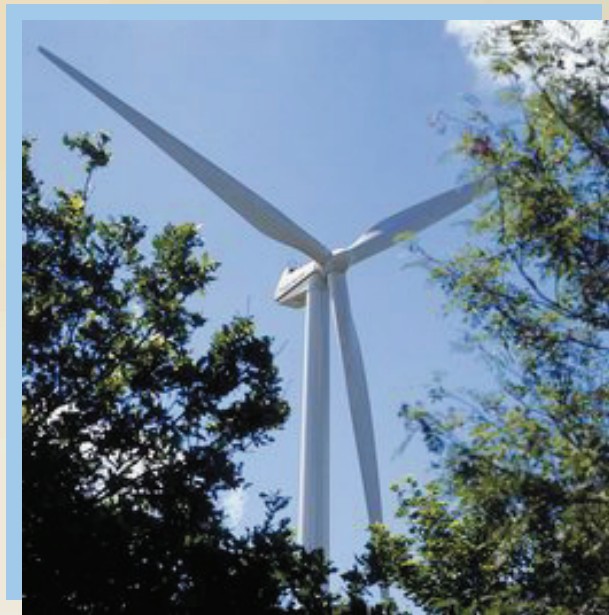




Τ.Ε.Ι. ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΥΔΑΤΙΝΩΝ ΠΟΡΩΝ

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ & ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΓΙΑ ΧΡΗΣΗ ΣΕ ΓΕΩΡΓΙΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ &  
ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ**



**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΡΙΣΤΟΛΟΥΚΑΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ  
ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ ΚΛΕΑΡΧΟΣ**

**ΜΕΣΟΛΟΓΓΙ  
2006**



# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΠΑΡΕΛΘΟΝ, ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

1.1	Λόγοι για τους οποίους στρεφόμεστε προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας....	1
1.2	Ιστορική ανασκόπηση.....	1
1.3	Ενεργειακός χάρτης της χώρας.....	3
1.4	Γνωριμία με τους ανεμοκινητήρες.....	5
1.5	Εφαρμογές των ανεμοκινητήρων σήμερα.....	8
1.5.1	Εφαρμογές άντλησης.....	9
1.5.2	Εφαρμογές θέρμανσης.....	9
1.5.3	Εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρισμού.....	9
1.6	Προοπτικές εφαρμογής των ανεμοκινητήρων στην Ελληνική γεωργία.....	10
1.7	Κινητικότητα στον διεθνή και ελληνικό χώρο.....	11
1.7.1	Η κατάσταση στις Η.Π.Α.....	11
1.7.2	Η κατάσταση στις Ευρωπαϊκές Κοινότητες.....	12
1.8	Οικονομικά στοιχεία.....	16
1.9	Πολιτική για την προώθηση εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στο χώρο της γεωργίας.....	16

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΕΜΟΣ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

2.1	Γενικά για την ατμόσφαιρα.....	17
2.2	Ευστάθεια ατμόσφαιρας.....	20
2.3	Άνεμοι.....	22
2.4	Γενικά για το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα.....	27
2.5	Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος.....	31
2.6	Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το χρόνο.....	35
2.7	Θεωρητικός υπολογισμός κατανομής συχνότητας ταχύτητας ανέμου.....	36
2.8	Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής.....	38
2.9	Μια θέση θεωρείται αξιόλογη, από κλιματολογικής άποψης, για μελέτη εγκατάστασης ανεμοκινητήρα εάν.....	42

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

3.1	Γενικά στοιχεία για τους ανεμοκινητήρες.....	43
3.2	Τύποι συλλογής αιολικής ενέργειας.....	44
3.3	Τυπικές μορφές ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα.....	45
3.4	Χαρακτηριστικά ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα Darrieus.....	48
3.5	Χαρακτηριστικά ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα τύπου Savonius.....	49
3.6	Άλλοι τύποι ανεμοκινητήρων.....	50

3.7	Σύγκριση των επικρατέστερων διατάξεων αιολικών μηχανών.....	51
3.8	Εξαγωγή ισχύος.....	52
3.9	Ενεργειακές απώλειες.....	52
3.10	Επιμέρους στάδια μελέτης και υπολογισμός φορτίων του ανεμοκινητήρα....	55

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

4.1	Μειονεκτήματα αξιοποίησης αιολικής ενέργειας.....	56
4.2	Πλεονεκτήματα αξιοποίησης αιολικής ενέργειας.....	57
4.3	Δεν δημιουργούνται αισθητικά προβλήματα και προσβολή του τοπίου από τις ανεμογεννήτριες;.....	58
4.4	Δεν είναι θορυβώδεις οι ανεμογεννήτριες;.....	58
4.5	Δεν δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές οι ανεμογεννήτριες;.....	58
4.6	Δεν έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στα πουλιά οι ανεμογεννήτριες;.....	59

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

5.1	Ανεμολογικές μετρήσεις.....	60
5.1.1	Κατάταξη σφαλμάτων μετρήσεων.....	60
5.1.2	Ακρίβεια αποτελεσμάτων ανεμολογικών μετρήσεων.....	60
5.1.3	Διαδικασία ταξινόμησης μετρήσεων.....	61
5.1.4	Μετρήσεις έντασης ανέμου.....	62
5.1.5	Περιγραφή - αρχή λειτουργίας κυπελλοφόρου ανεμομέτρου.....	63
5.2	Αιολικό δυναμικό.....	66
5.2.1	Εκτίμηση ύπαρξης αιολικού δυναμικού.....	66
5.2.2	Δείκτες αιολικού δυναμικού.....	66
5.2.3	Συγκέντρωση, οργάνωση και ανάλυση υπάρχοντων μετεωρολογικών δεδομένων με τη βοήθεια λογισμικού.....	69
5.3	Περιγραφή χαρακτηριστικών και σχεδιασμός ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα.....	70
5.3.1	Αεροδυναμική σχεδίαση ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα.....	70
5.3.2	Θεωρία του δίσκου ενέργειας.....	70
5.3.3	Όριο Betz.....	72
5.3.4	Θεωρία στοιχείων περύγωσης.....	73
5.3.5	Καμπύλη ισχύος δρομέα.....	77
5.3.6	Ετήσια ενεργειακή απόδοση δρομέα.....	83
5.3.7	Χαρακτηριστικά ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα.....	84
5.3.8	Στατική καταπόνηση και υπολογισμός της διαμέτρου του πύργου.....	88
5.3.9	Δυναμική καταπόνηση συστήματος ανεμοκινητήρα.....	91
5.3.10	Θεμελίωση πύργου ανεμοκινητήρα.....	92
5.4	Πρακτικά στοιχεία επιλογής ανεμοκινητήρων μικρών διαστάσεων.....	96
5.4.1	Εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών.....	96
5.4.2	Καθορισμός διαμέτρου δρομέα.....	97
5.4.3	Καθορισμός ταχύτητας έναρξης λειτουργίας $V_{cut-in}$ και διακοπής λειτουργίας $V_F$ .....	100

5.4.4	Παρεχόμενη ισχύς από ανεμοκινητήρα.....	101
5.4.5	Επιλογή συστήματος παραγωγής ενέργειας.....	102
5.5	Δημιουργία νομογράμματος για τον υπολογισμό της μέσης παραγόμενης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας.....	103
5.6	Παραγωγή ισχύος από ανεμοκινητήρα.....	107
5.6.1	Μηχανική ισχύς.....	107
5.6.1.1	Αποταμίευση κινητική ενέργειας σε σφόνδυλο.....	107
5.6.2	Ηλεκτρική ισχύς.....	109
5.6.2.1	Τύποι γεννητριών που χρησιμοποιούνται στους ανεμοκινητήρες.....	111
5.6.3	Αυτόνομες και υβριδικές εγκαταστάσεις ανεμοκινητήρων.....	113
5.6.3.1	Υβριδικές εφαρμογές.....	113
5.6.3.2	Αυτόνομες εφαρμογές και τρόποι αποθήκευσης της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας.....	115
5.6.4	Τρόποι αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ανεμοκινητήρες.....	115
5.6.4.1	Υδραυλικοπνευματική αποθήκευση ενέργειας μέσω συμπίεσης αερίων.....	115
5.6.4.2	Αποθήκευση σε συσσωρευτές.....	116
5.6.4.3	Αποθήκευση σε στοιχεία μεγάλης θερμοχωρητικότητας.....	130
5.6.4.4	Παραγωγή υδρογόνου και αποθήκευση.....	139

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

6.1	Επιλογή θέσης εγκατάστασης ανεμοκινητήρα.....	145
6.1.1	Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή τοποθεσίας ανεμοκινητήρα.....	146
6.1.2	Περιγραφή της διαδικασίας επιλογής θέσης για εγκατάσταση ανεμοκινητήρων.....	148
6.2	Μεθοδολογία επιλογής θέσης εγκατάστασης ανεμογεννητριών σε σύνθετη τοπογραφία εδάφους.....	152
6.2.1	Θέση εγκατάστασης ανεμοκινητήρα σε ανώμαλη μορφολογία εδάφους.....	154
6.3	Κάλυψη των ενεργειακών αναγκών με συστοιχίες ανεμοκινητήρων (αιολικό πάρκο).....	157
6.3.1	Πεδίο ροής ομόρρου ανεμοκινητήρα.....	158
6.3.2	Συστοιχίες ανεμοκινητήρων.....	158

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

7.1	Καθορισμός των προδιαγραφών του συστήματος.....	165
7.2	Άρδευση απομονωμένης γεωργικής έκτασης με χρήση ανεμοκινητήρων.....	165
7.2.1	Συλλογή, καταγραφή επεξεργασία και αξιολόγηση των ανεμολογικών δεδομένων περιοχής Αγρινίου – Αιολική ισχύς – Ενέργεια ανά χρόνο.....	177
7.2.2	Αξιολόγηση παραγόμενης αιολικής ενέργειας συγκριτικά με την ενεργειακή ζήτηση του αντλητικού συγκροτήματος.....	191
7.3	Ηλεκτροδότηση απομονωμένης γεωργικής οικίας με χρήση ανεμοκινητήρων.....	192

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8**

### **ΤΕΧΝΙΚΟ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

8.1	Αξιολόγηση επενδύσεων.....	194
8.2	Βασικές έννοιες.....	195
8.2.1	Χρηματοροή.....	195
8.2.2	Χρονική αξία χρήματος.....	195
8.2.3	Πληθωρισμός.....	196
8.2.4	Αποσβέσεις.....	196
8.2.5	Κόστος χρηματοδότησης.....	197
8.3	Κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης.....	197
8.4	Ανάλυση ορολογιών για την υλοποίηση οικονομοτεχνικών μελετών.....	200
8.4.1	Καθαρή παρούσα αξία.....	200
8.4.2	Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης.....	201
8.4.3	Ανάλυση ευαισθησίας.....	201
8.4.4	Έλεγχος αξιοπιστίας της αποδοτικότητας - Ανάλυση αβεβαιότητας.....	202
8.4.5	Κόστος παραγόμενης ενέργειας.....	202
8.4.6	Χρόνος ζωής.....	203
8.5	Οικονομικά στοιχεία συστημάτων Α.Π.Ε.....	203
8.5.1	Οικονομικά στοιχεία αιολικής ενέργειας.....	203
8.6	Παράδειγμα οικονομικής αξιολόγησης.....	207

<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ.....</b>	<b>211</b>
---	------------

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>216</b>
--------------------------	------------

<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....</b>	<b>219</b>
-----------------------	------------

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζονται βασικές έννοιες και εφαρμογές οι οποίες θα επιτρέψουν την κατανόηση της ενεργειακής αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας, ώστε να οδηγηθούμε στο σχεδιασμό και κατ' επέκταση στη βελτιστοποίηση συστημάτων εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται συνοπτική αναφορά των λόγων που οδηγούν τη γεωργία σε μεταστροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, οι κυριότεροι εκ' των οποίων είναι η πετρελαϊκή απεξάρτηση με τα συνεχή προβλήματα των ανατιμήσεων και η μείωση εκπεμπόμενων ρύπων. Ακολουθεί μια συνοπτική ιστορική ανασκόπηση από τους αρχαίους ανεμόμυλους μέχρι τους σύγχρονους ανεμοκινητήρες. Ο ενεργειακός χάρτης της χώρας που παρουσιάζεται, δίνει μια γενική εικόνα της ενεργειακής ζήτησης στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στο χώρο της γεωργίας, βασισμένη σε στατιστικές μελέτες της Δ.Ε.Η., του Κ.Α.Π.Ε., του Αστεροσκοπείου Αθηνών και του Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Αναλύονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των ανεμοκινητήρων και των τεχνικών χαρακτηριστικών που διέπουν την μετατροπή της κινητικής ενέργειας των αερίων μαζών σε μηχανική ισχύ ενώ ακολουθούν επιγραμματικές αναφορές χρήσης των ανεμοκινητήρων και προοπτικές εφαρμογής τους στη σύγχρονη Ελληνική γεωργία. Για τη διαμόρφωση μιας σφαιρικής άποψης σχετικά με την κατάσταση που επικρατεί με τους ανεμοκινητήρες, γίνεται αναφορά, δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στις Ευρωπαϊκές χώρες. Η οικονομική βιωσιμότητα των ανεμογεννητριών για παραγωγή ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας με κριτήρια ταμειακού κόστους δηλαδή σε σύγκριση με το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ή μηχανικής ενέργειας από συμβατικές πηγές καυσίμου και η πολιτική για την προώθηση εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στο χώρο της γεωργίας και όχι μόνο είναι τα θέματα με τα οποία κλείνει το κεφάλαιο.

Το δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζει χωρίς να επεκτείνεται πολύ, το χώρο μέσα στον οποίο δημιουργούνται τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα. Ο χώρος αυτός είναι η ατμόσφαιρα. Γίνεται μικρή ανάλυση, δύο στρωμάτων της ατμόσφαιρας και συγκεκριμένα της τροπόσφαιρας και της στρατόσφαιρας, στρώματα μέσα στα οποία λαμβάνουν χώρα τα μετεωρολογικά φαινόμενα. Οι διάφορες διαταραχές και τα φαινόμενα (μετεωρολογικά) που αυτές συνεπάγονται, οφείλονται σε μικρές αποκλίσεις από την κατάσταση ισορροπίας αυτών των δύο στρωμάτων. Έτσι για να γίνει κατανοητός ο τρόπος με τον οποίο δημιουργούνται και επηρεάζονται άμεσα τα μετεωρολογικά φαινόμενα γίνεται αναφορά στην ευστάθεια της ατμόσφαιρας και το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα. Το κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας (ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα), είναι αυτό που μας ενδιαφέρει τεχνικά γιατί εξαιτίας της μορφολογίας του εδάφους, το είδος της βλάστησης και άλλα εμπόδια, ο άνεμος υφίσταται επιβραδύνσεις από δυνάμεις τριβής.

Αναλύεται η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος και το χρόνο, ενώ παράλληλα προσδιορίζεται η έννοια του αιολικού δυναμικού. Για τον υπολογισμό του Αιολικού Δυναμικού μιας θέσης απαιτείται η γνώση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας, ενέργειας που μεταβάλλεται όμως με το χρόνο. Αντιπροσωπευτική τιμή της όμως μπορεί να είναι η μέση ετήσια τιμή η οποία όμως για να υπολογισθεί απαιτεί τη γνώση της διάρκειας πνοής των ανέμων (ή της πυκνότητας πιθανότητας πνοής ανέμου) κάθε κατηγορίας και κλίμακας ταχυτήτων. Οι ανεμολογικές μετρήσεις συνήθως λαμβάνονται από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό και αναλύονται

πολύ γρήγορα μέσω H/Y. Οι ανεμολογικές μετρήσεις θα πρέπει να γίνονται σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Διεθνούς Μετεωρολογικού Οργανισμού (W.M.O.), μακριά από εμπόδια και να είναι χαρακτηριστικές της περιοχής εγκατάστασης.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται παρουσίαση των κυριότερων τύπων και υποσυστημάτων ανεμοκινητήρων που επικρατούν σήμερα, ενώ παράλληλα γίνεται μια πρώτη προσέγγιση του βέλτιστου σχεδιασμού ενός συστήματος εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας. Ακολουθεί η παρουσίαση – παράθεση των τριών κυριότερων τύπων ανεμοκινητήρων (οριζοντίου άξονα, κατακόρυφου άξονα τύπου Darrieus και κατακόρυφου άξονα τύπου Savonius) καθώς και των χαρακτηριστικών και ιδιομορφιών που εμφανίζει ο κάθε ένας ξεχωριστά. Η γνωριμία με διάφορους άλλους τύπους ανεμοκινητήρων εκτός των προαναφερθέντων, που έχουν κατά καιρούς κατασκευαστεί αλλά δεν τυγχάνουν ευρείας εφαρμογής λόγω ιδιαιτεροτήτων στη σχεδίαση, κατασκευή και του αυξημένου κόστους, δίνει μια πιο ολοκληρωμένη άποψη των συστημάτων δέσμευσης αιολικής ενέργειας. Στην συνέχεια αναλύονται οι λόγοι για τους οποίους ένας ανεμοκινητήρας δεν είναι σε θέση να δεσμεύσει όλη την ενέργεια του ανέμου αλλά και από την ενέργεια που μπορεί να απομαστεύσει ο δρομέας ποια είναι η ωφέλιμη ισχύς που μπορούμε να πάρουμε στην έξοδο του.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αξιολογούνται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζονται με τη χρήση των ανεμοκινητήρων και διερευνώνται λαθεμένες εντυπώσεις που έχουν δημιουργηθεί στο ευρύ κοινό σχετικά με τη χρήση ανεμοκινητήρων, λόγω ανεπαρκούς ενημέρωσης ή παραπληροφόρησης.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία σχεδιασμού και βελτιστοποίησης ολοκληρωμένου συστήματος εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας. Αρχικά γίνεται αναφορά στις προαπαιτούμενες μετρήσεις που πρέπει να γίνουν και σχετίζονται με το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Ακολουθούν οι εμπειρικοί και πρακτικοί μέθοδοι εκτίμησης ύπαρξης και ανάλυσης του αιολικού δυναμικού. Παρά τη ραγδαία αύξηση της ισχύος των ηλεκτρονικών υπολογιστών που μπορούν να επεξεργαστούν πληθώρα δεδομένων, έχει πρακτική αξία σε πολλές περιπτώσεις, να κάνουμε υπολογισμούς απλά, οικονομικά και γρήγορα, προσδιορίζοντας κατά προσέγγιση το αποτέλεσμα της μέσης ισχύος του ανέμου, είτε από δείκτες αιολικού δυναμικού είτε από νομογράμματα.

Η συγκέντρωση και ανάλυση των ανεμολογικών στοιχείων είναι από τις σπουδαιότερες και πιο επίπονες εργασίες που πρέπει να προηγηθούν όλων των άλλων προκειμένου να γίνει η εγκατάσταση ενός αιολικού συστήματος. Η περιγραφή των χαρακτηριστικών των ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα που είναι και οι πιο ευρέως διαδεδομένοι, γίνεται για κάθε τμήμα του ξεχωριστά αφού προηγηθεί μια σύντομη περιγραφή της έννοιας “δίσκος ενεργείας” και αναλυθεί εν συντομία ο τρόπος με τον οποίο δημιουργείται η δύναμη άνωσης στα πτερύγια ενός σύγχρονου πτερυγίου δρομέα. Ο βέλτιστος δρομέας επιλέγεται βάση των ιδιαίτερων ανεμολογικών χαρακτηριστικών κάθε περιοχής και των ιδιαιτεροτήτων ενεργειακής ζήτησης που έχουμε.

Η παραγόμενη ενέργεια για χρήση σε γεωργικές εφαρμογές παρέχεται υπό μορφή μηχανικής ή ηλεκτρικής ισχύος. Η κάθε μορφή ενέργειας παρουσιάζει πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα και ιδιαιτερότητες.

Το κύριο μειονέκτημα των ανανεώσιμων πηγών, μέσα στις οποίες εντάσσονται και οι ανεμοκινητήρες είναι ότι δεν μπορούν να παρέχουν ισχύ όποτε την χρειαζόμαστε. Αυτό έχει οδηγήσει στον σχεδιασμό υβριδικών εγκαταστάσεων, που σκοπό έχουν την αποθήκευση ενέργειας όταν η ζήτηση είναι μειωμένη.

Η αποταμίευση της μηχανικής ενέργειας γίνεται μέσω σφονδύλων ή αντλιών που συμπιέζουν αέρια παρέχοντας μικρή αυτονομία στο σύστημα, ενώ η αποταμίευση



της ηλεκτρικής ισχύος γίνεται, με υδραυλικοπνευματική αποθήκευση ενέργειας μέσω συμπίεσης αερίων από αντλίες που ισχυοδοτούνται από ηλεκτροκινητήρα, φόρτιση συσσωρευτών, θέρμανση στοιχείων μεγάλης θερμοχωρητικότητας με ηλεκτρικούς αντιστάτες ή με παραγωγή και αποθήκευση υδρογόνου, τρόποι που παρέχουν μεγαλύτερη αυτονομία αλλά έχουν αυξημένο κόστος αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησης.

Στο έκτο κεφάλαιο περιγράφεται η μεθοδολογία επιλογής θέσης εγκατάστασης σε διάφορες τοπογραφίες εδάφους καθώς και οι παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή της τοποθεσίας.

Σε περιπτώσεις όπου δεν επαρκεί η παραγόμενη ισχύς από ένα ανεμοκινητήρα ή υπάρχουν βλέψεις για πώληση ενέργειας, μπορούν να τοποθετηθούν συστοιχίες αιολικών μηχανών και να δημιουργηθεί ένα μικρό αιολικό πάρκο. Σημαντικός παράγοντας στην απόδοση ενός αιολικού πάρκου αποτελεί ο ρυθμός ανάπτυξης του ομόρρου του ανεμοκινητήρα και η ενεργειακή του κατάσταση όταν αλληλεπιδρά με τον κατάντι ανεμοκινητήρα. Όλες οι μεθοδολογίες βελτιστοποίησης της διάταξης των ανεμοκινητήρων σε αιολικό πάρκο, βασίζονται σε κάποιο μοντέλο ανάπτυξης του ομόρρου του ανεμοκινητήρα.

Στο έβδομο κεφάλαιο μελετάται η λειτουργία ενός απομονωμένου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο για τροφοδοσία ηλεκτροκινητήρων μονάδας άντλησης, άρδευσης και λίπανσης μιας έκτασης γνωστών διαστάσεων, εδαφολογικών χαρακτηριστικών και καλλιέργειας. Η μελέτη ξεκινά με τον λεπτομερή προσδιορισμό των ενεργειακών απαιτήσεων για τη λειτουργία του αντλητικού συγκροτήματος με δεδομένη την ύπαρξη αιολικού δυναμικού στην περιοχή η οποία είναι απομονωμένη από το υπόλοιπο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η ανάλυση και αξιολόγηση των ανεμολογικών δεδομένων στην περιοχή του Αγρινίου είναι από τα βασικότερα στάδια της μελέτης.

Για την εξαγωγή ενεργειακών αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται η καμπύλη αποδόσεως του ανεμοκινητήρα AEG 85 D3.5-A9.6 ο οποίος τοποθετείται σε ύψος 10m από το έδαφος. Ο συγκεκριμένος ανεμοκινητήρας επιλέγεται λόγω των μικρών του διαστάσεων και της χαμηλής ταχύτητας ανέμου για την εκκίνηση του. Τα ανεμολογικά στοιχεία αναλύονται με το πρόγραμμα επεξεργασίας ανεμολογικών δεδομένων WindRose και τα αποτελέσματα καταγράφονται σε πίνακες. Τα στοιχεία αυτών των πινάκων απεικονίζουν το διατιθέμενο αιολικό δυναμικό της θέσης για το χρονικό διάστημα των συλλεγμένων στοιχείων και κατά συνέπεια τη διατιθέμενη ισχύ από τον ανεμοκινητήρα. Κατά πόσο είναι αποδοτικός (το ποσοστό της ενέργειας του ανέμου μπορεί να δεσμεύσει) ο ανεμοκινητήρας που έχει επιλέγει μπορεί να ελεγχθεί, παραθέτοντας την καμπύλη απόδοσης του ανεμοκινητήρα είτε με την καμπύλη της μέγιστης δυνατής απόδοσης που μπορεί να δεσμεύσει ένας ανεμοκινητήρας είτε με την καμπύλη που σχηματίζει η θεωρητική ενέργεια του ανέμου για μια επιφάνεια όση η επιφάνεια των πτερυγίων του υπό εξέταση ανεμοκινητήρα.

Κάνοντας την αξιολόγηση της παραγόμενης ενέργειας συγκριτικά με την ενεργειακή ζήτηση του αντλητικού συγκροτήματος διαπιστώνουμε ότι η περιοχή δεν διαθέτει το απαιτούμενο αιολικό δυναμικό ώστε να καλυφθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις.

Το κεφάλαιο κλείνει με την μελέτη ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών μιας απομονωμένης αγροικίας. Οι ενεργειακές απαιτήσεις καταγράφονται αναλυτικά και αναπαρίστανται γραφικά. Η εγκατάσταση όμως ανεμοκινητήρα δεν είναι εφικτή λόγω του πολύ χαμηλού αιολικού δυναμικού που πνέει στην περιοχή και κατά συνέπεια της ελάχιστης παρεχόμενης ισχύος.

Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται μια αναφορά στις τεχνικό – οικονομικές αναλύσεις τέτοιου είδους συστημάτων, δεδομένου ότι αποτελούν μια μορφή επένδυσης, στην οποία πρωταρχικός στόχος τίθεται η οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης. Η οικονομική βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι το κόστος αγοράς του εξοπλισμού, το κόστος γης και έργων υποδομής, το αιολικό δυναμικό της περιοχής, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, της τεχνολογίας και τη διάρκεια ζωής της, το κόστος της ενέργειας που υποκαθίσταται, το κόστος του χρήματος, το νομοθετικό πλαίσιο και τις εναλλακτικές επενδυτικές ευκαιρίες. Όλοι αυτοί οι παράγοντες αναλύονται εκτενώς, ενώ για την καλύτερη κατανόηση τέτοιου είδους μελετών περιγράφεται ένα παράδειγμα οικονομικής αξιολόγησης.

Σκοπός αυτής της εργασίας είναι η αναλυτική περιγραφή των σταδίων που ακολουθούνται ώστε να οδηγηθούμε στο σχεδιασμό ενός συστήματος εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας. Η μελέτη ξεκινά με την λήψη της απόφασης για εγκατάσταση ενός συστήματος δέσμμευσης αιολικής ενέργειας. Κύριος στόχος μιας τέτοιας απόφασης είναι η μείωση του κόστους καταναλισκόμενης ενέργειας. Ακολουθεί ο έλεγχος του μεγέθους και είδους ενεργειακών αναγκών και η συλλογή και ανάλυση των ανεμολογικών στοιχείων ώστε να καταλήξουμε στο συμπέρασμα εάν η περιοχή διαθέτει καλό αιολικό δυναμικό. Αυτό είναι και το σπουδαιότερο τμήμα της μελέτης μέσω του οποίου μπορούμε να ελέγξουμε κατά πόσο η εκμετάλλευση αιολικής ενέργειας είναι υλοποιήσιμη. Η επιλογή της θέσης εγκατάστασης και ο τρόπος δέσμμευσης της ενέργειας γίνεται στο τέλος αφού ελεγχθούν όλες οι υπονήφιες θέσεις και επιλέγεται ο τύπος ανεμοκινητήρα που μπορεί εκμεταλλευθεί στο βέλτιστο βαθμό το αιολικό δυναμικό της περιοχής. Η αυτόνομη ή υβριδική λειτουργία εξαρτάται άμεσα από την ποιότητα αιολικού δυναμικού που πνέει στην περιοχή. Η οικονομοτεχνική μελέτη κρίνεται αναγκαία πριν ληφθεί η τελική απόφαση για να ελεγχθεί η οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΠΑΡΕΛΘΟΝ, ΠΑΡΟΝ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

### 1.1 Λόγοι για τους οποίους στρεφόμαστε προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Εδώ και είκοσι περίπου χρόνια γίνεται αρκετός λόγος για τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας και την αξιοποίησή τους. Η κρίση του πετρελαίου, η επικείμενη εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, η αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, οι συνεχείς ανατιμήσεις και η βούληση των κρατών για εθνική και ανεξάρτητη ενεργειακή πολιτική με την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας, η μεταστροφή στη βιολογική γεωργία φιλική προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον, οδηγούν στην χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας που δίνουν σε μεγάλο βαθμό λύση στα παραπάνω προβλήματα. Πηγές ενέργειας όπως η αιολική, η ηλιακή κ.ά. έχουν ένα χαρακτηριστικό που τις δίνει την ονομασία **ανανεώσιμες**, ότι δηλαδή από τη φύση τους ανανεώνονται διαρκώς και προσφέρονται στον άνθρωπο "δωρεάν" για εκμετάλλευση.

Ένα δεύτερο ιδιαίτερα ευπρόσδεκτο χαρακτηριστικό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας είναι ότι οι τεχνολογίες εκμετάλλευσής αυτών βρίσκονται μέσα στις κατασκευαστικές δυνατότητες των αναπτυσσομένων τεχνολογικά χωρών, συνεπώς, εκτός από τη συνεισφορά τους στο ενεργειακό ισοζύγιο της χώρας, συνεισφέρουν σημαντικά, αν αναπτυχθούν κατάλληλα και στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας.

Ένα τρίτο χαρακτηριστικό τους είναι ότι οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας δεν είναι εξαγωγίμες (υπό την μορφή την οποία εξετάζονται, δηλαδή για χρήση στη γεωργία), συνεπώς η εκμετάλλευσή τους πρέπει να γίνει στη θέση όπου εμφανίζονται. Εξάιρεση αποτελούν συστοιχίες ανεμοκινητήρων που λειτουργούν σε αιολικά πάρκα και έχουν δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ικανής να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις.

Να αναφερθεί δε ακόμα ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα τους, ότι δεν ρυπαίνουν το περιβάλλον οπότε η εκμετάλλευσή τους είναι συνεπής προς μία οικολογικά σωστή αντιμετώπιση της σχέσης ανθρώπινη δραστηριότητα και περιβάλλον, μια σχέση που μόνο τα τελευταία χρόνια ο άνθρωπος συνειδητοποίησε ότι πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη σε όλα τα σενάρια οικονομικής και τεχνολογικής ανάπτυξης.

Η χώρα μας λόγω ανεπιτυχών ενεργειακών επιλογών έφτασε κατά τα τελευταία χρόνια να βασίζει την κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών κατά 65% στο εισαγόμενο πετρέλαιο, ενώ είναι προικισμένη από τη φύση της με άφθονες ενεργειακές πηγές ανανεώσιμων μορφών. Εξάιρεση αποτελεί η ενεργειακή πολιτική της Δ.Ε.Η. που κατόρθωσε μέσα σε μια δεκαετία να μειώσει την πετρελαϊκή της εξάρτηση από το 36% που ήταν το 1980 στο 13% το 1989 αξιοποιώντας ελληνικά ορυκτά καύσιμα, και υδραυλική ενέργεια, ενώ τη δεκαετία 1990 – 2000 αυξήθηκε στο 15%. Αξιόλογες μελέτες στον Ελλαδικό χώρο, σχετικά με την εντατική εκμετάλλευση της αιολικής ενέργεια γίνονται από το 1985 και μετά [8].

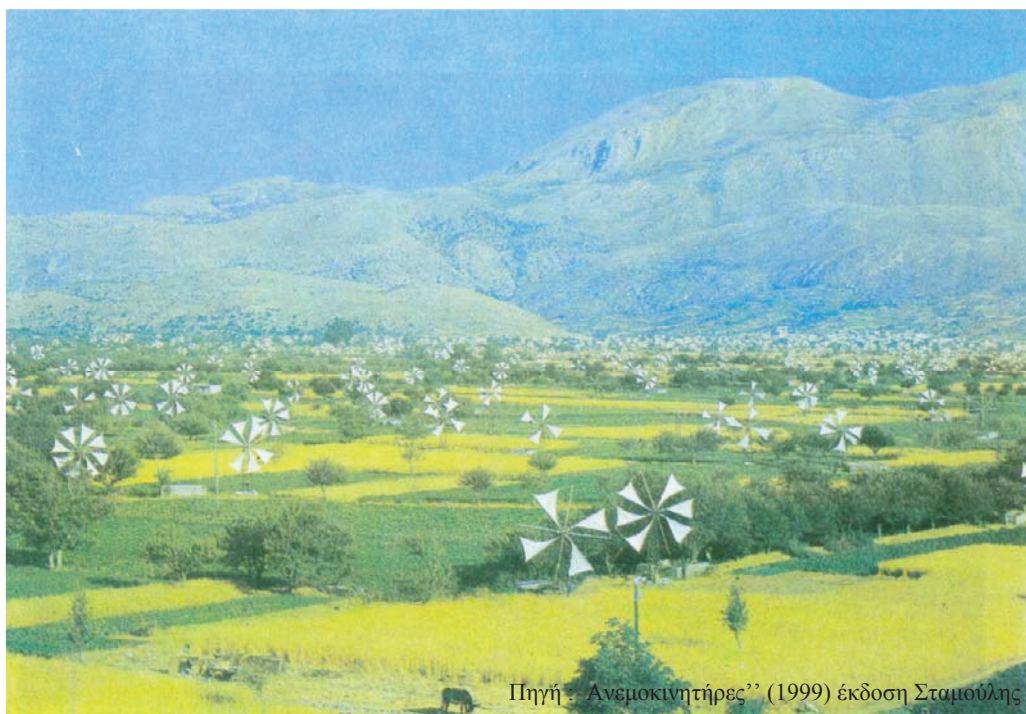
### 1.2 Ιστορική ανασκόπηση.

Ο άνεμος έχει χρησιμοποιηθεί ως πηγή ενέργειας από τα πανάρχαια χρόνια. Χώρες χρωστούσαν τον πλούτο και την ναυτιλιακή ικανότητά τους στον άνεμο που κινούσε τα ιστιοφόρα πλοία τους. Ο Αίολος ήταν σύμφωνα με την ελληνική

μυθολογία ο θεός διαχειριστής των ανέμων, μαζί με τους οκτώ βοηθούς του (Βορέας, Καικίας, Απηνλιώτης, Εύρος, Νότος, Λιψ, Ζέφυρος, Σκίρων) που απεικονίζονται στον πύργο των Αέρηδων (κτίσμα του 2ου π.Χ.αιώνα) στην Πλάκα. Η πρώτη χρήση αιολικής ενέργειας έγινε στη ναυσιπλοΐα, ενώ οι πρώτοι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν για άλεση δημητριακών και άντληση νερού. Οι αρχαιότεροι ανεμόμυλοι (κατακόρυφου άξονα) κατασκευάστηκαν στην Περσία τον 6ο έως τον 9ο αιώνα μ.Χ., ενώ η πρώτη γραπτή αναφορά γίνεται στην Κίνα το 13ο αιώνα μ.Χ. Στην Ευρώπη αναπτύχθηκαν διάφορα είδη ανεμόμυλου (οριζόντιου άξονα) από τον 13ο αιώνα και πιθανόν οι νερόμυλοι να αποτέλεσαν πρότυπο για την κατασκευή τους.

Το 17ο αιώνα η τεχνολογία μεταφέρεται στην Αμερική όπου οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για άντληση νερού. Ο πρώτος ανεμόμυλος για παραγωγή ηλεκτρισμού κατασκευάστηκε το 1888 στο Cleveland του Ohio. Είχε διάμετρο πτερωτής 17 μέτρα και ισχύ 12 Kw. Σήμερα η Δανία χώρα πλούσια σε αιολικό δυναμικό έχει τα πρωτεία στην κατασκευή αλλά και στην χρήση ανεμογεννητριών.

Στην Ελλάδα η χρήση ανεμόμυλων χρονολογείται από το 13ο αιώνα. Το 1960 υπήρχαν 10000 ανεμόμυλοι στο οροπέδιο Λασιθίου σχήμα 1.1, 2500 στην υπόλοιπη Κρήτη, και 600 στη Ρόδο.



Σχήμα 1.1. Αιολικό πάρκο του οροπεδίου Λασιθίου Κρήτης.

Στη συνέχεια αναφέρονται οι κυριότεροι χρονικοί σταθμοί της εξελικτικής πορείας του ανεμοκινητήρα [17].

1200 Ανεμόμυλοι οριζοντίου άξονα χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη για το άλεσμα σιταριού.

1500 Στα πεδινά της Ολλανδίας εμφανίζονται οι πρώτοι ανεμόμυλοι. Ο Don Quixote τους φέρνει στην Ισπανία.

1600 Άποικοι κατασκευάζουν ανεμόμυλους ευρωπαϊκού τύπου στα ανατολικά παράλια της Αμερικής.

1700 Οι ατμομηχανές αρχίζουν να αντικαθιστούν τους ανεμόμυλους.

1860 Οι αμερικανοί κατασκευάζουν πολυπτερυγους ανεμόμυλους (multi bladed) για να χρησιμοποιηθούν για κίνηση αντλιών.

1870 Το Σικάγο γίνεται κέντρο βιομηχανικής παραγωγής ανεμόμυλων.

- 1900 Οι Δανοί παράγουν ηλεκτρισμό από τον άνεμο.
- 1920 Ανεμόμυλοι μεταλλικής κατασκευής χρησιμοποιούνται στην Αμερική για ηλεκτροδότηση στα αγροτικά σπίτια.
- 1930 Οι ανεμόμυλοι στις αγροτικές περιοχές αντικαθίστανται από την επέκταση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.
- 1940 Στο Vermont των Η.Π.Α κατασκευάζεται για πρώτη φορά πειραματικός ανεμοκινητήρας αρκετά μεγάλης ισχύος με δύο πτερύγια.
- 1950 Η ατομική ενέργεια μειώνει το ενδιαφέρον για χρησιμοποίηση της αιολικής ενέργειας.
- 1960 Η μόλυνση του περιβάλλοντος από τις υπάρχουσες πηγές ενέργειας (άνθρακας-πετρέλαιο) αρχίζει να γίνεται έντονη.
- 1970 Η έλλειψη καυσίμων αναζωογονεί το ενδιαφέρον για αξιοποίηση της ενέργειας του ανέμου.
- 1976 Τεχνολογικά αναπτυγμένες χώρες διαθέτουν για πρώτη φορά μεγάλο ύψος χρημάτων για προγράμματα γύρω από την τεχνικοοικονομική διερεύνηση των ανεμοκινητήρων.
- 1983 Κατασκευή ανεμοκινητήρων ισχύος 3 MW.
- 1990 Κατασκευή ανεμοκινητήρων ισχύος 7 MW.
- 2000 Παγκόσμιο ενδιαφέρον για ευρεία εφαρμογή των ανεμοκινητήρων. Κατασκευή ανεμοκινητήρων ισχύος 10MW.

Η αύξηση της ζήτησης ενέργειας μεταπολεμικά οδήγησε ορισμένες τεχνολογικά αναπτυγμένες χώρες στην κατάστροψη προγραμμάτων για εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Η επιδίωξη να συμπεσθεί το κόστος της αρχικής εγκατάστασης με την κατασκευή μονάδων μεγαλύτερης ισχύος, αντιμετώπισε την επίλυση δύσκολων τεχνικών προβλημάτων και την αναζήτηση ανθεκτικότερων υλικών. Η προσπάθεια αυτή είχε να ανταγωνισθεί και την επέκταση των δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, με αποτέλεσμα τελικά να χαθεί το ενδιαφέρον ακόμα και για μικροεφαρμογές εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας. Τελικά το ενδιαφέρον περιορίστηκε στην εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας σε απομονωμένες περιοχές.

Όμως οι συνεχείς ενεργειακές κρίσεις με τις αλλεπάλληλες αυξήσεις της τιμής του πετρελαίου και η τεχνολογική πρόοδος που σημειώνεται, δρα ευνοϊκά ώστε σήμερα να δικαιολογείται η προσπάθεια εξάπλωσης των ανεμοκινητήρων για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, αλλά και της τυποποίησης στην κατασκευή.

Η κινητική ενέργεια του ανέμου οφείλεται στην ηλιακή ακτινοβολία. Περίπου το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η ισχύς των ανέμων σ' όλη τη γη υπολογίζεται σε  $3.6 \cdot 10^9$  MW. Ενδεικτικά οι ενεργειακές ανάγκες των Η.Π.Α. είναι μόλις το 12% της ενέργειας των ανέμων που πνέουν εκεί, γεγονός που αποδεικνύει πόσο πλούσια πηγή ενέργειας είναι ο άνεμος. Παράλληλα η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα ότι δίνει απ' ευθείας μηχανική ενέργεια μία «αναβαθμισμένη» κατά την τεχνική ορολογία, μορφή ενέργειας που με πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης και απλά μέσα μετατρέπεται σε οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας.

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

### 1.3 Ενεργειακός χάρτης της χώρας.

Η εξυπηρέτηση των ενεργειακών αναγκών της χώρας βασίζεται σε:

- στερεά καύσιμα κατά 20%
- υγρά καύσιμα κατά 75%
- υδροηλεκτρική ενέργεια κατά 5%

Τα γνωστά αποθέματα λιγνίτη στη χώρα μας είναι  $5 \cdot 10^9$  tn και συνεπώς με τον σημερινό ρυθμό κατανάλωσης στερεών καυσίμων επαρκούν για 100 - 150 χρόνια.

Από διαγράμματα απόδοσης που δίδονται από το υπουργείο βιομηχανίας για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι τον καταναλωτή και εκμετάλλευσης από διάφορους τύπους ηλεκτρικών μηχανών, βγαίνει το συμπέρασμα ότι ο βαθμός χρήσης της ενέργειας είναι μόνο 30% ενώ το υπόλοιπο 70% αποτελεί ενεργειακή απώλεια. Αντίστοιχα συμπεράσματα εξάγονται και για τις θερμικές μηχανές, ίσως και με χαμηλότερο βαθμό απόδοσης. Σε συνδυασμό με την παρατήρηση αυτή είναι χρήσιμο να αναφερθεί ότι ο βαθμός χρήσης 1 Kg πετρελαίου στις διάφορες χρήσεις είναι πολύ μικρός ως:

- θέρμανση χώρων 6%
- θέρμανση νερού 3%
- αυτοκίνητο 10%
- παραγωγή χαρτιού 1%

με γενικό μέσο όρο γύρω στο 8%, πράγμα που σημαίνει ότι από το 1 Kg πετρέλαιο που καταναλώνεται χρησιμοποιούνται επωφελώς μόνο τα 80 γραμμάρια ενώ το υπόλοιπο αποτελεί απώλεια.

Αναφορικά με τις δραστηριότητες που πρέπει να αναληφθούν για την ανάπτυξη εγχώριας τεχνολογίας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ας αναφερθεί χαρακτηριστικά το παράδειγμα της Δανίας όπου για τις ανεμογεννήτριες:

α) Μέρος της φορολογικής επιβάρυνσης των πετρελαιοειδών χρησιμοποιείται για χρηματοδότηση της έρευνας για ανάπτυξη της τεχνολογίας ανανεώσιμων μορφών ενέργειας και κατασκευή προτύπων μονάδων.

β) Η Δανία με ένα συνεπές πρόγραμμα εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μείωσε την πετρελαϊκή της εξάρτηση από 93% που ήταν το 1972, στα 78% το 1978 με στόχο το 2010 η συμβολή του πετρελαίου στην κάλυψη των ενεργειακών της αναγκών να κατεβεί κάτω του 40% ενώ το υπόλοιπο θα συμπληρώνεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, κυρίως αιολική [31].

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα κατά το έτος 2005 κυμάνθηκε στα επίπεδα των 55.000 GWh, δηλαδή οι ρυθμοί αύξησης της ζήτησης και αιχμής του φορτίου κυμάνθηκαν στα επίπεδα των ρυθμών της περιόδου 2000 – 2004 με τάση μικρής επιβράδυνσης της αύξησης ζήτησης ενέργειας.

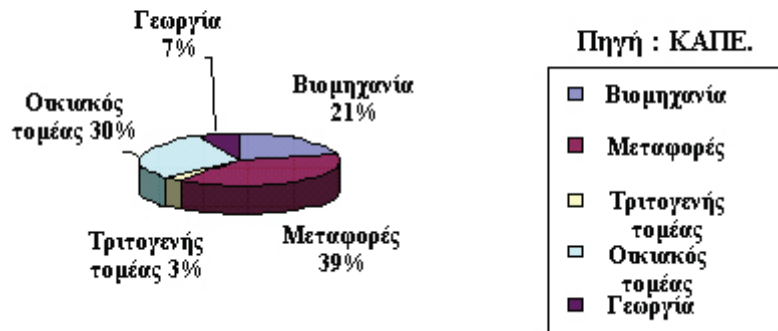
Πίνακας 1.1 Ετήσιος ρυθμός αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα.

Έτος	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Ρυθμός αύξησης	4,47	4,55	5,67	6,4	8,8	5,5	6,1	4,72	4,69	4,57

Πηγή : “Το δυναμικό των εγχώριων ενεργειακών πόρων” 5ο συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας.

Ενεργειακές μελέτες για τη Ελλάδα αποδεικνύουν ότι η χώρα μας μπορεί να καλύψει με μεγάλες ανεμογεννήτριες τουλάχιστον το 10% των ενεργειακών της αναγκών, ενώ τα νησιά του Αιγαίου τα οποία έχουν πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό αν διασυνδεθούν με το εθνικό ηλεκτρικό δίκτυο μπορούν να αποτελέσουν αιολικούς σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αντίστοιχους με τους θερμοηλεκτρικούς της ενδοχώρας [7]. Στο σχήμα 1.2 φαίνεται η κατανομή ζήτησης ενέργειας στον Ελλαδικό χώρο [44].

### Κατανομή τελικής ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα (2002)



Σχήμα 1.2. Κατανομή ζήτησης ενέργειας στην Ελλάδα.

Τα προγράμματα που υπάρχουν ανά τον κόσμο για την αιολική ενέργεια αποδεικνύουν ότι η τεχνολογία της ωριμάζει και ότι σήμερα το κόστος της παραγόμενης αιολικής KWh είναι μικρότερο του κόστους της KWh των συμβατικών σταθμών για περιοχές καλού αιολικού δυναμικού. Αυτό που απαιτείται είναι σαφής πολιτική βούληση ανάπτυξης της αιολικής ενέργειας και σαφές πρόγραμμα και σε άλλους τομείς όπως ο χώρος της γεωργίας.

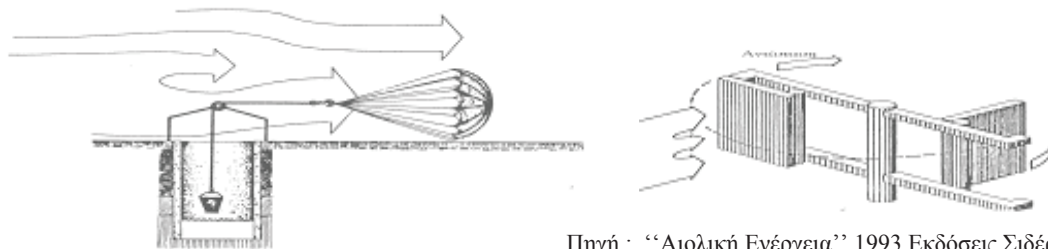
#### 1.4 Γνωριμία με τους ανεμοκινητήρες.

Οι ανεμοκινητήρες αναπτύχθηκαν από αρχαιοτάτων χρόνων και για πολλούς αιώνες χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα ιδιαίτερα σε αγροτικές εφαρμογές. Η εποχή άλλωστε, που έγινε πολύ εκτεταμένη χρήση ανεμόμυλων, είναι σχετικά πρόσφατη. Για παράδειγμα στις Η.Π.Α κατασκευάστηκαν περίπου έξι εκατομμύρια ανεμόμυλοι μεταξύ 1880 και στον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο. Μετά τον πόλεμο η χρήση τους αρχίζει να υποχωρεί και οι βασικοί λόγοι που οδήγησαν στο γεγονός αυτό είναι δύο. Ο πρώτος είναι η ανάπτυξη άλλων μορφών ενέργειας που παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα και ταυτόχρονα είναι απαλλαγμένες από την περιοδική εμφάνιση του ανέμου, δηλαδή παρουσιάζουν μεγαλύτερη αξιοπιστία διαθεσιμότητας. Ο δεύτερος βρίσκεται στη δημιουργία εκτεταμένων ηλεκτρικών δικτύων, που φθάνουν ακόμα και στα πιο απομακρυσμένα και απομονωμένα μέρη. Με αυτά τα δεδομένα έπαυσε κάθε ενδιαφέρον γύρω από ανεμόμυλους για περίπου τριάντα χρόνια, μετά τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο. Όμως την τελευταία εικοσαετία το ενδιαφέρον σχετικά με την αιολική ενέργεια γνωρίζει νέα άνθιση. Έναυσμα έδωσε η πετρελαϊκή κρίση του 1973. Το κίνητρο ήταν καθαρά οικονομικό γιατί έπρεπε να βρεθούν και να αξιοποιηθούν νέες πηγές ενέργειας. Στη συνέχεια εμφανίστηκε και ένας νέος παράγοντας, που αυτή τη φορά ήταν οικολογικός. Η προστασία του φυσικού περιβάλλοντος άρχισε να απασχολεί έντονα τόσο τους επιστήμονες όσο και την κοινή γνώμη.

Έτσι δημιουργήθηκε νέο ενδιαφέρον για ήπιες μορφές ενέργειας, οι οποίες έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό που τις κάνει ιδιαίτερα ελκυστικές, είναι ανανεώσιμες. Κάτω από αυτές τις συνθήκες οι ανεμόμυλοι ξεπέρασαν το προηγούμενο στάδιό τους (που τους ήθελε σχεδόν αποκλειστικά σε αγροτικές εφαρμογές), και μπήκαν στη (συμ)παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Η έρευνα πάνω σε θέματα αιολικής ενέργειας καθώς και η εξέλιξη της τεχνολογίας είχαν σαν αποτέλεσμα οι σημερινοί ανεμοκινητήρες να μοιάζουν ελάχιστα ή και καθόλου με τους παραδοσιακούς ανεμόμυλους. Χαρακτηριστική είναι η διαφορά που υπάρχει στην αρχή λειτουργία τους. Οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι

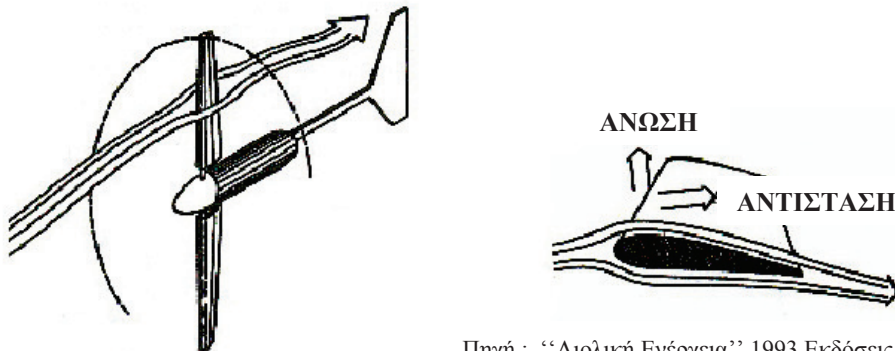
κινούνται είτε με τη βοήθεια της αντίστασης των περυγίων τους στον άνεμο, είτε με (κακή) εκμετάλλευση της άνωσης που ασκείται πάνω τους, σχήμα 1.3.



Πηγή : “Αιολική Ενέργεια” 1993 Εκδόσεις Σιδέρη

Σχήμα 1.3. Εκτέλεση έργου με εκμετάλλευση της αεροδυναμικής αντίστασης.

Στους σύγχρονους ανεμοκινητήρες σχήμα 1.4 η κίνηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στην άνωση. Η υπεροχή των σημερινών μονάδων γίνεται προφανής, αν ληφθεί υπ’ όψη ότι σε μια αεροτομή η άνωση μπορεί να γίνει υπερδεκαπλάσια της αντίστασης [20].



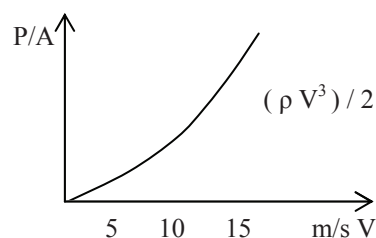
Πηγή : “Αιολική Ενέργεια” 1993 Εκδόσεις Σιδέρη

Σχήμα 1.4. Εκμετάλλευση άνωσης για παραγωγή έργου.

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

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

όπου  $P$  η ισχύς που αποδίδεται από τον ανεμοκινητήρα ως προς την ισχύ που έχει ο άνεμος ταχύτητας  $V$  και που περνάει από τον ανεμοκινητήρα μετωπικής επιφάνειας  $A$ , ενώ με  $\rho$  συμβολίζεται η πυκνότητα του αέρα. Η ισχύς του ανέμου ανά τετραγωνικό μέτρο μετωπικής επιφάνειας (δρομέα) είναι ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου και στο σχήμα 1.5 παρουσιάζεται μια τυπική μεταβολή.

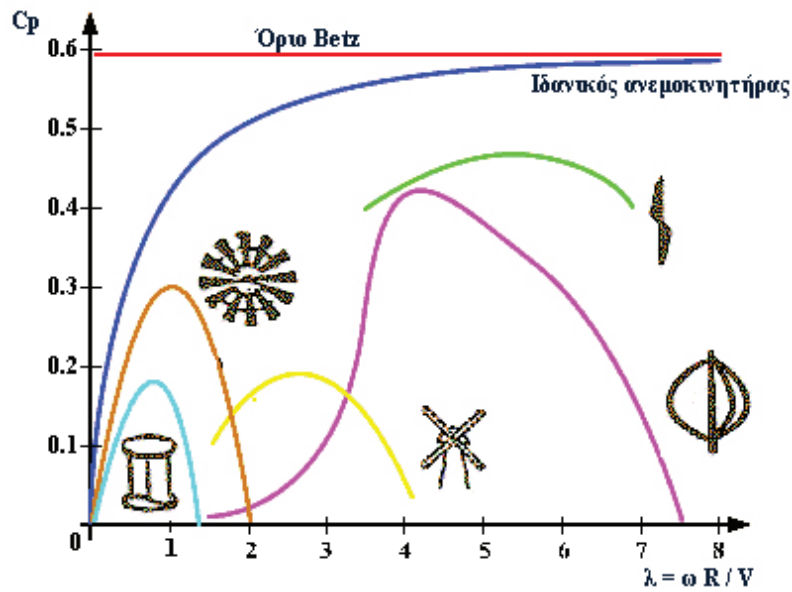


Σχήμα 1.5. Κυβική σχέση ισχύος και ταχύτητας ανέμου.



Για ανεμοκινητήρα γνωστών γεωμετρικών χαρακτηριστικών ο συντελεστής ισχύος  $C_p$  αποτελεί μονοπαραμετρική συνάρτηση της αδιάστατης ταχύτητας ακροπτερυγίου  $\lambda$  ( $\lambda = \omega R / V$ ) όπου  $\omega$  η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα και  $R$  η ακτίνα του, ενώ όπως προαναφέρθηκε το  $V$  είναι η ταχύτητα του ανέμου.

Στο σχήμα 1.6 δίνονται ενδεικτικά οι τυπικές καμπύλες του συντελεστή ισχύος για διάφορα είδη ανεμοκινητήρων. Φαίνεται καθαρά ότι οι σύγχρονοι ανεμοκινητήρες υπερέχουν των παραδοσιακών διότι παρουσιάζουν μεγαλύτερους συντελεστές ισχύος και μάλιστα σε μεγάλη περιφερειακή ταχύτητα δρομέα. Ο μέγιστος συντελεστής ισχύος ανεμοκινητήρα είναι στην ιδανικότερη των περιπτώσεων 59% περίπου [24].



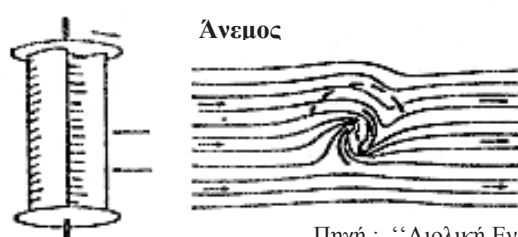
Σχήμα 1.6. Συντελεστής ισχύος  $C_p$  ως συνάρτηση της περιφερειακής ταχύτητας του ακροπτερυγίου και της ταχύτητας του ανέμου.

Στις μέρες μας ο πιο γνωστός τύπος ανεμοκινητήρα, που έχει εφαρμοστεί ευρύτατα στην πράξη, είναι δρομέα οριζοντίου άξονα, σχήμα 1.7α και θυμίζει έντονα έλικα αεροπλάνου. Γύρω στο 1970 εμφανίζεται στο προσκήνιο ένας νέος τύπος ανεμοκινητήρα με δρομέα κατακόρυφου άξονα περιστροφής και καμπύλα πτερύγια. Ο ανεμοκινητήρας αυτός αποτελεί εξέλιξη μιας παλιάς ιδέας του Γάλλου G. Darrieus που είχε και τη σχετική πατέντα από το 1931, σχήμα 1.7β. Η μορφή των πτερυγίων του δρομέα Darrieus είναι τέτοια ώστε να μην αναπτύσσονται σχεδόν καθόλου καμπτικές τάσεις από τις φυγόκεντρες δυνάμεις που δημιουργεί η περιστροφή.



Σχήμα 1.7. Οι δύο επικρατέστεροι τύποι ανεμοκινητήρων, α) οριζοντίου άξονα και β) κατακόρυφου άξονα.

Ένας τρίτος τύπος ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα είναι αυτός που φαίνεται στο σχήμα 1.8 και καλείται Savonius. Ο ανεμοκινητήρας αυτός βασίζει την κίνησή του στην αντίσταση που παρουσιάζει στη ροή και όχι στην άνωση. Αυτός είναι και ο λόγος που έχει πολύ χαμηλότερο βαθμό απόδοσης από τους άλλους δύο τύπους όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.6.



Πηγή : “Αιολική Ενέργεια” 1993 Εκδόσεις Σιδέρη

Σχήμα 1.8. Ανεμοκινητήρας κατακόρυφου άξονα τύπου Savonius.

## 1.5 Εφαρμογές των ανεμοκινητήρων σήμερα.

Η κλιμάκωση των ανεμοκινητήρων σύμφωνα με τις κατασκευές που έχουν γίνει σήμερα γίνεται βάσει της ισχύος τους. Στη γεωργία ανεμοκινητήρες μικρής ισχύος χρησιμοποιούνται σε απομονωμένες περιοχές για κάλυψη αγροτικών ή κτηνοτροφικών αναγκών, ιδιαίτερα για άντληση και θέρμανση νερού, θέρμανση κατοικίας, φωτισμό και άλλες μικροεφαρμογές καθώς επίσης και σε αναπτυσσόμενες τουριστικές περιοχές όπου ευνοείται ο αγροτουρισμός. Τις περισσότερες φορές η λύση αυτή είναι και η οικονομικότερη. Οι ανεμοκινητήρες του τύπου αυτού είναι ανεξάρτητοι, μη συνδεδεμένοι με δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και χρησιμοποιούν γεννήτρια συνεχούς ρεύματος που φορτίζει συσσωρευτές.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με ανεμοκινητήρες μπορεί να γίνεται σε συνεργασία με δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

Διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

- α) Λειτουργία ανεμοκινητήρα για εξοικονόμηση καυσίμου. Ο τρόπος αυτός λειτουργίας παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για πολλά μέρη της Ελλάδος όπου επικρατούν ισχυροί άνεμοι και το κόστος της παραγόμενης KWh είναι υψηλό λόγω του αυξημένου κόστους του καυσίμου λόγω δυσκολιών μεταφοράς.
- β) Λειτουργία ανεμοκινητήρα ως βοηθητικός του σταθμού βάσης λαμβάνοντας υπόψη ότι η εγκατεστημένη ισχύς της Μ.Ε.Κ. ή άλλης μονάδας μειώνεται κατά ποσοστό της ονομαστικής ισχύος του ανεμοκινητήρα.
- γ) Λειτουργία αυτόνομη και ανεξάρτητη από το ηλεκτρικό δίκτυο για παραγωγή ηλεκτρισμού ή απευθείας μηχανικής κίνησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από αρδευτικά συγκροτήματα, αφαλάτωση κ.α..

### 1.5.1 Εφαρμογές άντλησης.

Χαρακτηριστική περίπτωση είναι «το οροπέδιο με τους 10.000 ανεμόμυλους» όπως αποκαλείται το οροπέδιο του Λασιθίου της Κρήτης λόγω του αριθμού των ανεμόμυλων που χρησιμοποιούνται εκεί για άρδευση. Πιο μοντέρνες παραλλαγές εφαρμογής άντλησης είναι τα συστήματα άντλησης με ανεμοκινητήρες με σκοπό την άντληση νερού και κατόπιν την με μεγάλη πίεση εκτόξευσή του ως τεχνητή βροχή για άρδευση. Εκτός των αυτονόμων αυτών μονάδων στις εφαρμογές άντλησης, είναι δυνατή η συνεργασία αιολικών συστημάτων με ντιζελοκίνητες ή ηλεκτροκίνητες μονάδες άντλησης με σκοπό την εξοικονόμηση καυσίμου ή ηλεκτρικής ενέργειας.

Στις εφαρμογές άντλησης μπορούν να αναφερθούν και σύγχρονα συστήματα αφαλάτωσης στα οποία ο ανεμοκινητήρας μέσω αντλιών προωθεί (υφάλμυρο ή αλμυρό) νερό σε μεμβράνες αντίστροφης ώσμωσης κατακρατώντας άλατα και προσμίξεις, εξάγοντας πόσιμο νερό.

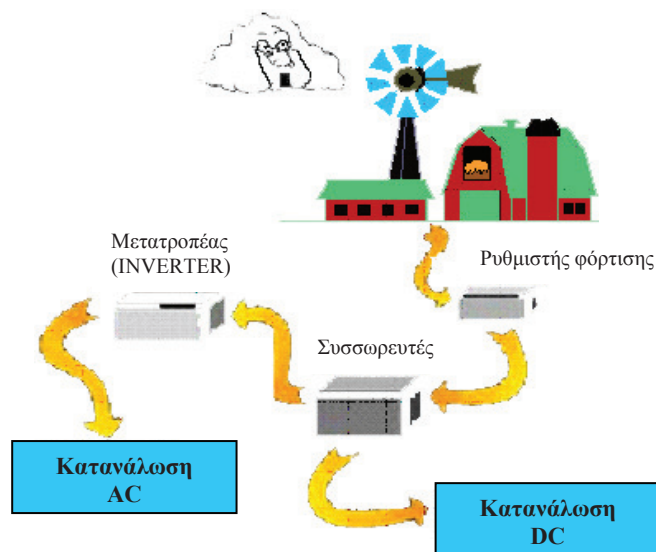
Η οξυγόνωση του νερού μεγάλων μονάδων ιχθυοκαλλιέργειας καθώς και λιμνών μπορεί να συνδυαστεί με βοηθητικά συστήματα ανεμοκινητήρα-αντλίας.

### 1.5.2 Εφαρμογές θέρμανσης.

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

### 1.5.3 Εφαρμογές παραγωγής ηλεκτρισμού.

Η μηχανική ενέργεια του δρομέα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Το παραγόμενο ρεύμα μπορεί να χρησιμοποιείται για τη φόρτιση συσσωρευτών (μικρές μονάδες 6,12,24,40,80,110V) σχήμα 1.9 ή να διοχετεύεται απ' ευθείας, στην ηλεκτρική εγκατάσταση, οπότε στην



Σχήμα 1.9. Αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές και κατανάλωση από καταναλωτές συνεχούς ή εναλλασσόμενης τάσης.

περίπτωση όπου γίνεται συνδυασμός με ηλεκτρογεννήτρια - Μ.Ε.Κ έχουμε εξοικονόμηση καυσίμου, σε συνδυασμό με το δίκτυο της Δ.Ε.Η. έχουμε μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ή σε αυτόνομες εγκαταστάσεις γίνεται απευθείας κατανάλωση.

Μια άλλη δυνατότητα με πολύ καλές προοπτικές είναι η χρήση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας για ηλεκτρόλυση νερού και η αποθήκευση του παραγόμενου υδρογόνου και οξυγόνου. Το υδρογόνο θα μπορούσε να μεταφερθεί σε άλλες θέσεις για καύση (π.χ. Μ.Ε.Κ.). Τελευταία πολλές γαλλικές αυτοκινητοβιομηχανίες μελετούν, σχεδιάζουν και βγάζουν στην παραγωγή πυρήνες (κυψέλες fuel - cells) καύσης υδρογόνου οι οποίοι παράγουν ηλεκτρική ισχύ. Το βασικό πρόβλημα στην όλη κατασκευή είναι η αποθήκευση του υδρογόνου λόγω του υψηλού βαθμού εκρηκτικότητας.

## **1.6 Προοπτικές εφαρμογής των ανεμοκινητήρων στην Ελληνική γεωργία.**

Η χώρα μας βρίσκεται στην εύκρατη ζώνη όπου επικρατούν καλής ταχύτητας άνεμοι, συγχρόνως όμως έχει και ευνοϊκή διαμόρφωση εδάφους που συμβάλλει στην επαύξηση της αιολικής ενέργειας. Πολλές ορεινές, πεδινές και παραθαλάσσιες περιοχές προσφέρονται για εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου και εξασφαλίζουν ευνοϊκές συνθήκες.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας θα μπορούσε να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των αναγκών και να γίνει πηγή εθνικού πλούτου.

Σήμερα οι ανάγκες των νησιών σε ενέργεια καλύπτονται από αυτόνομους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίοι είναι τοπικοί Διζελο-ηλεκτρικοί σταθμοί, εκτός από Κρήτη και Ρόδο, ενώ μερικά νησιά που είναι κοντά στην ηπειρωτική πλευρά έχουν συνδεθεί και τροφοδοτούνται από τα κεντρικά δίκτυα. Για πολλά χρόνια προβλέπεται ότι τα νησιά που είναι απομακρυσμένα από την ηπειρωτική Ελλάδα, θα στηρίζουν την κάλυψη των ενεργειακών τους αναγκών στην αυτόνομη παραγωγή και θα παραμένουν ανεξάρτητα από το εθνικό δίκτυο.

Οι δαπάνες για προμήθεια και εγκατάσταση μονάδων παραγωγής ηλεκτρισμού σε νησιωτικές περιοχές, αγορά και μεταφορά καυσίμων, λειτουργία και συντήρηση των μονάδων, για εξυπηρέτηση μικρών φορτίων με μεγάλες μεταβολές (που εμφανίζονται συνήθως σε περιόδους μεγάλης τουριστικής κίνηση), επιβαρύνουν υπέρμετρα το κόστος της παραγωγής. Ανάλογα είναι τα προβλήματα και σε απομακρυσμένες αγροκτηνοτροφικές ορεινές περιοχές λόγω πολλές φορές ανυπερβλήτων γεωλογικών εμποδίων, αλλά και η ανάγκη επέκτασης των δικτύων για εξυπηρέτηση των διασπαρμένων καταναλωτών δημιουργεί μεγάλο κόστος. Για όλα αυτά χρειάζεται διερεύνηση και αναζήτηση της πιο πρόσφορης λύσης μέσα σε πλαίσιο οικονομικά αποδεκτό. Περιοχές που βρίσκονται μακριά από τις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, ή μικρά νησάκια που δεν δικαιολογείται η εγκατάσταση αυτόνομου σταθμού μπορούν να εξυπηρετηθούν με μικρές ανεμογεννήτριες ικανές να καλύψουν ανάγκες φωτισμού, άντλησης νερού, θέρμανσης και ψύξης για συντήρηση τροφίμων. Οι νέες τεχνολογίας ανεμογεννήτριες της ισχύος αυτής λειτουργούν και σε μικρές ταχύτητες ανέμου, έχοντας απλή και ανθεκτική κατασκευή, ενώ για τις ανάγκες φωτισμού όταν υπάρχει άπνοια χρησιμοποιούν συστοιχία συσσωρευτών.

Επομένως οι ανεμογεννήτριες μικρής ισχύος μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ενεργειακή εξυπηρέτηση απομακρυσμένων περιοχών, τόσο στον νησιωτικό όσο και στον ηπειρωτικό χώρο, καλύπτοντας γεωργικές απαιτήσεις και όχι μόνο.

Ο τύπος της ανεμογεννήτριας ο οποίος κυρίως μας ενδιαφέρει στον ελλαδικό χώρο σε μεμονωμένες και ημιαυτόνομες εγκαταστάσεις είναι αυτός των μέσων ισχύων, ο οποίος λειτουργεί παράλληλα με ηλεκτρικό δίκτυο ή Μ.Ε.Κ..

## **1.7 Κινητικότητα στον διεθνή και ελληνικό χώρο.**

Το 1973 άρχισε στις Η.Π.Α. από το National Science Foundation (Εθνικό Ίδρυμα Επιστημών) η χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων για ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και αργότερα δόθηκαν σημαντικότερες χρηματοδοτήσεις από το Υπουργείο Ενέργειας. Από το 1980 και μετά η κυβερνητική χρηματοδότηση διακόπηκε επειδή αποδείχθηκε πλέον η δυνατότητα των αιολικών συστημάτων να συναγωνισθούν οικονομικά τις συμβατικές μορφές ενέργειας, οπότε η παραπέρα τεχνολογική ανάπτυξη αφέθηκε στην ιδιωτική πρωτοβουλία [35].

Αντίθετα στον ευρωπαϊκό χώρο τα πρώτα χρόνια η κρατική χρηματοδότηση ερευνητικών προγραμμάτων, για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας υπήρξε ανεπαρκής και η όλη προσπάθεια σχεδίασης και κατασκευής ανεμοκινητήρων αφέθηκε στην ιδιωτική πρωτοβουλία. Από το 1980 όμως η Ευρωπαϊκή Κοινότητα άρχισε την χρηματοδότηση τόσο των ερευνητικών προγραμμάτων αιολικής ενέργειας, όσο και την κατασκευή προτύπων μονάδων μεσαίου και μεγάλου μεγέθους [35].

### **1.7.1 Η κατάσταση στις Η.Π.Α.**

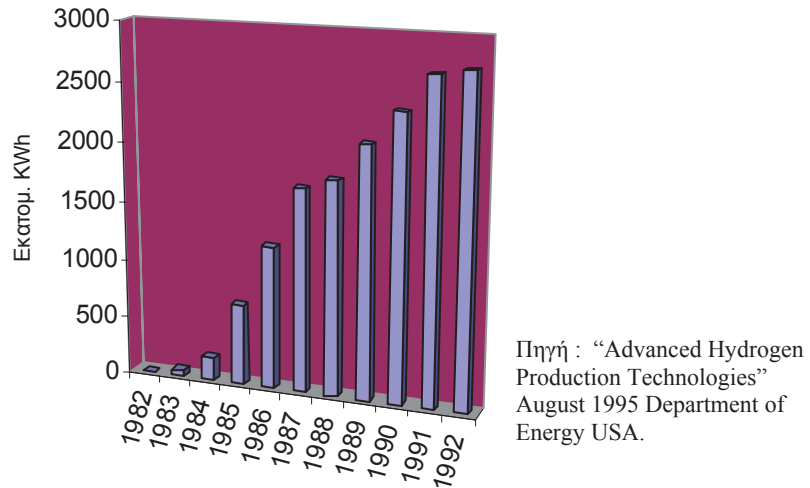
Μέχρι τα μέσα του 19ου αιώνα περισσότεροι από 6.000.000 μικροί ανεμόμυλοι, μικρότεροι του 1 HP ο καθένας, είχαν κατασκευασθεί και χρησιμοποιηθεί στις Η.Π.Α για άντληση νερού, παραγωγή ηλεκτρισμού κ.λ.π.. Πάνω από 150.000 βρίσκονται ακόμα και σήμερα σε λειτουργία.

Οι τύποι που συνήθως χρησιμοποιήθηκαν για την άντληση νερού έχουν πτερωτές με πολλά μεταλλικά πτερύγια, διαμέτρου 12-16ft (3,6-4,8m), που είναι ανυψωμένες σε πύργο και έχουν ουραίο καθοδηγητικό πτερύγιο για να κρατούν την πτερωτή στην επιθυμητή, κάθετη, θέση προς τον άνεμο. Η κίνηση του άξονα του δρομέα μέσω οδοντοτροχών και αξόνων μεταδίδεται σε μία αντλία στη βάση του πύργου για την άντληση νερού.

Μικροί ανεμοκινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος είχαν συνήθως 2 ή 3 πτέρυγες και μεταφέρουν την κίνηση του άξονα μέσω μιας σειράς από οδοντοτροχών σε μία γεννήτρια DC. Συνήθως ήταν συνδεδεμένοι και με κάποιο σύστημα αποθήκευσης της ενέργειας, που συχνά αποτελείται από συσσωρευτές.

Η μεγαλύτερη ανεμογεννήτρια που κατασκευάστηκε τις αρχές της δεκαετίας του 1930 ήταν η Smith-Putnam, που ήταν προϊόν της συνεργασίας του Palmer Putnam και του καθηγητού της αεροδυναμικής Theodore von Karman και λειτούργησε γύρω στο 1940. Ο δρομέας είχε δυο πτερύγια και διάμετρο 175 ft (53.34m), ζύγιζε 16 tn, λειτούργησε στην ρυθμιζόμενη ταχύτητα των 175 r.p.m. και παρήγαγε 1.25 MW A.C. ρεύματος. Η λειτουργία της κράτησε μόνο 5 χρόνια αφού μετά από σπάσιμο μίας πτέρυγες δεν επιδιορθώθηκε λόγω έλλειψης υλικών (ήταν στο τέλος του πολέμου) και λόγω ότι δεν μπορούσε να συναγωνιστεί σε απόδοση τα συμβατικά εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Η γνωστή ενεργειακή κρίση του 1973 έδωσε μία ώθηση στα ερευνητικά προγράμματα για την αιολική ενέργεια.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η διάμετρος του δρομέα και η ονομαστική ισχύς των ανεμοκινητήρων παρ' όλη την τεχνολογική εξέλιξη μέχρι και σήμερα δεν έχει ξεπεράσει κατά πολύ τα επιτεύγματα της τεχνολογίας του 1980 και αυτό λόγω τεχνικών και οικονομικών προβλημάτων.



Σχήμα 1.10. Ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Καλιφόρνια.

Το σχήμα 1.10 παρουσιάζει την ετήσια παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικούς σταθμούς από το 1983 μέχρι το 1992 στην πολιτεία της California, στις περιοχές (Solano, Altamont, Pacheco, Tehachapi, San Gorgonio).

### 1.7.2 Η κατάσταση στις Ευρωπαϊκές Κοινότητες.

#### Δανέζικη εμπειρία

Το 1860 η Κυβέρνηση της Δανίας ξεκίνησε ένα μεγάλο πρόγραμμα για να φτιάξει βελτιωμένους, μεγάλων διαστάσεων, ανεμοκινητήρες για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μέχρι το 1910 είχαν εγκατασταθεί εκατοντάδες τέτοια συστήματα. Οι ανεμοκινητήρες που σχεδιάστηκαν από τον καθηγητή La Cour, ήταν τετραπερυγοί και είχαν πύργο ύψους 80 ft (24.4m) με διάμετρο πτερωτής 75 ft (22.8m). Η κίνηση με διάφορους μηχανισμούς μεταφερόταν στη γεννήτρια που βρίσκονταν στη βάση του πύργου στο έδαφος. Οι ανεμοκινητήρες αυτοί είχαν ισχύ περίπου 25 Kw. Κατά τη διάρκεια του πρώτου και δεύτερου παγκοσμίου πολέμου βελτιωμένες ανεμογεννήτριες αυτού του τύπου κάλυπταν ένα μικρό ποσοστό της συνολικής ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα. Μετά το τέλος του πολέμου οι Δανοί κατασκεύασαν τρεις πειραματικές μονάδες ισχύος 12, 45 και 200 KW, που ήταν συνδεδεμένες με το δημόσιο ηλεκτρικό δίκτυο. Τα συστήματα αυτά δούλεψαν μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1960 οπότε αποδείχθηκε ότι το κόστος της παραγόμενης ενέργειας ήταν υψηλότερο του κόστους της KWh των κλασικών θερμοηλεκτρικών σταθμών.

Στην τελευταία εικοσαετία τα προγράμματα για εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας τέθηκαν σε νέες βάσεις. Σημαντικό ρόλο στην προσπάθεια εκμετάλλευσης του ανέμου παίζει και ο σχετικός νόμος που έχει ψηφισθεί και που σύμφωνα με τον οποίο ο ιδιοκτήτης αιολικής μηχανής:

- (α) επιδοτείται από το κράτος με το 30% της αξίας
- (β) έχει φορολογικές απαλλαγές τα πρώτα πέντε χρόνια
- (γ) μπορεί να πουλάει την ενέργεια που του περισσεύει και
- (δ) όταν χρειάζεται ενέργεια την αγοράζει με μεγάλη έκπτωση.

Η νομοθεσία αυτή είχε ως αποτέλεσμα την άνθιση της βιομηχανίας αιολικών μηχανών με όλα τα οικονομικά για το κράτος επακόλουθα, ενώ όλοι αυτοί οι παράγοντες συντέιναν ώστε σήμερα η Δανία να είναι μετά την California η χώρα με τις περισσότερες εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες και η χώρα που εξάγει στις Η.Π.Α. τις περισσότερες αιολικές μηχανές.

#### Βρετανική εμπειρία

Στην Αγγλία στα τέλη του 1940 και κατά την δεκαετία του 1950 έγινε σημαντική δουλειά στον τομέα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο. Από το 1977 είχε αρχίσει η μελέτη αιολικής μηχανής με διάμετρο πτερωτής 60 m και ονομαστικής ισχύος 3 MW. Η εγκατάσταση της έγινε στο νησί Orkney το 1988. Όμως η πραγματική πρωτοτυπία των Βρετανών βρίσκεται στο σύστημα που έγινε γνωστό με το όνομα Musgrove σχήμα 8. Πρόκειται για μια ανεμογεννήτρια κατακόρυφου άξονα που το σχήμα των πτερυγίων της μεταβάλλεται ως συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου και η ονομαστική της ισχύς φθάνει τα 4.4 MW. Για το μέλλον προβλέπεται η κατασκευή αιολικού πάρκου από τέτοιες μηχανές ειδικά σε παράκτιες ή αβαθείς θαλάσσιες περιοχές με ετήσια παραγωγή 400 GWh.

#### Γερμανική εμπειρία

Οι Γερμανοί υπό την καθοδήγηση του καθηγητή Ulrich Hutter, εισήγαγαν διάφορες βελτιώσεις στα σχέδια των ανεμοκινητήρων, δίνοντας βάση στην κατασκευή ελαφρών δρομέων σταθερής ταχύτητας. Αυτές οι μηχανές είχαν μικρού βάρους πτερύγια από υαλόνημα και πλαστικό, μαζί με μια γεννήτρια ανυψωμένη σ' ένα κοίλο πύργο μικρής διαμέτρου που δενόταν με συρμάτινα επίτονα. Η εργασία αυτή έδωσε μερικούς από τους πιο καλούς ανεμοκινητήρες που είχαν γίνει ποτέ. Η χρήση υαλονήματος για την κατασκευή των πτερυγίων είχε σαν αποτέλεσμα μικρότερο βάρος και λιγότερες αστοχίες στα πτερύγια από αυτές που είχαν εμφανιστεί σε βαρύτερες μηχανές άλλων χωρών. Το 1983 κατασκευάστηκε η ανεμογεννήτρια Growian 100, ισχύος 3MW και διαμέτρου δρομέα 100 m. Χαρακτηριστικό αυτής της κατασκευής ήταν το υψηλό της κόστος, γεγονός που απέτρεψε την μαζική παραγωγή της. Η ίδια κατασκευάστρια εταιρεία, M.A.N. προχώρησε στην κατασκευή ενός μικρότερου πρότυπου ισχύος 1.2 MW και διαμέτρου δρομέα 60 m. Παράλληλα οι Γερμανοί, μελέτησαν ένα μονόπτερο δρομέα ακτίνας 24 m και ονομαστικής ισχύος 300 KW και την ενεργειακή μονάδα Cyclonico. Το σύστημα Cyclonico δεν θυμίζει τίποτα από τους γνωστούς δρομείς. Κάτω από μία τεράστια διαφανή χοάνη ο αέρας θερμαίνεται με ηλιακή ενέργεια, οπότε λόγω διαφοράς πίεσης στα δύο άκρα της «καμινάδας» ο αέρας ανέρχεται γυρνώντας ένα στρόβιλο.

#### Ολλανδική εμπειρία

Περίπου 10000 «παραδοσιακοί ανεμόμυλοι» λειτουργούσαν μέχρι τα τέλη του 19ου αιώνα στην Ολλανδία. Έτσι όταν άρχισε η σύγχρονη εκμετάλλευση του ανέμου, οι Ολλανδοί έκαναν πολύ σταθερά βήματα προς την κατεύθυνση αυτή.

Στο E.C.N. (ερευνητικό κέντρο στην πόλη Patten) είχαν κατασκευασθεί για

πειραματικούς σκοπούς ανεμοκινητήρες οριζοντίου άξονα με δύο πτερύγια, διαμέτρου 25 m και ονομαστικής ισχύος 300 KW. Ο ανεμοκινητήρας αυτός έδειξε πολύ καλή συμπεριφορά, έτσι η Ολλανδική κυβέρνηση χρηματοδότησε την κατασκευή αιολικού πάρκου από 18 τέτοιους ανεμοκινητήρες συνολικής ισχύος 5.4 MW. Μια άλλη πρόταση των Ολλανδών είναι τα «tip Vanes». Είναι μικρά πτερύγια, εγκάρσια τοποθετημένα στα ακροπτερύγια του ανεμοκινητήρα και χρησιμεύουν στην αύξηση της ροής μάζας μέσα από την επιφάνεια που διαγράφει η πτερωτή. Το ενδιαφέρον τους για την αιολική ενέργεια δημιούργησε κατασκευαστική δραστηριότητα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν στην Ολλανδία 15 κατασκευάστριες εταιρείες.

Μετά από αυτή την ερευνητική και βιομηχανική δραστηριότητα και δεδομένου ότι Ολλανδική νομοθεσία διευκολύνει την εγκατάσταση αιολικών μηχανών, στα τέλη της δεκαετίας του '90 οι Ολλανδοί ήταν σε θέση να ικανοποιούν από τον άνεμο το 10% περίπου της ζήτησης σε ηλεκτρική ενέργεια.

### Ελληνική εμπειρία

Πριν από το 1977 η δραστηριότητα στον ελληνικό χώρο σε περιοχές καλού αιολικού δυναμικού ήταν περιορισμένη, πλην ελαχίστων ατομικών προσπαθειών. Αξιόλογες μελέτες έγιναν στο Εργαστήριο Αεροδυναμικής του Ε.Μ.Π., με θεωρητική και πειραματική δραστηριότητα, κάνοντας εκτεταμένη χρήση της αεροδυναμικής σήραγγας του εργαστηρίου.

Για την διάδοση, αξιοποίηση και εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα, η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού, δημιούργησε ήδη από το 1981 ιδιαίτερη Διεύθυνση Εναλλακτικών Μορφών ενέργειας. Η διεύθυνση αυτή διεξάγει προκαταρκτικές ερευνητικές μελέτες για τη χαρτογράφηση του αιολικού δυναμικού της χώρας (Ελληνικός Αιολικός Άτλαντας), του εντοπισμού θέσεων. Παράλληλα με διεθνείς συνεργασίες ή και σε συνεργασία με ελληνικά πανεπιστήμια και ελληνικούς κατασκευαστικούς οίκους προχώρησε και προχωρεί στην εγκατάσταση αιολικών μηχανών διαφόρων ισχύων.

Το πρώτο αιολικό πάρκο της χώρας που λειτούργησε επί 5 χρόνια και έδωσε σημαντική εμπειρία ήταν το αιολικό πάρκο της Κύθνου με 5 ανεμογεννήτριες ονομαστής ισχύος 20 KW έκαστη. Οι ανεμογεννήτριες αυτές αντικαταστάθηκαν αργότερα από μεγαλύτερες ισχύος 33 KW. Στη Μύκονο λειτουργεί από το 1988 ανεμογεννήτρια ισχύος 100 KW, στην Κάρπαθο, υπάρχει Α/Γ ισχύος 175 KW, στο Λαύριο και στα Άνω Μούλια Κρήτης 500KW, ενώ στην Άνδρο είναι ισχύος 350 KW. Στη Σκύρο η εγκατεστημένη ανεμογεννήτρια οριζόντιου άξονα, φωτογραφία 1.11 είναι ελληνικής σχεδίασης και ελληνικής κατασκευής.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η εγκαταστημένη αιολική ισχύς στην ευρωπαϊκή κοινότητα το 1989 ήταν 215 MW, το 2000 πάνω από 4000 MW, με στόχο το 2010 να ξεπεράσει τα 12000 MW. Η σημαντική αυτή αύξηση οφείλεται ουσιαστικά στο ενδιαφέρον των ευρωπαϊκών κοινοτήτων για την μείωση της ενεργειακής εξάρτησης. Σύμφωνα με τα στοιχεία των πρόσφατων ετών για την πορεία της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στη χώρα, όπως αυτά καταγράφονται από την Δ.Ε.Η., η αύξηση της ζήτησης κατά το έτος 2000 κινήθηκε με ρυθμό 8,9%, κατά το έτος 2001 με ρυθμό 5.5% ενώ κατά το έτος 2002 με ρυθμό 6.1 %. Αντίστοιχα, η αιχμή του φορτίου αυξήθηκε κατά το έτος 2000 με ρυθμό 18%, κατά το έτος 2001 με ρυθμό 8% και κατά το έτος 2002 με ρυθμό 4%. Τα πραγματικά στοιχεία αυτά επιβεβαιώνουν τις προβλέψεις της μελέτης του Ε.Μ.Π. περί σημαντικής αύξησης της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα [31].





Φωτογραφία 1.11. Ανεμοκινητήρας ονομαστικής ισχύος 150KW, ελληνικής σχεδίασης και κατασκευής.

Όπως αναλύεται και στη μελέτη για το μακροχρόνιο ενεργειακό σχεδιασμό, σχέδιο του οποίου έχει εκπονήσει η Ρ.Α.Ε. με τη βοήθεια ειδικών συμβούλων, η αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα είναι μακροχρόνιο φαινόμενο, που συνδυάζεται με την βελτίωση του βιοτικού επιπέδου και της ποιότητας των υποδομών και με την αύξηση της παραγωγής στη χώρα [29].

Χώρα	Παγκόσμια αγορά Αιολικής Ενέργειας		
	Εγκατεστημένη Ισχύ (MW)		
	2002	2001	Δ%
Γερμανία	11.968	8.721	37,2%
Ισπανία	5.043	3.550	42,1%
Δανία	2.880	2.350	22,6%
ΗΠΑ	4.674	4.245	10,1%
Ινδία	1.702	1.482	14,8%
Ολλανδία	727	508	43,1%
Ιαπωνία	486	357	36,1%
Αυστραλία	189	70	170,0%
Ιταλία	806	700	15,1%
Ελλάδα	462	358	29,1%
Λοιπές Χώρες	3.100	2.468	25,6%
<b>Σύνολο</b>	<b>32.037</b>	<b>24.809</b>	<b>29,1%</b>

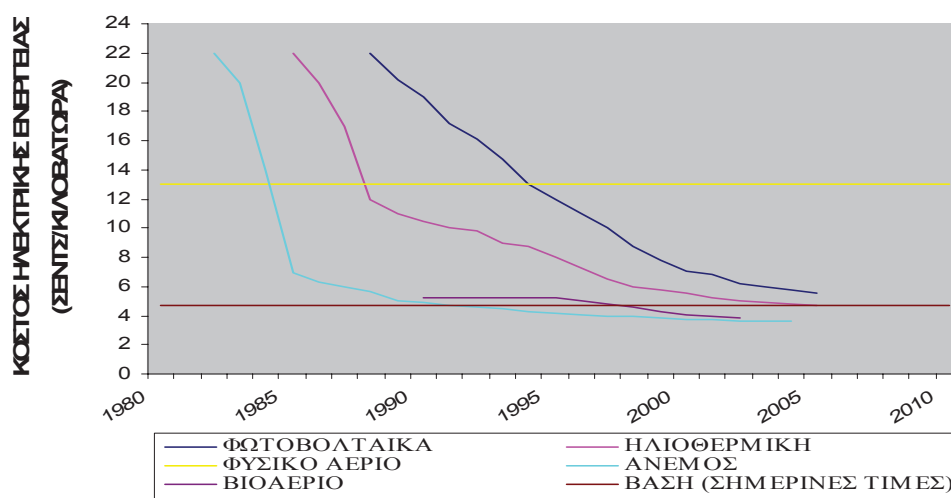
Πηγή : EWEA

Σχήμα 1.12. Εγκατεστημένη ισχύς σε διάφορες χώρες παγκοσμίως.

## 1.8 Οικονομικά στοιχεία.

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

Αν ληφθεί υπόψη ότι το κόστος της ηλεκτρικής KWh (ημερήσια χρέωση) κυμαίνεται από 0,0681€, μέχρι και 0,15€ (στα νησιά) τότε συμπεραίνουμε ότι σήμερα η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στη χώρα μας είναι οικονομικά συμφέρουσα.



Πηγή : Διεθνές Συνέδριο "Wind Power for the 21th Century"

Σχήμα 1.13. Ενδεικτικό κόστος Kwh από διάφορες πηγές ενέργειας.

Το σχήμα 1.13 παρουσιάζει προβλέψεις του 1999 που προέκυψαν από μελέτες Αμερικανικών πανεπιστημίων για το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες μορφές. Το διάγραμμα υποδεικνύει ότι από το 1995 και μετά η αιολική ενέργεια είναι οικονομικότερη μορφή ενέργειας τόσο όσο προς τις υπόλοιπες ανανεώσιμες μορφές όσο και ως προς τις συμβατικές [44].

## 1.9 Πολιτική για την προώθηση εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας στο χώρο της γεωργίας.

Τέλος αναφέρονται μερικά κίνητρα οικονομικής κυρίως φύσης που προτείνονται ή λήφθηκαν σε άλλες χώρες της Ευρώπης για την διάδοση χρήσης των ανεμοκινητήρων [15].

- φορολογικές απαλλαγές
- ταχύτερη απόσβεση μηχανολογικού εξοπλισμού
- δάνεια για αγορά αιολικών συστημάτων, με χαμηλό επιτοκίου και περίοδο χάριτος
- σαφής ενεργειακή πολιτική αιολικής ενέργειας της χώρας και της Δ.Ε.Η.
- καθορισμός της τιμής αγοράς της πλεονάζουσας αιολικής KWh που θα διοχετεύεται στο δίκτυο της Δ.Ε.Η. από ιδιωτικές εγκαταστάσεις αυτοπαραγωγών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΑΝΕΜΟΣ ΚΑΙ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

#### 2.1 Γενικά για την ατμόσφαιρα.

Κατ' αρχή περιγράφεται, χωρίς μεγάλη έκταση, ο χώρος μέσα στον οποίο δημιουργούνται τα ατμοσφαιρικά φαινόμενα. Ο χώρος αυτός είναι η ατμόσφαιρα η οποία ορίζεται ως το σφαιροειδές αέριο περίβλημα που περικλείει ένα ουράνιο σώμα. Οι δυνάμεις που τη συγκρατούν σε ισορροπία γύρω από το σώμα αυτό είναι οι βαρυτικές δυνάμεις του πλανήτη. Οι διάφορες διαταραχές και τα φαινόμενα που αυτές συνεπάγονται, οφείλονται σε μικρές αποκλίσεις από αυτή την κατάσταση ισορροπίας.

Το μείγμα των αερίων που συνιστούν την ατμόσφαιρα της Γης εκτείνεται μέχρι ύψους 800 με 1000 Km. Τα συνιστώσα αέρια είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένα στο ύψος αυτό, ώστε το 99,9% της ολικής μάζας της ατμόσφαιρας να βρίσκεται στα πρώτα 50 Km και το 0,099% στην περιοχή μεταξύ 50 και 100 Km ύψος.

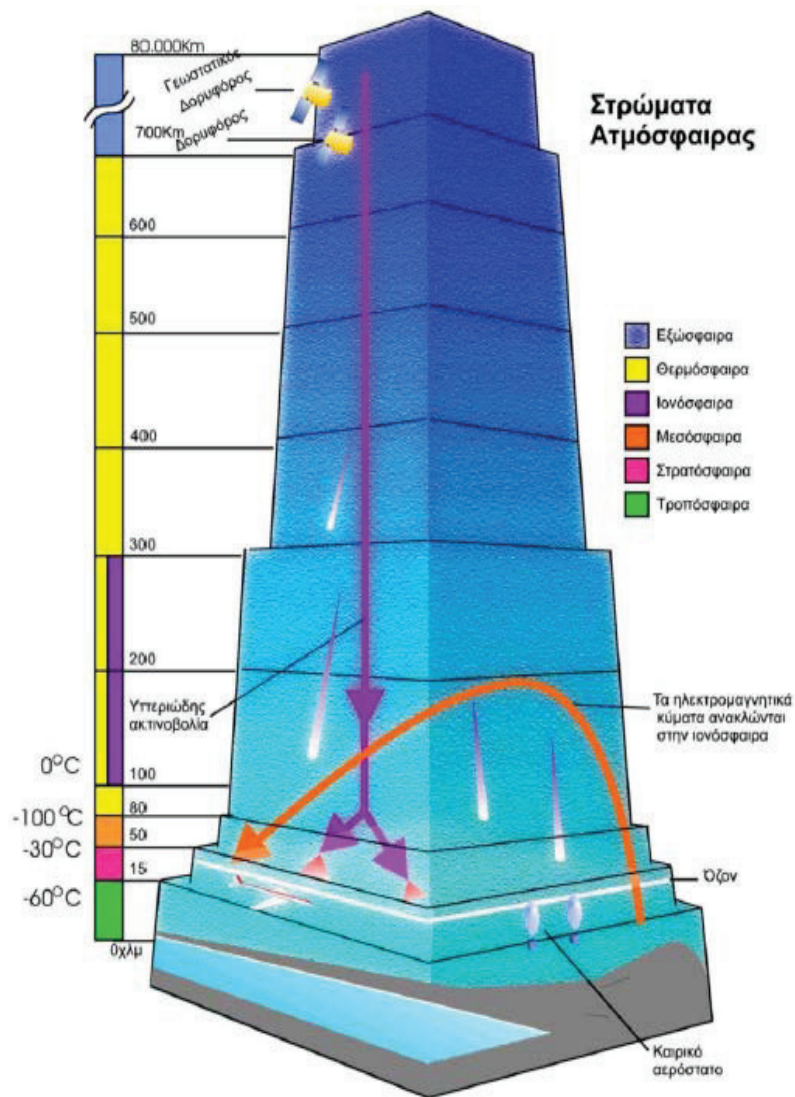
Τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας, εκτός από τη σύνθεση της, είναι η θερμοκρασία, η πίεση και η πυκνότητα. Τα χαρακτηριστικά αυτά υπόκεινται σε σημαντικές μεταβολές που εξαρτώνται από το υψόμετρο, την ηλιακή επίδραση και άλλους παράγοντες.

Η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται από ένα ελάχιστο  $-138\text{ }^{\circ}\text{C}$  που μετρήθηκε σε ύψος 85 Km, μέχρι ένα μέγιστο, σε περιόδους μέγιστης ηλιακής επίδρασης  $1227\text{ }^{\circ}\text{C}$  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  $2,26 \cdot 10^{-4}$  mmHg και στα  $1,00 \cdot 10^{-6}$  mmHg στο ύψος των 200 Km

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

Για ευκολία, στη μελέτη των διαφόρων ατμοσφαιρικών φαινομένων, η ατμόσφαιρα υποδιαιρείται σε ζώνες. Ο διαχωρισμός που χρησιμοποιείται είναι αυτός που στηρίζεται στην κατανομή της θερμοκρασίας με το ύψος. Η πρώτη περιοχή που εκτείνεται από το επίπεδο του εδάφους μέχρι το πρώτο ελάχιστό της θερμοκρασίας, καλείται τροπόσφαιρα με ύψος 15 Km, σχήμα 2.1. Η επόμενη περιοχή που εκτείνεται μέχρι το δεύτερο μέγιστο της θερμοκρασίας, καλείται στρατόσφαιρα με ύψος μέχρι τα 50 Km. Τα μετεωρολογικά φαινόμενα περιορίζονται μέχρι το στρώμα της στρατόσφαιρας, οπότε δεν γίνεται περαιτέρω αναφορά [38,44].



Σχήμα 2.1. Η σύνθεση της ατμόσφαιρας αναλυτικά.

Οι μεταβατικές ζώνες ανάμεσα σε μερικές από τις κύριες αυτές περιοχές, έχουν ιδιαίτερα ονόματα. Για παράδειγμα, η οριακή περιοχή ανάμεσα στην τροπόσφαιρα και στρατόσφαιρα είναι γνωστή ως τροπόπαυση και η περιοχή ανάμεσα στη στρατόσφαιρα και τη μεσόσφαιρα ονομάζεται στρατόπαυση.

Γενικά πάντως, ο πιο απλοποιημένος χωρισμός της ατμόσφαιρας είναι σε κατώτερη και ανώτερη ατμόσφαιρα. Η κατώτερη ατμόσφαιρα συνήθως θεωρείται ότι φθάνει μέχρι την κορυφή της στρατόσφαιρας. Κάθε τι πιο πάνω, ανήκει στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια θα εξετασθεί με περισσότερες λεπτομέρειες η κατώτερη ατμόσφαιρα καθώς, τα διάφορα φαινόμενα που συμβαίνουν εκεί έχουν άμεση επίδραση στη διαμόρφωση του Αιολικού Δυναμικού.

### Τροπόσφαιρα.

Το κατώτατο στρώμα της ατμόσφαιρας, η τροπόσφαιρα, εκτείνεται σε ένα μέσο ύψος περίπου 15 Km πάνω από τον ισημερινό και 8 Km πάνω από τους πόλους.

Η τροπόσφαιρα είναι μια περιοχή αδιάκοπης τυρβώδους κίνησης και ανάμιξης. Είναι η περιοχή περιδίνησης των αερίων μαζών, του σχηματισμού των νεφών και των

συνεχώς μετακινούμενων θερμών και ψυχρών μετώπων. Είναι επίσης η περιοχή της βροχής, του χιονιού, των αστραπών και των καταιγίδων. Σε αυτήν συμβαίνουν όλα τα καιρικά φαινόμενα, γι' αυτό έχει τη μεγαλύτερη και πιο άμεση σπουδαιότητα για τον άνθρωπο.

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

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

Δύο αέρια, το άζωτο και οξυγόνο συνιστούν το 99,03% κατ' όγκο του καθαρού, ξηρού αέρα. Τα δύο αυτά αέρια, μαζί με το αργό και το διοξείδιο του άνθρακα καταλαμβάνουν το 99,997% κατ' όγκο του αέρα. Τα υπόλοιπα αέρια που συμπεριλαμβάνονται στη σύνθεση της ατμόσφαιρας καταλαμβάνουν το πολύ μικρό ποσοστό του 0,003% πίνακας 2.1.

Η συγκέντρωση μερικών από τα δευτερεύοντα αέρια, όπως είναι το αργό, το νέο και το ήλιο παραμένει ουσιαστικά σταθερή. Άλλων, όμως αερίων, όπως του όζοντος, του διοξειδίου του θείου και του διοξειδίου του αζώτου η συγκέντρωση μεταβάλλεται με μικρές συνήθως αποκλίσεις από την κανονική τιμή.

Πίνακας 2.1. Η σύνθεση της ατμόσφαιρας.

ΣΥΝΘΕΤΙΚΟ	ΠΟΣΟΣΤΟ % ΚΑΤ' ΟΓΚΟ	ΜΟΡΙΑΚΟ ΒΑΡΟΣ
Άζωτο	78,084	28,0134
Οξυγόνο	20,946	31,9988
Αργό	0,934	39,948
Διοξείδιο του Άνθρακα	0,0314	44,00995
Νέο	0,001818	20,183
Ήλιο	0,000524	4,0026
Κρυπτό	0,000114	83,80
Ξένο	0,0000087	131,30
Υδρογόνο	0,00005	2,01594
Μεθάνιο	0,0002	16,04303
Μονοξείδιο του Αζώτου	0,00005	44,0128
Όζον (καλοκαίρι)	0 μέχρι 0,000007	47,9982
Όζον (χειμώνας)	0 μέχρι 0,000002	
Διοξείδιο του Θείου	0 μέχρι 0,0001	64,0628
Διοξείδιο του Αζώτου	0 μέχρι 0,000002	46,0055
Αμμωνία	0 περίπου	17,03061
Μονοξείδιο του Άνθρακα	0 περίπου	28,01055
Ιοδίνη	0 μέχρι 0,000001	253,8088

## Στρατόσφαιρα.

Επάνω από την τροπόσφαιρα βρίσκεται η στρατόσφαιρα που εκτείνεται από 11 μέχρι 50 Km. Στο ύψος των 50 Km η θερμοκρασία είναι περίπου -2 °C. Η τιμή αυτή μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν είναι πολύ μικρότερη των 15 °C που είναι η μέση θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους.

Παρόλο που στην αρχή θεωρήθηκε ότι η στρατόσφαιρα είναι απαλλαγμένη από

τυρβώδεις κινήσεις και ανάμιξη, σήμερα είναι γνωστό ότι η περιοχή αυτή της ατμόσφαιρας δεν είναι τόσο ήσυχη. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 50 είχαν ανακαλυφθεί και μελετηθεί στη στρατόσφαιρα ρεύματα αέρα (jet – streams) που μερικές φορές είναι μέχρι δύο φορές πιο ισχυρά από τα ρεύματα της τροπόσφαιρας.

Η θερμοκρασία μεταβάλλεται επίσης με το υψόμετρο, αλλά σε αντίθεση με την τροπόσφαιρα αυξάνει με την αύξηση του ύψους. Πιο συγκεκριμένα, από τα 11 μέχρι τα 20 Km υπάρχει μια ισόθερμη περιοχή, τουλάχιστον για τις περιοχές με μέσο γεωγραφικό πλάτος. Στη συνέχεια, από τα 20 μέχρι τα 50 Km παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας μέχρι τους  $-2^{\circ}\text{C}$  που είναι στο όριο της στρατόπαυσης.

## 2.2 Ευστάθεια ατμόσφαιρας.

Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας του ηλίου περνάει από τον αέρα με τρόπο ώστε, για πρακτικούς λόγους, ο καθαρός αέρας να μπορεί να θεωρηθεί διαφανής στην ακτινοβολία. Κοντά στο έδαφος, δηλαδή μέχρι τα πρώτα 10 μέτρα, υπάρχει μια αισθητή ανταλλαγή θερμότητας του αέρα με την επιφάνεια του εδάφους. Ο αέρας μπορεί να θεωρηθεί ότι θερμαίνεται ή ψύχεται λόγω «γειννίασης» με το έδαφος (συναγωγή) παρά με ακτινοβολία [24].

Κατά τη διάρκεια της ημέρας, όταν δεν υπάρχουν καθόλου σύννεφα ή έστω η νέφωση είναι μικρή, η επιφάνεια του εδάφους θερμαίνεται συνεχώς από τον ήλιο. Συγχρόνως, όμως χάνεται συνεχώς θερμότητα λόγω ακτινοβολίας και μόνο όταν ο ρυθμός θέρμανσης από τον ήλιο ξεπεράσει τις απώλειες λόγω ακτινοβολίας, το έδαφος αρχίζει να θερμαίνεται. Όταν θερμανθεί αρκετά, αρχίζει η κυκλοφορία ρευμάτων συναγωγής που μεταφέρουν θερμότητα στα ανώτερα στρώματα.

Επειδή ο αέρας είναι συμπιεστό ρευστό, με την ανύψωση διαστέλλεται καθώς κινείται σε στρώματα με χαμηλότερη πίεση, με αποτέλεσμα, λόγω της διαστολής, να ψύχεται. Το πόσο ψύχεται μπορεί να υπολογιστεί από την εξίσωση των αερίων:

$$P = \rho R T \quad (1)$$

που συνδέει την πίεση  $P$  με την πυκνότητα  $\rho$  και την θερμοκρασία  $T$  μέσω της σταθεράς των αερίων  $R$  που εξαρτάται από τη χημική σύνθεση του αερίου :

$$\frac{P}{P_0} = \left( \frac{\rho}{\rho_0} \right)^\gamma \quad (2)$$

για αδιαβατική μεταβολή, όπου  $P_0$  και  $\rho_0$  είναι οι αρχικές τιμές σε μια μεταβολή και  $\gamma$  είναι ο λόγος των ειδικών θερμοτήτων του αέρα σε σταθερή πίεση και σταθερό όγκο και την υδροστατική εξίσωση :

$$\frac{dP}{dz} = -\rho g \quad (3)$$

όπου  $g$  είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και  $z$  το ύψος.

Εάν ένα στοιχειώδες τμήμα του αέρα που ανυψώνεται, έχει την ίδια πίεση με το περιβάλλον του και μόνο μια μικρή διαφορά στη θερμοκρασία και το περιβάλλον βρίσκεται σε υδροστατική ισορροπία, μπορεί να απαλειφθεί η πυκνότητα από την (1)

μέσω της (2) και στη συνέχεια διαφορίζοντας ως προς  $z$ , μέσω της (3) να ληφθεί η κατακόρυφη κλίση της θερμοκρασίας :

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{(\gamma-1)g}{\gamma R} \quad (4)$$

Οι συνθήκες αυτές αναφέρονται σε ουδέτερη ισορροπία. Αν η κλίση ξεπερνούσε την τιμή της εξίσωσης (4), σχήμα 2.2α, ένα στοιχειώδες τμήμα του ρευστού θα ανέβαινε σε ψυχρότερα από την δική του θερμοκρασία στρώματα και επομένως θα συνέχιζε να ανεβαίνει. Κατά παρόμοιο τρόπο, εάν η κλίση είναι μικρότερη της τιμής αυτής το στοιχειώδες τμήμα που ανυψώνεται θα ανέβαινε σε θερμότερο από αυτό αέρα και σαν συνέπεια θα κατέβαινε πάλι πίσω, σχήμα 2.2β. Επομένως η κατάσταση της ατμόσφαιρας είναι :

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{(\gamma-1)g}{\gamma R}$$

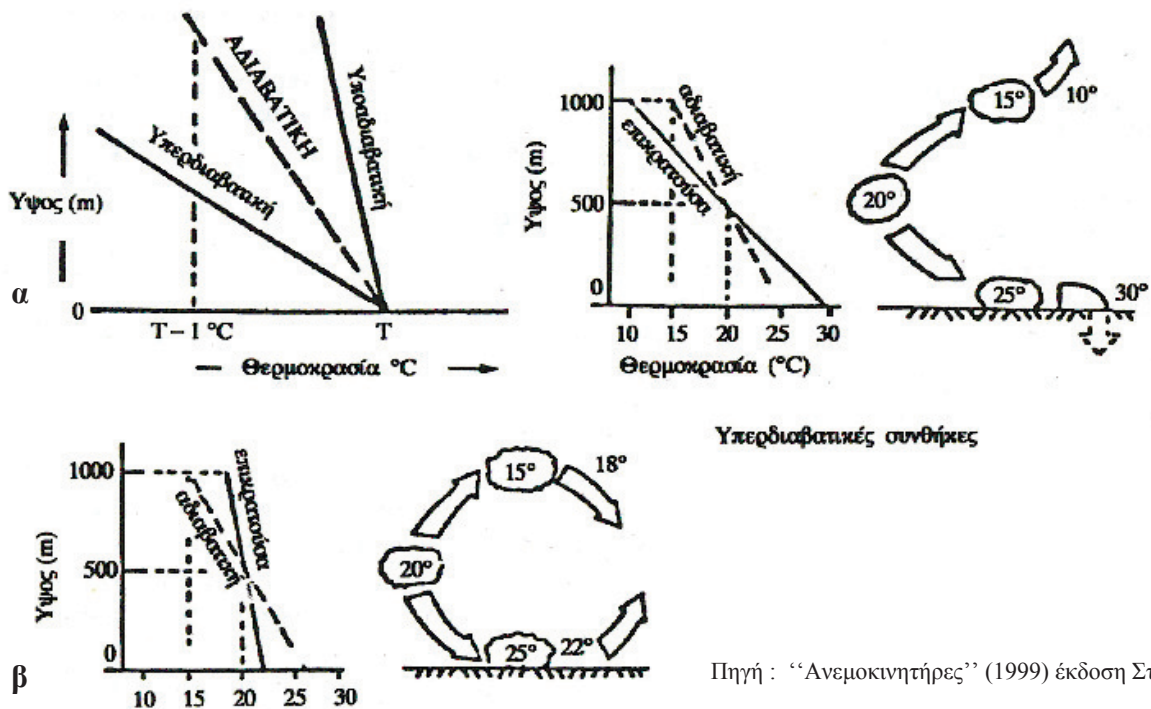
( ουδέτερη )

$$\frac{dT}{dz} \leq -\frac{(\gamma-1)g}{\gamma R}$$

( ευσταθής )

$$\frac{dT}{dz} > -\frac{(\gamma-1)g}{\gamma R}$$

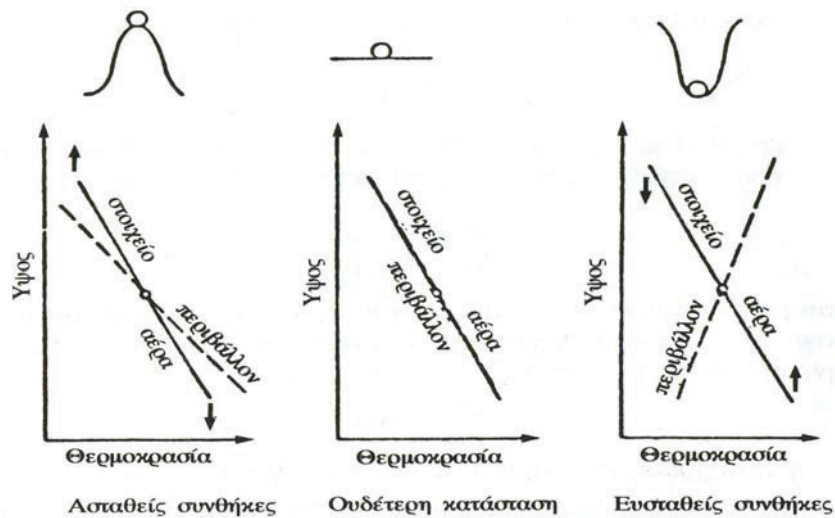
( ασταθής )



Σχήμα 2.2. Κίνηση ενός στοιχειώδους τμήματος αέρα στο θερμοκρασιακό πεδίο της ατμόσφαιρας..

ανάλογη με το ρυθμό μείωσης της θερμοκρασίας με το ύψος, σχήμα 2.3.

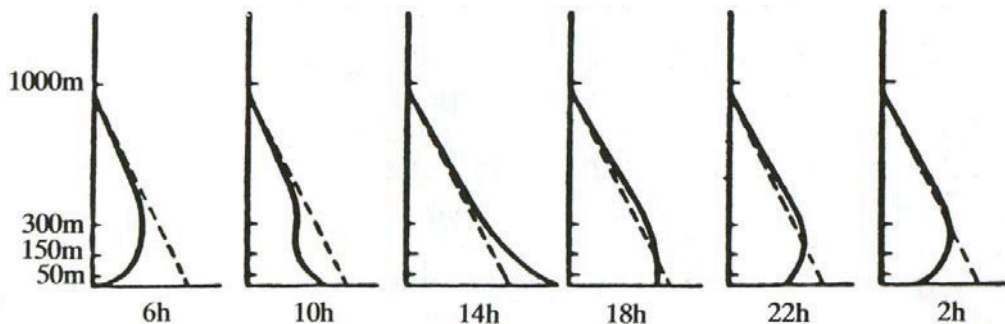
Η ουδέτερη κλίση ονομάζεται ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα επειδή δεν λαμβάνεται υπόψη η λανθάνουσα θερμότητα της συμπύκνωσης των υδρατμών του περιβάλλοντος. Η τιμή της για την ατμόσφαιρα είναι σταθερή και περίπου  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  ανά 100 μέτρα. Η τιμή που αναφέρθηκε νωρίτερα, δηλαδή κλίση  $6,5^{\circ}$  ανά 1000 μέτρα, αφορά την ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα [7].



Πηγή : “Ανεμοκινητήρες” (1999) έκδοση Σταμούλης.  
 Σχήμα 2.3. Είδη ισορροπίας και αντιστοιχία με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Μία από τις αιτίες δημιουργίας ρεύματος αέρα είναι το ήδη ζεστό έδαφος που ανακατεύει τον αέρα που βρίσκεται από επάνω με ρεύματα μεταφοράς (συναγωγή) ενώ η διαδικασία ψύξης του εδάφους δεν έχει προχωρήσει τόσο ώστε να δημιουργηθούν ασταθείς συνθήκες.

Σε ανέμους χαμηλής έντασης το έδαφος είναι συνήθως είτε ψυχρότερο από τον αέρα και στην περίπτωση αυτή τα κατώτατα στρώματα της ατμόσφαιρας βρίσκονται σε ευσταθή κατάσταση, είτε είναι θερμότερο και ο αέρας είναι σε ασταθή κατάσταση κοντά στο έδαφος. Το σχήμα 2.4 δείχνει μια τυπική μεταβολή της θερμοβαθμίδας σε διάφορες ώρες της ημέρας.



Πηγή : “Ανεμοκινητήρες” (1999) έκδοση Σταμούλης.  
 Σχήμα 2.4. Τυπική μεταβολή της θερμοκρασίας στα στρώματα κοντά στο έδαφος κατά τη διάρκεια μιας ημέρας με ηλιοφάνεια. Η διακεκομμένη γραμμή είναι η ουδέτερη κατάσταση (αδιαβατική θερμοβαθμίδα).

### 2.3 Άνεμοι.

Οι άνεμοι αποτελούν κίνηση αέριας μάζας στην ατμόσφαιρα που κυρίως προκαλείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Ειδικότερα είναι αποτέλεσμα των θερμοκρασιακών διαφορών που δημιουργούνται στην τροπόσφαιρα είτε λόγω γεωγραφικού πλάτους είτε λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης. Οι διαφορετικές γεωγραφικές θερμοκρασίες οφείλονται σε δύο κυρίους παράγοντες:

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



Οι άνεμοι που δημιουργούνται λόγω διαφορετικού γεωγραφικού πλάτους είναι φαινόμενα σχεδόν σταθερά ή μεταβλητά με μεγάλη περίοδο μεταβολής (εποχιακά).

Από τη θέρμανση του αέρα της ξηράς έχουμε ελάττωση της πυκνότητας του με συνέπεια την ανύψωση του και ο βαρύτερος κρύος αέρας που βρίσκεται πάνω από το νερό κινείται για να πάρει τη θέση του. Με τον τρόπο αυτό παράγονται τα τοπικά παραλιακά ρεύματα. Κατά τη διάρκεια της νύκτας τα παραλιακά αυτά ρεύματα αντιστρέφονται, επειδή η θερμοκρασία της ξηράς ελαττώνεται γρηγορότερα από αυτήν του νερού και έτσι ο ψυχρότερος, άρα και βαρύτερος αέρας της ξηράς κινείται προς τη θάλασσα όπου αναπληρώνει τον αέρα που ανυψώνεται από την επιφάνεια της θάλασσας.

Παρόμοια τοπικά ρεύματα συμβαίνουν στις βουνοπλαγιές κατά τη διάρκεια της ημέρας όταν ο θερμός αέρας ανυψώνεται κατά μήκος των θερμών πλαγιών που θερμαίνονται από τον ήλιο. Κατά τη νύκτα ο σχετικά κρύος αέρας των πλαγιών κινείται κάτω προς τις πεδιάδες.

Στα σχήματα 2.5 και 2.6 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 γύρω από τον άξονά της.

Οι άνεμοι που οφείλονται στην διαφορετική φύση των επιφανειών χαρακτηρίζονται από μικρή χρονική διάρκεια (ωριαία ή ημερήσια) και παρατηρούνται είτε κοντά σε ορεινούς όγκους, σε κοιλάδες ή σε λεκανοπέδια, είτε σε περιοχές κοντά σε θάλασσα ή λίμνη που υπάρχει διαφορετικός ρυθμός θέρμανσης ή ψύξης του εδάφους και του υδάτινου όγκου. Στο σχήμα 2.7 φαίνεται η ημερήσια μεταβολή των ανέμων της κατηγορίας αυτής.

Τυπικό ανεμογραφικό καταγραφικό μεταβολής του ανέμου δείχνει ότι ο φυσικός άνεμος μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από ένα ευρύ φάσμα υψηλής συχνότητας ριπών που επιτίθενται σε μικρότερης συχνότητας μεταβαλλόμενο άνεμο.

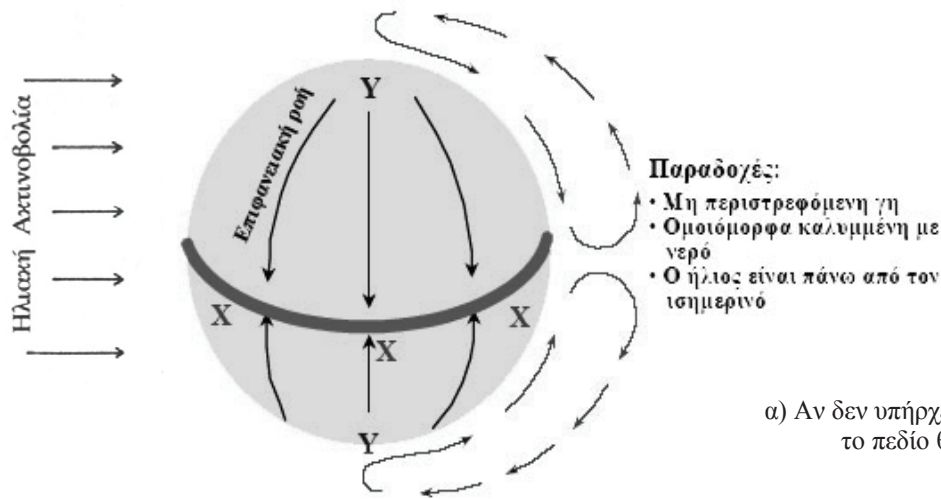
Η ένταση των τοπικών ανέμων και τα φαινόμενα που συνδέονται με αυτούς, εντείνονται ή εξασθενούν ανάλογα με τους συνοπτικούς ανέμους της πρώτης κατηγορίας.

Στην Ευρώπη, σχήμα 2.6, οι άνεμοι που πνέουν επηρεάζονται από τα ανατολικά ρεύματα του Ατλαντικού, τα ψυχρά βόρεια και τα θερμά τροπικά της Σαχάρας. Έτσι οι επικρατούντες άνεμοι είναι για μεν το χειμώνα οι Νοτιοδυτικοί ενώ για το καλοκαίρι οι Δυτικοί και Βορειοδυτικοί. Ως προς την ένταση, οι άνεμοι της χειμερινής περιόδου είναι ισχυρότεροι καθώς το καλοκαίρι τα τοπικά συστήματα, όπως οι θαλάσσιες αύρες, έχουν μεγαλύτερη ένταση και μειώνουν την επίδραση του συνοπτικού πεδίου.

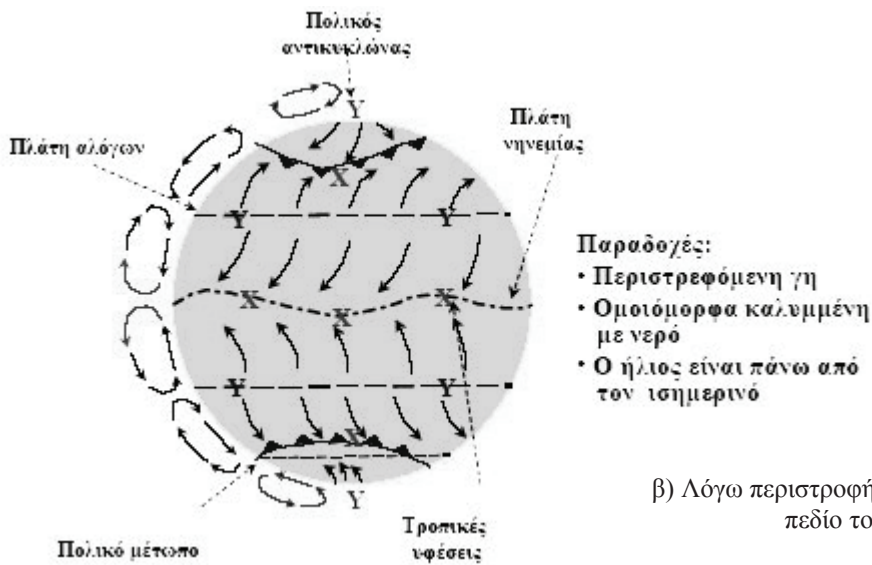
Οι Δυτικοί και Βορειοδυτικοί άνεμοι επικρατούν κατά κύριο λόγο στο χώρο της Μεσογείου καθώς στην περιοχή αυτή το γενικό πεδίο υφίσταται μικρότερη επίδραση από τα βόρεια ρεύματα που πνέουν από τη Ρωσία. Παρόλα αυτά, όμως, τα έντονα τοπικά συστήματα στις παράκτιες περιοχές μεταβάλλουν πολλές φορές τη γενική αυτή κατεύθυνση των ανέμων.

Στον ελλαδικό χώρο τη χειμερινή περίοδο επικρατούν τοπικοί βόρειο-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 με νηνεμία [6,17].

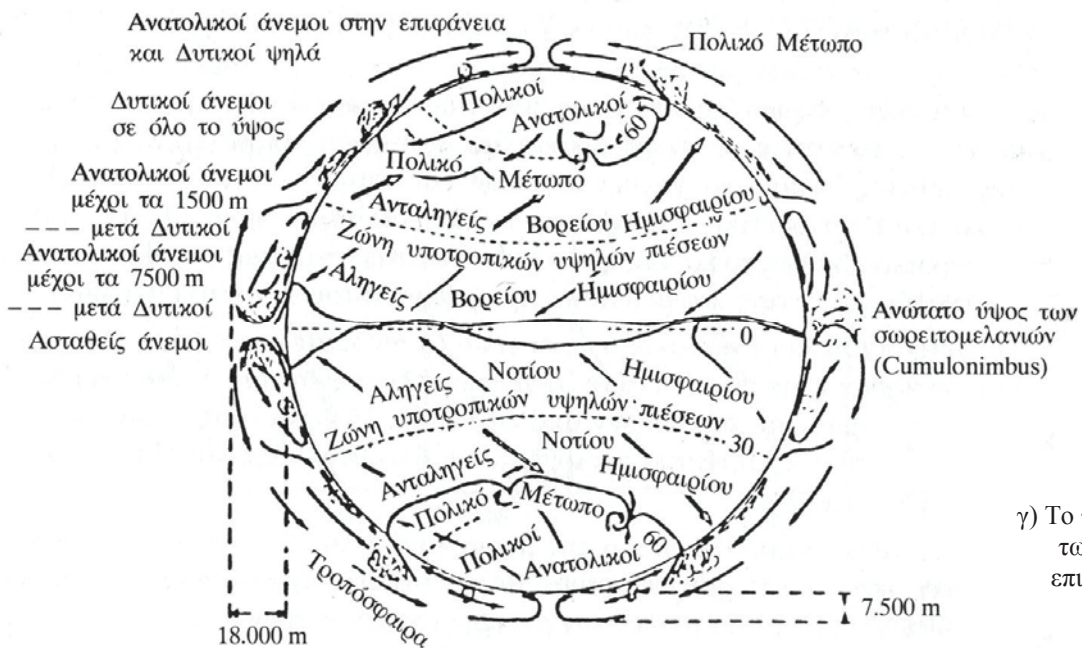
Από ιστορικούς λόγους έχει επικρατήσει στους μετεωρολόγους η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου στη κλίμακα Beaufort αντί του σωστού σε m/s. Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζεται η αντιστοιχία κλίμακας ταχυτήτων ανέμου σε Beaufort με το διάστημα ταχυτήτων ανέμου σε m/s στο οποίο κάθε κλίμακα αντιστοιχεί.



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

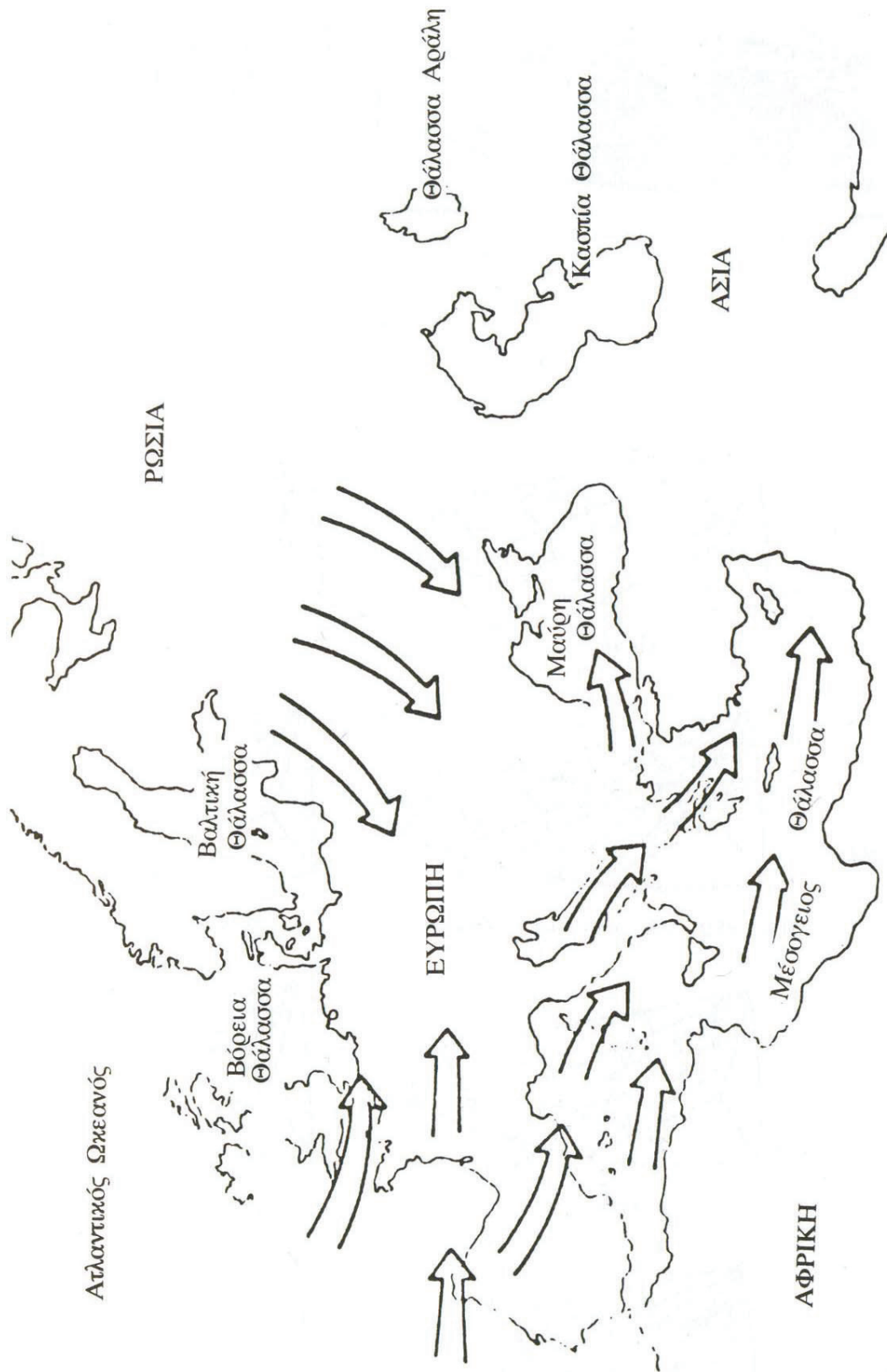


β) Λόγω περιστροφής δημιουργείται μεταβλητό πεδίο τοπικών ανέμων.



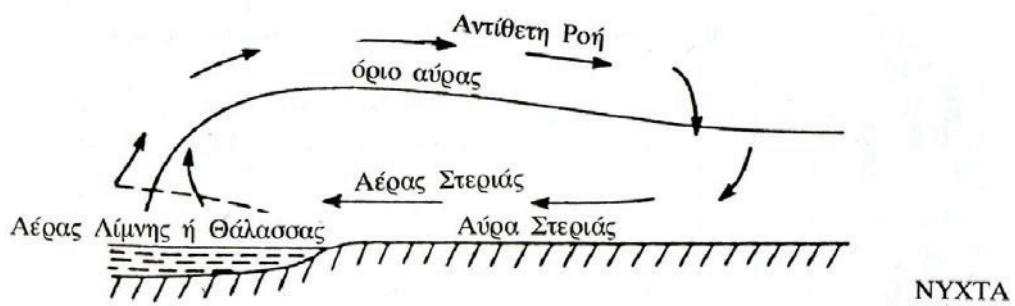
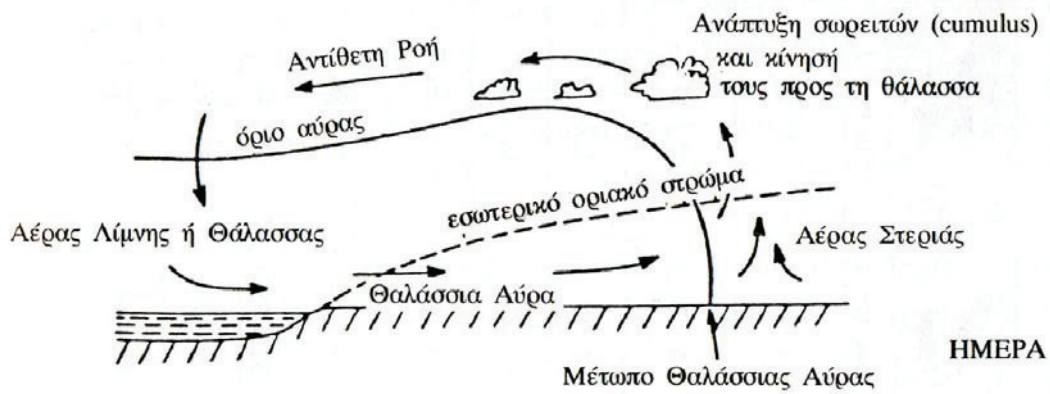
γ) Το πεδίο κυκλοφορίας των ανέμων στην επιφάνεια της Γης.

Σχήμα 2.5. Άνεμοι λόγω περιστροφής της Γης και λόγω διαφορετικού γεωγραφικού πλάτους.



Πηγή : European Wind Atlas

Σχήμα 2.6. Συνοπτική παρουσίαση των ανέμων που πνέουν στην Ευρώπη.



Πηγή : “Ανεμοκινήτρες” (1999) έκδοση Σταμούλης.

Σχήμα 2.7. Ημερήσια μεταβολή της αύρας λόγω διαφορετικού ρυθμού θέρμανσης – ψύξης του εδάφους και του νερού.

Πίνακας 2.2. Μετατροπή της κλίμακας Beaufort.

Beaufort	Ταχύτητα (m/s)	Ταχύτητα (Knotts)	Ταχύτητα (M/h)	Ταχύτητα (Km/h)	Όνομασία	Παρατηρήσεις
0	0	< 1	< 1	< 2	Νηνεμία	Κάθετη άνοδος καπνού
1	0,3 – 1,5	1 – 3	1 – 3	2 – 6	Ελαφρύς άνεμος	Κίνηση καπνού
2	1,6 – 3,3	4 – 6	4 – 7	7 -11	Ασθενής αύρα	Αισθητός στο πρόσωπο
3	3,4 – 5,4	7 -10	8 -12	12 – 19	Μέτρια αύρα	Ξεδιπλώνει σημαία
4	5,5 – 7,9	11 – 16	13 – 18	20 – 30	Δροσερή αύρα	Κίνηση μικρών κλαδιών
5	8 – 10,7	17 – 21	19 – 24	31 – 40	Ισχυρή αύρα	Κίνηση μικρών δέντρων
6	10,8 – 13,3	22 – 27	25 – 31	41 – 50	Ισχυρός άνεμος	Μεγάλα κλαδιά κινούνται
7	13,3 – 17,1	28 – 33	32 – 38	51 – 60	Σφοδρός άνεμος	Όλα τα δέντρα κινούνται
8	17,2 – 20,7	34 – 46	39 – 46	62 – 74	Ορμητικός άνεμος	Εμποδίζεται το βάδισμα
9	20,8 – 24,4	41 – 47	47 – 54	75 – 87	Θύελλα	Κίνδυνος για ελαφρές κατασκευές
10	24,5 – 28,4	48 – 55	55 – 63	88 – 102	Ισχυρή θύελλα	Ξεριζώνει δέντρα
11	28,5 – 32,5	56 – 65	64 – 75	103 – 120	Σφοδρή θύελλα	
12	32,7 – 36,9	> 65	> 75	> 120	Καταιγίδα	
<b>1 Mile = 1609 m</b>		<b>1 m/h = 0.447 m/s</b>		<b>1 Knot = 0.51 m/s</b>		

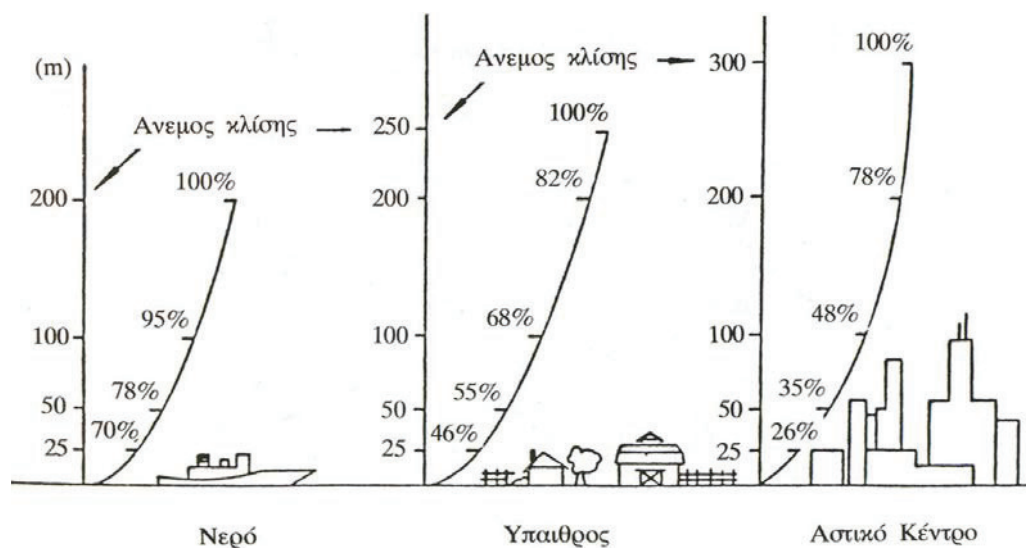
#### 2.4 Γενικά για το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα.

Καθώς η ατμόσφαιρα βρίσκεται σε σχετική κίνηση με τη Γη στο κατώτατο τμήμα της λόγω του ιξώδους του αέρα δημιουργείται ένα ρεύμα αέρα, το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (Α.Ο.Σ.), μέσα στο οποίο η σχετική ταχύτητα μεταβάλλεται από μηδέν, μέχρι μεγαλύτερες τιμές. Σαν οριακό στρώμα της ατμόσφαιρας χαρακτηρίζεται μέχρι τα 2000 μέτρα ύψους περίπου. Στο οριακό αυτό στρώμα δεν μπορούν να αγνοηθούν οι δυνάμεις τριβής. Πάνω από το ύψος αυτό οι διαταραχές της ταχύτητας του ανέμου είναι μηδενικές συγκριτικά με τις διαταράξεις του εδάφους και εξαρτώνται μόνο από το επίπεδο πιέσεων και το γεωγραφικό πλάτος.

Το κατώτερο μέρος της ατμόσφαιρας (surface layer < 100m), είναι αυτό που μας ενδιαφέρει τεχνικά και όπως είναι φυσικό εξαιτίας των πόλεων, της μορφολογίας του εδάφους και το είδος της βλάστησης, ο άνεμος υφίσταται επιβραδύνσεις από δυνάμεις τριβής. Οι ταραχές αυτές που μπορεί να είναι εκτός από μηχανικές και

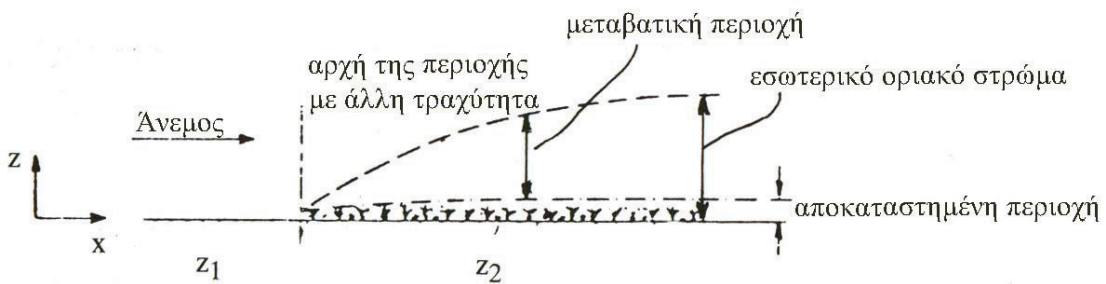
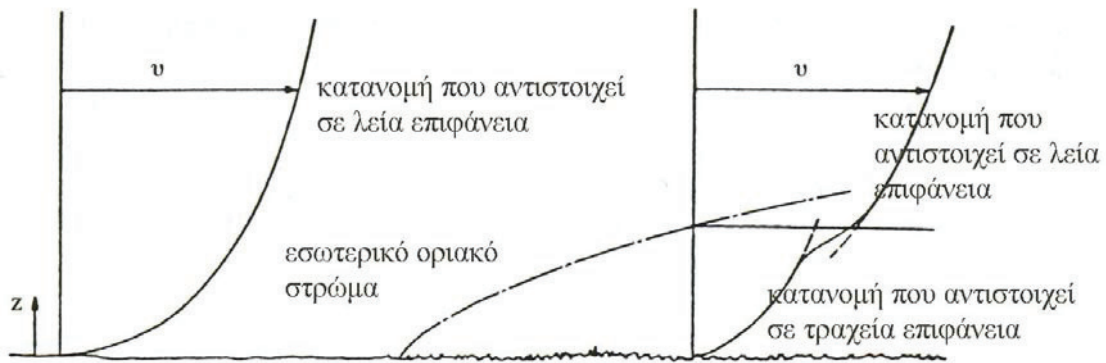
θερμικές στη πηγή τους, προκαλούν γρήγορες διακυμάνσεις στην ταχύτητα του ανέμου και σε μια ευρεία περιοχή συχνοτήτων και μεγεθών. Οι απότομες ισχυρές στιγμιαίες μεταβολές που ονομάζονται και ριπές (gusts) χαρακτηρίζουν την τοποθεσία και είναι απαραίτητο να κρατούνται στα στοιχεία των μετρήσεων.

Το ύψος (ή πάχος) του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος, 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 α) η επιφάνεια της Γης, σχήμα 2.8 και β) η κατάσταση ευστάθειας της ατμόσφαιρας. Στην ουδέτερη ατμοσφαιρική κατάσταση, όπου η ταχύτητα του αέρα σε ύψος δέκα μέτρων από την επιφάνεια του εδάφους είναι μεγαλύτερη από  $5 - 7 \text{ m/s}$ , δηλαδή  $U_{z=10} \geq 5 - 7 \text{ m/s}$ , ο δεύτερος παράγοντας εξαλείφεται και μένει ο προσδιορισμός του ύψους του Α.Ο.Σ. ως συνάρτηση της μορφολογίας της επιφάνειας του εδάφους και πιο συγκεκριμένα της τραχύτητας του [24].



Σχήμα 2.8. Μεταβολή του ύψους του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους.

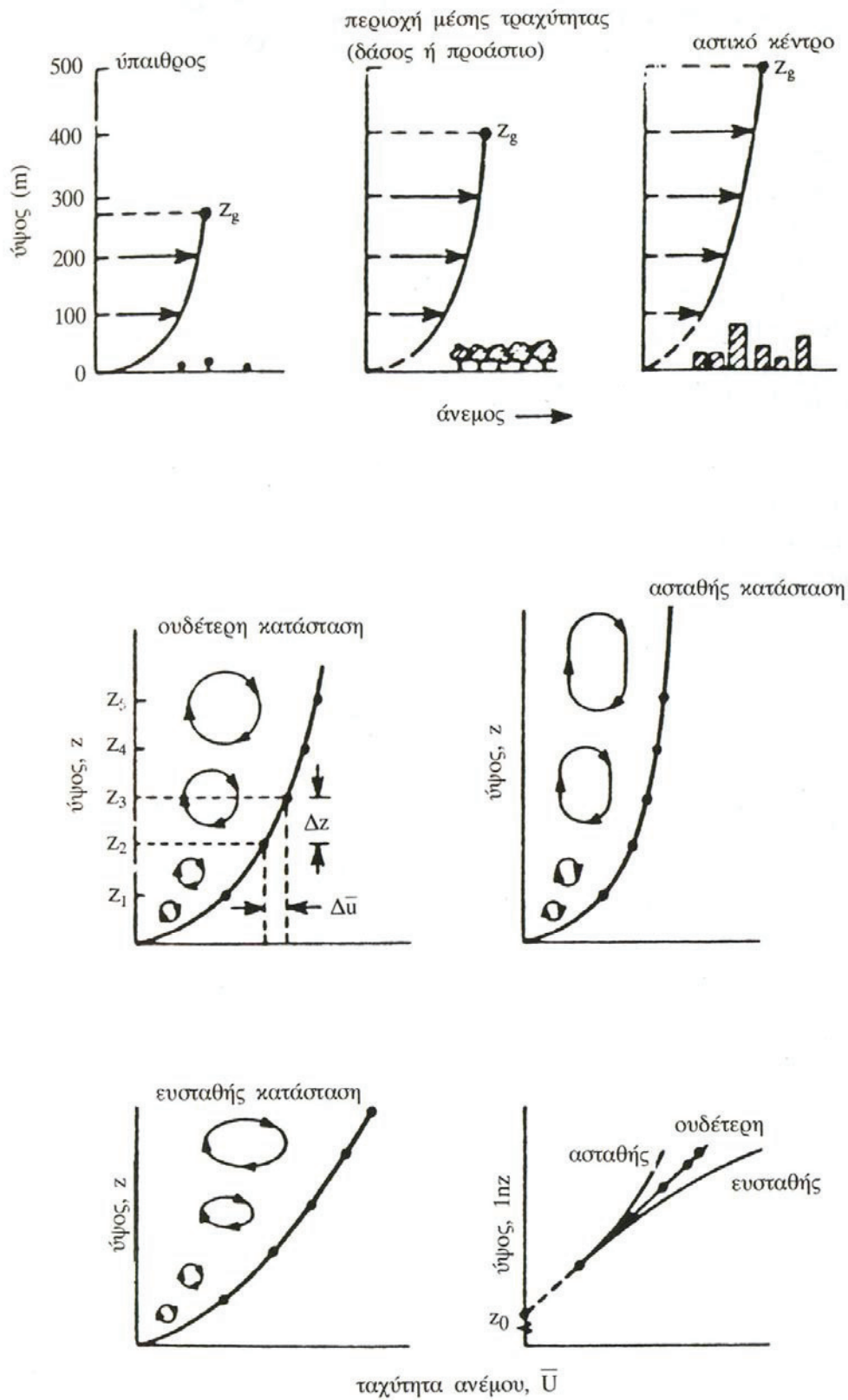
Για ομαλό έδαφος και αδύναμο άνεμο το πάχος του οριακού στρώματος μπορεί να είναι της τάξης των 200 μέτρων ενώ για ανώμαλη επιφάνεια (μεγάλη τραχύτητα) και έντονο άνεμο είναι δυνατό να φθάσει μέχρι 1.200 μέτρα. Αντίθετα για πολύ ευσταθή κατάσταση της ατμόσφαιρας το πάχος του Α.Ο.Σ. είναι της τάξης των 30 μέτρων ενώ σε συνθήκες που ευνοούν την έντονη ανάμιξη του αέρα (ανοδικά-καθοδικά ρεύματα) το ύψος του Α.Ο.Σ. φθάνει μέχρι 2 Km. Οι περιοχές που έχουν σχετικά μεγάλη έκταση και συγχρόνως παρουσιάζουν ομοιόμορφη τραχύτητα ώστε να αναπτυχθεί πλήρως το Α.Ο.Σ., περιορίζονται σε ορισμένες μόνο κατηγορίες (έρημος, θάλασσα, πεδιάδες με ομοιόμορφη κάλυψη). Αντίθετα οι περιοχές που ενδιαφέρουν συνήθως, εκτός του ότι ο αέρας που τις περιβάλλει σπάνια βρίσκεται σε ουδέτερη κατάσταση λόγω της ανομοιομορφίας προς κάθε κατεύθυνση, παρουσιάζουν έντονες μεταβολές της τραχύτητας του εδάφους με αποτέλεσμα είτε να μην προλαβαίνει να αναπτυχθεί το Α.Ο.Σ. είτε να δημιουργείται εσωτερικό οριακό στρώμα, σχήμα 2.9, που τροποποιεί την αρχική μορφή του οριακού στρώματος. Για να υπάρχει μια κοινή αναφορά, προτάθηκε από τον Counihan, για το ουδέτερο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, που κυρίως ενδιαφέρει για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, μία μέση τιμή για κάθε μορφή εδάφους ίση με 600 μέτρα [24].



Πηγή : “Ανεμοκινητήρες” (1999) έκδοση Σταμούλης.

Σχήμα 2.9. Διαταραχές του Α.Ο.Σ. και ανάπτυξη εσωτερικού οριακού στρώματος λόγω μεταβολών της ταχύτητας του στερεού ορίου.

Θερμοκρασιακές αποκλίσεις από την αδιαβατική θερμοβαθμίδα έχουν ως αποτέλεσμα, εκτός από τη μεταβολή του ύψους του Α.Ο.Σ., να επηρεάζουν και τη δομή του, σχήμα 2.10.



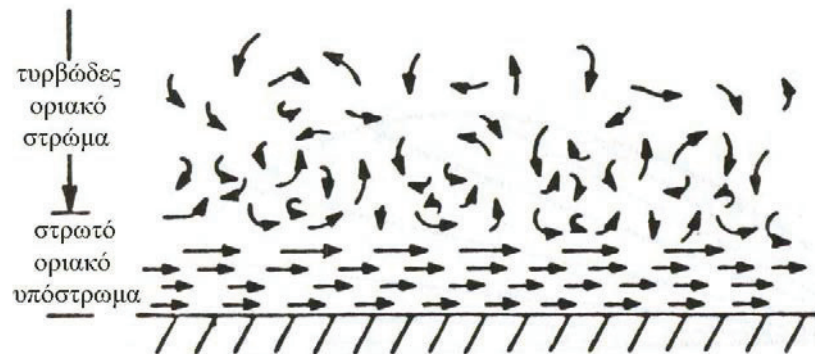
ταχύτητα ανέμου,  $\bar{U}$   
 Πηγή : “Ανεμοκινητήρες” (1999) έκδοση Σταμούλης.

Σχήμα 2.10. Δομή του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος με την επίδραση της τραχύτητας του εδάφους και της ατμοσφαιρικής ευστάθειας ως προς το σχήμα και τη μορφή των στροβίλων.

Μέσα στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα μπορούν να διακριθούν τρία επί μέρους στρώματα. Σε άμεση επαφή με την επιφάνεια του εδάφους βρίσκεται το στρωτό οριακό υπόστρωμα του οποίου το πάχος είναι το πολύ μερικά χιλιοστά,



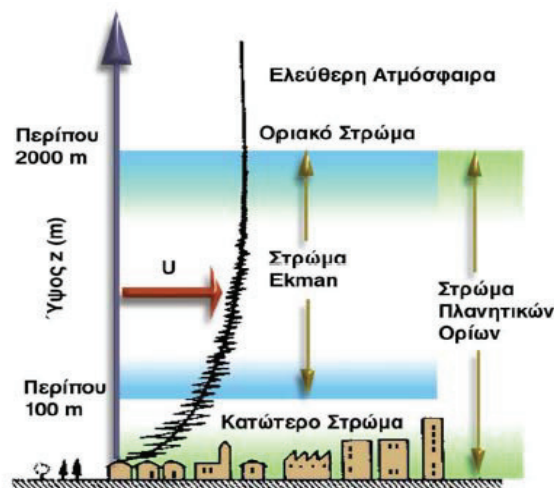
σχήμα 2.11α.. Το δεύτερο στρώμα πάνω από το οριακό υπόστρωμα, είναι τυρβώδες. Το τυρβώδες οριακό στρώμα χωρίζεται σε δύο υποστρώματα, το επιφανειακό στρώμα και το στρώμα Ekman.



Σχήμα 2.11α. Στρωτή και τυρβώδης κίνηση του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους.

Το επιφανειακό τυρβώδες στρώμα, σχήμα 2.11β, χαρακτηρίζεται από έντονη, μικρής κλίμακας, τύρβη που δημιουργείται κατά κύριο λόγο από την επιφανειακή τραχύτητα και κατά δεύτερο λόγο από τη μεταφορά θερμότητας λόγω ρευμάτων. Το πάχος του επιφανειακού στρώματος κατά τη διάρκεια της ημέρας φθάνει μέχρι 100 μέτρα ενώ τη νύχτα, που το πάχος ολόκληρου του Α.Ο.Σ. ελαττώνεται, το πάχος αυτό γίνεται μόνο μερικά μέτρα.

Το στρώμα Ekman εκτείνεται από την κορυφή του επιφανειακού στρώματος μέχρι το ύψος του Α.Ο.Σ. [43].



Σχήμα 2.11β. Διάκριση των κατώτερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας και ένδειξη διαταραχών.

## 2.5 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος.

Η κατακόρυφη μεταβολή του μέτρου της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας του ανέμου μπορεί να εκφρασθεί είτε με εκθετικό, είτε με λογαριθμικό νόμο. Πολλές φορές η εκλογή φαίνεται αυθαίρετη καθώς υπάρχουν επιχειρήματα υπέρ και κατά και των δύο νόμων. Οι εκφράσεις που χρησιμοποιούνται σήμερα στη βιβλιογραφία για διανομή ταχύτητας μέσα στο επιφανειακό στρώμα είναι :

$$\frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^\alpha \quad (\text{εκθετικός νόμος})$$

$$\frac{U}{u_{\text{τρ.}}} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad (\text{λογαριθμικός νόμος})$$

ή

$$\frac{U}{u_{\text{τρ.}}} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right)$$

όπου  $U$ ,  $U_1$  και  $U_2$  η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας σε ύψος  $z$ ,  $z_1$  και  $z_2$  αντίστοιχα.

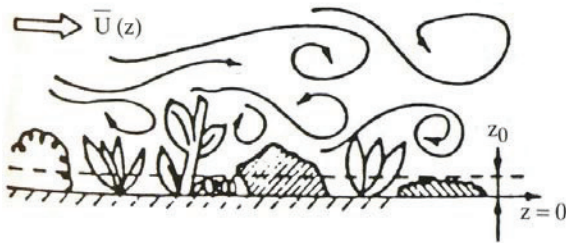
$u_{\text{τρ.}}$  η ταχύτητα τριβής (friction velocity).

$1/\alpha$  ο εκθέτης του εκθετικού νόμου.

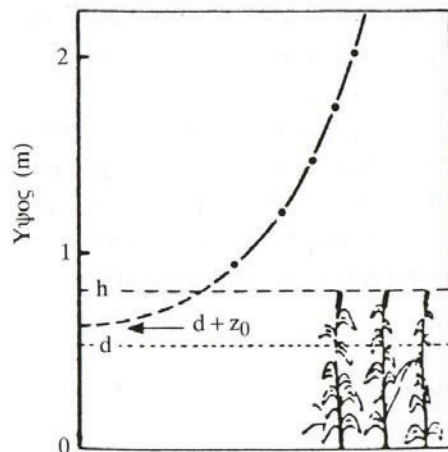
$k$  η σταθερά Von Karman ( $\approx 0.35$ ).

$z_0$  η παράμετρος τραχύτητας ή μήκος τραχύτητας, σχήμα 2.12.

$d$  η μετατόπιση μηδενικού επιπέδου, σχήμα 2.13.

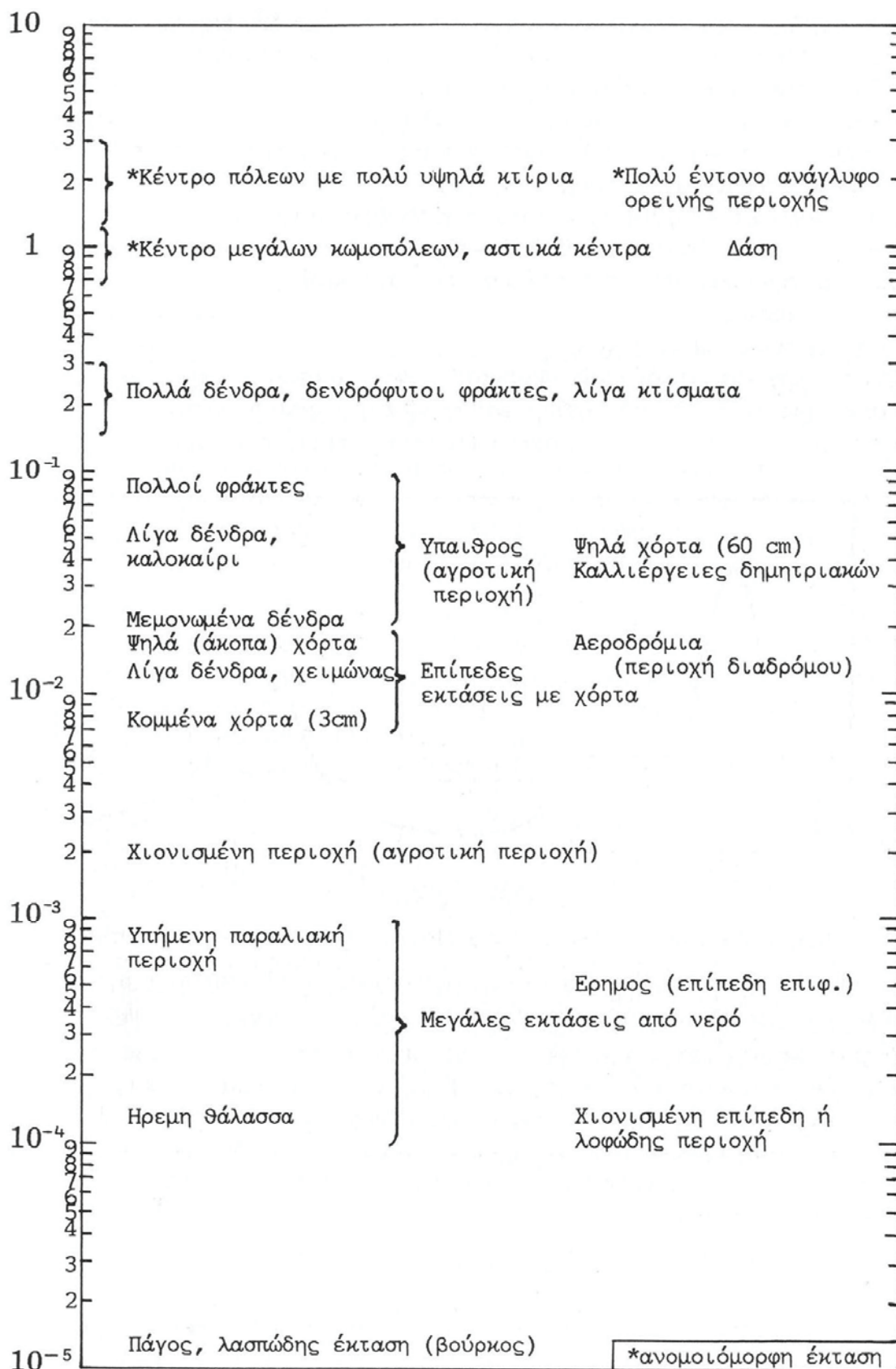


Σχήμα 2.12. Η παράμετρος τραχύτητας ή μήκος τραχύτητας  $z_0$ .



Σχήμα 2.13. Η μετατόπιση μηδενικού επιπέδου,  $d$ .

Συνήθως στα μετεωρολογικά προβλήματα χρησιμοποιείται ο εκθετικός νόμος λόγω του πιο εύκολου μαθηματικού χειρισμού του. Η τιμή του εκθέτη  $\alpha$  αποτελεί μια ένδειξη της μορφής της επιφάνειας του εδάφους, αφού η τιμή αυτή είναι συνάρτηση μόνο της τραχύτητας. Στον πίνακα 2.3 παρουσιάζεται μια κατάταξη διαφόρων περιοχών της επιφάνειας ως προς την τραχύτητα [43].



Πηγή : “Αιολική Ενέργεια” 1993 Εκδόσεις Σιδέρη.

Πίνακας 2.3. Τιμές του μήκους τραχύτητας για διάφορες μορφές επιφάνειας εδάφους.

Για έναν δρομέα του οποίου η περύγωση είναι γνωστής επιφανείας  $A$  και σε ύψος  $h_1$  παράγει ισχύ  $P_1$ , μπορούμε να υπολογίσουμε την ισχύ  $P_2$  που θα παράγει σε ύψος  $h_2$  από την σχέση:

$$\left(\frac{P_2}{A}\right) = \left(\frac{P_1}{A}\right) \cdot \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^{3a}$$

Ο λογαριθμικός καθώς και ο εκθετικός νόμος μεταβολής της ταχύτητας για να χρησιμοποιείται σε μεγάλες αποστάσεις από το έδαφος πρέπει να διορθωθεί λόγω των επιδράσεων της περιστροφής της γης.

Ο τροποποιημένος λογαριθμικός νόμος για ύψη μέχρι τα 200 m περίπου που προτείνεται στη βιβλιογραφία είναι:

$$U(z) = \frac{u_{\text{τρ.}}}{k} \left[ \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) + 5.75 \frac{z}{h} \right]$$

όπου

$$h = u_{\text{τρ.}} / 6f$$

$f$  η παράμετρος Coriolis =  $2 \Omega \sin\phi \approx 10^{-4} \text{ S}^{-1}$

$\Omega$  η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής της γης

$\phi$  το γεωγραφικό πλάτος

Έτσι για διάφορα ύψη  $h$  από το έδαφος η ταχύτητα μεταβάλλεται με το ύψος με βάση τον εκθετικό νόμο:

$$\frac{U_h}{U_{10}} = \left(\frac{h}{10}\right)^\alpha$$

Για επίπεδη τοπογραφία

εδάφους λαμβάνεται

τιμή του  $\alpha = 0.14$ .

Η παράμετρος  $\alpha$  μπορεί επίσης να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\alpha = \frac{\ln\left(\frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_\alpha}{z_0}\right)}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_\alpha}\right)} \cong \frac{1}{\ln\sqrt{\frac{z \cdot z_\alpha}{z_0}}}$$

όπου  $z_0$  η παράμετρος τραχύτητας στην επιφάνεια της γης,  $z$  η ταχύτητα στο ύψος μελέτης και  $z_\alpha$  η ταχύτητα του ανέμου σε κάποιο ύψος  $\alpha$ .

Θα πρέπει να τονισθεί ότι οι παραπάνω σχέσεις εκφράζουν την κατανομή του ανέμου καθ' ύψος προσεγγιστικά και ισχύουν για ροή επάνω από επίπεδη και ομογενή επιφάνεια, χωρίς να λαμβάνουν υπόψη, ύπαρξη εμποδίων ή αλλαγές στο ανάγλυφο [24].

## 2.6 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το χρόνο.

Η ταχύτητα του ανέμου σε ορισμένη θέση στο χώρο δεν παραμένει σταθερή με το χρόνο. Μεταβάλλεται και κατά μέγεθος και κατά διεύθυνση.

Η μεταβλητότητα της ταχύτητας του ανέμου έχει ιδιαίτερη σημασία για τη λειτουργική απόδοση των αιολικών μηχανών αλλά και για τον υπολογισμό της αντοχής, λόγω των εναλλασσομένων φορτίων που αναπτύσσονται και που οδηγούν στην κόπωση των υλικών της μηχανής.

Η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το χρόνο για μια μεγάλη χρονική περίοδο περιέχει μεταβολές που οφείλονται σε:

- εποχιακές διακυμάνσεις ταχύτητας
- μεταβολές ταχύτητας που οφείλονται σε παροδικά κλιματολογικά συστήματα
- σε μεταβολές ταχύτητας 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.

Η γνώση της τιμής αυτής είναι απαραίτητη για ενεργειακούς σκοπούς, ενώ η τιμή της τύρβης της ροής απαιτείται για τον υπολογισμό των μεταβαλλόμενων φορτίων που επιδρούν στην ανεμογεννήτρια και οδηγούν στη γήρανση.

Η γνώση της μέγιστης ταχύτητας του ανέμου είναι απαραίτητη για τον υπολογισμό της πιθανότητας μηχανολογικής αστοχίας της μηχανής. Η μέγιστη τιμή της ταχύτητας έχει επίσης χαρακτηριστικό και τη διάρκεια της. Έτσι λοιπόν μια ριπή ανέμου χαρακτηρίζεται από τη μέση τιμή της κατά τη διάρκεια της ριπής (συνήθως εξετάζεται ριπή ανέμου διάρκειας 3 sec).

Η μέση τιμή ταχύτητας σε μία περιοχή μπορεί να είναι ετήσια (καταγραφή των μέσων ετήσιων ταχυτήτων), εποχιακή (π.χ. μέση τιμή χειμώνα) συγκεκριμένου ύψους ή ετών (π.χ. μέση τιμή χειμώνων), ημερήσια (μέση τιμή ημέρας ή ημερών) και τέλος μέση ωριαία τιμή.

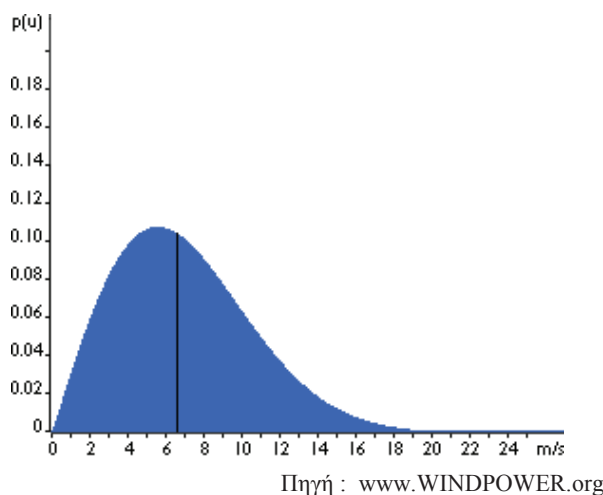
Οι εποχιακές και ημερήσιες τιμές επηρεάζονται από τη διαδοχή των εποχών και την εναλλαγή ημέρας και νύκτας. Η ενεργειακή απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από τη μέση ετήσια τιμή ταχύτητας ανέμου στη θέση εγκατάστασής της. Η μέση αυτή ετήσια τιμή θα προκύψει από μετρήσεις ταχυτήτων ανέμου για πολλά χρόνια προκειμένου να εξαχθεί η μέση ετήσια ταχύτητα. Μετρήσεις αποδεικνύουν ότι η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου κάθε χρόνο διαφέρει από μέρος σε μέρος και από χρόνο σε χρόνο, με αποτέλεσμα να θεωρείται απαραίτητο να υπάρχουν ανεμολογικές μετρήσεις τουλάχιστον 3-5 ετών στη θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας.

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

Η εποχιακή διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου αποτελεί χρήσιμο στοιχείο για τον υπολογισμό της εποχιακής ενεργειακής απόδοσης της ανεμογεννήτριας και της ποιότητας προσαρμογής της καμπύλης ενεργειακής παραγωγής και ζήτησης.

Η διάρκεια πνοής του ανέμου είναι από τα πλέον απαραίτητα στοιχεία που πρέπει να είναι γνωστά στη θέση εγκατάστασης της μηχανής. Η καμπύλη διάρκειας πνοής του ανέμου, εκφράζει το ποσοστό του χρόνου (π.χ. τις ώρες του έτους από τις 8760) για τις οποίες πνέει άνεμος ταχύτητας μεγαλύτερης μιας συγκεκριμένης τιμής [20,38,43].

Η καμπύλη πυκνότητας πιθανότητας ταχύτητας  $P(V)$  αποτελεί μια καμπύλη ισοδύναμη με την καμπύλη διάρκειας πνοής του ανέμου. Τυπική μορφή αυτής φαίνεται στο σχήμα 2.14. Το εμβαδόν της επιφάνειας που ορίζεται κάτω από τις καμπύλες διάρκειας πνοής ανέμου και πυκνότητας πιθανότητας είναι ίσο με τη μονάδα.



Σχήμα 2.14. Πυκνότητα πιθανότητας κατανομής μέσης ταχύτητας.

Ένας άλλος τρόπος αναπαράστασης της διεύθυνσης ροής του ανέμου είναι με ροδογράμματα ανέμου. Το ροδόγραμμα είναι ένα αρκετά εποπτικό διάγραμμα που δίνει αμέσως την κατεύθυνση ανέμου που επικρατεί στην περιοχή και τη διάρκεια πνοής, ανέμου από κάθε κατεύθυνση [20,44].

## 2.7 Θεωρητικός υπολογισμός κατανομής συχνοτήτων ταχύτητας ανέμου.

Για τον υπολογισμό του Αιολικού Δυναμικού μιας θέσης απαιτείται η γνώση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας, ενέργειας που μεταβάλλεται όμως με το χρόνο. Αντιπροσωπευτική τιμή της όμως μπορεί να είναι η μέση ετήσια τιμή η οποία όμως για να υπολογισθεί απαιτεί τη γνώση της διάρκειας πνοής των ανέμων (ή της πυκνότητας πιθανότητας πνοής ανέμου) κάθε κατηγορίας ή κλίμακας ταχυτήτων.

Έχουν προταθεί διάφορες μέθοδοι προσαρμογής αναλυτικών εκφράσεων σε διαθέσιμες ανεμολογικές μετρήσεις εκ των οποίων η αναλυτική σχέση Weibull για την πυκνότητα πιθανότητας έχει ευρύτατη προσαρμογή και γι' αυτό έχει γενικά καθιερωθεί.

Η κατανομή Weibull είναι μία διπαραμετρική κατανομή πυκνότητας πιθανότητας με παραμέτρους  $c$  και  $k$  και έχει την αναλυτική έκφραση:

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

όπου  $V$  η ταχύτητα του ανέμου και  $c$  και  $k$  οι παράμετροι.

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται ημιεμπειρικές σχέσεις για τις παραμέτρους  $c$  και  $k$  όπως:

$$c = 1.39 \bar{V}^2 / (\bar{V} - 2) - 2^{0.089} \quad \text{και} \quad k = 1 + 0.48(\bar{V} - 2)$$

$$\text{ή} \quad c \approx \frac{2 \cdot \bar{V}}{\sqrt{\pi}} \quad \text{και} \quad k = \left( \frac{\sigma}{\bar{V}} \right)^{-1.090}$$

ενώ εάν είναι γνωστή η μέση ταχύτητα του ανέμου και η τυπική απόκλιση ( $\sigma$ ) της ταχύτητας του ανέμου για μια περιοχή, μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ακόλουθες εξισώσεις για τον προσδιορισμό των  $k$  και  $c$ .

$$\left( \frac{\sigma}{\bar{V}} \right)^2 = \frac{\Gamma(1+2/k)}{(\Gamma(1+1/k))^2} - 1$$

και

$$c = \frac{\bar{V}}{\Gamma(1+1/k)}$$

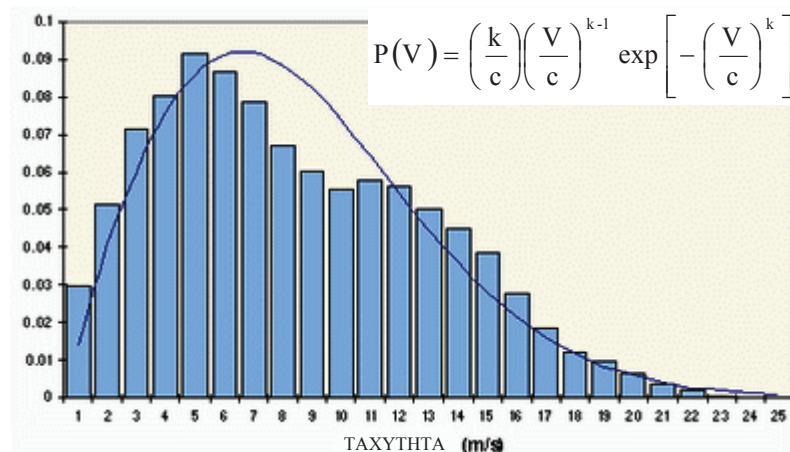
όπου  $\Gamma$  είναι η συνάρτηση γάμα.

Η αθροιστική κατανομή συχνοτήτων (ή διάρκεια πνοής του ανέμου) δίνεται από τη σχέση:

$$P(V \leq V_x) = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{V_x}{c} \right)^k \right]$$

και εκφράζει την πιθανότητα να φυσάει άνεμος ταχύτητας μικρότερης της  $V_x$  ή αλλιώς το ποσοστό του χρόνου που φυσάει άνεμος ταχύτητας μικρότερης της  $V_x$ .

Οι παράμετροι κλίμακας ταχύτητας ( $c$ ) και μορφής ( $k$ ) της κατανομής Weibull σχήμα 2.15 είναι δυνατόν να υπολογιστούν αν υπάρχουν μετεωρολογικές μετρήσεις στην περιοχή.



Πηγή : “The Weibull distribution function and wind statistics” 1985 – 1998 Wind Engineering 7.

Σχήμα 2.15. Τυπική μορφή κατανομής Weibull.

Ο υπολογισμός της μέσης ταχύτητας σε μια περιοχή μπορεί να γίνει, εάν είναι γνωστά το  $k$  και  $c$  αντικαθιστώντας στη σχέση:

$$U_m = c \Gamma(1 + 1/k)$$

όπου  $U_m$  είναι η μέση ταχύτητα και  $\Gamma$  η συνάρτηση γάμα.

Ενώ η διαθέσιμη ισχύς ανά μονάδα διατομής ( $W \cdot m^{-2}$ ) δίνεται από τη σχέση:

$$E = \rho c^3 \Gamma(1 + 3/k) / 2$$

όπου  $\rho$  είναι η πυκνότητα του αέρα σε ( $kg \cdot m^{-3}$ ).

Η συνάρτηση γάμα ορίζεται ως εξής:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt$$

Ο υπολογισμός της στην πράξη γίνεται με αριθμητικές μεθόδους. Ως παράδειγμα αναφέρεται η χρήση του Microsoft Excel, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση  $\text{gamma}(\ln(x))$ . Το αποτέλεσμα αυτό χρησιμοποιείται ως εκθέτης στη βάση των φυσικών λογαρίθμων  $e$ . Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι η τιμή του  $\Gamma(x)$  [4].

Παράμετροι της κατανομής Weibull για διάφορες περιοχές της χώρας δίνονται στον πίνακα 2.4.

*Πίνακας 2.4. Παράμετροι της κατανομής Weibull για διάφορες περιοχές της Ελλάδος.*

Σταθμός	k	c	Σταθμός	k	c	Σταθμός	k	c
Θησείο	0.98	1.89	Βόλος	1.07	3.26	Θήρα	1.20	3.20
Λήμνος	2.23	7.34	Νάξος	1.77	6.70	Σητεία	1.32	5.53
Ελληνικό	1.58	4.52	Ηράκλειο	1.63	4.72	Καβάλα	1.43	3.52
Μήλος	1.41	5.86	Ρόδος	2.15	7.24	Σκύρος	1.51	5.62
Αλεξ/πολη	1.54	5.10	Θες/νίκη	1.03	2.30	Κύθηρα	1.27	5.78
Μυτιλήνη	1.56	4.99	Σάμος	2.09	6.92	Χανιά	1.52	4.60

Πηγή : E.M.Y.

## 2.8 Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής.

Η ονομασία αιολικό δυναμικό μιας περιοχής, χρησιμοποιείται στη βιβλιογραφία για να δηλώσει τα ακόλουθα τρία μεγέθη [6,44]:

1. Το φυσικό διαθέσιμο αιολικό δυναμικό: Είναι η κινητική ενέργεια των αερίων μαζών οι οποίες κινούνται κάθε χρόνο επάνω από την περιοχή. Η αξία αυτού του δυναμικού είναι μόνο θεωρητική.
2. Το τεχνικό αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό: Είναι το μέρος του φυσικώς διαθέσιμου αιολικού δυναμικού, το οποίο είναι τεχνικώς δυνατόν να δεσμευθεί από αιολική μηχανή. Το τεχνικώς αξιοποιήσιμο δυναμικό μεταβάλλεται με το χρόνο, γιατί εξαρτάται από την εκάστοτε διαθέσιμη τεχνολογία.
3. Το οικονομικός αξιοποιήσιμο αιολικό δυναμικό είναι το μέρος του τεχνικώς αξιοποιήσιμου δυναμικού, του οποίου το κόστος αξιοποίησης είναι οικονομικώς συμφέρον. Αυτό το δυναμικό μεταβάλλεται, δεδομένου ότι εξαρτάται από την εκάστοτε τεχνολογία και τις εκάστοτε οικονομικές συνθήκες.



Για τη χάραξη των καμπυλών μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου στον ελλαδικό χώρο μπορούν να χρησιμοποιηθούν μετρήσεις της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας, μετρήσεις από τη διεύθυνση εναλλακτικών μορφών ενέργειας της Δ.Ε.Η., καθώς και από το κέντρο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Ορισμένα αποτελέσματα της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας βασίζονται σε παρατηρήσεις 20-50 ετών και προέρχονται από διάφορους μετεωρολογικούς σταθμούς της χώρας και δορυφόρους. Σε πολλούς απ' αυτούς τους σταθμούς οι μετρήσεις γίνονται με ανεμογράφο είτε με ανεμόμετρο χειρός 8 φορές την ημέρα.

Στο εσωτερικό της χώρας όμως δεν υπάρχει επαρκές δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών για την ακριβή χάραξη των ισοταχυτήτων ανέμου. Έτσι τα αποτελέσματα που διατίθενται βασίζονται σε ανεπαρκή αριθμό μετεωρολογικών σταθμών.

Πρέπει να τονισθεί ότι οι περισσότερες θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών είναι ακατάλληλες για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού επειδή **διαφορετικοί είναι οι σκοποί που οι σταθμοί αυτοί εξυπηρετούν** (π.χ. συνήθως θέσεις αεροδρομίων που είναι κατά κανόνα υπήνεμες θέσεις). Γι' αυτό για τη σωστή εκτίμηση του αιολικού δυναμικού απαιτείται η ακριβής γνώση της μορφολογίας του εδάφους, της παραμέτρου τραχύτητας και κατά συνέπεια του εκθέτη  $\alpha$  αναγωγής ταχυτήτων με το ύψος από το έδαφος [28].

Για ανεμογεννήτριες διαμέτρου δρομέα 5 m το τυπικό ύψος από το έδαφος εγκατάστασης των είναι 15 m. Ο εκθέτης  $\alpha$  λαμβάνεται συνήθως ίσος με 0.17, τυπική τιμή για την τοπογραφία του ελλαδικού χώρου.

Ένας εναλλακτικός και σύντομος τρόπος υπολογισμού του αιολικού δυναμικού είναι η χρήση Softwear H/Y. Το Power Calculator είναι μια εφαρμογή γραμμένη σε γλώσσα JAVA, με σκοπό τον ακριβή και γρήγορο υπολογισμό του αιολικού δυναμικού. Άλλα μοντέλα εκτίμησης του αιολικού δυναμικού είναι, το NOABL που αναπτύχθηκε από την εταιρία Science Application Inc στην Καλιφόρνια, το WAsP που αναπτύχθηκε από τους Toren και Peterson για τη σύνταξη του European Wind Atlas, το MS3DJH που αναπτύχθηκε από τον Walmsey et. al. για την επίλυση προβλημάτων ροής πάνω από χαμηλούς λόφους σε τρεις διαστάσεις, WindRose, Wind Energy, ΑΙΟΛΟΣ – T, ΑΙΟΛΟΣ – 1, WindBase κ.α. [44].

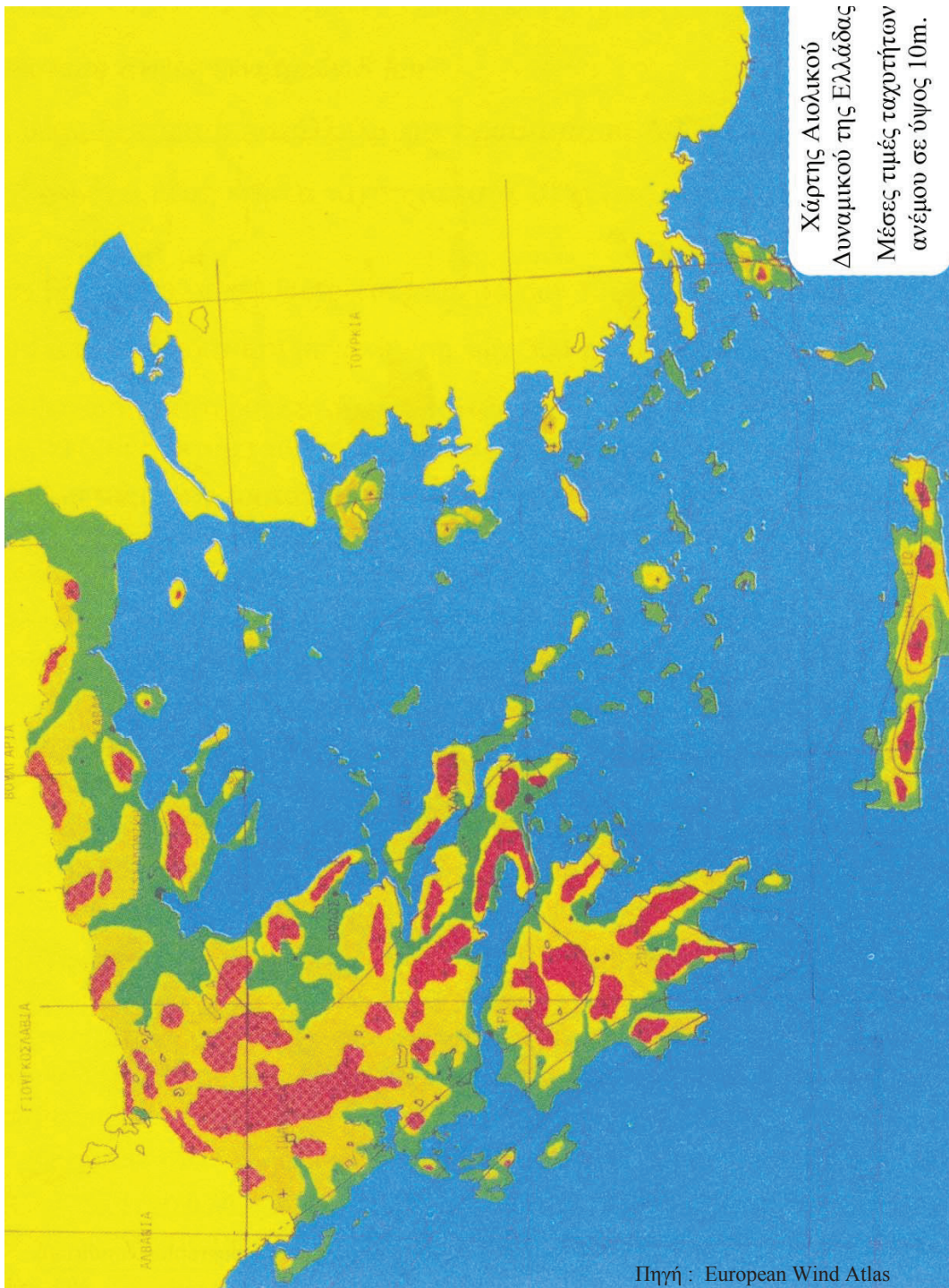
Στα σχήματα 2.16 και 2.17 παρουσιάζεται το αιολικό δυναμικό της χώρας καθώς και το αιολικό δυναμικό άλλων κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Κοινότητας. Με μια απλή εξέταση των ισοταχυτήτων επάνω στους χάρτες εξάγεται το συμπέρασμα ύπαρξης υψηλού αιολικού δυναμικού στον Ελλαδικό νησιώτικο χώρο [38]. Τα ετήσια δεσμευόμενα αιολικά KWh σε ύψος 10 m δίνονται προσεγγιστικά από την έκφραση:

$$E = 10.5 \bar{V}^3 \text{ KWh ετησίως} / \text{m}^2$$

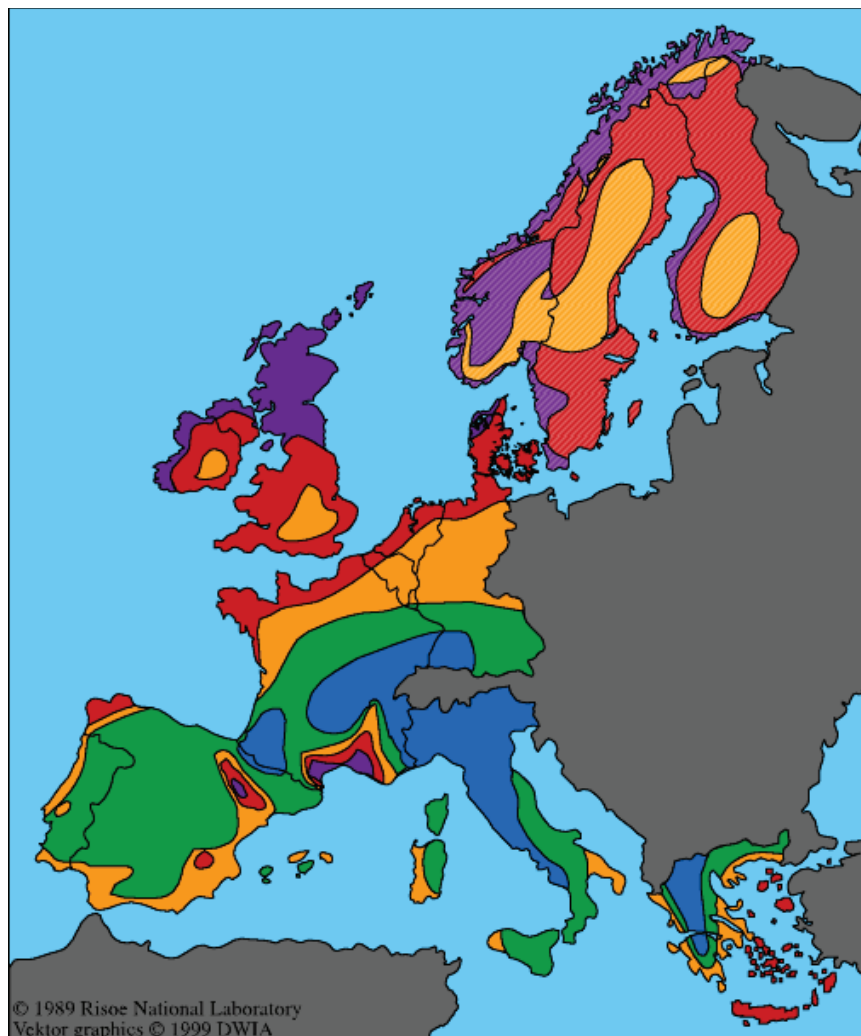
όπου  $\bar{V}$  η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου σε m/s.

(μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου  $\neq$  μέση ταχύτητα ανέμου).






Με τις ισοταχείς καμπύλες και με τη βοήθεια της παραπάνω σχέσης μπορεί να εκτιμηθεί το αιολικό δυναμικό που μπορεί να δεσμευτεί από ανεμογεννήτριες σε μια περιοχή. Πρέπει όμως να τονισθεί ότι οι καμπύλες ισοταχυτήτων είναι απλώς ενδεικτικές του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής και χρησιμοποιούνται ως πρώτη ένδειξη για το αν υπάρχει ή όχι ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό, γιατί η ακριβής τιμή του αιολικού δυναμικού σε κάθε θέση είναι συνάρτηση της τοπογραφίας της περιοχής.



Σχήμα 2.16. Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου στον ελληνικό χώρο.



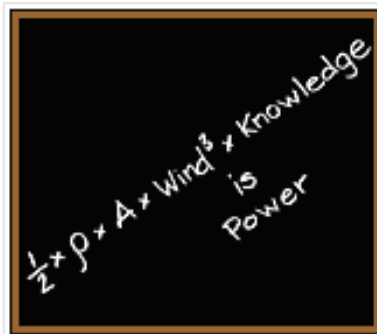
Ευρωπαϊκός αιολικός χάρτης για ύψος 50m από την επιφάνεια του εδάφους.

	Περιορισμένες εκτάσεις m/s    W/m <sup>2</sup>	Ανοικτές εκτάσεις m/s    W/m <sup>2</sup>	Παραλιακές περιοχές m/s    W/m <sup>2</sup>	Ανοικτή θάλασσα m/s    W/m <sup>2</sup>	Λόφοι και κορυφογραμμές m/s    W/m <sup>2</sup>
	>6.0   >250	>7.5   >500	>8.5   >700	>9.0   >800	>11.5   >1800
	5.0-6.0   150-250	6.5-7.5   300-500	7.0-8.5   400-700	8.0-9.0   600-800	10.0-11.5   1200-1800
	4.5-5.0   100-150	5.5-6.5   200-300	6.0-7.0   250-400	7.0-8.0   400-600	8.5-10.0   700-1200
	3.5-4.5   50-100	4.5-5.5   100-200	5.0-6.0   150-250	5.5-7.0   200-400	7.0-8.5   400-700
	<3.5   <50	<4.5   <100	<5.0   <150	<5.5   <200	<7.0   <400

Σχήμα 2.17. Ευρωπαϊκός αιολικός χάρτης.

**2.9 Μια θέση θεωρείται αξιόλογη, από κλιματολογικής άποψης, για μελέτη εγκατάστασης ανεμοκινητήρα εάν:**

- η περιοχή έχει μέση ετήσια ταχύτητα (σε ύψος 10 m από το έδαφος), μεγαλύτερη των 4 m/s.
- η θέση βρίσκεται σε υψόμετρο μικρότερο των 1000 m.
- η θέση απέχει απόσταση μεγαλύτερη των 500 m από τα όρια πυκνοκατοικημένης περιοχής ή δασώδους έκτασης.
- δεν υπάρχουν ιδιαίτεροι λόγοι μη εγκατάστασης, ως αρχαιολογικοί χώροι, ασταθή εδάφη, κεραιές αναμεταδόσεως, στρατιωτικές εγκαταστάσεις.



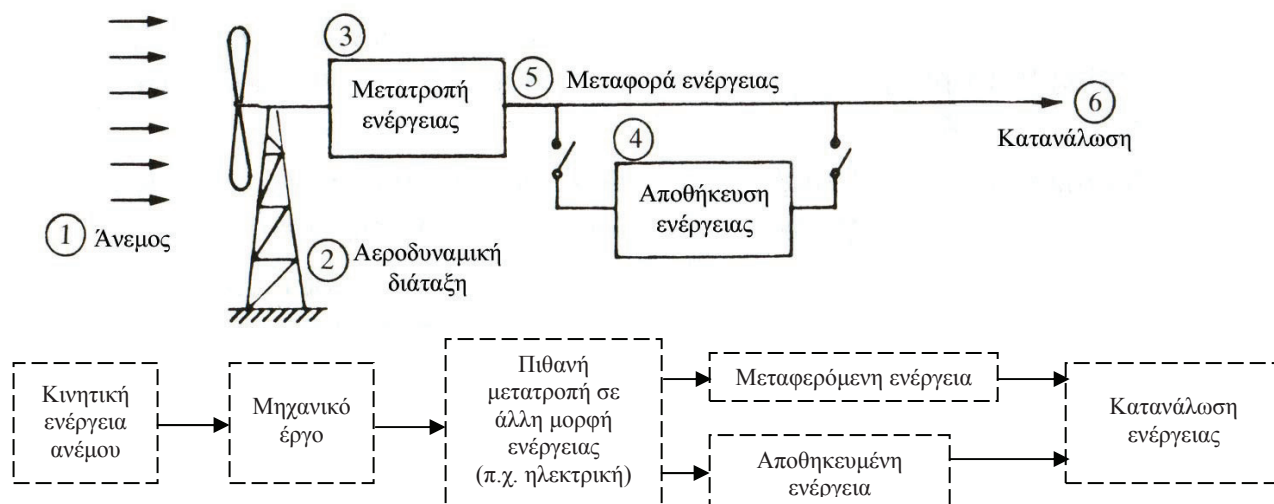
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

#### 3.1 Γενικά στοιχεία για τους ανεμοκινητήρες.

Ο ανεμοκινητήρας από την εποχή της εμφάνισής του μέχρι σήμερα έχει περάσει από πολλά στάδια εξέλιξης, τόσο ως προς τον τύπο του (οριζόντιου ή κατακόρυφου άξονα) όσο και ως προς τα υποσυστήματά του (περύγια, κιβώτιο ταχυτήτων, πύργος, αυτοματισμοί, γεννήτρια κ.λ.π.). Εξελίξεις έχουν επίσης σημειωθεί και στον τρόπο δέσμευσης, αξιοποίησης, αποθήκευσης ή μεταφοράς της ενέργειας του ανέμου που μετατρέπεται από τον ανεμοκινητήρα σε άλλη «αναβαθμισμένη» μορφή ενέργειας.

Μια εικόνα των βασικών μερών που αποτελούν μια τυπική διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας καθώς και της ροής ενέργειας παρουσιάζεται στο σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1. Διάταξη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας.

Η διάταξη αυτή είναι μια γενική περίπτωση όπου η κινητική ενέργεια του ανέμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με τη βοήθεια μιας αεροδυναμικής διάταξης (π.χ. μιας έλικας). Αυτό το μηχανικό έργο μπορεί να είναι εκμεταλλεύσιμο επί τόπου (π.χ. άντληση νερού). Στη γενικότερη όμως περίπτωση απαιτείται η μετατροπή του σε κάποια άλλη μορφή ενέργειας, είτε γιατί δεν χρειαζόμαστε μόνο μηχανικό έργο, είτε γιατί ο τόπος της κατανάλωσης δεν συμπίπτει με τον τόπο που είναι εγκατεστημένος ο ανεμοκινητήρας, δηλαδή απαιτείται η μεταφορά της δεσμευόμενης αιολικής ενέργειας. Σ' αυτήν την περίπτωση η πιο πρόσφορη διάταξη είναι εκείνη που μετατρέπει το μηχανικό έργο σε άλλη μορφή ενέργειας, που μπορεί να μεταφέρεται εύκολα και αποδοτικά στον τόπο της κατανάλωσης. Εδώ και πολύ καιρό οι περισσότερες έρευνες στρέφονται προς την κατεύθυνση της μετατροπής του

μηχανικού έργου του δρομέα του ανεμοκινητήρα σε ηλεκτρική ενέργεια, λόγω της εύκολης μεταφοράς της ή την παραγωγή επί τόπου υδρογόνου (με ηλεκτρόλυση) που μπορεί να αποθηκευθεί ή να μεταφερθεί και να καεί ως αέριο καύσιμο. Η τελευταία περίπτωση αποτελεί ίσως και την βέλτιστη από πολλές απόψεις πρόταση αξιοποίησης γενικότερα των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, δεδομένου ότι είναι οικολογικά αποδεκτή διότι με την καύση του υδρογόνου παράγονται ελάχιστοι ρίποι [9].

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

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

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

Οι λέξεις «καλύτερος», «βέλτιστος», υποδηλώνουν βελτιστοποίηση τόσο από τεχνικής όσο και οικονομικής σκοπιάς. Μία οποιαδήποτε έρευνα ή διάταξη αιολικής εγκατάστασης θα έχανε το μεγαλύτερο μέρος της αξίας της, αν στους στόχους της δεν είχε να καταστήσει την αιολική ενέργεια οικονομικά ανταγωνιστική με τις άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας.

### 3.2 Τύποι συλλογής αιολικής ενέργειας.

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

- Οριζόντιου άξονα, στους οποίους ο άξονας περιστροφής του δρομέα είναι παράλληλος προς την κατεύθυνση του ανέμου, σχήμα 3.2
- Καθέτου άξονα στους οποίους ο άξονας περιστροφής είναι κάθετος στην επιφάνεια της γης και κάθετος στη ροή του ανέμου, σχήμα 3.3.



Σχήμα 3.2. Ανεμοκινητήρες οριζοντίου άξονα.



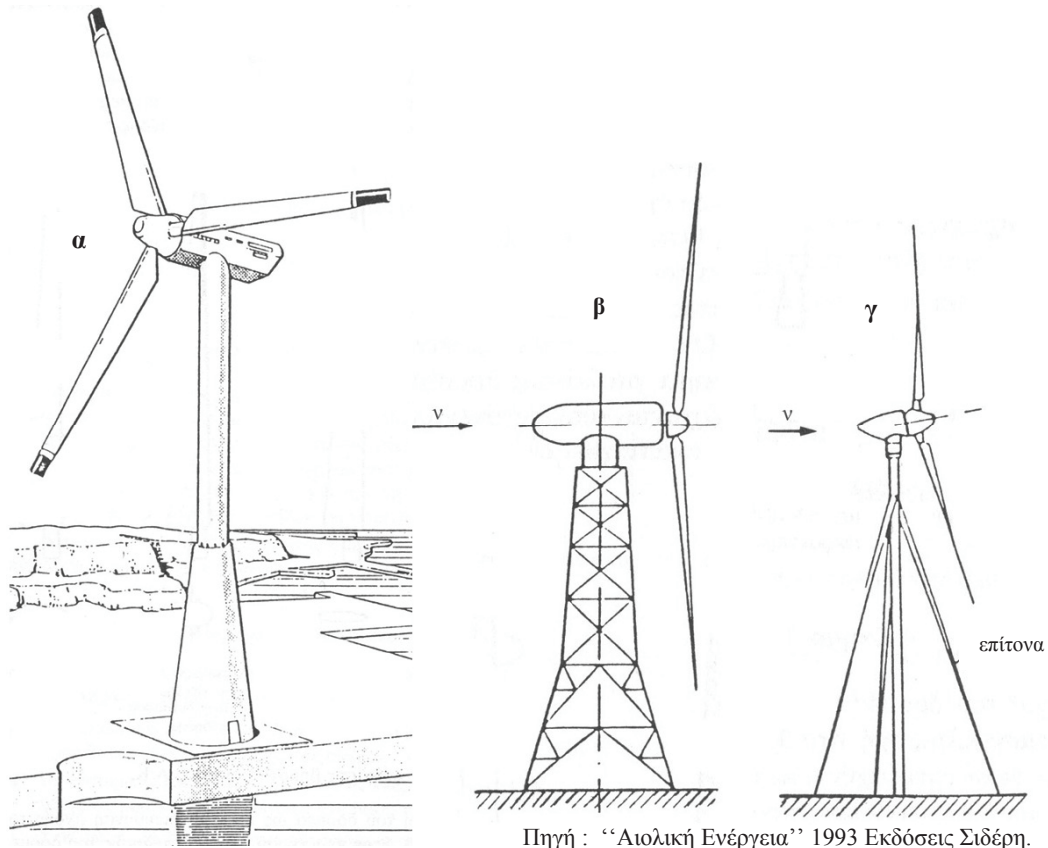
Σχήμα3.3. Ανεμοκινητήρες κατακόρυφου άξονα.

### 3.3 Τυπικές μορφές ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα.

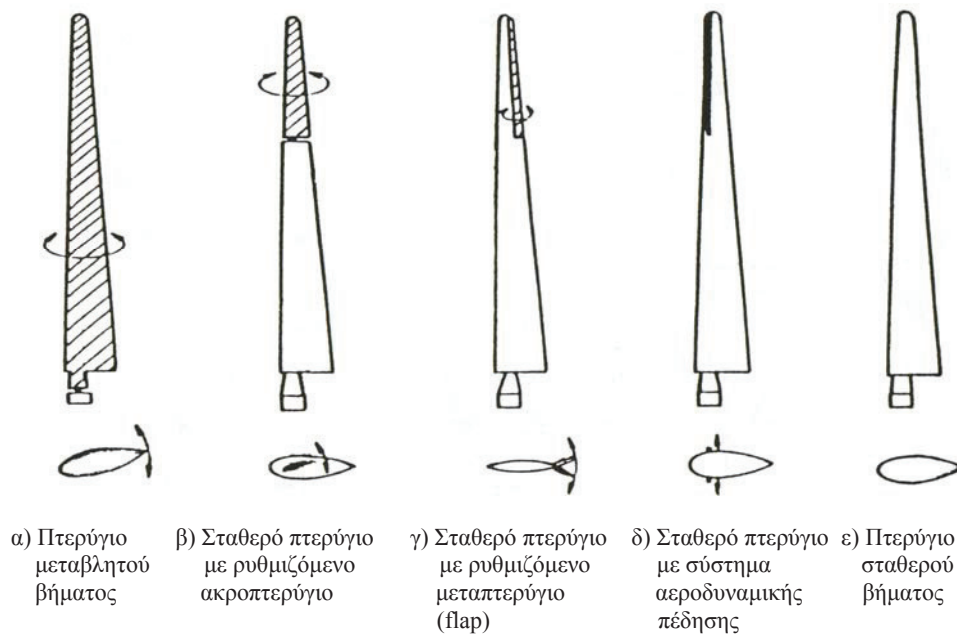
Ο περιστρεφόμενος μηχανισμός τέτοιων μηχανών, που καλείται δρομέας, μπορεί να έχει από ένα πτερύγιο (μονόπτερος) μέχρι 30 ή και περισσότερα (πολύπτερος). Σε σχέση με τη θέση του δρομέα ως προς τον πύργο στήριξης και τη διεύθυνση του ανέμου, οι ανεμοκινητήρες αυτού του τύπου μπορούν να έχουν τον δρομέα μπροστά από τον πύργο (ανάντι) ή πίσω (κατάντι). Για τη μεγιστοποίηση δέσμευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου απαιτείται το επίπεδο του δρομέα του ανεμοκινητήρα να είναι κάθετο στην κατεύθυνση του ανέμου. Για το σκοπό αυτό στους μεν μικρής ισχύος ανεμοκινητήρες υπάρχει συνήθως πτερύγιο που ευθυγραμμίζει τον άξονα του δρομέα στον άνεμο, στους δε μεγάλους ανεμοκινητήρες εφαρμόζονται συστήματα αυτόματης ρύθμισης της σωστής θέσης του δρομέα ως προς τον άνεμο μέσω σερβομηχανισμού. Στους «μικρούς» ανεμοκινητήρες με το δρομέα κατάντι δεν τοποθετείται πτερύγιο προσανατολισμού γιατί το κουβούκλιο που καλύπτει τα εξαρτήματα της διάταξης μετατροπής της ενέργειας του δρομέα έχει τέτοιο σχήμα ώστε το ίδιο να αποτελεί πτερύγιο προσανατολισμού. Ο πύργος στήριξης του ανεμοκινητήρα μπορεί να είναι σωληνωτού τύπου, σχήμα 3.4α, τύπου δικτυώματος, σχήμα 3.4β που είναι αυτοστηριζόμενοι, ή τύπου λεπτής κολώνας, σχήμα 3.4γ, που απαιτεί πρόσδεση με 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 έναντι υπερτάχυνσης έχουν αναπτυχθεί διάφοροι αυτοματισμοί, όπως λειτουργία αεροπέδης στα ακροπτερύγια του δρομέα, γωνιακή στροφή του δρομέα ως προς τη διεύθυνση πνοής του ανέμου κ.λ.π., σχήματα 3.5. Στην περίπτωση ανάγκης πέδησης του δρομέα είτε γιατί υπερταχύνθηκε ο δρομέας (π.χ. δεν λειτούργησε η αεροπέδη των ακροπε-

ρυγίων) ή υπερβολική ταχύτητα ανέμου ή μηδενική ενεργειακή ζήτηση, χρησιμοποιείται αυτόματης ενέργειας πέδη (fail safe), ασφάλειας αστοχίας τύπου δίσκου που ενεργεί είτε στον χαμηλόστροφο άξονα του δρομέα (πριν από το κιβώτιο ταχυτήτων) είτε στον υψηλόστροφο (μετά το κιβώτιο ταχυτήτων), σχήμα 3.6.

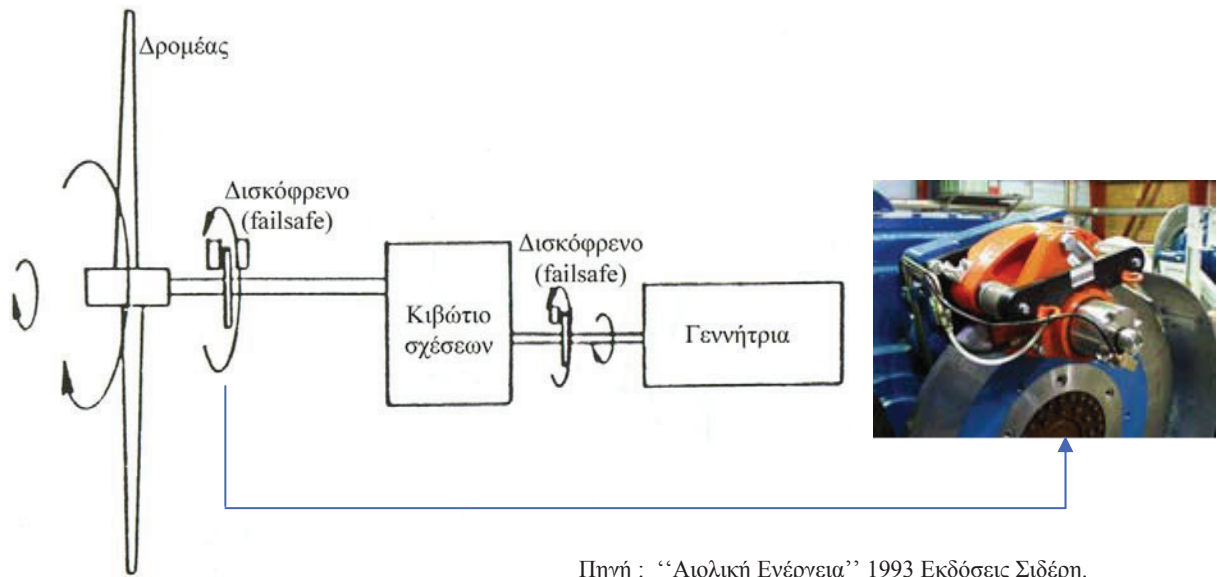


Σχήμα 3.4. Α/Κ (α) με σωληνωτό πύργο, (β) με πύργο δικτυώματος, (γ) με στήριξη επιτόνων.



Σχήμα 3.5. Μέθοδοι ρύθμισης βήματος – ισχύος δρομέα.





Σχήμα 3.6. Τυπική διάταξη κουβουκλίου ανεμοκινητήρα, με σύστημα πέδησης.

Το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας του δρομέα σε άλλη μορφή ενέργειας, το οποίο στεγάζεται μέσα στο κουβούκλιο της μηχανής, συνήθως βρίσκεται πάνω στον πύργο του ανεμοκινητήρα σχήμα 3.7, ενώ στις περιπτώσεις απ' ευθείας χρήσης της μηχανικής ενέργειας του δρομέα π.χ. για άντληση νερού, το κιβώτιο ταχυτήτων βρίσκεται κάτω στη βάση του πύργου και από την κορυφή του πύργου μέχρι τη βάση κατεβαίνει ο άξονας κίνησης, συνήθως σε υψηλότερες στροφές απ' αυτές του δρομέα.

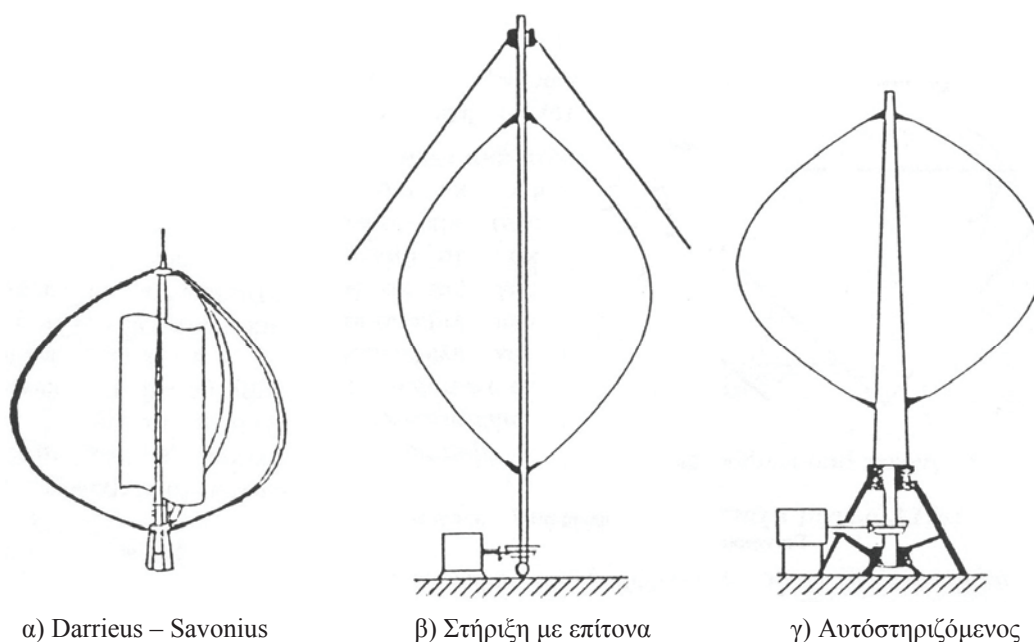


Σχήμα 3.7. Κουβούκλιο που περικλείει την γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος ενός ανεμοκινητήρα.

### 3.4 Χαρακτηριστικά ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα Darrieus.

Ο ανεμοκινητήρας τύπου Darrieus, επινοήθηκε από τον Γάλλο G.J.M.Darrieus γύρω στα 1920 και έτυχε εκτεταμένης ανάπτυξης και εφαρμογής στον Καναδά, κυρίως στη δεκαετία του 1970 οπότε και έγινε ευρύτερα γνωστός. Ο ανεμοκινητήρας Darrieus είναι μηχανή που χαρακτηρίζεται από καμπυλωτά πτερύγια (egg beater). Έχει σχετικά χαμηλή αρχική ροπή εκκίνησης και ως εκ τούτου έχει το μειονέκτημα να μη ξεκινάει μόνος του όταν φυσάει άνεμος μικρής ταχύτητας. Συνδυασμός όμως ανεμοκινητήρα Darrieus και ενός μικρού Savonius επιλύει το τεχνικό αυτό πρόβλημα, σχήμα 3.8α. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μορφές ανεμοκινητήρων Darrieus, όπως:

- με δύο ή τρία πτερύγια
- με ευθύγραμμα πτερύγια ή
- με σπαστά πτερύγια, για ρύθμιση ισχύος.



Πηγή : Σεμινάριο αιολικών μηχανών ‘‘Ενέργεια & Περιβάλλον’’(1983)

Σχήμα 3.8. Ανεμοκινητήρες τύπου Darrieus.

Ο άξονας περιστροφής του δρομέα αποτελεί συνήθως και τον πύργο στήριξης της αιολικής μηχανής. Ο πύργος αυτός προσδένεται με συρματόσχοινα ή κατασκευάζεται αυτοστηριζόμενος, σχήμα 3.8 β,γ.

Τα λοιπά υποσυστήματα του ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα, δεν διαφέρουν ως προς το σκεπτικό επιλογής των από τα υποσυστήματα του ανεμοκινητήρα οριζοντίου άξονα.

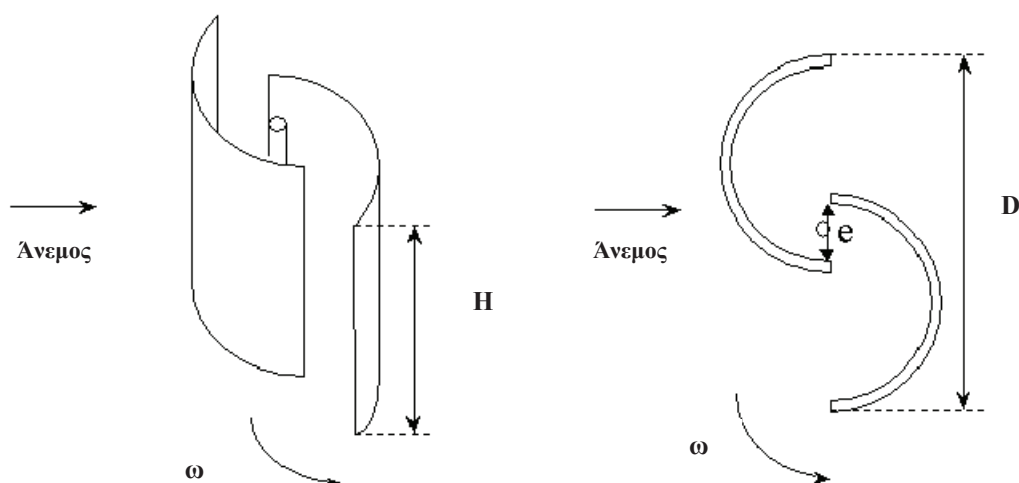
Οι ανεμοκινητήρες αυτού του τύπου είναι κατασκευαστικά απλούστεροι έναντι των ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα γιατί:

- δεν απαιτούν πτερύγιο ή σύστημα αυτοματισμού για τον προσανατολισμό του δρομέα στη διεύθυνση πνοής του ανέμου.
- το σύστημα μετατροπής της μηχανικής ενέργειας του δρομέα σε άλλη μορφή ενέργειας βρίσκεται κοντά στο έδαφος, στη βάση του ανεμοκινητήρα.

Συνεπώς τα έξοδα εγκατάστασης, συντήρησης ή επισκευών είναι σαφώς μικρότερα σε σύγκριση με τον ανεμοκινητήρα οριζόντιου άξονα.

### 3.5 Χαρακτηριστικά ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα τύπου Savonius.

Οι ανεμοκινητήρες αυτού του τύπου που πρωτοπαρουσιάστηκαν το 1931 έχουν τη χαρακτηριστική μορφή του σχήματος 3.9.



Πηγή : Σεμινάριο αιολικών μηχανών "Ενέργεια & Περιβάλλον"(1983)

Σχήμα 3.9. Ανεμοκινητήρας τύπου Savonius

Τα βασικά χαρακτηριστικά τους είναι ο χαμηλός συντελεστής ισχύος, ο μικρός λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου  $\omega$  (δηλ. μικρή περιφερειακή ταχύτητα), το περιορισμένο μέγεθος και η εξαιρετική απλότητα και οικονομικότητα της κατασκευής. Παρά τα μειονεκτήματα, το τελευταίο πλεονέκτημα, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι δεν χρειάζεται σύστημα προσανατολισμού προς τον άνεμο, έχει δώσει ώθηση σε μια σειρά από έρευνες πάνω στο δρομέα Savonius για την εύρεση του καλύτερου συνδυασμού των διαφόρων παραμέτρων. Τέτοιες παράμετροι είναι ο λόγος ύψους προς διάμετρο, το άνοιγμα  $e$  σχήμα 3.9, ο αριθμός των πτερυγίων (2,3 ή και περισσότερα), το σχήμα των πτερύγων κλπ.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η απλότητα κατασκευής του δρομέα Savonius φθάνει μέχρι το σημείο να μπορεί να κατασκευαστεί με ερασιτεχνικά μέσα, ακόμα και από βαρέλια πετρελαίου, έχει λοιπόν άμεσες δυνατότητες εφαρμογής για οικιακή χρήση ή για χρήση σε απομακρυσμένες περιοχές (π.χ. άντληση νερού).

Οι προηγούμενοι τρεις τύποι ανεμοκινητήρων είναι αυτοί που ουσιαστικά έχουν επιβληθεί για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας. Πρωταρχικός παράγοντας για τη βελτιστοποίηση της αιολικής διάταξης είναι το ποσόν της ενέργειας, ανά μονάδα κόστους του συστήματος, το οποίο παράγεται σε μία δεδομένη ταχύτητα του ανέμου και αυτό ίσως είναι το μοναδικό κριτήριο επιλογής του βέλτιστου τύπου ανεμοκινητήρα.

### 3.6 Άλλοι τύποι ανεμοκινητήρων.

Υπάρχει ένα πλήθος αεροδυναμικών διατάξεων που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο, που όμως παρουσιάζουν μειονεκτήματα ή δυσκολίες κατά την υλοποίηση των σχεδίων στην πράξη [37]:

#### Ανεμοκινητήρες οριζοντίου άξονα τύπου **Andreau-Enfield**.

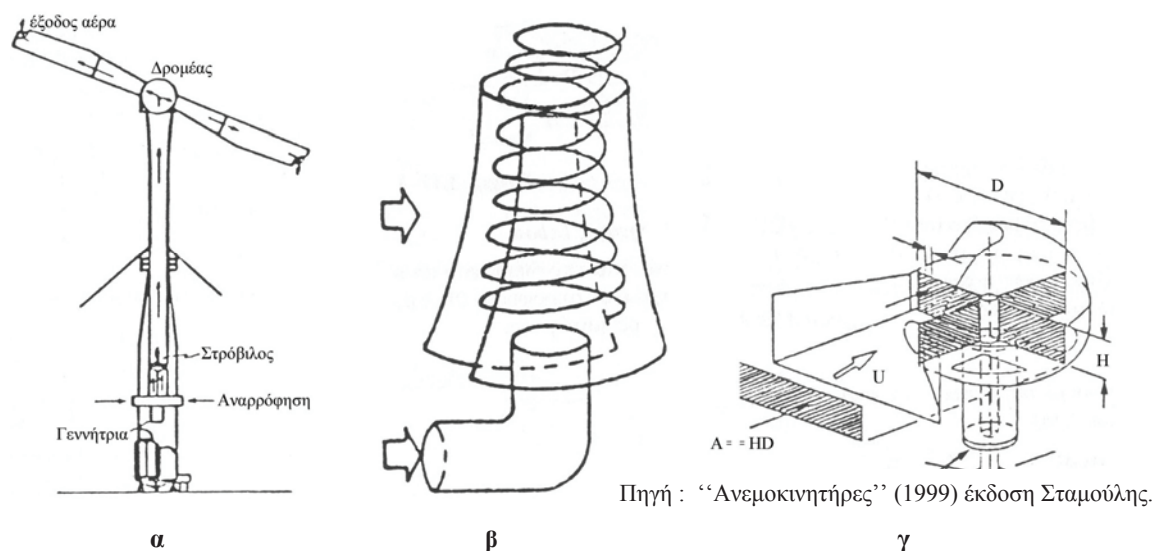
Οι ανεμοκινητήρες αυτού του τύπου είναι σχετικά ελαφρές κατασκευές με μια έλικα τύπου αεροπλάνου με κοίλα πτερύγια που, καθώς περιστρέφεται από τον άνεμο, ενεργεί σαν φυγοκεντρική αντλία αέρα σχήμα 3.10α. Το ρεύμα αέρα που εκτοπίζεται μέσα από τα πτερύγια κινεί ένα στρόβιλο στη βάση του πύργου. Η παραγωγή τέτοιου είδους ανεμοκινητήρων διακόπηκε λόγω μηχανικών προβλημάτων και χαμηλού βαθμού απόδοσης.

#### Σύστημα τεχνητού ανεμοστρόβιλου.

Στον ανεμοκινητήρα αυτόν ο αέρας εισρέει μέσα από πλευρικά ανοίγματα σε ένα κοίλο κυλινδρικό κτίριο δημιουργώντας έτσι ένα ανεμοστρόβιλο στο εσωτερικό του, σχήμα 3.10β. Ο πυρήνας του ανεμοστρόβιλου έχει χαμηλή πίεση, οπότε δημιουργείται ένα ισχυρό ρεύμα αέρα λόγω της διαφοράς πίεσης του περιβάλλοντος και της χαμηλής πίεσης του πυρήνα. Η υψηλή ισχύς του ρεύματος αξιοποιείται από κατάλληλο δρομέα.

#### Ανεμοκινητήρες **Lebost**.

Είναι μια επινόηση, που αποτελείται από ένα δρομέα κατακόρυφου άξονα και ένα συγκλίνον ακροφύσιο σχήμα 3.10γ, που καθοδηγεί τον αέρα και αυξάνει την ισχύ του ρεύματός του.



Σχήμα 3.10. Διάφοροι τύποι ανεμοκινητήρων,  
α) *Enfield – Andreau*, β) τεχνητού ανεμοστρόβιλου, γ) *Lebost*

### Ανεμοκινητήρες οριζοντίου άξονα σε σωλήνες Venturi.

Η έλικα τύπου αεροπλάνου και οι δρομείς Darrieus υφίστανται τους περιορισμούς που θέτει η θεωρία Betz. Σύμφωνα με τη θεωρία του Betz ο συντελεστής ισχύος μιας μηχανής που κινείται από τον άνεμο μπορεί στην ιδανική περίπτωση να φθάσει το πολύ την τιμή 16/27 (όριο του Betz). Η διαπίστωση αυτή οδήγησε σε προσπάθειες να σχεδιαστούν διατάξεις που δίνουν ένα ρεύμα αέρος με συγκεντρωμένη ισχύ. Μια τέτοια διάταξη είναι ο σωλήνα Venturi, σχήμα. 3.11. Στο λαιμό (στένωση) μπορεί να τοποθετηθεί ένας δρομέας. Ο δρομέας μπορεί να είναι είτε έλικα τύπου αεροπλάνου είτε πτερωτή τύπου στροβιλομηχανής. Εκτός από τη συγκέντρωση ισχύος υπάρχει το πρόσθετο πλεονέκτημα της μείωσης των αεροδυναμικών απωλειών. Ανάμεσα στα μειονεκτήματα καταλογίζεται το μεγάλο βάρος που προβλέπεται να έχει μια τέτοια κατασκευή και οι δυσκολίες που θα παρουσιάζονται για το συνεχή προσανατολισμό προς τον άνεμο.



Σχήμα 3.11. Διάφοροι τύποι ανεμοκινητήρων που εκμεταλλεύονται την διαφορά πίεσης ή την αύξηση της ταχύτητας λόγω της στένωσης στο σωλήνα Venturi.

### 3.7 Σύγκριση των επικρατέστερων διατάξεων αιολικών μηχανών.

Ένα μέτρο σύγκρισης των διαφόρων ανεμοκινητήρων είναι ο συντελεστής ισχύος  $C_p$  που εκφράζει την απόδοση του δρομέα και που ορίζεται ως ο λόγος της δεσμευόμενης αιολικής ισχύος (στον άξονα του δρομέα) προς την ισχύ του ρεύματος του αέρα, που διέρχεται δια μέσου της μηχανής. Ο συντελεστής ισχύος εξαρτάται από τον τύπο του ανεμοκινητήρα και από το λόγο της περιφερειακής ταχύτητας του ακροπτερυγίου προς την ταχύτητα του ανέμου,  $\lambda$ . Για κάθε δρομέα υπάρχει ένα συγκεκριμένο διάγραμμα που δίνει πληροφορίες για την απόδοση του δρομέα σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Ενδεικτικά δίνονται στο σχήμα 1.6 συγκεντρωμένα διαγράμματα απόδοσης για διάφορους τύπους ανεμοκινητήρων. Με τα διαγράμματα αυτά μπορούμε να συγκρίνουμε, την απόδοση των διαφόρων τύπων και τους λόγους  $\lambda$  ταχύτητας ακροπτερυγίου, οπότε προκύπτει η διάκριση των ανεμοκινητήρων σε βραδύστροφους (π.χ. Savonius) και ταχύστροφους (π.χ. έλικες). Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο που προκύπτει από το λειτουργικό διάγραμμα απόδοσης των ανεμοκινητήρων είναι ότι ο ιδανικός ανεμοκινητήρας έχει άνω όριο στο συντελεστή ισχύος του ίσο με 16/27, που καλείται και όριο του Betz. Η ισχύς που αποδίδεται από κάθε ανεμογεννήτρια εκφράζεται από τη σχέση:

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

όπου  $A$  η μετωπική επιφάνεια του ανεμοκινητήρα,  $V$  η ταχύτητα του ανέμου στον άξονα του δρομέα,  $\rho$  η πυκνότητα του αέρα και  $C_p$  ο συντελεστής ισχύος του δρομέα. Η σχέση ισχύος υποδηλώνει ότι η παραγόμενη ενέργεια από την ανεμοκίνηση είναι

ανάλογη του κύβου της ταχύτητας του ανέμου. Αυτό σημαίνει ότι με διπλασιασμό της ταχύτητας του ανέμου οκταπλασιάζεται η παραγόμενη ενέργεια από τη μηχανή. Το σχήμα 1.6 υποδεικνύει ότι ο ελικοφόρος ανεμοκινητήρας επιτυγχάνει συντελεστή ισχύος γύρω στο 40 έως 45%, ενώ ο κατακόρυφος άξονας τύπου Darrieus ελαφρώς μικρότερο.

### 3.8 Εξαγωγή ισχύος.

Οι μεγάλες μάζες του ανέμου που διαρκώς μετακινούνται στην ατμόσφαιρα περιέχουν τεράστια ποσά ενέργειας που προσφέρονται περισσότερο από κάθε άλλη μορφή ενέργειας για μετατροπή και εκμετάλλευση.

Η στιγμιαία ισχύς που περιέχεται σε ένα ρεύμα αέρα διατομής  $A$  ομοιόμορφης στιγμιαίας ταχύτητας  $V$  και πυκνότητας  $\rho$  υπολογίζεται από τη σχέση:

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

και είναι ανάλογη του κύβου της στιγμιαίας ταχύτητας του ανέμου. Αυτό όμως έχει τεράστια σημασία αφού η ταχύτητα δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε ευρύτατα όρια με το χρόνο. Το γεγονός αυτής της μεταβολής με το χρόνο μας επιβάλλει ένα ξεχωριστό τρόπο επεξεργασίας των μετεωρολογικών δεδομένων όταν ενδιαφερόμαστε για την εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου και την εύρεση του κατάλληλου ανεμοκινητήρα για μια ορισμένη περιοχή.

Η ισχύς όμως που παρέχει η έλικα είναι μικρότερη από την ισχύ του ανέμου, λόγω του συντελεστή ισχύος, σύμφωνα με τη σχέση:

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

### 3.9 Ενεργειακές απώλειες.

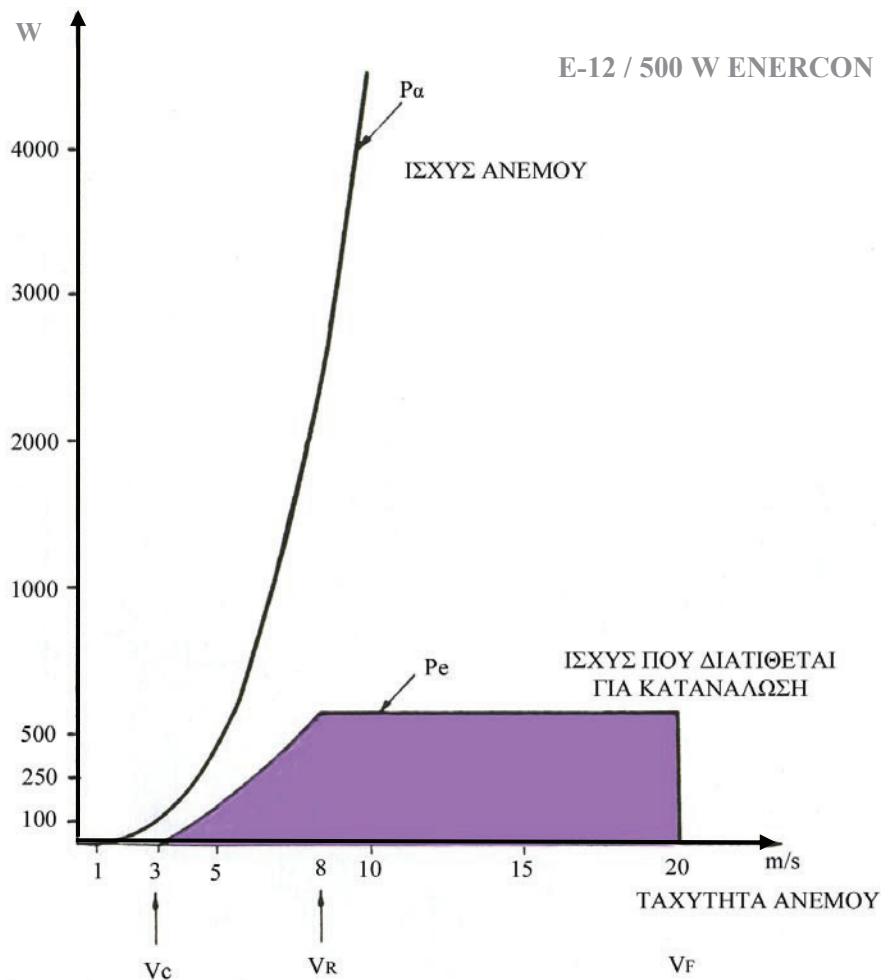
Ο ανεμοκινητήρας δεν μπορεί να αξιοποιήσει όλη την ετήσια ενέργεια του ανέμου για τους ακόλουθους λόγους [6,37,44]:

- Ο ανεμοκινητήρας είναι σε θέση να αποδώσει ωφέλιμη ισχύ μόνο όταν η ισχύς του ανέμου είναι μεγαλύτερη από τις απώλειες κενού φορτίου (αδράνεια, τριβές στα έδρανα, στο μειωτήρα κλπ). Την ταχύτητα του ανέμου στην οποία ο ανεμοκινητήρας ξεκινάει ονομάζουμε ταχύτητα έναρξης λειτουργίας και συμβολίζεται συνήθως με  $V_C$  ή  $V_{cut-in}$ .
- Καθώς η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται, αυξάνει και η αποδιδόμενη ισχύς μέχρι να φθάσει την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας. Κατόπιν, όσο και να αυξάνεται η ισχύς του ανέμου επιδιώκουμε να διατηρήσουμε την ισχύ σταθερή. Αυτό γίνεται με την αλλαγή της γωνίας κλίσεως των πτερυγίων ή με τα μεταπτερύγια (flaps), με την αλλαγή της γωνιακής θέσης του δρομέα ως προς τον άνεμο ή την αλλαγή σχέσης μετάδοσης από τον δρομέα στη γεννήτρια. Η μικρότερη ταχύτητα ανέμου στην οποία ο δρομέας αναπτύσσει την ονομαστική ισχύ της μηχανής-γεννήτριας ορίζεται με  $V_R$  και ονομάζεται ονομαστική ταχύτητα ανέμου. Άρα για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες της  $V_R$  χάνεται ένα ποσό του αιολικού δυναμικού.
- Όταν ο άνεμος φθάνει σε υψηλές ταχύτητες ενδείκνυται η διακοπή

λειτουργίας της εγκατάστασης για λόγους ασφαλείας. Η ταχύτητα διακοπής λειτουργίας (furling speed), συμβολίζεται με  $V_F$  και η ενέργεια του ανέμου για ταχύτητες μεγαλύτερες της παραμένει τελείως αναξιοποίητη.

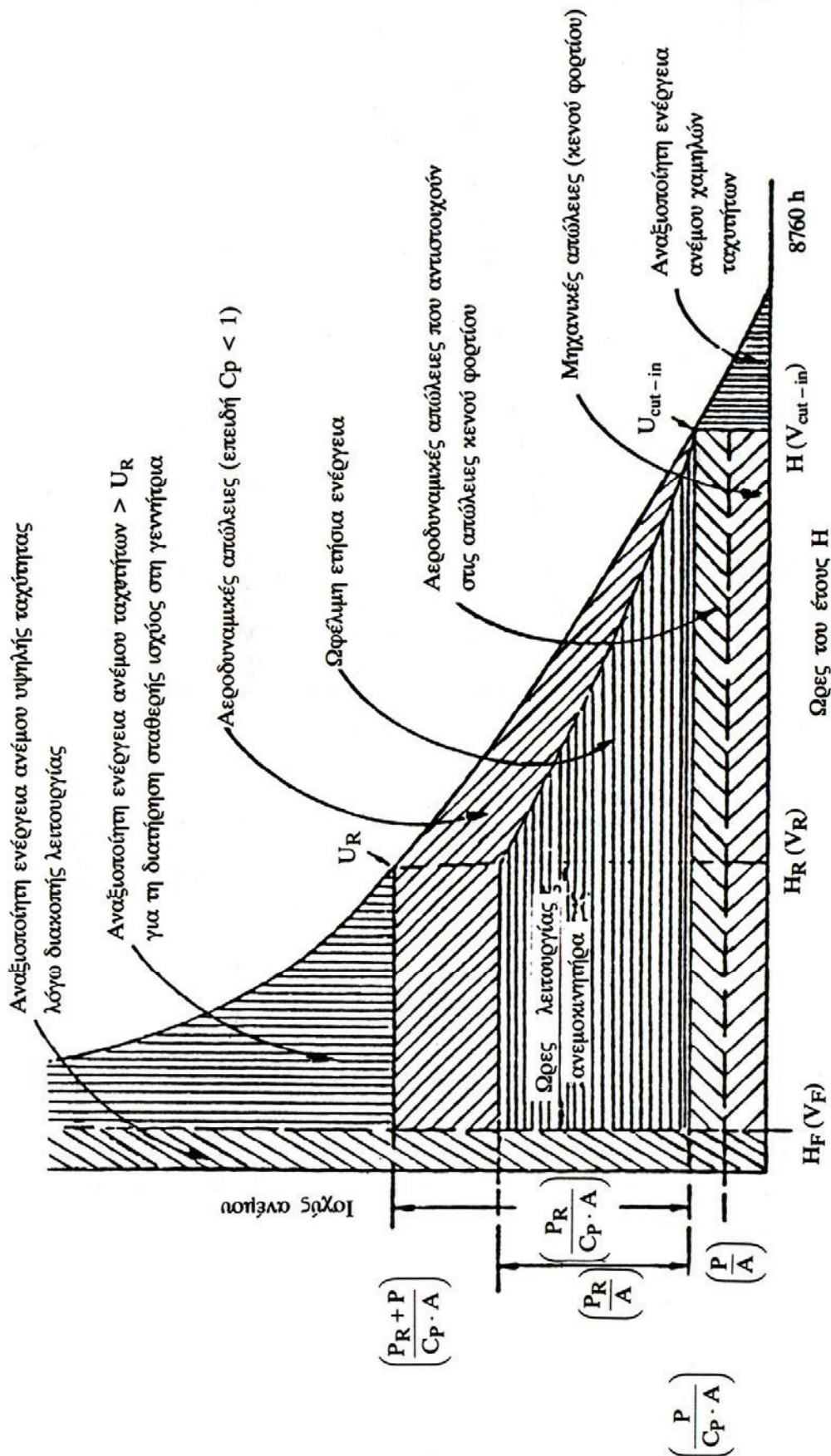
- Κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας έχουμε αεροδυναμικές απώλειες. (π.χ. συστροφή του ρεύματος του αέρα πίσω από το δρομέα).
- Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας έχουμε μηχανικές απώλειες στα έδρανα των αξόνων, στο μειωτήρα κλπ, που μπορούν να θεωρηθούν σταθερές και ίσες με τις απώλειες κενού φορτίου. Ανάλογα με τα υποσυστήματα του ανεμοκινητήρα, οι συνολικές απώλειες κενού φορτίου μπορεί να ανέρχονται και στο 10% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής.

Στο σχήμα 3.12, παρουσιάζεται τυπική καμπύλη ισχύος ανεμοκινητήρα, ονομαστικής ισχύος 500 W, ονομαστικής ταχύτητας  $V_R = 8$  m/s με ταχύτητα έναρξης και διακοπής λειτουργίας αντίστοιχα ίση με 3 m/s και 20 m/s, μετρούμενες στα 10 m από το έδαφος.



Σχήμα 3.12. Ισχύς ανέμου και ανεμοκινητήρα

Το σχήμα 3.13 παρουσιάζει τις ετήσιες ενεργειακές απώλειες τυπικού ανεμοκινητήρα. Είναι φανερό ότι η ετήσια ενεργειακή απόδοση είναι πολύ μικρότερη από την ποσότητα  $8760 P_R$ , δηλαδή την ενέργεια που θα απέδιδε ο ανεμοκινητήρας σε ετήσια βάση αν δούλευε συνεχώς στην ονομαστική του ισχύ [26].



Πηγή : “Ανεμοκινητήρες” (1999) έκδοση Σταμούλης.

Σχήμα 3.13. Ενεργειακές απώλειες στην καμπύλη διάρκειας πνοής ανέμου.



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

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

Η μέση αυτή τιμή ισχύος εξαρτάται από τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας και ειδικότερα από τη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου  $\bar{V}$ . Ως συντελεστής χωρητικότητας (capacity factor) ενός ανεμοκινητήρα ορίζεται ο λόγος  $\bar{P}/P_R$ .

Η θεωρητική ενέργεια που παράγεται από τον άνεμο δίνεται από την σχέση[20]:

$$W_1 = 0.613 \cdot V^3 / 1000 \text{ σε Kw} / \text{m}^2$$

Ενώ η μέγιστη δυνατή απόδοση ενός ανεμοκινητήρα δίνεται από την σχέση:

$$W_2 = 0.363 \cdot V^3 / 1000 \text{ σε Kw} / \text{m}^2$$

όπου  $V$  η μέση ταχύτητα του ανέμου σε m/s.

### 3.10 Επιμέρους στάδια μελέτης και υπολογισμός φορτίων του ανεμοκινητήρα.

Τα επιμέρους στάδια μελέτης που αντιμετωπίζονται στη σχεδίαση για την εγκατάσταση ενός ανεμοκινητήρα είναι τα εξής [34]:

- Βέλτιστη αεροδυναμική σχεδίαση ή επιλογή τυποποιημένου δρομέα.
- Συμπεριφορά του δρομέα σε ειδικές καταστάσεις όπως εκκίνηση, επιτάχυνση, επιβράδυνση, απότομο φρενάρισμα και άλλα δυναμικά φαινόμενα, καθώς και μελέτη για αποφυγή φαινομένων συντονισμού.
- Επιλογή είδους ρύθμισης βήματος πτερυγίων και επιλογή αυτοματισμών που αφορούν τη ρύθμιση ισχύος, την έναρξη και παύση λειτουργίας του ανεμοκινητήρα.
- Σύστημα προσανατολισμού του άξονα του δρομέα προς την κατεύθυνση του ανέμου.
- Επιλογή υποσυστημάτων της ανεμογεννήτριας.
- Μελέτη και εκλογή των υλικών που αφορούν την κατασκευή και την έδραση των πτερυγίων, του κουβουκλίου κλπ.
- Επιλογή ύψους του δρομέα πάνω από το έδαφος.
- Σχεδίαση και θεμελίωση του πύργου στήριξης. Έλεγχος αντοχής της κατασκευής σε σεισμούς. Μελέτη αντοχής του πύργου.
- Αντιδιαβρωτική προστασία.
- Αντικεραυνική προστασία.
- Επίδραση του ανεμοκινητήρα στο περιβάλλον.
- Μελέτη αλληλεπίδρασης ανεμοκινητήρων σε περιπτώσεις αιολικών πάρκων.
- Επιλογή τελικής θέσης εγκατάστασης ανεμοκινητήρα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΩΝ

#### 4.1 Μειονεκτήματα αξιοποίησης αιολικής ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε στο παρελθόν από τον άνθρωπο σε αρκετές περιπτώσεις, όμως αντικαταστάθηκε από άλλες πηγές ενέργειας για ολόκληρο σχεδόν τον εικοστό αιώνα, λόγω των σημαντικών μειονεκτημάτων που παρουσίαζε σε σύγκριση με τις υπόλοιπες μορφές ενέργειας. Βέβαια, σήμερα οι χρησιμοποιούμενες μηχανές δεν έχουν καμία σχέση τόσο από αεροδυναμικής σκοπιάς όσο και από κατασκευαστικής αντοχής και ποιότητας με τους ανεμόμυλους, εμφανίζουν δε αξιοσημείωτη συγκέντρωση ισχύος. Παρόλα αυτά, είναι χρήσιμο να εξετάσουμε τα κυριότερα μειονεκτήματα που αποδίδονται στην αιολική ενέργεια [9,34,39,41].

1. Το χαμηλό ενεργειακό περιεχόμενο ανά μονάδα επιφάνειας του ανέμου ( $\text{Watt/m}^2$ ) κατατάσσει την αιολική ενέργεια στις «αραιές» μορφές ενέργειας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των ανεμοκινητήρων, είτε τη χρήση μηχανών μεγάλων διαστάσεων για την παραγωγή της επιθυμητής ποσότητας ενέργειας. Σήμερα καταβάλλονται προσπάθειες αύξησης συγκέντρωσης ισχύος των αιολικών μηχανών, οι οποίες σε ορισμένες περιπτώσεις πλησιάζουν ή και υπερβαίνουν τα  $500 \text{ W/m}^2$ .

2. Η αδυναμία ακριβούς πρόβλεψης της ταχύτητας και της διεύθυνσης των ανέμων δεν μας δίνει τη δυνατότητα να έχουμε την απαραίτητη αιολική ενέργεια τη στιγμή που τη χρειαζόμαστε. Το γεγονός αυτό μας υποχρεώνει να χρησιμοποιούμε τις αιολικές μηχανές, κυρίως, σαν εφεδρικές πηγές ενέργειας, σε συνδυασμό πάντοτε με κάποια άλλη πηγή ενέργειας (σύνδεση με ηλεκτρικό δίκτυο ή παράλληλη λειτουργία με άλλες μονάδες παραγωγής ενέργειας)

3. Αντίστοιχα, σε περιπτώσεις αυτόνομων μονάδων, είναι απαραίτητη η ύπαρξη συστημάτων αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας, σε μια προσπάθεια να έχουμε συγχρονισμό της ζήτησης και της διαθέσιμης ενέργειας. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται αυξημένο κόστος αγοράς και συντήρησης λόγω της προσθήκης του συστήματος αποθήκευσης ενέργειας και βέβαια επιπλέον απώλειες ενέργειας κατά τις φάσεις μετατροπής και αποθήκευσης.

4. Πρέπει, επίσης να ληφθεί υπόψη ότι από το σύνολο της απορροφούμενης αιολικής ενέργειας από έναν ανεμοκινητήρα μόνο ένα μικρό ποσοστό μετατρέπεται σε ωφέλιμη ενέργεια, λόγω των αεροδυναμικών και των μηχανικών απωλειών και περιορισμών.

5. Τέλος, θα πρέπει να επισημάνουμε το σχετικά υψηλό κόστος της αρχικής επένδυσης για την εγκατάσταση μιας Α/Γ, ειδικά μάλιστα για μεμονωμένες περιπτώσεις αιολικών μηχανών μικρού μεγέθους. Στο σημείο αυτό, πρέπει να προσθέσουμε ότι η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας και ο ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστών έχει μειώσει σημαντικά τις τιμές, τα τελευταία χρόνια.

## 4.2 Πλεονεκτήματα αξιοποίησης αιολικής ενέργειας.

Αν και δεν είναι δυνατό να αγνοήσουμε τα μειονεκτήματα που συνοδεύουν την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, είναι σημαντικό να ληφθούν υπόψιν και οι παρακάτω παράγοντες, ορισμένοι από τους οποίους ισχύουν ιδιαίτερα στη χώρα μας, ώστε να διαμορφώσουμε μια ολοκληρωμένη εικόνα για τις δυνατότητες και τους περιορισμούς αξιοποίησης της αιολικής ενέργειας [9,34,39,41]. Πιο συγκεκριμένα:

1. Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι, η αιολική ενέργεια δεν κοστίζει και δεν εξαντλείται, σε αντίθεση με το σύνολο των συμβατικών καυσίμων, των οποίων τα βεβαιωμένα αποθέματα του πλανήτη μας αναμένεται να εξαντληθούν σε λίγες δεκαετίες, με αναμενόμενη αύξηση των τιμών τους.

2. Η αιολική ενέργεια αποτελεί μια καθαρή μορφή ενέργειας, ήπια προς το περιβάλλον. Η χρήση της δεν επιβαρύνει τα οικοσυστήματα των περιοχών εγκατάστασης και παράλληλα, αντικαθιστά ιδιαίτερα ρυπογόνες πηγές ενέργειας. Κάθε κιλοβατώρα ηλεκτρισμού που παράγεται από τον άνεμο, σημαίνει μια λιγότερη κιλοβατώρα που θα είχε παραχθεί πιθανά με κάποιον άλλο ρυπογόνο τρόπο. Κατά μέσο όρο, κάθε κιλοβατώρα που παράγεται καίγοντας πετρέλαιο, εκλύει στην ατμόσφαιρα ένα περίπου κιλό διοξειδίου του άνθρακα, 10-20 γραμμάρια διοξειδίου του θείου, 1,5-15 γραμμάρια οξειδίων του αζώτου, 1-5 γραμμάρια μικροσωματιδίων και πολλούς ακόμη επικίνδυνους αέριους ρύπους.

Επιπλέον ειδικά για την χώρα μας ισχύουν και τα ακόλουθα στοιχεία:

3. Η χώρα μας διαθέτει πολύ υψηλό αιολικό δυναμικό, ιδιαίτερα σε νησιωτικές και παράκτιες περιοχές.

4. Η εξάρτηση της χώρας μας από εισαγόμενα καύσιμα, τα οποία οδηγούν αφ' ενός σε συναλλαγματική αιμορραγία, αφ' ετέρου σε εξάρτηση της από χώρες εκτός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.). Ας σημειωθεί ότι, η χώρα μας εξαρτάται, κυρίως από το εισαγόμενο πετρέλαιο, που προέρχεται κυρίως από χώρες υψηλού πολιτικοοικονομικού κινδύνου και οι οποίες εμπλέκονται συχνά σε πολιτικές και στρατιωτικές κρίσεις. Με τον τρόπο αυτό, το μακροπρόθεσμο κόστος παραγωγής ενέργειας, η οποία αποτελεί τον κυριότερο ίσως παραγωγικό συντελεστή για πλήθος βασικών αγαθών, δεν μπορεί να προβλεφθεί με λογικά σενάρια.

5. Η δυνατότητα αξιοποίησης επενδυτικών προγραμμάτων που χρηματοδοτούνται σε μεγάλο ποσοστό από ευρωπαϊκούς φορείς. Επιπλέον, είναι δυνατή η διαχρονική κατανομή του κόστους επένδυσης, σύμφωνα με το σχεδιασμό του επενδυτή.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω πλεονεκτήματα που απορρέουν από την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας, είναι περισσότερα από τα μειονεκτήματα. Για το λόγο αυτό, η στρατηγική απόφαση να αξιοποιηθεί στη χώρα μας το υπάρχον αιολικό δυναμικό, μπορεί κάλλιστα να οδηγήσει σε οικονομικά βιώσιμες αλλά και ελκυστικές επενδύσεις στη γεωργία και όχι μόνο, μη λαμβάνοντας υπόψη στους ισολογισμούς τα παράλληλα οφέλη, που αφορούν την προστασία του περιβάλλοντος και την ενεργειακή ανεξαρτησία «εν' μέρη» της χώρας μας.

#### **4.3 Δεν δημιουργούνται αισθητικά προβλήματα και προσβολή του τοπίου από τις ανεμογεννήτριες;**

Οι εγκατεστημένες ανεμογεννήτριες αποτελούν ιδιαίτερα ορατά στοιχεία του περιβάλλοντος, διότι, διαφορετικά δεν θα ήταν σωστά εγκαταστημένες. Υπάρχουν περιπτώσεις μη ορθής μελέτης, όπου μια μεμονωμένη ανεμογεννήτρια δεν ταιριάζει και προκαλεί μια άσχημη αισθητική εντύπωση [18,19,25].

Είναι αυτονόητο, λοιπόν ότι κάθε εγκατάσταση ανεμοκινητήρα πρέπει να συνοδεύεται από μελέτη που θα εξασφαλίζει την βέλτιστη ενσωμάτωση του ανεμοκινητήρα στο τοπίο.

Πέρα από την θέση των ανεμοκινητήρων, σημαντικό ρόλο από αισθητική σκοπιά παίζουν το μέγεθος τους, ο τύπος τους, το χρώμα τους και ο αριθμός ελίκων.

Πολλές φορές όπως δείχνουν έρευνες, κάποιοι αντιτίθενται στη εγκατάσταση ανεμοκινητήρων στην περιοχή, αν και γενικά υποστηρίζουν την ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας. Αυτό είναι γνωστό ως σύνδρομο NIMBY (Not In My Back Yard).

#### **4.4 Δεν είναι θορυβώδεις οι ανεμογεννήτριες;**

Πρόκειται για το μόνο ουσιαστικό πρόβλημα, αλλά συγχρόνως και το ευκολότερο να ελεγχθεί και να προληφθεί. Στις ανεμογεννήτριες ο εκπεμπόμενος θόρυβος μπορεί να προκληθεί είτε από μηχανικές είτε από αεροδυναμικές αιτίες.

- Ο πρώτος προέρχεται από τα περιστρεφόμενα μηχανικά τμήματα (κιβώτιο ταχυτήτων, ηλεκτρογεννήτρια, έδρανα κλπ.)
- Ο δεύτερος προέρχεται από την περιστροφή των πτερυγίων.

Οι σύγχρονοι ανεμοκινητήρες γίνονται όλο και πιο αθόρυβοι. Ενδεικτικά το επίπεδο του ήχου σε απόσταση 40 μέτρων από έναν σύγχρονο ανεμοκινητήρα PPC – 12NK MAN 33 KW είναι 50 - 60 dB, που αντιστοιχεί με την ένταση μιας συζήτησης. Σε απόσταση 200 μέτρων, η στάθμη του θορύβου πέφτει στα 44 dB, για ταχύτητα ανέμου 8 m/s. Σημειώνεται ότι ο θόρυβος ελαττώνεται εκθετικά με την απόσταση, ενώ για ταχύτητας ανέμου μεγαλύτερες των 8 m/s, ο θόρυβος που παράγεται από τις ανεμογεννήτριες καλύπτεται από το φυσικό θόρυβο. Το συγκεκριμένο επίπεδο θορύβου (44dB), που αναφέρθηκε για αντιπροσωπευτικό δείγμα ανεμοκινητήρα που μπορεί κάλλιστα να χρησιμοποιηθεί σε μια γεωργική εκμετάλλευση, αντιστοιχεί σε αυτό μίας ήσυχης μικρής πόλης και δεν αποτελεί βέβαια πηγή όχλησης. Στον πίνακα 4.1 καταγράφονται ενδεικτικά οι μέσες στάθμες θορύβου.

#### **4.5 Δεν δημιουργούν ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές οι ανεμογεννήτριες;**

Είναι γεγονός ότι η διάδοση των εκπομπών στις συχνότητες της τηλεόρασης ή και του ραδιοφώνου (κυρίως στις συχνότητες εκπομπών FM) επηρεάζεται από εμπόδια που παρεμβάλλονται μεταξύ πομπού και δέκτη. Το κυριότερο πρόβλημα από τις ανεμογεννήτριες προέρχεται από τα κινούμενα πτερύγια που μπορούν να προκαλέσουν αυξομείωση σήματος λόγω αντανακλάσεων. Αυτό ήταν πολύ

εντονότερο στην πρώτη γενιά ανεμογεννητριών που είχαν μεταλλικά πτερύγια. Τα πτερύγια των συγχρόνων ανεμογεννητριών κατασκευάζονται αποκλειστικά από

*Πίνακας 4.1. Μέσες στάθμες θορύβου σε dB.*

<b>Μέσες στάθμες θορύβου σε dB</b>		
1.	Αεροσκάφος	140
2.	Κομπρεσέρ	120
3.	Βιομηχανικός θόρυβος	100
4.	Στερεοφωνικό	90
5.	Εσωτερικό αυτοκινήτου	80
6.	Γραφείο	60
7.	Σπίτι	50
8.	Υπνοδωμάτιο	30
9.	Ψίθυρος	20
10.	Πτώση φύλλων	10

Πηγή : EWEA. European Wind Energy Association

συνθετικά υλικά, τα οποία έχουν ελάχιστη επίπτωση στη μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Οι ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις ανεμοκινητήρων για γεωργική χρήση δεν είναι σημαντικές, δεδομένου ότι οι διαστάσεις του δρομέα και η ισχύς του κινητήρα είναι μικρές. Η παραγόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία δεν παρουσιάζει ασυνήθη προβλήματα. Τυχόν παρεμβολές σε ραδιοηλεκτρονικά σήματα αντιμετωπίζονται με κατάλληλη τοποθέτηση των κεραιών και απλούς ενισχυτές σήματος.

#### **4.6 Δεν έχουν δυσμενείς επιπτώσεις στα πουλιά οι ανεμογεννήτριες;**

Το θέμα της προστασίας των πουλιών πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά τη μελέτη εγκατάστασης ειδικά σε προστατευόμενες περιοχές ή περάσματα μεταναστευτικών πουλιών, αν και στην προκείμενη περίπτωση το ύψος εγκατάστασης του ανεμοκινητήρα είναι σχετικά μικρό.

Κύρια αιτία ανησυχίας των οικολόγων είναι οι πιθανές θανατώσεις πουλιών από προσκρούσεις στα πτερύγια.

Οι προσκρούσεις ποικίλουν με τον τύπο, το μέγεθος, την ταχύτητα περιστροφής των πτερυγίων και πολλούς άλλους παράγοντες.

Μελέτες που έγιναν στην Δανία δείχνουν ότι τα πουλιά τείνουν να αλλάζουν την τροχιά πτήσης τους 100-200 μέτρα πριν από τις ανεμογεννήτριες και να πετάνε σε ασφαλή απόσταση από αυτές. Αντίστοιχες Ολλανδικές μελέτες δείχνουν ότι 80 έως 100 φορές περισσότερα πουλιά πεθαίνουν από σύγκρουση με οχήματα και κυνήγι αντίστοιχα, παρά από τους ανεμοκινητήρες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

#### 5.1 Ανεμολογικές μετρήσεις.

##### 5.1.1 Κατάταξη σφαλμάτων μετρήσεων.

Οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για να προσδιορισθεί η πραγματική τιμή ενός φυσικού μεγέθους "x<sub>0</sub>", η οποία κατά κανόνα δεν είναι γνωστή. Σφάλμα μιας μέτρησης είναι η διαφορά μεταξύ της τιμής ενός μεγέθους που προέκυψε από τη μέτρηση και της πραγματικής τιμής του μεγέθους. Επειδή δε η πραγματική τιμή σπάνια είναι γνωστή, η εκτίμηση του σφάλματος γίνεται με τη βοήθεια υποθέσεων, που αφορούν την πραγματική τιμή.

Τα σφάλματα που υπεισέρχονται κατά τη διάρκεια των μετρήσεων χωρίζονται σε συστηματικά σφάλματα και σε τυχαία σφάλματα [3,4,44].

Τα συστηματικά σφάλματα ονομάζονται και σταθερά σφάλματα καθώς παραμένουν σταθερά κατά τη διάρκεια μιας σειράς μετρήσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις τα εν λόγω σφάλματα μεταβάλλονται συστηματικά με το χρόνο ή με κάποια άλλη παράμετρο και οφείλονται για παράδειγμα σε ατελή βαθμονόμηση του οργάνου, σε διαφοροποίηση των συνθηκών μέτρησης σε σχέση με τις συνθήκες βαθμονόμησης του οργάνου, σε σφάλματα χρήσης του οργάνου καθώς και σε υποκειμενικά λάθη του χειριστή. Για παράδειγμα η χρήση ενός κυπελλοφόρου ανεμομέτρου σε συνθήκες υψηλής ή χαμηλής θερμοκρασίας και πίεσης επιβάλλει συστηματικό σφάλμα σε σχέση με τις συνθήκες βαθμονόμησης του οργάνου, που αναφέρονται σε θερμοκρασία 15°C και πίεση 1 at. Αντίστοιχα, η μέτρηση της τάσεως και της εντάσεως ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου, το οποίο παραμένει για μακρό χρονικό διάστημα εκτεθειμένο σε φωτεινή ακτινοβολία, επηρεάζεται σημαντικά από τη σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του πλαισίου, λόγω της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, σε σχέση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος στην οποία αναφέρεται το σύνολο των μετρήσεων.

Τα τυχαία σφάλματα οφείλονται σε τυχαίους παράγοντες, αποκαλούνται δε και πειραματικά σφάλματα, ενώ μεταβάλλονται με μη προβλέψιμο τρόπο κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Τα τυχαία σφάλματα αποδίδονται κατά κανόνα στη στατιστική φύση του μετρούμενου μεγέθους, σε τυχαίες διαταραχές των υπολοίπων παραμέτρων του προβλήματος, σε σφάλματα μη ακριβούς ανάγνωσης των ενδείξεων του οργάνου κ.λ.π.

##### 5.1.2 Ακρίβεια αποτελεσμάτων ανεμολογικών μετρήσεων.

Τα αποτελέσματα μιας διαδικασίας ανεμολογικών μετρήσεων εμφανίζονται συνήθως στη μορφή:

$$x = \bar{x} \pm \varepsilon$$

όπου όλα τα μεγέθη δίνονται στο ίδιο σύστημα μονάδων μέτρησης, ενώ απαραίτητη θεωρείται η αναφορά του πλήθους των μετρήσεων [4].

Εύχρηστη βέβαια είναι η γραφή της τιμής του μεγέθους "x" με τη χρήση ικανού πλήθους σημαντικών ψηφίων, οπότε και απαιτείται στρογγυλοποίηση της αριθμητικής τιμής του αποτελέσματος στο σωστό αριθμό σημαντικών ψηφίων.

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να διευκρινισθεί ότι σημαντικό ψηφίο οποιουδήποτε αριθμού "x" είναι κάθε ψηφίο του, εκτός από τα μηδενικά ψηφία προς τα αριστερά του πρώτου μη μηδενικού ψηφίου ενός δεκαδικού αριθμού. Αντιθέτως, κάθε άλλο μηδενικό ψηφίο θεωρείται σημαντικό.

### 5.1.3 Διαδικασία ταξινόμησης μετρήσεων.

Κατά τη διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων απαιτείται αρκετά συχνά η ταξινόμηση αυτών σε υποομάδες με κοινά χαρακτηριστικά καθώς και ο προσδιορισμός της συχνότητας εμφάνισης καθορισμένων αριθμητικών τιμών. Πιο συγκεκριμένα για ασυνεχή μεγέθη η συχνότητα εμφάνισης " $\varphi_i$ " μιας ορισμένης τιμής " $x_i$ " ορίζεται σαν:

$$\varphi_i = \frac{n_i}{N}$$

όπου " $n_i$ " το πλήθος εμφάνισης της τιμής " $x_i$ " κατά τη διάρκεια των " $N$ " μετρήσεων, ενώ ισχύουν:

$$n_1 + n_2 + \dots + n_v = N \quad \text{και} \quad \sum_{i=1}^v \varphi_i = 1$$

Με " $v$ " συμβολίζεται ο αριθμός των διαφορετικών τιμών " $x_i$ " που εμφανίσθηκαν κατά την εκτέλεση των " $N$ " μετρήσεων οπότε και  $v \leq N$

Στην ανάλυση μετρήσεων αιολικού δυναμικού χρησιμοποιείται ευρύτερα η πυκνότητα πιθανότητας " $f_i$ " μιας κλάσης " $i$ ", η οποία εκφράζει την ανά μονάδα μετρούμενου μεγέθους συχνότητας της κλάσης, [3,43] δηλαδή:

$$f_i = \frac{\varphi_i}{\Delta x_i} = \frac{n_i}{N \cdot \Delta x_i}$$

όπου  $\Delta x_i = x_{i+1} - x_i$ , το εύρος της κλάσης " $i$ ".

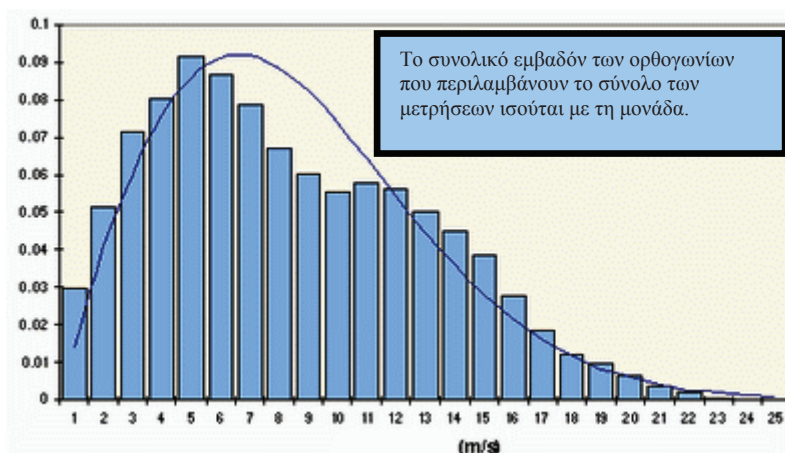
Για τη γραφική απεικόνιση της συχνότητας εμφανίσεως των τιμών ενός συνεχούς μεγέθους χρησιμοποιείται το ιστόγραμμα, το οποίο κατασκευάζεται με τη βοήθεια δυσδιάστατου ορθογώνιου καρτεσιανού συστήματος αξόνων. Στον οριζόντιο άξονα του συστήματος απεικονίζουμε τις τιμές του συνεχούς μεγέθους, ενώ στον κατακόρυφο άξονα δίνονται οι τιμές της πυκνότητας συχνότητας " $f_i$ ". Με τον τρόπο αυτό για κάθε κλάση κατασκευάζεται ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο, σχήμα 5.1 με βάση ίση προς το εύρος της κλάσης " $\Delta x_i$ " και εμβαδόν ίσο με τη συχνότητα της κλάσης " $\varphi_i = f_i \cdot \Delta x_i$ ". Όπως είναι εύκολα κατανοητό το συνολικό εμβαδόν των ορθογώνιων που περιλαμβάνουν το σύνολο των μετρήσεων ισούται με μονάδα.

Για τον καθορισμό του πλήθους και του εύρους των κλάσεων χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι κανόνες:

α. Το πλήθος των κλάσεων " $v$ " λαμβάνεται αρχικά ίσο με τον ακέραιο, που προσεγγίζει την τετραγωνική ρίζα του πλήθους " $N$ " του συνόλου των μετρήσεων.

β. Καμία κλάση δεν είναι σκόπιμο να περιλαμβάνει λιγότερες από πέντε τιμές. Στην

περίπτωση που αυτό συμβαίνει, τότε ενώνονται οι γειτονικές κλάσεις ώστε να εξασφαλιστεί ο εν λόγω περιορισμός.



Σχήμα 5.1 Ιστογράμμο – Διάγραμμα συχνότητας πιθανότητας.

Δεν είναι απαραίτητο οι χρησιμοποιούμενες κλάσεις να έχουν το ίδιο εύρος. Ωστόσο η ισότητα εύρους των κλάσεων απλοποιεί σημαντικά σε αρκετές περιπτώσεις τη διαδικασία επεξεργασίας των μετρήσεων.

Στην οριακή περίπτωση που αυξάνεται διαρκώς ο αριθμός "N" των μετρήσεων ενώ μειώνεται παράλληλα το εύρος " $\Delta x_i$ " των χρησιμοποιούμενων κλάσεων, τότε η τεθλασμένη γραμμή που συγκροτούν τα επιμέρους στοιχειώδη ορθογώνια του ιστογράμματος τείνει σε μια ομαλή καμπύλη, η οποία αποτελεί την περιβάλλουσα του ιστογράμματος και ονομάζεται καμπύλη συχνότητας πιθανότητας. Για κάθε τιμή "x" του συνόλου τιμών των μετρήσεων αντιστοιχεί η συνάρτηση  $f(x)$ , που ονομάζεται συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας για την οποία ισχύει:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot dx = 1$$

Η  $f(x)$  δεν παριστά την πιθανότητα εμφάνισης της τιμής "x", ενώ η πιθανότητα εμφάνισης μιας τιμής στο διάστημα  $x_1$  έως  $x_2$  δίνεται σαν:

$$P(x_1 \leq x \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x) \cdot dx$$

#### 5.1.4 Μετρήσεις έντασης ανέμου.

Επειδή ο άνεμος αποτελεί ένα ιδιαίτερα μεταβλητό (κατά μέτρο και διεύθυνση) μέγεθος, απαιτούνται για τις ανάγκες του υπολογισμού του διαθέσιμου αεροδυναμικού μιας περιοχής αναλυτικές μετρήσεις της ταχύτητας και της διεύθυνσης του ανέμου για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Για τη μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται συνήθως ανεμόμετρα ή ανεμογράφοι. Τα πλέον απλά ανεμόμετρα είναι τα ανεμόμετρα ταχύτητας, στα οποία η ένταση του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής, που επιβάλλει ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης



του ανέμου. Για την καταγραφή των στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα πίεσης, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Επιπλέον των ανωτέρω για υψηλότερης ακρίβειας μετρήσεις χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα θερμού στοιχείου και σε εξαιρετικές περιπτώσεις τα ανεμόμετρα L.D.V. [2].

### 5.1.5 Περιγραφή - αρχή λειτουργίας κυπελλοφόρου ανεμομέτρου.

Από τα κλασσικά ανεμόμετρα ταχύτητας, τα πλέον γνωστά είναι τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα, σχήμα 5.2. Αυτά αποτελούνται από έναν κατακόρυφο άξονα στην κορυφή του οποίου υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι. Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο, με τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη.

Γνωρίζοντας ότι η αεροδυναμική αντίσταση της κοίλης πλευράς είναι σημαντικά μεγαλύτερη της κυρτής, το σύστημα περιστρέφεται υπό την επίδραση του ανέμου και ο αριθμός των περιστροφών του καταγράφεται δια μέσου του κατακόρυφου άξονα σε ένα καταγραφικό σύστημα.

Πιο συγκεκριμένα η εξίσωση κίνησης ενός κυπελλοφόρου ανεμομέτρου δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$M = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot R \cdot A \cdot [(V - \omega \cdot R)^2 \cdot C_{DH} - (V + \omega \cdot R)^2 \cdot C_{DL}] - (B_0 + B_1 \cdot \omega + B_2 \cdot \omega^2)$$

όπου:

R η απόσταση του κέντρου περιστροφής του άξονα του ανεμομέτρου από το κέντρο του κυπέλλου

$\rho$  η πυκνότητα του αέρα, εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία, την πίεση και την υγρασία του αέρα

A η μετωπική επιφάνεια του ανεμομέτρου

$C_{DH}$  ο συντελεστής οπισθέλκουσας της κοίλης επιφάνειας

$C_{DL}$  ο συντελεστής οπισθέλκουσας της κυρτής επιφάνειας

$B_0, B_1, B_2$  οι συντελεστές εξίσωσης τριβής του άξονα του ανεμομέτρου

Το μοντέλο βασίζεται στις παρακάτω παραδοχές:

α. ομοιόμορφη ροή ανέμου σε όλο το κυπελλοφόρο ανεμόμετρο

β. τα αεροδυναμικά φορτία βασίζονται σε μέσες ψευδομόνιμες τιμές του συντελεστή οπισθέλκουσας (για το 1/3 της περιστροφής) ανεξάρτητα από την τιμή του αριθμού Reynolds

γ. Νευτώνεια δυναμική συμπεριφορά του ρότορα, δηλαδή  $I \cdot \omega = M$

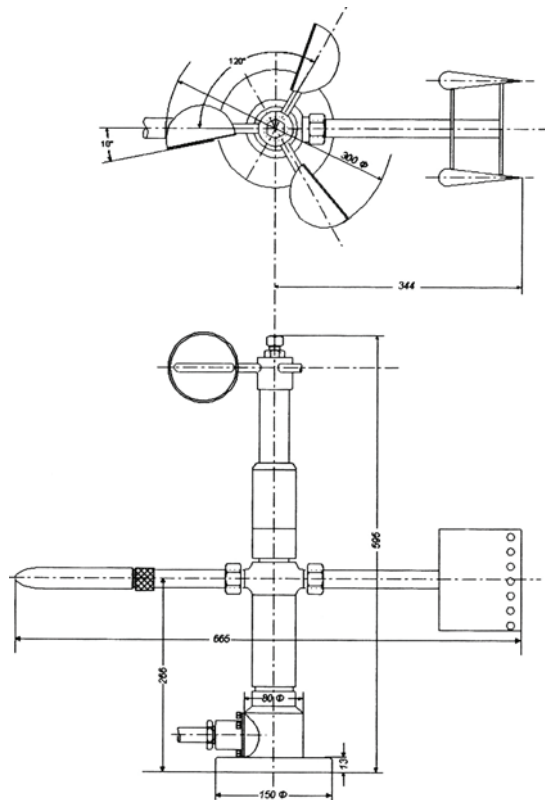
όπου I η ροπή αδρανείας του ανεμομέτρου και  $\omega$  η γωνιακή επιτάχυνση του ανεμομέτρου

δ. οι εξασκούμενες δυνάμεις τριβής στον άξονα του ανεμομέτρου ακολουθούν παραβολικό νόμο.

Στον πίνακα 5.1α που ακολουθεί παρουσιάζονται τα βασικά λειτουργικά στοιχεία για πέντε από τα πλέον γνωστά κυπελλοφόρα ανεμόμετρα του εμπορίου. Επιλύοντας τις εξισώσεις κίνησης του ανεμομέτρου, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η πειραματική εξίσωση βαθμονόμησης του ανεμομέτρου, η οποία είναι κατά κανόνα γραμμικής μορφής (για χάριν απλοποίησης των υπολογισμών) οπότε έχουμε:

$$V = A \cdot \omega + B$$

όπου A και B, συντελεστές στατικής παλινδρόμησης, πίνακας 5.1β.



Σχήμα 5.2. Αναλυτικό σχέδιο κυπελλοφόρου ανεμόμετρου OSK 7106, εφοδιασμένο με ανεμοδείκτη.

Πίνακας 5.1α

ΚΥΠΕΛΛΟΦΟΡΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ	ΣΧΗΜΑ ΚΥΠΕΛΛΟΥ	ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΗΣ	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΥΠΕΛΛΟΥ (mm)	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΡΟΤΟΡΑ (mm)	ΟΛΙΚΟ ΥΨΟΣ (mm)	ΟΛΙΚΟ ΒΑΡΟΣ (gr)
RISO P2445b	Κωνικό	Δεξιόστροφη	70.0	186	282	420
NRG Max.40	Κωνικό	Αριστερόστροφη	50.5	190	75	95
Danna WSI-0141	Ημισφαιρικό	Αριστερόστροφη	24.0	125	200	108
Thies 4.3303.22	Ημισφαιρικό	Αριστερόστροφη	79.0	320	228	890
Vaisala WAA 151	Κωνικό	Αριστερόστροφη	54.0	182	240	552

Πίνακας 5.1β

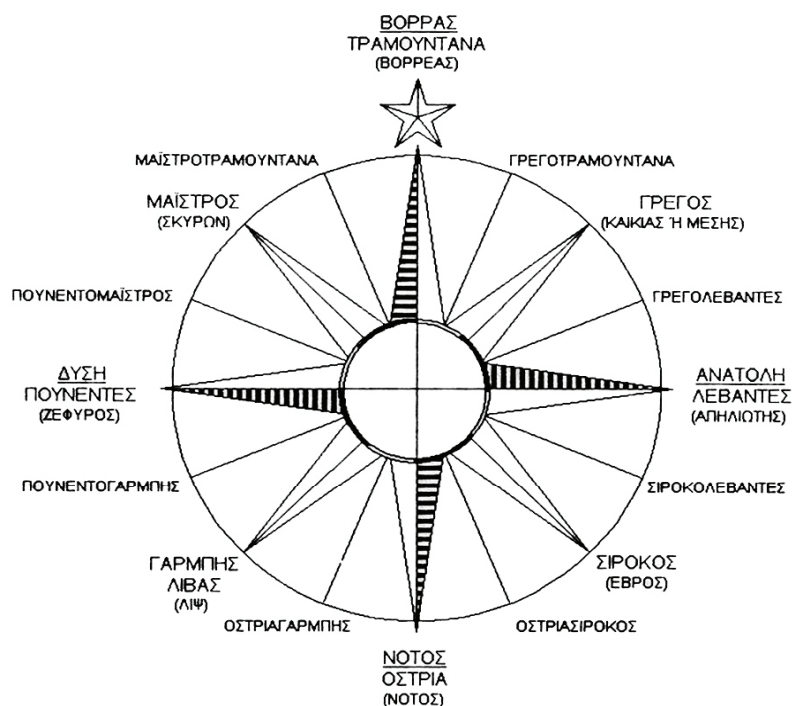
ΚΥΠΕΛΛΟΦΟΡΟ ΑΝΕΜΟΜΕΤΡΟ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (°C)	$B_0 \cdot 10^{-5}$ (Nm)	$B_1 \cdot 10^{-7}$ (Nms)	$B_2 \cdot 10^{-9}$ (Nms <sup>2</sup> )	A (m)	B (m/s)
RISO P2445b	22	0.297	1.88	0.00103	0.1952	0.210
NRG Max.40	20	3.16	6.26	-4.48	0.2439	0.356
Danna WSI-0141	23	0.738	5.35	-0.220	0.1481	0.672
Thies 4.3303.22	21	1.49	14.8	4.10	0.3355	0.453
Vaisala WAA 151	23	1.15	4.75	0.473	0.2196	0.347

Πηγή : [www.awea.org](http://www.awea.org) - [www.auswea.org](http://www.auswea.org)

Ένα από τα πλέον σημαντικά πλεονεκτήματα του κυπελλοφόρου ανεμομέτρου είναι ότι μετρά και τις δύο οριζόντιες συνιστώσες της ταχύτητας του ανέμου. Ωστόσο αξιόλογο μετρητικό σφάλμα της τάξεως του 6-8% προκαλείται συχνά από την επίδραση της κατακόρυφης συνιστώσας του ανέμου. Μια άλλη σημαντική πηγή πειραματικού σφάλματος του κυπελλοφόρου ανεμομέτρου αποτελεί το γεγονός της μη μόνιμης συμπεριφοράς του οργάνου. Πιο συγκεκριμένα το όργανο επιταχύνεται γρηγορότερα από ότι επιβραδύνεται, αλλοιώνοντας τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε περιπτώσεις ξαφνικής μείωσης της ταχύτητας του ανέμου [44]. Ομαλότερη συμπεριφορά παρουσιάζουν ανεμόμετρα με:

- Τρία κύπελλα αντί τεσσάρων, δεδομένου ότι η στρεπτική ροπή συστήματος με τρία κύπελλα είναι πιο ομοιόμορφη για όλο το πεδίο ταχυτήτων του ανέμου, ενώ το σύστημα αυτό εμφανίζει και μεγαλύτερες τιμές στρεπτικής ροπής ανά μονάδα βάρους.
- Κωνικά κύπελλα έναντι των σφαιρικών, λόγω μεγαλύτερης διαφοράς των  $C_{DH}$  και  $C_{DL}$
- Στρογγυλεμένα χείλη των κυπέλλων, δεδομένου ότι στην περίπτωση αυτή το ανεμόμετρο είναι λιγότερο ευαίσθητο στις αναταράξεις (τύρβη) του αέρα από ότι το έχοντα αιχμηρά χείλη ανεμόμετρο.

Στο σχήμα 5.3 δίνεται η ονοματολογία των ανέμων με βάση ναυτικές, ενετικές και αρχαιοελληνικές ονομασίες.



#### ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΑΝΕΜΩΝ

**ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΟΝΟΜΑΣΙΕΣ (ΕΝΕΤΙΚΕΣ)**  
**(ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΕΣ ΟΝΟΜΑΣΙΕΣ)**  
 Κ.Α.Π.Ε.

Σχήμα 5.3. Καθιερωμένη ονοματολογία ανέμων.

## 5.2 Αιολικό δυναμικό.

### 5.2.1 Εκτίμηση ύπαρξης αιολικού δυναμικού.

Συνήθως αρχίζουμε να εξετάζουμε την περίπτωση εγκατάστασης μιας αιολικής μηχανής σε κάποια θέση όταν υπάρχει ανάγκη αντιμετώπισης ενεργειακού προβλήματος ή όταν κρίνεται αναγκαία η εξοικονόμηση ενέργειας από συμβατικές πηγές ενέργειας. Η ανάγκη αυτή θα ικανοποιηθεί με την κατάλληλη επιλογή των διαστάσεων του ανεμοκινητήρα εφόσον βέβαια γίνει καλή εκτίμηση του αιολικού δυναμικού. Πρώτη συνεπώς μέριμνα είναι να εκτιμηθεί κατά το δυνατόν ακριβέστερα το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής. Οι παράμετροι  $k$ ,  $c$  της κατανομής Weibull είναι δυνατόν να υπολογισθούν αν υπάρχουν μετεωρολογικές μετρήσεις στην περιοχή. Ένας ιδιώτης όμως που συνήθως είναι ο άμεσα ενδιαφερόμενος δεν μπορεί να εγκαταστήσει για πολλά χρόνια μετεωρολογικό σταθμό γι' αυτό πρέπει να προσφύγει σε υπάρχουσες πληροφορίες ή σε πληροφορίες που μπορεί να συλλεχθούν σύντομα όπως η ύπαρξη στην περιοχή μετεωρολογικού σταθμού από όπου είναι δυνατή μετά από μελέτη των μετρήσεων η εξαγωγή συμπερασμάτων για την ύπαρξη αιολικού δυναμικού. Ασφαλέστερη μέθοδος για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού είναι η εγκατάσταση για ένα ως έξι μήνες ανεμογράφου και η στατιστική σύγκριση των μετρήσεων του ανεμογράφου με τις αντίστοιχες την ίδια χρονική στιγμή, μετρήσεις του μετεωρολογικού σταθμού της περιοχής.

Μια άλλη ένδειξη καλού αιολικού δυναμικού στην περιοχή είναι η ύπαρξη παλαιών ανεμοκινητήρων στην περιοχή. Στην περίπτωση αυτή επίσκεψη στους παλαιούς ανεμοκινητήρες και συζήτηση με τους ιδιοκτήτες τους σχετικά με τη λειτουργική συμπεριφορά τους δίνει πολύ χρήσιμα συμπεράσματα για την ποιότητα και ποσότητα του αιολικού δυναμικού.

Μια πρώτη εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μπορεί να γίνει με συχνές μετρήσεις του ανέμου από τον ενδιαφερόμενο με χρήση ανεμομέτρου χειρός. Τα ανεμόμετρα αυτά είναι φθηνά και αξιόπιστα και οδηγούν σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την κατεύθυνση του ανέμου (κύρια κατεύθυνση), την διάρκεια πνοής του ανέμου και την έντασή του.

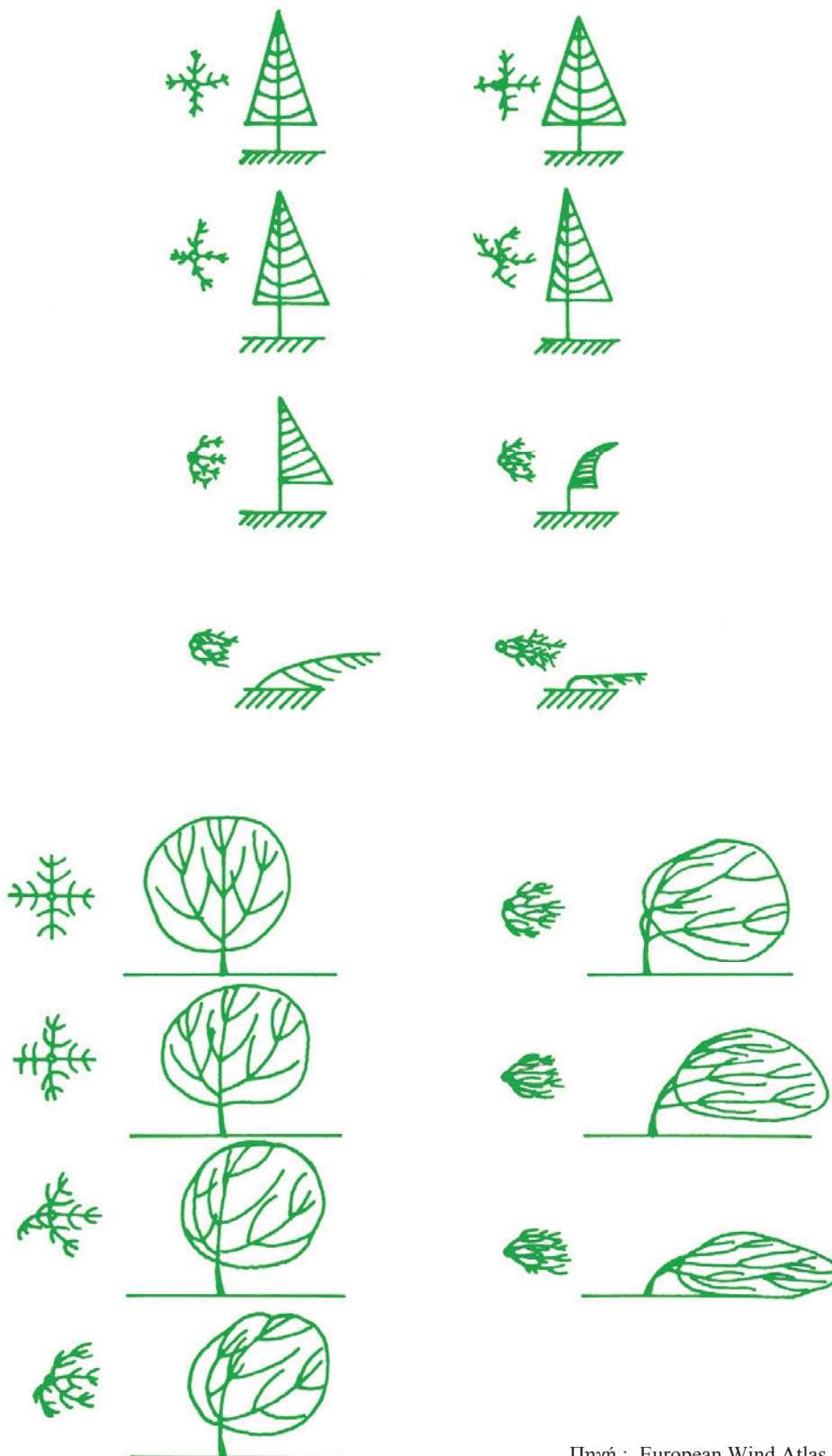
Τέλος παρατηρώντας τη μορφή των δένδρων στην περιοχή μπορεί να αντιληφθεί κανείς από το σχήμα τους την κύρια κατεύθυνση της ροής.

### 5.2.2 Δείκτες αιολικού δυναμικού.

Η ύπαρξη δένδρων που έχουν παραμορφωθεί λόγω της συστηματικής και για πολλά χρόνια πνοής ανέμου αποτελούν ασφαλείς δείκτες ύπαρξης υψηλού αιολικού δυναμικού. Ο βαθμός παραμόρφωσης των δέντρων καθορίζεται από τους πίνακες των Griggs-Putnam και Barsch. Στους πίνακες αυτούς έχουμε δύο όψεις του δέντρου, για να είναι εμφανής η παραμόρφωση τόσο του κορμού όσο και των κλαδιών. Ο πίνακας των Griggs-Putnam αναφέρεται σε δέντρα κωνικού σχήματος όπως: πεύκα, κυπαρίσσια κλπ. Ο πίνακας του Barsch αναφέρεται σε φυλλοβόλα δέντρα σχήμα 5.4a [25,35,44].

Έτσι προκύπτει ο πίνακας 5.2 που μας δίνει τη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου, ανάλογα με το είδος του δέντρου και το βαθμό παραμόρφωσής του. Βέβαια οι τιμές του πίνακα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για προκαταρκτικές μόνο εκτιμήσεις του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής.

Κύριος άνεμος →



Πηγή : European Wind Atlas 1989

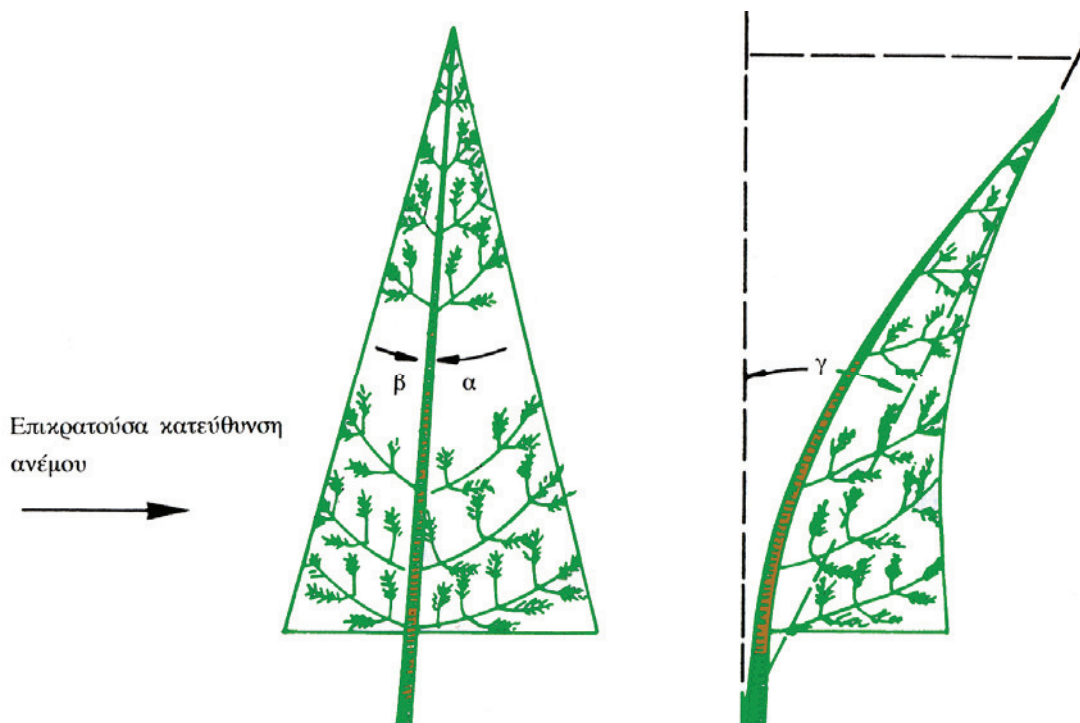
Σχήμα 5.4α. Χρήσιμοι ποιοτικοί δείκτες παραμόρφωσης δέντρων.

Τα δέντρα που επιλέγουμε για παρατήρηση πρέπει να βρίσκονται σε θέσεις καλά εκτεθειμένες στον άνεμο. Πρέπει να τονιστεί ότι η παραμόρφωση των δέντρων υποδεικνύει την ύπαρξη ισχυρών ανέμων. Αντίθετα η έλλειψη παραμόρφωσης δεν σημαίνει κατ' ανάγκη ότι ο άνεμος δεν είναι ισχυρός. Υπάρχουν περιπτώσεις που πνέουν ισχυροί άνεμοι από τρεις ή και περισσότερες διαφορετικές κατευθύνσεις, κανένας τους όμως δεν έχει επαρκή διάρκεια έτσι ώστε να προκαλέσει αξιοσημείωτη παραμόρφωση του δέντρου.

Πίνακας 5.2. Δείκτης παραμόρφωσης.

Είδος	Δείκτης	Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/s)								
		0	1	2	3	4	5	6	7	
Έλατο	Griggs-Putnam	6.0±2.0	6.7±1.9	7.4±1.8	8.1±1.8	8.8±1.8	9.5±1.8	10.2±1.9	10.9±2.0	
Άρκενθος	Griggs-Putnam	4.4±2.1	5.0±2.0	5.6±1.9	6.2±1.9	6.8±2.0	7.4±2.1	10.2±2.8	8.6±2.5	
Πεύκο	Griggs-Putnam	3.3±1.7	4.1±1.6	4.7±1.7	5.4±1.8	6.1±1.8	6.8±2.0	7.5±2.1	8.2±2.3	
Σφένδαμος	Barsch	3.4±1.5	4.3±1.0	5.2±1.4	6.1±2.2	7.0±3.1	7.9±4.1	8.8±5.1	9.7±6.1	
Βελανιδιά	Barsch	3.0±1.8	4.1±1.7	5.2±1.7	6.3±1.8	7.4±1.9	8.5±2.1	9.6±2.3	10.7±2.5	
Ακακία	Barsch	3.7±1.2	4.4±1.0	5.1±1.0	5.8±1.3	6.5±1.7	7.2±2.1	7.9±2.5	8.6±3.0	
Πτελέα	Barsch	3.3±1.5	4.4±1.4	5.5±1.4	6.6±1.6	7.7±2.0	8.8±2.4	9.9±2.9	11.0±3.4	

Πηγή : European Wind Atlas 1989



Πηγή : European Wind Atlas 1989

Σχήμα 5.4β. Δείκτης παραμόρφωσης.

Εκτός από τους πίνακες των Griggs-Putman και Barsch χρησιμοποιείται και ο λόγος παραμόρφωσης D (Deformation Ratio). Αυτός δίνεται από τη σχέση:

$$D = \frac{\alpha}{\beta} + \frac{\gamma}{45^\circ} \quad \text{όπου } 1 \leq \frac{\alpha}{\beta} \leq 5 \quad \text{και} \quad 0^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$$

Οι γωνίες παραμόρφωσης  $\alpha$ ,  $\beta$  και  $\gamma$  φαίνονται στο σχήμα 5.4β.

Σύμφωνα με τους Wade και Wendell Hewson, η γραμμική σχέση που συνδέει το λόγο παραμόρφωσης D με τη μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου είναι:

$$\bar{V} = 0.95D + 2.3 \quad (\text{m/s})$$

Όταν ένα δέντρο έχει σπασμένα από τον άνεμο κλαδιά, χωρίς όμως ο κορμός και τα υπόλοιπα κλαδιά του να παρουσιάζουν μόνιμη παραμόρφωση, αυτό σημαίνει πως στην περιοχή πνέουν για μικρά χρονικά διαστήματα εξαιρετικά ισχυροί άνεμοι που δεν είναι εκμεταλλεύσιμοι. Η υποψηφιότητα μιας τέτοιας τοποθεσίας για εγκατάσταση ανεμοκινητήρα πρέπει εξ αρχής να αποκλειστεί.

Οι υπολογισμοί της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου που βασίζονται στην παρατήρηση των παραμορφωμένων δέντρων, αν και υπόκεινται σε κάποια αβεβαιότητα, είναι απλοί, γρήγοροι, ανέξοδοι και χρήσιμοι στη φάση της προκαταρκτικής εκτίμησης του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής [26].

### 5.2.3 Συγκέντρωση, οργάνωση και ανάλυση υπάρχοντων μετεωρολογικών δεδομένων με τη βοήθεια λογισμικού.

Σήμερα έχουν δημιουργηθεί αρκετά λογισμικά τα οποία μας δίνουν την δυνατότητα πριν εγκαταστήσουμε έναν ανεμοκινητήρα να συμπεράνουμε κατά πόσο αυτός είναι λειτουργικός και κερδοφόρος, ρυθμίζοντας και ελέγχοντας όλων των ειδών τις παραμέτρους που απαιτούνται. Ενδεικτικά αναφέρονται το WindRose και το WASP.

Το WindRose είναι ένα πρόγραμμα ανάλυσης ανεμολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων [44].

Τα σημαντικότερα μεγέθη που επεξεργάζεται το πρόγραμμα είναι:

- ταχύτητα ανέμου
- διεύθυνση ανέμου
- τυπική απόκλιση (standard deviation) ταχύτητας ανέμου
- μέγιστη ταχύτητα ανέμου (ριπή)
- θερμοκρασία
- ηλιακή ακτινοβολία

Το WindRose δεν είναι μία αυτόνομη εφαρμογή αλλά ένα πρόσθετο πρόγραμμα στο MS-Excel.

Οι αναλύσεις των δεδομένων γίνονται βάσει των διεθνών προτύπων παρέχοντας συμβατότητα στα αποτελέσματα. Έτσι, εκτός των άλλων, υπολογίζονται :

- οι συντελεστές (k, c) της κατανομής Weibull που προσομοιώνει την κατανομή ταχύτητας, ανά τομέα διεύθυνσης αλλά και συνολικά
- αναλυτικοί πίνακες και γραφήματα με την εξέλιξη ανά ώρα των διαφόρων μεγεθών
- η συσχέτιση ταχύτητας και διεύθυνσης μεταξύ δύο γειτονικών σταθμών μέτρησης

- η διόρθωση της πυκνότητας του αέρα λόγω του υψόμετρου της περιοχής μετρήσεων

Η φιλοσοφία του προγράμματος είναι η παροχή ενός εργαλείου που παράγει μεν τα απαραίτητα στοιχεία, αλλά που ο καθένας μπορεί να το προσαρμόσει στις απαιτήσεις του.

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την εκτέλεση του προγράμματος είναι:

- ταχύτητα ανέμου
- διεύθυνση ανέμου
- τυπική απόκλιση ταχύτητας ανέμου
- ώρα
- ημερομηνία

Επίσης (προαιρετικά), αν υπάρχουν και στοιχεία:

- μέγιστη τιμή της ταχύτητας (ριπή)
- θερμοκρασία
- ηλιακή ακτινοβολία

### **5.3 Περιγραφή χαρακτηριστικών και σχεδιασμός ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα.**

#### **5.3.1 Αεροδυναμική σχεδίαση ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα.**

Η μεθοδολογία σχεδίασης των ελίκων έχει περάσει διάφορα στάδια εξέλιξης από το έτος 400 π.χ. στο οποίο εμφανίζονται οι πρώτες ιστορικές μαρτυρίες ύπαρξης ελίκων. Η σχεδίαση των ελίκων μέχρι το 1870 περίπου ήταν ημιεμπειρική, οπότε και εμφανίστηκε η πρώτη συστηματική θεωρία αεροδυναμικής σχεδίασης από τους Rankine, Froude και Betz.

Η θεωρία αυτή, γνωστή και ως θεωρία του δίσκου ενέργειας, χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα είτε στην σχεδίαση είτε στην πρόβλεψη της αεροδυναμικής απόδοσης των ελίκων. Φυσικά υπήρξαν βελτιώσεις της θεωρίας, βελτιώσεις που προήλθαν κυρίως από την νέα θεωρία της γραμμής άνωσης του Prandtl που εμφανίστηκε γύρω στα 1910. Σήμερα με την χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών είναι δυνατόν να εφαρμοσθούν τρισδιάστατα μοντέλα μελέτης για την σχεδίαση των ελίκων καθώς και να εφαρμοσθούν πιο ακριβείς θεωρίες, όπως η θεωρία των δινοπλεγμάτων, της επιφάνειας άνωσης, η αριθμητική επίλυση των εξισώσεων Navier - Stokes πάνω στις καμπύλες επιφάνειες των πτερυγίων των ελίκων οπότε οι επιδράσεις συμπίεστότητας και συνεκτικότητας λαμβάνονται υπόψη αυστηρά και όχι μέσω ημιεμπειρικών διορθώσεων.

#### **5.3.2 Θεωρία του δίσκου ενέργειας.**

Σύμφωνα με τη θεωρία του δίσκου ενέργειας ο μηχανισμός δέσμευσης της κινητικής ενέργειας του ανέμου από το δρομέα του ανεμοκινητήρα θεωρείται ιδανικός, δηλαδή άνευ απωλειών, ο δε δρομέας εξετάζεται ως «μαύρο κουτί» μέσω του οποίου περνάει ο αέρας που υφίσταται μεταβολή της ενέργειάς του, μεταβολή που ουσιαστικά εκφράζεται με την πτώση της στατικής του πίεσης. Επί πλέον ο δρομέας θεωρείται ως δίσκος που ενεργεί πάνω στο ρευστό, εξ'ού και η ονομασία του «δίσκος ενέργειας».

Το σχήμα 5.5 δείχνει το ροϊκό σωλήνα ανεμοκινητήρα που ορίζεται από τη διάμετρο του δρομέα. Ο αέρας πολύ μακριά (στο άπειρο) ανάντι από το δίσκο έχει

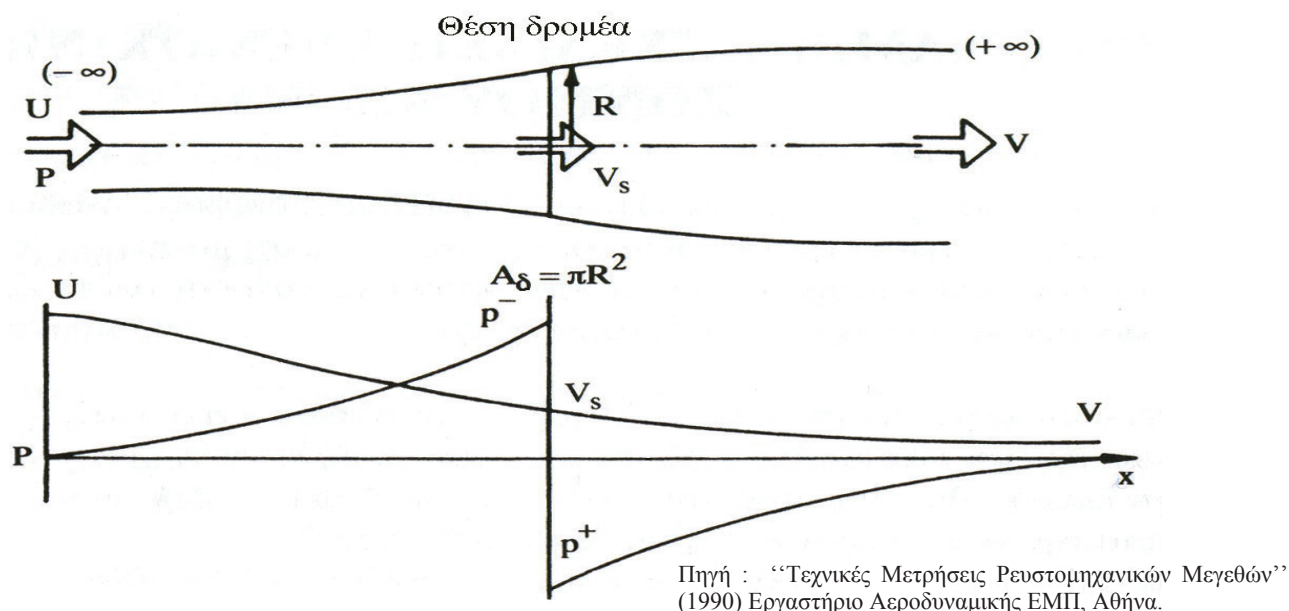


στατική πίεση  $P$  και πλησιάζει το δίσκο με ταχύτητα  $U$ . Ο δίσκος αφαιρεί ενέργεια από τον αέρα και συνεπώς πολύ μακριά κατάντι από το δίσκο όπου η πίεση του αέρα θα έχει αποκατασταθεί στην πίεση περιβάλλοντος  $P$ , η ταχύτητα του ανέμου  $V$  θα είναι μικρότερη από την  $U$ , ( $V < U$ ). Για λόγους διατήρησης της μάζας μέσα στο ροϊκό σωλήνα, θα πρέπει η διατομή άρα και η διάμετρος του ροϊκού σωλήνα να μεγαλώνει πίσω από το δρομέα, δηλαδή να υπάρχει διαστολή του ομόρρου του ανεμοκινητήρα, όπως ακριβώς διαγραμματικά παριστάνεται στο σχήμα 5.5.

Το ρευστό μετά από το δίσκο έχει μικρότερη ενέργεια απ' αυτήν πριν από το δίσκο και επειδή η αξονική ταχύτητα του ρευστού πάνω στο δίσκο και οριακά λίγο πριν και λίγο μετά από τον δίσκο παραμένει η ίδια για λόγους διατήρησης της μάζας (η διαφορά κινητικής ενέργειας του ανέμου πριν και μετά από το δίσκο δεσμεύθηκε από τον ιδανικό δρομέα του ανεμοκινητήρα) τότε η στατική πίεση του ρευστού μετά από το δίσκο θα είναι μικρότερη από την στατική πίεση του ρευστού πριν από το δίσκο. Συνεπώς ο δίσκος αποτελεί μία επιφάνεια ασυνέχειας πίεσης, αλλά συνέχειας όμως της αξονικής ταχύτητας. Τα σύμβολα  $P$  και  $U$  ορίζονται ως η στατική πίεση και ταχύτητα του ανέμου στο άπειρο ανάντι του δίσκου,  $p^-$  και  $p^+$  η στατική πίεση του ρευστού πριν και μετά το δίσκο, όταν το ρευστό έχει ταχύτητα  $V_s$  και τέλος  $V$  η ταχύτητα του ρευστού σε κάποια απόσταση από τον δίσκο [1,21,24].

Για τη μελέτη του αεροδυναμικού πεδίου γύρω από τον δίσκο εφαρμόζονται οι νόμοι της μηχανικής των ρευστών και συγκεκριμένα:

- η εξίσωση διατήρησης μάζας
- η εξίσωση διατήρησης της ορμής
- ενεργειακός ισολογισμός
- η εξίσωση της ροπής της ορμής



Σχήμα 5.5. Ροϊκός σωλήνας δρομέα ανεμοκινητήρα.

Σε μια πρώτη προσέγγιση επίλυσης τέτοιων προβλημάτων γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

- Η εναλλαγή ενέργειας μεταξύ ρευστού και δίσκου γίνεται χωρίς απώλειες.
- Το ρευστό μέσα στον σωλήνα έχει σταθερή ταχύτητα και πίεση πάνω στις διατομές κάθετα στον άξονα του ενώ η επιφάνεια του ροϊκού σωλήνα αποτελεί επιφάνεια ασυνέχειας ταχύτητας.

- Η φόρτιση (διαφορά πίεσης πριν και μετά) πάνω σ' ολόκληρο το δίσκο είναι
- σταθερή.
- Το ρεύμα αέρα μετά το δίσκο στερείται συστροφής. Η παραδοχή αυτή πρακτικά μπορεί να επιτευχθεί με την ύπαρξη δύο αντίθετα στρεφόμενων δρομέων.

### 5.3.3 Όριο Betz.

Το ποσοστό της ενέργειας που έχει ο άνεμος πλησιάζοντας το δίσκο (λίγο πριν από το δίσκο) και μετατρέπεται σε ισχύ πάνω στο δρομέα δίνεται από τον συντελεστή ισχύος του δρομέα  $C_p$ , ενώ ο υπολογισμός της δύναμης ανατροπής του πύργου στήριξης δίνεται από τον συντελεστή αντίστασης δρομέα  $C_T$ . Ο συντελεστής ισχύος του δρομέα είναι και ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ των ανεμοκινητήρων και ορίζεται ως ο λόγος της δεσμευόμενης αιολικής ισχύος  $P$  (στον άξονα του δρομέα) προς την ισχύ του ρεύματος του αέρα, που διέρχεται δια μέσου της μηχανής [20,43].

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho V_s^3 A_\delta}$$

$$C_T = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho V_s^2 A_\delta}$$

όπου  $P$  η δεσμευόμενη αιολική ισχύς:  $P = 2\rho A_\delta V_s^3 a(1-a)^2$

$a$  είναι ο συντελεστής αξονικής επαγωγής και εκφράζει την ποσοστιαία επιβράδυνση του αέρα πάνω στο δίσκο.

$$a = \frac{U - V_s}{U}$$

για  $a=1$ ,  $V_s = 0$  (πρακτικά αδύνατο).

Από τις παραπάνω σχέσεις προκύπτει ότι:  $C_p = 4a(1-a)^2$

$$C_T = 4a(1-a)$$

Η σχέση για τον συντελεστή ισχύος έχει ακρότατο για τιμή συντελεστή αξονικής επαγωγής  $a = 1/3$ . Στην περίπτωση αυτή ο συντελεστής ισχύος παίρνει τιμή ίση με:

$$C_{p_{MAX}} = \frac{16}{27} = 59\%$$

μέγιστη τιμή που καλείται όριο Betz.

Προκύπτει λοιπόν ότι ο βέλτιστος δρομέας και κάτω από ιδανικές συνθήκες λειτουργίας μπορεί να δεσμεύει μόνο το 59% της ισχύος του ανέμου. Το όριο αυτό είναι κατά κάποιο τρόπο ο μέγιστος βαθμός απόδοσης του συστήματος για ιδανική

έλικα, ανάλογος με το βαθμό απόδοσης Carnot των θερμοδυναμικών κύκλων. Στην περίπτωση αυτή της βέλτιστης λειτουργίας η ταχύτητα  $U$  του ανέμου μειώνεται στα  $2/3 U$  πάνω στο δίσκο και στα  $U/3$  πολύ μακριά κατάντι από το δίσκο.

Ο συντελεστής αντίστασης  $C_T$  του δρομέα στη βέλτιστη λειτουργία παίρνει την τιμή  $8/9$  (για  $a = 1/3$ ), τιμή μικρότερη της μέγιστης που είναι:

$$C_{T_{MAX}} = 1$$

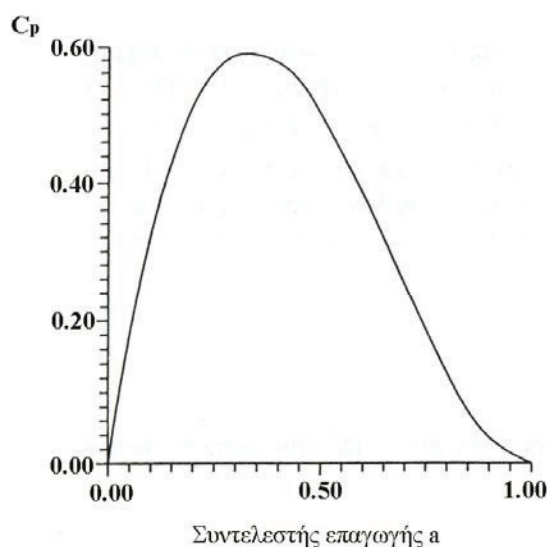
και που επιτυγχάνεται για συντελεστή αξονικής επαγωγής  $a = 0.5$

Στην περίπτωση αυτή ο άνεμος στο επίπεδο του δρομέα έχει ταχύτητα  $0.5U$  και μηδενική ταχύτητα πολύ μακριά κατάντι από το δίσκο.

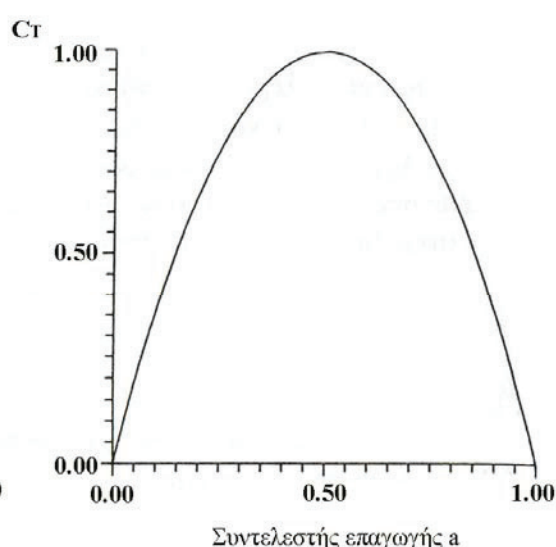
Ο Glauert επεξέτεινε την περιοχή ισχύος της θεωρίας του δίσκου ενεργείας διορθώνοντας την σχέση για τον συντελεστή ώσης  $C_T$  για  $a > 0.5$ . Η προτεινόμενη από τον Glauert σχέση βασίστηκε σε πειράματα ελίκων σε αεροδυναμική σήραγγα και μπορεί να προσεγγιστεί αναλυτικά από τη σχέση δευτέρου βαθμού:

$$C_T = \begin{cases} 4a(1-a) & a < 0,4 \\ 1 - 8a^2 - 0,65a + 0,84 & 0,4 < a < 1 \end{cases}$$

Τα σχήμα τα 5.6 και 5.7 παρουσιάζουν τη μεταβολή των συντελεστών ισχύος και αντίστασης του δρομέα για διάφορες τιμές του συντελεστή αξονικής επαγωγής.



Σχήμα 5.6. Καμπύλη  $C_p$  απόδοσης δρομέα.



Σχήμα 5.7. Συντελεστής ώσης ανεμοκινητήρα.

### 5.3.4 Θεωρία στοιχείων περύγωσης.

Η θεωρία των στοιχείων περύγωσης χωρίζει το περύγιο του δρομέα σε στοιχειώδεις λωρίδες πλάτους  $\Delta r$  και συνδέει τις δυνάμεις και ροπές που το ρευστό εξασκεί κατά τη διέλευσή του δια μέσου του δακτυλιοειδούς τμήματος του δίσκου πάχους  $\Delta r$  πάνω στο δίσκο με τις δυνάμεις που αναπτύσσονται πάνω στις λωρίδες περύγιου του δρομέα. Κάθε δακτυλιοειδής ροϊκός σωλήνας τέμνει τα πτερά του δρομέα που είναι  $B$  το πλήθος και τα οποία πάνω στην κυλινδρική επιφάνεια του ροϊκού σωλήνα αφήνουν ίχνος που έχει την μορφή της αεροτομής. Το σχήμα 5.8 αποτελεί το ανάπτυγμα της κυλινδρικής επιφάνειας του ροϊκού σωλήνα με το ίχνος

της τομής της με ένα πτερύγιο του δρομέα [1,3,24].

Για παρατηρητή που κινείται με το πτερύγιο η αεροτομή βρίσκεται σε ένα πεδίο ταχυτήτων που έχει:

- αξονική συνιστώσα  $U(1-a)$
- περιφερειακή συνιστώσα  $\Omega r(1-a')$ , το θετικό πρόσημο δηλώνει ότι η συνιστώσα αυτή έχει φορά αντίθετη προς τη κατεύθυνση περιστροφής του δρομέα
- συνισταμένη ταχύτητα  $W = \sqrt{U^2(1-a)^2 + \Omega^2 r^2(1+a')^2}$

όπου  $U$  η ταχύτητα του ανέμου ανάντι της επιφάνειας του δίσκου.

$a$  ο συντελεστής αξονικής επαγωγής.

$\Omega$  η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα.

$a'$  ο συντελεστής περιφερειακής αγωγής  $\left(a' = \frac{V_{\theta_s}}{\Omega r}\right)$  και  $(V_{\theta_s} = \frac{1}{2} V_{\theta_\infty})$

$V_{\theta_\infty}$  η περιφερειακή ταχύτητα του ρεύματος αέρα κατάντι στο άπειρο.

$r$  η απόσταση της στοιχειώδους λωρίδας της πτέρυγας από το κέντρο του δρομέα.

$V_T$ : γεωμετρική συνισταμένη ταχυτήτων  
 $\alpha_T$ : γεωμετρική γωνία πρόσπτωσης



Σχήμα 5.8. Τρίγωνο ταχυτήτων.

Η αεροτομή βρίσκεται σε γωνία πρόσπτωσης  $\alpha$  ως προς την ταχύτητα  $W$ . Η αλληλεπίδραση της ροής και της στοιχειώδους λωρίδας πτέρυγας, οδηγεί στην εμφάνιση των δυνάμεων άνωσης και αντίστασης όπως φαίνεται στο σχήμα 5.9. Οι δυνάμεις αυτές εκφράζονται με τις παρακάτω σχέσεις:

Δύναμη άνωσης:  $\Delta L = C_L \frac{\rho}{2} W^2 C \Delta r$

Δύναμη αντίστασης:  $\Delta D = C_D \frac{\rho}{2} W^2 C \Delta r$

όπου  $C_L$  και  $C_D$  οι συντελεστές άνωσης και αντίστασης της αεροτομής και  $C$  η χορδή της αεροτομής.

Οι δύο στοιχειώδεις δυνάμεις άνωσης και αντίστασης αναλύονται κατά τη αξονική και την περιφερειακή κατεύθυνση (x και t) και δίνουν τις σχέσεις:

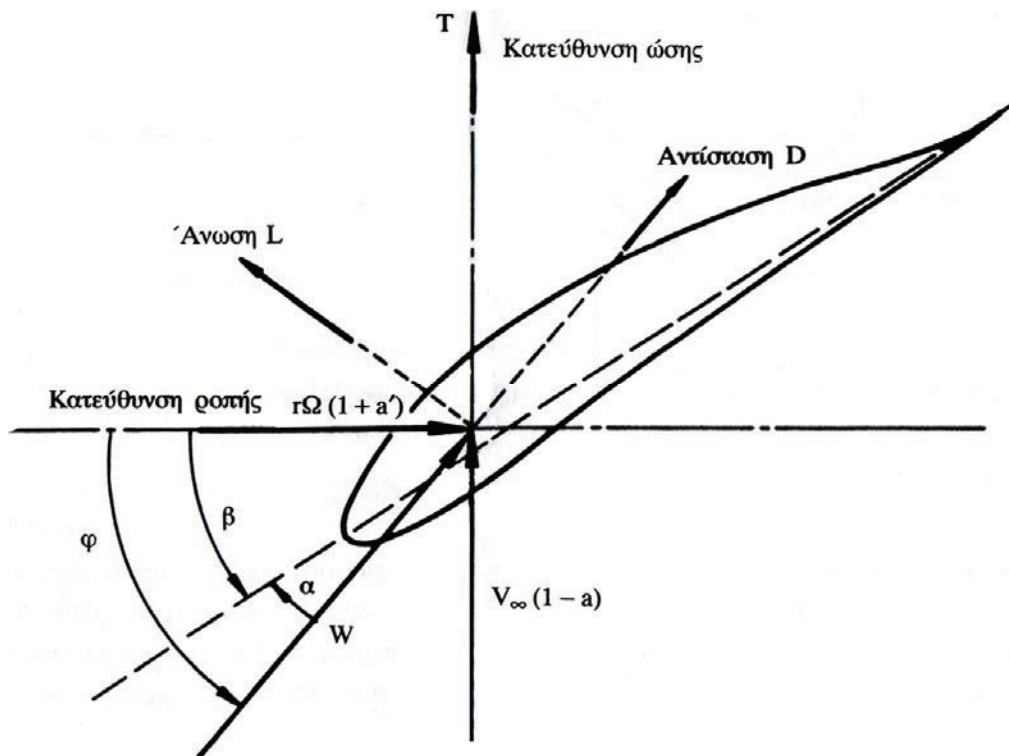
$$\text{Αξονικά} \quad \Delta F_x = \Delta L \cos\varphi + \Delta D \sin\varphi$$

$$\text{Ακτινικά} \quad \Delta F_t = \Delta L \sin\varphi - \Delta D \cos\varphi$$

όπου  $\varphi = \alpha + \beta$  και  $\beta$  η γωνία θέσης του πτερυγίου ως προς το επίπεδο περιστροφής του δρομέα.

Αν B είναι το πλήθος των πτερυγίων του δρομέα τότε η στοιχειώδης ισχύ δίνεται από τον τύπο:

$$N = B \Delta F_t \Omega r.$$



Πηγή : “Τεχνικές Μετρήσεις Ρευστομηχανικών Μεγεθών”  
Εργαστήριο Αεροδυναμικής ΕΜΠ

Σχήμα 5.9. Δυνάμεις που αναπτύσσονται στην αεροτομή του ανεμοκινητήρα.

Τυπικές μεταβολές των συντελεστών άνωσης και αντίστασης αεροτομής φαίνονται στο σχήμα 5.10 για την αεροτομή NACA 4412

Η συνολική ροπή που ενεργεί στο δρομέα είναι:

$$M = \int_{r=0}^R \rho 2 \pi r U (1-a) 2a' \Omega r dr$$

Η συνολική ισχύς του δρομέα είναι:

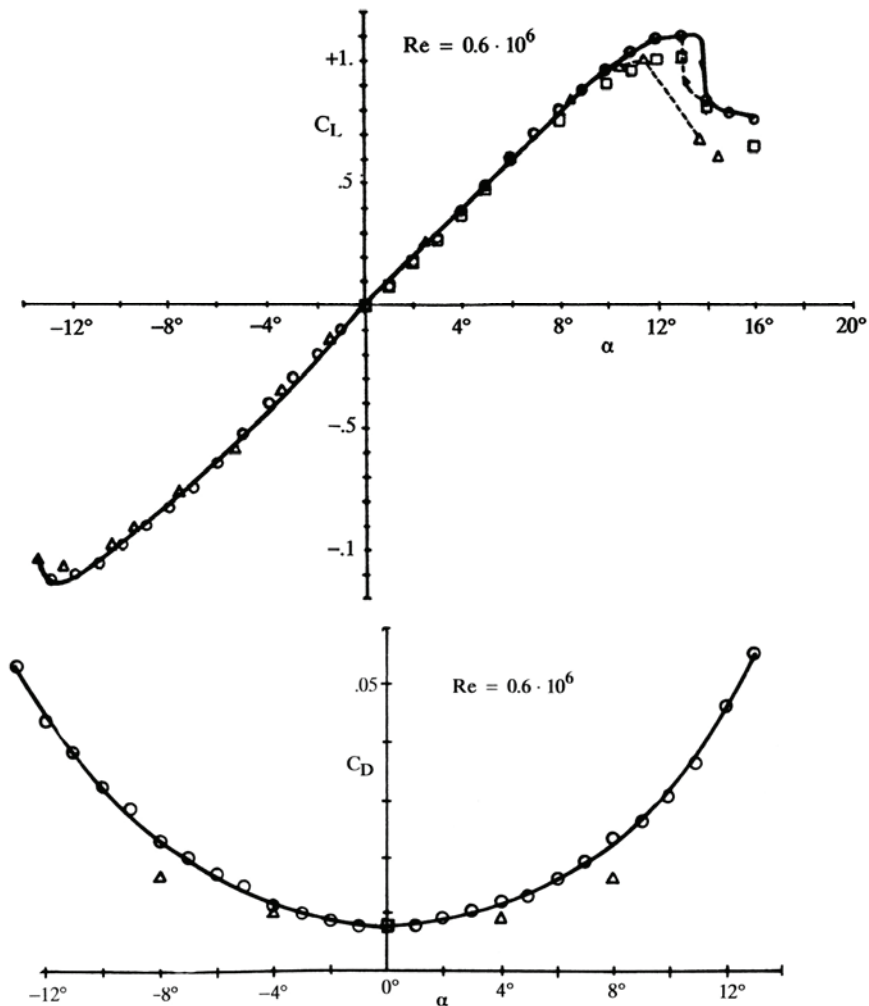
$$P = \int \rho 2 \pi r \frac{U^3}{2} C_p dr$$

Ο συντελεστής ισχύος (βαθμός απόδοσης) του δρομέα προκύπτει από τη σχέση:

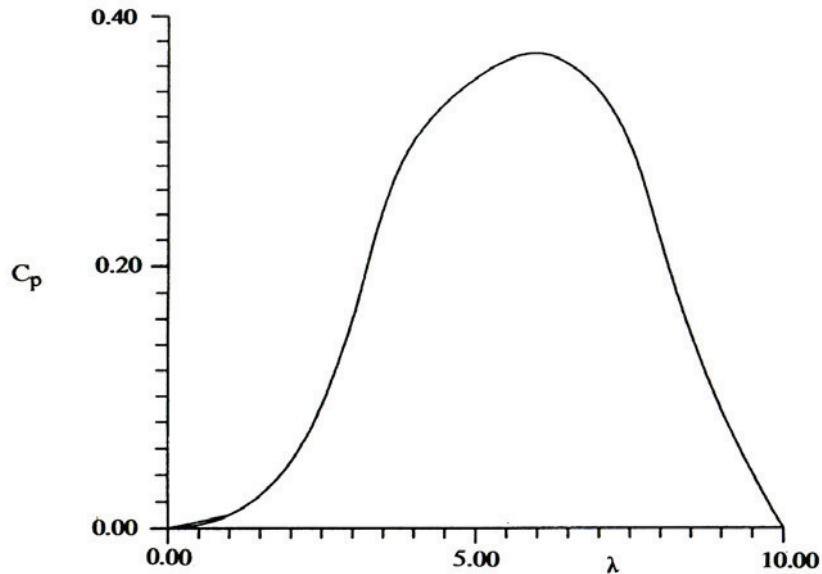
$$\bar{C}_p = \frac{P}{\rho \pi R^2 \frac{U^3}{2}}$$

Τα παραπάνω ολοκληρώματα υπολογίζονται αριθμητικά χωρίζοντας την ακτίνα του δρομέα σε ένα πλήθος λωρίδων πλάτους  $\Delta r$  (π.χ.  $\Delta r = R / 20$ ).

Τα αποτελέσματα της ολοκλήρωσης εξαρτώνται από μία μόνο παράμετρο, την ταχύτητα του ακροπτερυγίου  $\lambda$ , οπότε για διάφορες τιμές  $\lambda$  δημιουργείται η καμπύλη του συντελεστή ισχύος και ταχύτητας με τυπική μορφή όπως του σχήματος 5.11.



Σχήμα 5.10. Τυπική μεταβολή  $C_L$  και  $C_D$  για ένα εύρος γωνιών πρόσπτωσης  $\alpha$ , αεροτομής NACA 4412 (Τα σύμβολα φανερώνουν μετρήσεις για διάφορους  $Re$ ).



Σχήμα 5.11. Διάγραμμα συντελεστή ισχύος και ταχύτητας ακροπτερυγίου ( $C_p - \lambda$ ).

### 5.3.5 Καμπύλη ισχύος δρομέα.

Από την καμπύλη συντελεστή ισχύος και για ορισμένες στροφές δρομέα προκύπτει η καμπύλη συντελεστή ισχύος - ταχύτητας ανέμου η οποία στην συνέχεια με τις σχέσεις:

$$P = \bar{C}_p \frac{\rho}{2} \pi R^2 U^3$$

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

μετατρέπεται σε καμπύλη ισχύος ή ροπής του δρομέα ως συνάρτηση ταχύτητας πνέοντος ανέμου. Τυπικές μορφές καμπυλών ισχύος και ροπής για δρομέα NACA 0012 παρουσιάζονται στο σχήμα 5.12. Η στρατηγική λειτουργίας μεταβλητού βήματος αλλά σταθερών στροφών διατηρεί σταθερή την ισχύ για ταχύτητα ανέμου μεγαλύτερη της ονομαστικής και μειώνει δραστικά τις καταπονήσεις των πτερυγίων, σχήμα 5.13 και 5.14.

Η ανεμογεννήτρια αρχίζει να λειτουργεί από μία ελάχιστη ταχύτητα ανέμου και πάνω, την ταχύτητα έναρξης λειτουργίας,  $V_{cut-in}$ . Αποδίδει την ονομαστική ισχύ της  $P_R$  στην ονομαστική ταχύτητα  $V_R$  και για ταχύτητες ανέμου μέχρι την ταχύτητα διακοπής  $V_F$  στην οποία σταματάει να λειτουργεί η ανεμογεννήτρια η ισχύς της διατηρείται σταθερή (όταν έχουμε έλεγχο του βήματος). Η πραγματική καμπύλη ισχύος της ανεμογεννήτριας συναρτήσει της ταχύτητας πνέοντος ανέμου θα προκύψει από τη θεωρητική καμπύλη ισχύος αφού ληφθούν υπόψη τόσο οι ενεργειακές μηχανικές απώλειες όσο και οι χαρακτηριστικές ταχύτητες  $V_c$ ,  $V_R$ ,  $V_F$ . Τυπική καμπύλη ισχύος παρουσιάζεται στο σχήμα 5.16 ενώ με διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η ισχύς του δρομέα χωρίς αεροδυναμικό έλεγχο της μέγιστης ισχύος.

Η ενεργειακή απόδοση του δρομέα ανεμοκινητήρα εκφράζεται από την καμπύλη συντελεστή ισχύος  $C_p$  και ταχύτητας ακροπτερυγίου  $\lambda$  ( $\lambda = \omega R/V$ ), όπου  $\omega$  η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα,  $R$  η ακτίνα του και  $V$  η ταχύτητα του

ανέμου στο ύψος του άξονα του δρομέα. Τυπική καμπύλη  $C_p$  ( $\lambda$ ) παρουσιάζεται στο σχήμα 5.15.

Η ροπή περιστροφής  $M$  που αναπτύσσει ο δρομέας δίνεται από τη σχέση:

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

όπου  $P$  η ισχύς του δρομέα  $P = C_p \frac{\rho}{z} V^3 \frac{\pi}{4} D^2$

Ο συντελεστής ροπής δίνεται από τη σχέση:

$$C_M = \frac{M}{\frac{\rho}{z} V^2 \frac{\pi}{4} D^2 R} \quad \text{ή} \quad C_M = \frac{C_p}{\lambda}$$

Τυπική μεταβολή της σχέσης συντελεστή ροπής  $C_M$  και ταχύτητας ακροπτερυγίου παρουσιάζεται στο διάγραμμα του σχήματος 5.15 [24].

Εάν και ένας δρομέας ανεμοκινητήρα εργάζεται σε ένα εύρος ταχυτήτων ανέμου, η γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του επιβάλλεται από τον κινούμενο μηχανισμό παραπέρα μετατροπής του έργου. Για παράδειγμα αν ο δρομέας κινεί ηλεκτρική γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος, τότε η συχνότητα επιβάλλει τις στροφές στη γεννήτρια, οι οποίες με τη σειρά τους ανάλογα δίνουν εντολή να αλλάξουν οι συνθήκες λειτουργίας (π.χ. να αλλάξει η κλίση των πτερυγίων) ώστε να αλλάξει η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα. Στην περίπτωση που ο δρομέας κινεί αντλία, τότε η χαρακτηριστική της αντλίας καθορίζει τις στροφές στο δρομέα του ανεμοκινητήρα κ.ο.κ.

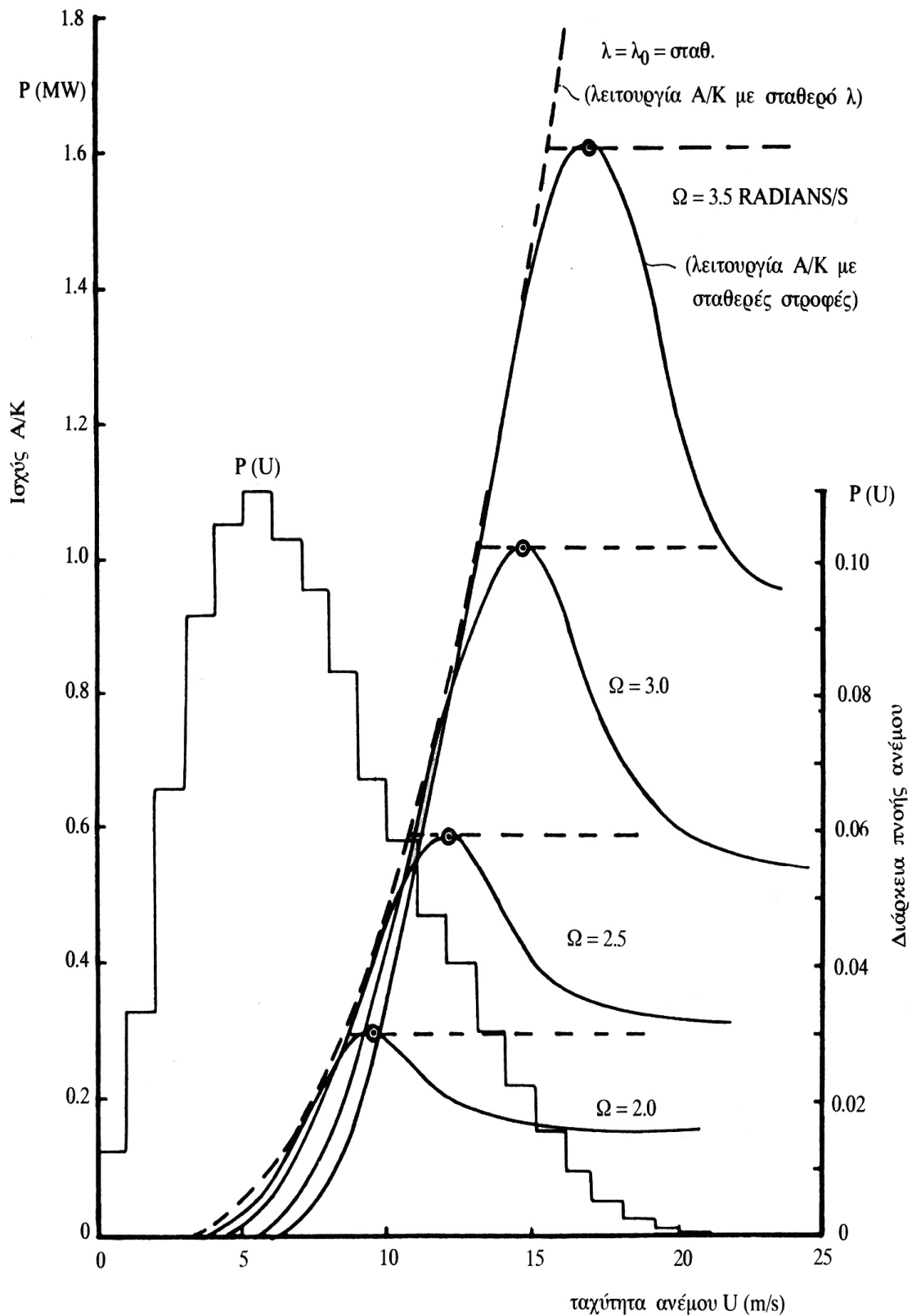
Για τον υπολογισμό του σημείου λειτουργίας του ανεμοκινητήρα απαιτείται η γνώση των καμπύλων λειτουργίας του. Οι καμπύλες αυτές είναι εύκολο να προκύψουν από την καμπύλη του συντελεστή ισχύος  $C_p$  ( $\lambda$ ) του ανεμοκινητήρα. Από τις σχέσεις ισχύος ή ροπής και ταχύτητας

$$P = C_p \frac{\rho}{z} V^3 \frac{\pi}{4} D^2 \quad M = C_M \frac{\rho}{2} V^2 \frac{\pi}{4} D^2 R$$

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

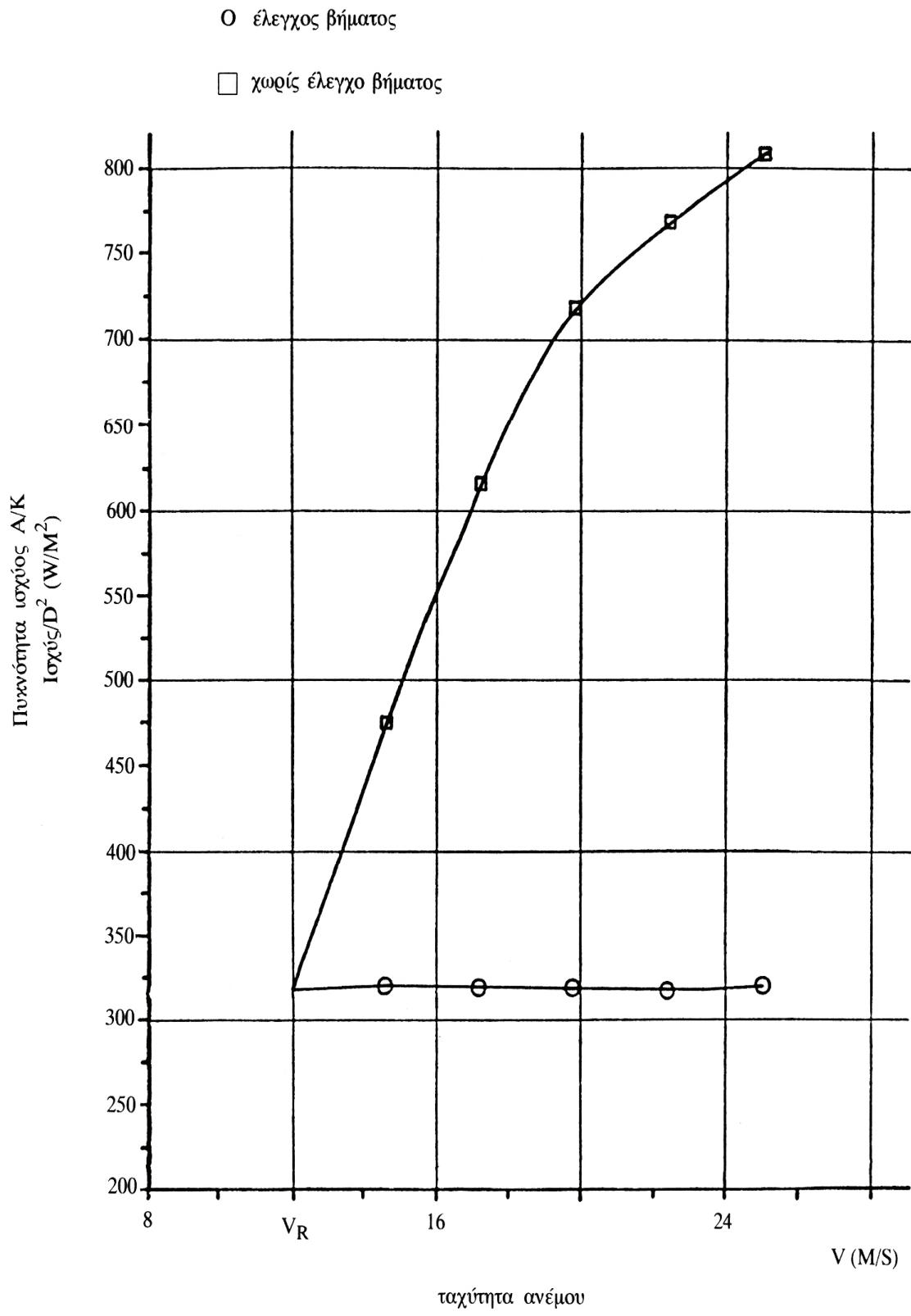
Ως βέλτιστος δρομέας μπορεί να ορισθεί ο δρομέας ο οποίος για συγκεκριμένη διάμετρο έχει ελάχιστο κόστος παραγόμενης αιολικής Kwh. Στη διαμόρφωση του κόστους σημαντική επίδραση έχει η ετήσια παραγόμενη αιολική ενέργεια και το κόστος του δρομέα. Το κόστος του δρομέα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες μπορούμε όμως να δεχθούμε ότι είναι ανάλογο των διαστάσεων και του αριθμού των πτερυγίων. Οι εξισώσεις που εκφράζουν τις συνθήκες λειτουργίας του δρομέα έχουν εκτός των τριών αγνώστων, συντελεστή αξονικής επαγωγής ( $a$ ), συντελεστή περιφερειακής επαγωγής ( $a'$ ), συντελεστή αντίστασης της αεροτομής ( $C_i$ ), επιπλέον αγνώστους την στερεότητα  $\sigma$ , τον τρόπο μεταβολής της χορδής του πτερυγίου (π.χ σταθερή χορδή δηλαδή ορθογωνικής μορφής κάτοψη ή τραπεζοειδούς μορφής κάτοψη πτέρυγας), τη γωνία  $\beta$  θέσης της αεροτομής και την ταχύτητα ακροπτερυγίου. Είναι φανερός συνεπώς ο πολύπαραμετρικός χαρακτήρας της αεροδυναμικής βελτιστοποίησης ενός δρομέα [25].





Πηγή : “Τεχνικές Μετρήσεις Ρευστομηχανικών Μεγεθών” Εργαστήριο Αεροδυναμικής ΕΜΠ

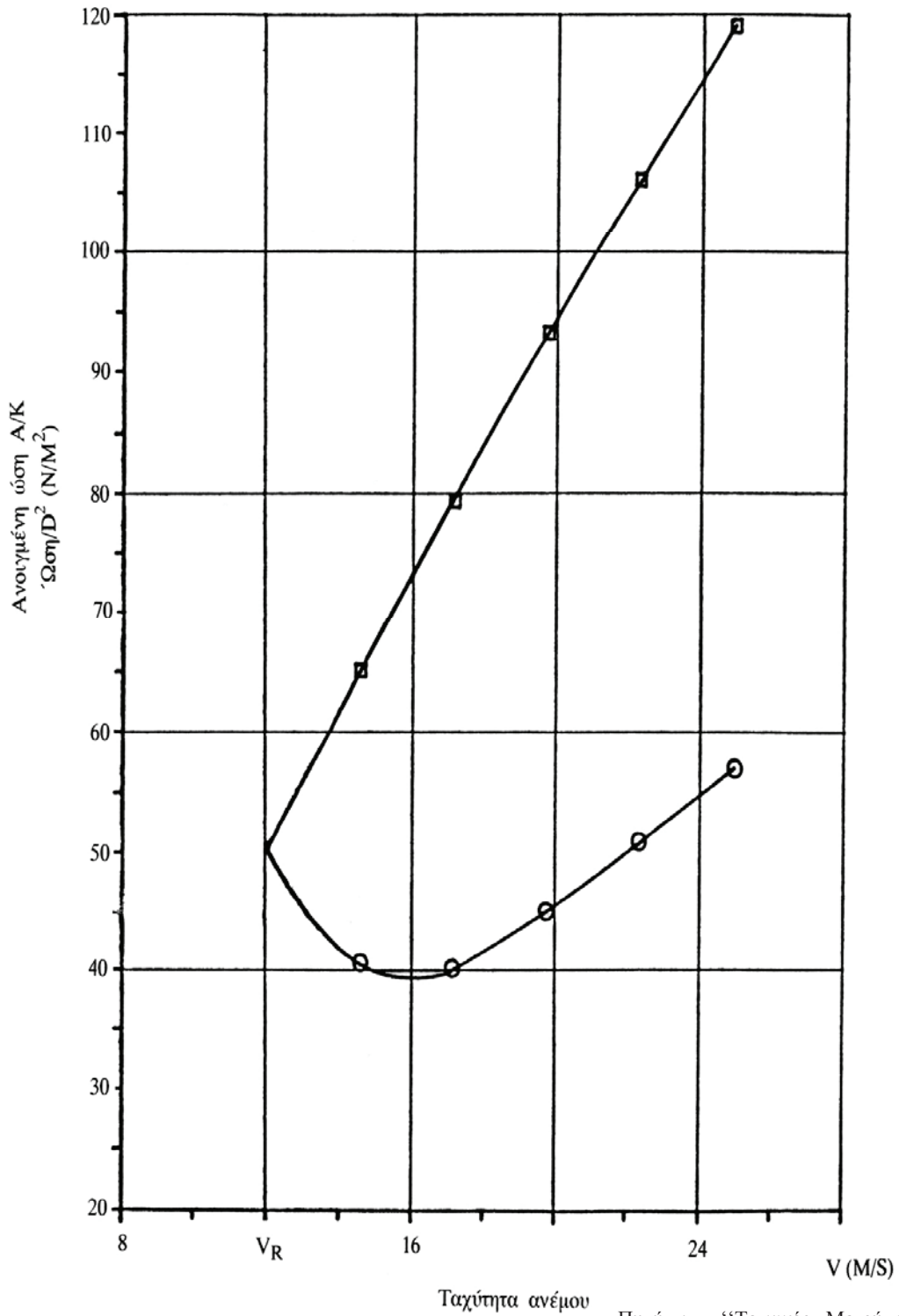
Σχήμα 5.12. Καμπύλες ισχύος δρομέα NACA 0012. Διακρίνονται δύο στρατηγικές λειτουργίας του δρομέα: (α) σταθερού  $\lambda$ , (β) σταθερού βήματος – σταθερών στροφών.



Πηγή : “Τεχνικές Μετρήσεις Ρευστομηχανικών Μεγεθών” Εργαστήριο Αεροδυναμικής ΕΜΠ

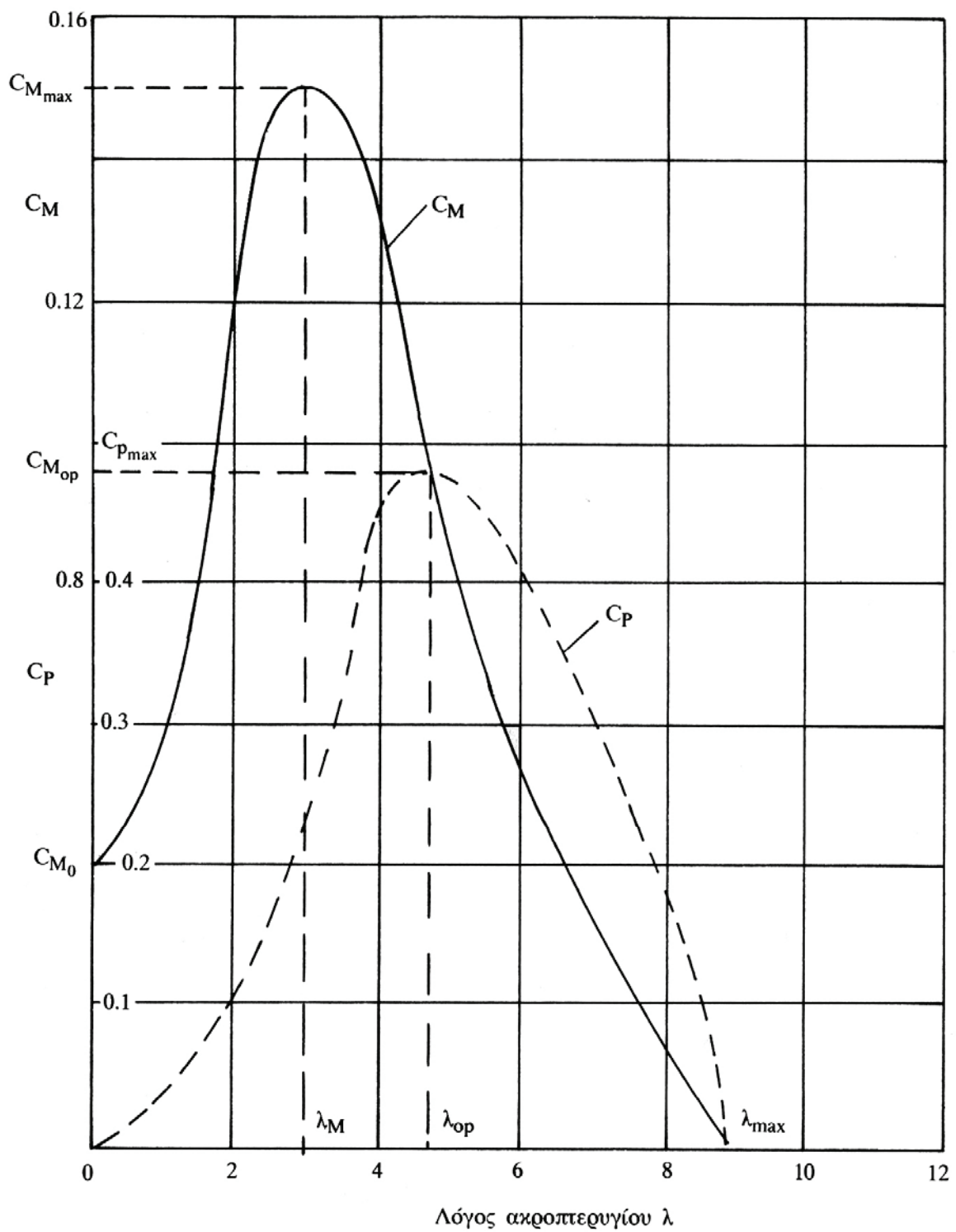
Σχήμα 5.13. Απόδοση δρομέα με και χωρίς ρύθμιση ακροπτερυγίου.

- έλεγχος βήματος
- χωρίς έλεγχο βήματος



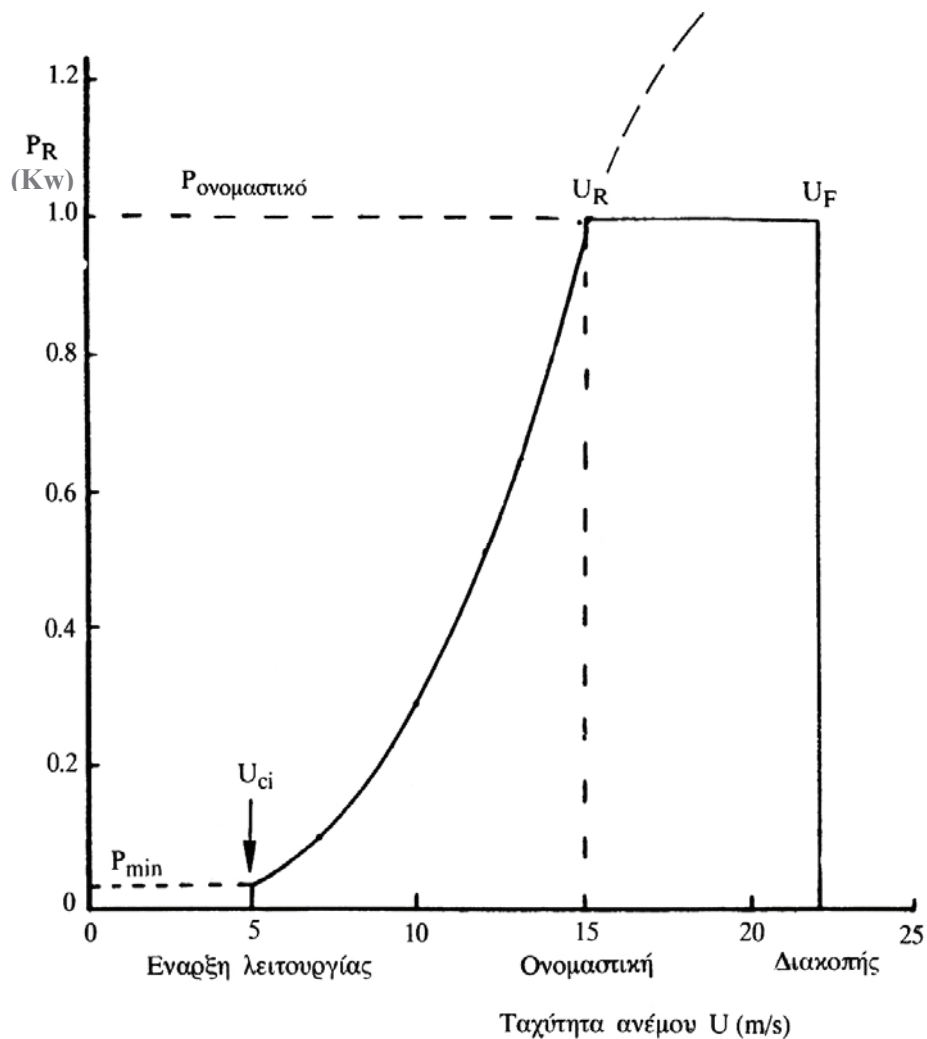
Πηγή : “Τεχνικές Μετρήσεις Ρευστομηχανικών Μεγεθών” Εργαστήριο Αεροδυναμικής ΕΜΠ

Σχήμα 5.14. Ωστική δύναμη του δρομέα.



Πηγή : “Τεχνικές Μετρήσεις Ρευστομηχανικών Μεγεθών” Εργαστήριο Αεροδυναμικής ΕΜΠ

Σχήμα 5.15. Τυπικές καμπύλες  $C_M$  και  $C_P$  ενός ανεμοκινητήρα τριών περυγίων οριζοντίου άξονα.



Πηγή : “Τεχνικές Μετρήσεις Ρευστομηχανικών Μεγεθών” Εργαστήριο Αεροδυναμικής ΕΜΠ

Σχήμα 5.16. Τυπική καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας.

### 5.3.6 Ετήσια ενεργειακή απόδοση δρομέα.

Για τον υπολογισμό της ετήσιας ενεργειακής απόδοσης του δρομέα σε μια περιοχή είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την διάρκεια πνοής του ανέμου στην περιοχή, δηλαδή την καμπύλη κατανομής ταχυτήτων Weibull. Γνωρίζοντας την αναλυτική σχέση που εκφράζει την καμπύλη

$$f(u) = \frac{k}{c} \left(\frac{u}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k\right]$$

όπου  $k$  και  $c$  παράμετροι της κατανομής, τότε μπορεί να υπολογιστεί η ετήσια ενεργειακή απόδοση του ανεμοκινητήρα υπολογίζοντας το ακόλουθο ολοκλήρωμα

$$E = 8760 \int_{u=0}^{\infty} P(u) f(u) du$$

όπου  $f(u)$  είναι η πιθανότητα να πνέει ο άνεμος μεταξύ  $u - 0,5du$  και  $u + 0,5du$  ή αλλιώς 8760  $f(u)$  είναι η χρονική διάρκεια πνοής του ανέμου ταχύτητας μεταξύ  $u - 0,5du$  και  $u + 0,5du$ . Με αλλαγή των άκρων ολοκλήρωσης μπορούμε να εκφράσουμε τη μέση ετήσια τιμή ισχύος της ανεμογεννήτριας, που αλλιώς σημαίνει ότι η ανεμογεννήτρια φαίνεται σε ετήσια βάση ως γεννήτρια συνεχούς παραγωγής ενέργειας με σταθερή ισχύ ίση με  $\bar{P}$ .

$$\bar{P} = \int_0^{\infty} P(u) f(u) du$$

### 5.3.7 Χαρακτηριστικά ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα.

#### ▪ Δρομέας.

Ο σχεδιασμός του δρομέα είναι ίσως το πιο βασικό στη σχεδίαση του όλου συστήματος. 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, συστροφή, μέσο γεωμετρικό βήμα. Τα κριτήρια επιλογής είναι η μεγιστοποίηση της ετήσιας παραγόμενης ενέργειας και η ελαχιστοποίηση του κόστους παραγωγής της. Η διάμετρος του δρομέα θα εξαρτηθεί από την απαιτούμενη ονομαστική ισχύ της μηχανής και το αιολικό δυναμικό της περιοχής εγκατάστασης του ανεμοκινητήρα. Η γωνιακή ταχύτητα λειτουργίας του δρομέα επιλέγεται έτσι ώστε ο λόγος ταχύτητας ακροπτερυγίου προς την ονομαστική ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται στην περιοχή της βέλτιστης τιμής συντελεστή ισχύος του ανεμοκινητήρα. 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 [10,25,27].

Ανάλογα με τη μορφή του δρομέα διακρίνουμε δύο διαφορετικούς τύπους:

#### α) Δρομείς με πολλά λεπτά πτερύγια (πολυπτερυγους).

Χαρακτηριστικό των δρομέων αυτών είναι η μικρή διάμετρος, η μικρή περιφερειακή ταχύτητα και η μεγάλη ροπή. Στο παρελθόν κατασκευάστηκαν σε βιομηχανική κλίμακα (οι γνωστοί Αμερικανικοί πολυπτερυγοί ανεμόμυλοι) και βρήκαν πλατιά εφαρμογή στη γεωργία για άντληση νερού. Η κατασκευή τέτοιων ανεμοκινητήρων καθώς και η έρευνα προς την κατεύθυνση αυτή τείνουν να εγκαταλειφθούν για πολλούς λόγους, όπως ο μικρός συντελεστής ισχύος και η μικρή διάμετρος που μπορούν να κατασκευαστούν.

#### β) Δρομείς με λίγα πτερύγια.

Οι δρομείς αυτοί έχουν ένα, δύο ή τρία πτερύγια. Έχουν μορφή παρόμοια των πτερυγίων των ελίκων των αεροσκαφών με αρκετή συστροφή από τη βάση μέχρι το ακροπτερύγιο και με μεταβαλλόμενη χορδή με λέπτυνση προς το ακροπτερύγιο. Η τεχνολογία κατασκευής του είναι παρόμοια με εκείνη των ελίκων αεροπλάνων, δανείζεται δε και μερικά στοιχεία από εκείνη του δρομέα των ελικοπτέρων. Τα βασικά χαρακτηριστικά του δρομέα είναι ο μεγάλος συντελεστής ισχύος και η βέλτιστη λειτουργία του σε μεγάλο σχετικά λόγο ταχυτήτων ακροπτερυγίου  $\lambda$ . Οι παλαιότεροι δρομείς είχαν πλατιά πτερύγια, ενώ οι σύγχρονοι δρομείς, λόγω

αεροδυναμικής βελτιστοποίησης, έχουν λεπτά πτερύγια. Οι αεροτομές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των πτερυγίων είναι σύγχρονες αεροτομές που παρουσιάζουν μεγάλο συντελεστή άνωσης σε μικρές σχετικά γωνίες πρόσπτωσης ενώ συγχρόνως διατηρούν χαμηλό συντελεστή αντίστασης σε ευρεία περιοχή γωνιών πρόσπτωσης.

Οι δρομείς αυτοί είναι πιο ταχύστροφοι από τους πολυπτερυγους δρομείς και οικονομικότεροι για ίδιους συντελεστές ισχύος, παρουσιάζουν δε ευκολία στην επιτόπου συναρμολόγηση του ανεμοκινητήρα. Συγκριτικά ο τρίπτερος δρομέας είναι κατά 5% περισσότερο αποδοτικός από τον δίπτερο και τα φορτία που ενεργούν σε κάθε πτερύγιο είναι μικρότερα. Είναι όμως ακριβότερος. Αντίθετα ο μονόπτερος δρομέας είναι φθηνότερος, έχει 10% μικρότερη ενεργειακή απόδοση από τον δίπτερο, έχει θορυβώδη λειτουργία και η ζυγοστάθμισή του παρουσιάζει σοβαρά προβλήματα.

#### ▪ Υλικά πτερυγίων.

Τα υλικά κατασκευής των πτερυγίων των δρομέων εξελίσσονται συνεχώς. Στους μικρούς ανεμοκινητήρες χρησιμοποιούνται κυρίως πολυουρεθάνη, υαλόνημα και ξύλο, υλικά που δεν υποφέρουν από διάβρωση αλλά έχουν όμως άγνωστη συμπεριφορά σε εναλλασσόμενη φόρτιση, φόρτιση που οδηγεί σε πρόωρη γήρανση του υλικού. Στους μεσαίου μεγέθους δρομείς χρησιμοποιούνται υαλονήματα με εναλλαγή της κατεύθυνσης των υαλονημάτων σε πολλαπλές στρώσεις ενώ στους μεγάλου μεγέθους ανεμοκινητήρες χρησιμοποιείται η τεχνολογία των ελίκων των αεροσκαφών (ανθρακονήματα με μηχανές αυτόματου τυλίγματος - Hamilton Standard) ή ακόμα και ξύλο.

#### ▪ Το βήμα του πτερυγίου.

Υπάρχουν δρομείς με πτερύγια:

- μεταβλητού βήματος
- σταθερού βήματος

Η μηχανική ρύθμιση ισχύος σε μία ανεμογεννήτρια έχει ως σκοπό να εξισορροπεί, για ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από την ονομαστική, την παραγόμενη ισχύ από την πτερύγωση με την ονομαστική ισχύ της εγκατάστασης (π.χ. γεννήτριας), ώστε η εγκατάσταση να μην υπερφορτώνεται.

#### ▪ Τρόποι μηχανικής ρύθμισης ισχύος.

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

2) Ρύθμιση με τη βοήθεια αεροδυναμικών φρένων στα άκρα των πτερυγίων. Η διάταξη αυτή αποτελεί περισσότερο μέσον προστασίας της ανεμογεννήτριας έναντι υπερτάχυνσής της και τίθεται σε λειτουργία όταν η γωνιακή ταχύτητα του δρομέα υπερβεί την επιτρεπόμενη τιμή. Αυτό μπορεί να συμβεί σε περίπτωση μεγάλης ταχύτητας ανέμου (μεγαλύτερης της ταχύτητας ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια σταματάει,  $V_F$ ) ή όταν ο δρομέας παράγει έργο, ενώ δεν υπάρχει κατανάλωση.

Οι ανεμογεννήτριες με σύστημα ρύθμισης του βήματος του πτερυγίου παρουσιάζουν τεχνολογική πολυπλοκότητα στο ρυθμιστικό μηχανισμό και τα πτερύγια είναι σαφώς ακριβότερα και βαρύτερα. Παρουσιάζουν όμως καλή ρύθμιση

ισχύος, μειωμένα αεροδυναμικά φορτία, ευκολία στην εκκίνηση της ανεμογεννήτριας και συγχρόνως μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για πέδηση.

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

#### ▪ Σύστημα αύξησης στροφών.

Η σχεδίαση του συστήματος αύξησης των στροφών του δρομέα για να προσαρμοστεί ο δρομέας στις στροφές μιας γεννήτριας, μιας αντλίας κλπ. δεν αφορά άμεσα τη σχεδίαση της ανεμογεννήτριας. Η τεχνολογική εξέλιξη των συστημάτων αύξησης στροφών, λόγω απαιτήσεων της βιομηχανίας, έχει δώσει πολλούς και καλούς τύπους κιβωτίου ταχυτήτων από άποψη αντοχής υλικού, φθοράς, μεταφερόμενης ισχύος και διαστάσεων. Βασικά κριτήρια επιλογής του είναι η διάρκεια ζωής του, ο βαθμός απόδοσής του και η στάθμη θορύβου λειτουργίας. Λόγω της συνεχούς μεταβολής της ισχύος του ανέμου, το κιβώτιο ταχυτήτων λειτουργεί συνεχώς με κρουστικά φορτία τα οποία οδηγούν σε πρόωρη φθορά υλικού και μείωση της διάρκειας ζωής του. Για το λόγω αυτό, το κιβώτιο ταχυτήτων της ανεμογεννήτριας επιλέγεται να έχει ονομαστικό μέγεθος ισχύος πολύ μεγαλύτερο από το ονομαστικό μέγεθος της μηχανής, ακόμα και ονομαστική ροπή 200% μεγαλύτερη της ονομαστικής ροπής της μηχανής. Διακρίνονται δύο είδη κιβωτίων. Το κιβώτιο με παράλληλες οδοντώσεις γραναζιών (κιβώτιο παραλλήλων αξόνων) και το κιβώτιο στο οποίο οι οδοντωτοί τροχοί που χρησιμοποιούνται έχουν ελικοειδή οδόντωση (συνήθως κιβώτιο με πλανητικό σύστημα οδοντωτών τροχών). Το πρώτο είδος κιβωτίου είναι απλούστερο κατασκευαστικά και έχει χαμηλότερο κόστος συντήρησης. Το κιβώτιο με ελικοειδή οδόντωση έχει υψηλότερο κόστος αγοράς και συντήρησης αλλά καλύτερο βαθμό απόδοσης και χαμηλότερη στάθμη θορύβου.

Για την αύξηση της ζωής του κιβωτίου και τη μείωση των κρουστικών φορτίων λειτουργίας, σε ορισμένες περιπτώσεις το κιβώτιο ταχυτήτων στηρίζεται πάνω σε ελατήρια απόσβεσης κραδασμών ή ελαστικές βάσεις.

#### ▪ Σύστημα πέδησης άξονα δρομέα.

Υπάρχουν διάφοροι τρόποι ακινητοποίησης του δρομέα του ανεμοκινητήρα.

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

Ο προτιμότερος τρόπος ακινητοποίησης της μηχανής είναι η σταδιακή μείωση των αεροδυναμικών φορτίων στη μηχανή. Με τον τρόπο αυτό δεν αναπτύσσονται κρουστικά φορτία στη φάση πέδησης της μηχανής. Σε περίπτωση αστοχίας όμως των μηχανισμών ρύθμισης του βήματος του περυγίου ή των άλλων μεθόδων ρύθμισης ισχύος απαιτείται η πέδηση του άξονα του δρομέα. Η πέδηση αυτή γίνεται συνήθως με δισκόφρενο που ενεργεί αυτόματα στον άξονα. Το δισκόφρενο αυτό συνήθως τοποθετείται στον υψηλόστροφο άξονα της μηχανής (μετά το κιβώτιο ταχυτήτων) διότι έτσι η απαιτούμενη ροπή πέδησης είναι πολύ μικρή και κατά



συνέπεια το δισκόφρενο είναι μικρού κόστους. Συνήθως η πέδη αυτή είναι ηλεκτρομαγνητικού τύπου που ενεργοποιείται αυτόματα με τη διακοπή του ρεύματος, δηλαδή η πέδη παραμένει πάντα ανοικτή με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητών και σε περίπτωση διακοπής ρεύματος ενεργοποιείται από τα ελατήρια. Τοποθετώντας όμως την πέδη στον υψηλόστροφο άξονα υπερφορτίζεται το κιβώτιο ταχυτήτων στη διάρκεια της πέδησης (η ακινητοποίηση της μηχανής γίνεται εντός 2 ή 3 πλήρων στροφών του δρομέα) ενώ συγχρόνως η αντικατάσταση, συντήρηση του κιβωτίου ή και η επισκευή του γίνεται προβληματική. Τοποθέτηση του δισκόφρενου στον χαμηλόστροφο άξονα απαιτεί ογκώδες δισκόφρενο και υψηλού κόστους. Το δισκόφρενο αυτό είναι συνήθως υδραυλικού τύπου [24,25].

- **Ελαστικοί σύνδεσμοι.**

Για τη σύνδεση αξόνων μεταξύ των (π.χ. άξονας δρομέα με κιβώτιο ή δισκόφρενο με γεννήτρια κ.λ.π.) απαιτείται ελαστικός σύνδεσμος απορρόφησης κραδασμών. Συνήθως οι σύνδεσμοι αυτοί βασίζονται στην απορροφητική ικανότητα του καουτσούκ. Σε ακριβές κατασκευές χρησιμοποιείται και υδραυλικού τύπου συμπλέκτης ο οποίος συγχρόνως μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως μέσο προσαρμογής των στροφών του δρομέα στις στροφές της γεννήτριας και έτσι η μηχανή να δουλεύει σε σταθερές στροφές ή σε στροφές μέγιστου συντελεστή ισχύος.

- **Σύστημα προσανατολισμού.**

Όπως αναφέρθηκε, ο δρομέας μπορεί να βρίσκεται πριν από τον πύργο ή μετά από αυτόν. Στους ανεμοκινητήρες με ανάντι τοποθέτηση του δρομέα απαιτείται σύστημα προσανατολισμού του δρομέα. Στις μικρού μεγέθους ή και μεσαίου μεγέθους, για τον προσανατολισμό χρησιμοποιείται καθοδηγητικό πτερύγιο (ουρά) που τόσο η επιφάνεια της ουράς όσο και η θέση της ως προς τον άξονα του πύργου επιλέγονται έτσι ώστε σε απόκλιση του ανέμου κατά το πολύ 10 μοίρες να εξασκείται ροπή επαναπροσανατολισμού του δρομέα στον άνεμο ικανή να υπερνικήσει την αντίρροπή λόγω γυροσκοπικού φαινομένου.

Στους ανεμοκινητήρες μεγάλου μεγέθους χρησιμοποιείται σερβομηχανισμός ο οποίος ελέγχεται από τον ανεμοδείκτη του ανεμογράφου και προσανατολίζει το δρομέα κάθετα στην κατεύθυνση του ανέμου. Η τοποθέτηση του δρομέα κατάντι φαινομενικά τουλάχιστον φαίνεται να οδηγεί σε απλούστερη κατασκευή ανεμοκινητήρα γιατί δεν απαιτείται σύστημα προσανατολισμού, αλλά στην περίπτωση αυτή ο ανεμοκινητήρας είναι περισσότερο θορυβώδης στη λειτουργία του λόγω της σκίασης του πύργου πάνω στον δρομέα και επίσης δημιουργούνται αυξημένες καταπονήσεις στα πτερύγια λόγω της περιοδικότητας φορτίσεων του πτερυγίου καθώς αυτό σε κάθε περιστροφή σκιάζεται από τον πύργο.

- **Πύργος.**

Κριτήρια επιλογής του είδους του πύργου είναι, εκτός από το κόστος του, η ευκολία μεταφοράς του στον τόπο εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας και η ευκολία ανέγερσής του. Τα κυριότερα προβλήματα είναι η οδικής πρόσβασης στη θέση, η ύπαρξη ικανοποιητικού ανυψωτικού μέσου τόσο σε ανυψωτική ικανότητα όσο και σε ύψος ανύψωσης. Δύο είναι κυρίως οι τύποι πύργων που έχουν επικρατήσει, ο σωληνωτός και ο τύπου δικτυώματος.

Ο πύργος τύπου δικτυώματος είναι ευκολότερος στην επιτόπου συναρμολόγηση

και ανάρτηση, ελαφρότερος και φθηνότερος. Επειδή έχει πολλά μικρά κομμάτια είναι ευκολότερο να υποστεί ψυχρό γαλβάνισμα σε μικρά γαλβανιστήρια.

Ο σωληνωτός πύργος είναι αισθητικά καλλίτερος, το εσωτερικό του πύργου μπορεί να αποτελεί και το θάλαμο στέγασης όλων των οργάνων της ανεμογεννήτριας. Παρουσιάζει όμως δυσκολία στην μεταφορά του, ιδίως από κάποιο ύψος και πάνω, δυσκολία στην ανέγερσή του (απαιτείται οπωσδήποτε γερανός) και αν είναι μεγάλος πρέπει να γαλβανισθεί σε κομμάτια και να συγκολληθεί επί τόπου, αλλά τότε καταστρέφεται το γαλβάνισμα τοπικά.

Ο σωληνωτός πύργος έχει χαμηλή ιδιοσυχνότητα (μικρότερη από την ιδιοσυχνότητα του δρομέα) γι' αυτό κατά την εκκίνηση του δρομέα η περιοχή ιδιοσυχνότητας του πύργου πρέπει να περνιέται γρήγορα για αποφυγή φαινομένων συντονισμού. Αντίθετα ο δικτυωτός πύργος έχει υψηλότερη ιδιοσυχνότητα από τον δρομέα [9,21,39,44].

### 5.3.8 Στατική καταπόνηση και υπολογισμός της διαμέτρου του πύργου.

Ο πύργος του ανεμοκινητήρα, που συνήθως είναι χαλύβδινος σωλήνας, καταπονείται τόσο στατικά όσο και δυναμικά. Η πιο επικίνδυνη διατομή στην οποία υπάρχουν οι περισσότερες πιθανότητες να εμφανισθεί αστοχία λόγω στατικής καταπόνησης είναι η βάση του πύργου. Η βάση του πύργου καταπονείται κυρίως θλιπτικά και καμπτικά. Στη διατομή του σχήματος 5.17 η ορθή τάση που αναπτύσσεται λόγω της θλίψης και της κάμψης είναι:

$$\sigma_{\text{eff}} = \frac{T \cdot W + M}{W} + \frac{B}{A}$$

Όπου:

T η ώθηση της έλικας. Αυτή υποτίθεται πως είναι οριζόντια αν και έχει μια κλίση της τάξης των 5° και υπολογίζεται από την αεροδυναμική της έλικας.

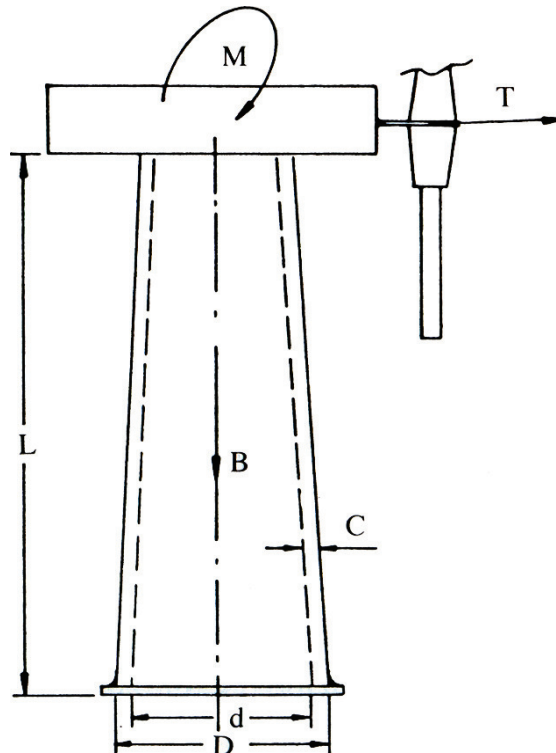
W η ροπή αντίστασης της βάσης.

$$W = \frac{\pi}{32} \left( \frac{D^4 - d^4}{D} \right)$$

D η εξωτερική διάμετρος της βάσης.

d η εσωτερική διάμετρος της βάσης.

B το συνολικό βάρος του Α/Κ, το οποίο αποτελείται από το βάρος του πύργου, της έλικας και του κουβουκλίου.



Σχήμα 5.17. Τυπική μορφή πύργου.

A το εμβαδόν της βάσης του πύργου.  $A = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2)$

M η ροπή στρέψης η οποία καταπονεί την έλικα και η οποία μεταβιβάζεται σαν ροπή κάμψεως στον πύργο.

L το ύψος του ανεμοκινητήρα το οποίο λαμβάνεται ίσο με το ύψος του πύργου.

C το πάχος του σωληνωτού πύργου, το οποίο για λόγου απλοποίησης θεωρείται σταθερό σ' όλο το μήκος.  $C = \frac{D - d}{2}$

Ο πύργος των περισσότερων ανεμοκινητήρων δεν είναι σταθερής διατομής, αλλά μεταβλητής. Για τον υπολογισμό της εξωτερικής και εσωτερικής διαμέτρου του πύργου, ο πύργος χωρίζεται σε N-1 τμήματα όπως στο σχήμα 5.18 οπότε δημιουργούνται N διατομές [24,25,39,44].

Σε μια διατομή του πύργου I, η οποία απέχει απόσταση Z από την κορυφή, η πραγματική τάση που εξασκείται επί αυτής είναι:

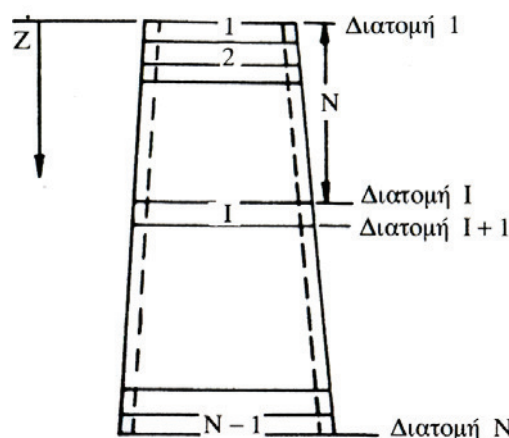
$$\sigma_{\text{eff}} = 1,25 \left[ \frac{T \cdot Z + M}{W_i} + \frac{B_i}{A_i} \right] \quad \text{ή} \quad \sigma_{\text{eff}} = 1,25 \left[ \frac{T \cdot Z + M}{\frac{\pi}{32} \left( \frac{D_i^4 - d_i^4}{D_i} \right)} + \frac{B_i}{\frac{\pi}{4} (D_i^2 - d_i^2)} \right]$$

Όπου:

Z η απόσταση του άξονα περιστροφής της έλικας από την διατομή I.

$B_i$  το συνολικό βάρος που εξασκείται στη διατομή I. Αυτό είναι το επιμέρους άθροισμα του βάρους των στοιχείων που βρίσκονται πάνω από τη διατομή I.

$D_i$  και  $d_i$  η εξωτερική και εσωτερική διάμετρος της διατομής I αντίστοιχα.



Πηγή : “Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών” (1989) ΕΜΠ

Σχήμα 5.18. Διαχωρισμός του πύργου σε τμήματα.

Εάν δεχθούμε ότι η πραγματική τάση  $\sigma_{\text{eff}}$  που καταπονεί τη διατομή I είναι ίση με το πηλίκο της επιτρεπόμενης τάσης  $\sigma_{\text{επ}}$  προς τον συντελεστή ασφαλείας S (κυμαίνεται μεταξύ 1,5 και 3) τότε προκύπτει ότι:

$$Q = 1,25 \left[ \frac{T \cdot Z + M}{\frac{\pi}{32} \left( \frac{D_i^4 - d_i^4}{D_i} \right)} + \frac{B_i}{\frac{\pi}{4} (D_i^2 - d_i^2)} \right]$$

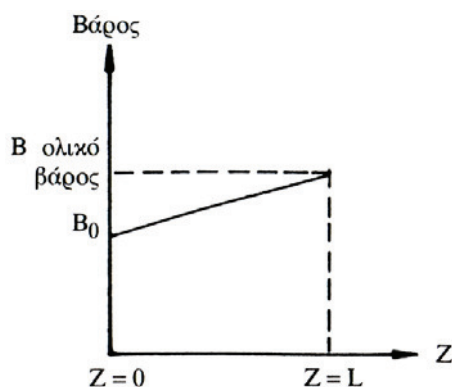
Εάν δεχθούμε ότι το βάρος μεταβάλλεται γραμμικά με το ύψος σχήμα 5.19 (χωρίς ουσιαστικό σφάλμα για ελάσματα των 5mm-10mm) έχουμε:

$$B = B_0 + \frac{B_{\text{ολικό}} - B_0}{L} Z$$

Όπου:

$B_0$  είναι το βάρος που καταπονεί την επάνω διατομή (διατομή 1) του πύργου και αποτελείται από το βάρος της έλικας και το βάρος του κουβουκλίου.

$B_{\text{ολικό}}$  είναι το συνολικό βάρος που καταπονεί την βάση του πύργου (την διατομή N).



Σχήμα 5.19. Διανομή βάρους πύργου.

Αντικαθιστώντας το βάρος  $B_i$  στην εξίσωση της τάσης προκύπτει η σχέση:

$$Q = \frac{40D_i(T \cdot Z + M)}{\pi(D_i^4 - d_i^4)} + \frac{5[L \cdot B_0 + (B_{\text{ολικό}} - B_0)Z]}{\pi L(D_i^2 - d_i^2)}$$

Λαμβάνοντας υπ' όψη ότι το πάχος του πύργου είναι σταθερό έχουμε ότι

$$d_i + 2C = D_i \quad \text{ή} \quad d_i = D_i - 2C$$

Απαλείφοντας την εσωτερική διάμετρο της διατομής I προκύπτει ότι

$$Q = \frac{40D_i(T \cdot Z + M)}{\pi(D_i^4 - (D_i - 2C)^4)} + \frac{5[L \cdot B_0 + (B_{\text{ολικό}} - B_0)Z]}{\pi L(D_i^2 - (D_i - 2C)^2)}$$

Στην πιο πάνω εξίσωση μοναδικός άγνωστος είναι η εξωτερική διάμετρος  $D_i$  της διατομής  $I$  που απέχει απόσταση  $Z$  από την κορυφή του πύργου. Λύνοντας επαναληπτικά την εξίσωση αυτή για κάθε διατομή  $I$  υπολογίζεται η διανομή της εξωτερικής άρα και της εσωτερικής διαμέτρου του πύργου.

### 5.3.9 Δυναμική καταπόνηση συστήματος ανεμοκινητήρα.

Όλα τα μηχανολογικά συστήματα τα οποία συναντώνται στην πράξη καταπονούνται δυναμικά. Για το λόγω αυτό, είναι απαραίτητη μία εκ των προτέρων πρόβλεψη των φυσικών συχνοτήτων ή ιδοσυχνοτήτων του συστήματος ώστε να αποφευχθούν ανεπιθύμητες καταστάσεις, όπως συνθήκες συντονισμού, οι οποίες είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε αστοχία όλο το σύστημα.

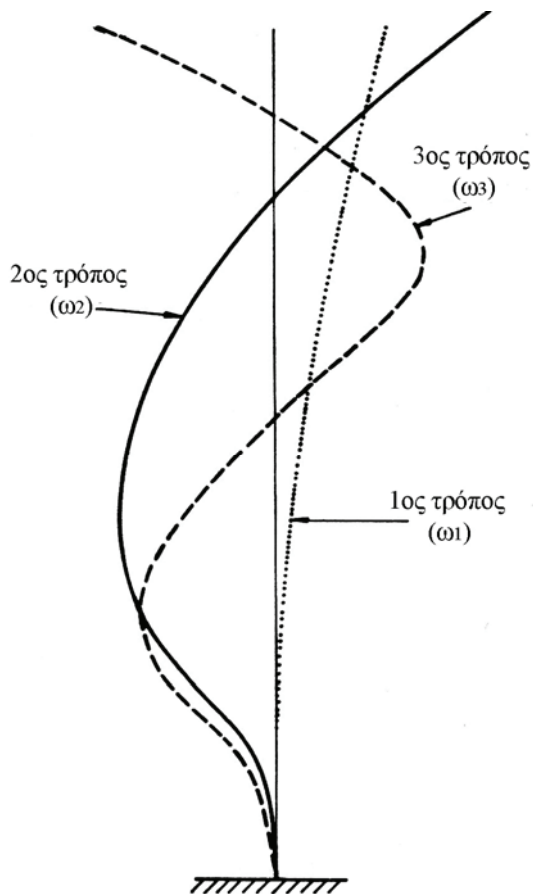
Σε πολλές περιπτώσεις η κύρια σχεδιαστική παράμετρος για ένα πύργο αποδεικνύεται ότι είναι η αποφυγή συνθηκών συντονισμού.

Συντονισμός στα προβλήματα με πύργους είναι δυνατόν να εμφανισθεί με αρκετούς τρόπους. Αν η έλικα έχει μία μικρή στατική αζυγοσταθμία τότε μία παλμική δύναμη με συχνότητα ίση με την συχνότητα περιστροφής της έλικας θα ασκείται επί του πύργου. Αν πάλι οι φυσικές συχνότητες του πύργου είναι ίσες με την συχνότητα περιστροφής της έλικας, είναι δυνατόν να συμβούν μεγάλες απομακρύνσεις στον πύργο με ενδεχόμενο την πτώση του. Επίσης, μεταβαλλόμενα φορτία αέρα προκαλούν μεταβαλλόμενα φορτία στα πτερύγια της έλικας. Τα φορτία αυτά μπορούν να μεταφερθούν στον πύργο και να προκαλέσουν συνθήκες συντονισμού.

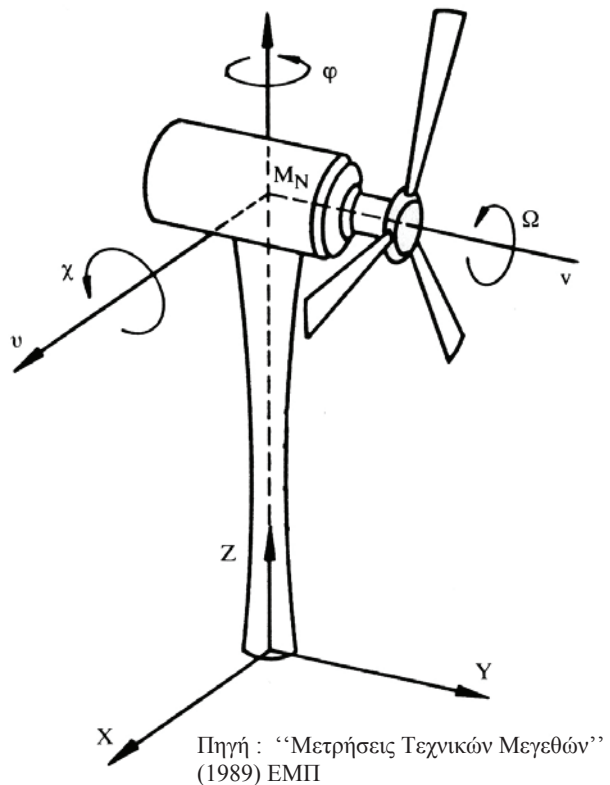
Κάθε σύστημα που καταπονείται δυναμικά υπόκειται σε ταλάντωσης. Επειδή η συνολική ταλάντωση των συστημάτων είναι πολύπλοκη, αυτή μπορεί να αναλυθεί σε απλούστερες κινήσεις που ονομάζονται τρόποι ταλάντωσης. Ένας τρόπος ταλάντωσης ορίζεται ως το σχήμα που παίρνει το μοντέλο με το οποίο αντικαταστήσαμε το σύστημα μας, όταν αυτό ταλαντεύεται μ' αυτόν και μόνον τον τρόπο σχήμα 5.20. Κάθε τρόπος ταλάντωσης προσεγγίζεται μαθηματικά με μία επαλληλία κατάλληλων συναρτήσεων σχήματος, τις οποίες παίρνουμε συνήθως έτοιμες από σχετικά εγχειρίδια και οι οποίες έχουν προκύψει από εκτεταμένη πειραματική μελέτη.

Όλοι οι τρόποι ταλάντωσης συνδυαζόμενοι μεταξύ τους δίνουν τη συνολική κίνηση του συστήματος, το σχήμα δηλαδή που παίρνει κάθε φορά το σύστημα. Ο αριθμός των τρόπων με τους οποίους μπορεί να ταλαντεύεται ένα σύστημα είναι ακριβώς όσοι και οι βαθμοί ελευθερίας του, αφού κάθε τρόπος αναφέρεται σ' ένα συγκεκριμένο βαθμό ελευθερίας. Υπάρχει μια κλιμάκωση των ιδιοσυχνοτήτων βάση της οποίας  $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \dots < \omega_N$ . Η  $\omega_1$  λέγεται πρώτη ή θεμελιώδης κυκλική συχνότητα, η  $\omega_2$  δεύτερη κυκλική συχνότητα κ.ο.κ. Όλες μαζί αποτελούν το διάλυμα των ιδιοσυχνοτήτων του συστήματος.

Στα πραγματικά συστήματα οι βαθμοί ελευθερίας που απαιτούνται για να περιγράψουν το σύστημα είναι άπειροι. Επειδή όμως μία ανάλυση με άπειρους βαθμούς ελευθερίας είναι αδύνατη, δεχόμαστε ότι το σύστημα μας περιγράφεται από  $N$  βαθμούς ελευθερίας σχήμα 5.21, όπου  $N$  ένας σχετικά μικρός ακέραιος αριθμός ο οποίος εκλέγεται ανάλογα με την ακρίβεια της ανάλυσης που επιθυμούμε.



Σχήμα 5.20. Τρόποι ταλάντωσης πύργου.



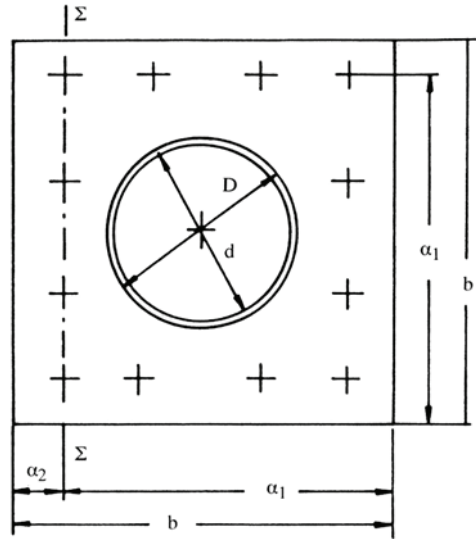
Πηγή : ‘‘Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών’’ (1989) ΕΜΠ

Σχήμα 5.21. Σύστημα τεσσάρων βαθμών ελευθερίας ανεμοκινητήρα

### 5.3.10 Θεμελίωση πύργου ανεμοκινητήρα.

Για μια σωστή στερέωση ενός πύργου ανεμοκινητήρα, πρέπει να γίνει συγκόλληση στο κάτω μέρος του σε μία τετράγωνη πλάκα από ανθρακούχο χάλυβα μέσω γωνιακών ελασμάτων. Οι διαστάσεις της πλάκας πρέπει να είναι λίγο μεγαλύτερες από την διάμετρο της βάσης του πύργου ώστε να υπάρχει χώρος να φυτευθούν οι κοχλίες στηρίξεως ή αγκυρώσεως. Η χαλύβδινη πλάκα συνδέεται με την σειρά της με την βάση στηρίξεως του πύργου, η οποία πρέπει να είναι από οπλισμένο σκυρόδεμα (μπετόν), μέσω ενός αριθμού αγκυρωτών κοχλιών οι οποίοι φυτεύονται μέσα στην βάση στηρίξεως [24,25,39,44].

Στο σχήμα 5.22 φαίνεται η κάτοψη του πύργου του ανεμοκινητήρα με την χαλύβδινη πλάκα του και τους κοχλίες που συνδέουν την πλάκα με την βάση στηρίξεως.



Σχήμα 5.22. Θέση κοχλιών.

όπου:

D η εξωτερική διάμετρος στη βάση του πύργου.

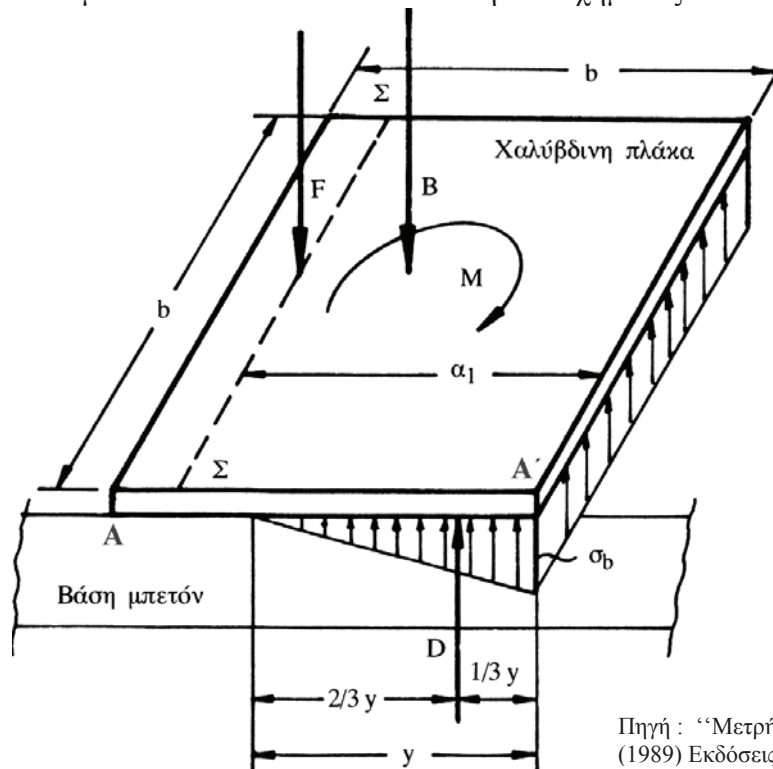
d η εσωτερική διάμετρος στη βάση του πύργου.

b το μήκος της πλευράς της τετράγωνης χαλύβδινης πλάκας.

$\alpha_1$  η απόσταση μιας σειράς κοχλιών (π.χ. της σειράς ΣΣ), από την απέναντι πλευρά της πλάκας.

$\alpha_2$  η απόσταση μίας σειράς κοχλιών (π.χ. της σειράς ΣΣ), από την κοντινότερη πλευρά της πλάκας.

Μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος δεν υπάρχει συνάφεια. Αυτό σημαίνει ότι δεν υπάρχει «ανταλλαγή» εφελκυστικών τάσεων μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος, ενώ αντίθετα υπάρχει «ανταλλαγή» θλιπτικών τάσεων. Έτσι η διανομή των δυνάμεων και των τάσεων είναι αυτή του σχήματος 5.23.



Πηγή : “Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών”  
(1989) Εκδόσεις ΕΜΠ

Σχήμα 5.23. Διανομή τάσεων στην πλάκα στήριξης.

- M η ροπή η οποία καταπονεί την πλάκα του πύργου και οφείλεται στην ώθηση της έλικας.
- T η ώθηση της έλικας που υποτίθεται οριζόντια αν και έχει μια μικρή κλίση της τάξης των  $5^\circ$ .
- y η απόσταση από το άκρο της πλάκας στο οποίο έχουμε τη μέγιστη τάση μέχρι το σημείο στο οποίο η τάση μηδενίζεται.
- $\sigma_b$  η μέγιστη θλιπτική τάση (τάση στο άκρο) η οποία ασκείται πάνω στην πλάκα του πύργου.
- D η συνισταμένη δύναμη των κατανεμημένων δυνάμεων που οφείλονται στις θλιπτικές τάσεις.
- F η δύναμη που εφελκύει την ακραία σειρά των κοχλιών ΣΣ.
- L η απόσταση μεταξύ του άξονα περιστροφής της έλικας και της βάσης του πύργου

Εάν υποθέσουμε ότι ο άνεμος έχει διεύθυνση από το A προς την A' τότε λόγω έλλειψης συνάφειας μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος σε μία, άγνωστη προς το παρόν, απόσταση y από το άκρο A' της πλάκας η διανομή των τάσεων διακόπτεται. Από την απόσταση αυτή y και μέχρι το άλλο άκρο της πλάκας A η πλάκα είναι σαν να μην υπάρχει, ενώ η σειρά των κοχλιών ΣΣ εφελκύεται με μία δύναμη F.

Η ροπή M που προκαλεί την ώθηση της έλικας στην βάση του πύργου είναι

$$M = T \cdot L$$

Η συνισταμένη δύναμη D των κατανεμημένων δυνάμεων είναι

$$D = \frac{1}{2} y b \sigma_b$$

Από την εξίσωση ισορροπίας των δυνάμεων που ασκούνται επί της πλάκας προκύπτει ότι

$$B + F = D$$

Από την εξίσωση ισορροπίας των ροπών που ασκούνται στην πλάκα ως προς τον φορέα της δύναμης D, προκύπτει ότι

$$F \left( a_1 - \frac{y}{3} \right) + B \left( \frac{b}{2} - \frac{y}{3} \right) = \pm M$$

Στην εξίσωση η ροπή έχει πρόσημο  $\pm$  γιατί η μελέτη γίνεται για σύστημα με προσανατολισμό στην κατεύθυνση του ανέμου. Στη δυσμενέστερη περίπτωση όπου η δύναμη F που εφελκύει την ακραία σειρά των κοχλιών είναι η μέγιστη, η ροπή M παίρνει τιμές θετικές.

Στις παραπάνω εξισώσεις έχουμε αγνώστους τα μεγέθη F, D,  $\sigma_b$  και y.

Με την παραδοχή ότι :

$$\sigma_b = \sigma_{\text{επ.συν.}}$$

(όπου  $\sigma_{\text{επ.συν.}}$  η επιτρεπόμενη συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα. Αυτή είναι συνάρτηση της ποιότητας του σκυροδέματος και βρίσκεται από πίνακες.)

οι άγνωστοι μειώνονται σε τρεις, οπότε προκύπτει ένα σύστημα τριών εξισώσεων με τρεις αγνώστους. Με απαλοιφή των μεγεθών F, D, μεταξύ των εξισώσεων προκύπτει η εξής δευτεροβάθμια εξίσωση.



$$K_1 y^2 + K_2 y + K_3 = 0 \quad \eta \quad y = \frac{-K_2 \pm \sqrt{K_2^2 - 4K_1 K_3}}{2K_1}$$

όπου:

$$K_1 = \frac{1}{6} b \sigma_{\text{επ.συν.}} \quad K_2 = -\frac{1}{2} b \alpha_1 \sigma_{\text{επ.συν.}} \quad K_3 = M - B \left( \frac{b}{2} - \alpha_1 \right)$$

Η λύση

$$y = \frac{-K_2 + \sqrt{K_2^2 - 4K_1 K_3}}{2K_1}$$

απορρίπτεται γιατί προκύπτει  $y > b$ .

Άρα

$$y = \frac{-K_2 - \sqrt{K_2^2 - 4K_1 K_3}}{2K_1}$$

Με γνωστό το  $y$  μπορούμε εύκολα να βρούμε τη δύναμη που καταπονεί τους κοχλίες.

$$F = D - B \Leftrightarrow F = \frac{1}{2} y b \sigma_{\text{επ.συν.}} - B$$

Αν  $n$  ο αριθμός των κοχλιών τότε η δύναμη  $F$  που καταπονεί έναν κοχλία είναι

$$F' = \frac{F}{n}$$

Με τον υπολογισμό της δύναμης  $F$  που εφελκύνει την ακραία σειρά (σειρά ΣΣ) των κοχλιών μπορούμε να βρούμε το εμβαδόν της απαιτούμενης διατομής των κοχλιών.

$$A_{\text{απαιτ.}} = \frac{F}{\sigma_{\text{επ.χαλ.}}}$$

όπου

$\sigma_{\text{επ.χαλ.}}$  η επιτρεπόμενη τάση σε εφελκυσμό του χάλυβα.

$A_{\text{απαιτ.}}$  το συνολικό εμβαδόν της διατομής των κοχλιών της σειράς ΣΣ.

Το εμβαδόν της διατομής ενός κοχλία είναι

$$A = \frac{A_{\text{απαιτ.}}}{n}$$

$A$  το εμβαδόν της διατομής ενός κοχλία

$n$  ο αριθμός των κοχλιών που αποτελούν την σειρά ΣΣ.

Η φωτογραφία 5.24 δείχνει έναν κλωβό με τους κοχλίες θεμελίωσης του ανεμοκινητήρα.



Σχήμα 5.24. Κλωβός κοχλιών στήριξης του πύργου.

## 5.4 Πρακτικά στοιχεία επιλογής ανεμοκινητήρων μικρών διαστάσεων.

### 5.4.1 Εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών.

Βασική παράμετρος επιλογής του μεγέθους του ανεμοκινητήρα και του κόστους της επένδυσης αποτελεί η σωστή εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών. Στην εκτίμηση των αναγκών δεν πρέπει να αγνοούμε ότι ο ανεμοκινητήρας που επιλέγεται για χρήση σε γεωργικές εγκαταστάσεις όπου συνήθως δεν είναι αυτόνομες λόγω αυξημένου κόστους, δεν αντικαθιστά πλήρως την Δ.Ε.Η. ή άλλες αυτόνομες μονάδες παραγωγής ενέργειας (π.χ. Diesel – ηλεκτρογεννήτρια) δηλαδή δεν παρέχει όση ενέργεια θέλουμε και όποτε την θέλουμε, γι' αυτό οι ενεργειακές μας ανάγκες πρέπει να εκτιμηθούν με προσοχή και με πνεύμα λιτότητας. Για να εκτιμήσουμε τις ενεργειακές ανάγκες πρέπει να καταγράψουμε όλες τις ηλεκτρικές συσκευές και μηχανήματα με τα ονομαστικά τους στοιχεία τάσεως και ρεύματος καθώς και όλα τα μηχανικά κινούμενα μηχανήματα και εξαρτήματα. Κατόπιν αξιολογούμε κατά βαθμό προτεραιότητας από άποψη χρήσεως τις συσκευές και σημειώνουμε πόσες ώρες το μήνα προβλέπετε οι συσκευές αυτές να λειτουργούν καθώς και τη μέγιστη (με πνεύμα οικονομίας) ηλεκτρική ζήτηση για ταυτόχρονη λειτουργία ηλεκτρικών συσκευών. Η ίδια ακριβώς διαδικασία ακολουθείται και για την καταγραφή ζήτησης μηχανικής ενέργειας. Είναι χρήσιμο η καταγραφή να γίνεται κατά ώρες της ημέρας και εποχές του έτους ώστε να βρεθεί η συσχέτισή με το διαθέσιμο, ημερήσιο και εποχιακά μεταβαλλόμενο, αιολικό δυναμικό. Κατόπιν μπορούμε να εκτιμήσουμε τις ενεργειακές ανάγκες σε KWh για ένα μήνα και τέλος την μέση ημερήσια ενεργειακή ζήτηση. Σημασία στην επιλογή του ανεμοκινητήρα έχει και το είδος των ενεργειακών καταναλώσεων. Ιδιαίτερα προβλήματα παρουσιάζονται όταν ο ανεμοκινητήρας δεν χρησιμοποιείται μόνο για παραγωγή ρεύματος αλλά και για άντληση νερού. Στην περίπτωση αυτή ανάλογα με την απαιτούμενη ροπή εκκίνησης και τις στροφές που θέλουμε, γίνεται η ανάλογη επιλογή.

Συμπέρασμα της παραγράφου αυτής είναι ότι σε μη αυτόνομες εγκαταστάσεις πρέπει να εκτιμήσουμε με ακρίβεια και πνεύμα οικονομίας τις ενεργειακές ανάγκες και ότι ο ανεμοκινητήρας δεν αντικαθιστά την Δ.Ε.Η. ή άλλη αυτόνομη μονάδα παραγωγής ισχύος (ηλεκτρικής ή μηχανικής) που είδη υπάρχει.

#### 5.4.2 Καθορισμός διαμέτρου δρομέα.

Το ύψος του πύργου του ανεμοκινητήρα θα εκτιμηθεί από την μορφολογία του εδάφους και ιδιαίτερα από τα επιφανειακά εμπόδια. Για μικρούς ανεμοκινητήρες προτιμάται ο τρίποδος ή τετράποδος δικτυωτός πύργος ή ο σωληνωτός. Φυσικά το ύψος του πύργου είναι σημαντική παράμετρος των εμποδίων που βρίσκονται περιμετρικά και του κόστους επένδυσης, δεν επιτρέπεται όμως ο πύργος να είναι χαμηλότερος από 6-7 μέτρα.

Κρίσιμο στοιχείο στην επιλογή της διαμέτρου του δρομέα του ανεμοκινητήρα αποτελεί η ποιότητα του ανέμου.

Έχοντας εκτιμήσει τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες, μπορούμε να εκτιμήσουμε τη μέση ισχύ του ανεμοκινητήρα, δηλαδή την ισχύ που θα έπρεπε να έχει ο ανεμοκινητήρας αν λειτουργούσε συνεχώς για να καλύψει τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες. Συνήθως ένας ανεμοκινητήρας με γεννήτρια ονομαστικής ισχύος  $P_R$  φαίνεται ως μηχανής συνεχούς ισχύος ίσης με  $P = 0,2 P_R$  ανάλογα φυσικά με την ποιότητα του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Η παραπάνω σχέση μας επιτρέπει να κάνουμε μια πρώτη προσέγγιση της ονομαστικής ισχύος του ανεμοκινητήρα [21].

Κάθε ηλεκτρική γεννήτρια δεν μπορεί να παράγει ισχύ μεγαλύτερη της ονομαστικής. Καθώς η ονομαστική ταχύτητα  $V_R$  αυξάνει, αυξάνει και το αξιοποιήσιμο μέρος της ενέργειας των ανέμων υψηλής ταχύτητας. Όσο όμως αυξάνει η  $V_R$ , αυξάνει και η ονομαστική ισχύς της γεννήτριας, του μειωτήρα κ.λ.π. αλλά οι μηχανισμοί τότε γίνονται ακριβότεροι, βαρύτεροι και μεγαλώνουν οι απώλειες κενού φορτίου. Ο VADOT έδειξε ότι υπάρχει ένα βέλτιστο σημείο, όπου μεγιστοποιείται η ετήσια παραγωγή ενέργειας για  $V_R = (1.5 \sim 1.9) \bar{V}$ , όπου  $\bar{V}$  η μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου.

Άρα από την μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου  $\bar{V}$  μπορούμε να καθορίσουμε την ονομαστική ισχύ της γεννήτριας, ανοιγμένη στην επιφάνεια του δρομέα.

$$\frac{P_R}{A} = \frac{1}{2} \rho C_P \eta_M V_R^3 = \frac{1}{2} \rho C_P \eta_M [(1.5 \sim 1.9)\bar{V}]^3$$

όπου  $\eta_M$  είναι ο μηχανικός βαθμός απόδοσης.

$$\eta_M = \frac{P_R}{P_R + P_{κ.φ.}} = \frac{1}{1 + \frac{P_{κ.φ.}}{P_R}}$$

όπου  $P_{κ.φ.}$  οι απώλειες κενού φορτίου.

Στη βιβλιογραφία ο λόγος  $P_{κ.φ.}/P_R$  δίνεται  $0.09 \sim 0.1$ .

Με τα στοιχεία  $P_R$  και  $V_R$  και με τη βοήθεια του σχήματος 5.25 επιλέγεται η διάμετρος του δρομέα του ανεμοκινητήρα, για συγκεκριμένες ενεργειακές απαιτήσεις.

Για παράδειγμα έστω ότι οι ετήσιες ενεργειακές απαιτήσεις μιας αποθήκης

άλεσης και παρασκευής ζωοτροφών είναι 10000 KWh ετησίως, η μέση ταχύτητα ανέμου στην περιοχή είναι 6 m/s, ο βαθμός απόδοσης της γεννήτριας του ανεμοκινητήρα είναι  $\eta = 0.85$  και το βέλτιστο σημείο όπου μεγιστοποιείται η ετήσια παραγωγή ενέργειας είναι για  $V_R = 1.8 \bar{V}$ .

$$E = 10000 \text{ KWh}$$

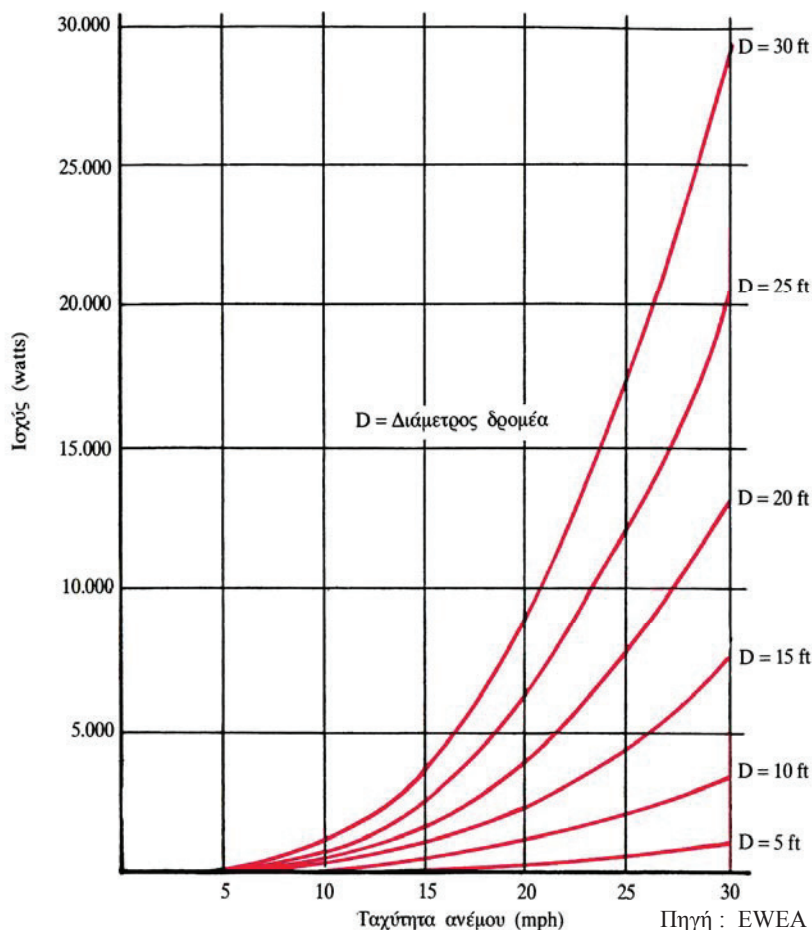
$$P = \frac{E}{8760h} = 1.141 \text{ KW}$$

$$P = 0.2 P_R \Leftrightarrow P_R = \frac{P}{0.2} \Leftrightarrow P_R = 5.7 \text{ KW} \quad \left( P_{\text{generator}} = \frac{P_R}{\eta} = 6.71 \text{ KW} \right)$$

$$V_R = 1.8 \cdot 6 = 10.8 \text{ m/s} \quad \text{ή} \quad V_R = 21 \text{ mph}$$

Από το σχήμα 5.25 προκύπτει ότι η διάμετρος για  $V_R = 21 \text{ mph}$  και ενεργειακές απαιτήσεις 6.71KW είναι:

$$D = 20 \text{ ft} \quad \text{ή} \quad 6 \text{ m}$$



Σχήμα 5.25. Σχέση ισχύος ανεμοκινητήρα, ταχύτητας ανέμου και διαμέτρου δρομέα.

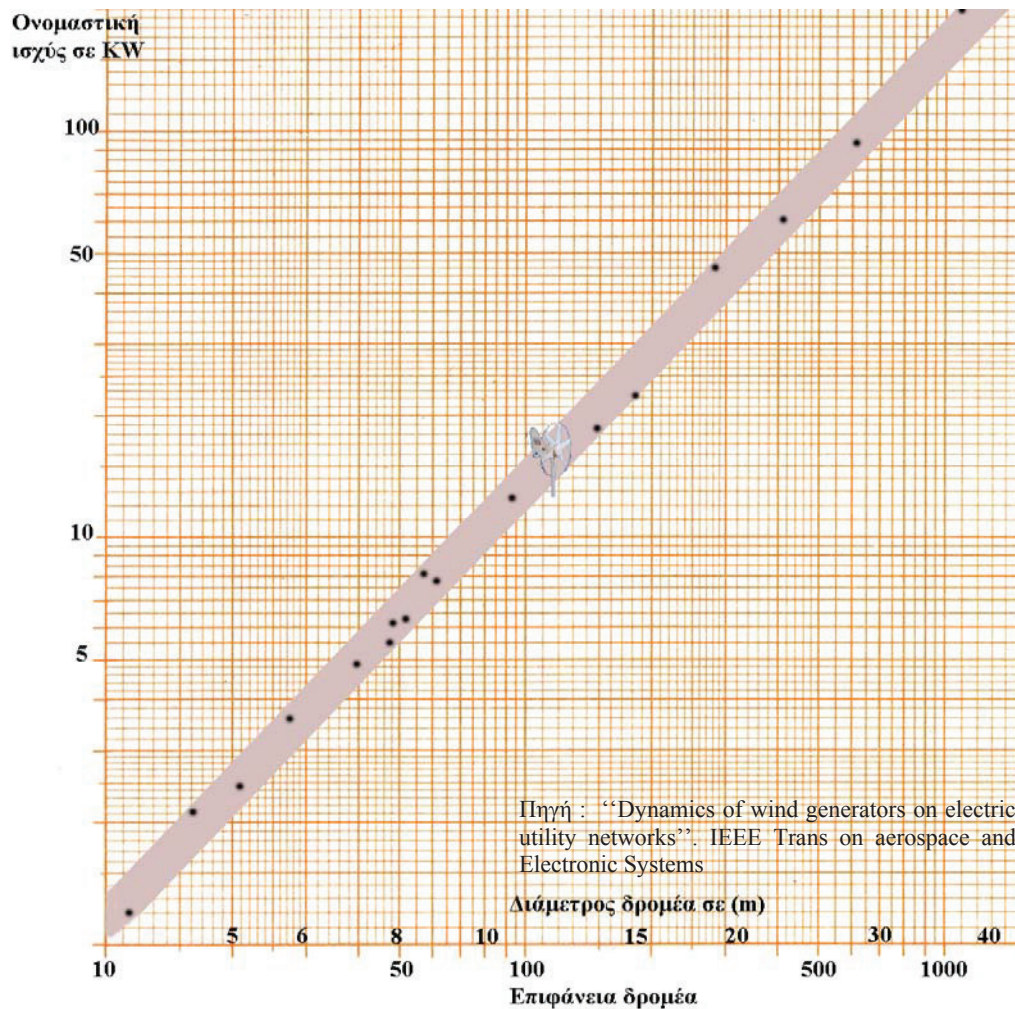
Πολλοί είναι οι παράγοντες εκείνοι οι οποίοι επιδρούν στον καθορισμό της διαμέτρου του δρομέα. Μερικοί από αυτούς είναι το κόστος, οι κατασκευαστικές δυσκολίες, οι ανάγκες τις οποίες θα εξυπηρετεί ο ανεμοκινητήρας κ.α [17,24,39,44]

Η διάμετρος που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες μιας εγκατάστασης προκύπτει από τη σχέση:

$$\frac{\pi \cdot D^2}{4} = A = \frac{P_R}{\left(\frac{P_R}{A}\right)} \quad \text{ή} \quad D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \frac{P_R}{\left(\frac{P_R}{A}\right)}}$$

Το σχήμα 5.26 βασισμένο πάνω σε στατιστικά στοιχεία υπάρχοντων ανεμοκινητήρων, παρουσιάζει τη στατιστική συσχέτιση μεταξύ διαμέτρου δρομέα ανεμοκινητήρα (ή μετωπική επιφάνεια) με την ονομαστική ισχύ  $P_R$  του ανεμοκινητήρα.

Ανάλογα με το είδος του φορτίου που ο ανεμοκινητήρας προβλέπεται να ικανοποιεί προκύπτει και ο βαθμός στερεότητας ( $\sigma$ ) του δρομέα. Στο σχήμα 5.27 βάση του βαθμού στερεότητας και του λόγου περιφερειακής ταχύτητας, προκύπτει το είδος του ανεμοκινητήρα που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε.



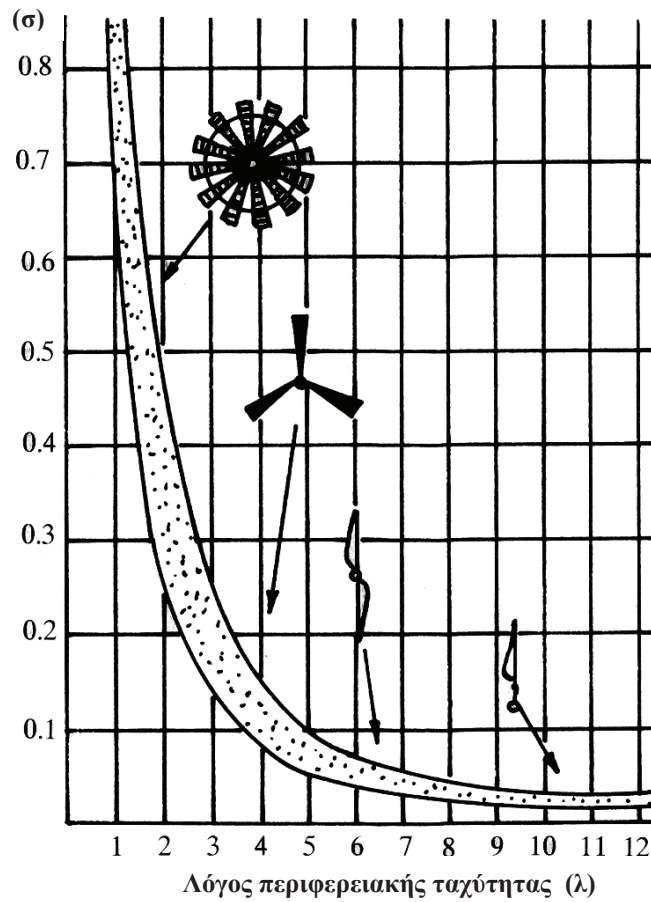
Σχήμα 5.26. Στατιστικά στοιχεία σχέσης ισχύος ανεμοκινητήρα, επιφάνειας και διαμέτρου δρομέα.

Ως βαθμός στερεότητας ορίζεται:

$$\sigma = \frac{(\text{επιφάνεια πτερυγίων})}{\frac{\pi D^2}{4}}$$

ή

$$\sigma = (\text{αριθμός πτερυγίων}) \cdot \frac{\text{μέση χορδή πτέρυγας}}{\pi R}$$



Σχήμα 5.27. Στερεότητα δρομέα για διάφορους τύπους ανεμοκινητήρων.

### 5.4.3 Καθορισμός ταχύτητας έναρξης λειτουργίας $V_{\text{cut-in}}$ και διακοπής λειτουργίας $V_F$ .

Η συνθήκη που προσδιορίζει αυτή την ταχύτητα είναι:

$$C_p \frac{1}{2} \rho A V_{\text{cut-in}}^3 = P_{\text{κ.φ.}} = \left( \frac{P_{\text{κ.φ.}}}{P_R} \right) P_R$$

$$V_{\text{cut-in}} = \sqrt[3]{\frac{2 \left( \frac{P_{\text{κ.φ.}}}{P_R} \right) \left( \frac{P_R}{A} \right)}{\rho C_p}} = \sqrt[3]{\frac{8 \left( \frac{P_{\text{κ.φ.}}}{P_R} \right) P_R}{\rho \pi C_p D^2}}$$

όπου D η διάμετρος της έλικας και  $(P_{κ.φ.} / P_R) = 0.10$ .

Ο καθορισμός της ταχύτητας  $V_F$  εξαρτάται από την αντοχή των υλικών κατασκευής του δρομέα, τη χρήση του ανεμοκινητήρα, το σύστημα πέδησης κλπ. [17,24,39,44]

#### 5.4.4 Παρεχόμενη ισχύς από ανεμοκινητήρα.

Η μέση ετήσια ισχύς δίνεται από την σχέση:

$$\bar{P}_g = \int_{V_0}^{\infty} P_g(V) \cdot f(V) dV$$

όπου  $P_g(V)$  είναι η παρεχόμενη από τον ανεμοκινητήρα ισχύς σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου.

Οι τιμές  $P_g(V)$  εξαρτώνται από την ταχύτητα ενάρξεως  $V_0 = V_{cut-in}$  του ανεμοκινητήρα, από την ονομαστική ταχύτητα  $V_1 = V_R$  και από την ταχύτητα διακοπής λειτουργίας  $V_2 = V_F$ .

$$P_g(V) = \begin{cases} 0 & V \leq V_0 \quad (= V_{cut-in}) \\ A + BV + CV^2 & V_0 \leq V \leq V_1 \quad (= V_R) \\ P_R & V_1 \leq V \leq V_2 \quad (= V_F) \\ 0 & V_2 < V \end{cases}$$

όπου  $P_R$  είναι η ονομαστική ισχύς του ανεμοκινητήρα και A, B, C συντελεστές που μπορούν να υπολογιστούν από τα συστήματα:

$$A + BV_0 + CV_0^2 = 0$$

$$A + BV_1 + CV_1^2 = P_R$$

$$A + BV_C + CV_C = P_R \left( \frac{V_C}{V_1} \right)^3$$

$$V_C = \frac{V_0 + V_1}{2}$$

Το  $f(V)$  είναι η πυκνότητα πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου και μπορεί να υπολογιστεί από τη θεωρητική σχέση:

$$f(V) = \frac{k}{c} \left( \frac{V}{c} \right)^{k-1} \exp \left( - \left( \frac{V}{c} \right)^k \right)$$

Από τις παραπάνω σχέσεις τελικά έχουμε:

$$\bar{P}_g = \int_{V_0}^{V_1} \left\{ (A + BV + CV^2) \frac{k}{c} \left( \frac{V}{c} \right)^{k-1} \exp \left( - \left( \frac{V}{c} \right)^k \right) dV \right\} + P_R (f(V \leq V_2) - f(V \leq V_1))$$

Όπως μπορούμε να δούμε από την παραπάνω σχέση η κατανομή Weibull έχει το πλεονέκτημα να μας δίνει γρήγορη αριθμητική ολοκλήρωση για τον υπολογισμό της  $\bar{P}_g$ .

Η ακριβής σχέση υπολογισμού της μέσης ισχύος, δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned}\bar{P}_g &= \int_0^{\infty} C_p \frac{\rho}{2} V^3 \frac{\pi D^2}{4} f(V) dV \\ &= \int_{V_{\text{cut-in}}}^{V_R} C_p \frac{\rho}{2} V^3 \frac{\pi D^2}{4} f(V) dV + p_R (f(V \leq V_R) - f(V \leq V_F))\end{aligned}$$

Το  $C_p$  υπολογίζεται για τις διάφορες ταχύτητες από την καμπύλη  $C_p - \lambda$  του ανεμοκινητήρα.

Γνωρίζοντας την τιμή της παρεχόμενης από μια ανεμογεννήτρια μέσης ετήσιας ισχύος  $\bar{P}_g$  μπορούμε να βρούμε την ετήσια παραγόμενη ενέργεια ενός ανεμοκινητήρα από τη σχέση:

$$E = (\Sigma \Delta) \cdot 8760 \bar{P}_g \quad (\text{Kwh})$$

όπου ( $\Sigma \Delta$ ) ο συντελεστής διαθεσιμότητας της μηχανής.

#### 5.4.5 Επιλογή συστήματος παραγωγής ενέργειας.

Κατά τη λειτουργία μιας ανεμογεννήτριας, η ισχύς του ανέμου ( $P_w$ ) μετατρέπεται σε μηχανική ισχύς ( $P_m$ ) μέσω του αεροδυναμικού συστήματος. Η παραγόμενη ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$P_m = C_p \cdot P_w$$

όπου  $C_p$  είναι ο συντελεστής ισχύος που παριστάνει την απόδοση μετατροπής από ανεμοίσχύ,  $P_w$ , σε μηχανική ισχύ,  $P_m$ . Ο συντελεστής αυτό είναι συνάρτηση των πτερυγίων. Αν η ονομαστική ταχύτητα της ανεμογεννήτριας αντιστοιχεί στην μέγιστη τιμή του  $C_p$ , τότε αυξάνοντας ή ελαττώνοντας την ταχύτητα του ανέμου θα έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση του  $C_p$ , αν η ταχύτητα του άξονα παραμένει σταθερή. Αντίθετα αν επιτρέπεται η συνεχής μεταβολή της ταχύτητας της έλικας, καθώς η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται, η μέγιστη τιμή του  $C_p$  μπορεί να επιτευχθεί για μια μεγάλη περιοχή μεταβολής της ταχύτητας του ανέμου. Οδηγούμαστε έτσι σε δυο βασικές φιλοσοφίες σχεδιασμού συστημάτων ανεμοκινητήρων:

- Σύστημα σταθερής ταχύτητας και σταθερής συχνότητας, όπου η ταχύτητα της έλικας παραμένει σταθερή με συνεχή ρύθμιση του βήματος των πτερυγίων.
- Σύστημα μεταβλητής ταχύτητας και μεταβλητής συχνότητας όπου η ταχύτητα της έλικας επιτρέπεται να μεταβάλλεται σε αναλογία με την ταχύτητα του ανέμου.

Στην τελευταία περίπτωση ο συντελεστής  $C_p$  παίρνει τη μέγιστη τιμή του για μια μεγάλη περιοχή λειτουργίας του ανεμοκινητήρα [22].

Η χρήσιμη κινητική ενέργεια του ανέμου, πυκνότητας  $\rho$ , που διέρχεται από μια επιφάνεια  $A$  με αρχική ταχύτητα  $V_i$  και τελική ταχύτητα  $V_f$  δίνεται από τη διαφορά μεταξύ της αρχικής και τη τελικής κινητικής ενέργειας των μορίων του αέρα, δηλαδή:



$$E = \{ K.E_{\text{αρχική}} - K.E_{\text{τελική}} \}$$

Ενώ η χρήσιμη ανεμοϊσχύς δίνεται από τη σχέση:

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot (V_i^3 - V_i \cdot V_f^2)$$

### 5.5 Δημιουργία νομογράμματος για τον υπολογισμό της μέσης παραγόμενης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας.

Η ανάπτυξη μεθόδων για τον ακριβή προσδιορισμό του ανεμολογικού δυναμικού μιας περιοχής αποκτούν αυξημένο ενδιαφέρον, κυρίως από το γεγονός ότι ο σχεδιασμός και η εγκατάσταση ενός συστήματος αιολικής ενέργειας εξαρτώνται από παράγοντες όπως η στοχαστική συμπεριφορά του ανέμου και η χαρακτηριστική λειτουργία της ανεμογεννήτριας [17].

Το νομόγραμμα είναι μια γραφική μέθοδος υπολογισμού, με την οποία έχει πρακτική αξία σε πολλές περιπτώσεις, να κάνουμε υπολογισμούς απλά και γρήγορα, προσδιορίζοντας κατά προσέγγιση το αποτέλεσμα, παρά τη ραγδαία αύξηση της ισχύος των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Υπάρχουν νομογράμματα κατάλληλα για τον προσδιορισμό της μέσης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας με τη βοήθεια βασικών μεγεθών της κατανομής της ταχύτητας του ανέμου και μερικών τυπικών παραμέτρων της χαρακτηριστικής της ανεμογεννήτριας, όπως αυτό του σχήματος 5.28. Το νομόγραμμα αυτό είναι κατασκευασμένο σύμφωνα με μια τυπική μαθηματική μεθοδολογία, η οποία επιτρέπει την αποτελεσματική παράσταση της αλληλεξάρτησης των παρακάτω παραμέτρων σε ένα και μόνο περιεκτικό γράφημα. Το νομόγραμμα αυτό συνδέει τις γενικές αδιάστατες

παραμέτρους  $\frac{u_{ci}}{u}$ ,  $\frac{u_r}{u}$ ,  $\frac{u_{co}}{u}$  και  $\frac{\sigma}{u}$  με το συντελεστή απόδοσης. Στη συνέχεια, ο

προσδιορισμός της μέσης ισχύος πραγματοποιείται γρήγορα και εύκολα, χαράσσοντας απλώς την κατάλληλη ευθεία δια μέσου των καμπυλών του νομογράμματος. Όπου  $u_{ci}$  η ταχύτητα ανέμου στην οποία ξεκινά η λειτουργία του ανεμοκινητήρα,  $u_r$  η ταχύτητα ονομαστικής ισχύος,  $u_{co}$  η ταχύτητα ανέμου για την οποία έχουμε διακοπή λειτουργίας,  $\bar{u}$  η μέση ταχύτητα του ανέμου και  $\sigma$  η τυπική απόκλιση [10].

Ως συντελεστής απόδοσης  $\tau$ , ορίζεται ο λόγος της μέσης αποδιδόμενης σε μια χρονική περίοδο ισχύος  $P_{\text{aver}}$ , προς την ονομαστική ισχύ  $P_r$ .

$$\tau = \frac{P_{\text{aver}}}{P_r}$$

όπου:

$$P_{\text{aver}} = \int_0^{\infty} P(u) \cdot f(u) \cdot d(u) \quad \text{ή}$$

$$P_{\text{aver}} = \left[ \frac{3}{k} \cdot \frac{u_{ci}^3 \cdot E_{\frac{k-3}{k}} \left( \left( \frac{u_{ci}}{c} \right)^k \right) - u_r^3 \cdot E_{\frac{k-3}{k}} \left( \left( \frac{u_r}{c} \right)^k \right)}{u_r^3 - u_{ci}^3} - e^{-(u_{co}/c)^k} \right] \cdot P_r$$

$$\text{όπου} \quad E_n(z) = \int_1^{\infty} \frac{e^{-z \cdot t}}{t^n} \cdot dt$$

Η μέση ισχύς δίνεται από τη σχέση:

$$P_{\text{aver}} = \tau \cdot P_r$$

$$\tau = \tau_1 - \tau_2$$

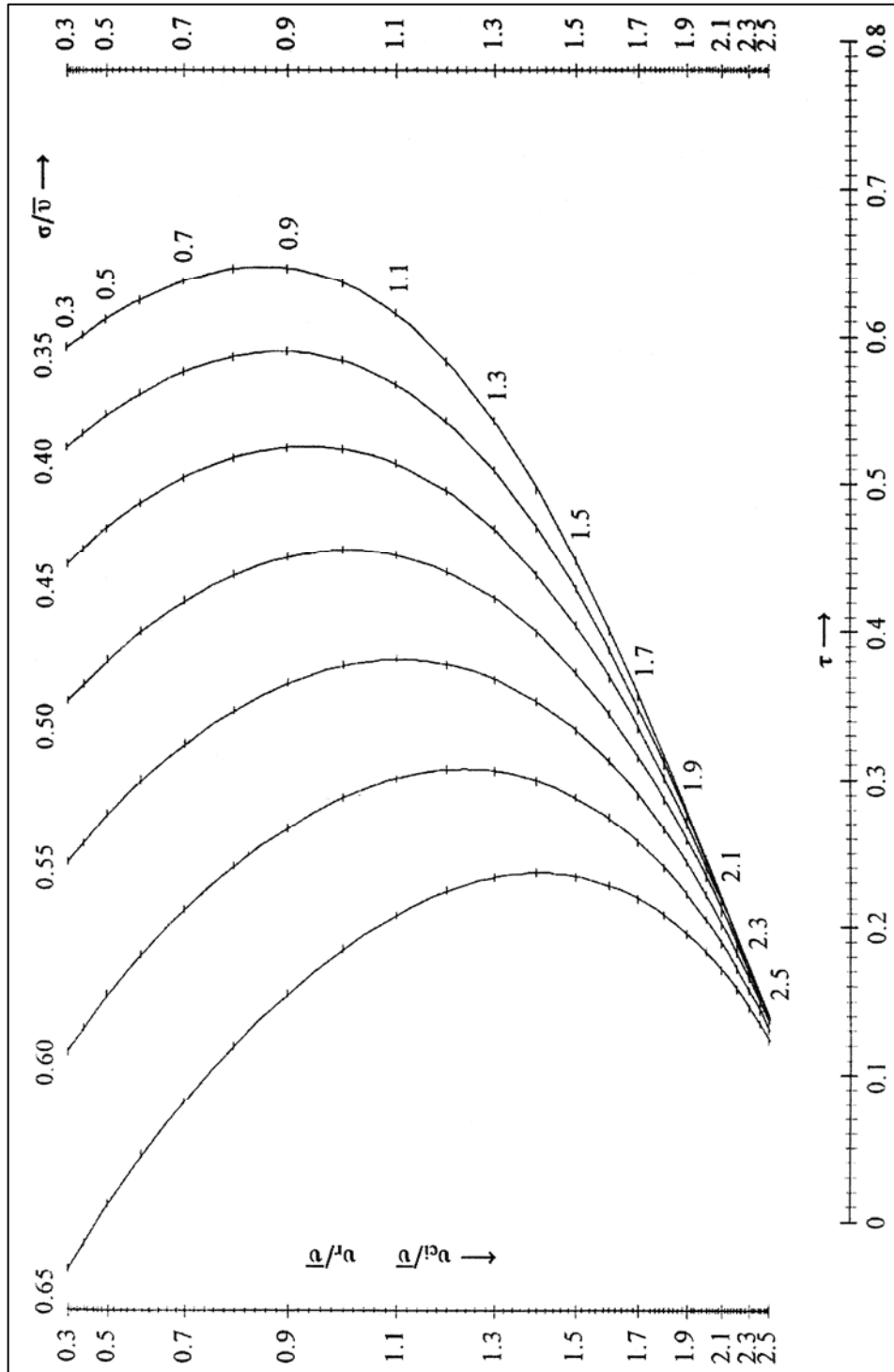
$$\tau_1 = \left( \frac{3}{k} \cdot \frac{u_{ci}^3 \cdot E_{\frac{k-3}{k}}\left(\left(\frac{u_{ci}}{c}\right)^k\right) - u_r^3 \cdot E_{\frac{k-3}{k}}\left(\left(\frac{u_r}{c}\right)^k\right)}{u_r^3 - u_{ci}^3} - e^{-(u_{co}/c)^k} \right)$$

και  $\tau_2 = e^{-(u_{co}/c)^k}$

Επιλέγοντας την κατάλληλη καμπύλη τυπικής απόκλισης και προσδιορίζοντας δύο σημεία επάνω σ' αυτή μπορούμε να προεκτείνουμε και να συναντήσουμε το σημείο επάνω στον άξονα του συντελεστή απόδοσης ( $\tau$ ). Τα δύο σημεία επάνω στην καμπύλη προκύπτουν με αντικατάσταση στις σχέσεις  $u_{ci}/\bar{u}$  και  $u_r/\bar{u}$ . Γνωρίζοντας την ονομαστική ισχύ της ανεμογεννήτριας και το συντελεστή απόδοσης μπορούμε να προσδιορίσουμε τη μέση ισχύ  $P_{\text{aver}}$  παραλείποντας συνήθως τον συντελεστή διόρθωσης  $\tau_2$ .

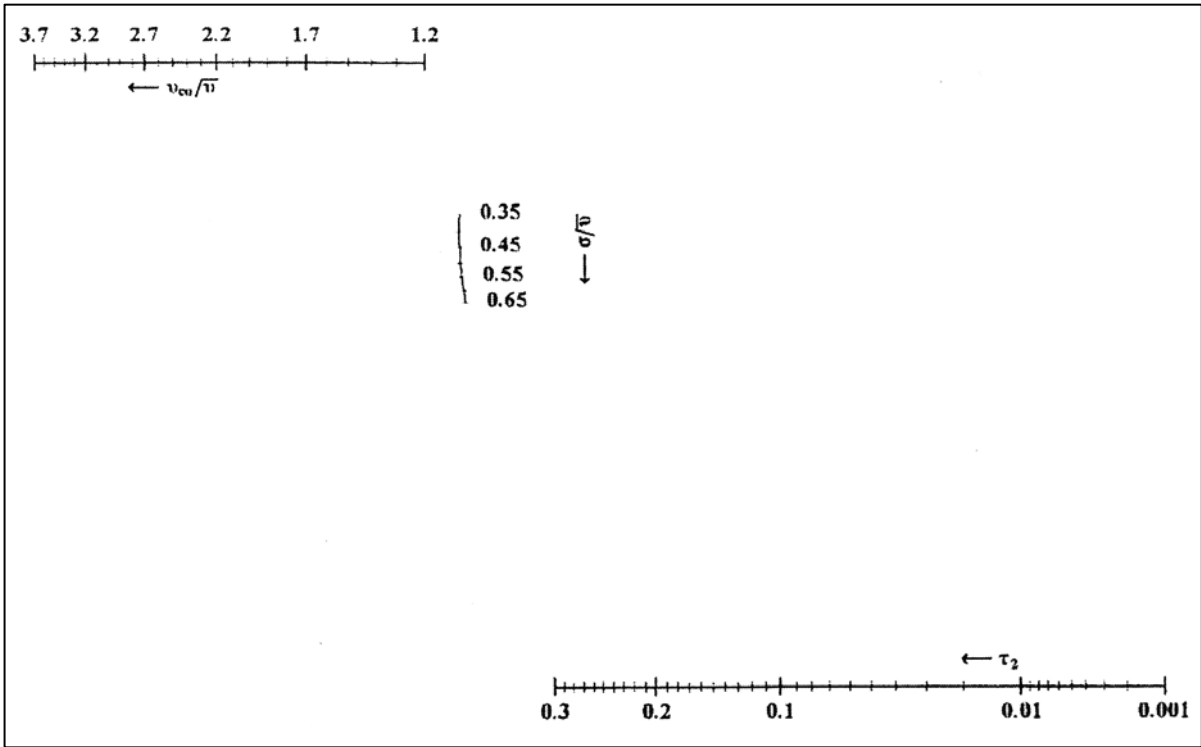
Για τις περιπτώσεις εκείνες, στις οποίες θα πρέπει να υπολογισθεί ο όρος διόρθωσης  $\tau_2$ , υπάρχει άλλο νομόγραμμα για τον γραφικό του προσδιορισμό, σχήμα 5.29.

Κύριο πλεονέκτημα των προτεινομένων νομογραμμμάτων είναι ότι επιτρέπουν έναν γρήγορο και ακριβή προσδιορισμό της μέσης ισχύος μιας ανεμογεννήτριας σε διάφορες περιπτώσεις εφαρμογής, δίνοντας ταυτόχρονα μια συνοπτική, ποιοτική και παραστατική εικόνα των αποτελεσμάτων, σε αντίθεση με τους υπολογισμούς που γίνονται με τη βοήθεια Η/Υ και απαιτούν χρόνο και πληθώρα δεδομένων υπερτερώντας όμως σε αξιοπιστία και ακρίβεια. Συνεπώς το νομόγραμμα παρέχει στο χρήστη ένα εύκολο και γρήγορο εργαλείο για διερευνήσεις.



Πηγή : “The Weibul distribution function and wind statistics”  
1985 – 1998 Wind Engineering

Σχήμα 5.28. Νομόγραμμα υπολογισμού του συντελεστή απόδοσης ( $\tau_1$ ), για τον προσδιορισμό της μέσης ισχύος ( $P_{aver}$ ) μιας ανεμογεννήτριας.



Σχήμα 5.29. Νομόγραμμα συντελεστή διόρθωσης ( $\tau_2$ ).

## 5.6 Παραγωγή ισχύος από ανεμοκινητήρα.

Οι τρόποι με τους οποίους μπορεί να παραχθεί ισχύς από ανεμοκινητήρα είναι μηχανικά ή ηλεκτρικά.

### 5.6.1 Μηχανική ισχύς.

Ένας ανεμοκινητήρας μπορεί να παρέχει απευθείας μηχανική ισχύ σε έναν καταναλωτή, εκμεταλλευόμενος την ενέργεια του ανέμου. Η εφαρμογή αυτή είναι η απλούστερη και η οικονομικότερη, παρουσιάζει όμως αρκετά μειονεκτήματα. Επειδή όπως έχει προαναφερθεί η ροή του ανέμου δεν είναι ούτε συνεχής ούτε σταθερή στο χρόνο οι εφαρμογές που μπορεί να έχει ένας ανεμοκινητήρας που παρέχει μηχανική ισχύ είναι περιορισμένες.

Οι συνηθέστερες εφαρμογές, στη γεωργία, αυτής της κατηγορίας είναι:

- άντληση και απευθείας άρδευση
- άντληση και αποθήκευση του νερού σε δεξαμενή
- ισχυοδότηση αντλητικού συγκροτήματος αφαλάτωσης νερού
- ισχυοδότηση μύλων άλεσης

Το βασικότερο μειονέκτημα παραγωγής μηχανικής ισχύος είναι ότι δεν μπορούμε να την αποθηκεύσουμε και να την εκμεταλλευθούμε όταν τη χρειαστούμε.

Προσωρινή αποταμίευση κινητικής ενέργειας στην ίδια ή άλλη μορφή γίνεται μόνο στην περίπτωση ισχυοδότησης αντλιών και αποθήκευση της δημιουργούμενης πίεσης ή με την χρήση σφονδύλων [7,15,44].

#### 5.6.1.1 Αποταμίευση κινητική ενέργειας σε σφόνδυλο.

Η ροπή αλλά και οι στροφές ενός ανεμοκινητήρα δεν είναι σταθερές αλλά μεταβάλλονται περιοδικά με τον χρόνο σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου. Όμως οι μηχανισμοί που ισχυοδοτούνται από έναν ανεμοκινητήρα απαιτούν γενικά σταθερή ροπή. Η ομαλοποίηση της καμπύλης ροπής και η αποταμίευση κινητικής ενέργειας στην μηχανική κίνηση επιτυγχάνεται με την προσθήκη σφονδύλου. Ο σφόνδυλος αποταμιεύει κινητική ενέργεια και διατηρεί, όσο το δυνατόν, τις στροφές του όλου συστήματος σταθερές.

Όταν η ροπή του κινητήρα είναι μεγαλύτερη από την μέση απαιτούμενη ροπή στρέψης του συστήματος, τότε αυξάνονται οι στροφές λειτουργίας και ο σφόνδυλος αποταμιεύει ενέργεια. Όταν πάλι η ροπή του κινητήρα γίνει μικρότερη της μέσης τιμής της μέσης ροπής, μειώνονται οι στροφές λειτουργίας και ο σφόνδυλος αποδίδει ενέργεια.

Για να είναι δυνατή η λειτουργία του σφονδύλου σαν αποταμιευτήρας ενέργειας, θα πρέπει να έχουμε διακύμανση των στροφών λειτουργίας. Η περίπτωση αυτή συναντάτε σε περιοχές όπου πνέουν άνεμοι με συνεχείς μεταβολές της ταχύτητας και ριπές. Το εύρος της διακύμανσης είναι μια τιμή εμπειρική και εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και το μέγεθος του ανεμοκινητήρα που δίνει την κίνηση. Επειδή στους μικρούς αριθμών στροφών λειτουργίας οι διακυμάνσεις είναι μικρές, η εμπειρική τιμή δίνεται ανάλογη της διακύμανσης του μέσου αριθμού στροφών. Αυτή η σχέση χαρακτηρίζει τον βαθμό ανομοιομορφίας  $\delta$ .

Στον καθορισμό του βαθμού ανομοιομορφίας χρησιμοποιείται συχνότερα αντί του αριθμού στροφών η γωνιακή ταχύτητα  $\omega$ .

Ο βαθμός ανομοιομορφίας ορίζεται ως:

$$\delta = \frac{(\omega_1 - \omega_2)}{\omega_\mu}$$

όπου:  $\omega_1$  = η μέγιστη γωνιακή ταχύτητα κατά τη διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας.

$\omega_2$  = η ελάχιστη γωνιακή ταχύτητα κατά τη διάρκεια ενός κύκλου λειτουργίας.

$\omega_\mu$  = η αριθμητική μέση τιμή  $(\omega_1 + \omega_2)/2$  ή

$\omega_\mu = 2 \cdot \pi \cdot n$  όπου n ο αριθμός στροφών ανά λεπτό.

Για τον επιτρεπόμενο βαθμό ανομοιομορφίας  $\delta$ , χρησιμοποιούνται οι εξής εμπειρικές τιμές:

- γεννήτριες εναλλασσόμενου ρεύματος 1/300
- γεννήτριες συνεχούς ρεύματος 1/150
- αντλίες φυγοκεντρικές και φυσητήρες 1/25
- αντλίες εμβολοφόρες 1/20

Η αποθηκευόμενη στον σφόνδυλο κινητική ενέργεια A υπολογίζεται από τη σχέση:

$$A = \frac{J}{2(\omega_1^2 - \omega_2^2)}$$

όπου: J = η ροπή αδρανείας της μάζας του σφονδύλου

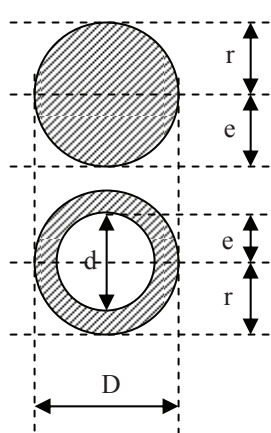
και συναρτήσει του βαθμού ανομοιομορφίας, υπολογίζουμε τη ροπή αδρανείας της μάζας του σφονδύλου:

$$A = J \cdot \omega_\mu^2 \cdot \delta$$

Η ροπή αδρανείας και αντίστασης για κυλινδρικού σχήματος σφονδύλους που είναι και οι συνηθέστεροι δίνεται στον πίνακα 5.3.

Πίνακας 5.3. Η ροπή αδρανείας και αντίστασης για κυλινδρικό σχήμα.

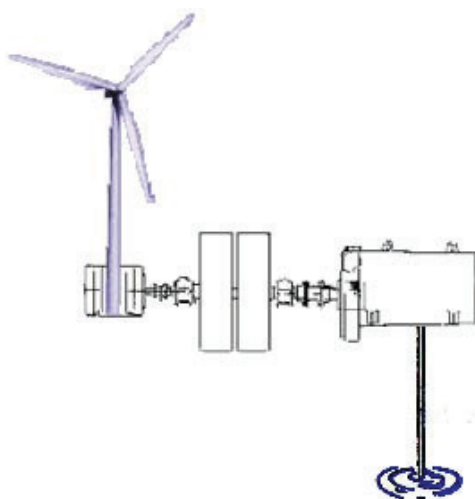
Εμβαδόν	Απόσταση κ.β. e	Ροπή αδρανείας J	Ροπή αντίστασης W
$\pi \cdot r^2$	r	$\pi r^4 / 4$	$\pi \cdot r^3 / 4$
$(D^2 - d^2) \cdot \pi / 4$	r	$(D^4 - d^4) \cdot \pi / 64$	$[(D^4 - d^4)/D] \cdot \pi / 32$



Πηγή : “Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών” (1989)  
Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.

Η χρήση σφονδύλων σε εγκαταστάσεις ανεμοκινητήρων δεν έχουν μεγάλη εφαρμογή, λόγω του μικρού χρονικού διαστήματος που μπορούν να αποταμιεύσουν ενέργεια, γι' αυτό και δεν θα επεκταθούμε σε πολλές λεπτομέρειες. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε συστήματα όπου απαιτείται σταθερή ροπή. Στο σχήμα 5.30 φαίνεται μια τέτοια εφαρμογή σε αντλητικό συγκρότημα, όπου ο σφόνδυλος χρησιμεύει στην αποθήκευση της κινητικής ενέργειας και την μείωση των στιγμιαίων φορτίσεων λόγω αυξομειώσεων της ταχύτητας του ανέμου. Στο σχήμα 5.31 φαίνονται οι στιγμιαίες αυξομειώσεις της ροπής, της ταχύτητας του δρομέα και της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με τον χρόνο ενός ανεμοκινητήρα με σφόνδυλο.

Τέτοιου είδους κατασκευές απαιτούν καλή ζυγοστάθμιση λόγω εμφάνισης ταλαντώσεων και κραδασμών καθώς το σύστημα περνά από τον κρίσιμο αριθμών στροφών όπου εμφανίζεται η ιδιοσυχνότητα του συστήματος και το πλάτος της ταλάντωσης αυξάνει τείνοντας στο άπειρο λόγω συντονισμού. Πρακτικά αυτό σημαίνει ισχυρούς κραδασμούς και σε ακραίες περιπτώσεις καταστροφή του συστήματος.



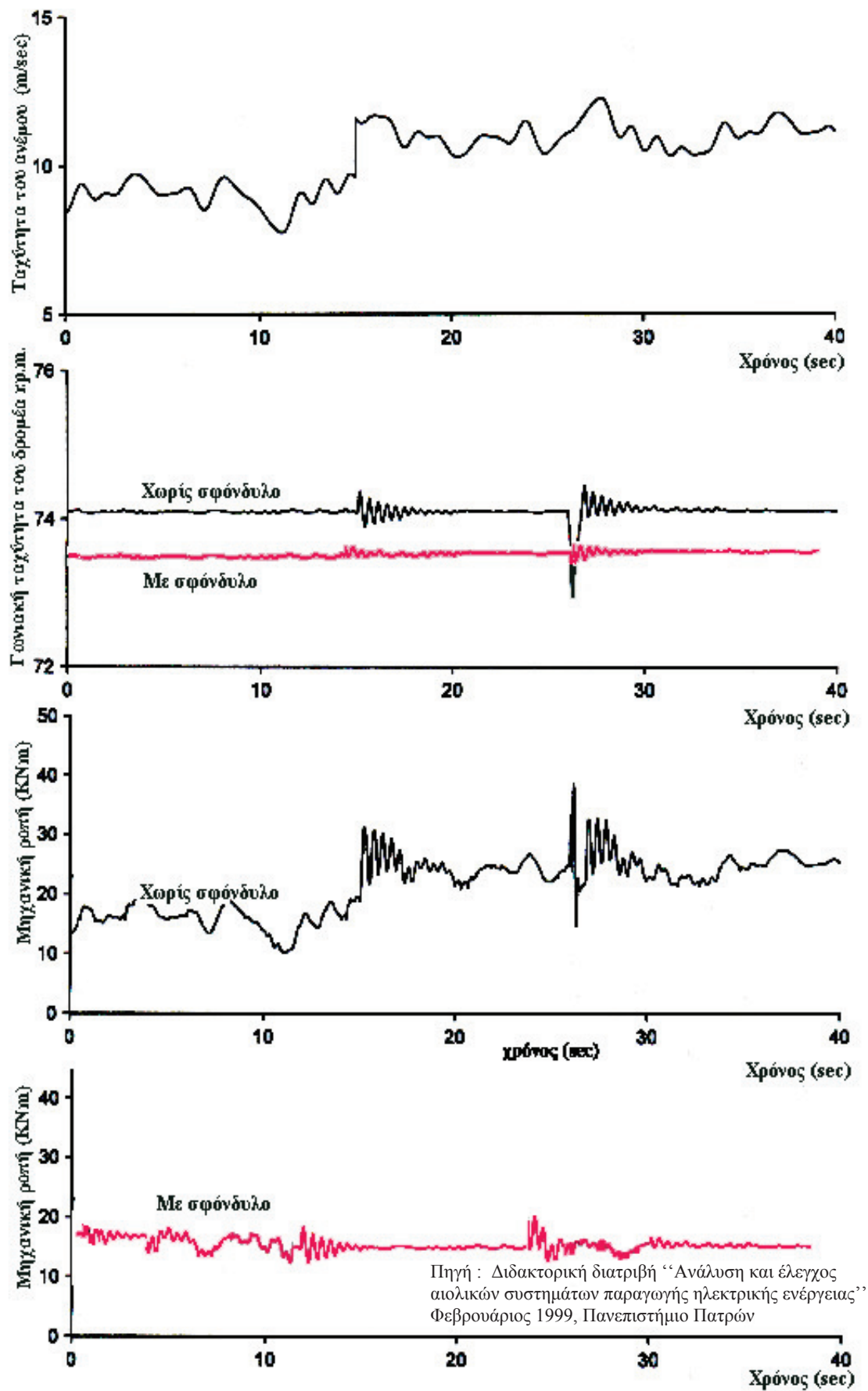
Σχήμα 5.30. Εφαρμογή ανεμοκινητήρα σε αντλητικό συγκρότημα, με απευθείας παροχή μηχανικής ισχύος. Μεταξύ του ανεμοκινητήρα και της αντλίας, παρεμβάλλεται σφόνδυλος.

### 5.6.2 Ηλεκτρική ισχύς.

Η ηλεκτρική ισχύς παράγεται από τους ανεμοκινητήρες με τη μορφή εναλλασσόμενου ή συνεχούς ρεύματος.

Οι βασικές διαφορές μεταξύ συνεχούς και εναλλασσόμενου ρεύματος που μας ενδιαφέρουν πρακτικά για την επιλογή μιας γεννήτριας ανεμοκινητήρα είναι οι εξής:

- Η φορά του εναλλασσόμενου ρεύματος μεταβάλλεται περιοδικά συναρτήσει του χρόνου, ενώ η φορά του συνεχούς ρεύματος παραμένει σταθερή.
- Το εναλλασσόμενο ρεύμα δεν φορτίζει τους συσσωρευτές εάν δεν ανορθωθεί, σε αντίθεση με το συνεχές.
- Το συνεχές ρεύμα προκαλεί ηλεκτρόλυση, ενώ το εναλλασσόμενο δεν προκαλεί εάν δεν ανορθωθεί.
- Το εναλλασσόμενο μπορούμε να το μετασχηματίσουμε με τους μετασχηματιστές, διαμορφώνοντας την τάση και την ένταση του με σχετικά μικρές απώλειες, ενώ στο συνεχές δεν μπορούμε να αυξήσουμε την τάση ή την ένταση παρά μόνο να την μειώσουμε χρησιμοποιώντας ηλεκτρικούς αντιστάτες που εισάγουν μεγάλο βαθμό απωλειών κατά την μετατροπή ή ζεύγη ηλεκτρικών κινητήρων.



Σχήμα 5.31. Εφαρμογή σφονδύλου σε ανεμοκινητήρα που παρέχει μηχανική ισχύ με άξονα στην βάση του πύργου.



- Μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές επιτυγχάνουμε με ανορθωτικές γέφυρες που έχουν μικρό κόστος, σε αντίθεση με το αυξημένο κόστος των μετατροπέων (inverter) που χρησιμοποιούνται για την μετατροπή του συνεχούς σε εναλλασσόμενο.
- Το εναλλασσόμενο ρεύμα όταν διέρχεται μέσα από ένα πηνίο συναντάει ωμική και επαγωγική αντίσταση, ενώ το συνεχές μόνο ωμική.
- Το εναλλασσόμενο ρεύμα όταν διέρχεται μέσα από πυκνωτές συναντάει κατά τη διέλευση του χωρητική αντίσταση, ενώ το συνεχές όταν συναντάει πυκνωτή υφίσταται διακοπή.

### 5.6.2.1 Τύποι γεννητριών που χρησιμοποιούνται στους ανεμοκινητήρες.

#### ▪ Ασύγχρονη γεννήτρια.

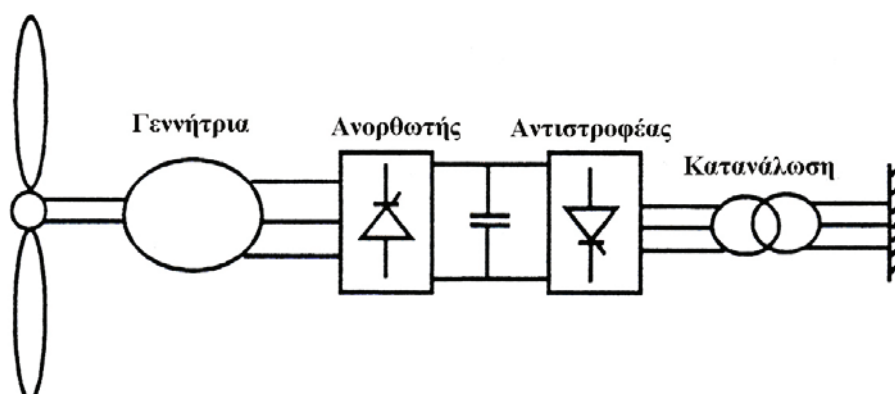
Αυτός ο τύπος γεννήτριας παρέχει την πιο οικονομική λύση, έχει απλή κατασκευή απουσία ψηκτρών στον δρομέα και απουσία ταλαντώσεων συχνότητας που αποτελεί σοβαρό πλεονεκτήματα. Διεγείρεται παίρνοντας ρεύμα μαγνήτισης (άεργος ισχύ) από εξωτερική πηγή, με την οποία μπορεί και να παραλληλιστεί. Το γεγονός αυτό δεν αποτελεί σοβαρό μειονέκτημα όταν η εγκατεστημένη ισχύς είναι μικρότερη από την ισχύ που απορροφάται από την εξωτερική πηγή (π.χ. ένα μικρό ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος πετρελαιοκινητήρα – γεννήτριας). Εμφανίζονται, όμως προβλήματα όταν η εγκατεστημένη ισχύς είναι συγκρίσιμη με την ισχύ της εξωτερικής πηγής. Όταν η ανεμογεννήτρια είναι συνδεδεμένη με το ηλεκτρικό δίκτυο, τότε η άεργος ισχύς προσφέρεται από το δίκτυο.

Αν η ανεμογεννήτρια λειτουργεί αυτόνομα (μη συνδεδεμένη σε ηλεκτρικό δίκτυο) και τροφοδοτεί μια χρονικά μεταβαλλόμενη κατανάλωση, η λειτουργία της γεννήτριας είναι προβληματική, λόγω της δυσκολίας της ρύθμισης της άεργου ισχύος. Οι διακυμάνσεις της ισχύος, προκαλούν διακυμάνσεις της τάσεως το μέγεθος των οποίων εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά και το μέγεθος της γεννήτριας. Για την τροφοδοσία της ασύγχρονης γεννήτριας με άεργο ισχύ, συνήθως συνδέονται στους ακροδέκτες των τυλιγμάτων της κατάλληλοι πυκνωτές. Οι πυκνωτές αυτοί σε περίπτωση διακοπής της σύνδεσης της ανεμογεννήτριας με την πηγή ή το δίκτυο τροφοδοσίας είναι δυνατόν να προκαλέσουν αυτοδιέγερση της μηχανής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αν η ανεμογεννήτρια είναι συνδεδεμένη με κάποιο φορτίο, η τροφοδοσία του να γίνεται με συχνότητα και τάση πολύ διαφορετικές από τις κανονικές, οπότε θα προκληθούν ζημιές στις συσκευές και μηχανήματα του καταναλωτή. Για αυτό τον λόγο η ανεμογεννήτρια επιβάλλεται να τίθεται το ταχύτερο εκτός λειτουργίας με τις διατάξεις προστασίας της.

Λύση στο προβλήματα της απευθείας σύνδεσης με την κατανάλωση, μπορεί να δώσει η επιλογή συστήματος μεταβλητών στροφών, σταθερής συχνότητας. Στο σχήμα 5.32 δίνεται το διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος. Στην έξοδο της γεννήτριας συνδέεται ένας τριφασικός ή μονοφασικός ανορθωτής (ανάλογα με την γεννήτρια), που μετατρέπει τα εναλλασσόμενα ηλεκτρικά μεγέθη σε συνεχή. Η σύνδεση προς την κατανάλωση γίνεται μέσω ενός αντιστροφέα, ο οποίος μετατρέπει τα συνεχή ηλεκτρικά μεγέθη σε εναλλασσόμενα, συχνότητας ίδιας με αυτή που απαιτεί ο καταναλωτής. Οι μετατροπείς αυτοί μπορεί να αποτελούνται είτε από θυρίστορ, είτε από ηλεκτρονικές βαλβίδες ελεγχόμενης έναυσης και σβέσης, όπως θυρίστορ με πύλη σβέσης (GTO) ή τρανζίστορ μονωμένης πύλης (IGBT). Αυτός ο τρόπος σύνδεσης αποσκοπεί κυρίως στην μεγιστοποίηση της ισχύος που

απομαστεύεται από τον άνεμο, μεταβάλλοντας κατάλληλα την γωνιακή ταχύτητα της ανεμογεννήτριας, μέσω του ηλεκτρονικού ελέγχου της διασύνδεσης ΕΡ/ΣΡ/ΕΡ. Επιπλέον, η λειτουργία με μεταβλητό αριθμό στροφών δίνει την δυνατότητα εξομάλυνσης της μεταβλητότητας των μηχανικών ροπών λόγω των διακυμάνσεων του ανέμου και επιτρέπει την απόσβεση στρεπτικών συντονισμών του μηχανικού συστήματος μετάδοσης της ισχύος [42].

Τα τελευταία χρόνια έχει εμφανιστεί μεγάλο ενδιαφέρον για την χρησιμοποίηση ολιγόστροφων σύγχρονων γεννητριών με μόνιμο μαγνήτη στο δρομέα. Το πλεονέκτημα που παρουσιάζουν αυτές οι μηχανές είναι η κατάργηση του κιβωτίου ταχυτήτων κάτι που μειώνει το κόστος και το βάρος της κατασκευής, ενώ αυξάνει την αξιοπιστία της.



Σχήμα 5.32. Λειτουργία μεταβλητών στροφών – σταθερής συχνότητας.

- **Σύγχρονη γεννήτρια.**

Σύγχρονη γεννήτρια ονομάζεται η γεννήτρια εκείνη της οποίας η ταχύτητα περιστροφής του δρομέα είναι απόλυτα σταθερή και ανεξάρτητη από το φορτίο (σύγχρονη ταχύτητα). Σύγχρονη ταχύτητα είναι η ταχύτητα περιστροφής του μαγνητικού πεδίου του στάτη και δίνεται από τη σχέση:  $n_s = f \cdot 60 / p$

όπου:  $f$  η συχνότητα της τάσης τροφοδοσίας της γεννήτριας σε Hz και  $p$  ο αριθμός των ζευγών των πόλων της γεννήτριας.

Έχει το πλεονέκτημα της αυτοδιέγερσης, γεγονός που επιτρέπει την χρησιμοποίηση της όταν η εγκατεστημένη ισχύς είναι περίπου ίση με την ισχύ της πηγής που θέλουμε να την παραλληλίσουμε. Το βασικό, όμως πρόβλημα της σύγχρονης γεννήτριας είναι ότι για να διατηρούνται οι στροφές σταθερές, απαιτούνται συστήματα αυτομάτου ελέγχου είτε μηχανικά, είτε ηλεκτρικά, τα οποία και πολύπλοκα είναι και δαπανηρά.

- **Σύγχρονη γεννήτρια με μαγνητικούς πόλους.**

Χρησιμοποιούνται, κυρίως, για αυτόνομες οικιακές εφαρμογές, απαιτούν συσσωρευτή εκκίνησης για την διέγερσή 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%.

Η εύρεση νέων μαγνητικών υλικών (Hera, Ferrite Magnadur), δίνει τη δυνατότητα στις μηχανές αυτές να λειτουργήσουν σε συνθήκες κορεσμού του σιδηρομαγνητικού υλικού. Επίσης, έχουν τη δυνατότητα να κατασκευαστούν με μεγάλο αριθμό πόλων και έτσι περιορίζεται σημαντικά η απαιτούμενη σχέση μετάδοσης 1 : 1. Αυτό σημαίνει πλήρη απουσία του κιβωτίου πολλαπλασιασμού των στροφών με την αντίστοιχη μείωση του κόστους.

#### ▪ Γεννήτρια συνεχούς ρεύματος.

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος είναι πιο εύκολο να ελεγχθούν απ' ό,τι οι μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος και κατά συνέπεια προσφέρονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο κυρίως για μικρές αυτόνομες μονάδες. Στην περίπτωση αυτή ή τροφοδοτούν απ' ευθείας συσκευές συνεχούς ρεύματος, ή μετατρέπουν το συνεχές ρεύμα σε εναλλασσόμενο με ζεύγος ηλεκτροκινητήρων συνεχούς – εναλλασσόμενου ρεύματος ή φορτίζουν συσσωρευτές, που με τη βοήθεια “inverter” μετατρέπουν το ρεύμα σε εναλλασσόμενο για την τροφοδοσία συνηθισμένων οικιακών συσκευών. Βέβαια, παρουσιάζουν ορισμένα μειονεκτήματα, όπως η ευπάθεια και συντήρηση του συστήματος ψηκτρών – συλλέκτη, αλλά το μικρό κόστος και η ευκαμψία τους τις έχει καθιερώσει σε εφαρμογές μικρών απαιτήσεων [7,9,10,21,41,44].

### 5.6.3 Αυτόνομες και υβριδικές εγκαταστάσεις ανεμοκινητήρων.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις μιας υπάρχουσας εγκατάστασης ένας ανεμοκινητήρας μπορεί να επιλεγεί ή να σχεδιαστεί ώστε να δουλεύει υβριδικά ή αυτόνομα.

#### 5.6.3.1 Υβριδικές εφαρμογές.

Στις περιπτώσεις όπου ο ανεμοκινητήρας χρησιμοποιείται μόνο για την μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας από μια άλλη πηγή το όλο σύστημα σχεδιάζεται να λειτουργεί υβριδικά.

Συνήθως γίνεται συνδυασμός ανεμοκινητήρων με μηχανές εσωτερικής καύσης, οπότε έχουμε εξοικονόμηση καυσίμου, ή σε συνδυασμό με το δίκτυο της Δ.Ε.Η., οπότε έχουμε μείωση στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην πρώτη περίπτωση σκοπός της ανεμογεννήτριας είναι η εξοικονόμηση καυσίμου, ενώ η μηχανή εσωτερικής καύσης (συνήθως χρησιμοποιούνται μηχανές Diesel) θα αναπληρώνει την ανεμογεννήτρια στο δίκτυο όταν η πνοή του ανέμου είναι χαμηλή, καθώς επίσης θα καλύπτει και τα φορτία αιχμής. Στην ανεμογεννήτρια μέσης ισχύος υπάρχει ένα όριο στην ισχύ της σε σχέση με το μέγεθος και την κατανομή των φορτίων του δικτύου στο οποίο πρόκειται να συνδεθεί. Αυτό συμβαίνει γιατί οι απότομες και μεγάλες ελλείψεις της ισχύος της ανεμογεννήτριας επηρεάζουν την λειτουργία του ρυθμιστή στροφών της μηχανής Diesel και τον ρυθμιστή τάσεως της γεννήτριας με αποτέλεσμα την εμφάνιση ταλάντωσης τάσεως και συχνότητας στο δίκτυο.

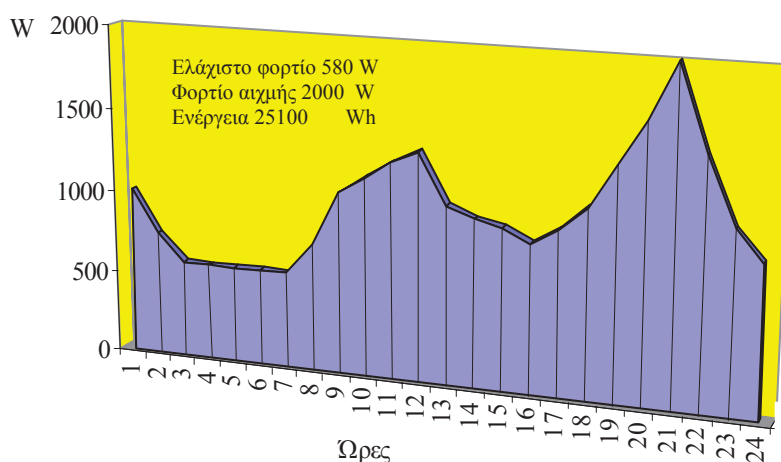
Στο σχήμα 5.33 εμφανίζεται η ημερήσια καμπύλη φορτίου μιας εγκατάστασης. Η ένδειξη που θα ληφθούν υπόψη για τον σχεδιασμό της καμπύλης θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικές και για τις υπόλοιπες ημέρες. Η ονομαστική ισχύς ανεμογεννήτριας (μέγιστη δυνατή ισχύς) θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να είναι μικρότερη από το ελάχιστο φορτίο του εικοσιτετραώρου, όταν ο ανεμοκινητήρας

λειτουργεί για να εξοικονομεί καύσιμο και όχι ως αυτόνομη μονάδα.

Η τιμή της ονομαστικής ισχύος ανεμογεννήτριας καθορίζεται από την επιτρεπτή αύξηση των στροφών της γεννήτριας της μηχανής Diesel, λόγω μείωσης φορτίου, ώστε η αύξηση αυτή να μην επιφέρει ουσιαστική μεταβολή στη συχνότητα του ρεύματος. Για καμπύλη φορτίου με μέγιστη ισχύ  $P$  (φορτίο αιχμής) επιτρέπεται σχετική αύξηση της συχνότητας του ρεύματος κατά  $\delta$ , δηλαδή θα πρέπει:

$$\delta = \frac{n - n_{FL}}{n_{FL}}$$

όπου  $n_{FL}$  οι στροφές πλήρους φορτίου.



Σχήμα 5.33. Καμπύλη ηλεκτρικού.

Καθώς απορροφάται όλο και πρισσότερη ισχύς από την Μ.Ε.Κ. οι στροφές μειώνονται, ενώ με μείωση της απορροφούμενης ισχύος από τον κινητήρα έχουμε αναμενόμενη αύξηση των στροφών αυτού. Η διακύμανση αυτή των στροφών διαφέρει από μηχανή σε μηχανή. Το εύρος μέσα στο οποίο μπορούμε να έχουμε διακύμανση των στροφών, ενός ηλεκτροπαραγωγικού ζεύγους (κινητήρας – γεννήτρια) και κατ' επέκταση της συχνότητας, όταν αυτή συνδεθεί με σε μια σοβαρή εγκατάσταση πρέπει να είναι αρκετά στενό, συνήθως μικρότερο του 10%.

Εάν είναι  $P_L$  το ελάχιστο φορτίο (KW) από την ημερήσια καμπύλη φορτίου την οποία έχουμε εκτιμήσει σε μία γεωργική εκμετάλλευση,  $P_{AG}$  η ονομαστική ισχύς της ανεμογεννήτριας τότε θα πρέπει :

$$P_{AG} + P_{DIESEL} = P_L \quad \text{ή}$$

$$P_{DIESEL} = P_L - P_{AG}$$

Από το σχήμα 5.34 θα πρέπει:  $P_{DIESEL} > P_{(\delta)}$

όπου  $P_{(\delta)}$  στιγμιαία διακύμανση ισχύος λόγω μείωσης του φορτίου

οπότε  $P_{AG} < P_L - P_{(\delta)}$

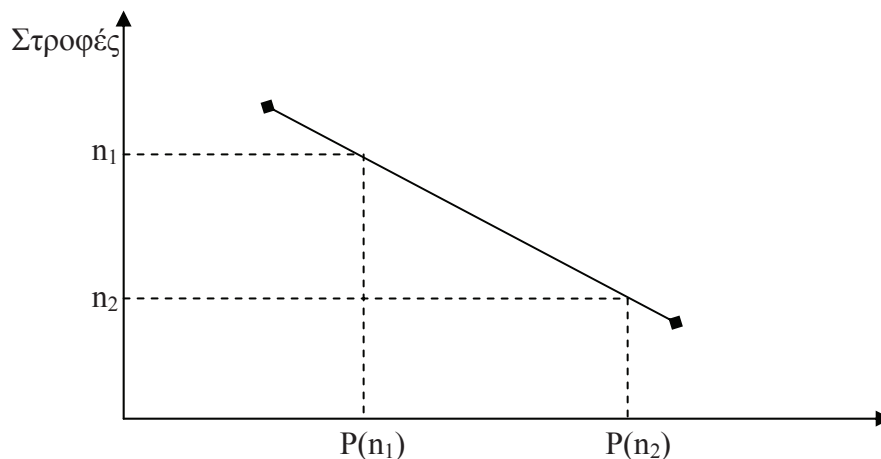
Για την ημερήσια καμπύλη του σχήματος 6.37 προκύπτει:

Φορτίο αιχμής  $P_{LF} = 2000 \text{ W}$  και ελάχιστο φορτίο  $P_L = 580 \text{ W}$

$P_{(\delta)} / P_{FL} = 0,1$  (το 10% λαμβάνεται κατ' εκτίμηση)

$P_{(\delta)} = 2000 \cdot 0,1 = 200 \text{ W}$

οπότε  $P_{AG} < 580 - 200$  ή  $P_{AG} < 380 \text{ W}$



Σχήμα 5.34. Τυπική καμπύλη απορροφούμενης ισχύος – στροφών Diesel.

Συμπεραίνουμε ότι όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά  $P_L - P_{(\delta)}$  και επομένως όσο ομαλότερη είναι η καμπύλη φορτίου λόγω μείωσης της διαφοράς  $P_{FL} - P_L$  τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η ισχύς  $P_{AG}$ , επομένως και η ενέργεια του ανέμου που θα διοχετευτεί στο δίκτυο.

Η καμπύλη ηλεκτρικού φορτίου του σχήματος 5.33 είναι αντιπροσωπευτική για μια μικρή αγροικία άρα προκύπτει ότι τα μεγέθη ανεμοκινητήρων κατά κύριο λόγο που μπορούν να ενταχθούν σ' αυτό το χώρο, για υβριδικές εφαρμογές ανήκουν στη μικρή και μέση ισχύ και επομένως το πρόβλημα είναι η επιλογή του οικονομικά και τεχνικά αρτιότερου τύπου ανεμοκινητήρα.

### 5.6.3.2 Αυτόνομες εφαρμογές και τρόποι αποθήκευσης της πλεονάζουσας ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι αυτόνομες εφαρμογές ανεμοκινητήρων θα πρέπει να είναι κατά τέτοιο τρόπο σχεδιασμένες ώστε να καλύπτουν την ενεργειακή ζήτηση της εγκατάστασης. Για να επιτευχθεί αυτό θα πρέπει να αποθηκεύουν με κάποιον τρόπο την πλεονάζουσα ισχύ όταν δεν υπάρχει ζήτηση, ή όταν η ζήτηση είναι μικρότερη από την παραγόμενη ισχύ.

Το κόστος αυτών των εγκαταστάσεων είναι αρκετά αυξημένο και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την αυτονομία που θέλουμε να επιτύχουμε, που επηρεάζεται άμεσα το μέγεθος του ανεμοκινητήρα και το μέγεθος του συστήματος αποθήκευσης.

Οι κυριότερες μέθοδοι που βρίσκουν εφαρμογή σήμερα είναι:

- Υδραυλικοπνευματική αποθήκευση ενέργειας μέσω συμπίεσης αερίων
- Φόρτιση συσσωρευτών
- Θέρμανση στοιχείων μεγάλης θερμοχωρητικότητας
- Παραγωγή και αποθήκευση υδρογόνου

### 5.6.4 Τρόποι αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας παραγόμενης από ανεμοκινητήρες.

#### 5.6.4.1 Υδραυλικοπνευματική αποθήκευση ενέργειας μέσω συμπίεσης αερίων.

Οι κατασκευές αυτές περιέχουν συμπιεσμένο αέριο άζωτο ή αέρα και η

αποθήκευση ενέργειας γίνεται σε έναν ή περισσότερους υδραυλοπνευματικούς συσσωρευτές. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να έχουμε αποθήκευση ενέργεια για σχετικά περιορισμένο χρονικό διάστημα με αποδεκτό κόστος. Βέβαια οι μονάδες αποθήκευσης αυτού του τύπου είναι περιορισμένου μεγέθους, πράγμα που απαιτεί την τοποθέτηση αρκετών τέτοιων συσκευών «εν παραλλήλω» για να ικανοποιήσουμε τις ανάγκες μεγαλύτερων συστημάτων. Αρκετά συχνά οι εν λόγω μονάδες αποταμίευσης ενέργειας χρησιμοποιούνται και σε συστήματα συνεργασίας ανεμογεννήτριας και κινητήρων εσωτερικής καύσης (συστήματα Wind - Diesel) με σημαντική εξοικονόμηση καυσίμου.

#### **5.6.4.2 Αποθήκευση σε συσσωρευτές.**

Ο συσσωρευτής ή μπαταρία είναι μια ηλεκτροχημική επινόηση η οποία μετατρέπει την αποθηκευμένη σ' αυτή χημική ενέργεια σε ηλεκτρική για να λειτουργήσει οποιοσδήποτε καταναλωτής συνεχούς ρεύματος. Η φόρτιση ενός συσσωρευτή γίνεται με την αντίστροφη λειτουργία, διαβιβάζοντας δηλαδή ηλεκτρική ενέργεια από μια πηγή συνεχούς ρεύματος προς τον συσσωρευτή ώστε να πραγματοποιηθούν οι απαραίτητες χημικές αντιδράσεις.

Η μετατροπή της χημικής ενέργειας μιας μπαταρίας σε ηλεκτρική ονομάζεται εκφόρτιση, ενώ η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε χημική ονομάζεται φόρτιση.

Όταν ένα ηλεκτρικό στοιχείο εκφορτίζεται και δεν μπορεί να επαναφορτιστεί ονομάζεται πρωτογενές, ενώ όταν μπορεί να επαναφορτίζεται μετά από αντίστοιχες εκφορτίσεις ονομάζεται δευτερογενές [6,8,9,20,21,22,25,29,34,40,41,44].

##### **▪ Κατασκευή συσσωρευτή μολύβδου - θειϊκού οξέος.**

Ο συσσωρευτής με ηλεκτρολύτη θειϊκού οξέος χρησιμοποιεί την χημική αντίδραση δύο διαφορετικών τύπων πλακών, οι οποίες είναι εμβαπτισμένες μέσα σ' αυτό. Τα βασικότερα μέρη ενός τέτοιου συσσωρευτή φαίνονται στο σχήμα 5.36.

Το κάθε ηλεκτρικό στοιχείο του συσσωρευτή αποτελείται από δύο ομάδες πλακών (θετική – αρνητική) σε σχηματισμό κτένας. Οι ομάδες των πλακών είναι η μια κοντά στη άλλη, ενώ η μεταξύ των πλακών επαφή αποκλείεται με την παρεμβολή διαχωριστικών επιφανειών που είναι πορώδεις ώστε να επιτρέπουν την κυκλοφορία του ηλεκτρολύτη.

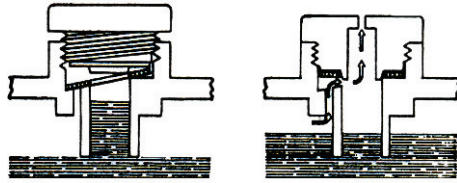
Συνήθως οι δύο εξωτερικές πλάκες του στοιχείου είναι αρνητικές, έτσι ώστε να έχουμε μεγαλύτερο αριθμό αρνητικών πλακών από τις θετικές.

Οι πλάκες αποτελούνται από ένα πλέγμα αντιμονίου τα κενά του οποίου γεμίζονται από ενεργό υλικό (οξειδία μολύβδου). Όταν ξεραθεί και σκληρύνει, με ηλεκτροχημική επεξεργασία το ενεργό υλικό των θετικών πλακών μετατρέπεται σε καστανόχρωμο υπεροξείδιο και των αρνητικών πλακών σε γκρίζο σπογγώδη μεταλλικό μόλυβδο.

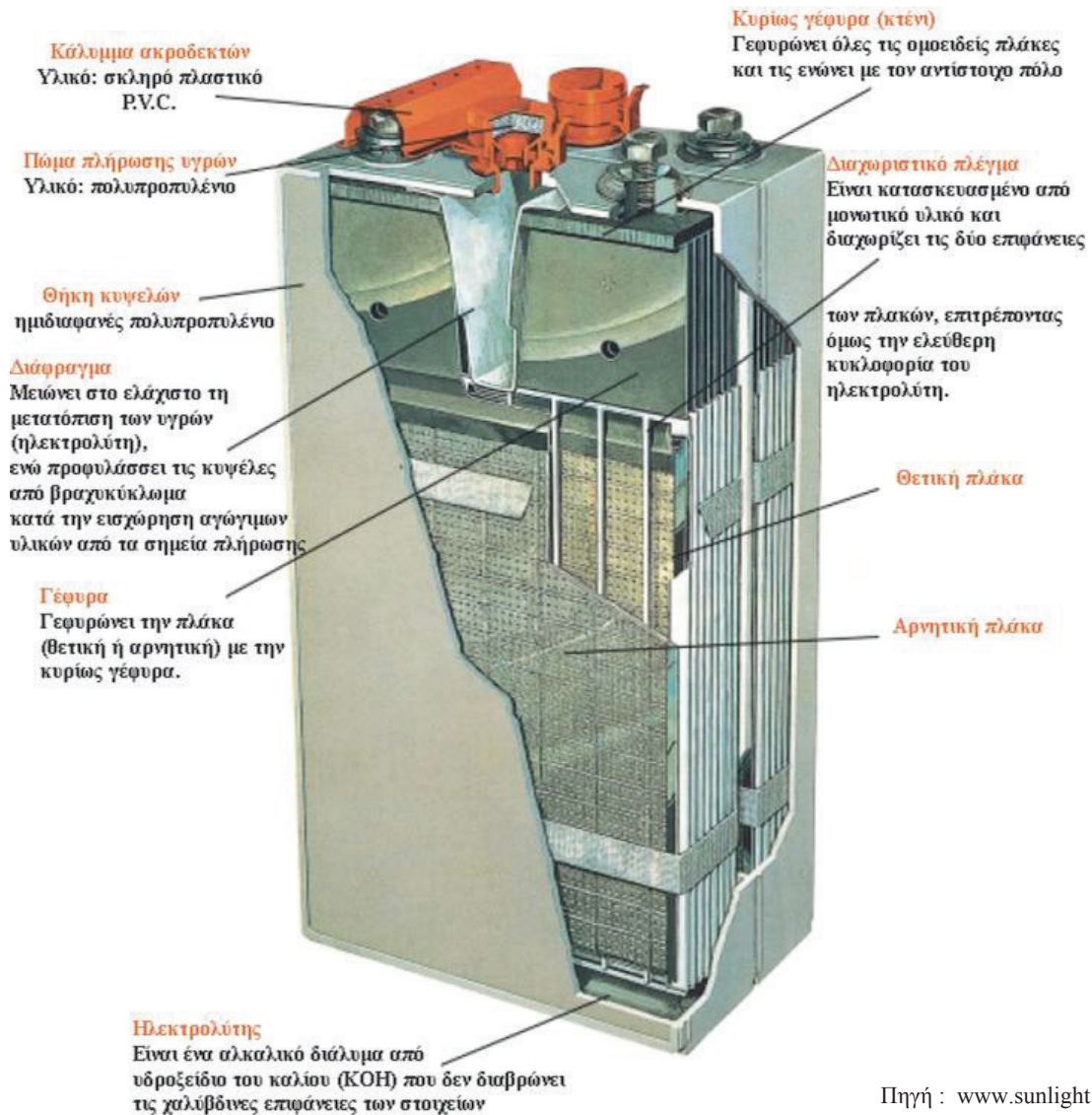
Το περίβλημα των συσσωρευτών αυτού του τύπου κατασκευάζεται συνήθως από διαφανή πλαστικό πολυπροπυλένιο, ώστε να γίνεται έλεγχος της κατάστασης στην οποία βρίσκονται τα στοιχεία, ενώ έχει εσωτερικά χωρίσματα όσα και τα στοιχεία του συσσωρευτή. Στον πυθμένα του φέρει νευρώσεις πάνω στις οποίες ακουμπούν οι πλάκες. Οι νευρώσεις αυτές προστατεύουν από βραχυκύκλωμα που θα μπορούσε να προκληθεί από την πτώση ενεργού υλικού των πλακών στον πυθμένα του δοχείου κατά τη λειτουργία του συσσωρευτή.

Τα πώματα σχήμα 5.35 χρησιμοποιούνται για:

- Το γέμισμα του συσσωρευτή με υγρά
- Τη διαφυγή των αερίων που δημιουργούνται κατά τη λειτουργία της



Σχήμα 5.35. Πώμα συσσωρευτή υγρών στοιχείων.



Πηγή : [www.sunlight.gr](http://www.sunlight.gr)

Σχήμα 5.36. Τομή συσσωρευτή θειϊκού μολύβδου με δύο στοιχεία.

### ▪ Ο ηλεκτρολύτης.

Είναι ένα άχρωμο και άοσμο διάλυμα θειϊκού οξέος, δηλαδή αποτελείται από νερό  $H_2O$  και θειϊκό οξύ  $H_2SO_4$ . Όταν έλθει σε επαφή με τις πλάκες των στοιχείων μετατρέπει τον μόλυβδο  $Pb$  σε θειϊκό μόλυβδο  $PbSO_4$ . Κατά τη φόρτιση του συσσωρευτή οι πλάκες που συνδέονται με τον θετικό πόλο της φόρτισης μετατρέπονται σε υπεροξείδιο του μολύβδου  $PbO_2$  ενώ αυτές που συνδέονται με τον αρνητικό πόλο μετατρέπονται σε γκρίζο σπογγώδη μόλυβδο  $Pb$ .

Η περιεκτικότητα σε θειϊκό οξύ του διαλύματος είναι περίπου 35 – 38% του βάρους του. Η ειδική πυκνότητα του ηλεκτρολύτη ενός συσσωρευτή σε θερμοκρασία 20 °C και κατάσταση πλήρους φόρτισης κυμαίνεται μεταξύ του 1.240 έως 1.280  $gr/cm^3$ . Η ακριβής τιμή της πυκνότητας του ηλεκτρολύτη εξαρτάται άμεσα από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

### ▪ Γενικά χαρακτηριστικά των συσσωρευτών μολύβδου.

Ένας συσσωρευτής δίνει ηλεκτρική ενέργεια, όταν ένας καταναλωτής συνδεθεί στους πόλους του. Αυτό ονομάζεται εκφόρτιση.

Όταν ολοκληρωθεί η εκφόρτιση έχουμε μετατροπή:

- Των θετικών πλακών από υπεροξείδιο του μολύβδου ( $PbO_2$ ) σε θειϊκό μόλυβδο ( $PbSO_4$ )
- Των αρνητικών πλακών από σπογγώδη γκρίζο μεταλλικό μόλυβδο ( $Pb$ ) σε θειϊκό μόλυβδο ( $PbSO_4$ )

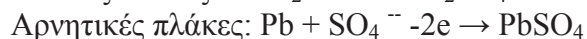
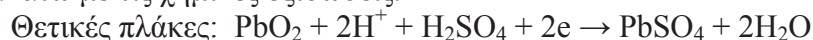
Όταν ένας εκφορτισμένος συσσωρευτής τροφοδοτηθεί από μια εξωτερική πηγή με ηλεκτρικό ρεύμα αντίθετης φοράς από εκείνη του ρεύματος εκφόρτισης, τότε οι χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στο συσσωρευτή είναι ακριβώς οι αντίθετες από εκείνες της φόρτισης.

### ▪ Τι ακριβώς συμβαίνει κατά την εκφόρτιση και φόρτιση ενός συσσωρευτή μολύβδου.

Το ενεργό υλικό των πλακών ενός φορτισμένου συσσωρευτή μολύβδου είναι:

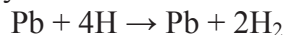
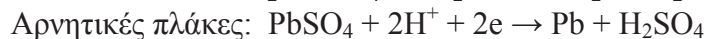
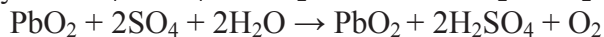
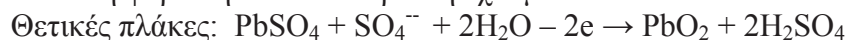
- Των θετικών πλακών, καστανόχρωμο υπεροξείδιο του μολύβδου  $PbO_2$ .
- Των αρνητικών πλακών, μεταλλικό γκρίζο σπογγώδη μόλυβδο  $Pb$ .

Κατά την εκφόρτιση τα θετικά ιόντα  $H^+$  και οι αρνητικές ρίζες  $SO_4^-$  του ηλεκτρολύτη αντιδρούν με τις θετικές και αρνητικές πλάκες, όπως περιγράφονται παρακάτω με τις χημικές εξισώσεις.



Όπως παρατηρούμε σε έναν εκφορτισμένο συσσωρευτή οι θετικές και αρνητικές πλάκες έχουν μετατραπεί σε θειϊκό μόλυβδο ενώ συγχρόνως έχουμε την παρουσία νερού.

Κατά τη φόρτιση του συσσωρευτή έχουμε:





- **Ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη και έλεγχος φόρτισης συσσωρευτή.**

Ο ηλεκτρολύτης των συσσωρευτών μολύβδου είναι διάλυμα θειϊκού οξέος στο νερό. Για έναν κοινό συσσωρευτή που είναι πλήρως φορτισμένος το ειδικό βάρος του διαλύματος σε θερμοκρασία 20°C είναι 1.280 gr/cm<sup>3</sup>, αν και η πυκνότητα μπορεί να διαφέρει από συσσωρευτή σε συσσωρευτή ανάλογα με τις κατασκευαστικές του ιδιαιτερότητες και προδιαγραφές. Κατά την αρχική πλήρωση του συσσωρευτή με διάλυμα θα πρέπει να ακολουθηθούν οι οδηγίες γιατί σε ορισμένους τύπους οι πλάκες περιέχουν θειϊκό οξύ από κατασκευής ή σε άλλους το σπογγώδες μονωτικό υλικό μεταξύ των πλακών περιέχει νερό. Το ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη μεταβάλλεται επίσης κατά τη φόρτιση και την εκφόρτιση.

Ο έλεγχος της φόρτισης ενός συσσωρευτή βασίζεται στη μέτρηση της μεταβολής του ειδικού βάρους του ηλεκτρολύτη και γίνεται με πυκνόμετρο. Η μέτρηση της πυκνότητας για έναν συσσωρευτή πολλών στοιχείων πρέπει να γίνει σε κάθε στοιχείο ξεχωριστά.

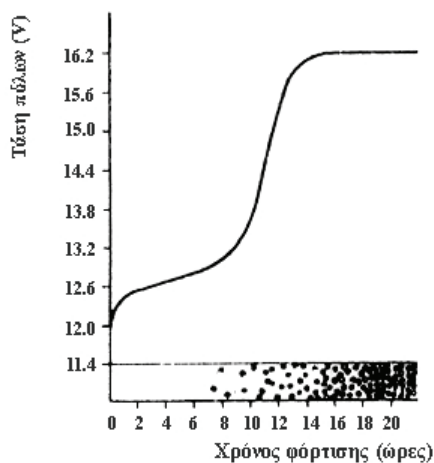
- **Η μεταβολή του ειδικού βάρους του ηλεκτρολύτη με τη θερμοκρασία.**

Το ειδικό βάρος του ηλεκτρολύτη μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία και αυτό γιατί ο όγκος του θειϊκού οξέος αυξάνεται όταν θερμανθεί και μειώνεται όταν ψυχθεί. Μετρώντας το ειδικό βάρος S<sub>t</sub> σε μια θερμοκρασία t μπορούμε να ανάγουμε σε θερμοκρασία 20°C με την παρακάτω σχέση.

$$S_{20} = S_t + 0.0007 (t - 20)$$

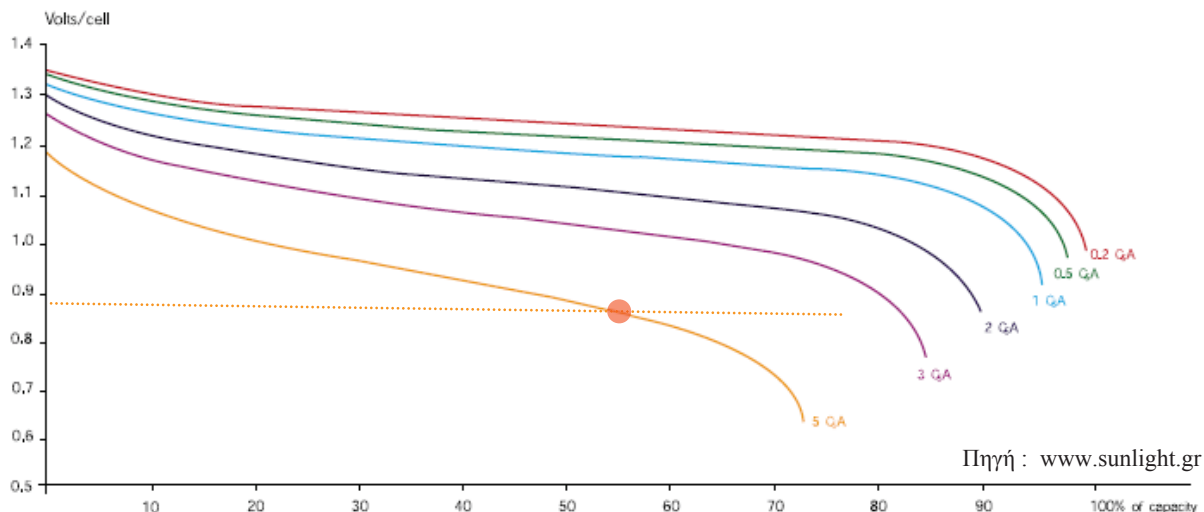
- **Οριακή τάση εκφόρτισης και φόρτισης συσσωρευτή.**

Όταν ένας συσσωρευτής εκφορτίζεται με σταθερό ρεύμα η τάση στα άκρα του πέφτει σταδιακά όπως φαίνεται στο σχήμα 5.38. Παρατηρούμε πως η πτώση της τάσης από ένα σημείο και μετά είναι πολύ απότομη και σε ορισμένους συσσωρευτές φθάνει και το μηδέν. Για να αποφευχθεί αυτό ορίζεται μια τιμή σαν κατώτερη οριακή τάση εκφόρτισης π.χ. 0.88 Volt για το στοιχείο 5C<sub>5</sub>A. Όταν φορτίζουμε έναν συσσωρευτή, η τάση στα άκρα του αυξάνει όπως φαίνεται στο σχήμα 5.37.



Πηγή : [www.sunlight.gr](http://www.sunlight.gr)

Σχήμα 5.37. Χαρακτηριστική καμπύλη φόρτισης συσσωρευτή μολύβδου.



Σχήμα 5.38 Χαρακτηριστικές καμπύλες εκφόρτισης με σταθερό ρεύμα στους 20°C για έξι διαφορετικά στοιχεία νικελίου – καδμίου.

▪ **Χωρητικότητα συσσωρευτή.**

Σαν χωρητικότητα ενός συσσωρευτή θεωρείται η ποσότητα ηλεκτρισμού η οποία μπορεί να δοθεί κάτω από συνθήκες εκφόρτισης σταθερού ρεύματος μέχρις ότου η τάση του φθάσει την οριακή τάση εκφόρτισης π.χ. 0.88 Volt. Η χωρητικότητα υπολογίζεται σαν το γινόμενο της σταθερής έντασης I (Ampere) του ρεύματος εκφόρτισης επί το χρόνο εκφόρτισης t (hr).

Χωρητικότητα σε Αμπέρ-ώρες (Ah) = ένταση εκφόρτισης (A) · χρόνο εκφόρτισης (h)

Η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή συνδέεται άμεσα με την επιφάνεια των πλακών, γιατί επηρεάζεται η ένταση.

Εκτός από τη χωρητικότητα πρέπει απαραίτητα να είναι γνωστός και ο ρυθμός εκφόρτισης του συσσωρευτή. Σαν ρυθμός εκφόρτισης θεωρείται ο χρόνος σε ώρες που χρειάζεται ένας φορτισμένος συσσωρευτής να φθάσει στην οριακή τάση εκφόρτισης. Για παράδειγμα όταν για ένα συσσωρευτής 100Ah δίνεται ρυθμός εκφόρτισης 20h σημαίνει ότι έχει ικανότητα να παρέχει μια σταθερή ένταση 5A για χρονικό διάστημα 20h, οπότε και θα φθάσει στην οριακή τάση εκφόρτισης.

$$100Ah = 5A \cdot 20h$$

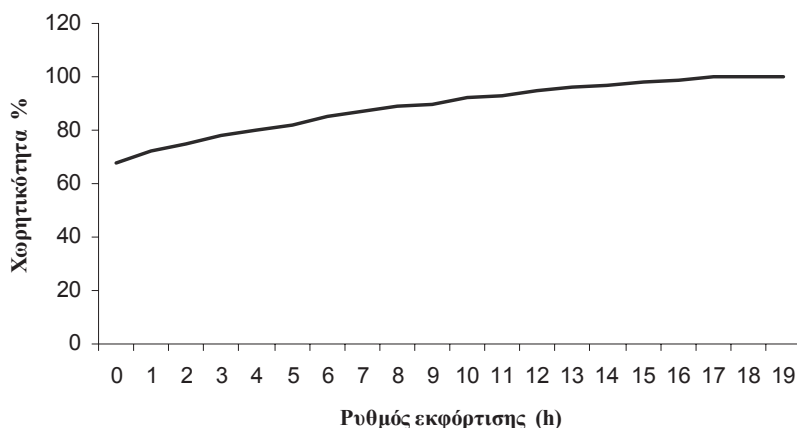
Αυτό όμως δεν συνεπάγεται και ρεύμα εκφόρτισης 10A για 10h, χαρακτηριστικά που αφορούν συσσωρευτή 100Ah με ρυθμό εκφόρτισης 10h.

Όταν θέλουμε να συγκρίνουμε τις χωρητικότητες συσσωρευτών πρέπει να εξομοιώνουμε τους ρυθμούς εκφόρτισης τους. Όσο μικρότερος είναι ο ρυθμός εκφόρτισης τόσο μικρότερη γίνεται η χωρητικότητα του συσσωρευτή, κάτι που φαίνεται και στο σχήμα 5.39.

Θα πρέπει να δοθεί προσοχή στο ότι η διάρκεια ζωής ενός συσσωρευτή μειώνεται όταν η εκφόρτιση του γίνεται με μεγάλη ένταση ρεύματος, σε μικρό χρονικό διάστημα και δεν υπάρχει ο απαιτούμενος χρόνος ώστε να ολοκληρωθούν πλήρως οι χημικές αντιδράσεις μετατροπής της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική, για το λόγω αυτό οι χημικές αντιδράσεις γίνονται μόνο επιφανειακά στις πλάκες. Η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή μεταβάλλεται σε σχέση με τη θερμοκρασία του

ηλεκτρολύτη. Όσο η θερμοκρασία του ηλεκτρολύτη μειώνεται, τόσο η χωρητικότητα του συσσωρευτή μικραίνει.

Σαν διάρκεια ενός συσσωρευτή ορίζεται ως ο αριθμός συνεχών κύκλων φόρτισης – εκφόρτισης, στις οποίες αντέχει χωρίς να χάσει το 20% της αρχικής χωρητικότητας του.



Σχήμα 5.39. Χαρακτηριστική καμπύλη χωρητικότητας και ρυθμού εκφόρτισης ενός αλκαλικού συσσωρευτή.

#### ▪ Βαθμός απόδοσης συσσωρευτή.

Όταν φορτίζεται ένας συσσωρευτής δεν αποθηκεύεται όλη η προσφερόμενη ηλεκτρική ενέργεια, αλλά ένα μέρος της χάνεται. Το ίδιο συμβαίνει και κατά τη φάση της εκφόρτισης.

Σαν απόδοση ενός συσσωρευτή ορίζεται το ποσοστό % της ενέργειας που αποθηκεύεται σε σχέση με την προσφερόμενη και εκφράζεται σε Ah όσον αφορά το ρεύμα ή σε KW όσον αφορά την ισχύ.

$$\text{Απόδοση ρεύματος Ah} = \frac{\text{ηλ.ρεύμα εκφόρτισης (Ah)}}{\text{ηλ.ρεύμα φόρτισης (AAh)}} \cdot 100$$

$$\text{Απόδοση ισχύος Wh} = \frac{\text{ηλ.ρεύμα εκφόρτισης (Wh)}}{\text{ηλ.ρεύμα φόρτισης (Wh)}} \cdot 100$$

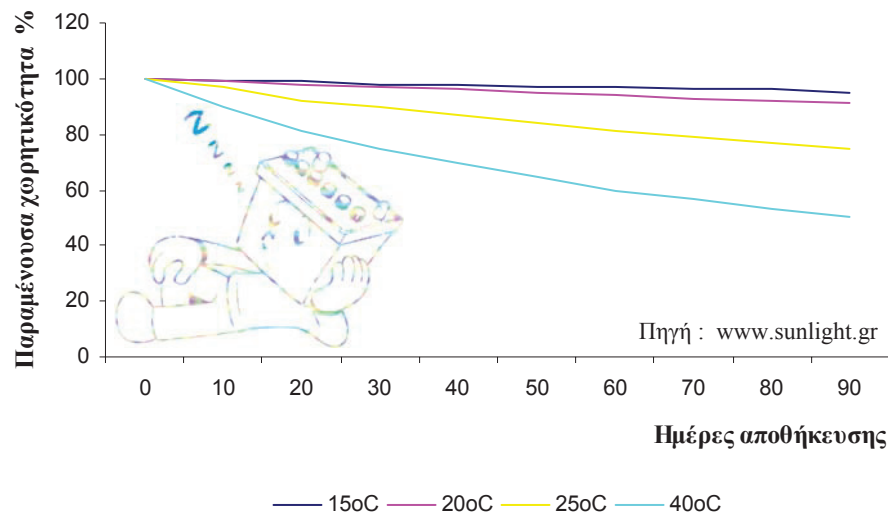
Για έναν καινούριο συσσωρευτή μολύβδου ο βαθμός απόδοσης ρεύματος είναι περίπου 90% και ο βαθμός απόδοσης ισχύος περίπου 75%.

#### ▪ Αυτοεκφόρτιση συσσωρευτή.

Αν ένας καλά φορτισμένος συσσωρευτή αφηθεί για ένα χρονικό διάστημα αχρησιμοποίητος θα παρατηρήσουμε ότι έχει χάσει ένα μέρος της χωρητικότητας του χωρίς να έχει εκφορτιστεί από κάποιο εξωτερικό καταναλωτή σχήμα 5.40. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται αυτοεκφόρτιση και μπορεί να οφείλεται:

- Σε τοπικές χημικές αντιδράσεις που γίνονται στο χώρο των πλακών με διάφορες ανεπιθύμητες ουσίες που υπάρχουν στο διάλυμα όπως υδροχλωρικό οξύ, νιτρικό οξύ κ.α.

- Σε χημικές αντιδράσεις του μολύβδου των αρνητικών πλακών με το θειϊκό οξύ που βαθμιαία το μετατρέπουν σε θειϊκό μόλυβδο PbSO<sub>4</sub>.
- Σε ανομοιομορφία του διαλύματος ή σε αυξημένη θερμοκρασία του ηλεκτρολύτη.
- Σε άμεση ή έμμεση αγωγή σύνδεση μεταξύ θετικών και αρνητικών πλακών δια μέσου του ενεργού υλικού που πέφτει στον πυθμένα του συσσωρευτή.



Σχήμα 5.40 Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης ενός συσσωρευτή νικελίου-καδμίου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.

#### ▪ Κυριότεροι μέθοδοι φόρτισης συσσωρευτών.

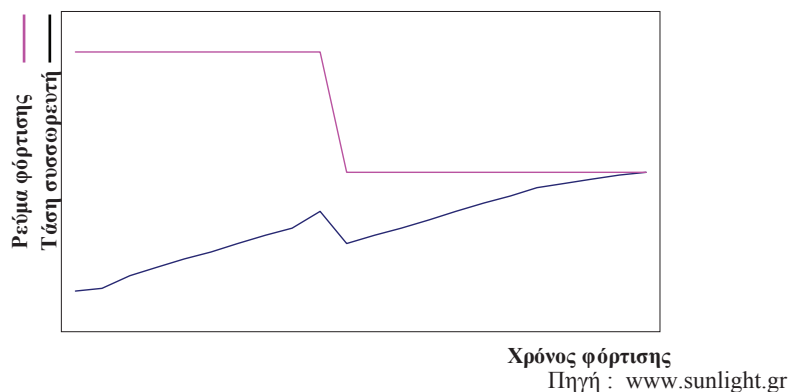
Οι μέθοδοι φόρτισης μπορούν να διακριθούν σύμφωνα με την τάση της διάταξης και τον τρόπο ρύθμισης του ρεύματος.

- Φόρτιση με σταθερή ένταση ρεύματος.  
Είναι η πιο βασική μέθοδος. Η ένταση του ρεύματος φόρτισης είναι σταθερή, στην τιμή που προκύπτει από τη χωρητικότητα του συσσωρευτή, για συγκεκριμένο ρυθμό εκφόρτισης.
- Φόρτιση με βηματικά μεταβαλλόμενη ένταση ρεύματος.  
Με την μέθοδο αυτή τροφοδοτείται ο συσσωρευτής με αρχική ένταση ρεύματος πενταπλάσια του κανονικού ρεύματος εκφόρτισης, μέχρις ότου η τάση στα άκρα κάθε στοιχείου φθάσει την ονομαστική του τάση και μετά η ένταση πέφτει στο κανονικό ρεύμα εκφόρτισης σχήμα 5.41. Δηλαδή για έναν συσσωρευτή 500Ah με ρυθμό εκφόρτισης 85 ώρες, η φόρτιση ξεκινά με αρχικό ρεύμα φόρτισης 29.5A και συνεχίζεται με 5.9 όταν η τάση στα άκρα κάθε στοιχείου φθάσει την ονομαστική τάση.

$$500\text{Ah} \div 85\text{h} = 5.9\text{A}$$

$$5.9\text{A} \cdot 5 = 29.5\text{A}$$

Η μέθοδος αυτή εξοικονομεί χρόνο αλλά πρέπει οπωσδήποτε να γίνει η μείωση της έντασης του ρεύματος αλλιώς θα αναπτυχθεί υψηλή καταστρεπτική θερμοκρασία στον ηλεκτρολύτη.



Σχήμα 5.41. Φόρτιση ενός συσσωρευτή με βηματικά μεταβαλλόμενο ρεύμα

- Φόρτιση με σταθερή τάση  
Χρησιμοποιείται φορτιστής σταθερής τάσης με ικανότητα φόρτισης 2 μέχρι 2.5 Volt ανά στοιχείο (ανάλογα τις απαιτήσεις του στοιχείου). Πλεονεκτεί σαν μέθοδος στο ότι χρειάζεται λιγότερος χρόνος φόρτισης και δεν δημιουργούνται πολλά αέρια που είναι πλεονέκτημα για κλειστούς χώρους. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι δεν μπορούμε εύκολα να καθορίσουμε κατά πόσο η φόρτιση έγινε πλήρης.
- Φόρτιση με ημισταθερή τάση  
Έχει το πλεονέκτημα των μεθόδων φόρτισης με σταθερή τάση και βηματικά μεταβαλλόμενο ρεύμα και αυτό γιατί δεν έχουμε εξαιρετικά υψηλό ρεύμα στην αρχή της φόρτισης, ενώ η φόρτιση τελειώνει με ένα ρεύμα κανονικής έντασης.
- Φόρτιση με σταθερή τάση και σταθερή ένταση ρεύματος.  
Ο συσσωρευτής φορτίζεται με σταθερή ένταση ρεύματος μέχρις ότου στα άκρα κάθε στοιχείου αναπτυχθεί η ονομαστική τάση και μετά η φόρτιση συνεχίζεται με σταθερή τάση.

Κατά τη φόρτιση θα πρέπει να λαμβάνονται τα παρακάτω μέτρα:

- Ο χώρος φόρτισης δεν πρέπει να είναι εκτεθειμένος στον ήλιο, τη βροχή και κοντά σε εστίες θερμότητας.
- Πρέπει να αερίζεται καλά και να μην έχει υγρασία.
- Το δάπεδο πρέπει να είναι από υλικό ανθεκτικό στα οξέα και να μπορεί να ξεπλένεται εύκολα με άφθονο νερό.
- Στο χώρο φόρτισης απαγορεύονται οι φλόγες και οι σπινθήρες.

Κατά τη φόρτιση ενός συσσωρευτή μολύβδου ο οποίος χρησιμοποιεί ως ηλεκτρολύτηθειικό οξύ έχουμε κατά το μεγαλύτερο ποσοστό έκλυση αερίων υδρογόνου και οξυγόνου. Εάν η φόρτιση γίνεται σε κλειστό χώρο τότε θα πρέπει να γίνει υπολογισμός του υδρογόνου το οποίο εκλύεται ώστε να τοποθετηθεί ο κατάλληλος εξαεριστήρας. Τα επιτρεπτά όρια ασφαλείας ορίζουν πως η συγκέντρωση υδρογόνου δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 4% κατά όγκο, για λόγους ασφαλείας όμως η συγκέντρωση δεν θα πρέπει να υπερβεί το 1-2%. Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου συστήματος εξαερισμού ακολουθείται η παρακάτω μέθοδος.

Κατά τη διάσπαση  $1 \text{ cm}^3$  νερού παράγονται 1.8 λίτρα αερίων σε αναλογία 2/3 υδρογόνο και 1/3 οξυγόνο. Για φόρτιση 1Ah διασπώνται  $0.366 \text{ cm}^3$  νερού και παράγονται 0.45 λίτρα υδρογόνου.

Επομένως ο όγκος υδρογόνου  $V_B$  ανά ώρα που παράγει ένας συσσωρευτής με ηλεκτρολύτη θειϊκό οξύ είναι:

$$V_B = \text{αριθμός κυψελών} \cdot \text{ρεύμα που δαπανάται (A)} \cdot 0.00045 \text{ (m}^3\text{)}$$

Ο όγκος υδρογόνου που προκύπτει από το πιο πάνω υπολογισμό μπορεί να εκφρασθεί ως ποσοστό του ολικού όγκου του χώρου φόρτισης και μέσω αυτού να προκύψει ο ρυθμός ανανέωσης του αέρα στο χώρο ώστε να διατηρηθεί η συγκέντρωση κάτω από ένα όριο.

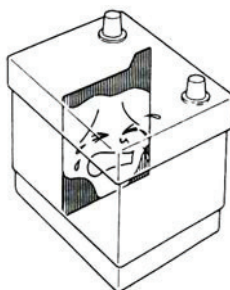
#### ▪ **Θειϊκωση των πλακών.**

Αν ένας συσσωρευτής μολύβδου – ηλεκτρολύτη θειϊκού οξέος:

- αποφορτιστεί τελείως και μείνει σε αυτή την κατάσταση για μερικές ημέρες
- μείνει με πολύ μικρή φόρτιση για μεγάλο χρονικό διάστημα
- εκφορτιστεί σε μικρό χρονικό διάστημα, λόγω ζήτησης μεγάλης έντασης ρεύματος
- ή η στάθμη του ηλεκτρολύτη κατέβει αφήνοντας τις πλάκες εκτεθειμένες στον αέρα

τότε ο συσσωρευτής παθαίνει μια ανεπανόρθωτη βλάβη που λέγεται θειϊκωση των πλακών.

Ο θειούχος μολύβδος που εναποτίθεται στα ηλεκτρόδια κατά τη διάρκεια της εκφόρτισης ενώνεται με το νερό του ηλεκτρολύτη και σχηματίζεται μια λευκή κρυσταλλική ένωση η οποία απομονώνει το ηλεκτρόδιο από τον ηλεκτρολύτη, φαινόμενο γνωστό σαν πόλωση. Όσο περισσότερο καιρό εκτίθεται το ηλεκτρόδιο σ' αυτή την κατάσταση, τόσο επεκτείνεται το στρώμα αυτό καταστρέφοντας τελείως τις πλάκες του συσσωρευτή.



Η θειϊκωση μπορεί να διακριθεί σε φυσιολογική και πρόωρη. Η φυσιολογική θειϊκωση εμφανίζεται μετά από μεγάλο αριθμό κύκλων φόρτισης λόγω γήρανσης των πλακών. Η πρόωρη θειϊκωση εμφανίζεται για λόγους οι οποίοι προαναφέρθηκαν. Σε ορισμένες περιπτώσεις όπου η κρυσταλλική ένωση έχει περιοριστεί μόνο επιφανειακά στις πλάκες μπορεί να αντιμετωπισθεί με ξέπλυμα των πλακών με νερό και αργή φόρτιση (1/2 ή 1/4 του κανονικού ρεύματος φόρτισης).

### ▪ Υπερφόρτιση.

Αποτέλεσμα μιας φόρτιση πέρα από τα επιτρεπτά όρια ενός συσσωρευτή οξέος είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του οξέος και η αύξηση της διαβρωτικής του ικανότητας, κάτι που ισοδυναμεί με αυξημένη περιεκτικότητα του ηλεκτρολύτη σε θειϊκό οξύ. Σε μια τέτοια περίπτωση το ενεργό υλικό των πλακών μαλακώνει και πέφτει σε βαθμό που να προσβάλλεται από το οξύ και η ίδια η σχάρα της πλάκας.



### ▪ Χαρακτηριστικά μεγέθη βάση των οποίων γίνεται η επιλογή ενός συσσωρευτή.

Τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν έναν συσσωρευτή είναι τα ακόλουθα:

- Η τάση στα άκρα του.  
Αυτή εξαρτάται από τον αριθμό και τη σειρά σύνδεσης των στοιχείων. Εάν τα στοιχεία είναι συνδεδεμένα σε σειρά τότε η τάση που θα πάρουμε στα άκρα του συσσωρευτή είναι το άθροισμα της τάσης των επιμέρους στοιχείων ενώ αν τα στοιχεία είναι συνδεδεμένα παράλληλα η τάση θα είναι ίση με την τάση του ενός στοιχείου.
- Η χωρητικότητα του σε Ah.  
Η χωρητικότητα ενός συσσωρευτή εξαρτάται από την επιφάνεια των πλακών που βρίσκεται σε επαφή με τον ηλεκτρολύτη. Αυτό σημαίνει ότι όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια της πλάκας και όσο μεγαλύτερος ο αριθμός των πλακών που συνδέονται παράλληλα τόσο μεγαλύτερη η χωρητικότητα που παρουσιάζεται. Η χωρητικότητα εξαρτάται επίσης και από το πάχος των πλακών, όμως δεν αυξάνει αναλογικά γιατί ο ρυθμός αντίδρασης του ενεργού υλικού μειώνεται με το βάθος.
- Το μέγιστο ρεύμα εκφόρτισης.  
Το ρεύμα ενός συσσωρευτή εξαρτάται από τη χωρητικότητα του και από την ποιότητα και ποσότητα του ηλεκτρολύτη. Το μέγεθος αυτό εκφράζεται με διάφορους τρόπους, όπως ρεύμα εκφόρτισης σε ώρες ή ρεύμα εκφόρτισης στους  $-18^{\circ}\text{C}$ . Το ρεύμα εκφόρτισης σε ορισμένο χρονικό διάστημα εκφρασμένο σε ώρες αντιπροσωπεύει το ρεύμα που μπορεί να δώσει ένας συσσωρευτής για αυτό το χρονικό διάστημα χωρίς να πέσει η τάση των στοιχείων του κάτω από μια κατώτερη οριακή τιμή τάσης. Το ρεύμα εκφόρτισης στους  $-18^{\circ}\text{C}$  εκφράζει την ικανότητα παροχής ρεύματος της αναγραφόμενης τιμής σε περιβάλλον θερμοκρασίας  $-18^{\circ}\text{C}$ , για χρονικό διάστημα εκφρασμένο σε λεπτά, χωρίς η τάση στα άκρα του κάθε στοιχείου να πέσει κάτω από μια κατώτερη οριακή τιμή.

- Ο βαθμός απόδοσης.  
Εκφράζει την αναμενόμενη ένταση ρεύματος που θα έχουμε από έναν συσσωρευτή για συγκεκριμένη ένταση ρεύματος και εκφράζεται απ' τη σχέση:

$$Q = \frac{t}{t_z} \cdot Q_n$$

όπου Q η αναμενόμενη χωρητικότητα στους 25°C του συσσωρευτή σε Ah  
Q<sub>n</sub> η ένταση του ρεύματος που θέλουμε να απορροφήσουμε για χρόνο t σε λεπτά.  
t<sub>z</sub> ο ρυθμός εκφόρτισης του συσσωρευτή σε λεπτά.

Από την παραπάνω σχέση διαπιστώνουμε ότι όσο μειώνεται ο χρόνος και αυξάνεται η ζήτηση σε ρεύμα τόσο η χωρητικότητα του συσσωρευτή μειώνεται. Αυτό συμβαίνει γιατί σε σύντομο χρονικό διάστημα οι χημικές αντιδράσεις γίνονται μόνο επιφανειακά στις πλάκες. Η περαιτέρω μείωση της χωρητικότητας λόγω αύξησης ή μείωσης της θερμοκρασίας πέρα από τους 25°C επηρεάζει διαφορετικά κάθε τύπο συσσωρευτή και θα πρέπει να ελεγχθούν οι χαρακτηριστικές καμπύλες της θερμοκρασίας – χωρητικότητας. Έτσι ένας συσσωρευτής 600Ah με κανονικό χρόνο εκφόρτισης 7h όταν ζητηθεί να δώσει ρεύμα 800Ah σε χρόνο 200min στους 25°C θα αποδώσει μόνο 381Ah.

- Ο χρόνο ζωής και η συντήρηση.  
Ο χρόνος ζωής ενός συσσωρευτή δίνεται από τον κατασκευαστή των στοιχείων σε κύκλους φόρτισης, σε χιλιάδες ώρες λειτουργίας ή σε χρόνια λειτουργίας. Συνηθέστερη είναι η πρώτη περίπτωση. Για να επιτύχουμε τη μέγιστη δυνατή διάρκεια ζωής θα πρέπει να ακολουθούμε τις οδηγίες συντήρησης, εκτός και ο συσσωρευτής ανήκει στην κατηγορία όπου δεν απαιτείται συντήρηση και να μην προκαλούμε άσκοπες ηλεκτρικές καταπονήσεις όπως στιγμιαία ζήτηση ρεύματος μεγαλύτερη των προδιαγραφών του.
- Η δυνατότητα ταχείας επαναφόρτισης.  
Σε πολλές περιπτώσεις είναι απαραίτητο η φόρτιση του συσσωρευτή να γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα, χωρίς όμως αυτό να προξενεί ιδιαίτερα προβλήματα και βλάβες στα στοιχεία λόγω της αυξημένης τάσης και έντασης του ρεύματος φόρτισης. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν εγκαταστάσεις ανεμοκινητήρων σε περιοχές με χαμηλό αιολικό δυναμικό, που όταν όμως εμφανιστεί πρέπει να δεσμευτεί σύντομα υπό μορφή χημικής ενέργειας σε συσσωρευτές.
- Ο ρυθμός αυτοεκφόρτισης.  
Το χαρακτηριστικό αυτό θα πρέπει να ελέγχεται όταν τα στοιχεία μένουν για αρκετό χρονικό διάστημα χωρίς να χρησιμοποιούνται. Ιδιαίτερα όταν δεν γίνεται πλήρης φόρτιση και απαιτείται να μείνουν για μεγάλο χρονικό διάστημα αχρησιμοποίητα χωρίς να έχουμε επιβλαβείς επιπτώσεις στις πλάκες. Ένας καλός συσσωρευτής δεν πρέπει να χάνει περισσότερο του 2% της χωρητικότητας ανά μήνα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C.
- Η περικλειόμενη ενέργεια ανά μονάδα βάρους και όγκου.



Σε πολλές εφαρμογές παίζει σημαντικό ρόλο το βάρος και ο όγκος των στοιχείων σε συνάρτηση με την περικλειώμενη ενέργεια. Για χρήση σε ανεμοκινήτες δεν λαμβάνεται σοβαρά υπόψη.

- Η έκλυση επιβλαβών για τον άνθρωπο αερίων.  
Το αέριο που εκλύεται συνήθως από έναν συσσωρευτή και μπορεί να γίνει επικίνδυνο και επιβλαβές για τον άνθρωπο σε μεγάλες συγκεντρώσεις είναι το υδρογόνο. Τέτοιου είδους προβλήματα πιθανόν να δημιουργηθούν σε μικρούς κλειστούς χώρους κατά την φάση της φόρτισης.
- Το κόστος αγοράς και συντήρησης.  
Είναι από τα βασικότερα στοιχεία που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη σε συνάρτηση πάντα με την χωρητικότητα και τον μέγιστο χρόνο ζωής των στοιχείων, ώστε να καταλήξουμε στην βέλτιστη επιλογή.
- **Διάφορα είδη συσσωρευτών που κυκλοφορούν στο εμπόριο για χρήση σε Α.Π.Ε.**

Στο εμπόριο διατίθενται διάφοροι τύποι συσσωρευτών ανάλογα τις απαιτήσεις, τις ανάγκες κάθε εγκατάστασης, το χρόνο ζωής αλλά και το κόστος αγοράς. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι συσσωρευτών για χρήση σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι οι συσσωρευτές μολύβδου με διάφορους τύπους ηλεκτρολύτη.

- Συσσωρευτές μολύβδου με ηλεκτρολύτη με ηλεκτρολύτη θειικό οξύ. Είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος συσσωρευτή λόγω του χαμηλού κόστους κατασκευής και συντήρησης. Οι θετικές του πλάκες αποτελούνται από υπεροξείδιο του μολύβδου ενώ οι αρνητικές από μόλυβδο σε σπογγώδη μορφή για αύξηση της επιφάνειας επαφής με τον ηλεκτρολύτη. Ως ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται θειικό οξύ διαλυμένο σε νερό.

Σε συσσωρευτές μεγάλου μεγέθους τοποθετείται σύστημα ανάδευσης του ηλεκτρολύτη, ώστε να μην απαραίτητη η επαναφόρτιση των συσσωρευτών για την αποφυγή του φαινομένου διαστρωμάτωσης αφού μειώνεται η διάβρωση των στοιχείων, επιτυγχάνοντας έτσι μεγαλύτερο αριθμό κύκλων φόρτισης / εκφόρτισης του συσσωρευτή, με αποτέλεσμα την αύξηση της διάρκειας ζωής του.

Πλεονεκτήματα συστήματος ανάδευσης ηλεκτρολύτη θειικού οξέος:

- Μικρότερη διάρκεια του κύκλου φόρτισης του συσσωρευτή.
- Χαμηλότερη θερμοκρασία κατά την διάρκεια του κύκλου φόρτισης του συσσωρευτή.
- Χαμηλότερη κατανάλωση νερού μέχρι και 75%.
- Χαμηλότερο κόστος κατανάλωσης ενέργειας μέχρι και 15% κατά την διάρκεια του κύκλου φόρτισης, δεδομένης της μείωσης του συντελεστή φόρτισης.
- Η τεχνολογία συσσωρευτών gel αφορά ηλεκτροχημικό σύστημα τύπου gel, δηλαδή  $Pb-H_2SO_4$  της οικογένειας των συσσωρευτών μολύβδου. Σε αυτή την τεχνολογία συνδυάζονται θετικές πλάκες διοξειδίου του μολύβδου  $PbO_2$ , αρνητικές πλάκες μολύβδου  $Pb$  και ηλεκτρολύτης gel.  
Οι συσσωρευτές τύπου Gel παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:
  - Ικανότητα εκφόρτισης σε μεγάλο βαθμό εντός μικρού χρονικού διαστήματος.

- Απόδοση ανεξάρτητη με την θέση - κλίση της εφαρμογής (κλίση έως και 180°).
  - Καμία απαίτηση συντήρησης κατά τη διάρκεια ζωής του συσσωρευτή.
  - Καμία διάβρωση λόγω σφράγισης του συσσωρευτή.
  - Πολύ χαμηλή έκλυση αερίων, κανένας κίνδυνος έκρηξης.
  - Μεγάλη διάρκεια ζωής.
  - Μεγάλη διάρκεια ζωής σε αποθήκευση.
  - Ανθεκτική σε δονήσεις και κρούσεις.
  - Ασφαλής για το περιβάλλον με ποσοστό ανακύκλωσης 96%
- Οι συσσωρευτές λιθίου χρησιμοποιούν λίθιο στην άνοδο, ενώ ο τύπος του συσσωρευτή λιθίου καθορίζεται από το υλικό του θετικού ηλεκτροδίου (κάθοδος). Οι πιο κοινοί τύποι συσσωρευτών λιθίου είναι τεχνολογίας λιθίου διοξειδίου του θείου (LiSO<sub>2</sub>) και λιθίου διοξειδίου του μαγγανίου (LiMnO<sub>2</sub>). Ο συσσωρευτής αποτελείται από άνοδο λιθίου, κάθοδο διοξειδίου του θείου, ενώ για ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται ασετονιτρίλη και βρωμιούχο λίθιο. Ο συσσωρευτής λιθίου διοξειδίου του μαγγανίου (LiMnO<sub>2</sub>) αποτελείται από άνοδο λιθίου και κάθοδο διοξειδίου του μαγγανίου, ενώ για ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται προπυλένιο άνθρακας / διμεθοξυεθάνιο.
- Το λίθιο επιδεικνύει εξαιρετικά ηλεκτροχημικά χαρακτηριστικά και έτσι οι συσσωρευτές λιθίου παρουσιάζουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:
- Μεγάλη διάρκεια αποθήκευσης.
  - Καλή συμπεριφορά σε χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες.
  - Υψηλή ενέργεια ανά πυκνότητα μάζας.
  - Υψηλό βολτάζ.
- Οι συσσωρευτές νικελίου καδμίου συναντώνται σε τεχνολογία pocket: θετική πλάκα rocket / αρνητική πλάκα rocket. Διάτρητες λωρίδες χάλυβα σχηματίζουν θυλάκια περιλαμβάνοντας στο ενδιάμεσο την ενεργή ύλη των πλακών (το νικέλιο στη θετική πλάκα και το κάδμιο στην αρνητική πλάκα). Λόγω της δομής των πλακών, τα προϊόντα τεχνολογίας rocket εμφανίζουν όλα τα βασικά πλεονεκτήματα των συσσωρευτών νικελίου-καδμίου. Σε τεχνολογία sintered / splastic bonded (θετική πλάκα sintered / αρνητική Pbe). Η ιδιαίτερη δομή των πλακών (θετική πλάκα sintered / αρνητική plastic bonded) προσφέρει πλεονεκτήματα όπως μεγαλύτερη ισχύ, μικρότερο βάρος και όγκο, άριστη απόδοση στους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης σε όλη τη διάρκεια ζωής της καθώς και σε ακραίες θερμοκρασίες.
- Οι συσσωρευτές νικελίου καδμίου παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:
- Δεν υπάρχει κίνδυνος ξαφνικού βραχυκυκλώματος.
  - Δυνατότητα ταχείας επαναφόρτισης.
  - Μεγάλη διάρκεια ζωής.
  - Δυνατότητα παρατεταμένης αποθήκευσης.
  - Ελάχιστη και εύκολη συντήρηση.
  - Λειτουργία σε ευρύ φάσμα θερμοκρασιών.
  - Αντοχή στις μηχανικές και ηλεκτρικές καταπονήσεις.
  - Δεν προκαλούνται προβλήματα ατμών ή διάβρωσης.
  - Είναι ανακυκλώσιμοι σε ποσοστό μεγαλύτερο του 99%.

- Ο συσσωρευτής Valve Regulated Lead Acid (VRLA) ανήκει στην οικογένεια των συσσωρευτών μολύβδου και είναι ένα επαναφορτιζόμενο είδος συσσωρευτή (δευτερογενές) με βαλβίδα ασφαλείας, που εκτονώνει την εσωτερική πίεση όταν παραστεί ανάγκη. Οι συσσωρευτές αυτοί δεν έχουν κόστος συντήρησης καθώς δεν χρειάζεται να συμπληρωθεί ηλεκτρολύτης καθόλη τη διάρκεια του χρόνου ζωής του. Το υλικό Absorbent Glass Mat (AGM) είναι διαχωριστής πορώδους μικροίνας, που πετυχαίνει τη μεγιστοποίηση της αυτοδιάχυσης του οξυγόνου ώστε να συναντηθεί και να ανασυγκροτηθεί στην αρνητική πλάκα. Το χαμηλό ηλεκτρικό ρεύμα φόρτισης του συσσωρευτή μειώνει το ρυθμό διάβρωσης του θετικού δικτύου και επιμηκύνει τη ζωή του συσσωρευτή.

Οι συσσωρευτές AGM παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Υψηλή απόδοση λόγω χαμηλής εσωτερικής αντίστασης.
- Δεν απαιτούν συντήρηση.
- Ασφάλεια από διαρροές και αέρια σε διάφορες θέσεις λειτουργίας.
- Λειτουργία σε μια ευρεία κλίμακα θερμοκρασιών.
- Έχουν χαμηλό ρυθμός αυτοεκφόρτισης.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής έως και 15 χρόνια.

- Η τεχνολογία χλωριούχου ψευδαργύρου (Zinc Chloride) χρησιμοποιεί ψευδάργυρο (Zn) ως άνοδο, διοξείδιο του μαγγανίου ( $MnO_2$ ) ως κάθοδο και χλωριούχο ψευδάργυρο ( $ZnCl_2$ ) διαλυμένο σε νερό ως ηλεκτρολύτη. Επίσης στο μίγμα της καθόδου χρησιμοποιείται άνθρακας με την μορφή αιθάλης (carbon black), για την βελτίωση της αγωγιμότητας και την διατήρηση της υγρασίας.

Οι συσσωρευτές χλωριούχου ψευδαργύρου παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Τα στοιχεία που παράγονται με την τεχνολογία χλωριούχου ψευδαργύρου έχουν χαμηλή εσωτερική αντίσταση.
- Έχουν πολύ καλή απόδοση, ειδικά σε χαμηλές θερμοκρασίες.
- Έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής.

Όσον αφορά την σύγκριση της τεχνολογίας χλωριούχου ψευδαργύρου με την τεχνολογία των αλκαλικών στοιχείων, τα στοιχεία της τεχνολογίας χλωριούχου ψευδαργύρου:

- Έχουν λιγότερο βάρος από τα αντίστοιχα αλκαλικά.
- Έχουν μεγαλύτερη τάση ανοικτού κυκλώματος (O.C.V.)
- Είναι πολύ πιο φθηνά από τα αλκαλικά.
- Όμως η διάρκεια ζωής τους είναι μικρότερη.

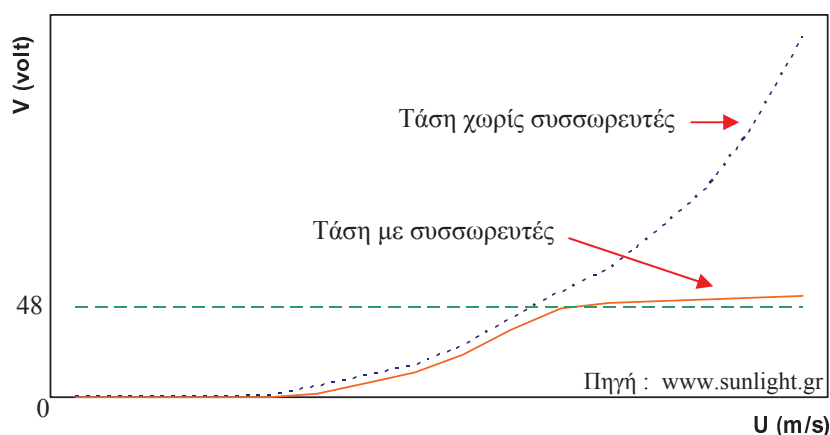
- Η τεχνολογία αλκαλικών συσσωρευτών είναι ευρέως διαδεδομένη. Σε αυτό τον τύπο συσσωρευτών χρησιμοποιείται διοξείδιο του μαγγανίου ως ενεργό υλικό στην κάθοδο και σκόνη ψευδαργύρου ως ενεργό υλικό στην άνοδο, ενώ σαν ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται αλκαλικό διάλυμα. Σε άλλους τύπους αλκαλικών συσσωρευτών χρησιμοποιείται στις θετικές πλάκες υπεροξείδιο του νικελίου, υπεροξείδιο του σιδήρου ή καδμίου και ηλεκτρολύτης από διάλυμα καυστικού καλίου.

Οι αλκαλικοί συσσωρευτές παράγονται ευρέως, όπως και χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος εμπορικών εφαρμογών λόγω των παρακάτω πλεονεκτημάτων:

- Υψηλή απόδοση, ειδικά σε εφαρμογές μεγάλης ζήτησης ενέργειας.
- Μεγάλη μηχανική και ηλεκτρική αντοχή.

- Δεν αυτοεκφορτίζονται.
  - Κανένας κίνδυνος διαρροής.
  - Μεγάλη διάρκεια ζωής.
- **Συσσωρευτές ως ρυθμιστές και σταθεροποιητές τάσης σε εγκαταστάσεις ανεμοκινητήρων.**

Οι συστοιχίες συσσωρευτών εκτός από το βασικό στόχο της αποθήκευσης εξυπηρετούν και άλλους σκοπούς. Ο πρώτος από αυτούς αναφέρεται στη λειτουργία της συστοιχίας σαν σταθερό φορτίο περιορίζοντας έτσι τις στροφές του ανεμοκινητήρα σε μια περιοχή κοντά στην ονομαστική ταχύτητα περιστροφής. Κατά δεύτερο λόγο η λειτουργία των συσσωρευτών επιτρέπει την παροχή ενέργειας από τον ανεμοκινητήρα μόνο όταν αυτή φθάσει την ονομαστική τάση λειτουργίας της. Συμπεριφέρεται, δηλαδή, κατά κάποιο τρόπο σαν ρυθμιστής τάσης, πράγμα απαραίτητο προκειμένου να τροφοδοτηθούν καταναλωτές που απαιτούν σε περιορισμένα όρια σταθερή τάση. Στο σχήμα 5.42 φαίνεται με εστιγμένη γραμμή η τάση ενός ανεμοκινητήρα, σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου, χωρίς τη συστοιχία των συσσωρευτών και με συνεχή γραμμή φαίνεται η τάση αλλά με ενεργό σύνδεση των συσσωρευτών. Η συστοιχία των συσσωρευτών εισάγει όπως και τα υπόλοιπα συστήματα ένα βαθμό απόδοσης που εξαρτάται από τον τύπο του συσσωρευτή και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται.



Σχήμα 5.42. Σχέση της τάσης εξόδου με και χωρίς τους συσσωρευτές, συναρτήσει της ταχύτητας του ανέμου.

### 5.6.4.3 Αποθήκευση σε στοιχεία μεγάλης θερμοχωρητικότητας.

Ένας άλλος τρόπος αποθήκευσης ενέργειας είναι η μετατροπή της ηλεκτρικής σε θερμική μέσω ωμικών αντιστάσεων και η θέρμανση στοιχείων μεγάλης θερμοχωρητικότητας όπως ορισμένοι τύποι κρυσταλλικών νιτρικών αλάτων, που τυγχάνουν ευρείας εφαρμογής λόγω της αυξημένης θερμοχωρητικότητας που παρουσιάζουν, καθώς και παραφίνες μεγάλου ιξώδους.

Τα στοιχεία αυτά αφού θερμανθούν μπορούν να μείνουν αποθηκευμένα μέσα σε θερμομονωμένα δοχεία και όταν υπάρχει ζήτηση θερμικής ενέργειας να είναι διαθέσιμα προς εκμετάλλευση. Το μεγάλο μειονέκτημα που παρουσιάζεται είναι ότι

το θερμικό περιεχόμενων των στοιχείων αυτών ελαττώνεται σταδιακά μέσα σε λίγες ώρες ακόμα και αν δεν χρησιμοποιηθεί [7,8,15,18,29,31,26,44].

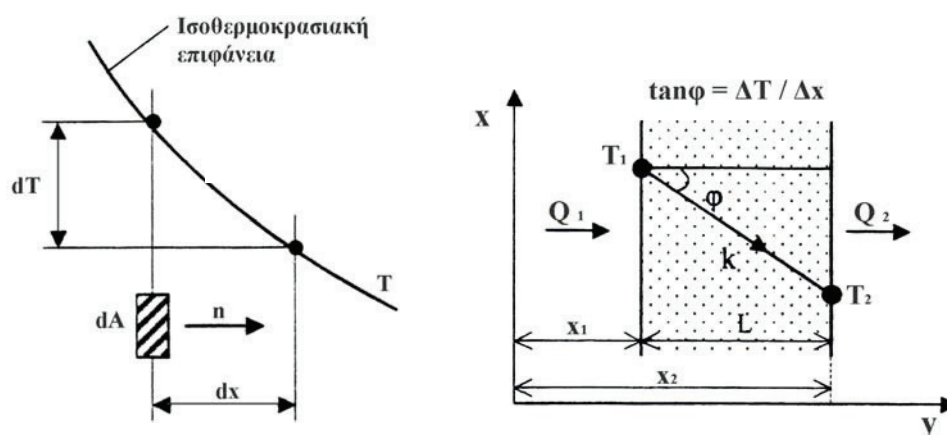
▪ **Απώλειες της αποθηκευμένης θερμότητας και εναλλάκτες.**

Ο ρυθμός με τον οποίο ελαττώνεται η θερμοκρασία των στοιχείων εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τη θερμομόνωση του δοχείου, εάν δεν υπάρξει απώλεια θερμότητας λόγω εξωτερικής κατανάλωσης.

Η ροή θερμότητας γίνεται ταυτόχρονα με τρεις τρόπους από το εσωτερικό του θερμομονωμένου δοχείου προς το εξωτερικό περιβάλλον και δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

- Μετάδοση θερμότητας με αγωγή:
  1. Για ροή θερμότητας κάθετη προς την εξεταζόμενη επίπεδη επιφάνεια

$$\dot{Q} = k \cdot A \cdot \frac{dT}{dX}$$



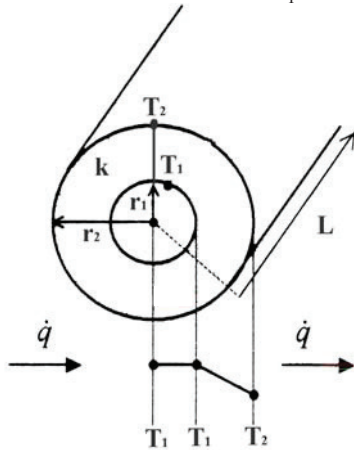
Πηγή : New Renewable Energy Resources - World Energy Council – 1994.

όπου:  $\dot{Q}$  = ρυθμός μετάδοσης θερμότητας Kcal / h  
 $k$  = θερμική αγωγιμότητα σε Kcal / m · h · °C  
 $A$  = επιφάνεια επαφής σε m<sup>2</sup>  
 $dT / dX$  = ρυθμός μεταβολής της θερμοκρασίας  $T$  (°C) ως προς το πάχος  $X$  ή  $L$  (m) του υλικού

2. Για ροή θερμότητας σε κοίλο κύλινδρο (η κυλινδρική επιφάνεια αποτελείται από ένα υλικό).

$$\dot{Q} = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot L \cdot \frac{T_1 - T_2}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$$

όπου:  $L$  = το μήκος του κυλίνδρου (αγωγού)  
 $r_1$  = εσωτερική ακτίνα του κυλίνδρου σε m  
 $r_2$  = εξωτερική ακτίνα του κυλίνδρου σε m  
 $T_1$  = θερμοκρασία στην εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου °C  
 $T_2$  = θερμοκρασία στην εξωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου °C

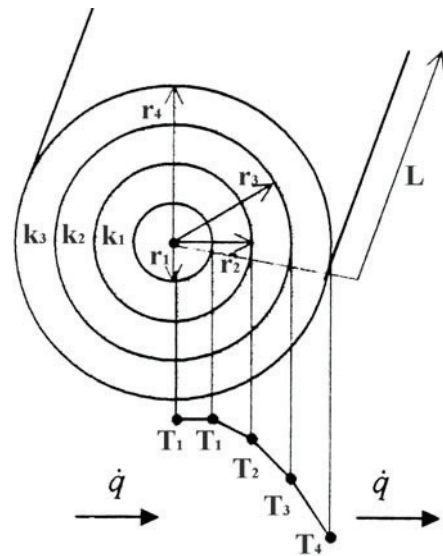


Πηγή : New Renewable Energy Resources - World Energy Council - 1994.

3. Για ροή θερμότητας σε κοίλο κύλινδρο (η κυλινδρική επιφάνεια αποτελείται εξωτερικά από διαφορετικές στρώσεις υλικών).

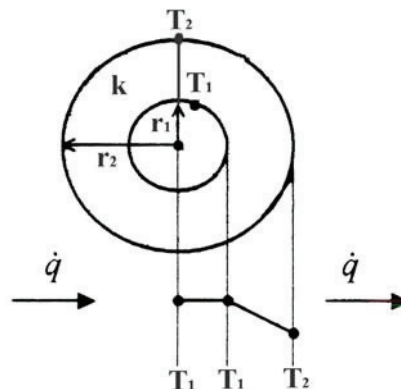
$$\dot{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_1 - T_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}}$$

όπου:  $n$  = ο αριθμός στρωμάτων των υλικών



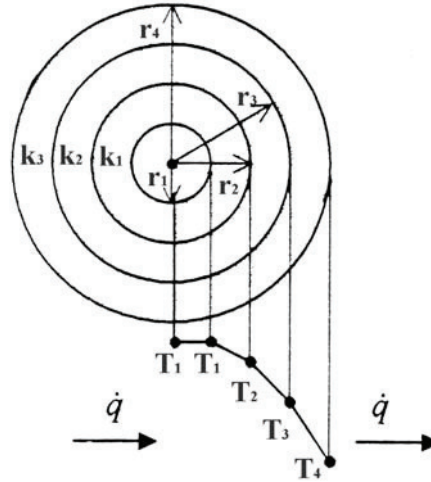
4. Για ροή θερμότητας σε κοίλη σφαίρα (η επιφάνεια αποτελείται από ένα υλικό).

$$\dot{Q} = 4 \cdot \pi \cdot k \cdot \frac{T_1 - T_2}{\frac{r_2 - r_1}{r_1 \cdot r_2}}$$



5. Για ροή θερμότητας σε κοίλη σφαίρα (η επιφάνεια αποτελείται από διαφορετικές στρώσεις υλικών).

$$\dot{Q} = \frac{4 \cdot \pi \cdot (T_1 - T_{n+1})}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \frac{r_{i+1} - r_i}{r_i \cdot r_{i+1}}}$$



- Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή:

1. Όταν η επιφάνεια αποτελείται από ένα υλικό:

$$\dot{Q} = h \cdot A \cdot \Delta T \Leftrightarrow \dot{Q} = h \cdot A \cdot (T_f - T_w)$$

$$\text{ή } \dot{Q} = E \cdot I$$

όπου:  $h$  = συντελεστής συναγωγιμότητας που εξαρτάται από α) τις φυσικές ιδιότητες του ρευστού και β) τις συνθήκες ροής του ρευστού σε  $\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$

$T_w$  = η θερμοκρασία επιφάνειας σε  $^\circ\text{C}$

$T_f$  = η θερμοκρασία του ρευστού σε  $^\circ\text{C}$

$E$  = η τάση ρεύματος που διαρρέει ένα ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό σε  $\text{V}$

$I$  = η ένταση ρεύματος που διαρρέει ένα ηλεκτρικά αγώγιμο υλικό σε  $\text{A}$

2. Όταν η επιφάνεια αποτελείται από διάφορες στρώσεις υλικών:

$$\dot{Q} = \left( \frac{1}{h_{\text{IN}}} + \frac{x_1}{k_1} + \dots + \frac{x_n}{k_n} \right)^{-1} \cdot A \cdot \Delta T$$

Ο συντελεστής συναγωγιμότητας  $h$  ή η επιφάνεια  $A$  πολλές φορές προκύπτει μέσα από την επίλυση αδιάστατων όπως:

1. Reynolds  $\text{Re} = \frac{\bar{u} \cdot D}{\mu}$  για αγωγό,  $\text{Re} = \frac{u_\infty \cdot l}{\mu}$  για επίπεδη επιφάνεια.
2. Nusselt  $\text{Nu} = \frac{h \cdot D}{k}$  για αγωγό,  $\text{Nu} = \frac{h \cdot l}{k}$  για επίπεδη επιφάνεια.
3. Prandtl  $\text{Pr} = \frac{c \cdot \mu}{k}$

όπου:  $\bar{u}$  = η μέση ταχύτητα ροής του ρευστού μέσα σε αγωγό σε m/s  
 $\mu$  = το κινηματικό ιξώδες του ρευστού σε kg/m·s  
 $c$  = η ειδική θερμότητα σε J/kg · °C  
 $l$  = μήκος του αγωγού σε m  
 $D$  = διάμετρος του αγωγού σε m

Η επιφάνεια  $A$  σε  $m^2$  είναι:

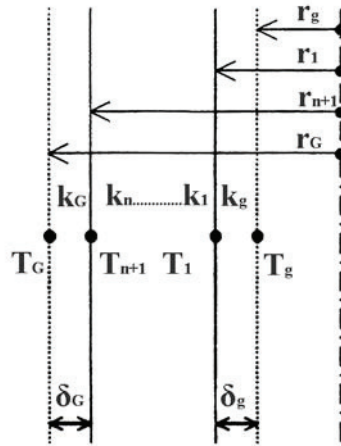
1. Για επίπεδη:  $A = l \cdot z$
2. Για κυλινδρική:  $A = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot r$
3. Για σφαιρική:  $A = 4 \cdot \pi \cdot r^2$

Επίσης για ροή θερμότητας α) σε ομόκεντρους κυλίνδρους και β) σε ομόκεντρες σφαίρες με ύπαρξη ρευστών ροής ρευστών ισχύει ότι:

α)

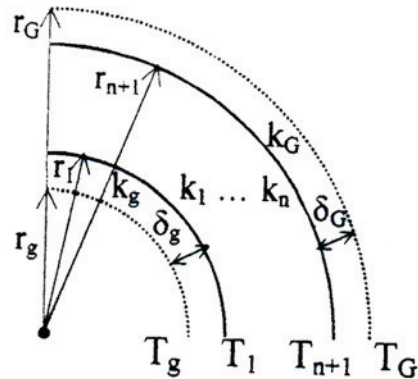
$$\dot{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_g - T_G)}{\frac{1}{r_g \cdot h_g} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \frac{r_{i+1}}{r_i} + \frac{1}{r_G \cdot h_G}}$$

όπου:  $T_g$  = η θερμοκρασία του ρευστού εσωτερικά του αγωγού  
 $T_G$  = η θερμοκρασία του ρευστού εξωτερικά του αγωγού



β)

$$\dot{Q} = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_g - T_G)}{\frac{1}{r_g^2 \cdot h_g} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} \frac{r_{i+1} - r_i}{r_i \cdot r_{i+1}} + \frac{1}{r_G^2 \cdot h_G}}$$



- Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία:

$$\dot{Q} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot A \cdot \Delta T^4$$

όπου:  $\sigma$  = σταθερά Boltzman

$\varepsilon$  = συντελεστής ποιότητας επιφανείας που εξαρτάται από α) την ανακλαστικότητα και β) τον συντελεστή εκπομπής

Από τις παραπάνω σχέσεις μπορούμε να υπολογίσουμε τον χρόνο που μπορεί να διατηρηθεί το στοιχείο (π.χ. παραφίνη) από μια θερμοκρασία  $T_{max}$  μέχρι να πέσει σε μια θερμοκρασία  $T_{min}$ . Η πτώση της θερμοκρασίας θα οφείλεται αποκλειστικά και μόνο σε απώλειες του δοχείου. Στην περίπτωση που έχουμε άντληση θερμότητας από



το εσωτερικό του δοχείου μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας για τη θέρμανση ενός χώρου, όπως για παράδειγμα τη θέρμανση οικίας, θερμοκηπίου κλπ. ο ρυθμός πτώσης θερμοκρασίας αυξάνεται.

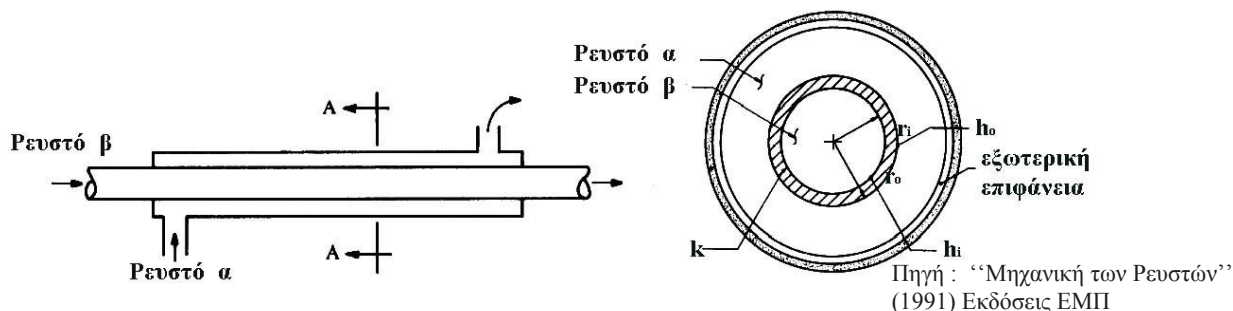
▪ **Εναλλάκτες θερμότητας.**

Ως εναλλάκτης θερμότητας (heat exchangers) ορίζεται μια συσκευή που διευκολύνει την μετάδοση του θερμικού φορτίου από ένα ρευστό σε ένα άλλο και σε γεωργικές εφαρμογές συναντάται σε συστήματα θέρμανσης, ψύξης, κλιματισμού και ξήρανσης.

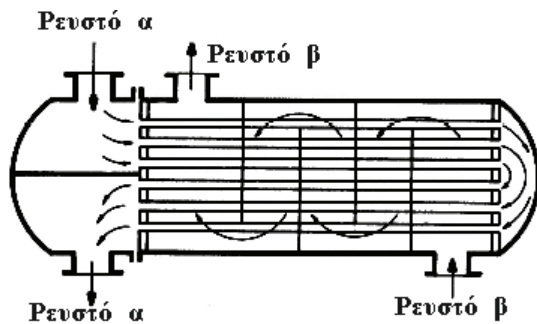
Οι πιο συνηθισμένοι τύποι εναλλακτών είναι αυτοί στους οποίους τα δυο ρευστά δεν έρχονται σε επαφή εξαιτίας της ύπαρξης κάποιου παρεμβαλλόμενου τοιχώματος. Αυτός ο τύπος εναλλάκτη μπορεί να φέρει είτε ένα απλό επίπεδο τοίχωμα, ώστε να επιτυγχάνεται η απομόνωση των δυο ρευστών, είτε πιο πολύπλοκες γεωμετρίες με πολλαπλές διαδρομές, όπως πτερύγια (fins) και ανακλαστήρες (baffles). Σε αυτήν την περίπτωση για την περιγραφή της μεταφοράς ενέργειας χρησιμοποιούνται οι αρχές μετάδοσης της θερμότητας με αγωγή, συναγωγή και σπαιότερα με ακτινοβολία για τις οποίες έγινε αναφορά πιο πάνω. Πολλοί παράγοντες υπεισέρχονται στην επιλογή ενός εναλλάκτη, όπως η θερμική ανάλυση, το μέγεθος, το βάρος, η κατασκευαστική αντοχή, η πτώση πίεσης και το κόστος.

Τα χαρακτηριστικά που θα έχει ο εναλλάκτης, ώστε να αυξηθεί η θερμοκρασία από  $T_1$  σε  $T_2$  ενός χώρου γνωστού όγκου και υλικών κατασκευής (για παράδειγμα ενός θερμοκηπίου γνωστού όγκου κατασκευασμένο από γυαλί συγκεκριμένου πάχους), μπορούν να προκύψουν βάση υπολογισμών. Η περιγραφή ενός εναλλάκτη γίνεται βάση των γεωμετρικών του στοιχείων, τον τρόπο και το υλικό κατασκευής.

Οι εναλλάκτες θερμότητας μπορούν να ταξινομηθούν με βάση την μορφή της ροής των ρευστών ή με βάση τις κατασκευαστικές ιδιαιτερότητες τους. Τυπικοί εναλλάκτες θερμότητας είναι οι πλακοειδείς (plate & frame), αυλών-κελύφους (shell & tube) και οι εναλλάκτες σταυρωτής ροής (crossflow). Την πιο απλή μορφή εναλλάκτη αυλών-κελύφους αποτελεί ο απεικονιζόμενος στο σχήμα 5.43 εναλλάκτης διπλού σωλήνα. Αν και τα δυο ρευστά κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση, έχουμε παράλληλη ροή αυτών, δηλαδή ομοροή (parallel-flow). Αν κινούνται σε αντίθετες κατευθύνσεις η πραγματοποιούμενη διεργασία λαμβάνει τον χαρακτηρισμό της αντιροής (counter-flow). Στο σχήμα 5.44 φαίνεται ένας εναλλάκτης δέσμης σωλήνων με ανακλαστήρες, διπλής διαδρομής, όπου έχουμε συνδυασμό ομοροής, αντιροής και σταυρωτής ροής. Σε εναλλάκτες θερμότητας σταυρωτής ροής τα ρευστά κινούνται κάθετα το ένα ως προς το άλλο.



Σχήμα 5.43. Πλάγια όψη και τομή ενός εναλλάκτη διπλού σωλήνα.



Σχήμα 5.44 Εναλλάκτης δέσμης σωλήνων με ανακλαστήρες (αυλών -κελύφους).

#### ▪ Υπολογισμοί Μετάδοσης Θερμότητας.

Ο στόχος στην θερμική ανάλυση των εναλλακτών θερμότητας είναι ο υπολογισμός της επιφάνειας που χρειάζεται για την μετάδοση θερμότητας με δεδομένο ρυθμό και για δεδομένες θερμοκρασίες και παροχές ρευστών.

$$\dot{Q} = U \cdot A \cdot \Delta T_m$$

$$\text{ή } A = \frac{\dot{Q}}{U \cdot \Delta T_m}$$

όπου:  $\dot{Q}$  = ο ρυθμός μετάδοσης της θερμότητας Kcal / h

$U$  = ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας σε Kcal / m<sup>2</sup>·h·°C

$A$  = η επιφάνεια που είναι κάθετη στην κατεύθυνση της θερμορροής σε m<sup>2</sup>

$\Delta T_m$  = η μέση θερμοκρασιακή διαφορά για ολόκληρο τον εναλλάκτη σε °C

Ο ολικός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (overall heat-transfer coefficient) περιγράφεται από διαφορετικές εξισώσεις, ανάλογα το είδος της επιφάνειας. Στις πλέον συνήθεις περιπτώσεις που συναντώνται ισχύουν οι ακόλουθες σχέσεις, οι οποίες είναι α) για επίπεδα τοιχώματα και β) για κυλινδρικά τοιχώματα.

$$\alpha) \quad U = \frac{1}{1/h_o + L/k + 1/h_i}$$

$$\beta) \quad U_o = \frac{1}{r_o / r_i h_i + [r_o \ln(r_o / r_i)] / k + 1/h_o}$$

όπου  $r$  = η ακτίνα του σωλήνα σε m

$L$  = το πάχος του τοιχώματος σε m

$k$  = η θερμική αγωγιμότητα Kcal / m·h·°C

$h$  = ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας σε Kcal/m<sup>2</sup>·h·°C

Οι δείκτες  $i$  και  $o$  αντιπροσωπεύουν τις εσωτερικές και εξωτερικές επιφάνειες του τοιχώματος αντιστοίχως.

Η μέση θερμοκρασιακή διαφορά υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\Delta T_m = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)}$$

όπου:  $\Delta T_1$  = η θερμοκρασιακή διαφορά του πρώτου ρευστού σε σχέση με το δεύτερο σε °C

$\Delta T_2$  = η θερμοκρασιακή διαφορά του δεύτερου ρευστού σε σχέση με το πρώτο σε °C

- **Υπολογισμός ενέργεια και ισχύος ηλεκτρικών αντιστάσεων που απαιτούνται για την θέρμανση του μέσου αποθήκευσης.**

Η ενέργεια Q (Kwh) που απαιτείται να προσφέρουμε για την αύξηση της θερμοκρασίας μιας μάζας M (Kg) μέσου αποθήκευσης (π.χ. παραφίνης), από  $\theta_1$  (°C) στους  $\theta_2$  (°C), όταν οι απώλειες είναι μηδενικές, δίνεται από τη σχέση:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

όπου: Q = ενέργεια που δίνει ο ηλεκτρικός αντιστάτης σε Kwh

m = μάζα του μέσου αποθήκευσης ενέργειας σε Kg

c = ειδική θερμότητα του μέσου αποθήκευσης σε Kwh / Kg · °C

$\Delta\theta$  = διαφορά τελικής  $\theta_2$  και αρχικής  $\theta_1$  θερμοκρασίας σε °C

Ο υπολογισμός της ισχύος P (Kw) των ηλεκτρικών αντιστάσεων, ώστε να θερμάνουν το μέσο αποθήκευσης από  $\theta_1$  στους  $\theta_2$  σε χρόνο t (h), δίνεται από τη σχέση:

$$P = Q / t$$

Η χρήση ανεμοκινητήρων, μέσων αποθήκευσης θερμικής ενέργειας και εναλλακτών θερμότητας σε αυτόνομες γεωργοκτηνοτροφικές εγκαταστάσεις (σχήμα 5.45) βρίσκει εφαρμογές σε περιοχές με καλό αιολικό δυναμικό, δεδομένου ότι η αποθήκευση της θερμικής ενέργειας είναι προσωρινή, παρέχοντας μικρή αυτονομία.

Σε περιοχές με μέσο ή χαμηλό αιολικό δυναμικό ο σχεδιασμός της όλης εγκατάστασης θα πρέπει να γίνει ώστε να λειτουργεί υβριδικά, εξοικονομώντας ενέργεια μόνο σε περιόδους που έχουμε παραγωγή ενέργειας από τον ανεμοκινητήρα.

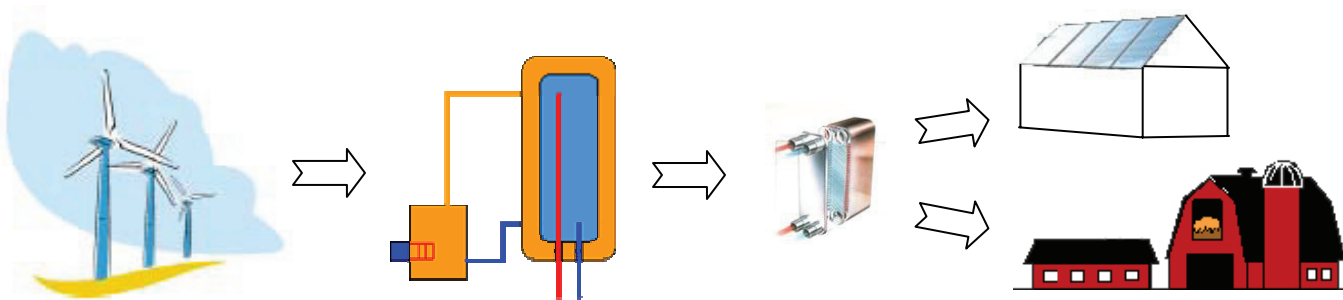
Με την χρήση των μέσων αποθήκευσης θερμότητας και εναλλακτών στην γεωργία μπορούμε να καλύψουμε ανάγκες θέρμανσης, χώρων, νερού και εδάφους σε:

- 1) θερμοκηπιακές εγκαταστάσεις
- 2) κτηνοτροφικές μονάδες
- 3) πτηνοτροφικές μονάδες
- 4) αποθηκευτικούς χώρους
- 5) ξηραντήρια
- 6) αγροκίεες

Παραγωγή ενέργειας

Αποθήκευση

Κατανάλωση



Σχήμα 5.45. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμοκινητήρες, αποθήκευση υπό μορφή θερμικής ενέργειας και κατανάλωση σε θερμοκηπιακές μονάδες και γεωργοκτηνοτροφικές εγκαταστάσεις.

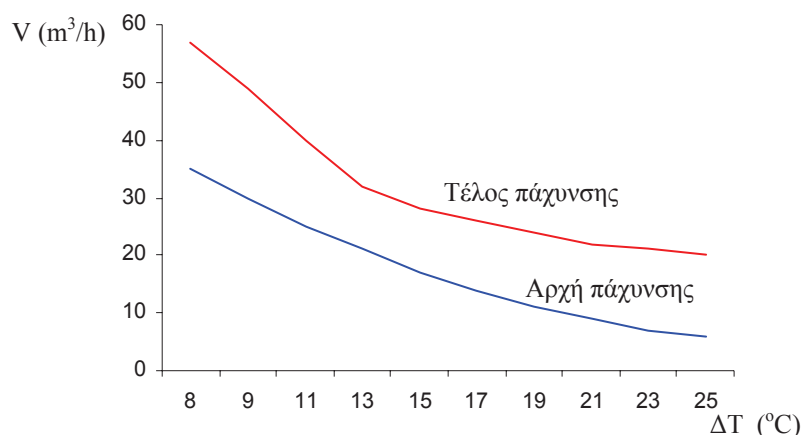
Το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για τη θέρμανση ενός χώρου εκτροφής ζώων δίνεται από τη σχέση:

$$Q = Q_p + Q_v - Q_a$$

- όπου:  $Q$  = το αναγκαίο ποσό θερμότητας για θέρμανση Kcal / h  
 $Q_p$  = άθροισμα θερμικών απωλειών από τα τοιχώματα, την οροφή και το δάπεδο σε Kcal / h  
 $Q_v$  = απαιτούμενο ποσό θερμότητας για θέρμανση του αέρα εξαερισμού σε Kcal / h  
 $Q_a$  = ποσό θερμότητας παραγόμενο από τα ζώα σε Kcal / h

Ο συντελεστής  $Q_p$  εξαρτάται κυρίως από τα υλικά κατασκευής του κτηρίου που έχουν άμεση σχέση με τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, την επιφάνεια του κάθε υλικού, τη διαφορά θερμοκρασίας εσωτερικά, εξωτερικά και στο δάπεδο και με την ταχύτητα ανέμων που επικρατούν στην περιοχή.

Ο συντελεστής  $Q_v$  είναι το γινόμενο, του ειδικού βάρους  $\gamma$  του αέρα (σε Kg/m<sup>3</sup>), της ειδικής θερμότητας  $C$  του αέρα (σε Kcal/Kg), της παροχής ανανέωσης  $V$  του αέρα (σε m<sup>3</sup>/h), της διαφοράς θερμοκρασίας  $\Delta T$  (επιθυμητής – εξωτερικής σε °C) και του αριθμού  $n$  των ζώων. Η παροχή ανανέωσης  $V$  προκύπτει από διαγράμματα βασισμένα στο είδος του ζώου, την ηλικία και τη διαφορά εσωτερικής και εξωτερικής θερμοκρασίας, όπως αυτό του σχήματος 5.46 που αναφέρεται σε πάχυνση χοίρων.



Σχήμα 5.46. Αναγκαία παροχή αέρα σε χοιροστάσιο συνάρτηση με τη διαφορά θερμοκρασίας και του σταδίου ανάπτυξης.

Ο συντελεστής  $Q_a$  είναι το γινόμενο του αριθμού των ζώων και ενός συντελεστή  $q_a$  που προκύπτει από πίνακες συναρτήσει του είδους ζώου, ηλικία και ζώων βάρος, όπως ο πίνακας 5.4.

Πίνακας 5.4. Εκλυόμενη θερμότητα χοίρων σε συνάρτηση με την ηλικία..

Κατηγορία χοίρου	Ηλικία ζώου σε εβδομάδες	Βάρος ζώου σε Kg	Έκλυση θερμότητας σε Kcal / h
Χοιρομητέρα σε θερμοκρασία 13 °C	-	135	172
	181	196	211
Χοίροι παχύνσεως σε θερμοκρασία 18.3 °C	7	14	32
	8	18	43
	9	23	47
	10	27	52
	13	45	71
	15	57	82
	17	68	90
	21	90	107
	26	113	139
Χοιρίδια νεογέννητα στους 27°C	-	1.1	3.4
Χοιρίδια στους 21°C	3	4.5	8.6

#### 5.6.4.4 Παραγωγή υδρογόνου και αποθήκευση.

Το υδρογόνο αποτελεί το 90% του σύμπαντος και είναι το ελαφρύτερο στοιχείο. Στην γη βρίσκεται κυρίως σε ενώσεις του όπως το νερό και οι υδρογονάνθρακες, ενώ σαν καθαρό στοιχείο υπάρχει μόνο σε ίχνη (0,00001 %) στην ατμόσφαιρα. Το υδρογόνο έχει την υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα βάρους, αλλά λόγω της χαμηλής πυκνότητάς του, έχει χαμηλή ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα όγκου, όπως φαίνεται στον πίνακα 5.5, ταιριάζει επομένως σε εφαρμογές όπου το βάρος παρά ο όγκος έχει σημασία. Συγκεκριμένα, η καύση 1 kg υδρογόνου αποδίδει 119,972 kJ, περιέχει δηλ. το ίδιο ποσό ενέργειας με 2,1 kg βενζίνης.

Πίνακας 5.5. Σύγκριση ενεργειακών φορέων.

Ενεργειακός φορέας	Υδρογόνο	Φ.Α.	LPG (προπάνιο)	Μεθανόλη	Βενζίνη	Συσσωρευτές Μολύβδου
Ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα βάρους (kWh/kg)	33.3	13.9	12.9	5.6	12.7	0.03
Ενεργειακή πυκνότητα ανά μονάδα όγκου (kWh/lt)	0.53	2.6	7.5	4.4	8.7	0.09

Πηγή : “Υδρογόνο, Το ενεργειακό νόμισμα του μέλλοντος”, Οκτώβριος 2001.

#### ▪ Παραγωγή υδρογόνου από ανεμοκινητήρες.

Το υδρογόνο είναι στοιχείο υψηλής δραστηριότητας και επομένως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πλήθος μορφών καύσης, με ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Μέχρι στιγμής όμως, δεν αποτελεί επίλεκτο ενεργειακό φορέα γιατί παρουσιάζει αρκετά μειονεκτήματα, τα κυριότερα εκ των οποίων είναι η δυσκολία αποθήκευσης σε μορφή με υψηλή ενεργειακή πυκνότητα και γενικότερα θεωρείται επικίνδυνο λόγω του υψηλού βαθμού εκρηκτικότητας που παρουσιάζει [11,13,14,16,18,29,31,36,41, 44].

Οι κυριότερες μέθοδοι παραγωγής υδρογόνου είναι:

- η αναμόρφωση υδρογονανθράκων με ατμό (κόστος 5\$/GJ).
- η μερική οξειδωση – αεριοποίηση βαρέων υδρογονανθράκων ή κάρβουνου (13 \$/GJ)
- η ηλεκτρόλυση του νερού (12 \$/GJ)

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εναλλακτικό καύσιμο στη γεωργία σε πλήθος (κατάλληλα τροποποιημένων) τεχνολογιών καύσης όπως καυστήρες λεβήτων και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η καύση του υδρογόνου παράγει νερό αλλά, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών καύσης, παράγονται και οξειδία του αζώτου.

Οι κυψελίδες καυσίμου αποτελούν μία σχετικά πρόσφατη τεχνολογία κατά την οποία μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης επιτυγχάνεται παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, με μόνο υποπροϊόν το νερό. Η λειτουργία της είναι αντίστροφη από αυτή μιας ηλεκτρολυτικής μονάδας και προσομοιάζει την λειτουργία ενός συσσωρευτή, με μόνο περιορισμό την εξάντληση του καυσίμου.

Το υδρογόνο που παράγεται από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) είναι σύμφωνα με τους περιβαλλοντολόγους το ιδανικό καύσιμο αφού δεν υπάρχει περιβαλλοντικό κόστος στην παραγωγή και χρήση του υδρογόνου, όταν χρησιμοποιείται αιολική ή ηλιακή ενέργεια. Η μόνη έκλυση ρύπων υπάρχει κατά την κατασκευή, μεταφορά και εγκατάσταση των τεχνολογιών μετατροπής της αιολικής (ανεμογεννήτριες) ή ηλιακής (Φ/Β) ενέργειας. Επίσης το υδρογόνο δεν βλάπτει το περιβάλλον ούτε επηρεάζει το στρώμα του όζοντος, ενώ τα προϊόντα της καύσης του, δεν περιέχουν σωματίδια (π.χ. αιθάλης) ή CO<sub>2</sub>.

Όπως αναφέρθηκε, το υδρογόνο δεν υπάρχει ελεύθερο στη φύση παρά μόνο σε σύνθετη μορφή με άλλα στοιχεία και επομένως απαιτείται η κατανάλωση ενέργειας για την εξαγωγή του, πριν διατεθεί κι αυτό με τη σειρά του για παραγωγή ενέργειας. Η μόνη μέθοδος παραγωγής υδρογόνου που μπορεί να βρει πρακτική εφαρμογή στη γεωργία είναι η ηλεκτρόλυση του νερού.

#### ▪ Ηλεκτρόλυση νερού.

Η πιο καθαρή και πρακτικά εφαρμόσιμη μέθοδος παραγωγής υδρογόνου στη γεωργία είναι η ηλεκτρόλυση νερού, για την οποία απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος που μπορεί να παραχθεί από έναν ανεμοκινητήρα. Το κόστος χρήσης της αιολικής ενέργειας για παραγωγή υδρογόνου ανέρχεται στα 12-15 \$/GJ (2002) με τάσεις για περαιτέρω μείωση. Οι τιμές αυτές δίδονται από το Αμερικανικό Υπουργείο Ενέργειας (A.D.O.E. American Department Of Energy).

Η ενέργεια που απαιτείται για την χημική διάσπαση του νερού δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια γιατί εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι:

- η περιεκτικότητα του νερού σε ξένες προσμείξεις
- η περιεκτικότητα του νερού σε άλατα ή άλλο ηλεκτρολύτη

- η θερμοκρασία
- η καθαρότητα των ηλεκτροδίων
- η τάση και η ένταση που εφαρμόζεται στα ηλεκτρόδια
- η απόσταση των ηλεκτροδίων

Κατά προσέγγιση ηλεκτρική ενέργεια 1Wh διασπά 0.228 cm<sup>3</sup> νερού, ενώ 1 cm<sup>3</sup> όταν διασπάται παράγει 1,865 lit. αερίων σε αναλογία 2/3 H<sub>2</sub> και 1/3 O<sub>2</sub>, δηλαδή με 1Wh μπορεί να παραχθεί 0.141 lit. O<sub>2</sub> και 0.283 lit. H<sub>2</sub>.

#### ▪ Αποθήκευση και μεταφορά του υδρογόνου.

Η πυκνότητα του υδρογόνου σε κανονικές συνθήκες είναι 0,0899g/lit, δηλαδή 14,4 φορές μικρότερη από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Κατά συνέπεια ο συντελεστής διάχυσης είναι 0,61cm<sup>3</sup>/s. Επιπλέον αντιδρά με διάφορα υλικά όπως π.χ. χάλυβες υψηλής ποιότητας, κάνοντάς τους εύθραυστους ενώ υγροποιείται στους -253°C. Για αυτούς τους λόγους είναι ιδιαίτερα δύσκολη η αποθήκευση και η μεταφορά του.

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος αποθήκευσης υδρογόνου είναι στην αέρια μορφή του, σε δεξαμενές ή κυλίνδρους, υπό πίεση 200-350 bar. Σε υγρή μορφή αποθηκεύεται σε σφαιρικά ντεπόζιτα ‘dewar’ με διπλά τοιχώματα από χάλυβα ή αλουμίνιο. Ανάμεσα στα τοιχώματα υπάρχει κενό αέρος. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται οικονομία χώρου (80% μικρότερος όγκος σε σύγκριση με αέριο υδρογόνο υπό πίεση).

Επίσης είναι δυνατό να γίνει αποθήκευση υδρογόνου κατά την οποία αυτό είναι ενωμένο με κάποιο υλικό, είτε ως υδρίδιο είτε με προσρόφηση. Με τη μέθοδο αυτή μειώνεται σημαντικά ο όγκος που καταλαμβάνει το υδρογόνο ως αέριο χωρίς να απαιτούνται υψηλές πιέσεις. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται επίσης η αντίδραση του υδρογόνου με άλλα υλικά ενώ αποφεύγεται ο κίνδυνος έκρηξης ή πυρκαγιάς. Τα δοχεία μπορούν να είναι οποιοδήποτε σχήματος με αποτέλεσμα να ευνοείται η χρήση τους στις μεταφορές.

Τα υδρίδια μπορεί να είναι στερεά, υγρά και αέρια. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα για την αποθήκευση υδρογόνου είναι κράματα μετάλλων, όπως τιτάνιου-σιδήρου και λανθανίου-νικελίου. Το υδρογόνο εισάγεται ως αέριο υπό πίεση και ελευθερώνεται ως αέριο πάλι με θέρμανση του δοχείου.

Η πιο πρόσφατη μέθοδος αποθήκευσης υδρογόνου (που βρίσκεται σήμερα σε πειραματικό στάδιο) είναι η προσρόφηση σε ίνες άνθρακα. Το κυριότερο πλεονέκτημα σε σχέση με τα υδρίδια μετάλλων είναι η σημαντική μείωση του βάρους (έως και 50%). Η παραγωγή όμως των ινών απαιτεί αρκετά μεγάλες ποσότητες ενέργειας που συνεπάγεται και αυξημένο κόστος αγοράς. Στον πίνακα 5.6 γίνεται μια σύγκριση των μεθόδων αποθήκευσης υδρογόνου που αναφέρθηκαν με μέτρο σύγκρισης το βάρος.

Πίνακας 5.6. Σύγκριση μεθόδων αποθήκευσης υδρογόνου.

Μέθοδος Αποθήκευσης	Περιεκτικότητα H <sub>2</sub> κατά βάρος
Δοχείο πεπιεσμένου αερίου	7,5%
Υδρίδιο κραμάτων μετάλλων	1-5%
Προσρόφηση σε ίνες άνθρακα	1-20%

Πηγή : “Τεχνολογία και Εφαρμογές Κυψελίδων Καυσίμου”, Ιανουάριος 2001

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που υπάρχουν σήμερα ως προς το υδρογόνο, πέρα από το κόστος παραγωγής του, είναι η έλλειψη υποδομής και γνώσης τέτοιου είδους τεχνολογιών.

Η συμπίεση του αερίου υδρογόνου έχει περιορισμένα αποτελέσματα και αρκετή επικινδυνότητα. Η υγροποιημένη μορφή, του παρέχει τον μεγαλύτερο βαθμό συμπίεσης αλλά απαιτεί το 30%-40% ως ενέργεια για την συμπίεση και την ψύξη, καθώς το υδρογόνο βράζει στους  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Επίσης, η μετάγγιση του υδρογόνου θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή απουσία αέρα, με χρήση ειδικής βαλβίδας προκειμένου να αποφευχθούν ατυχήματα λόγω της μεγάλης πτητικότητας.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι η τεχνολογία υδρογόνου δεν έχει την τεχνολογική ωριμότητα ώστε να εισέλθει δυναμικά και να εκτοπίσει τη συμβατική τεχνολογία, βρίσκεται όμως σε ένα πολύ καλό επίπεδο πάνω στο οποίο θα στηριχθεί η παραγωγή ενέργειας στο μέλλον.

- **Τεχνολογίες χρήσης υδρογόνου στη γεωργία.**

### **Μη Ενεργειακή Χρήση του Υδρογόνου**

Το υδρογόνο χρησιμοποιείται και από την βιομηχανία τροφίμων για την παραγωγή και στερεοποίηση λιπαντικών ουσιών, κυρίως μαγειρικού λίπους, φυτίνης και μαργαρίνης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσα από τον κορεσμό των διπλών δεσμών. Η υδρογόνωση ελαίων και λιπών αυξάνει την αντίσταση στην οξείδωση και αυξάνει τον χρόνο διατήρησης.

### **Ενεργειακή Χρήση του Υδρογόνου**

Ένας λέβητας πετρελαίου ή φυσικού αερίου μπορεί εύκολα να μετατραπεί ώστε να χρησιμοποιηθεί με υδρογόνο. Η θερμοκρατική αξία του υδρογόνου είναι ανά μονάδα βάρους μεγαλύτερη από το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο θέρμανσης, ενώ εκμηδενίζονται οι εκπομπές οξειδίων του άνθρακα και υδρογονανθράκων. Οι εκπομπές οξειδίων του αζώτου μπορούν να μειωθούν με τεχνικές βελτιώσεις.

Επίσης, με τα κατάλληλα μέτρα ώστε να αποφευχθεί η προανάφλεξη, το υδρογόνο είναι πολύ καλό καύσιμο για κινητήρες εσωτερικής καύσεως με απόδοση κατά 22% υψηλότερη από τον αντίστοιχο βενζινοκινητήρα.

Τέλος οι κυψελίδες καυσίμου, αναμένεται να είναι η βέλτιστη τεχνολογία για χρήση υδρογόνου στο προσεχές μέλλον. Η τεχνολογική πρόοδος και μείωση του κόστους, τις έφερε πάλι στο προσκήνιο και ήδη από το 1992 πολλές αυτοκινητοβιομηχανίες εξετάζουν τη χρήση τους στις μεταφορές.

- **Κυψελίδες καυσίμου.**

Οι κυψελίδες καυσίμου (fuel cells), γνωστά και ως “μπαταρίες καυσίμου” είναι ηλεκτροπαραγωγά στοιχεία χημικής αντίδρασης, που καταναλώνουν υδρογόνο σαν καύσιμο το οποίο οξειδώνεται ηλεκτροχημικά με οξυγόνο, με ταυτόχρονη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας και νερού. Η κυψελίδα καυσίμου λειτουργεί σαν ένας χημικός αντιδραστήρας συνεχούς λειτουργίας, ο οποίος παράγει ηλεκτρική ενέργεια όσο τροφοδοτείται με  $\text{H}_2$  και  $\text{O}_2$ .

Οι κυψελίδες καυσίμου δεν ανήκουν στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αλλά είναι μια μέθοδος μετατροπής ενέργειας που είναι αποθηκευμένη με τη μορφή καυσίμου σε ηλεκτρισμό και θερμότητα. Επειδή δεν ακολουθείται κάποιος

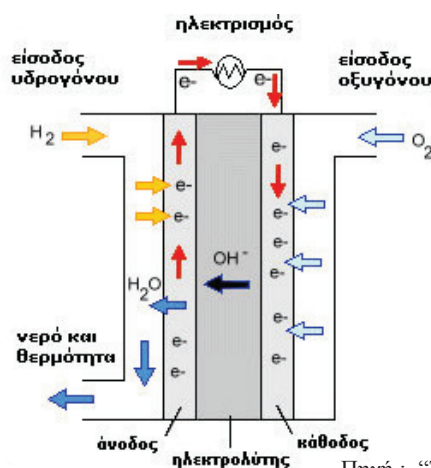


θερμοδυναμικός κύκλος καύσης η αποδοτικότητα τους δεν περιορίζεται από τον δεύτερο θερμοδυναμικό νόμο οπότε θεωρητικά μπορούμε να έχουμε 100% απόδοση. Πρακτικά αυτό περιορίζετε στο 40-80% ανάλογα με τον τύπο της κυψελίδας, όμως το ποσοστό ολοένα και αυξάνει. Η μοναδική εκπομπή είναι καθαρό νερό (όταν το καύσιμο είναι αποκλειστικά υδρογόνο), ενώ στην περίπτωση που το καύσιμο περιέχει άνθρακα, εκπέμπονται και αέρια βλαβερά για το περιβάλλον (π.χ. διοξείδιο του άνθρακα) αλλά σε πολύ μικρότερη ποσότητα από ότι με έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης αντίστοιχης ισχύος.

▪ **Αρχή Λειτουργίας κυψελίδων καυσίμου.**

Οι κυψελίδες καυσίμου αποτελούνται από δύο ηλεκτρόδια (την άνοδο και την κάθοδο) που διαχωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη σχήμα 5.47. Ο ηλεκτρολύτης είναι ένα ειδικευμένο πολυμερές ή άλλο υλικό, που επιτρέπει την διέλευση ιόντων αλλά δεν είναι περατό από ηλεκτρόνια. Το υδρογόνο εισάγεται στην άνοδο, όπου τα ηλεκτρόνια του υδρογόνου απελευθερώνονται και κινούνται σε ένα εξωτερικό κύκλωμα παράγοντας ηλεκτρικό ρεύμα. Τα θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου διαπερνούν τον ηλεκτρολύτη και φτάνουν στην κάθοδο, όπου ενώνονται με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και το οξυγόνο, δημιουργώντας νερό, που αποτελεί το προϊόν της αντίδρασης. Προκειμένου να επιταχυνθεί η διαδικασία του ιονισμού του υδρογόνου χρησιμοποιείται καταλύτης υψηλής αγωγιμότητας στα ηλεκτρόδια, τα οποία είναι συνήθως από πλατίνα. Με χρήση καθαρού υδρογόνου ως καυσίμου, τα μόνα παράγωγα της διαδικασίας αυτής είναι ηλεκτρικό ρεύμα, καθαρό νερό και θερμότητα.

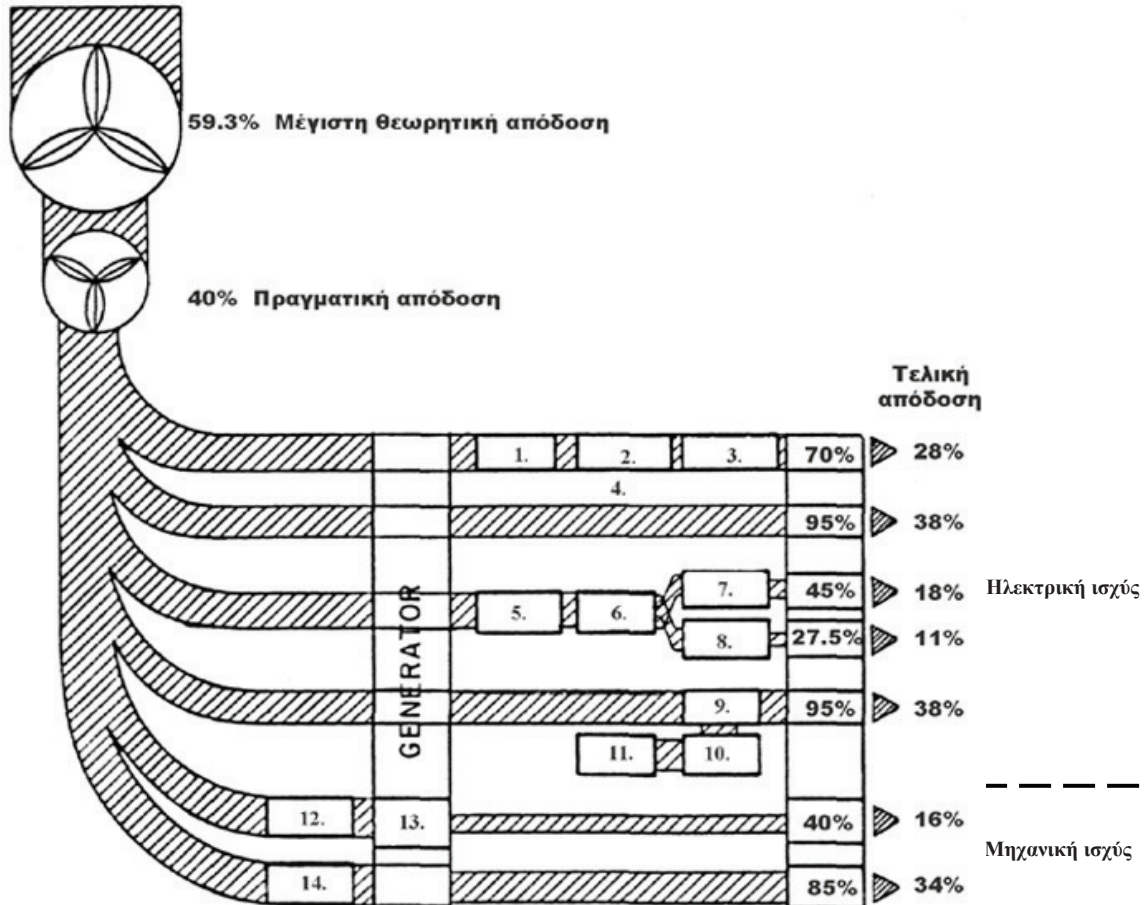
Το συνολικό πάχος μιας κυψελίδας καυσίμου είναι περίπου 2.5 mm ενώ ο ηλεκτρολύτης έχει πάχος της τάξεως μερικών μm. Για να επιτευχθεί η επιθυμητή ισχύς, οι κυψελίδες καυσίμων τοποθετούνται η μια δίπλα στην άλλη, με την παρεμβολή πορώδους υλικού, που τις συνδέει ηλεκτρικά σε σειρά ενώ επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση στα ηλεκτρόδια από το υδρογόνο και το οξυγόνο.



Πηγή : “Τεχνολογία και Εφαρμογές Κυψελίδων Καυσίμου”, Ιανουάριος 2001

Σχήμα 5.47. Κυψελίδες υδρογόνου.

## Θεωρητική απόδοση, διαφόρων μεθόδων μετατροπής της αιολικής ενέργειας.



Πηγή: EWEA 2000

1. D.C. Ανορθωτής.
2. Συσσωρευτές 95%.
3. Μετατροπέας 85%.
4. A.C. Θέρμανση νερού.
5. Ηλεκτρόλυση νερού 70%.
6. Αποθήκευση H<sub>2</sub> και O<sub>2</sub>.
7. Κυψέλες υδρογόνου 65%.
8. Μ.Ε.Κ. υδρογόνου.
9. Απευθείας παροχή ηλεκτρικής ισχύος.
10. Μερική κάλυψη ζήτησης ισχύος.
11. Πλήρης κάλυψη ζήτησης ισχύος.
12. Αντλία νερού 50%.
13. Υδροστρόβιλος 80%.
14. Σφόνδυλος > 90%.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

#### 6.1 Επιλογή θέσης εγκατάστασης ανεμοκινητήρα.

Η επιλογή θέσης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα με την επιλογή θέσης εγκατάστασης οποιουδήποτε συστήματος παραγωγής ενέργειας. Διαφέρει όμως στο ότι απαιτείται να προσδιορισθεί η καθαρή παραγωγή ενέργειας και το κατά προσέγγιση κόστος αυτής, πριν γίνει γνωστή η ακριβής θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας. Η συμπεριφορά του ανέμου σε μία θέση, είναι αυτή που καθορίζει και τη λειτουργική συμπεριφορά της ανεμογεννήτριας. Έτσι, η οικονομική βιωσιμότητα μιας συγκεκριμένης ανεμογεννήτριας, σ' ένα συγκεκριμένο τόπο δεν μπορεί να προβλεφθεί χωρίς την ακριβή γνώση της συμπεριφοράς του ανέμου στη θέση αυτή. Επομένως, η ένταση του ανέμου και οι διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση είναι οι βασικές παράμετροι για την επιλογή της θέσης της ανεμογεννήτριας όχι όμως και οι μοναδικές [10]. Ανεμογεννήτριες τοποθετημένες σε βιώσιμες θέσεις πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες προϋποθέσεις:

- Η παραγωγή ενέργειας να είναι οικονομικά συμφέρουσα (το κόστος της παραγόμενης KWh να είναι μικρό).
- Η εγκατάσταση να μην έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.
- Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας να είναι συμβατή με τη λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, εάν ο ανεμοκινητήρας χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και συνδυάζεται με το δίκτυο της Δ.Ε.Η.
- Να έχουν ληφθεί υπόψη κατά το σχεδιασμό της ανεμογεννήτριας οι πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες της συγκεκριμένης θέσης (παγετοί, εξαιρετικά ισχυροί άνεμοι κλπ.).

Η διαδικασία επιλογής θέσης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας μπορεί να χαρακτηριστεί επιτυχής, όταν είναι δυνατός, μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα, ο προσδιορισμός περιοχής με υψηλό αιολικό δυναμικό. Έπειτα, αφού γίνει προσεκτικός έλεγχος της περιοχής αυτής, επιλέγονται οι θέσεις που ικανοποιούν τις υπόλοιπες παραμέτρους.

Κύριος παράγοντας που σχετίζεται με την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης είναι το μέγεθος και οι περιοδικές διακυμάνσεις της έντασης του ανέμου. Η συμπεριφορά όμως του ανέμου κοντά στην επιφάνεια της γης είναι περίπλοκη και η ταχύτητα του μπορεί να μεταβληθεί απότομα, τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο επίπεδο. Η πιο πρακτική λύση στο πρόβλημα επιλογής θέσης ανεμογεννήτριας, είναι να χρησιμοποιήσουμε υπάρχουσες πληροφορίες για τον προσδιορισμό περιοχών με υψηλό αιολικό δυναμικό, τέτοιο που να δικαιολογεί την οικονομική βιωσιμότητα της εγκατάστασης. Έπειτα, μέσα στις περιοχές αυτές, επιλέγονται τοποθεσίες στις οποίες η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας είναι πρακτικώς εφικτή. Τέλος εκτελούνται μετρήσεις των ανέμων στις συγκεκριμένες πλέον θέσεις.

### 6.1.1 Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή τοποθεσίας ανεμοκινητήρα.

Το να προσδιορίσουμε μια τοποθεσία στην οποία πνέουν δυνατοί άνεμοι, δεν σημαίνει ότι βρήκαμε και τη βέλτιστη θέση για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας.

Πολλές και σημαντικές είναι οι επιμέρους παράμετροι, που πρέπει να ληφθούν υπόψη, προκειμένου να καταλήξουμε στην επιλογή της οριστικής θέσης. Η επιλογή αυτή θα είναι η βέλτιστη, μόνον εφόσον γίνει σωστή και λεπτομερής αξιολόγηση των παρακάτω παραμέτρων [9,10,29,44].

- Οικονομική αξία

Ο σημαντικότερος στόχος μιας ανεμογεννήτριας είναι να μειώσει το κόστος της παραγόμενης ενέργειας, γι' αυτό η οικονομική βιωσιμότητα είναι η πρωταρχική ιδιότητα για την αποδοχή ή όχι μιας θέσης. Επειδή η ανεμογεννήτρια παράγει ενέργεια μόνο όταν φυσάει άνεμος, σε γεωργικές εφαρμογές χρησιμοποιείται συνήθως σαν εξοικονομητής ενέργειας. Έτσι το κόστος της παραγόμενης ενέργειας ποικίλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους. Για να κρίνουμε επομένως την οικονομική βιωσιμότητα μιας θέσης ανεμογεννήτριας, χρειαζόμαστε πληροφορίες για το μέγεθος και τις διακυμάνσεις του ανέμου μέσα σ' ένα έτος. Ένας άλλος οικονομικός παράγοντας πρωταρχικού ενδιαφέροντος είναι το κόστος εγκατάστασης. Αυτό μειώνεται αισθητά αν η εγκατάσταση γίνει κοντά σε υπάρχοντες δρόμους και γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

- Επιδράσεις στο περιβάλλον

Γενικά, οι επιδράσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον είναι πολύ μικρές. Ωστόσο, σε ορισμένες μεμονωμένες περιπτώσεις μπορεί η ανεμογεννήτρια να έχει αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον. Οι επιδράσεις που ενδιαφέρουν περισσότερο είναι:

1. Οπτικοαισθητική επίδραση: Η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας σε μία όχι και τόσο ανοιχτή περιοχή δημιουργεί άσχημη οπτική εντύπωση. Αντίθετα η εγκατάσταση της ίδιας ανεμογεννήτριας σε μία αχανή έκταση περνάει σχεδόν απαρατήρητη.
2. Επιδράσεις στα πουλιά: Καλό είναι να αποφεύγεται η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας σε μέρη που είναι περάσματα αποδημητικών πουλιών.
3. Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση: Το πρόβλημα της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης δημιουργείται από την ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια.

- Γενικοί κανονισμοί και περιορισμοί στη χρησιμοποίηση της γης

Όταν προσπαθούμε να βρούμε κατάλληλες θέσεις για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών, πρέπει να έχουμε υπόψη μας κανονισμούς και νόμους που πιθανόν να εμποδίζουν τη χρησιμοποίηση γης για εγκατάσταση μεγάλων ανεμογεννητριών. Τέτοιοι νόμοι μπορεί να είναι σχετικοί με την προστασία του περιβάλλοντος, με την προστασία ιστορικών μνημείων, με γειτνίαση σε αεροδρόμια ή στρατιωτικές εγκαταστάσεις.

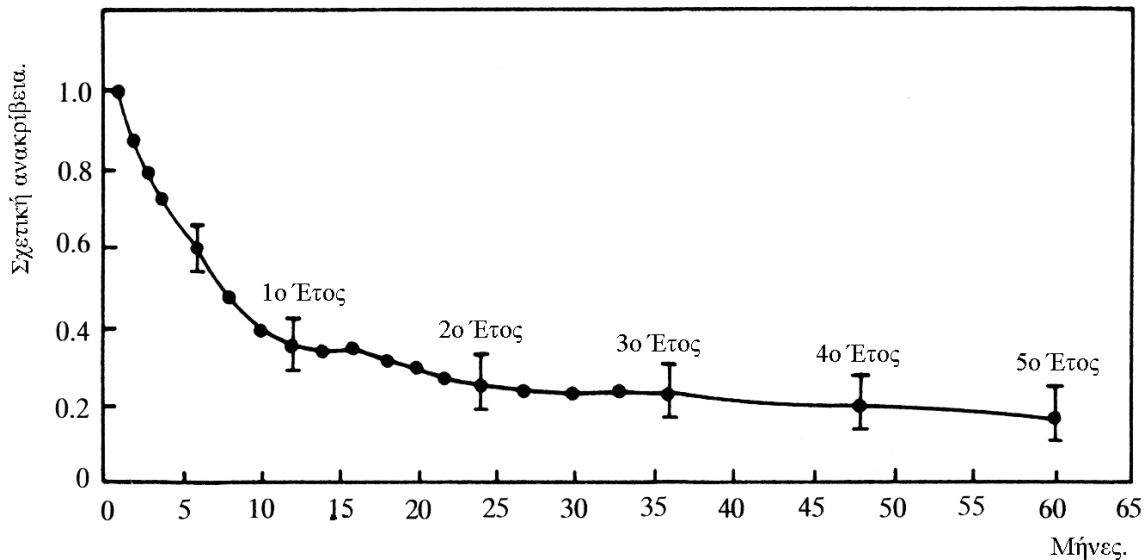
- Μετεωρολογικά προβλήματα

Κατά την επιλογή θέσεων για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών πρέπει να ληφθούν υπόψη πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες. Ορισμένες απ' αυτές μπορεί να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στην κατασκευή. Άλλες πάλι απλώς επηρεάζουν, το κόστος συντήρησης και τη διάρκεια ζωής της μηχανής.

1. Παγετός: Η δημιουργία παγετού μπορεί να επηρεάσει τη λειτουργία ανεμογεννήτριας με διάφορους τρόπους. Η επικάθηση στις κατασκευές αυξάνει τα στατικά και δυναμικά τους φορτία. Ως εκ τούτου, όλα τα συστήματα της ανεμογεννήτριας και οι γραμμές μεταφοράς πρέπει να έχουν υπολογιστεί ώστε να αντέχουν αυτά τα φορτία. Όταν επικάθονται σημαντικές ποσότητες πάγου στα πτερύγια, εκτός του ότι αυξάνεται το φορτίο τους, υπάρχει και ο κίνδυνος να εκτοξευθεί κάποιο κομμάτι πάγου καθώς τα πτερύγια στρέφονται. Σε περίπτωση παγετού θα πρέπει να σταματά η λειτουργία της ανεμογεννήτριας και να καθαρίζονται τα πτερύγια. Υπάρχει ο κίνδυνος, με το πάγωμα των ανεμομέτρων, να χαλάσουν τα συστήματα ελέγχου της ανεμογεννήτριας. Καλό είναι λοιπόν κατά την εκλογή θέσης ανεμογεννήτριας να εκτιμάται από μετεωρολόγο η πιθανότητα και η συχνότητα εμφάνισης παγετών.
2. Υπερβολικά ισχυροί άνεμοι: Η συχνότητα με την οποία παρουσιάζονται θυελλώδεις άνεμοι σε μία περιοχή, καθώς και η έντασή τους, μπορεί να υπολογιστεί από υπάρχοντα κλιματολογικά δεδομένα. Αυτή η πληροφορία είναι χρήσιμη για το σχεδιασμό κατάλληλης ανεμογεννήτριας που να λειτουργεί όταν επικρατούν τέτοιοι θυελλώδεις άνεμοι. Έτσι λοιπόν ανάλογα με τη θέση που επιλέγουμε μεταβάλλεται και ο τύπος της ανεμογεννήτριας που θα εγκαταστήσουμε. Επομένως μεταβάλλεται το κόστος κατασκευής αλλά και το κόστος παραγόμενης ενέργειας.
3. Τύρβη: Σε μία τυρβώδη ροή, το άνυσμα της ταχύτητας σε κάθε σημείο του ρευστού, υφίσταται διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση. Αυτές οι διακυμάνσεις αν συνεχιστούν μπορεί να προκαλέσουν κόπωση της κατασκευής. Με αυτόν τον τρόπο η τύρβη μπορεί να επηρεάσει τη διάρκεια ζωής ή το κόστος συντήρησης της μηχανής. Η τύρβη σε ροή πάνω από τραχύ, ανώμαλο έδαφος (βουνά, κοιλάδες, λόφοι κλπ.) είναι μικρότερη από αυτήν που παρατηρείται στη ροή πάνω από επίπεδο, ομαλό έδαφος, γι' αυτό θα ήταν επιθυμητό, να διαλέγουμε θέσεις με όσο το δυνατό χαμηλότερο επίπεδο τύρβης.
4. Υλικά μεταφερόμενα από τον αέρα: Ανεμογεννήτριες που πρόκειται να εγκατασταθούν σε παραθαλάσσιες περιοχές υπόκεινται σε διάβρωση επειδή ο αέρας σ' αυτές τις περιοχές περιέχει σημαντικές ποσότητες αλάτων. Πρέπει λοιπόν ορισμένα τμήματα της κατασκευής να προστατευθούν ώστε να διαθέτουν αντισκωριακή προστασία. Αν μια ανεμογεννήτρια είναι τοποθετημένη σε αμμώδη περιοχή, είναι πιθανό ο αέρας να μεταφέρει επάνω της σκόνη, άμμο, ψιλό χαλίκι κλπ. Τέτοια τραχιά υλικά μπορούν να προξενήσουν ζημιές στα πτερύγια, τα προστατευτικά καλύμματα, τα λιπαντικά και αλλού. Προκειμένου να επιτύχουμε ικανοποιητική συντήρηση της μηχανής κάτω από τέτοιες συνθήκες, απαιτούνται σχεδιαστικές τροποποιήσεις και ειδικές διαδικασίες συντήρησης. Τέτοιες διαδικασίες και τροποποιήσεις αυξάνουν το κόστος της παραγόμενης ενέργειας.
5. Η σταθερότητα των ανέμων: Οι διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου κατά το χρονικό διάστημα μιας ώρας, σαφώς επηρεάζουν τη λειτουργία της μηχανής, ενώ μπορούν να επιδράσουν και στη διάρκεια ζωής της. Αλλά και οι αλλαγές στην κατεύθυνση του ανέμου, στη διάρκεια μιας ώρας, επηρεάζουν τη λειτουργία και τη συμπεριφορά της μηχανής. Ένα άλλο ενδιαφέρον αιολικό χαρακτηριστικό

είναι η διαχρονική μεταβλητότητα, δηλαδή η μεταβολή των αιολικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής από χρόνο σε χρόνο, που επηρεάζει το μέσο κόστος της ενέργειας που παράγεται καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της μηχανής.

6. Αξιοπιστία αιολικών δεδομένων - διάρκεια παρατηρήσεων: Τα αιολικά δεδομένα που διαθέτουμε για ένα τόπο πρέπει να είναι αξιόπιστα. Δηλαδή να έχουν προκύψει έπειτα από μακροχρόνιες μετρήσεις. Αυτό είναι εμφανές στο σχήμα 6.1 όπου φαίνεται η μεταβολή της σχετικής αβεβαιότητας της ταχύτητας του ανέμου σαν συνάρτηση του χρόνου παρατήρησης.

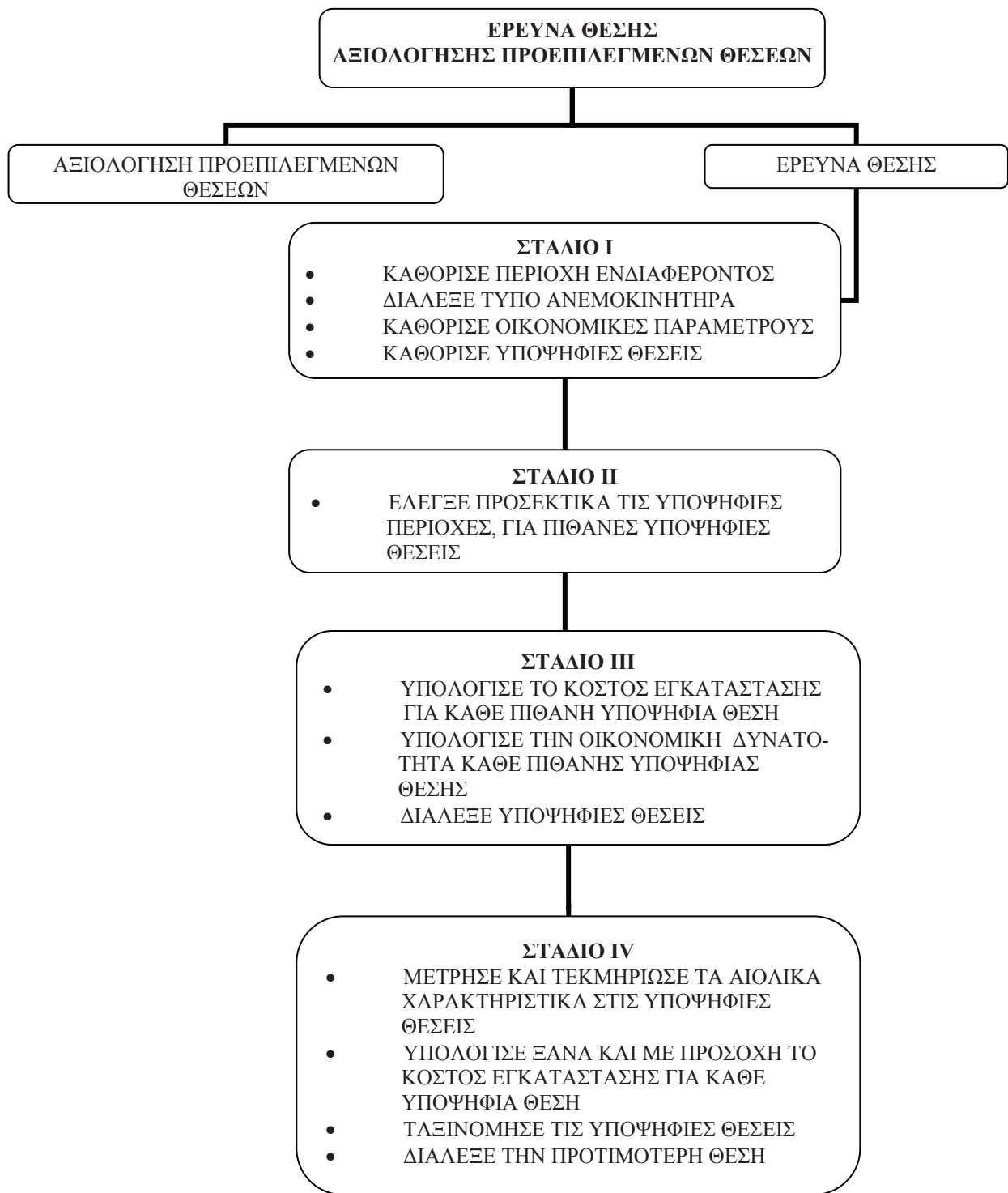


Σχήμα 6.1. Διάγραμμα διάρκειας μετρήσεων – σχετικής ανακρίβειας.

Θα πρέπει όμως να έχουμε υπόψη μας ότι υπάρχει πάντα το στοιχείο του ρίσκου στην εκλογή θέσεων ανεμοκινητήρων. Τα μετεωρολογικά φαινόμενα βρίσκονται σε μία κατάσταση διαρκούς μεταβολής. Όσο προσεκτικές μετρήσεις και αν έχουμε πάρει, όσο κι αν έχουν γίνει σοβαρές μελέτες των τοπογραφικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής, είναι πιθανό η απόφαση που θα παρθεί για τη θέση της εγκατάστασης να μην είναι η ορθή. Η πιθανότητα όμως αυτή είναι μικρή και σκοπός της μελέτης είναι να την εξαλείψει.

### 6.1.2 Περιγραφή της διαδικασίας επιλογής θέσης για εγκατάσταση ανεμοκινητήρων.

Ο αντικειμενικός σκοπός της διαδικασίας επιλογής θέσης ανεμογεννήτριας είναι να προσδιοριστούν θέσεις που έχουν τη μέγιστη πιθανότητα να είναι οικονομικά βιώσιμες. Ο προσδιορισμός πρέπει να γίνει σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρονικό διάστημα. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται όταν πρόκειται να εκλέξουμε θέση για την εγκατάσταση είτε μιας ανεμογεννήτριας, είτε ομάδας πολλών ανεμογεννητριών (συστοιχίες ανεμογεννητριών) [6,9].



Σχήμα 6.2. Διαδικασία επιλογής θέσης εγκατάστασης ανεμοκινητήρα.

Η διαδικασία είναι γενική, έτσι ώστε να μπορεί να ακολουθηθεί τόσο για μεγάλες όσο και για μικρές εγκαταστάσεις. Επειδή οι μετρήσεις των χαρακτηριστικών του ανέμου είναι πολυέξοδες και χρονοβόρες, η διαδικασία είναι τέτοια που να απαιτεί εκτεταμένη χρήση των δεδομένων και πληροφοριών που ήδη υπάρχουν. Η εκτέλεση μετρήσεων σε συγκεκριμένες θέσεις προγραμματίζεται να γίνει όσο το δυνατόν πιο αργά, δηλαδή κατά τα τελευταία στάδια της διαδικασίας.

Ένα διάγραμμα ροής της διαδικασίας φαίνεται στο σχήμα 6.2. Η όλη διαδικασία διαιρείται σε τέσσερα στάδια. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα, μπορούμε αντί να ερευνούμε για κάποια θέση, να εκλέξουμε εκ των προτέρων ορισμένες θέσεις και να τις αξιολογήσουμε.

Ορισμένοι από τους σημαντικούς όρους που αναφέρονται στη διαδικασία επιλογής θέσης εγκατάστασης είναι οι ακόλουθοι:

- **Περιοχή Ενδιαφέροντος:** μια έκταση στην οποία ψάχνουμε για θέσεις εγκατάστασης ανεμοκινητήρων.
- **Υποψήφια περιοχή:** μια υποδιαίρεση της περιοχής ενδιαφέροντος που διαθέτει αρκετά υψηλό αιολικό δυναμικό, ώστε να εμφανίζεται οικονομικά βιώσιμη.
- **Προτεινόμενη θέση:** εκείνη η υποψήφια θέση που παρουσιάζει τις περισσότερες δυνατότητες για εγκατάσταση ανεμογεννήτριας, έπειτα από επί τόπου επαλήθευση του μεγέθους του αιολικού δυναμικού και ανάλυση τεχνικών οικονομικών και περιβαλλοντικών παραγόντων.

Στο στάδιο I, εφαρμόζεται μία διαδικασία έρευνας μέσα στην περιοχή ενδιαφέροντος, προκειμένου να καθοριστούν οι υποψήφιες περιοχές που παρουσιάζουν υψηλό αιολικό δυναμικό. Η έκταση της περιοχής ενδιαφέροντος μπορεί να κυμαίνεται από λίγα τετραγωνικά μέτρα, μέχρι ορισμένες χιλιάδες τετραγωνικά χιλιόμετρα. Αφού τελειώσει η διαδικασία έρευνας, η οποία χρησιμοποιεί υπάρχουσες πληροφορίες παραμένει μία πολύ μικρότερη περιοχή μέσα στην οποία η εγκατάσταση ανεμογεννητριών φαίνεται να είναι οικονομικά βιώσιμη. Αυτή η παραμένουσα περιοχή υποδιαιρείται σε υποψήφιες περιοχές.

Κάθε υποψήφια περιοχή πρέπει να πληρεί τις ακόλουθες ιδιότητες:

- Επαρκές αιολικό δυναμικό για δυνατή οικονομική βιωσιμότητα.
- Σταθερούς ανέμους σε καλά εκτιθέμενες θέσεις (ανοιχτές θέσεις, αυχένες, όχι δένδρα κλπ.).
- Ομογενή τοπογραφικά χαρακτηριστικά.

Κατά το στάδιο II γίνεται έλεγχος στις υποψήφιες περιοχές, για πιθανές υποψήφιες θέσεις. Διακρίνουμε δύο τρόπους ελέγχου:

Τρόπος Α

1. Προσδιορίζουμε τις καλύτερες αιολικές ζώνες μέσα στην υποψήφια περιοχή.
2. Ερευνούμε αυτές τις ζώνες χρησιμοποιώντας μη μετεωρολογικές παραμέτρους και επιλέγουμε τις πιθανές υποψήφιες θέσεις.

Τρόπος Β

1. Ερευνούμε την υποψήφια περιοχή χρησιμοποιώντας μη μετεωρολογικά κριτήρια.
2. Προσδιορίζουμε τις τοποθεσίες με τα υψηλότερα αιολικά δυναμικά και επιλέγουμε τις πιθανές υποψήφιες θέσεις.



Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος είναι αυτός που αποκλείει το μεγαλύτερο κομμάτι γης από το πρώτο κιάλας βήμα. Έτσι ο τρόπος Α ακολουθείται όταν οι περιοχές με καλό αιολικό δυναμικό (οι καλύτερες αιολικές ζώνες) αποτελούν μικρό τμήμα της υποψήφιας περιοχής. Ο τρόπος Β ακολουθείται αν το αιολικό δυναμικό είναι περίπου το ίδιο σ' όλη την υποψήφια περιοχή και οι μη μετεωρολογικοί παράγοντες (όπως περιορισμοί στη χρησιμοποίηση της γης) είναι πιο σημαντικοί ώστε να μας καθοδηγούν σε οικονομικά βιώσιμες θέσεις.

Στο στάδιο ΙΙΙ γίνεται ταξινόμηση των πιθανών υποψήφιων θέσεων που προσδιορίστηκαν στο στάδιο ΙΙ και επιλέγεται ένας μικρότερος αριθμός υποψήφιων θέσεων για περισσότερη ανάλυση. Από μετεωρολογικά δεδομένα συγκεντρώνονται πληροφορίες για το πώς η τοπογραφία της περιοχής μπορεί να επηρεάσει τη ροή του ανέμου στην πιθανή υποψήφια θέση και υπολογίζεται η πιθανότητα εμφάνισης μετεωρολογικών προβλημάτων (τυφώνες, παγετοί κλπ.). Χρησιμοποιώντας αυτές τις πληροφορίες και υπολογίζοντας την πιθανότητα της θέσης να εμφανίζει αιολικό δυναμικό μεγαλύτερο μιας οριακής τιμής, αξιολογείται η οικονομική δυνατότητα κάθε θέσης. Η οριακή τιμή που αναφέρουμε δεν είναι πάντα η ίδια. Εξαρτάται από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του ανεμοκινητήρα, το κόστος εγκατάστασης ανεμοκινητήρα στη συγκεκριμένη θέση και το κόστος παραγωγής ενέργειας από άλλες μονάδες.

Το στάδιο ΙV απαιτεί πιο ακριβείς μελέτες για την οικονομική δυνατότητα κάθε υποψήφιας θέσης. Η ανάλυση που έγινε στο στάδιο ΙΙΙ για τον καθορισμό των πιθανών υποψήφιων θέσεων με τις μεγαλύτερες οικονομικές δυνατότητες δεν είναι επαρκής. Σε πολλές περιπτώσεις, η ανάλυση αυτή, δεν στηρίζεται σε επί τόπου μετρήσεις των αιολικών χαρακτηριστικών. Επιπλέον, το κόστος για έργα υποδομής, εγκατάσταση, λειτουργία και συντήρηση ανεμοκινητήρα υπολογίζεται χονδρικά.

Οι αναλύσεις όμως κατά το στάδιο ΙV σκοπεύουν σε μεγαλύτερη ακρίβεια και δίνουν μια πιο σωστή εικόνα όσον αφορά την οικονομική αξία ανεμοκινητήρων σε κάθε υποψήφια θέση. Οι μελέτες κατά το τέταρτο στάδιο απαιτούν αιολικά δεδομένα από κάθε υποψήφια θέση. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να είναι ακριβή για να προβλέψουμε τη συμπεριφορά των ανεμοκινητήρων καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους και την επίδρασή τους στο κόστος της μελλοντικής ενεργειακής παραγωγής. Προκειμένου να καθορίσουμε το ακριβές κόστος των έργων υποδομής και εγκατάστασης ενός ανεμοκινητήρα, είναι απαραίτητα τοπογραφικά σχέδια της υποψήφιας θέσης. Ακολουθώς γίνονται λεπτομερείς οικονομικές αναλύσεις. Αυτές στηρίζονται σε μοντέλα, που ερμηνεύουν την επίδραση της από τον άνεμο παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στο κόστος παραγωγής. Μπορούν επίσης να συγκεντρωθούν συμπληρωματικές πληροφορίες, για μετεωρολογικά προβλήματα και μη μετεωρολογικές παραμέτρους, που επηρεάζουν την εκλογή θέσης. Τελικά γίνεται ταξινόμηση των υποψήφιων θέσεων και επιλέγεται η προτεινόμενη θέση σαν η καταλληλότερη για την εγκατάσταση ανεμοκινητήρα.

Τα πρώτα δύο στάδια της διαδικασίας επιλογής θέσης ολοκληρώνονται πολύ γρήγορα, αφού στηρίζονται σε υπάρχοντα δεδομένα. Μετά το τέλος του δεύτερου σταδίου ο μελετητής έχει μία καλή ιδέα για τον αριθμό των πιθανών υποψήφιων θέσεων. Τα τελευταία δύο στάδια της διαδικασίας χρειάζονται περισσότερο χρόνο να ολοκληρωθούν, αφού απαιτούν επιτόπου μετρήσεις. Ο ελάχιστος χρόνος για την ολοκλήρωση των σταδίων ΙΙΙ και ΙV είναι 15 με 18 μήνες. Παρόλα αυτά όμως μπορεί να χρειαστούν και μερικά χρόνια, αν ο μελετητής θέλει σίγουρες αποδείξεις για το αιολικό δυναμικό των υποψήφιων θέσεων, προκειμένου να αποφασίσει για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας.

## 6.2 Μεθοδολογία επιλογής θέσης εγκατάστασης ανεμογεννητριών σε σύνθετη τοπογραφία εδάφους.

Η δέσμευση της αιολικής ενέργειας επιτυγχάνεται με τη χρήση ανεμογεννητριών και στη συνέχεια τη μετατροπή της δεσμευόμενης ενέργειας σε άλλη εκμεταλλεύσιμη μορφή (π.χ. ηλεκτρική, υδραυλική, μηχανική κλπ.). Ο βαθμός επομένως αξιοποίησης και εκμετάλλευσης της διαθέσιμης ενέργειας του ανέμου εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά της χρησιμοποιούμενης αιολικής μηχανής, όσο και από την επιτυχή εκλογή της θέσης εγκατάστασής της. Ο δεύτερος παράγοντας, δηλαδή η επιλογή θέσης εγκατάστασης ανεμογεννητριών είναι πιο σημαντικός από τον πρώτο. Τα χαρακτηριστικά εκείνα γνωρίσματα, που καθιστούν μία γεωργικά εκμεταλλεύσιμη περιοχή, κατάλληλη για εγκατάσταση ανεμογεννητριών, μπορούν να συνοψισθούν στα εξής [20,24,43,44]:

- Ύπαρξη υψηλών ταχυτήτων ανέμου για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα στη διάρκεια του έτους.
- Εύκολη πρόσβαση στην περιοχή ενδιαφέροντος.
- Χαμηλό υψόμετρο ώστε να μην υπάρχουν περιορισμοί στη λειτουργία των ανεμογεννητριών λόγω καιρικών συνθηκών (παγετοί, επικάθηση χιονιού στα πτερύγια του δρομέα κλπ.)

Μια από τις μεθόδους εκτίμησης του αιολικού δυναμικού, στηρίζεται στον υπολογισμό του πεδίου ροής του ανέμου πάνω από σύνθετη τοπογραφία εδάφους, σε συνδυασμό με τα ανεμολογικά δεδομένα των ραδιοβολίσεων, τα οποία λαμβάνονται από τον πλησιέστερο, προς την περιοχή, μετεωρολογικό σταθμό.

Για την επίλυση του τρισδιάστατου πεδίου ροής του ανέμου πάνω από σύνθετη τοπογραφία εδάφους ένα από τα αριθμητικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται είναι το NOABL.

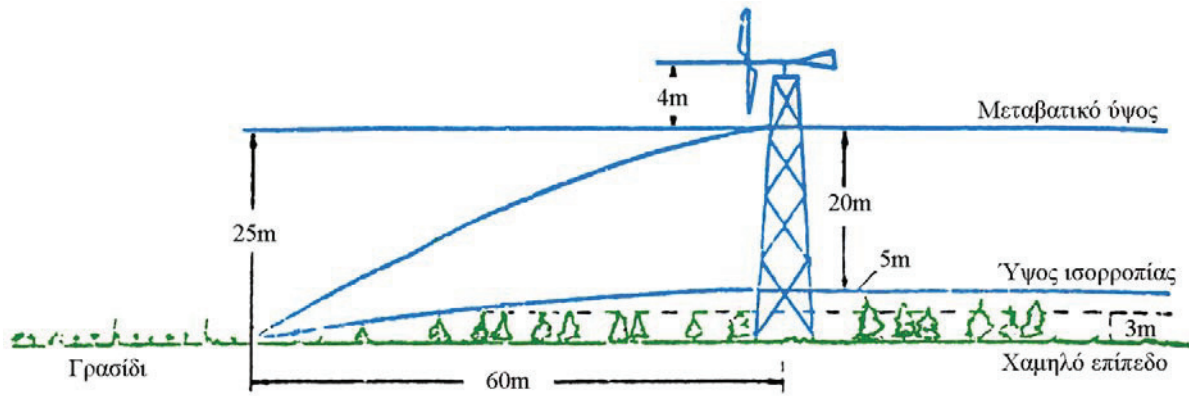
Η μέθοδος μπορεί να εφαρμοσθεί σε μια περιοχή και σαν δεδομένα εισόδου να χρησιμοποιηθούν οι τιμές των ραδιοβολίσεων του πλησιέστερου μετεωρολογικού σταθμού που διαθέτει ραντάρ (μετεωρολογικός σταθμός Ελληνικού).

Αφού προσδιορίσουμε τις περιοχές ιδιαίτερου ενδιαφέροντος από πλευράς αξιοποίησης διαθέσιμης αιολικής ενέργειας, μπορούμε να προσεγγίσουμε τις θέσεις εγκατάστασης που μας ενδιαφέρουν.

Θα πρέπει όμως να δοθεί μεγάλη προσοχή στη θέση εγκατάστασης ώστε να μην έχουμε χαμηλή ταχύτητα ανέμου ή υψηλή ένταση τύρβης λόγω γειτονικών κτιρίων ή δένδρων. Βασικό στοιχείο για τα κριτήρια επιλογής της θέσης αποτελεί η μορφολογία του εδάφους.

Από τη σχέση  $\left(\frac{u}{u_{10}}\right) = \left(\frac{h}{10}\right)^a$  διαπιστώνουμε ότι όσο ψηλότερα από το έδαφος

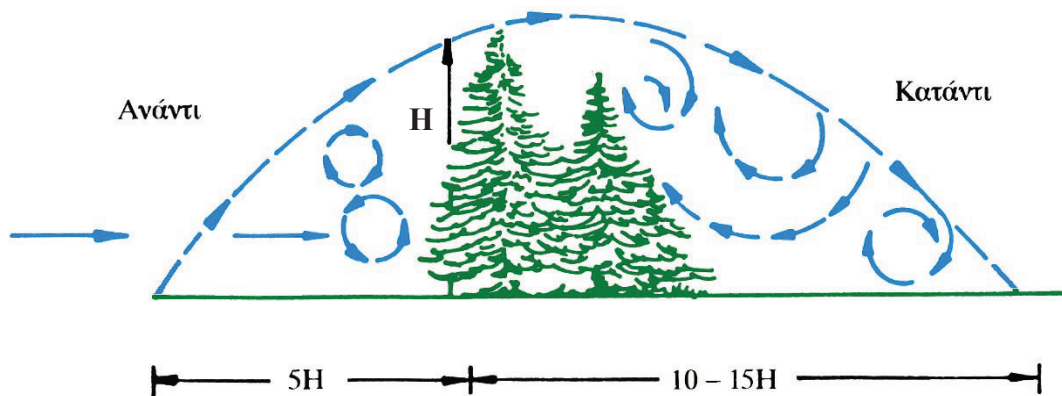
βρίσκεται ο δρομέας τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ανέμου άρα και η ισχύς που παράγεται. Φυσικά το ύψος του πύργου αποτελεί βέλτιστη επιλογή μεταξύ της αυξημένης ισχύος και του κόστους κατασκευής του. Η τραχύτητα του εδάφους άμεσα επηρεάζει την τιμή του συντελεστή  $a$  ο οποίος κυμαίνεται από 1/7 έως 1/4. Στο σχήμα 6.3 φαίνεται η προφανής θέση εγκατάστασης του δρομέα για την αποφυγή της ζώνης επιρροής των εμποδίων.



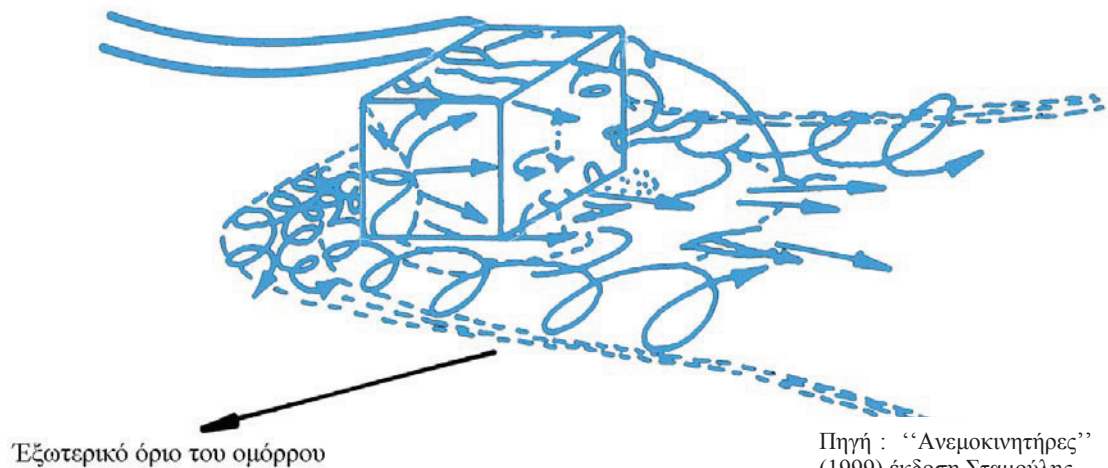
Σχήμα 6.3. Παράδειγμα θέσης δρομέα ανεμοκινητήρα για αποφυγή επίδρασης από εμπόδια..

Πολύ συχνά εμφανίζεται η περίπτωση ύπαρξης ανεμοφρακτών που είναι μια ασφαλής ένδειξη ότι στη περιοχή πνέουν υψηλής έντασης άνεμοι. Προφανώς η θέση εγκατάστασης του ανεμοκινητήρα θα πρέπει να είναι έξω από τη ζώνη επιρροής του ανεμοφράκτη, τυπικές διαστάσεις της οποίας φαίνονται στο σχήμα 6.4.

Ένα άλλο συχνά εμφανιζόμενο είδος εμπόδιου σε μια γεωργική εγκατάσταση είναι παρακείμενα κτίρια ή αποθήκες, προς την πιθανή θέση εγκατάστασης του ανεμοκινητήρα. Ένα κτίριο που βρίσκεται μέσα στο παράλληλο ρεύμα αέρα διαταράσσει σε μεγάλη έκταση το πεδίο ταχυτήτων, ενδεικτική εικόνα του οποίου φαίνεται στο σχήμα 6.5 Στο πεδίο λοιπόν ροής είναι φανερή η ύπαρξη των εκπεμπόμενων στροβίλων από την οξεία ακμή του κτιρίου που κατεξοχήν είναι η αιτία των διακυμάνσεων φορτίσεων στον παρακείμενο ανεμοκινητήρα [20,25,43,44].



Σχήμα 6.4. Ροή κοντά σε ανεμοφράκτη.



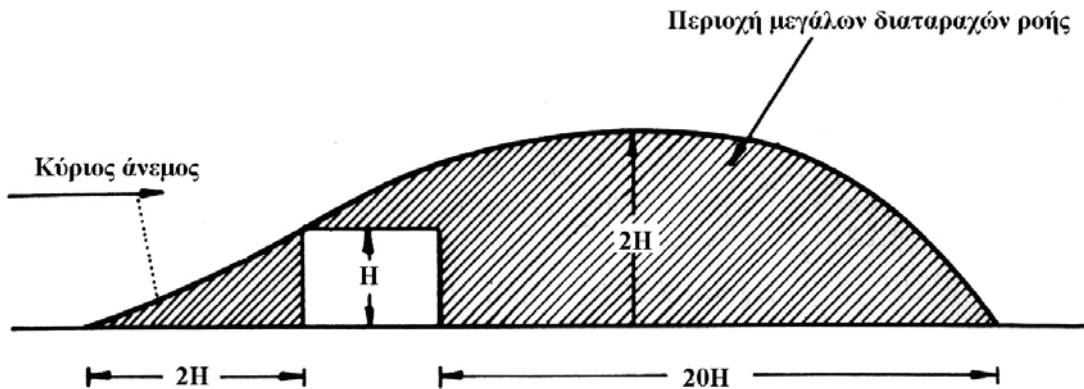
Σχήμα 6.5. Ροή γύρω από το κτίριο.

Πηγή : “Ανεμοκινητήρες”  
(1999) έκδοση Σταμούλης.

Γενικότερα από μελέτες προκύπτει ότι ο ανεμοκινητήρας θα πρέπει να εγκαθίσταται:

- Ο δρομέας να βρίσκεται σε ύψος τουλάχιστον 2 φορές το ύψος του κτιρίου αν η θέση εγκατάστασης είναι κοντά σε κτίριο.
- Σε ανάντι απόσταση από το κτίριο 2 τουλάχιστον φορές το ύψος του.
- Σε κατάντι απόσταση από το κτίριο τουλάχιστον 10 φορές το ύψος του.

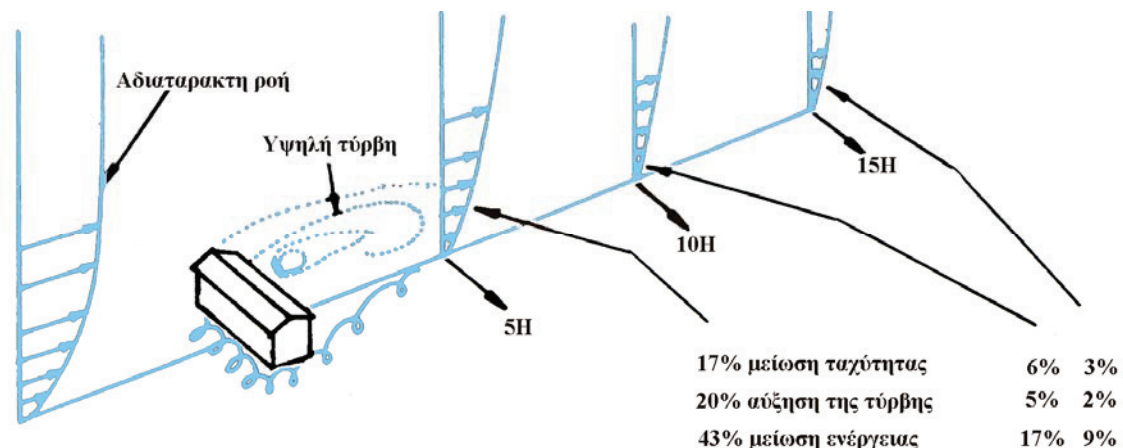
Οι παραπάνω μελέτες συμπληρώνονται από το σχήμα 6.6 ενώ στο σχήμα 6.7, φαίνεται η επί τοις εκατό μείωση της ταχύτητας του ανέμου με την κατάντι απόσταση από το κτίριο.



Σχήμα 6.6. Περιοχή διαταραγμένης ροής πάνω από κτήριο.

### 6.2.1 Θέση εγκατάστασης ανεμοκινητήρα σε ανώμαλη μορφολογία εδάφους.

Η διαμόρφωση του πεδίου ταχυτήτων σε ανώμαλα εδάφη επηρεάζεται τοπικά από τα υπάρχοντα τοπικά εμπόδια όπως αναφέρθηκαν προηγούμενα αλλά μεγαλύτερη βαρύτητα έχουν οι εδαφολογικές ιδιομορφίες κοντά στην πιθανή θέση εγκατάστασης του ανεμοκινητήρα. Γι' αυτό είναι δύσκολο να γίνει τυποποίηση στη γενικότητα της μορφολογίας του εδάφους και της ζώνης επιρροής της, έτσι κάθε περίπτωση εξετάζεται ξεχωριστά. Οι ιδιαίτερες αυτές μελέτες γίνονται κυρίως με τη βοήθεια μαθηματικών μοντέλων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ή σε εξεζητημένες περιπτώσεις με τοπογραφικά ομοιώματα μέσα σε αεροδυναμικές σήραγγες.

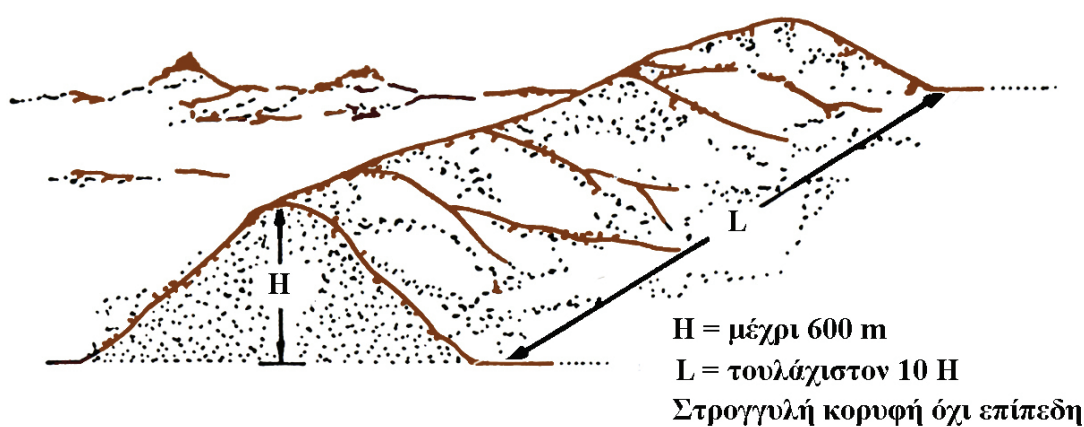


Σχήμα 6.7. Επίδραση στην αδιατάρακτη ροή ενός εμποδίου.

Επειδή μερικές όμως μορφολογικές τοπογραφίες είναι δυνατόν να τυποποιηθούν και να μειωθεί έτσι το κόστος της αρχικής μελέτης έχουμε τις παρακάτω τυποποιήσεις:

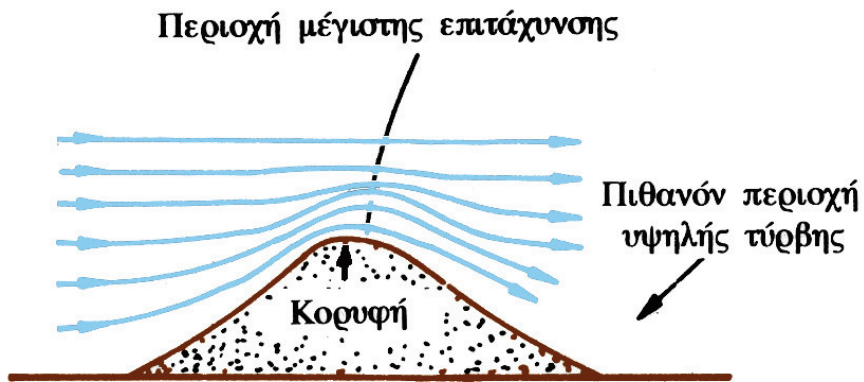
- Λοφοσειρές.

Τυπικός ορισμός της λοφοσειράς δίνεται με το σχήμα 6.8 όπου η λοφοσειρά θεωρείται κάθετη στην επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου. Ο άνεμος καθώς περνάει πάνω από την λοφοσειρά (η λοφοσειρά πρέπει να είναι επιμήκης, αλλιώς ο άνεμος θα περάσει κυρίως από τα πλάγια και όχι από πάνω) επιταχύνεται σημαντικά οπότε η κορυφή της λοφοσειράς είναι μια πολύ καλή θέση εγκατάστασης ανεμοκινητήρα σχήμα 6.9. Στο σχήμα 6.10 φαίνεται η καταλληλότητα της λοφοσειράς για πιθανή θέση εγκατάστασης ανεμοκινητήρα. Στο σχήμα 6.11 φαίνεται η επιτάχυνση του ανέμου πάνω από μια εξιδανικευμένη λοφοσειρά όπου στην κορυφή έχουμε διπλασιασμό της ταχύτητας που σημαίνει περίπου οκταπλασιασμό της αποδιδόμενης ισχύος.

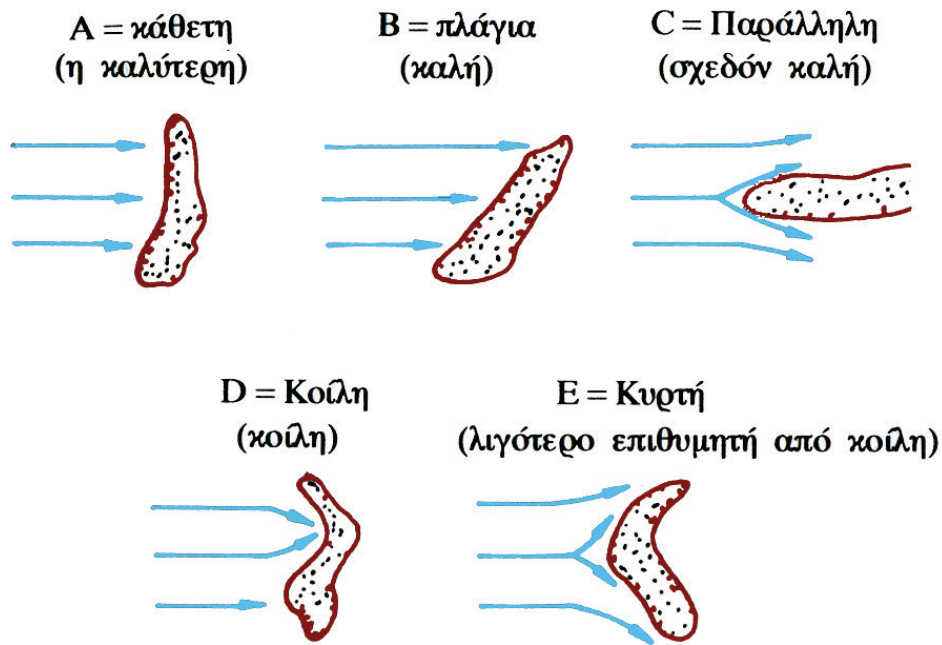


Πηγή : “Ανεμοκινητήρες” (1999)  
έκδοση Σταμούλης.

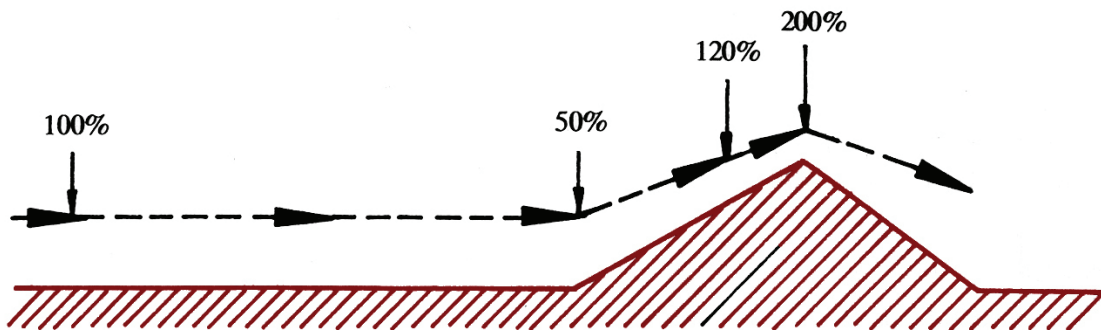
Σχήμα 6.8. Ορισμός λοφοσειράς..



Σχήμα 6.9. Επιτάχυνση ανέμου.



Σχήμα 6.10. Αξιολόγηση λοφοσειράς.



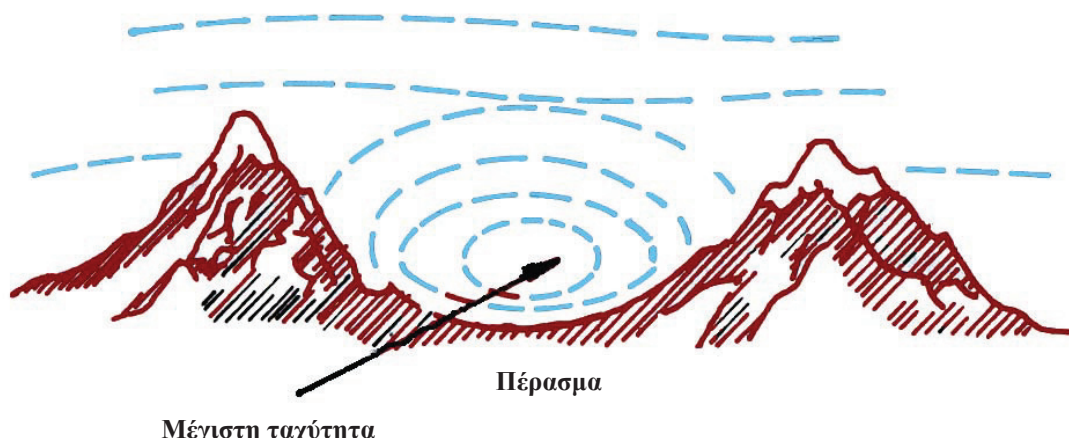
Σχήμα 6.11. Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου.

Πηγή : “Ανεμοκινητήρες” (1999) έκδοση Σταμούλης.

Από εμπειρικά συμπεράσματα προκύπτει ότι η ιδανική λοφοσειρά είναι αυτή που παρουσιάζει κλίση  $16^\circ$  και λιγότερο ικανοποιητική η λοφοσειρά χαμηλής κλίσης  $3^\circ$ .

- Περάσματα και διάσελα.

Τα περάσματα και τα διάσελα που συχνά εμφανίζονται σε ορεινές περιοχές είναι συνήθως ευπρόσδεκτες θέσεις εγκατάστασης ανεμοκινητήρων ιδιαίτερα αν το άνοιγμα τους είναι κάθετο προς την κατεύθυνση του επικρατούντος ανέμου. Είναι γενικά θέσεις υψηλών ταχυτήτων ανέμου και συγχρόνως καλής ποιότητας. Το σχήμα 6.12 δείχνει τυπική διάταξη περάσματος ανάμεσα από τα δύο βουνά που όσο ψηλότερα είναι τα βουνά τόσο ευνοϊκότερη είναι η θέση και όσο ομαλότερη η επιφάνεια του εδάφους του περάσματος τόσο καλύτερα για την ενεργειακή απόδοση του ανεμοκινητήρα.



Σχήμα 6.12. Μορφή περάσματος.

### 6.3 Κάλυψη των ενεργειακών αναγκών με συστοιχίες ανεμοκινητήρων (αιολικό πάρκο).

Η πυκνότητα της αιολικής ενέργειας είναι μικρή με αποτέλεσμα για να παραχθεί μια αξιόλογη ποσότητα ενέργειας, ικανή να καλύψει τις ανάγκες μιας γεωργοκτηνοτροφικής εγκατάστασης, να απαιτούνται πιθανόν περισσότερες από μία αιολικές μηχανές (για ανεμοκινητήρες λίγων KW). Λόγω προβλημάτων διαθεσιμότητας γης σε συνδυασμό με ύπαρξη καλού αιολικού δυναμικού, καθώς και την επιδίωξη της ελαχιστοποίησης του κόστους εγκατάστασης οι ανεμοκινητήρες θα πρέπει να τοποθετούνται ο ένας κοντά στον άλλο.

Η θέση εγκατάστασης των αιολικών μηχανών, η διάταξη τόσο μεταξύ τους όσο και ως προς την επικρατούσα κατεύθυνση ανέμου αποτελεί αντικείμενο έρευνας σε μια μελέτη, με στόχο την ελαχιστοποίηση της αλληλεπίδρασης των ανεμοκινητήρων που μπορούν να εγκατασταθούν στην διαθέσιμη γη και της μεγιστοποίησης της ενεργειακής απόδοσης.

Σημαντικός παράγοντας στην απόδοση ενός αιολικού πάρκου αποτελεί ο ρυθμός ανάπτυξης του ομόρρου του ανεμοκινητήρα και η ενεργειακή του κατάσταση όταν αλληλεπιδρά με τον κατάντι ανεμοκινητήρα.

Όλες οι μεθοδολογίες βελτιστοποίησης της διάταξης των ανεμοκινητήρων σε αιολικό πάρκο, βασίζονται σε κάποιο μοντέλο ανάπτυξης του ομόρρου του ανεμοκινητήρα.

### 6.3.1 Πεδίο ροής ομόρρου ανεμοκινητήρα.

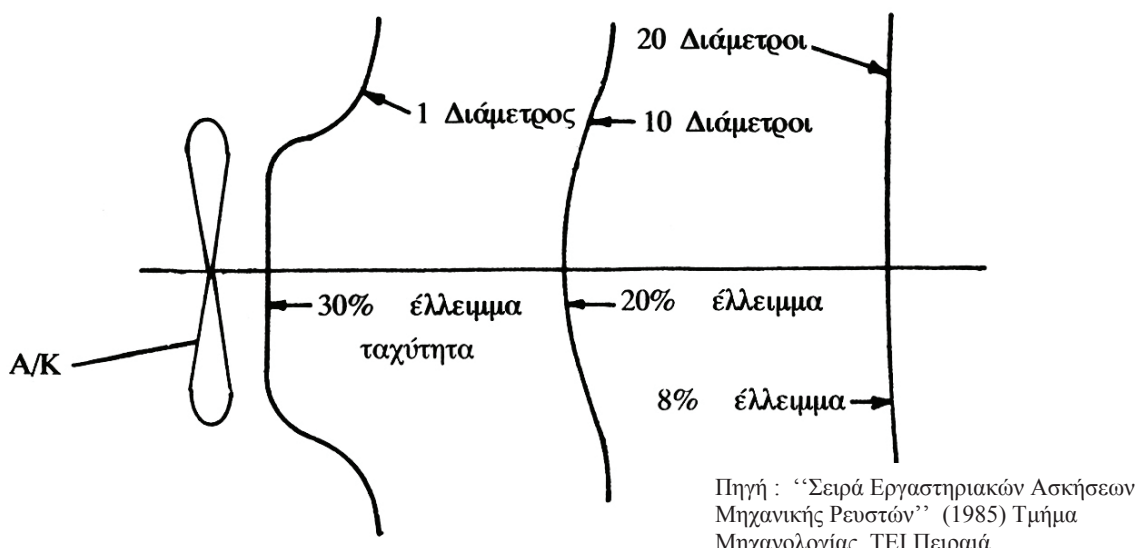
Στο σχήμα 6.14 παρουσιάζονται σε σχηματικό διάγραμμα τα σπουδαιότερα από τα ποικίλα φαινόμενα που παρατηρούνται σε ομόρρους ανεμοκινητήρων [20,22,44].

Ο σπουδαιότερος παράγοντας που επηρεάζει τη φύση της ροής του ομόρρου, είναι η ώση. Αυτή είναι μια δύναμη από το δρομέα στο ρευστό, η οποία προκύπτει λόγω της εξαγωγής ισχύος από τη ροή. Η δύναμη αυτή ενεργεί στη διεύθυνση της ταχύτητας του αδιατάρακτου ρεύματος. Λόγω της παρουσίας και της επίδρασης στο πεδίο ροής του πύργου στήριξης, ο ομόρρους ενός ανεμοκινητήρα δεν είναι αξονοσυμμετρικός. Πρέπει λοιπόν να ληφθούν υπόψη, σε μια τέτοια μελέτη, οι επιδράσεις της τρισδιάστατης τυρβώδους ανάμιξης.

Το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα χαρακτηρίζεται επίσης από κλίσεις πυκνότητας κάθετες στην επιφάνεια. Οι κλίσεις αυτές μπορούν να γίνουν σημαντικές στον προσδιορισμό της κίνησης του ρευστού. Έχει βρεθεί ότι ουσιώδεις αλλαγές στην ανάπτυξη του ομόρρου μπορούν να προκληθούν από κλίσεις πυκνότητας στο αδιατάρακτο ρευστό, η λεγόμενη «κατάρρευση» του ομόρρου (wake collapse). Τέτοια φαινόμενα μπορούν να επιταχύνουν τη διαδικασία ανάμιξης και επανενεργοποίησης του ομόρρου ανεμογεννήτριας.

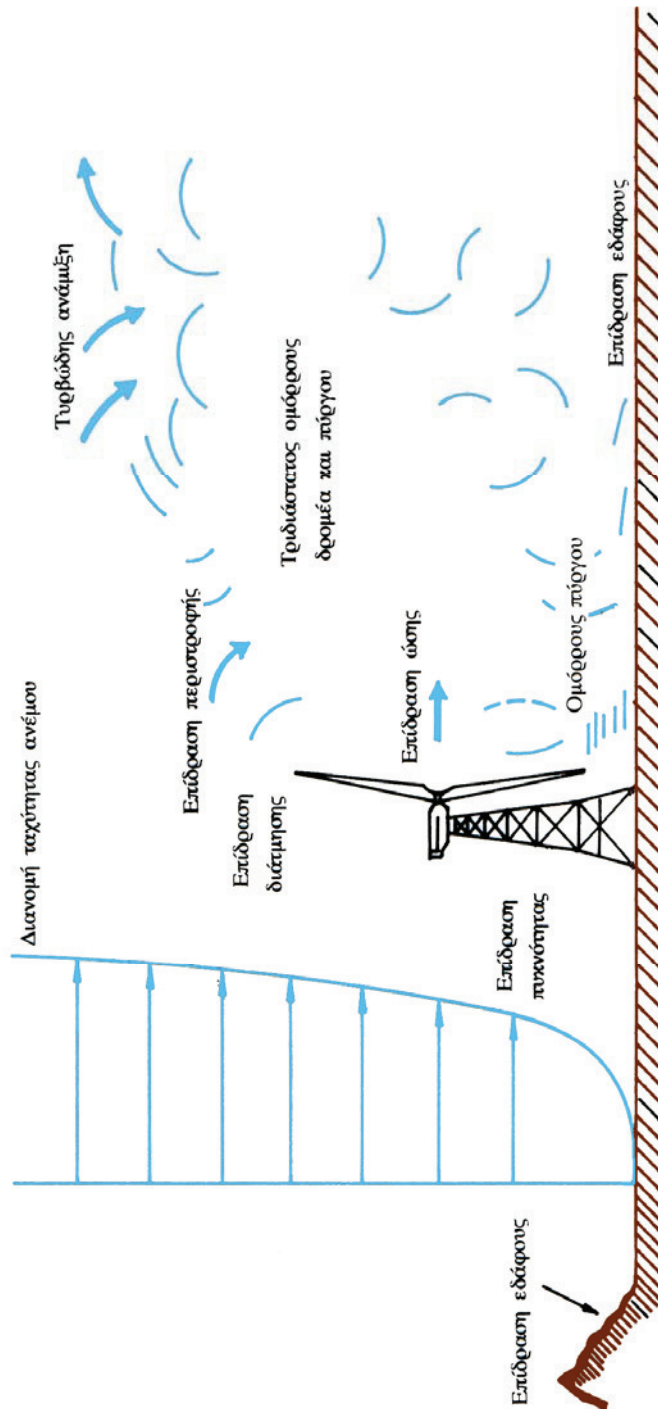
### 6.3.2 Συστοιχίες ανεμοκινητήρων.

Ο ανεμοκινητήρας, γενικά, επιβραδύνει τον αέρα που προσπίπτει σ' αυτόν και δημιουργείται ένας ομόρρους χαμηλής ταχύτητας, ο οποίος ανοίγει βαθμιαία, λόγω συνεκτικής και τυρβώδους ανάμιξης. Αν όμως αυτό το ρεύμα συναντήσει άλλο ανεμοκινητήρα πριν ολοκληρωθεί η επανενεργοποίησή του, τότε σαφώς η απόδοση της δεύτερης μηχανής θα είναι μικρότερη απ' αυτή της πρώτης. Η απόδοση της δεύτερης μηχανής θα εξαρτάται από τη σχετική της θέση ως προς την πρώτη, αφού ο ομόρρους έχει διανομή ταχυτήτων της μορφής του σχήματος 6.13, που σταδιακά επανενεργοποιείται.



Σχήμα 6.13. Τυπική διανομή ταχυτήτων στον ομόρροο ανεμοκινητήρα.





Πηγή : “Τεχνικές Μετρήσεις Ρευστομηχανικών Μεγεθών” (1990) Εργαστήριο Αεροδυναμικής ΕΜΠ, Αθήνα

Σχήμα 6.14. Ομόρρους ανεμοκινητήρα.

Η ταχύτητα ανέμου σε διαδοχικές σειρές σε μια συστοιχία ανεμοκινητήρων φθίνει κατά γεωμετρική πρόοδο και επομένως οι ενεργειακές έξοδοι θα φθίνουν κατά παρόμοιο τρόπο. Εν τούτοις, πετυχαίνεται τελικά ένα επίπεδο ισορροπίας απόστασης-ισχύος. Ο κενός χώρος μεταξύ των ανεμογεννητριών σε μια συστοιχία δεν πρέπει να είναι μικρότερος από 5 - 6 διαμέτρους δρομέα αφού, για μικρότερα διαστήματα η απόδοση του αιολικού πάρκου πέφτει σε χαμηλές τιμές.

Για 6 διάμετρους δρομέα και πέρα κατά τη διεύθυνση του ανέμου, τα μοντέλα εξασθένισης του ομόρρου μοντέλου οριζόντιου άξονα και ανεμογεννητριών Darrieus

παρόλο που ο μηχανισμός αφαίρεσης ισχύος είναι διαφορετικός είναι όμοια.

Τα χαρακτηριστικά του ομόρρου μπορούν να προδιαγραφούν από το έλλειμμα, στη κεντρική γραμμή ταχύτητας και από μια έκφραση για την εγκάρσια διανομή ταχύτητας, που είναι ανεξάρτητη της αξονικής απόστασης.

Όσον αφορά το έλλειμμα ταχύτητας στον άξονα του ομόρρου, τα στοιχεία που προτείνονται από τους Vermeulen και Boschloo παρουσιάζονται στο σχήμα 6.15 όπου φαίνονται συγκεντρωμένα στοιχεία για το έλλειμμα ταχύτητας κεντρικής γραμμής από διάφορους μελετητές και για διάφορες συνθήκες [24].

Όσον αφορά τις διανομές ταχυτήτων εγκάρσια στον άξονα του ομόρρου, η μεταβολή της ταχύτητας με την ακτίνα σε οποιαδήποτε ακτινική θέση, μπορεί να παρασταθεί από την εξίσωση:

$$\frac{U - U_r}{U - U_c} = \exp\left(-0,693 \frac{r^2}{b^2}\right)$$

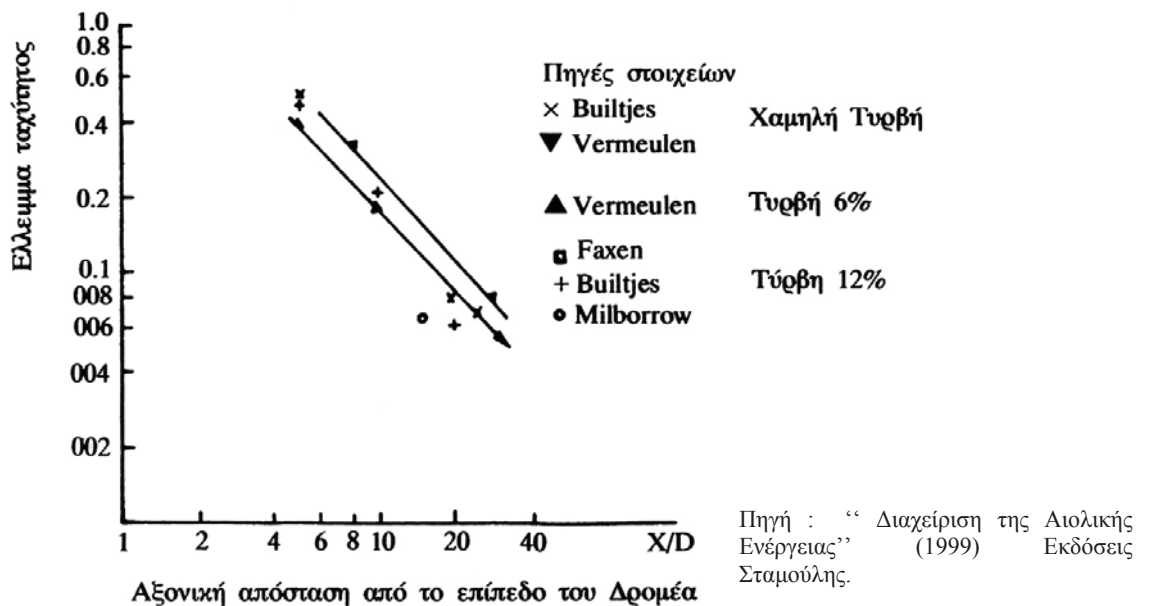
όπου:

U: η ταχύτητα του αδιατάραχτου ρεύματος αέρα στο ύψος του άξονα του δρομέα.

U<sub>r</sub>: η ταχύτητα σε ακτίνα r, στον ομόρρου.

U<sub>c</sub>: η ταχύτητα στον άξονα της μηχανής μέσα στον ομόρρου.

b : το μέσο εύρος του ομόρρου, δηλαδή η ακτίνα στην οποία το έλλειμμα ταχύτητας είναι το μισό του ελλείμματος της κεντρικής γραμμής ταχύτητας.



Σχήμα 6.15. Ρυθμός μεταβολής της ταχύτητας στον άξονα του ομόρρου.

Το σχήμα 6.17 παρουσιάζει πειραματικά αποτελέσματα από μετρήσεις της διανομής ταχυτήτων σε αιολικό πάρκο που προσομοιώθηκε στην αεροδυναμική σήραγγα του εργαστηρίου αεροδυναμικής του Ε.Μ.Π.

Η διάταξη των Α/Κ είναι τριγωνική και από το σχήμα είναι σαφής η αφαίρεση ενέργειας από τον άνεμο μετά τη διέλευση του από την Α/Κ και τη σταδιακή επανενεργοποίησή του στον ενδιάμεσο χώρο μεταξύ δύο Α/Κ.

Μερικοί από τους ρευστομηχανικούς παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των συστοιχιών παρουσιάζεται στον πίνακα 6.1.

Πίνακας 6.1. Παράγοντες που επιδρούν στην απόδοση συστοιχίας ανεμοκινητήρων.

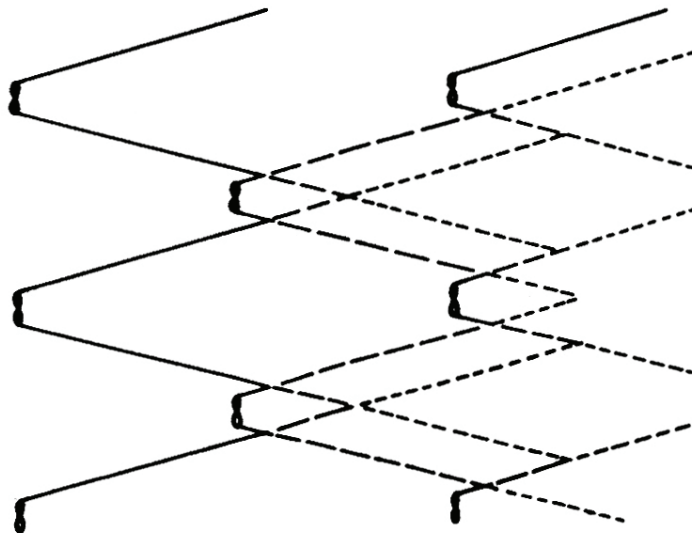
ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ	ΕΡΕΥΝΗΤΗΣ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΛΛΑΓΗΣ ΤΗΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥ
Ύψος οριακού στρώματος.	TEMPLIN	Σημαντική πτώση απόδοσης με αύξηση του ύψους του οριακού στρώματος.
Ύψος δρομέα ανεμοκινητήρα.	MOORE	3% πτώση απόδοσης με αύξηση του ύψους από 36m στα 60m.
Τραχύτητα επιφανείας	MOORE - TEMPLIN	Αύξηση απόδοσης με αύξηση της επιφανειακής τραχύτητας (6% για αλλαγή του $z_0$ από 0,01 σε 0,12).

Πηγή : “ Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας” (1999) Εκδόσεις Σταμούλης.

Για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης του αιολικού πάρκου χρησιμοποιείται το πρότυπο του Lissaan, που παρουσιάζεται στο σχήμα 6.16.

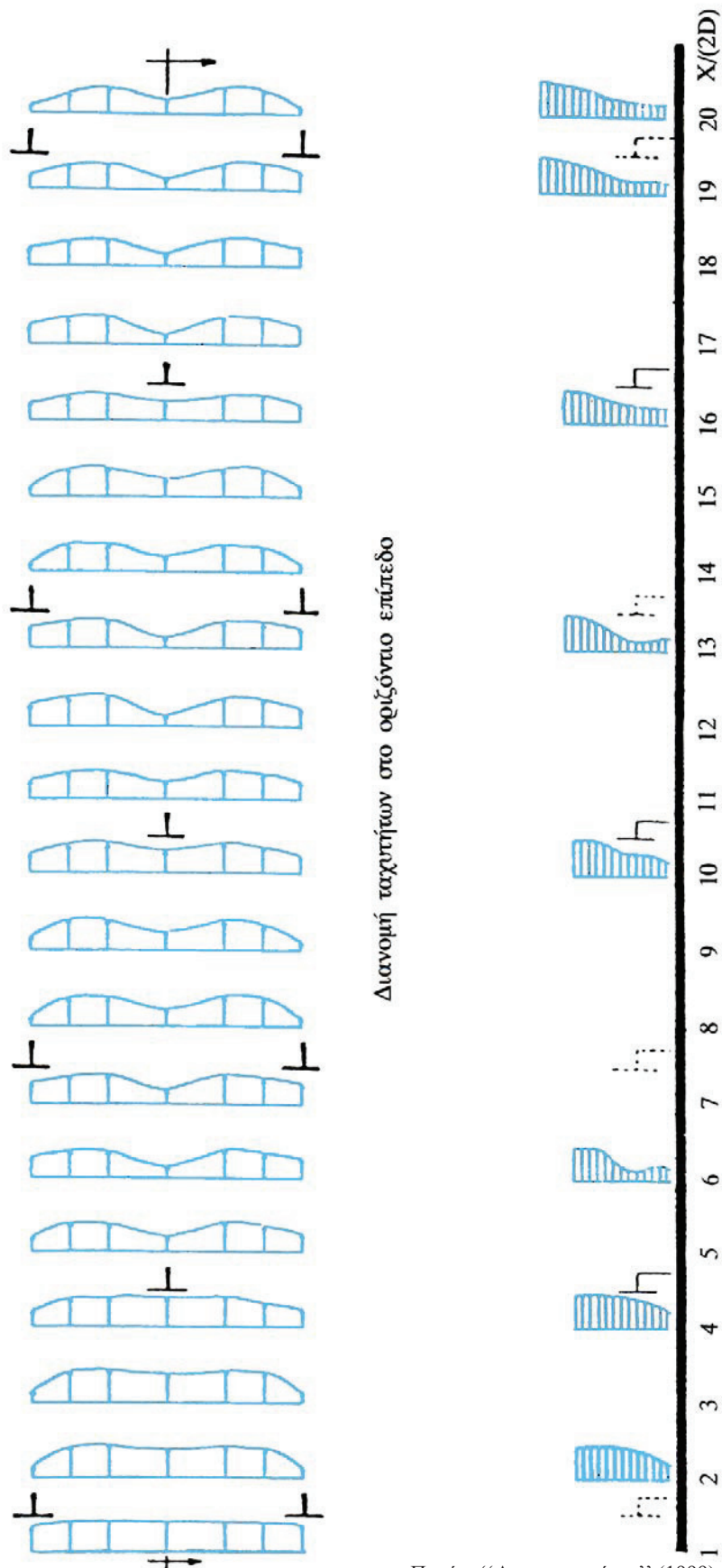
Το μοντέλο δέχεται μια επιβράδυνση της ροής λόγω της παρεμβολής της πτερωτής σε ομοιόμορφο πεδίο ταχύτητας. Η επιβράδυνση αυτή αντιστοιχεί σε δυο ομοιόμορφες αξονικά συμμετρικές δέσμες που η μίξη τους δημιουργεί τον ομόρρου του ανεμοκινητήρα. Η υπόθεση παρίσταται σχηματικά στο σχήμα 6.18.

Γενικά η τύρβη κοντά στα σύνορα του ομόρρου ορίζεται ως συναρτησιακός συνδυασμός αυτής που υπάρχει ήδη στη ροή (διάχυτη τύρβη - ambient turbulence), αυτής που υπάρχει στον ίδιο τον ομόρρου (τοπική τύρβη - momentum generated turbulence) και αυτής που δημιουργείται λόγω της πτερωτής (rotor generated turbulence). Καθένας από τους παράγοντες αυτούς έχει διαφορετική σημασία σε διαφορετικές περιοχές του ομόρρου [4,38,43,44].



Πηγή : “Ανεμοκινητήρες” (1999) έκδοση Σταμούλης.

Σχήμα 6.16. Πρότυπο ομόρρου ανεμοκινητήρα αιολικού πάρκου κατά Lissaman.

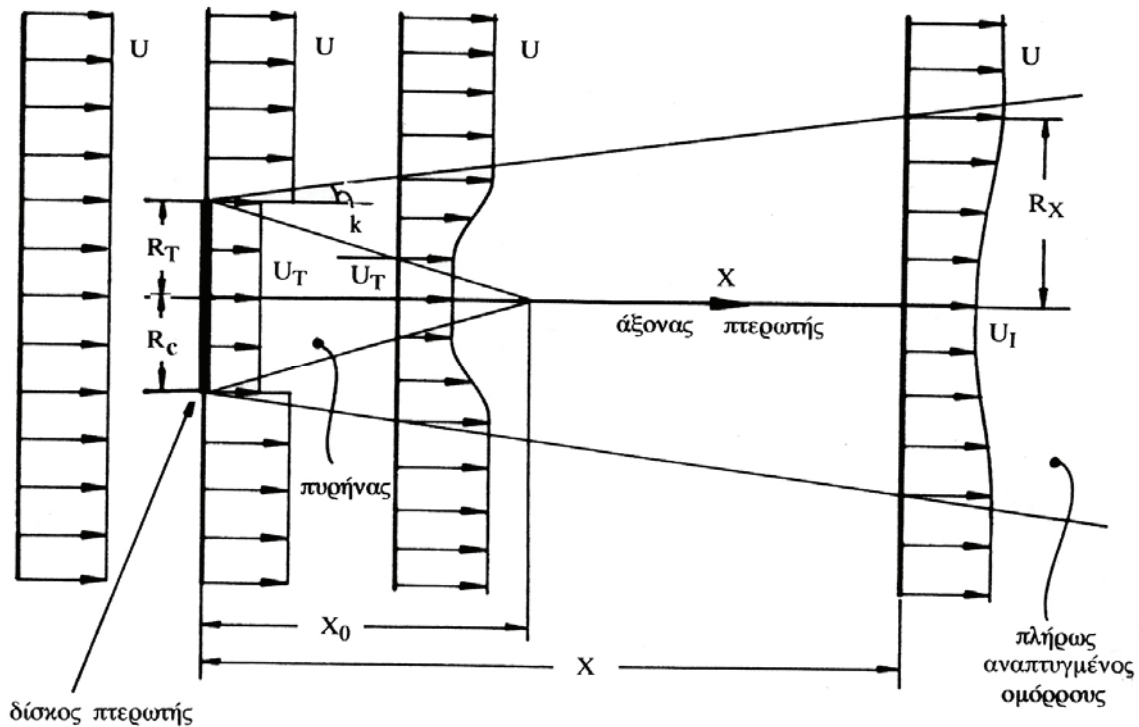


Διανομή ταχυτήτων στο οριζόντιο επίπεδο

Πηγή: “Ανεμοκινητήρες” (1999) έκδοση Σταμούλης.

Σχήμα 6.17. Διανομή ταχυτήτων σε αιολικό πάρκο τριγωνικής διάταξης Α/Κ.

Στο σχήμα 6.18 διακρίνονται δύο περιοχές, η αρχική και η πλήρως αναπτυγμένη, με αντίστοιχες διανομές ταχυτήτων. Μεταξύ αυτών των δύο περιοχών υπάρχει μια ζώνη μετάβασης (transition zone) από τη μία διανομή στην άλλη.



Πηγή : “ Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας” (1999) Εκδόσεις Σταμούλης.

Σχήμα 6.18. Λεπτομέρειες του προτύπου Lissaan.

Αρχική περιοχή: Στην περιοχή αυτή δημιουργείται έντονη τύρβη που έχει σχέση με την απορρόφηση ισχύος από την πτερωτή. Η τυρβώδης αυτή περιοχή εκτείνεται προς τα μέσα και έξω από τα σύνορα του ομόρρου και τερματίζεται στο σημείο που συναντώνται στην κεντρική γραμμή του ομόρρου τα δύο επίπεδα τύρβης. Η εξέλιξη του ομόρρου στην περιοχή καθορίζεται κυρίως από την τοπική τύρβη και από την τύρβη λόγω περιστροφής. Η τύρβη λόγω περιστροφής διαχέεται γρήγορα και στο τέλος της αρχικής περιοχής είναι ασήμαντη.

Στη διανομή της ταχύτητας στην αρχική περιοχή υπάρχει ένας δυναμικός πυρήνας (potential core) ομοιόμορφης ταχύτητας ( $U_T$ ) και ακτίνας  $R_C$ . Αν η εξωτερική ροή έχει ταχύτητα  $U$ , έξω από τον πυρήνα η διανομή της ταχύτητας δίνεται από την σχέση:

$$\frac{u}{U} = 1 - \left(1 - \frac{U_T}{U}\right) \cdot (1 - \eta^5)^2 \quad \text{όπου} \quad \eta = \frac{r - R_C}{R_X - R_C}$$

Το κρίσιμο σημείο  $X_0$  που συναντώνται τα δύο επίπεδα τύρβης είναι:

$$X_0 = \frac{1}{K} \cdot \frac{33}{3K} \cdot R_T \quad \text{όπου} \quad K = \frac{dR}{dX}$$

$K$  είναι η βασική κλίση του ομόρρου.

Κυρίως περιοχή: Στην περιοχή αυτή η τύρβη εξασθενεί σταθερά, η τύρβη λόγω περιστροφής έχει απορροφηθεί πλήρως και η εξέλιξη του ομόρρου αρχίζει πλέον να καθορίζεται από τη διάχυτη τύρβη της εξωτερικής ροής. Στην περιοχή αυτή η διανομή της ταχύτητας δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{u}{U} = 1 - \Delta U \cdot (1 - \xi^5)^2 \quad \text{όπου } \Delta U = (U - U_x / U) \quad \text{και} \quad \xi = r/R_x$$

Η τιμή της ταχύτητας ( $U_\tau$ ) στην κεντρική γραμμή του ομόρρου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\frac{U_x}{U} = 1 - \frac{35}{9} \cdot \left(1 - \frac{U_\tau}{U}\right) \cdot \frac{R_\tau^2}{R_x^2}$$

Για να καθοριστεί πλήρως το πεδίο ταχύτητας στον όμορρο, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της κλίσης  $K$  του ομόρρου. Για τον σκοπό αυτό γίνεται η υπόθεση ότι η ενέργεια λόγω της τύρβης είναι το άθροισμα των ενεργειών της διάχυτης και της τοπικής.

$$V_\tau^2 = V\tau_m^2 + V\tau_a^2$$

όπου  $V_\tau$  είναι η ολική ταχύτητα λόγω τύρβης και  $V\tau_m, V\tau_a$  οι ταχύτητες που οφείλονται στα αποτελέσματα της τοπικής και της διάχυτης τύρβης αντίστοιχα. Έτσι η κλίση του ομόρρου μπορεί να εκφρασθεί με την εξής σχέση:

$$\frac{dR}{dX} = \left\{ \left( \frac{dR}{dX} \right)_m^2 + \left( \frac{dR}{dX} \right)_{\tau_a}^2 \right\}^{1/2}$$

Ο όρος της διάχυτης τύρβης δίνεται από τη σχέση:

$$\left( \frac{dR}{dX} \right)_{\tau_a} = \frac{\alpha}{0.51}$$

το  $\alpha$  παίρνει τιμές 0,03 έως 0,05.

Ο όρος της τοπικής τύρβης δίνεται από τη σχέση:

$$\left( \frac{dR}{dX} \right)_m = 0,22 \cdot \frac{(m-1)^2}{(1+2m)} \quad \text{όπου} \quad m = \frac{U}{U_\tau}$$

Εάν θεωρήσουμε ότι ο δρομέας ελαττώνει κατά 50% την ταχύτητα του ανέμου λόγω δέσμευσης ενέργειας τότε το  $m$  παίρνει τιμή 2, ενώ για απόσταση  $z$  ακτίνων πίσω από τον δρομέα ο όρος  $m$  μειώνεται.

Με αριθμητική αντικατάσταση στις παραπάνω σχέσεις είναι προφανές ότι το μεγαλύτερο μέρος της εξέλιξης του ομόρρου επηρεάζεται περισσότερο από τη διάχυτη και λιγότερο από την τοπικά δημιουργούμενη τύρβη.

$$\frac{dR}{dX} = \left\{ \left( \frac{\alpha}{0,51} \right)^2 + \left( 0,22 \cdot \frac{(m-1)^2}{m \cdot (1+2m)} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΑΙΟΛΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΗ ΓΕΩΡΓΙΑ

#### 7.1 Καθορισμός των προδιαγραφών του συστήματος.

Για τον σχεδιασμό ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο, μπορεί να επιλεγεί το σύστημα να λειτουργεί αυτόνομα, είτε να είναι συνδεδεμένο στο εθνικό δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή άλλη αυτόνομη πηγή.

Υπάρχουν κοινά προβλήματα και για τις δυο περιπτώσεις, αλλά η κάθε μία έχει επιπλέον τα δικά της ξεχωριστά μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα. Για την εξυπηρέτηση όμως μικρών και απομονωμένων γεωργικών εγκαταστάσεων, μακριά από το εθνικό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, σε θέσεις με σημαντικό αιολικό δυναμικό, η χρησιμοποίηση αυτόνομων αιολικών συστημάτων αποτελεί και την οικονομικότερη λύση. Εξ' άλλου, για μικρά φορτία, η σχεδίαση του αυτόνομου συστήματος παρουσιάζει τα περισσότερα προβλήματα, που όταν επιλυθούν με την κατασκευή της αυτόνομης μονάδας, η μετατροπή της σε διασυνδεδεμένη μονάδα είναι εξαιρετικά εύκολη, αν αυτό απαιτείται για κάποια εφαρμογή. Οι αυτόνομες μονάδες όμως συνήθως βρίσκονται σε απομονωμένες περιοχές όπου το κόστος εγκατάστασης και συντήρησης του συστήματος αποτελούν τους σημαντικότερους οικονομικούς παράγοντες. Γι' αυτό, σημαντικά κριτήρια στην επιλογή του καταλληλότερου συστήματος παραγωγής ενέργειας από τον αέρα είναι:

- Απλότητα και αξιοπιστία της κατασκευής με στόχο μικρές απαιτήσεις συντήρησης.
- Ευελιξία της κατασκευής, ώστε να είναι δυνατή η εγκατάσταση σε απομονωμένες περιοχές όπου η προσπέλαση ειδικών μηχανημάτων είναι αδύνατη ή αντιοικονομική.
- Ελαχιστοποίηση του κόστους κατασκευής με την χρησιμοποίηση, όπου είναι δυνατόν, δοκιμασμένων και ευρέως χρησιμοποιούμενων συστημάτων.

#### 7.2 Άρδευση απομονωμένης γεωργικής έκτασης με χρήση ανεμοκινητήρων.

Σε περιοχή του Αγρινίου η οποία είναι απομακρυσμένη από την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος της Δ.Ε.Η. βρίσκεται γεωργική έκταση 60 στρεμμάτων. Στόχος της μελέτης αυτής είναι αφού καλλιεργηθεί με ζαχαρότευτλα να μπορεί να αρδευτεί με τεχνητή βροχή. Η ισχυροδότηση του αντλητικού συγκροτήματος θα γίνεται από ηλεκτροκινητήρες στους οποίους το ρεύμα θα παρέχεται από αυτόνομους ανεμοκινητήρες. Η παροχή ηλεκτρικής και όχι μηχανικής ισχύος στις αντλίες γίνεται για λόγους ευκολίας μεταφοράς της παραγόμενης ενέργειας από το σημείο παραγωγής μέχρι το σημείο κατανάλωσης και ελεύθερης επιλογής της βέλτιστης θέσης εγκατάστασης του ανεμοκινητήρα ακόμη και αν αυτή είναι απομακρυσμένη από το αντλητικό συγκρότημα .

Η μελέτη γίνεται για άρδευση έκτασης 60 στρεμμάτων με τα παρακάτω χαρακτηριστικά, σύμφωνα με εδαφολογικές αναλύσεις:

- Φαινόμενο ειδικό βάρος  $E\phi = 1.3 \text{ gr / cm}^3$
- Υδατοϊκανότητα  $Y.\Delta. = 24\% \xi.\beta.$
- Σημείο μόνιμης μάρανσης  $11\% \xi.\beta.$
- Βασική διηθητικότητα  $B.\Delta. = 7 \text{ mm / h}$

Οι ημερήσιες ανάγκες το μήνα αιχμής (Ιούλιο) σε νερό για καλλιέργεια ζαχαρότευτλων είναι  $H_u = 7 \text{ mm/ημέρα}$  ενώ το μέσο βάθος ριζοστρώματος της καλλιέργειας είναι  $d_e = 0.6 \text{ m}$ . Για την συγκεκριμένη καλλιέργεια μπορούμε να προγραμματίσουμε την επόμενη άρδευση, όταν από το έδαφος εξαντληθεί το 40% της διαθέσιμης υγρασίας.

Η αρδευόμενη έκταση είναι ορθογωνικής μορφής διαστάσεων  $300\text{m} \times 200\text{m}$  και το αντλητικό συγκρότημα βρίσκεται στο μέσο μίας εκ των μεγαλύτερων πλευρών. Η μέγιστη παροχή την οποία μπορούμε να αντλήσουμε από την γεώτρηση είναι  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ , χωρίς να δημιουργηθεί πρόβλημα στον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα. Η στάθμη άντλησης βρίσκεται σε βάθος  $5 \text{ m}$ , ενώ ο βαθμός απόδοσης της άρδευσης κατά την εφαρμογή με τεχνητή βροχή είναι  $E_a = 85\%$ .

Ο υπολογισμό της ισχύος που απορροφούν οι ηλεκτροκινητήρες για τη λειτουργία του αντλητικού συγκροτήματος γίνεται συναρτήσει της αντλίας, η οποία πρέπει να καλύπτει το απαιτούμενο μανομετρικό και την παροχή λειτουργίας του αρδευτικού δικτύου. Η απαιτούμενη παροχή δίνεται βάση των απαιτήσεων της καλλιέργειας αλλά και των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του εδάφους.

Η δόση εφαρμογής άρδευσης δίνεται από την σχέση:

$$\Delta.E. = 0.6 \cdot \frac{Y.\Delta. - \Sigma.M.M.}{100 \cdot E_a} \cdot E\phi \cdot d_e \cdot 1000$$

$$\Delta.E. = 0.6 \cdot \frac{24\% \xi.\beta. - 11\% \xi.\beta.}{100 \cdot 0.85} \cdot 1.3\text{gr/cm}^3 \cdot 0.6\text{m} \cdot 1000$$

$$\Delta.E. \approx 71.6 \text{ mm}$$

Επομένως η συνολική ποσότητα νερού που απαιτείται για την άρδευση της παραπάνω έκτασης είναι:

$$\text{Έκταση} \cdot \Delta.E. = 60\text{στρ.} \cdot 71.6\text{mm} = 4296\text{m}^3$$

Το εύρος μεταξύ δύο διαδοχικών αρδεύσεων είναι:

$$E = \Delta.A. / H_u$$

$$\Delta.A. = 0.6 \cdot \frac{Y.\Delta. - \Sigma.M.M.}{100} \cdot E\phi \cdot d_e \cdot 1000$$

$$\Delta.A. = 0.6 \cdot \frac{24\% \xi.\beta. - 11\% \xi.\beta.}{100} \cdot 1.3\text{gr/cm}^3 \cdot 0.6\text{m} \cdot 1000$$

$$\Delta.A. \approx 60.84 \text{ mm}$$

$$E = \frac{60.84 \text{ mm}}{7 \text{ mm / ημέρα}} = 8.69 \approx 9 \text{ ημέρες}$$



Η απαιτούμενη παροχή ώστε να καλύπτονται οι ανάγκες άρδευσης, για εύρος εννέα ημερών, με δωδεκάωρη λειτουργία του συγκροτήματος προκύπτει από τον τύπο:

$$Q = \frac{E \cdot \Delta.E.}{H\alpha \cdot \Omega}$$

όπου: Q = η παροχή της αντλίας σε m<sup>3</sup>/h  
 E = η αρδευόμενη έκταση σε στρέμματα  
 Δ.Ε.= η δόση εφαρμογής σε m<sup>3</sup>  
 Ηα = ο αριθμός ημερών μιας πλήρους άρδευσης της έκτασης  
 Ω = αριθμός ωρών λειτουργίας του συγκροτήματος για μια ημέρα

$$Q = \frac{60 \text{ στρ.} \cdot 71.6 \text{ m}^3}{9 \text{ ημέρες} \cdot 12 \text{ ώρες}} = 39.8 \approx 40 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Η απαιτούμενη ισαποχή των γραμμών άρδευσης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$l = \frac{\Delta.E. \cdot Lm}{I \cdot t}$$

όπου: l = η ισαποχή των γραμμών άρδευσης σε m  
 Δ.Ε.= η δόση εφαρμογής σε mm  
 Lm = το μήκος της κύριας γραμμής σε m  
 I = η διηθητικότητα του εδάφους σε mm/h  
 t = ο χρόνος λειτουργίας του συγκροτήματος για άρδευση όλης της έκτασης σε ώρες

$$l = \frac{71.6 \text{ mm} \cdot 200 \text{ m}}{7 \text{ mm/h} \cdot (12 \cdot 9) \text{ h}} = 18.94 \approx 18 \text{ m}$$

Η ισαποχή των εκτοξευτήρων επί της γραμμής υπολογίζεται από την σχέση:

$$\alpha = \frac{l}{1.4} = \frac{18 \text{ m}}{1.4} = 12.8 \approx 12 \text{ m}$$

Γνωρίζοντας την ισαποχή των αγωγών άρδευσης αλλά και την ισαποχή των εκτοξευτήρων επί της γραμμής, καθορίζεται η διάταξη των εκτοξευτήρων που είναι ορθογωνική 18 x 12 m.

Ο αριθμός των εκτοξευτήρων, δίνεται από την σχέση:

$$N = \frac{Ln}{\alpha} - 1.16$$

όπου: N = ο αριθμός των εκτοξευτήρων  
 Ln = το μήκος της δευτερεύουσας γραμμής άρδευσης σε m  
 α = η ισαποχή των εκτοξευτήρων επί της γραμμής σε m

$$N = \frac{300 \text{ m}}{12 \text{ m}} - 1.16 = 23.84 \approx 24 \text{ m}$$

Η εκλογή τύπου εκτοξευτού γίνεται με βάση την παροχή του δικτύου και του αριθμού των εκτοξευτών από τη σχέση:

$$q = \frac{Q}{N} = \frac{40 \text{ m}^3 / \text{h}}{24} = 1.66 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Με βάση την υπολογιζόμενη παροχή  $q = 1.66 \text{ m}^3 / \text{h}$  εκλέγουμε από πίνακες που κυκλοφορούν στο εμπόριο και τους οποίους δίνει το εργοστάσιο κατασκευής τον κατάλληλο τύπο εκτοξευτή, πίνακας 7.1α,β. Ενδεικτικά παρατίθενται πιο κάτω μερικοί τύποι εκτοξευτών με παροχή ίδια με αυτή που απαιτεί το συγκρότημα για τη σωστή λειτουργία του.

Από τα τρία δείγματα επιλέγουμε το τρίτο που είναι το πλησιέστερο στην απαιτούμενη παροχή των  $1.65 \text{ m}^3/\text{h}$ . Για να καταλήξουμε στην επιλογή του συγκεκριμένου τύπου εκτοξευτή θα πρέπει να γίνει έλεγχος της έντασης και της ομοιομορφίας διανομής του νερού.

Η ένταση βροχής δίνεται από την σχέση:

$$i = \frac{1000 \cdot q \cdot E\alpha}{l \cdot \alpha}$$

όπου:  $i$  = ένταση βροχής σε mm/h  
 $q$  = παροχή εκτοξευτή σε  $\text{m}^3/\text{h}$   
 $E\alpha$  = βαθμός απόδοσης άρδευσης κατά την εφαρμογή  
 $l$  = ισαποχή των αγωγών άρδευσης σε m  
 $\alpha$  = ισαποχή των εκτοξευτών πάνω στη γραμμή σε

$$i = \frac{1000 \cdot 1.65 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 0.85}{18\text{m} \cdot 12\text{m}} = 6.49 \approx 6.5 \text{ mm/h}$$

Η ένταση βροχής είναι μικρότερη της βασικής διηθητικότητας ( $i = 6.5 \text{ mm/h} < \text{B.}\Delta. = 7 \text{ mm/h}$ ) οπότε δεν θα υπάρχει πρόβλημα επιφανειακής απορροής.

Για να επιτευχθεί ικανοποιητική ομοιομορφία διανομής του νερού στο έδαφος θα πρέπει:

$$l < 0.65 D \text{ ή } D > l / 0.65$$

$$D > 18\text{m} / 0.65 = 27.69\text{m}$$

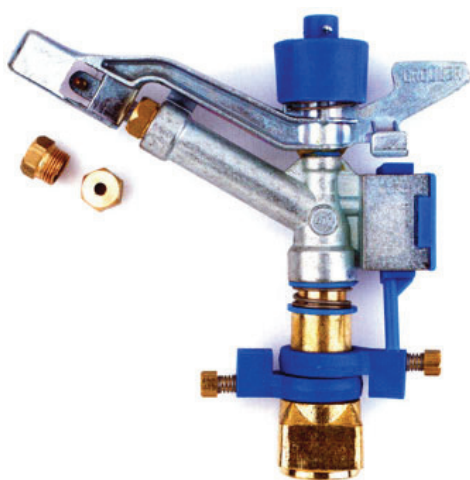
$$29.8 > 27.69$$

Οι προϋποθέσεις που πρέπει να τηρούνται για την εκλογή του εκτοξευτήρα καλύπτονται οπότε επιλέγοντας τον συγκεκριμένο τύπο ακροφύσιου καλύπτουμε τις απαιτήσεις μας.

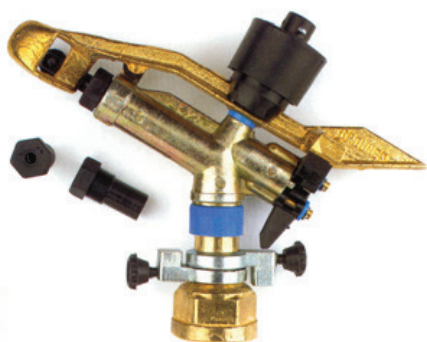
Ο χρόνος παραμονής της γραμμής άρδευσης σε κάθε στάση υπολογίζεται από τη σχέση:

$$t = \Delta.E. / i$$

$$t = 71.6 \text{ mm} / 6.5 \text{ mm} / \text{h} = 11 \text{ ώρες.}$$



ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ σε mm	ΠΙΕΣΗ σε atm	ΕΚΡΟΗ σε m <sup>3</sup> /h	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ καλύψεως σε m
5,5	2	1,19	28
	3	1,46	31
	4	1,69	34
	5	1,89	35
6,5	2	1,30	28
	3	1,59	31
	4	1,84	34
	5	2,05	36
7,5	2	1,87	29
	3	2,29	34
	4	2,65	36
	5	2,96	38

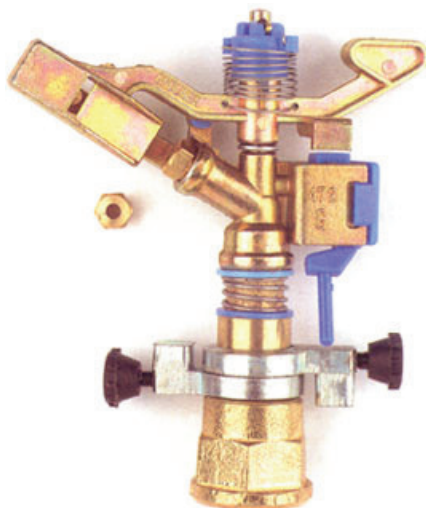


ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ σε mm	ΠΙΕΣΗ σε atm	ΕΚΡΟΗ σε m <sup>3</sup> /h	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ καλύψεως σε m
5,5	2	1,19	28
	3	1,46	31
	4	1,69	34
	5	1,89	35
6,5	2	1,30	28
	3	1,59	31
	4	1,84	34
	5	2,05	36
7,5	2	1,87	29
	3	2,29	34
	4	2,65	36
	5	2,96	38

Πίνακας 7.1α. Χαρακτηριστικά λειτουργίας εκτοξευτήρων του εμπορίου.



ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ σε mm	ΠΙΕΣΗ σε atm	ΕΚΡΟΗ σε m <sup>3</sup> /h	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ καλύψεως σε m
5,0 x 2,5	2,0	1,37	27,0
	2,5	1,49	28,0
	3,0	1,65	29,8
	3,5	1,78	31,0
	4,0	2,05	31,5



ΑΚΡΟΦΥΣΙΟ σε mm	ΠΙΕΣΗ σε atm	ΕΚΡΟΗ σε m <sup>3</sup> /h	ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ καλύψεως σε m
3,8	1,5	0,72	23
	2,0	0,83	25
	2,5	0,93	26
	3,0	1,00	27
	3,5	1,80	28
4,5	1,5	0,90	24,0
	2,0	1,04	26,0
	2,5	1,18	26,8
	3,0	1,29	27,6
	3,5	1,40	28,4
5,5	1,5	1,44	26
	2,0	1,62	28
	2,5	1,80	29
	3,0	1,98	30
	3,5	2,12	31

Πίνακας 7.1β. Χαρακτηριστικά λειτουργίας εκτοξευτήρων του εμπορίου.

Ο αριθμός γραμμών άρδευσης δίνεται από τη σχέση:

$$A = Lm / l$$

$$A = 200m / 18m \approx 11 \text{ γραμμές.}$$

Επειδή όμως η θέση της γεώτρησης βρίσκεται στο μέσο της μίας μεγάλης πλευράς τότε οι γραμμές άρδευσης διπλασιάζονται και έχουν το μισό μήκος, δηλαδή 22 γραμμές άρδευσης των 150 m.

Ο συνολικός χρόνος άρδευσης της έκτασης (T) προκύπτει ως γινόμενο του αριθμού των γραμμών άρδευσης (A) επί του χρόνου παραμονής της γραμμής άρδευσης (t) στην κάθε θέση.

$$T = A \cdot t = 11 \cdot 11 = 121 \text{ ώρες.}$$

Με δωδεκάωρη λειτουργία του συγκροτήματος και με εύρος άρδευσης εννέα ημέρες ο απαιτούμενος χρόνος είναι 108 ώρες, δηλαδή μικρότερος από αυτό που υπολογίσαμε. Σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσαμε να επιλέξουμε η άρδευση να πραγματοποιείται σε δέκα ημέρες με δωδεκάωρη λειτουργία του συγκροτήματος και η αλλαγή της γραμμής να πραγματοποιείται μία φορά την ημέρα.

Ο υπολογισμός της παροχής του συγκροτήματος δίνεται ως συνάρτηση του γινομένου της παροχής κάθε εκτοξευτή επί τον αριθμό των εκτοξευτών.

$$Q = q \cdot N$$

$$Q = 1.65 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 24 = 39.6 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Για τον υπολογισμό της διαμέτρου της κύριας γραμμής άρδευσης, χρησιμοποιείται η σχέση:

$$D = \sqrt{\frac{Q}{3600}}$$
$$D = \sqrt{\frac{39.6 \text{ m}^3 / \text{h}}{3600}} \approx 0.105\text{m} \text{ ή } 105 \text{ mm}$$

Για παροχή 40 m<sup>3</sup>/h και διατομή 110 mm που είναι και η πλησιέστερη, βρίσκουμε από τον πίνακα 7.2 ότι για σωλήνα PVC το ύψος απωλειών ανά 100 m είναι 1.5 m, ή 1.5%. Οι απώλειες αυτές είναι μικρότερες του 3% και κατά συνέπεια η διάμετρος των 110 mm είναι ικανοποιητική.

Όμοια για τις γραμμές άρδευσης η απαιτούμενη παροχή κάθε κλάδου είναι:

$$Q = 1.65 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 12 = 19.8 \text{ m}^3 / \text{h}$$

και η διάμετρος του κάθε αγωγού είναι:

$$D = \sqrt{\frac{19.8 \text{ m}^3 / \text{h}}{3600}} \approx 0.074\text{m} \text{ ή } 74 \text{ mm}$$

Για παροχή 20 m<sup>3</sup>/h και διατομή 75 mm που είναι και η πλησιέστερη, βρίσκουμε από τον πίνακα 8.1 ότι για σωλήνα PVC το ύψος απωλειών ανά 100 m είναι 2.6 m, ή 2.6%. Οι απώλειες αυτές είναι μικρότερες του 3% και κατά συνέπεια η διάμετρος των 75 mm είναι ικανοποιητική. Οι απώλειες φορτίου στον αγωγό άρδευσης εξαρτώνται και από τον αριθμό των εκτοξευτήρων. Έτσι οι απώλειες δίνονται από τη σχέση:

$$A.Φ. = \frac{L_e}{100} \cdot f \cdot F$$

- όπου: A.Φ. = οι απώλειες φορτίου σε m  
 L<sub>e</sub> = το μήκος του αγωγού σε m  
 f = οι απώλειες του αγωγού σε m, ανά 100m  
 F = συντελεστής διόρθωσης

ΠΑΡΟΧΗ m <sup>3</sup> /h	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΣΕ ΧΙΛΙΟΣΤΑ (PVC . MAX 6 ATM)									
	Φ 40	Φ 50	Φ 63	Φ 70	Φ 75	Φ 90	Φ 100	Φ 110	Φ 125	Φ 140
4.0	4.0									
4.5	4.8									
5.0	5.8									
6.0	8.3									
7.0	11.0	3.1								
8.0	14.0	4.0								
9.0	17.0	4.9								
10.0		6.0	1.8							
11.0		7.2	2.2							
12.0		8.3	2.5							
13.0		9.7	2.9	1.7						
14.0		11.0	3.3	1.9						
15.0		12.0	3.7	2.2						
20.0			6.3	3.6	2.6					
25.0			9.4	5.4	3.8	1.6				
30.0				7.0	5.4	2.1	1.3			
35.0					7.0	2.8	1.7	1.2		
40.0						3.5	2.2	1.5	0.8	
45.0						4.4	2.7	1.8	1.0	
50.0						5.2	3.2	2.3	1.2	0.8
55.0							3.8	2.7	1.4	1.0
60.0							4.4	3.2	1.6	1.1
65.0								3.6	1.9	1.3
70.0								4.1	2.2	1.5
75.0									2.5	1.6
80.0									2.8	1.9
85.0									3.1	2.1
90.0									3.3	2.3
95.0									4.0	2.7
100.0										3.3

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΡΕΥΣΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ Ε.Μ.Π.

Πίνακας 7.2. Πίνακας απωλειών πίεσης από τριβές σε σωλήνες PVC. Ύψος απωλειών για 100 μέτρα σωλήνων.

Ο συντελεστής διόρθωσης F βρίσκεται από τον πίνακα 7.3 και στην προκειμένη περίπτωση είναι ίσος με  $F = 0.376$

Αριθμός εκτοξευτών	Συντελεστής F	Αριθμός εκτοξευτών	Συντελεστής F	Αριθμός εκτοξευτών	Συντελεστής F
1	1.000	11	0.380	22	0.357
2	0.625	12	0.376	24	0.355
3	0.518	13	0.373	25	0.354
4	0.469	14	0.370	30	0.350
5	0.440	15	0.367	35	0.347
6	0.421	16	0.365	40	0.345
7	0.408	17	0.363	50	0.343
8	0.398	18	0.361	100	0.338
9	0.391	19	0.360		
10	0.385	20	0.359		

Πίνακας 7.3. Διορθωτικός συντελεστής F ανάλογα με τον αριθμό των εκτοξευτών.

$$Α.Φ. = \frac{150 \text{ m}}{100} \cdot 2.6 \text{ m} \cdot 0.376 = 1.46 \text{ m}$$

Η ολοκλήρωση της μελέτης γίνεται με τον υπολογισμό του ολικού μανομετρικού.

Το ολικό μανομετρικό προκύπτει ως άθροισμα των επιμέρους απωλειών και πιο συγκεκριμένα της υψομετρικής διαφοράς Ηγ και της απώλειας πίεσης μέσα στους αγωγούς Ητ. Πιο κάτω παρατίθενται αναλυτικά οι επιμέρους απώλειες.

- Ύψος αναρρόφησης 5 m
  - Ύψος σωλήνων ανύψωσης των εκτοξευτών 0.4 m
  - Μέση πίεση λειτουργίας εκτοξευτών 3 atm. 30 m
  - Απώλεια φορτίου κύριας γραμμής 200 m 4.4 m
  - Απώλεια φορτίου γραμμής άρδευσης 150 m 1.46 m
  - Υψομετρική διαφορά εδάφους --
  - Απώλειες στον υδρολιπαντήρα 2 m
  - Απώλειες φορτίου εξαρτημάτων 15% περίπου του συνολικού φορτίου 6.5 m
- ΣΥΝΟΛΟ 49.74 ≈ 50 m

Η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα προκύπτει από την σχέση:

$$N = \frac{Q \cdot H_m}{270 \cdot \eta}$$

- όπου: N : η ισχύς του κινητήρα σε HP  
 Q : η παροχή της αντλίας σε m<sup>3</sup>/h  
 Hm : το ολικό μανομετρικό σε m  
 η : ο βαθμός απόδοσης της αντλίας

Με αντικατάσταση των στοιχείων που έχουμε στη διάθεση μας και για βαθμό απόδοσης της αντλίας  $\eta = 0.69$ , προκύπτει η απαιτούμενη ισχύς του ηλεκτροκινητήρα.

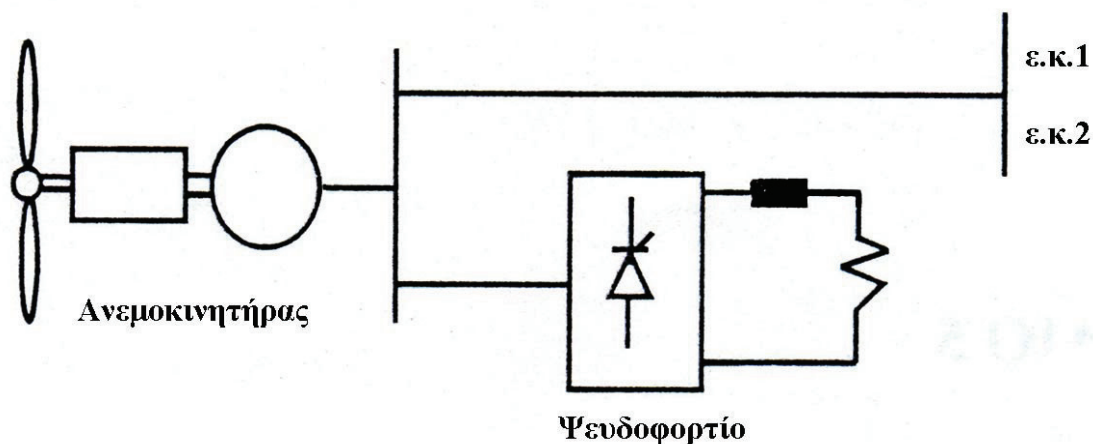
$$N = \frac{40 \text{ m}^3 / \text{h} \cdot 50 \text{ m}}{270 \cdot 0.69} = 10.73 \text{ HP}$$

Στην τελική τιμή της ισχύος προσαυξάνουμε κατά 10% όπως ορίζουν οι κανονισμοί και καταλήγουμε στην τελική ισχύ που απαιτείται να έχει ο ηλεκτροκινητήρας και η οποία είναι:

$$N = 11.8 \text{ HP} \approx 12 \text{ HP}$$

$$\text{ή } N \approx 9 \text{ KW}$$

Προκειμένου να γίνει η αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς του απομονωμένου συστήματος, μελετήθηκε το σύστημα του σχήματος 7.1. Στο σύστημα αυτό, η μονάδα άντλησης και το σύστημα υδρολίπανσης αναπαρίστανται με επαγωγικούς κινητήρες (ε.κ.1, ε.κ.2). Η επιλογή μιας τέτοιας αναπαράστασης δικαιολογείται, επειδή ως προς την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας οι σημαντικές συνιστώσες των μονάδων άντλησης και άρδευσης είναι ένα σύνολο αντλιών [21,44].



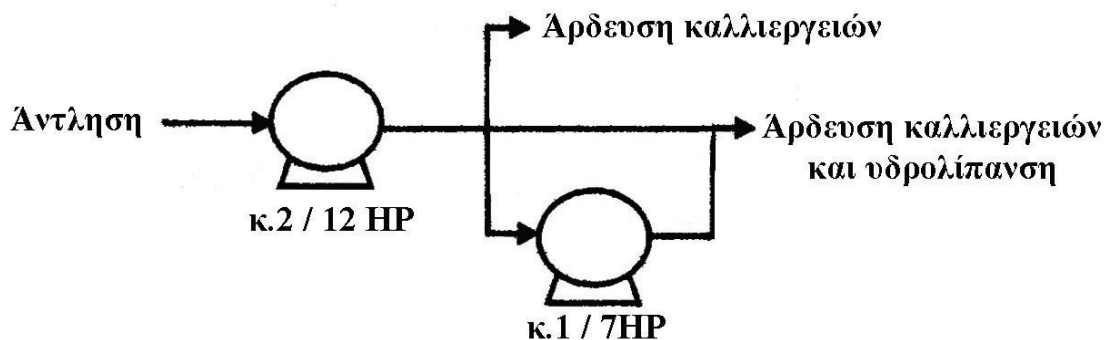
Σχήμα 7.1. Διάγραμμα του απομονωμένου συστήματος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο.

Στο σχήμα 7.2 δίνεται ένα απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα της διεργασίας άντλησης, στο οποίο έχει σημειωθεί η ισχύς εξόδου σε κάθε αντλία. Η αντλία κ.2 οδηγεί το νερό από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα μέσω της υδραυλικής εγκατάστασης στους εκτοξευτήρες, ενώ παράλληλα και εφόσον αυτό απαιτείται γίνεται ανάμειξη του αρδευτικού νερού με υδατοδιαλυτό λίπασμα το οποίο αντλείται μέσα από τον υδρολιπαντήρα. Για καλύτερη και ομοιόμορφη διάλυση του λιπάσματος ο υδρολιπαντής είναι εφοδιασμένος με μια αντλία κ.1 η οποία αναδύει συνεχώς το διάλυμα και η οποία βοηθά ώστε:

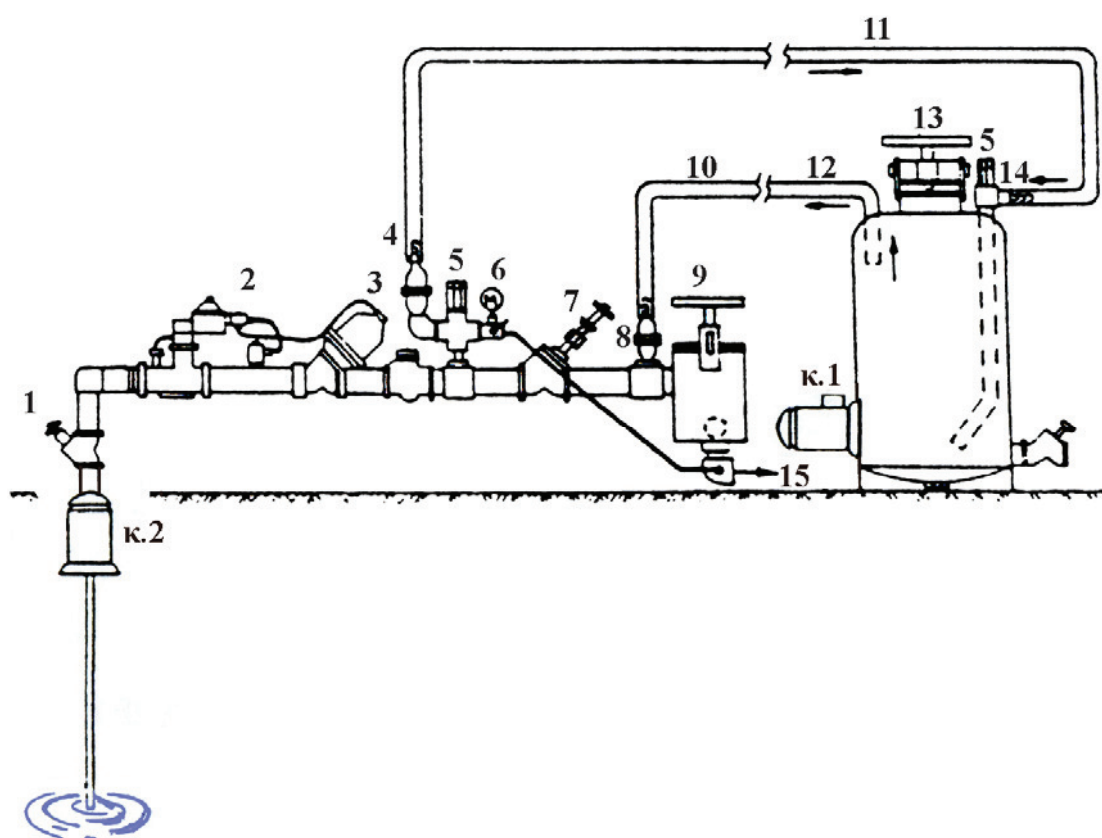
- να έχουμε σταθερή και ομοιόμορφη διάλυση του λιπάσματος στο αρδευτικό νερό με το χρόνο
- να μειωθεί στο ελάχιστο η απώλεια ενέργειας που προέρχεται από στραγγαλισμό της ροής του νερού στον κύριο αγωγό άρδευσης
- να έχουμε την ελάχιστη μείωση του διαθέσιμου μανομετρικού και αποφυγή έμφραξης των εκτοξευτήρων.



Για την καταγραφή της δυναμικής απόκρισης του ηλεκτρομηχανικού συστήματος, κατά την εκκίνηση των αντλητικών μονάδων, η αντλία κ.1 εξομοιώθηκε με ένα ηλεκτροκινητήρα, του οποίου η ισχύς εξόδου είναι 7HP και η αντλία κ.2 με ένα ηλεκτροκινητήρα, του οποίου η ισχύς εξόδου είναι 12HP σε ονομαστικές συνθήκες λειτουργίας. Στο σχήμα 7.3 φαίνεται πιο αναλυτικά η όλη εγκατάσταση και η πορεία που ακολουθεί το αρδευτικό νερό από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα μέχρι τους εκτοξευτήρες.



Σχήμα 7.2. Σχηματικό διάγραμμα αντλητικού συγκροτήματος.



Σχήμα 7.3. Μονάδα αντλητικού συγκροτήματος.

όπου: 1. Γενική βάνα, 2. αυτόματο υδρόμετρο, 3. ανεπίστροφη βαλβίδα, 4. ανεπίστροφη βαλβίδα του υδρολιπαντήρα, 5. βαλβίδα εξαερισμού, 6. μανόμετρο, 7. βάνα στραγγαλισμού, 8. βάνα για την είσοδο του νερού από τον υδρολιπαντήρα στον κύριο αγωγό, 9. φίλτρο, 10. αγωγός μεταφοράς διαλυμένου λιπάσματος, 11. αγωγός μεταφοράς νερού στον υδρολιπαντήρα, 12. βάνα εξόδου νερού από τον υδρολιπαντήρα, 13. υδρολιπαντήρας, 14. βάνα εισόδου στον υδρολιπαντήρα, 15. κύριος αγωγός άρδευσης, κ.1. ηλεκτροκινητήρας του υδρολιπαντήρα, κ.2. αντλία αρδευτικού συγκροτήματος.

Βασικός σκοπός της μελέτης αυτού του συστήματος είναι η καταγραφή της δυναμικής του απόκρισης κατά την μετάβαση του σε αναμενόμενες καταστάσεις λειτουργίας. Οι καταστάσεις αυτές υπαγορεύονται από την λογική λειτουργίας του συστήματος. που είναι η εξής. Όταν η μέση τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι πάνω από κάποιο προκαθορισμένο όριο, το σύστημα τίθεται σε λειτουργία και όταν η γωνιακή ταχύτητα της ανεμογεννήτριας πλησιάζει την ονομαστική της τιμή, ενεργοποιείται το ψευδοφορτίο ώστε να προστατευθεί η εγκατάσταση από μεγάλες διακυμάνσεις τάσης και συχνότητας. Ανάλογα με την διαθέσιμη ηλεκτρική ισχύ, ενεργοποιούνται και οι αντίστοιχες μονάδες άντλησης. Στην περίπτωση απότομης μείωσης της μέσης τιμής της ταχύτητας του ανέμου, εφόσον το ψευδοφορτίο δεν έχει περιθώρια ελέγχου της συχνότητας, τίθεται εκτός λειτουργίας η μία ή και οι δύο μονάδες άντλησης.

Η διατήρηση σταθερής συχνότητας στην ηλεκτρική εγκατάσταση μπορεί να εξασφαλισθεί εφόσον έχουμε σε κάθε χρονική στιγμή ισοζύγιο μεταξύ της απομαστευόμενης ισχύος από τον άνεμο και του ηλεκτρικού φορτίου, συν τις απώλειες του συστήματος. Οι δυνατές λύσεις που θα μπορούσαμε να έχουμε για τον έλεγχο της συχνότητας είναι:

- Διασύνδεση εναλλασσομένου ρεύματος / συνεχούς ρεύματος / εναλλασσομένου ρεύματος (EP / ΣΡ / EP) με ενδιάμεση σύνδεση συσσωρευτών και inverter.
- Ηλεκτρονικά ελεγχόμενο ψευδοφορτίο (dump load).

Κατά την διασύνδεση EP/ΣΡ/EP (μεταξύ γεννήτριας - φορτίου) με ενδιάμεση σύνδεση συσσωρευτών, το σύστημα ελέγχου διατηρεί την συχνότητα σταθερή, αποθηκεύοντας την μεγαλύτερη του φορτίου ισχύ της ανεμογεννήτριας στους συσσωρευτές, ενώ όταν η ισχύ της ανεμογεννήτριας υπολείπεται του φορτίου, η επιπλέον ισχύ λαμβάνεται από τους συσσωρευτές. Πέραν του κόστους αυτής της διάταξης, που επιβαρύνεται κυρίως λόγω του κόστους των συσσωρευτών και της απόδοσης φόρτισης-εκφόρτισης τους που είναι μικρότερη του 75%, οι συσσωρευτές δεν απαιτούν σημαντική συντήρηση. Η διάταξη μπορεί να σχεδιαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε όλη η ισχύς της ανεμογεννήτριας να αποθηκεύεται σε συσσωρευτές και κατόπιν να παρέχεται στους καταναλωτές οι οποίοι μπορεί να είναι συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνδυασμό με inverter στη δεύτερη περίπτωση.

Υπάρχουν δύο τρόποι μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές:

- Με αναστροφέα (inverter) ομαλής ημιτονοειδούς μορφής (Pure Sine Wave). Αυτή η λύση είναι ποιοτικά η καλύτερη αλλά και πάρα πολύ δαπανηρή. Είναι απαραίτητη εάν οι καταναλωτές είναι υψηλής τεχνολογίας και για τη λειτουργία τους απαιτείται σταθερή συχνότητα, ομαλής ημιτονοειδούς μορφής.
- Με αναστροφέας (inverter) τροποποιημένου ημίτονου (Modified Sine Wave).

Αυτή η λύση είναι συμβιβασμός αλλά πολύ οικονομικότερη της πρώτης. Μπορεί να καλύψει ανάγκες γεωργικής χρήσης όπου δεν απαιτείται σταθερή συχνότητα όπως ηλεκτροκινητήρες, ωμικές αντιστάσεις κλπ. όχι όμως αυτοματισμούς που ελέγχονται από Η/Υ ή ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Τα ψηφιακά ελεγχόμενα ψευδοφορτία με σκοπό την ρύθμιση των στροφών της σύγχρονης γεννήτριας (με στόχο την σταθερή συχνότητα) αποτελούνται από μία διάταξη ηλεκτρονικά ελεγχόμενων διακοπών (π.χ. θυρίστορ), τα οποία τροφοδοτούν κάποιο ωμικό φορτίο. Προκειμένου να έχουμε ρύθμιση των στροφών της γεννήτριας η επιπλέον ισχύς της ανεμογεννήτριας τροφοδοτείται στο ψευδοφορτίο. Το σύστημα

αυτό δεν απαιτεί συντήρηση αλλά η συνολική απόδοση του συστήματος μετατροπής της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική μειώνεται, λόγω της ηλεκτρικής ενέργειας που δαπανάται στο ψευδοφορτίο. Το πρόβλημα αυτό θα μπορούσε να αντιμετωπισθεί με μερική αντικατάσταση του ψευδοφορτίου από πραγματικά φορτία (όπως για παράδειγμα θέρμανση, ψύξη ή ξήρανση χώρων, εγκατάσταση αφαλάτωσης με αντίστροφη ώσμωση κλπ.) ή τροφοδοσία δεύτερης προτεραιότητας φορτίων, με αποτέλεσμα την βελτίωση της συνολικής απόδοσης του συστήματος. Γι' αυτό το λόγο η διάταξη αυτή, επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην παρούσα μελέτη.

### **7.2.1 Συλλογή, καταγραφή επεξεργασία και αξιολόγηση των ανεμολογικών δεδομένων περιοχής Αγρινίου – Αιολική ισχύς – Ενέργεια ανά χρόνο.**

Οι μετρήσεις του αιολικού δυναμικού, για την εγκατάσταση μονάδων μετατροπής της αιολικής ενέργειας σε άλλη μορφή, αποτελούν ένα από τα πιο βασικά στοιχεία του σχεδιασμού, εγκαταστάσεως και λειτουργίας τέτοιων μονάδων λόγω της σχέσης μεταξύ των ανεμολογικών και άλλων κλιματολογικών δεδομένων και της λειτουργικής απόδοσης των διατάξεων αυτών.

Ενώ η κατανομή κλιματολογικών στοιχείων, όπως π.χ. της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, στον Ελλαδικό χώρο παρουσιάζουν μικρές διακυμάνσεις από τη μια γεωγραφική ζώνη στην άλλη, η επικρατούσα ανεμοϊσχύς είναι συνάρτηση τοπικών παραμέτρων και ο χαρακτήρας της μεταβάλλεται όχι μόνο από την μια γεωγραφική ζώνη στην άλλη, αλλά ακόμα και μέσα σε στενά όρια μιας περιορισμένης περιοχής. Η μεθοδολογία μέτρησης, καταγραφής, επεξεργασίας και αξιολόγησης των κλιματολογικών δεδομένων σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ, πρέπει να αποτελεί το αντικείμενο έρευνας και το αντικείμενο μιας συστηματικής διαδικασίας.

Το έργο της αξιολόγησης αποβλέπει, στην εκτίμηση του υπάρχοντος αιολικού δυναμικού μιας συγκεκριμένης θέσης, στη συγκριτική μελέτη της διατιθέμενης θεωρητικής ισχύος του ανέμου διαφόρων περιοχών, στην επιλογή του βέλτιστου ανεμοκινητήρα ώστε να απομαστευθεί η μέγιστη ισχύς, στην εκτίμηση της διάρκειας και του τρόπου ροής της ανεμοϊσχύος προκειμένου να αντιμετωπισθούν προβλήματα αποθήκευσης της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας ή απευθείας διασύνδεσης του ανεμοκινητήρα με την κατανάλωση ή άλλο αυτόνομο σύστημα παραγωγής ενέργειας. Τέλος με τα διαθέσιμα στοιχεία καθίσταται δυνατή η υπολογιστική προσομοίωση της λειτουργίας ενός ανεμοκινητήρα σε συνδυασμό με άλλους μεταβλητούς παράγοντες όπως π.χ. το ύψος του πύργου του ανεμοκινητήρα.

Στο σχήμα 7.4 δίνεται η καμπύλη αποδόσεως του ανεμοκινητήρα (ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των μετεωρολογικών δεδομένων) AEG 85 D3.5-A9.6 σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου. Η οριακή ταχύτητα (cut in) είναι περίπου 3m/s [44].

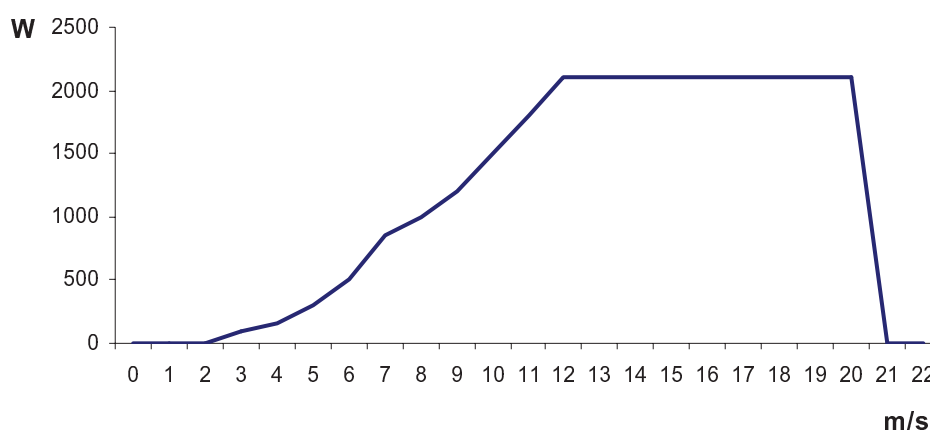
Ο πίνακας 7.4 συντάσσεται βάση των στοιχείων, συχνότητας της ταχύτητας του ανέμου για κάθε μήνα ή έτος, τα οποία συλλέγονται συνήθως από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό εάν δεν υπάρχει η δυνατότητα να γίνουν μετρήσεις στην υπό εξέταση περιοχή και η επεξεργασία αυτών αφού πρώτα ομαδοποιηθούν γίνεται σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά του ανεμοκινητήρα που θέλουμε να μελετήσουμε.

Τα στοιχεία για την σύνταξη των πινάκων έχουν συλλεχθεί από τον μετεωρολογικό σταθμό της περιοχής Αγρινίου, για το έτος 2001 [28]. Τα μετεωρολογικά στοιχεία για την περιοχή Αγρινίου παραχωρήθηκαν από τα αρχεία της E.M.Y. Αθηνών κατόπιν αίτησης με αριθμό πρωτοκόλλου (1855/2-11-04) για την περαίωση της παρούσας εργασίας και μόνο. Το γεωγραφικό μήκος και πλάτος του μετεωρολογικού σταθμού Αγρινίου είναι 21.23 / 38.37 και βρίσκεται σε ύψος 45.8

μέτρα από το επίπεδο της θάλασσας ενώ το ύψος τοποθέτησης οργάνων είναι στα 10 μέτρα.

- Στην πρώτη στήλη καταχωρούνται οι τιμές της ταχύτητας του ανέμου σε m/s.
- Στην δεύτερη στήλη καταχωρούνται οι ενδείξεις των απαριθμημένων τιμών, που είναι η συνολική χρονική διάρκεια σε ώρες, των επικρατούντων ανέμων.
- Στην τρίτη στήλη σημειώνεται η ισχύς εξόδου του ανεμοκινητήρα με βάση την καμπύλη απόδοσης του ( σχήμα 6.5 ).
- Στην τέταρτη στήλη υπολογίζεται η αναμενόμενη ενέργεια σε Kwh από το συγκεκριμένο ανεμοκινητήρα.
- Η πέμπτη στήλη περιλαμβάνει τη θεωρητική ισχύ του ανέμου για ενεργό επιφάνεια 1 m<sup>2</sup>.
- Η έκτη στήλη περιλαμβάνει τη θεωρητική ισχύ του ανέμου για μια ενεργό επιφάνεια ίση με τη διαγραφόμενη επιφάνεια των πτερυγίων του ανεμοκινητήρα.
- Στην έβδομη στήλη φαίνεται η θεωρητική ενέργεια του ανέμου για κάθε αντίστοιχη ταχύτητα και χρονικό διάστημα.
- Στην όγδοη στήλη σημειώνεται το ποσοστό διάρκειας της ταχύτητας του ανέμου το μήνα.

ΑΕΓ 85 D3.5 - A9.6



Σχήμα 7.4. Καμπύλη απόδοσης ανεμογεννήτριας AEG85 D3.5-A9.6

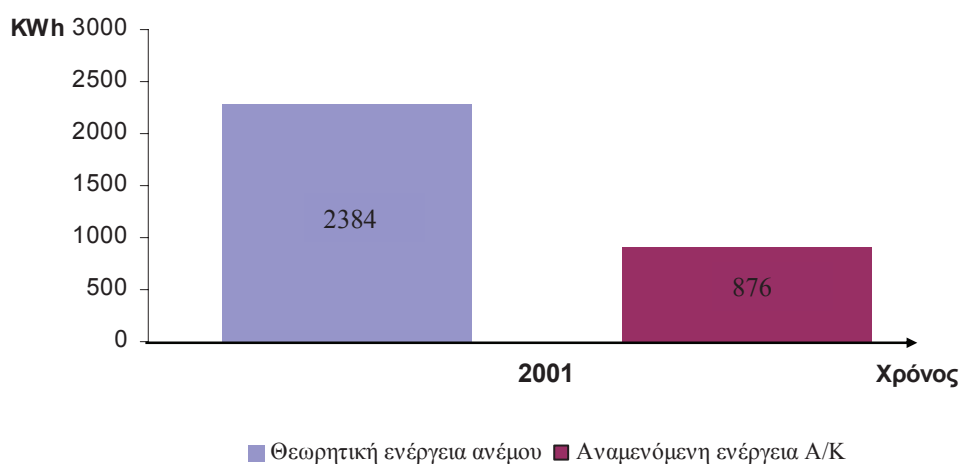
Τα στοιχεία αυτών των πινάκων απεικονίζουν το διατιθέμενο αιολικό δυναμικό μιας θέσης για το χρονικό διάστημα των συλλεγόντων στοιχείων [20].

Από τα υπάρχοντα στοιχεία ανέμου στην περιοχή Αγρινίου, για το χρονικό διάστημα Ιανουάριος 2001 – Δεκέμβριος 2001 και την επεξεργασία τους σύμφωνα με τον πίνακα 7.4 σχεδιάζεται το διάγραμμα του σχήματος 7.5.

Βάση αυτού του διαγράμματος μπορούμε να ελέγξουμε εάν ο ανεμοκινητήρας που έχουμε επιλέξει ικανοποιεί τις ετήσιες ενεργειακές μας απαιτήσεις αλλά και τι ποσοστό της ενέργειας του ανέμου ετησίως μπορεί να δεσμεύσει και να το μετατρέψει σε ωφέλιμη ισχύ. Τα αποτελέσματα είναι πιο ακριβή, εάν η παραπάνω ανάλυση των στοιχείων γίνει ανά μήνα, οπότε θα μπορούνε να ελέγξουμε τη ροή ενέργειας του ανέμου ανά μήνα και κατά πόσο ικανοποιούνται οι μηνιαίες απαιτήσεις μας σε ενέργεια. Οι πίνακες 7.5 έως 7.7 συγκεντρώνουν τα απαιτούμενα στοιχεία για μια περαιτέρω ανάλυση και τη δημιουργία του σχήματος 7.6.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4**  
**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**  
**ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ – ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ ΕΤΟΣ: 2001 ΣΤΑΘΜΟΣ: ΑΓΡΙΝΙΟΥ**

α/α	1	2	3	4	5	6	7	8
	U (m/s) Για ύψος 10m	Hr	Kw Ισχύς A/K	Kwhs A/K	Kw Ανέμου για 1m <sup>2</sup> (α=0.08)	Kw Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	% Χρόνου
1	0	4206	0	0	0	0	0	48
2	1	546	0	0	0.0006	0.006	3.3	6.2
3	2	750	0	0	0.005	0.05	37.5	8.6
4	3	1038	0.08	83	0.016	0.16	166	12
5	4	1026	0.16	164.2	0.04	0.38	390	11.7
6	5	594	0.30	178.2	0.08	0.73	434	6.8
7	6	348	0.50	174	0.13	1.3	453	4
8	7	108	0.85	91.8	0.21	2	216	1.2
9	8	48	1.00	48	0.31	3	144	0.5
10	9	54	1.20	64.8	0.44	4.3	232.2	0.6
11	10	18	1.50	27	0.61	5.9	106.2	0.2
12	11	18	1.80	32.4	0.82	7.8	140.4	0.2
13	12	6	2.10	12.6	1.06	10.2	61.2	0.07
14	13	-	2.10	-	1.4	13	-	-
15	14	-	2.10	-	1.7	16.1	-	-
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>		8760		876			2384	



Σχήμα 7.5 Σύγκριση θεωρητικής ετήσιας ενέργειας ανέμου και αναμενόμενης ενέργειας από τον ανεμοκινητήρα.

Κατά πόσο είναι αποδοτικός (το ποσοστό της ενέργειας του ανέμου μπορεί να δεσμεύσει) ο ανεμοκινητήρας που έχουμε επιλέξει μπορεί να ελεγχθεί, παραθέτοντας την καμπύλη απόδοσης του ανεμοκινητήρα είτε με την καμπύλη της μέγιστης δυνατής απόδοσης που μπορεί να δεσμεύσει ο ανεμοκινητήρας είτε με την καμπύλη που σχηματίζει η θεωρητική ενέργεια του ανέμου για μια επιφάνεια όση η επιφάνεια των πτερυγίων του υπό εξέταση ανεμοκινητήρα σχήμα 7.7.

Η θεωρητική ενέργεια  $W_1$  που περικλείει άνεμος ταχύτητας  $V$  (σε m/s), μετωπικής επιφάνειας  $A$  δίνεται από τη σχέση:

$$W_1 = 0.613 \cdot \frac{V^3}{1000} \text{ σε KW/m}^2$$

Ενώ η μέγιστη δυνατή απόδοση  $W_2$  ενός ανεμοκινητήρα δίνεται από τη σχέση:

$$W_2 = 0.363 \cdot \frac{V^3}{1000} \text{ σε KW/m}^2$$

Κατά τον ίδιο τρόπο μπορεί να μελετηθεί οποιοσδήποτε τύπος ανεμοκινητήρα ώστε να βρεθεί ο βέλτιστος σε απομαστευόμενης ισχύ από τον άνεμο για μια συγκεκριμένη περιοχή. Να σημειωθεί επίσης ότι η ισχύς του ανεμοκινητήρα μπορεί να αυξηθεί, με το ύψος του πύργου στήριξης. Στοιχεία κόστους για επέκταση του πύργου, που αφορούν οικονομοτεχνικές μελέτες δίνονται μόνο από τους κατασκευαστές που μελετούν το βάρος του ανεμοκινητήρα, σε συνάρτηση με τις δυνάμεις και καταπονήσεις που δέχεται και προτείνουν τις βέλτιστες λύσεις.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.5**  
**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**  
**ΕΤΟΣ: 2001 ΣΤΑΘΜΟΣ: ΑΓΡΙΝΙΟΥ**

				<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ</u>			<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ</u>		
<u>a/a</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>
	U (m/s) Για ύψος 10m	Kw Ισχύς Α/Κ	Kw Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs Α/Κ	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs Α/Κ	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>
1	0	0	0	522	0	0	480	0	0
2	1	0	0.006	36	0	0.21	24	0	0.144
3	2	0	0.05	48	0	2.4	42	0	2.1
4	3	0.08	0.16	36	2.88	5.76	66	5.28	10.56
5	4	0.16	0.38	60	9.6	22.8	30	1.8	11.4
6	5	0.30	0.73	6	3.24	4.38	6	0.3	4.38
7	6	0.50	1.3	30	15	39	12	6	15.6
8	7	0.85	2	6	5.1	12	6	5.1	12
9	8	1.00	3				6	6	18
10	9	1.20	4.3						
11	10	1.50	5.9						
12	11	1.80	7.8						
13	12	2.10	10.2						
14	13	2.10	13						
15	14	2.10	16.1						
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				744	35.82	86.58	672	28.98	74.16
				<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΜΑΡΤΙΟΣ</u>			<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΑΠΡΙΛΙΟΣ</u>		
<u>a/a</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>
	U (m/s) Για ύψος 10m	Kw Ισχύς Α/Κ	Kw Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs Α/Κ	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs Α/Κ	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>
1	0	0	0	240	0	0	246	0	0
2	1	0	0.006	42	0	0.252	60	0	0.36
3	2	0	0.05	102	0	5.1	96	0	4.8
4	3	0.08	0.16	108	8.64	17.28	66	5.28	10.56
5	4	0.16	0.38	96	15.36	36.48	108	17.28	41.04
6	5	0.30	0.73	54	16.2	19.98	78	23.4	56.94
7	6	0.50	1.3	60	30	78	36	18	46.8
8	7	0.85	2	18	15.3	36	18	15.3	30.6
9	8	1.00	3	18	18	54	-	-	-
10	9	1.20	4.3	6	7.2	25.8	12	14.4	61.9
11	10	1.50	5.9						
12	11	1.80	7.8						
13	12	2.10	10.2						
14	13	2.10	13						
15	14	2.10	16.1						
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				744	110.7	272.88	720	93.66	253.02

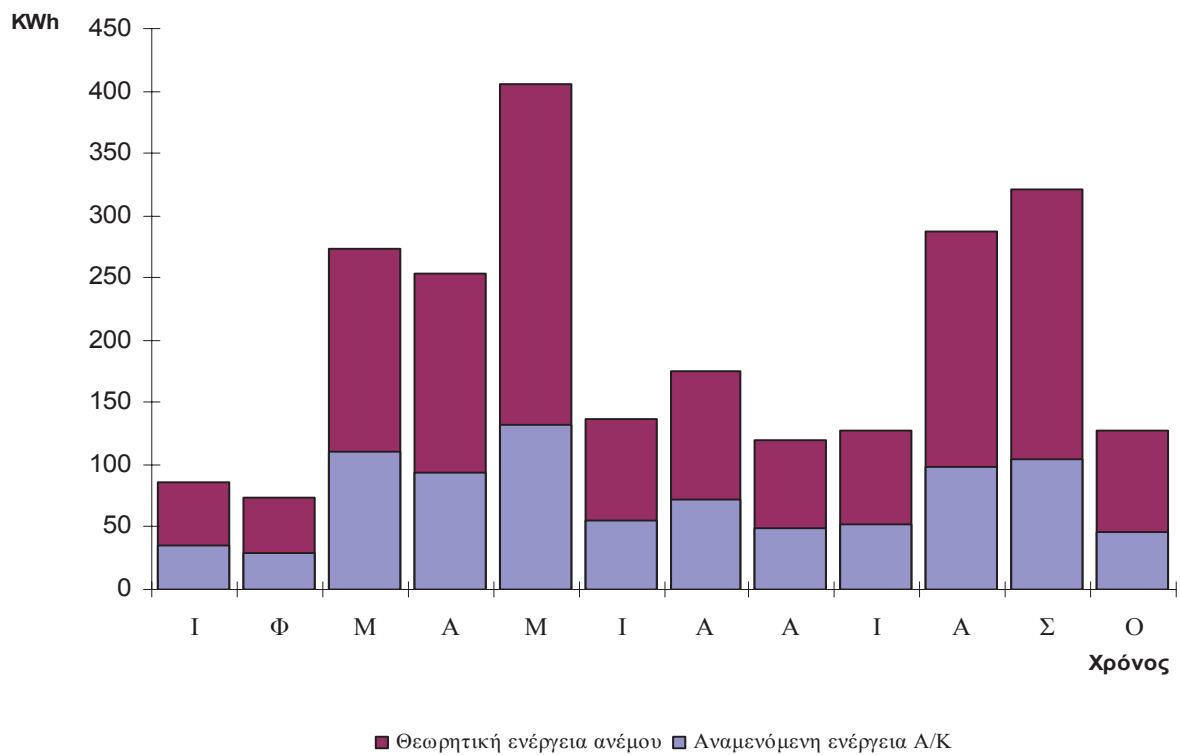
**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.6**  
**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**  
**ΕΤΟΣ: 2001 ΣΤΑΘΜΟΣ: ΑΓΡΙΝΙΟΥ**

				<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΜΑΙΟΣ</u>			<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΙΟΥΝΙΟΣ</u>		
<u>a/a</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>
	U (m/s) Για ύψος 10m	Kw Ισχύς A/K	Kw Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs A/K	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs A/K	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>
1	0	0	0	222	0	0	300	0	0
2	1	0	0.006	24	0	0.144	36	0	0.216
3	2	0	0.05	90	0	4.5	78	0	3.9
4	3	0.08	0.16	96	7.68	15.36	96	7.68	15.36
5	4	0.16	0.38	114	18.24	43.32	144	23.04	54.72
6	5	0.30	0.73	138	41.4	100.74	42	12.6	30.66
7	6	0.50	1.3	24	12	31.2	24	12	31.2
8	7	0.85	2	6	5.1	12			
9	8	1.00	3	6	6	18			
10	9	1.20	4.3	6	7.2	25.8			
11	10	1.50	5.9	-	-	-			
12	11	1.80	7.8	12	21.6	93.6			
13	12	2.10	10.2	6	12.6	61.2			
14	13	2.10	13						
15	14	2.10	16.1						
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				744	131.82	405.84	720	55.32	136.02
				<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΙΟΥΛΙΟΣ</u>			<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ</u>		
<u>a/a</u>	<u>1</u>	<u>2</u>	<u>3</u>	<u>4</u>	<u>5</u>	<u>6</u>	<u>7</u>	<u>8</u>	<u>9</u>
	U (m/s) Για ύψος 10m	Kw Ισχύς A/K	Kw Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs A/K	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs A/K	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>
1	0	0	0	198	0	0	396	0	0
2	1	0	0.006	72	0	0.432	66	0	0.396
3	2	0	0.05	66	0	3.3	54	0	2.7
4	3	0.08	0.16	186	14.88	29.76	72	5.76	11.52
5	4	0.16	0.38	120	19.2	45.6	84	13.44	31.92
6	5	0.30	0.73	72	21.6	52.56	42	12.6	30.66
7	6	0.50	1.3	24	12	31.2	24	12	31.2
8	7	0.85	2	6	5.1	12	6	5.1	12
9	8	1.00	3						
10	9	1.20	4.3						
11	10	1.50	5.9						
12	11	1.80	7.8						
13	12	2.10	10.2						
14	13	2.10	13						
15	14	2.10	16.1						
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				744	72.78	174.84	744	48.9	120.36

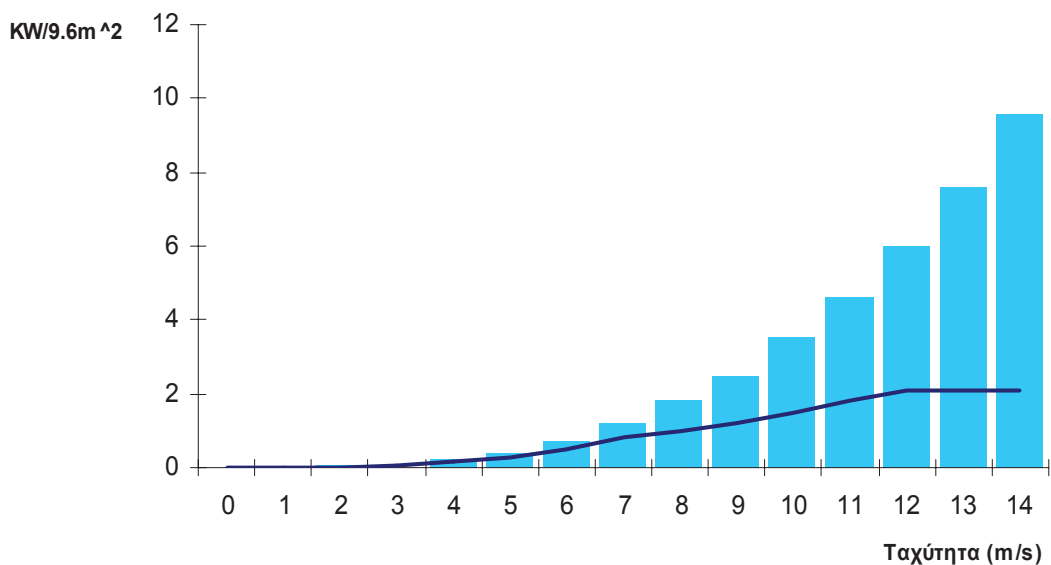


**ΠΙΝΑΚΑΣ 7.7**  
**ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ**  
**ΕΤΟΣ: 2001 ΣΤΑΘΜΟΣ: ΑΓΡΙΝΙΟΥ**

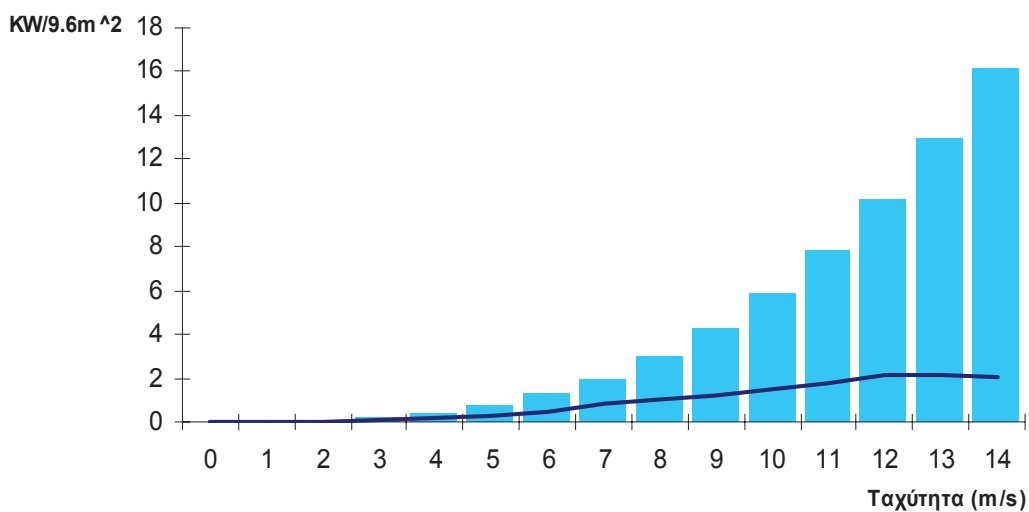
				<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ</u>			<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ</u>		
<i>a/a</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	U (m/s) Για ύψος 10m	Kw Ισχύς Α/Κ	Kw Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs Α/Κ	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs Α/Κ	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>
1	0	0	0	306	0	0	306	0	0
2	1	0	0.006	48	0	0.288	60	0	0.36
3	2	0	0.05	72	0	3.6	60	0	3
4	3	0.08	0.16	120	9.6	19.2	126	10.08	20.16
5	4	0.16	0.38	96	15.36	36.48	78	12.48	29.64
6	5	0.30	0.73	60	18	43.8	30	9	21.9
7	6	0.50	1.3	18	9	23.4	54	27	70.2
8	7	0.85	2				12	10.2	24
9	8	1.00	3				-	-	-
10	9	1.20	4.3				-	-	-
11	10	1.50	5.9				12	18	70.8
12	11	1.80	7.8				6	10.8	46.8
13	12	2.10	10.2						
14	13	2.10	13						
15	14	2.10	16.1						
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				720	51.96	126.72	744	97.56	286.86
				<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ</u>			<u>ΠΕΡΙΟΔΟΣ: ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ</u>		
<i>a/a</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	U (m/s) Για ύψος 10m	Kw Ισχύς Α/Κ	Kw Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs Α/Κ	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>	Hr	Kwhs Α/Κ	Kwhs Ανέμου για 9.6m <sup>2</sup>
1	0	0	0	414	0	0	576	0	0
2	1	0	0.006	54	0	0.324	24	0	0.144
3	2	0	0.05	24	0	1.2	18	0	0.9
4	3	0.08	0.16	30	2.4	4.8	36	2.88	5.76
5	4	0.16	0.38	60	9.6	22.8	36	5.76	13.68
6	5	0.30	0.73	54	16.2	39.42	12	3.6	8.76
7	6	0.50	1.3	24	12	31.2	18	9	23.4
8	7	0.85	2	18	15.3	36	12	10.2	24
9	8	1.00	3	18	18	54	-	-	-
10	9	1.20	4.3	18	21.6	77.4	12	14.4	51.6
11	10	1.50	5.9	6	9	35.4			
12	11	1.80	7.8						
13	12	2.10	10.2						
14	13	2.10	13						
15	14	2.10	16.1						
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>				720	104.1	302.52	744	45.84	128.22



Σχήμα 7.6. Ροή ενέργειας ανέμου για κάθε μήνα και αναμενόμενη ενέργεια από τον ανεμοκινητήρα.



■ Μέγιστη δυνατή απόδοση ενός ανεμοκινητήρα — Καμπύλη απόδοσης ανεμοκινητήρα AEG85 D3.5-A9.6

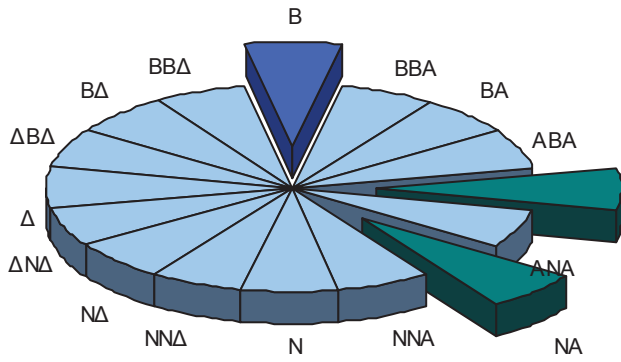


■ Θεωρητική ενέργεια ανέμου επιφάνειας 9.6m<sup>2</sup> — Καμπύλη απόδοσης ανεμοκινητήρα AEG85 D3.5-A9.6

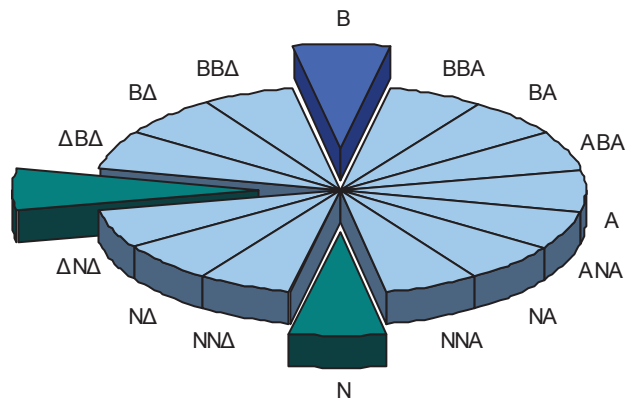
Σχήμα 7.7. Έλεγχος της απόδοσης ενός ανεμοκινητήρα.

Στις σελίδες που ακολουθούν μπορούμε να δούμε τις κύριες διευθύνσεις του ανέμου, σχεδιασμένες σε ροδόγραμμα, ανά μήνα και την διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου ανά ημέρα για το έτος 2001.

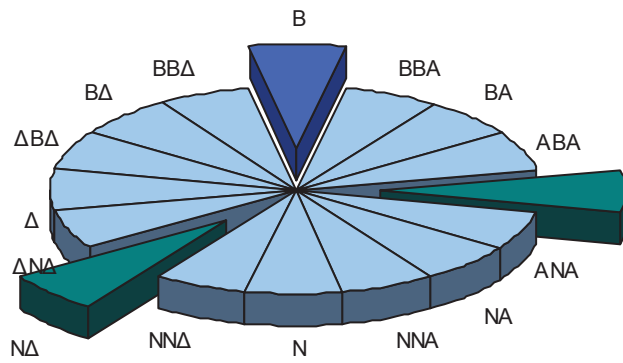
## Κύριες διεθύνσεις ανέμου της περιοχής Αργινίου για το έτος 2001



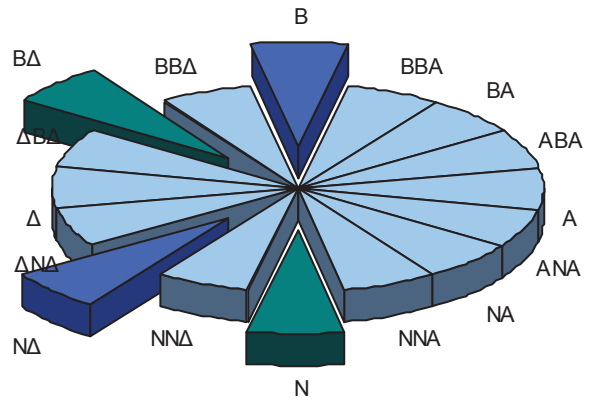
ΙΑΝΟΥΑΡΙΟΣ



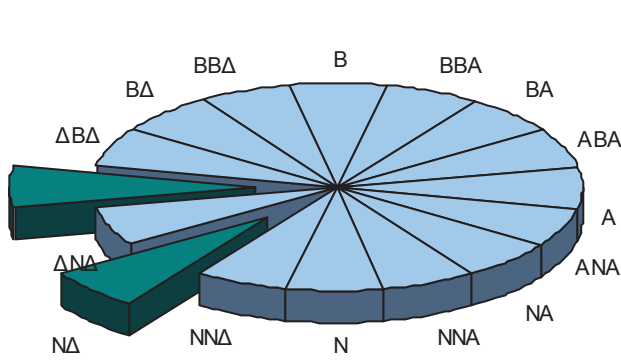
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ



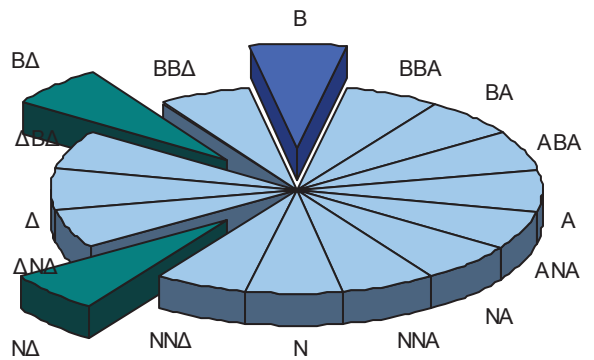
ΜΑΡΤΙΟΣ



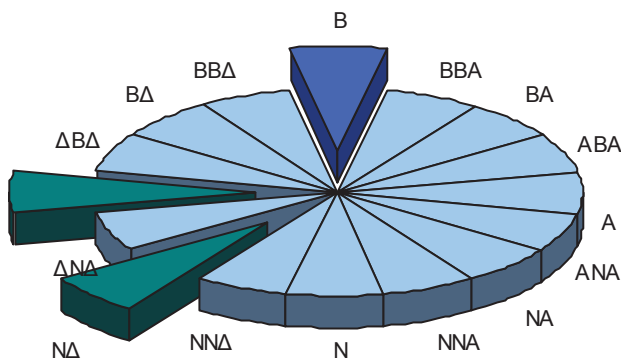
ΑΠΡΙΛΙΟΣ



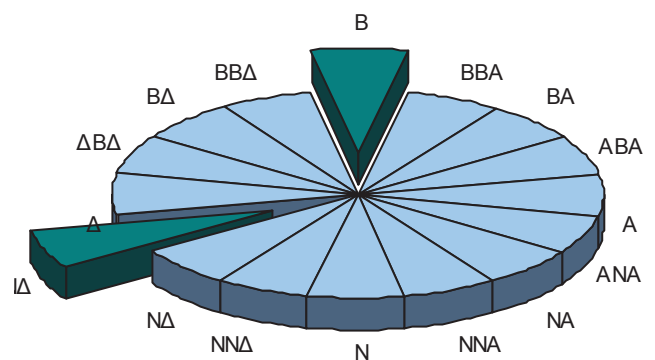
ΜΑΙΟΣ



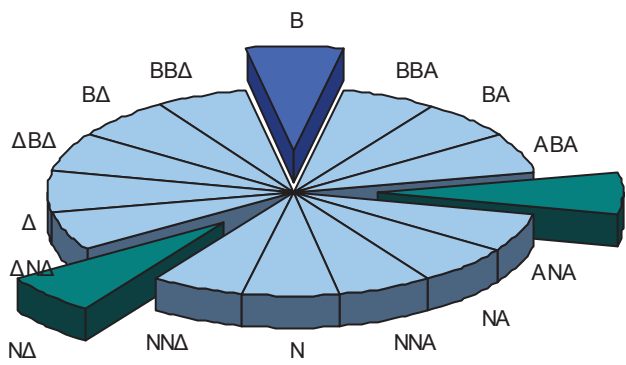
ΙΟΥΝΙΟΣ



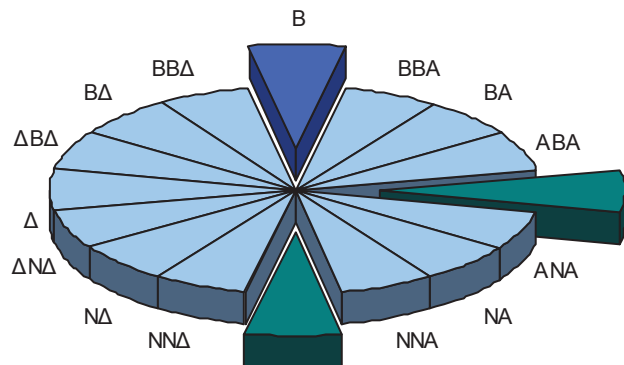
ΙΟΥΛΙΟΣ



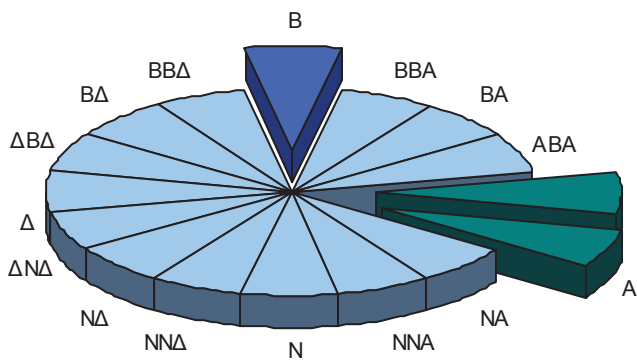
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ



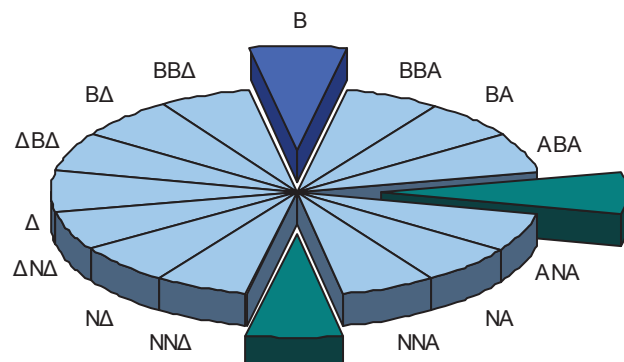
ΣΕΠΤΕΜΒΡΗΣ



ΟΚΤΩΒΡΗΣ

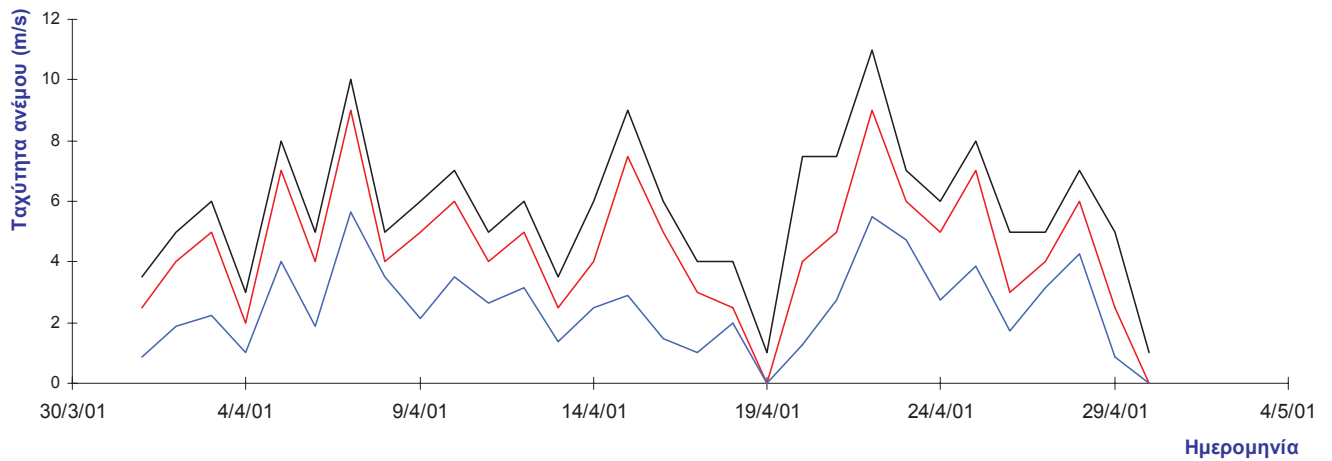
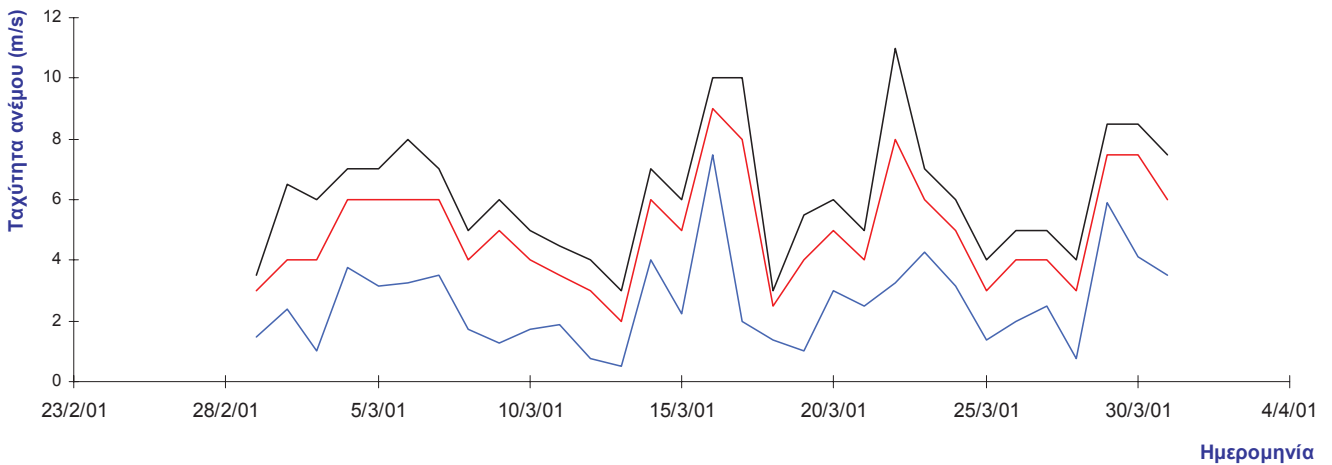
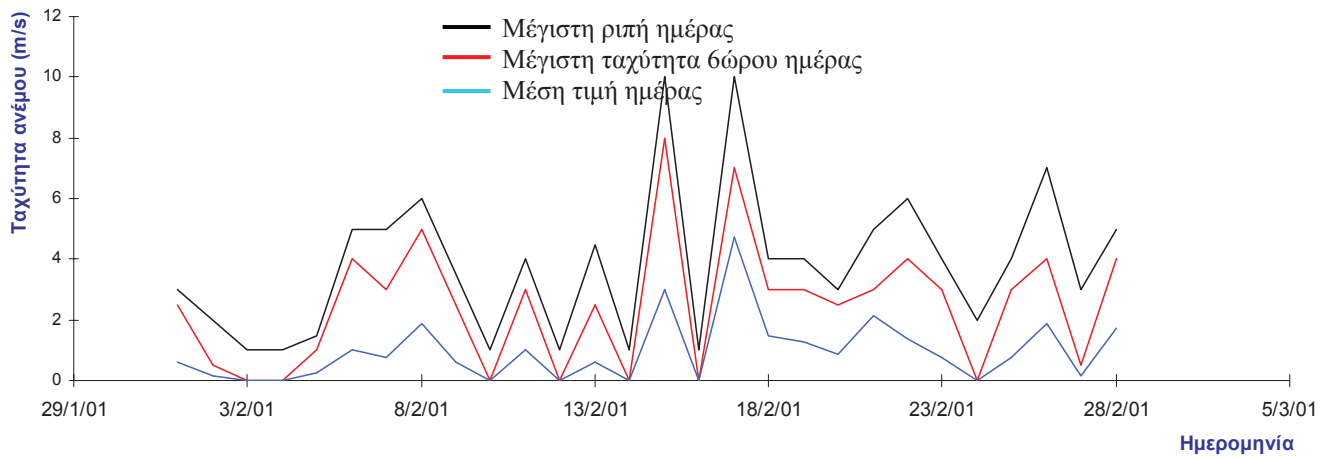
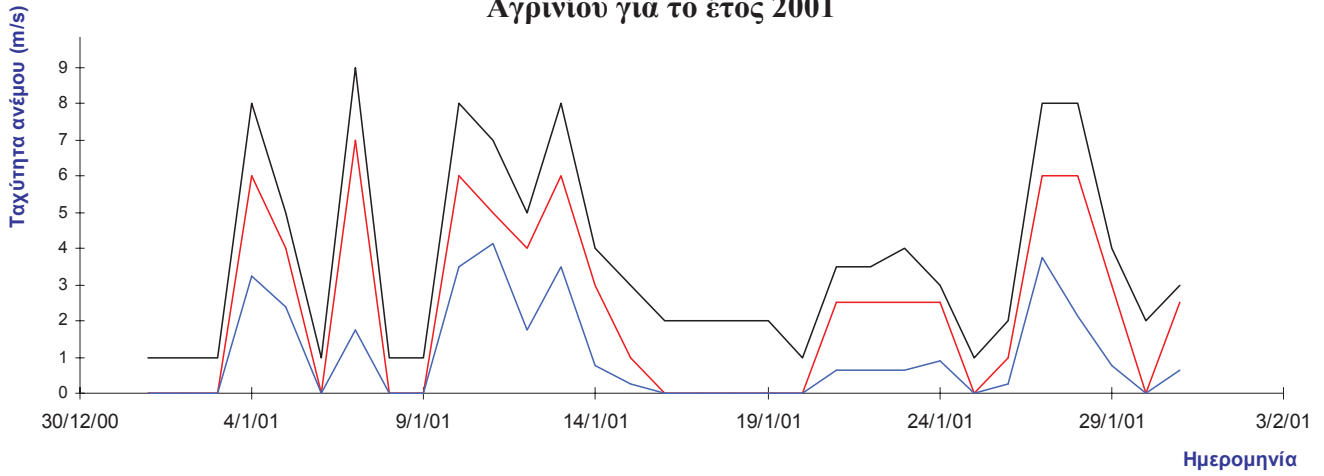


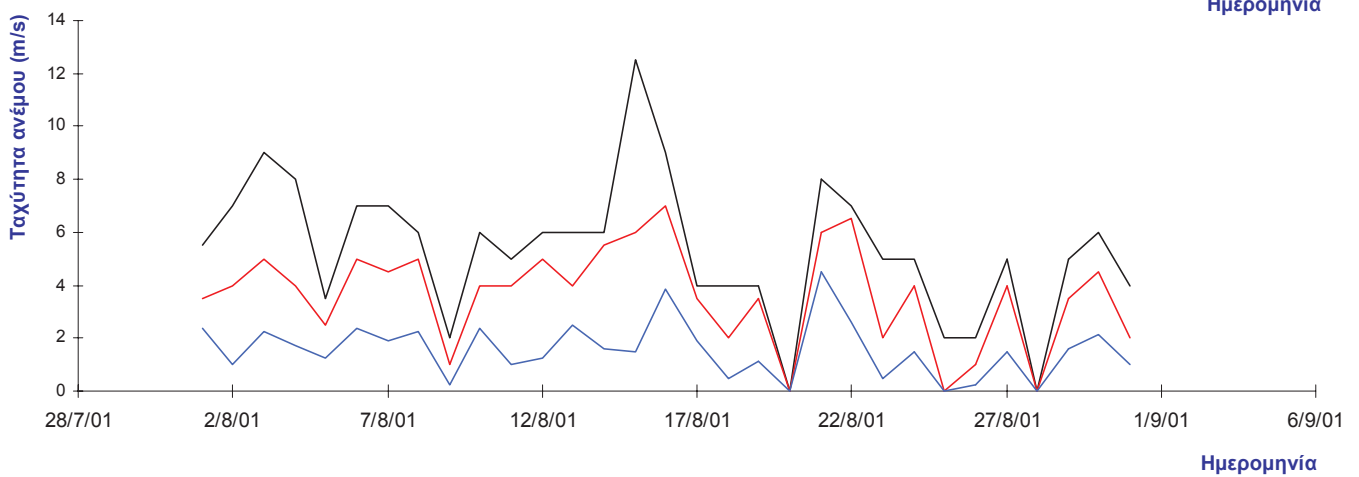
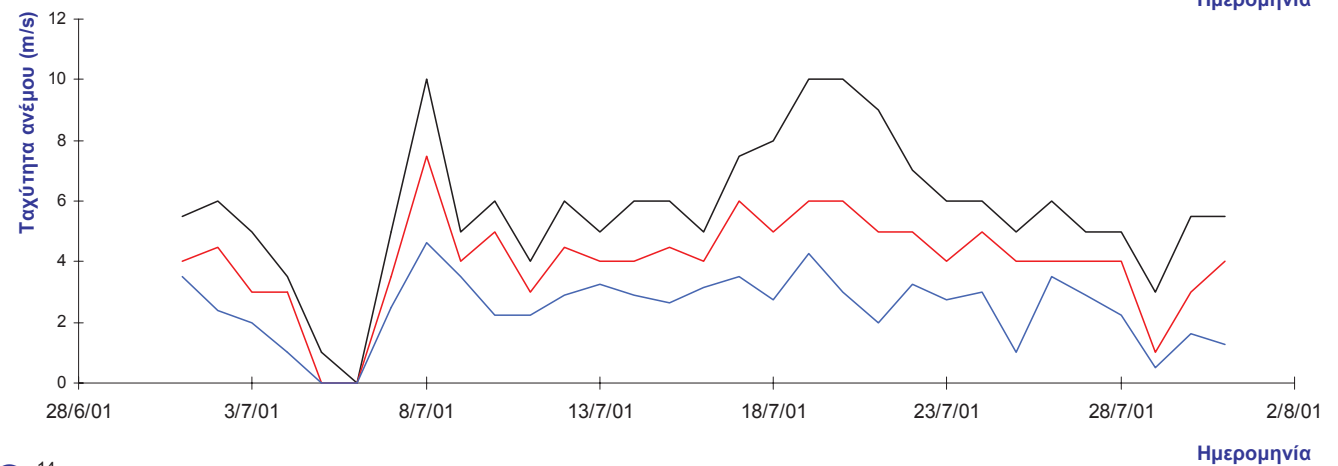
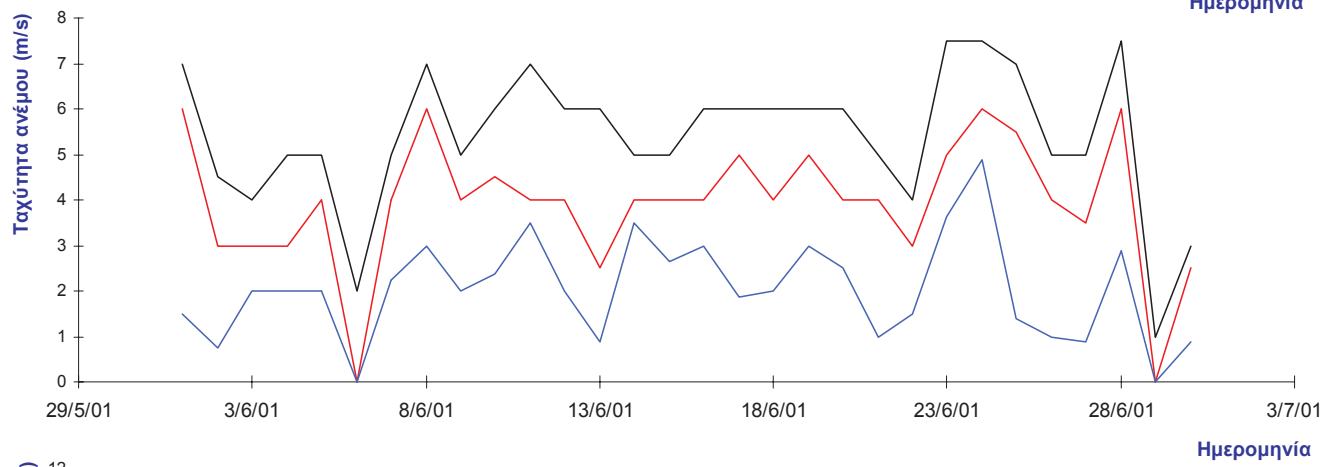
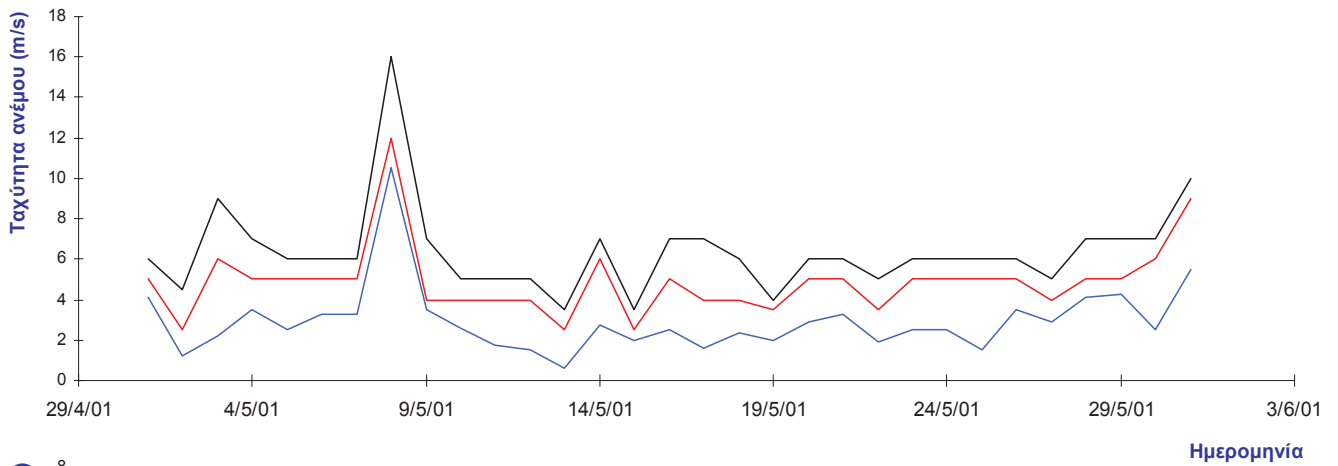
ΝΟΕΜΒΡΗΣ

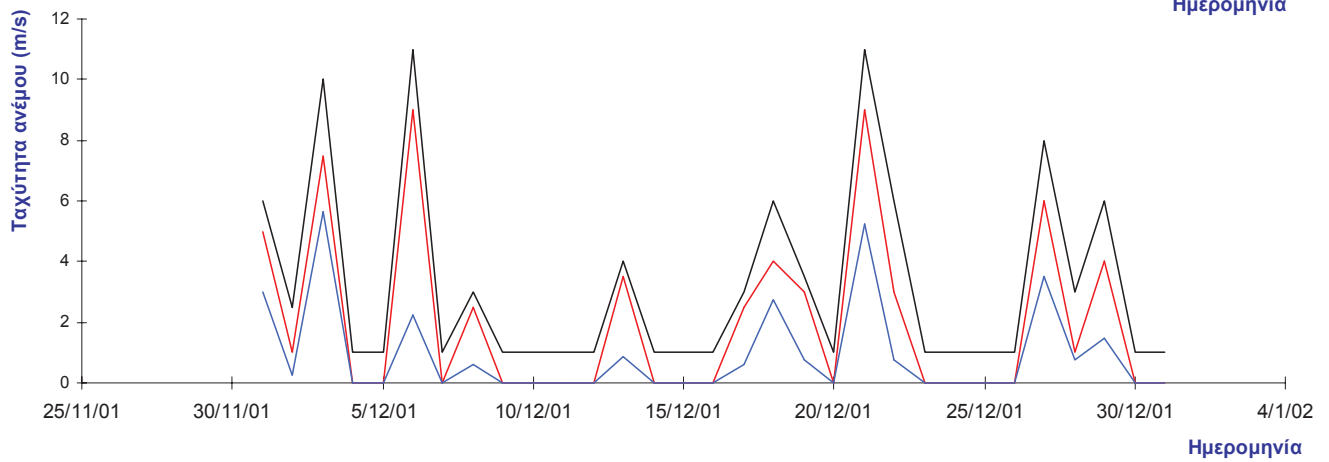
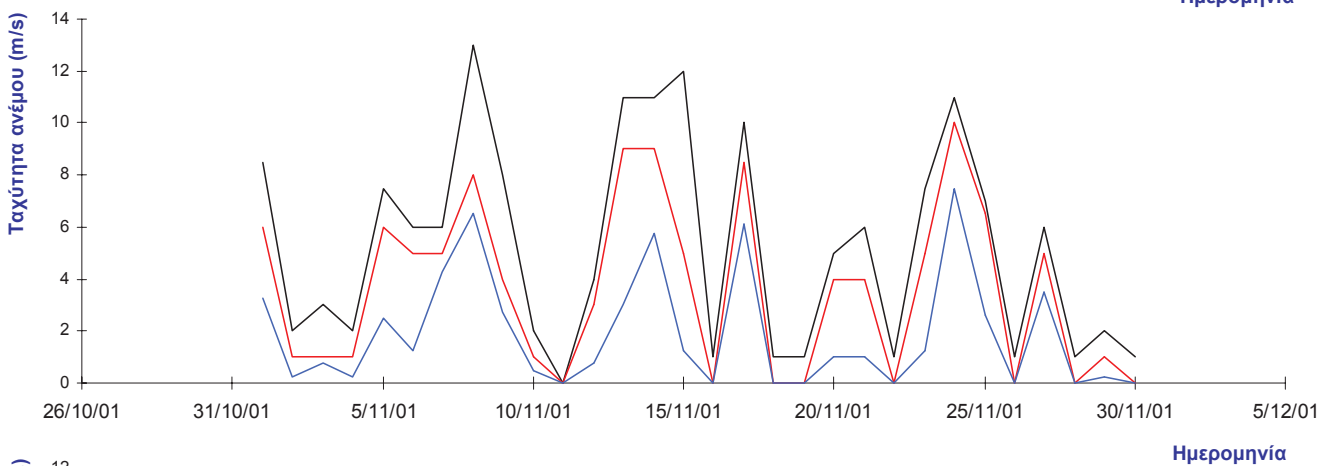
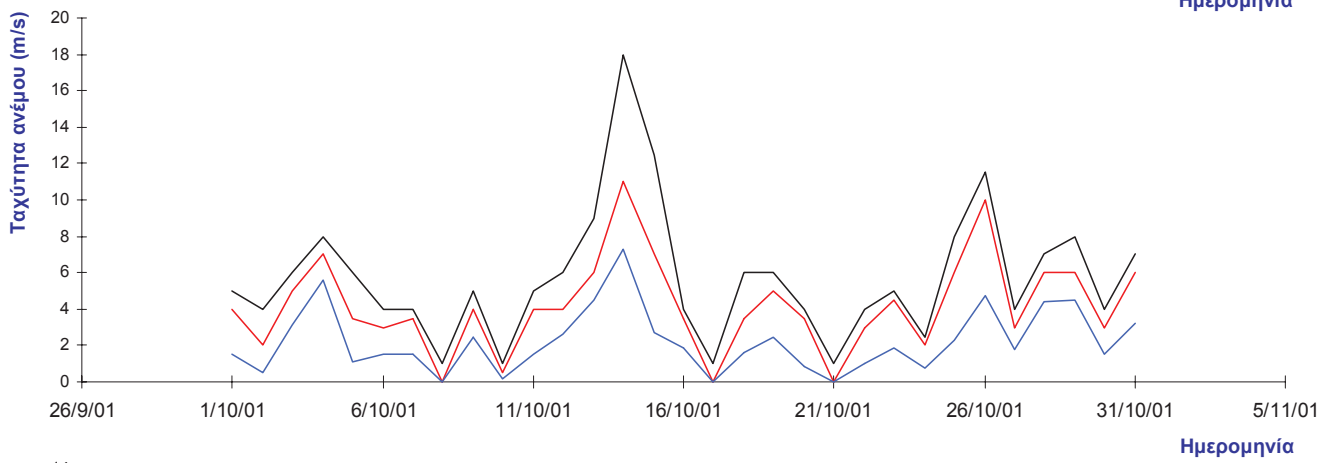
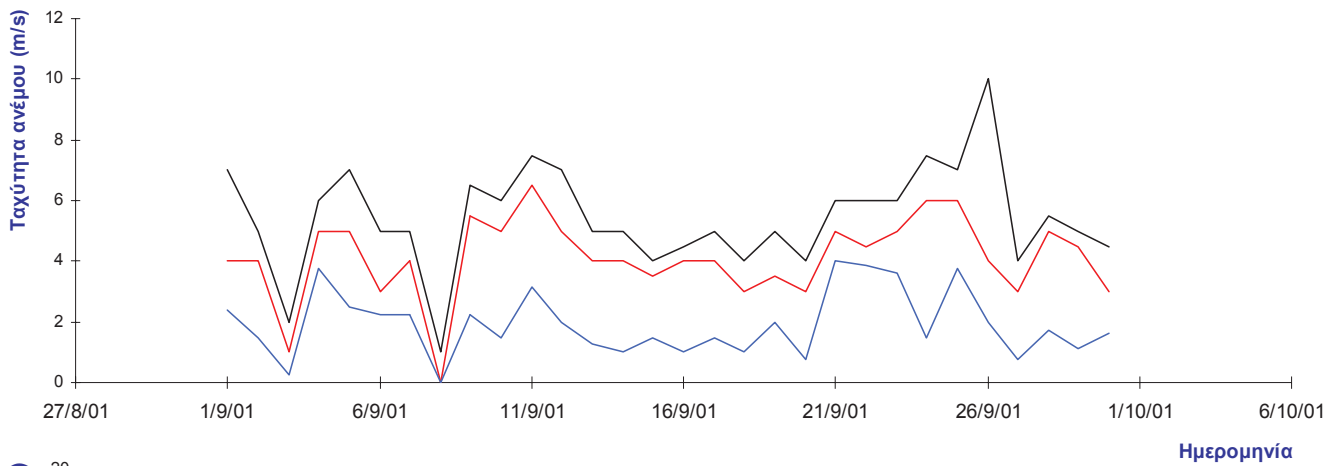


ΔΕΚΕΜΒΡΗΣ

## Διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου ανά ημέρα στην περιοχή Αργινίου για το έτος 2001









## 7.2.2 Αξιολόγηση παραγόμενης αιολικής ενέργειας συγκριτικά με την ενεργειακή ζήτηση του αντλητικού συγκροτήματος.

Από την ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων προκύπτει ότι η περιοχή δεν διαθέτει αξιόλογο αιολικό δυναμικό, λόγω των χαμηλών ταχυτήτων ανέμου που πνέουν, άλλα και της περιοδικότητας με την οποία εμφανίζονται.

Η αύξηση ύψους του πύργου στήριξης δίνει μερικώς λύση στο πρόβλημα αλλά αυξάνει κατά πολύ το κόστος αγοράς, εγκατάστασης και συντήρησης.

Ένας τρόπος εκμετάλλευσης ανέμων μικρής εντάσεως είναι η χρήση ανεμοκινητήρων μικρής ισχύος όπως αυτός που προαναφέρθηκε (AEG 85 D3.5-A9.6). Ακόμα και σε αυτήν όμως την περίπτωση η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στην συγκεκριμένη περιοχή δεν είναι εφικτή λόγω των μικρών ταχυτήτων ανέμου που κυμαίνεται κατά μέσο όρο στα 3.5 m/s, όπως μπορούμε να δούμε και στα διαγράμματα διακύμανσης ταχύτητας του ανέμου ανά ημέρα, οπότε μια επένδυση για εγκατάσταση μηχανών δέσμευσης αιολικής ενέργειας θα ήταν οικονομικά ασύμφορη.

Ένας άλλος τρόπος εκμετάλλευσης ανέμων μικρής εντάσεως από αυτόνομες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι συνδυασμός ανεμοκινητήρων και συσσωρευτών. Σε αυτή την περίπτωση το πλεόνασμα της ενέργειας όταν η ζήτηση είναι μικρή ή μηδενική, αποθηκεύεται στους συσσωρευτές και διατίθεται στην κατανάλωση όταν ο ανεμοκινητήρας δεν μπορεί να καλύψει την ενεργειακή ζήτηση.

Η επιλογή της τάσης, της χωρητικότητας καθώς και του ρυθμού εκφόρτισης των στοιχείων που θα επιλεγούν γίνεται βάση των ενεργειακών απαιτήσεων και πιο συγκεκριμένα των ενεργειακών ελλειμμάτων. Οι συσσωρευτές θα πρέπει να είναι σε θέση να καλύψουν εκτός από τη ζήτηση ενέργειας τις περιόδους άπνοιας ή χαμηλού μη εκμεταλλεύσιμου αιολικού δυναμικού και περιπτώσεις στιγμιαίας ζήτηση ενέργειας (peak) που δεν μπορεί να καλυφθεί από τον ανεμοκινητήρα περιορίζοντας στο ελάχιστο προβλήματα βύθισης τάσης ή αυξομείωση της συχνότητας. Τέτοιες περιπτώσεις αυξημένης στιγμιαίας ζήτησης ενέργειας εμφανίζονται συχνά κατά την εκκίνηση ηλεκτροκινητήρων. Σε περιπτώσεις οικιών περιορίζονται συνήθως στους ηλεκτροκινητήρες των ψυγείων και κλιματιστικών, αλλά σε μια γεωργική εκμετάλλευση οι ηλεκτροκινητήρες βρίσκουν πληθώρα εφαρμογών, όπως αντλίες νερού άρδευσης, σπαστήρες σιτηρών, μεταφορικές ταινίες, εξαεριστήρες αποθηκευτικών χώρων, αεροσυμπιεστές κ.α.

Κατά πόσο θα είναι σε θέση να αντεπεξέλθουν, οι συστοιχίες συσσωρευτών στις ενεργειακές απαιτήσεις της εγκατάστασης, εξαρτάται από την αυτονομία που έχουμε υπολογίσει και η οποία μετριέται σε ώρες. Σε περιοχές με καλό αιολικό δυναμικό η αυτονομία των συσσωρευτών δεν απαιτείται να είναι μεγάλη και συνήθως δεν ξεπερνά τις 5-10 ώρες. Σε περιοχές με μέσο και χαμηλό αιολικό δυναμικό η αυτονομία των συσσωρευτών μπορεί να ξεπερνά τις 24 έως 60 ώρες ανεβάζοντας έτσι κατακόρυφα το κόστος αγοράς και εγκατάστασης, λόγω του αυξημένου κόστους αγοράς των συσσωρευτών.

Για τον υπολογισμό αυτονομίας σε περιόδους πλήρους άπνοιας ή μη εκμεταλλεύσιμης ταχύτητας ανέμου από τον ανεμοκινητήρα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η μέγιστη ενεργειακή ζήτηση και το μέγιστο φορτίο αιχμής. Για την σύνταξη μιας σοβαρής μελέτης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη όχι μόνον οι ενεργειακές απαιτήσεις μιας σειράς ετών αλλά και οι μελλοντικές απαιτήσεις. Ο υπολογισμός της ενέργειας θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικός για όλες τις ημέρες του έτους και να γίνει με πνεύμα οικονομίας έτσι ώστε να μην αυξηθεί πολύ το κόστος του

συστήματος αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, εκτός και το απαιτούν ιδιαίτεροι λόγοι.

Υπολογίζοντας την απαιτούμενη ενέργεια για μία ημέρα (κατά τον ίδιο τρόπο ενεργούμε και για τον υπολογισμό ενός ή περισσοτέρων ετών), ελέγχουμε ποιο θα είναι το φορτίο αιχμής. Στην συνέχεια ελέγχουμε ποια είναι η τάση που λειτουργούν οι καταναλωτές και αν η τάση είναι συνεχής ή εναλλασσόμενη. Σε περιπτώσεις όπου το ρεύμα που απαιτείται για τη λειτουργία των καταναλωτών είναι συνεχές επιλέγουμε η τάση των συσσωρευτών να συμφωνεί με την τάση αυτών. Εάν η τάση που απαιτείται είναι εναλλασσόμενη τότε η τάση των συσσωρευτών θα πρέπει να συμφωνεί με αυτή του μετατροπέα (inverter) ή του ζεύγους ηλεκτροκινητήρα συνεχούς – εναλλασσόμενου.

Ο υπολογισμός της έντασης του ρεύματος των συσσωρευτών γίνεται συναρτήσει της τάσης, του χρόνου εκφόρτισης και του φορτίου αιχμής ώστε να καταλήξουμε στη χωρητικότητα.

Είναι προφανές ότι ούτε με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατόν να καλυφθούν οι ενεργειακές απαιτήσεις της εξεταζόμενης γεωργικής εκμετάλλευσης ζαχαρότευτλων, λόγω του ασθενούς αιολικού δυναμικού που πνέει στην περιοχή όπως προαναφέρθηκε και το οποίο δεν είναι σε θέση να καλύψει την ενεργειακή ζήτηση.

### 7.3 Ηλεκτροδότηση απομονωμένης γεωργικής οικίας με χρήση ανεμοκινητήρων.

Απαιτήσεις ενεργειακής κάλυψης, κυρίως ηλεκτρικής, δεν παρουσιάζονται μόνο σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις αλλά και σε γεωργικές κατοικίες ή αγροικίες. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μιας τέτοιας περίπτωσης στην περιοχή Αγρινίου αναλύεται πιο κάτω με σκοπό να διερευνηθεί κατά πόσο είναι εφικτή η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών από αυτόνομο αιολικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε συνδυασμό με συσσωρευτές.

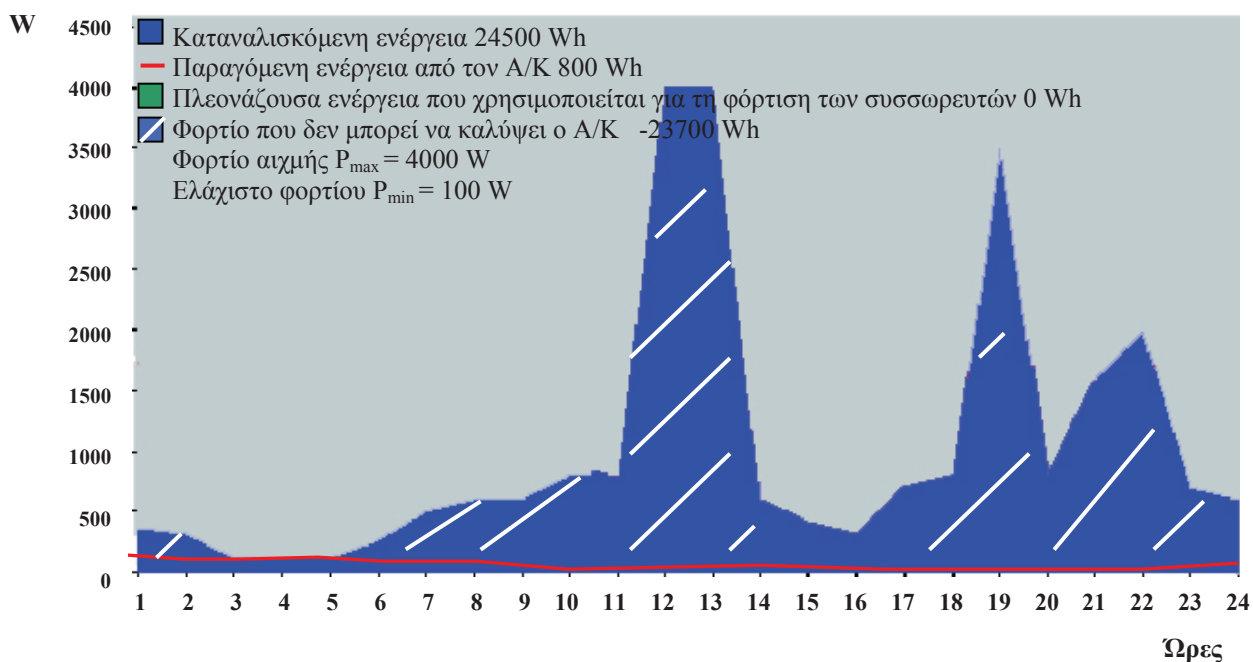
Οι ενεργειακές απαιτήσεις μιας τυπικής αγροικίας καταγράφονται αναλυτικά στον πίνακα 7.8 και αναπαρίστανται γραφικά στο σχήμα 7.8.

Πίνακας 7.8 Ημερήσιες ενεργειακές απαιτήσεις αγροικίας.

	Ηλεκτρική ισχύς (W)	Ώρες λειτουργίας	Καταναλισκόμενη ενέργεια (Wh)
Κουζίνα	2.500	2	5.000
Θερμοσίφωνο	4.000	0.5	2.000
Ψυγείο	400	15	6.000
Τηλεόραση – Ραδιόφωνο	150	7	1.050
H / Y	200	5	1.000
Φωτισμός	600	10	6.000
Διάφοροι καταναλωτές	345	10	3.450
Σύνολο			24.500

Ο ανεμοκινητήρας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι τύπου AEG85 D3.5-A9.6 ενώ η ημέρα ανάλυσης των ανεμολογικών δεδομένων επιλέγεται τυχαία η 25 / 3 / 2001, και αντιπροσωπεύει το πλήθος των ανεμολογικών μετρήσεων της περιοχής Αγρινίου. Παρατηρώντας τα ανεμολογικά δεδομένα της συγκεκριμένης ημέρας παρατηρούμε ότι το μέγιστο της έντασης του ανέμου είναι 3 m/s. Η παραγόμενη ενέργεια του ανεμοκινητήρα σε αυτή την περίπτωση, σύμφωνα με την καμπύλη απόδοσης της ανεμογεννήτριας (σχήμα 7.4) δεν ξεπερνά τα 100W.

Η κάλυψη της ενεργειακής ζήτησης της αγροικίας δεν μπορεί να καλυφθεί ούτε στο ελάχιστο και αυτό συνεπάγεται πως δεν υπάρχει πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας για την φόρτιση των συσσωρευτών. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν δεκάδες ανεμοκινητήρες για την παραγωγή της απαιτούμενης ενέργειας πράγμα ανέφικτο σε πρακτικό επίπεδο λόγω υψηλού κόστους αγοράς, τοποθέτησης και συντήρησης.



Σχήμα 7.8. Τυπική καμπύλη φορτίου ενεργειακά αυτόνομης αγροικίας με συνολική απαίτηση ενέργειας 24.5KWh και φορτίο αιχμής 4KW.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΤΕΧΝΙΚΟ – ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 8.1 Αξιολόγηση επενδύσεων.

Η εγκατάσταση και εκμετάλλευση ενός συστήματος Α.Π.Ε., αποτελεί μια επένδυση. Επένδυση σημαίνει μια πολυσύνθετη δραστηριότητα, κατά την οποία δεσμεύονται οικονομικοί πόροι σε μια παραγωγική δραστηριότητα, με την προσδοκία κάποιων ωφελειών στο μέλλον. Οι περισσότερες επενδύσεις σε Α.Π.Ε., ανεξάρτητα από το φορέα που τις υλοποιεί, χαρακτηρίζονται από σημαντικό αρχικό κόστος επένδυσης, σχετικά χαμηλό κόστος λειτουργίας, ενώ τα οφέλη στην προκείμενη περίπτωση προκύπτουν από την πλήρη κάλυψη ή την εξοικονόμηση ενέργειας.

Η οικονομική βιωσιμότητα μιας τέτοιας επένδυσης εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι κυριότεροι των οποίων είναι το κόστος αγοράς του εξοπλισμού, το κόστος γης και έργων υποδομής, το αιολικό δυναμικό της περιοχής, τα λειτουργικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας και τη διάρκεια ζωής της, το κόστος της ενέργειας που υποκαθίσταται, το κόστος του χρήματος, το νομοθετικό πλαίσιο και τους κανόνες της αγοράς, αλλά και τις εναλλακτικές επενδυτικές ευκαιρίες. Η αφετηρία μιας επένδυσης γίνεται με την επισήμανση της επιχειρηματικής ιδέας, η οποία συγκεκριμενοποιείται σταδιακά μετά από λεπτομερή μελέτη. Αν η ιδέα κριθεί αποδοτική σύμφωνα με κάποια κριτήρια αποδοτικότητας, υλοποιείται. Στο χρονικό διάστημα στο οποίο εκτιμάται ότι θα λειτουργήσει, απορροφά πλουτοπαραγωγικούς πόρους αποδίδοντας παράλληλα αγαθά (παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, μηχανικού έργου, θερμότητας ή εξοικονόμηση ενέργειας).

Μια επιτυχημένη επένδυση σε συστήματα Α.Π.Ε. απαιτεί προσεκτική ανάλυση πριν φτάσει στο στάδιο της υλοποίησης [19,27]. Η ανάλυση αυτή περιλαμβάνει:

- Επισήμανση επιχειρηματικής ιδέας: εκτίμηση απαιτούμενων οικονομικών πόρων, ανάληψη ρίσκου.
- Τεχνική ανάλυση: επιλογή εξοπλισμού - τεχνολογίας, τεχνικός σχεδιασμός.
- Χρηματοδότηση: εξασφάλιση των απαιτούμενων χρηματικών κεφαλαίων για την ταμειακή εξυπηρέτηση της επένδυσης (επιχορήγηση, δάνειο).
- Οικονομική ανάλυση: η οικονομική αποδοτικότητα της επένδυσης πρέπει να επιβεβαιωθεί από την ανάλυση των χρηματοροών της επένδυσης.
- Χωροταξικός σχεδιασμός: επιλογή κατάλληλης τοποθεσίας, έλεγχος των χρήσεων γης, σεβασμός σε προστατευμένες περιοχές.
- Περιβαλλοντικές επιπτώσεις - έλεγχος επιπτώσεων στο φυσικό και πολιτιστικό περιβάλλον: οπτική - ακουστική όχληση, επιπτώσεις στην χλωρίδα και στην πανίδα, ηλεκτρομαγνητικές επιδράσεις.
- Κοινωνικές επιπτώσεις: έλεγχος επιπτώσεων στο κοινωνικό περιβάλλον.

Η διαδικασία αξιολόγησης της επένδυσης διαφοροποιείται εν μέρει ανάλογα με την οπτική γωνία από την οποία γίνεται. Συγκεκριμένα, άλλες παραμέτρους κόστους και οφέλους θα συμπεριλάβει ένας ιδιώτης επενδυτής και άλλες ένας δημόσιος

φορέας. Στην πρώτη περίπτωση, εφαρμόζεται η ιδιωτικό – οικονομική (χρηματική) αξιολόγηση, δηλαδή εξετάζεται, αν η επένδυση αποφέρει χρηματικό κέρδος στον επενδυτή για τα κεφάλαια που διέθεσε. Η ανάλυση στηρίζεται αποκλειστικά στις χρηματικές (ταμειακές) ροές της επένδυσης και αγνοεί τις ευρύτερες επιπτώσεις της στην εθνική οικονομία, στην τοπική ανάπτυξη, στην απασχόληση και στο περιβάλλον.

Σήμερα η πολλαπλότητα και η σοβαρότητα των επιδράσεων απαιτεί συνολική αξιολόγηση. Η ιδιωτική χρηματική αποδοτικότητα αποτελεί απαραίτητο όρο για την υλοποίηση και επιβίωση της επένδυσης. Αντίστοιχα τα οφέλη, που μπορεί να προκύψουν από την επένδυση για το κοινωνικό σύνολο, μπορεί να στρέψει προς άλλες κατευθύνσεις την τελική λήψη απόφασης. Στην περίπτωση που μια επένδυση εμφανίζεται χρήσιμη για το κοινωνικό σύνολο, αλλά μη αποδοτική για τον επενδυτικό φορέα, το κράτος ως φορέας του κοινωνικού συμφέροντος μπορεί να μετατρέψει με διάφορα κίνητρα (επιδότησεις, χαμηλότοκα δάνεια) την κοινωνικά ενδιαφέρουσα πρόταση, σε ελκυστική και για τον ιδιώτη επενδυτή [29,44].

## **8.2 Βασικές έννοιες.**

Σκοπός της ιδιωτικό – οικονομικής ή χρηματικής ανάλυσης είναι να διερευνήσει την ιδιωτική ή χρηματική αποδοτικότητα (επικερδότητα) του σχεδίου επένδυσης. Η ουσία είναι να προσδιορίσει τη σχέση μεταξύ απόδοσης (κέρδους) και επενδύομένου κεφαλαίου [6,15,19,27].

### **8.2.1 Χρηματοροή.**

Ο όρος χρηματοροή ή ταμειακή ροή (cash flow) αναφέρεται στο χρηματικό ποσό που εισέρχεται ή εξέρχεται σε μια δεδομένη χρονική στιγμή από το ταμείο του επενδυτή.

Μια επένδυση χαρακτηρίζεται από μια σειρά χρηματοροών που αρχίζουν από τη φάση της προεπένδυσης και εξακολουθούν να λαμβάνουν χώρα σε όλο το διάστημα της παραγωγικής λειτουργίας της μονάδας. Η αξιοπιστία του σχεδίου επένδυσης προϋποθέτει τον υπολογισμό των χρηματοροών αυτών, αφού ο επενδυτικός φορέας πρέπει να γνωρίζει «αν κάθε στιγμή υπάρχουν διαθέσιμα μετρητά για να πληρωθούν οι λογαριασμοί» που προκύπτουν από την κατασκευή και λειτουργία της παραγωγικής μονάδας.

Θετικές χρηματοροές (ταμειακές εισροές) θεωρούνται όλες οι εισροές μετρητών από τους χρηματοδοτικούς πόρους (ιδία κεφάλαια, δανεισμός, πιστώσεις) και τα έσοδα της μονάδας (εισπράξεις π.χ. από πώληση περίσσιας ενέργειας στη Δ.Ε.Η. ή τρίτους). Αρνητικές χρηματοροές (ταμειακές εκροές) θεωρούνται οι συνολικές επενδύσεις και εγκαταστάσεις, το λειτουργικό κόστος, η εξυπηρέτηση των δανείων, οι πληρωμές φόρων κ.α.. Η διαφορά των δύο (εισροές μείον εκροές) δίνει την καθαρή χρηματοροή (πλεόνασμα ή έλλειμμα).

### **8.2.2 Χρονική αξία χρήματος.**

Ο όρος χρονική αξία χρήματος εκφράζει τη διαπίστωση ότι ένα χρηματικό ποσό που είναι διαθέσιμο σήμερα είναι περισσότερο χρήσιμο από ένα ίσο που διατίθεται κάποια χρονική στιγμή στο μέλλον. Ποσοτικοποιείται με ένα επιτόκιο (interest rate) που εκφράζει την αμοιβή δανειζομένου κεφαλαίου και υπολογίζεται συνήθως σε ετήσια βάση σαν ποσοστό του κεφαλαίου αυτού. Το επιτόκιο των τραπεζικών

καταθέσεων αποδίδει με τον απλούστερο τρόπο την έννοια αυτής της αμοιβής. Ένα επενδυτικό σχέδιο χαρακτηρίζεται από μια σειρά χρηματοροών που η κάθε μια απ' αυτές γίνεται σε διαφορετική χρονική στιγμή. Επομένως λόγω της χρονικής αξίας του χρήματος δεν είναι ομοιογενείς και συγκρίσιμες. Η αναγκαία για την οικονομική αξιολόγηση του σχεδίου επένδυσης ομοιογένεια, επιτυγχάνεται με την αναγωγή όλων των χρηματοροών σε κοινή χρονική βάση. Οι τεχνικές που εφαρμόζονται για μια τέτοια αναγωγή είναι ο ανατοκισμός (compounding) και η προεξόφληση (discounting). Με τον ανατοκισμό, οι σημερινές αξίες μετατρέπονται σε ισοδύναμες μελλοντικές, με βάση ένα ορισμένο επιτόκιο  $i$  που εκφράζει τη χρονική αξία του χρήματος. Αν  $C$  η αξία μιας χρηματοροής σήμερα ή ένα αρχικό ποσό χρημάτων (π.χ. αρχική επένδυση),  $t$  ο αριθμός των ετών (χρονική περίοδος) και  $S_t$  η μελλοντική αξία της αξίας  $C$  μετά την περίοδο  $t$  ισχύει η σχέση:

$$S_t = C \cdot (1 + i)^t$$

Με την προεξόφληση, αξίες που αναφέρονται σε κάποια χρονική στιγμή στο μέλλον, ανάγονται σε σημερινές τιμές. Εφαρμόζεται για τον προσδιορισμό της παρούσας αξίας μιας μελλοντικής χρηματοροής  $C$ . Έστω  $C$  η αξία μιας χρηματοροής ή το κόστος μιας επένδυσης που θα πραγματοποιηθεί μετά από  $t$  έτη και  $P_0$  η παρούσα αξία της χρηματοροής  $C$ , ισχύει η σχέση:

$$P_0 = C \cdot (1 + i)^{-t}$$

### 8.2.3 Πληθωρισμός.

Ο προσδιορισμός της αξίας μιας χρηματοροής δεν εξαρτάται μόνο από την χρονική αξία του χρήματος. Το φαινόμενο του πληθωρισμού αποτελεί μια άλλη ανεξάρτητη παράμετρο διαχρονικής μείωσης της αξίας του χρήματος. Σε συνθήκες πληθωρισμού με την πάροδο του χρόνου, με το ίδιο χρηματικό ποσό αγοράζονται όλο και λιγότερα αγαθά και υπηρεσίες. Ο πληθωρισμός αντικατοπτρίζεται στην αύξηση των τιμών των αγαθών και υπηρεσιών. Έτσι με τη χρήση ενός δείκτη που εκφράζει την ετήσια ποσοστιαία μεταβολή τους ποσοτικοποιείται το φαινόμενο του πληθωρισμού.

Σε περιπτώσεις που παρουσιάζονται ιδιαίτερα έντονα πληθωριστικά φαινόμενα, η αξιολόγηση της οικονομικότητας ενός σχεδίου επένδυσης μεταβάλλεται ανάλογα με την επίδραση του πληθωρισμού στις αξίες των χρηματοροών. Δύο μέθοδοι εφαρμόζονται στην αντιμετώπιση του πληθωρισμού κατά τη διαδικασία αξιολόγησης ενός σχεδίου επένδυσης. Η πρώτη είναι η μέθοδος σταθερών τιμών, η οποία αγνοεί τελείως τον πληθωρισμό, θεωρώντας είτε ότι δεν επηρεάζει αισθητά τις τιμές των χρηματοροών της επένδυσης, είτε ότι επηρεάζει στο ίδιο ποσοστό το κόστος και το όφελος της (τις αρνητικές και τις θετικές χρηματοροές). Η δεύτερη είναι η μέθοδος των πληθωριστικά μεταβαλλόμενων χρηματοροών, όπου εφαρμόζονται διαφορετικοί ρυθμοί πληθωρισμού (τρέχουσες τιμές) στα επί μέρους μεγέθη που υπόκεινται πληθωριστικές μεταβολές κατά την περίοδο της κατασκευής και λειτουργίας του σχεδίου επένδυσης.

### 8.2.4 Αποσβέσεις.

Οι αποσβέσεις αντιπροσωπεύουν τη σταδιακή μείωση της αξίας των παγίων περιουσιακών στοιχείων μιας επένδυσης (λόγω φθοράς, τεχνολογικής απαξίωσης) και

θεωρητικά επιτρέπει την αντικατάσταση τους μετά το τέλος του χρήσιμου χρόνου ζωής τους.

Με τη μέθοδο των αποσβέσεων επιδιώκεται η κατανομή του κόστους παγίων στοιχείων σε όλο το χρόνο ζωής τους και η αντίστοιχη επιβάρυνση του κόστους παραγωγής (με συνέπεια και την αντίστοιχη φορολογική ελάφρυνση). Η επιβάρυνση αυτή δεν αποτελεί πραγματική ταμειακή εκροή κατά τα έτη της παραγωγικής λειτουργίας, αφού η δαπάνη για την απόκτηση του περιουσιακού στοιχείου σημειώθηκε κατά την χρονική στιγμή της απόκτησης του. Για τον υπολογισμό των αποσβέσεων ενός παγίου περιουσιακού στοιχείου, πρέπει να είναι γνωστά το αρχικό κόστος επένδυσης, ο χρήσιμος χρόνος ζωής του και η υπολειμματική αξία. Στην πράξη χρησιμοποιείται ένα σταθερό συντελεστή απόσβεσης στη θέση του χρήσιμου χρόνου ζωής. Για κάθε κατηγορία περιουσιακού στοιχείου, ισχύει ένας ανώτατος συντελεστής απόσβεσης που καθορίζεται νομοθετικά. Με τους νόμους περί κινήτρων οι συντελεστές αυτοί είναι δυνατόν να προσαυξηθούν ανάλογα με την περιοχή εγκατάστασης της επένδυσης. Η προσαύξηση αυτή, αποτελεί μια έμμεση οικονομική ενίσχυση της επιχείρησης, ιδιαίτερα χρήσιμη κατά τα πρώτα χρόνια λειτουργίας της.

### **8.2.5 Κόστος χρηματοδότησης.**

Ένα τμήμα του απαιτούμενου κόστους για την πραγματοποίηση ενός σχεδίου επένδυσης, καλύπτεται συχνά με δανειακά κεφάλαια. Κάθε δάνειο χαρακτηρίζεται από το ύψος του, το χρόνο λήψης, την περίοδο χάριτος αν υπάρχει, το επιτόκιο με το οποίο υπολογίζονται οι τόκοι του δανείου, τη συμφωνία ή όχι των τόκων κατά την περίοδο χάριτος, και τον τρόπο αποπληρωμής του δανείου. Η αποπληρωμή γίνεται με τοκοχρεολυτικές δόσεις που περιλαμβάνουν το χρεολύσιο, δηλαδή την επιστροφή του δανείου και τον τόκο για το υπόλοιπο κεφάλαιο.

### **8.3 Κριτήρια οικονομικής αξιολόγησης.**

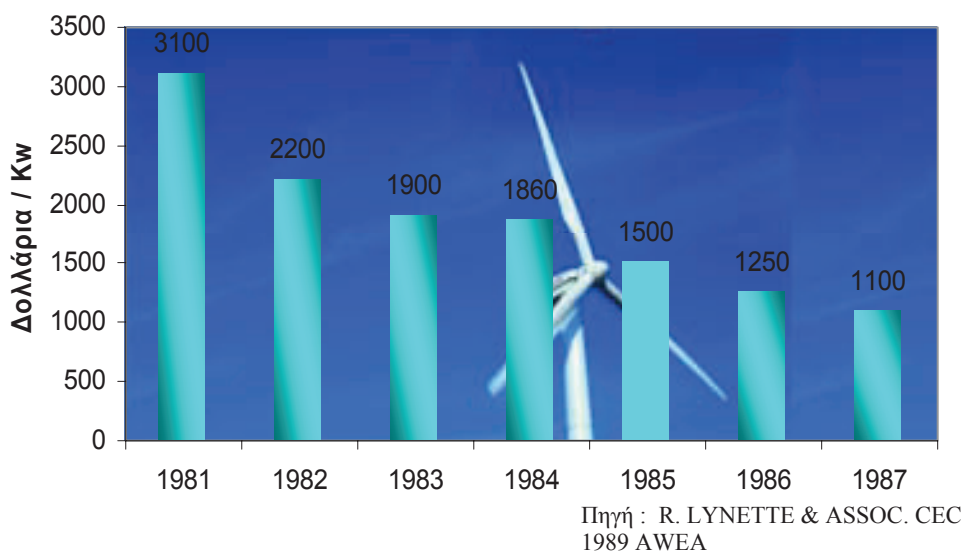
Η απόφαση για την προώθηση μιας επένδυσης είναι ιδιαίτερα σημαντική και επομένως είναι απαραίτητη η διερεύνηση της χρηματό - οικονομικής αποδοτικότητας του εξεταζόμενου σχεδίου επένδυσης, για τον ίδιο τον επενδυτή [35,44].

Η διαδικασία της οικονομικής ανάλυσης περιλαμβάνει σύνθεση των στοιχείων κόστους και οφέλους της επένδυσης. Πιο αναλυτικά πρέπει να εκτιμηθούν τα εξής στοιχεία:

- Το συνολικό κόστος της επένδυσης (κόστος αγοράς ανεμοκινητήρα, κόστος γης και υποδομής κλπ.) και η σχεδιαζόμενη χρονική κατανομή των εκροών
- Το κατάλληλο χρηματοδοτικό σχήμα, η επιχορήγηση και το δάνειο
- Ο προβλεπόμενος οφέλιμος χρόνος ζωής της επένδυσης
- Η προβλεπόμενη παραγωγή και τα αναμενόμενα έσοδα (σε περίπτωση πώλησης της πλεονάζουσας ενέργειας)
- Το κόστος λειτουργίας και συντήρησης
- Η πιθανή υπολειμματική αξία της επένδυσης
- Το αιολικό δυναμικό της περιοχής και ο συντελεστής χωρητικότητας της μηχανής
- Το νομικό και οικονομικό περιβάλλον το οποίο καθορίζει το ύψος των φορολογικών συντελεστών, το ρυθμό απόσβεσης των παγίων περιουσιακών στοιχείων και το ύψος του πληθωρισμού.

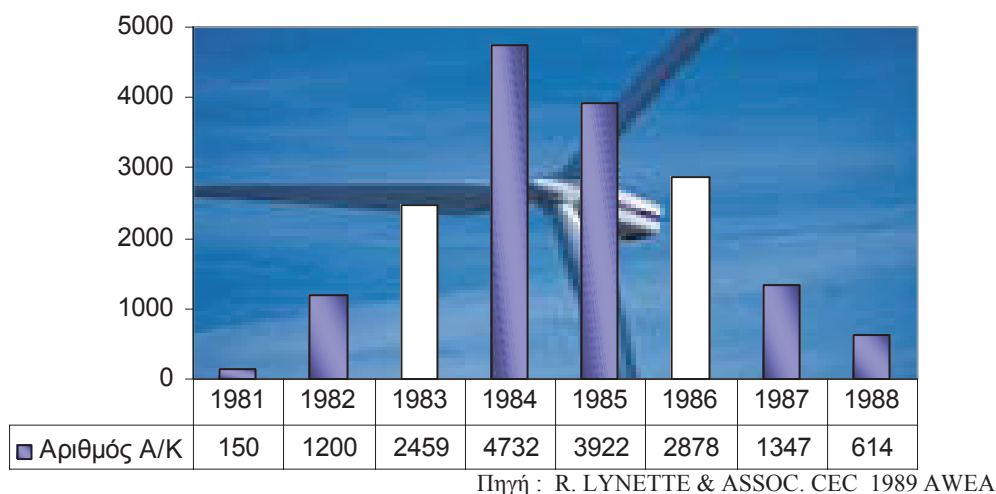
### Κόστος ανεμοκινητήρα.

Το κόστος πώλησης ενός ανεμοκινητήρα εξαρτάται κυρίως από την τυποποίηση της κατασκευής της μηχανής και το πλήθος των μηχανών που κατασκευάζονται και πωλούνται. Το κατασκευαστικό κόστος ενός ανεμοκινητήρα μπορεί να μειωθεί στο ¼ του κόστους της προτύπου μονάδας μετά από παραγωγή – τυποποίηση της πρώτης εκατοντάδας ανεμοκινητήρων. Ειδικότερα η στατιστική επεξεργασία του κόστους ανεμοκινητήρων στην αγορά της Καλιφόρνιας έδωσε το σχήμα 8.1 όπου διαπιστώνεται ότι το κόστος ανεμοκινητήρα ανά Kw ισχύος ενώ το 1981 ήταν 3100 δολάρια (\$), το 1987 είχε πέσει στα 1100\$ με τάση περαιτέρω μείωσης [44].



Σχήμα 8.1. Κόστος ανά Kw στην Καλιφόρνια.

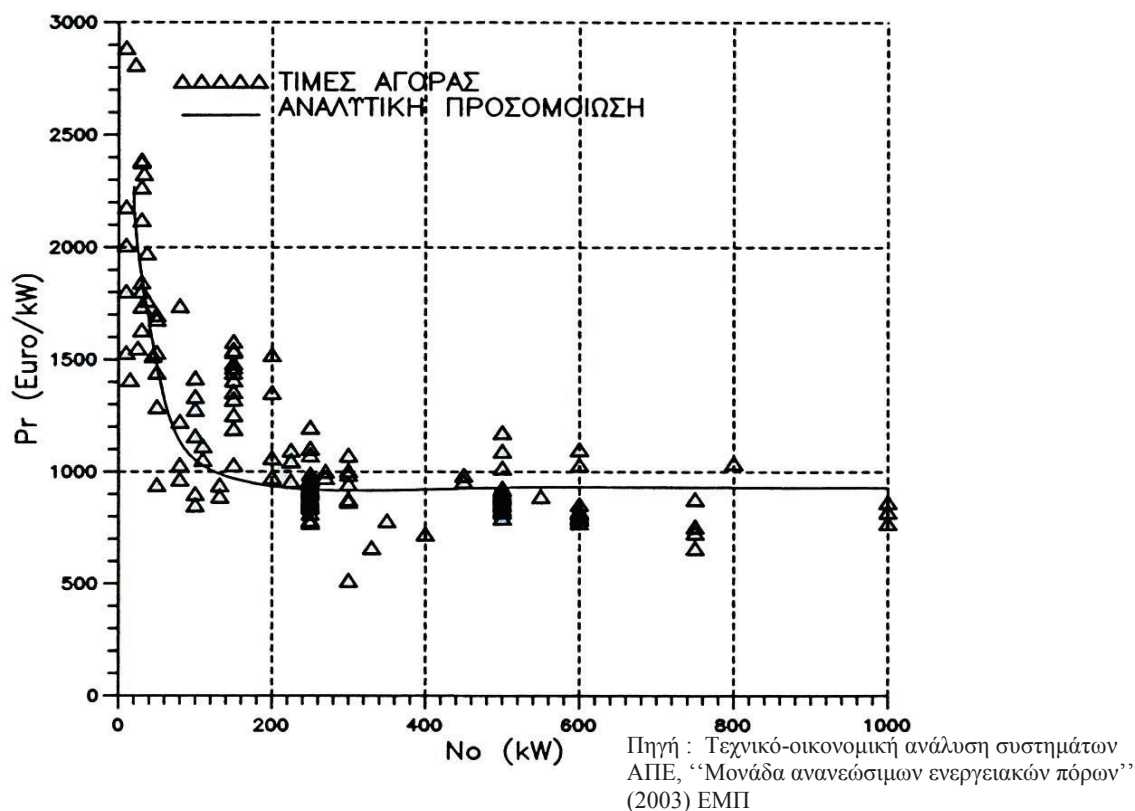
Η μείωση αυτή του κόστους των ανεμοκινητήρων προήλθε από την τυποποίηση της κατασκευής και την αύξηση των πωλήσεων ανεμοκινητήρων. Στο σχήμα 8.2, φαίνεται ότι ο αριθμός των εγκατεστημένων ανεμοκινητήρων το 1981 ήταν μόλις 150 μονάδες ενώ το 1988 οι συνολικές εγκαταστημένες μονάδες ανεμοκινητήρων μόνο στην Καλιφόρνια είχαν φθάσει τις 17.302.



Σχήμα 8.2. Πλήθος εγκατεστημένων ανεμοκινητήρων στην Καλιφόρνια.



Μετά από διαδοχικές έρευνες αγοράς του εργαστηρίου Η.Μ.Ε. & ΠΡΟ.ΠΕ με έμφαση στην ελληνική αγορά, για την χρονική περίοδο 2003 – 2004 προέκυψε η ανοιγμένη σε (€ / Kwh) τιμή μιας εμπορικής ανεμογεννήτριας μπορεί να προσεγγισθεί από τα στοιχεία του σχήματος 8.3.



Σχήμα 8.3. Ανοιγμένη τιμή κόστους ανεμογεννητριών  
Πηγή: Η.Μ.Ε. & ΠΡΟ.ΠΕ.

### Κόστος γης και υποδομής.

Οι τιμές κόστους ανεμοκινητήρα συνήθως δίνονται για παράδοση στο εργοστάσιο κατασκευής ή για μικρότερους ανεμοκινητήρες στον χώρο μεταπώλησης του μεσάζοντα.

Το κόστος ενός εγκαταστημένου ανεμοκινητήρα επιβαρύνεται με το κόστος μεταφοράς, συναρμολόγησής αλλά και δέσμευση, αγοράς ή ενοικίασης της γης. Επίσης πολλές φορές σημαντικό μέρος του κόστους αποτελεί η δημιουργία της κατάλληλης υποδομής απαραίτητης για τη μεταφορά, εγκατάσταση και λειτουργία του ανεμοκινητήρα, όπως η διάνοιξη δρόμων ικανών να επιτρέπουν την κίνηση γερανών για τη μεταφορά του πύργου, των πτερυγίων ή του κουβουκλίου του ανεμοκινητήρα. Επίσης μελέτη πολιτικού μηχανικού απαιτείται για τη θεμελίωση του ανεμοκινητήρα όταν ξεπερνά ορισμένα Kw. Σημαντικό μερίδιο στη διαμόρφωση του τελικού κόστους έχει ο ηλεκτρικός υποσταθμός που πιθανόν να απαιτείται για την διαμόρφωση της τάσης και έντασης του ρεύματος ή του κιβωτίου επιλογής σχέσεων όταν θέλουμε μηχανική ισχύ.

Τέλος δεν θα πρέπει να διαφεύγει της προσοχής και η συμβολή στο κόστος της απαραίτητης αντικεραυνικής προστασίας του ανεμοκινητήρα.

## Διάρκεια ζωής του ανεμοκινητήρα.

Όλοι οι ανεμοκινητήρες σήμερα σχεδιάζονται για διάρκεια ζωής τουλάχιστον 20 ~ 30 ετών. Με την τεχνολογική βελτίωση των υλικών, τη μεγαλύτερη αντοχή των σε κόπωση, τη βελτίωση των μηχανουργικών επεξεργασιών, την αύξηση των γνώσεων σχετικά με την αλληλεπίδραση ανέμου και αιολικής μηχανής σε συνδυασμό με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών που επιτρέπουν την ακριβή γνώση των φορτίων σε μεταβαλλόμενες ανεμολογικές συνθήκες, είναι περισσότερο από σίγουρο ότι οι αιολικές μηχανές θα επιτύχουν διάρκεια ζωής μεγαλύτερη από 20 έτη. Στοιχεία όπως αντοχή και κόπωση των υλικών, τύρβη του ανέμου, επίπεδο θορύβου κλπ. μπορούν να συλλεχθούν από μελέτη μοντέλων σε αεροδυναμική σήραγγα ή υπό πραγματικές συνθήκες λειτουργίας [44].

Δεδομένου ότι η διάρκεια ζωής του ανεμοκινητήρα έχει άμεση επίδραση στην οικονομική βιωσιμότητα της επένδυσης η παραδοχή ως μέση διάρκεια ζωής ενός ανεμοκινητήρα 20 έτη αποτελεί συντηρητική εκτίμηση.

## 8.4 Ανάλυση ορολογιών για την υλοποίηση οικονομοτεχνικών μελετών.

### 8.4.1 Καθαρή παρούσα αξία.

Το κριτήριο αυτό αποτελεί ένα ευρύτατο εφαρμοζόμενο μέτρο οικονομικής αποδοτικότητας για την αξιολόγηση των σχεδίων επένδυσης. Η καθαρή παρούσα αξία γνωστή με τα αρχικά NPV (Net Present Value) εκφράζει την αξία σε χρηματικές μονάδες, που προκύπτει από την προεξόφληση στο παρόν όλων των καθαρών χρηματοροών κάθε έτους (διαφορά των μελλοντικών ταμειακών εισροών ή εσόδων και εκροών ή εξόδων) για ολόκληρο τον χρονικό ορίζοντα του σχεδίου επένδυσης. Υπολογίζεται από την γενική σχέση:

$$NPV = -D_0 + \sum_{i=1}^{i=T} \frac{R_t - D_t}{(1+i)^t} \quad \text{ή} \quad \sum_{i=0}^{i=T} \frac{R_t - D_t}{(1+i)^t}$$

όπου  $i$  το επιτόκιο,  $t$  η περίοδος εξόφλησης,  $D_0$  έξοδα της χρονικής στιγμής 0,  $T$  η τελευταία χρονική περίοδος,  $R_t$  εισροές τη χρονική στιγμή  $t$  και  $D_t$  εκροές τη χρονική στιγμή  $t$ .

Το επιτόκιο προεξόφλησης καθορίζεται με βάση τις τρέχουσες συνθήκες της τραπεζικής αγοράς, εφόσον αυτή λειτουργεί ομαλά και αντανακλά τις πραγματικές συνθήκες προσφοράς και ζήτησης κεφαλαίων. Συνήθως προστίθεται στο τραπεζικό επιτόκιο ένα επιπλέον ποσοστό, το λεγόμενο περιθώριο κινδύνου, που έχει σκοπό να αντισταθμίσει το ρίσκο του εγχειρήματος και κυμαίνεται μεταξύ 1% και 4% ανάλογα με το βαθμό αβεβαιότητας του σχεδίου επένδυσης.

Η καθαρή παρούσα αξία είναι αξιόπιστη μέθοδος αξιολόγησης γιατί μετατρέπει τις μελλοντικές ροές αξιών του σχεδίου επένδυσης σε παρούσες αξίες, δηλαδή αυτές που ισχύουν τη στιγμή που παίρνεται η απόφαση. Η ίδια η τιμή της NPV δεν έχει κάποια συγκεκριμένη σημασία, εκτός περιπτώσεων που κάνουμε σύγκριση δύο NPV. Κυρίως αυτό που ενδιαφέρει είναι αν είναι θετική ή αρνητική. Γενικά αν η NPV είναι θετική, αυτό σημαίνει ότι η αποδοτικότητα είναι μεγαλύτερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και το σχέδιο επένδυσης είναι αποδεκτό. Αν η NPV είναι αρνητική,

σημαίνει ότι η αποδοτικότητα είναι μικρότερη από το επιτόκιο προεξόφλησης και το σχέδιο απορρίπτεται. Αν η NPV είναι μηδέν, η αποδοτικότητα είναι αδιάφορη ή οριακή. Αν πάλι θέλουμε να κάνουμε μια επένδυση με στόχο την μείωση των εκροών, τότε συγκρίνουμε δυο ή περισσότερες NPV και επιλέγουμε αυτή με τη μικρότερη (αρνητική) παρούσα αξία [6,27,34,35,41,44].

#### 8.4.2 Εσωτερικός συντελεστής απόδοσης.

Ο εσωτερικός συντελεστής απόδοσης γνωστός με τα αρχικά IRR (Internal Rate of Return) είναι το υπολογιζόμενο επιτόκιο (εσωτερική αποδοτικότητα) με το οποίο η παρούσα αξία των ταμειακών εισροών είναι ίση με την παρούσα αξία των ταμειακών εκροών. Δηλαδή η άθροιση των καθαρών χρηματοροών όλης της χρονικής περιόδου επένδυσης είναι ίση με το μηδέν.

Με μαθηματική έκφραση το κριτήριο αυτό διατυπώνεται ως εξής:

$$NPV = \sum_{t=0}^{i=T} \frac{R_t - D_t}{(1 + IRR)^t} = 0$$

Ο IRR δείχνει ποια είναι η μέγιστη προσδοκία που μπορούμε να έχουμε από την συγκεκριμένη επενδυτική επιλογή. Μεταξύ διαφορετικών επενδυτικών επιλογών, προτείνεται για υλοποίηση αυτή με τον μεγαλύτερο IRR. Συγκρίνοντας τον IRR που προκύπτει, με το επιτόκιο του ταμειυτηρίου που ισχύει σήμερα στην τραπεζική αγορά, η επένδυση εμφανίζεται συμφέρουσα, αδιάφορη ή μη συμφέρουσα.

Από την σύγκριση της τιμής του IRR με το επίσημο επιτόκιο της αγοράς  $i$  συμπεραίνεται η αποδοτικότητα (αν ο IRR είναι μικρότερος) ή μη του σχεδίου επένδυσης (αν ο IRR είναι μεγαλύτερος). Σε περίπτωση εναλλακτικών σχεδίων επιλέγεται εκείνο που έχει τον χαμηλότερο IRR.

Μια καλύτερη προσέγγιση είναι να προσθέτουμε 2-3% στο επιτόκιο του ταμειυτηρίου και μετά να κάνουμε την σύγκριση. Αυτή η αύξηση δηλώνει το ρίσκο και την αβεβαιότητα που αναλαμβάνει κάποιος που αποσύρει τα χρήματα του από το ταμειυτήριο για να τα τοποθετήσει σε μια επένδυση.

Έστω  $i$  το άθροισμα του επιτοκίου του ταμειυτηρίου και της προσαύξησης λόγω ρίσκου, τότε:

- Εάν  $IRR > i \rightarrow$  συμφέρουσα επένδυση,
- Εάν  $IRR = i \rightarrow$  οριακή αποδοτικότητα,
- Εάν  $IRR < i \rightarrow$  μη συμφέρουσα επένδυση.

#### 8.4.3 Ανάλυση ευαισθησίας.

Γίνεται φανερό ότι η οικονομική αποδοτικότητα μιας επένδυσης εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους, ο προσδιορισμός των οποίων κρύβει κάποια αβεβαιότητα.

Με σκοπό να μειώσουμε την αβεβαιότητα στην εκτίμηση της οικονομικής αποδοτικότητας της επένδυσης, κάνουμε ανάλυση ευαισθησίας των αποτελεσμάτων ως προς τις βασικές παραμέτρους.

Το αντικείμενο αυτής της ανάλυσης είναι να δείξει τι επίδραση έχει η λανθασμένη εκτίμηση μιας παραμέτρου στους δείκτες αξιολόγησης (EPC, NPV, IRR).

Οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της επένδυσης είναι:

- Επιλογή εξοπλισμού (κόστος επένδυσης, παραγωγή ενέργειας)
- Κόστος γης, έργα υποδομής (πρόσβαση σε δίκτυο, δρόμους)
- Κόστος συντήρησης και λειτουργίας
- Εκτίμηση αιολικού δυναμικού (μετρήσεις)
- Χρόνος ζωής της επένδυσης (σχεδιαστικά λάθη, κακή επιλογή θέσης)
- Επιτόκιο δανεισμού
- Το κόστος παραγωγής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα.

#### 8.4.4 Έλεγχος αξιοπιστίας της αποδοτικότητας - Ανάλυση αβεβαιότητας.

Μετά την εκτίμηση της αποδοτικότητας του σχεδίου επένδυσης, ελέγχουμε και αξιολογούμε την τυχούσα αβεβαιότητα που συνδέεται με την εκτίμηση αυτή. Αφορά την ακρίβεια των στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν ή και εξωγενείς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν τις τιμές αυτές στο μέλλον.

Ο κίνδυνος (risk) και η αβεβαιότητα που είναι εγγενείς σε διάφορα σχέδια επένδυσης καθιστούν αναγκαία τη διερεύνηση του θέματος αυτού κατά τη διαδικασία αξιολόγησης.

Υπάρχουν πολλές μορφές κινδύνων και αβεβαιότητας στα σχέδια επένδυσης, που επηρεάζουν τα βασικά μεγέθη των ταμειακών ροών τους, πράγμα που επιδρά τελικά στην αποδοτικότητά τους.

Με την ανάλυση αβεβαιότητας επιχειρείται η ποσοτική διερεύνηση των επιπτώσεων που θα έχει η διακύμανση μιας σημαντικής παραμέτρου στην οικονομικότητα της επένδυσης.

Για παράδειγμα μια λανθασμένη εκτίμηση του αιολικού δυναμικού, οδηγεί σε λανθασμένο υπολογισμό της παραγόμενης ενέργειας σε μια γεωργική εκμετάλλευση.

Άλλες παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν την αποδοτικότητα είναι η κακή εκτίμηση του κόστους επένδυσης, ο τρόπος εκμετάλλευσης της ενέργειας κλπ.. Πόσο μπορεί να επηρεάσει μια από τις παραπάνω παραμέτρους και αν μπορεί να ανατρέψει την αποδοτικότητα της επένδυσης μπορεί να φανεί από την ανάλυση αβεβαιότητας.

#### 8.4.5 Κόστος παραγόμενης ενέργειας.

Ένας άλλος τρόπος που χρησιμοποιείται ευρύτατα, για να διαπιστωθεί κατά πόσο είναι συμφέρουσα ή όχι η επένδυση σε μια μονάδα Α.Π.Ε. είναι ο υπολογισμός του κόστους της παραγόμενης ενέργειας και η σύγκριση του με το αντίστοιχο κόστος των συμβατικών μονάδων.

Το κόστος της παραγόμενης ενέργειας EPC (€ ανά KWh) προκύπτει από την σχέση:

$$EPC \text{ (Euro / KWh)} = \frac{R \cdot I + M}{EP}$$

όπου I είναι το συνολικό κόστος επένδυσης σε €, M το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας σε € ανά έτος, EP η ετήσια καθαρή παραγόμενη ενέργεια σε KWh και R είναι ο συντελεστής αναγωγής (ετήσια επιβάρυνση κεφαλαίου) που ορίζεται ως:

$$R = \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}}$$

όπου  $i$  είναι το επιτόκιο και  $n$  η διάρκεια ζωής της επένδυσης.

Η παραπάνω έκφραση είναι χρήσιμη διότι δίνει ένα γρήγορο υπολογισμό χωρίς να απαιτεί πολλά δεδομένα. Το κόστος της παραγόμενης KWh συγκρινόμενο με την τιμή του ηλεκτρισμού στην αγορά ή την τιμή των καυσίμων δίνει μια πρώτη ένδειξη αν η επένδυση θα είναι ή όχι συμφέρουσα.

Εάν  $EPC < \text{market price}$  → συμφέρουσα επένδυση.

Εάν  $EPC = \text{market price}$  → οριακή αποδοτικότητα της επένδυσης, απαιτείται περαιτέρω ανάλυση, η τελική απόφαση θα κριθεί και από άλλους παράγοντες.

Εάν  $EPC > \text{market price}$  → Μη συμφέρουσα επένδυση.

Στατιστικά στοιχεία δείχνουν ότι για άνεμο μέσης ετήσιας ταχύτητας 10.5 m/s η ειδική επένδυση είναι 0.35 ECU / Kwh ενώ για μικρότερες ταχύτητες ανέμου 6.5 m/s η ειδική επένδυση είναι 1.05 ECU / Kwh, σχήμα 9.4, δηλαδή περίπου 3 φορές μεγαλύτερη [44].

#### 8.4.6 Χρόνος ζωής.

Ο χρήσιμος χρόνος ζωής μιας μονάδας Α.Π.Ε., αφορά το χρόνο λειτουργίας της. Για τις περισσότερες περιπτώσεις χρηματο - οικονομικής ανάλυσης σαν χρονικός ορίζοντας λαμβάνονται τα 10 – 20 έτη και αν ο χρήσιμος χρόνος ζωής είναι μεγαλύτερος λαμβάνεται υπόψη η υπολειμματική αξία της επένδυσης.

Ο επενδυτής πρέπει να έχει υπ' όψη του ότι πριν αρχίσει η εγκατάσταση πρέπει να προηγηθεί μια περίοδος μετρήσεων, ανάλυσης και καθορισμού του δυναμικού της περιοχής. Για τον προσδιορισμό του αιολικού δυναμικού η περίοδος αυτή κυμαίνεται από τουλάχιστον 1 μέχρι και 3 έτη, με παράλληλη συλλογή ανεμολογικών στοιχείων μιας δεκαετίας από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό.

Παράλληλα μπορεί να αρχίσει η διαδικασία αδειοδότησης για ανεμοκινητήρες μεγαλύτερους των 20 Kw, η οποία σε πολλές περιπτώσεις είναι αρκετά χρονοβόρα και μπορεί να διαρκέσει από 12 μέχρι και 36 μήνες. Ακολουθεί η περίοδος κατασκευής, όπου περιλαμβάνεται η μεταφορά του εξοπλισμού, η κατασκευή των έργων υποδομής, ακολουθεί η θεμελίωση, η ανέγερση και η έναρξη λειτουργίας (commissioning).

Γενικά ο χρονικός ορίζοντας της επένδυσης, δεν περιλαμβάνει τα αρχικά στάδια μέτρησης του δυναμικού και το χρόνο που απαιτεί η αδειοδοτική διαδικασία παρόλο που σε αυτές τις φάσεις υπάρχουν σημαντικές δαπάνες, αλλά ξεκινάει τη στιγμή που έχει εκδοθεί η άδεια και αρχίζει η κατασκευή – εγκατάσταση.

### 8.5 Οικονομικά στοιχεία συστημάτων Α.Π.Ε.

#### 8.5.1 Οικονομικά στοιχεία αιολικής ενέργειας.

Το κόστος των αιολικών συστημάτων για παραγωγή ενέργειας, έχει μειωθεί σημαντικά τα τελευταία 15 χρόνια και η τάση αυτή συνεχίζεται.

Το μεγαλύτερο ποσοστό του αρχικού κόστους επένδυσης καταλαμβάνει το κόστος των ανεμογεννητριών, η μεταφορά του εξοπλισμού, την θεμελίωση η ανέγερση και τα έργα υποδομής. Σε ένα τυπικό αιολικό πάρκο ο καταμερισμός του κόστους έχει περίπου ως εξής (στοιχεία από αιολικά πάρκα στην Δανία και την Γερμανία / Πηγή: “Wind Energy – The Facts”, European Wind Energy Association)

- Κόστος εξοπλισμού: 74-82%
- Θεμελίωση: 1-6%
- Μελέτες – άδειες – σύμβουλοι: 1-3%
- Κόστος έργων υποδομής (κτιριακή εγκατάσταση, στέγαστρα κλπ.): 1-5%
- Κόστος γης: 1-3%
- Κόστος χρήματος: 1-5%

Για δεδομένης ονομαστικής ισχύος ανεμοκινητήρα, καθώς αυξάνεται το μέγεθος της κάθε μηχανής, μειώνεται ο αριθμός των μηχανών που απαιτούνται, το κόστος εγκατάστασης, το μέγεθος και το κόστος της γης, το κόστος συντήρησης και λειτουργίας σχήμα 8.4.

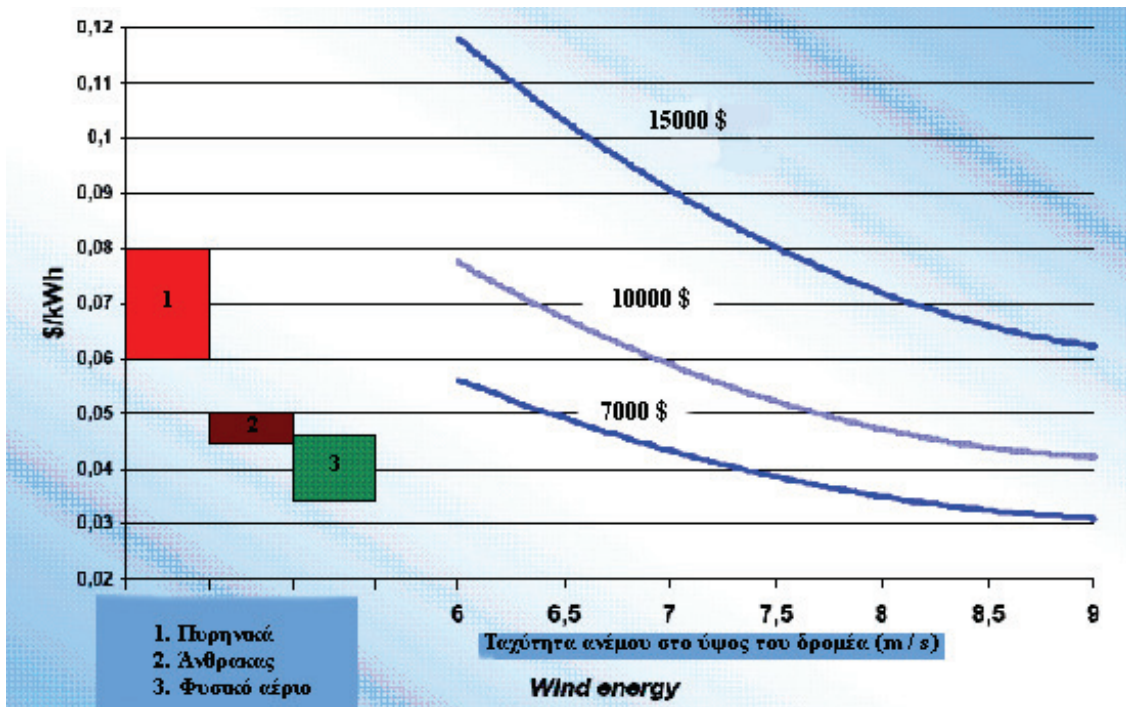
Οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την οικονομικότητα μιας επένδυσης είναι:

- Παραγόμενη ενέργεια / αιολικό δυναμικό
- Κόστος επένδυσης
- Κόστος συντήρησης και λειτουργίας
- Διάρκεια ζωής
- Επιτόκιο ανατοκισμού
- Τιμή πώλησης KWh (εφόσον υπάρχει περίσσεια ενέργειας προς πώληση)
- Επιχορήγηση της επένδυσης

Από τα παραπάνω τα πιο σημαντικά είναι το κόστος επένδυσης και η παραγόμενη ενέργεια. Αφού η παραγόμενη ενέργεια εξαρτάται από το αιολικό δυναμικό, η επιλογή της κατάλληλης θέσης είναι η κρισιμότερη παράμετρος για την οικονομική αποδοτικότητα.

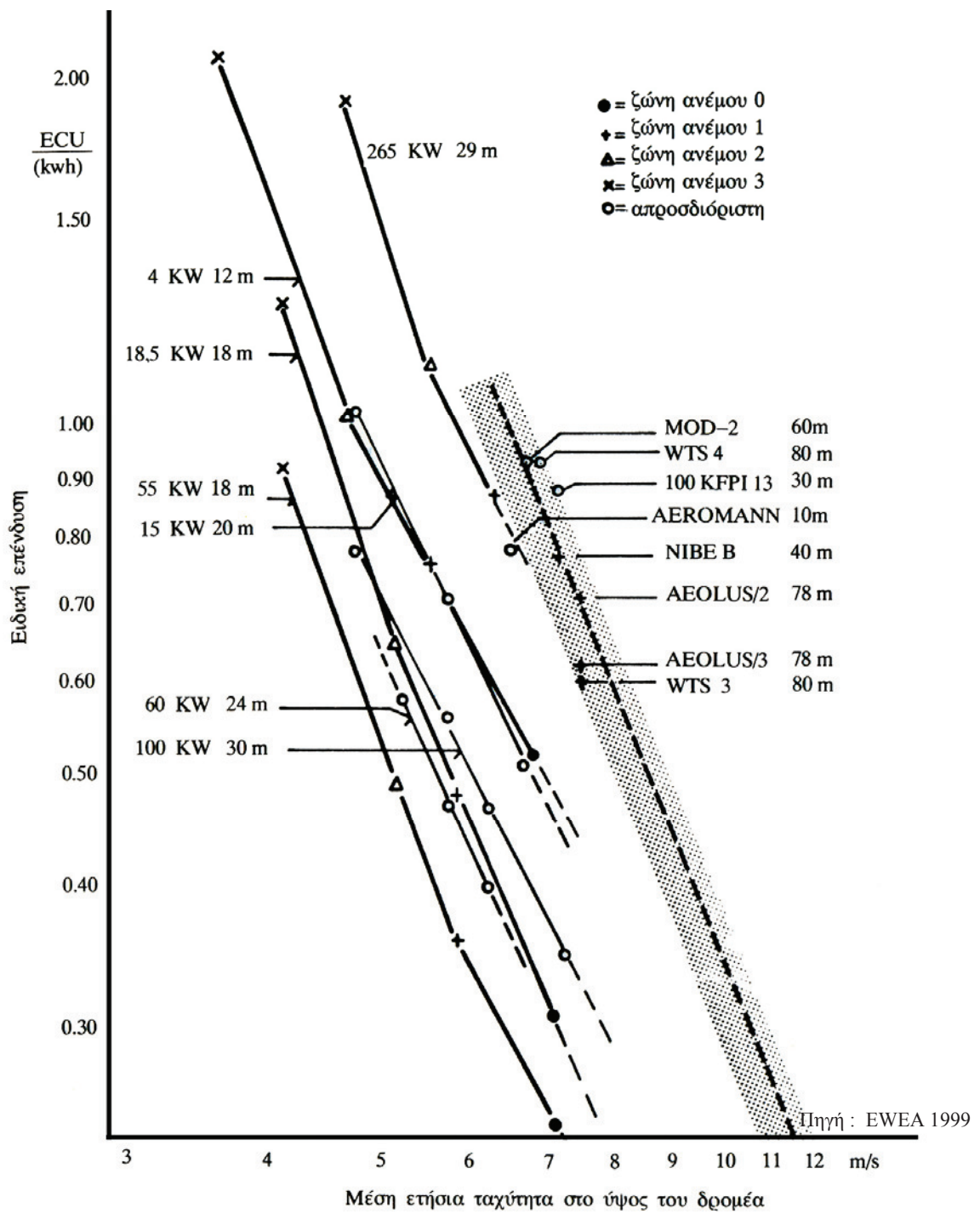
Το ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας εξαρτάται από το μέγεθος της εγκατάστασης, την ονομαστική ισχύ της μηχανής, την χώρα εγκατάστασης και άλλους παράγοντες. Το κόστος συντήρησης και λειτουργίας αυξάνεται σταδιακά μετά την πάροδο κάποιων ετών ανάλογα το μέγεθος και την κατασκευή της μηχανής (περισσότερες πληροφορίες : Danish Consultancy BTM Consult).

Καθώς το ενεργειακό περιεχόμενο του ανέμου είναι ανάλογο του κύβου της ταχύτητας, μικρές διαφορές στη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου οδηγεί σε μεγαλύτερες διαφορές της παραγόμενης ενέργειας, και άρα της οικονομικής αποδοτικότητας της επένδυσης. Το σχήμα 8.5. δείχνει το κόστος της παραγόμενης ενέργειας συναρτήσει της μέσης ταχύτητας του ανέμου για διαφορετικό αρχικό κόστος επένδυσης και σε σύγκριση με παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συμβατικά καύσιμα.



Σχήμα 8.5. Κόστος παραγόμενης KWh από αιολική ενέργεια και συμβατικές πηγές.

Το κόστος της παραγόμενης KWh από αιολική ενέργεια συνήθως κυμαίνεται από 0,08-0,10 €/KWh σε περιοχές με χαμηλές και μέσες ταχύτητες ανέμου μέχρι 0,03-0,07 €/KWh σε περιοχές με καλό αιολικό δυναμικό. Ένα σημαντικό μέρος του κόστους επένδυσης εξαρτάται από τη θέση εγκατάστασης, οπότε το συνολικό κόστος μπορεί να αυξάνεται κατά 15-40% σε περιοχές δύσβατες, απομακρυσμένες από υπάρχουσα υποδομή.



Σχήμα 8.4. Ειδική επένδυση ως συνάρτηση του αιολικού δυναμικού.



## 8.6 Παράδειγμα οικονομικής αξιολόγησης.

Στη συνέχεια εξετάζεται η οικονομική βιωσιμότητα μιας επένδυσης τεσσάρων ανεμοκινητήρων οι οποίοι προορίζονται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών της γεωργικής εκμετάλλευσης που μελετήθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, ολικής ονομαστικής ισχύος 4 x 2KW.

Από την χωροταξική μελέτη (επιλογή της θέσης) και τις ανεμολογικές μετρήσεις που διαθέτουμε γίνεται η εκτίμηση:

- της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας  $E=876\text{KWh}\cdot 4 = 3.504 \text{ KWh}$
- του συντελεστή εκμεταλλευσιμότητας  $C.F.=35,6\%$

### Συνολικό κόστος

	€
Αρχικά έξοδα – Ανεύρεση κατάλληλης θέσης	1.000
Κόστος ηλεκτρικής διασύνδεσης	3.000
Μεταφορά εξοπλισμού	2.000
Κόστος εξοπλισμού & εγκατάστασης (Α/Γ)	42.500
Κόστος έργων μελέτης	1.500
Συνολικό κόστος επένδυσης	50.000

### Χρηματοδοτικό σχήμα

Ιδία κεφάλαια: 25% (κεφάλαιο 12.500 €)

Επιχορήγησης: 25% (επιχορήγηση 12.500 €)

Δάνειο: 50% (δάνειο 25.000 €) (μέθοδος ισοτοκοχρεολυσίων, αποπληρωμή 5 έτη, περίοδος χάριτος 0, επιτόκιο δανεισμού 8%).

### Υπολογισμός αποπληρωμής δανείου

Η μέθοδος που ακολουθείται είναι θέμα συμφωνίας με την τράπεζα. Συνήθως χρησιμοποιείται η μέθοδος ισοτοκοχρεωλύσιων (ίσα τοκοχρεολύσια κάθε χρόνο).

Εάν  $K$  το κεφάλαιο του δανείου,  $N$  τα έτη αποπληρωμής και  $i$  το επιτόκιο δανεισμού, τότε η ετήσια δόση ή τοκοχρεολύσιο είναι  $X$ :

$$X = \frac{K \cdot i}{1 - (1+i)^{-N}} \quad \text{ή} \quad X = K \frac{i(1+i)^N}{(1+i)^N - 1}$$

$$X = \frac{25.000\text{€} \cdot 8\%}{1 - (1+8\%)^{-5}} = 6261.4 \text{ €}$$

ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΠΟΠΛΗΡΩΜΗΣ ΔΑΝΕΙΟΥ					
25.000€	1	2	3	4	5
Χρεολύσιο	4261 €	4602 €	4970 €	5367 €	5797 €
Τόκοι	2000 €	1659 €	1290 €	893 €	464 €
Τοκοχρεολύσιο	6261 €	6261 €	6261 €	6261 €	6261 €

## Λογαριασμός εκμετάλλευσης

Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει πλεόνασμα ενέργειας και μπορεί να πουληθεί στη Δ.Ε.Η. ή σε άλλο ιδιώτη καταναλωτή, αυτό καταγράφεται ως κέρδος K.

$$K \text{ (σε €/έτος)} = Z \text{ Wh} \cdot 0.07 \text{ €/KWh} \cdot 80\%$$

- 80% είναι το εξασφαλισμένο ποσοστό απορρόφησης ενέργειας στα αυτόνομα μη διασυνδεδεμένα δίκτυα για Α.Π.Ε. διακοπτόμενης λειτουργίας. (εξαιτίας της απόρριψης ισχύος που συμβαίνει τις ώρες χαμηλής ζήτησης).
- Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε. [www.rae.gr](http://www.rae.gr)) πρόσφατα πρότεινε η ποσότητα της απορριπτόμενης ενέργειας να καθορίζεται έτσι ώστε να δίνει εγγυημένο Συντελεστή Εκμεταλλευσιμότητας σε κάθε νέο αιολικό πάρκο.
- 0.07 €/KWh είναι η τιμή πώλησης της παραγόμενης ενέργειας στη Δ.Ε.Η. (η τιμή πώλησης της ενέργειας από την Δ.Ε.Η. στον καταναλωτή, εξαρτάται από τον λόγο χρήσης, ιδιωτική, βιομηχανική, γεωργική κλπ. και την περιοχή που βρίσκεται η εγκατάσταση).
- Z είναι το πλεόνασμα ενέργειας που πωλείται.

Στο Ετήσιο Κόστος Λειτουργίας και Συντήρησης, περιλαμβάνονται οι εργατοώρες συντήρησης, ασφάλιστρα, αναλώσιμα κ.α. (Ενδεικτική τιμή συνήθως είναι 1-2% του αρχικού κόστους επένδυσης / έτος).

$$\text{Κόστος συντήρησης και λειτουργίας } \Sigma \ \& \ \Lambda = 700 \text{ €/έτος}$$

Η απόσβεση είναι κόστος, αλλά δεν είναι πραγματική εκροή. Οι συντελεστές απόσβεσης καθορίζονται από την νομοθεσία (π.χ 8 έτη για ηλεκτρομηχανολογικό εξοπλισμό και 20 έτη για κτίρια). Δεν επιτρέπεται γρήγορη απόσβεση. Γρήγορη απόσβεση θα σήμαινε ότι τα πρώτα χρόνια η επιχείρηση θα εμφάνιζε ζημιές και θα γλίτωνε την φορολογία κατά τα πρώτα έτη λειτουργίας.

Για 15 έτη χρόνο απόσβεσης ή ετήσιο συντελεστή προκύπτει το ετήσιο κόστος απόσβεσης:

$$E.A. = \Sigma.K.E. \cdot (1 - I.K.) \cdot (1 / X.A.)$$

όπου E.A. = ετήσια απόσβεση, I.K. = ίδια κεφάλαια, X.A = χρόνος απόσβεσης (%) και Σ.Κ.Ε. = τα συνολικά κεφάλαια της επένδυσης.

$$\text{Ετήσια απόσβεση} = 50.000 \cdot (1 - 25\%) \cdot 6.67\% \approx 2501 \text{ € / έτος.}$$

Δεν προσθέτουμε επιπλέον στο επιτόκιο ώστε να εξασφαλίσουμε το περιθώριο ρίσκου.

Το θεωρητικό κόστος παραγόμενης ενέργειας κατά προσέγγιση είναι:

$$EPC \text{ (Euro / KWh)} = \frac{R \cdot I + M}{EP}$$

$$R = \frac{i}{1 - (1 + i)^{-n}} \approx 0.12 \quad I = 50.000\text{€} \quad M = 700\text{€} \quad EP = 3.504\text{K Wh.}$$

$$EPC \approx 1,87 \text{ €/KWh}$$

Η τιμή της παραγόμενης KWh είναι υπερβολικά υψηλή, συγκριτικά με τη χρέωση από τη Δ.Ε.Η., λόγω της μικρής εντάσεως ανέμων που πνέουν στην περιοχή και κατά συνέπεια της χαμηλής ετήσιας καθαρής παραγόμενης ενέργειας από τους ανεμοκινητήρες.

Εάν θεωρήσουμε πως η ετήσια χρέωση από τη Δ.Ε.Η. είναι ( $3.504\text{KWh} \cdot 0.07\text{€/KWh} = 245\text{€} + \text{φόρους} \approx 400\text{€}$ ) για την κάλυψη των ίδιων ενεργειακών απαιτήσεων, τότε παραθέτοντας αναλυτικά τις εισροές και εκροές για όλη την διάρκεια ζωής της επένδυσης (15 έτη), μπορούμε εύκολα να επιλέξουμε πια επένδυση μας συμφέρει.

$$\text{NPV}_1(8\%) \approx - 43.643 \text{ €}$$

$$\text{NPV}_2(8\%) \approx - 12.823 \text{ €}$$

Παρατηρούμε πως στην περίπτωση παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανεμοκινητήρες η παρούσα αξία είναι μεγαλύτερη, με αποτέλεσμα να κρίνεται οικονομικά ασύμφορη η επένδυση στην συγκεκριμένη περίπτωση.

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΣΩΝ ΝΡV <sub>1</sub> (ΣΕ €) ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΑΝΕΜΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ															
	0	1	2	3	4	5	6	7	---	14	15				
Τόξα κεφάλαια 25% Επιχορήγηση 25% Δάνειο 50% Επιτόκιο δανεισμού 8%															
Χρεολύσιο	---	-4261	-4602	-4970	-5367	-5797	---	---	---	---	---				
Κόστος λειτουργίας – συντήρησης	-700	-700	-700	-700	-700	-700	-700	-700	---	-700	---				
Υπολειπόμενη αξία	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	+18.000				
Κόστος απόσβεσης	-2501	-2501	-2501	-2501	-2501	-2501	-2501	-2501	---	-2501	---				
Κέρδος	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---				
Άθροισμα	-3201	-7462	-7803	-8171	-8568	-8998	-3201	-3201	---	-3201	+18.000				

ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΧΡΗΜΑΤΟΡΟΣΩΝ ΝΡV <sub>2</sub> (ΣΕ €) ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΤΗΣ Δ.Ε.Η.											
	0	1	2	3	4	5	6	7	---	14	15
Αγορά ηλεκτρικής ενέργειας από τη Δ.Ε.Η. ( 0,07€/KWh )											
Αρχικό κόστος διασύνδεσης με το ηλεκτρικό δίκτυο	-9000	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Ετήσια χρέωση από τη Δ.Ε.Η.	-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400	---	-400	---
Άθροισμα	-9400	-400	-400	-400	-400	-400	-400	-400	---	-400	---

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Τα τελευταία χρόνια έχει παρατηρηθεί παγκοσμίως, αυξημένο ενδιαφέρον για την ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κάθε είδους δραστηριότητα που απαιτεί ποσά ενέργειας, τα οποία μπορούν να παραχθούν με χαμηλό κόστος και με την μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση, σύμφωνα με τους νέους κανονισμούς και οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ο πρωταρχικός λόγος γι' αυτό το ενδιαφέρον ήταν η εξοικονόμηση ή ακόμα και η πλήρης απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα αλλά και η αυξημένη μόλυνση του περιβάλλοντος που προέρχεται από αυτά.

Σύμφωνα με έρευνες του ΚΑΠΕ το 7% της συνολικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, καταναλώνεται για διάφορες χρήσεις στη γεωργία, ενώ αντίστοιχες στατιστικές μελέτες του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών έδειξαν ότι το 50-60% των αναγκών της γεωργίας σε θέρμανση, αφορά κυρίως θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας. Ομοίως στις βιομηχανίες γεωργικών προϊόντων το 60-70% της καταναλισκόμενης ενέργειας αφορά θερμότητα χαμηλής θερμοκρασίας. Χαρακτηριστικό είναι το παράδειγμα της βιομηχανίας τυποποιημένων γεωργικών προϊόντων στην περιοχή Αγρινίου με την επωνυμία AGRINO, στην οποία για να καλυφθούν μικρές ενεργειακές απαιτήσεις, αποτεφρώνεται σε κλίβανο φλοιός ρυζιού και άλλα υπολείμματα από την κατεργασία και διαλογή των γεωργικών προϊόντων.

Η παραγωγή ενέργειας από ανεμοκινητήρες διαφοροποιείται σημαντικά από τις συμβατικές μεθόδους παραγωγής. Η μεταβλητότητα του ανέμου προκαλεί σημαντικές διακυμάνσεις στην ισχύ που απομαστεύεται από τον ανεμοκινητήρα, οι οποίες μεταφέρονται στην έξοδο του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ανάλογα με την εγκατάσταση την εμφάνιση έντονων μηχανικών καταπονήσεων και τη μείωση της ποιότητας ηλεκτρικής ισχύος η οποία τροφοδοτεί την κατανάλωση.

Δεδομένου όμως ότι υπάρχει συνεχής τεχνολογική βελτίωση και μια ευρεία εξάπλωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η γεωργία θα πρέπει να συμμετάσχει ενεργά στις εξελίξεις αυτές ώστε να απεξαρτηθεί ενεργειακά εν' μέρη και να είναι σε ευνοϊκή θέση ώστε να επηρεασθεί στο ελάχιστο από την αύξηση τιμών των συμβατικών καυσίμων, χωρίς να μεταφέρει κύμα ανατιμήσεων στα γεωργικά προϊόντα για τα οποία τον τελευταίο καιρό γίνεται πολύς λόγος.

Η μεταστροφή προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στο χώρο της γεωργίας θα πρέπει να στηριχθεί και από την πολιτεία, ώστε να συμβάλει στην τήρηση της δέσμευσης της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο Κιότο, όπου η Ευρώπη δεσμεύτηκε μέχρι το 2010 να μειώσει κατά 8% τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με τα επίπεδα του 1990. Στα πλαίσια του καταμερισμού των ευθυνών ανάμεσα στις Ευρωπαϊκές χώρες, η Ελλάδα αν και πέτυχε να της επιτραπεί αύξηση στις εκπομπές της κατά 25% ως το 2010 (σε σχέση με τα επίπεδα του 1990), έχει ξεφύγει κατά πολύ από αυτά τα όρια. Σύμφωνα με έκθεση που συνέταξε το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών τον Ιούνιο του 2000, τα στοιχεία δείχνουν ότι έχει ήδη ξεπεράσει κατά πολύ αυτόν τον στόχο και είναι αναμενόμενες οι κυρώσεις από την Ευρωπαϊκή κοινότητα.

Τίθεται έτσι επιτακτικά επί τάπητος το θέμα της γενικευμένης πλέον στήριξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ως της μόνης ρεαλιστικής εναλλακτικής ενεργειακής πηγής, που μπορεί να συνεισφέρει μία συνολικά ικανοποιητική λύση στα σημερινά

αναπτυξιακά και περιβαλλοντικά αδιέξοδα του ενεργειακού τομέα στη γεωργία και όχι μόνο. Μια μακροπρόθεσμα σχεδιασμένη ενεργειακή πολιτική πρέπει να επιδιώκει, αξιοποίηση των εγχωρίων φυσικών πηγών έχοντας υπόψη και τα συμφέροντα της επόμενης γενιάς, μείωση της πετρελαϊκής εξάρτησης, ανάπτυξη - εκμετάλλευση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αύξηση του βαθμού εκμετάλλευσης της ενέργειας και εξοικονόμηση της σε όλους τους τομείς, σχεδίαση του ρυθμού μελλοντικής ανάπτυξης της γεωργίας με στόχο την ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους και των εκπεμπόμενων ρύπων.

Τα μέτρα στήριξης των Α.Π.Ε. που χρησιμοποιούνται σήμερα από τα κράτη μέλη περιλαμβάνουν επιδότηση των επενδύσεων μέσω αναπτυξιακών προγραμμάτων ή φοροαπαλλαγές. Τέτοια αναπτυξιακά προγράμματα για την εξοικονόμηση και παραγωγή ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον είναι τα προγράμματα LEADER και ALTENER από τα οποία μπορεί να επιδοτηθεί μεγάλο ποσοστό που μπορεί να φθάσει και το 50% της κατασκευαστικής επένδυσης καθώς επίσης να δοθούν οδηγίες και συμβουλές στους ενδιαφερόμενους. Το χρηματοδοτικό σχήμα μιας επένδυσης σε αιολικά συστήματα παραγωγής ενέργειας για τη γεωργία, μπορεί να στηριχθεί με επιδοτήσεις και δανειζόμενα κεφάλαια, αρκεί η μελέτη να είναι προσεκτική και οικονομικά αποδοτική.

Η εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας του ανέμου, με την οποία είναι προικισμένα πολλά μέρη της Ελλάδος, μπορεί να γίνει μέσω διαφόρων τύπων ανεμοκινητήρων, που έχουν κατά καιρούς επινοηθεί και μετατρέπουν σε ωφέλιμη μηχανική ή ηλεκτρική. Καλύπτεται έτσι ένα μεγάλο φάσμα εφαρμογών. Η μηχανική ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία αντλιών νερού στην ύδρευση και άρδευση, για θέρμανση αγροτικών μονάδων και κατοικιών, για τη λειτουργία εγκαταστάσεων αφαλάτωσης νερού, σε συνδυασμό με άλλες πηγές ενέργειας κ.ά., ενώ η ηλεκτρική ενέργεια έχει απεριόριστες εφαρμογές.

Η εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας με ανεμοκινητήρες μέσης ισχύος μπορεί να γίνεται, υπό την μορφή την οποία εξετάζεται, αυτόνομα ή υβριδικά, δηλαδή σε συνεργασία με δίκτυο παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ή γεννήτρια Diesel. Η Ελληνική γεωργία μπορεί να εκμεταλλευτεί την αιολική ενέργεια με αυτόνομα συστήματα παραγωγής ενέργειας σε απομονωμένες περιοχές και να εξοικονομήσει ενέργεια όταν η εγκατάσταση είναι υβριδική και συνεργάζεται με το δίκτυο της Δ.Ε.Η.. Η συνεργασία ανεμοκινητήρων και γεννητριών Diesel δεν βρίσκει εφαρμογές στην Ελληνική γεωργία λόγω της πολυπλοκότητας του συστήματος και του αυξημένου κόστους αγοράς, συντήρησης και λειτουργίας.

Για να κάνουμε μια γρήγορη διαπίστωση, εάν η θέση που επιθυμούμε να κάνουμε την εγκατάσταση είναι κατάλληλη θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι, η περιοχή πρέπει να έχει μέση ετήσια ταχύτητα (σε ύψος 10 m από το έδαφος), μεγαλύτερη των 4 m/s, να βρίσκεται σε υψόμετρο μικρότερο των 1000 m, να απέχει τουλάχιστον 500 m από τα όρια πυκνοκατοικημένης περιοχής ή δασώδους έκτασης και να μην υπάρχουν ιδιαίτεροι λόγοι μη εγκατάστασης όπως αρχαιολογικοί χώροι, ασταθή εδάφη, κεραίες αναμεταδόσεως, στρατιωτικές εγκαταστάσεις κλπ.

Μια μελέτη εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας για γεωργική εφαρμογή θα πρέπει να έχει μακροχρόνιες βλέψεις (χωρίς αυτό να συνεπάγεται ότι πρέπει να προβούμε σε εγκατάσταση ανεμοκινητήρων μεγάλων διαστάσεων, δεδομένου ότι ο χρόνος ζωής αυτών δεν ξεπερνά τα 20 έως 30 χρόνια) ώστε η ισχύς του ανεμοκινητήρα που θα εγκατασταθεί να είναι σε θέση να καλύψει το μέγεθος και το είδος των μελλοντικών

ενεργειακών απαιτήσεων.

Ένας ολοκληρωμένος σχεδιασμός, του βέλτιστου συστήματος εκμετάλλευσης αιολικής ενέργειας περιλαμβάνει τη μελέτη των χαρακτηριστικών του ανέμου με σκοπό την εκλογή της βέλτιστης τοποθεσίας για την εγκατάσταση του ανεμοκινητήρα και την πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας, τον σχεδιασμό ή επιλογή της αεροδυναμικής διάταξης, που να μετατρέπει κατά τον αποδοτικότερο τρόπο την κινητική ενέργεια του ανέμου σε μηχανικό έργο, τη μελέτη της περίπτωσης μετατροπής του μηχανικού έργου σε άλλη πιο συμφέρουσα μορφή ενέργειας και βέλτιστο σχεδιασμό του συστήματος μετατροπής του μηχανικού έργου του δρομέα. Επίσης θα πρέπει να μελετηθεί η εύρεση του καλύτερου τρόπου αντιμετώπισης των διακυμάνσεων της ενέργειας του ανέμου, ο τρόπος μεταφοράς ενέργειας, εάν απαιτείται και η καλύτερη προσαρμογής της μεταβαλλόμενης παραγωγής ενέργειας του συστήματος προς την κατανάλωση.

Οι λέξεις «καλύτερος», «βέλτιστος», υποδηλώνουν βελτιστοποίηση τόσο από τεχνικής όσο και οικονομικής σκοπιάς, δεδομένου ότι μία οποιαδήποτε έρευνα ή διάταξη αιολικής εγκατάστασης θα έχανε το μεγαλύτερο μέρος της αξίας της, αν στους στόχους της δεν είχε να καταστήσει την αιολική ενέργεια οικονομικά ανταγωνιστική σε σχέση με τις άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας.

Η αιολική ενέργεια προσφέρεται για εκμετάλλευση μόνο σε περιοχές που επικρατεί καλό αιολικό δυναμικό. Ένα βήμα πριν την επιλογή του συστήματος δέσμευσης αιολικής ενέργειας, θα πρέπει να γίνει έλεγχος και εκτίμηση του αιολικού δυναμικού της περιοχής. Το έργο της αξιολόγησης θα αποβλέπει, στην εκτίμηση του υπάρχοντος αιολικού δυναμικού μιας συγκεκριμένης θέσης, στην επιλογή του βέλτιστου ανεμοκινητήρα ώστε να απομαστευθεί η μέγιστη ισχύς, στην εκτίμηση της διάρκειας και του τρόπου ροής της ανεμοϊσχύος προκειμένου να αντιμετωπισθούν προβλήματα αποθήκευσης της παραγόμενης ενέργειας ή απευθείας διασύνδεσης του ανεμοκινητήρα με την κατανάλωση ή άλλο αυτόνομο σύστημα παραγωγής ενέργειας. Τέλος με τα διαθέσιμα στοιχεία καθίσταται δυνατή η υπολογιστική προσομοίωση της λειτουργίας ενός ανεμοκινητήρα σε συνδυασμό με άλλους μεταβλητούς παράγοντες όπως π.χ. το ύψος του πύργου του ανεμοκινητήρα, ο τύπος του δρομέα κ.α.

Ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η συλλογή των ανεμολογικών δεδομένων έχει μεγάλη σημασία στην εξαγωγή έγκυρων αποτελεσμάτων, ώστε να επιλεγεί ο βέλτιστος τύπος ανεμοκινητήρα. Η συλλογή των στοιχείων συνήθως γίνεται από τον πλησιέστερο μετεωρολογικό σταθμό της Ε.Μ.Υ. για λόγους εξοικονόμησης χρόνου και χρήματος, αλλά μια διασταύρωση με μετρήσεις ενός εξαμήνου ή και παραπάνω από την υπό εξέταση περιοχή δίνει την ακριβή εικόνα του αιολικού δυναμικού που πνέει στην περιοχή. Δεν θα πρέπει όμως να παραβλέψουμε ότι διαφορετικοί είναι οι λόγοι για τους οποίους έχουν εγκατασταθεί οι μετεωρολογικοί σταθμοί της Ε.Μ.Υ., έτσι δεν μπορούμε να βασισθούμε απόλυτα στις μετρήσεις αυτές, παρά μόνο να κάνουμε μια γρήγορη εκτίμηση εάν ενδιαφερόμαστε για μια σοβαρή εγκατάσταση και αυτό γιατί η ενέργεια του ανέμου αυξάνεται με την τρίτη δύναμη της ταχύτητας του. Μπορεί δηλαδή πολύ εύκολα να οδηγηθούμε σε μια ανεπιτυχή επιλογή, λόγο μη αντιπροσωπευτικών ανεμολογικών στοιχείων που επιλέξαμε να αναλύσουμε.

Ο τρόπος με τον οποίο θα γίνει η επεξεργασία των ανεμολογικών στοιχείων παίζει επίσης σπουδαίο ρόλο στην εκτίμηση του αιολικού δυναμικού. Θα πρέπει να ελεγχθεί η ποιότητα του αιολικού δυναμικού η συχνότητα με την οποία εμφανίζεται και οι ριπές.

Θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι η ταχύτητα του ανέμου και κατά συνέπεια το

ενεργειακό περιεχόμενο που μπορούμε να απομαστεύσουμε αυξάνει με το ύψος εγκατάστασης του δρομέα. Απαιτείται επομένως ιδιαίτερη μελέτη του ύψους του πύργου όχι μόνο από ενεργειακής σκοπιάς, αλλά και τεχνικό – οικονομικής (δηλαδή τρόπου στήριξης του πύργου και κόστους συναρτήσει του ύψους). Για παράδειγμα στην περιοχή Αγρινίου όπου η ένταση του ανέμου είναι πολύ χαμηλή, πιθανόν σε ορισμένα σημεία να είναι οικονομικά συμφέρουσα η εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού εάν αυξηθεί το ύψος του πύργου στήριξης.

Από τη στιγμή που θα βεβαιώσουμε ότι μια περιοχή διαθέτει ικανοποιητικό αιολικό δυναμικό, είμαστε σε θέση να επιλέξουμε ανάμεσα σε ένα πλήθος ανεμοκινητήρων που κυκλοφορούν στο εμπόριο.

Ένα μέτρο σύγκρισης των διαφόρων ανεμοκινητήρων είναι ο συντελεστής ισχύος Cp. Ο συντελεστής ισχύος εξαρτάται από τον τύπο του ανεμοκινητήρα και από το λόγο της περιφερειακής ταχύτητας του ακροπερυγίου προς την ταχύτητα του ανέμου, λ. Για κάθε δρομέα υπάρχει ένα συγκεκριμένο διάγραμμα που δίνει πληροφορίες για την απόδοση του δρομέα σε διάφορες συνθήκες λειτουργίας. Ιδανικός για την Ελληνική γεωργία είναι ο ανεμοκινητήρας τύπου Savonius ο οποίος είναι σε θέση να εκμεταλλευθεί μικρές εντάσεις ανέμου όπως αυτές που πνέουν στην περιοχή Αγρινίου, δεν είναι όμως τόσο διαδεδομένος γιατί δεν έχει μπει σε ευρεία βιομηχανική παραγωγή.

Ένα άλλο μέτρο σύγκρισης είναι τα όρια μέσα στα οποία μπορούν να λειτουργήσουν οι ανεμοκινητήρες. Τα όρια αυτά προδιαγράφονται από την επιλογή του δρομέα, τον τύπο της γεννήτριας εάν χρησιμοποιείται για ηλεκτροπαραγωγή και γενικότερα τις κατασκευαστικές προδιαγραφές του όλου συστήματος. Είναι προφανές ότι ο βέλτιστος τεχνικά και οικονομικά τύπος ανεμοκινητήρα είναι αυτός που μπορεί να εκμεταλλευθεί στο μέγιστο, το εύρος ταχυτήτων ανέμου που πνέουν στην περιοχή και όχι αυτός που μπορεί να λειτουργεί στο μέγιστο εύρος ταχυτήτων ανέμου.

Με αυτόν τον τρόπο κάνουμε και την πιο οικονομική επιλογή αλλά και απομαστεύουμε τη μέγιστη ενέργεια από τον άνεμο. Η αποματευόμενη ενέργεια από τον άνεμο μπορεί να υπολογιστεί θεωρητικά, αναλύοντας τα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής με διάφορες μεθόδους μια εκ των οποίων αναφέρεται στην παρούσα εργασία.

Επειδή ο ανεμοκινητήρας παρέχει ενέργεια μόνο όταν φυσάει άνεμος, στην γεωργία χρησιμοποιείται συνήθως σαν εξοικονομητής συμβατικών μορφών ενέργειας ή σε περιπτώσεις που λειτουργεί αυτόνομα μπορεί να αποταμιεύει ενέργεια και να την παρέχει όταν υπάρχει ζήτηση. Έτσι, το κόστος της παραγόμενης ενέργειας ποικίλει ανάλογα με το είδος της εγκατάστασης, την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους. Για να κρίνουμε επομένως την οικονομική βιωσιμότητα μιας θέσης ανεμογεννήτριας, χρειαζόμαστε πληροφορίες για το μέγεθος των ταχυτήτων και τις διακυμάνσεις του ανέμου μέσα σ' ένα έτος. Κάτι άλλο που θα πρέπει να ελεγχθεί στην ανάλυση των ανεμολογικών δεδομένων είναι κατά πόσο συμπίπτουν οι ώρες ενεργειακής παραγωγής και ζήτησης. Πιθανόν οι ώρες που εμφανίζεται καλό αιολικό δυναμικό να μην συμπίπτουν με τις ώρες που έχουμε ζήτηση, οπότε η εγκατάσταση να μην είναι οικονομικά συμφέρουσα.

Σε περιπτώσεις αυτόνομων εγκαταστάσεων θα πρέπει να γίνει μελέτη της αυτονομίας του συστήματος σε περιόδους άπνοιας. Τα συστήματα που μπορούν να επιλεγούν για παροχή αυτονομίας στη μηχανική ισχύ είναι, ο σφόνδυλος και οι αντλίες συμπίεση αερίων, ενώ στην ηλεκτρική ισχύ η αποθήκευση σε συσσωρευτές, σε στοιχεία μεγάλης θερμοχωρητικότητας και η παραγωγή υδρογόνου.



Το κάθε σύστημα παρουσιάζει τις δικές του ιδιαιτερότητες, με διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Η χρήση σφονδύλων είναι από τις οικονομικότερες λύσεις. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε συστήματα όπου απαιτείται σταθερή ροπή, παρέχει όμως αυτονομία πολύ μικρής χρονικής διάρκειας. Στην υδραυλικοπνευματική αποθήκευση γίνεται συμπίεση αερίου αζώτου ή αέρα μέσω μηχανικής ή ηλεκτρικής κίνησης. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατόν να έχουμε αποθήκευση ενέργειας για σχετικό περιορισμένο χρονικό διάστημα με αποδεκτό κόστος. Η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές παρέχει μεγάλη αυτονομία σε μια εγκατάσταση αυξάνει όμως κατακόρυφα το κόστος αν ληφθεί υπόψη ότι εκτός του αρχικού κόστους αγοράς απαιτείται ηλεκτρική – ηλεκτρονική διάταξη φόρτισης και ηλεκτρική – ηλεκτρονική διάταξη μετατροπής του συνεχούς σε εναλλασσόμενο. Η θέρμανση στοιχείων μεγάλης θερμοχωρητικότητας όπως ορισμένοι τύποι κρυσταλλικών νιτρικών αλάτων και παραφίνες μεγάλου ιξώδους είναι ένας άλλος τρόπος αποθήκευσης ενέργειας. Το μεγάλο μειονέκτημα που παρουσιάζεται όμως είναι ότι το θερμικό περιεχόμενων των στοιχείων αυτών ελαττώνεται σταδιακά μέσα σε λίγες ώρες ακόμα και αν δεν χρησιμοποιηθεί. Τέλος μια άλλη μέθοδος αποθήκευσης ενέργειας που κάνει δειλά δειλά την εμφάνιση της είναι η ηλεκτρόλυση νερού για την παραγωγή υδρογόνου. Η επιλογή γίνεται με βάση τις ενεργειακές απαιτήσεις της κάθε εγκατάστασης.

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που υπάρχουν σήμερα, πέρα από το κόστος παραγωγής, είναι η έλλειψη υποδομής και γνώσης τέτοιου είδους τεχνολογιών. Η παραγωγή υδρογόνου, η αποταμίευση θερμικής ενέργειας και η αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας σε συσσωρευτές είναι μέθοδοι εφαρμόσιμοι όχι όμως στην γεωργία αφενός λόγω αυξημένου κόστους αγοράς – συντήρησης, αφού δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι ο σημαντικότερος στόχος εγκατάστασης ενός ανεμοκινητήρα είναι να μειώσει το κόστος της παραγόμενης ενέργειας, γι' αυτό η οικονομική βιωσιμότητα είναι η πρωταρχική ιδιότητα για την αποδοχή ή όχι, και αφετέρου απαιτούνται ιδιαίτερες γνώσεις εφαρμογής τέτοιων σύγχρονων μεθόδων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Παπανίκα, Δ. Γ. “Εφαρμοσμένη Ρευστομηχανική” τόμος 1 και 2, 2η έκδοση (1981), ΑΧΑΙΟΣ, Πάτρα,.
2. Κορωνάκη, Π. “Σειρά Εργαστηριακών Ασκήσεων Μηχανικής Ρευστών” (1985) Τμήμα Μηχανολογίας, ΤΕΙ Πειραιά.
3. Σιμόπουλος, Σ.Ε. “Μετρήσεις Τεχνικών Μεγεθών” (1989) Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.
4. Μπεργελές Γ. Παπαντώνης Δ. Τσαγκάρης Σ. “Τεχνικές Μετρήσεις Ρευστομηχανικών Μεγεθών” (1990) Εργαστήριο Αεροδυναμικής ΕΜΠ, Αθήνα.
5. Τσαγγάρης Σ. “Μηχανική των Ρευστών” (1991) Εκδόσεις ΕΜΠ, Αθήνα.
6. Παπαδόπουλος, Α. Κορωνάιος, Χ. Μουσιόπουλος, Ν. “Βελτιστοποίηση συστημάτων ΑΠΕ σε νησιά με δεδομένους γεωμορφολογικούς & οικονομικούς περιορισμούς” 6ο Εθνικό συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας.
7. Νομίδης, Δ. “Αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας στα νησιά του νοτίου Αιγαίου” Νοέμβριος 1999 & Δεκέμβριος 1999 Δελτίο Π.Σ.Δ.Μ..
8. Τσιλιγκιρίδης, Γ. “Το δυναμικό των εγχώριων ενεργειακών πόρων” 5ο συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας Γ’ τόμος.
9. Μπέτζιος, Γ. “Εμπειρίες από την λειτουργία των συστημάτων ΑΠΕ στην Ελλάδα” 6ο Εθνικό συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας Α’.
10. Μπέτζιος, Γ. “Δυνατότητες και προοπτικές αξιοποίησης των ΑΠΕ στα αυτόνομα δίκτυα των νησιών του Αιγαίου”, 6ο Εθνικό συνέδριο για τις ήπιες μορφές ενέργειας.
11. Πιτσίνης Ν. “Υδρογόνο, Το ενεργειακό νόμισμα του μέλλοντος”, Οκτώβριος 2001, Ενέργεια.
12. Παπαδόπουλος, Α. “Οικονομική ανάλυση ενεργειακών συστημάτων” διδακτικές σημειώσεις.
13. Βραχνού, Ε. “Υδρογόνο, το καύσιμο του μέλλοντος” Οκτώβριος 2000, Ενέργεια,.
14. Ζαχαρίου, Α. Λυμπερόπουλος Ν. “Τεχνολογία και Εφαρμογές Κυψελίδων Καυσίμου”, Ιανουάριος 2001 Δελτίο Π.Σ.Δ.Μ.-Η..
15. Παπαδάκης, Γ. Ημερίδα “Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας και Γεωργίας” Στα πλαίσια του διαπανεπιστημιακού δικτύου για τις ΑΠΕ (Renes – Unet) του Γεωπονικού Πανεπιστημίου Αθηνών.
16. Essam Sh. Mohamed, Παπαδάκης Γ. Περίληψεις εργασιών 3ου πανελληνίου συνεδρίου γεωργικής μηχανικής (29-31 Μαΐου 2003 Θεσσαλονίκη).
17. Αλεξάκης Α., “Αιολική Ενέργεια” 1993 Εκδόσεις Σιδέρη.
18. Κολιόπουλος, Δ. Ραβάνης, Κ. “Η έννοια της ενέργειας στη σκέψη των μαθητών. Ερευνητικά ευρήματα και διδακτικές επιπτώσεις” (1998) Σύγχρονη Εκπαίδευση.
19. Εφημερίδα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ΤΙΦΙΝ (Απρίλιος 2003).
20. Πρακτικά συνεδρίου “Αιολική Ενέργεια & Βιομηχανική Αεροδυναμική” Αθήνα 20 – 21 Οκτωβρίου 1980.
21. Νέρη, Α. Διδακτορική διατριβή “Ανάλυση και έλεγχος αιολικών συστημάτων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας” Φεβρουάριος 1999, Πανεπιστήμιο Πατρών (Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών)

22. Νέρης, Α. Γιαννακόπουλος, Γ. Βοβός, Ν. “Απομονωμένο αιολικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για τροφοδοσίας μονάδων αφαλάτωσης θαλασσινού νερού” (1995) Βιομηχανική Αεροδυναμική.
23. Ζερβός, Α. Τεχνικό-οικονομική ανάλυση συστημάτων ΑΠΕ, “Μονάδα ανανεώσιμων ενεργειακών πόρων” (2003) ΕΜΠ.
24. Μπεργελές, Γ. “Ανεμοκινητήρες” (1999) έκδοση Σταμούλης.
25. Καλδέλλης, Ι. “ Διαχείριση της Αιολικής Ενέργειας” (1999) Εκδόσεις Σταμούλης.
26. Γεωργαλά Χ. Αιολικές Μηχανές. Εισαγωγή στο σεμινάριο “Ενέργεια & Περιβάλλον”(1983) Διοργάνωση πανεπιστήμιο Πατρών – Ένωση Ελλήνων Φυσικών.
27. Καλδέλλης, Ι. Τσεσμελής, “Optimum Stand – Alone Wind Power System, on the Basis of Minimum Installation Cost”, παρουσιάστηκε στο Διεθνές Συνέδριο “Wind Power for the 21th Century” στη Γερμανία.
28. Η παραχώρηση των μετεωρολογικών δεδομένων για τη περιοχή Αγρινίου έγινε από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Υπουργείο Εθνικής Άμυνας, Γενικό Επιτελείο Αεροπορίας). Περίοδος μετρήσεων 1997 – 2001. Αριθμός Πρωτοκόλλου 1855/2-11-04.
29. Ρ.Α.Ε., Έκθεση για τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, “Μακροχρόνιος ενεργειακός σχεδιασμός της Ελλάδος”, (2003).
30. ΥΠΑΝ, Άρθρο 3 οδηγίας 2001/77/ΕΕ “Εθνική έκθεση για το επίπεδο διείσδυσης της ανανεώσιμης ενέργειας το έτος 2010” Επιχειρησιακό πρόγραμμα “Ανταγωνιστικότητα” 11/5/2001.
31. ΥΠΕΧΩΔΕ, Έκθεση “Κλιματική Αλλαγή” Εθνικό πρόγραμμα μείωσης εκπομπών αερίων φαινομένου θερμοκηπίου (2000 – 2010), Μάρτιος 2002.
32. Εφημερίδα Της Κυβερνήσεως, τεύχη των ετών 1994,1999.
33. “Riso National Laboratory, Denmark – Wind Energy and Atmospheric Physics Department”
34. Godfrey Boyle (Ed) “Renewable Energy: Power for a sustainable future”
35. “Energy Efficiency and Renewable Energy Network (EREN) – US Department of Energy”
36. National Renewable Energy Laboratory, “Advanced Hydrogen Production Technologies” August 1995 Department of Energy USA.
37. Wind Energy Conversion Systems, L.L Freris, Prentice Hall 1990
38. European Wind Atlas, Commission of the European Communities 1989, Ib Troen and Eric Lundtang Petersen, Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark.
39. Renewable Energy – Power for sustainable Future – Edited by Godfrey Boyle - Oxford University Press – 1996.
40. New Renewable Energy Resources - World Energy Council – Kogan Page – 1994.
41. Renewable Energy – Sources for fuels and electricity – edited by Thomas B. Johansson, Henry Kelly, Amulya K.N. Reddy, Robert H. Williams - Island press - 1993.
42. Craig, C. Johnson, Richard T.Smith, “Dynamics of wind generators on electric utility networks”. IEEE Trans on aerospace and Electronic Systems
43. Boweden, G.J. Barker, P.R. Shestopal, V.O. and Twidell, J.W. “The Weibul distribution function and wind statistics” 1985 – 1998 Wind Engineering 7.
44. Ιστοσελίδες του διαδικτύου:  
<http://www.worldweb.com>  
<http://www.telosnet.com/wind>  
<http://www.eia.doe.gov>  
<http://www.cogreenpower.org>  
<http://www.nefl.org>  
<http://www.doe.gov>  
<http://www.eia.doe.gov/kids/guidelinesindex.html>

<http://www.eren.doe.gov/solarnow>  
<http://www.awea.org>  
<http://www.nrel.gov>  
<http://www.nsta.org>  
<http://www.energy.ca.gov/education>  
<http://www.state.co.us/oemc>  
<http://gem.crest.org>  
<http://www.leeric.lsu.edu/network/network.htm>  
<http://www.ece.gatech.edu/research/ucep>  
<http://www.windpower.dk>  
<http://www.cres.gr>  
<http://www.rae.gr>  
<http://www.windatlas.dk>  
<http://www.vestas.com>  
<http://www.windrose.com>  
<http://www.spitia.gr/enercon>  
<http://www.windenergylab.gr>  
<http://www.teipir.gr>  
<http://www.sealab.gr>  
<http://www.cube-engineering.com>  
<http://www.frisa.com>  
<http://www.eolica.net>  
<http://www.ropatec.com>  
<http://www.boschrexroth.com/wind-gears>  
<http://www.olsendeal.com>  
<http://www.panwels.com>  
<http://www.pls.sk>  
<http://www.kgw-schwering.com>  
<http://www.cowi.dk>  
<http://www.collett.co.uk>  
<http://www.trojanbattery.com>  
<http://www.gewindenergy.com>  
<http://www.ewea.org>  
<http://www.auswea.org>  
<http://www.gepower.com>  
<http://www.ase.org>  
<http://www.caddet-re.org>  
<http://www.epri.com>  
<http://www.irecusa.org>  
<http://www.nesea.org>  
<http://www.ttcorp.com/upvg>  
<http://www.greenpeace.com>  
<http://www.KAΠE.gr>  
<http://www.akf.dk/eng/wind2.htm>  
<http://www.ypan.gr>  
<http://www.aeroman.com>  
<http://www.ntua.gr>  
<http://www.sunlight.gr>  
<http://www.teiher.gr>  
<http://www.teipat.gr>  
<http://www.suzlon.com>  
<http://www.naturalpower.com>  
<http://www.ul.com>  
<http://www.pch-engineering.dk>  
<http://www.hellerson.com>  
<http://www.shield.com>  
<http://www.wilmers.com>  
<http://www.dupont.com>  
<http://www.promausrl.com>  
<http://www.aerodyy.com>  
<http://www.eupec.com>  
<http://www.semikron.com>  
<http://www.estec2003.org>  
<http://www.husum-wind.de>

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΑΓΡΙΝΙΟΥ 2001.

	1	2	3	4	ΜΗΝΕΣ					7	8	9	10	11	12	ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΙΜΗ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
					5	6											
Μέση ταχύτητα ανέμου (σε ύψος 10μ.)	1.0	1.0	2.6	2.5	2.9	2.0	2.5	1.6	1.9	2.2	1.9	0.9					1.9
Ένταση τύρβης (στα 2m/s)	40.8	32.0	34.3	33.0	43.8	56.0	45.6	47.4	38.7	52.5	28.5	26.3					
Μέγιστη ταχύτητα ανέμου (μέση τιμή στα 360 λεπτά)	7.0	8.0	9.0	9.0	12.0	6.0	7.5	7.0	6.5	11.0	10.0	9.0				12.0 / "5"	
Μέγιστη ρυθμική ανέμου (στιγμιαία τιμή)	9.0	10.0	11.0	11.0	16.0	7.5	10.0	12.5	10.0	18.0	13.0	11.0				18.0 / "10"	
Αβεβαιότητα μέτ ριθμικής ταχύτητας	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3					
Μέση ισχύς ανέμου	11.5	11.1	39.2	34.6	54.2	19.5	24.2	17.1	18.5	38.3	42.5	17.3					27.3
Συνολική ενέργεια ανέμου	8.6	7.4	29.2	24.9	40.3	14.0	18.0	12.7	13.3	28.5	30.6	12.9					20.0
Κατανομή δεδομένων ανά διεύθυνση και ταχύτητ ανέμου																	ΣΥΝΟΛΟ
0-1m/s	87	80	40	41	37	50	33	66	51	51	69	96					701
1-2m/s	6	4	7	10	4	6	12	11	8	10	9	4					91
2-3m/s	8	7	17	16	15	13	11	9	12	10	4	3					125
3-4m/s	6	11	18	11	16	16	31	12	20	21	5	6					173
4-5m/s	10	5	16	18	19	24	20	14	16	13	10	6					171
5-6m/s	1	1	9	13	23	7	12	7	10	5	9	2					99
6-7m/s	5	2	10	6	4	4	4	4	3	9	4	3					58
7-8m/s	1	1	3	3	1		1	1		2	3	2					18
8-9m/s		1	3		1						3						8
9-10m/s			1	2	1						3	2					9
10-11m/s										2	1						3
11-12m/s					2					1							3
12-13m/s					1												1
13-14m/s																	
14m/s																	
ΣΥΝΟΛΟ	124	112	124	120	124	120	124	124	120	124	120	124	124	120	124		1460

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### ΑΡΜΟΔΙΟΙ ΦΟΡΕΙΣ

#### Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας.

Η Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.) συστήθηκε με το νόμο 2773/99, είναι ανεξάρτητη διοικητική αρχή και έχει κυρίως γνωμοδοτικό και εισηγητικό χαρακτήρα στον τομέα της ενέργειας. Δημιουργήθηκε στα πλαίσια της εναρμόνισης με την Κοινοτική Οδηγία 96/92 και συνδυάζεται με την πολιτική του εκσυγχρονισμού των ενεργειακών αγορών στην Ελλάδα.

Σκοπός της Ρ.Α.Ε. είναι να διευκολύνει τον ελεύθερο και υγιή ανταγωνισμό στην ενεργειακή αγορά με σκοπό να εξυπηρετηθεί καλύτερα και οικονομικότερα ο καταναλωτής, αλλά και να επιζήσουν βρίσκοντας νέες ευκαιρίες ακόμα και οι μικρό επενδυτές. Παρακολουθεί και θα εισηγείται για τις τιμές, τη λειτουργία της αγοράς και τις αδειοδοτήσεις.

#### Κ.Α.Π.Ε. Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας.

Το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Κ.Α.Π.Ε.) ιδρύθηκε το 1987 και έχει ως στόχο την προώθηση των Α.Π.Ε. και την έρευνα συστημάτων εκμετάλλευσής τους. Όσον αφορά την αιολική ενέργεια το Κ.Α.Π.Ε. έχει βάλει ως στόχο αφενός την επίλυση των τεχνικών και θεσμικών προβλημάτων, αφετέρου την ανάπτυξη, πιστοποίηση και δημοσίευση κατασκευαστικών προδιαγραφών για ανεμοκινητήρες.

Ειδικότερα όσον αφορά το θεσμικό πλαίσιο, δημιουργεί ειδικές επιτροπές αναμόρφωσης και προώθησης των Α.Π.Ε. ορισμένες από τις οποίες συνίσταται σε:

- Απλούστευση των γραφειοκρατικών διαδικασιών εγκατάστασης ανεμοκινητήρων.
- Απελευθέρωση της παραγωγής σε φυσικά και νομικά πρόσωπα ανεξάρτητου μεγέθους εγκαταστάσεων και είδους καθώς και επέκταση του όρου αυτοπαραγωγός.
- Ουσιαστική βελτίωση των τιμολογίων αγοράς ενέργειας από τη Δ.Ε.Η. ώστε να συμπεριλαμβάνουν τα περιβαλλοντικά οφέλη.

Το Κ.Α.Π.Ε. προωθεί επίσης ενεργά και συμμετέχει σε έργα επίδειξης που χρηματοδοτούνται από την Ε.Ε. και τα οποία στόχο έχουν την διάδοση της αιολικής ενέργειας.

#### Αδειοδοτική διαδικασία επενδύσεων Α.Π.Ε.

Όπως μπορεί να διαπιστώσει κανείς, με μία απλή ανάγνωση μιας οποιασδήποτε ιδιωτικής άδειας εγκατάστασης σταθμού Α.Π.Ε., για εγκατεστημένη ισχύ άνω των 20KW, για την έκδοσή της έχουν συγκατανεύσει με έγγραφά τους:

- Η Δ/ση ΕΑΡΘ του ΥΠΕΧΩΔΕ
- Η ΝΕΧΩΠ του Υπ. Γεωργίας
- Ο Γ' κλάδος ΓΕΕΘΑ

- Η Δ/νση ΠΕΧΩ (Τμήμα Χωροταξίας και Πολεοδομικού Σχεδιασμού)
- Η Δ/νση Τεχν. Υπηρεσιών της Νομαρχίας
- Η Δ/νση Δασών της Νομαρχίας και το τοπικό Δασαρχείο
- Η Εφορεία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων
- Το Γραφείο Περιβάλλοντος του Τμήματος Πολεοδομίας της αρμόδιας Νομαρχίας
- Η Δ/νση Στρατηγικής της ΔΕΗ
- Η Πολεοδομία της Νομαρχίας
- Ο ΟΤΕ
- Η ΔΕΔ της ΔΕΗ, καθώς και οι ΔΜΣ, ΔΜΚΛΔ, ΔΕΜ και ΔΜΚΜ
- Η Δ/νση Βιομηχανίας και Συγκοινωνιών της Νομαρχίας
- Το ΚΑΠΕ
- Η Εφορεία Κλασσικών Αρχαιοτήτων
- Η Πυροσβεστική Υπηρεσία

Και μόνο από την παραπάνω απαρίθμηση, γίνεται αμέσως κατανοητό το βασικό πρόβλημα του υφιστάμενου πλαισίου αδειοδότησης έργων Α.Π.Ε., που είναι βέβαια οι εξαιρετικά χρονοβόρες και δαιδαλώδεις διαδικασίες, διάρκειας ετών στις περισσότερες περιπτώσεις.

#### **Α.Π.Ε. – Ευρωπαϊκή Ένωση.**

Η ανάπτυξη των Α.Π.Ε. αποτελεί βασική προτεραιότητα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Ε.Ε.), για λόγους ανεξαρτησίας ενεργειακού εφοδιασμού και προστασίας του περιβάλλοντος, αλλά και κοινωνικής και οικονομικής συνοχής. Αυτό έχει εκφραστεί και με την πρόσφατη "Οδηγία 2001/ 77" του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου, καθώς και με τις δεσμεύσεις της Ε.Ε. στο "Πρωτόκολλο του Κυότο" για το περιβάλλον . Τα κύρια σημεία της "Οδηγίας" είναι τα ακόλουθα:

α) Ζητά από τα κράτη - μέλη να ορίσουν συγκεκριμένους στόχους για το ποσοστό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης, που θα προέρχεται από Α.Π.Ε. κατά το έτος 2010. Τα ποσοστά αυτά πρέπει να είναι σύμφωνα με τον συνολικό στόχο που θέτει η Ε.Ε., δηλαδή 12% της συνολικής και 22.1 % της ηλεκτρικής. Ορίζει επίσης ενδεικτικούς για κάθε κράτος - μέλος στόχους, όσον αφορά το ποσοστό της ηλεκτρικής κατανάλωσης. Για την Ελλάδα ανέρχεται σε 20,1%.

β) Ορίζει ότι τα κράτη - μέλη μπορούν στην παρούσα φάση να καθορίζουν τα μέτρα υποστήριξης των Α.Π.Ε. για την επίτευξη του τιθέμενου στόχου (ένας από τους στόχους είναι η ενσωμάτωση των Α.Π.Ε. στη γεωργία), τα οποία θα πρέπει να είναι σύμφωνα με τις αρχές της εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, να λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά των διαφόρων τεχνολογιών, να είναι απλά και αποτελεσματικά και να προβλέπουν ρυθμίσεις ώστε να διατηρείται η εμπιστοσύνη των επενδυτών.

γ) Ορίζει ότι τα κράτη - μέλη θα πρέπει να επανεξετάσουν τις ισχύουσες διαδικασίες αδειοδοτήσεων και τις διοικητικές ρυθμίσεις ώστε να εξασφαλίζεται η διαφάνεια και να διευκολύνεται η ανάπτυξη των Α.Π.Ε. ακόμα και όταν αυτές είναι μικρής ισχύος για ιδιωτική χρήση.

Σημειώνεται τέλος ότι η οδηγία ορίζει χρονικά διαστήματα εντός των οποίων τα κράτη - μέλη πρέπει να αναφέρουν τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των οριζόμενων.

Τα μέτρα στήριξης των Α.Π.Ε. που έχουν χρησιμοποιηθεί από τα κράτη μέλη περιλαμβάνουν επιδότηση των επενδύσεων ή φοροαπαλλαγές, αλλά η κύρια



ενίσχυση προέρχεται από την άμεση στήριξη της τιμής της ενέργειας που καταβάλλεται στους παραγωγούς Α.Π.Ε.

Αναπτυξιακά προγράμματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την εξοικονόμηση και παραγωγή ενέργειας φιλική προς το περιβάλλον είναι τα προγράμματα LEADER και ALTENER από τα οποία μπορεί να επιδοτηθεί μεγάλο ποσοστό της κατασκευαστικής επένδυσης αλλά να και δοθούν οδηγίες και συμβουλές στους ενδιαφερόμενους.

## **ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ**

### **Δυνατότητα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.**

Η κατασκευή εγκαταστάσεων παραγωγής ενέργειας και η παραγωγή ενέργειας επιτρέπεται σε όσους έχουν αποκτήσει τη σχετική άδεια παραγωγής ή έχουν νομίμως εξαιρεθεί από τη διαδικασία αδειοδότησης.

Η άδεια παραγωγής χορηγείται από τον υπουργό ανάπτυξης, ύστερα από γνώμη της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε.), σύμφωνα με τους νόμους και τις προϋποθέσεις που προβλέπονται από τον σχετικό νόμο (2773/99) και τον κανονισμό αδειών.

Από τη λήψη άδειας παραγωγής εξαιρούνται:

1. Σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής ισχύος μέχρι 20 KW.
2. Εφεδρικοί σταθμοί ισχύος μέχρι 150 KW.
3. Σταθμοί ισχύος μέχρι 2 MW που εγκαθίστανται από εκπαιδευτικούς ή ερευνητικούς φορείς με σκοπούς αποκλειστικά εκπαιδευτικούς ή πειραματικούς.
4. Σταθμοί που εγκαθίστανται από το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας για λόγους πιστοποίησης ή μετρήσεων και για όσο χρονικό διάστημα διεξάγονται μετρήσεις ή διενεργείται πιστοποίηση.

### **Παρουσίαση του Νόμου 2244/94.**

Παρακάτω παρουσιάζονται και αναλύονται οι βασικές διατάξεις του νόμου 2244/94 που αναφέρονται στην διάθεση της αιολικής ενέργειας. Η υπουργική απόφαση με αριθμό Δ6Φ1/οι.8295/19.4.95 του υπουργείου Β.Ε.Τ. (νυν Υπουργείο Ανάπτυξης) εξειδικεύει και καθορίζει τις διαδικασίες και τα δικαιολογητικά που απαιτούνται για την έκδοση αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών παραγωγής ενέργειας καθώς και τους γενικούς τεχνικούς και οικονομικούς όρους των συμβάσεων.

Θεσμικά πλαίσια:

1) Δικαίωμα ηλεκτροπαραγωγής έχουν:

- Η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού
- Θυγατρικές επιχειρήσεις που μπορεί να συστήνει η Δ.Ε.Η. με οποιαδήποτε νομική μορφή ή και σε συνεργασία με άλλα νομικά ή φυσικά πρόσωπα
- Οι Οργανισμοί Τοπικής Αυτοδιοίκησης (Ο.Τ.Α.) και οι επιχειρήσεις τους.
- Οποιοδήποτε νομικό ή φυσικό πρόσωπο.

2) Ο ν.2244/94 αναγνωρίζει δύο μορφές παραγωγού ενέργειας από Α.Π.Ε.

Αυτοπαραγωγός ενέργειας θεωρείται εκείνος που παράγει ενέργεια για την

κάλυψη δικών του αναγκών. Σε περιπτώσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας διακρίνεται σε «Συνδεδεμένο» ή «Αυτόνομο», ανάλογα με το αν ο σταθμός του είναι συνδεδεμένος ή όχι με το δίκτυο της Δ.Ε.Η.. Ο συνδεδεμένος αυτοπαραγωγός δικαιούται (και υποχρεούται) να πουλά τυχόν πλεόνασμα της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στη Δ.Ε.Η. και μόνο.

Ανεξάρτητος παραγωγός ενέργειας θεωρείται εκείνος που παράγει ενέργεια με αποκλειστικό σκοπό την πώληση της στην Δ.Ε.Η..

3) Η Δ.Ε.Η. διατηρεί το μονοπώλιο της μεταφοράς, διανομής και πώλησης της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται στη χώρα.

4) Η Δ.Ε.Η. έχει την υποχρέωση να αγοράζει την ενέργεια που παράγεται από ανεξάρτητους παραγωγούς και αυτοπαραγωγούς εκτός και αν οι τοπικές συνθήκες δεν της επιτρέπουν να την διαθέσει στην κατανάλωση.

Συγκεκριμένα η Δ.Ε.Η. θα αγοράζει την παραγόμενη ενέργεια εφόσον:

1) Η ζήτηση ισχύος επιτρέπει την διάθεση της παραγόμενης ισχύος, όταν οι μονάδες παραγωγής της Δ.Ε.Η. λειτουργούν με ισχύ ανώτερη ή ίση με το ελάχιστο επιτρεπόμενο τεχνικό όρο τους.

2) Οι εγκαταστάσεις της Δ.Ε.Η. λειτουργούν ομαλά, χωρίς να υφίσταται κατάσταση εκτάκτου ανάγκης λόγω βλάβης ή τεχνικής ανωμαλίας, η άρση της οποίας επιβάλλει την προσωρινή διακοπή της σύνδεσης με τον σταθμό του ανεξάρτητου παραγωγού ή αυτοπαραγωγού.

Η ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας απελευθερώθηκε από τις 19/02/2001, οπότε, υφίσταται πλέον το δικαίωμα ελεύθερης διαπραγμάτευσης και σύναψης σύμβασης προμήθειας ηλεκτρικής ενέργειας από ιδιώτες παραγωγούς. Αυτό σημαίνει ότι ο υποψήφιος επενδυτής έχει ένα ακόμα κίνητρο να στραφεί προς τις ανανεώσιμες μορφές ενέργειας, αφού πέρα από την κάλυψη των δικών του αναγκών μπορεί να πουλήσει την περίσσεια ενέργειας στη Δ.Ε.Η. σε τιμή που φθάνει και το 90% της τιμής πώλησης ενέργειας από τη Δ.Ε.Η. προς τους καταναλωτές.



# ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

## ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟ

Αρ. Φύλλου 168

7 Οκτωβρίου 1994

ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 2244

*Ρύθμισης θεμάτων ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις.*

**Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ**  
**ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ**  
Εκδίδομε τον ακόλουθο νόμο που ψήφισε η Βουλή:

### **Άρθρο 1** **Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας**

2. Κατά την έννοια του νόμου αυτού:

α) αυτοπαραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται εκείνος που παράγει ηλεκτρική ενέργεια για την κάλυψη των δικών του αναγκών. Διακρίνεται σε συνδεδεμένο ή αυτόνομο, ανάλογα εάν ο σταθμός του είναι συνδεδεμένος ή όχι με το δίκτυο της Δ.Ε.Η.

β) ανεξάρτητος παραγωγός ηλεκτρικής ενέργειας θεωρείται εκείνος που παράγει ηλεκτρική ενέργεια και τη διαθέτει αποκλειστικό στη Δ.Ε.Η..

3. Η αυτοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέπεται:

- α) από αυτόνομους σταθμούς,
- β) από συνδεδεμένους σταθμούς που ανήκουν σε αυτοπαραγωγούς και
- γ) από συμπαραγωγή, όπως ορίζεται στις παραγράφους 7 και 8 του παρόντος.

4. Η αυτοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αυτόνομους σταθμούς επιτρέπεται:

- α) με την εκμετάλλευση αιολικής ή ηλιακής ενέργειας ή βιομάζας,
- β) με την εκμετάλλευση γεωθερμικής ενέργειας, εφόσον το δικαίωμα εκμετάλλευσης του σχετικού γεωθερμικού δυναμικού έχει παραχωρηθεί στον ενδιαφερόμενο, σύμφωνα με τις ισχύουσες κάθε φορά διατάξεις.

5. Επιτρέπεται, επίσης, η αυτοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αυτόνομους σταθμούς που λειτουργούν με συμβατικά καύσιμα:

- γ) Σε κατόχους αυτόνομων σταθμών που λειτουργούν με αιολική ή ηλιακή ενέργεια ή βιομάζα ή γεωθερμία ή υδραυλική ενέργεια ή

ενέργεια από τη θάλασσα, αν ο σταθμός είναι εφεδρικός και η ισχύς του δεν υπερβαίνει την ισχύ του κύριου σταθμού.

6. Η αυτοπαραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από συνδεδεμένους σταθμούς, καθώς και από σταθμούς των παραγράφων 7, 8 και 9 του παρόντος, επιτρέπεται, εφόσον τηρούνται οι τεχνικές προδιαγραφές σύνδεσης με τα δίκτυα της Δ.Ε.Η. και λειτουργούν με εκμετάλλευση αιολικής ή ηλιακής ενέργειας ή βιομάζας ή ενέργειας από τη θάλασσα ή γεωθερμική ενέργεια ή του υδάτινου δυναμικού, υπό τις προϋποθέσεις των περιπτώσεων β και δ της παραγράφου 9 και με συμπαραγωγή σύμφωνα με τις παραγράφους 7 και 8 του παρόντος.

11. Επιτρέπεται η εγκατάσταση εφεδρικών σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με σκοπό τη λειτουργία τους μόνο σε περίπτωση διακοπής της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας από τη Δ.Ε.Η., λόγω βλάβης ή αδυναμίας των εγκαταστάσεων της. Για τη λειτουργία των σταθμών αυτών απαιτείται η σύναψη συμφωνίας με τη Δ.Ε.Η..

### **Άρθρο 2** **Διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας**

1. Απαγορεύεται στους αυτοπαραγωγούς και ανεξάρτητους παραγωγούς να διαθέτουν σε τρίτους ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τους σταθμούς τους.

2. Το πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας του αυτοπαραγωγού και η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από τους ανεξάρτητους παραγωγούς, διατίθενται αποκλειστικά στη Δ.Ε.Η.. σύμφωνα με τους όρους σχετικής σύμβασης που συνάπτεται μεταξύ τους. Η Δ.Ε.Η. έχει την υποχρέωση να αγοράζει την ηλεκτρική ενέργεια. Η υποχρέωση αυτή δεν υφίσταται για τη Δ.Ε.Η. στην περίπτωση μόνο που υπάρχει πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας από αυτοπαραγωγό, εφόσον με αιτιολογημένη απόφαση διαπιστώνεται ότι οι τοπικές συνθήκες δεν επιτρέπουν τη διάθεσή της στην κατανάλωση. Η σύμβαση μεταξύ του ανεξάρτητου παραγωγού και της Δ.Ε.Η. θα είναι

δεκαετούς διάρκειας με δυνατότητα ανανέωσης με νέα σύμβαση.

4. Ειδικά, ως προς τους αυτοπαραγωγούς, οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής τους εγκαθίστανται και λειτουργούν σε γήπεδο ή σε χώρο, του οποίου έχουν την αποκλειστική χρήση, δυνάμει εμπραγμάτου δικαιώματος ή ενοχικής σχέσης.

5. Στις περιπτώσεις σταθμών αυτοπαραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, το γήπεδο ή ο χώρος, όπου είναι εγκατεστημένος ο σταθμός, δεν είναι απαραίτητο να είναι όμορο με το γήπεδο όπου γίνεται η κατανάλωση. Εφόσον η παραγωγή και η κατανάλωση πραγματοποιούνται στο ίδιο σύστημα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, το 80% της παραγόμενης από τον αυτοπαραγωγό ηλεκτρικής ενέργειας συμψηφίζεται με την ηλεκτρική ενέργεια που αυτός καταναλώνει στις εγκαταστάσεις του. Ο συμψηφισμός της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας από μονάδες αυτοπαραγωγής των οργανισμών τοπικής αυτοδιοίκησης, των επιχειρήσεων τους και των αγροτικών συνεταιρισμών εφαρμόζεται στο 90% της παραγωγής ηλεκτρισμού σε μια ή περισσότερες καταναλώσεις τους.

Ο συμψηφισμός διενεργείται για την περίοδο που η Δ.Ε.Η. ορίζει κάθε φορά για την μέτρηση της κατανάλωσης του αυτοπαραγωγού και χωριστά για κάθε περίοδο που έχει διαφορετικό τιμολόγιο κατανάλωσης. Το τυχόν πλεόνασμα ηλεκτρισμού πιστώνεται στον αυτοπαραγωγό με το τιμολόγιο πώλησης ενέργειας προς τη Δ.Ε.Η. της παραγράφου 3 του παρόντος, ενώ το έλλειμμα χρεώνεται στον παραγωγό σύμφωνα με το εκάστοτε τιμολόγιο κατανάλωσης. Ο υπολογισμός της τυχόν επιβαρύνσεως άεργο ισχύος γίνεται χωριστά για την παραγόμενη και την καταναλισκόμενη ενέργεια.

Το δίκτυο σύνδεσης του σταθμού αυτοπαραγωγής ή ανεξάρτητης παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές μέχρι το δίκτυο της Δ.Ε.Η., κατασκευάζεται από τη Δ.Ε.Η. με δαπάνες του αυτοπαραγωγού ή του ανεξάρτητου παραγωγού σε χρονικό διάστημα όχι μεγαλύτερο των έξι (6) μηνών από την υποβολή σχετικής αίτησης του αυτοπαραγωγού ή του ανεξάρτητου παραγωγού. Σε περίπτωση αδυναμίας της Δ.Ε.Η., το δίκτυο σύνδεσης κατασκευάζεται από τον αυτοπαραγωγό ή τον ανεξάρτητο παραγωγό με τήρηση των προδιαγραφών της Δ.Ε.Η.

### **Άρθρο 3**

#### **Άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας**

1. Για την εγκατάσταση ή επέκταση σταθμού ηλεκτροπαραγωγής απαιτείται άδεια που χορηγείται με απόφαση του Υπουργείου Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, ύστερα από αίτηση του ενδιαφερόμενου.

3. Άδεια εγκατάστασης, δεν απαιτείται για:

α) σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ισχύος μέχρι 20 KW,

β) εφεδρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ισχύος μέχρι 150 KW,

γ) εφεδρικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής ισχύος μέχρι 400 KW, που εγκαθίστανται σε βιομηχανίες και βιοτεχνίες,

δ) πειραματικούς ή ερευνητικούς σταθμούς που εγκαθίστανται από εκπαιδευτικούς φορείς και για όσο χρονικό διάστημα διεξάγεται η έρευνα ή το πείραμα. Επίσης, για σταθμούς που εγκαθίστανται από το Κ.Α.Π.Ε. για λόγους πιστοποίησης ή μετρήσεων και για όσο χρονικό διάστημα διεξάγονται οι μετρήσεις ή η πιστοποίηση.

5. Για λειτουργία σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, για τους οποίους χορηγείται άδεια εγκατάστασης, απαιτείται και άδεια λειτουργίας.

Η άδεια αυτή χορηγείται με απόφαση του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, ύστερα από αίτηση του ενδιαφερόμενου και έλεγχο από τις αρμόδιες υπηρεσίες του Υπουργείου Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας, για την τήρηση των όρων εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής.

### **Άρθρο 4**

#### **Κυρώσεις**

1. Σε περίπτωση εγκατάστασης ή λειτουργίας σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, χωρίς προηγούμενη άδεια του Υπουργείου Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας ή παράβαση των όρων και περιορισμών της άδειας εγκατάστασης ή λειτουργίας, μπορεί να διακοπεί προσωρινά ή οριστικά η λειτουργία ή να επιβληθεί πρόστιμο από ένα εκατομμύριο (1.000.000) μέχρι πέντε εκατομμύρια (5.000.000) δραχμές ή και οι δύο κυρώσεις σωρευτικά.

### **Άρθρο 5**

#### **Γενικές διατάξεις**

3. Απαγορεύεται η εγκατάσταση δικτύων μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας πάνω ή κάτω από δημόσιους δρόμους, πλατείες, πεζοδρόμια ή άλλους κοινόχρηστους δημόσιους χώρους ή κατά μήκος αυτών. Στην απαγόρευση αυτή δεν περιλαμβάνονται τα δίκτυα της Δ.Ε.Η., τα δίκτυα φωτισμού οδών και πλατειών και τα δίκτυα που απαιτούνται που απαιτούνται για την κίνηση των ηλεκτροκίνητων μέσων μαζικής μεταφοράς.

### **Άρθρο 10**

### **Καταργούμενες διατάξεις**

Από την έναρξη ισχύος του παρόντος νόμου καταργούνται:

- α) ο ν. 2165/1993 (ΦΕΚ 127 Α)
- β) ο ν. 1559/1985 (ΦΕΚ 135 Α), εκτός από το άρθρο 19
- γ) κάθε διάταξη που αντίκειται στις διατάξεις του παρόντος νόμου.

### **Άρθρο 11**

Η ισχύς του παρόντος νόμου αρχίζει από τη δημοσίευση του στην Εφημερίδα της Κυβερνήσεως, εκτός αν ορίζεται διαφορετικά στις επιμέρους διατάξεις

Αθήνα, 6 Οκτωβρίου 1994

Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΤΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Γ. ΚΑΡΑΜΑΝΛΗΣ**

ΟΙ ΥΠΟΥΡΓΟΙ

ΠΡΟΕΔΡΙΑΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΗΣ

**Α. ΠΕΠΟΝΗΣ**

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ  
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

**Κ. ΣΗΜΙΤΗΣ**

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

**Α. ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΣ**

ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

**Α. ΤΣΟΥΡΑΣ**



# ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

## ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟ

Αρ. Φύλλου 286

22 Δεκεμβρίου 1999

ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 2773

*Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας – Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις.*

**Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ**  
**ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ**  
Εκδίδομε τον ακόλουθο νόμο που ψήφισε η Βουλή:

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α΄

#### ΓΕΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

#### Άρθρο 2

##### Ορισμοί

Αυτοπαραγωγός, είναι ο παραγωγός που, ο οποίος παράγει ηλεκτρική ενέργεια κυρίως για δική του χρήση.

Παραγωγός από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας, είναι ο παραγωγός, ο οποίος παράγει ηλεκτρική ενέργεια από Ανανεώσιμες Μορφές Ενέργειας (Α.Π.Ε.).

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ Γ΄

#### ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### Άρθρο 9

##### Άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας

1. Η κατασκευή εγκαταστάσεων παραγωγής και η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτρέπεται σε όσους χορηγηθεί άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή έχουν νομίμως εξαιρεθεί από την υποχρέωση αυτήν.

2. Η άδεια παραγωγής χορηγείται από τον Υπουργό Ανάπτυξης, ύστερα από γνώμη της Ρ.Α.Ε. σύμφωνα με τους όρους και τις προϋποθέσεις που προβλέπονται στο νόμο αυτόν και στον Κανονισμό Αδειών.

3. Η άδεια πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον τα εξής στοιχεία:

α. Το πρόσωπο στο οποίο χορηγείται το δικαίωμα.

β. Το σταθμό ηλεκτροπαραγωγής για τον οποίο χορηγείται η άδεια, τον τόπο εγκατάστασης του, το δυναμικό παραγωγής και τη χρησιμοποιούμενη καύσιμη ύλη

4. Η άδεια επιτρέπεται να επεκτείνεται, αν αυξηθεί το δυναμικό της παραγωγής ή να τροποποιηθεί αν αλλάζουν τα υπόλοιπα στοιχεία της.

5. Η χορήγηση άδειας παραγωγής δεν απαλλάσσει τον κάτοχο της από την υποχρέωση να λαμβάνει άλλες άδειες ή εγκρίσεις που προβλέπονται από την ισχύουσα νομοθεσία, όπως οι άδειες εγκατάστασης και λειτουργίας.

Αθήνα, 21 Δεκεμβρίου 1999

Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΤΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΠΟΥΛΟΣ**

ΟΙ ΥΠΟΥΡΓΟΙ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΑΣ ΕΘΝΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ  
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΣΗΣ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ

**Β. ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ**

**Γ. ΠΑΠΑΝΤΩΝΙΟΥ**

ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ  
ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

**Ε. ΒΕΝΙΖΕΛΟΣ**

**Κ. ΛΑΛΙΩΤΗΣ**

ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΑΙΟΣΥΝΗΣ  
ΑΣΦΑΛΙΣΕΩΝ

**Μ. ΠΑΠΑΪΩΑΝΝΟΥ**

**Ε. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ**

ΜΕΤΑΦΟΡΩΝ ΚΑΙ  
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

**Τ. ΜΑΝΤΕΛΗΣ**



# ΕΦΗΜΕΡΙΣ ΤΗΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ

## ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

ΤΕΥΧΟΣ ΠΡΩΤΟ

Αρ. Φύλλου 168

7 Οκτωβρίου 1994

ΝΟΜΟΣ ΥΠ' ΑΡΙΘ. 2941

*Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιριών, αδειοδότησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμισης θεμάτων της Α.Ε. «ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙ» ΚΑΙ άλλες διατάξεις.*

Αθήνα, 12 Σεπτεμβρίου 2001

Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ ΤΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ

**ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΣΤΕΦΑΝΟΠΟΥΛΟΣ**

**Ο ΠΡΟΕΔΡΟΣ**

**ΤΗΣ ΕΛΛΗΝΙΚΗΣ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑΣ**

Εκδίδομε τον ακόλουθο νόμο που ψήφισε η Βουλή:

ΟΙ ΥΠΟΥΡΓΟΙ

ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΔΗΜΟΣΙΑΣ  
ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΕΝΤΡΩΣΗΣ

ΕΘΝΙΚΗΣ ΑΜΥΝΑΣ

**Β. ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ**

**Α. ΤΣΟΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ**

ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ  
ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

**Ν. ΧΡΙΣΤΟΔΟΥΛΑΚΗΣ**

**Κ. ΛΑΛΙΩΤΗΣ**

ΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΩΝ  
ΑΣΦΑΛΙΣΕΩΝ

ΔΙΚΑΙΟΣΥΝΗΣ

**Τ. ΓΙΑΝΝΙΤΣΗΣ**

**Μ. ΣΤΑΘΟΠΟΥΛΟΣ**

ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ

**ΧΡ. ΠΑΠΟΥΤΣΗΣ**

**ΜΕΡΟΣ Α΄**

**Απλοποίηση διαδικασίας για σύσταση  
ανωνύμων εταιριών**

**Άρθρο 2**

**Απλοποίηση διαδικασιών για τις Ανανεώσιμες  
Πηγές Ενέργειας**

7. Μετά το δεύτερο εδάφιο της παρ. 4 του άρθρου 3 του Ν. 2244/1994 προστίθενται εδάφια ως εξής:

Για την εγκατάσταση ηλιακών σταθμών και ανεμογεννητριών δεν απαιτείται η έκδοση οικοδομικής άδειας, αλλά θεώρηση, που χορηγείται από την αρμόδια πολεοδομική υπηρεσία, ύστερα από αίτηση του ενδιαφερόμενου, συνοδευόμενη από υπεύθυνες δηλώσεις αναθέσεων και αναλήψεων μελετών και επιβλέψεων του έργου, τοπογραφικό διάγραμμα με σαφές οδοιπορικό, διάγραμμα κάλυψης, σχέδια, προϋπολογισμό του έργου, αποδεικτικά πληρωμής φόρων και αποδεικτικά εισφορών και αμοιβών μηχανικών.

Δεν απαλλάσσονται από την υποχρέωση έκδοσης οικοδομικής άδειας οι δομικές κατασκευές, όπως τα θεμέλια των πύργων ανεμογεννητριών, τα οικήματα στέγασης του εξοπλισμού. Σε κάθε περίπτωση τα έργα ηλεκτροπαραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας υπάγονται στις περί βιομηχανικών εν γένει εγκαταστάσεων διατάξεις του άρθρου 4 του από 24.5.1985 προεδρικού διατάγματος (Φ.Ε.Κ. 270Δ΄) για την εκτός σχεδίων πόλεως δόμηση, καθώς και σε κάθε άλλη ειδική διάταξη του ίδιου προεδρικού διατάγματος, που αφορά σε έργα της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού Α.Ε., ανεξάρτητα από τον φορέα υλοποίησης τους.