MT)	7.76(MT) 7.76(MT)
Νησιά Μαζούτι Νο1 Υπόλοιπες Ώρες	4.67(XT) 5.39(MT)	6.21(XT) 6.21(MT)	4.67(MT) 5.39(MT)	6.21(MT) 6.21(MT)
Νησιά Ντίζελ 0.5 Ημερήσιο Φορτίο	10.93(XT) 11.62(MT)	19.16(XT) 19.16(MT)	10.93(MT) 11.62(MT)	19.16(MT) 19.16(MT)
Νησιά Ντίζελ 0.5 Υπόλοιπες Ώρες	8.74(XT) 9.29(MT)	15.33(XT) 15.33(MT)	8.74(MT) 9.29(MT)	15.33(MT) 15.33(MT)

Πίνακας 1 Δ.Ε.Η.- Τιμές (δρχ/Kwh) αγοράς αιολικής ενέργειας

Ο τρόπος σύνδεσης της ανεμογεννήτριας με το δίκτυο αποτελεί και στην παρούσα φάση αντικείμενο διεθνούς έρευνας. Όσον αφορά τη διαδικασία αγοράς ηλεκτρικού ρεύματος από τη Δ.Ε.Η., απαραίτητη προϋπόθεση ήταν να υπογραφούν οι αντίστοιχες συμβάσεις, ενώ η δημόσια επιχείρηση ηλεκτρικής ενέργειας εξέδιδε ανά τρίμηνο το πλαίσιο τιμολογίων για τη αγορά της ηλεκτρικής ενέργειας από ιδιοπαραγωγούς.

Στον πίνακα 1 αναφέρονται ενδεικτικές τιμές αγοράς της ενέργειας από τη Δ.Ε.Η. Για λόγους σύγκρισης παρουσιάζονται στοιχεία για τα έτη 1988 και 1993, ενώ η ανώτατη τιμή κάθε κυττάρου του πίνακα αντιστοιχεί σε μικρό αυτοπαραγωγό (<1000KW) και η κατώτατη τιμή σε μεγάλο αυτοπαραγωγό (≥1000KW). Ταυτόχρονα σημειώνεται και η τάση του δικτύου (ΥΤ,ΜΤ,ΧΤ) του δικτύου στο οποίο ο αυτοπαραγωγός διαθέτει την ενέργεια του. Να πούμε επίσης ότι οι τιμές πώλησης της ενέργειας εκ μέρους των ΟΤΑ είναι ελαφρώς μεγαλύτερες από αυτές του πίνακα 1.

Σαφώς η διαδικασία ίδρυσης και λειτουργίας ενός αιολικού σταθμού περιελάμβανε πλήθος προϋποθέσεων και δικαιολογητικών για την έκδοση των αδειών ίδρυσης, εγκατάστασης και λειτουργίας, τα οποία συχνά αποθαρρύνουν τους μελλοντικούς επενδυτές. Ακόμα για την περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικούς σταθμούς συνδεδεμένους με το δίκτυο της Δ.Ε.Η., αυτό επιτρεπόταν μόνο εφόσον η ισχύς του σταθμού δεν ήταν μεγαλύτερη από το τριπλάσιο της συνολικής εγκατεστημένης ισχύς των μηχανημάτων και των καταναλώσεων του αυτοπαραγωγού. Στην περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικές μονάδες των ΟΤΑ και των επιχειρήσεων τους, αναφερόταν ότι οι επιχειρήσεις αυτές μπορούν να παράγουν ηλεκτρική ενέργεια με σκοπό την πώληση του συνόλου της παραγόμενης ενέργειας αποκλειστικά στη Δ.Ε.Η. Τέλος, οι γενικοί όροι των συμβάσεων μεταξύ των αυτοπαραγωγών και της Δ.Ε.Η. και τα πλαίσια των τιμολογίων ενέργειας καθορίζονταν με απόφαση του υπουργού ενέργειας και φυσικών πόρων μετά από προηγούμενη γνωμάτευση της Δ.Ε.Η. και με βάση τις ειδικές συνθήκες της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή εγκατάστασης.

7.3.4 Από το νόμο 1559/85 στο νόμο 2244/94

Η έντονη δράση που παρουσιάστηκε τα τελευταία χρόνια στην ευρωπαϊκή ένωση και οι αλλαγές στην νομοθεσία των κρατών μελών της (οδηγία 96/92/ΕΚ) ενθάρρυνε τη χώρα μας να ετοιμάσει και να καθιερώσει ένα νέο νομοθετικό πλαίσιο, που αναφέρεται στην ρύθμιση θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ. Ο καινούργιος αυτός νόμος 2244/94 έρχεται να διορθώσει ορισμένα από τα προβλήματα που εμφανίστηκαν κατά την πρώτη νομοθετική προσπάθεια ανάπτυξης των ΑΠΕ στη χώρα μας, με βάση το αρχικό νομικό πλαίσιο του Ν1559/85. Με το νέο νομοθετικό πλαίσιο επιχειρείται να αναθερμανθεί το ενδιαφέρον αξιοποίησης των ΑΠΕ από τη Δ.Ε.Η., τους ΟΤΑ και τους ιδιώτες, οι οποίοι θα ήθελαν να συμβάλλουν σε αυτόν τον τομέα.

Τα βασικά σημεία διαφοροποίησης του Ν2244/94 και του Ν1559/85 (για τον τομέα ΑΠΕ), είναι η δυνατότητα ανεξάρτητης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τρίτους μέχρι την ονομαστική ισχύ των 50MW, με κατ' αρχήν υποχρέωση της Δ.Ε.Η. για αγορά της παραγόμενης από ΑΠΕ ενέργειας εφόσον οι συνθήκες ευστάθειας του δικτύου το επιτρέπουν. Παράλληλα στην περίπτωση αυτοπαραγωγής επιτρέπεται ο μέχρι και κατά 90% συμψηφισμός της αγοράς-πώλησης ενέργειας από και προς το δίκτυο της Δ.Ε.Η. σε μηνιαία βάση.

Ακόμα με το άρθρο 2 του Ν2244/94 προβλέπεται ότι η σύμβαση διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στη Δ.Ε.Η. είναι δεκαετούς διάρκειας με δυνατότητα ανανέωσης της για άλλα δέκα χρόνια. Παράλληλα σε μια προσπάθεια κατάργησης της γραφειοκρατίας, καταργείται το άρθρο 10 του Ν1559/85 που προέβλεπε την

έκδοση άδειας ίδρυσης για την δημιουργία ενός σταθμού ηλεκτροπαραγωγής και έτσι οι απαραίτητες άδειες περιορίζονται σε δύο (εγκατάσταση και λειτουργίας). Τελευταία με την ψήφιση του νόμου 2941/2001 επιχειρείται εκ νέου η απλοποίηση των διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών και αδειοδότησης μονάδων αξιοποίησης των ΑΠΕ. Τέλος με βάση το άρθρο 2 του Ν2244/94 καθορίζονται οι βασικές αρχές, οι οποίες και διέπουν την τιμολόγηση της ηλεκτρικής ενέργειας και ισχύς, κατά την σύνδεση των ανεξάρτητων ή αυτόνομων παραγωγών με τα δίκτυα της Δ.Ε.Η.

Ιδιαίτερη σημασία θα πρέπει να δοθεί στην αλληλεξάρτηση της τιμής πώλησης της ενέργειας προς τη Δ.Ε.Η. με την τιμή διάθεσης της ηλεκτρικής ενέργειας στον τελικό καταναλωτή (τιμολόγιο Α. Β2, Γ22) όπως φαίνεται στον πίνακα 2 τόσο στο διασυνδεδεμένο (Δ/Σ) όσο και στα αυτόνομα νησιωτικά δίκτυα. Η εξέλιξη αυτή έρχεται να διορθώσει μια σοβαρή αδυναμία του προηγούμενου νόμου, ο οποίος επέτρεπε στη Δ.Ε.Η. να καθορίζει ανά τρίμηνο την τιμή αγοράς της ενέργειας από αυτοπαραγωγούς κατά τη δική της κρίση, αγνοώντας το γεγονός ότι και η ίδια η Δ.Ε.Η. είναι παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό δίνεται η δύναμη στους γραφειοκρατικούς μηχανισμούς να παρεμποδίσουν με τον ασφαλέστερο τρόπο τη διάδοση των ΑΠΕ για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, καθορίζοντας σκόπιμα χαμηλές τιμές αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας από τις ΑΠΕ.

Από τον πίνακα 2 αν και παρατηρείται μια σαφής βελτίωση των όρων αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας εκ μέρους της Δ.Ε.Η. σε σχέση με το παρελθόν, ωστόσο εξακολουθεί να μην γίνεται συνυπολογισμός στην τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ του πραγματικού τοπικού κόστους λειτουργίας των αυτόνομων σταθμών παραγωγής (ΑΣΠ), του αποφευκτέου κόστους της Δ.Ε.Η. για δημιουργία νέων σταθμών παραγωγής, αλλά κυρίως του εξωτερικού-περιβαλλοντικού κόστους ή οφέλους από τη χρήση ΑΠΕ σε αντικατάσταση θερμοηλεκτρικών σταθμών παραγωγής.

Τάση	Δ/Σ Δίκτυο Ανεξ. Παραγ	Μη Δ/Σ Δίκτυο Ανεξ.Παραγ.	Δ/Σ Δίκτυο Αυτοπαραγωγή	Μη Δ/Σ Δίκτυο Αυτοπαραγωγή
Υψηλή	0.06469 +1.6556 5 €/kW	0.07973	0.03275 (Αιχμή) 0.02269 0.01684	0.06201
Μέση	0.06469 +1.65565 €/kW		0.05016	
Χαμηλή			0.06201	

Πίνακας 2 Τιμή πώλησης (Euro/KWh) ενέργειας από ΑΠΕ (Σεπτ. 2003)

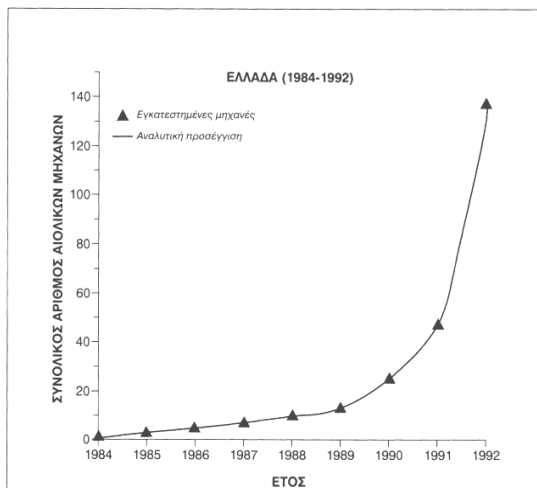
7.3.5 Η εγχώρια αιολική αγορά μέχρι την ψήφιση του Ν.2244/94

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στη χώρα μας την περίοδο αυτή σύμφωνα με τους επιστήμονες, θεωρείται ότι βρισκόταν στο πρώιμο στάδιο. Οι πρώτες ουσιαστικές σκέψεις για την αξιοποίηση του εγχώριου δυναμικού ξεκίνησαν το 1975, όταν άρχισαν οι μετρήσεις του αιολικού δυναμικού από τη Δ.Ε.Η./Δ.Ε.Μ.Ε. με σκοπό την παραγωγή ενέργειας.

Δόθηκε στους ιδιώτες για πρώτη φορά η δυνατότητα να παράγουν και να διαθέσουν την παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού με το νόμο 1559/85, ο οποίος εξέφραζε την πολιτική βούληση της πολιτείας να επιτρέψει σε ιδιώτες(αυτοπαραγωγούς) την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, ισχύος μέχρι τρεις φορές την εγκατεστημένη ισχύ του αυτοπαραγωγού με στόχο αρχικά την κάλυψη των αναγκών του και μεμονωμένα την πώληση της ενεργειακής περίσσειας στο τοπικό δίκτυο της Δ.Ε.Η. Παρά τις καλές προϋποθέσεις που υπήρχαν από το νομοθέτη, το προτεινόμενο νομοθετικό πλαίσιο δε λειτούργησε στο βαθμό που αναμενόταν για διάφορους λόγους. Πρέπει όμως να τονισθεί ότι οι απαραίτητες διευκρινιστικές εγκύκλιοι εκδόθηκαν μόλις στο τέλος του 1987, δύο χρόνια δηλαδή μετά την ψήφιση του νομοθετικού πλαισίου από την βουλή των ελλήνων.

Το ενδιαφέρον από την πολιτική ηγεσία συνεχίστηκε σε μια προσπάθεια για την επιτάχυνση της ίδρυσης αιολικών σταθμών στη χώρα μας. Σύμφωνα όμως με τα πλάνα των αρχών της δεκαετίας του '90 αναμενόταν η εγκατάσταση 400MW αιολικής ισχύος μέχρι το τέλος του εικοστού αιώνα. Από αυτά τα 150MW θα εντάσσονταν Στο αναπτυξιακό πρόγραμμα της Δ.Ε.Η. ενώ τα υπόλοιπα 250MW επρόκειτο να υλοποιηθούν από τους ιδιωτικούς και άλλους φορείς.

Η συνεισφορά της πολιτείας μέχρι πρότινος, ακολουθώντας το τελευταίο νομοθετικό πλαίσιο, δεν ενθάρρυνε τους ιδιώτες επενδυτές να επενδύσουν στον τομέα της αιολικής ενέργειας. Χαρακτηριστικά αναφέρουμε ότι από τις 47 ανεμογεννήτριες που λειτουργούσαν στη χώρα μας στις αρχές του 1992, οι σημαντικότερες σε μέγεθος αλλά και σε αριθμό (32) είχαν εγκατασταθεί από τη Δ.Ε.Η. ενώ μόλις 15 είχαν εγκατασταθεί από τρίτους, στους οποίους συμπεριλαμβάνονται ο Ο.Τ.Ε. και οι φορείς τοπικής αυτοδιοίκησης . Στο σχήμα 1 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη του αριθμού των διασυνδεδεμένων αιολικών μηχανών την περίοδο 1983-1991 στη χώρα μας. Σύμφωνα με τα διαθέσιμα στοιχεία η εγκατεστημένη ισχύς στις αρχές του 1992 δεν υπερέβαινε τα 3600KW.



Σχήμα 1 Εξέλιξη εγκατεστημένων ανεμογεννητριών

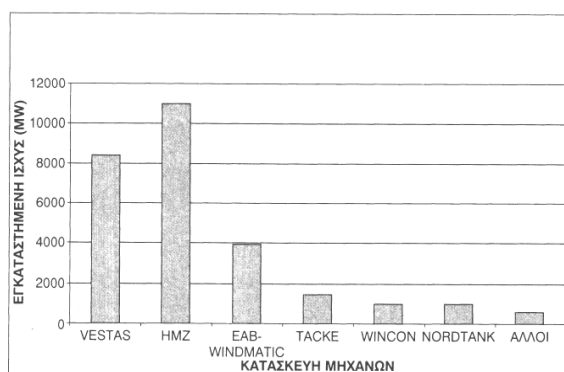
Το κύριο βάρος για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στη χώρα μας μέχρι τα τέλη του 1998 το είχε αναλάβει η Δ.Ε.Η., η οποία έθεσε σε λειτουργία για πρώτη φορά το 1982 στην Κύθο και σε συνεργασία με τη γερμανική εταιρεία Μ.Α.Ν πέντε ανεμογεννήτριες ισχύος 20KW η καθεμία.

Οι μηχανές αυτές αντικαταστήθηκαν λίγα χρόνια αργότερα (1990) από πέντε μηχανές μεγαλύτερης ισχύος (5 X 33KW) της ίδιας εταιρείας. Τέλος στην Άνδρο το καλοκαίρι του 1992 τέθηκε σε λειτουργία αιολικό πάρκο αποτελούμενο από επτά ανεμοκινητήρες των 225KWο καθένας (7 X 225KW), ενώ μεμονωμένες εγκατατεστημένες ανεμογεννήτριες αναφέρονται επίσης στη Μύκονο (108 KW) και στην Κάρπαθο (1 X 175KW), οι οποίες όμως εμφάνιζαν σοβαρά προβλήματα και παρέμεναν για καιρό εκτός λειτουργίας. Παρατηρούμε ότι το ενδιαφέρον την περίοδο αυτή εντοπίζεται στα νησιά του αιγαίου, δεδομένου των υψηλών ταχυτήτων και της διάρκειας των ανέμων. Αυτό βέβαια δεν αποκλείει την ύπαρξη ευνοϊκών θέσεων και στον ηπειρωτικό χώρο, ενώ θα πρέπει σύντομα να χρησιμοποιηθούν και μηχανές που θα εκμεταλλεύονται και χαμηλότερες ταχύτητες ανέμου.

Κατά τη διάρκεια 1993-94 παρατηρήθηκαν αρκετές σημαντικές αλλαγές στον τομέα της αιολικής ενέργειας στη χώρα μας, οι οποίες περιλαμβάνουν τη θέσπιση του νέου νομοθετικού πλαισίου (νόμος 224/94) για την ενίσχυση της διείσδυσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην εγχώρια ενεργειακή αγορά. Ταυτόχρονα συνεχίστηκε η δραστηριοποίηση της Δ.Ε.Η. στον τομέα της δημιουργίας νέων αιολικών πάρκων στα νησιά του αιγαίου, με αποτέλεσμα να αυξηθεί στα 25MW η συνολική εγκατεστημένη αιολική ισχύς στη χώρα μας. Ωστόσο θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η χρηματοδότηση των δημιουργούμενων αιολικών σταθμών προέρχεται κατά κύριο λόγο από τα ευρωπαϊκά ταμεία.

Ακόμα δε θα πρέπει να παραλείψουμε το πόσο βοήθησαν οίκοι από το εξωτερικό (Vestas) στην εγχώρια κατασκευή αιολικών μηχανών καθώς επίσης και εγχώριοι μεγάλοι κατασκευαστές (ΡΟΚΚΑΣ, ΒΙΟΚΑΤ κλπ.), πανεπιστήμια και ερευνητικά κέντρα. Αν και η ιδέα αυτή παραμένει ελκυστική κατά την περίοδο αυτή, δεν καθίσταται τελικά δυνατή η συνεργασία ιδιωτών και πολιτείας, δεδομένου της αρνητικής πλευράς της ΕΑΒ για την κατασκευή ανεμογεννητριών την περίοδο 1987-1991.

Συνοπτικά στην εγχώρια αιολική αγορά μέχρι τα τέλη του 1994, όσον αφορά την παρουσία των κυριότερων κατασκευαστών ανεμοκινητήρων, δίνεται από το σχήμα 2, όπου προκύπτει ότι η εγχώρια αγορά αιολικών μηχανών κυριαρχείται από τις εταιρείες ΗΜΖ και Vestas, ενώ αναφορά γίνεται και στην αξιόλογη παρουσία των εταιρειών Tacke και Wincon. Ταυτόχρονα αναφέρονται και μηχανές «συμπαγωγής» της ΕΑΒ μαζί με την εταιρεία Windmatic, η οποία έχει αποσυρθεί από την αιολική αγορά μέχρι τα τέλη του 1991.



Σχήμα 2 Διάρθρωση εγχώριας αιολικής αγοράς (1995)

7.3.6 Νόμος 2244/94

Με το νόμο αυτό επιχειρείται η αναθέρμανση και η αξιοποίηση των ΑΠΕ από τη Δ.Ε.Η., την τοπική αυτοδιοίκηση, άλλους φορείς καθώς και από ιδιώτες οι οποίοι θα ήθελαν να συμβάλλουν στον τομέα αυτό. Ο Ν2244/94 διαφοροποιήθηκε σε σχέση με το Ν1559/85 και Ν2165/93 αφενός σχετικά με τη σχέση της Δ.Ε.Η. στον ενεργειακό τομέα της χώρας και αφετέρου στη δυνατότητα των ιδιωτών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ.

Σύμφωνα με το Ν2244/94 αποκαθίσταται ο ρόλος της Δ.Ε.Η., η οποία διατηρεί τα αποκλειστικά δικαιώματα κατασκευής και λειτουργίας όλων των μεγάλων έργων παραγωγής μεταφοράς και διανομής. Ο πιο καινούργιος Ν2773/99 επιτρέπει πλέον και σε ιδιώτες παραγωγούς να δημιουργήσουν ανεξάρτητους ενεργειακούς σταθμούς με σκοπό την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας στον εκάστοτε διαχειριστή του δικτύου. Αντίθετα με την αρχική διατύπωση του Ν2244/94 απαγορεύεται ρητά η πρόσβαση τρίτων στα δίκτυα της Δ.Ε.Η. ενώ απελευθερώνεται η ανεξάρτητη παραγωγή περιορισμένης ισχύος μέχρι 50KW ηλεκτρικής ενέργειας αποκλειστικά και κατ' εξαίρεση από ΑΠΕ εκτός Δ.Ε.Η., τόσο από ΟΤΑ και τις επιχειρήσεις τους όσο και από ιδιώτες.

Επίσης δίνεται η δυνατότητα συμψηφισμού της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται αποκλειστικά από ΑΠΕ, με τις καταναλώσεις του παραγωγού και όχι μέσω υπουργικής απόφασης, όπως ίσχυε μέχρι την ψήφιση του νέου νόμου (2769/27.4.88, παράγραφος 3). Ταυτόχρονα γίνεται σχετική επέκταση για τους ΟΤΑ, τις επιχειρήσεις τους και τους και τους αγροτικούς συνεταιρισμούς για συμψηφισμό μιας ή περισσοτέρων καταναλώσεων τους. Επιπλέον σύμφωνα με τους συντάκτες του Ν2244, περιορίζεται η γραφειοκρατία στην έκδοση των σχετικών αδειών ίδρυσης, εγκατάστασης και λειτουργίας καθώς οι άδειες μειώνονται σε δύο από τρεις, καταργώντας την άδεια ίδρυσης του σταθμού. Με τις διατάξεις των παραγράφων 6 και 7 του άρθρου 5 του Ν2244/94 δίνεται η δυνατότητα σύστασης και λειτουργίας περιφερειακών ενεργειακών γραφείων και κέντρων, ενώ το ΚΑΠΕ αναλαμβάνει το συντονισμό τους για την προώθηση των ΑΠΕ και την εξοικονόμηση ενέργειας.

Για πρώτη φορά καθορίζονται οι κανόνες κοστολόγησης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας μέσα από το νόμο και όχι με υπουργικές αποφάσεις. Επιχειρείται δε τα τιμολόγια ηλεκτρικής παραγωγής από ΑΠΕ να καθορίζονται σε εύλογα επίπεδα, λαμβάνοντας υπόψιν το κόστος αποφυγής παραγωγής αντίστοιχης ενέργειας από συμβατικά καύσιμα, την εξοικονόμησης κεφαλαίων ίδρυσης νέων σταθμών συμβατικής παραγωγής, το περιβαλλοντικό κόστος και το εξωτερικό κοινωνικό κόστος παραγωγής ενέργειας από τα συνηθισμένα καύσιμα.

Βιβλιογραφία

- Αλεξάκης Α.**, *Αιολική ενέργεια*, Εκδόσεις Σιδέρη, Αθήνα, 1993.
- Καλδέλλης Ι.**, *Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας*, Εκδόσεις Σταμούλης, Αθήνα 1999.
- Δρής Μ.**, 1996: "Ενέργεια (πηγές-εφαρμογές-εναλλακτικές λύσεις)", Ίδρυμα υγενίδου, Αθήνα
- Καλκάνης Γ.**, 1997: "Η ενέργεια και οι πηγές της: Τι, πώς, γιατί", ΚΑΠΕ /Υπουργείο Ανάπτυξης, Πικέρμι
- Παπασιδέρη Ισιδ.**, 1996: "Θέματα Οικολογίας και Περιβαλλοντικής Εκπαίδευσης", Εκδόσεις Συμμετρία, Αθήνα
- Πεκόπουλος Δ.**, 2000: "Ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα και Δ. Μακεδονία - Πηγές, μέσα, στόχοι", ΑΝΚΟ / Κοζάνη
- Φλογαίτη Ε., Βασάλα Π.**, 1999: "Το Ενεργειακό ζήτημα, Προσεγγίσεις και διαστάσεις", Αθήνα
- Ηλεκτρική ενέργεια & περιβάλλον**, 1999: Β΄ Τάξη 1ου Κύκλου, Τ.Ε.Ε, Ο.Ε.Δ.Β
- Τσίππρας Κ.**, 1996: "Το οικολογικό σπίτι", Εκδόσεις Λιβάνη, Αθήνα
- Νομίδης Δ.**, *Αξιοποίηση της Αιολικής Ενέργειας στα νησιά του νότιου Αιγαίου*, Δελτίο ΠΣΔΜΗ, Αθήνα 1999.
- Μαλαμής Β.**, 1999: "Αυτόνομες εφαρμογές Ηλιακής ενέργειας μικρού & μεσαίου μεγέθους", Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα
- ΚΑΠΕ**, 1997: "Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας & Περιβάλλον", Αθήνα
- ΚΑΠΕ**, 1997: "Ενέργεια & Βιομηχανία", ΚΑΠΕ / Υπ. Ανάπτυξης ΕΠΕΤ II, Πρόγραμμα Ανοιχτές Θύρες, Αθήνα
- ΚΑΠΕ**, 1998: "Ενεργητικά ηλιακά συστήματα", Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Αθήνα
- ΚΑΠΕ**, 1997: "Ο ρόλος της Ανθρώπινης συμπεριφοράς στην Εξοικονόμηση Ενέργειας", Ευρωπαϊκή Επιτροπή - Γεν.Διεύθυνση για την Ενέργεια (XVII), Αθήνα
- ΚΑΠΕ**, 1998: "Παθητικά ηλιακά συστήματα", Εγχειρίδιο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, Αθήνα
- Stephen J. Chapman**, 2001: "Ηλεκτρικές μηχανές AC-DC"
- Gipe P.**, *Wind energy basics: a guide to small and micro wind systems*, Chelsea Publishing Co., 1999
- Walker J.**, *Wind energy technology*, John Wiley & Sons, 1999
- Αίμων Isaac**, 1997: "Το χρονικό των Επιστημονικών Ανακαλύψεων", πιστημονικές Εκδόσεις Παν. Κρήτης, Ηράκλειο
- Challoner J.**, 1993: "Ενέργεια - Ανακαλύπτω την Επιστήμη", Συνεργασία με το Μουσείο Επιστημών του Λονδίνου, Αθήνα
- Emberlin J.C.**, 1996: "Εισαγωγή στην Οικολογία", Εκδ. Τυπωθήτω, Αθήνα
- Explorit Science Center** : About Energy - Science Facts USA
- Farndon John**, 1995: "Λεξικό της Γης", Εκδόσεις Ερευνητές, Αθήνα
- G. Tyler Miller, Jr.**, 1999: "Βιώνοντας στο Περιβάλλον II", Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα
- Greenpeace**, 1997: "Η βόμβα του κλίματος - Ενέργεια και κλιματικές αλλαγές", Εκδόσεις Νεφέλη, Αθήνα
- Greenpeace**, 1997: "Μεταφορές και Περιβάλλον", Εκδ. Νεφέλη, Αθήνα
- Greenpeace**, 1997: "Οι Βιώσιμες πόλεις", Εκδ. Νεφέλη, Αθήνα
- University of Wisconsin**, 1999: "Energy Education Program, Energy Education in Wisconsin" - A Conceptual Guide to K-12
- Φυσική Β΄ Ενιαίου Λυκείου Θετικής & Τεχνολογικής Κατεύθυνσης**, 2000: Ανδρακάκος Κ., κ.ά, ΟΕΔΒ, Έκδοση Α΄, Αθήνα
- Φυσική Γ΄ Ενιαίου Λυκείου Γενικής Παιδείας**, 2000: Γεωργακάκος Π., κ.ά., ΟΕΔΒ, Έκδοση Β΄, Αθήνα

Διεπιστημονικό Ινστιτούτο Περιβαλλοντικών Ερευνών, 1999: "Η Ενέργεια κι εμείς", CD-ROM-Σχολικό πρόγραμμα για τη χρήση φυσικών πόρων και ενέργειας, Αθήνα

Ελευθεροτυπία, (3/4/2001) άρθρο Μοσχονά Κ.: "Τρίτη η Ελλάδα στην αύξηση των ρύπων"

Μαρδύρης Θ., 1998: "Περιβαλλοντική Εκπαίδευση και Κοινωνική Οικολογία", Σημειώσεις για την εξομίωση Εκπαιδευτικών Α/θμιας

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις

<http://www.cres.gr/kape/index.htm>

<http://www.ekt.gr>

<http://www.tmth.edu.gr>

<http://www.saintpaul.gr>

<http://users.otenet.gr/~foniflo/technology/index.htm>

<http://www.physics4u.gr>

http://www.lignite.gr/net/articles/energy/renew_sec.htm

<http://users.otenet.gr/~pekh>

<http://www.civ.uth.gr/civil/theodosiou/Renewable.html>

<http://www.cogreenpower.org>

<http://www.sandia.gov/wind>

<http://www.worldweb.com>

<http://www.cogreenpower.org>

<http://www.telosnet.com/wind>

http://europa.eu.int/comm/energy_transport

<http://geothermal.inel.gov>

<http://nationalgeographic.com>

<http://www.afm.dtu.dk/wind/iea>

<http://www.cres.gr>

<http://www.daedalus.gr>

<http://www.eas.asn.edu>

<http://www.erec-renewables.org>

<http://www.flasolar.com>

<http://www.greenhouse.gov.au>

<http://www.help-forward.gr>

<http://www.marineturbines.com>

<http://www.mysolar.com>

<http://www.nomosphysis.org.gr>

<http://www.oceanpd.com>

<http://www.rae.gr>

<http://www.undp.org/>

<http://www.unep.org>

<http://www.worldenergy.org>

<http://www.worldwatch.org>