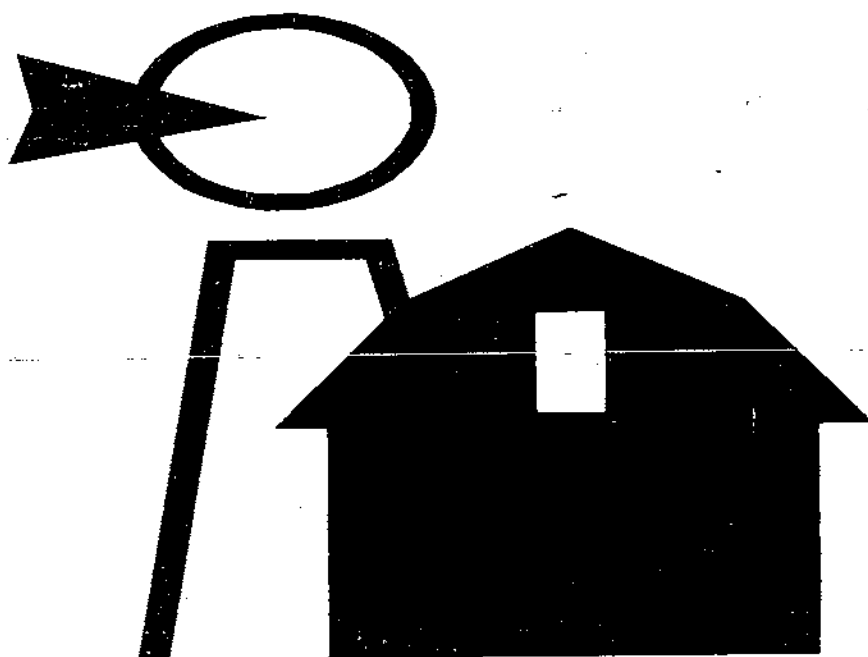


Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πάτρας

Σχολή τεχνολογικών εφαρμογών

Καθηγητής

Χρήστος Σταμούτσος



ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

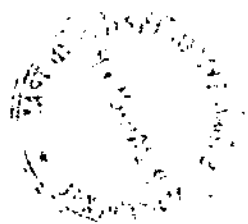
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ

ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΑΡΓΥΡΗ - ΚΑΡΦΑΚΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ

ΠΑΤΡΑ 2003



ΑΡΙΘΜΟΣ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ	3639
----------------------	------



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εισαγωγή	1
----------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1	Ο άνεμος	3
1.2	Αναδρομή στην ιστορία	4
1.3	Η εξέλιξη	6
1.4	Εφαρμογές των ανεμοκινητήρων σήμερα	9

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ, ΑΝΕΜΟΙ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

2.1	Γενικά για την Ατμόσφαιρα	12
2.2	Άνεμοι	13
2.2.1	Ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα	16
2.2.2	Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με τον χρόνο	17
2.2.3	Διάτμηση ανέμου	20
2.2.4	Στροβιλισμός	22
2.3	Επιλογή θέσης εγκατάστασης	22
2.3.1	Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή θέσης Α/Γ	23

2.3.2	Επίπεδη μορφολογία	24
2.3.3	Ανομοιόμορφη μορφολογία	26
2.4	Προοπτικές εφαρμογής Α/Γ στην Ελλάδα	29
2.5	Οικονομικά στοιχεία	32
2.6	Αιολικά πάρκα και Α/Γ στην Ελλάδα	32

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ Α/Γ

3.1	Εισαγωγή	36
3.2	Τύποι συλλογής της αιολικής ενέργειας	37
3.3	Τυπκές μορφές Α/Γ οριζοντίου άξονα	39
3.4	Χαρακτηριστικά Α/Γ οριζοντίου άξονα	40
3.4.1	Δρομέας	40
3.4.2	Συμπεριφορά του δρομέα	41
3.4.3	Ρύθμιση του βήματος	42
3.4.4	Υλικά και προβλήματα αντοχής των πτερυγίων	44
3.5	Συστήματα προσανατολισμού	44
3.6	Κατασκευή του πύργου	46
3.7	Πλήμνη και κύριος άξονας της Α/Γ	46
3.7.1	Συστήματα πέδησης της πλήμνης	48
3.8	Κιβώτιο πολ/σμού στροφών	49
3.9	Ηλεκτρολογικό σύστημα Α/Γ	50
3.9.1	Η γεννήτρια	50
3.9.2	Μικροί κινητήρες	52
3.9.3	Αυτόματοι διακόπτες και ηλεκτρικές συσκευές	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ, ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ

4.1	Γενικά	54
4.2	Αιολικό δυναμικό, ισχύς, ροπή, ταχύτητα	54
4.3	Δυνάμεις που ασκούνται στα πτερόγυια	59

4.4	Ταχύτητες στο ροϊκό σωλήνα	60
4.5	Υπολογισμός της ισχύος ΑΓ	64
4.6	Παράδειγμα υπολογισμού	66

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

68

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλιογραφία	80
--------------	----

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Παράρτημα	81
-----------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Η ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

1.1 Ο Άνεμος

Οι άνεμοι της γης παράγονται κυρίως από την άνιση θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο. Οι θάλασσες παρουσιάζουν μεγάλη θερμοχωρητικότητα αφού εκτός από την εξάτμιση, η θερμότητα μεταφέρεται προς το εσωτερικό των υδάτινων μαζών. Έτσι κατά τη διάρκεια της ημέρας ο αέρας πάνω από λίμνες, και θάλασσες παραμένει σχετικά κρύος, σε σχέση με τον αέρα τις στεριές που θερμαίνεται περισσότερο. Έτσι έχουμε και μια μείωση της πυκνότητας του με αποτέλεσμα την ανύψωση του και τα κρύα βαρύτερα στρώματα του αέρα που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας κινούνται για να πάρουν τη θέση του πάνω από την ξηρά.

Με τον τρόπο αυτόν παράγονται τα τοπικά παραλιακά ρεύματα που κατά τη διάρκεια της νύχτας τα ρεύματα αυτά αντιστρέφονται επειδή η θερμοκρασία της ξηράς ελαττώνεται πολύ γρηγορότερα από αυτή του νερού και έτσι ο ψυχρότερος άρα και βαρύτερος αέρας της ξηράς κινείται προς τη θάλασσα όπου αναπληρώνει αυτόν που ανυψώνεται από την επιφάνεια της.

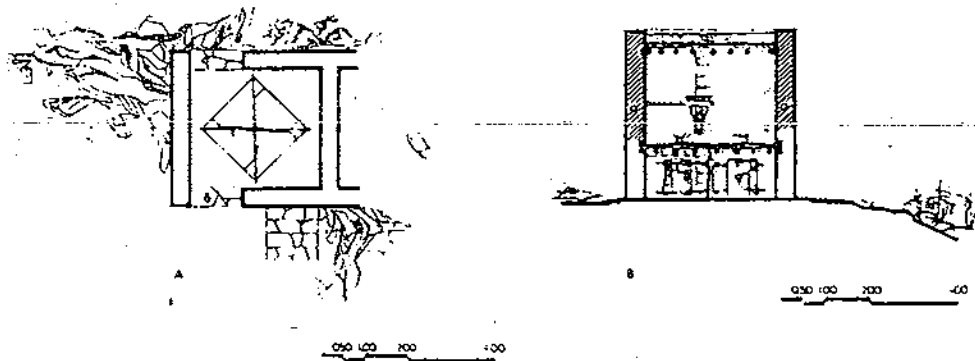
Παρόμοια τοπικά ρεύματα συμβαίνουν στις βουνοπλαγιές κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν ο θερμός αέρας ανυψώνεται κατά μήκος των θερμών πλαγιών υπό την επίδραση του ήλιου. Κατά τη διάρκεια της νύχτας ο σχετικά κρύος αέρας των πλαγιών κινείται προς τις πεδιάδες.

Κατά τον ίδιο τρόπο παράγονται και οι πλανητικοί άνεμοι, λόγω της μεγαλύτερης θέρμανσης της επιφάνεια της γης κοντά στον ισημερινό από ότι στους πόλους. Επίσης έχουμε και τους εποχιακούς ανέμους όπως οι Μουσώνες καθώς και τους ετήσιους ή Μελτέμια.

Οι τελευταίοι έχουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον αφού η παρουσία τους είναι πολύ συχνή στην περιοχή του Αιγαίου. Είναι άνεμοι του καλοκαιριού, Βόρειο-Βορειοανατολικοί μέχρι και Βορειοδυτικής διεύθυνσης που αρχίζουν να πνέουν από τις αρχές του Μαΐου και εξασθενούν στα μέσα του Οκτωβρίου. Τη μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα τη παρουσιάζουν από τα μέσα του Ιουλίου έως τα μέσα του Σεπτεμβρίου με μέγιστη ημερήσια διακύμανση τις απογευματινές ώρες ενώ η έντασή τους ελαττώνεται τη νύχτα.

1.2 Αναδρομή στην ιστορία

Η αιολική ενέργεια είναι από τις πιο παλιές φυσικές πηγές ενέργειας που αξιοποιήθηκε σε μηχανική μορφή από τον άνθρωπο, ιδιαίτερα σε αγροτικές εφαρμογές έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας, ιδιαίτερα με τη χρήση της στην ναυτιλία για εμπόριο, επικοινωνία, και εξερευνήσεις. Σημαντική εφαρμογή στους αρχαίους χρόνους, εκτός από την ναυτιλία, ήταν και ο ανεμόμυλος για άλεση των γεωργικών καρπών.

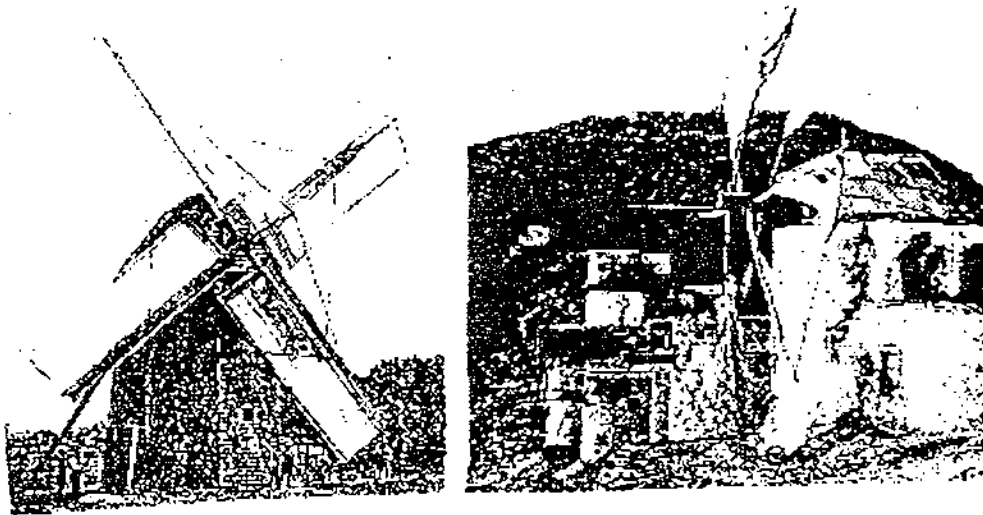


Σχήμα 1.2.1 : Ανεμόμυλος Περσικού τύπου. Α κάτοψη, Β τομή

Στην Ασία αναπτύχθηκαν κατασκευές με κατακόρυφο άξονα και πτερύγια, με κύριο υλικό κατασκευής το ξύλο, τα πανιά, και ειδικές λιθόκτιστες κατασκευές (σχήμα 1.2.1). Στην περίοδο του Μεσαίωνα αναπτύχθηκε στις Ευρωπαϊκές χώρες ο ανεμόμυλος οριζοντίου άξονα εξ' ολοκλήρου κατασκευή από ξύλο. Αναπτύχθηκαν κατά χιλιάδες, συντέλεσαν σημαντικά στην γεωργική αλλά και τη βιομηχανική ανάπτυξη και αποτέλεσαν τον πρόδρομο του σημερινού ανεμοκινητήρα. Τον συναντάμε με δύο μορφές τον Ολλανδικό¹ και τον Μικονιάτικο² (σχήμα 1.2.2 α,β).

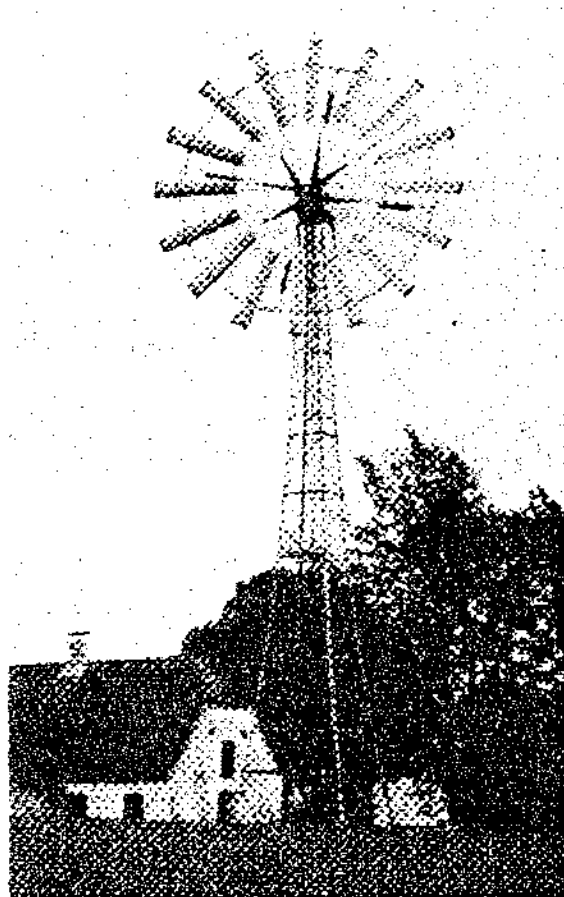
¹ Ξύλινης κατασκευής με μεταλλικά στροφέια πάνω σε βάση με δοκούς που χρησιμοποιήκε κυρίως για την αποστράγγιση των Κάτω Χωρών (Polders) και το άλεσμα των δημητριακών.

² Ανεμόμυλος οριζοντίου άξονα με ξύλινα στροφέια και πανιά πάνω σε λιθόκτιστη κατασκευή που χρησιμοποιήθηκε κυρίως για άλεσμα δημητριακών και για άντληση νερού



Σχήμα 1.2.2 : α. Ολλανδικού τύπου, β. Μικονιάτικου τύπου

Η άντληση νερού για αρδεύσεις με χρήση αιολικής ενέργειας παρουσίασε μεγάλη έξαρση από τα τέλη του περασμένου αιώνα μέχρι και τα μέσα του παρόντος αιώνα, οπότε η επέκταση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας και η χρήση άλλων ενεργειακών πηγών που παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση ισχύος και είναι απαλλαγμένες από τον στατικό χαρακτήρα του ανέμου εκτόπισαν την χρήση της αιολικής ενέργειας. Στις Η.Π.Α. αναφέρεται ότι λειτουργούσαν 6 εκατομμύρια ανεμόμυλοι τύπου Φάρμας μέχρι τα μέσα του αιώνα (σχήμα 1.2.3).



Σχήμα 1.2.3 : Αμερικάνικου τύπου Φάρμας

Στη συνεχή προσπάθεια του ο άνθρωπος για την αξιοποίηση του ανέμου για ενεργειακούς σκοπούς επενόησε διάφορους τύπους ανεμοκινητήρων, που κυρίως βασίζονταν η κίνησή τους στην αντίσταση ροής και όχι στην άνωση με αποτέλεσμα το χαμηλό βαθμό απόδοσης.

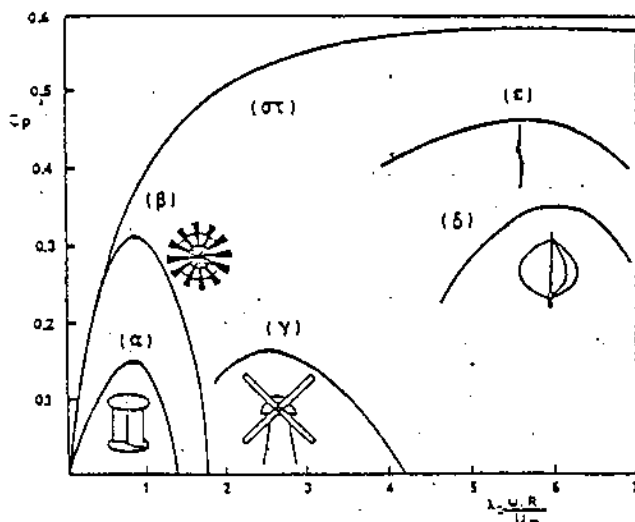
Γύρω στα 1900 αναφέρεται η πρώτη εφαρμογή παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό³ από τον άνεμο στην Δανία που αργότερα αναπτύχθηκαν παρόμοιες εφαρμογές και στις Η.Π.Α.

Μετά το 2ο παγκόσμιο πόλεμο η αυξανόμενη ζήτηση της ενέργειας οδήγησε σε προσπάθειες στην ευρώπη για ανάπτυξη μεγάλων σχετικά ανεμογεννητριών οριζοντίου άξονα με δυο ή τρία πτερύγια, αλλά τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά. Χρειάζονταν ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και αναζήτηση ανθεκτικότερων υλικών.

Στην συνέχεια έχουμε την εμφάνιση της πυρηνικής ενέργειας που υποσχόμενη άφθονη και φθηνή ηλεκτρική ενέργεια εκμηδένισε το ενδιαφέρον για την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας.

Η τεχνολογική πρόοδος τις τελευταίες δεκαετίες και οι πετρελαϊκές κρίσεις ευνόησαν την ανάπτυξη μεγαλύτερων μονάδων περισσότερο αξιόπιστων για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.

Στο παρακάτω σχήμα 1.2.4. βλέπουμε τις καμπύλες απόδοσης των διαφόρων τύπων ανεμοκινητήρων. Ο συντελεστής ισχύος C_p εκφράζει το λόγο της ισχύος του άξονα του δρομέα πρό την ισχύ του ανέμου, ενώ ο συντελεστής λ ορίζεται από τον λόγο της περιφερειακής ταχύτητας του άκρου του πτερυγίου προς την ταχύτητα του ανέμου.



Σχήμα 1.2.4. : Καμπύλες απόδοσης διαφόρων τύπων ανεμοκινητήρων

1.3. Η Εξέλιξη

Από τις αρχές του '80 η τεχνολογία των ανεμογεννητριών παρουσίασε εντυπωσιακή εξέλιξη, ενώ η Ευρωπαϊκή βιομηχανία ανεμομηχανών απέκτησε σημαντική ωριμότητα. Οι ανεμομηχανές που επικράτησαν στην αγορά είναι οριζοντίου άξονα με πτερύγια μεταβλητής

³ Poul la Cour ερευνητής που αφιέρωσε τις προσπάθειές του στην εφαρμογή της τεχνολογίας των ανεμομηχανών ως βάση για τον εξηλεκτρισμό. Τον ονομάζουν και "The danish Edison" για τις ηλεκτρικές εφαρμογές του. Ιδρυτής του "Danish wind Power Society" το 1903.

κλίσης ή σταθερά, πολλαπλασιαστές στροφών, και γεννήτρια κατά κανόνα ασύγχρονη, ενώ το όλο σύστημα στηρίζεται πάνω σε πύργο με δυνατότητα να περιστρέφεται προς όλες τις διευθύνσεις του ανέμου.

Η ανεμογεννήτρια αρχίζει να παράγει ωφέλιμο έργο από μία ταχύτητα ανέμου και πάνω, αποκτά την ονομαστική της ισχύ σε μια μεγαλύτερη, την οποία διατηρεί πρακτικά όσο και αν ανέβει η ταχύτητα του ανέμου, μέχρι να φθάσει στην μέγιστη όπου και τίθεται εκτός λειτουργίας για λόγους προστασίας. Η κατασκευή της δε, πρέπει να αντέχει σε ταχύτητες ανέμου 180-200 Km/h.

Εκτεταμένη εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται με την συνδεσή τους στα ηλεκτρικά δίκτυα για παράλληλη λειτουργία με τις συμβατικές μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, με άμεση εξοικονόμηση καυσίμων ή υδάτινων αποθεμάτων.

Σήμερα η Ευρωπαϊκή βιομηχανία προσφέρει στην αγορά ανεμογεννήτριες μέσου μεγέθους (της τάξης 200-500 KW και διάμετρο πτερυγίων 25-35 m) με μεγάλη αξιοπιστία και οικονομικά ανταγωνιστικές. Η πρόοδος που πραγματοποιήθηκε στην ανάπτυξη των ανεμογεννητριών τα τελευταία χρόνια (για τις εμπορικές μονάδες) χαρακτηρίζεται από τα εξής:

- αύξηση της ονομαστικής ισχύος από 55 KW στα 500 KW σχεδόν 9 φορές.
- η παραγωγικότητα της ανεμογεννήτριας βελτιώθηκε εντυπωσιακά από 400 KWh/m² επιφάνειας σαρώσεως το χρόνο ξεπερνά σήμερα τις 1200 KWh/m² για θέσεις με καλά ανεμολογικά χαρακτηριστικά.
- ο συντελεστής φορτίου είναι τώρα γενικώς πάνω από 30% ενώ σε μερικές περιπτώσεις ξεπερνάει τα 45 ή 48%.
- η συνολική ενέργεια που παράχθηκε από τις ανεμογεννήτριες στην Ευρώπη ξεπερνά τις 4,5 TWh.
- η ισχύς που εξοικονομήθηκε με την εγκατάσταση ανεμογεννητριών στην Ευρώπη εκτιμάται 235 MW συμβατικών εγκαταστάσεων.
- μεγάλες ποσότητες εκπομπών στο περιβάλλον (CO₂ SO₂ NO_x) από σταθμούς άνθρακα και πετρελαίου αποφεύχθηκαν με την συμβολή τους.
- η στάθμη του θορύβου έχει μειωθεί λόγω της βελτιωμένης αεροδυναμικής σχεδίασης των πτερύγων και των επιμέρους εξαρτημάτων.
- το κόστος της ανεμογεννήτριας αυξήθηκε σε μικρότερο βαθμό απ' εκείνο της αυξημένης απόδοσης των ανεμογεννητριών.
- το κόστος παραγωγής ενέργειας μειώθηκε εντυπωσιακά μέχρι το 1988 και μετέπειτα παρέμεινε σταθερό (0,04 ÷ 0,07 ECU/KWh)

- η ποιότητα των εξαρτημάτων βελτιώθηκε καθώς και οι εφαρμοζόμενοι κανονισμοί ασφαλείας
- το πολιτικό κλίμα είναι ευνοϊκό για τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας και ιδιαίτερα την αιολική που γίνεται αποδεκτή σαν καθαρή ενέργεια..
- το θεσμικό πλαίσιο βελτιώθηκε σε αρκετές χώρες για την υποστήριξη εφαρμογών αιολική ενέργειας.
- με αποκορύφωμα μερικές Ευρωπαϊκές χώρες κατέστρωσαν φιλόδοξα προγράμματα ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας.

Τα επόμενα χρόνια λαμβάνοντας υπόψη την παγκόσμια κατάσταση στην ενέργεια και την αγορά που δημιουργήθηκε στην Ευρώπη για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, αναμένεται ότι μέχρι το έτος 2000 περισσότερα από 4500 MW εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες θα λειτουργούν στην Ευρώπη, ενώ αρχίζει να διευρύνεται η αγορά των χωρών της Απω Ανατολής και της Ινδίας.

Τα εθνικά και κοινοτικά προγράμματα στην αιολική ενέργεια θα παίξουν σημαντικό ρόλο για την υποστήριξη της βιομηχανίας, την περαιτέρω μείωση του κόστους παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες, την τεχνολογική ανάπτυξη, την τεχνική της μαζικής βιομηχανικής παραγωγής καθώς και τα πλεονεκτήματα από την καμπύλη εκμαθήσεως.

Οι κρατικές υπηρεσίες καθώς και η τοπική αυτοδιοίκηση που εμπλέκονται στις διαδικασίες αιολικών εφαρμογών έχουν να επιτελέσουν σημαντικό έργο για την απλοποίηση και συμπλήρωση του θεσμικού πλαισίου με την παράλληλη άρση κάθε τεχνικού εμποδίου.

Στα αμέσως προσεχή χρόνια προβλέπεται να ολοκληρωθεί η εναρμόνιση των τεχνικών και περιβαντολογικών προδιαγραφών για τις αιολικές εφαρμογές στην Ευρώπη με ιδιαίτερο στόχο τις ελάχιστες απαιτήσεις στην ασφάλεια, απόδοση και περιβαντολογικές επιπτώσεις με συνεχόμενο βήμα την καθιέρωση Ευρωπαϊκών κανονισμών.

Οι τάσεις που παρουσιάζονται στην ευρώπη είναι :

- ζήτηση μεγαλύτερων μονάδων της τάξης των 500 ÷ 1000 MW
- μετρήσεις ανεμολογικών χαρακτηριστικών και αναζήτηση των πλεονεκτικότερων θέσεων για εγκατάσταση αιολικών πάρκων.
- αποδοτικά και αξιόπιστα αιολικά πάρκα
- ανάπτυξη χρηματοδοτικών σχημάτων για την υποστήριξη των εφαρμογών

- περαιτέρω διεύρυνση και μελέτη θεμάτων που συναρτώνται με την σύνδεση αιολικών πάρκων στα δίκτυα ηλεκτρισμού για μια αξιόλογη διείσδυση ενέργειας που θα είναι τεχνικά και οικονομικά αποδεκτή.

1.4 Εφαρμογές των ανεμοκινητήρων σήμερα

Η κλιμάκωση των ανεμοκινητήρων σύμφωνα με τις κατασκευές που έχουν γίνει σήμερα γίνεται βάσει της ισχύος τους διακρίνονται σε :

- ανεμοκινητήρες μικρής ισχύος μέχρι 20 KW
- ανεμοκινητήρες μέσης ισχύος 20-250 KW
- ανεμοκινητήρες μεγάλης ισχύος > 250 KW

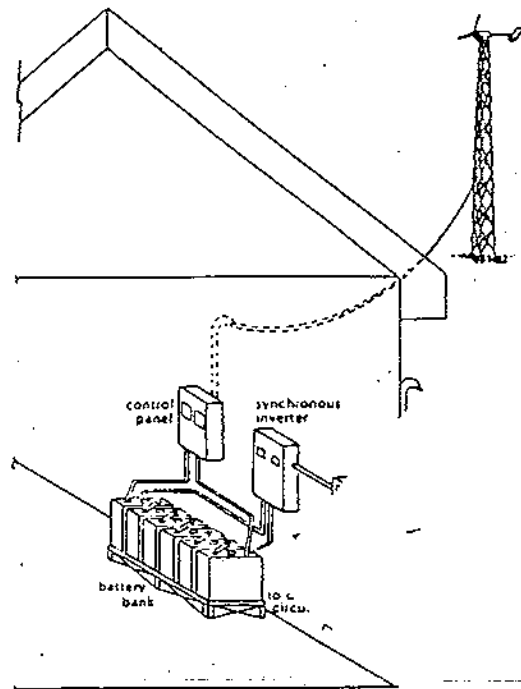
Οι ανεμοκινητήρες μικρής ισχύος χρησιμοποιούνται σε απομονωμένες περιοχές για κάλυψη αγροτικών, κτηνοτροφικών, αντλητικών εφαρμογών καθώς επίσης και για μικροεφαρμογές θέρμανσης νερού, κατοικίας, φωτισμό και άλλα. Τις περισσότερες φορές η λύση αυτή είναι και η οικονομικότερη. Οι ανεμοκινητήρες του τύπου αυτού είναι ανεξάρτητοι, μη συνδεδεμένοι με το ηλεκτρικό δίκτυο και χρησιμοποιούν γεννήτρια συνεχούς ρεύματος για τη φόρτιση συσσωρευτών.

Η εκμετάλλευση της Αιολικής ενέργειας με ανεμοκινητήρες μέσης και μεγάλης ισχύος μπορεί να γίνεται σε συνεργασία με δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

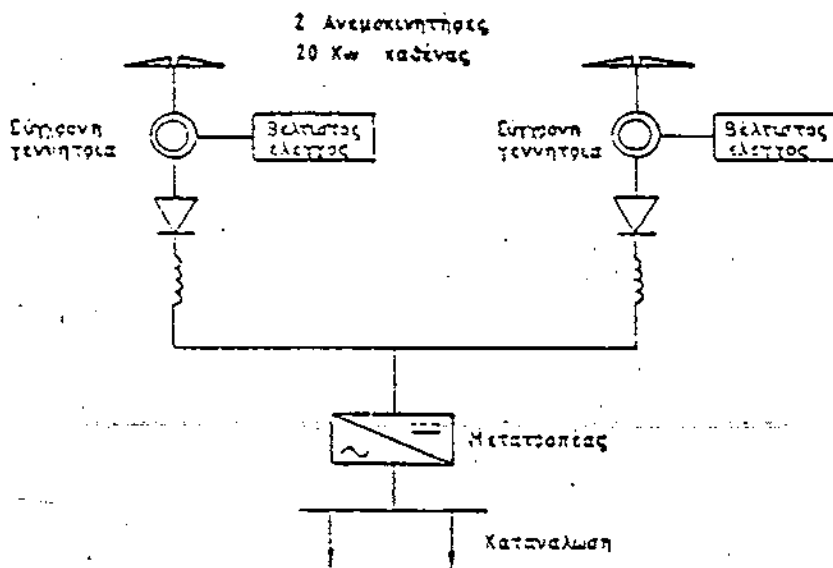
Έχουμε τις παρακάτω περιπτώσεις :

1. Λειτουργία Ανεμοκινητήρα για εξοικονόμηση καυσίμου. Ο τρόπος αυτός λειτουργίας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την νησιωτική Ελλάδα, όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι, με κόστος παραγόμενης Diesel KWh υψηλό λόγω της θαλάσσιας μεταφοράς και μικρού μεγέθους του σταθμού σε κατανάλωση καυσίμου.
2. Λειτουργία Ανεμοκινητήρα, ως σταθμού βάσης, θεωρώντας ότι η εγκατεστημένη ισχύς της Diesel μειώνεται κατά ποσοστό της ονομαστικής ισχύος του ανεμοκινητήρα.
3. Λειτουργία ως αντλητικού σταθμού για αποθήκευση νερού, ή για χρησιμοποίησή του ως υδροηλεκτρική ενέργεια.

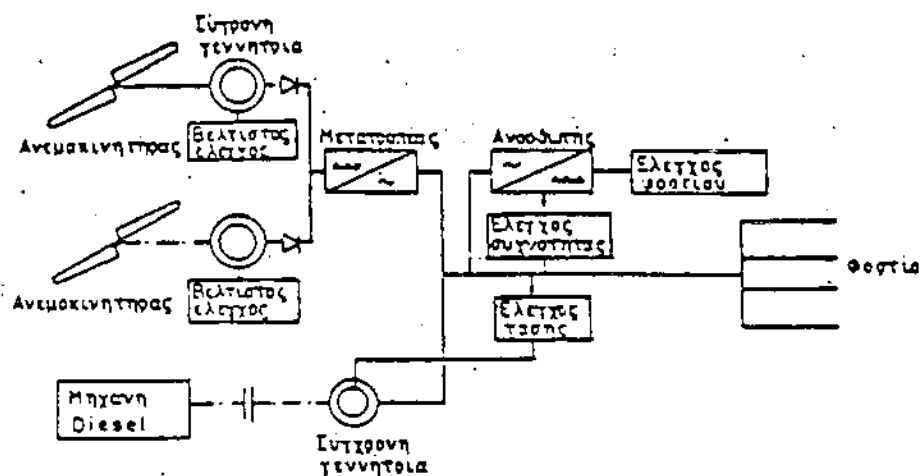
Η μηχανική ενέργεια του δρομέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το παραγόμενο ρεύμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση νερού, φόρτιση συσσωρευτών (μικρές μονάδες) (σχήμα 1.4.1.), να συνδέεται απ' ευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο (σχήμα 1.4.2.), ή να λειτουργεί παράλληλα με Diesel σαν Pick load (σχήμα 1.4.3.).



Σχήμα 1.4.1. : Αυτόνομη εφαρμογή ανεμογεννήτριας-αποθήκευση συσσωρευτών με AC synchronous inverter.



Σχήμα 1.4.2. : Χρήση αιολικής ενέργειας σε οικόσμο 28 κατοικιών στο Camperdown που η ανεμογεννήτρια λειτουργεί παράλληλα με το δίκτυο 3x380 volts.



Σχήμα 1.4.3. : Αυτόνομη εγκατάσταση ανεμοκίνητρου -μηχανής Diesel που αναπτύσσεται από το τεχνολογικό Πανεπιστήμιο του Eindhoven.

Μια άλλη δυνατότητα με πολύ καλές προοπτικές είναι η χρήση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για ηλεκτρόλυση νερού και η αποθήκευσή του παραγόμενου Υδρογόνου με δυνατότητες μεταφοράς και καύσης ως καύσιμο υλικό (π.χ. κινητήρες αυτοκινήτων) με προϊόντα καύσης το νερό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ , ΑΝΕΜΟΙ ΚΑΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

2.1 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 τη συγκρατούν σε υδροστατική ισορροπία γύρω από το σώμα αυτό είναι οι βαρυτικές δυνάμεις του πλανήτη. Οι διάφορες διαταραχές και τα φαινόμενα που προκαλούνται οφείλονται σε μικρές αποκλίσεις από την κατάσταση ισορροπίας.

Το μείγμα των αερίων που συνιστούν την ατμόσφαιρα της Γης εκτείνεται μέχρι 800-1000 Km ύψους 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 ύψους.

Τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας, εκτός από την σύνθεσή της, είναι η θερμοκρασία, η πίεση, και η πυκνότητα. Τα χαρακτηριστικά αυτά υποβάλλονται σε σημαντικές μεταβολές που εξαρτώνται από το υψόμετρο, την ώρα, την ηλιακή επίδραση (εποχή) κ.α.

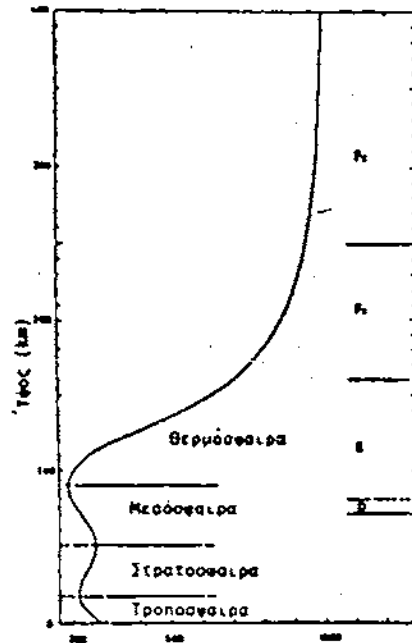
Η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται από ένα ελάχιστο -138°C που μετρήθηκε σε ύψος 85 Km, μέχρι ένα μέγιστο, σε περιόδους μεγίστης ηλιακής επίδρασης 1227°C σε ύψη μεγαλύτερα των 400 Km. Οι θερμοκρασίες αυτές, κατά ένα μέρος, εξαρτώνται από την έκταση στην οποία τα διάφορα αέρια των περιοχών αυτών απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται στην ατμόσφαιρα και την υπέρυθη ακτινοβολία που εκπέμπουν στη συνέχεια.

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 $2,26 \times 10^{-6}$ mmHg στα $1,00 \times 10^{-6}$ mmHg στο ύψος των 200 Km κ.λ.π.

Η πυκνότητα της ατμόσφαιρας κατά τον ίδιο τρόπο μειώνεται με την αύξηση του υψόμετρου. Στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας βρίσκεται μια τιμή $1,266 \text{ Kg/m}^3$ 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 $3,32 \cdot 10^{-10} \text{ kg/m}^3$.

Για ευκολία στη μελέτη διαφόρων ατμοσφαιρικών φαινομένων, η ατμόσφαιρα χωρίζεται σε ζώνες. Ο διαχωρισμός που χρησιμοποιείται είναι αυτός που στηρίζεται

στην κατανομή της θερμοκρασίας με το ύψος. Η πρώτη περιοχή εκτείνεται από το επίπεδο του εδάφους μέχρι το πρώτο ελάχιστο της θερμοκρασίας, λέγεται Τροπόσφαιρα (σχήμα 2.1.1.). Η επομένη περιοχή που εκτείνεται μέχρι το δεύτερο μέγιστο της θερμοκρασίας (όταν το πρώτο βρίσκεται στο επίπεδο του εδάφους) λέγεται Στρατόσφαιρα. Η ανώτερη περιοχή που φθάνει μέχρι το δεύτερο θερμοκρασιακό ελάχιστο είναι η Μεσόσφαιρα. Η τέταρτη περιοχή που ακολουθεί είναι η Θερμόσφαιρα. Πέρα από τη θερμόσφαιρα βρίσκεται μια άλλη περιοχή η οποία δεν ορίζεται από την θερμοκρασία της, λέγεται Εξώσφαιρα και πιστεύεται ότι αρχίζει σε ύψος 400 Km.



Σχήμα 2.1.1 : Η ατμόσφαιρα της Γης

Ο κύριος όγκος της γήινης ατμόσφαιρας είναι ηλεκτρικά ουδέτερος, όμως σε ύψος πάνω από 50 Km περίπου, ένα μικρό τμήμα της ατμόσφαιρας είναι ιονισμένο, περιέχοντας ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Η περιοχή αυτή λέγεται Ιονόσφαιρα και υποδιαιρείται σε επι μέρους ζώνες : D, E, F1, F2. Η κύρια αιτία ιονισμού των στοιχειωδών σωματιδίων της ατμόσφαιρας είναι η υπεριώδης ακτινοβολία του ηλιακού φάσματος.

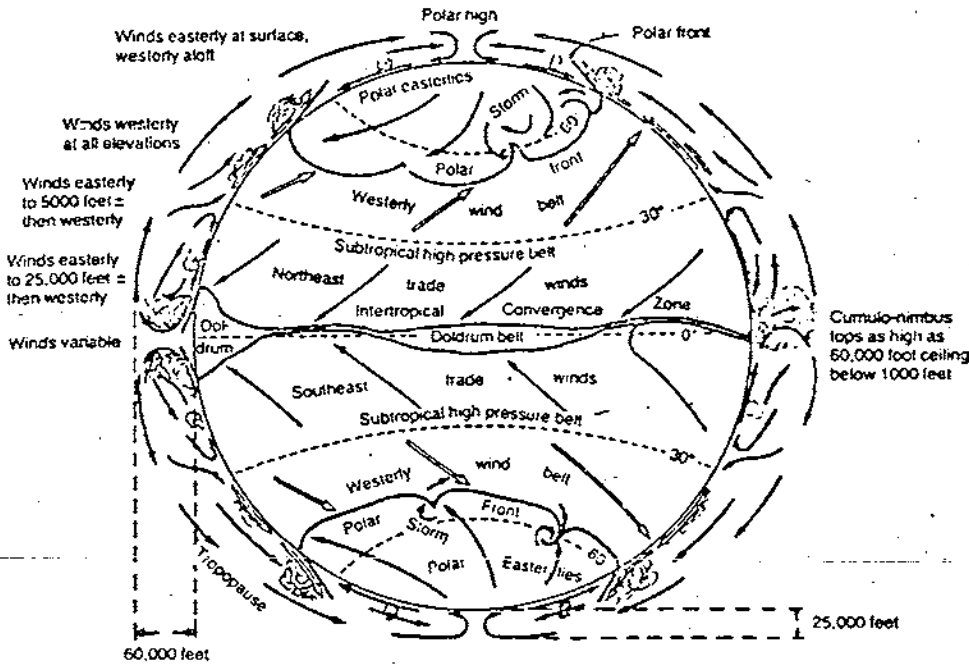
2.2 Άνεμοι

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 της διαφορετικής επιφανειακής θερμοκρασίας της Γης. Οι διαφορετικές θερμοκρασίες οφείλονται σε δύο κύριους παράγοντες :

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

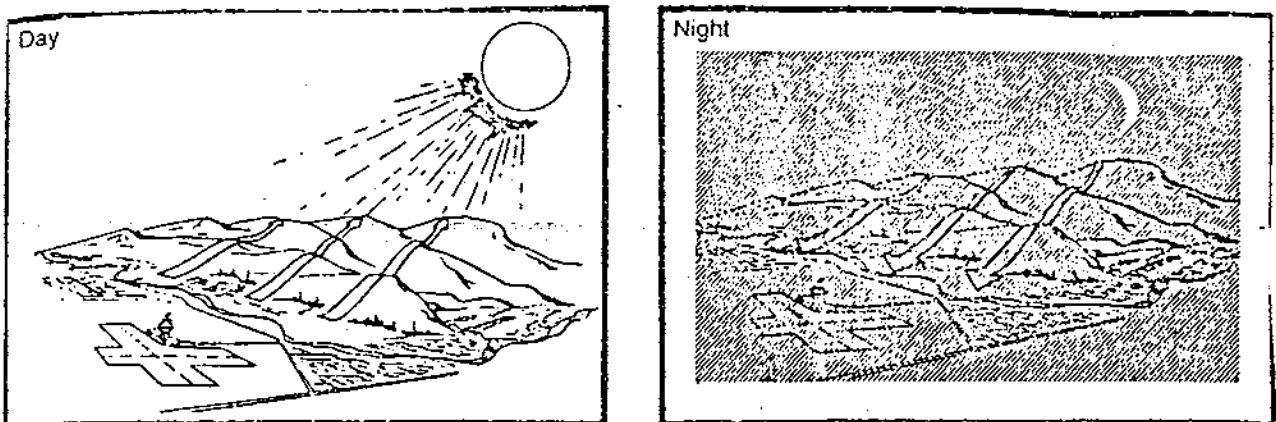
Οι άνεμοι που δημιουργούνται λόγω διαφορετικού γεωγραφικού πλάτους είναι φαινόμενα σχεδόν καθημερινά ή μεταβλητά με μεγάλη περίοδο μεταβολής

(εποχιακά). Στο σχήμα 2.2.1 φαίνεται μια γενική εικόνα των ανέμων του είδους αυτού. 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.

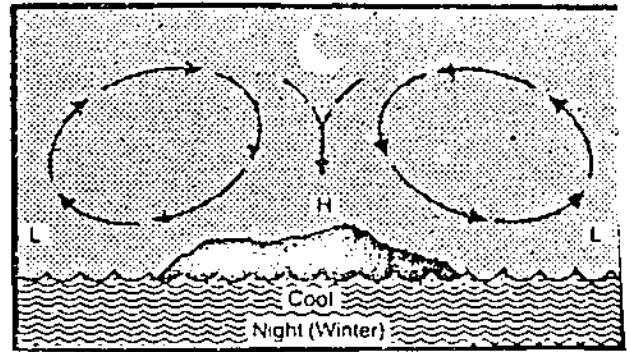
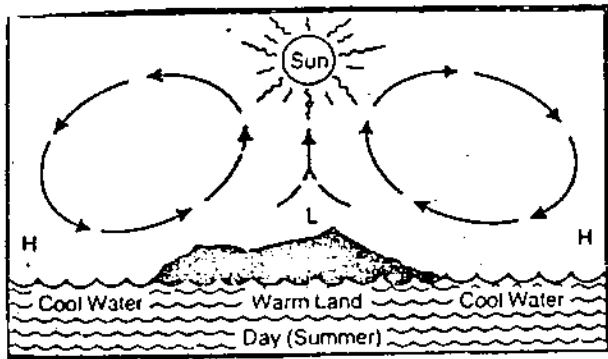


Σχήμα 2.2.1: Άνεμοι λόγω περιστροφής της Γης και διαφορετικού γεωγραφικού πλάτους που είναι φαινόμενα σχεδόν μόνιμα (εποχιακά).

Οι άνεμοι που οφείλονται στον δεύτερο παράγοντα χαρακτηρίζονται από μικρή χρονική διάρκεια (ωριαία ή ημερήσια) και παρατηρούνται είτε κοντά σε ορεινούς όγκους, σε κοιλάδες ή σε λεκανοπέδια είτε σε θαλάσσιες ή λιμνώδεις περιοχές όπου δηλαδή υπάρχει διαφορετικός ρυθμός θέρμανσης ή ψύξης του εδάφους και του υδάτινου όγκου. Στα σχήματα 2.2.2, 3, φαίνεται η ημερήσια μεταβολή των ανέμων της κατηγορίας αυτής.



Σχήμα 2.2.2 : Ημερήσια μεταβολή της αύρας σε βουνά και κοιλάδες



Σχήμα 2.2.3. : Ημερήσια μεταβολή της αέρας σε στεριά και θάλασσα

Η ένταση των τοπικών ανέμων και τα φαινόμενα που συνδέονται με αυτούς, εντείνονται ή εξασθενούν ανάλογα με τους συνολτικούς ανέμους της πρώτης κατηγορίας.

Στο Ελλαδικό χώρο, λόγω της μορφολογίας της Βαλκανικής Χερσονήσου, τη χειμερινή περίοδο επικρατούν τοπικοί Βόρειοι-Βορειοανατολικοί άνεμοι η ένταση των οποίων είναι μέση έως ισχυρή, την Άνοιξη γίνονται νοτίων διευθύνσεων, ισχυρής επίσης έντασης, ενώ το καλοκαίρι η ένταση των ανέμων πέφτει με συνέπεια την εμφάνιση πολλών ημερών νηνεμίας.

Η ενέργεια που η αέρια μάζα λαμβάνει από τον ήλιο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, που η διαφοροποίηση στη θέρμανση του εδάφους οδηγεί στη δημιουργία κλίσεων πίεσης που μαζί με τις δυνάμεις Coriolis, και τις φυγόκεντρες εξισορροπούν τις αδρανειακές δυνάμεις.

Από ιστορικούς λόγους έχει επικρατήσει στους Μετεωρολόγους η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου στη κλίμακα Beaufort αντί του σωστού m/s. Στον παρακάτω πίνακα 2.2.1 παρουσιάζεται η αντιστοιχία Beaufort με m/s.

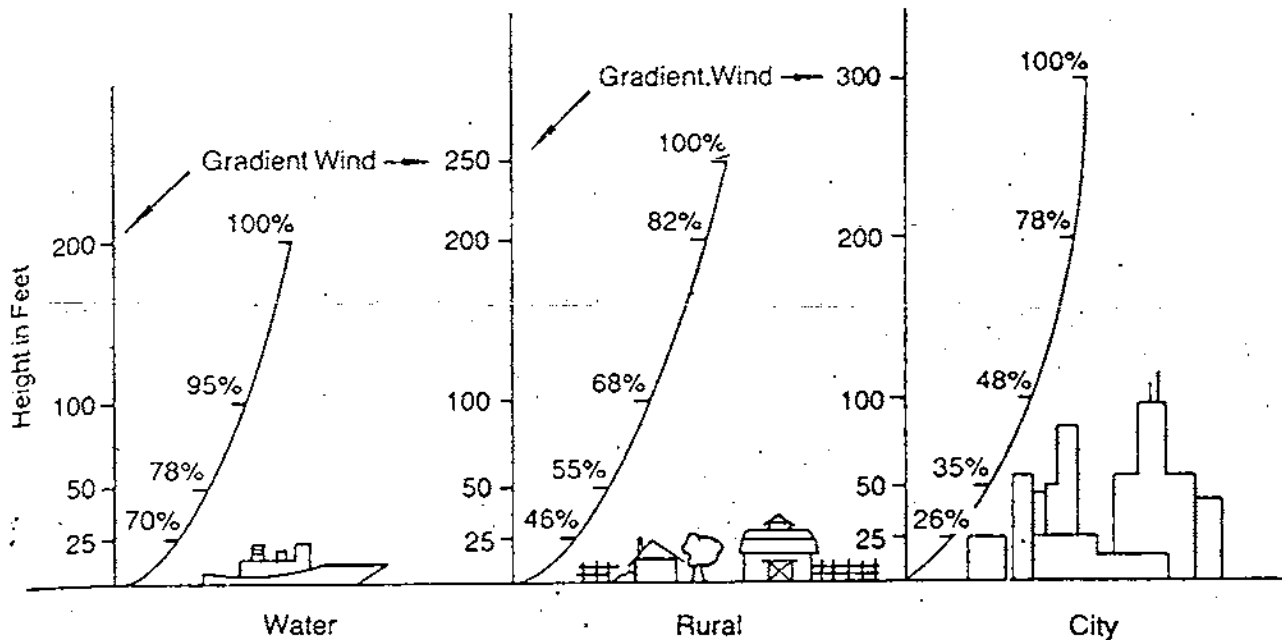
Beauf	Ταχύτητα (m/sec)	Μέση ταχ. (m/sec)	Ταχύτητα (knots)	Ταχύτητα (mph)	Ταχύτητα (km/h)	Ονομασία	Ενδείξεις
0	0 - 0.2	0.1	κάτω του 1	κάτω του 1	κάτω του 2	Νηνεμία	Κάλεψη άνοδος καπνού
1	0.3 - 1.5	0.9	1 - 3	1 - 3	2 - 6	Ελαφρός αέρας	Η διεύθυνση φαίνεται από καπνό. Όχι από ανεμοδείκτη
2	1.6 - 3.3	2.45	4 - 6	4 - 7	7 - 11	Ήλια αέρα	Γίνεται αισθητή στο πρόσωπο. Η αυτίση, από ανεμοδείκτη
3	3.4 - 5.4	4.40	7 - 10	8 - 12	12 - 19	Μέτρια αέρα	Ξεδιπλώνει λεπτό ύφασμα (σημείο)
4	5.5 - 7.9	6.70	11 - 16	13 - 18	20 - 30	Δροσερή αέρα	Σπικώνει στέγη. Τα μικρά κλαδιά κινούνται
5	8 - 10.7	9.35	17 - 21	19 - 24	31 - 40	Ισχυρή αέρα	Τα μικρά δένδρα ταλαντώνται
6	10.8 - 13.8	12.3	22 - 27	25 - 31	41 - 50	Μέτριος άνεμος	Μεγάλα κλωνάκια σε κίνηση. Σφουρίζουν τα καλώδια του τηλεγράφου
7	13.9 - 17.1	15.5	28 - 33	32 - 38	51 - 60	Μέσος άνεμος	Όλα τα δένδρα κινούνται
8	17.2 - 20.7	18.95	34 - 40	39 - 46	62 - 74	Ισχυρός άνεμος	Μικρά κλαδιά σπάζουν, εμποδίζεται το βάδισμα
9	20.8 - 24.4	22.6	41 - 47	47 - 54	75 - 87		Κίνδυνος για ελαφρές κατασκευές
10	24.5 - 28.4	26.45	48 - 55	55 - 63	88 - 102		Ξεριζώνει δένδρα
11	28.5 - 32.6	30.55	56 - 65	64 - 75	103 - 120	Θύελλα	
12	32.7 - 36.9	34.8	> 65	> 75	> 120	Καταιγίδα	

Πίνακας 2.2.1. : Μετροπή της κλίμακας Beaufort

2.2.1 Ατμοσφαιρικό Οριακό Στρώμα

Καθώς η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε σχετική κίνηση με τη Γη στο κατώτατο τμήμα λόγω του ιξώδους του αέρα δημιουργείται το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, μέσα στο οποίο η σχετική ταχύτητα μεταβάλλεται από το μηδέν πάνω στην επιφάνεια της Γης, μέχρι τις μεγαλύτερες τιμές.

Το ύψος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος (ΑΟΣ), δεν είναι σταθερό ούτε τοπικά ούτε χρονικά. Οι κύριοι παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται η τιμή αυτή είναι η μορφή του στερεού ορίου (τραχύτητα εδάφους), που είναι η επιφάνεια της Γης (σχήμα 2.2.4) και η κατάσταση ευστάθειας της ατμόσφαιρας.

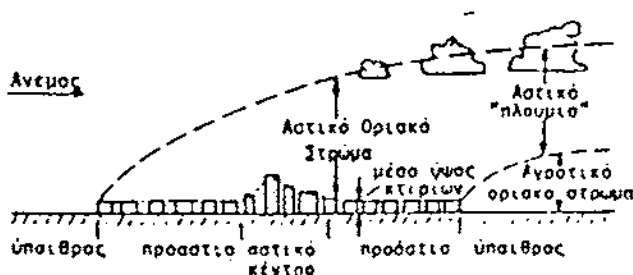


Σχήμα 2.2.4. : Μεταβολή του ύψους του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους.

Στην ουδέτερη ατμοσφαιρική κατάσταση, όπου η ταχύτητα αέρα σε ύψος δέκα μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους είναι μεγαλύτερη από $5 \text{ E } 7 \text{ m/s}$ δηλαδή $U_{z=10} > 5 \text{ E } 7 \text{ m/s}$, ο δεύτερος παράγοντας εξαλείφεται και μένει ο προσδιορισμός του ύψους του ΑΟΣ ως συνάρτηση της μορφολογίας της επιφάνειας του εδάφους και πιο συγκεκριμένα της τραχύτητας του. Για ομαλό έδαφος και αδύναμο άνεμο το πάχος του οριακού στρώματος μπορεί να είναι της τάξης των 200 μ. ενώ για ανώμαλη επιφάνεια (μεγάλη τραχύτητα) και έντονο άνεμο να φθάσει τα 1200 μ. Αντίθετα για πολύ ευσταθή κατάσταση της ατμόσφαιρας το πάχος του ΑΟΣ είναι της τάξης των 30 μ. ενώ σε συνθήκες που ευνοούν την έντονη ανάμιξη του αέρα (ανοδικά-καθοδικά ρεύματα) το ύψος του ΑΟΣ φθάνει μέχρι τα 3 χλμ.

Η κυριότερη αιτία της ασυμφωνίας αυτής είναι ότι οι περιοχές που έχουν μεγάλη έκταση και συγχρόνως παρουσιάζουν ομοιόμορφη τραχύτητα ώστε να αναπτυχθεί πλήρως το ΑΟΣ, περιορίζονται σε ορισμένες μόνο κατηγορίες (έρημος, θάλασσα, πεδιάδες με ομοιόμορφη κάλυψη). Αντίθετα οι περιοχές που ενδιαφέρουν

συνήθως (αστικά ή βιομηχανικά κέντρα, παραθαλάσσιες ή παραλίμνιες περιοχές) εκτός του ότι ο αέρας που τις περιβάλλει σπάνια βρίσκεται σε ουδέτερη κατάσταση λόγω της θερμικής ανομοιομορφίας προς κάθε κατεύθυνση, παρουσιάζουν έντονες μεταβολές της τραχύτητας του εδάφους με αποτέλεσμα είτε να μην προλαβαίνει να αναπτυχθεί το ΑΟΣ είτε να δημιουργείται εσωτερικό οριακό στρώμα (σχήμα 2.2.5), που τροποποιεί την αρχική μορφή του οριακού στρώματος.



Σχήμα 2.2.5 : Διαταριχές του ΑΟΣ και ανάπτυξη εσωτερικού οριακού στρώματος λόγω των μεταβολών της τραχύτητας του στερεού ορίου

2.2.2 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με τον χρόνο

Η ταχύτητα του ανέμου σε ορισμένη θέση στο χώρο δεν παραμένει σταθερή με τον χρόνο. Μεταβάλλεται και κατά μέγεθος και κατά διεύθυνση. Η μεταβλητότητα αυτή έχει ιδιαίτερη σημασία για τη λειτουργική απόδοση των αιολικών μηχανών αλλά και για τον υπολογισμό της αντοχής λόγω των εναλλασσόμενων φορτίων που αναπτύσσονται και που οδηγούν στην κόπωση των υλικών της μηχανής.

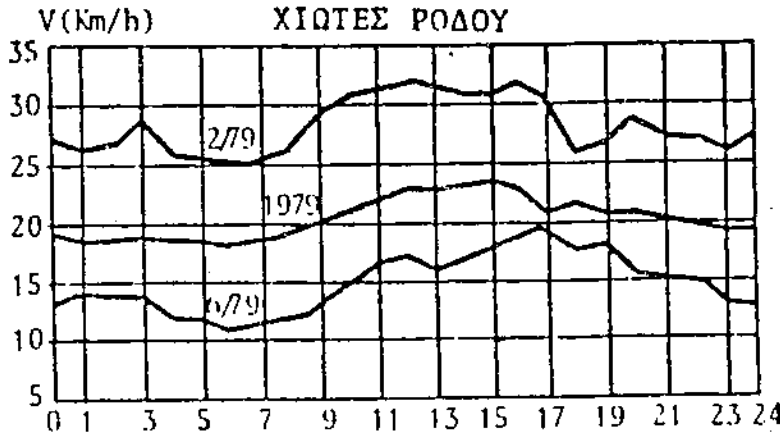
Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με τον χρόνο για μια μεγάλη χρονική περίοδο περιέχει μεταβολές που οφείλονται σε εποχιακές διακυμάνσεις ταχύτητας, σε παροδικά κλιματολογικά συστήματα, και σε μεταβολές που οφείλονται στην ασταθή φύση της ροής. Η τελευταία έχει χαρακτηριστικές κλίμακες χρονικών μεταβολών μέχρι ολίγων ωρών ενώ οι μεταβολές ταχύτητας λόγω κλιματολογικών συστημάτων έχουν χρονική κλίμακα ημερών.

Δηλαδή πρέπει να γνωρίζουμε την τιμή της τύρβης της ροής, την μέση τιμή, και τη μέγιστη τιμή της ταχύτητας του ανέμου καθώς και τη διάρκεια τους. Η μέση τιμή είναι απαραίτητη για ενεργειακούς σκοπούς, η τιμή της τύρβης για τον υπολογισμό των μεταβαλλόμενων φορτίων που επιδρούν στην ανεμογεννήτρια, η μέγιστη τιμή της ταχύτητας U_{max} για τον υπολογισμό της πιθανότητας μηχανολογικής αστοχίας της μηχανής, και τέλος η διάρκεια της μέγιστης ταχύτητας έτσι ώστε μια ριπή ανέμου χαρακτηρίζεται από την μέση τιμή κατά τη διάρκεια της περίπου για 3 δλ. Προφανής είναι η μέση τιμή της ριπής για χρονική περίοδο ίση με αυτήν της ολοκλήρωσης της μέσης ταχύτητας είναι ίδια με την μέση τιμή ταχύτητας για $T = 1$ ώρα.

Η μέση τιμή ταχύτητας σε μία περιοχή μπορεί να είναι ετήσια (καταγραφή των μέσων ετησίων ταχυτήτων), εποχιακή (μέση τιμή χειμώνα), συγκεκριμένου ύψους ή

ετών (μέση τιμή χειμώνων), ημερήσια (μέση τιμή ημέρας ή ημερών) και τέλος μέση ωριαία τιμή.

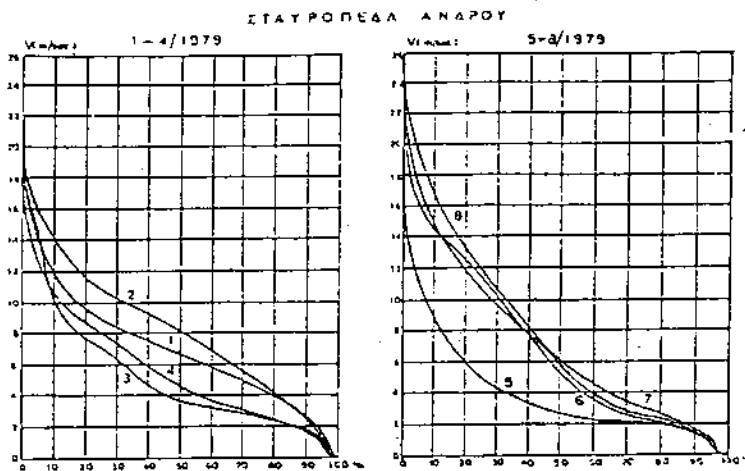
Οι εποχιακές και ημερήσιες τιμές επηρεάζονται από την διαδοχή των εποχών και την εναλλαγή ημέρας νύχτας (σχήμα 2.2.6). Η ενεργειακή απόδοση μιας ανεμογεννήτριας με διάρκεια ζωής 20 ετών θα εξαρτηθεί από την μέση ετήσια τιμή ταχύτητας ανέμου στη θέση εγκατάστασή της.



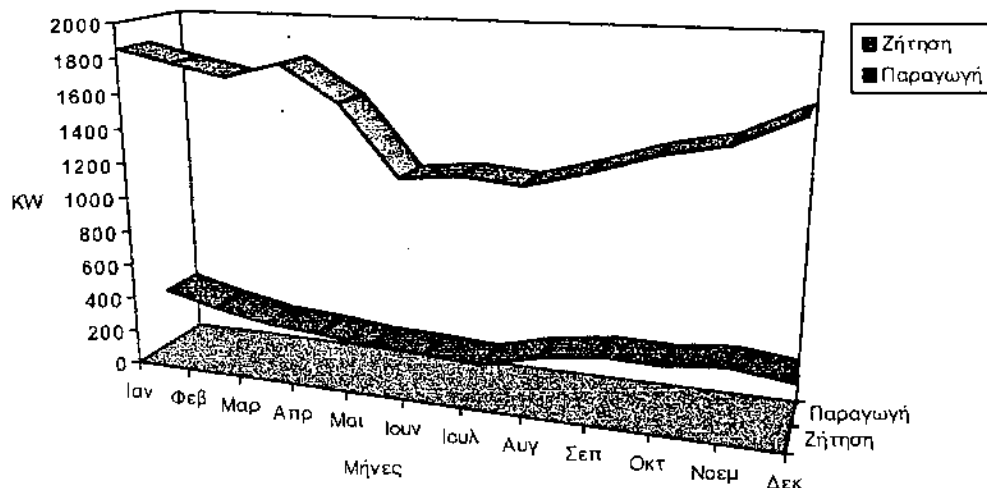
Σχήμα 2.2.6 : Διακύμανση της μέσης ωριαίας ταχύτητας

Εκτός από τη γνώση της μέσης ετήσιας ταχύτητας στη θέση εγκατάστασης της μηχανής είναι χρήσιμη η γνώση για ενεργειακούς υπολογισμούς η εποχιακή διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου καθώς και η διάρκεια πνοής της.

Η εποχιακή διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου (σχήμα 2.2.7) αποτελεί χρήσιμο στοιχείο για τον υπολογισμό της εποχιακής ενεργειακής απόδοσης της ανεμογεννήτριας και της ποιότητας προσαρμογής της καμπύλης παραγωγής στην καμπύλη ζήτησης της περιοχής εγκατάστασης (σχήμα 2.2.8).

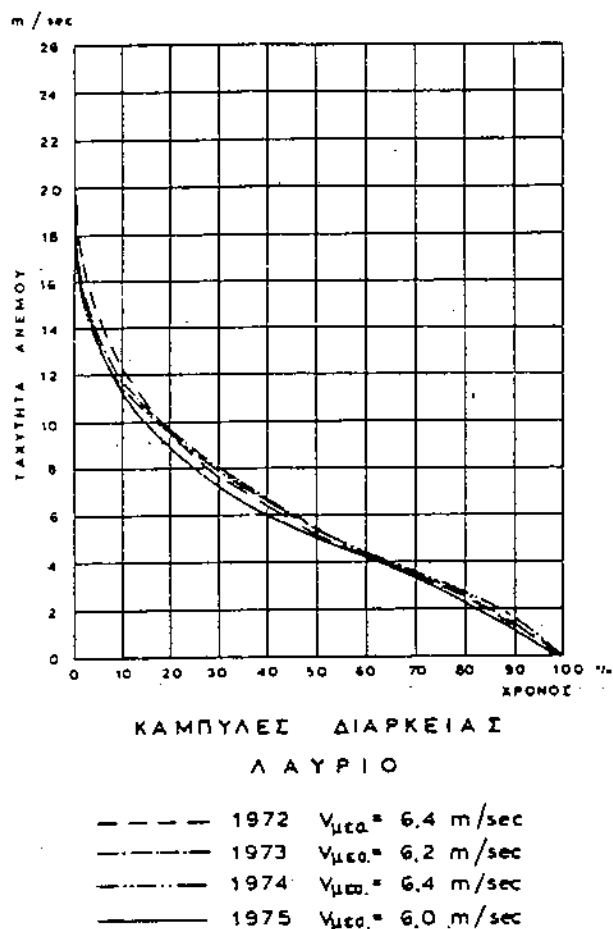


Σχήμα 2.2.7 : Εποχιακές καμπύλες διάρκειας πνοής ανέμου



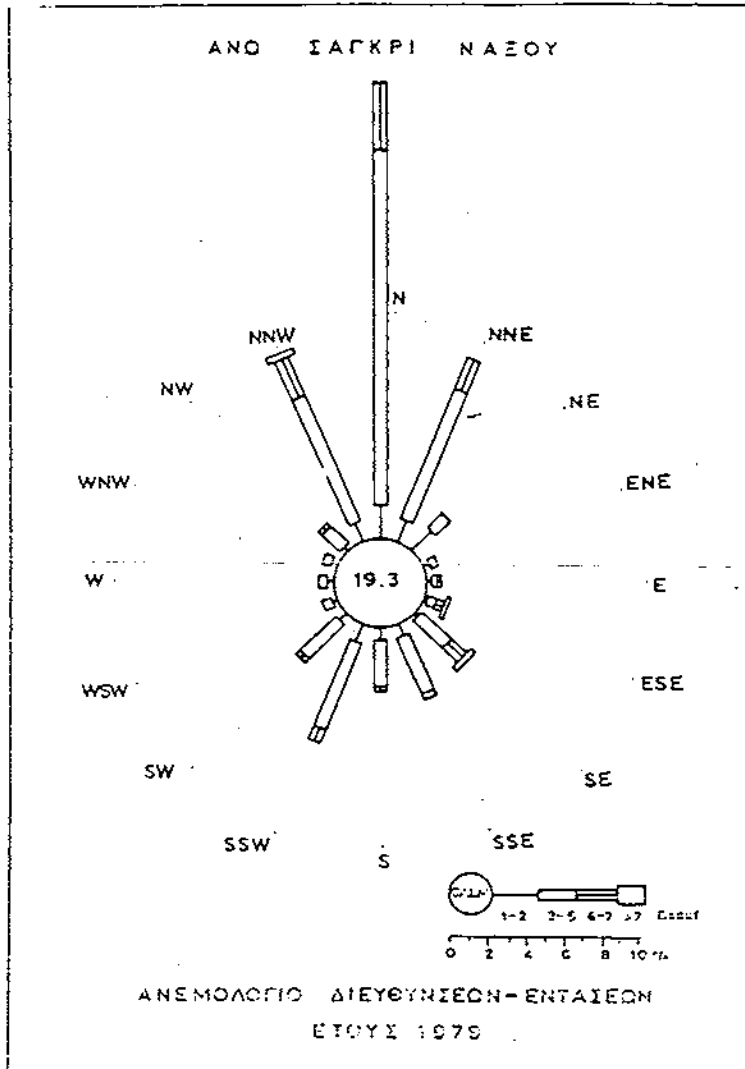
Σχήμα 2.2.8 : Η ετήσια καμπύλη φορτίου ζήτησης και παραγωγής ενέργειας από εγκατεστημένη ισχύ ανεμογεννήτριες ισχύος 340 KW στην περιοχή Καλιβάρι Ανδρού.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου είναι από τα πλέον απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να είναι γνωστά στη θέση εγκατάστασης (σχήμα 2.2.9) εκφράζει δε το ποσοστό του χρόνου (π.χ. πόσες ώρες από τις 8760 του έτους) για τις οποίες πνέει άνεμος ταχύτητας μεγαλύτερης από μια συγκεκριμένη τιμή.



Σχήμα 2.2.9 : Τυπική καμπύλη διάρκειας πνοής του ανέμου.

Πίνακας διπλής εισόδου συχνότητας πνοής ανά διεύθυνση μπορεί να παρασταθεί γραφικά με ροδογράφημα του ανέμου όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.10 το οποίο είναι αρκετά εποπτικό ώστε να δίνει αμέσως τη κατεύθυνση του ανέμου που επικρατεί στην περιοχή, τη διάρκεια πνοής του ανέμου από κάθε κατεύθυνση¹.



Σχήμα 2.2.10 : Ροδογράμμο πνοής του ανέμου στο Σαγκρί Νάζου

2.2.3 Διάτμηση του ανέμου

Η επιβράδυνση του ανέμου γίνεται από τα κτήρια, τη βλάστηση, την γεωμορφολογία του εδάφους κ.α. ή αντίθετως η ταχύτητα να επιταχύνεται με την μονάδα αύξησης του ύψους η οποία εξαρτάται από την τραχύτητα του εδάφους και τις μεταβολές του. Για συνηθισμένους τύπους εδάφους το ύψος τραχύτητας z_0 μπορεί να προσδιοριστεί συνήθως με την βοήθεια της υποθετικής ανάλυσης :

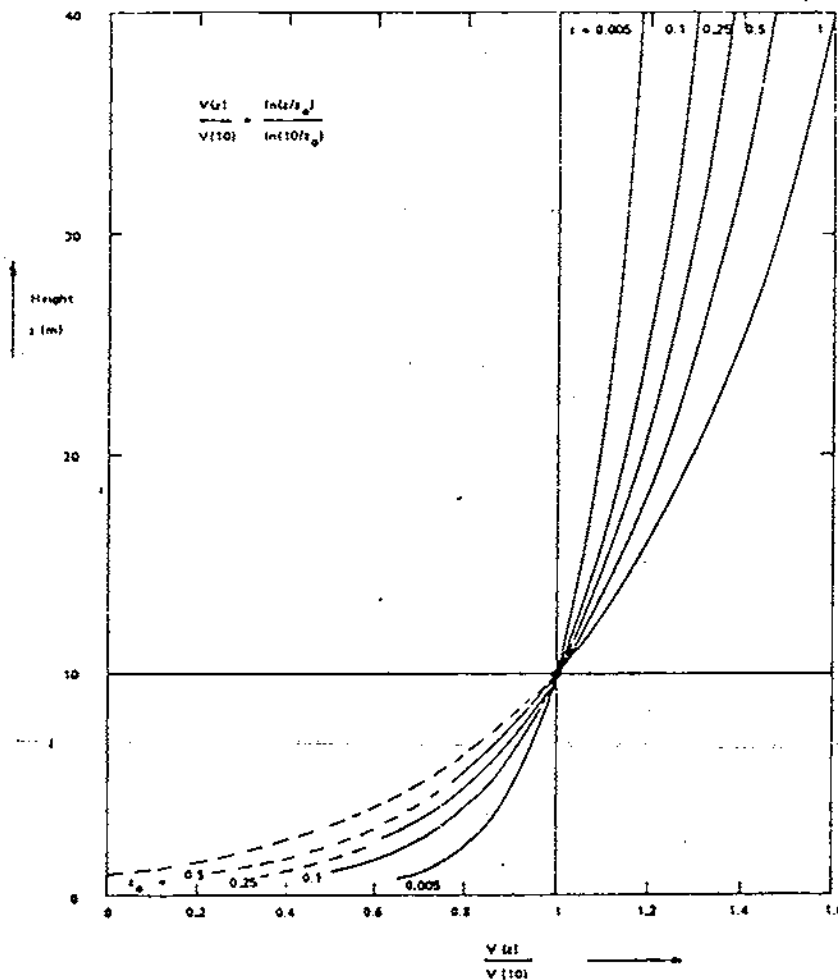
¹ Τα ανεμολογικά διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν στα παραπάνω κεφάλαια προέρχονται από "Μετρήσεις για την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της Ελλάδας" της Δ.Ε.Η. τόμος νί του 1987.

Επίπεδο	: παραλία, πάγος, χιονισμένο πεδίο, ωκεανός	$z_0=0.005\text{m}$
Ανοιχτό	: χαμηλό γρασίδι, αεροδρόμια, χωράφια	$z_0=0.03\text{ m}$
	: ψηλό γρασίδι, σπαρτά	$z_0=0.1\text{ m}$
Τραχύ	: σπαρτά ψηλά, χαμηλά δασώματα	$z_0=0.25\text{ m}$
Πολύ τραχύ	: δάση, καλλιεργήσιμες εκτάσεις	$z_0=0.5\text{ m}$
Κλειστά	: χωρία, προάστια	$z_0=1\text{ m}$
Πόλεις	: κέντρα πόλεων, ανοικτοί δασικοί χώροι	$z_0>2\text{ m}$

Αυτές οι τιμές μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον συνήθη τύπο για το λογαριθμικό προφίλ της διάτμησης του ανέμου :

$$\frac{V(z)}{V(z_r)} = \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_r/z_0)} \tag{2.2.1}$$

Για αναφερόμενο ύψος $z_r = 10\text{ m}$ ο τύπος αυτός αναφέρεται στο σχήμα 2.2.11 για διαφορετικές τιμές του ύψους τραχύτητας z_0 . Το διάγραμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιοχές στις οποίες δεν υπάρχουν μεγάλοι λόφοι ή εμπόδια σε απόσταση του 1 έως 2 Km από την ανεμογεννήτρια.



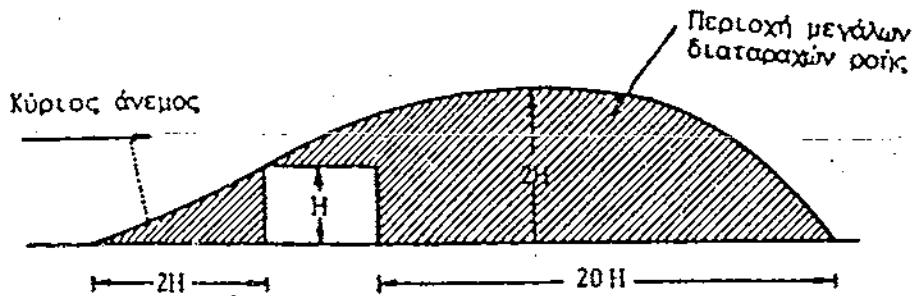
Σχήμα 2.2.11 : Η διάτμηση του ανέμου σε σχέση με ύψος αναφοράς 10 μ για διάφορες τιμές τραχύτητας z_0 .

2.2.4 Στροβιλισμός

Ο άνεμος που ρέει γύρω από τα κτήρια ή πάνω από τραχείες επιφάνειες προσδίδει γρήγορες αλλαγές στην ταχύτητα και στην διεύθυνση οι οποίες ονομάζονται στροβιλισμοί. Αυτοί μειώνουν την παραγόμενη ισχύ μιας ανεμογεννήτριας και μπορούν να προκαλέσουν ανεπιθύμητους κραδασμούς στην μηχανή.

Στο σχήμα 2.2.12 φαίνεται η διάθεση του στροβιλισμού πίσω από ένα μικρό κτήριο. Οι ίδιες συνθήκες επικρατούν γύρω από ζώνες κατοικιών και δέντρων δηλαδή ο στροβιλισμός λαμβάνει χώρα σε μια προσήνεμο απόσταση το λιγότερο 10 έως 15 φορές το ύψος της διαταραχής. Η διάθεση του στροβιλισμού εκτείνεται κατά τη διεύθυνση του ανέμου 2 φορές περίπου το ύψος της έμφραξης.

Μια απλή μέθοδος της ανακάλυψης του στροβιλισμού και του ύψους του οποίου εκτείνεται είναι με τη βοήθεια ενός μέτρου κορδέλας δεμένη από ένα μακρύ σημείο. Ο κυματισμός της κορδέλας δείχνει το ποσό του στροβιλισμού.



Σχήμα 2.2.12 : Ζώνη στροβιλισμού γύρω από ένα κτήριο

2.3 Επιλογή θέσης εγκατάστασης

Σε μια επιλογή θέσης εγκατάστασης μιας ανεμογεννήτριας πρέπει να είναι προσδιορισμένο το ακριβές σημείο έτσι ώστε να είναι εφικτός ο υπολογισμός της καθαρής παραγωγής ενέργειας της μηχανής (αφού έχουν συγκεντρωθεί τα τελευταία χρόνια όλα τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά της θέσης αυτής) επίσης δε η συμπεριφορά του ανέμου στη συγκεκριμένη θέση είναι αυτή που καθορίζει και τη λειτουργική συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας.

Εκτός από την ένταση του ανέμου και τις διακυμάνσεις στο μέτρο και διεύθυνση οι ανεμογεννήτριες πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες προϋποθέσεις εγκατάστασης :

- η παραγωγή ενέργειας να είναι συμφέρουσα οικονομικά
- (μικρό κόστος KW)
- η εγκατάσταση να μην έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον
- η λειτουργία της Α/Γ να είναι συμβατή με την λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου

- Να έχουν ληφθεί υπόψη κατά τον σχεδιασμό της Α/Γ οι πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες στη θέση επιλογής
- Αποδοχή από το ευρύ κοινό

Για να χαρακτηριστεί η διαδικασία επιλογής θέσης εγκατάστασης επιτυχής πρέπει να γίνει σε σύντομο χρονικό διάστημα ο προσδιορισμός της περιοχής με υψηλό αιολικό δυναμικό.

Η πιο πρακτική λύση βέβαια σε αυτό το πρόβλημα είναι να χρησιμοποιήσουμε υπάρχουσες πληροφορίες για τον προσδιορισμό περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό τέτοιο που να δικαιολογεί την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης.

2.3.1 Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή θέσης Α/Γ

Εκτός από τον προσδιορισμό της τοποθεσίας με το καλύτερο αιολικό δυναμικό πρέπει να ελέγξουμε αν πληρεί και άλλες προϋποθέσεις όπως οι επιδράσεις στο περιβάλλον, γενικοί κανονισμοί μετεωρολογικά προβλήματα, θέση εγκατάστασης κ.α.

Οι επιδράσεις των Α/Γ είναι μικρές ωστόσο σε μεμονωμένες περιπτώσεις μπορεί να έχουν αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Τα κυριότερα σημεία που πρέπει να προσέξουμε είναι :

- Οπτικοακουστική επίδραση Η εγκατάσταση μιας τεράστιας Α/Γ σε μια κλειστή περιοχή περιτριγυρισμένη από βουνά δημιουργεί ηχητική αλλά και οπτική επιβάρυνση στο περιβάλλον με αποτέλεσμα να μην γίνεται αποδεκτή από το κοινό. Προβλήματα παρόμοιου τύπου αντιμετωπίζουν στην Δανία όπου κανένας δεν θέλει να έχει δίπλα από το σπίτι του εγκατάσταση ανεμογεννήτριας. Αντιθέτως σε μια έρημη και αχανή έκταση θα έλυνε τα προβλήματα.
- Επιδράσεις στα πουλιά. Σκόπιμο κρίνεται η αποφυγή των νυκτερινών περασμάτων αποδημητικών πουλιών.
- Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση Το πρόβλημα αυτό δημιουργείται από την ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια του στροφείου. Στην Η.Π.Α. έχουν λάβει ευρεία δημοσιότητα οι παρεμβολές στις τηλεοπτικές μεταδόσεις. Σε τέτοιες περιπτώσεις πρέπει να προσέχουμε την γειτνίαση με ραντάρ, αεροδρόμια ή στρατιωτικές εγκαταστάσεις.

Επίσης κατά την επιλογή της θέσης πρέπει να ληφθούν και οι ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες που ορισμένες από αυτές μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές ή και να επηρεάσουν το κόστος συντήρησης και τη διάρκεια ζωής της ανεμογεννήτριας όπως :

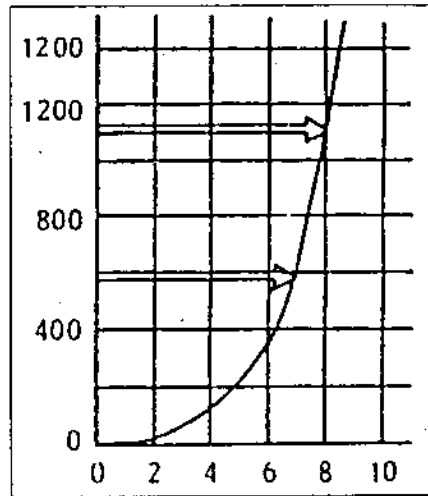
- Παγετός που μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία της Α/Γ σαν επικάλυψη στα πτερύγια και σε άλλα συστήματα της μηχανής με αποτέλεσμα την μειωμένη απόδοση και το υψηλό κόστος συντήρησης ιδιαίτερα στις αποκλεισμένες περιοχές.
- Ισχυροί άνεμοι με μεγάλη συχνότητα σε μορφή θύελλας υπολογίζονται από τα υπάρχοντα κλιματολογικά δεδομένα, όμως επιφέρουν αλλαγές στην στιβαρότητα της κατασκευής για να αντιμετωπίσει αυτές τις συνθήκες με αύξηση του κόστους κατασκευής και παραγόμενης ενέργειας.
- Τύρβη στη ροή του ρευστού επιφέρει διακυμάνσεις στο άνυσμα της ταχύτητας σε μέτρο και διεύθυνση και μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής και το κόστος συντήρησης της εγκατεστημένης Α/Γ.
- Μεταφερόμενα υλικά από τον αέρα όπως στις παραθαλάσσιες περιοχές έχουμε γρηγορότερη διάβρωση λόγω του αλατιού που περιέχει ή στις άγονες περιοχές ο αέρας μεταφέρει μεγάλες ποσότητες σκόνης, άμμου, ή και ψιλό χαλίκι. Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να προστατεύσουμε κατάλληλα τη μηχανή ή να αυξήσουμε τη συχνότητα συντήρησης της με επιπτώσεις στο κόστος της παραγόμενης ενέργειας.
- Σταθεροί άνεμοι είναι αυτό που χρειάζεται μια Α/Γ για να λειτουργεί σωστά γιατί οι διακυμάνσεις της ταχύτητας αλλά και της διεύθυνσεως έχουν σαν αποτέλεσμα να επηρεάζουν την κατασκευή αλλά και την απόδοση της μηχανής. Μελέτη της NASA πάνω στις Clayton mod. O.A. Α/Γ έδειξε ότι με τις συνεχόμενες περιστροφές της μηχανής γύρω από τον κατακόρυφο άξονα της (yawing) για να παρακολουθήσει τις διευθύνσεις του ανέμου, αναπτύσσονται καμπτικά φορτία στα πτερύγια της μηχανής.

Στη θέση εγκατάστασης των Α/Γ επίσης πρέπει να λάβουμε σοβαρά υπόψη μας και τη μορφολογία του εδάφους. Συγκεκριμένα δεν είναι ασύνηθες το φαινόμενο της εγκατάστασης τους σε θέσεις που έχουμε γενικά χαμηλές ταχύτητες ή υψηλής έντασης τύρβη επειδή επηρεάζονται από την ύπαρξη γειτονικών κτηρίων ή δέντρων. Γι' αυτό είναι γενικά αποδεκτό ότι η καλή επιλογή θέσης εγκατάστασης έχει σπουδαιότερη σημασία από ένα σωστό αεροδυναμικό σχεδιασμό του δρομέα που θα δώσει μόνο λίγο μικρό ποσοστό παραπάνω απόδοση σε αντίθεση με αυτό της κακής επιλογής θέσης που θα μειώσει το ποσοστό εκμετάλλευσης αρκετά σημαντικά.

2.3.2 Επίπεδη μορφολογία

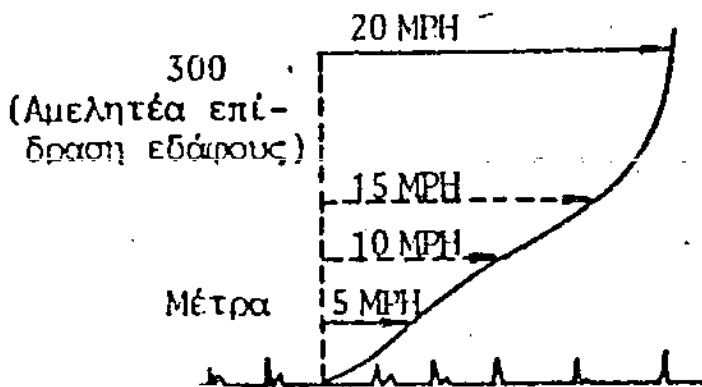
Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλετε με το ύψος από το έδαφος (εξίσωση 2.2.1) όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3.1 ότι όσο ψηλότερα από το έδαφος βρίσκεται ο δρομέας της Α/Γ τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ανέμου άρα και η ισχύς που

παράγεται. Το ύψος του πύργου αποτελεί βέλτιστη επιλογή αύξησης ισχύος/κόστος κατασκευής.



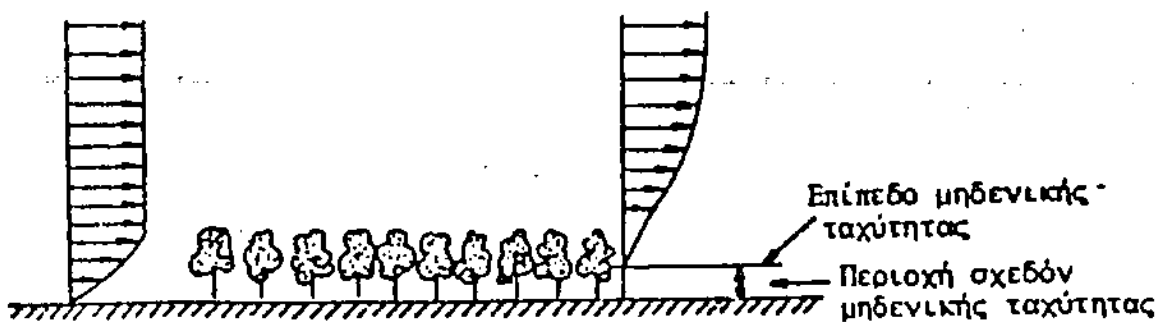
Σχήμα 2.3.1 : Μεταβολή της ταχύτητας με το ύψος

Η τραχύτητα παίζει επίσης ένα σημαντικό λόγο στην αύξηση του δυναμικού της ανεμογεννήτριας όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.3.2

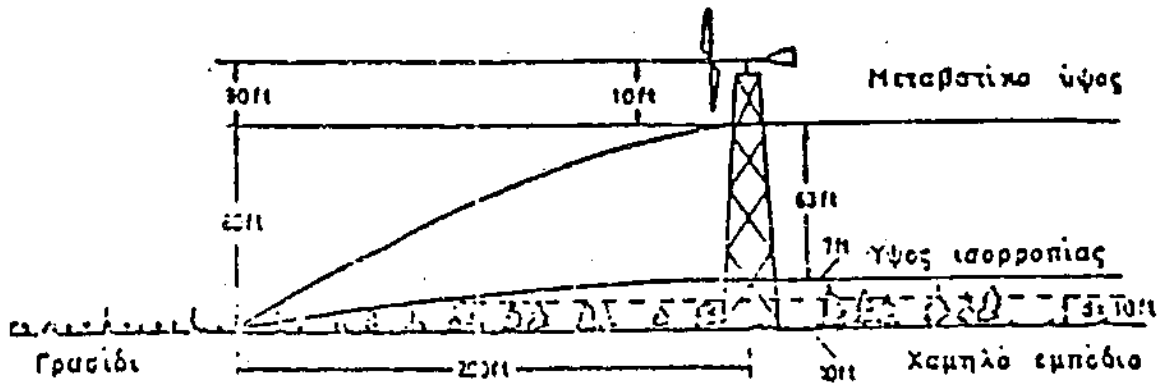


Σχήμα 2.3.2 : Επίδραση της επιφανειακής τραχύτητας στη διανομή ταχύτητας.

Είναι φανερό ότι ο δρομέας της Α/Γ πρέπει να βρίσκεται έξω από την ανεμολογική ζώνη επιρροής οποιουδήποτε επιφανειακού εμποδίου που βρίσκεται ανάντι του για μεγιστοποίηση της δεσμευομένης αιολικής ενέργειας. Στο σχήμα 2.3.3 φαίνεται η επίδραση των διαφόρων επιφανειακών εμποδίων στην καθ' ύψος διανομή ταχυτήτων για την περίπτωση των δέντρων ενώ στο σχήμα 2.3.4 φαίνεται η προφανής θέση εγκατάστασης της Α/Γ για την αποφυγή της ζώνης επιρροής των εμποδίων.



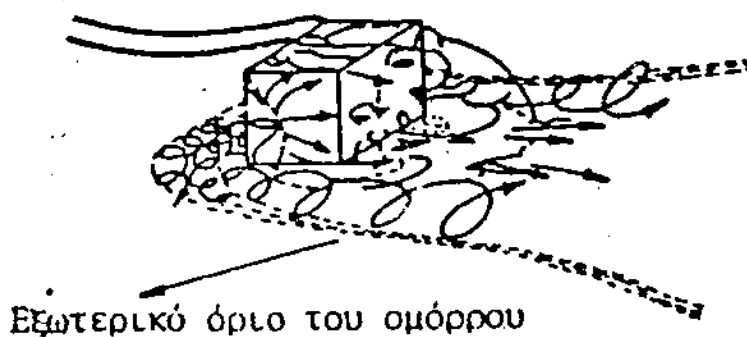
Σχήμα 2.3.3 : Σχηματισμός νέας κατανομής ταχυτήτων λόγω εμποδίων



Σχήμα 2.3.4 : Παράδειγμα θέσης Α/Γ για αποφυγή επίδρασης από προσκείμενα εμπόδια

Ενα άλλο συχνά εμφανιζόμενο είδος εμποδίων είναι παρακείμενα κτίρια προς την πιθανή θέση εγκατάστασης της Α/Γ. Το κτίριο ευρισκόμενο μέσα στο παράλληλο ρεύμα αέρα διαταράσσει σε μεγάλη έκταση το πεδίο ταχυτήτων ενδεικτική εικόνα στο σχήμα 2.3.5. Εκτεταμένη έρευνα πάνω σε αυτό το θέμα έχει δώσει τα εξής συμπεράσματα στην εγκατάσταση της Α/Γ :

- σε ανάντι απόσταση από το κτίριο 2 φορές τουλάχιστον το ύψος του
- σε κατάντι απόσταση από το κτίριο 10 φορές το ύψος του
- ο δρομέας σε ύψος 2 φορές το ύψος του κτιρίου αν η θέση εγκατάστασης είναι κοντά σε αυτό



Σχήμα 2.3.5 : Ροή γύρω από ένα κτίριο

2.3.3 Ανομοιόμορφη μορφολογία

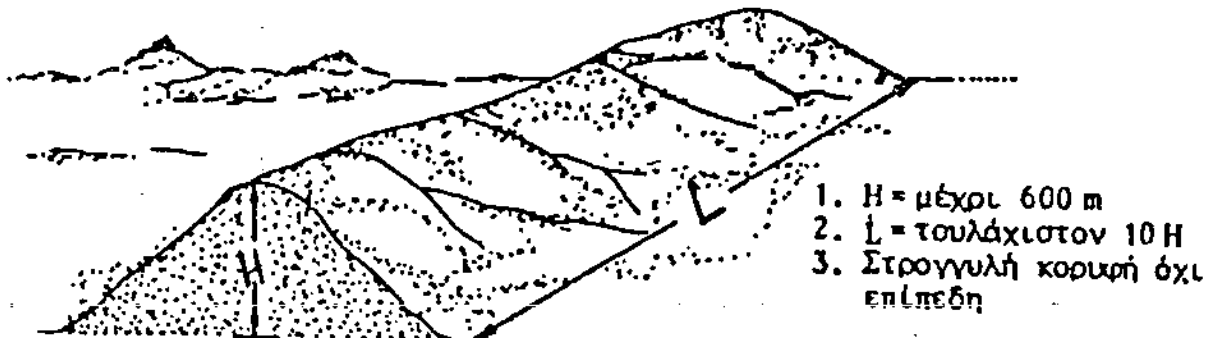
Η διαμόρφωση του πεδίου ταχυτήτων σε ανώμαλα εδαφη επηρεάζεται τοπικά από τα υπάρχοντα επιφανειακά εμπόδια όπως αναφέρθηκε προηγουμένα αλλά μεγαλύτερη βαρύτητα έχουν οι εδαφολογικές ιδιομορφίες στην γειτονική περιοχή της πιθανής εγκατάστασης της Α/Γ. Γι' αυτό είναι δύσκολο να γίνει τυποποίηση στην γενικότητα της μορφολογίας του εδάφους και της ζώνης επιρροής της και κάθε περίπτωση εξετάζεται ξεχωριστά. Οι ιδιαίτερες αυτές μελέτες γίνονται κύρια σε

τοπογραφικά ομοιώματα μέσα σε αεροδυναμικές σήραγγες² ή και τώρα τελευταία με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων σε Η/Υ.

Μερικές όμως μορφολογικές τοπογραφίες είναι δυνατόν να τυποποιηθούν και να χρησιμεύσουν ως κατευθυντήριες γραμμές στην προκαταρκτική λήψη απόφασης για τη θέση εγκατάστασης της Α/Γ όπως στη συνέχεια παρουσιάζονται.

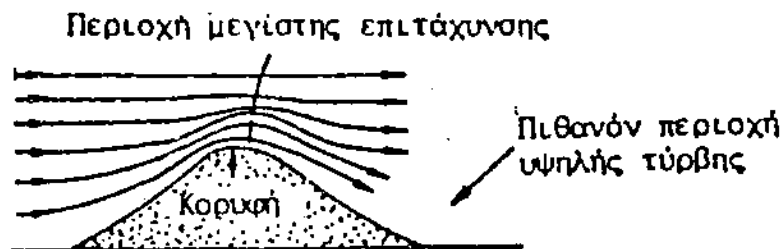
α. Λοφοσειρά

τυπικοί ορισμοί της λοφοσειράς δίνονται στο επόμενο σχήμα 2.3.6 όπου αυτή θεωρείται κάθετη στην επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου.



Σχήμα 2.3.6: Ορισμός λοφοσειράς

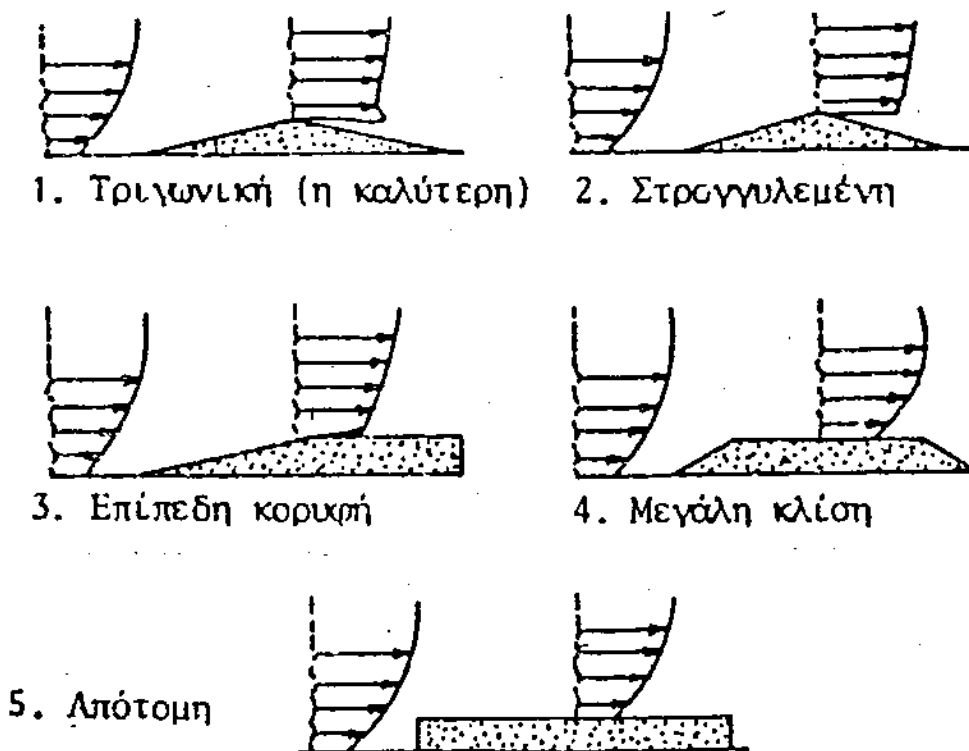
Εκτός από το γεγονός ότι οι κορυφές διαθέτουν εμπειρικά υψηλές ταχύτητες ανέμου σύμφωνα με το φαινόμενο της διάτμησης (κεφ 2.2.3) η κορυφή επενεργεί σαν ένα είδος συγκεντρωτή για το ρεύμα αέρος που επιταχύνεται κοντά στην κορυφή (σχήμα 2.3.7).



Σχήμα 2.3.7: Επιτάχυνση ανέμου πάνω από κορυφές

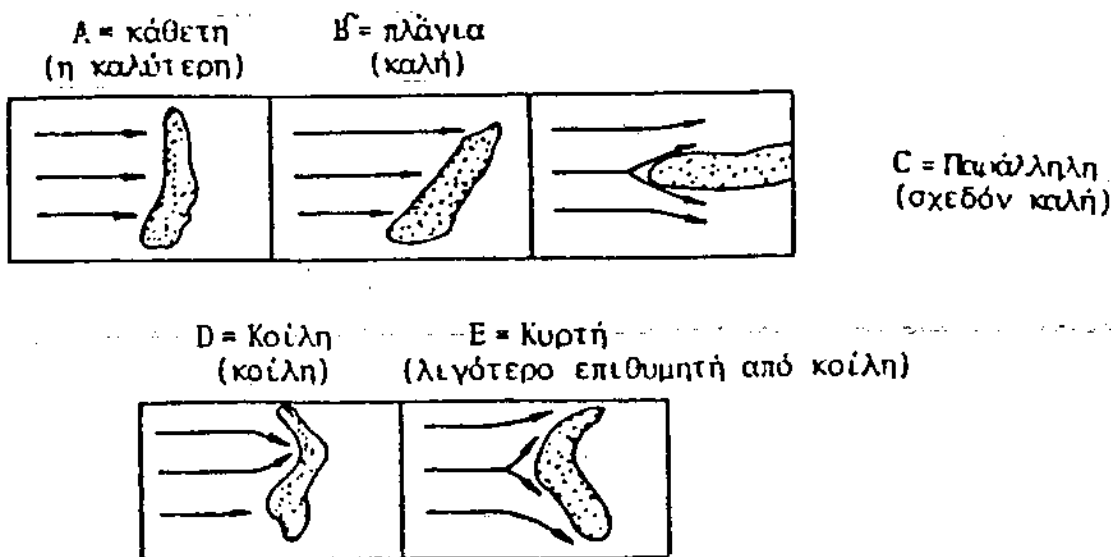
Γενικά μπορεί να ειπωθεί ότι το φαινόμενο είναι ισχυρότερο όταν η διάθεση είναι ομαλή και όχι πολύ απότομη ή επίπεδη. Ιδεατή γωνία κλίσης λέγεται ότι είναι 16° (29 μ υπερύψωση για 100 μ οριζόντιας απόστασης) αλλά γωνίες μεταξύ 6° και 16° είναι καλές. Γωνίες μεγαλύτερες των 27° πρέπει να αποφεύγονται με τις τριγωνικές κορυφές να έχουν καλύτερα χαρακτηριστικά διάθεσης από τις στρογγυλεμένες. Το επομένο σχήμα (2.3.8) μπορεί να μας κατατοπίσει καλύτερα.

² Αρκετές μελέτες έχουν γίνει σε αεροδυναμική σύρραγγα όπως αυτή του Α.Κ.Καρβέλα, Γ. Μπεργελε, Ν.Αθανασιάδη με θέμα "The flow around a surface mounted prism" του Ε.Μ.Π. κ.α.



Σχήμα 2.3.8 : Αξιολόγηση της μορφής των λοφοσειρών.

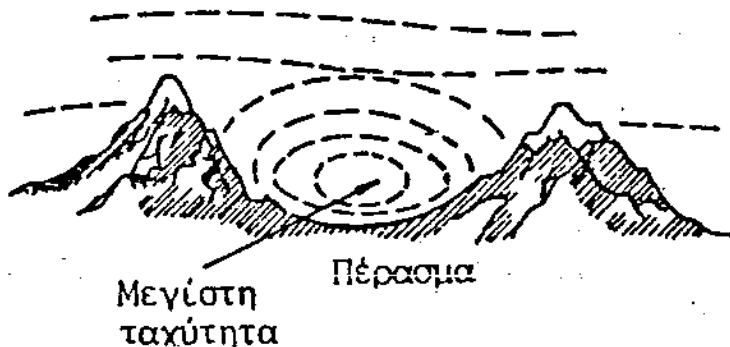
Ο προσανατολισμός της κορυφής είναι προτιμητέος κάθετος στην επικρατούσα διεύθυνση ανέμου. Εάν η κορυφή είναι κυρτή τότε είναι καλύτερα ο άνεμος να έχει κατεύθυνση στην κοίλη πλευρά της βουνοπλαγιάς (σχήμα 2.3.9). Μια ποσοτική ένδειξη της επιτάχυνσης είναι δύσκολο να δοθεί, αλλά μια αύξηση της τάξης του 10 έως 20% στην ταχύτητα του ανέμου εύκολα επιτυγχάνεται. Απομονωμένοι λόφοι δίνουν λιγότερη επιτάχυνση απ' ό,τι οι βουνοπλαγιές γιατί ο αέρας τείνει να ρεύσει γύρω από τον λόφο. Αυτό σημαίνει ότι σε μερικές περιπτώσεις οι δύο πλευρές του λόφου κάθετες στον επικρατέστερο αέρα είναι καλύτερες τοποθεσίες από-οτι στην κορυφή.



Σχήμα 2.3.9 : Αξιολόγηση της διεύθυνσης της λοφοσειράς

β. Περάσματα και διάσελα

Τα περάσματα και τα διάσελα που συχνά εμφανίζονται σε όρεινες περιοχές είναι συνήθως ευπρόσδεκτες θέσεις εγκατάστασης Α/Γ ιδιαίτερα αν το ανοιγμάτους είναι κατά την κατεύθυνση του ανέμου. Οι θέσεις αυτές είναι ευκολότερα προασβασίμες για την εγκατάσταση της Α/Γ και είναι γενικά θέσεις υψηλών ταχυτήτων ανέμου αλλά και καλής ποιότητας. Το σχήμα 2.3.10 δίνει μια τυπική διάταξη περάσματος ανάμεσα από δύο βουνά που όσο ψηλότερα και ομαλότερα είναι, τόσο ευνοικότερη είναι η θέση εγκατάστασης από θέμα ενεργειακής απόδοσης της Α/Γ



Σχήμα 2.3.10 : Μορφή περάσματος

2.4 Προοπτικές εφαρμογής Α/Γ στην Ελλάδα

Η χώρα μας βρίσκεται στην εύκρατη ζώνη όπου επικρατούν καλής ταχύτητας άνεμοι, συγχρόνως έχει και ευνοϊκή διαμόρφωση εδάφους που συμβάλει στην επαύξηση της αιολικής ενέργειας. Οι παραλιακές περιοχές, και ιδιαίτερα οι νησιωτικές, προσφέρονται για εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου, και εξασφαλίζουν ικανοποιητικό συντελεστή χρησιμοποίησης της εγκατάστασης. Έτσι τα νησιά μας διεκδικούν πρωταρχική θέση στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, όπως και στο παρελθόν που γινόταν εκεί εκτεταμένη χρήση της αιολικής ενέργειας.

Η εκμετάλλευση της ενέργειας αυτής θα μπορούσε να καλύψει τις ανάγκες των νησιών και συνδεδεμένα με την ηπειρωτική Ελλάδα να αποτελέσουν παραγωγικούς σταθμούς του εθνικού μας χώρου αφού οι συνθήκες είναι αρκετά ιδανικές με απουσία τυφώνων και με μία συνεχόμενη πνοή ανέμου καθ' όλη τη διάρκεια του έτους.

Σήμερα οι ανάγκες των νησιών σε ενέργεια καλύπτονται από αυτόνομους Diesel σταθμούς, εκτός από την Κρήτη και Ρόδο, ενώ μερικά νησιά που είναι κοντά στην ηπειρωτική πλευρά έχουν συνδεθεί στα κεντρικά δίκτυα. Ένας αριθμός νησιών έχουν συνδεθεί μεταξύ τους και τροφοδοτούνται από κεντρικούς αυτόνομους σταθμούς ενώ για αρκετά χρόνια προβλέπεται ότι τα απομακρυσμένα, θα στηρίζουν την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών στην αυτόνομη παραγωγή.

Οι δαπάνες για προμήθεια και εγκατάσταση μονάδων παραγωγής, αγορά και μεταφορά καυσίμων, λειτουργία και συντήρηση των μονάδων, η εγκατάσταση μονάδων εφεδρείας για την εξυπηρέτηση μικρών φορτίων με μεγάλες μεταβολές, επιβαρύνουν υπέρμετρα το κόστος παραγωγής. Η ανάγκη επέκτασης των δικτύων επίσης για εξυπηρέτηση των διάσπαρτων καταναλωτών δημιουργεί ένα επιπλέον κόστος.

Για όλα αυτά χρειάζεται διερεύνηση και αναζήτηση της πιο πρόσφορης λύσης μέσα σε ένα παραδεκτό οικονομικό πλαίσιο. Παραδείγματα όπως στις απομακρυσμένες περιοχές από το δίκτυο μεταφοράς ή μικρά νησάκια που δεν δικαιολογείται η εγκατάσταση αυτόνομου σταθμού μπορούν να εξυπηρετηθούν με μικρές ανεμογεννήτριες ικανές να καλύψουν ανάγκες φωτισμού, άντλησης νερού, θέρμανσης νερού και κατοικίας και ψύξης συντήρησης τροφίμων.

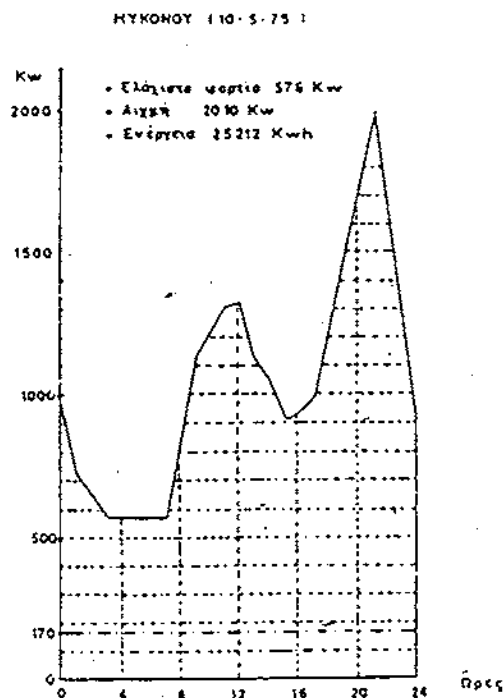
Οι ανεμογεννήτριες της ισχύος αυτής λειτουργούν και σε μικρές ταχύτητες ανέμου, έχουν απλή και ανθεκτική κατασκευή και για τις ανάγκες φωτισμού όταν υπάρχει άπνοια χρησιμοποιούν συστοιχία συσσωρευτών. Σ' αυτόν τον τύπο έχουν γίνει πολλές βελτιώσεις από τις κατασκευάστριες εταιρίες και έτσι χρησιμοποιείται με ασφάλεια στην ναυτιλία για φωτοσημάνσεις.

Ο τύπος της ανεμογεννήτριας που ενδιαφέρει περισσότερο για την ενεργειακή κάλυψη των απομακρυσμένων περιοχών είναι αυτό της μεσαίας ισχύος ο οποίος λειτουργεί παράλληλα με το δίκτυο γιατί τα περισσότερα νησιά θα στηρίζονται στην αυτόνομη παραγωγή με πετρελαιομηχανές.

Στην περίπτωση αυτή σκοπός της ανεμογεννήτριας είναι η εξοικονόμηση καυσίμου, ενώ οι μηχανές Diesel θα αναπληρώνουν την ανεμογεννήτρια στο δίκτυο όταν η πνοή του ανέμου είναι χαμηλή, καθώς επίσης θα καλύπτουν τα φορτία αιχμής της περιοχής. Πρέπει όμως η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας (μέγιστη δυνατή ισχύς) να είναι μικρότερη από το ελάχιστο φορτίο του εικοσιτετραώρου. Αυτό γιατί οι απότομες και μεγάλοι εύρους μεταβολές της ισχύος της επηρεάζουν την λειτουργία του αυτόνομου σταθμού, και ειδικότερα τους ρυθμιστές στροφών των μηχανών Diesel και τους ρυθμιστές τάσεων των γεννητριών με αποτέλεσμα την εμφάνιση ταλάντωσης τάσεως και συχνότητας στο δίκτυο. Στο σχήμα 2.4.1. εμφανίζεται η ημερήσια καμπύλη φορτίου αυτόνομου σταθμού που μπορεί να θεωρηθεί από πλευράς μεγέθους φορτίου χαρακτηριστική για τα μικρά νησιά που χρησιμοποιούν ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη Diesel.

Βέβαια και στον Ελληνικό χώρο έχουν εγκατασταθεί Α/Γ σε μεμονωμένες διατάξεις ή και σαν αιολικά πάρκα. Βαρύτητα έχει δοθεί στα νησιά του Αιγαίου και κυρίως στις κυκλάδες Κύθνος, Ανδρος, Μύκονος, Θήρα, Νάξος, αλλά και στα υπόλοιπα νησιά Κάρπαθο, Χίο, Σάμο, Λέσβο, Σκύρο, Λήμνο κ.α³. Υπάρχουν επίσης και εγκαταστάσεις για την εξυπηρέτηση των αναμεταδοτών του Ο.Τ.Ε. όπως στην Κέα, Πάρο, και Σύρο.

³ Τα στοιχεία αυτά είναι από τα προγράμματα της Δ.Ε.Η. "Διεύθυνση Εναλλακτικών Μορφών Ενεργείας" Ναυαρίνου 10 Αθήνα 10680.



Σχήμα 2.4.1. : Τυπική καμπύλη φορτίου νησιού

Στη Σκύρο ιδιαίτερα έχει εγκατασταθεί και λειτουργεί, από τον Νοέμβριο του 1991 Α/Γ με κωδικό ΑΟ/100KW ελληνικής σχεδίασης και κατασκευής (κατά ένα μέρος). Μετά από πρόταση στα πλαίσια των Επιδεικτικών Προγραμμάτων της 17ης Γενικής Διεύθυνσης Ενεργείας της Ε.Ο.Κ. το 1984. Η χρηματοδότηση του προγράμματος έγινε από την Ε.Ο.Κ. (κατά 49%) και Δ.Ε.Η. (κατά 51%), στην οποία ανήκει η Α/Γ και η μελέτη έγινε από τους καθηγητές του Ε.Μ.Π. Ν. Αθανασιάδη και Γ. Μπεργελέ.

Η κατασκευή είναι οριζοντίου άξονα με τρίπτερο δρομέα σταθερών πτερυγίων και ασύγχρονη τριφασική γεννήτρια βραχυκυκλωμένου δρομέα. Η διάμετρος του δρομέα είναι 20 μέτρα και βρίσκεται σε ύψος 24 μέτρων με ονομαστική ηλεκτρικά ισχύς 145 KW.

Η κατασκευή των μηχανολογικών μερών (πυλώνας, βάση, κουβούκλιο και υποσταθμός) ως και προμήθεια των υπολοίπων μηχανολογικών και ηλεκτρολογικών συστημάτων με την εγκατάσταση και παράδοση σαν μια ολοκληρωμένη μονάδα στη Νήσο Σκύρο, έγινε από την ΒΙΟΚΑΤ ΑΒΕΕ.

Είναι αξιοσημείωτη η αναφορά των υποσυστημάτων, με πρωταρχικό ρόλο αυτόν του τρίπτερου δρομέα τύπου 20 WPX με αεροτομή NACA 4412, χορδή 1250mm στη ρίζα, 500mm στην περιφέρεια και 8° συστροφή με μέγιστη ταχύτητα περιστροφής 75 RPM και λειτουργίας 22 -58 RPM που ανήκει στον Ολλανδικό οίκο ΑΙΡΡΑC.

Το κιβώτιο, αμερικανικού οίκου CRICHTON, πλανητικού τύπου 2 βαθμίδων, με σχέση μετάδοσης 1:26. Το σύστημα πέδησης, του άξονα από την εταιρία TWIFLEX, αποτελείται από υδραυλική πέδη χαμηλών στροφών με μέγιστη ροπή 30 KNm και μια ηλε/τική πέδη ασφαλείας υψηλών στροφών με 2,74 KNm.

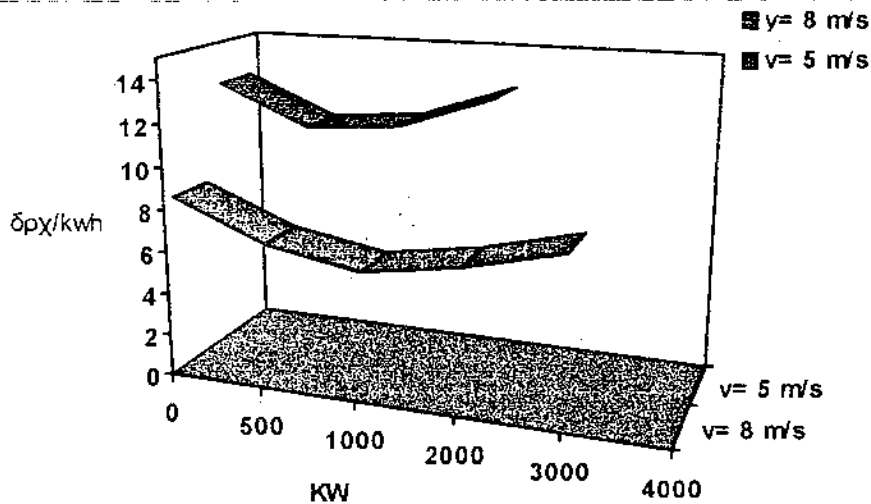
Η ηλεκτρογεννήτρια είναι τριφασική ασύγχρονη βραχυκυκλωμένου δρομέα με διπλές οδοντώσεις τυμπάνου, 1515 RPM, ισχύος 175 KW, 380 V σε 50 Hz κατασκευής του ASEA BROWN BOVERI (ABB). Και τέλος ο προγραμματιζόμενος

ελεγκτής (programmable logic controller - PLC) τύπου SIMATIC 115 είναι από τη SIEMENS, του οποίου μερικά κομμάτια συναρμολογήθηκαν στη χώρα μας.

2.5 Οικονομικά στοιχεία

Η οικονομική βιωσιμότητα των ανεμογεννητριών για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με κριτήρια ταμειακού κόστους δηλαδή σε σύγκριση με το κόστος της παραγόμενης KWh από συμβατικές πηγές καυσίμου εξαρτάται από τη συμμετοχή του καυσίμου στο κόστος της παραγόμενης KWh, το κόστος της Α/Γ (χρόνος απόσβεσης), και το αιολικό δυναμικό της περιοχής και φυσικά από το μέγεθος και την τυποποίηση της κατασκευής της.

Στο σχήμα 2.5.1. από εκτίμηση της NASA δείχνει το αναμενόμενο κόστος παραγόμενης αιολικής KWh ανάλογα με το μέγεθος της Α/Γ και το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Αν ληφθεί υπόψη ότι στα περισσότερα νησιά μας η συμβολή του καυσίμου στο κόστος της KWh κυμαίνεται σε σημερινές πηγές από 10 μέχρι και 100 δρχ./KWh τότε συμπεραίνουμε ότι η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στα νησιά είναι οικονομικά συμφέρουσα.



Σχήμα 2.5.1. : Κόστος αιολικής KWh με την ισχύ της Α/Γ και το αιολικό δυναμικό της θέσης εγκατάστασης

Πέρα από τα κριτήρια καθαρού ταμειακού κόστους KWh υπάρχουν ειδικά για την Ελλάδα και άλλοι σοβαροί παράγοντες όπως την κατασκευαστική δυνατότητα των Ελληνικών βιομηχανιών με συνέπεια απασχόλησης εργατικού δυναμικού και την μείωση της πετρελαϊκής εξάρτησης της χώρας με σημαντικό συναλλαγματικό όφελος.

2.6 Αιολικά πάρκα και Α/Γ στην Ελλάδα

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι εν ενεργεία ανεμογεννήτριες στον Ελλαδικό χώρο, σαν μονάδες ή αιολικά πάρκα:

Ι	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΘΕΣΗ	ΧΡΗΣΤΗΣ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	ΤΥΠΟΣ	ΙΣΧΥΣ
1	Ακαρνανία		Ο.Τ.Ε	Vestas	V 17-90	1X90 KW
2	Κέα		Ο.Τ.Ε	Wincon	W 60	1X60 KW
3	Κώς		Ο.Τ.Ε	Wincon	W 60	1X60 KW
4	Πάρος		Ο.Τ.Ε	Wincon	W 110 XT	1X110 KW
5	Ρόδος	Αιτάβρι	Ο.Τ.Ε	Wincon	W 110 XT	1X110 KW
6	Ρόδος	Καταβιά	Ο.Τ.Ε	Wincon	W 110 XT	1X110 KW
7	Σύρος		Ο.Τ.Ε	Wincon	W 110 XT	1X110 KW
8	Άνδρος	Καλιβάρι	Δ.Ε.Η	Vestas	V 27-225	7X225 KW
9	Χίος	Μελανιός	Δ.Ε.Η	Vestas	V 27-225	11X225 KW
10	Χίος	Ποταμιά	Δ.Ε.Η	EAB	ΑΙΟΛΟΣ 100	10X100 KW
11	Εύβοια	Μαρμάρι	Δ.Ε.Η	HMZ	Windma- ster 300	17X300 KW
12	Ικαρία	Περδίκι	Δ.Ε.Η	EAB	ΑΙΟΛΟΣ 55	7X55 KW
13	Κάρπαθος		Δ.Ε.Η	HMZ	Windma- ster 175	1X175 KW
14	Κάρπαθος	Αγ.Ιωάν- νης	Δ.Ε.Η	EAB	ΑΙΟΛΟΣ 55	5X55 KW
15	Κύθνος	Χώρα	Δ.Ε.Η	MAN WP	Aeroman 14.8-33	5X33 KW
16	Κρήτη	Τοπλού	Δ.Ε.Η	Tacke	TW 500	2X500 KW
17	Κρήτη	Τοπλού	Δ.Ε.Η	Nordtank	Nordtank 500 /37	1X500 KW
18	Κρήτη	Τοπλού	Δ.Ε.Η	HMZ	Windma- ster 300	17X300 KW
19	Λήμνος	Βίγλα	Δ.Ε.Η	EAB	ΑΙΟΛΟΣ 100	7X100 KW
20	Λήμνος	Βούναρ- ος	Δ.Ε.Η	EAB	ΑΙΟΛΟΣ 55	8X55 KW
21	Μύκονος		Δ.Ε.Η	Micon	M300-100	1X100 KW
22	Ψαρά	Αγ.Ηλίας	Δ.Ε.Η	Vestas	V 27-225	9X225 KW
23	Σάμος	Πυθαγό- ρειο	Δ.Ε.Η	Vestas	V 27-225	9X225 KW
24	Σάμος	Μαραθό- καμπος	Δ.Ε.Η	EAB	ΑΙΟΛΟΣ 100	9X100 KW
25	Σαμοθρά- κη	Καμαριώ- τισσα	Δ.Ε.Η	EAB	ΑΙΟΛΟΣ 55	4X55 KW

Α Α	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΘΕΣΗ	ΧΡΗΣΤΗΣ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	ΤΥΠΟΣ	ΙΣΧΥΣ
26	Αστυπάλαια	Σύγκαϊρο	Δ.Ε.Η	D.K		1X500 KW
27	Κρήτη	Ξηρολίμνη	Δ.Ε.Η			10 MW
28	Κύθνος	Χώρα	Δ.Ε.Η	Vestas		1X500 KW
29	Λέσβος	Άντισσα	Δ.Ε.Η	Vestas		9X225 KW
30	Σκύρος	Ασπούς	Δ.Ε.Η	Βιοκατ		1X100 KW
31	Εύβοια	Μαρμάρι	Δ.Ε.Η	Πυρκαλ		1X450 KW
32	Σκύρος	Ασπούς	Δ.Ε.Η	Βιοκατ		1X140 KW
33	Σύρος	Άνω Σύρος	Δήμος άνω Σύρου	Wincon	W 200/26	1X200 KW
34	Λέσβος		Δημοτική Επιχείρ.	Micon	225 KW	1X225 KW
35	Αττική	Πικέρμι	Κ.Α.Π.Ε	Wincon	W 110 XT	1X110 KW
36	Αττική		Γερολυμάτος Co.	Vestas	V 15-55	1X55 KW
37	Χίος	Βροντάδος	Προμηθευτική S.A	Nordtank	NTK 150	2X150 KW
38	Εύβοια	Στενή	Μιμίκος πτηνοτρ.	Vestas	V 15-55	1X55 KW
39	Καρπενήσι		Ευρυτανία Α.Ε	Wincon	W 110 XT	1X110 KW
40	Κρήτη	Ανώγια	ΔΕΤΕΑ	Nordtank	NTK 150	2X150 KW
41	Κρήτη	Ζίρος	Ένωση σι-τειοπαρ	Tacke	TW 500	1X500 KW
42	Λέσβος		Αιολ.Δημοτική Ερ.	HMZ	Windmaster 300	2X300 KW
43	Νάξος	Ενγκάρες	Έν.αγρ.συνετ.Νάξου	Nordtank	NTK 75	1X75 KW
44	Ρόδος		Γενική Τεχνική	Wincon	W 110 XT	1X110 KW
45	Ρόδος		Καλλιθέα SUN	Wincon	W 110 XT	1X110 KW
46	Ρόδος		Κεραμικά Νεοφύτου	Vestas	V 17-75	1X75 KW
47	Ρόδος		Sun Beach	Wincon	W 110 XT	1X110 KW
48	Σύρος		Δαλέζιος πτηνοτρ.	Vestas	V 15-55	1X55 KW
49	Εύβοια	Μαρμάρι	Enercon	Enercon	E26	1X250 KW
50	Εύβοια	Μαρμάρι	Enercon	Enercon	E40	1X500 KW

Α Α	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΘΕΣΗ	ΧΡΗΣΤΗΣ	ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ	ΤΥΠΟΣ	ΙΣΧΥΣ
51	Κρήτη	Ξηρολί- μνη	Ρόκας	Bonus		17X600 KW
52	AGEST(,)			Windharvester 100		1X100 KW

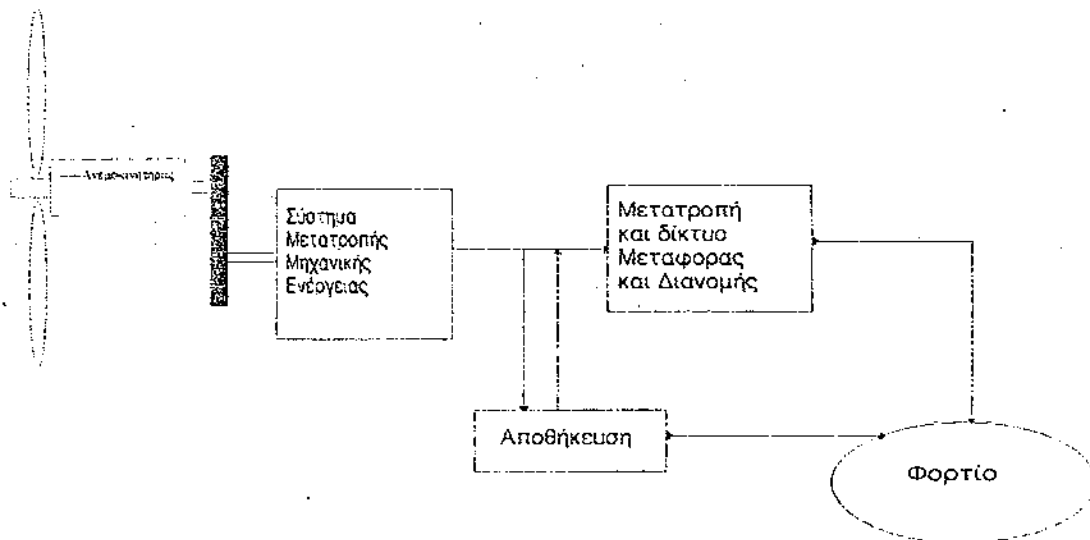
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

3.1 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 κάθετου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματά του (πτερύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κ.α.).

Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται από την Α/Γ σε άλλη μορφή ενέργειας. Μια εικόνα των βασικών μερών που αποτελούν μια διάταξη εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας καθώς και της ροής ενέργειας παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1.1.



Σχήμα 3.1.1 : Σχηματική παράσταση εγκατάστασης εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας

Η διάταξη αυτή είναι μια γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια αεροδυναμικής διάταξης (π.χ. μια έλικας). Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο επί τόπου ή να χρειαστεί να μετατραπεί σε μια άλλη μορφή ενέργειας και να μεταφερθεί στον τόπο της ζήτησης.

Παραδείγματα εκμετάλλευσης της παραγόμενης ενέργειας επί τόπου είναι αυτό της παραγωγής υδρογόνου με ηλεκτρόλυση του νερού που μπορεί να αποθηκευτεί, μεταφερθεί, και να καεί ως αέριο καύσιμο με μηδαμινή επιβάρυνση του περιβάλλοντος.

Στη δεύτερη που είναι και πιο ευρέως διαδεδομένη είναι αυτή της μετατροπής της μηχανικής ενέργειας σε ηλεκτρική ενέργεια λόγω της εύκολης μεταφοράς αλλά και της δυνατότητας που έχει να μετατρέπεται σε οποιαδήποτε άλλη μορφή θέλουμε.

Βέβαια οι μεγάλες διακυμάνσεις της ενέργειας του ανέμου με το χρόνο πολλές φορές έχουν χρονική ασυμφωνία με την ζήτηση ενέργειας με αποτέλεσμα την αναγκαιότητα της αποθήκευσης της ενέργειας για τις χρονικές στιγμές στις οποίες η ισχύς του ανέμου πέφτει κάτω από ένα όριο.

Έτσι ο βέλτιστος σχεδιασμός ενός συστήματος εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας πρέπει να περιλαμβάνει :

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

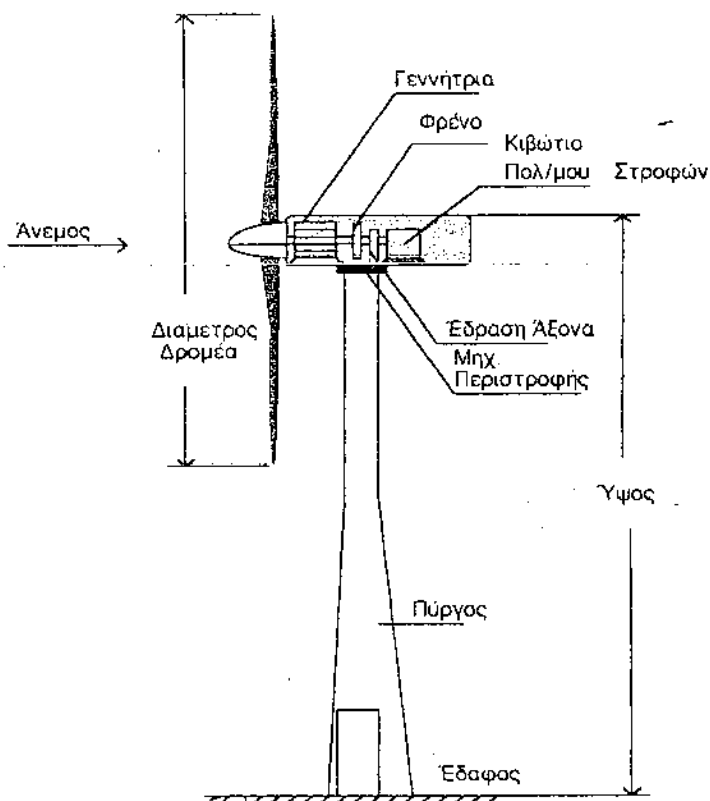
Όλα τα παραπάνω για να είναι εφικτά θα πρέπει το τελικό προϊόν που θα διατεθεί στην αγορά κατανάλωσης πάνω από όλα να είναι οικονομικά ανταγωνίσιμο έναντι στις άλλες συμβατικές πηγές ενεργείας έτσι ώστε μια οποιαδήποτε επιστημονική προσέγγιση να μην χάσει την αξία της αλλά και το σκοπό της.

3.2 Τύποι συλλογής της αιολικής ενέργειας

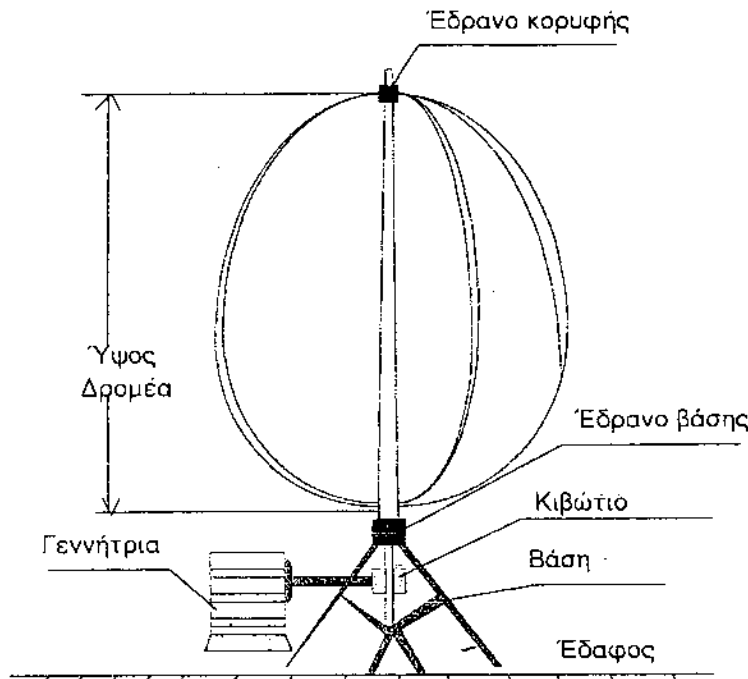
Μέχρι σήμερα έχουν επινοηθεί και λειτουργήσει από αρχαιότατων χρόνων¹ περισσότεροι τύποι ανεμομηχανών από οποιαδήποτε άλλο τύπο εφεύρεσης. Οι ανεμοκινητήρες μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τον προσανατολισμό των αξόνων τους σε σχέση με τη ροή του ανέμου σε :

¹ Ανεμόμυλλος των Περσών και Αιγυπτίων 1500 π. χ.

- Οριζοντίου άξονα (Head on) στους οποίους ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου (σχήμα 3.2.1) και είναι αυτοί που θα εξετάσουμε στη συνέχεια.
- Οριζοντίου άξονα (Cross wind) στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της Γης αλλά κάθετος στην κατεύθυνση του ανέμου.
- Κάθετου άξονα στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της Γης όπως και στην ροή του ανέμου (Savonius, Darrieus, Giromill κ.α. (σχήμα 3.2.2)



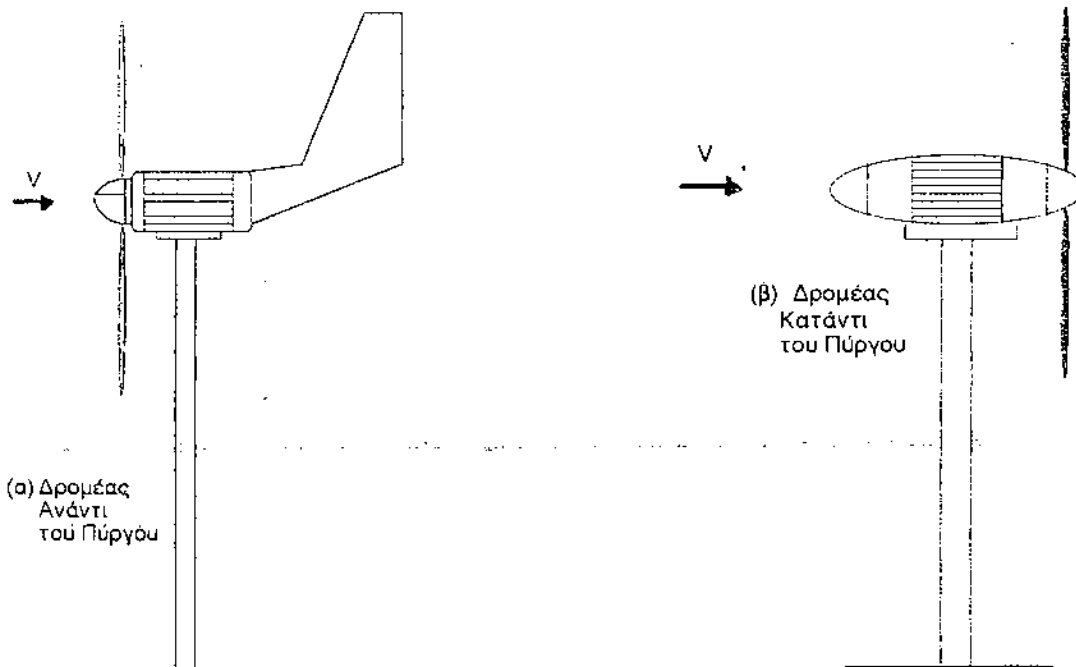
Σχήμα 3.2.1 : Ανεμοκίνητηρας Οριζοντίου άξονα



Σχήμα 3.2.2 : Ανεμοκινητήρας κατακόρυφου άξονα τύπου Z-Darrieus

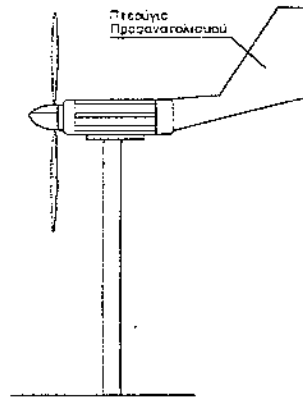
3.3 Τυπικές μορφές Α/Γ οριζόντιου άξονα

Ο περιστρεφόμενος μηχανισμός των ανεμοκινητήρων που ονομάζεται δρομέας, μπορεί να έχει ένα πτερύγιο (μονόπτερος) μέχρι και 30 ή και περισσότερα (πολύπτερος). Σε σχέση με την θέση του δρομέα ως προς τον πύργο στήριξης και την διεύθυνση του ανέμου οι Α/Γ μπορεί να έχουν το δρομέα μπροστά από τον πύργο (ανάντι) ή πίσω (κατάντι) σχήμα 3.3.1 (α,β).



Σχήμα 3.3.1 : Θέση δρομέα ως προς τον πύργο

Για την μεγιστοποίηση δέσμευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου απαιτείται το επίπεδο του δρομέα να είναι πάντοτε κάθετο στην κατεύθυνση του ανέμου και γι αυτό το σκοπό στους μεν μικρής ισχύος ανεμοκινητήρες (ανάντι) υπάρχει ένα πτερύγιο (σχήμα 3.3.2) που ευθυγραμμίζει τον άξονα του δρομέα στον άνεμο στους δε μεγάλους η ευθυγράμμιση γίνεται μέσω υδραυλικών συστημάτων (σερβομηχανισμού).



Σχήμα.3.3.2 : Α/Γ με πτερύγιο

κροσανάτολισμού

Ο πύργος στήριξης της Α/Γ μπορεί να είναι σωληνωτού τύπου, τύπου δικτυώματος, ή να στηρίζεται με επίτονα (συρματόσχοινα). Ο δρομέας του ανεμοκινητήρα δεν πρέπει να ξεπερνάει κάποια μέγιστη γωνιακή ταχύτητα για λόγους προστασίας των πτερυγίων από μηχανικές καταπονήσεις που προέρχονται από φυγόκεντρες δυνάμεις. Για την προστασία αυτή έχουμε διάφορους αυτοματισμούς όπως η αεροπέδη στα ακροπτερύγια γωνιακή στροφή του δρομέα κ.α..

3.4 Χαρακτηριστικά Α/Γ οριζόντιου άξονα

3.4.1 Δρομέας

Ο σχεδιασμός του δρομέα είναι ίσως το πιο βασικό ζήτημα στη απόδοση όλου του μηχανήματος (βλεπ. παρ.). Στόχος είναι να βρεθεί ένας βέλτιστος συνδυασμός των διαφόρων παραμέτρων που συνθέτουν τον δρομέα : ταχύτητα περιστροφής, διάμετρος δρομέα, αριθμός πτερυγίων, κατανομή πλάτους πτερυγίου, κατάλληλη αεροτομή, συστρόφη κ.α. Τα κριτήρια επιλογής είναι η μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής.

Η διάμετρος του δρομέα θα εξαρτηθεί από την ονομαστική ισχύ της μηχανής και το αιολικό δυναμικό της περιοχής εγκατάστασης του ανεμοκινητήρα. Η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα επλέγεται έτσι ώστε ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου προς την ονομαστική ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται στην περιοχή της βέλτιστης τιμής συντελεστή ισχύος της Α/Γ. Η κατανομή του πλάτους των πτερυγίων θα προκύψει από τη βελτιστοποίηση της αεροδυναμικής σχεδίασης του δρομέα ενώ το πλήθος των πτερυγίων (η στερεότητα του δρομέα) θα εξαρτηθεί από το είδος της εφαρμογής του ανεμοκινητήρα.

Ανάλογα με τη μορφή του δρομέα διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τύπους :

Πολυπτέρυγους

Χαρακτηριστικό των δρομέων αυτών είναι η μικρή διάμετρος, η μικρή περιφερειακή ταχύτητα, και η μεγάλη ροπή. Στο παρελθόν κατασκευάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακα πολυπτέρυγοι ανεμόμυλοι (Αμερικάνικου τύπου) και βρήκαν πλατιά εφαρμογή στην άντληση νερού. Η κατασκευή τέτοιων μηχανών καθώς και η έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή τείνουν να εγκαταλειφθούν κυρίως για τον μικρό συντελεστή ισχύος και τον κατασκευαστικό περιορισμό της διαμέτρου που έχουν².

Ολιγοπτέρυγους

Οι δρομείς αυτοί έχουν δυο ή τρία πτερύγια (τελευταία κατασκευή δρομέας με ένα πτερύγιο μονόπτερος), έχουν τη μορφή των πτερυγίων των ελίκων των αεροσκαφών με αρκετή συστρόφη από τη βάση μέχρι το ακροπτερύγιο και μεταβαλλόμενη χορδή μέχρι με λεπτύωση προς το ακροπτερύγιο.

Τα βασικά χαρακτηριστικά του δρομέα είναι ο μεγάλος συντελεστής ισχύος και η βέλτιστη λειτουργία του σε μεγάλο σχετικά λόγο-ταχυτήτων ακροπτερυγίου λ .

$$\lambda = \frac{\Omega R}{V} \quad (3.4.1)$$

Οι αεροτομές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των πτερυγίων παρουσιάζουν μεγάλο συντελεστή άνωσης σε μικρές σχετικά γωνίες πρόσπτωσης ενώ συγχρόνως διατηρούν χαμηλό συντελεστή αντίστασης σε ευρεία περιοχή γωνιών πρόσπτωσης με τυπικό εκπρόσωπο τέτοιων αεροτομών είναι η NACA 4412.

Οι δρομείς αυτοί είναι πιο ταχύστροφοι από τους πολυπτέρυγους δρομείς και ελαφρότεροι οικονομικότεροι παρουσιάζουν δε ευκολία στην συναρμολόγηση του ανεμοκινητήρα. Γενικά ο τρίπτερος δρομέας κατά 5% περισσότερο αποδοτικός από τον δύοπτερο και τα φορτία που ενεργούν σε κάθε πτερύγιο είναι μικρότερα με υψηλότερο όμως κόστος κατασκευής.

3.4.2 Συμπεριφορά του δρομέα

Μας ενδιαφέρει κυρίως η συμπεριφορά του δρομέα κατά την εκκίνηση όπως και η ροπή εκκίνησης και σε αυτά μας βοηθάνε πολύ τα διαγράμματα του συντελεστή

² Στοιχεία για τους ανεμοκινητήρες του τύπου αυτού δίνει στη βιβλιογραφία του ο Γερμανός ερευνητής Hutter.

ροπής C_m^3 , επίσης η μελέτη της συμπεριφοράς του δρομέα σε χρονικά μεταβαλλόμενες καταστάσεις, όπως η επιτάχυνση, επιβράδυνση, ριπές ανέμου, τυρβώδες πεδίο, αλλά και στο πεδίο που η ταχύτητα αλλάζει με το ύψος από το έδαφος.

3.4.3 Ρύθμιση του βήματος

Η ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων ή μέρους τους (flaps) (βλέπε παράρτημα), γίνεται για να έχουμε τις παρακάτω λειτουργίες :

- Εκκίνηση του δρομέα στην κατάλληλη μικρότερη ταχύτητα ανέμου αλλά και
- Εκκίνηση του δρομέα με βήμα που θα μας δώσει τη μέγιστη ροπή
- Διατήρηση της σταθερότητας των στροφών αλλά και
- Μέγιστη απόδοση σε διάφορες ταχύτητες ανέμου με μεταβολή του βήματος
- Περιορισμός της ισχύος σε υψηλές ταχύτητες ανέμου αλλά και
- Παύση της λειτουργίας σε περιπτώσεις με θυελλώδεις ανέμους, ή η ζήτηση του φορτίου να είναι μηδενική.

Για να επιτύχουμε αυτές τις ρυθμίσεις χρησιμοποιούμε συστήματα μεταβολής του βήματος του δρομέα έτσι ώστε να έχουμε την ασφαλή λειτουργία του A/K αλλά και τη γρήγορη προσαρμογή του στις εκάστοτες συνθήκες λειτουργίας. Τα συστήματα μεταβολής του βήματος είναι :

1. Υδραυλικά - Μηχανικά

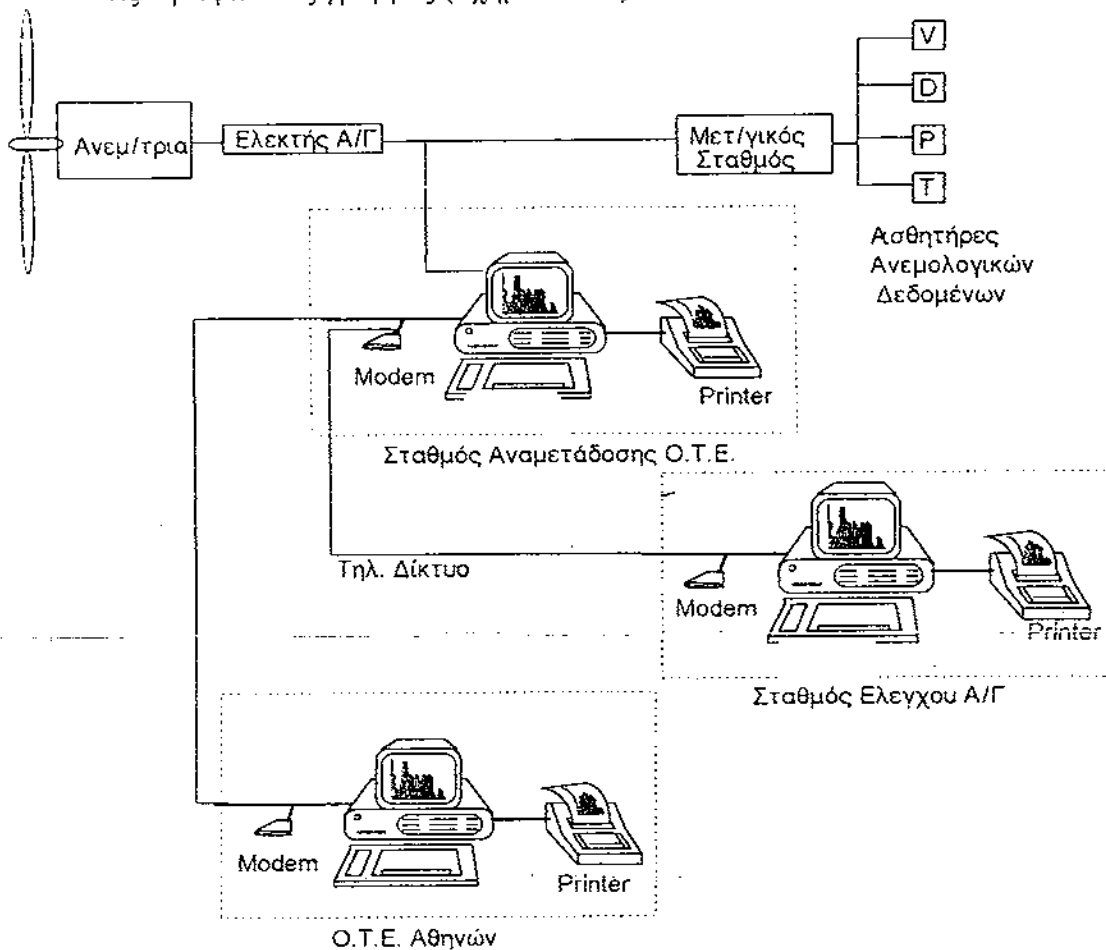
Είναι από τα παλαιότερα ολοκληρωμένα συστήματα αυτοματισμού (δεκαετίας 60-70) χρησιμοποιήθηκαν στις περισσότερες κατασκευές της εποχής αρκετά αξιόπιστα αλλά με αρκετά προβλήματα στις ακραίες καταστάσεις εναλλασσόμενων φορτίων, και χωρίς να εξασφαλίζουν ακρίβεια προσαρμοστικότητας.

2. Ηλεκτρονικά συστήματα αυτομάτου ελέγχου

Αυτά είναι η πιο εξελιγμένη μορφή ελέγχου και τείνουν να αποτελέσουν την μόνη λύση στις μεσαίες και μεγάλες A/Γ. Βέβαια και εδώ έχουμε αρκετές μορφές ελέγχου όπως αυτής με ψηφιακά κυκλώματα,

³ Μέγεθος ανάλογο με τον συντελεστή ισχύος C_p συνάρτηση του λόγου λ όπου και βρίσκουμε τον C_m για λήθ (εκκίνηση)

προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές (P.L.C.), και τέλος τον έλεγχο με συστήματα υπολογιστών που είναι δυνατή η ρύθμιση από ένα λογισμικό αλλά και η παρακολούθηση από κεντρικό σταθμό μέσω μεταφοράς δεδομένων με τις τηλεφωνικές γραμμές (σχήμα 3.4.1).



Σχήμα 3.4.1 : Διάταξη συλλογής, επεξεργασίας & έλεγχος Ανεμολογικών δεδομένων Α/Γ.

3. Σύστημα με Ελαστική Έδραση των Πτερυγίων

Με τη μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου αλλάζει η ροπή γύρω από τις εδράσεις των πτερυγίων, εκμεταλλεόμενοι αυτό το φαινόμενο βάζοντας στην έδραση των πτερυγίων με την πλήμνη μηχανισμό με ελαστικούς συνδέσμους ή ελατήρια έτσι ώστε μετά από κατάλληλο σχεδιασμό να επιτύχουμε το επιθυμητό βήμα σε κάθε ταχύτητα ανέμου.

4. Σύστημα Αντιβάρων

Τα αντίβαρα μεταβάλλοντας την απόσταση από τον άξονα ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής έτσι ώστε μέσω ενός μηχανισμού να μεταβάλουν το βήμα και έτσι να ρυθμίζουν τις στροφές και ισχύ.

3.4.4 Υλικά και προβλήματα αντοχής των πτερυγίων

Τα υλικά κατασκευής των πτερυγίων των δρομέων είναι ποικίλα, (πίνακας 3.4.1)⁴ σύνθετα αλλά και ιδιαίτερα για το κάθε μέγεθος. Έτσι στους μικρούς ανεμοκινητήρες συναντάμε σαν κύριο υλικό το υαλόνημα και ξύλο με εσωτερική γέμιση την πολουρεθάνη που είναι ασταθής στα εναλλασσόμενα φορτία ανθεκτικά στη διάβρωση. Στους μεγαλύτερους συναντάμε υαλονήματα με ακτινική και παράλληλη διάταξη σε πολλαπλά στρώματα στους μεγάλους δε χρησιμοποιούνται και πάλι τα ίδια υλικά αλλά και ανθρακονήματα κυρίως για την αυξημένη αντοχή στα μεγάλα εναλλασσόμενα φορτία.

Υλικό	Επιτρεπόμενη Τάση Μπα	Πυκνότητα Kgr/m ³	Κόστος (ECU/kg)
ΧΑΛΥΒΑΣ	110	7800	5.5-8
ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ	100	1400	200
FGRP	45	2000	13
ΞΥΛΟ	12	550	13

Πίνακας 3.4.1 : Συγκριτικός πίνακας υλικών πτερυγίων

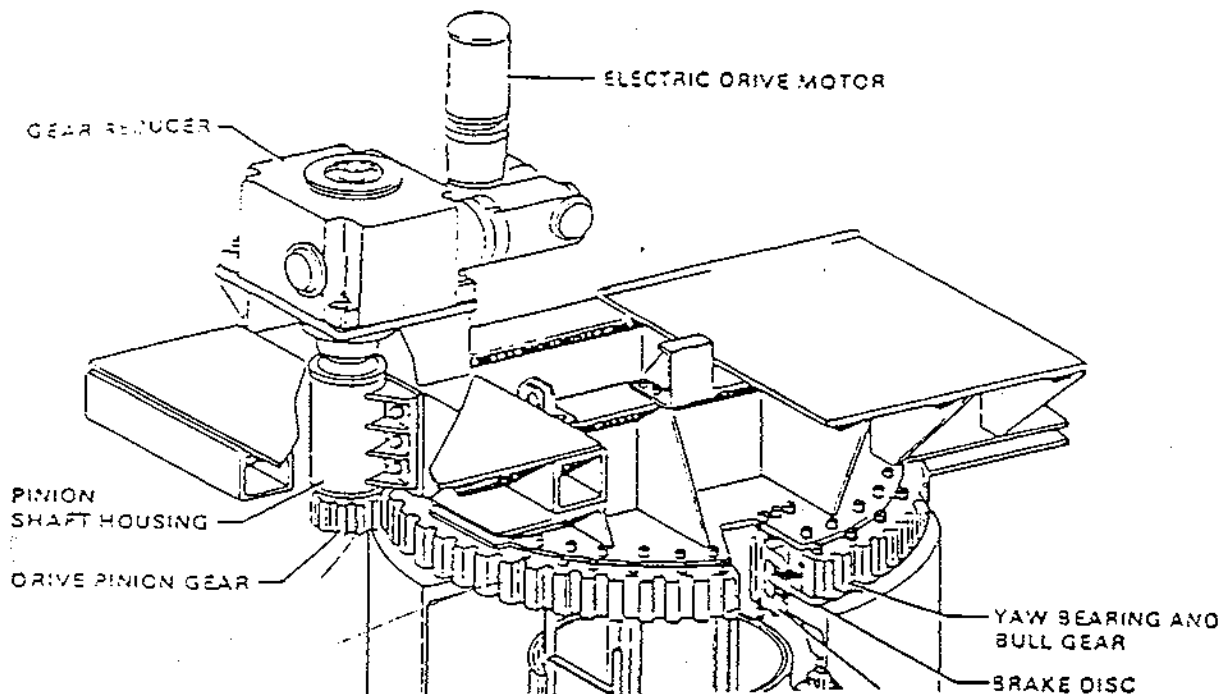
Το μεγαλύτερο πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι Α/Γ είναι η εμφάνιση ταλαντώσεων από την επίδραση των εναλλασσόμενων φορτίσεων του ανέμου, με δυσάρεστα και απρόβλεπτα προβλήματα αντοχής των υλικών. Στην αντιμετώπισή τους ακολουθείται η παρακάτω μελέτη :

- μελέτη των τάσεων και ταλαντώσεων στα πτερύγια του δρομέα (πειραματικά και θεωρητικά).
- εύρεση κατάλληλων υλικών (συνδυασμός χαμηλού κόστους με αντοχή στις ταλαντώσεις και τάσεις) και τρόπος κατασκευή τους.

3.5. Συστήματα προσανατολισμού

Στους μικρούς κυρίως ανεμοκινητήρες για λόγου κόστους χρησιμοποιούμε καθοδηγητικό πτερύγιο (ουρά σχήμα 3.3.2) τοποθετημένο πίσω από τον δρομέα παράλληλα με την πλήμνη έτσι ώστε η επιφάνεια της ουράς όσο και η θέση της προς τον άξονα του πύργου επιλέγονται έτσι ώστε σε απόκλιση του ανέμου κατά 10 μοίρες να εξασκεείται ρητή επαναπροσανατολισμού του δρομέα στον άνεμο ικανή να υπερνικήσει την αντίρροπη λόγω γυροσκοπικού φαινομένου. Στους μεγάλους Α/Κ σήμερα χρησιμοποιείται σύστημα αυτομάτου ελέγχου της διεύθυνσης του ανέμου με τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και ένα σερβομηχανισμό που προσανατολίζει ανάλογα τον δρομέα (σχήμα 3.5.1).

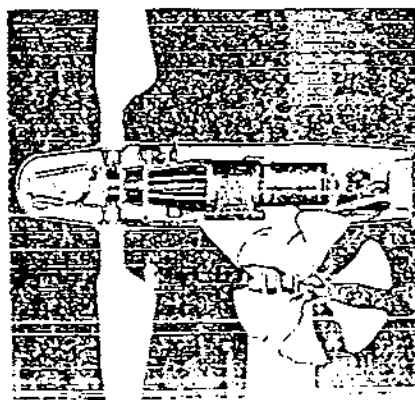
⁴ Τα στοιχεία του πίνακα είναι από το "Σεμινάριο Αιολικής Ενεργειας - Εφαρμογές στον Ελληνικό Χωρο" με εισηγητή Δ. Σ. Μαθιουδάκη Λέκτορα του ΕΜΠ



Σχήμα 3.5.1 : Σύστημα προσανατολισμού μεγάλης Α/Γ.

Κατά την τοποθέτηση του δρομέα κατάντι του ανέμου έχουμε ευκολότερο σύστημα προσανατολισμού αλλά ο θόρυβος είναι σε υψηλότερα επίπεδα λόγω της σκίασης του πύργου πάνω στον δρομέα αλλά και αυξημένες καταπονήσεις στα πτερύγια λόγω της περιοδικότητας των φορτίσεων τους από την επισκίαση του πύργου καθώς περιστρέφεται ο δρομέας.

Μία άλλη μορφή αρκετά παλιά αλλά περισσότερο εξελιγμένη από το ουριαίο πτερύγιο είναι το "ρόδο των ανέμων" όπως ονομάζεται, μια μικρή βοηθητική έλικα κάθετη στον δρομέα η οποία περιστρεφόμενη με τον αέρα όταν ο δρομέας δεν είναι κάθετος στην διεύθυνση του ανέμου κινεί με γρανάζια τον Α/Κ (σχήμα 3.5.2).



Σχήμα 3.5.2 : Σύστημα προσανατολισμού Α/Γ μικρής ισχύος.

3.6 Κατασκευή του πύργου

Ο πύργος στήριξης είναι συνήθως από μεταλλικό δικτύωμα ή μια κολόνα από μέταλλο ή μπετόν σε κυκλική ή πολυγωνική μορφή σε κωνικό σχήμα. Πρέπει να έχει το κατάλληλο αεροδυναμικό σχήμα ώστε να παρεμβάλει ελάχιστα στη ροή του ανέμου και να προδίδει την απαραίτητη σταθερότητα και αντοχή στην κατασκευή.

Ένα επίσης σημαντικό στοιχείο είναι η ευκολία μεταφοράς και ανέγερσης του στον τόπο εγκατάστασης με τον τύπου δικτύωματος να είναι ευκολότερος στην συναρμολόγηση και ανάρτηση, ελαφρύτερος και οικονομικότερος, με προβλήματα θορύβου.

Ο σωληνωτός είναι αισθητικά καλύτερος, προστατεύει όλα τα όργανα της Α/Γ στο εσωτερικό του με εσωτερική σκάλα πρόσβασης στο κουβούκλιο, παρουσιάζει δυσκολία στη μεταφορά (και μετά από κάποιο ύψος) και ανέγερση με αρκετά μεγαλύτερο κατασκευαστικό κόστος αλλά έχει όμως χαμηλή ιδιοσυχνότητα (μικρότερη απ' αυτή του δρομέα) γι' αυτό και η περιοχή της ιδιοσυχνότητάς του πρέπει να ξεπερνιέται γρήγορα κατά την εκκίνηση του δρομέα για αποφυγή φαινομένων συντονισμού μαζί του.

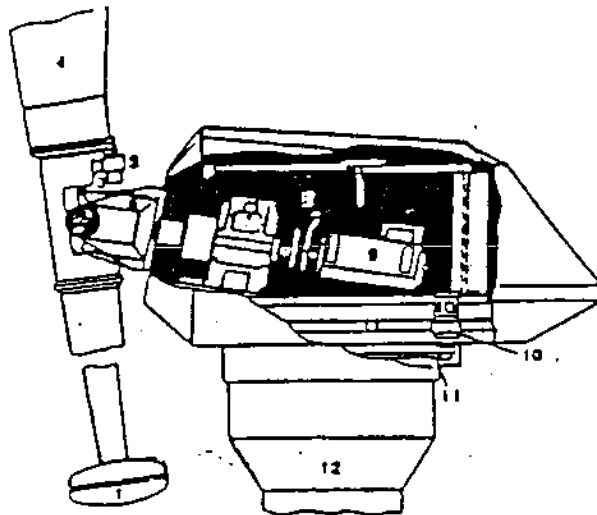
Επίσης στην περίπτωση του μεταλλικού πύργου επιβάλλεται η προστασία του έναντι της διάβρωσης με εν θερμό επιψευδαργύρωση είτε με ειδική βαφή.

Το ύψος του δρομέα πάνω από το έδαφος εξαρτάται από την μορφή και την ταχύτητα του εδάφους (μορφή οριακού στρώματος), τα τυχόν εμπόδια στη ροή του αέρα (κτίρια, δέντρα κ.α.). Η εκλογή του ύψους είναι θέμα κόστους γιατί από την μια έχουμε την αύξηση της ταχύτητας του εκμεταλλεύσιμου ανέμου από την άλλη δε την αύξηση τους κόστους της κατασκευής. Το συνήθες ύψος είναι όσο και η διάμετρος του δρομέα.

3.7 Πλήμνη και κύριος άξονας της Α/Γ

Η πλήμνη μεταφέρει την μηχανική ισχύ από τα πτερύγια στον κύριο άξονα της Α/Γ. Κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή χάλυβα αποφεύγοντας συγκολλήσεις οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν σημεία αδυναμίας της κατασκευής.

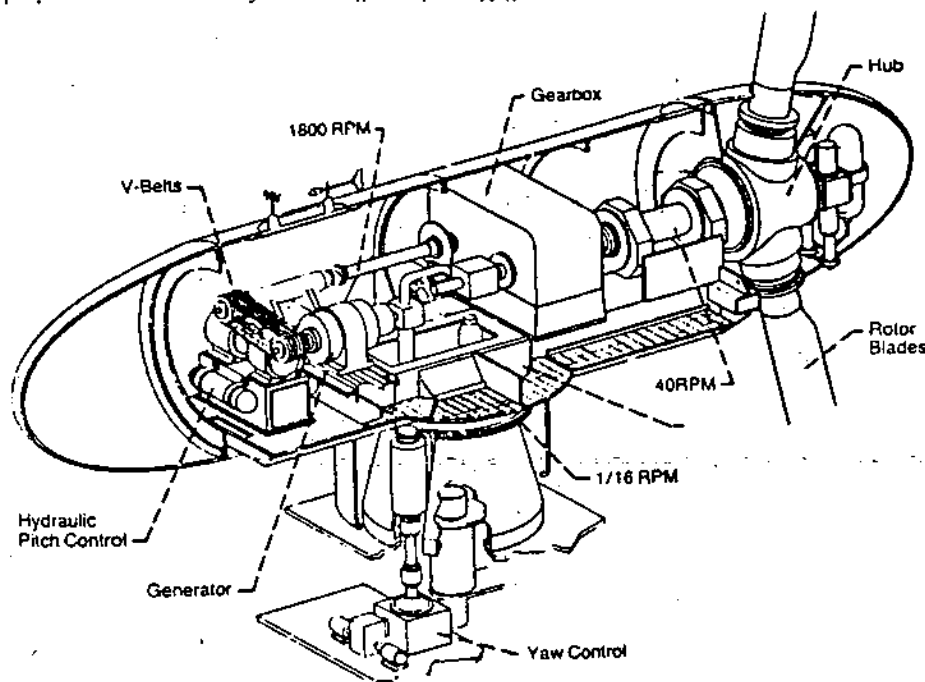
Στους δίπτερους δρομείς μεγάλης διαμέτρου επιβάλλεται, για την μικρότερη καταπόνηση του άξονα, να διαθέτει η πλήμνη ειδική διάταξη που να επιτρέπει την περιστροφή των πτερυγίων υπό μικρή γωνία ως προς το κατακόρυφο επίπεδο. Το είδος αυτό της πλήμνης λέγεται αιωρούμενη πλήμνη (teetering hub) και φαίνεται στο σχήμα 3.7.1.



Σχήμα 3.7.1 : Αιωρούμενη πλήμνη

Ο κύριος άξονας μεταφέρει τη μηχανική ισχύ του δρομέα στο κιβώτιο πολ/σμού στροφών. Είναι συμπαγής ή κοίλος και κατασκευάζεται από χάλυβα υψηλής αντοχής με κύριες προσμίξεις χρώμιο, νικέλιο, και μολυβδένιο. Στο ένα άκρο του καταλήγει σε σχήμα φλάντζας μέσω της οποίας συνδέεται με την πλήμνη ενώ στο άλλο εδράζεται το κιβώτιο πολ/σμού στροφών.

Στηρίζεται σε δύο έδρανα μέσω των οποίων μεταφέρονται οι ακτινικές, και ωστικές δυνάμεις στην άτρακτο και από εκεί διά του πύργου στη θεμελίωση. Για τον περιορισμό του όγκου και βάρους της κατασκευής ο κύριος άξονας μπορεί να συνδεθεί απευθείας στο κιβώτιο πολ/σμού στροφών χωρίς την παρεμβολή εδράνων το κιβώτιο όμως πρέπει να είναι μεγαλύτερης ισχύος επειδή δέχεται απευθείας τα φορτία του δρομέα και συνεπώς δαπανηρότερο σχήμα 3.7.2.



Σχήμα 3.7.2 : Το κουβούκλιο Α/Γ με την πλήμνη και τον κύριο άξονα χαμηλών και υψηλών στροφών

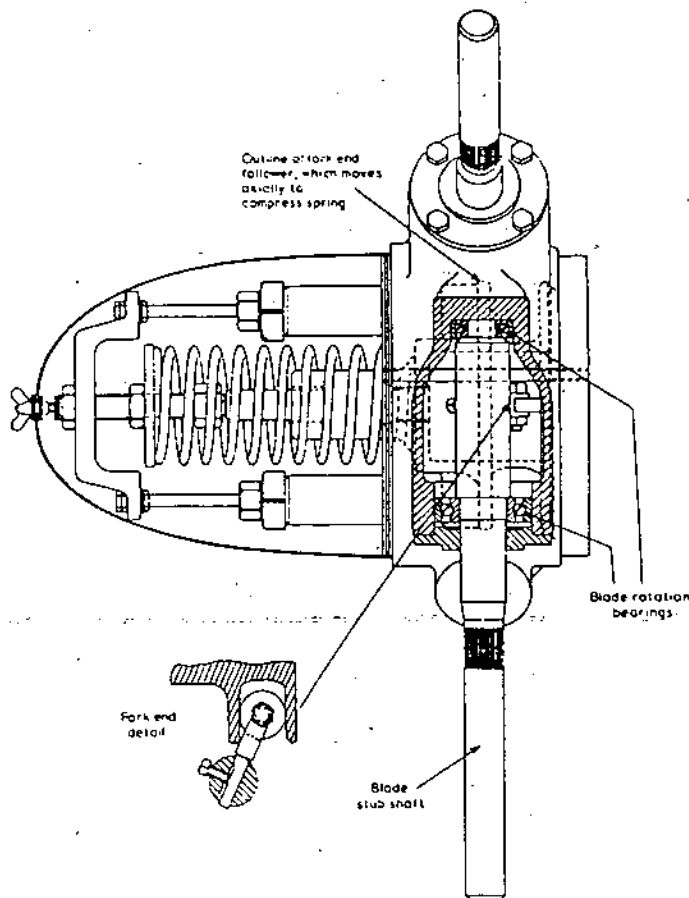
3.7.1 Συστήματα πέδησης της πλήμνης

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι επιβράδυνσης του δρομέα ενός ανεμοκινητήρα (παρ 3.4.3. ρύθμιση του βήματος) όπως :

- μεταβολή του βήματος του πτερυγίου ή του ακροπτερυγίου ή και ενεργοποίηση της αεροπέδης στο ακροπτερύγιο
- στροφή του ίδιου του δρομέα παράλληλα με το ρεύμα του ανέμου
- αύξηση της αεροδυναμικής αντίστασης του πτερυγίου
- πέδηση του άξονα

Είναι φανερό ότι ο προτιμότερος τρόπος ακινητοποίησης της μηχανής είναι η σταδιακή μείωση των αεροδυναμικών φορτίων της με παράλληλη αύξηση της αντίρροπης έτσι ώστε δεν αναπτύσσονται κρουστικά φορτία στη φάση της πέδησης (σχήμα 3.7.3).

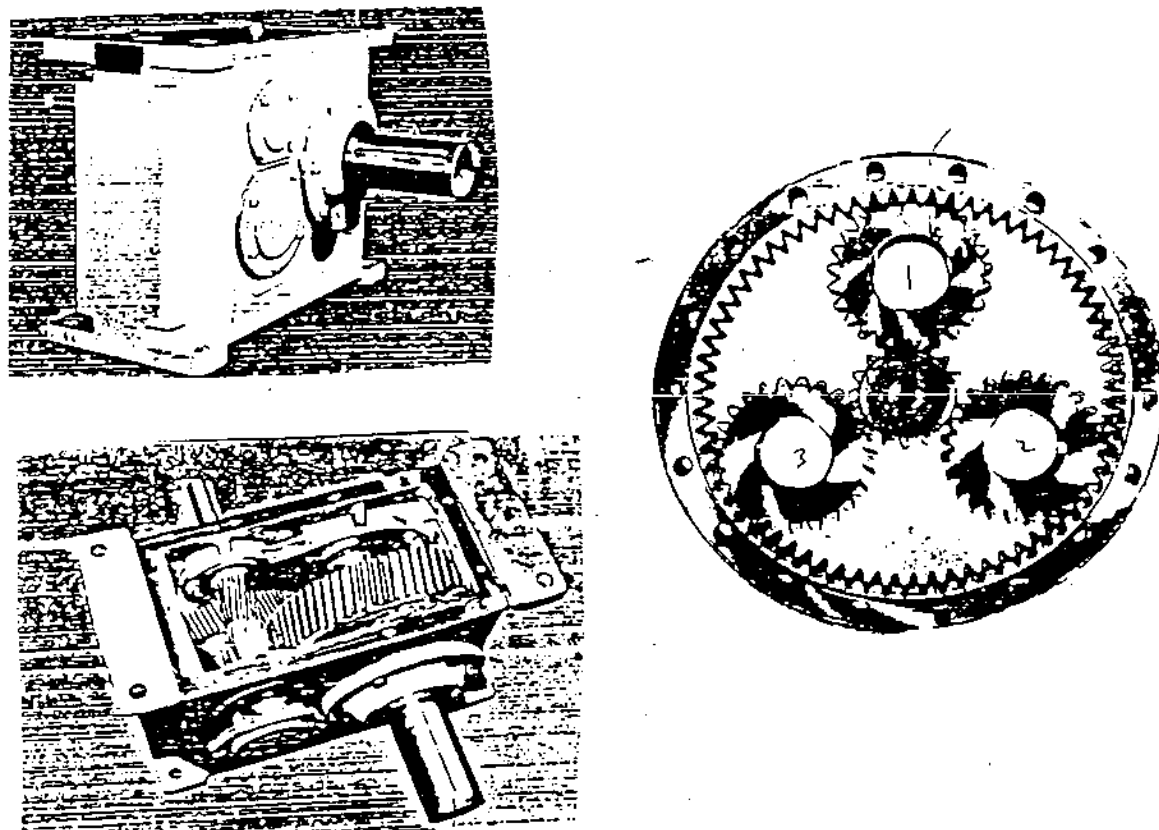
Στην περίπτωση αστοχίας των μηχανισμών ρύθμισης του βήματος των πτερυγίων απαιτείται η πέδηση που γίνεται με δισκόφρενο αυτόματα στον υψηλόστροφο άξονα της μηχανής (αυτόν μετά από την έξοδο του κιβωτίου ταχυτήτων) ώστε η απαιτούμενη ροπή πέδησης να είναι αρκετά μικρή.



Σχήμα 3.7.3 : Σύστημα μεταβολής του βήματος με ελατήριο

3.8 Κιβώτιο πολ/σμού στροφών

Αυτό μεταφέρει την μηχανική ισχύ από τον κύριο άξονα της Α/Γ στην γεννήτρια μέσω συστήματος οδοντωτών τροχών. Επειδή η ταχύτητα περιστροφής της γεννήτριας είναι συνήθως 1000 - 1500 rpm και η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα μικρότερη από 50, η σχέση μετάδοσης του κιβωτίου είναι από 20 έως 50. Περιλαμβάνει δύο ή τρεις βαθμίδες οδοντωτών τροχών παραλλήλων αξόνων ελικοειδούς οδόντωσης για περιορισμό του θορύβου (σχήμα 3.8.1).



Σχήμα 3.8.1 : Κιβώτιο πολλ/σμου στροφών παραλλήλων αξόνων και πλανητικού τύπου

Στις Α/Γ μεγάλης ισχύος (τάξεως του MW) προτιμάτε η χρήση πλανητικού κιβωτίου λόγω του μικρότερους βάρους, μικρότερου όγκου και του μεγαλύτερου βαθμού απόδοσης. Στον παρακάτω πίνακα 3.8.1 γίνεται σύγκριση των δύο τύπων κιβωτίου προοριζόμενα για Α/Γ 750 KW.

Κιβώτια πολ/σμου στρ.	Παράλληλων αξόνων	Πλανητικό
Βάρος	7000 Kgr	5000 Kgr
Διαστάσεις	2.4 x 1.5 m	1.3 x 1.3 m
Ποσότητα Λαδιού Lit.	825 lit	190 lit
Σχετικό Κόστος	1	0.6

Πίνακας 3.8.1 : Σύγκριση κιβωτίων παραλλήλων αξόνων και πλανητικού τύπου

Η σχεδίαση και κατασκευή του κιβωτίου πρέπει να είναι κατάλληλη για την αντιμετώπιση των απότομων μεταβολών της ροπής του δρομέα που προέρχονται από τις ριπές του ανέμου. Για λόγους ασφαλείας η ονομαστική ισχύς του κιβωτίου λαμβάνεται 1.5 έως 2 φορές μεγαλύτερη από την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας της Α/Γ.

Για την εξομάλυνση της μηχανικής ροπής και κατ' επέκταση της παραγόμενης ισχύος συνήθως η εδράσει του κιβωτίου επιτρέπει την ταλάντωση του. Το κιβώτιο εδράζεται στον κύριο άξονα της Α/Γ αλλά το κέλυφος του μπορεί να στραφεί γύρω από αυτόν κατά μια μικρή γωνία. Σε άλλες περιπτώσεις η σύνδεση μεταξύ άξονα και κιβωτίου γίνεται με πτυσσόμενο δίσκο (shrink disk).

3.9 Ηλεκτρολογικό σύστημα Α/Γ

Το ηλεκτρολογικό σύστημα της Α/Γ περιλαμβάνει :

- α. την ηλεκτρική γεννήτρια
- β. μικρούς κινητήρες (π.χ. τον κινητήρα προσανατολισμού)
- γ. αυτόματους διακόπτες και ασφάλειες

3.9.1 Η γεννήτρια

Συνδέεται μέσω εύκαμπτων καλωδίων με τη βάση του πύργου της Α/Γ όπου βρίσκεται ο πίνακας διακοπών και ασφαλειών. Από τον πίνακα αυτό εν συνεχεία αναχωρούν καλώδια προς την κατανάλωση. Στην περίπτωση σύνδεσης της Α/Γ σε υπάρχον ηλεκτρικό δίκτυο, μεταξύ της Α/Γ και του δικτύου παρεμβάλλεται μετασχηματιστής ανύψωσης της τάσης. Στα νησιά του Αιγαίου η σύνδεση των Α/Γ γίνεται με γραμμές Μέσης Τάσης δηλ. 15 - 20 Κ.V.

Οι συνηθέστεροι τύποι γεννητριών είναι :

1. Ασύγχρονη Γεννήτρια

Αυτή παρέχει την περισσότερο οικονομική λύση, έχει απλή κατασκευή (απουσία ψηκτρών στον δρομέα), εύκολη σύνδεση με το δίκτυο και απουσία ταλαντώσεων συχνότητας αποτελούν σοβαρά πλεονεκτήματα (βλέπε σχήμα παρ.).

Διεγείρεται παίρνοντας ρεύμα μαγνητίσης από το δίκτυο στο οποίο παραλληλίζεται. Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα όταν η εγκατεστημένη ισχύς είναι μικρότερη από την ισχύ του δικτύου. Εμφανίζονται όμως προβλήματα όταν η εγκατεστημένη ισχύς είναι συγκρίσιμη με την ισχύ του δικτύου.

Όταν η Α/Γ είναι συνδεδεμένη σε ηλεκτρικό δίκτυο τότε η άεργος ισχύς⁵ προσφέρεται από το δίκτυο. Συνήθως εγκαθίστανται επιπλέον στον πίνακα της Α/Γ πυκνωτές για την κάλυψη μέρους της άεργου ισχύος συμβάλλοντας έτσι στη βελτίωση του λεγόμενου συντελεστή ισχύος της εγκατάστασης.

Αν η Α/Γ λειτουργεί αυτόνομα (μη συνδεδεμένη σε ηλεκτρικό δίκτυο) αλλά τροφοδοτεί μια χρονικά μεταβαλλόμενη κατανάλωση, η λειτουργία της γεννήτριας είναι προβληματική λόγω της δυσκολίας της ρύθμισης της άεργου ισχύος μέσω συστήματος πυκνωτών. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται σύγχρονες ή συνεχούς ρεύματος γεννήτριες.

2. Σύγχρονη Γεννήτρια

Έχει το πλεονέκτημα της αυτοδιέγερσης γεγονός που επιτρέπει την χρησιμοποίηση της όταν η εγκατεστημένη ισχύς είναι περίπου ίση με την ισχύ του δικτύου. Εκτός από την μηχανική ρύθμιση ισχύος στην πτερύγωση η οποία είναι απαραίτητη ανεξάρτητα από το είδος της γεννήτριας η σύγχρονη γεννήτρια απαιτεί και ηλεκτρική ρύθμιση ισχύος γιατί για μια συγκεκριμένη φόρτιση (χωρική, επαγωγική, ωμική) τα ΚVA του φορτίου είναι συνάρτηση του ρεύματος διέγερσης όταν η τάση στα άκρα της είναι σταθερή.

Το βασικό όμως πρόβλημα της σύγχρονης γεννήτριας είναι ότι για να διατηρούνται οι στροφές σταθερές απαιτούνται συστήματα αυτομάτου ελέγχου τα οποία και πολύπλοκα είναι και δαπανηρά.

3. Σύγχρονη Γεννήτρια με Μόνιμους Μαγνητικούς Πόλους

Χρησιμοποιούνται κυρίως για αυτόνομες οικιακές εφαρμογές απαιτούν συσσωρευτή "εκκίνησης" για την διέγερσή τους και οι απώλειες του τυλίγματος δεν υπερβαίνουν για μικρές γεννήτριες το 5 έως 10% της ονομαστικής λειτουργίας τους.

Βέβαια μετά από μεγάλη διακύμανση του ανέμου οι στροφές αυξομειώνονται με συνέπεια οι μέσες απώλειες του τυλίγματος διέγερσης να φθάνουν το 20 έως 30% εκτός και αν παρέχεται ρεύμα στη διέγερση πάνω από μια ταχύτητα ανέμου.

Με την εύρεση νέων μαγνητικών υλικών (Hera⁶, Ferrite Magnadur) δίνουν τη δυνατότητα στις μηχανές αυτές να λειτουργούν σε συνθήκες κόρου του

⁵ Είναι απαραίτητη η παροχή άεργου ισχύος στη γεννήτρια για τη διατήρηση της τάσης σε επιθυμητά επίπεδα. Η άεργος ισχύς Q δίνεται από τη σχέση $Q = V I \cos \varphi$ όπου V είναι η τάση, I είναι η ένταση του ρεύματος και φ η διαφορά φάσης μεταξύ τάσης και ρεύματος.

⁶ Μίγμα πολυμερούς πλαστικού και ενός κράμματος κοβαλτίου και σπανίων γαιών.

σιδηρομαγνητικού υλικού. Επίσης έχουν τη δυνατότητα να κατασκευαστούν με μεγάλο αριθμό πόλων και έτσι περιορίζεται σημαντικά η απαιτούμενη σχέση μετάδοσης⁷ $I : 1$ (π.χ. 250 στρ/λ.). Αυτό σημαίνει πλήρη απουσία του κιβωτίου πόλων/μικρο στροφών με την αντίστοιχη μείωση του κόστους. Στη δισκοειδή της μορφή καταλαμβάνει ένα μικρό εγκάρσιο μήκος και μπορεί να τοποθετηθεί σ' ένα οριζόντιο άξονα με τον δρομέα να αποτελούν ένα ενιαίο συμπαγές σύνολο⁸. Παράδειγμα τέτοιας Α/Γ παρατίθεται στο παράρτημα, στο τέλος.

4. Γεννήτρια συνεχούς ρεύματος

Οι μηχανές Σ.Ρ. είναι πολύ περισσότερο εύκολο να ελεγχθούν απ' ότι οι μηχανές Ε.Ρ. και συνεπώς από την πλευρά αυτή προσφέρονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο και κυρίως για μικρές αυτόνομες μονάδες. Στην περίπτωση αυτή η τροφοδοτούν απ' ευθείας συσκευές συνεχούς ρεύματος ή φορτίζουν συσσωρευτές, που με τη βοήθεια converter μετατρέπεται το ρεύμα σε εναλλασσόμενο για την τροφοδότηση συνηθισμένων οικιακών συσκευών. Βέβαια παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα και κυρίως η ευπάθεια και συντήρηση του συστήματος ψηκτρών - συλλέκτη, αλλά το μικρό κόστος και η ευκαμψία τους τις έχει καθιερώσει σε αυτές τις εφαρμογές.

3.9.2 Μικροί κινητήρες

Ο κινητήρας προσανατολισμού είναι ασύγχρονος τριφασικός και ισχύος 1 ΚW, στρεφόμενος και κατά τις δυο φορές περιστροφής διά εναλλαγής των φάσεων. Σε νεότερες μηχανές οι κινητήρες αυτοί είναι υδραυλικοί με καλύτερη απόκριση και ακρίβεια, μα με υψηλότερο κόστος.

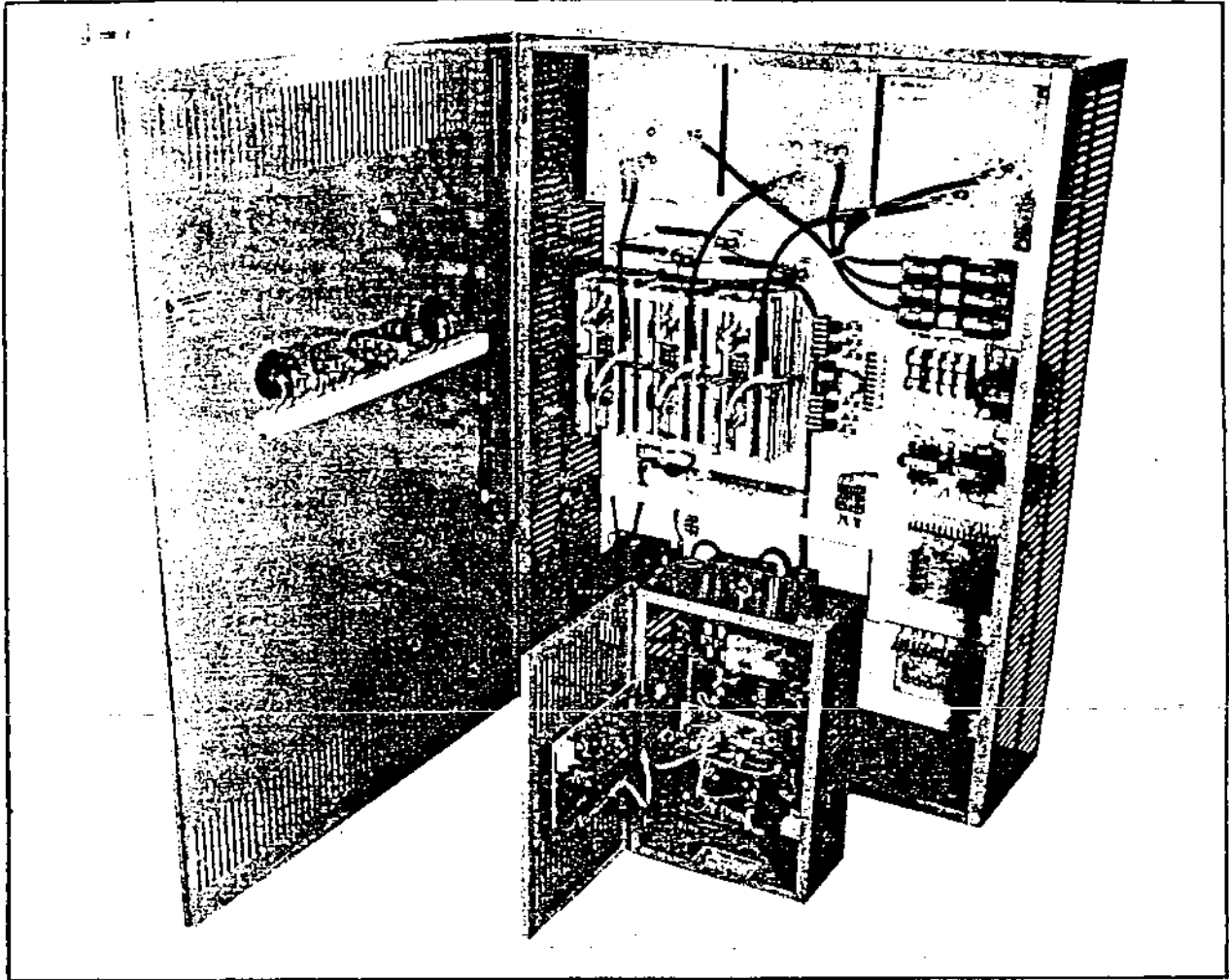
3.9.3 Αυτόματοι διακόπτες και ηλεκ. συσκευές

Στον ηλεκτρικό πίνακα της Α/Γ είναι τοποθετημένοι αυτόματοι διακόπτες για το άνοιγμα ή κλείσιμο των κυκλωμάτων κατόπιν εντολών που προέρχονται από το σύστημα ελέγχου της Α/Γ, ασφάλειες για την προστασία του ηλεκτρικού της κυκλώματος έναντι υπερέντασης ή βραχυκυκλώματος και το σύστημα ελέγχου της.

Το σύστημα ελέγχου της Α/Γ σε νεότερη μορφή, μπορεί να αποτελείται από PLC ή μικρούς υπολογιστές (ergom). Στις μικρές εφαρμογές για την μετατροπή του DC σε AC από τις μπαταρίες χρησιμοποιούνται συσκευές Inverter ώστε να κάνουν δυνατή τη χρήση οικιακών συσκευών εναλλασσόμενου ρεύματος (σχήμα 3.9.1).

⁷ Σύμφωνα με τον τύπο $120f(1+s)/p = \text{rpm}$ όπου f = συχνότητα του δικτύου 50 Hz, $p=0$ αριθμός των πόλων και s = συντελεστής ολίσθησης της γεννήτριας $1\% > 50 \text{ KW}$ έχουμε $6000/24 = 250$ στροφές

⁸ Όλες οι πληροφορίες σχετικά με αυτήν την ενότητα αποκτήθηκαν από τα "Πρακτικά συνεδρίου αιολικής ενέργειας & βιομηχανικής αεροδυναμικής" ΕΜΠ 10/1980 από το κεφ 11. "Γεννήτριες με μόνιμους μαγνητικούς πόλους για μικρές οικιακές εφαρμογές" του Χ. Παπαγεωργίου έδρα ειδικής ηλεκτροτεχνίας ΕΜΠ.



SPECIFICATIONS

SINGLE PHASE GEMINI					THREE PHASE GEMINI				
Model	Power Capacity (kw)	Input Voltage (VDC)	Maximum Amperage (Amps)	Output Voltage (VAC)	Model	Power Capacity (kw)	Input Voltage (VDC)	Maximum Amperage (Amps)	Output Voltage (VAC)
PCU-40-1	2	0-100	20	120	PCU-200-3	20	250	80	240
	4	0-200	20	240			20	500	40
PCU-80-1	4	0-100	40	120	PCU-400-3	40	250	160	240
	8	0-200	40	240			40	500	80
PCU-150-1	15	0-200	75	240	PCU-500-3	50	250	200	240
						50	500	100	480
					PCU-1000-3	100	250	400	240
							100	500	200

* U.S. patent Nos. 3,046,242 and 4,059,772

Specifications for inverters with capacities up to 1.5 megawatts available on request.

Σχῆμα 3.9.1 : Σῶσκειη σύγχρονου Inverter για μετατροπή του συνεχούς σε εναλλασσόμενο DC - AC

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ, ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ

4.1 Γενικά

Η μεθοδολογία σχεδίασης των ελίκων έχει περάσει διάφορα στάδια εξέλιξης, μέχρι το 1870 περίπου ήταν ημιεμπειρική, οπότε και εμφανίστηκε η πρώτη σημαντική θεωρία αεροδυναμικής σχεδίασης από τους Rankine, Froude, και Betz.

Η θεωρία αυτή είναι γνωστή ως "θεωρία τῶ δίσκου ενεργείας" η οποία χρησιμοποιείται και σήμερα στη σχεδίαση και στην πρόβλεψη της αεροδυναμικής απόδοσης των ελίκων. Νεότερη βελτίωση αποτελεί η θεωρία της "γραμμῆς άνωσης" του Prandtl που εμφανίστηκε γύρω στα 1910. Με την βοήθεια των Η/Υ είναι δυνατόν να εφαρμοστούν πιο ακριβείς θεωρίες στη σχεδίαση των ελίκων όπως η θεωρία των δινοπλεγμάτων, της επιφάνειας άνωσης, προβλέπεται ότι σε λίγο θα είναι δυνατή η επίλυση των εξισώσεων των Navier - Stokes πάνω στις καμπύλες επιφάνειες των πτερυγίων των ελίκων.

Βέβαια όλα αυτά, κυρίως όταν οι συναρτήσεις είναι τριών διαστάσεων, είναι αρκετά θεωρητικά, αρκετά δύσκολα στην κατανόηση τους, και δυσκολότερα στην επίλυσή τους. Γι' αυτό και στο κεφάλαιο αυτό γίνεται χρήση πιο εμπειρικών σχέσεων που δεν προσδίδουν απόλυτη ακρίβεια αλλά οι υπολογισμοί είναι μέσα στις ανοχές των μονάδων μέτρησης.

4.2. Αιολικό δυναμικό, ισχύς, ροπή, ταχύτητα

Μάζα αέρα ρέει με ταχύτητα V διαμέσου μιας περιοχής A αντιπροσωπεύοντας μια μονάδα ροῆς μάζας (σχῆμα. 4.2.1) :

$$m = \rho A V \quad (\text{Kg/s}) \quad (4.2.1)$$

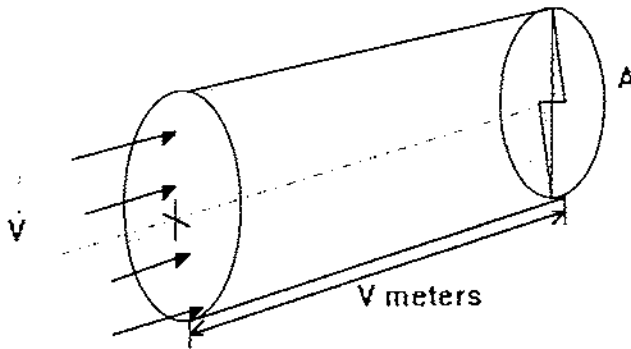
Δηλαδή μια ροή κινητικής ενέργειας ανά δευτερόλεπτο ή κινητική ισχύ :

$$P_{\text{kin}} = 1/2 (\rho A V) V^2 = 1/2 \rho A V^3 \quad (\text{W}) \quad (2.1.2)$$

όπου

$$\rho = \text{πυκνότητα αέρα (Kg/m}^3\text{)}$$

A = περιοχή σάρωσης από τις πτέρυγες του στροφείου (m^2)
 V = αδιατάρακτη ταχύτητα του ανέμου (m/s)



Σχήμα 4.2.1 : Ένας όγκος αέρα V/A ρέει κάθε λεπτό διαμέσου περιοχής A . Αυτό αντιπροσωπεύει αναλογία ροής μάζας $\rho A V$ (kg/s).

Με άλλα λόγια η σχέση αυτή εκφράζει τρία πράγματα

1. Η ενέργεια του ανέμου είναι ανάλογη με την πυκνότητα του αέρα. Αυτό σημαίνει ότι ψηλά σε ένα βουνό παίρνεις λιγότερη ενέργεια στην ίδια ταχύτητα του ανέμου.
2. Η ισχύ του αέρα είναι ανάλογη με την περιοχή σάρωσης του στροφείου ή είναι ανάλογη με την τετραγωνική διάμετρο του στροφείου.
3. Η ισχύς του αέρα είναι ανάλογη με τον κύβο της ταχύτητας του αέρα, γι' αυτό δίνεται προσοχή στην βέλτιστη επιλογή θέσης της ανεμογεννήτριας. 10% περισσότερος αέρας δίνει 30% περισσότερο ισχύ.

Ένα στροφείο μπορεί να απαγάγει ισχύ μόνο από τον αέρα επιβραδύνοντας τον : η ταχύτητα του ανέμου πίσω από το στροφείο είναι λιγότερη από ότι μπροστά του. Πολύ επιβράδυνση επιτρέπει στον αέρα να ρέει γύρω από την περιοχή του στροφείου αντί διά μέσου της περιοχής του και έτσι η μέγιστη απαγωγή ισχύος επιτυγχάνεται όταν η ταχύτητα του ανέμου στην απορροή του ρότορα είναι το $1/3$ της αδιατάρακτης ταχύτητας του V_∞ . Σε αυτή τη περίπτωση στο στροφείο επενεργεί τα $2/3$ της ταχύτητας του V_∞ έτσι ώστε η αποτελεσματική ροή μάζας είναι μόνο : $\rho A 2/3 V_\infty$. Εάν αυτή η ροή μάζας επιβραδύνεται από το V_∞ έως $1/3 V_\infty$ η παραγόμενη ενέργεια είναι ίση με :

$$P_{max} = 1/2 (\rho A 2/3 V_\infty) - 1/2 (\rho A 2/3 V_\infty) (1/3 V_\infty)^2 \tag{4.2.3}$$

ή

$$P_{max} = \frac{16}{27} 1/2 \rho A V_\infty^3$$

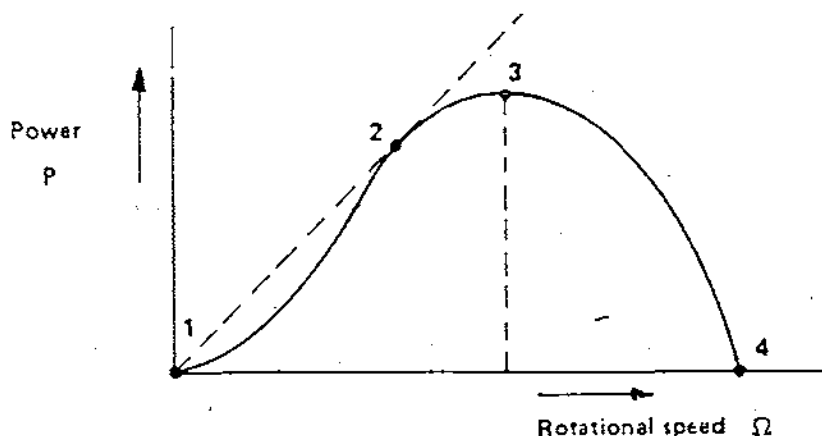
Δηλαδή το θεωρητικό κλάσμα της μέγιστης παραγόμενης ισχύος είναι $16/27$ ή $59,3\%$ το οποίο ονομάζεται συντελεστής ισχύος του BETZ¹.

Το κλάσμα της παραγόμενης ισχύος C_p στην πράξη σπανίως υπερβαίνει $0,5$ αν

μετρηθεί σαν μηχανική ενέργεια σε ένα στροφείο².

¹ Betz πρωτοπόρος στην έρευνα για την αιολική ενέργεια που πρώτος βρήκε τον συντελεστή αποδότησης της ισχύος $C_p = 0,593$

Ο ανεμοκινητήρας μπορεί, λοιπόν, να παραλαμβάνει ισχύ από τον άνεμο με ταυτόχρονη επιβράδυνση του ανέμου. Στην περίπτωση ακινησίας του δρομέα είναι φανερό ότι δεν παράγεται ισχύς όπως και στις πολύ υψηλές περιστροφικές ταχύτητες ο δρομέας μπορεί να εξομοιωθεί με ένα τοίχωμα αδιαπέραστο ώστε η παραγωγή ενέργειας είναι μηδενική. Ανάμεσα στις δυο αυτές περιπτώσεις υπάρχει μια χαρακτηριστική περιστροφική ταχύτητα όπου η παραλαμβανόμενη ισχύς είναι μέγιστη και περιγράφεται από τη σχέση 4.2.2.

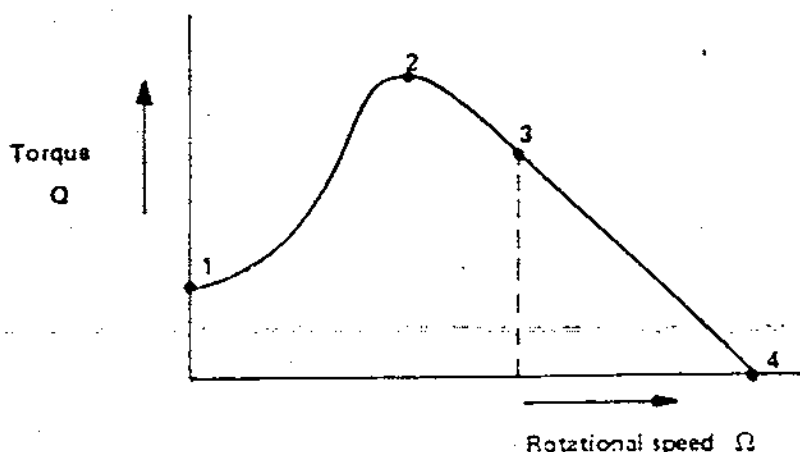


Σχήμα 4.2.2 : Η παραγόμενη ισχύς ενός δρομέα συνάρτηση της γωνιακής του ταχύτητας σε μια δεδομένη ταχύτητα ανέμου

Είναι επίσης ενδιαφέρουσα η γνώση της καμπύλης στρεπτικής ροπής - ταχύτητας μιας Α/Γ. Η ισχύς $P(W)$, ροπή $Q(Nm)$ και γωνιακή ταχύτητα Ω (rad/sec) περιγράφονται από τη σχέση :

$$P = Q * \Omega \quad (4.2.4)$$

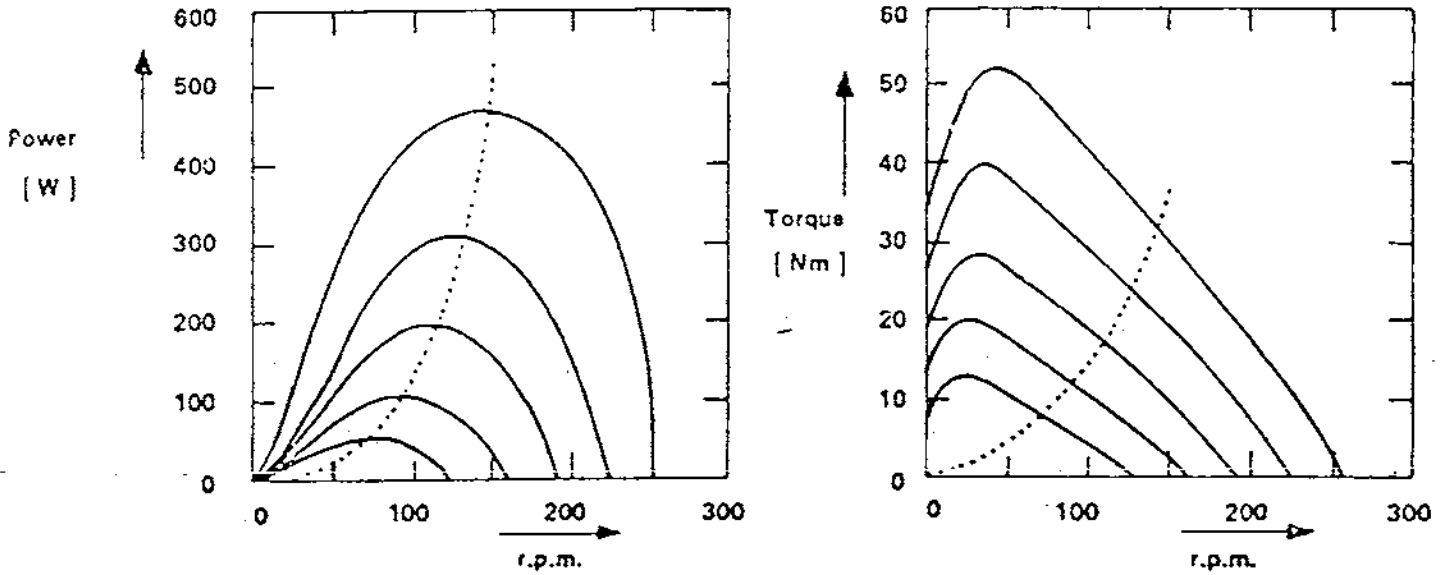
Σύμφωνα με αυτή τη σχέση και την καμπύλη του σχήματος 4.2.3 η παραγόμενη ροπή είναι :



Σχήμα 4.2.3 : Η παραγόμενη στρεπτική ροπή ενός δρομέα συνάρτηση της γωνιακής ταχύτητας σε μια δεδομένη ταχύτητα ανέμου

² Οι σχέσεις και τα διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν είναι από "Introduction to Wind Energy" από τον Lysen

Μπορούμε να συμπεράνουμε ότι εξαιτίας της $Q = P/\Omega$, η ροπή είναι ίση με την εφαπτόμενη μιας γραμμής που περνάει από την αρχή και σε μερικά σημεία της P-Ω καμπύλης. Γι' αυτό το λόγο, η μέγιστη της στρεπτικής ροπής είναι εφικτή σε χαμηλές στροφές σε σχέση με το μέγιστο της ισχύος. Αν η ταχύτητα του ανέμου αυξηθεί η ροπή και ταχύτητα αυξάνονται ανάλογα με αποτέλεσμα τον σχεδιασμό μιας διαφορετικής καμπύλης για ροπή και ισχύ σε κάθε ταχύτητα σχήμα 4.2.4.



Σχήμα 4.2.4 : Η ισχύς και η στρεπτική ροπή ενός Α/Κ σαν συνάρτηση της ταχύτητας περιστροφής για διάφορες ταχύτητες ανέμου

Αυτό το σύνολο από καμπύλες είναι πολύ δύσκολο στο χειρισμό καθώς μεταβάλλονται με την ταχύτητα του ανέμου V και την ακτίνα του στροφείου R . Η ισχύς, ροπή, και ταχύτητα μπορούν να αδιαστατοποιηθούν με τις ακόλουθες εκφράσεις

συντελεστής ισχύος $C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A V^3}$ (4.2.5)

συντελεστής ροπής $C_Q = \frac{Q}{\frac{1}{2} \rho A V^2 R}$ (4.2.6)

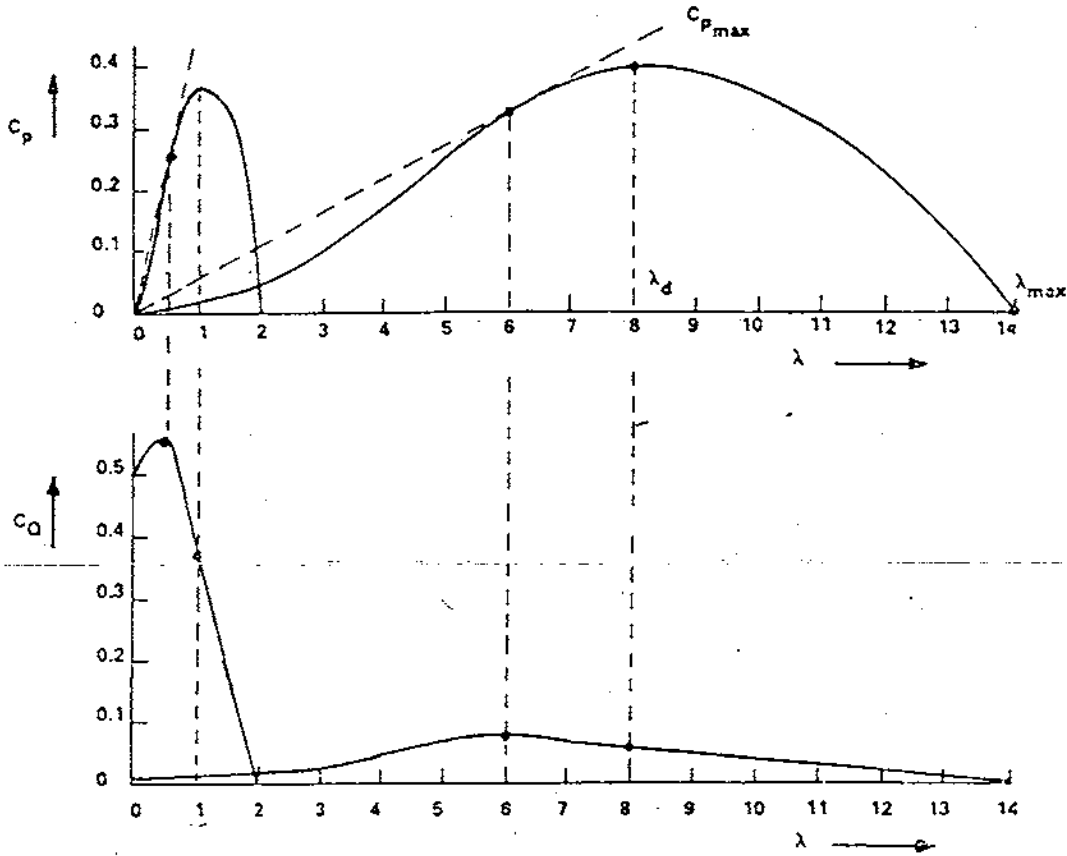
λογος ταχυτήτων $\lambda = \frac{\Omega R}{V}$ (4.2.7)

με εμβαδόν επιφάνειας στροφείου $A = \pi R^2$

Αντικαθιστώντας αυτές τις εκφράσεις στην σχέση 4.2.4 αυτή μας δίνει :

$C_p = C_Q * \lambda$ (4.2.8)

Το άμεσο αποτέλεσμα της εξίσωσης αυτής είναι ότι η συμπεριφορά των στροφειών για διαφορετικές διαμέτρους και ταχύτητες ανέμου μπορεί να περιγραφεί από δύο καμπύλες $C_p - \lambda$ και $C_Q - \lambda$ (σχήμα 4.2.5).



Σχήμα 4.2.5 : Χαρακτηριστικές καμπύλες $C_p - \lambda$ και $C_Q - \lambda$ για Α/Γ με πολλά πτερύγια (καμπύλη α) και με δύο πτερύγια (καμπύλη β)

Ένας σημαντικός διαχωρισμός ανάμεσα στους τύπους των δρομέων που φαίνονται στη σχήμα 4.2.5 είναι ότι τα στροφεία πολλαπλής πτερύγωσης λειτουργούν για μικρό λ ενώ οι δρομείς διπλής ή τριπλής πτερύγωσης λειτουργούν για μεγάλο λ .

Ο μέγιστος συντελεστής ισχύος δεν διαφέρει τόσο πολύ αλλά υπάρχει μια υπολογίσιμη διαφορά στη στρεπτική ροπή, τόσο στην αρχική τιμή για $\lambda = 0$ όσο και στη μέγιστη. Μια εμπειρική σχέση για να υπολογιστεί ο αρχικός συντελεστής στρεπτικής ροπής ενός στροφείου είναι:

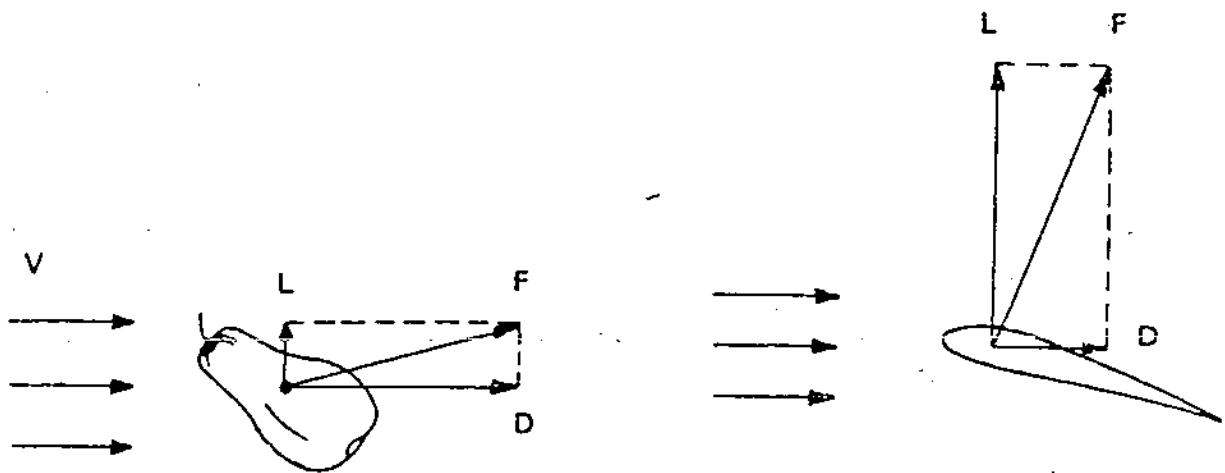
$$C_{Q_{start}} = \frac{0,5}{\lambda_0^2}$$

όπου λ_0 η τιμή του λ για την οποία το C_p είναι μέγιστο

4.3 Δυνάμεις που ασκούνται στα πτερύγια

Στην πραγματικότητα όχι μόνο στα πτερύγια αλλά και σε όλα τα σώματα, τοποθετημένα μέσα σε μια ομοιόμορφη ροή ρευστού ασκείται μια δύναμη της οποίας η διεύθυνση δεν είναι παράλληλη με αυτήν της αδιατάρακτης ροής.

Οι συνιστώσα της δύναμης είναι κάθετη στη διεύθυνση της αδιατάρακτης ροής και ονομάζεται (δυναμική) άνωση. Η άλλη συνιστώσα της δύναμης που είναι πάνω στην διεύθυνση της αδιατάρακτης ροής ονομάζεται οπισθέλκουσα. Για ένα οποιαδήποτε σώμα και για ένα πτερύγιο φαίνονται στο παρακάτω σχήμα 4.3.1.



Σχήμα 4.3.1 : Οι δυνάμεις που δέχεται ένα οποιαδήποτε σώμα και ένα πτερύγιο κατά την τοποθέτησή τους σε αδιατάρακτη ροή.

Σε φυσιολογικές συνθήκες η δύναμη πάνω σε ένα σώμα όπως είναι το πτερύγιο δημιουργείται από τις αλλαγές της ταχύτητας της ροής (και διεύθυνσης) γύρω από το πτερύγιο. Πάνω από το πτερύγιο οι ταχύτητες είναι υψηλότερες από κάτω από αυτό.

Το αποτέλεσμα είναι ότι η πίεση στην πάνω επιφάνεια είναι πιο χαμηλή από την πίεση της κάτω επιφάνειας με αποτέλεσμα τη δημιουργία της δύναμης F με μια συνιστώσα προς τα πάνω.

Στη περιγραφή των χαρακτηριστικών της άνωσης και της οπισθέλκουσας διαφορετικών πτερυγίων, η αναφορά γίνεται συνήθως στους αδιάστατους συντελεστές άνωσης και οπισθέλκουσας που δίνονται παρακάτω :

$$C_L = \frac{L}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (4.3.1)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{1}{2} \rho V^2 A} \quad (4.3.2)$$

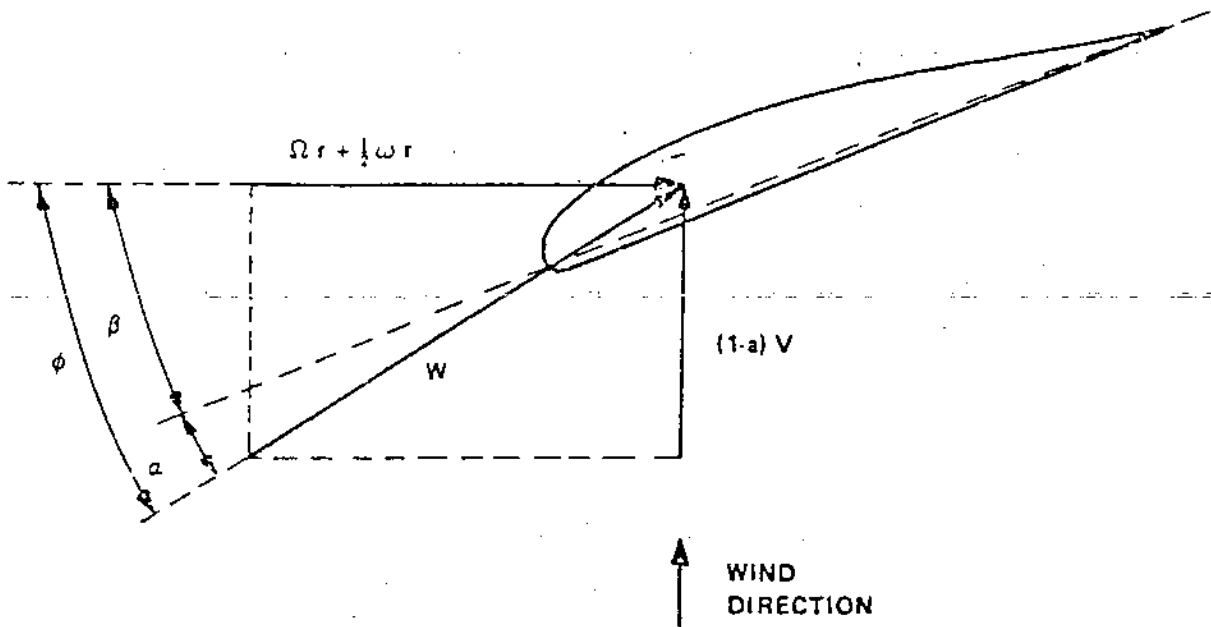
με :

ρ = πυκνότητα αέρα (Kg/m³)

V = αδιατάρακτη ταχύτητα ανέμου

A = πρασβαλόμενη επιφάνεια πτερυγίου (χορδή \times μήκος) (m^2)

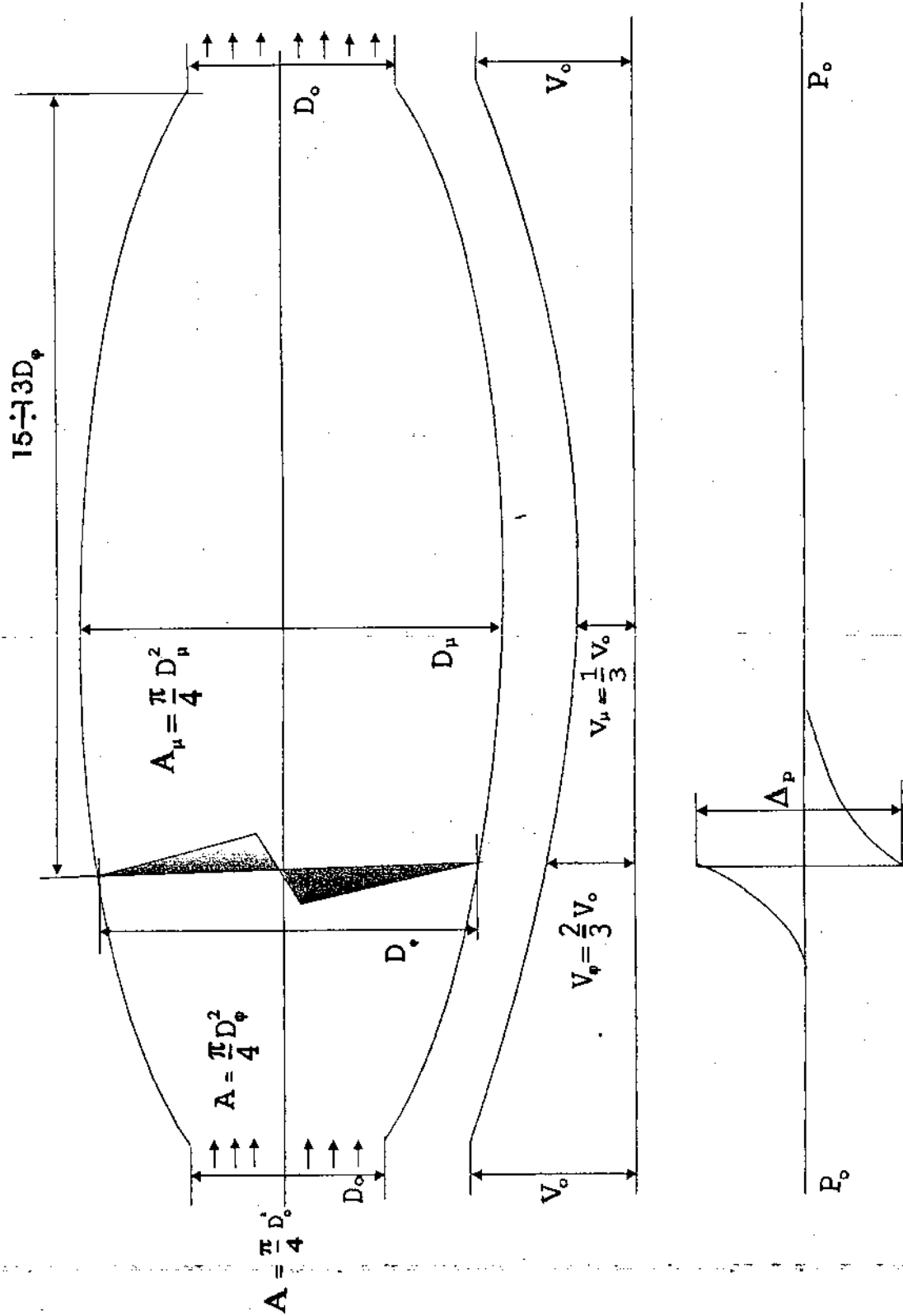
Αυτοί οι αδιάστατοι συντελεστές άνωσης και οπισθέλκουσας μετρήθηκαν σε αεροσήραγγα για διάφορες "γωνίες προσβολής" α . Αυτή είναι η γωνία μεταξύ της αδιατάρακτης ροής και της προέκτασης της χορδής ή γραμμή αναφοράς του πτερυγίου. Για μια κυρτωμένη πλάκα η γραμμή αναφοράς είναι απλώς μια ευθεία που ενώνει το χείλος προβολής και εκφυγής του πτερυγίου. Για μια αεροτομή (airfoil) η γραμμή αναφοράς είναι η ευθεία που συνδέει το χείλος εκφυγής με το κέντρο της μικρότερης ακτίνας καμπυλότητας του χείλους προβολής (σχήμα 4.3.2).



Σχήμα 4.3.2: Η γωνία πρόσπτωσης (α) και η γωνία τοποθέτησως (β) του πτερυγίου πάνω στο στροφέιο.

4.4 Ταχύτητες στο ροικό σωλήνα

Το ποσόν του ανέμου που προσβάλλει τον δρομέα A/K με οριζόντιο άξονα είναι υποχρεωμένο να περάσει από τις διαδοχικές και διαφορετικές διατομές του ροικού σωλήνα, η δε ταχύτητα αυτού του ποσού αέρα στη μονάδα του χρόνου μεταβάλλεται αντίστοιχα με τις διατομές όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4.1.



Σχήμα 4.4.1 : Ροικός σωλήνας Α/Κ οριζοντίου άξονα

$$A_o * V_o \gg A_\phi * V_\phi \gg A_\mu * V_\mu \gg \text{σταθ.}$$

όπου

A_o » η αρχική διατομή του ροικού σωλήνα

A_ϕ » η διατομή στον δρομέα

A_μ » η μεγαλύτερη διατομή

όπου αντίστοιχα έχουμε διαμέτρους

D_o & D_ϕ & D_μ

$$A_o \approx \frac{\pi}{4} D_o^2 \quad (\text{αρχική})$$

$$A_\phi \approx \frac{\pi}{4} D_\phi^2 \quad (\text{ανεμοτροχού})$$

$$A_\mu \approx \frac{\pi}{4} D_\mu^2 \quad (\text{μεγίστη})$$

Η κινητική ενέργεια του ανέμου στην Α/Γ είναι ($V_\phi \gg V_o - V_\mu$)

$$W_1 \approx \frac{1}{2} M V^2 \approx \frac{1}{2} \rho A_\phi V (V_o^2 - V_\mu^2) \quad (4.4.1)$$

και η μεταβολή της ποσότητας της κίνησης από την παρεμβολή του δρομέα του δίνει μια ώθηση :

$$F = \rho (A_\phi * V_\phi) * (V_o - V_\mu)$$

και η αντίστοιχη ανεμοισχύς είναι :

$$W_2 \approx F V_\phi \approx \rho (A_\phi * V_\phi) * (V_o - V_\mu) V_\phi$$

δηλ.:

$$W_2 \approx \rho (A_\phi * V_\phi^2) * (V_o - V_\mu) \quad (4.4.2)$$

από την ισότητα των δύο εξισώσεων (4.4.1) και (4.4.2)

$$\frac{1}{2} \rho A_{\varphi} V_{\varphi} (V_o^2 - V_{\mu}^2) = \rho (A_{\varphi} V_{\varphi}^2) * (V_o - V_{\mu})$$

προκύπτει ότι :

$$V_{\varphi} \approx \frac{V_o^2 - V_{\mu}^2}{2 (V_o - V_{\mu})} \approx \frac{(V_o - V_{\mu}) * (V_o + V_{\mu})}{2 (V_o - V_{\mu})} \approx \frac{V_o + V_{\mu}}{2} \quad (4.4.3)$$

αν δε παρουσιάσουμε μαζί με την παράμετρο α (όπου $0 < \alpha < 1$) την ταχύτητα V_{μ} ποσοστό της V_o τότε $V_{\mu} = \alpha V_o$ και αντικαθιστώντας την V_{μ} στην εξίσωση της ανεμοισχύος :

$$W = \frac{1}{4} \rho A V_o^3 (1 - \alpha) * (1 - \alpha^2)$$

και για $\frac{1}{4} \rho A_{\varphi} V_o^3 = 1$ που η ισχύς παίρνει τη μεγαλύτερη τιμή της έχουμε :

$$W_{\max} = (1 - \alpha) * (1 - \alpha^2)$$

και διαφορίζοντας αυτή τη σχέση προκύπτει η δευτεροβάθμια εξίσωση

$$3\alpha^2 + 2\alpha - 1 = 0 \quad (4.4.4)$$

λύνοντας την εξίσωση την εξίσωση αυτή βρίσκουμε την τιμή της παραμέτρου α

$$\alpha = \frac{-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha}$$

$$\alpha = \frac{-2 \pm \sqrt{4 - 4(-3)}}{6}$$

$$\alpha = \frac{1}{3}$$

αντικαθιστώντας σε την τιμή της α στην 4.4.3 έχουμε

$$V_{\varphi} = \frac{V_o + V_{\mu}}{2} = \frac{V_o + \alpha V_o}{2} =$$

$$\frac{1}{3} \frac{V_o}{2} = \frac{2}{3} V_o$$

Στην εξίσωση $V_{\mu} = \alpha V_0$ η αντικατάσταση της $\alpha = \frac{1}{3}$ και $V_{\varphi} = \frac{1}{3} V_0$ έτσι ώστε οι ταχύτητες του ανέμου στην μεν διατομή του δρομέα

$$V_{\varphi} = \frac{2}{3} V_0$$

στην μεγάλη διατομή του ροϊκού σωλήνα

$$V_{\mu} = \frac{1}{3} V_0$$

και κατόπιν του καθορισμού της παραμέτρου $\alpha = \frac{1}{3}$ προκύπτει

$$W_{\max} = \frac{16}{27} * \frac{(\rho A_{\varphi} V_0^3)}{2}$$

και

$$C_p = \frac{W}{\frac{\rho A_{\varphi} V_0^3}{2}} = 0,595$$

Το όριο του ΒΕΤΖ ή μέγιστος συντελεστή απόδοσης του Α/Κ

4.5 Υπολογισμός της Ισχύος Α/Γ

Για τον υπολογισμό της ισχύος του Α/Κ θεωρούμε ότι βρίσκεται εγκατεστημένος σε ένα αστρόβιλο πεδίο η ροή του ανέμου είναι απεριόριστη και εκτείνεται στο άπειρο, τόσο πριν όσο και μετά απ' αυτόν, με μια ομοιόμορφη κίνηση με πίεση, θερμοκρασία, υγρασία και σύνθεση αέρα (δηλ. πυκνότητα $\rho = 1,22 \text{ Kg/m}^3$) σταθερές.

Εάν η επιφάνεια των φτερών είναι η διατομή που περνάει μια μάζα αέρα M με ταχύτητα V τότε η κινητική ενέργεια στην μονάδα του χρόνου του ανέμου είναι :

$$E = \frac{1}{2} m V^2 \quad (4.5.1)$$

Η ταχύτητα του ανέμου V σε m/s και η μάζα m στη μονάδα του χρόνου ανά δευτ. με πυκνότητα ρ , $m = \rho A V$ και η ισχύς του ανέμου λόγω κινητικής ενέργειας για την αναφερόμενη επιφάνεια A (σχέση 4.2.2)

$$P_{kin} = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Αυτή η ισχύς του ανέμου είναι θεωρητική και δεν μπορούμε να την αποδεσμεύσουμε ολόκληρη από τον Α/Κ για την παραγωγή ωφέλιμου έργου, γιατί κάτι τέτοιο προϋποθέτει πλήρη μηδενισμό της ταχύτητας, και όπως έχει αναφερθεί και στο προηγούμενο, είναι αδύνατο λόγω ασυνέχειας του ρευστού.

Το μέρος της ισχύος του ανέμου που μετατρέπεται σε μηχανική ισχύ P_m παίρνοντας από τον Α/Κ είναι :

$$P_m = C_p P_{kin} \quad (4.5.2)$$

όπου το C_p είναι μεγαλύτερο του μηδενός και μικρότερο της μονάδας

$$0 < C_p < 1$$

και όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο το C_p είναι το όριο του BETZ.

Η θεωρητική ισχύς (ανεμοισχύς) του ανέμου σε KW/m^2 φτερού με πυκνότητα αέρα $\rho = 1,22 \text{ Kg/m}^3$ είναι $W_a = 0,613 \frac{V^3}{1000}$ σε KW/m^2 φτερού. Όταν V η ταχύτητα του ανέμου σε m/s , η δε μέγιστη δυνατή απόδοση του ανεμοκινητήρα σε KW/m^2 είναι:

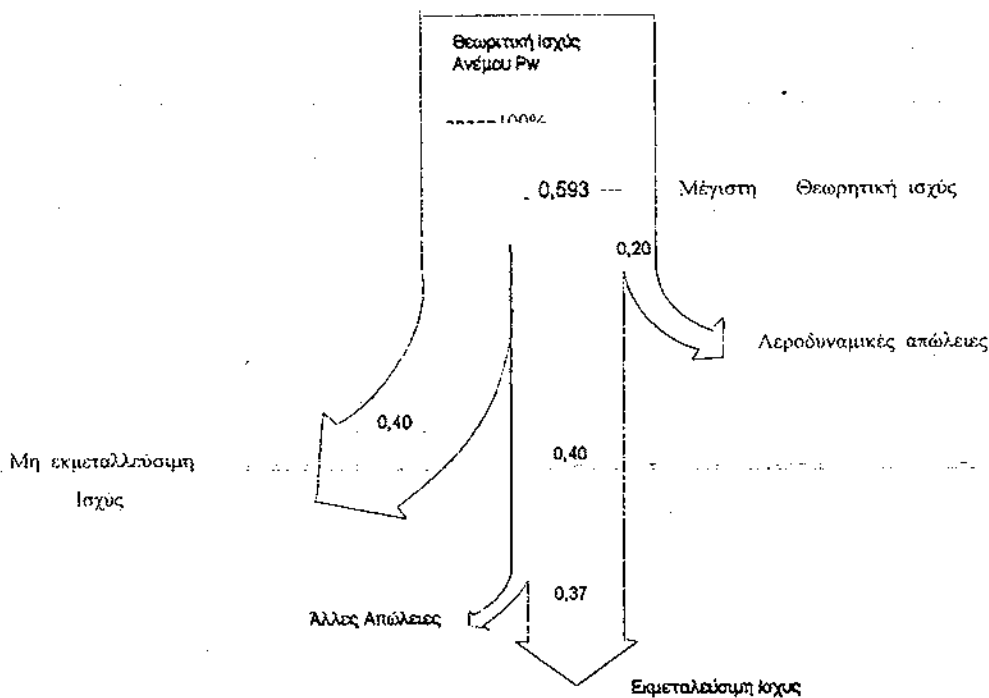
$$W_x = 363 \frac{V^3}{1000} \text{ σε } KW/m^2$$

Ο λόγος λοιπόν του $\frac{W_x}{W_a} = C_p = \frac{0,363}{0,613} = 0,593$ χάρης στην αποπίεση που

δημιουργείται και από την δίνη που γίνεται πίσω από τον δρομέα με αποτέλεσμα την απορρόφηση μαζών αέρα από το περιβάλλον με αποτέλεσμα να μεγαλώνει η ορμή και η ισχύς του ανέμου (οπισθέλκουσα δύναμη) έχει σαν αποτέλεσμα να μεγαλώνει ο συντελεστής αυτός. Στον υπολογισμό του συντελεστή οι αεροδυναμικές απώλειες δεν υπολογίζονται.

Στην πραγματικότητα όμως είναι μικρότερος (στους Α/Κ που βρίσκονται σήμερα σε λειτουργία φθάνουν το 0,40) σχήμα 4.5.1 γιατί πολλαπλασιάζεται και με τους συντελεστές απόδοσης των υπολοίπων μηχανισμών (ηλεκτρογεννήτρια, πόλ'στη, στροφών ή αντλία νερού κ.α.) που είναι μικρότεροι της μονάδας με αποτέλεσμα η ισχύς που παίρνουμε (σχέση 4.5.2) να είναι :

$$P_{\mu} = \eta_y \eta_x P_{\text{κιν}} \tag{4.5.2}$$



Σχήμα 4.5.1 : Ροή ενέργειας ανέμου μέχρι το δρομέα

4.6 Παράδειγμα υπολογισμού

Επιλέγω τρίτερο δρομέα μεταβλητού βήματος, ώστε οι στροφές του να παραμένουν σταθερές μετά από διακυμάνσεις του ανέμου αλλά και η περιφερειακή ταχύτητα του δρομέα για μέση ταχύτητα ανέμου να είναι πενταπλάσια αυτής. Το βήμα θα ρυθμίζεται αυτόματα μέσω μιας μονάδας PLC, η οποία θα μετράει την τάση εξόδου της γεννήτριας, το απαιτούμενο φορτίο, την ταχύτητα ανέμου και τις στροφές του δρομέα.

Τα δεδομένα αυτά θα τα συγκρίνει ώστε μεταβάλλοντας ανάλογα το βήμα του δρομέα να έχουμε σταθερές στροφές στον άξονα και σαν συνέπεια σταθερή τάση εξόδου. Βέβαια μετά από κάποιο όριο περιστροφής ή ταχύτητας ανέμου θα προστατεύεται με τον μηδενισμό της γωνίας προσβολής με τον άνεμο, ώστε να αντιπαρέχεται χωρίς καμία επίπτωση στην κατασκευή.

Ο τύπος της αεροτομής της πτέρυγας είναι NACA 4412 με $D = 6\text{m}$ και αριθμό πτερυγίων $B = 3$ και 100 RPM για ($V = 10\text{ m/s}$). Οι θέσεις υπολογισμού (κέντρα στοιχείων πτέρυγας) στη βάση της πτέρυγας είναι $\tau = 8^\circ$, $C = 0.55\text{ m}$ και στο ακροπτερύγιο έχουμε $\tau = 4^\circ$, $C = 0.15\text{ m}$. Η μεταβολή των τ, C κατά μήκος του πτερυγίου είναι γραμμική.

Η γεννήτρια θα είναι τριφασική βραχυκυκλωμένου δρομέα με ανόρθωση στην έξοδο από AC σε DC για την φόρτωση συσσωρευτών, μετά με τη βοήθεια Inverter η τάση θα γίνεται και πάλι AC για κατανάλωση σε οικιακή χρήση. Η ισχύς της δε, θα είναι περί τα $P = 6\text{ KW}$.

Τέλος δε ο πύργος θα έχει ύψος 10 μέτρα κοίλος, σωληνωτού τύπου με διατομή $\varnothing 300\text{ mm}$ και στα $2/3$ του ύψους του θα έχουμε τρία επίτονα αγκυρωμένα στο έδαφος.

Για τους υπολογισμούς θα έχω τους παρακάτω συντελεστές

- a αξονικός επαγωγικός συντελεστής
- B αριθμός πτερυγίων A/Γ
- C_L συντελεστής άνωσης
- C χορδή αεροτομής πτέρυγας
- $\varepsilon = C_L/C_D$
- $\rho = 1.22\text{ Kg/m}^3$
- V ταχύτητα ανέμου

- Ω γωνιακή ταχύτητα δρομέα
- φ γωνία τριγώνου ταχυτήτων
- α γωνία πρόσπτωσης
- D διάμετρος δρομέα

Τα $C_{L,\epsilon}$ υπολογίζονται από τα διαγράμματα $C_L - \alpha$, $C_D - C_L$ για NACA 4412 από το $\alpha = \varphi - \tau$

Όταν το α είναι σταθερό σε όλο το μήκος της χορδής και ίσο με $\alpha \approx 0.2$, $C_p \approx 0.4$ και $\Omega = \frac{2\pi \cdot \eta}{60} = 10.5$ τότε έχουμε

$$C_T = 4 \cdot a \cdot (1 - a) = 0.64$$

και

$$C_M = \frac{C_p}{\frac{\Omega \cdot r}{V}} = \frac{0.4}{\frac{10.5 \cdot 3}{10}} = 0.127$$

με την βοήθεια των συντελεστών αυτών βρίσκουμε την ισχύ, ώση και ροπή του δρομέα :

$$P_{\mu\eta\chi} = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot V^3 \cdot R^2 = 0.4 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1.22 \cdot 1000 \cdot 3.14 \cdot 3^2 = 6.895 \text{ KW}$$

$$T = C_T \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot R^2 = 0.64 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1.22 \cdot 100 \cdot 3^2 = 0.351 \text{ KNt}$$

$$M = \frac{P}{\Omega} = \frac{6.895}{10.5} = 0.66 \text{ KNtm}$$

Βέβαια η ισχύς αυτή υπόκειται σε μειώσεις λόγω της συμπλέξεως του δρομέα με άλλες μηχανές με μικρότερο συντελεστή απόδοσης από την μονάδα (κιβώτιο ταχυτήτων, γεννήτρια) με έδρανα κλπ έτσι η τελική ισχύς που παραλαμβάνουμε να διαμορφώνεται :

$$P_{\eta\lambda} = \eta_k \cdot \eta_\gamma \cdot P_{\mu\eta\chi} = 0.96 \cdot 0.92 \cdot 6.895 \text{ KW} = 6.09 \text{ KW}$$

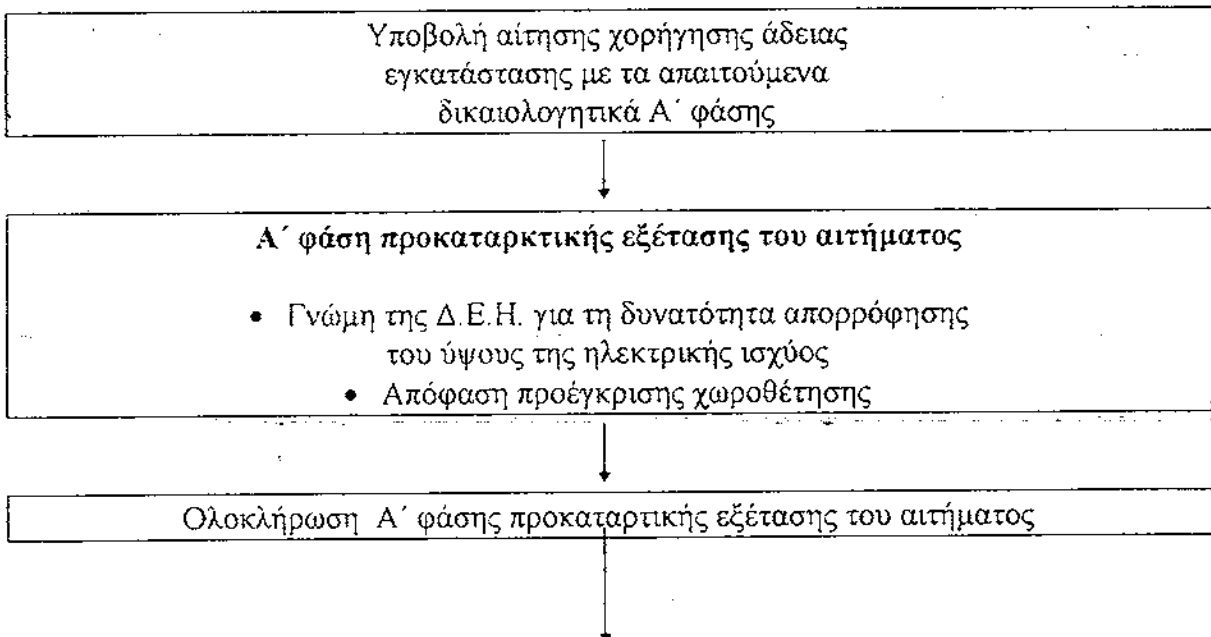
Αυτή είναι και η ηλεκτρική ισχύς της γεννήτριας του παραδείγματος.

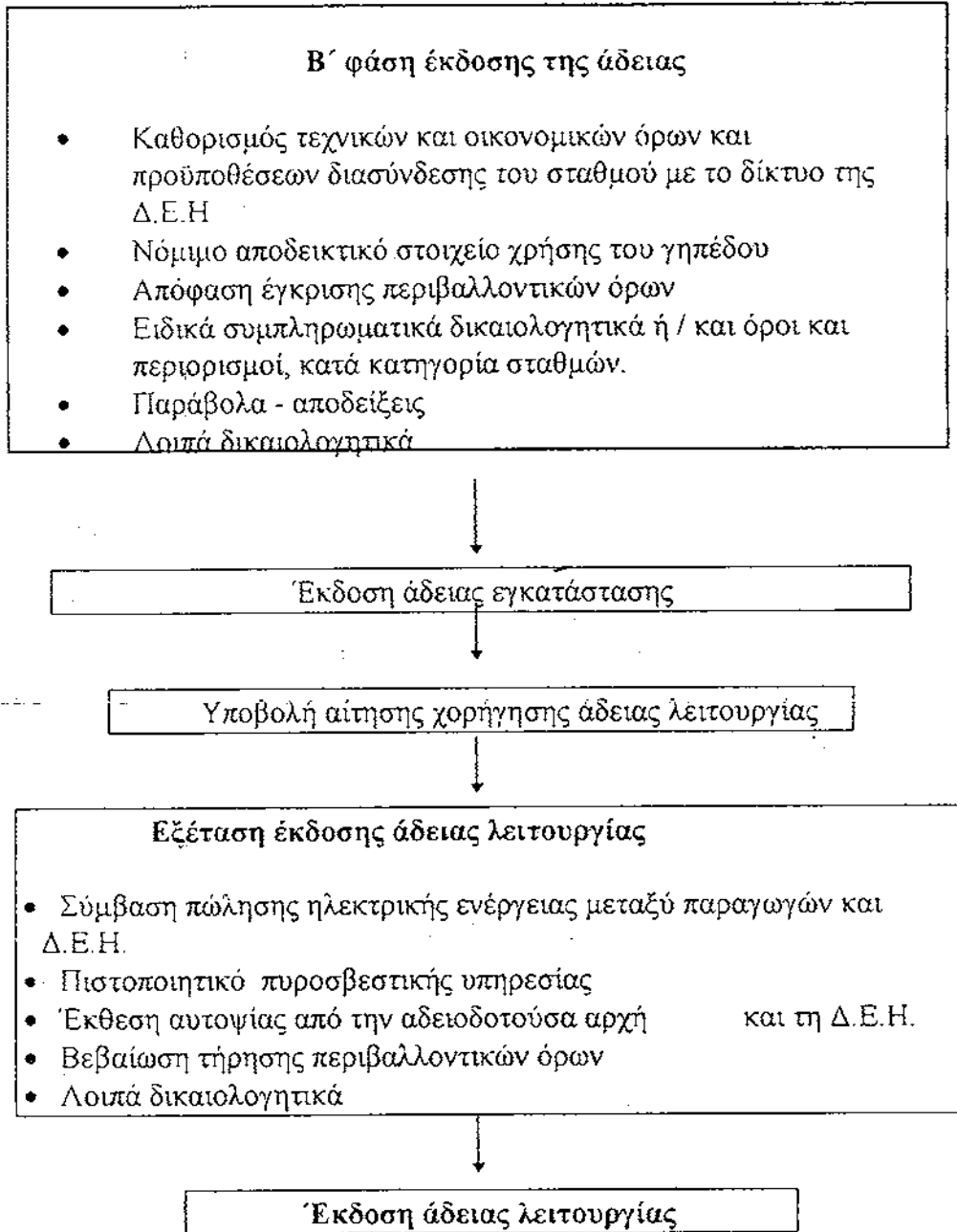
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΔΕΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Η διαδικασία εξέτασης για τη χορήγηση άδειας εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (στην περίπτωσή μας, Α/Γ), ακολουθείται η εξής διαδικασία συνοπτικά:

Α΄ ΦΑΣΗ





Αυτό είναι ένα γενικό πλάνο της διαδικασίας που ακολουθείται για την αδειοδότηση ενός έργου εγκατάστασης - εκμετάλλευσης Α/Γ. Στις σελίδες που ακολουθούν, αναφέρονται οι όροι που πρέπει να πληρούνται, καθώς και κάποια πρόσθετα δικαιολογητικά. Επίσης, λεπτομερέστερη αναφορά της διαδικασίας και τέλος η χαρτοσήμανση - μηχανοσήμανση και οι αποδείξεις-παράβολα.

Όλα τα στοιχεία του κεφαλαίου, προέρχονται από το υπουργείο ανάπτυξης.

ΕΙΔΙΚΑ ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΑ ΔΙΚΑΙΟΛΟΓΗΤΙΚΑ Ή/ΚΑΙ ΟΡΟΙ ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΓΙΑ ΑΔΕΙΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Ή ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΩΝ ΣΤΑΘΜΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.

Πρόσθετα δικαιολογητικά

- Τοπογραφικό σχεδιάγραμμα σε κλίμακα 1:5.000 που θα παρουσιάζει:
 1. το γήπεδο
 2. μαζί με τα περιγράμματα των κτιριακών και λοιπών εγκαταστάσεων,
 3. τις μεταξύ των αποστάσεις,
 4. καθώς και τη χρήση γης σε ακτίνα 200 m από τα όρια του γηπέδου.
- Ανά μία κατακόρυφη τομή του κάθε τύπου ανεμογεννήτριας που πρόκειται να εγκατασταθεί, σε κλίμακα 1:200, στην οποία να φαίνονται επακριβώς οι διαστάσεις των υποκειμένων και υπερκειμένων του εδάφους κινητών και ακίνητων μερών της όλης εγκατάστασης.
- Πιστοποιητικό έγκρισης του συγκεκριμένου τύπου της Α/Γ, που εκδίδεται από το Κ.Α.Π.Ε..

Γενικός όρος

- Η απόσταση ανάμεσα στους πυλώνες της προς εγκατάσταση ανεμογεννήτρια και άλλης εγκατεστημένης, ή ήδη εγκεκριμένης για εγκατάσταση άλλου χρήστη, πρέπει να είναι επιπλάσια (X7) της μεγαλύτερης διαμέτρου των πτερυγίων γειτονικών ανεμογεννητριών.

Ειδικοί όροι και περιορισμοί

Α. Εντός ορίου οικισμού:

- Πρέπει να λαμβάνονται υπ' όψη οι ισχύουσες πολεοδομικές διατάξεις.
- Σε περίπτωση που είναι δυνατή η εγκατάσταση θα πρέπει η ελάχιστη απόσταση του πλησιέστερου κινητού σημείου της Α/Γ να είναι από:
 1. τα όρια του γειτονικού οικοπέδου, τουλάχιστον ίση με το ύψος του πύργου της Α/Γ.
 2. το έδαφος, τουλάχιστον 5 m.
 3. κτίσμα εντός της ιδιοκτησίας, μία ακτίνα πτερυγίου και πάντως όχι μικρότερη από 3 μέτρα.
 4. επαρχιακή οδό, ή οδό ανωτέρας κατηγορίας δρόμο ή κοινόχρηστο χώρο, τουλάχιστον ίση με το ύψος του πύργου της Α/Γ.
 5. Την πλησιέστερη μεμονωμένη οικοδομή, τουλάχιστον 3 φορές η διάμετρος των πτερυγίων.

Β. Εκτός ορίου οικισμού:

(εντός ζώνης οικιστικού ελέγχου)

- Θα πρέπει η ελάχιστη απόσταση του πλησιέστερου κινητού σημείου της Α/Γ να είναι από:
 1. τα όρια του γειτονικού οικοπέδου, ίση με το μήκος της ακτίνας των πτερυγίων,
 2. το έδαφος τουλάχιστον 5 m,
 3. το κτίσμα εντός της ιδιοκτησίας, μιας ακτίνας πτερυγίων και όχι μικρότερη από 3 m,
 4. επαρχιακή οδό, ή ανωτέρας κατηγορίας δρόμο ή κοινόχρηστο χώρο, τουλάχιστον ίση με το ύψος του πύργου της Α/Γ,
 5. την πλησιέστερη μεμονωμένη οικοδομή, τουλάχιστον 3 φορές η διάμετρος των πτερυγίων.

Γ. Εκτός ζώνης οικιστικού ελέγχου (γεωργική γη):

- Θα πρέπει η ελάχιστη απόσταση του πλησιέστερου κινητού σημείου της Α/Γ να είναι από:
 1. τα όρια γειτονικού οικοπέδου τουλάχιστον ίση με το 1/2 της ακτίνας των πτερυγίων,
 2. το έδαφος τουλάχιστον 5 m,
 3. κτίσμα εντός της ιδιοκτησίας, μία ακτίνα πτερυγίων και πάντως όχι μικρότερη από 3 m,
 4. επαρχιακή οδό ή οδό ανωτέρας κατηγορίας δρόμο ή κοινόχρηστο χώρο, τουλάχιστον ίση με το ύψος του πύργου της Α/Γ.
 5. Την πλησιέστερη μεμονωμένη οικοδομή, τουλάχιστον 3 φορές η διάμετρος των πτερυγίων.

Δ. Σε βιομηχανικές περιοχές και βιομηχανικά πάρκα:

- Θα πρέπει η ελάχιστη απόσταση του πλησιέστερου κινητού σημείου της Α/Γ να είναι από:
 1. τα όρια γειτονικού οικοπέδου, τουλάχιστον ίση με το μήκος μιας ακτίνας πτερυγίων,
 2. το έδαφος, τουλάχιστον 8 m,
 3. κτίσμα εντός της ιδιοκτησίας, τουλάχιστον 5 m.

Άδεια Εγκατάστασης

Αδειοδοτούσα αρχή: ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ Α'

Α' φάση προκαταρκτικής εξέτασης του αιτήματος για έκδοση άδειας εγκατάστασης

1. Συμπληρωμένο έντυπο αίτησης του ενδιαφερόμενου, όπως στο συνημμένο παράρτημα της Απόφασης του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας με αριθ. πρωτ. 8295/95 (ΦΕΚ385/Β/10.5.95).
2. Δικαιολογητικά του άρθρου 8 της Κοινής Απόφασης Υπουργών με αριθ. πρωτ. ΥΠΕΧΩΔΕ/69269/ 5387/90 (ΦΕΚ 678/Β/25.10.90) για την προέγκριση χωροθέτησης σε περιπτώσεις σταθμών με ισχύ >2 MW και συγκεκριμένα:
 - 2.1. Τοπογραφικό διάγραμμα (απόσπασμα χάρτου Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού) της ευρύτερης περιοχής, κλίμακας 1:50.000 έως 1:20.000 με ιδιαίτερη επισήμανση του χώρου του γηπέδου.
 - 2.2. Τοπογραφικό διάγραμμα του γηπέδου, κλίμακας 1:1000 έως 1:200
 - 2.3. Σειρά φωτογραφιών με επισήμανση του γηπέδου εγκατάστασης
 - 2.4. Συμπληρωμένο ερωτηματολόγιο, σύμφωνα με τον Πίνακα 3 της κοινής Απόφασης Υπουργών με αριθ. πρωτ. ΥΠΕΧΩΔΕ/69269/5387/90

Σε περίπτωση που απαιτείται έκδοση προέγκρισης χωροθέτησης (ισχύς >2 MW) τα ανωτέρω υποβάλλονται εις πενταπλούν. Σε περίπτωση απαλλαγής από έκδοση προέγκρισης χωροθέτησης (ισχύς ≤ 2 MW), σύμφωνα με την κοινή Απόφαση Υπουργών Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων με αριθ. πρωτ. ΥΠΕΧΩΔΕ/30557/13.2.96 (ΦΕΚ 136/Β/6.3.96) τα ανωτέρω δικαιολογητικά υποβάλλονται εις διπλούν.

- 2.5. Τεχνική έκθεση, η οποία υποβάλλεται εις διπλούν και περιλαμβάνει:
 - Απαραίτητη περιγραφή των τεχνικών χαρακτηριστικών του σταθμού (ισχύ σε kW ή MW, τάση)
 - Τη σκοπούμενη χρήση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας (αυτοπαραγωγή ή ανεξάρτητη παραγωγή)
 - Δήλωση πρόθεσης σύνδεσης, ή μη, του σταθμού με τα δίκτυα της ΔΕΗ.

Β' φάση έκδοσης της άδειας εγκατάστασης

1. Για αιολικά συστήματα ηλεκτροπαραγωγής που απαλλάσσονται από προέγκριση χωροθέτησης (≤ 2 MW), σύμφωνα με την κοινή Απόφαση Υπουργών με αριθ. πρωτ. ΥΠΕΧΩΔΕ/30557/13.2.96 απαιτούνται επιπλέον τα εξής δικαιολογητικά, τα οποία ασφαλώς απαιτούνται και στις περιπτώσεις έκδοσης προέγκρισης χωροθέτησης, αλλά αποτελούν δικαιολογητικά για την έκδοσή της:
 - 1.1. Έγκριση της Υπηρεσίας Δασών της αρμόδιας Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης, εφόσον ο χώρος εγκατάστασης εντάσσεται σε δασική έκταση και σε περίπτωση μη δασικής έκτασης, σχετική βεβαίωση της ίδιας ως ανωτέρω Υπηρεσίας.
 - 1.2. Σύμφωνη γνώμη από τις αρμόδιες τοπικές Εφορείες Προϊστορικών - Κλασσικών και Βυζαντινών - Μεταβυζαντινών Αρχαιοτήτων.
 - 1.3. Αποστάσεις από αεροδρόμια:
 - 1.3.1. Σύμφωνη γνώμη της αρμόδιας κατά περίπτωση Υπηρεσίας (Υπηρεσία Πολιτικής Αεροπορίας ή Γενικό Επιτελείο Αεροπορίας), εφόσον η απόσταση της πλησιέστερης προς γειτονικό αεροδρόμιο ανεμογεννήτριας είναι ≤ 5 km.
 - 1.3.2. Για αποστάσεις > 5 km από γειτονικά αεροδρόμια απαιτείται βεβαίωση από την αρμόδια Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης ότι η απόσταση αυτή είναι > 5 km.
 - 1.4. Αποστάσεις από κεραιές ραδιοηλεκτρικού σταθμού ή από αναμεταδότες:
 - 1.4.1. Εγγραφή συναίνεση του αρμόδιου τοπικού φορέα ΟΤΕ ή ΕΡΤ ότι μπορεί να εγκατασταθούν ανεμογεννήτριες στη συγκεκριμένη θέση, μόνον εφόσον ή ελάχιστη απόσταση μεταξύ κεραιάς ραδιοηλεκτρικού σταθμού ή αναμεταδότη από τον άξονα του πύργου της πλησιέστερης ανεμογεννήτριας είναι ≤ 1 km.
 - 1.4.2. Για αποστάσεις > 1 km απαιτείται βεβαίωση από την αρμόδια Διεύθυνση Τεχνικών Υπηρεσιών της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης, ότι η απόσταση αυτή είναι > 1 km.

1.5. Βεβαίωση από την αρμόδια Πολεοδομική Υπηρεσία για την οικιστική ζώνη στην οποία εντάσσεται ο χώρος εγκατάστασης, με συνημμένο τοπογραφικό διάγραμμα του χώρου εγκατάστασης στο οποίο φαίνονται οι θέσεις των ανεμογεννητριών, θεωρημένο από την Πολεοδομική Υπηρεσία.

2. Τεχνικοοικονομική μελέτη του υπό εγκατάσταση σταθμού, εις διπλούν, η οποία θα πρέπει να περιλαμβάνει οπωσδήποτε:
- Τεχνική περιγραφή του έργου.
 - Ενεργειακή ανάλυση
 - Κόστος παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας
 - Προβλεπόμενο κόστος εγκατάστασης

Ειδικά σε περίπτωση σύνδεσης του σταθμού με τα δίκτυα της ΔΕΗ, η ανωτέρω τεχνικοοικονομική μελέτη πρέπει να περιλαμβάνει επιπρόσθετα τα ακόλουθα:

- Λεπτομερή τεχνικά χαρακτηριστικά των γεννητριών (σύγχρονες, ασύγχρονες γεννήτριες, ονομαστική τάση, συχνότητα, συντελεστής ισχύος και μεταβατική αντίδραση για σύγχρονες γεννήτριες).
- Μονογραμμικό ηλεκτρολογικό σχέδιο σύνδεσης του σταθμού με το δίκτυο, όπου θα αποτυπώνονται οι ενδεχόμενες εγκαταστάσεις κατανάλωσης, με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά και οι διατάξεις ηλεκτρικής τους προστασίας.

3. Νόμιμο αποδεικτικό στοιχείο αποκλειστικής χρήσης του γηπέδου, ή του χώρου εγκατάστασης του σταθμού, δυνάμει εμπραγμάτου δικαιώματος ή ενοχικής σχέσης.

4. Απόφαση έγκρισης περιβαλλοντικών όρων, σύμφωνα με την κοινή Απόφαση Υπουργών με αριθ. πρωτ. ΥΠΕΧΩΔΕ/69269/5387/90, με συνημμένο θεωρημένο τοπογραφικό διάγραμμα του χώρου εγκατάστασης του σταθμού από την εκδούσα αρχή.

Για αιολικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ισχύος < 30 MW, αρμόδια Υπηρεσία υποβολής των απαιτούμενων δικαιολογητικών για την έκδοση της ανωτέρω Απόφασης έγκρισης περιβαλλοντικών όρων είναι η αρμόδια Υπηρεσία της Νομαρχιακής Αυτοδιοίκησης, σύμφωνα με την κοινή Απόφαση Υπουργών με αριθ. πρωτ. ΥΠΕΧΩΔΕ/95209/16.11.94 (ΦΕΚ 871/Β/23.11.94), η οποία και εκδίδει την εν λόγω Απόφαση.

Για αιολικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ισχύος \geq 30 MW, αρμόδια Υπηρεσία υποβολής των απαιτούμενων δικαιολογητικών για την έκδοση της ανωτέρω Απόφασης έγκρισης περιβαλλοντικών όρων είναι το Τμήμα Βιομηχανιών της Διεύθυνσης Ελέγχου Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης και Θορύβου του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων και εκδίδεται σχετική Απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων.

5. Ειδικά σε περίπτωση σταθμού αυτοπαραγωγής απαιτούνται επιπρόσθετα αποδεικτικά στοιχεία νομιμότητας των εγκαταστάσεων και μηχανημάτων κατανάλωσης, που θα συνδέονται με τον σταθμό ηλεκτροπαραγωγής.

6. Υπεύθυνη δήλωση ανάθεσης της μελέτης εγκατάστασης από τον ιδιοκτήτη του σταθμού.

7. Υπεύθυνη δήλωση ανάληψης της μελέτης εγκατάστασης από τον μελετητή.

8. Τοπογραφικό διάγραμμα σε κλίμακα 1:5.000 που θα παρουσιάζει:

- το γήπεδο μαζί με τα περιγράμματα των κτιριακών και λοιπών εγκαταστάσεων
- τις μεταξύ τους αποστάσεις και
- την χρήση γης σε ακτίνα 200 m από τα όρια του γηπέδου

9. Σχεδιάγραμμα που θα παρουσιάζει μια κατακόρυφη τομή του κάθε τύπου ανεμογεννήτριας που πρόκειται να εγκαταστασθεί, σε κλίμακα 1:200 στην οποία να φαίνονται επακριβώς οι διαστάσεις των υποκειμένων και υπερκειμένων του εδάφους κινητών και ακινήτων μερών της όλης εγκατάστασης.

10. Πιστοποιητικό έγκρισης του συγκεκριμένου τύπου ανεμογεννήτριας. Το πιστοποιητικό αυτό παρέχεται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας

11. Παράβολα και αποδείξεις:

11.1. 1‰ επί του προϋπολογισμού-υπέρ ΤΣΜΕΔΕ και 0,5‰ υπέρ ΕΜΠ (Ν.2346/40). Το ανώτατο όριο των παραπάνω ποσών είναι 1.000 δρχ. και 500 δρχ. αντίστοιχα, σύμφωνα με τις διατάξεις του Ν. 1889/1951.

11.2. 2% επί της αμοιβής του μηχανικού υπέρ ΤΣΜΕΔΕ και 1% επί της αμοιβής υπέρ ΕΜΠ (Ν. 915/1979)

11.3. Απόδειξη από την Εθνική Τράπεζα ότι κατατέθηκε το ποσό της αμοιβής στο όνομα του μηχανικού.

11.4. Απόδειξη του Δημοσίου Ταμείου από το οποίο φορολογείται ο μηχανικός ότι κατατέθηκε το 10% της αμοιβής του ως προκαταβολή φόρου.

11.5. Τα παράβολα των περιπτώσεων που αναφέρονται στις §11.2., §11.3. και §11.4. δεν απαιτούνται όταν ο μελετητής είναι υπάλληλος του ενδιαφερομένου (σχέση εξαρτημένης εργασίας). Στην περίπτωση αυτή υποβάλλεται νόμιμο αποδεικτικό στοιχείο της εξαρτημένης σχέσης εργασίας.

11.6. Παράβολο 9.500 δρχ συνολικά υπέρ του Δημοσίου (λογαριασμός αριθ. 1459) για την ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση στο όνομα του ιδιοκτήτη του σταθμού από την ΔΟΥ στην οποία ανήκει (ΝΔ 1150/1949, άρθρο 2, Ν.1889/1951 άρθρο μόνο, ΚΥΑ 13959/22.2.92).

εδάφιο δεύτερο του άρθρου 1 της Απόφασης του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας με αριθ. πρωτ. 8295/95.

Άδεια Λειτουργίας

Αδειοδοτούσα αρχή: ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ Α'

1. Συμπληρωμένο έντυπο αίτησης του ενδιαφερόμενου, όπως στο συνημμένο παράρτημα της Απόφασης του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας με αριθ. πρωτ. 8295/95 (ΦΕΚ385/Β/10.5.95).
2. Νόμιμα θεωρημένο αντίγραφο οικοδομικής άδειας εάν αυτή απαιτείται, από την αρχή (Πολεοδομική Υπηρεσία) που την εξέδωσε. Εφόσον δεν προσκομίζεται το ανωτέρω δικαιολογητικό, απαιτείται νόμιμο αποδεικτικό στοιχείο εξαίρεσης από την υποχρέωση χορήγησης της άδειας από τις αρμόδιες πολεοδομικές υπηρεσίες.
3. Σε περιπτώσεις αιολικών σταθμών ανεξάρτητων παραγωγών και αυτοπαραγωγών συνδεδεμένων με το δίκτυο της ΔΕΗ, επικυρωμένο αντίγραφο της Σύμβασης μεταξύ ΔΕΗ και Παραγωγού, που ορίζεται στο άρθρο 2 της Απόφασης του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας με αριθ. πρωτ. 8295/95, όπως αυτή τροποποιήθηκε με την §1 της Απόφασης της Υπουργού Ανάπτυξης 51298/96 (ΦΕΚ 766/Β/28.8.96)
4. Βεβαίωση της αρμόδιας Υπηρεσίας της ΔΕΗ ότι έχουν ολοκληρωθεί οι κατασκευές του δικτύου σύνδεσης του αιολικού σταθμού του Παραγωγού με το δίκτυο της ΔΕΗ και των λοιπών αναγκαίων εγκαταστάσεων του Παραγωγού για πραγματοποίηση της παραπάνω σύνδεσης, με τήρηση των προδιαγραφών της ΔΕΗ.
5. Κοινή υπεύθυνη δήλωση του αιτούντος και του επιβλέψαντος την εγκατάσταση μηχανικού ότι όλα τα έργα έγιναν σύμφωνα:
 - με την άδεια εγκατάστασης,
 - τους ισχύοντες κανονισμούς και διατάξεις και
 - τους κανόνες της τέχνης και της επιστήμης.
6. Πιστοποιητικό της Πυροσβεστικής Υπηρεσίας ότι έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα πυρασφάλειας, σύμφωνα με τις υποδείξεις της.
7. Βεβαίωση από την αρμόδια Υπηρεσία του Υπουργείου Περιβάλλοντος, Χωροταξίας και Δημοσίων Έργων ότι, έχουν τηρηθεί οι περιβαλλοντικοί όροι που έχουν εγκριθεί κατά την φάση χορήγησης της άδειας εγκατάστασης.
8. Υπεύθυνη δήλωση του ιδιοκτήτη του έργου στην οποία να αναφέρεται ότι, ανέθεσε την επίβλεψη της λειτουργίας του σταθμού σε κατά Νόμο αρμόδιο μηχανικό.
9. Υπεύθυνη δήλωση του μηχανικού επίβλεψης της λειτουργίας του σταθμού ότι
 - αποδέχεται την ανάθεση και ότι
 - θα τηρούνται κατά την λειτουργία του σταθμού οι όροι και οι κανονισμοί
 - για την προστασία του περιβάλλοντος και
 - για την ασφάλεια και την υγεία των απασχολουμένων στο σταθμό.

Γενική Παρατήρηση

Για όλα τα ανωτέρω δικαιολογητικά, αρμόδια Υπηρεσία υποβολής των σχετικών αιτημάτων για έκδοση των οποίων εμπλέκονται Δημόσιες Υπηρεσίες είναι το Τμήμα Α' της Διεύθυνσης Ανανεώσιμων Πηγών και Εξοικονόμησης Ενέργειας της Γενικής Διεύθυνσης Ενέργειας του Υπουργείου Ανάπτυξης, εκτός των κάτωθι περιπτώσεων:

- που αναφέρονται ρητά διαφορετικά στο παρόν κείμενο,
- της §1 της Β' φάσης άδειας εγκατάστασης,
- των παραβόλων - αποδείξεων, καθώς και
- των απαιτούμενων δικαιολογητικών της άδειας λειτουργίας

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ Α'

ΧΑΡΤΟΣΗΜΑ – ΜΗΧΑΝΟΣΗΜΑ που απαιτούνται για επικόλληση στα δικαιολογητικά έκδοσης αδειών εγκατάστασης/επέκτασης και λειτουργίας σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και ΕΓΚΡΙΣΗΣ (Σφραγίδα - Υπογραφή) ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ που απαιτούνται:

- A. Στην Α' φάση προκαταρκτικής εξέτασης του αιτήματος, σύμφωνα με την Απόφαση Υπουργού ΒΕΤ με αριθ. πρωτ. 8295/95.
- Αίτηση του ενδιαφερομένου (εις απλούν)
Δεν απαιτείται χαρτοσήμανση – μηχανοσήμανση
 - Τοπογραφικό διάγραμμα της ευρύτερης περιοχής της Γ.Υ.Σ. (εις πενταπλούν)
Απαιτείται επικόλληση χαρτοσήμου των 150 δρχ και μηχανοσήμου 10 δρχ καθώς και σφραγίδα – υπογραφή μηχανικού.
 - Τοπογραφικό διάγραμμα του γηπέδου εγκατάστασης (εις πενταπλούν)
Απαιτείται επικόλληση χαρτοσήμου των 150 δρχ και μηχανοσήμου 10 δρχ καθώς και σφραγίδα – υπογραφή μηχανικού.
 - Σειρά φωτογραφιών (εις πενταπλούν)
Απαιτείται επικόλληση χαρτοσήμου των 150 δρχ και μηχανοσήμου 10 δρχ καθώς και σφραγίδα – υπογραφή μηχανικού.
 - Ερωτηματολόγιο πίνακα 3 της ΚΥΑ με αριθ. πρωτ. ΥΠΕΧΩΔΕ/69269/90 (εις πενταπλούν)
Απαιτείται επικόλληση χαρτοσήμου των 150 δρχ ανά δύο σελίδες. Στην τελευταία σελίδα απαιτείται επικόλληση χαρτοσήμου των 150 δρχ και μηχανοσήμου 10 δρχ καθώς και σφραγίδα – υπογραφή μηχανικού.
 - Τεχνική έκθεση (εις διπλούν)
Απαιτείται επικόλληση χαρτοσήμου των 150 δρχ ανά δύο σελίδες. Στην τελευταία σελίδα απαιτείται επικόλληση χαρτοσήμου των 150 δρχ και μηχανοσήμου 10 δρχ καθώς και σφραγίδα – υπογραφή μηχανικού.
- B. Στην Β' φάση έκδοσης άδειας εγκατάστασης, σύμφωνα με την Απόφαση Υπουργού ΒΕΤ με αριθ. πρωτ. 8295/95.
- Τεχνικοοικονομική μελέτη (εις διπλούν)
Απαιτείται επικόλληση χαρτοσήμου των 150 δρχ ανά δύο σελίδες. Στην τελευταία σελίδα απαιτείται επικόλληση χαρτοσήμου των 150 δρχ και μηχανοσήμου 10 δρχ καθώς και σφραγίδα – υπογραφή μηχανικού. Σελίδες με πληροφορίες σε ξένη γλώσσα δεν χαρτοσημαίνονται – μηχανοσημαίνονται και δεν απαιτούνται υπογραφές μηχανικού.
 - Μηχανολογικό σχεδιάγραμμα (εις διπλούν)
Απαιτείται επικόλληση χαρτοσήμου των 150 δρχ και μηχανοσήμου 10 δρχ καθώς και σφραγίδα – υπογραφή μηχανικού σε κάθε όψη ή τομή.
- Γ. Στην Απόφαση χορήγησης άδειας εγκατάστασης/επέκτασης ή λειτουργίας.
Απαιτείται παράβολο χαρτοσήμου 1.000 δραχμών για τις δύο πρώτες σελίδες και 80 δρχ. ανά κάθε επόμενη σελίδα (περίπου 7 σελίδες).

ΠΙΝΑΚΑΣ

ΑΠΟΔΕΙΞΕΙΣ - ΠΑΡΑΒΟΛΑ άρθρου 1, παρ. ΙΑβ7 της Απόφασης του Υπουργού ΒΕΤ με αριθ. πρωτ. 8295/95.

Εδάφιο	Κρατήσεις	Υπέρ	Υπόχρεος	Νομική διάταξη	Παρατηρήσεις
α	1 % επί του προϋπολογισμού (Ανώτατο όριο 1.000 δρχ)	ΤΣΜΕΔΕ	Ιδιοκτήτης	Ν.2526/40, Ν.1889/51	Απαιτείται απόδειξη από την Εθνική Τράπεζα της Ελλάδος, όπi κατατέθηκε σε αυτήν το σχετικό ποσό
	0,5 % επί του προϋπολογισμού (Ανώτατο όριο 500 δρχ)	ΕΜΠ	Ιδιοκτήτης	Ν.2326/40, Ν.1889/51	
β	2% επί του αμοιβής μηχανικού	ΤΣΜΕΔΕ	Μηχανικός	Ν.915/79	
	1% επί αμοιβής μηχανικού	ΕΜΠ	Μηχανικός	Ν.915/79	
γ	Το ποσό της αμοιβής μηχανικού	Μηχανικού	Ιδιοκτήτης		
δ	10% επί της αμοιβής μηχανικού ως προκαταβολή φόρου	ΔΟΥ μηχανικού	Μηχανικός		
ε	Παράβολο 9.500 δρχ. συνολικά	ΔΟΥ ιδιοκτήτη	Ιδιοκτήτης	ΝΔ1150/49, Ν1889/50, ΚΥΑ 13959/22.2.52	

ΟΡΙΣΜΟΣ ΑΜΟΙΒΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

Ποσό (X) επί του προϋπολογισμού σε δραχμές*	Για άδεια εγκατάστασης	Για άδεια λειτουργίας
$X \leq 75.000$	2%	1,5%
$75.001 \leq X \leq 250.000$	1,2%	1%
$250.001 \leq X \leq 500.000$	1%	0,6%
$500.001 \leq X \leq 2.500.000$	0,4%	0,2%
$2.500.001 \leq X \leq 5.000.000$	0,3%	0,15%
$5.000.001 \leq X$	0,12%	0,06%

* Δεν συμπεριλαμβάνεται ο προϋπολογισμός κτιριακών έργων πολιτικού μηχανικού

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΠΡΩΤΟΦΑΣΗ

ΕΝΤΥΠΟ ΑΙΤΗΣΗΣ
για τη χορήγηση αδειών του Ν. 2244/1994 (ΦΕΚ Α 168)

Κ.Α.	A	B	Γ	Δ	Ε	Ζ

1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΑΔΕΙΑΣ ΣΤΑΘΜΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	
1.1 Άδεια εγκατάστασης	<input type="checkbox"/>
1.2 Άδεια επέκτασης	<input type="checkbox"/>
1.3 Άδεια λειτουργίας	<input type="checkbox"/>
1.4 Άδεια ανανέωσης λειτουργίας	<input type="checkbox"/>
1.5 Άδεια λειτουργίας του άρθρου 3, παρ. 7 του Ν. 2244/1994	<input type="checkbox"/>
1.6 Άδεια χρήσης νερού, σε περίπτωση υδροηλεκτρικού σταθμού (ΥΗΣ)	<input type="checkbox"/>
1.7 Άδεια ενιαία χρήσης νερού - εκτέλεσης έργων αξιοποίησης υδατικών πόρων σε περίπτωση ΥΗΣ	<input type="checkbox"/>
1.8 Άδεια ενσωμάτωσης της Νο (1.6) ή (1.7) στην Νο (1.1)	<input type="checkbox"/>

2. ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΥΠΟΒΟΛΗΣ ΤΗΣ ΑΙΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΗΣ ΤΗΣ ΑΔΕΙΑΣ	
2.1 Κεντρική Υπηρεσία Υπουργείου Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας Δ/ση	Τμήμα
2.2 Νομαρχία	Υπηρεσία

3. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΙΤΟΥΝΤΟΣ	
3.1 Για φυσικά πρόσωπα	
Επώνυμο:	
Όνομα:	
Όνομα πατρός ή συζύγου:	
Δ/ση Κατοικίας: Οδός:	Αριθ.:
Πόλη:	Ταχ. Κωδ.: Τηλ.:
Στοιχεία ταυτ.:	Ημερ. εκδ.:
Εκδούσα Αρχή:	

* Κωδικός αριθμός της αίτησης (Συμπληρώνεται από την Υπηρεσία έκδοσης της αδειας, σύμφωνα με τα οριζόμενα στο μέρος II του παρόντος ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ, πλην της περίπτωσης υδροηλεκτρικών σταθμών για τους οποίους ισχύει ο Κ.Α που ορίζεται στην ΚΥΑ με αριθ. Φ16/5813/17.5.1989 (ΦΕΚ Β383) και αναλύεται στην εγκύκλιο του Υπουργείου Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας με αριθ. πρωτ. Φ16.1/9087/3-8-1989.

6. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΑΘΜΩΝ

- 6.1 Αιολικός σταθμός
- 6.2 Ηλιακός σταθμός
- 6.3 Σταθμός βιομάζας
- 6.4 Γεωθερμικός σταθμός
- 6.5 Υδροηλεκτρικός σταθμός
- 6.6 Θαλάσσιος σταθμός (Σταθμός που λειτουργεί με την ενέργεια των κυμάτων)
- 6.7 Σταθμός συμπαραγωγής θερμότητας & ηλεκτρισμού αυτοπαραγωγού
 - περίπτωση (α) άρθρου 1, παράγρ. 7 Ν. 2244/1994
 - περίπτωση (β) άρθρου 1, παράγρ. 7 Ν. 2244/1994
 - περίπτωση (γ) άρθρου 1, παράγρ. 7 Ν. 2244/1994
- 6.8 Αυτόνομος θερμικός σταθμός αυτοπαραγωγού
 - περίπτωση (α) άρθρο 1, παραγρ. 5 Ν. 2244/1994
 - περίπτωση (β) άρθρο 1, παραγρ. 5 Ν. 2244/1994
 - περίπτωση (γ) άρθρο 1, παραγρ. 5 Ν. 2244/1994
- 6.9 Εφεδρικός σταθμός άρθρο 1, παράγρ. 11 Ν. 2244/1994
- 6.10 Σταθμός συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού ανεξάρτητου παραγωγού με καύση φυσικού αερίου (περίπτωση άρθρου 1 παράγρ. 10 Ν. 2244/1994)
- 6.11 Σταθμός αυτοπαραγωγού συνδυασμένης χρήσης και
- 6.12 Σταθμός ανεξάρτητου παραγωγού συνδυασμένης χρήσης και

7. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΙΣΧΥΟΣ (σε KW ή MW)

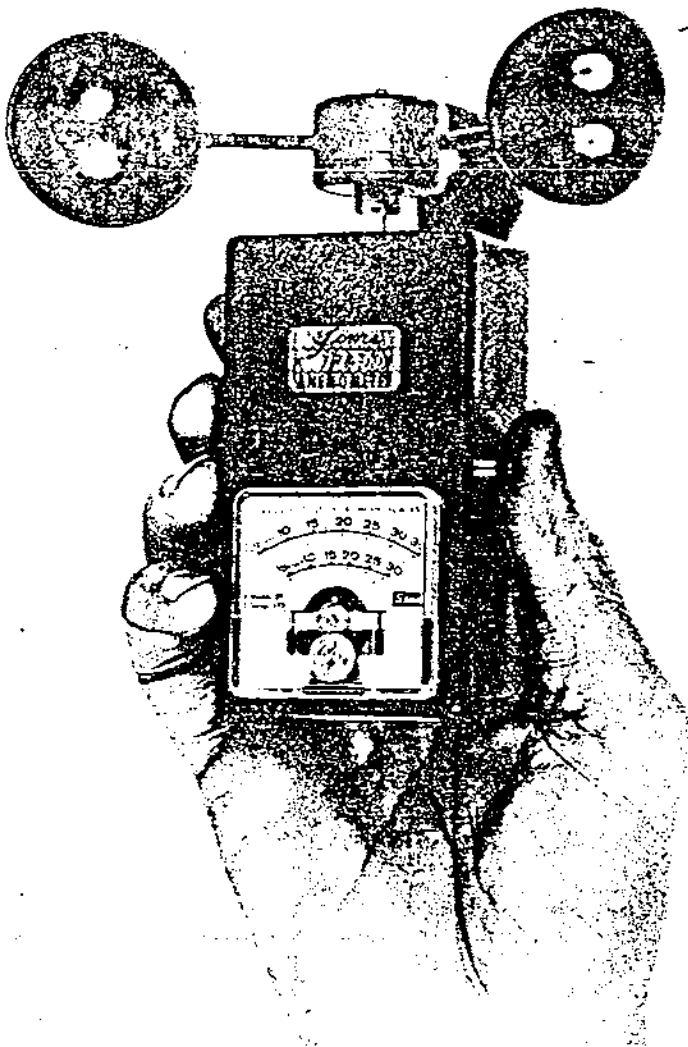
- 7.1 Ισχύς αιτούμενου σταθμού
- 7.2 Ισχύς εγκαταστάσεων και μηχανημάτων κατανάλωσης αυτοπαραγωγού
- 7.3 Ισχύς κυρίου σταθμού ή εγκαταστάσεων κατανάλωσης σε περίπτωση αιτήματος για εφεδρικό σταθμό
- 7.4 Σύνολο θερμικής και ψυκτικής ισχύος των εγκαταστάσεων αυτοπαραγωγού στην περίπτωση συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού του άρθρου 1, παράγρ. 7, περίπτωση (α) του Ν. 2244/1994
- 7.5 Σύνολο θερμικών φορτίων των επιχειρήσεων που εξυπηρετούνται στην περίπτωση συμπαραγωγής θερμότητας και ηλεκτρισμού με καύση φυσικού αερίου από ανεξάρτητο παραγωγό (άρθρο 1, παράγρ. 10 Ν. 2244/1994)

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

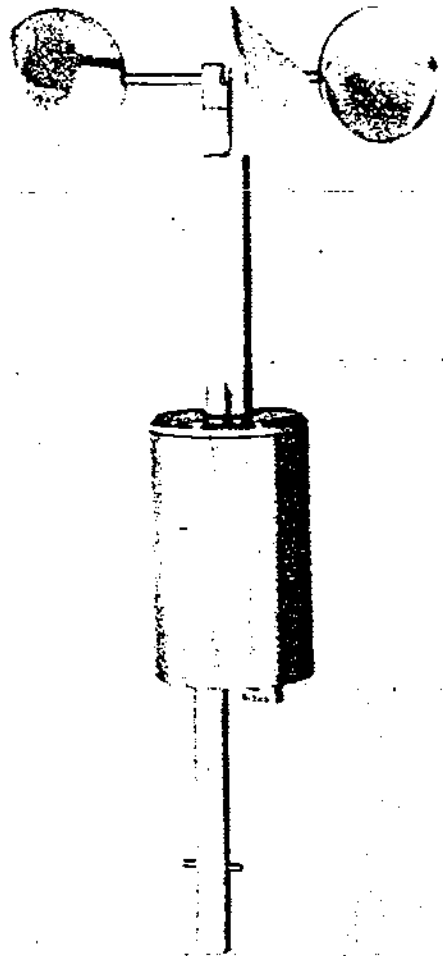
1. H. Lysen Introduction to Wind Energy
2. Flemming Øster Wind Energy Research and technological development in Denmark by the Danish Ministry of Energy
3. Γ. Μπεργελές Σημειώσεις Αιολικής Ενέργειας
4. Κ. Δ. Σκούρα Αιολική Ενέργεια-Αιολικοί Κινητήρες
5. D. Marier Wind Power for the Homeowner
6. Σεμινάριο Τ.Ε.Ε. Αιολική Ενέργεια - Εφαρμογές στον Ελληνικό χώρο, Αθήνα 17 - 22 Μαΐου 1993
7. Συνέδριο Ε.Μ.Π. Αιολική Ενέργεια & Βιομηχανική αεροδυναμική & Τεχνολογία Τεύχος 7/93
8. Δ.Ε.Η "Μετρήσεις για την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της Ελλάδας" Δ/ση Εναλλακτικών Μορφών Ενέργειας
9. Γ. Αγερίδη Ήπιες μορφές ενέργειας "Ανεμόνικος" Επιστήμη
10. D. F. Warne Wind Power Equipment
11. Σαλκιτζής Βιομηχανικός Έλεγχος Με P.L.C.
"Προγραμματιζόμενοι Λογικοί Ελεγκτές"
Τεχνική Έκλογή Τευχη 309 -315
12. Ι. Ν. Οικονομόπουλο "Το αναπτυξιακό πρόγραμμα της Δ.Ε.Η. και οι άμεσες προοπτικές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας" Τεχνικά τεύχος 93/94
13. Κ.Α.Π.Ε Ανεμογεννήτριες στην Ελλάδα
14. Υπουργείο ανάπτυξης Διαδικασία αδειοδότησης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται εικόνες και σχήματα από διάφορες κατασκευές ανεμογεννητριών, εξαρτήματά τους, όργανα μετρήσεων και το νομοθετικό πλαίσιο που περιβάλλει την εγκατάσταση και εκμετάλλευση Α/Γ.



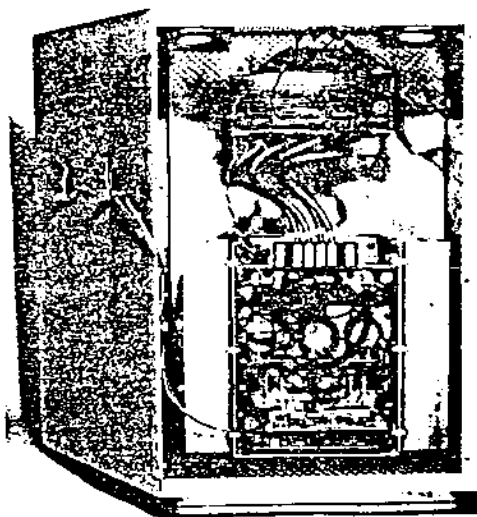
A: Handheld (cup) anemometer.
(R.A. Simerl Instrument Division)



B: Post-mounted (cup) anemometer.
(Climet Instruments Company)

Χειροκίνητο Ανεμόμετρο (A) και τύπου κολόνας (B)

ing
Generator/Alternator: 110 volt direct current generator
Testing procedures: Field tests on 50-foot (15.24-meter) tower
Warranty: Limited, replace defective parts for two years
Maintenance schedule: Semi-annual; inspect, lubricate system

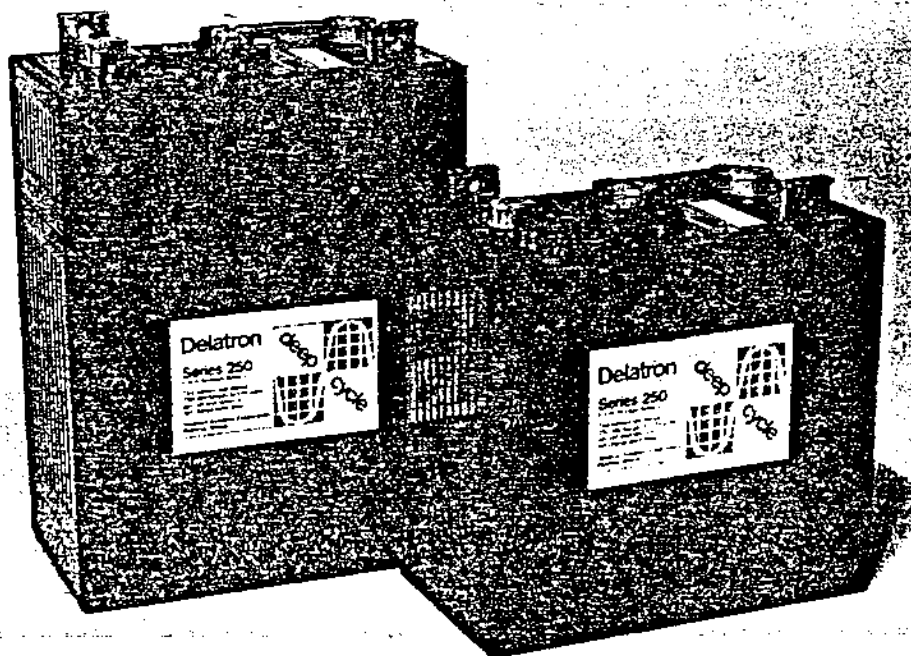


Delatron Systems Corporation

553 Lively Boulevard
Elk Grove Village, IL 60007

Delatron batteries designed for deep cycle applications such as wind power and hydroelectric systems.

Delatron 3 KVA, Type VC inverter with removable electronics chassis and plug-in circuit boards. This inverter has been specifically designed for use in wind power systems and small hydroelectric systems.



Inverter 3kVA και μπαταρίες της ίδιας εταιρίας

Soleq Corporation

5969 Elston Ave.
Chicago, IL 60646
(312) 792-3811

Windmill inverter sine wave regulated

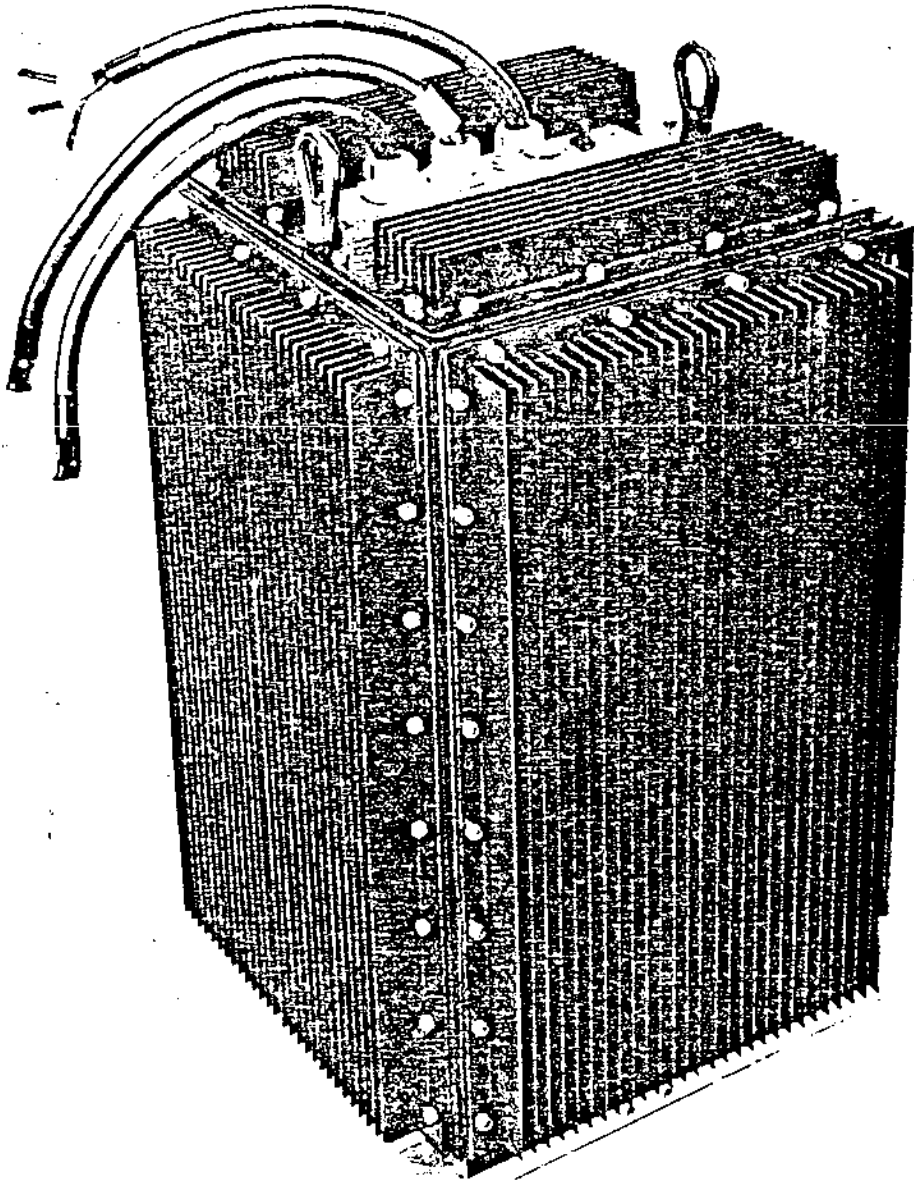
Output: Sine wave. Voltage regulated $\pm 3\%$;
Distortion approx. 5%.

Frequency: 60 HZ $\pm 0.01\%$ absolute accuracy.

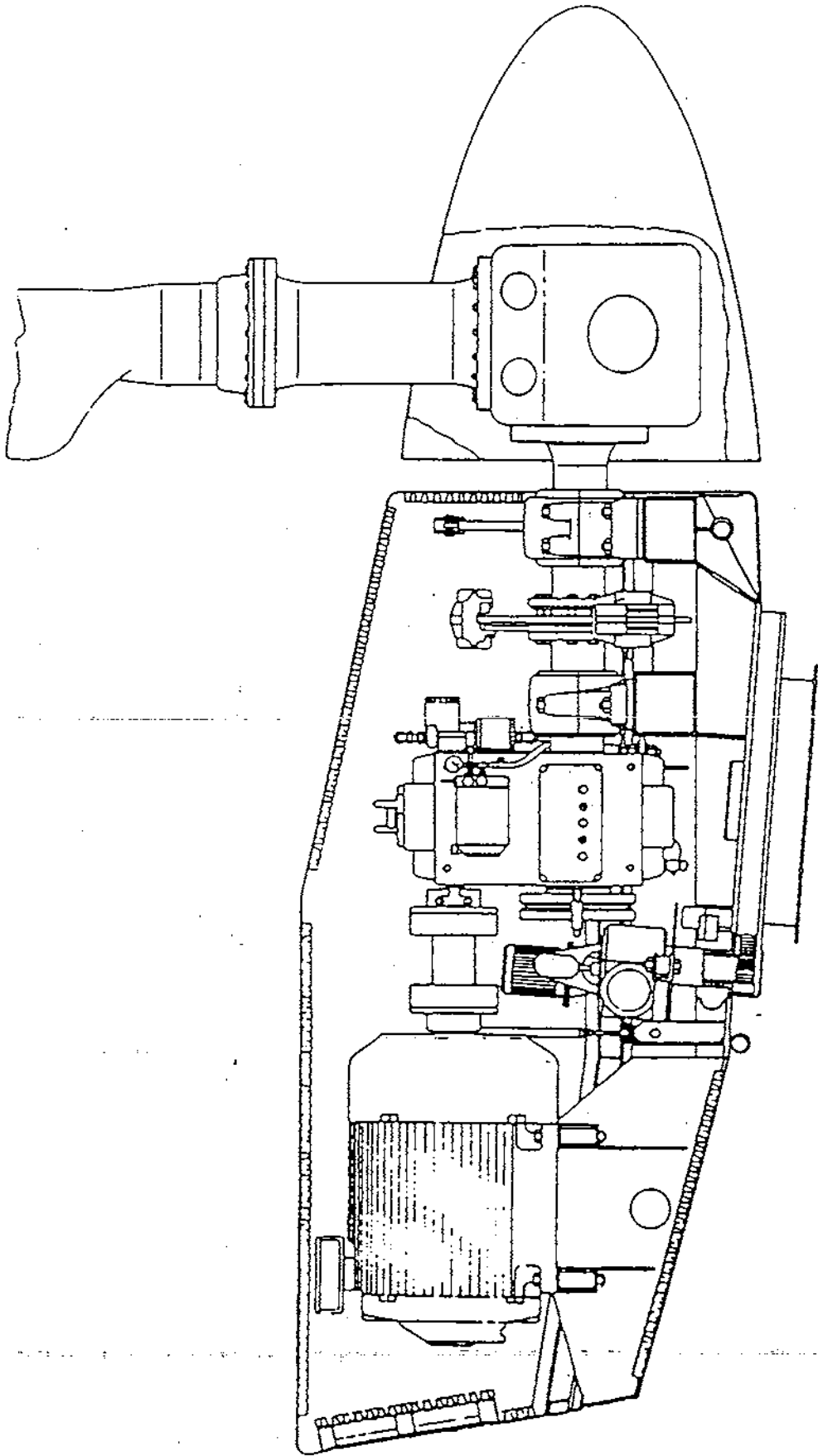
Overload: 100% inrush over rated capacity;
(max frequency, 2 min. intervals).

Output short circuit: Completely protected
against dead shorts in
start or operating mode.

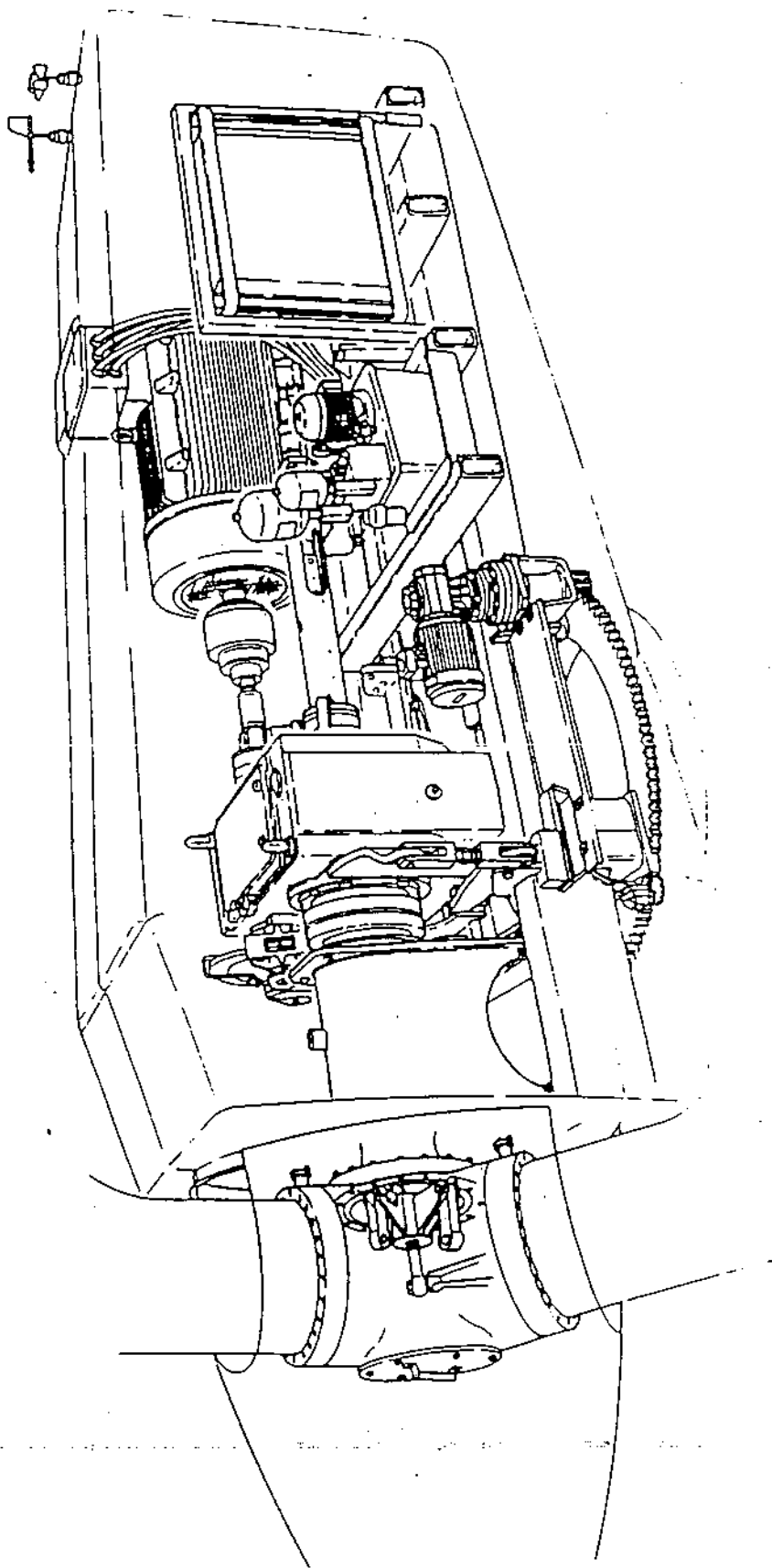
*Soleq windmill inverter is a transistorized unit
featuring sine wave regulated performance.*



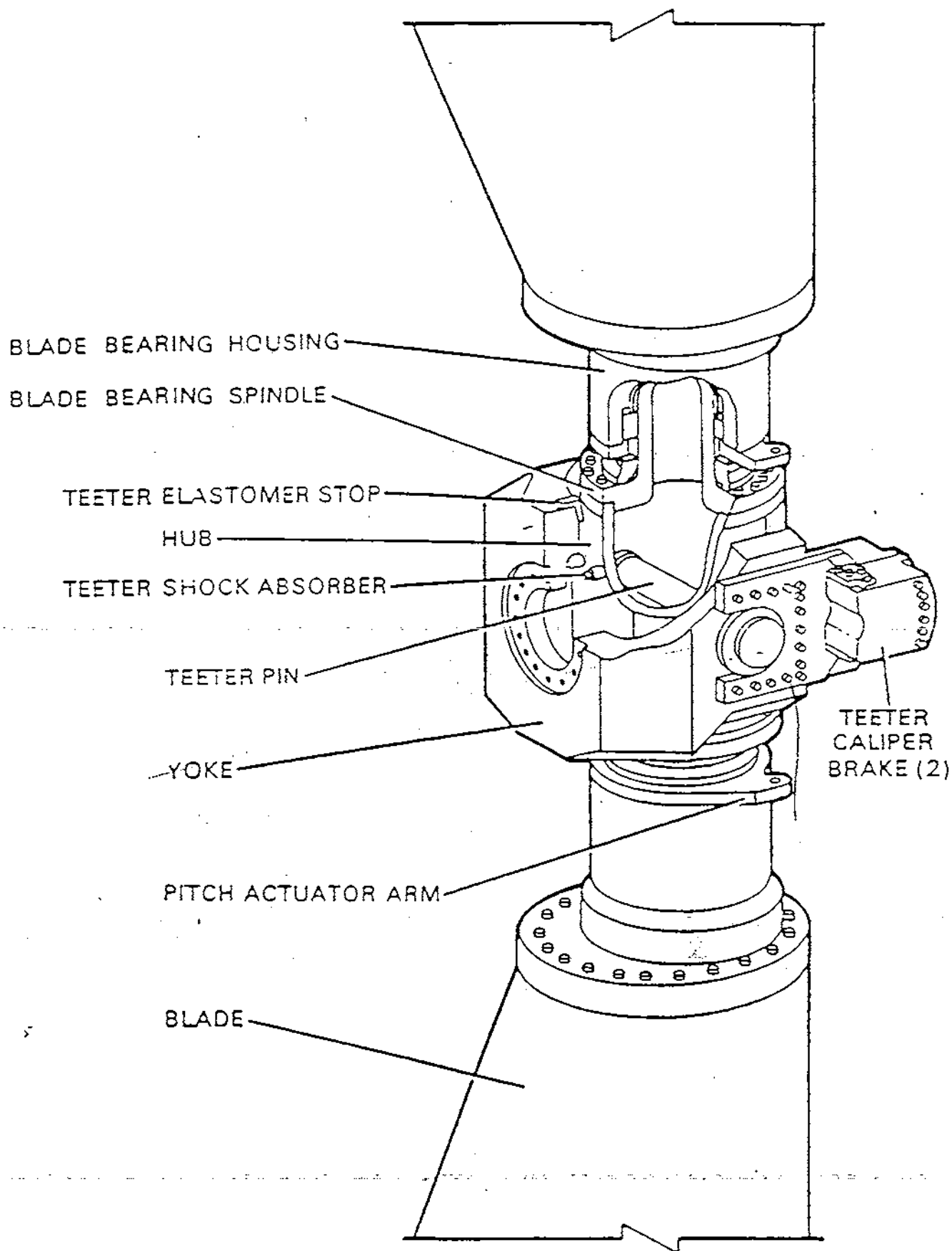
Transistorized inverter unit μικρής ισχύος



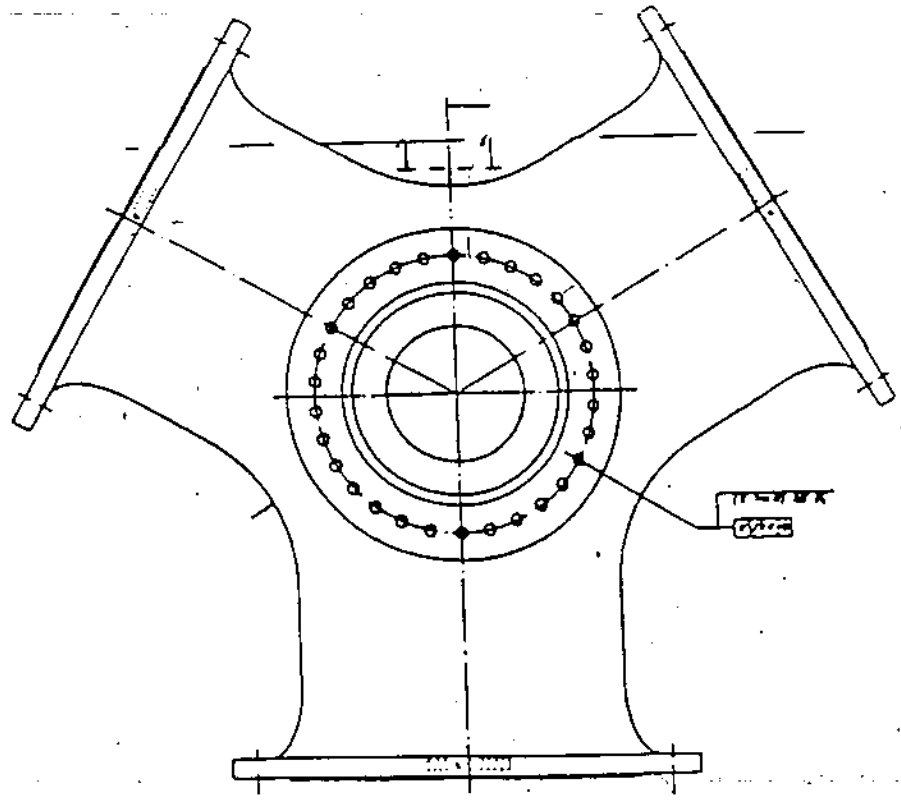
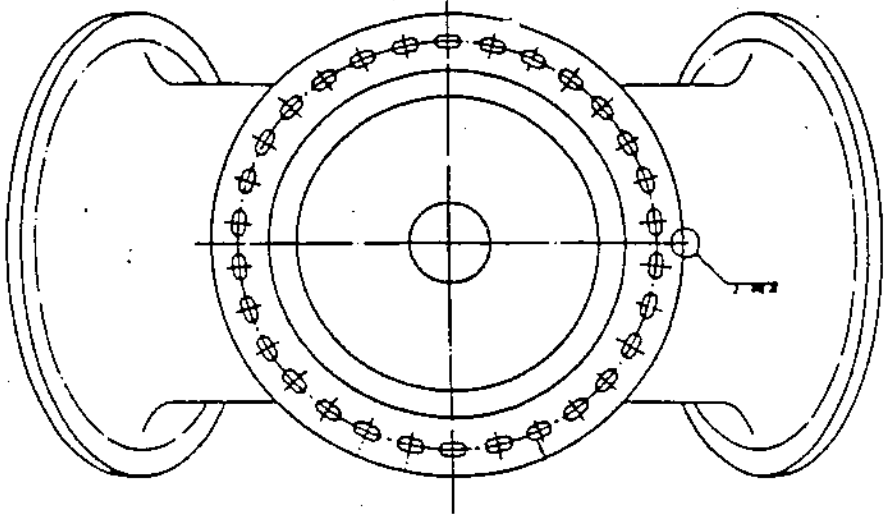
Ατράκτος Α/Γ τύπου STALL



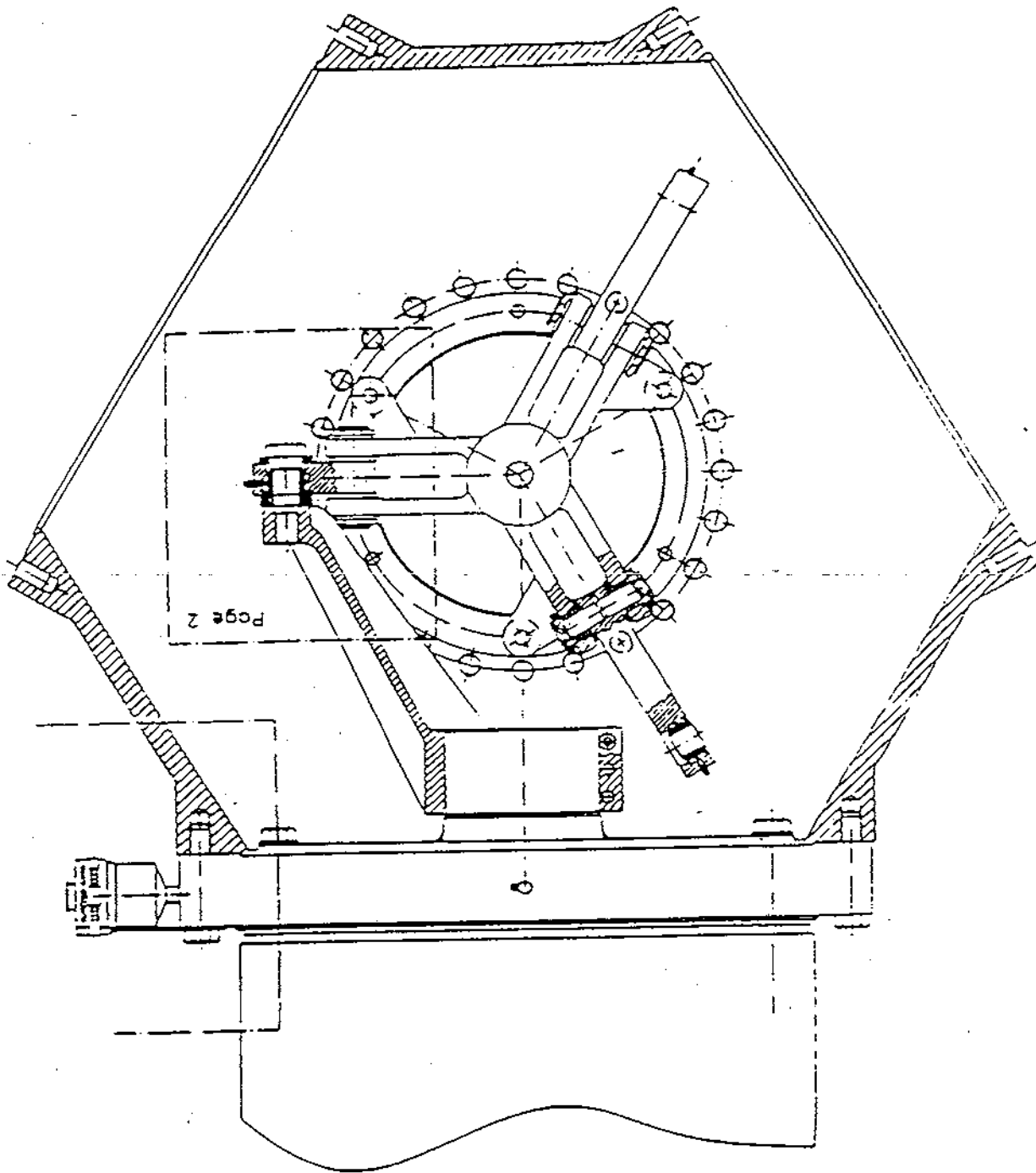
Άτρακτος Α/Γ τύπου PITCH



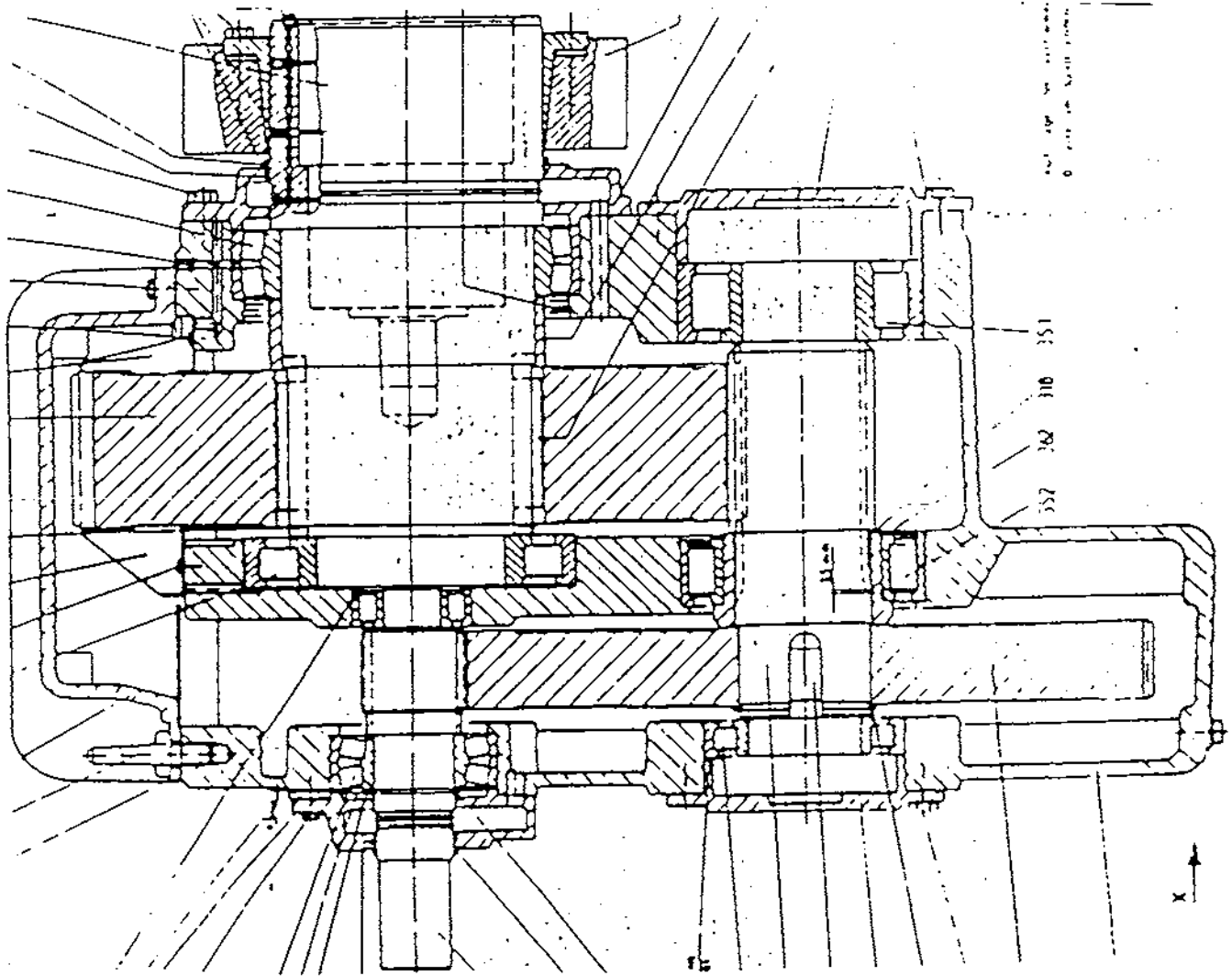
Αιωρούμενη πλήμνη δρομέα



Πλήμνη Α/Γ τύπου STALL



Πλήμνη Α/Γ τύπου PITCH

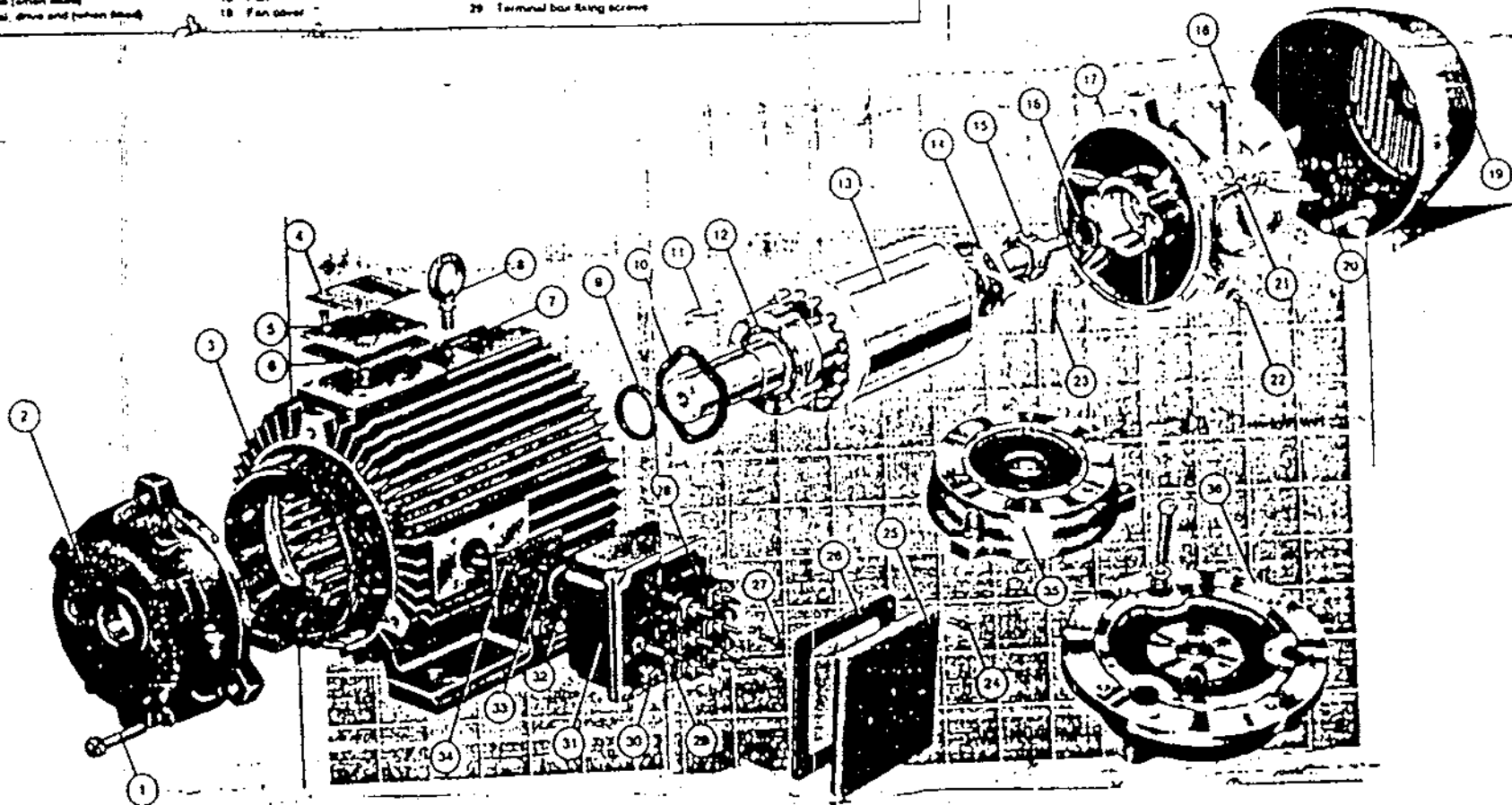


Κιβώτιο πολ/σμου στροφών παραλλήλων αξόνων

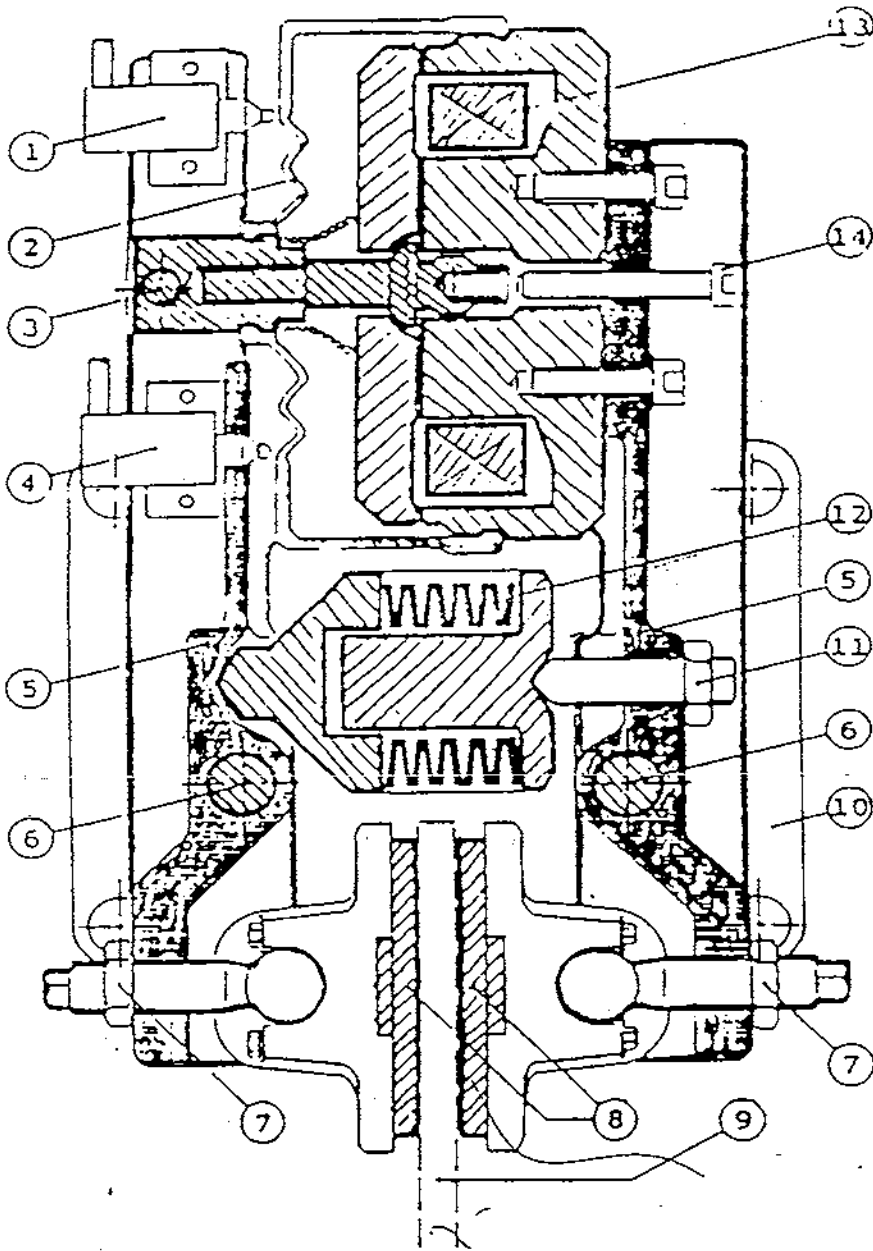
Ref Part Description

- | | | | |
|---|---|--|----------------------------|
| 1 Drive end endshields securing bolts | 10 Preload washer | 20 Non drive end endshields securing bolts | 30 Internal earth terminal |
| 2 Endshields drive end | 11 Shaft key | 21 Bearing cap screw | 31 Terminal box |
| 3 Spacer frame with or without fan | 12 Bearings drive end | 22 Fan cover fixing screws | 32 External earth terminal |
| 4 Nameplate | 13 Pulley and shaft | 23 Fan cooling pad | 33 Conducing lead bush |
| 5 Stacking plate | 14 Insula bearing cap, non-drive end | 24 Terminal box cover fixing screws | 34 Terminal box gasket |
| 6 Oil seal | 15 Bearing, non-drive end | 25 Terminal box cover | 35 C type gange |
| 7 Terminal box mounting face (top position) | 16 Oil seal, non-drive and (when fixed) | 26 Terminal box cover gasket | 36 O type gange |
| 8 S yobol (when fixed) | 17 Endshields, slln-drive end | 27 Terminal board fixing screws | |
| 9 Oil seal, drive end (when fixed) | 18 Fan | 28 Terminal board | |
| | 19 Fan cover | 29 Terminal bar fixing screws | |

Εταιρική ηλεκτρική γεννήτρια

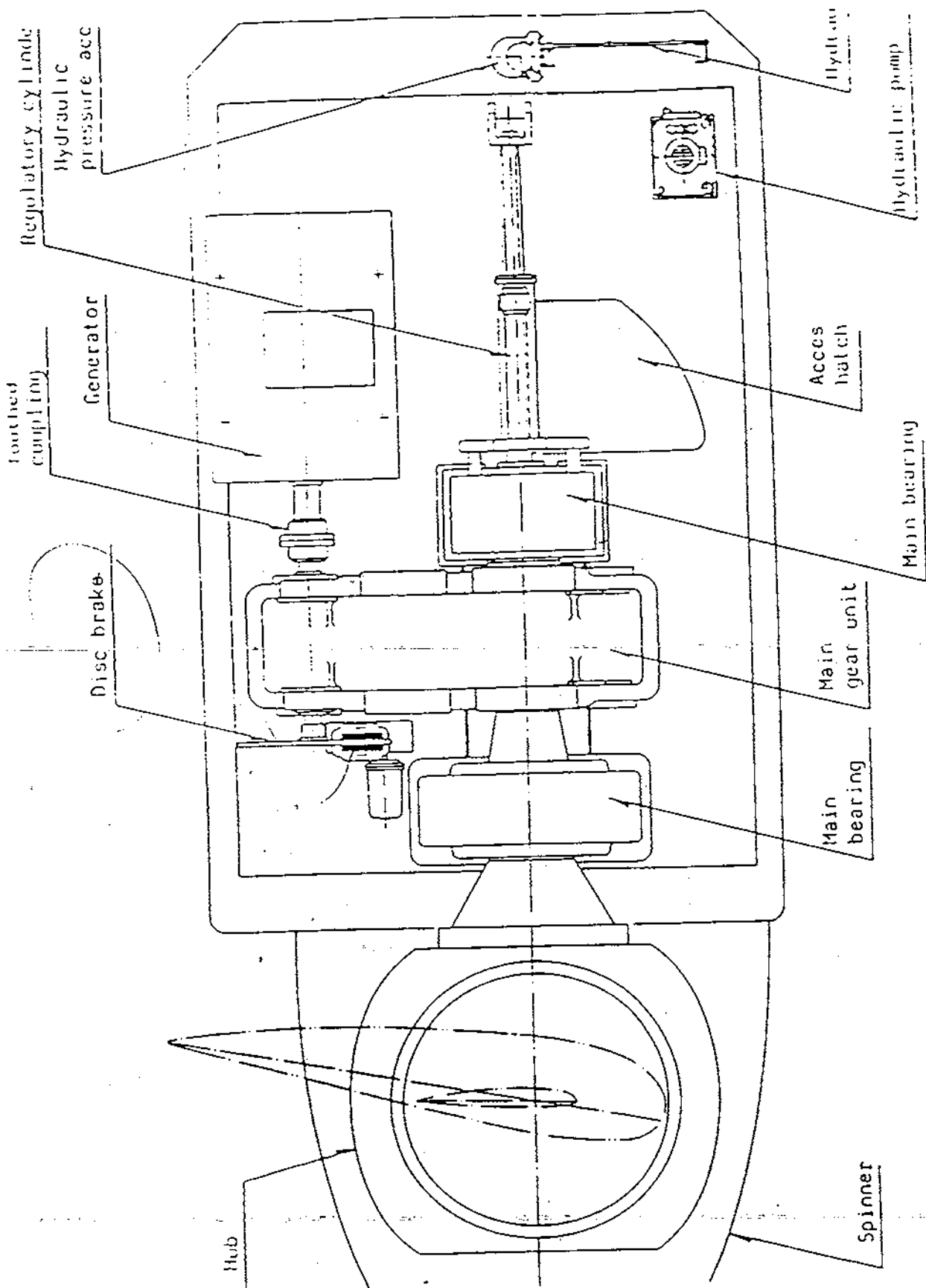


Cut view in brake caliper

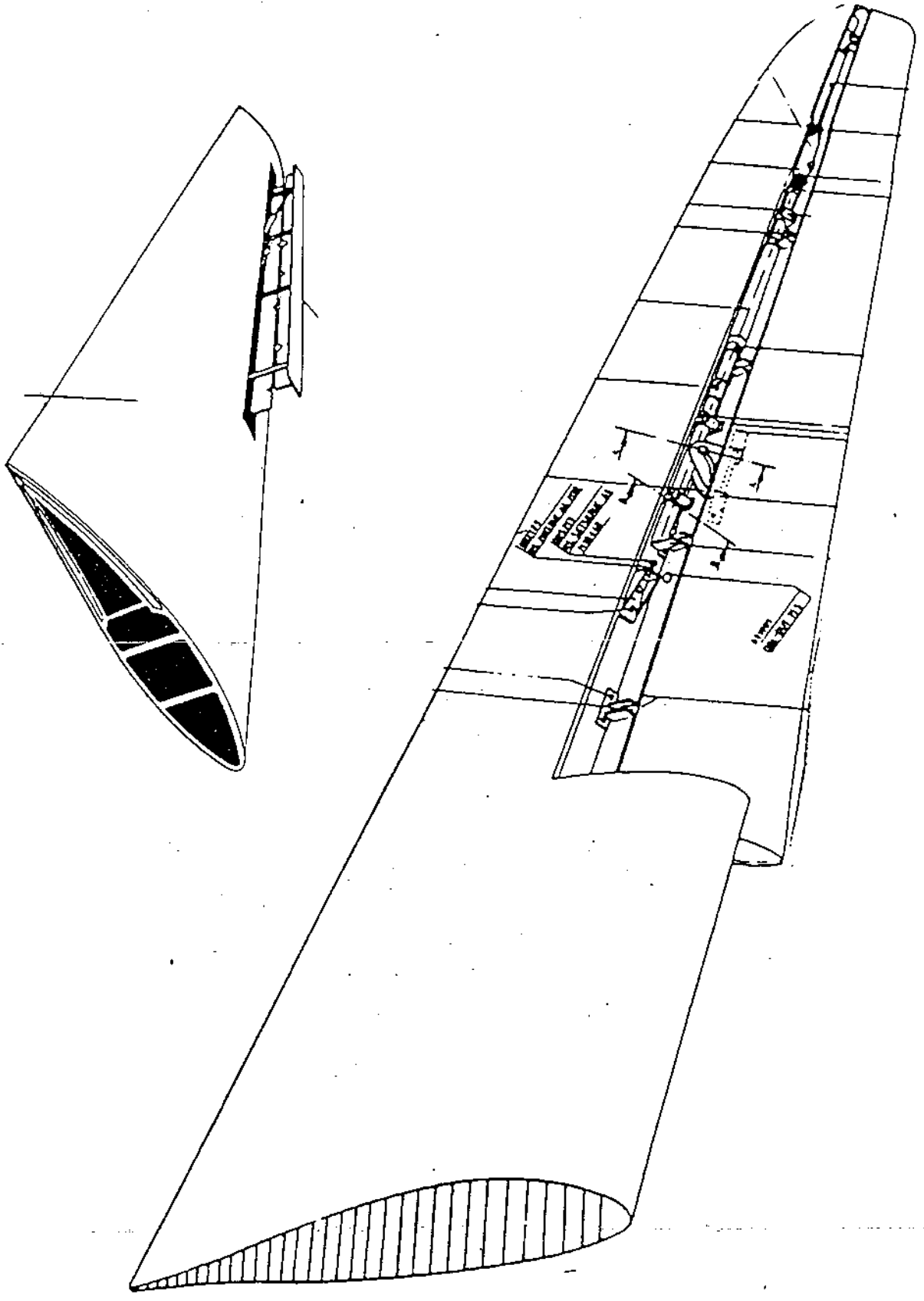


- | | |
|---------------------------------|------------------------------------|
| 1: Brake released sensor | 8: Brake pads |
| 2: Dust cover | 9: Brake disc |
| 3: Pivot for electric actuator | 10: Caliper base plate |
| 4: Wear limit indication switch | 11: Spring adjusting screw |
| 5: Caliper arms | 12: Multi disc spring |
| 6: Pivots for arms | 13: Electric coil |
| 7: Pad adjusting screws | 14: Screw for manual brake release |

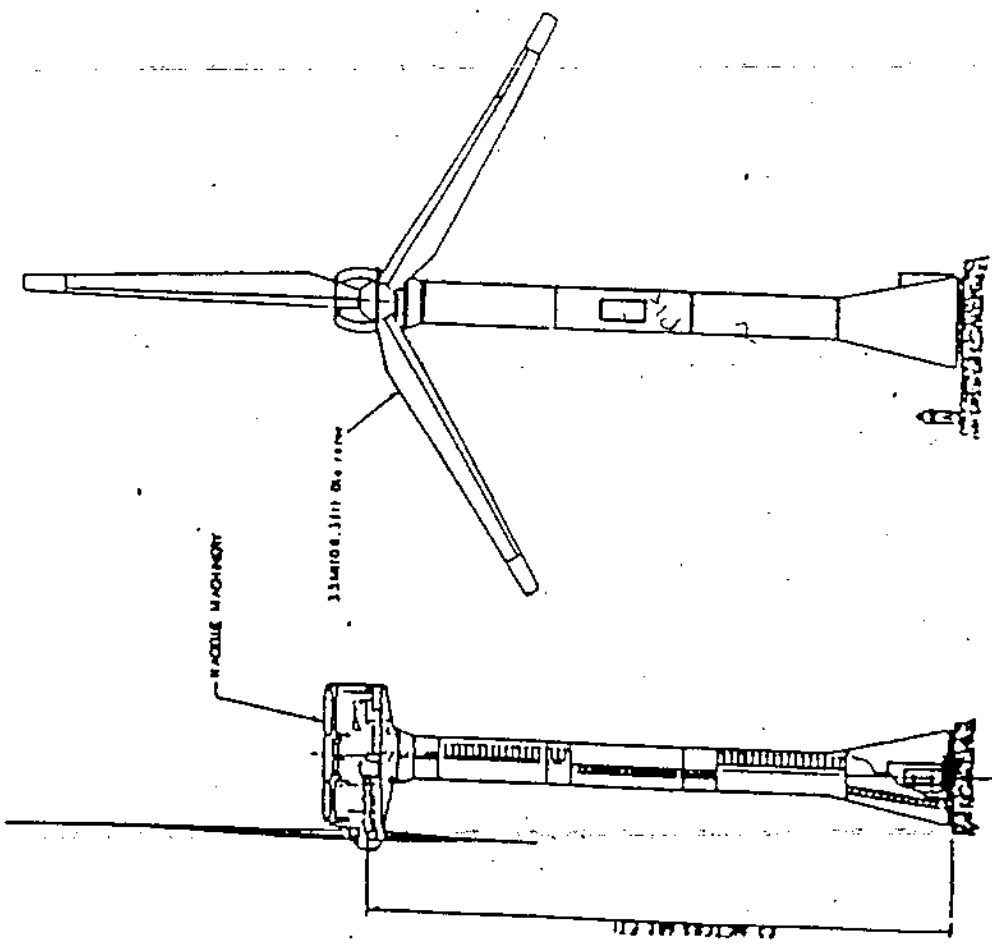
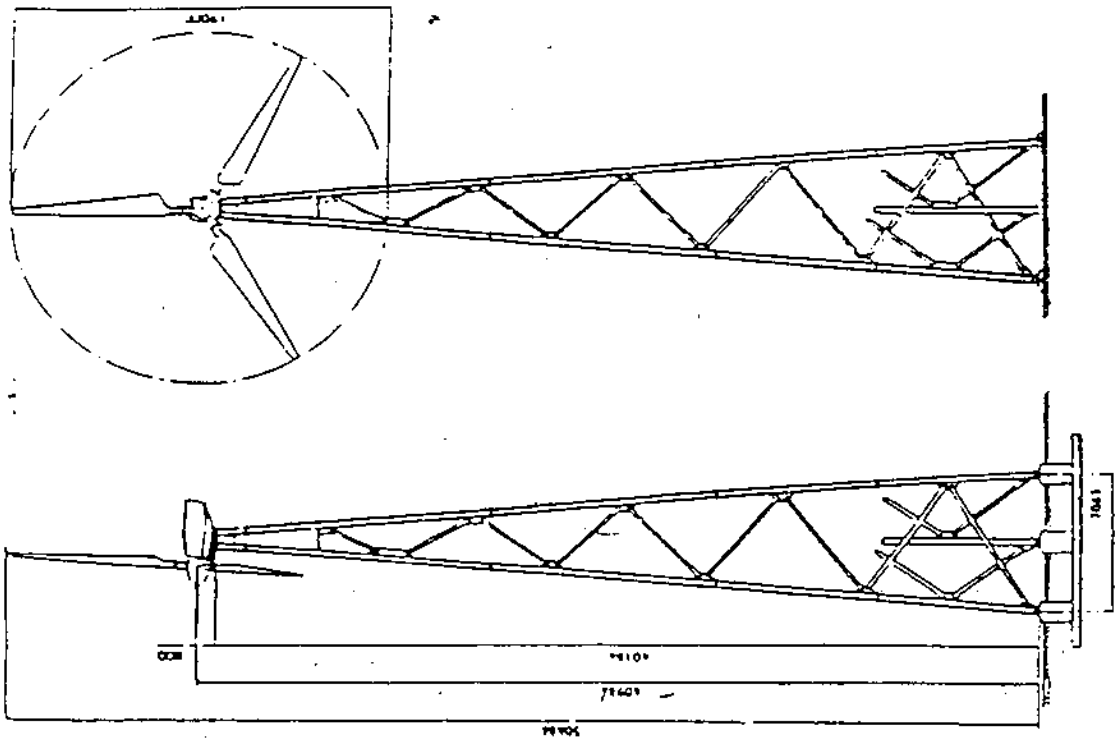
Ηλεκτρομαγνητικό φρένο



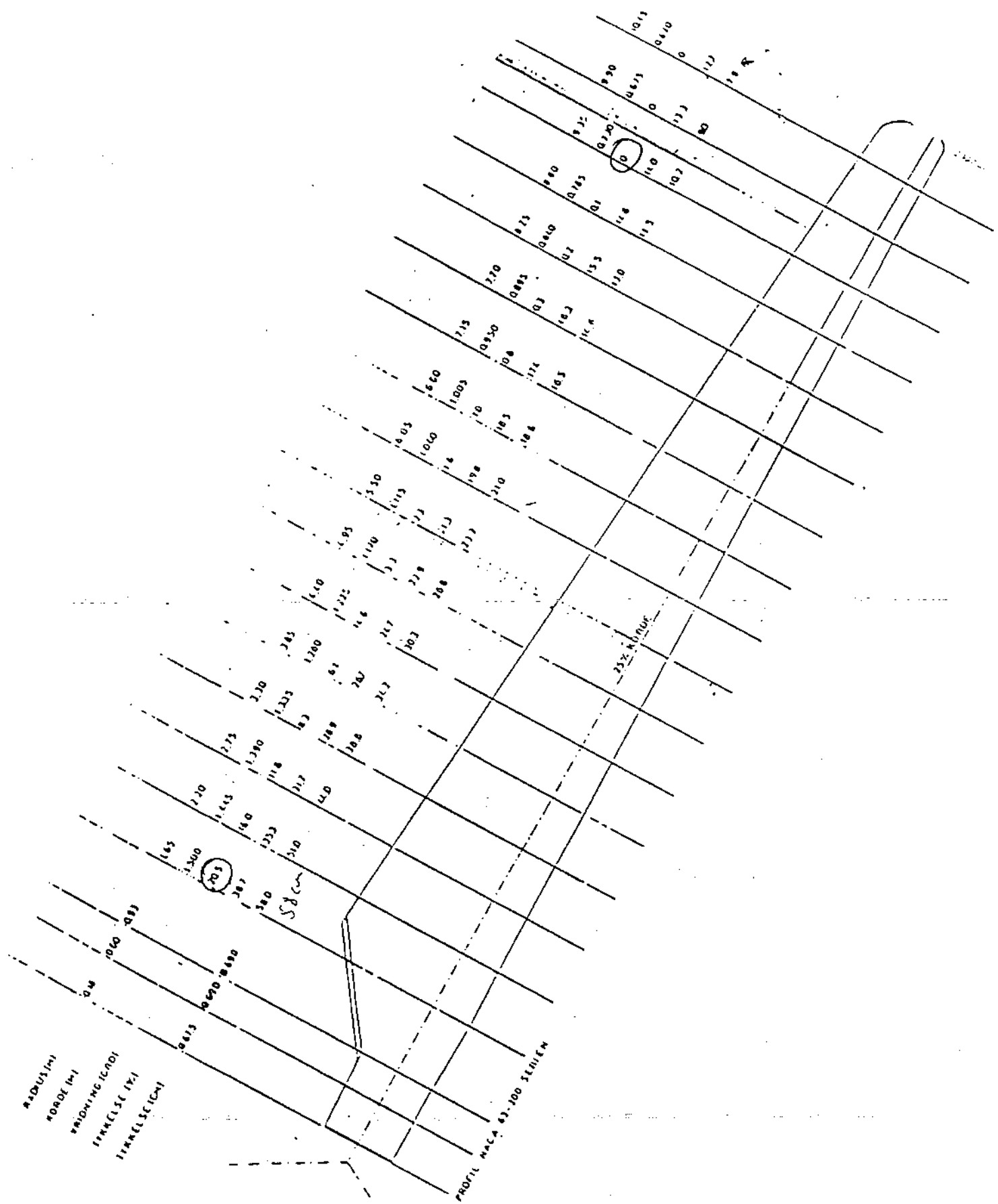
Μηχανική πέδη τοποθετημένη στην πλευρά των υψηλών στροφών



Αεροδυναμικό φρένο τύπου στρεφόμενου χείλους προσβολής

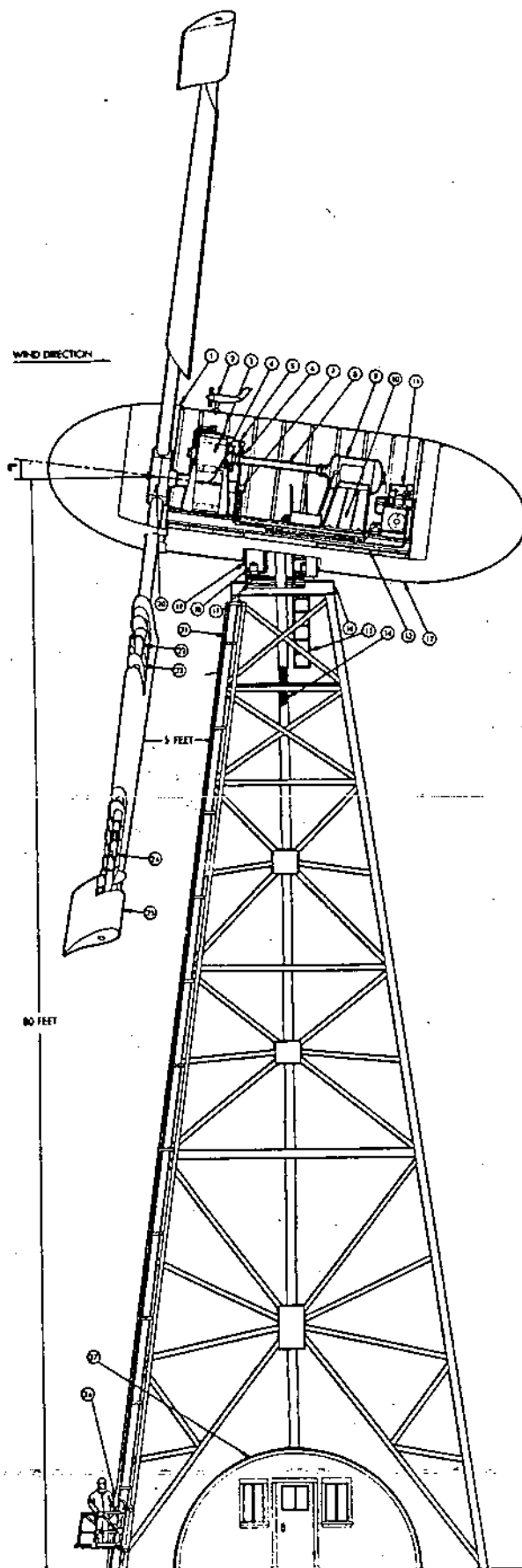


Σωληνωτός και δικτυωτός πύργος Α/Γ



DETAILED SCHEMATIC OF THE MP1-200
PRODUCTION PROTOTYPE ERECTED ON
CUTTYSUNK ISLAND

- 1 SPINNER, GSP
- 2 WIND SPEED AND DIRECTION SENSOR
- 3 GEAR TRANSMISSION
- 4 MAIN BEARINGS
- 5 DISC BRAKE
- 6 FLEXIBLE COUPLINGS (2)
- 7 ROTATING HYDRAULIC UNION
- 8 HIGH SPEED SHAFT
- 9 SYNCHRONOUS GENERATOR, 250 KVA
- 10 GENERATOR MOUNT
- 11 HYDRAULIC CONTROL ASSEMBLY
- 12 MACHINE CABIN
- 13 MACHINE BEDPLATE
- 14 POWER AND CONTROL CABLES
- 15 ACCESS LADDER
- 16 TOWER CAP
- 17 TURNABLE BEARING/BALL BEARING
- 18 YAW CONTROL SERVO MOTORS (2)
- 19 TURNABLE MOUNT
- 20 ROTOR HUB, FIXED PITCH
- 21 PINNED TRUSS TOWER, COR-TEN STEEL
- 22 BLADE SPAKE, SEAMLESS STEEL TUBING
- 23 BLADE ribs
- 24 TIP ACTUATING MECHANISM
- 25 BLADE TIP/DRAAG FLAP
- 26 ELEVATOR
- 27 CONTROL HOUSE,
MICRO-PROCESSOR CONTROL SYSTEM



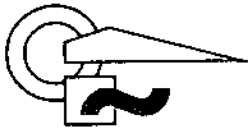
Λεπτομέρς σχέδιο του MP1-15 παραγωγής πρωτότυπου της (WTG Energy Systems Incorporated)

ENERCON

LEADING-EDGE TECHNOLOGY AS THE BASIS FOR INNOVATION

ience with both conventional
s and our own products have
t shortcomings of the principle
ombination with a gearbox can
ed for but not completely elim-
uch as gearboxes, hydraulic
systems are especially sensi-
d wear and tear. This results
and shortens service life. The
to opt for a different approach.
ly solution was to reduce the
s.

THE ENERCON CONCEPT



ENERCON GENERATOR
ENERCON ROTOR
ENERCON GRID-MANAGEMENT
SYSTEM

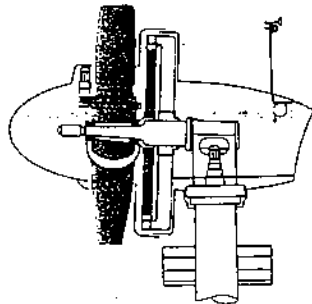
specializing in different fields
e, know-how and experience to
he result is the ENERCON con-
nts of which are the ring gen-
the grid-management system.
t details incorporated into the
o enhance efficiency and, most
the lifetime of the installations.
et made it possible to design a
converter with as few compo-
rotor is mounted directly on the
ts any loss of energy between
rotor and completely eliminates
from gearboxes. There are no
ts, and the absence of a gearbox
and no oil changing. The gen-
supported by a single pair of
er parts are subjected to per-
stress.

ENERCON rotor blades are specifically designed for optimum aerodynamic performance. In addition, performance is not affected by roughness or dirt. A microprocessor-controlled system guarantees that all elements of the entire system operate together perfectly.

The ENERCON grid-management system, which can be programmed for any desired $\cos \phi$ value, supports the grid, which makes it especially suitable for weak grids. This has been confirmed by independent testing institutes.

All key components which are critical in terms of quality and efficiency are designed, engineered and produced entirely by ENERCON.

Variable-speed operation and pitch control combine to substantially reduce stress on the generator-rotor unit, the tower and the foundation. Since the nacelle is also lightweight, the E-40 can be installed on a relatively small foundation. The material, design and height of the tower are chosen as a function of the specific site to obtain maximum efficiency.



6

The ENERCON generator



The ENERCON rotor



The ENERCON
grid-management system

