

**Α.Τ.Ε.Ι  
ΣΧΟΛΗ Σ.Τ.Ε.Φ.  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ**

Πτυχιακή εργασία με θέμα:



**«Χωροταξική μελέτη  
Αιολικού Πάρκου»**

Όνομα Φοιτητή: **ΛΙΛΙΜΠΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**A.M.:2387**

Εισηγήτρια : **ΚΑΡΓΙΩΤΗ ΔΕΣΠΟΙΝΑ**

**ΗΡΑΚΛΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2007**

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ:**

Σελίδες:

|  |   |       |
|--|---|-------|
| <b>Εισαγωγή</b>                                    | : | 5-6   |
| <br>   |   |       |
| <b>Κεφάλαιο 1ο: Αιολική Ενέργεια</b>               |   |       |
| 1.1) Ιστορική Αναδρομή                             | : | 7-9   |
| 1.2) Αιολική Ενέργεια                              | : | 9-12  |
| 1.3) Γνωριμία με τους ανεμοκινητήρες               | : | 12-13 |
| 1.4) Διάφοροι τύποι ανεμοκινητήρων                 | : | 14-16 |
| 1.5) Ελληνικοί ανεμόμυλοι                          | : | 17    |
| 1.6) Οι Κρητικοί ανεμόμυλοι                        | : | 17-20 |
| 1.7) Οι ανεμόμυλοι των Κυκλάδων                    | : | 21    |
| 1.8) Τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας       | : | 22-24 |
| <br>   |   |       |
| <b>Κεφάλαιο 2ο: Αιολικό Δυναμικό</b>               |   |       |
| 2.1) Γενικά για την ατμόσφαιρα                     | : | 25-28 |
| 2.2) Ευστάθεια ατμόσφαιρας                         | : | 28    |
| 2.3) Άνεμοι  | : | 28-34 |
| 2.4) Γενικά για το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα      | : | 35-42 |
| 2.5) Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος  | : | 42-45 |
| 2.6) Χρονικές μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου   | : | 45-47 |
| <br>   |   |       |
| <b>Κεφάλαιο 3ο: Επιλογή θέσης εγκατάστασης Α/Κ</b> |   |       |
| 3.1) Εισαγωγή                                      | : | 48-49 |
| 3.2) Επιλογή θέσης εγκατάστασης Α/Κ                | : | 49-50 |

|   |   |       |
|---|---|-------|
| 3.3) Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή τοποθεσίας A/K             | : | 50-52 |
| 3.4) Περιγραφή της διαδικασίας επιλογής θέσης για την εγκατάσταση A/K | : | 52-56 |
| 3.5) Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού                                  | : | 56    |
| 3.6) Μέθοδος Weibull  | : | 57-60 |
| 3.7) Δείκτες Αιολικού Δυναμικού- Λόγος παραμόρφωσης                   | : | 61-63 |
| 3.8) Ο κώδικας NOABL  | : | 64    |
| 3.9) Μορφολογία του εδάφους   | : | 64-67 |
| 3.10) Θέση εγκατάστασης A/K σε ανώμαλη μορφολογία εδάφους             | : | 67-68 |
| 3.11) Περάσματα και διάσελα   | : | 68    |

#### **Κεφάλαιο 4ο: Πρακτικά στοιχεία επιλογής A/K**

|   |   |       |
|---|---|-------|
| 4.1) Εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών                           | : | 69    |
| 4.2) Εκτίμηση γενικών διαστάσεων του A/K                        | : | 69-72 |
| 4.3) Καθορισμός διαμέτρου δρομέα                                | : | 72-74 |
| 4.4) Καθορισμός της ταχύτητας ενάρξεως λειτουργίας ( $V_{ci}$ ) | : | 74    |
| 4.5) Καθορισμός της ταχύτητας διακοπής λειτουργίας              | : | 75    |
| 4.6) Καμπύλη ισχύος A/Γ   | : | 75-76 |
| 4.7) Παρεχόμενη ισχύς από A/K                                   | : | 77-78 |

#### **Κεφάλαιο 5ο: Αιολικά Πάρκα**

|  |   |       |
|--|---|-------|
| 5.1) Πεδίο ροής ομόρρου A/K                            | : | 79-80 |
| 5.2) Αλληλεπίδραση ομόρρων A/K                         | : | 80-82 |
| 5.3) Ενεργειακή απόδοση πάρκου                         | : | 83    |
| 5.4) Ο υπολογισμός της ταχύτητας αμέσως μετά το δρομέα | : | 83-84 |
| 5.5) Απόδοση αιολικού πάρκου                           | : | 85    |
| 5.6) Επίδραση του εδάφους                              | : | 85-86 |

|   |   |         |
|---|---|---------|
| 5.7) Υπολογισμός ενεργειακής απόδοσης αιολικού πάρκου | : | 86-90   |
| <b>Επίλογος</b>                                       | : | 91-94   |
| <b>Παράρτημα</b>                                      | : | 95-110  |
| <b>Βιβλιογραφία</b>                                   | : | 111-112 |

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

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

Κατά τον ίδιο τρόπο παράγονται οι πλανητικοί άνεμοι, λόγω της μεγαλύτερης θέρμανσης της επιφάνειας της γης κοντά στον Ισημερινό από ότι στους Πόλους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κρύοι επιφανειακοί άνεμοι να φυσούν από τους Πόλους προς τον Ισημερινό προς αντικατάσταση του αέρα που ανυψώνεται στις τροπικές περιοχές και κινείται στην ανώτερη ατμόσφαιρα προς τους πόλους. Υπάρχουν επίσης και οι εποχιακοί άνεμοι όπως οι Μουσσώνες καθώς και οι Ετήσιοι ή όπως διαφορετικά αποκαλούνται Μελτέμια. Για τους τελευταίους θα αναφέρουμε λίγα ακόμα πράγματα λόγω του ενδιαφέροντος τους, αφού παρουσιάζονται κυρίως στην περιοχή του Αιγαίου. Είναι άνεμοι του καλοκαιριού βορειοανατολικοί κυρίως στην περιοχή του Αιγαίου, και βορειοδυτικής κυρίως διεύθυνσεως. Αρχίζουν να πνέουν από τις αρχές Μαΐου και εξασθενούν μέσα Οκτωβρίου, με μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα από τα μέσα Ιουλίου μέχρι τα μέσα Σεπτεμβρίου. Η ημερήσια διακύμανση τους παρουσιάζει

ένα μέγιστο κατά τις απογευματινές ώρες, ενώ η έντασή τους κατά την νύχτα ελαττώνεται.

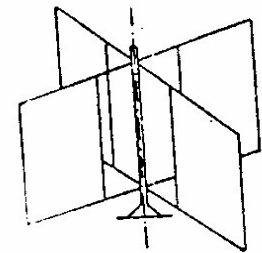
Η κίνηση του ανέμου στην επιφάνεια της γης παράγεται από την άνιση θερμοκρασία που κατανέμεται στις διάφορες περιοχές από την ηλιακή ακτινοβολία. Έχει υπολογιστεί ότι μόλις το 2% της ακτινοβολίας αυτής που προσπίπτει στο πλανήτη μας, μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Αυτό το μικρό ποσοστό αιολικής ενέργειας χρησιμοποιεί ο άνθρωπος εδώ και χιλιάδες χρόνια, όπου αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα για την εξέλιξη του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

### ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

#### 1.1 Ιστορική αναδρομή

Η αιολική ενέργεια είναι μία από τις πιο παλιές φυσικές πηγές ενέργειας που αξιοποιήθηκε σε μηχανική μορφή. Η πρωτογενής αυτή μορφή ενέργειας που παρέχεται άμεσα από τη φύση, έπαιξε αποφασιστικό ρόλο στην εξέλιξη της ανθρωπότητας ιδιαίτερα με τη χρήση της στη ναυτιλία για συγκοινωνίες και εξερευνήσεις. Η σημασία της ενέργειας του ανέμου φαίνεται στην Ελληνική μυθολογία όπου ο Αίολος διορίζεται από τους θεούς ως ταμίας των ανέμων. Πρώτη χρήση της αιολικής ενέργειας από τον άνθρωπο έγινε για την κίνηση των πλοίων τους.



Σχήμα 1.1:  
Ανεμόμυλος πλακών  
κατακόρυφου άξονα

Υπάρχουν επίσης ιστορικές και αρχαιολογικές μαρτυρίες ότι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν από τους Κινέζους, τους Πέρσες και τους Αιγυπτίους πολλούς αιώνες πριν από τη γέννηση του Χριστού. Περισσότερα σήμερα είναι γνωστά για τους ανεμόμυλους των Περσών οι οποίοι ήταν κατακόρυφου άξονα, όπως φαίνεται στο **σχήμα 1.1**.

Στην Αίγυπτο σώζονται πύργοι ανεμόμυλων ηλικίας μεγαλύτερης των 3000 ετών. Στο Αφγανιστάν βρίσκονται τα ερείπια ενός μεγάλου κτιρίου, με πολλές οπές δια μέσου των οποίων ο αέρας που εισροούσε, έβαζε σε κίνηση ειδικές μηχανές που εκτελούσαν χρήσιμες για τον άνθρωπο εργασίες. Στις χώρες της Ανατολής, στην Περσία, στη Μικρά Ασία, στο Αιγαίο, οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιήθηκαν από πολύ παλαιά για την άλεση δημητριακών, μέχρι τη Βυζαντινή εποχή και μεταγενέστερα.

Οι ανεμόμυλοι δεν χρησιμοποιήθηκαν μόνο για την άλεση δημητριακών αλλά και για άλλους σκοπούς, με περισσότερο σπουδαίο την άντληση των υδάτων. Η μεγαλύτερη διάδοση των ανεμόμυλων έγινε στην Ολλανδία. Εκεί με την βοήθεια τους απορροφήθηκαν τα νερά των τεράστιων σε έκταση περιοχών της χώρας που βρίσκονταν σε χαμηλή στάθμη και διοχετεύονταν στη θάλασσα. Στην

Ελλάδα για την άντληση ποτιστικού νερού από τα πηγάδια χρησιμοποιήθηκαν οι ανεμόμυλοι κυρίως στην Ανατολική Κρήτη. Υπολογίζεται ότι ο αριθμός τους είχε φτάσει προπολεμικά τους 6.808.

Μία σύντομη ιστορική αναδρομή στη χρησιμοποίηση των ανεμομύλων δείχνει ότι κατά τους αρχαίους χρόνους χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για το άλεσμα του σιταριού. Μέχρι και το 900 μΧ χρησιμοποιούντο στην Περσία ακόμα ανεμόμυλοι κατακόρυφου άξονα για το πότισμα κήπων.

Στη συνέχεια αναφέρονται **οι κυριότεροι χρονικοί σταθμοί της πορείας του ανεμόμυλου.**

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

**1500μ.Χ** Στα πεδινά της Ολλανδίας εμφανίζονται οι πρώτοι ανεμόμυλοι.

Don Quixote τους φέρνει στην Ισπανία.

**1600 μ.Χ** Άποικοι κατασκευάζουν ανεμόμυλους ευρωπαϊκού τύπου στα ανατολικά παράλια της Βορείου Αμερικής.

**1700 μ.Χ** Οι ατμομηχανές αρχίζουν να αντικαθιστούν τους ανεμόμυλους.

**1860 μ.Χ** Οι Αμερικανοί κατασκευάζουν πολυπτερυγους ανεμόμυλους για να χρησιμοποιηθούν στην κίνηση αντλιών.

**1870 μ.Χ** Το Σικάγο γίνεται κέντρο βιομηχανικής παραγωγής ανεμόμυλων.

**1900 μ.Χ** Οι Δανοί παράγουν ηλεκτρισμό από τον άνεμο.

**1920 μ.Χ** Ανεμόμυλοι μεταλλικής κατασκευής χρησιμοποιούνται στην Αμερική για ηλεκτροδότηση στα αγροτικά σπίτια.

**1930 μ.Χ** Οι ανεμόμυλοι στις αγροτικές περιοχές αντικαθίστανται από την επέκταση των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.

**1940 μ.Χ** Στο Vermont ( Η.Π.Α) κατασκευάζεται για πρώτη φορά πειραματικός ανεμοκινητήρας αρκετά μεγάλης ισχύος με δύο πτερύγια.

**1950 μ.Χ** Η ατομική ενέργεια μειώνει το ενδιαφέρον για την χρησιμοποίηση της αιολικής ενέργειας.

**1960 μ.Χ** Η μόλυνση του περιβάλλοντος από τις υπάρχουσες πηγές



ενέργειας ( άνθρακας- πετρέλαιο) αρχίζει να γίνεται έντονη.

**1970 μ.Χ** Έλλειψη καυσίμων αναζωογονεί το ενδιαφέρον για αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας.

**1976 μ.Χ** Τεχνολογικά αναπτυγμένες χώρες διαθέτουν για πρώτη φορά μεγάλο ύψος χρημάτων για προγράμματα γύρω από την τεχνικοοικονομική διερεύνηση των ανεμοκινητήρων.

**1983 μ.Χ** Κατασκευή ανεμοκινητήρων ισχύος 3 MW.

**1990 μ.Χ** Κατασκευή ανεμοκινητήρων ισχύος 7 MW.

Η ολοένα και αυξανόμενη μόλυνση του περιβάλλοντος από τον άνθρακα και το πετρέλαιο, αρχίζει να γίνεται έντονη τα τελευταία χρόνια. Ο άνθρωπος αναζητάει καινούργιες πηγές ενέργειας και στρέφεται σιγά σιγά προς την αιολική ενέργεια.

## **1.2 Αιολική ενέργεια**

Ποια είναι όμως η μορφή αυτής της ενέργειας, πως ενεργεί, πως δρα και θέτει σε κίνηση τις αιολικές μηχανές; Η κίνηση των αερίων μαζών ή των μορίων της ατμόσφαιρας κατά την οριζόντια κατεύθυνση, είναι ένα σύνθετο μετεωρολογικό φαινόμενο που τα τελευταία 40- 50 χρόνια, ο άνθρωπος προσπαθεί να βρει το μηχανισμό του για να προβλέψει έγκαιρα από πολλές ημέρες πριν αυτή την κίνηση.

**Ο άνεμος έχει δυο κύρια στοιχεία:**

- α) τη **δύναμη** που συγκεντρώνεται στην ταχύτητα ή την ένταση και
- β) τη **διεύθυνση**.

Η ταχύτητα του ανέμου εξαρτάται ουσιαστικά από τη δύναμη που οφείλεται στη διαφορά της ατμοσφαιρικής πίεσης η οποία βρίσκεται μεταξύ δυο τόπων. Η διεύθυνση του ανέμου οφείλεται βασικά και αυτή στην διεύθυνση των ισοβαρών γραμμών, των γραμμών δηλαδή που ενώνουν κάποιους τόπους ίσης ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι παράγοντες που δημιουργούν τις οριζόντιες διαφορές της βαρομετρικής πίεσης και την κατανομή των ισοβαρών καμπύλων, είναι:

1. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία του ηλίου στην επιφάνεια της γης, η οποία δρα θερμικά. Επίσης, η προσπίπτουσα υπεριώδης ακτινοβολία στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και η οποία, δρώντας θερμοχημικά ( μεταβολή του οξυγόνου O<sub>2</sub> σε όζον O<sub>3</sub>) επηρεάζει ένα μέρος της πυκνότητας του αέρα.
2. Η ανομοιομορφία της επιφάνειας της γης (θάλασσα, ξηρά, έρημος, λίμνες κ.λ.π). Απ' αυτή την ανομοιομορφία επηρεάζεται η θερμοκρασία του εδάφους από την απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία.
3. Η περιστροφή της γης περί τον άξονα της.
4. Η περιστροφή της σε ελλειπτική τροχιά γύρω από τον ήλιο.
5. Η τριβή μεταξύ του ανέμου και της επιφάνειας του εδάφους ή του νερού, πάνω από την οποία πνέει.

Οι ανομοιομορφίες της βαρομετρικής πίεσης στην ατμόσφαιρα της γης, δημιουργούν διάφορες δυνάμεις οι οποίες με τη σειρά τους προκαλούν τις μετατοπίσεις των μαζών του αέρα σε μεγάλη ή μικρή κλίμακα. Οι οριζόντιες κινήσεις του αέρα σε πλανητική κλίμακα αποτελούν τη λεγόμενη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας, ενώ οι μετατοπίσεις σε μικρότερη κλίμακα αποτελούν τις ελάσσονες κυκλοφορίες οι οποίες όμως και αυτές αποτελούν εκκεντρικότητες της γενικής κυκλοφορίας.

Στη κατηγορία των **οριζόντιων** κινήσεων του αέρα ανήκουν:

1. **Άνεμοι συνεχείς (αληγείς):** οι άνεμοι δηλαδή των ανατολικών τροπικών χωρών, ανταληγείς, επικρατούντες δυτικοί των εύκρατων χωρών, και ανατολικοί που πνέουν στα πολικά πλάτη.
2. **Περιοδικοί ετήσιοι ή εποχιακοί:** μουσώνες, ετήσιοι.
3. **Περιοδικοί ημερήσιοι:** αύρες της ξηράς, της θάλασσας, των Όρεων, των κοιλάδων, των παγετώνων.
4. **Τοπικοί:** ο βαρδάρης, η μπόρα, ο λίβας, ο σιρόκος, ο λεβάντες κ.α.

Στις **ελάσσονες** κατηγορίες ανέμων ανήκουν:

1. **Άνεμοι ατμοσφαιρικών διατάξεων:** οι οποίοι προκαλούνται από τα ισοβαρή συστήματα της ατμόσφαιρας. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι καταγίδες, ο σιφών, ο ανεμοστρόβιλος κα.

Συμπερασματικά, προκύπτει ότι τόσο η γενική κυκλοφορία όσο και οι ελάχιστες οφείλονται στη γενική κατανομή των βαρομετρικών πιέσεων επί της γης και στη μεταβολή αυτής κατά τόπο και χρόνο.

Εκτός από τα παραπάνω, όπως έχει αναφερθεί η κινητική ενέργεια του ανέμου οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ηλιακή ακτινοβολία και μόλις το 2% της ηλιακής ενέργειας που προσπίπτει στον πλανήτη μας μετατρέπεται σε αιολική ενέργεια. Η ισχύς των ανέμων σε όλη τη γη υπολογίζεται σε  $3,6 \times 10^9$  MW. Ενδεικτικά οι ενεργειακές ανάγκες των Η.Π.Α είναι μόλις το 10% της ενέργειας των ανέμων που πνέουν εκεί, γεγονός που αποδεικνύει πόσο πλούσια πηγή ενέργειας είναι ο άνεμος. **Η ισχύς ρεύματος γενικά είναι ανάλογη της πυκνότητας του αέρα και του κύβου της ταχύτητας του.** Έτσι για την ίδια ταχύτητα και διατομή ένα ρεύμα αέρα θα έχει περίπου 800 φορές μικρότερη ενέργεια από αντίστοιχη δέσμη νερού.

Η αιολική ενέργεια συνεπώς, είναι μια «αραιή» ή «ήπια» μορφή ενέργειας, δηλαδή είναι μικρή η ποσότητα ενέργειας ανά μονάδα χώρου που μπορεί να δεσμευτεί σε κάθε τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας που προσβάλλεται από τον άνεμο. Για παράδειγμα άνεμος εντάσεως 5 μποφόρ, περίπου 9,5 m/s έχει ισχύ  $500 \text{ W/m}^2$  προσβαλλόμενης επιφάνειας, ενώ ένας ανεμοκινητήρας (A/K) μπορεί στην καλύτερη περίπτωση να δεσμεύσει το 48% αυτής της ισχύος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάγκη κατασκευής μονάδων, μεγάλων διαστάσεων. Σε αυτό το μειονέκτημα ανταπεξέρχεται με επιτυχία η σημερινή τεχνολογία με την κατασκευή A/K μεγάλων διαστάσεων που ανταγωνίζονται οικονομικά τις συμβατικές πηγές ενέργειας. Παράλληλα η αιολική ενέργεια χαρακτηρίζεται από το πλεονέκτημα ότι δίνει απ' ευθείας μηχανική μια «αναβαθμισμένη» κατά την τεχνική ορολογία, μορφή ενέργειας που με πολύ υψηλό βαθμό απόδοσης και απλά μέσα μετατρέπεται σε οποιαδήποτε άλλη μορφή ενέργειας.

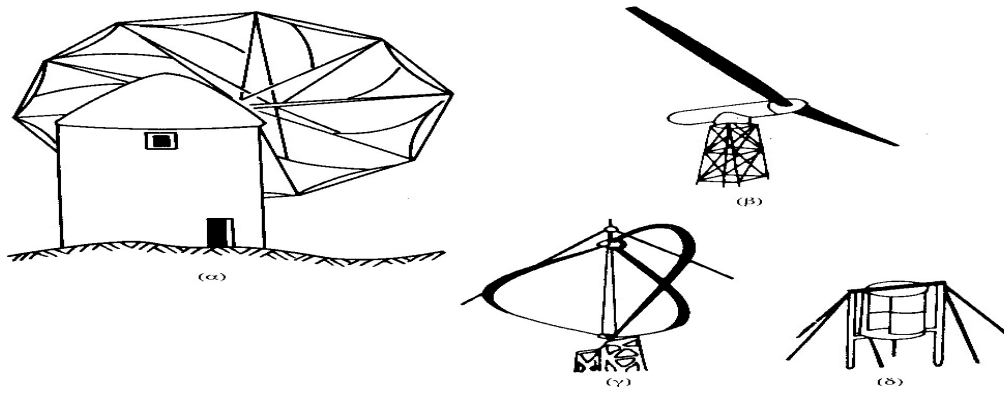
Η αιολική ενέργεια αποτελεί, μια αστείρευτη πηγή ενέργειας με αξιοσημείωτο δυναμικό και με δωρεάν πρώτη ύλη στη διάθεση της ανθρωπότητας και προβάλλει σήμερα ως μια από τις πιο κατάλληλες εναλλακτικές πηγές για την παραγωγή ηλεκτρισμού αλλά και για άλλες χρήσεις. Για να

μετατρέψει ο άνθρωπος την ενέργεια του ανέμου σε άλλες μορφές ενέργειας (ηλεκτρική, υδραυλική, κινητική) χρειάστηκε να κατασκευάσει μηχανές οι οποίες έκαναν τη μετατροπή αυτή, με όσο το δυνατό μικρότερο κόστος.

### **1.3 Γνωριμία με τους ανεμοκινητήρες**

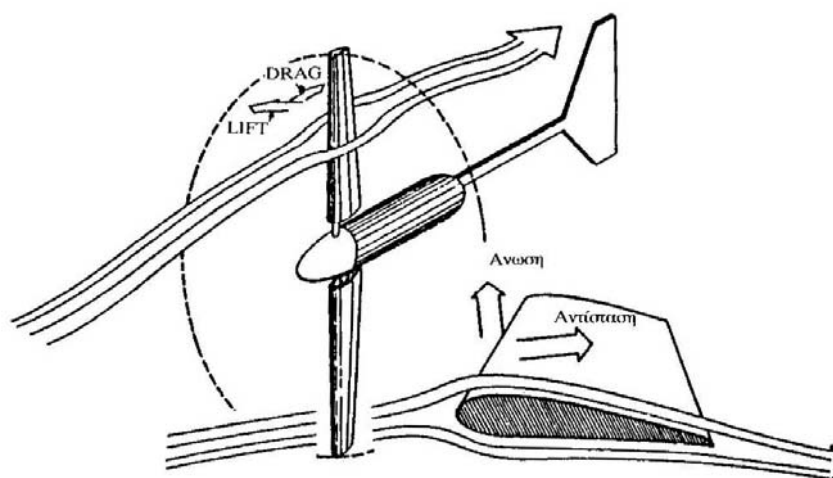
Οι ανεμοκινητήρες αναπτύχθηκαν από την αρχαιότητα και για πολλούς αιώνες χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα ιδιαίτερα σε αγροτικές εφαρμογές. Η εποχή άλλωστε, που έγινε πολύ εκτεταμένη χρήση ανεμόμυλων, είναι σχετικά πρόσφατη. Για παράδειγμα στις Η.Π.Α κατασκευάστηκαν περίπου έξι εκατομμύρια ανεμόμυλοι ανάμεσα στα 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 ανάπτυξη άλλων μορφών που παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα και ταυτόχρονα είναι απαλλαγμένες από τον στατιστικό χαρακτήρα 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 έπαψε κάθε ενδιαφέρον γύρω από ανεμόμυλους για περίπου τριάντα χρόνια, μετά τον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο.

Όμως την τελευταία δεκαετία το ενδιαφέρον σχετικά με την αιολική ενέργεια γνωρίζει νέα άνθιση. Έναυσμα έδωσε η πετρελαϊκή κρίση το 1973. Το κίνητρο ήταν καθαρά οικονομικό, για 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 στάδιο τους (που τους ήθελε αποκλειστικά σε αγροτικές εφαρμογές), και μπήκαν στη συμπαραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας.



Σχήμα 1.2 : Τύποι ανεμοκινητήρων. (α) Παραδοσιακός νησιώτικος Α/Κ, (β) Διπτέρυγος Α/Κ οριζοντίου άξονα, (γ) Τριπτέρυγος Α/Κ Darrieus, (δ) Α/Κ τύπου Savonius

Η έρευνα πάνω σε θέματα αιολικής ενέργειας και η εξέλιξη της τεχνολογίας είχαν σαν αποτέλεσμα οι σημερινοί ανεμοκινητήρες να μοιάζουν ελάχιστα ή και καθόλου με τους παραδοσιακούς ανεμόμυλους (σχήμα 1.2α). Χαρακτηριστική είναι η διαφορά που υπάρχει στην αρχή λειτουργίας τους. Οι παραδοσιακοί ανεμόμυλοι κινούνται είτε με την βοήθεια της αντίστασης των πτερυγίων τους στον άνεμο, είτε με κακή εκμετάλλευση της άνωσης που ασκείται πάνω τους. Στους σύγχρονους ανεμοκινητήρες (σχήματα 1.2β και 1.2γ) η κίνηση οφείλεται κατά κύριο λόγο στην άνωση, και στην εκμετάλλευση της αεροδυναμικής αντίστασης (σχήμα 1.3). Η υπεροχή των σημερινών μονάδων γίνεται προφανής αν ληφθεί υπ' όψη ότι σε μια αεροτομή η άνωση μπορεί να γίνει υπερδεκαπλάσια της αντίστασης



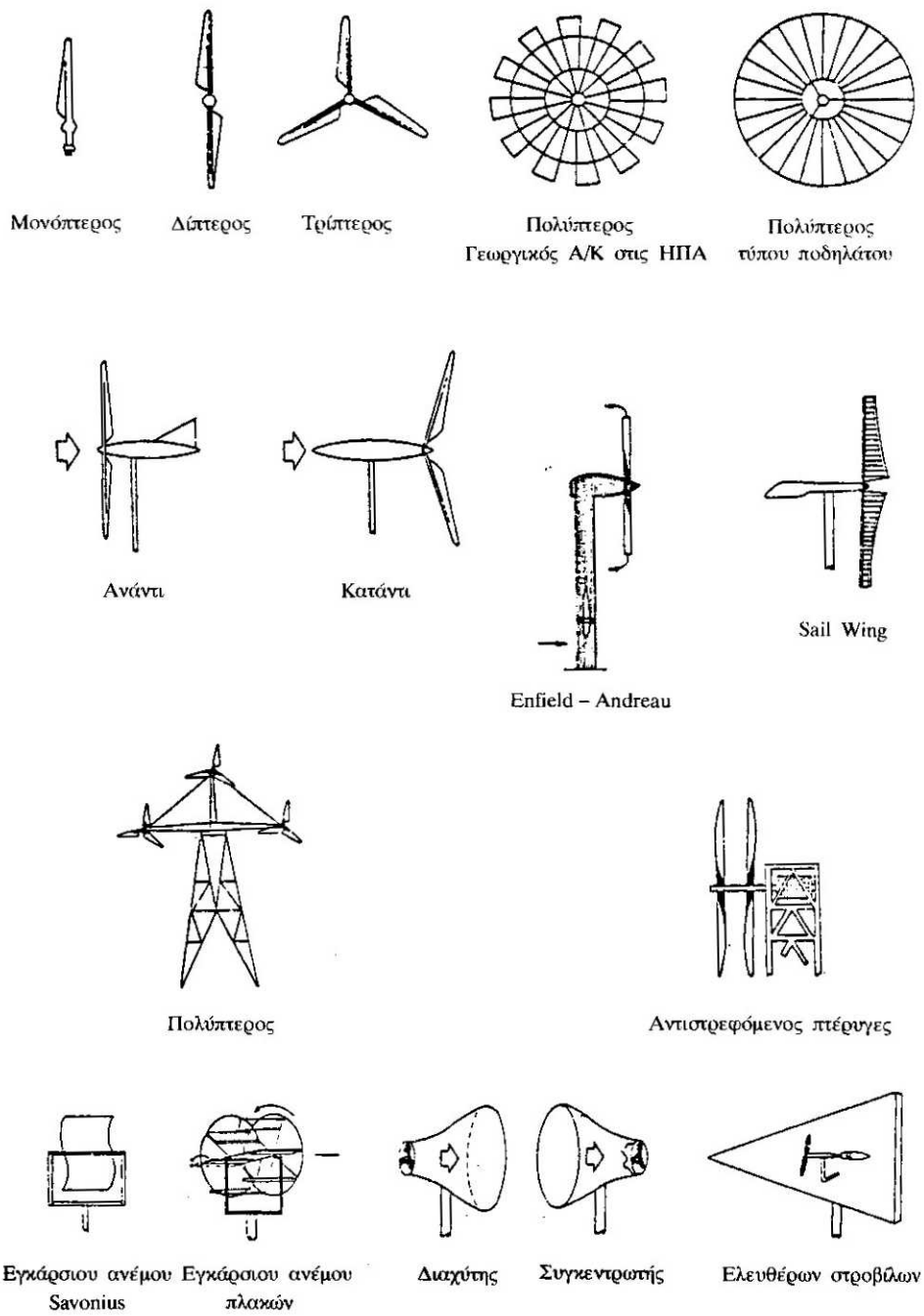
Σχήμα 1.3: Εκτέλεση έργου με εκμετάλλευση της αεροδυναμικής αντίστασης.

#### 1.4 Διάφοροι τύποι ανεμοκινητήρων

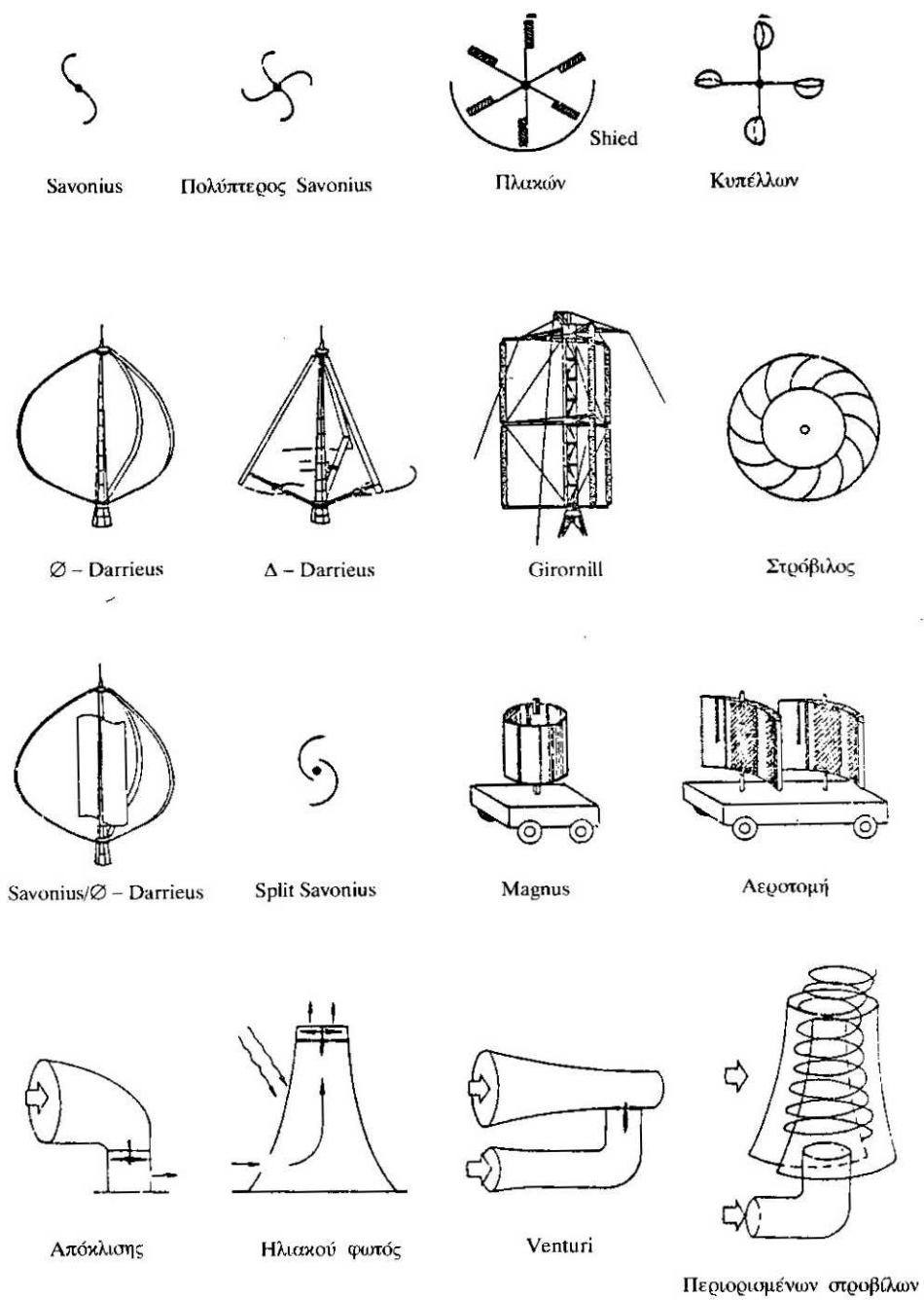
Η βασική κατασκευή των μοντέλων ανεμοκινητήρων διακρίνεται σε δύο τύπους, γεγονός που τους κατατάσσει σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

1. **Στις μηχανές που τα πτερύγια τους στηρίζονται και περιστρέφονται σε οριζόντιο άξονα, (σχήμα 1.4α)** και
2. **Στις μηχανές των οποίων τα πτερύγια στηρίζονται και περιστρέφονται σε κατακόρυφο άξονα, (σχήμα 1.4β).** Εδώ εμφανίζονται **δύο τύποι**: α) **με καμπύλα πτερύγια**, ο οποίος βασίζεται σε μια παλιά ιδέα του Γάλλου Darrieus. Η μορφή των πτερυγίων είναι τέτοια ώστε να μην αναπτύσσονται καθόλου καμπτικές τάσεις από τις φυγόκεντρες που δημιουργεί η περιστροφή και ουσιαστικά είναι η μορφή που παίρνει ένα σχοινί που περιστρέφεται γύρω από άξονα. β) **ο τύπος Savonius**, η κίνηση αυτού του **A/K** βασίζεται στην αντίσταση που παρουσιάζει στη ροή, και όχι στην άνωση και γι' αυτό έχει πολύ χαμηλό βαθμό απόδοσης από τους άλλους τύπους.

Οι μηχανές της πρώτης κατηγορίας αποτελούν τον μεγαλύτερο αριθμό αιολικών μηχανών. Αντίστοιχα οι μηχανές της δεύτερης κατηγορίας έχουν ορισμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με αυτές της πρώτης. Για παράδειγμα, ένα πλεονέκτημα που έχουν οι ανεμοκινητήρες κατακόρυφου άξονα, είναι ότι δεν χρειάζονται κάποιο σύστημα προσανατολισμού στροφής τους ως προς το μέτωπο του ανέμου. Ιδιαίτερα μάλιστα η κατασκευή πολλών μοντέλων τέτοιου τύπου είναι απλούστερη μηχανικά σε σχέση με αυτή των άλλων συστημάτων οριζόντιου άξονα.



Σχήμα 1.4α: Τύποι ανεμοκινητήρων οριζοντίου άξονα



Σχήμα 1.4β: Τύποι ανεμοκινητήρων κατακόρυφου άξονα.



## 1.5 Ελληνικοί ανεμόμυλοι

Στην Ελλάδα δεν είναι γνωστό πότε άρχισαν να κατασκευάζονται οι ανεμόμυλοι. Ιστορικές μαρτυρίες δείχνουν την ύπαρξη ανεμόμυλων πολλές εκατοντάδες χρόνια π.Χ. Αυτό φανερώνει ότι υπήρξε από πολύ παλιά μια άνθιση της δημιουργίας ανεμόμυλων με κυρίαρχο το μοντέλο οριζόντιου άξονα. Οι ελληνικοί ανεμόμυλοι που κατασκευάστηκαν ήταν διαφορετικοί από εκείνους των άλλων χωρών και σύμφωνοι με τις κλιματολογικές συνθήκες της χώρας μας. **Οι παραδοσιακοί Ελληνικοί ανεμόμυλοι διακρίνονται σε τέσσερις τύπους των οποίων οι ονομασίες σχετίζονται με το τρόπο κατασκευής τους.**

Οι τέσσερις αυτοί τύποι είναι:

- Ο *Ταράλης I* ο οποίος είναι ο αρχαιότερος και υπάρχει σε δύο τύπους. Είναι μια από τις πιο σπάνιες μορφές ανεμόμυλου κατακόρυφου άξονα που υπάρχει στην Ευρώπη. Ο δρομέας του είναι κατακόρυφου άξονα και βρίσκεται τοποθετημένος μέσα στο οικοδόμημα. Ο αέρας διέρχεται μέσα στο χώρο των πτερυγίων περνώντας από ένα άνοιγμα με τέτοιο τρόπο σαν να δημιουργείται τεχνική σήραγγα αέρα. Φαίνεται έτσι να έχει κάποια σχέση τεχνολογικά με ένα άλλο επίσης αρχαιότερο ανεμόμυλο, ο οποίος ανακαλύφθηκε στην Περσία τον 13ο αιώνα.
- Ο *Παράλης II* είναι κατασκευαστικά ίδιου τύπου με τον I, με τη μόνη διαφορά ότι το τύμπανο των πτερυγίων στρέφεται σε οριζόντιο άξονα.
- Ο *Αξетроχάρης ή Μονόπατος*, είναι ο ανεμόμυλος οριζόντιου άξονα με πανιά. Ο Ξетроχάρης είναι ο πιο τυπικά παραδοσιακός νησιώτικος ανεμόμυλος.
- Τέταρτος και τελευταίος τύπος είναι ο *Κρητικός ανεμόμυλος*, για τον οποίο γίνεται ιδιαίτερη αναφορά παρακάτω.

## 1.6 Οι Κρητικοί ανεμόμυλοι

Η σχέση ανάμεσα στη Κρήτη και στην Αιολική Ενέργεια ξεκινάει από την αρχαιότητα, όταν οι Μινωίτες εκμεταλλεύτηκαν από τους πρώτους την ισχύ του ανέμου στη στεριά και στη θάλασσα. Αν θελήσουμε να μιλήσουμε για τα

σύγχρονα χρόνια, τότε και πάλι η Κρήτη κατέχει μια παγκόσμια πρωτιά στο χώρο της Αιολικής Ενέργειας. Τούτη δεν είναι άλλη από το Οροπέδιο Λασιθίου. Υπολογίζεται ότι στα μέσα του 20ου αιώνα χιλιάδες παραδοσιακοί ανεμόμυλοι συνολικής ισχύος 5MW, προοριζόμενοι σχεδόν αποκλειστικά για άντληση υπογείων αποθεμάτων νερού και άρδευση των καλλιεργειών, είχαν εγκατασταθεί στη περιοχή του Οροπεδίου Λασιθίου. Πρόκειται για το πρώτο αιολικό πάρκο στο κόσμο συνολικής ισχύος αυτής της τάξεως.

Ο Κρητικός ανεμόμυλος δεν συμπεριλαμβάνεται στους παραδοσιακούς, λόγω του ότι είναι μεταγενέστερος με μεταλλικό σκελετό, με πύργο στήριξης και πτερύγια οριζόντιου άξονα από πανί. Ο σχεδιασμός και η δομή του είναι μοναδικά έτσι ώστε τον κάνουν να ξεχωρίζει παγκοσμίως ως το καλύτερο μοντέλο Ελληνικού ανεμόμυλου. Αποτέλεσε τη βάση για την κατασκευή ενός σύγχρονου μοντέλου, την Κρητική ανεμομηχανή. Σε ένα από τα προγράμματα της Ευρωπαϊκής Κοινότητας έχει συμπεριληφθεί αυτή η προσπάθεια όπου αυτό το διάστημα βρίσκεται στο στάδιο των πειραμάτων τα οποία διεξάγονται από ειδικούς στη Κρήτη και στην Αγγλία.

Οι Κρήτες σιδηρουργοί ήταν ιδιαίτερα άξιοι και καλοί τεχνίτες όπου η φήμη τους έφτασε πολύ πιο μακριά από τη χώρα τους, ακριβώς στο αντίθετο ημισφαίριο της γης, τη Βραζιλία. Και αυτό χάρη σε κάποιο Κρητικό εργολάβο ο οποίος μετέφερε ένα αριθμό Κρητών τεχνιτών στη Βραζιλία γύρω στο 1885 με στόχο να συμμετάσχουν στη κατασκευή της σιδηροδρομικής γραμμής της χώρας. Η συμβολή τους σ' αυτό το έργο ήταν ουσιαστική γιατί ένα τμήμα της γραμμής αυτής, αρκετά μακρύ, ήταν υποχρεωμένο να διέρχεται μέσα από την επικίνδυνη ζούγκλα του Αμαζονίου. Οι μοναδικοί που ολοκλήρωσαν το έργο ήταν η ομάδα των Κρητικών. Μετά το τέλος αυτής της εργασίας όπου το τρένο συνδέθηκε με τις πόλεις- σταθμούς της χώρας, ως ανταμοιβή για την πολύτιμη συμβολή τους στο έργο, γράφτηκαν τα ονόματα τους με χρυσά γράμματα πάνω σε μια πλακέτα στο σταθμό του Ρίο ντε Τζανέιρο.



Εικόνα 1: Χιλιάδες ανεμόμυλοι στο οροπέδιο Λασιθίου

Το 1960 έγινε μια έρευνα από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) με στόχο να γίνει γνωστός ο αριθμός των ανεμόμυλων που λειτουργούσαν ή όχι στην χώρα μας. Η έρευνα διεξήχθη με τη συμβολή ερωτηματολογίου το οποίο μοιράστηκε και συμπληρώθηκε από όλους τους μετεωρολογικούς σταθμούς της χώρας.

Τα αποτελέσματα ήταν τα ακόλουθα:

-45 σταθμοί απάντησαν ότι δεν γνώριζαν την ύπαρξη ανεμομύλων στην περιοχή τους.

-15 σταθμοί γνώριζαν στην περιοχή τους ανεμόμυλους ερειπωμένους οι οποίοι χρησιμοποιήθηκαν για το άλεσμα σιτηρών.

-10 σταθμοί ανέφεραν την ύπαρξη ανεμομύλων που λειτουργούν για άλεσμα σιτηρών, εκτός από ένα αριθμό ερειπωμένων. Γενικά ο αριθμός των ανεμομύλων που αναφέρθηκε ότι χρησιμοποιούνταν για άλεσμα ήταν περιορισμένος.

Ορισμένοι σταθμοί ανέφεραν ένα γενικά αριθμό ανεμομύλων που χρησιμοποιούνται για άντληση νερού στην περιοχή τους.

### **Ειδικότερα:**

*Ρόδος:* 219 ανεμόμυλοι (και άλλοι 325 που αντικαταστάθηκαν από πετρελαιομηχανές)

*Ηράκλειο:* 980 ανεμόμυλοι.

*Ιεράπετρα:* 500 ανεμόμυλοι

*Σητεία:* 1000 ανεμόμυλοι

*Φούρνοι:* 250 ανεμόμυλοι

*Λασιθί:* 10000 ανεμόμυλοι

Η αιολική ενέργεια χρησιμοποιήθηκε περισσότερο στο νομό Λασιθίου όπου εκεί οι κατασκευαστές των ανεμόμυλων ήταν ντόπιοι σιδηρουργοί. Το κόστος για την κατασκευή ενός ανεμόμυλου ήταν 5.000 δρχ. (τιμή 1960). Ο ανεμόμυλος εργάζεται 9-10 ώρες την ημέρα αντλώντας 35-50 m<sup>3</sup> νερού από ένα μέσο βάθος 15 m (περίπου 1 lt/s). Η ικανότητα αλέσματος των ανεμομύλων στις διάφορες θέσεις της χώρας κυμαίνεται από 20-70 kg σιτηρών την ώρα ανάλογα με τον προσανατολισμό της περύγωσης και την ταχύτητα του ανέμου. Στη Σητεία (Ανατολική Κρήτη) αναφέρθηκε μια πρακτική αποθήκευση της αιολικής ενέργειας σύμφωνα με την οποία αντλείται νερό με τη βοήθεια ανεμόμυλων το οποίο αποθηκεύεται σε υψηλή δεξαμενή και κατόπιν χρησιμοποιείται ως υδατόπτωση στους νερόμυλους.

Η σύγχρονη ανάπτυξη αιολικών πάρκων στη Κρήτη ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του 1990, όταν η Δ.Ε.Η εγκατέστησε τα πρώτα αιολικά πάρκα στη περιοχή της μονής Τοπλού στη Σητεία. Έκτοτε η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα, οδήγησε πολλούς επενδυτές να υλοποιήσουν δεκάδες εγκαταστάσεις αιολικών πάρκων. Το ενδιαφέρον για επενδύσεις Αιολικών Πάρκων παραμένει αμείωτο ακόμα και σήμερα, γεγονός που επιβεβαιώνει τα πολύ καλά χρηματοοικονομικά χαρακτηριστικά των επενδύσεων Αιολικών Πάρκων στη Κρήτη.

## 1.7 Οι ανεμόμυλοι των Κυκλάδων

Η ύπαρξη ανεμομύλων στη Μύκονο είναι εξακριβωμένη από το 15ο αιώνα. Σε σχεδιαγράφημα της Μυκόνου σημειώνεται στην εποχή εκείνη ανεμόμυλος στη Θέση Κάστρο. Μέχρι προ ολίγων δεκαετιών εσώζοντο τα θεμέλια του μύλου αυτού που ονομαζόταν Καστρινός. Ιστορικά η λειτουργία ανεμομύλων μνημονεύεται με συγκεκριμένα στοιχεία από τον 16ο αιώνα. Ο Tournefort το 1700 στο σχεδιάγραμμα του λιμανιού της Μυκόνου σημειώνει 10 ανεμόμυλους κατά παράταξη στην περιοχή που βρίσκονται και σήμερα, με την τοπωνυμία «Κάτω Μύλοι» ή «Πολλοί Μύλοι». Κατά το 1755 στο κτηματολόγιο της Μυκόνου μνημονεύονται 17 μύλοι. Η επίσημη απογραφική έκθεση του 1828 αναφέρει 29 ανεμόμυλους, σύμφωνα δε με προφορικές παραδόσεις ο μέγιστος αριθμός των ανεμομύλων του νησιού έφθανε τους 40. Οι ανεμόμυλοι της Μυκόνου στη θέση Κάτω Μύλοι, είναι οικοδομημένοι επάνω στο έδαφος του «κοινού των Μυκονίων» και επομένως οι ιδιοκτήτες κατέχουν μόνο το κτίσμα και τις μέσα σ' αυτό τεχνικές εγκαταστάσεις και όχι η γη. Από τους ανεμόμυλους της περιοχής αυτής σώζονται μόνο 7 πλήρεις ή ερειπωμένοι. Όσοι από αυτούς βρίσκονται σε καλή κτιριακή κατάσταση χρησιμοποιούνται ως κατοικίες. Ένας μόνο από αυτούς βρίσκεται σε καλή κτιριακή και λειτουργική κατάσταση και είναι σε θέση να λειτουργεί ακόμη και σήμερα. Είναι ο «Μύλος του Γερώνυμου». Ο Μύλος αυτός έχει ηλικία 300 περίπου ετών, και δεν σταμάτησε να λειτουργεί από την κατασκευή του. Σήμερα βέβαια χρησιμοποιείται αραιά και σε ορισμένες εποχές για να αλέσει λίγο στάρι ή κριθάρι.

Στη Σίφνο σώζονται (περίοδο 1960) 18 ανεμόμυλοι με εξελιγμένη τεχνολογία για την εποχή τους, όπου το μέτωπο των πτερυγίων στρεφόταν με χειροκίνητο μηχανισμό, για να κατευθύνεται προς την κατεύθυνση του ανέμου. Τέλος στην Πάρο, την ίδια πάντα εποχή σώζονταν περίπου 30. Γενικά σχεδόν σε όλα τα νησιά του Αιγαίου ήταν χαρακτηριστική η ύπαρξη των ανεμομύλων αφού ευνοούνταν από την αιγαιοπελαγίτικη αύρα, ώστε μ' αυτό το τρόπο είχε ενωθεί η ενέργεια του ανέμου με την καθημερινή ζωή, αποτελώντας αναπόσπαστο κομμάτι της.

## 1.8 Τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας

Τα πλεονεκτήματα της αιολικής ενέργειας είναι:

- 1. Η μορφή αυτή ενέργειας είναι αστείρευτη και Εθνική. Αυτό σημαίνει ότι δεν εξαρτάται από οποιαδήποτε εμπορική σχέση.*
- 2. Λαμβάνεται ως Μηχανική Ενέργεια, δηλαδή είναι άμεσα χρησιμοποιήσιμη. Όσον αφορά τη μετατροπή της σε Ηλεκτρική έχει πολύ καλή απόδοση, χωρίς την παρεμβολή θερμοδυναμικών φαινομένων Carnot με μειονεκτήματα την πτώση της απόδοσης κ.α.*
- 3. Η κατασκευή ανεμοκινητήρων γίνεται σχετικά εύκολα με μέσα που μπορούν να παραχθούν από μια μικρή σε έκταση βιοτεχνία.*
- 4. Η προσφορά της είναι σημαντική στο περιβάλλον. Ειδικά η Αιολική Ενέργεια είναι από τις ενεργειακές μορφές που συμπεριφέρεται πολλαπλώς φιλικά με το περιβάλλον.*

Η παραγωγή ενέργειας με τις ήδη συμβατικές μεθόδους (καύσιμα) είναι ο σημαντικότερος παράγοντας μόλυνσης της ατμόσφαιρας και των υδάτων. Οι ρύποι, όπως το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ ) του διοξειδίου του θείου ( $\text{SO}_2$ ), του διοξειδίου του αζώτου ( $\text{NO}_2$ ), οι υδρογονάνθρακες, αποτελούν τα προϊόντα που περνούν στην ατμόσφαιρα καθημερινά από τις μηχανές, συνιστώντας μόνιμη απειλή για την υγεία των ζωντανών οργανισμών και γενικά για τη ζωή στον πλανήτη μας. Δυο χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων ρύπων με καταστροφικές συνέπειες για το περιβάλλον είναι, το φαινόμενο του θερμοκηπίου, στην ατμόσφαιρα από το  $\text{CO}_2$ , και η καταστροφή του όζοντος,  $\text{O}_3$ . Η σημαντική φιλική συμβολή της αιολικής ενέργειας προς το περιβάλλον φαίνεται ενδεικτικά από τα παρακάτω:

- Η συγκέντρωση αερίων στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας εμποδίζει την παραγωγή της θερμότητας από τη γη στο διάστημα. Η θερμοκρασία στον πλανήτη μας αυξάνεται από τη γη στο διάστημα. Η θερμοκρασία στον πλανήτη μας αυξάνεται σιγά σιγά κάθε χρόνο (φαινόμενο του θερμοκηπίου). Το σημαντικότερο από τα αέρια αυτά είναι το  $\text{CO}_2$ .

- Το CO<sub>2</sub> παράγεται από την καύση των υδρογοναθράκων (βενζίνη, πετρέλαιο) και των ορυκτών καυσίμων (κάρβουνο, τύρφη κα). Η ετήσια παγκόσμια παραγωγή του CO<sub>2</sub> ανέρχεται σε 22 δισεκατομμύρια τόνους. Απ' αυτούς το 25% παράγεται στις Η.Π.Α. Το 30% του CO<sub>2</sub> που εγκλείεται στον Ευρωπαϊκό χώρο, προέρχεται από τις μηχανές που προσδιορίζονται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Η παραγωγή ενέργειας με τη χρήση των μηχανών ήπιας ή ανανεώσιμης ενέργειας, δεν προκαλεί έκλυση CO<sub>2</sub>. Το περιοδικό **Public Citizen** ανέφερε ότι η χρήση των ήπιων μορφών ενέργειας θα μείωνε τις εκπομπές του CO<sub>2</sub> στις Η.Π.Α κατά 8- 15% έως το 2000. Επισημαίνεται το γεγονός ότι αν αντικατασταθούν όλες οι συμβατικές μηχανές καυσίμων, θα επέλθει μηδενική παραγωγή του CO<sub>2</sub> έως το έτος 2010.

Είναι αξιοσημείωτο να αναφερθεί ότι το Αιολικό Δυναμικό στη γη μπορεί να καλύψει κατά αρκετές εκατοντάδες φορές τις ενεργειακές ανάγκες των πέντε δισεκατομμυρίων κατοίκων του πλανήτη μας. Σήμερα υπάρχουν σε όλο το κόσμο, εγκατεστημένες ανεμομηχανές οι οποίες παράγουν ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο ανέρχεται στο ύψος περίπου των 2000 MW. Απ' αυτές τις μηχανές το δυναμικό των 1600 MW βρίσκεται στις Η.Π.Α, από τα οποία ο μεγαλύτερος αριθμός είναι στην Καλιφόρνια. Οι εγκατεστημένες αιολικές μηχανές της Καλιφόρνιας είναι σήμερα σε θέση να καλύψουν τις ηλεκτρικές ανάγκες μιας πόλης 900.000 κατοίκων, όπως είναι το Σαν Φραντσίσκο. Αυτή η προσφορά ηλεκτρικής ενέργειας εξοικονομεί 3.5 εκατομμύρια βαρέλια πετρέλαιο το χρόνο, ποσότητα που θα ήταν απαραίτητη να καταναλωθεί για την κάλυψη των ίδιων αναγκών σε ηλεκτρισμό, αν χρησιμοποιούνταν οι συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με καύσιμα.

Η βιομηχανική παραγωγή των αιολικών μηχανών εξελίσσεται στις μέρες μας όλο και περισσότερο. Οι σημερινές κατασκευές έχουν βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό απ' αυτές που υπήρχαν πριν από κάποια χρόνια. Οι σημερινές κατασκευές ελάχιστα μοιάζουν με τους παραδοσιακούς ανεμόμυλους ή ακόμα και με αυτούς που έχουν κατασκευαστεί πριν είκοσι χρόνια, γεγονός που αποδεικνύεται από τις

διάφορες πειραματικές έρευνες που γίνονται τόσο από τις κατασκευαστικές εταιρίες όσο και από τα Πανεπιστημιακά και Ερευνητικά Ιδρύματα.

Απ' όλα τα παραπάνω λοιπόν γίνεται κατανοητό ότι η Αιολική Ενέργεια κατέχει μια σημαντική θέση στον πίνακα των ήπιων μορφών ενέργειας μεταξύ των άλλων πηγών, και για πολλούς Επιστήμονες παίρνει τη πρώτη θέση ως η πλέον αποδοτική και συμφέρουσα πηγή, με μηχανικό εξοπλισμό πολύ προσιτό και οικονομικό.

Επίσης άλλα πλεονεκτήματα είναι η κατασκευαστική ευελιξία, οι διατάξεις με μεγάλη ποικιλία σχεδιασμού ως προς την αποδιδόμενη ισχύ καθώς επίσης και η δυνατότητα εύκολης επιδιόρθωσης σε περίπτωση βλάβης.



Εικόνα 2: Αιολικό πάρκο



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>

### ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

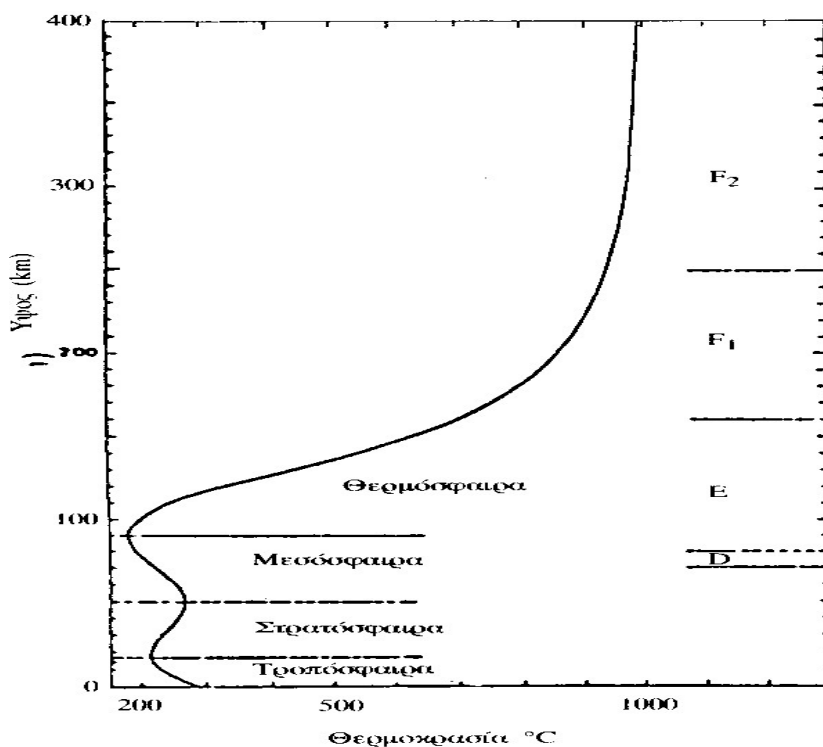
#### 2.1 Γενικά για την ατμόσφαιρα

Αρχικά θα περιγραφεί, 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 υδροστατική ισορροπία γύρω από το σώμα αυτό είναι οι βαρυτικές δυνάμεις του πλανήτη. Οι διάφορες διαταραχές, και τα φαινόμενα που αυτές συνεπάγονται, οφείλονται σε μικρές αποκλίσεις από αυτή την κατάσταση ισορροπίας. Το μείγμα των αερίων που συνιστούν την ατμόσφαιρα της Γης εκτείνεται μέχρι ύψους 800 με 1000 km από την επιφάνεια του εδάφους με μεγαλύτερο ύψος (ή βάθος) στον ισημερινό και μικρότερο στους πόλους. Τα συνιστώντα αέρια είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένα στο ύψος αυτό με τρόπο ώστε το 99,9% της ολικής μάζας της ατμόσφαιρας να βρίσκεται στα πρώτα 50 km και το 0,099% στην περιοχή μεταξύ 50 και 100 km ύψους.

Τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας, εκτός από τη σύνθεσή της, είναι η θερμοκρασία, η πίεση και η πυκνότητα. Τα χαρακτηριστικά αυτά υπόκεινται σε σημαντικές μεταβολές που εξαρτώνται από το υψόμετρο, την ώρα, την ηλιακή επίδραση (δηλαδή την εποχή) και άλλους παράγοντες. Η θερμοκρασία στην ατμόσφαιρα μεταβάλλεται από ένα ελάχιστο  $-138^{\circ}\text{C}$ , που μετρήθηκε σε ύψος 85 km, μέχρι ένα μέγιστο σε περιόδους μέγιστης ηλιακής επίδρασης,  $1227^{\circ}\text{C}$  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.

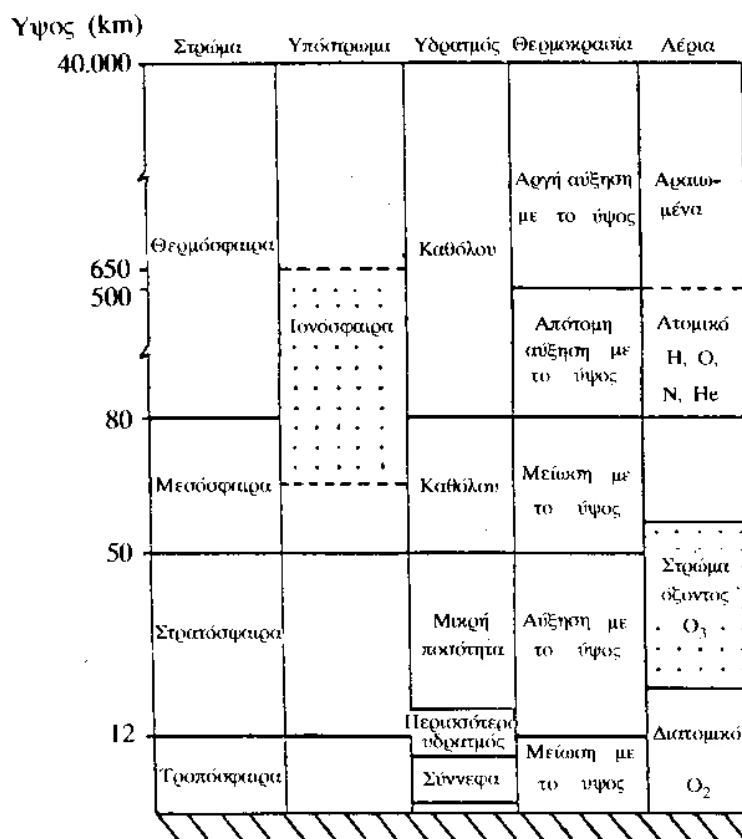
Η πίεση της ατμόσφαιρας, που εξαρτάται από το ολικό βάρος του αέρα που βρίσκεται από πάνω της και μειώνεται προοδευτικά καθώς το ύψος αυξάνει. Πιο συγκεκριμένα, ενώ στην επιφάνεια της Θάλασσας έχει μια μέση τιμή 760 mmHg, σε ύψος 100 km πέφτει στα  $2,26 \cdot 10^{-4}$  mmHg, στα  $1,00 \cdot 10^{-6}$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

των 200 km και ούτω καθ' εξής. Η πυκνότητα της ατμόσφαιρας κατά τον ίδιο τρόπο μειώνεται με την αύξηση του υψομέτρου. Στο ύψος της επιφάνειας της θάλασσας βρίσκεται μια τιμή  $1,226 \text{ kg/m}^3$  ενώ στα 100 km η μέση πυκνότητα είναι μόνο  $4,97 * 10^{-7} \text{ kg/m}^3$  και στα 200 km έχει μειωθεί στα  $3,32 * 10^{-10} \text{ kg/m}^3$ . Για ευκολία, στη μελέτη των διαφόρων ατμοσφαιρικών φαινομένων, η ατμόσφαιρα υποδιαιρείται σε ζώνες. Ο διαχωρισμός που χρησιμοποιείται περισσότερο είναι αυτός που στηρίζεται στην κατανομή της Θερμοκρασίας με το ύψος. Η πρώτη περιοχή που εκτείνεται από το επίπεδο του εδάφους μέχρι το πρώτο ελάχιστο της θερμοκρασίας, καλείται **Τροπόσφαιρα**. Η επόμενη περιοχή που εκτείνεται μέχρι το δεύτερο μέγιστο της θερμοκρασίας (το πρώτο μέγιστο της Θερμοκρασίας βρίσκεται στο επίπεδο του εδάφους), καλείται **Στρατόσφαιρα**. Η πιο πάνω περιοχή, που φθάνει μέχρι το δεύτερο θερμοκρασιακό ελάχιστο, είναι η **Μεσόσφαιρα**. Η τέταρτη περιοχή που ακολουθεί, είναι η **Θερμόσφαιρα**. Πέρα από τη θερμόσφαιρα βρίσκεται άλλη μια περιοχή η οποία, όμως, δεν ορίζεται από τη θερμοκρασία της και καλείται **Εξώσφαιρα** η οποία πιστεύεται ότι αρχίζει σε ύψος περίπου 400 km. Οι παραπάνω περιοχές απεικονίζονται στο **σχήμα 2.1**.



Σχήμα 2.1: Η ατμόσφαιρα της Γης

Ο κύριος όγκος της γήινης ατμόσφαιρας είναι ηλεκτρικά ουδέτερος. Ωστόσο, όμως, σε ύψος πάνω από 50 km περίπου, ένα μικρό τμήμα της ατμόσφαιρας είναι ιονισμένο, περιέχοντας ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Η περιοχή αυτή της ατμόσφαιρας καλείται **Ιονόσφαιρα** και υποδιαιρείται στις επί μέρους ζώνες D, E, F1 και F2. Η κύρια αιτία ιονισμού των στοιχειωδών σωματιδίων της ατμόσφαιρας είναι η υπεριώδης ακτινοβολία του ηλιακού φάσματος. Τέλος σύμφωνα με έναν άλλο τρόπο χωρισμού, η ατμόσφαιρα διαιρείται σε μία περιοχή όπου δεν υπάρχει σχεδόν καμία μεταβολή στη χημική της σύνθεση, την **Ομόσφαιρα** και μια άλλη περιοχή, πιο πάνω, με σημαντικές μεταβολές στη σύνθεση, την **Ετερόσφαιρα**, (Σχήμα 2.2).



Σχήμα 2.2: Η σύνθεση της ατμόσφαιρας

Επίσης, οι μεταβατικές ζώνες ανάμεσα σε μερικές από τις κύριες αυτές περιοχές, έχουν ιδιαίτερα ονόματα. Για παράδειγμα, η οριακή περιοχή ανάμεσα στην Τροπόσφαιρα 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 σε ένα ύψος περίπου 50 km. Κάθε τι πιο πάνω, ανήκει στην ανώτερη ατμόσφαιρα.

## **2.2 Ευστάθεια ατμόσφαιρας**

Το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας του εδάφους και του Ηλίου περνάει από τον αέρα με τρόπο ώστε, για πρακτικούς σκοπούς, 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 καθαρός αέρας μπορεί να θεωρηθεί ότι θερμαίνεται ή ψύχεται λόγω «γειννίασης» με το έδαφος (συναγωγή) παρά με ακτινοβολία. 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 σε μεγαλύτερη καθ' ύψος μάζα αέρα. Επειδή ο αέρας είναι συμπιεστό ρευστό, με την ανύψωση διαστέλλεται καθώς κινείται σε στρώματα με χαμηλότερη πίεση με αποτέλεσμα, λόγω της διαστολής, να ψύχεται.

## **2.3 Άνεμοι**

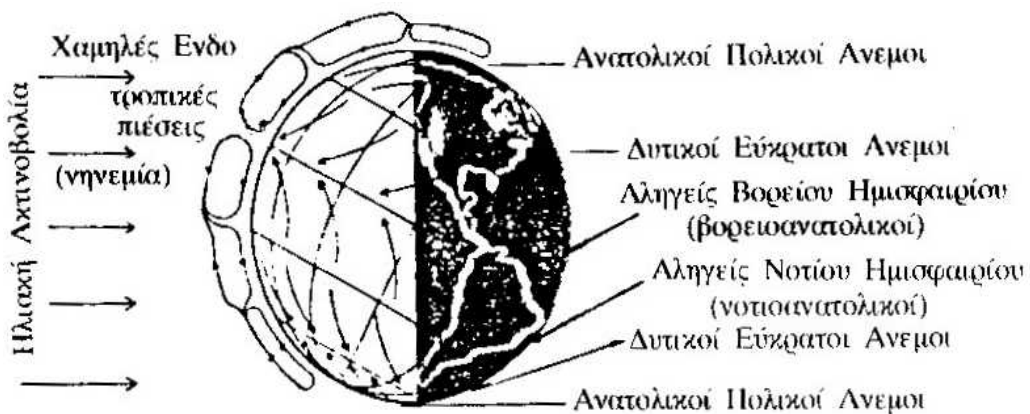
Οι άνεμοι αποτελούν κίνηση αέριας μάζας στην ατμόσφαιρα που κυρίως προκαλείται από την ηλιακή ακτινοβολία. Ειδικότερα είναι αποτέλεσμα των θερμοκρασιακών διαφορών που δημιουργούνται στην Τροπόσφαιρα είτε λόγω γεωγραφικού πλάτους είτε λόγω διαφορετικής θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης. Οι διαφορετικές 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). Στα Σχήματα 2.3 και 2.4 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.



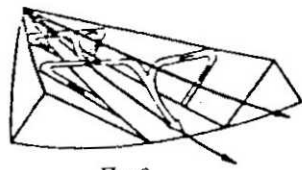
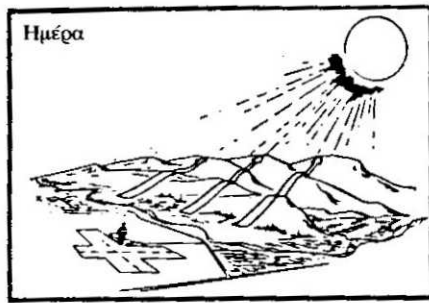
Σχήμα 2.3: Αν δεν υπήρχε η περιστροφή της Γης, το πεδίο θα ήταν σταθερό.



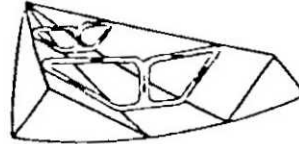
Σχήμα 2.4: Λόγω περιστροφής δημιουργείται μεταβλητό πεδίο τοπικών ανέμων.

Οι άνεμοι που οφείλονται στον δεύτερο παράγοντα χαρακτηρίζονται από μικρή χρονική διάρκεια (ωριαία ή ημερήσια) και παρατηρούνται είτε κοντά σε ορεινούς όγκους, σε κοιλάδες ή σε λεκανοπέδια, είτε σε περιοχές κοντά σε θάλασσα ή λίμνη που υπάρχει διαφορετικός ρυθμός θέρμανσης ή ψύξης του εδάφους και του υδάτινου όγκου.

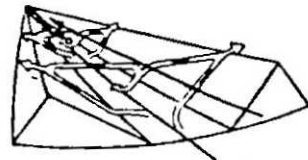
Στα **Σχήματα 2.5** και **2.6** φαίνεται η ημερήσια μεταβολή των ανέμων της κατηγορίας αυτής. Η ένταση των τοπικών ανέμων και τα φαινόμενα που συνδέονται με αυτούς, εντείνονται ή εξασθενούν ανάλογα με τους συνοπτικούς ανέμους της πρώτης κατηγορίας. Στην Ευρώπη, (**Σχήμα 2.7**) οι άνεμοι που πνέουν επηρεάζονται 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.



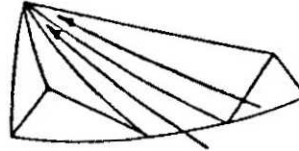
Πρωϊ



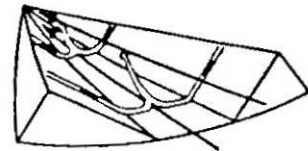
Πριν το μεσημέρι



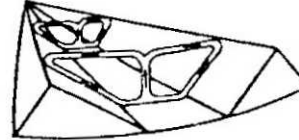
Μεσημέρι και νωρίς το απόγευμα



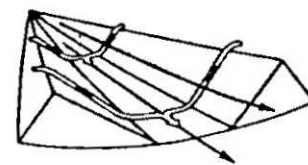
Αργά το απόγευμα



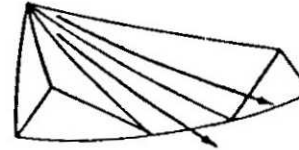
Βράδυ



Νωρίς τη νύχτα

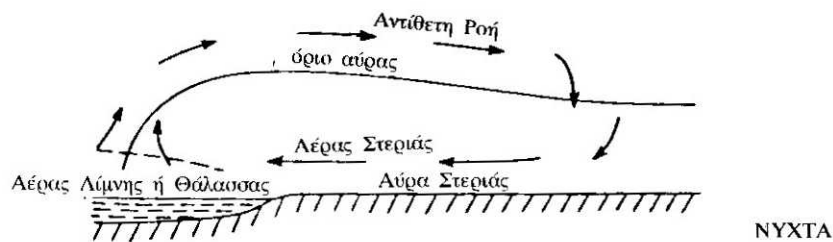
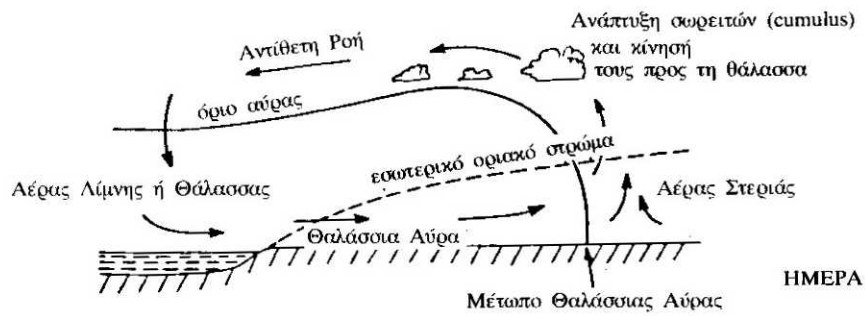
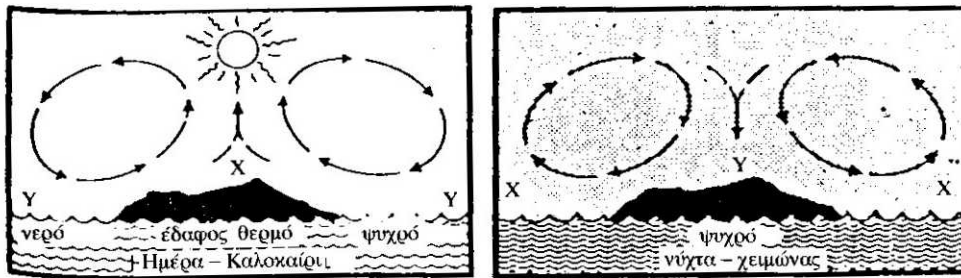


Μεσάνυχτα



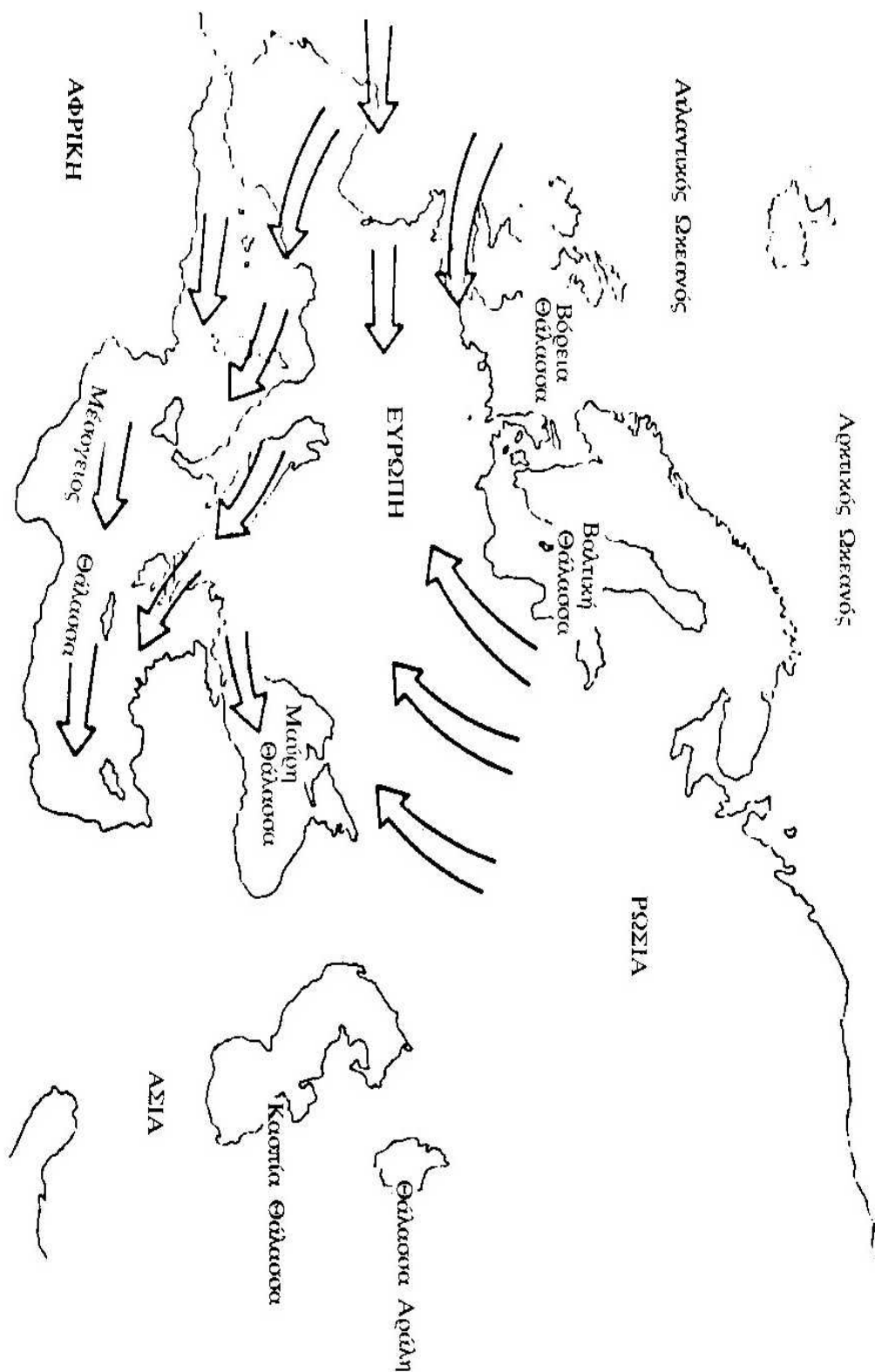
Πριν το πρωϊ

Σχήμα 2.5: Ημερήσια μεταβολή ανέμων βουνών και κοιλάδων



Σχήμα 2.6: Ημερήσια μεταβολή της αύρας λόγω διαφορετικού ρυθμού θέρμανσης – ψύξης του εδάφους και του νερού (θάλασσα ή λίμνη)





Σχήμα 2.7: Οι συνοπτικοί άνεμοι που κατά κύριο λόγο πνέουν στην Ευρώπη

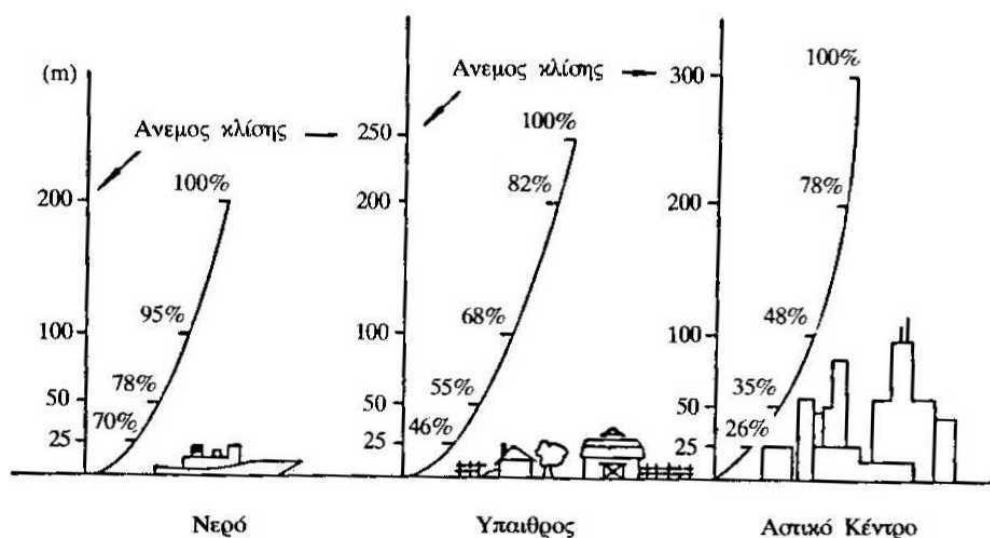
Στον ελλαδικό χώρο, λόγω και της μορφολογίας της Βαλκανικής Χερσονήσου, τη χειμερινή περίοδο επικρατούν τοπικοί Βόρειοι-Βορειοανατολικοί άνεμοι η ένταση των οποίων είναι μέση έως ισχυρή, την άνοιξη γίνονται νοτίων διευθύνσεων, ισχυρής επίσης έντασης, ενώ το καλοκαίρι η ένταση των ανέμων πέφτει με συνέπεια την εμφάνιση πολλών ημερών με νηνεμία. Η ενέργεια που η αέρια μάζα λαμβάνει από τον ήλιο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος, που η διαφοροποίηση στη θέρμανση εδάφους οδηγεί στη δημιουργία κλίσεων πίεσης που μαζί με τις δυνάμεις Coriolis και τις φυγόκεντρες εξισορροπούν τις αδρανειακές δυνάμεις. Από ιστορικούς λόγους έχει επικρατήσει στους μετεωρολόγους η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου στη κλίμακα Beaufort αντί του σωστού σε m/s. Στον Πίνακα 2.1 παρουσιάζεται η αντιστοιχία κλίμακας ταχυτήτων ανέμου σε Beaufort με το διάστημα ταχυτήτων ανέμου, σε m/s, στο οποίο κάθε κλίμακα αντιστοιχεί. Επίσης στον πίνακα παρουσιάζονται και διάφορες ενδείξεις που χαρακτηρίζουν η ταχύτητα σε Beaufort.

Πίνακας 2.1: Μετατροπή της κλίμακας Beaufort ( μπόφορ )

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

## 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 στρώμα αέρα, το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, μέσα στο οποίο η σχετική ταχύτητα μεταβάλλεται από μηδέν πάνω στην επιφάνεια της Γης, μέχρι μεγαλύτερες τιμές. Στο οριακό αυτό στρώμα δεν μπορούν να αγνοηθούν οι δυνάμεις τριβής, όπως η διαστατική ανάλυση δείχνει ότι μπορεί να γίνει για τον αέρα έξω από τη στοιβάδα αυτή. Το ύψος (ή πάχος ή βάθος) του Ατμοσφαιρικού Οριακού Στρώματος (ΑΟΣ), δεν είναι σταθερό ούτε τοπικά ούτε χρονικά. Οι κύριοι παράγοντες από τους οποίους επηρεάζεται η τιμή αυτή είναι η μορφή του στερεού ορίου (τραχύτητα εδάφους), που είναι η επιφάνεια της Γης, (Σχήμα 2.8), και 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 έως 7 m/s, δηλαδή  $U_z = 10 \geq 5$  έως 7 m/s, ο δεύτερος παράγοντας εξαλείφεται και μένει ο προσδιορισμός του ύψους του ΑΟΣ ως συνάρτηση της μορφολογίας της επιφάνειας του εδάφους και πιο συγκεκριμένα της τραχύτητας του.

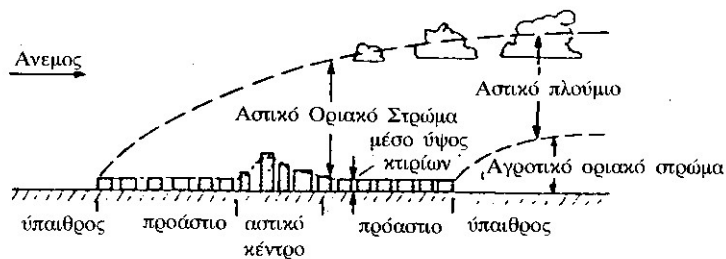
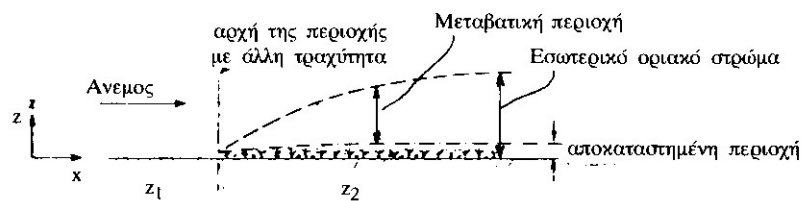
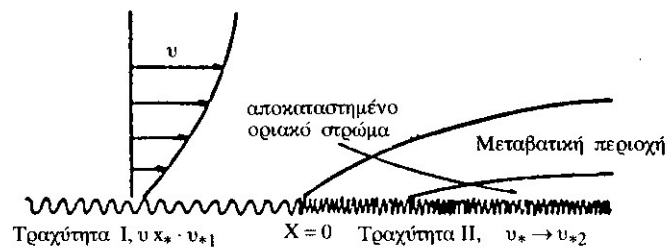
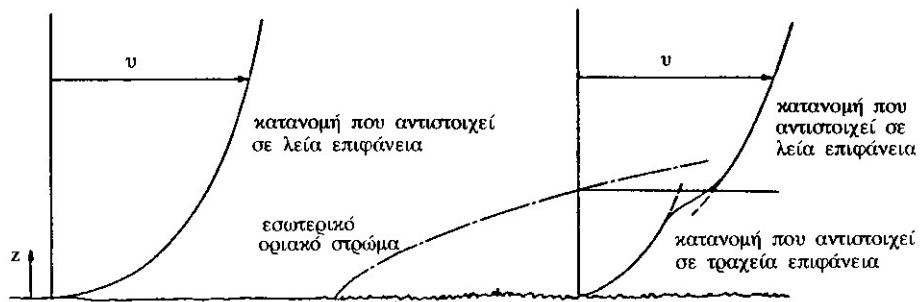


Σχήμα 2.8: Μεταβολή του ύψους του ατμοσφαιρικού στρώματος ανάλογα με την τραχύτητα του εδάφους.

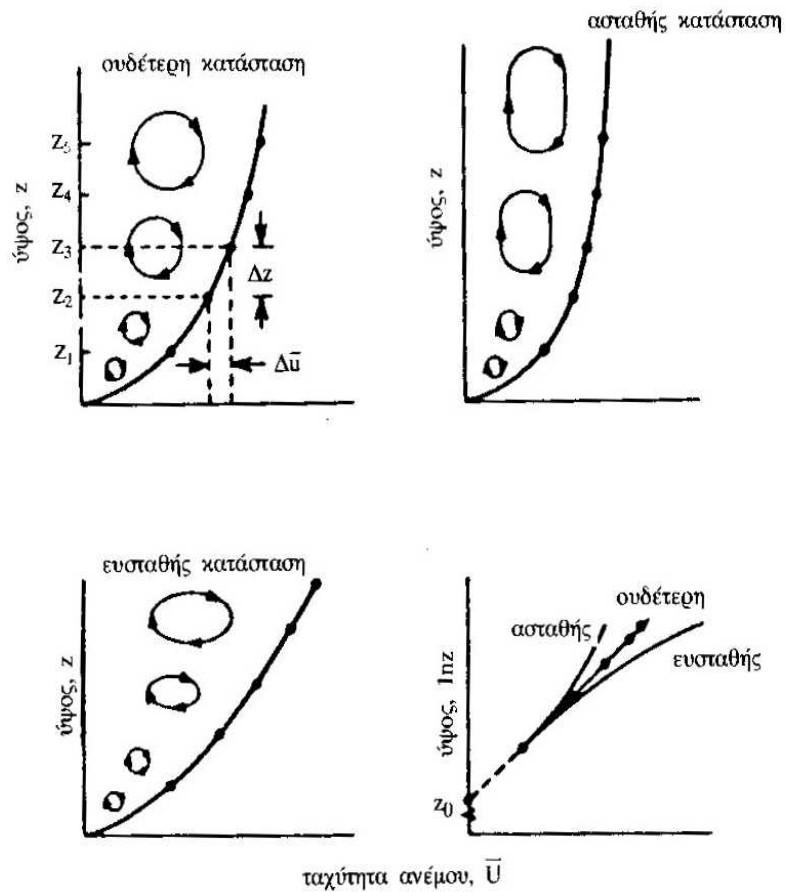
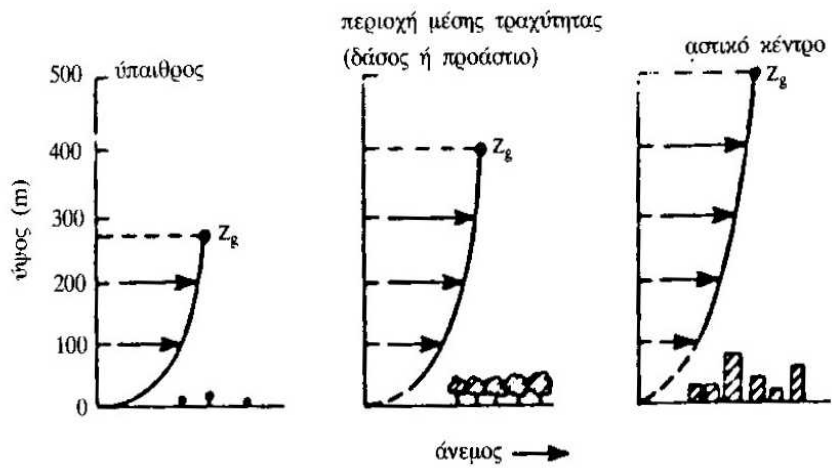
Για ομαλό έδαφος και αδύναμο άνεμο το πάχος του οριακού στρώματος μπορεί να είναι της τάξης των 200 μέτρων ενώ για ανώμαλη επιφάνεια (μεγάλη τραχύτητα) και έντονο άνεμο είναι δυνατό να φθάσει μέχρι 1200 μέτρα. Αντίθετα για πολύ ευσταθή κατάσταση της ατμόσφαιρας το πάχος του ΑΟΣ είναι της τάξης των 30 μέτρων ενώ σε συνθήκες που ευνοούν την έντονη ανάμιξη του αέρα (ανοδικά-καθοδικά ρεύματα) το ύψος του ΑΟΣ φθάνει μέχρι 3 km. Ωστόσο, όμως, οι μετρήσεις που κατά καιρούς έγιναν στη φύση δίνουν διάφορες τιμές ακόμα και για επιφάνειες παρόμοιας τραχύτητας. Η κυριότερη αιτία της ασυμφωνίας αυτής είναι ότι οι περιοχές που έχουν σχετικά μεγάλη έκταση και συγχρόνως παρουσιάζουν ομοιόμορφη τραχύτητα ώστε να αναπτυχθεί πλήρως το ΑΟΣ, περιορίζονται σε ορισμένες μόνο κατηγορίες (έρημος, θάλασσα, πεδιάδες με ομοιόμορφη κάλυψη). Αντίθετα οι περιοχές που ενδιαφέρουν συνήθως (αστικά ή βιομηχανικά κέντρα, παραθαλάσσιες ή παραλίμνιες περιοχές) εκτός του ότι ο αέρας που τις περιβάλλει σπάνια βρίσκεται σε ουδέτερη κατάσταση λόγω της θερμικής ανομοιομορφίας προς κάθε κατεύθυνση, παρουσιάζουν έντονες μεταβολές της τραχύτητας του εδάφους με αποτέλεσμα είτε να μην προλαβαίνει να αναπτυχθεί το ΑΟΣ είτε να δημιουργείται εσωτερικό οριακό στρώμα, (**Σχήμα 2.9**), που τροποποιεί την αρχική μορφή του οριακού στρώματος. Για να υπάρχει μια κοινή αναφορά, χωρίς όμως να περιορίζεται κάποια ευελιξία επιλογής, προτάθηκε από τον Counihan, για το ουδέτερο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα μία μέση τιμή για κάθε μορφή εδάφους ίση με 600 μέτρα.

Μετά τον έστω και τυπικό καθορισμό της τιμής του ύψους του στρώματος αυτού, μένει ο μαθηματικός προσδιορισμός της κατακόρυφης κατανομής των μεγεθών που σχετίζονται με τη ρευστομηχανική δομή του. Εξετάζεται η ουδέτερη ατμοσφαιρική κατάσταση όπου δεν εμφανίζονται θερμοκρασιακές αποκλίσεις από την αδιαβατική θερμοβαθμίδα, κατάσταση που κυρίως ενδιαφέρει για την εκτίμηση του Αιολικού Δυναμικού. Οι αποκλίσεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα, εκτός από τη μεταβολή του ύψους του ΑΟΣ, να επηρεάζουν και η δομή του, (**Σχήμα 2.10**). Επίσης στην ουδέτερη κατάσταση και μέχρι το ύψος του ΑΟΣ η

πυκνότητα του αέρα μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σταθερή καθώς επίσης και η υπόλοιπη φυσική κατάσταση του (π.χ. η υγρασία) και η χημική του σύνθεση.

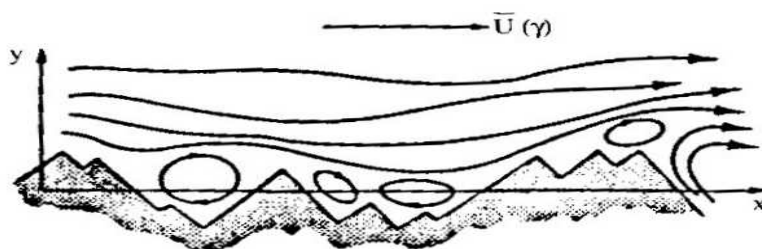


Σχήμα 2.9: Διαταραχές του ΑΟΣ και ανάπτυξη εσωτερικού οριακού στρώματος λόγω μεταβολών της τραχύτητας του στερεού ορίου.



Σχήμα 2.10: Δομή του ΑΟΣ με την επίδραση της τραχύτητας του εδάφους και της ατμοσφαιρικής ευστάθειας ως προς το σχήμα και την μορφή των στροβίλων.

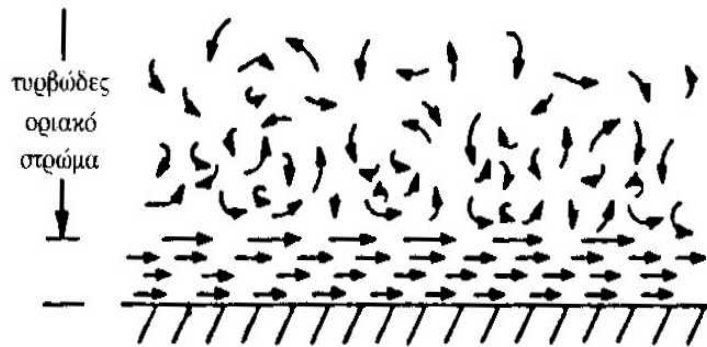
Αρχικά πρέπει να προσδιορισθεί η φύση της ροής και αν όντως είναι ροή οριακού στρώματος. Αναφέρθηκε στην αρχή ότι, καθώς οι αέριες μάζες κινούνται ως προς την επιφάνεια της Γης, δημιουργείται ένα οριακό στρώμα μέσα στο οποίο το διάνυσμα της ταχύτητας του αέρα μεταβάλλεται από μηδέν στην επιφάνεια της Γης, μέχρι την τιμή που μπορεί να χαρακτηριστεί ως ελεύθερη ροή. Η επιβράδυνση της ροής εξαιτίας της επιφάνειας της Γης, (Σχήμα 2.11), δημιουργεί μια ροή που μοιάζει με τη ροή του οριακού στρώματος όταν οι κλίσεις της πίεσης κατά μήκος (διαμήκης κατεύθυνση) της ροής είναι μεγάλες σε σύγκριση με τις κλίσεις που είναι κάθετες στη ροή.



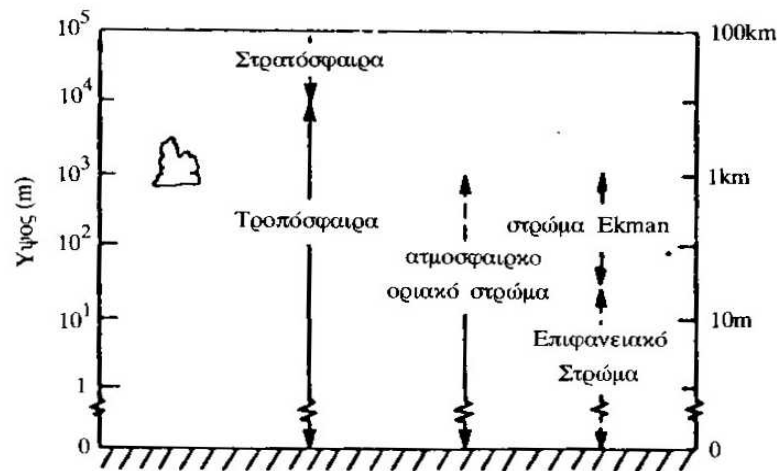
Σχήμα 2.11: Αίτια δημιουργίας του οριακού στρώματος – ροή πάνω από τραχεία επιφάνεια.

Αντίθετα, η ροή που δημιουργείται σε διαστάσεις μικροκλίμακας, λόγω τοπικών μεταβολών της θερμοκρασίας, παρουσιάζει ένα πεδίο ροής με μικρότερη ομοιότητα προς αυτό του οριακού στρώματος. Παραδείγματα όπου η ροή του ανέμου δεν είναι τύπου οριακού στρώματος συναντώνται στις αποκολλημένες περιοχές στα υπήνεμα λόφων ή βουνών, στις καταιγίδες και στους κυκλώνες. Ωστόσο, τις περισσότερες φορές και ειδικότερα στην Ευρώπη, μέχρι ύψους 1.000 μέτρων τουλάχιστον, η ροή είναι τύπου οριακού στρώματος επιτρέποντας έτσι να μιλάμε σχεδόν πάντα για ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα (ΑΟΣ). Μέσα στο στρώμα αυτό 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 2.12α). Ο αέρας που το αποτελεί προσκολλάται σε όλες τις επιφάνειες του στερεού ορίου. Το δεύτερο στρώμα πάνω από το οριακό υπόστρωμα, είναι **τυρβώδες** και η τύρβη που παράγεται

οφείλεται σε μηχανικά αίτια (χαρακτηριστικό της ουδέτερης κατάστασης της ατμόσφαιρας) παρά σε θερμικά. Στην περίπτωση αυτή είναι χρήσιμο το **τυρβώδες οριακό στρώμα** να χωρίζεται σε δύο υποστρώματα, το **επιφανειακό στρώμα** και το **στρώμα Ekman**.



Σχήμα 2.12α: Στρωτή και τυρβώδες κίνηση του αέρα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους

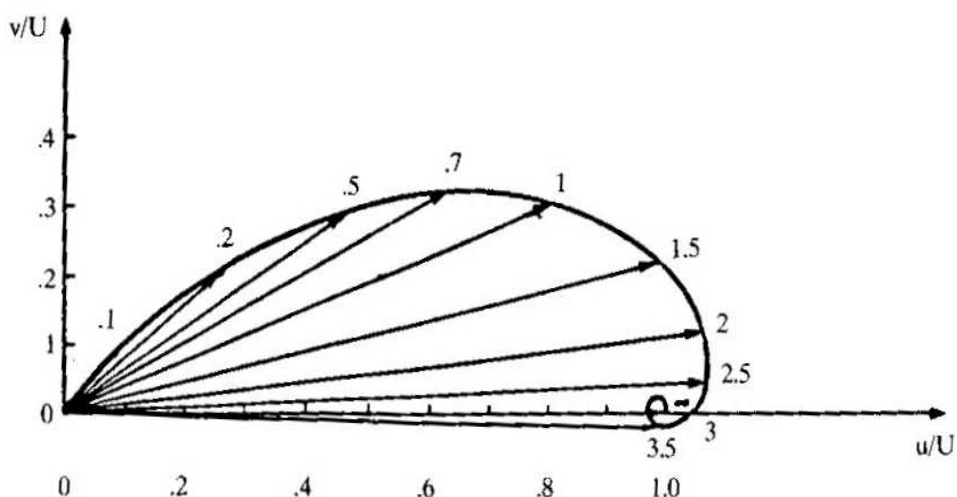


Σχήμα 2.12β: Διάκριση των στρωμάτων του ατμοσφαιρικού αέρα κοντά στο έδαφος.

Το επιφανειακό τυρβώδες στρώμα, (Σχήμα 2.12β), χαρακτηρίζεται από έντονη, μικρής κλίμακας, τύρβη που δημιουργείται κατά κύριο λόγο από την επιφανειακή τραχύτητα και κατά δεύτερο λόγο από την μεταφορά θερμότητας λόγω ρευμάτων, ενώ η διανομή της ταχύτητας είναι τέτοια ώστε η οριζόντια διατμητική τάση να είναι σχεδόν σταθερή ανεξάρτητη από το ύψος. Το πάχος του



επιφανειακού στρώματος κατά τη διάρκεια της ημέρας φθάνει μέχρι 100 μέτρα ενώ τη νύχτα, που το πάχος ολόκληρου του ΑΟΣ ελαττώνεται, το πάχος αυτό γίνεται μόνο μερικά μέτρα. Το στρώμα Ekman που εκτείνεται από την κορυφή τον επιφανειακού στρώματος μέχρι το ύψος του ΑΟΣ, είναι ένα στρώμα στο οποίο υπάρχει ισορροπία μεταξύ της δύναμης Coriolis, της δύναμης λόγω κλίσης της πίεσης και των διατμητικών τάσεων. Κύριο χαρακτηριστικό του στρώματος Ekman είναι η στροφή, καθώς αυξάνει το ύψος, του διανύσματος της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας του ανέμου γύρω από κατακόρυφο άξονα, με τρόπο ώστε, με προβολή των διανυσμάτων σε οριζόντιο επίπεδο, τα άκρα τους να βρίσκονται σε μια σπείρα, τη σπείρα Ekman, (Σχήμα 2.13).



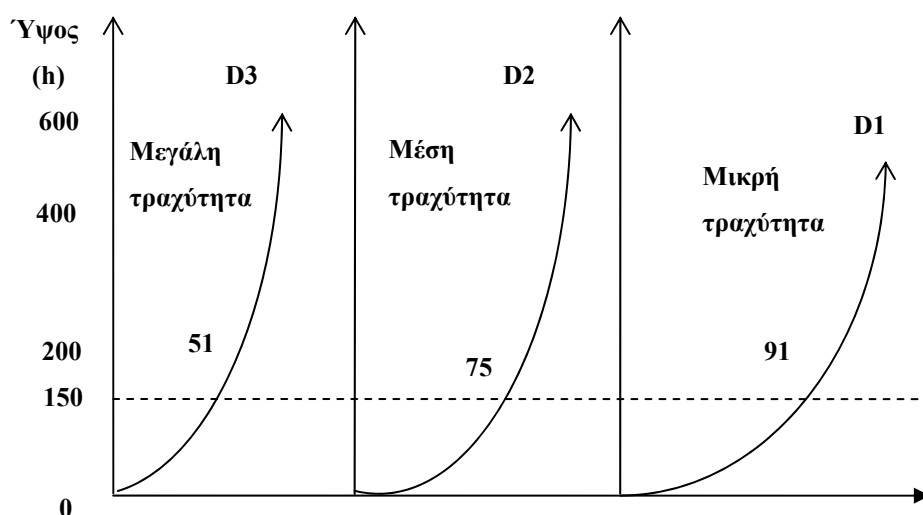
Σχήμα 2.13: Η σπείρα του Ekman του διανύσματος της ταχύτητας. Ο λόγος του ύψους  $z$  προς το ύψος του στρώματος Ekman  $\delta E$  ( $z/\delta E$ ), που αντιστοιχεί σε κάθε διάνυσμα, σημειώνεται επάνω στην σπείρα.

Αυτό οφείλεται στο ότι κάθε στρώμα του ρευστού επιβραδύνεται λόγω τριβής από το στρώμα που βρίσκεται από κάτω και σαν αντίδραση η ταχύτητα του επάνω στρώματος, λόγω της περιστροφής της Γης, στρέφεται προς τα δεξιά της τάσης που εφαρμόζεται. Καθώς η τάση μεταβιβάζεται από το ένα στρώμα στο άλλο, το διάνυσμα στρέφεται σταδιακά. Έτσι όσο προσεγγίζεται το έδαφος το διάνυσμα της ταχύτητας στρέφεται προς τα αριστερά του διανύσματος της ταχύτητας που επικρατεί σε ύψος 1 Km για το Βόρειο Ημισφαίριο της Γης και δεξιά για το Νότιο. Η ταχύτητα αυτή καλείται **γεωστροφική**. Το ιδανικό στρώμα Ekman που καλύπτει όλο το πάχος του ΑΟΣ παρατηρείται σπάνια λόγω του ότι ο

συντελεστής τυρβώδους συνεκτικότητας  $\mu_t$  (eddy viscosity coefficient) που επηρεάζει τις δύο συνιστώσες της οριζόντιας ταχύτητας ( $U, V$ )  $U/U_{ολ}$  και  $V/U_{ολ}$  της σπείρας, μεταβάλλεται συνεχώς και πολύ γρήγορα με το ύψος κοντά στο έδαφος. Με άλλα λόγια η μαθηματική έκφραση του στρώματος Ekman ισχύει μόνο επάνω από το επιφανειακό στρώμα.

## 2.5 Μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος

Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το ύψος. Στο (σχήμα 2.14) φαίνεται η μεταβολή της ταχύτητας του ανέμου σε συνάρτηση με το ύψος και την τραχύτητα του εδάφους.



Σχήμα 2.14: Μεταβολή της ταχύτητας του αέρα (%) σε συνάρτηση με το ύψος και την τραχύτητα του εδάφους

Το ύψος στο οποίο η ταχύτητα του ανέμου είναι το 99.8% της ταχύτητας στο άπειρο λέγεται πάχος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος. (Το άπειρο ορίζεται σε περιπτώσεις καμπύλου εδάφους, βουνών κλπ. σε σχέση με την μη ιξώδη στρωτή ροή που θα αναπτυσσόταν). Ο **G. Hellman** στις αρχές του αιώνα πρότεινε την παρακάτω σχέση για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου:

$$u_h = 10^{-3} u_{10} [233,7 + 656 \log (h+4,75)]$$

όπου,

$u_h$  : η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $h$  (m/sec)

$h$  : το ύψος (m)

$u_{10}$  : η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $h = 10\text{m}$  (m/sec)

Σύμφωνα όμως με νεότερες έρευνες έχει βρεθεί ότι για ύψη κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται σύμφωνα με την σχέση:

$$V_h = \left( \frac{U^*}{k} \right) \left[ \ln \left( \frac{h}{z_o} \right) - \phi \left( \frac{h}{k} \right) \right]$$

όπου,

$V(h)$  : η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας του ανέμου σε ύψος  $h$

$U^*$  : ποσότητα που σχετίζεται με την της αντίσταση της επιφάνειας του εδάφους ( friction velocity ) (m/sec)

$k$  : μια σταθερά (=0,4).

$\phi(h/k)$  : εμπειρική σταθερά που περιγράφει τη σταθερότητα της ατμόσφαιρας

$z_o$  : συντελεστής που εκφράζει την τραχύτητα του εδάφους (m).

Στην πράξη δεχόμαστε  $\phi(h/k) = 0$ , αφού αν η μεταβολή της θερμοκρασίας είναι μικρότερη από  $1^\circ\text{C}$  ανά  $100\text{ m}$ , τότε  $\phi(h/k) \rightarrow 0$ . Τότε ο παραπάνω τύπος γίνεται:

$$V_h = \left( \frac{U^*}{k} \right) \ln \left( \frac{h}{z_o} \right)$$

με την βοήθεια της οποίας για δύο ύψη  $h_1$  και  $h_2$  γίνεται:

$$\frac{u(h_2)}{u(h_1)} = \frac{\ln \left( \frac{h_2}{z_o} \right)}{\ln \left( \frac{h_1}{z_o} \right)}$$

(Σημείωση: Ο πιο πάνω τύπος ισχύει για ύψη μέχρι 60m από το έδαφος για τα Ελληνικά νησιά  $Z_0=0,3m$ )

Μια άλλη σχέση της ταχύτητας του ανέμου σχετικά με το ύψος είναι η:

$$\frac{u_{h_2}}{u_{h_1}} = \left( \frac{h_1}{h_2} \right)^a$$

όπου,

$u_{h_1}$  : η ζητούμενη ταχύτητα του ανέμου σε ύψος  $h_1$  (m/sec)

$u_{h_2}$  : η ταχύτητα του ανέμου στο ύψος αναφοράς  $h_2$  (m/sec)

$h_2$  : Συνήθως 10m.

$a$  : εκθέτης που εξαρτάται από την φύση του εδάφους της τοποθεσίας μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου.

Συνήθως είναι  $\frac{1}{7} \leq a \leq \frac{1}{4}$

Στον Πίνακα 2.2 δίνονται διάφορες τιμές του **συντελεστή (α)** για τις αντίστοιχες **τραχύτητες του εδάφους**.

Πίνακας 2.2: Τιμές του συντελεστή (α) σε σχέση με τις τραχύτητες του εδάφους

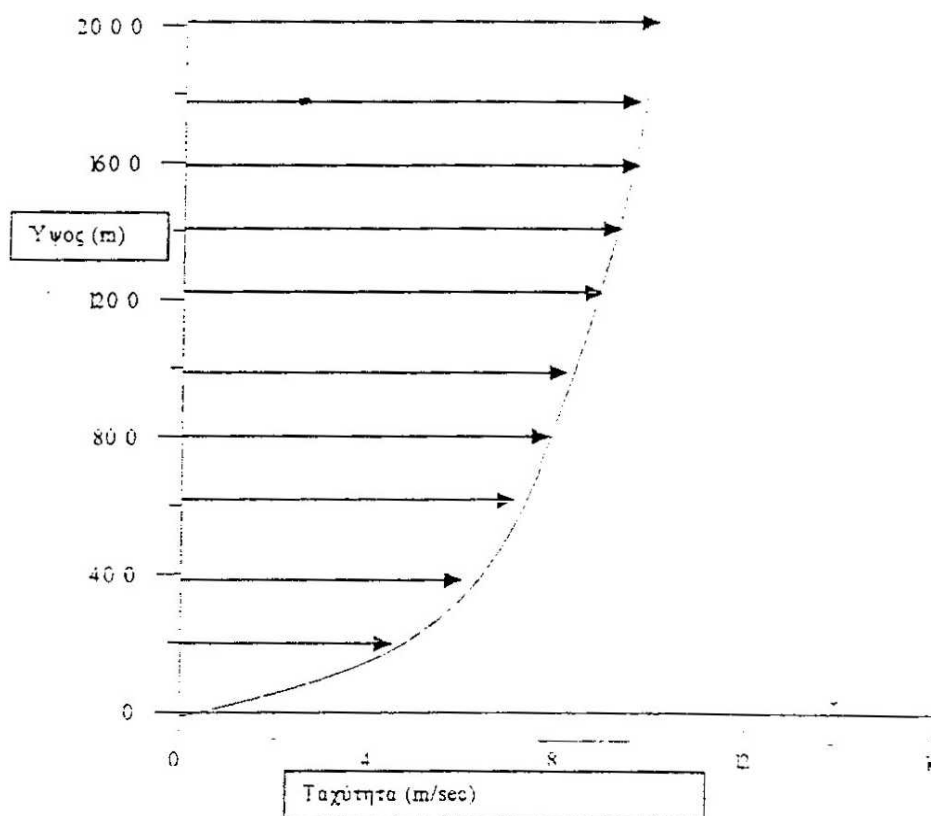
| Μορφή εδάφους     | Τραχύτητα | Συντελεστής (α) |
|-------------------|-----------|-----------------|
| Πεδινό            | 0-20      | 0.08-0.12       |
| Μικρές ανωμαλίες  | 20-200    | 0.13-0.16       |
| Δασώδες           | 1000-1500 | 0.20-0.23       |
| Μεγάλες ανωμαλίες | 1500-4000 | 0.25-0.40       |

Στην πράξη παίρνουμε:

1. Για ελεύθερα πεδία ροής του αέρα, όπως είναι οι περιοχές των θαλασσών και αεροδρομίων:  $\alpha = 0,17$ .
2. Για περιοχές μικρών πόλεων με μικρές κατασκευές:  $\alpha = 0,20$ .

3. Για πυκνοκατοικημένες πόλεις μεγάλων κτηρίων:  $\alpha = 0,25$ .

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια τυπική καμπύλη μεταβολής της ταχύτητας του αέρα σε συνάρτηση με το ύψος.



Σχήμα 2.15: Καμπύλη μεταβολής της ταχύτητας του αέρα σε συνάρτηση με το ύψος.

## 2.6 Χρονικές μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου

Για τις ανάγκες υπολογισμού του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής δεν επαρκεί η γνώση της μέσης ταχύτητας του ανέμου της περιοχής, αλλά μας χρειάζονται αναλυτικές πληροφορίες και για την κατανομή της πιθανότητας εμφάνισης των διαφόρων τιμών ταχύτητας του ανέμου μέσα στο χρόνο, με έμφαση στην καταγραφή των διαστημάτων νηνεμίας καθώς και των διαστημάτων εμφάνισης πολύ ισχυρών ανέμων.

Για το σκοπό αυτό και πριν να πάρουμε την τελική απόφαση για την εγκατάσταση μιας ανεμογεννήτριας σε μια περιοχή είναι απαραίτητο να συγκεντρώσουμε τα διαθέσιμα ανεμολογικά στοιχεία της περιοχής, να

επεξεργαστούμε στατιστικά και να δημιουργήσουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα πυκνότητας πιθανότητας και διάρκειας των ανέμων. Επιπλέον είναι απαραίτητος ο εντοπισμός της συχνότητας και της διάρκειας των περιόδων χαμηλών ταχυτήτων και άπνοιας (δηλ. " $V \leq V_c$ ") οπότε και η ανεμογεννήτρια βρίσκεται εκτός λειτουργίας. Στις χρονικές αυτές περιόδους πρέπει να αναζητήσουμε άλλες πηγές ενέργειας, γεγονός που επηρεάζει ταυτόχρονα και την επιλογή και καταπόνηση των συσσωρευτών αποθήκευσης ενέργειας.

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

Οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες **αναλυτικές διανομές** πιθανότητας είναι η **διανομή "Weibull"** και η **διανομή "Rayleigh"**. Η διανομή που προτάθηκε από τον Weibull περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100 μέτρα από το έδαφος. Η εν λόγω διανομή προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας 'V' βάσει **δύο μόνο παραμέτρων**, την παράμετρο 'C' (σε m/s) και την παράμετρο 'k' (καθαρός αριθμός). Τέλος είναι πολύ σημαντικό να είναι γνωστές οι κύριες διευθύνσεις που πνέουν οι άνεμοι γιατί βάση αυτών γίνεται ο προσανατολισμός των ανεμογεννητριών. Οι συχνές και απότομες μεταβολές της διεύθυνσης μειώνουν την απόδοση των ανεμογεννητριών, γιατί δεν είναι δυνατή η ακαριαία προσαρμογή τους στις νέες διευθύνσεις.



Εικόνα:2 Αιολικό Πάρκο

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

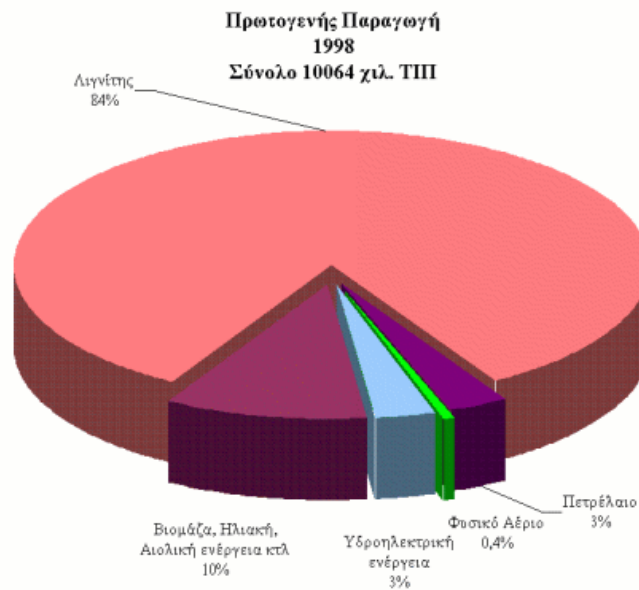
### ΕΠΙΛΟΓΗ ΘΕΣΗΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ Α/Κ

#### 3.1 Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες η ηλεκτροπαραγωγή στην Ελλάδα στηρίζεται σε σημαντικό ποσοστό σε λιγνιτικές μονάδες και σε μικρότερο ποσοστό σε πετρελαϊκές, ενώ τα τελευταία χρόνια ξεκίνησε η παραγωγή από μονάδες φυσικού αερίου. Αυτό όμως συμβαίνει για το Διασυνδεδεμένο Σύστημα Παραγωγής της Ηπειρωτικής Χώρας. Όσον αφορά όμως τα ανεξάρτητα συστήματα παραγωγής της Κρήτης, της Ρόδου και των υπόλοιπων νησιών, γίνεται σε ποσοστό 90% από πετρελαϊκούς σταθμούς και μερικά αιολικά πάρκα που είναι εγκατεστημένα κυρίως στην Κρήτη. Η πετρελαϊκή κρίση όμως που ξέσπασε το 2005, επανάφερε επιτακτικά το πρόβλημα της προώθησης των Α.Π.Ε, όχι μόνο στην Ελλάδα, αλλά και παγκοσμίως. Εκτός αυτού η ανάγκη της χώρας για απεξάρτηση από εισαγόμενα καύσιμα, το θέμα της εξαντλισιμότητας των φυσικών πόρων (μείωση των αποθεμάτων) και κυρίως η ανάγκη για την προστασία του περιβάλλοντος, επιβάλλει σήμερα περισσότερο από ποτέ, την εντατική αξιοποίηση αρχικά του αξιόλογου αιολικού δυναμικού που διαθέτει η Ελλάδα και στην συνέχεια του ηλιακού με την μορφή Φ-Β πάρκων, με δεδομένη την πτώση του κόστους κατασκευής τους.

Ειδικά το σύστημα παραγωγής της Κρήτης, με εγκατεστημένη ισχύ περίπου 700 MW αποτελείται κυρίως από τους πετρελαϊκούς σταθμούς των Λινοπεραμάτων στο Ηράκλειο ισχύος περίπου 250 MW, τη Ξυλοκαμάρας Χανίων ισχύος περίπου 300 MW, Αθερινόλακου Σητείας ισχύος προς το παρόν 100 MW, ενώ μέχρι το 2004 είχαμε και 80 MW περίπου από Αιολικά Πάρκα και 600 KW από μικρά υδροηλεκτρικά. Η συμμετοχή των διαφόρων πηγών ενέργειας στην ενεργειακή παραγωγή της Δ.Ε.Η στην Ελλάδα για την χρονιά του 1998 έχει ως εξής σύμφωνα με το **σχήμα 3.1**.





**Σχήμα 3.1: Πρωτογενής παραγωγή 1998**

Η βιομηχανία της αιολικής ενέργειας βρίσκεται σε άνθιση τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα, καθώς η ελληνική αλλά και η διεθνής κοινότητα έρχεται αντιμέτωπη με την κλιματική αλλαγή, συνέπεια της καύσης ορυκτών καυσίμων.

*Ποιες όμως είναι οι μελέτες για την δημιουργία ενός αιολικού πάρκου και με ποια κριτήρια γίνεται η επιλογή θέσης εγκατάστασης των ανεμοκινητήρων ;*

### **3.2 Επιλογή θέσης εγκατάστασης Α/Κ**

Η επιλογή θέσης εγκατάστασης ανεμογεννήτριας παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα με την επιλογή θέσης εγκατάστασης οποιουδήποτε συστήματος παραγωγής ενέργειας, διαφέρει όμως σε ένα βασικό σημείο: δεν είναι δυνατό να προσδιορισθεί η καθαρή παραγωγή ενέργειας ή το κατά προσέγγιση κόστος αυτής αν δεν είναι γνωστή η ακριβή θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας.

Η ένταση του ανέμου και οι διακυμάνσεις στο μέτρο και τη διεύθυνση του, είναι οι βασικές παράμετροι για την επιλογή της θέσης ανεμογεννήτριας όχι όμως και οι μοναδικές. Οι ανεμογεννήτριες πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες ιδιότητες:

1. Η παραγωγή ενέργειας να είναι **συμφέρουσα οικονομικά** (το κόστος της παραγόμενης KWh να είναι μικρό).
2. Η εγκατάσταση να μην έχει **αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον**.
3. Η λειτουργία της ανεμογεννήτριας να είναι **συμβατή με την λειτουργία του ηλεκτρικού δικτύου, για διασύνδεση**.
4. Να έχουν ληφθεί υπόψιν κατά το σχεδιασμό της ανεμογεννήτριας οι **πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες** της συγκεκριμένης θέσης (παγετοί και ισχυροί άνεμοι).
5. Η επιλεγμένη θέση να **πληρεί τις αποστάσεις από τις κοντινές κοινότητες και τα αεροδρόμια**.
6. Η επιλογή 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 έλεγχος της περιοχής αυτής επιλέγονται οι θέσεις που ικανοποιούν τις παραπάνω παραμέτρους.

### **3.3 Παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή τοποθεσίας ανεμοκινητήρα**

Το να προσδιορίσουμε μια τοποθεσία στην οποία υπάρχει υψηλό αιολικό δυναμικό δεν σημαίνει ότι βρήκαμε και τη βέλτιστη θέση για την εγκατάσταση της ανεμογεννήτριας. Υπάρχουν κάποιες παράμετροι που πρέπει να λάβει υπόψιν του ο μηχανικός προκειμένου να καταλήξει στην οριστική θέση εγκατάστασης της ανεμογεννήτριας. Αυτές είναι:

- **Οικονομική αξία** : Ο σημαντικότερος στόχος μιας ανεμογεννήτριας είναι να μειώσει το κόστος της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, για αυτό η οικονομική βιωσιμότητα είναι η πρωταρχική ιδιότητα για την αποδοχή μιας θέσης. Επειδή όμως το κόστος της παραγόμενης ενέργειας ποικίλλει ανάλογα με την ώρα της ημέρας και την εποχή του έτους, χρειαζόμαστε πληροφορίες για το μέγεθος και τις διακυμάνσεις του ανέμου μέσα σε ένα τουλάχιστον έτος. Το κόστος εγκατάστασης των ανεμογεννητριών μπορεί να μειωθεί

αισθητά αν η εγκατάσταση γίνει κοντά σε υπάρχοντες δρόμους και υποσταθμούς Υ/Τ.

- **Επιδράσεις στο περιβάλλον:** Οι επιδράσεις των ανεμογεννητριών στο περιβάλλον είναι πολύ μικρές, ωστόσο σε ορισμένες μεμονωμένες περιπτώσεις μπορεί η ανεμογεννήτρια να έχει αρνητικές επιδράσεις στο περιβάλλον οι οποίες είναι:

**1) Οπτικοαισθητική επίδραση:** Η εγκατάσταση μιας τεράστιας ανεμογεννήτριας σε μια όχι και τόσο ανοικτή περιοχή δημιουργεί άσχημη οπτική εντύπωση.

**2) Επιδράσεις στα πουλιά:** Καλό είναι να αποφεύγεται η εγκατάσταση ανεμογεννήτριας σε μέρη που είναι νυκτερινά περάσματα αποδημητικών πουλιών.

**3) Ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση:** Το πρόβλημα της ηλεκτρομαγνητικής αλληλεπίδρασης δημιουργείται από την ανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων πάνω στα περιστρεφόμενα πτερύγια της πτερωτής. Στις Η.Π.Α έχουν λάβει ευρεία δημοσιότητα τα τελευταία χρόνια οι παρεμβολές στις τηλεοπτικές μεταδόσεις.

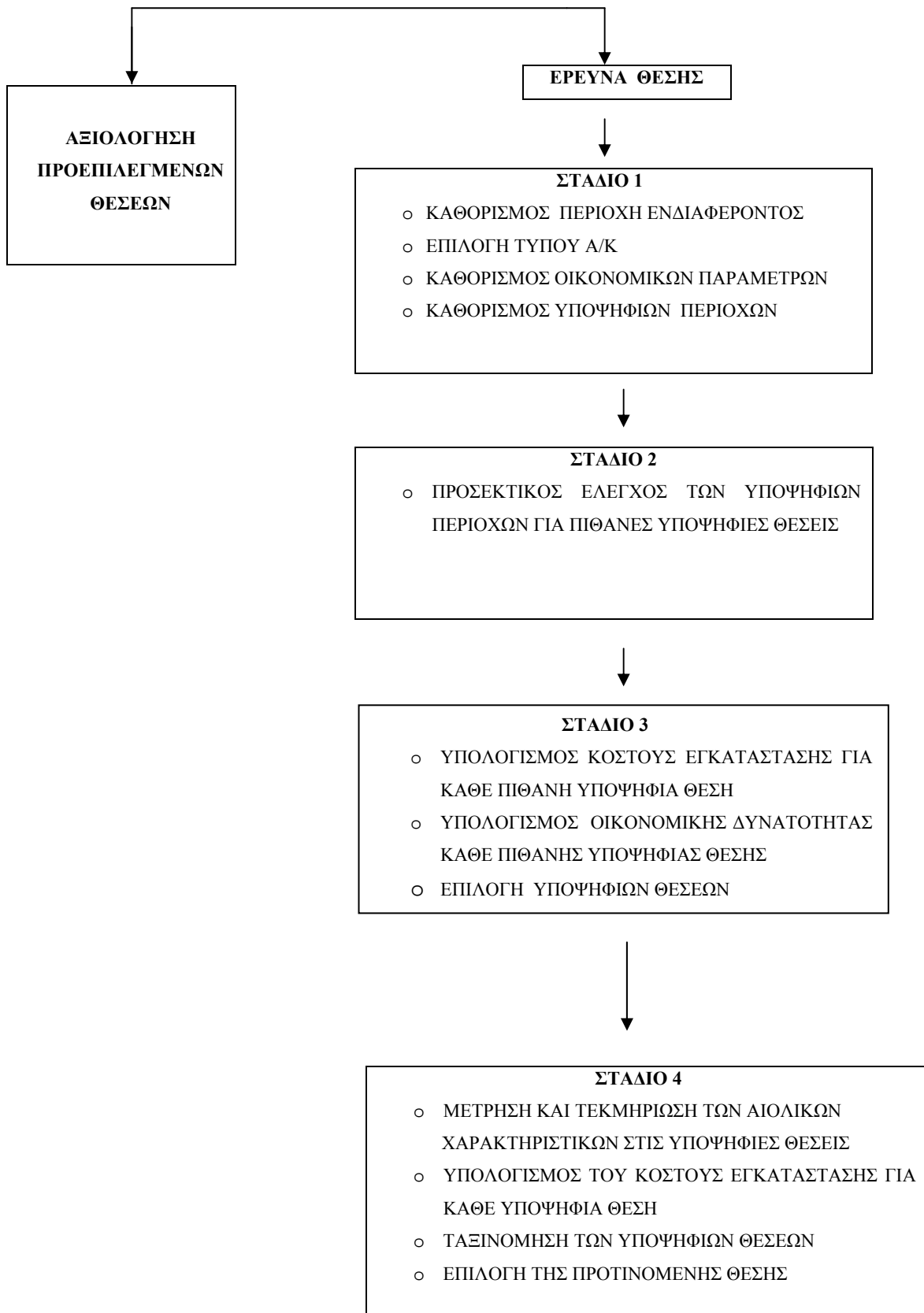
**4) Μετεωρολογικά προβλήματα:** Κατά την επιλογή θέσεων για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών πρέπει να ληφθούν υπόψιν πιθανές ακραίες μετεωρολογικές συνθήκες οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στην κατασκευή.

**5) Αποδοχή από τη πλευρά του κοινού:** Η επιτυχής επιλογή μιας τοποθεσίας για την εγκατάσταση ανεμογεννήτριας εξαρτάται από την αποδοχή της από την κοινή γνώμη. Το κοινό πρέπει να νοιώσει ότι τα έργα υποδομής που θα γίνουν για την εγκατάσταση δεν θα αλλοιώσουν το τοπίο. Η στάση του κοινού επηρεάζεται τόσο από τις αντιλήψεις του για τις ανεμογεννήτριες γενικά, όσο και από τις αντιλήψεις του για τα οικονομικά οφέλη που θα προκύψουν από την εγκατάσταση ανεμογεννήτριας στην συγκεκριμένη θέση.

**6) Παραγόμενος θόρυβος σε γειτονικές περιοχές:** Γενικά ο θόρυβος που παράγεται στις Α/Γ μπορεί να είναι **μηχανικός** ή **αεροδυναμικός**. Ο **μηχανικός θόρυβος** προκαλείται κυρίως από το κιβώτιο ταχυτήτων και λιγότερο από τις κινήσεις της ατράκτου. Μπορεί εύκολα να μειωθεί με σωστό σχεδιασμό, μόνωση και καλή συντήρηση. Ο **αεροδυναμικός θόρυβος** αυξάνεται με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής, γι' αυτό το λόγο κάποιες μηχανές σχεδιάζονται να λειτουργούν με μικρές ταχύτητες περιστροφής σε χαμηλές ταχύτητες του ανέμου. Γενικά η ακουστική όχληση είναι περισσότερο εμφανής σε μικρές ταχύτητες ανέμου ή σε πολύ στρωτή ροή ανέμου, καθώς σε καταστάσεις έντονου ανέμου ο θόρυβος του ανέμου καλύπτει το θόρυβο της μηχανής. Οι κατασκευάστριες εταιρίες είναι υποχρεωμένες να διενεργούν μετρήσεις του θορύβου που προκαλούν οι μηχανές. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων αυτών χρησιμοποιούνται ώστε τη τοποθέτηση των Α/Γ να μη προκαλεί ηχορύπανση σε κατοικημένες περιοχές.

### **3.4 Περιγραφή της διαδικασίας επιλογής θέσης για την εγκατάσταση Α/Κ**

Ο σκοπός της διαδικασίας αυτής είναι να προσδιοριστούν θέσεις που έχουν την μέγιστη πιθανότητα να είναι οικονομικά βιώσιμες και αποδεκτές από το κοινό. Η διαδικασία αυτή ακολουθείται όταν πρόκειται να επιλέξουμε τη θέση για την εγκατάσταση είτε μιας ανεμογεννήτριας είτε πολλών ανεμογεννητριών. Η διαδικασία διαιρείται σε τέσσερα στάδια όπως φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα:



Σχήμα 3.2: Διαδικασία επιλογής θέσης εγκατάστασης Α/Κ

Στο **στάδιο 1**, εφαρμόζεται μια διαδικασία έρευνας μέσα στην περιοχή ενδιαφέροντος, προκειμένου να καθοριστούν οι Υποψήφιες περιοχές που παρουσιάζουν υψηλό αιολικό δυναμικό. Η περιοχή ενδιαφέροντος μπορεί να περιλαμβάνει ολόκληρη ή τμήμα της περιοχής που πρόκειται να τροφοδοτεί η ανεμογεννήτρια, καθώς επίσης και γειτονικές περιοχές. Αυτή η παραμένουσα περιοχή υποδιαιρείται σε υποψήφιες περιοχές. Κάθε Υποψήφια περιοχή πληρεί τις ακόλουθες ιδιότητες:

- 1) Επαρκές αιολικό δυναμικό για δυνατή οικονομική βιωσιμότητα.
- 2) Σταθερούς ανέμους σε καλά εκτεθειμένες θέσεις (ανοικτές θέσεις, αυχένες, όχι δένδρα κ.λ.π)
- 3) Ομογενή τοπογραφικά χαρακτηριστικά.
- 4) Προσιτό μέγεθος.

Στο **στάδιο 2** γίνεται έλεγχος στις Υποψήφιες Περιοχές, για Πιθανές Υποψήφιες θέσεις. Διακρίνουμε **δύο τρόπους ελέγχου**:

#### **Τρόπος Α :**

- α) Προσδιορίζουμε τις καλύτερες αιολικές ζώνες μέσα στην Υποψήφια Περιοχή.
- β) Ερευνούμε αυτές τις ζώνες χρησιμοποιώντας μη μετεωρολογικές παραμέτρους και
- γ) Επιλέγουμε τις Πιθανές Υποψήφιες θέσεις.

#### **Τρόπος Β :**

- α) Ερευνούμε την Υποψήφια Περιοχή χρησιμοποιώντας μη μετεωρολογικά κριτήρια.
- β) Προσδιορίζουμε τις τοποθεσίες με τα υψηλότερα αιολικά δυναμικά και
- γ) 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 σε όλη την Υποψήφια Περιοχή, και οι **μη μετεωρολογικοί παράγοντες** (όπως περιορισμοί στη χρησιμοποίηση της γης) είναι οι πιο σημαντικοί ώστε να μας καθοδηγούν σε οικονομικά βιώσιμες θέσεις.

**Στο στάδιο 3** γίνεται ταξινόμηση των Πιθανών Υποψήφιων Θέσεων που προσδιορίστηκαν **στο στάδιο 2** και επιλέγεται ένας μικρότερος αριθμός Υποψήφιων θέσεων για περισσότερη ανάλυση. Συγκεντρώνονται επαρκή δεδομένα προκειμένου να γίνουν χονδρικοί υπολογισμοί του κόστους για έργα υποδομής, εγκατάστασης και συντήρησης των μηχανών. Αφού καθοριστούν οι περισσότερο βιώσιμες οικονομικά θέσεις, εξετάζονται τα πιθανά μετεωρολογικά προβλήματα και άλλοι μη μετεωρολογικοί παράγοντες (όπως η αποδοχή του κοινού) που μπορούν να επηρεάσουν την καταλληλότητα των Υποψήφιων Θέσεων. Οι πιο αποδεκτές από τις οικονομικά βιώσιμες θέσεις διαλέγονται σαν Υποψήφιες Θέσεις.

**Το στάδιο 4** απαιτεί πιο ακριβείς μελέτες για την οικονομική δυνατότητα κάθε Υποψήφιας Θέσης, καθώς η ανάλυση που έγινε **στο στάδιο 3** 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, εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης ανεμογεννήτριας υπολογίζεται χονδρικά. Οι αναλύσεις όμως κατά **το στάδιο 4** σκοπεύουν σε μεγαλύτερη ακρίβεια και δίνουν μια πιο σωστή εικόνα όσον αφορά την οικονομική αξία ανεμογεννητριών σε κάθε Υποψήφια Θέση. Τα δεδομένα αυτά πρέπει να είναι ακριβή για να προβλέψουμε τη συμπεριφορά των ανεμογεννητριών καθόλη τη διάρκεια ζωής τους και την επίδραση τους στο κόστος της μελλοντικής ενεργειακής παραγωγής

Τα δυο πρώτα στάδια της διαδικασίας επιλογής θέσης ολοκληρώνονται πολύ γρήγορα, αφού στηρίζονται σε υπάρχοντα δεδομένα. Τα δυο αυτά στάδια δεν διαρκούν περισσότερο από λίγες εβδομάδες. Μετά το τέλος του δεύτερου σταδίου ο μελετητής έχει μια καλή ιδέα για τον αριθμό των Πιθανών Υποψήφιων Θέσεων.

Τα τελευταία δυο στάδια της διαδικασίας χρειάζονται περισσότερο χρόνο να ολοκληρωθούν, αφού απαιτούν επιτόπου μετρήσεις. Ο ελάχιστος χρόνος για την ολοκλήρωση των σταδίων 3 και 4 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.

### **3.5 Εκτίμηση του αιολικού δυναμικού**

Η εκτίμηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού, το οποίο προσφέρεται σε μια περιοχή αποτελεί το βασικότερο κριτήριο για την επιτυχή εκλογή των θέσεων εγκατάστασης Α/Γ. Τα υπάρχοντα ανεμολογικά στοιχεία σε συνδυασμό με τις κατά καιρούς μελέτες καθώς και τις σχετικές εφαρμογές υποδεικνύουν την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού σαν μια από τις πιο συμφέρουσες διαδικασίες υποκατάστασης συμβατικών ενεργειακών πηγών. Ο βαθμός, επομένως, αξιοποίησης και εκμετάλλευσης της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά της χρησιμοποιούμενης αιολικής μηχανής όσο και από την επιτυχή εκλογή της θέσης εγκατάστασης της. Ο δεύτερος παράγοντας από τους δυο που προαναφέρθηκαν δηλαδή η επιλογή εγκατάστασης Α/Γ είναι πιο σημαντικός από τον πρώτο. Μία περιοχή είναι κατάλληλη για την εγκατάσταση ανεμογεννητριών εάν πληρεί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

- **Ύπαρξη υψηλών ταχυτήτων ανέμου για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα στη διάρκεια του έτους.**
- **Μεγάλη σε έκταση περιοχή σε περίπτωση εγκατάστασης μεγάλου αριθμού μηχανών (αιολικό πάρκο).**
- **Εύκολη πρόσβαση στην περιοχή ενδιαφέροντος.**
- **Όχι μεγάλο υψόμετρο ώστε να μην υπάρχουν περιορισμοί στην λειτουργία των Α/Γ λόγω καιρικών συνθηκών.**



### 3.6 Μέθοδος Weibull

Η κατανομή **Weibull** είναι η κατανομή πυκνότητας πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου και εξαρτάται από δυο παραμέτρους:

1. Την παράμετρο **c**, η οποία είναι μια γενικευμένη παράμετρος κλίμακας της ταχύτητας σε **m/sec** και,
2. Την παράμετρο **k**, η οποία είναι μια παράμετρος μορφής της κατανομής (αδιάστατο μέγεθος).

Η μέθοδος **Weibull** εκφράζεται από τη σχέση:

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

όπου,

**V**: η ταχύτητα του ανέμου

**c, k**: οι παραπάνω παράμετροι.

Η ποσότητα **f(V) dV** εκφράζει την πιθανότητα, η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται μεταξύ της τιμής **V-dV** και **V+dV**. Είναι φανερό ότι η μέση ετήσια τιμή της ταχύτητας του ανέμου είναι:

$$\bar{V}_\mu = \int_0^{\infty} V f(V) dV$$

Μετά από εκτέλεση πράξεων οδηγούμαστε στη σχέση:

$$\bar{V}_\mu = c \Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)$$

όπου,

**Γ**: η συνάρτηση Γάμα, η οποία δίνεται από τη σχέση:

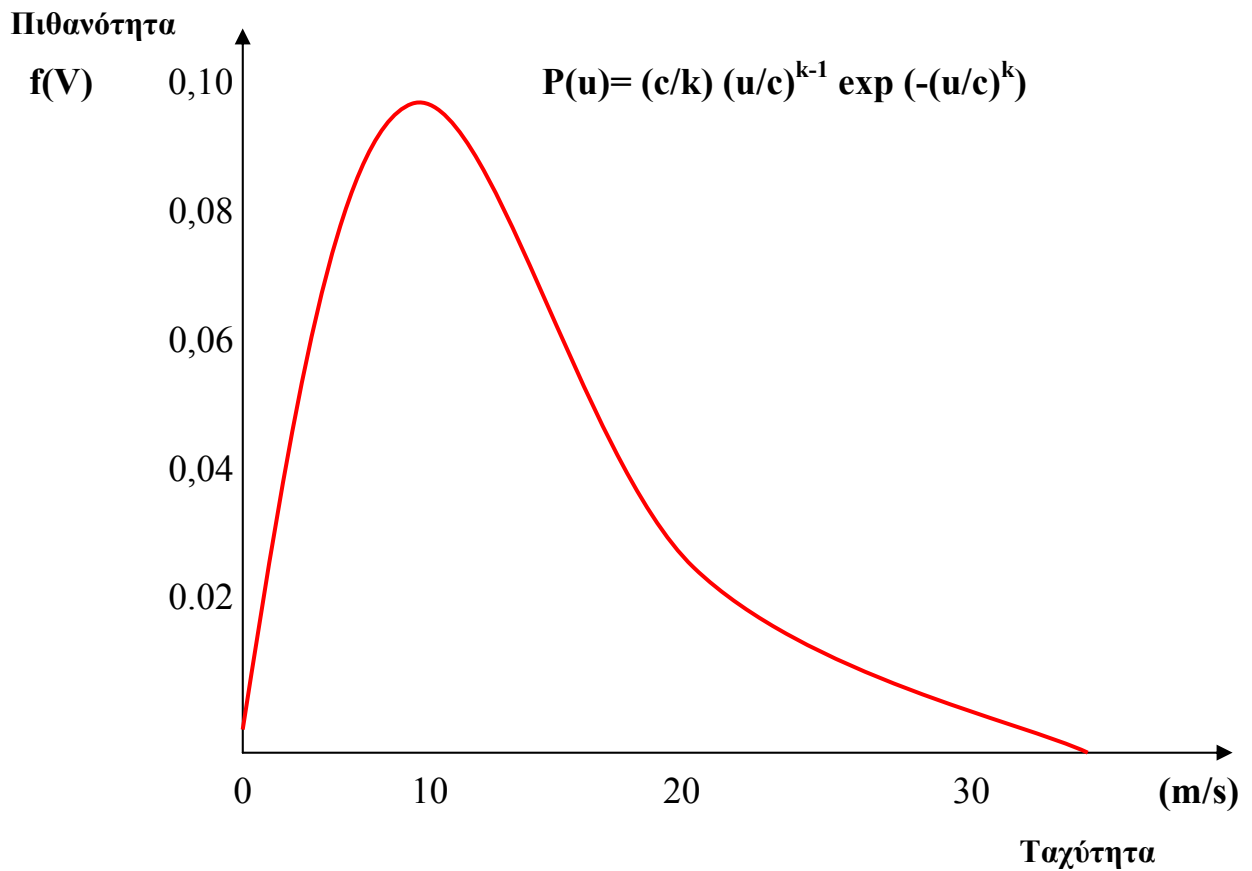
$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$$

Οι παράμετροι  $c$  και  $k$  μεταβάλλονται με το ύψος και για τα πρώτα 100 μέτρα μπορούν να εκτιμηθούν με καλή ακρίβεια. Από το εργαστήριο μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου Αθηνών έχουν υπολογιστεί οι παράμετροι  $c$ ,  $k$  της κατανομής Weibull για διάφορες τοποθεσίες της χώρας. Είναι όμως πολύ χονδρικές τιμές και εξαρτώνται κάθε φορά από την τοποθεσία. Τα στοιχεία των υπολογισμών φαίνονται στον **πίνακα 3.1**.

| <b>Τοποθεσία</b> | <b>k</b> | <b>c</b> |
|------------------|----------|----------|
| Σητεία           | 1,32     | 5,53     |
| Ηράκλειο         | 1,63     | 4,72     |
| Χανιά            | 1,52     | 4,60     |
| Κύθηρα           | 1,27     | 5,78     |
| Μήλος            | 1,41     | 5,86     |
| Ρόδος            | 2,15     | 7,24     |
| Θήρα             | 1,20     | 5,20     |

Πίνακας 3.1: *Οι παράμετροι  $c$  και  $k$  ως προς τις διάφορες περιοχές της Ελλάδος*

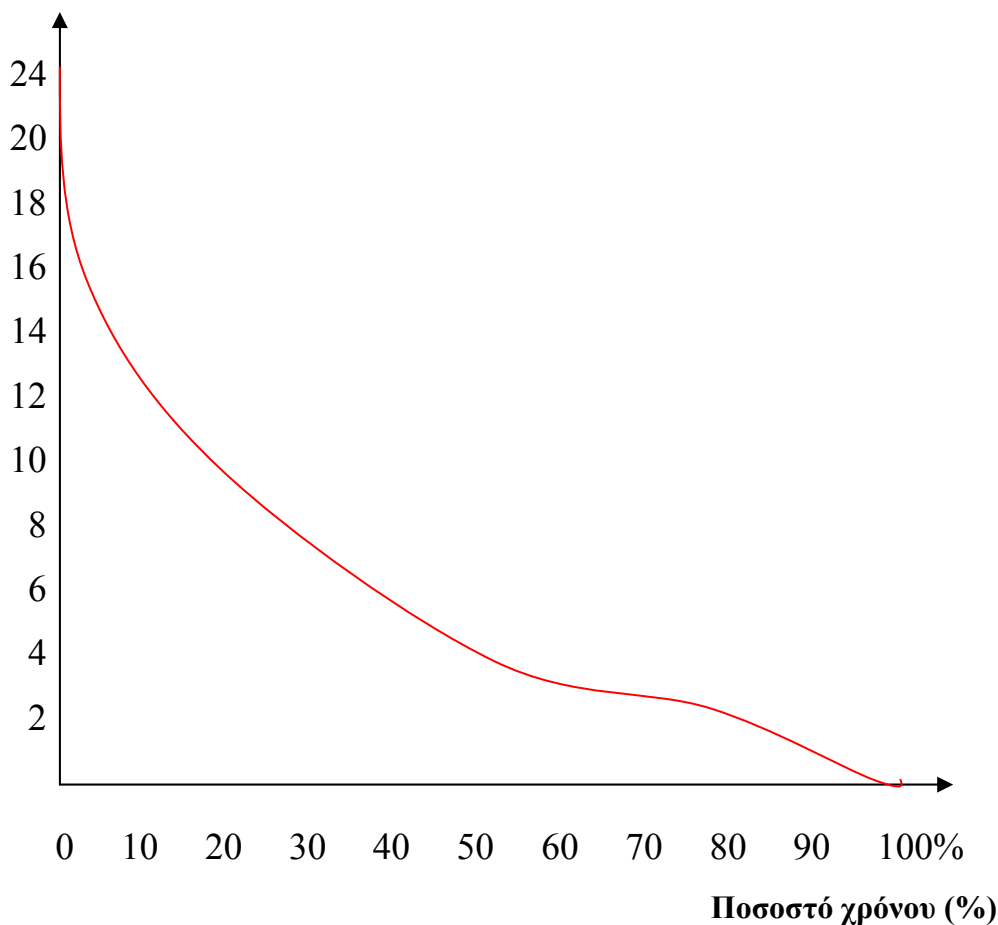
Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω στοιχεία δημιουργούμε την **καμπύλη Weibull** όπως φαίνεται στο **σχήμα 3.3**.



Σχήμα 3.3: Καμπύλη Weibull

Ένα βασικό στοιχείο για την εκτίμηση αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι και η διάρκεια πνοής του ανέμου η οποία εκφράζει το ποσοστό του χρόνου για το οποίο εμφανίζονται ταχύτητες ανέμου μεγαλύτερες από μια ορισμένη τιμή  $V$ . Στο **σχήμα 3.4** έχει χαραχτεί η καμπύλη όπως προκύπτει από την **θεωρητική κατανομή Weibull**.

**Ταχύτητα  
(m/sec)**



Σχήμα 3.4: *Καμπύλη διάρκειας του ανέμου*

Μια σημαντική επίσης πληροφορία που δε φαίνεται στη κατανομές ταχύτητας που περιγράψαμε είναι η συχνότητα εμφάνισης κάθε κατεύθυνσης. Ο πίνακας διπλής εισόδου συχνότητας πνοής ανέμου ανά διεύθυνση μπορεί να παρασταθεί γραφικά με το ροδόγραμμα του ανέμου. Το ροδόγραμμα ανέμου μιας περιοχής είναι ένα αρκετά εποπτικό διάγραμμα που δίνει αμέσως την κατεύθυνση ανέμου που επικρατεί στην περιοχή και την διάρκεια πνοής του ανέμου από κάθε κατεύθυνση. Στο κέντρο εμφανίζεται το ποσοστό της άπνοιας ετησίως.

### 3.7 Δείκτες Αιολικού Δυναμικού- Λόγος παραμόρφωσης

Η εύρεση των θέσεων εκείνων που παρουσιάζουν υψηλό αιολικό δυναμικό μπορεί να γίνει με μεγάλο βαθμό ακριβείας μελετώντας την παραμόρφωση των δένδρων σε συνάρτηση με τη μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου. Ο **βαθμός παραμόρφωσης των δένδρων** καθορίζεται από τον **πίνακα των Griggs/ Putnam και Barsch** ο οποίος παρουσιάζεται παρακάτω:

| Είδος<br>(Popular<br>Name)   | Δείκτης       | Μέση ετήσια ταχύτητα ανέμου (m/sec) με 95% όριο<br>αξιοπιστίας(±m/sec) |         |         |         |         |          |
|------------------------------|---------------|--|---------|---------|---------|---------|----------|
|                              |               | 1  | 2       | 3       | 4       | 5       | 6        |
| Έλατο                        | Griggs/Putnam | 6.7±1.9  | 7.4±1.8 | 8.1±1.8 | 8.8±1.8 | 9.5±1.8 | 10.2±1.9 |
| Άρκενθος<br>(είδοςπεύκου)    | Griggs/Putnam | 5.0±2.0  | 5.6±1.9 | 6.2±1.9 | 6.8±2.0 | 7.4±2.1 | 8.0±2.2  |
| Έλατο                        | Griggs/Putnam | 4.2±2.6  | 5.4±2.5 | 6.6±2.4 | 7.8±2.5 | 9.0±2.6 | 10.2±2.8 |
| Πεύκο                        | Griggs/Putnam | 4.0±1.8  | 4.7±1.7 | 5.4±1.8 | 6.1±1.8 | 6.8±2.0 | 7.5±2.1  |
| Pseudotsuga<br>(Douglas Fir) | Griggs/Putnam | 4.1±1.6  | 4.9±1.5 | 5.7±1.5 | 6.5±1.5 | 7.3±1.6 | 8.1±1.8  |
| Σφένδαμος                    | Barsch        | 4.3±1.0  | 5.2±1.4 | 6.1±2.2 | 7.0±3.1 | 7.9±4.1 | 8.8±5.1  |
| Βελανιδιά                    | Barsch        | 4.1±1.7  | 5.2±1.7 | 6.3±1.8 | 7.4±1.9 | 8.5±2.1 | 9.6±2.3  |
| Ακακία                       | Barsch        | 4.4±1.0  | 5.1±1.0 | 5.8±1.3 | 6.5±1.7 | 7.2±2.1 | 7.9±2.5  |

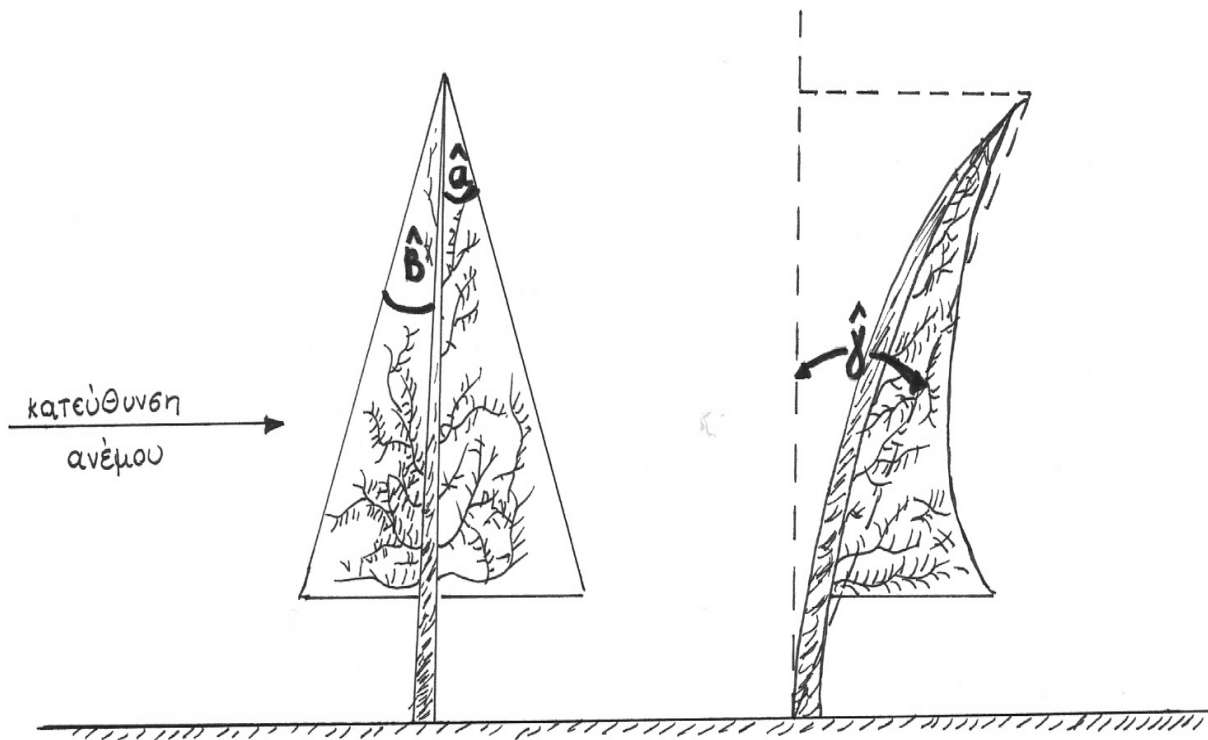
Πίνακας 3.2 : Δείκτες παραμόρφωσης

Εκτός από τον παραπάνω πίνακα χρησιμοποιείται και ο **λόγος παραμόρφωσης D** ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

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

Οι γωνίες  $\alpha, \beta, \gamma$  φαίνονται στο **σχήμα 3.5**:

$$D = \frac{a}{b} + \frac{\gamma}{45}$$



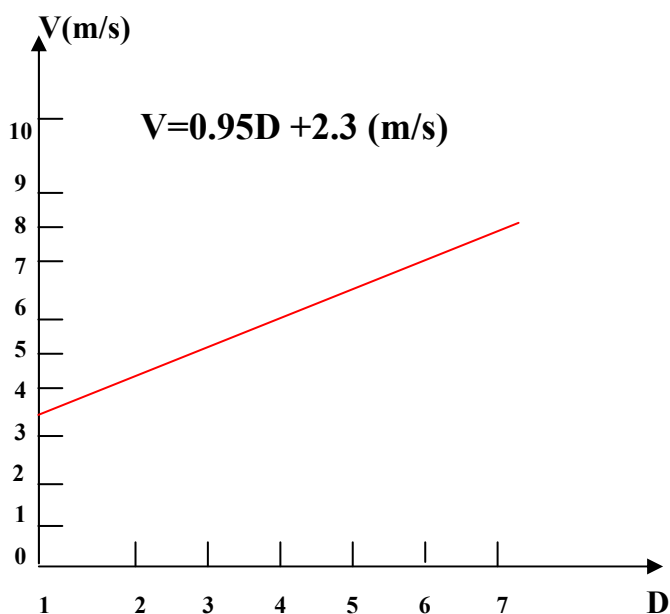
Δείκτες παραμόρφωσης

Σχήμα 3.5: Δείκτες παραμόρφωσης

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

$$V = 0.95 D + 2.3(\text{m/sec})$$

Αυτή η σχέση αναλογίας παριστάνεται στο **σχήμα 3.6**:



Σχήμα 3.6 : Συσχέτιση μεταξύ δείκτη παραμόρφωσης  $D$  και μέσης ετήσιας ταχύτητας ανέμου

Η μελέτη της παραμόρφωσης των δένδρων, εξαιτίας του ανέμου υποδεικνύει ότι τα δένδρα είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τον καθορισμό της διεύθυνσης του επικρατέστερου ανέμου, για τον προσδιορισμό περιοχών που πιθανόν υπόκεινται σε δριμείς ανέμους και για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου. Οι υπολογισμοί της μέσης ετήσιας ταχύτητας του ανέμου που βασίζονται στην παρατήρηση των παραμορφωμένων δένδρων είναι απλή, γρήγορη, ανέξοδη και χρήσιμη στην φάση εκτίμησης του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής.



Εικόνα 3: Παραμορφωμένο δένδρο στην Αμοργό

### **3.8 Ο κώδικας NOABL**

Μια άλλη μέθοδος 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 στην περιοχή, μετεωρολογικό σταθμό. Για την επίλυση του τρισδιάστατου πεδίου ροής του ανέμου πάνω από σύνθετη τοπογραφία εδάφους χρησιμοποιείται το **αριθμητικό μοντέλο NOABL**.

**Ο κώδικας NOABL** αναπτύχθηκε με στόχο την οικονομική πρόβλεψη του πεδίου ροής ανέμου πάνω από σύνθετη τοπογραφία και ανήκει στην κατηγορία μοντέλων πρόβλεψης, που βασίζονται στην εξίσωση διατήρησης της μάζας, παράγοντας πεδίο για το οποίο η απόκλιση είναι μηδενική. Το μοντέλο έχει δυνατότητες εκτέλεσης υπολογισμών σε δυο διαφορετικά συστήματα συντεταγμένων που είναι: **α)** ο πραγματικός χώρος, **β)** ο χώρος σίγμα.

Ο υπολογισμός στον χώρο σίγμα έχει **δυο βασικά πλεονεκτήματα**:

- Επιτρέπει το κάτω όριο του υπολογιστικού χώρου (εδάφους) να οριστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια και
- Επιτρέπει την επιλογή μεταβλητής διάστασης πλέγματος κατά τον κάθετο άξονα ( $\sigma$ ), γεγονός που βελτιώνει την ταχύτητα και την ακρίβεια της μεθοδολογίας υπολογισμού.

Το μοντέλο ακολουθεί μια διαδικασία παρεμβολής/ προεκβολής για τον καθορισμό του ατμοσφαιρικού πεδίου με δεδομένα που έχουν παρατηρηθεί σε συγκεκριμένα σημεία της σύνθετης τοπογραφίας. Το πεδίο που προκύπτει με τον τρόπο αυτό αποτελεί μια αρχική λύση η οποία διορθώνεται ώστε να περιλαμβάνει επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ευστάθειας και της μορφής της τοπογραφίας.

### **3.9 Μορφολογία του εδάφους**

Βασικό στοιχείο για τα κριτήρια επιλογής θέσης εγκατάστασης A/K αποτελεί η **μορφολογία του εδάφους**, δηλαδή αν πρόκειται για επίπεδη έκταση γύρω από την πιθανή θέση εγκατάστασης του A/K ή για ανώμαλη, πράγμα συνηθέστερο.



**Επίπεδη μορφολογία** : Η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται με το ύψος σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{U}{U_{10}} = \left(\frac{h}{10}\right)^a$$

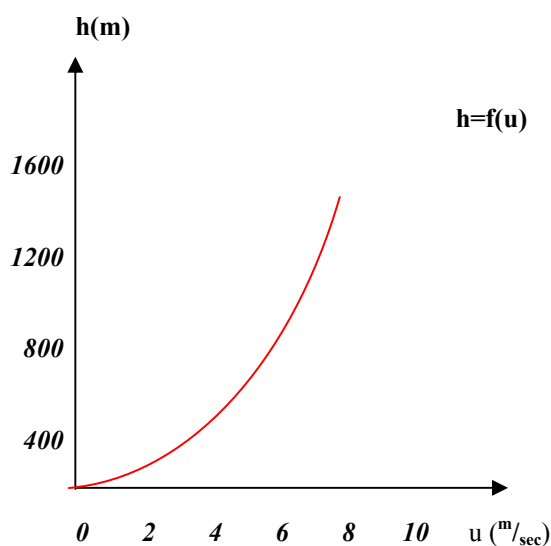
όπου,

**u** : η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος **h**

**U<sub>10</sub>** : η ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 10m από το έδαφος

**a** : εκθέτης ο οποίος εξαρτάται από τη τραχύτητα του εδάφους και μεταβάλλεται  $\frac{1}{7}$  έως  $\frac{1}{4}$ .

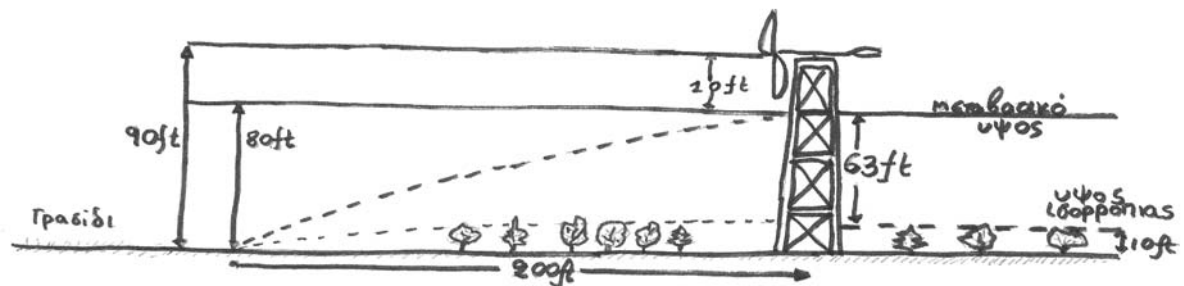
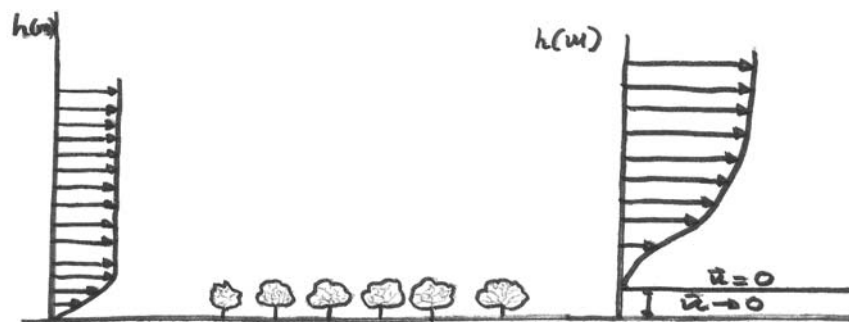
Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι όσο ψηλότερα από το έδαφος βρίσκεται ο δρομέας του Α/Κ τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ανέμου άρα και η ισχύς που παράγεται όπως φαίνεται στο παρακάτω **σχήμα 3.7**.



Σχήμα 3.7 : Μεταβολή της ταχύτητας με το ύψος

Φυσικά το ύψος του πύργου του Α/Κ αποτελεί βέλτιστη επιλογή μεταξύ της αυξημένης αυτής ισχύος και του κόστους κατασκευής του. Η τραχύτητα του εδάφους που άμεσα επηρεάζει την τιμή του συντελεστή **a** παίζει σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση της κατανομής των ταχυτήτων. Είναι φανερό ότι ο δρομέας του

A/K πρέπει να βρίσκεται έξω από την ανεμολογική ζώνη επιρροής οποιοδήποτε επιφανειακού εμποδίου. Στα παρακάτω σχήματα 3.8 και 3.9 φαίνεται στο πρώτο η επίδραση των διαφόρων επιφανειακών εμποδίων στην καθ' ύψος διανομή ταχυτήτων για την περίπτωση δένδρων και στο δεύτερο, η προφανής θέση εγκατάστασης του δρομέα A/K για την αποφυγή της ζώνης επιρροής των εμποδίων.



Σχήμα 3.8: Σχηματισμός νέας κατανομής ταχυτήτων λόγω εμποδίων.

Σχήμα 3.9 : Παράδειγμα θέσης δρομέα A/K για αποφυγή επίδρασης από εμπόδια.

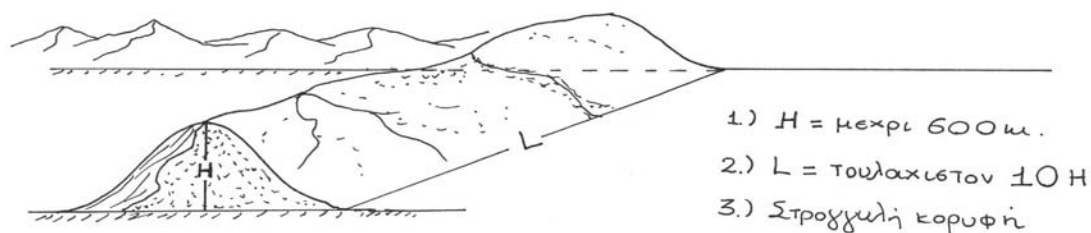
Ένα άλλο συχνά εμφανιζόμενο είδος εμποδίων είναι παρακείμενα κτίρια προς στην πιθανή θέση εγκατάστασης του A/K. Το κτίριο ευρισκόμενο μέσα στο παράλληλο ρεύμα διαταράσσει σε μεγάλη έκταση το πεδίο ταχυτήτων. Στο πεδίο

λοιπόν ροής είναι φανερή η ύπαρξη των εκπεμπομένων στροβίλων από την οξεία ακμή του κτιρίου που είναι κατεξοχήν τα αίτια των διακυμάνσεων φορτίσεων στον παρακείμενο Α/Κ. **Εκτεταμένη έρευνα** πάνω στο θέμα της έκτασης της ζώνης επιρροής του κτιρίου **έδωσε τα συμπεράσματα ότι ο Α/Κ θα πρέπει να εγκατασταθεί:**

- σε ανάντι απόσταση από το κτίριο τουλάχιστον 2 φορές το ύψος του
- σε κατάντι απόσταση από το κτίριο τουλάχιστον 10 φορές το ύψος του, και ο δρομέας να βρίσκεται σε ύψος τουλάχιστον 2 φορές το ύψος του κτιρίου αν η θέση εγκατάστασης είναι κοντά στο κτίριο.

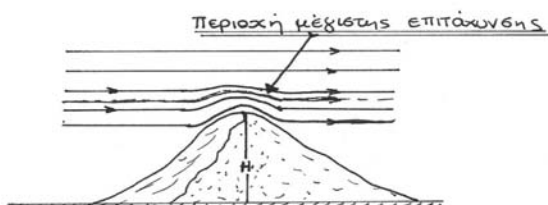
### 3.10 Θέση εγκατάστασης Α/Κ σε ανώμαλη μορφολογία εδάφους

Στην διαμόρφωση του πεδίου ταχυτήτων την μεγαλύτερη βαρύτητα έχουν οι εδαφολογικές ιδιομορφίες στη γειτονιά της πιθανής θέσης εγκατάστασης του Α/Κ. Μερικές όμως βασικές μορφολογικές τοπογραφίες είναι δυνατόν να τυποποιηθούν και να χρησιμεύσουν ως κατευθυντήριες γραμμές στην προκαταρκτική λήψη απόφασης για την θέση εγκατάστασης Α/Κ. Μια βασική μορφολογική τοπογραφία είναι η λοφοσειρά η οποία θεωρείται κάθετη στην επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου και φαίνεται στο **σχήμα 3.10**.



Σχήμα 3.10: Ορισμός λοφοσειράς

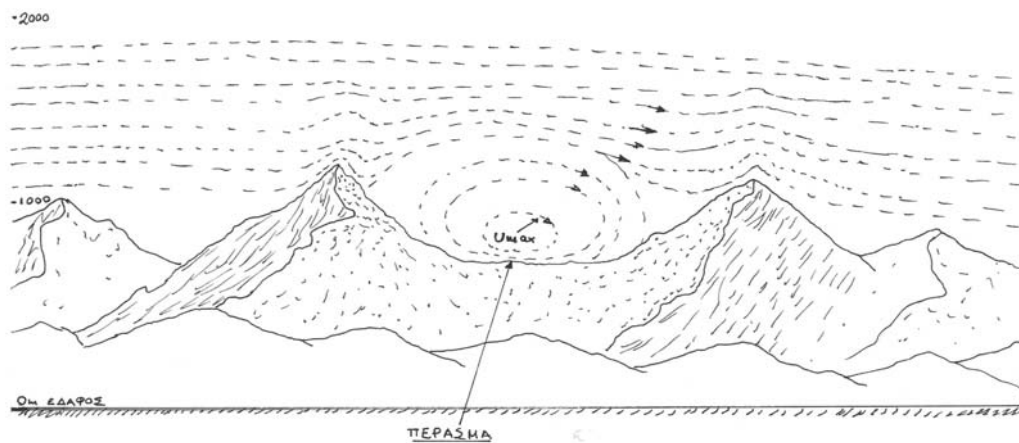
↓ Σχήμα 3.11: Επιτάχυνση ανέμου



Ο άνεμος καθώς περνάει πάνω από τη λοφοσειρά επιταχύνεται σημαντικά οπότε η κορυφή της λοφοσειράς είναι μια πολύ καλή θέση εγκατάστασης Α/Κ (σχήμα 3.11). Στην κορυφή της λοφοσειράς έχουμε διπλασιασμό της ταχύτητας του ανέμου που σημαίνει περίπου οκταπλασιασμό της αποδιδόμενης ισχύος του Α/Κ. Μια ιδανική λοφοσειρά είναι αυτή που παρουσιάζει κλίση  $16^{\circ}$  ως προς τον οριζόντιο άξονα και λιγότερη ικανοποιητική τη λοφοσειρά χαμηλής κλίσης  $3^{\circ}$ .

### **3.11 Περάσματα και διάσελα**

Τα περάσματα και τα διάσελα που συχνά εμφανίζονται σε ορεινές περιοχές είναι συνήθως ευπρόσδεκτες θέσεις εγκατάστασης Α/Κ, ιδιαίτερα αν το άνοιγμα τους είναι κατά την κατεύθυνση του επικρατούντος ανέμου. Οι θέσεις αυτές είναι ευκολότερα προσβάσιμες για την εγκατάσταση Α/Κ και είναι γενικά θέσεις υψηλών ταχυτήτων ανέμου. Όσο ψηλότερα είναι τα βουνά τόσο ευνοϊκότερη είναι η θέση, και όσο ομαλότερη η επιφάνεια του εδάφους του περάσματος τόσο καλύτερη για την ενεργειακή απόδοση του Α/Κ (σχήμα 3.12)



Σχήμα 3.12: *Περάσματα και διάσελα*

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

### **ΠΡΑΚΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ Α/Κ**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, ο βαθμός αξιοποίησης και εκμετάλλευσης της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας, εξαρτάται τόσο από τα χαρακτηριστικά της αιολικής μηχανής όσο και από την επιτυχή επιλογή θέσης εγκατάστασης της. Αν η θέση εγκατάστασης του Α/Κ είναι πάνω σε μια επίπεδη περιοχή χωρίς επιφανειακά εμπόδια τότε η θέση εγκατάστασης του Α/Κ δεν αποτελεί πρόβλημα, αν όμως το έδαφος είναι ανώμαλο με επιφανειακά εμπόδια τότε θα πρέπει να γίνει προσεκτική και αναλυτική επιλογή του Α/Κ. Άρα για τη σωστή επιλογή Α/Κ θα πρέπει να έχει γίνει πρώτα η σωστή επιλογή θέσης εγκατάστασής του, αφού πρώτα μελετηθεί η τοπογραφία της περιοχής.

#### **4.1 Εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών**

Βασική παράμετρος επιλογής του μεγέθους του Α/Κ και του κόστους επένδυσης αποτελεί η σωστή εκτίμηση των ενεργειακών αναγκών. Όσον αφορά την εκτίμηση των αναγκών αυτών, δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι ο Α/Κ δεν αντικαθιστά την Δ.Ε.Η, δηλαδή δεν μας παρέχει όση ενέργεια θέλουμε και όποτε την θέλουμε, έτσι πρέπει να γίνεται προσεκτική μελέτη των ενεργειακών μας αναγκών με πνεύμα λιτότητας. Είναι χρήσιμο, την καταγραφή των ενεργειακών μας αναγκών να την κάνουμε κατά εποχές του έτους ώστε να βλέπουμε την συσχέτιση τους με το διαθέσιμο μεταβαλλόμενο αιολικό δυναμικό. Έπειτα μπορούμε να εκτιμήσουμε τις ενεργειακές ανάγκες σε kWh.

#### **4.2 Εκτίμηση γενικών διαστάσεων του Α/Κ**

- ♦ **Ύψος πύργου:** Το ύψος του πύργου του Α/Κ θα εκτιμηθεί σε συνάρτηση με την μορφολογία του εδάφους και των επιφανειακών εμποδίων. Το ύψος του πύργου είναι σημαντική παράμετρος του κόστους επένδυσης, δεν επιτρέπεται όμως ο πύργος να είναι χαμηλότερος από 25-30 μέτρα. Συνήθως το ελάχιστο ύψος του πύργου λαμβάνεται >10 m από τη διάμετρο του δρομέα του Α/Κ.



ΟΑ /100  
(Οριζοντίου άξονα 100kW)  
Σχεδίαση: Ν. Αθανασιάδης, Γ. Μπεργελές,  
Κ. Μιχαηλίδης  
Κατασκευή: ΒΙΟΚΑΤ ΑΤΒΕ, 1990-1991  
Εγκατάσταση: 1991, Σκύρος

Εικόνα 4.1: Πύργος 20 m σε Α/Κ στην Σκύρο

- ♦ **Καθορισμός της ονομαστικής ισχύος  $P_R$  και της ονομαστικής ταχύτητας  $V_R$ :** Έχοντας εκτιμήσει τους ετήσιους ενεργειακούς στόχους μπορούμε να εκτιμήσουμε την μέση ισχύ του Α/Κ δηλαδή την ισχύ που θα πρέπει να έχει αν λειτουργεί συνεχώς για να καλύψει τους ετήσιους στόχους. Συνήθως ένας Α/Κ με γεννήτρια **ονομαστικής ισχύος  $P_R$**  φαίνεται ως μηχανή συνεχούς ισχύος ίσης με:

$$P = 0,2 P_R$$

Κάθε ηλεκτρική γεννήτρια δεν μπορεί να παράγει ισχύ μεγαλύτερη της ονομαστικής της. Καθώς η  $V_R$  αυξάνει, αυξάνεται και το αξιοποιήσιμο μέρος της ενέργειας των ανέμων υψηλής ταχύτητας, όσο όμως αυξάνει η  $V_R$  αυξάνει και η ονομαστική ισχύ της γεννήτριας σύμφωνα με τον τύπο:

$$P_R = \frac{1}{2} \rho A C_P \eta_M V_R^3$$

όπου,

$P_R$  : η ονομαστική ισχύς που αποδίδεται από τη μηχανή ως προς την ισχύ που έχει ο άνεμος

$\rho$  : η πυκνότητα του αέρα

$A$  : η επιφάνεια του μετώπου που δημιουργείται από την περιστροφή των πτερυγίων

$C_P$  : ο συντελεστής ισχύος αιολικών μηχανών

$V_R$  : η ονομαστική ταχύτητα του ανέμου που προσκρούει στα πτερύγια του κινητήρα και σύμφωνα με τον **VADOT** δίνεται από τη σχέση:

$$V_R = (1,5 \text{ έως } 1,9) \text{ του } V_{\mu}$$

όπου,

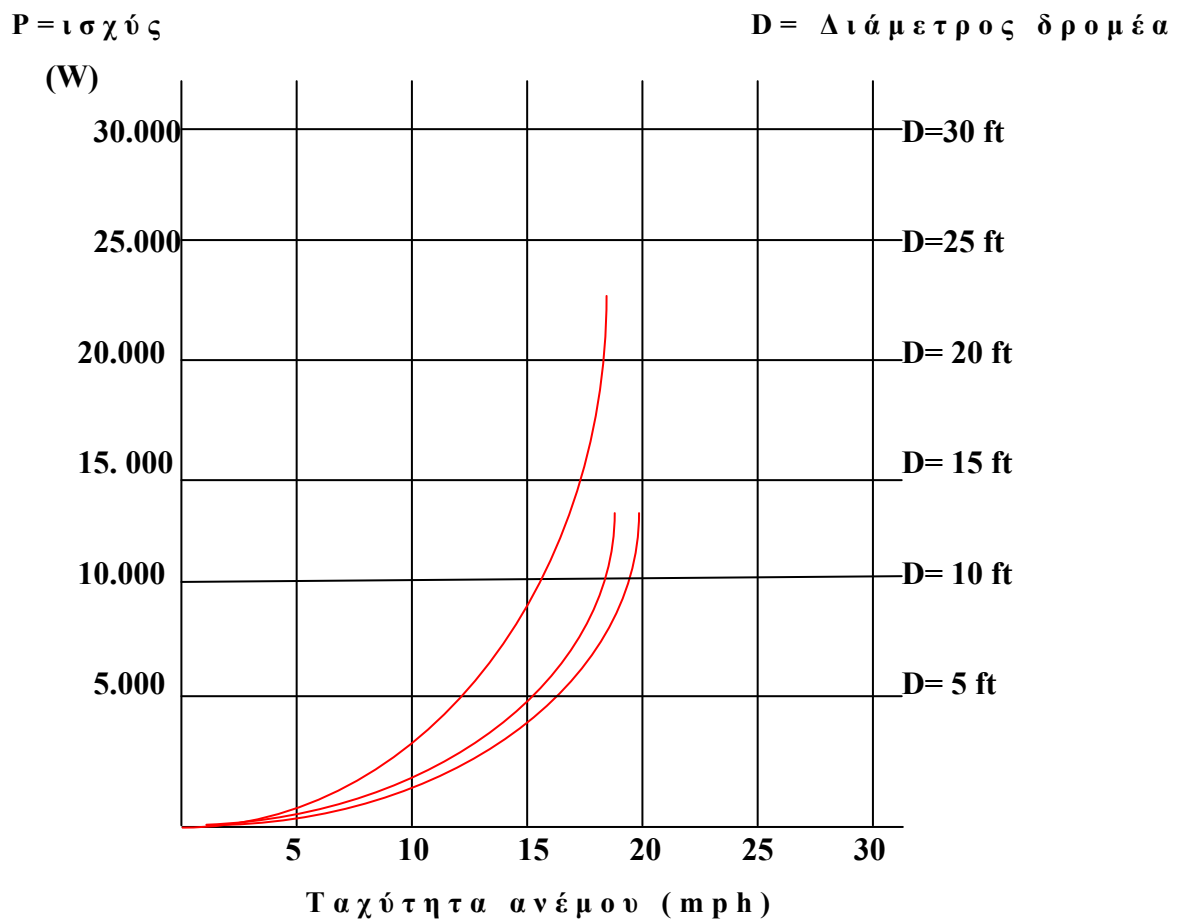
$V_{\mu}$  : η μέση ετήσια ταχύτητα του ανέμου

$n_M$  : ο μηχανικός βαθμός απόδοσης που δίνεται από τη σχέση

$$n_M = \frac{P_R}{P_R + P_{\kappa\phi}} = \frac{1}{1 + \frac{P_{\kappa\phi}}{P_R}}$$

Με  $P_{\kappa\phi}$ : οι απώλειες κενού φορτίου, ενώ ο λόγος  $\frac{P_{\kappa\phi}}{P_R}$  δίνεται από 0,09- 0,10.

Θεωρώντας ότι η ταχύτητα  $V_R$  στην οποία ο **A/K** αποδίδει την ονομαστική του ισχύ είναι:  $V_R = 1,8 V_{\mu}$ , με τα στοιχεία  $V_R$  και  $P_R$  και με τη βοήθεια του **σχήματος 4.1** επιλέγεται η διάμετρος του δρομέα



Σχήμα 4.1: Σχέση ισχύος  $A/K$  και ταχύτητας του ανέμου

### 4.3 Καθορισμός διαμέτρου δρομέα

Οι παράγοντες που επιδρούν στον καθορισμό της διαμέτρου του δρομέα είναι:

- το κόστος κατασκευής
- οι κατασκευαστικές δυσκολίες
- οι ανάγκες τις οποίες θα εξυπηρετεί η ανεμογεννήτρια
- η εγκατεστημένη ισχύς του δικτύου με το οποίο θα παραλληλιστεί η γεννήτρια.

Η διάμετρος που θα εξυπηρετεί τις ανάγκες παράγεται από τη σχέση:

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \Leftrightarrow D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$



όπου,

**D** : διάμετρος του δρομέα

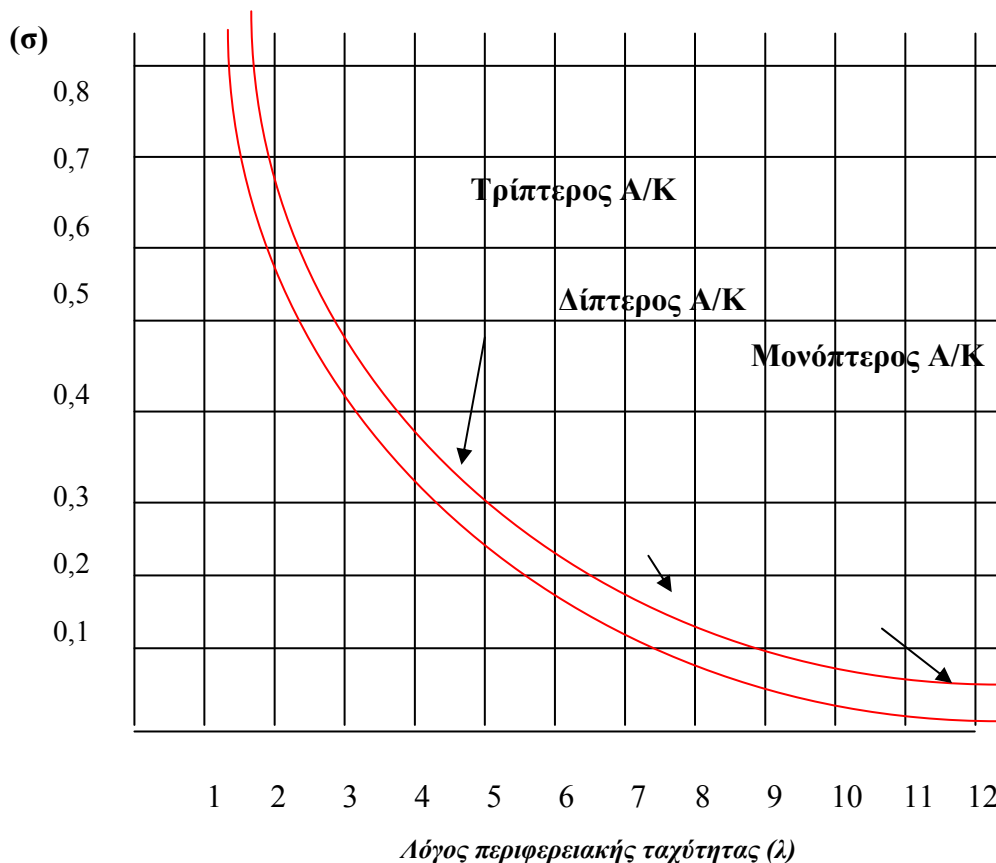
**A** : η επιφάνεια του μετώπου που δημιουργείται από την περιστροφή των πτερυγίων

Για **A/K** μικρής διαμέτρου είναι από λειτουργική άποψη οικονομικά συμφερότερη η χρησιμοποίηση τριών φτερών στον **A/K**. Ανάλογα με το είδος του φορτίου που ο **A/K** προβλέπεται να ικανοποιεί, θα επιλέγεται ο βαθμός στερεότητας του δρομέα ο οποίος δίνεται από τη σχέση:

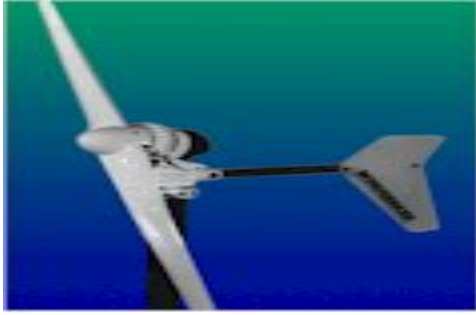
$$\sigma = \frac{E \text{ επιφάνεια πτερυγιων}}{\pi D^2 / 4}$$

Στο παρακάτω **σχήμα 4.2** φαίνεται η στερεότητα του δρομέα για διάφορους τύπους **A/K**:

#### Στερεότητα



Σχήμα 4.2: Στερεότητα δρομέα για διάφορους **A/K**



Εικόνες 4.2 , 4.3 : Δίπτεροι και Τρίπτεροι Α/Κ

#### **4.4 Καθορισμός της ταχύτητας έναρξης λειτουργίας ( $V_{ci}$ )**

Η σχέση που καθορίζει της ταχύτητα έναρξης λειτουργίας,  $V_{ci}$ , προέρχεται από τη σχέση:

$$P_{κφ} = \frac{1}{2} \rho C_p A V_{ci}^3$$

όπου,

- $P_{κφ}$**  : απώλειες κενού φορτίου
- $V_{ci}$**  : ταχύτητα έναρξης λειτουργίας
- $A$**  : η επιφάνεια του μετώπου
- $C_p$**  : συντελεστής ισχύος αιολικών μηχανών
- $\rho$**  : η πυκνότητα του αέρα

Πολλαπλασιάζοντας και διαιρώντας το πρώτο μέρος της εξίσωσης με  $P_R$ , και λύνοντας ως προς  $V_{ci}$  παίρνουμε:

$$V_{ci} = \sqrt[3]{\frac{2 \left( \frac{P_{κφ}}{P_R} \right)}{\rho \cdot C_p}} \sqrt[3]{\frac{P_R}{A}}$$

με:  $\frac{P_{κφ}}{P_R} = 0,10$

#### 4.5 Καθορισμός της ταχύτητας διακοπής λειτουργίας $V_F$

Ο καθορισμός της ταχύτητας  $V_F$  γίνεται καθαρά εμπειρικά. Συνήθως η  $V_F$  κυμαίνεται μεταξύ **22-26 m/sec**.

Παρατηρήσεις: Για αρκετά γρήγορους υπολογισμούς ο συντελεστής ισχύος  $C_P$  λαμβάνει τη τιμή 0,4. Για να είναι συγκρίσιμες οι παρατηρήσεις πρέπει να αναρθούν στο ίδιο ύψος των 10 m από την επιφάνεια του εδάφους σύμφωνα με τη σχέση:

$$\frac{V_h}{V_{10}} = \left(\frac{h}{10}\right)^a$$

όπου,

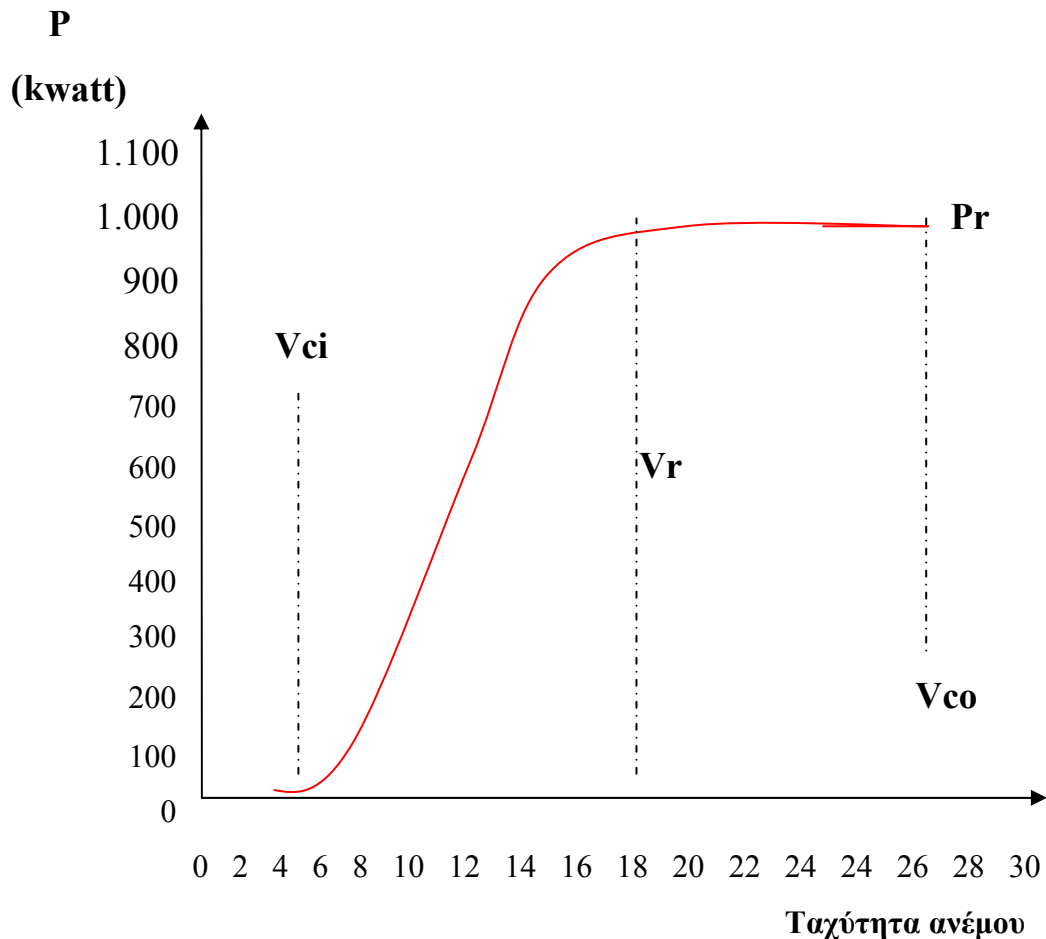
$V_{10}$  και  $V_h$  : οι ταχύτητες του ανέμου στα ύψη των 10 m και h αντίστοιχα

$\alpha$  : ένας συντελεστής που εξαρτάται από την κατάσταση του ανάγλυφου της επιφάνειας.

*Ο συντελεστής  $\alpha$  έχει τιμές  $\alpha = 0,1$  για ανοικτά πεδία,  $\alpha = 0,20$  για μικρές πόλεις με χαμηλές κατασκευές, και  $\alpha = 0,25$  για πόλεις με μεγάλες κατασκευές.*

#### 4.6 Καμπύλη ισχύος A/Γ

Αντίθετα με όσα νομίζουν πολλοί, μια A/Γ όταν γυρνάει δεν παράγει σταθερή ισχύ, αλλά η ισχύς που παράγει εξαρτάται από την ένταση του ανέμου. Η καμπύλη ισχύος μας δίνει την παραγωγή της A/Γ στην μονάδα του χρόνου σαν συνάρτηση της ταχύτητας του ανέμου και απεικονίζεται στο **σχήμα 4.3**.



Σχήμα 4.3: Καμπύλη ισχύος

όπου,

**Vci (ταχύτητα έναρξης):** η ταχύτητα του ανέμου στην οποία η Α/Γ αρχίζει να παράγει ισχύ. Η τιμή είναι συνήθως 3-5 m/s (μέτρα το δευτερόλεπτο)

**Vr (ονομαστική ταχύτητα λειτουργίας):** η ταχύτητα ανέμου στην οποία η ανεμογεννήτρια παράγει την ονομαστική της ισχύ, συνήθως η τιμή της είναι 12-15 m/s.

**Vco (ταχύτητα αποκοπής):** η ταχύτητα στην οποία η ανεμογεννήτρια σταματά την λειτουργία της και συνεπώς την παραγωγή ισχύος για λόγους ασφαλείας, συνήθως είναι 20-25 m/s.

**Pr (ονομαστική ισχύς):** η ισχύς της Α/Γ που αναφέρεται από τον κατασκευαστή και συνήθως είναι το υψηλότερο σημείο της καμπύλης ισχύος.

#### 4.7 Παρεχόμενη ισχύς από Α/Κ

Η μέση ετήσια ισχύς ( $P_{\mu}$ ) του Α/Κ δίνεται από τη σχέση:

$$P_{\mu} = \int_0^{\infty} P_g(V) f(V) dV$$

όπου,

$P_g(V)$  : είναι η παρεχόμενη ισχύς του Α/Κ σε συνάρτηση με την ταχύτητα του ανέμου

$f(V)$  : Το είναι η πυκνότητα πιθανότητας της ταχύτητας του ανέμου και υπολογίζεται από τη σχέση

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

όπου,

$V$  : η ταχύτητα του ανέμου

Σύμφωνα με την κατανομή **Weibull** οι παράμετροι  $k$  και  $c$  δίνονται από τις σχέσεις:

$$c = \frac{1,4 \bar{V}^2}{(\bar{V} - 2) - 2^{0,009}} \quad \text{και} \quad k = 1 + 0,48 (\bar{V} - 2)$$

όπου,

$V$  : η ταχύτητα του ανέμου

Αν αντικαταστήσουμε στο ολοκλήρωμα την παρεχόμενη από τον Α/Κ ισχύ η οποία δίνεται από τη θεμελιώδη σχέση:

$$P = \frac{1}{2} \rho C_p \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) V^3$$

Παίρνουμε την θεμελιώδη σχέση της μέσης ισχύος του Α/Κ η οποία είναι:

$$P_{\mu} = \int_0^{\infty} \frac{1}{2} \rho C_p \left(\frac{\pi D^2}{4}\right) V^3 f(V) dV$$

Πολλαπλασιάζοντας την παραπάνω σχέση με το 8760 και με έναν συντελεστή διαθεσιμότητας της μηχανής παίρνουμε την ετησίως παραγόμενη ενέργεια από τον A/K σύμφωνα με την σχέση:

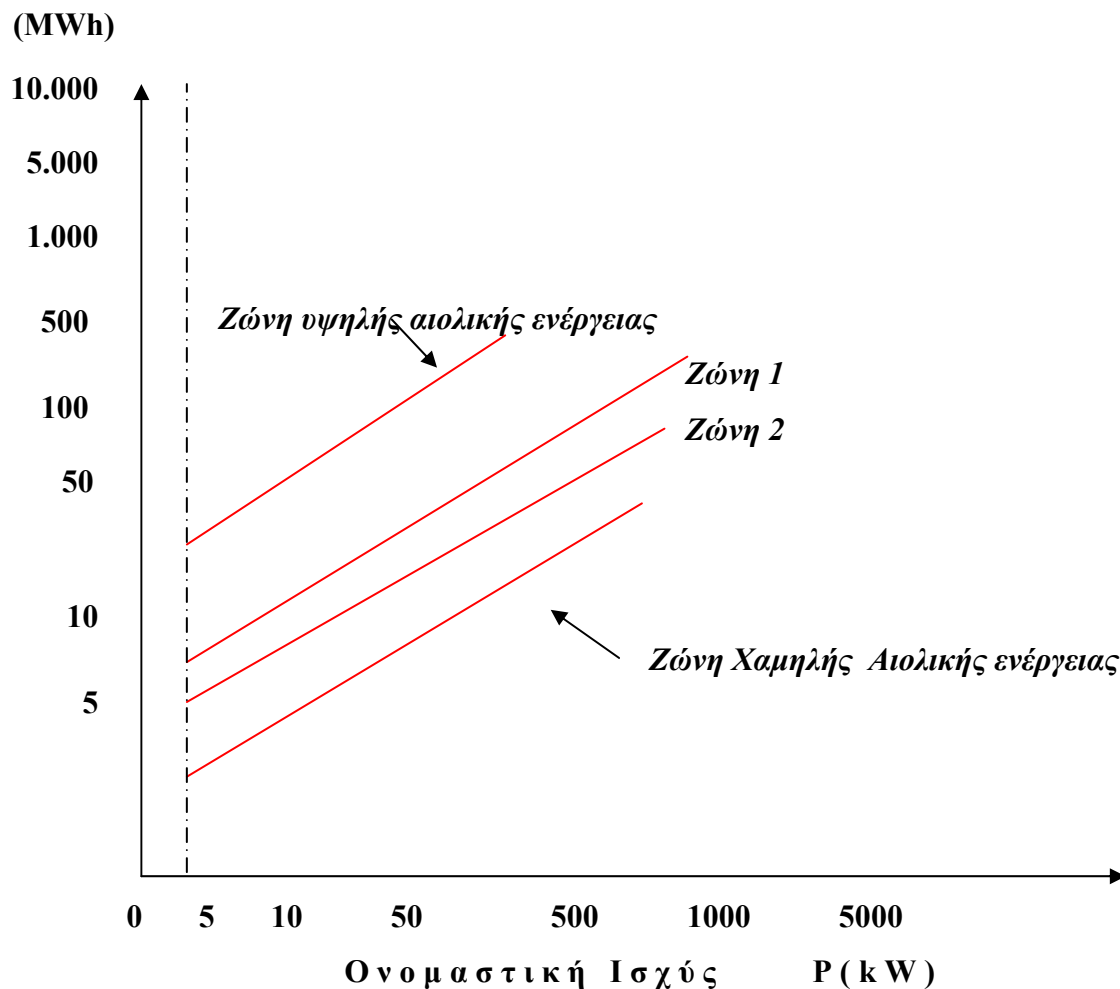
$$E = (Cf) 8760 P_{\mu} \sigma \epsilon \quad (\text{kWh})$$

όπου,

- 8760** : αντιστοιχεί σε ώρες του έτους
- $P_{\mu}$**  : η μέση παρεχόμενη ισχύς του A/K
- Cf** : συντελεστής διαθεσιμότητας της μηχανής

Το **σχήμα 4.4** βασίζεται σε στατιστικά στοιχεία λειτουργούντων A/K και παρουσιάζει τη συσχέτιση μεταξύ της ονομαστικής ισχύος του A/K και της ετήσιας παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως είναι φανερό η ετήσια παραγόμενη ενέργεια εξαρτάται από το αιολικό δυναμικό της περιοχής εγκατάστασης του A/K.

#### Ετήσια Ενέργεια



Σχήμα 4.4: Συσχέτιση ονομαστικής ισχύος και της ετήσιας παραγόμενης Ηλεκτρικής Ενέργειας

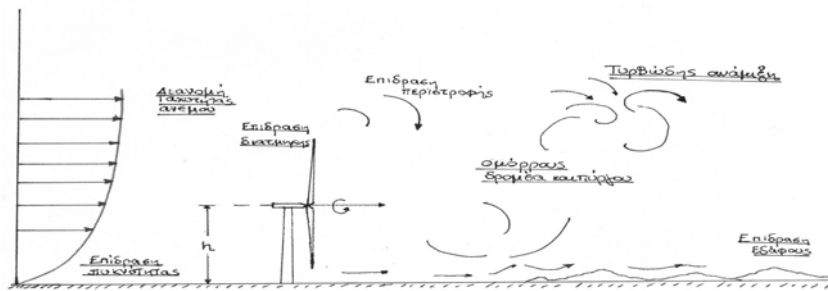
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ

Τα αιολικά πάρκα (**A/Π**) αποτελούνται από σειρές ανεμογεννητριών (**A/Γ**) που μετατρέπουν την αιολική ενέργεια σε ηλεκτρική. Έτσι γίνεται η εκμετάλλευση του τοπικού αιολικού δυναμικού που αποτελείται από μια ανεξάντλητη φυσική πηγή. Η λειτουργία των **A/Γ** δεν απαιτεί πρώτες ύλες, εκτός από την αιολική ενέργεια, και δεν εκπέμπει καμία μορφή ρύπου ή αποβλήτων. Επίσης το παραγόμενο προϊόν μεταφέρεται απευθείας στο δίκτυο της **Δ.Ε.Η** προς κατανάλωση έτσι ώστε δεν απαιτείται κανενός είδους μετατροπή πρώτης ύλης ή προϊόντος. Η θέση εγκατάστασης των αιολικών μηχανών, η διάταξη τόσο μεταξύ τους όσο και ως προς την επικρατούσα κατεύθυνση του ανέμου αποτελεί αντικείμενο ερευνητικής προσπάθειας με στόχο την ελαχιστοποίηση της αλληλεπίδρασης των **A/Κ** που μπορούν να αντικατασταθούν στην διαθέσιμη γη, και τέλος την μεγιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης του αιολικού πάρκου. Υπάρχουν διάφορες μεθοδολογίες βελτιστοποίησης της διάταξης των **A/Κ** σε αιολικό πάρκο όπου σχεδόν όλες βασίζονται σε κάποιο μοντέλο ανάπτυξης του ομόρρου του **A/Κ**.

#### 5.1 Πεδίο ροής ομόρρου A/K

Ο σπουδαιότερος παράγοντας που επηρεάζει τη φύση της ζωής του ομόρρου **A/Κ** είναι η ώση. Αυτή είναι μια δύναμη από το δρομέα στο ρευστό, η οποία προκύπτει λόγω της εξαγωγής ισχύος από τη ροή. Εξαιτίας της παρουσίας και της επίδρασης στο πεδίο ροής του πύργου στήριξης ο ομόρρους μιας **A/Γ** δεν είναι αξονοσυμμετρικός. Πρέπει να ληφθούν υπόψιν οι επιδράσεις της τρισδιάστατης τυρβώδους ανάμειξης. Το ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα χαρακτηρίζεται επίσης από κλήσεις πυκνότητας κάθετες στην επιφάνεια. Οι κλήσεις αυτές μπορούν να γίνουν σημαντικές στον προσδιορισμό της κίνησης του ρευστού. Στο **σχήμα 5.1** παρουσιάζονται τα παραπάνω φαινόμενα που παρατηρούνται σε ομόρρους **A/Γ**.



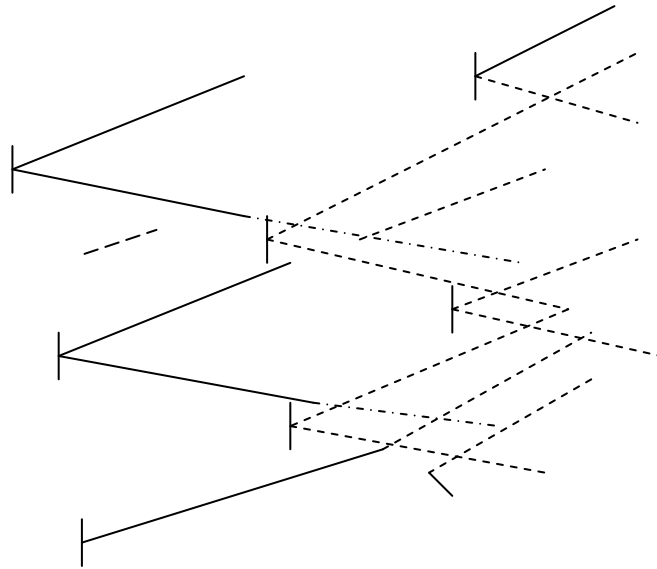
Σχήμα 5.1: Πεδίο ροής σμόρρου A/K

## 5.2 Αλληλεπίδραση σμόρρων A/K

Ο αέρας ο οποίος προσπίπτει σε έναν A/K επιβραδύνεται και έτσι δημιουργείται ένας σμόρρους A/K χαμηλής ταχύτητας ο οποίος ανοίγει βαθμιαία. Αν αυτό το ρεύμα συναντήσει άλλον A/K πριν ολοκληρωθεί η αρχική του κατάσταση, τότε σαφώς η απόδοση της δεύτερης μηχανής θα είναι μικρότερη από αυτήν της πρώτης. Γενικά η **ταχύτητα** του ανέμου σε διαδοχικές σειρές σε μια συστοιχία A/K **φθίνει** κατά **γεωμετρική πρόοδο** επομένως και η ενεργειακή απόδοση των αντίστοιχων μηχανών θα φθίνει και αυτή κατά γεωμετρική πρόοδο.

Για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης ενός αιολικού πάρκου χρησιμοποιείται το **πρότυπο μοντέλο του Lissamman** που παρουσιάζεται στο **σχήμα 5.2**:

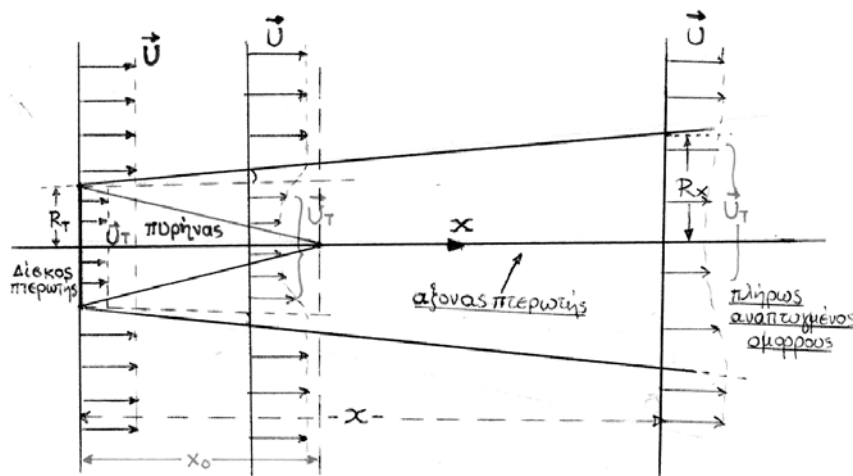




Σχήμα 5.2 : Πρότυπο ομόρρου A/K αιολικού πάρκου κατά Lissaman

Το μοντέλο αυτό δέχεται μια επιβράδυνση της ροής λόγω της παρεμβολής της πτερωτής σε ομοιόμορφο πεδίο ταχύτητας. Η επιβράδυνση αυτή αντιστοιχεί σε δύο ομοιόμορφες αξονικά συμμετρικές δέσμες που η μίξη τους δημιουργεί τον ομόρρο της A/Γ.

Στο **σχήμα 5.3** διακρίνονται δύο περιοχές, η αρχική και η πλήρως αναπτυγμένη με αντίστοιχες διανομές ταχυτήτων. Μεταξύ αυτών των δύο περιοχών υπάρχει μια ζώνη μετάβασης από τη μια διανομή στην άλλη.



Σχήμα 5.3: Λεπτομερής αναπαράσταση του προτύπου Lissaman

### **A) Αρχική περιοχή**

Στην αρχική περιοχή αυτή δημιουργείται έντονη τριβή που εξαρτάται από 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 τα δύο επίπεδα τύρβης. Η εξέλιξη του ομόρρου στη περιοχή καθορίζεται κυρίως από την τοπική τύρβη και από την τύρβη λόγω περιστροφής.

### **B) Κυρίως περιοχή**

Στην κυρίως περιοχή η τοπική τύρβη εξασθενεί σταθερά, η τύρβη λόγω περιστροφής έχει απορροφηθεί πλήρως και η εξέλιξη του ομόρρου αρχίζει πλέον να καθορίζεται από την διάχυτη τύρβη της εξωτερικής ροής. Με γνωστές τις διανομές ταχυτήτων, για να καθοριστεί πλήρως το πεδίο ταχύτητας του ομόρρου,

είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της κλίσης του ομόρρου  $K = \frac{dr}{dx}$



Εικόνα 5.1: Αιολικό πάρκο στη Κρήτη

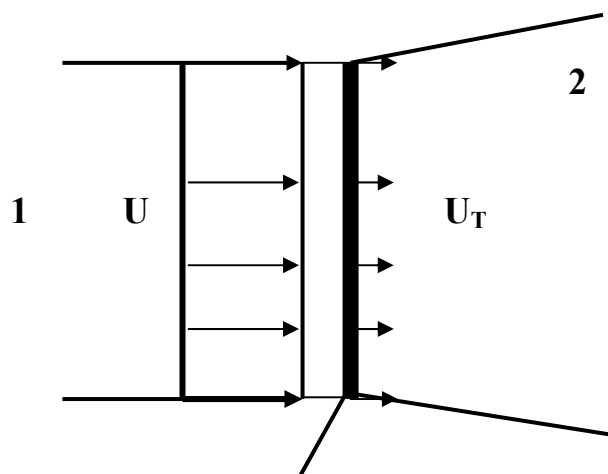
### 5.3 Ενεργειακή απόδοση πάρκου

Το μοντέλο που παρουσιάζεται στη συνέχεια, για την εκτίμηση της ενεργειακής απόδοσης αιολικών πάρκων, αναπτύχθηκε στο εργαστήριο αεροδυναμικής του Ε.Μ.Π. Τα πρωτότυπα στοιχεία που έχουν εισαχθεί στο ενεργειακό πρότυπο είναι δύο:

1. Ο υπολογισμός του πεδίου ταχύτητας στο πάρκο με σκοπό να λαμβάνονται υπόψιν η τυρβώδης ανάμειξη των ομόρρων των  $A/\Gamma$ .
2. Ο υπολογισμός της μείωσης της τιμής της ταχύτητας του ανέμου στον άξονα της πτερωτής. Οι υπολογισμοί αυτοί γίνονται με τη βοήθεια της εξίσωσης του Bernoulli.

### 5.4 Υπολογισμός του πεδίου ταχύτητας

Υποθέτουμε ότι στην πτερωτή της μηχανής προσπίπτει ένα ομοιόμορφο πεδίο ταχύτητας ανέμου με τιμή  $U$ . Σύμφωνα με το μοντέλο, μετά το δίσκο ενέργειας έχουμε και πάλι ομοιόμορφη διανομή ταχύτητας με τιμή  $U_T$



Σχήμα 5.4: Δίσκος ενέργειας της  $A/\Gamma$

Εφαρμόζοντας την εξίσωση του **Bernoulli** στις θέσεις 1 και 2 και υποθέτοντας ότι ο αέρας διαμέσου της πτερωτής περνάει με το ημιάθροισμα των ταχυτήτων  $U$  και  $U_T$ , η ισχύς που απορροφάει η μηχανή από τον άνεμο δίνεται

από την σχέση: 
$$P = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 (U^2 - U_T^2)(U + U_T)$$

όπου,

**P** : η ισχύς που απορροφάει η πτερωτή

**ρ** : η πυκνότητα του αέρα

**R** : η ακτίνα του δρομέα

**U, U<sub>T</sub>** : οι ταχύτητες όπως φαίνονται στο **σχήμα 5.4**

Μετασχηματίζοντας τα διάφορα μεγέθη στην παραπάνω σχέση καταλήγουμε τελικά σε μια εξίσωση τρίτου βαθμού η οποία έχει τη μορφή :

$$\chi^3 + \chi^2 - \chi + \alpha - 1 = 0$$

όπου:

$$\chi = \frac{U_T}{U}$$

$$\alpha = \frac{4P}{\rho\pi R^2 U^3}$$

Αν **P** είναι η ισχύς που δίνει τελικά η μηχανή, και **P<sub>απορ</sub>** είναι η ισχύς που απορροφάει η μηχανή από τον αέρα με **P<sub>απορ</sub>>P** ισχύει:

$$P_{απορ} = \frac{P}{n_{μηχ}}$$

Η εισαγωγή του συντελεστή **n<sub>μηχ</sub>** στην σταθερά **α**, φαίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$a = \frac{4P}{\rho\pi R^2 U^3 n}$$

Αυτή προκαλεί μείωση της ταχύτητας **U<sub>T</sub>** και έχει σημαντικό ρόλο στην διεξαγωγή αποτελεσμάτων.

## 5.5 Απόδοση αιολικού πάρκου

Έστω ότι σε αιολικό πάρκο μια Α/Γ βρίσκεται στους ομόρρους  $n$  ανεμογεννητριών, στον άξονα της μηχανής επάγονται  $n$  διαφορετικές ταχύτητες  $U_1, U_2, \dots, U_n$ . Το πρόβλημα της αλληλεπίδρασης των ομόρρων, λύνεται εξισώνοντας την μείωση της κινητικής ενέργειας του αναμειγμένου ομόρρου με το άθροισμα των μειώσεων των κινητικών ενεργειών από κάθε ομόρρου. Έτσι αν στον άξονα της μηχανής επάγονται οι ταχύτητες  $W_1, W_2, \dots, W_n$  ισχύει η σχέση:

$$\frac{1 - W}{U_w} = \sum_{i=1}^n (U_i - W_i)^2$$

όπου,

$U_w$ : είναι η ταχύτητα αναφοράς του ανέμου. Η ταχύτητα αυτή είναι σταθερή σε κάθε θέση του χώρου που είναι τοποθετημένη η συστοιχία.

Από τη παραπάνω σχέση μπορούμε επίσης να υπολογίσουμε τη συνολική επαγόμενη ταχύτητα  $W$  στον άξονα της πτερωτής.

Ο βαθμός απόδοσης  $n$  του αιολικού πάρκου μπορεί να υπολογιστεί σύμφωνα με

τη σχέση :

$$n = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n_T P}$$

όπου,

$n_T$  : το συνολικό πλήθος των Α/Γ του πάρκου

$P$  : η ισχύς που αντιστοιχεί στην ταχύτητα αναφοράς ( $U_w$ ) του ανέμου.

## 5.6 Επίδραση του εδάφους

Το μοντέλο του ομόρρου ανεμογεννήτριας που αναλύθηκε εφαρμόζεται για επίπεδη τοπογραφία. Για τρισδιάστατη τοπογραφία είναι προφανές ότι το μοντέλο πρέπει να αλλάξει. Η τεχνική που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της επίδρασης του εδάφους στον ομόρρου είναι η τοποθέτηση μιας φανταστικής ανεμογεννήτριας συμμετρικής ως προς το έδαφος με την πραγματική. Έτσι

υποτίθεται ότι εκτός από τον πραγματικό, υπάρχει και ένας φανταστικός ομόρρους.

Ο φανταστικός ομόρρους δημιουργεί μια πρόσθετη μείωση της ταχύτητας που προσπίπτει σε πτερωτή η οποία βρίσκεται μέσα στον ομόρρου της πραγματικής.

$$(U_1 - W)^2 = \sum_{i=1}^n (U_1 - W_1)^2 + \sum_{i=1}^m (U_1 - W_{im_1})^2$$

όπου,

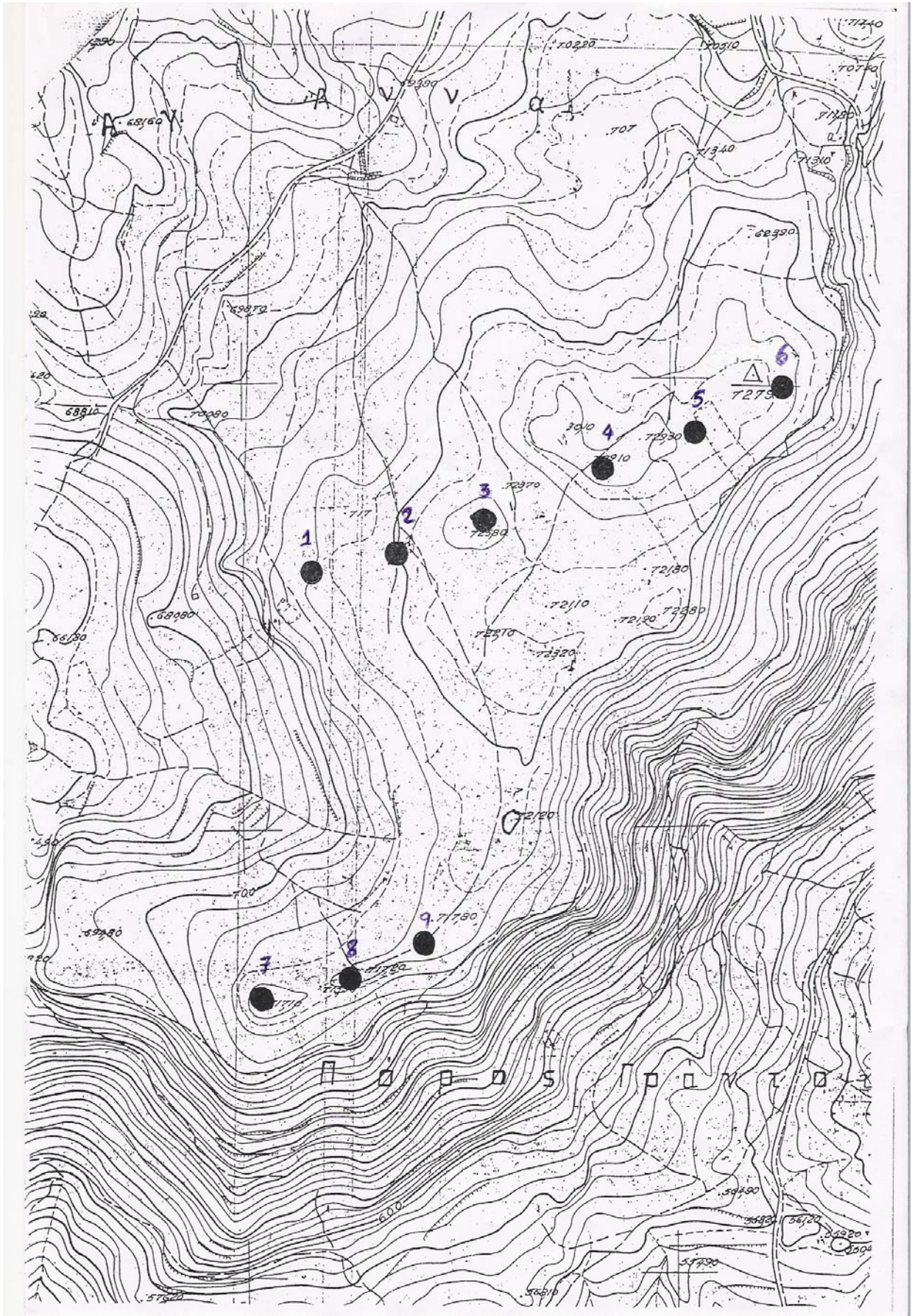
**W<sub>im</sub>**: είναι οι επαγόμενες ταχύτητες από τους φανταστικούς ομόρρους των ανεμογεννητριών.

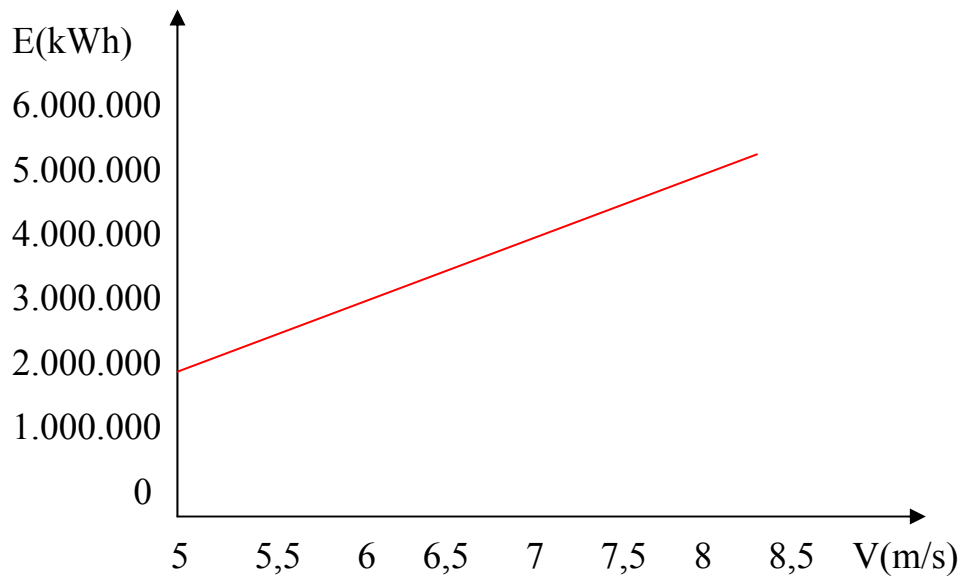
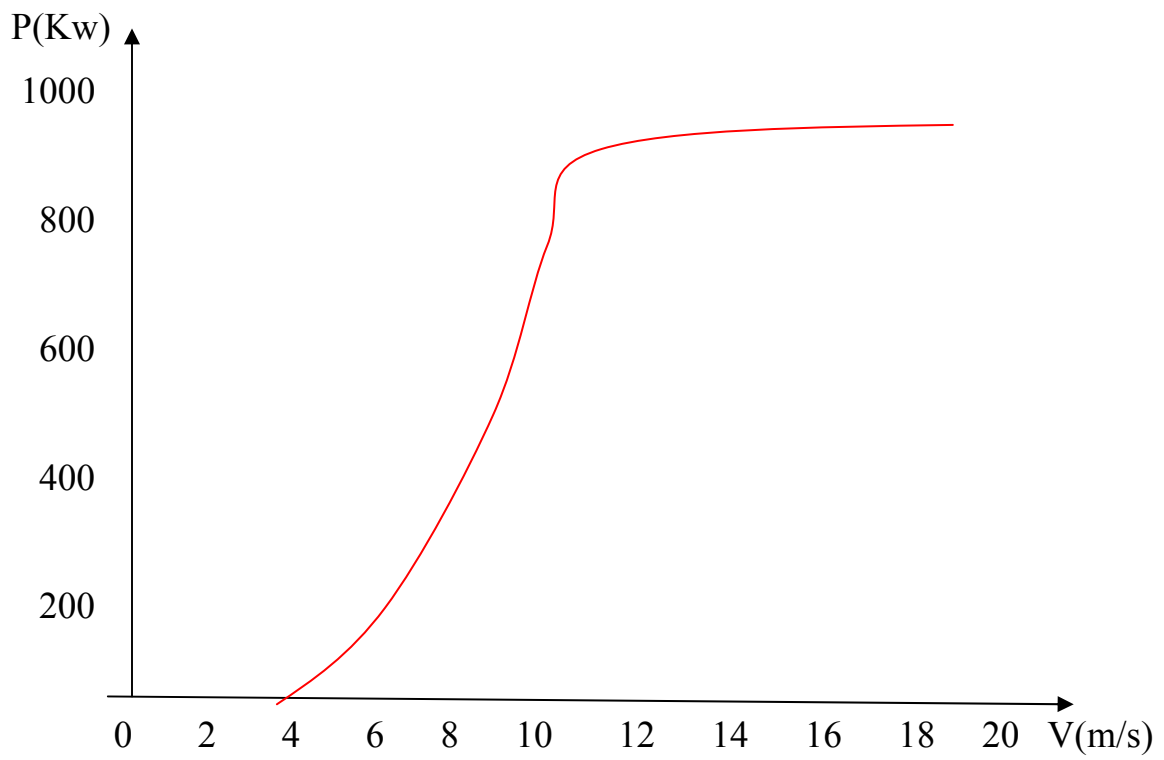
Ισχύει  $m > n$  διότι πιθανόν ορισμένοι φανταστικοί ομόρροι να μην επηρεάζουν τη συνολικά επαγόμενη ταχύτητα (W).

Στην πράξη η μείωση της ταχύτητας (W) που οφείλεται στους φανταστικούς ομόρρους είναι πολύ μικρή και αυτό γιατί το μοντέλο δέχεται πολύ μικρό άνοιγμα του ομόρρου. Από τον φανταστικό ομόρρου επηρεάζονται μόνο οι μηχανές που βρίσκονται αρκετά μακριά από την πραγματική (περίπου 10 διάμετροι απόσταση). Σε τέτοια απόσταση έχει ήδη αποκατασταθεί η ταχύτητα του ανέμου.

### 5.7 Υπολογισμός ενεργειακής απόδοσης αιολικού πάρκου

Οι υπολογισμοί ενεργειακής απόδοσης του παρακάτω αιολικού πάρκου έχουν γίνει με βάση τις χαρακτηριστικές μιας μηχανής Enron 1 MW. Στο παρακάτω τοπογραφικό σχεδιάγραμμα έχουμε εννέα Α/Γ (N=9) οι οποίες έχουν τις παρακάτω μέσες ταχύτητες:  $V_1=7$  m/sec,  $V_2=7,5$  m/sec,  $V_3=7,2$  m/sec,  $V_4=7$  m/sec,  $V_5=7$  m/sec,  $V_6=7,8$  m/sec,  $V_7=7,5$  m/sec,  $V_8=7,8$  m/sec,  $V_9=7,6$ . Οι Α/Γ μεταξύ τους απέχουν απόσταση 2 διαμέτρους δρομέα, ενώ η πάνω συστοιχία από την κάτω απέχουν 7 διαμέτρους δρομέα έτσι ώστε το ρεύμα ροής του ανέμου να μη συναντήσει άλλη Α/Γ πριν ολοκληρωθεί η αρχική του κατάσταση σύμφωνα με το **μοντέλο του Lisseman**.





Σχήματα 5.5, 5.6: Χαρακτηριστικές καμπύλες αιολικής μηχανής



Με βάση τις παραπάνω χαρακτηριστικές και με τη βοήθεια των παρακάτω εξισώσεων σχηματίζουμε τον **πίνακα 5.1**:

$$W = N * E \quad (1)$$

όπου, **E**: Η ενέργεια σε **kWh** που υπολογίζεται από τη χαρακτηριστική 2,

**N**: Ο αριθμός των μηχανών για το δεδομένο αιολικό σύστημα

$$Cf = W / 8.760 * P_R \quad (2)$$

όπου, **Cf**: Ο συντελεστής διαθεσιμότητας που υπολογίστηκε για 8.760 ώρες το χρόνο

**W**: Η ενέργεια σε **kWh** που υπολογίζεται από τη σχέση (1)

$$P_R = N * P_{ov} \quad (3)$$

όπου, **P<sub>ov</sub>**: Η ονομαστική ισχύς της μηχανής σε (**kW**)

Από τις χαρακτηριστικές των **σημμάτων 5.5** και **5.6** και τις παραπάνω εξισώσεις δημιουργούμε τον **πίνακα 5.1**.

| A/A | N | Vμ(m/sec) | Pr (KW)     | E(kWh)    | W(kWh)     | Cf       |
|-----|---|-----------|-------------|-----------|------------|----------|
| 1   | 9 | 7,0       | 9*1000=9000 | 4.000.000 | 36.000.000 | 0,456621 |
| 2   | 9 | 7,5       | 9000        | 4.500.000 | 40.500.000 | 0,513698 |
| 3   | 9 | 7,2       | 9000        | 4.100.000 | 36.900.000 | 0,468036 |
| 4   | 9 | 7,0       | 9000        | 4.000.000 | 36.000.000 | 0,456621 |
| 5   | 9 | 7,0       | 9000        | 4.000.000 | 36.000.000 | 0,456621 |
| 6   | 9 | 7,8       | 9000        | 4.900.000 | 44.100.000 | 0,559360 |
| 7   | 9 | 7,5       | 9000        | 4.500.000 | 40.500.000 | 0,513698 |
| 8   | 9 | 7,8       | 9000        | 4.900.000 | 44.100.000 | 0,559360 |
| 9   | 9 | 7,6       | 9000        | 4.550.000 | 40.950.000 | 0,519406 |

*Πίνακας 5.1*

Ύστερα από πράξεις καταλήγουμε ότι ο μέσος συντελεστής διαθεσιμότητας είναι  $C_f=0,5$ , ο οποίος είναι ένας πολύ καλός βαθμός διαθεσιμότητας. Από το άθροισμα των ενεργειών  $W$  προκύπτει η ολική ενεργειακή απόδοση του πάρκου, η οποία ισούται με  $W= 355.050.000$  kWh.



Εικόνα 5.2: *Αιολικό πάρκο στην Κρήτη*

## 6. ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Ένας μύθος που καλλιεργείται έντεχνα τον τελευταίο καιρό από τους υποστηρικτές των συμβατικών μορφών ενέργειας (κάρβουνο, πετρέλαιο και άλλων περισσότερο ή λιγότερο ρυπογόνων καυσίμων) είναι ότι οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ), και ιδιαίτερα η τεχνολογικά ώριμη και οικονομικά αποδοτική αιολική ενέργεια, ναι μεν παρουσιάζει σοβαρά πλεονεκτήματα (περιβαλλοντικά, αναπτυξιακά, ενεργειακά, κλπ), αλλά τα πλεονεκτήματα αυτά εκδηλώνονται και επηρεάζουν θετικά σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο τη χώρα ενώ ελάχιστα αφορούν τις τοπικές κοινωνίες. Ο σκοπός που καλλιεργείται μια τέτοια, τελείως ανακριβής αντίληψη, είναι προφανής: να παγιδευτούν οι τοπικές κοινωνίες στο εκβιαστικό δίλλημα : ή ρυπογόνες μορφές ενεργειακής ανάπτυξης που προσπορίζουν όμως οικονομικά οφέλη σε τοπικό επίπεδο (απασχόληση, αντισταθμιστικά, κλπ), ή φιλικά προς το περιβάλλον ανανεώσιμα, χωρίς όμως ουσιαστική συνεισφορά στην τοπική ανάπτυξη. Όμως, η πραγματικότητα είναι τελείως διαφορετική και τους διαψεύει σε μεγάλο βαθμό. Η συσσωρευμένη εμπειρία της τελευταίας 15ετίας, τόσο σε διεθνές επίπεδο (μόνο στην Ευρωπαϊκή Ένωση λειτουργούν ήδη πάνω από 45.000 MW σταθμών ΑΠΕ), όσο και στην Ελλάδα, όπου λειτουργούν ήδη περίπου 600 MW ανανεώσιμων, κυρίως αιολικά πάρκα, δείχνει καθαρά, και πέρα από κάθε αμφιβολία, ότι η ίδρυση και λειτουργία έργων ΑΠΕ εμπορικής κλίμακας δημιουργεί ισχυρούς πόλους τοπικής ανάπτυξης και περιβαλλοντικής αναβάθμισης και προσπορίζει πολλαπλά, μετρήσιμα και ουσιαστικά οφέλη στις τοπικές κοινωνίες, στις περιοχές των οποίων εγκαθίστανται τα έργα αυτά. Πιο συγκεκριμένα, και με βάση τα καταγεγραμμένα απολογιστικά στοιχεία των εν λειτουργία αιολικών πάρκων στην Ελλάδα (2005), τα έργα αυτά:

1. Συμβάλλουν σημαντικά στην τοπική απασχόληση. Έτσι π.χ., εγκατεστημένη ισχύ αιολικών πάρκων 50 MW, απαιτούνται:

- 600-900 ανθρωπομήνες απασχόλησης στη φάση κατασκευής τους. Το 30-40 % αυτής της απασχόλησης προέρχεται από το ντόπιο εργατικό δυναμικό.

- 13-16 εργαζόμενοι στη φάση λειτουργίας τους, οι περισσότεροι από τους οποίους είναι ντόπιοι.

Η συμβολή των αιολικών πάρκων στην απασχόληση, τόσο την τοπική όσο και σε εθνικό επίπεδο γίνεται πραγματικά εντυπωσιακή εάν συμπεριληφθούν οι προοπτικές εγχώριας κατασκευής/ συναρμολόγησης μεγάλων τμημάτων του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού των έργων αυτών, όπως είναι οι πυλώνες των ανεμογεννητριών, οι μετασχηματιστές, οι πίνακες ελέγχου, κ.α. Οι προοπτικές αυτές οι οποίες έχουν ήδη αρχίσει να υλοποιούνται στην Ελλάδα (εργοστάσιο ΡΟΚΑΣ) στην Τρίπολη, (εργοστάσιο ΒΙΟΜΕΚ στο Αλιβέρι), μπορούν να εκτοξεύσουν την σχετιζόμενη με τα αιολικά πάρκα απασχόληση, ιδιαίτερα την τοπική, στα ύψη. Σύμφωνα με τα έγκυρα και απόλυτα τεκμηριωμένα απολογιστικά στοιχεία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (“ Wind Energy : The facts’’, 1999, Τόμος 3, σελ 124), κάθε 50 MW αιολικής ενέργειας που εγκαθίστανται δημιουργούν σήμερα τουλάχιστον 750- 950 νέες θέσεις εργασίας, κυρίως στην βιομηχανική παραγωγή του απαιτούμενου ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού.

2. Η λειτουργία αιολικών πάρκων προσφέρει ένα μόνιμο και σημαντικό ετήσιο έσοδο στους τοπικούς Δήμους (2% επί του τζίρου τους), αλλά και στην τοπική κοινωνία γενικότερα. Έτσι π.χ., μια εγκατεστημένη ισχύς αιολικών πάρκων 50 MW:

- Έχει κόστος κατασκευής 55 εκατομ. Ευρώ περίπου (19 δις δρχ), από τα οποία το 15-20% δαπανάται τοπικά, σε εργολαβίες, προμήθειες, μισθούς στη φάση κατασκευής κ.λ.π
- Έχει τζίρο από την πώληση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγει, περίπου 10 εκατ. Ευρώ (3,4 δις δρχ) το χρόνο, από τα οποία τα 200.00 Ευρώ (68 εκατ. δρχ.) το χρόνο (δηλ το 2%) εισφέρονται δια νόμου ως έσοδο στους τοπικούς Δήμους, για όλη τη διάρκεια ζωής των αιολικών πάρκων, δηλ. για τουλάχιστον 20 χρόνια.

- Απαιτείται για τις ανάγκες λειτουργίας των αιολικών πάρκων, 1 εκατ. Ευρώ (340 εκατ. δρχ.) το χρόνο, από τα οποία το 30-50% αφορά τοπικές δαπάνες (μισθούς τοπικού μόνιμου προσωπικού, τοπικές εργολαβίες συντήρησης και επισκευών, κα).

3. Η κατασκευή αιολικών πάρκων σε μια περιοχή συνοδεύεται από την παράλληλη υλοποίηση σειράς αντισταθμικών οφελών, πέραν των άμεσων και μετρήσιμων οικονομικών εισροών και των δημιουργουμένων θέσεων απασχόλησης. Έτσι :

- Κατασκευάζονται ή και βελτιώνονται, χωρίς κόστος για τους δημότες, σημαντικά έργα υποδομής.
- Κατασκευάζονται ως αντισταθμιστικά οφέλη (χωρίς κόστος) για τους τοπικούς Δήμους, διάφορα κοινωφελή έργα, όπως κοινοτικοί δρόμοι, σχολεία, παιδικοί σταθμοί κα, ενώ προσφέρονται από τους επενδυτές και ανάλογες χορηγίες.
- Προωθούνται νέες, εναλλακτικές και ιδιαίτερα κερδοφόρες μορφές τουρισμού στην περιοχή, όπως π.χ ο οικοτουρισμός (επισκέψεις σε εγκαταστάσεις οικολογικών μορφών ενέργειας, όπως είναι τα αιολικά πάρκα).

4. Τα αιολικά πάρκα συντελούν αποφασιστικά στην προστασία του περιβάλλοντος μίας περιοχής, αφού περιορίζουν σε σημαντικό βαθμό τις εκπομπές επιβλαβών για την υγεία ρυπαντικών ουσιών, που προκαλούνται από την καύση ορυκτών καυσίμων (άνθρακα, πετρελαίου). Έτσι η κατασκευή και λειτουργία αιολικών πάρκων 50 MW στη χώρα μας, έχει ως αποτέλεσμα την αποτροπή έκλυσης στην ατμόσφαιρα περίπου 2.300 τόνων το χρόνο διοξειδίου του θείου (SO<sub>2</sub>), 180 τόνων το χρόνο οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>), 120 τόνων το χρόνο αιωρούμενων σωματιδίων και 128.000 τόνων το χρόνο διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) (αερίου που είναι υπεύθυνο για το φαινόμενο του θερμοκηπίου). Υπενθυμίζεται ότι το φαινόμενο του θερμοκηπίου θεωρείται πια, σε παγκόσμιο αλλά και σε τοπικό

επίπεδο, υπεύθυνο σε πολύ μεγάλο βαθμό για τις υπερβολικά αυξημένες θερμοκρασίες, ιδιαίτερα το καλοκαίρι, για την αυξημένη ξηρασία (μείωση της στάθμης των υδροφόρων οριζόντων και επιφανειακών νερών), αλλά και για την αύξηση της έντασης καιρικών φαινομένων, όπως οι ξαφνικές και καταστρεπτικές πλημμύρες. Έγκυρες μελέτες της Ευρωπαϊκής Ένωσης έδειξαν ότι μια σημαντική υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και κυρίως με αιολικά πάρκα που βρίσκονται ήδη στο στάδιο σχεδιασμού ή υλοποίησης, θα μπορούσε να συμβάλλει στη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα στην ηλεκτροπαραγωγή τουλάχιστον κατά 11% , και επομένως να περιορίσει αντίστοιχα και τις δυσμενείς επιπτώσεις από το φαινόμενο του θερμοκηπίου.



Εικόνα 6: Αιολικό πάρκο στην Εύβοια

## 7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Στο παράρτημα που ακολουθεί αναφέρεται ο φορέας διαχείρισης της ενέργειας και το Νομοθετικό Πλαίσιο Ηλεκτροπαραγωγής από ΑΠΕ και Συμπαράγωγή.

### 7.1 Ρόλος της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας στα πλαίσια της Ενεργειακής Πολιτικής

Η αξιοποίηση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ιδίως της αιολικής δεν ήταν η αναμενόμενη, εξαιτίας του δυσμενούς θεσμικού πλαισίου το οποίο ίσχυε μέχρι το 1994. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη για τη συγκρότηση ρυθμιστικών κανόνων και αρχών, απαραίτητη προϋπόθεση για τις επιδιωκόμενες διαρθρωτικές μεταβολές των αγορών. Αποτέλεσμα αυτού ήταν η σύσταση της **P.A.E** (Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας) στα πλαίσια της εναρμόνισης με την Κοινοτική Οδηγία 96/92. Πρόκειται για μια ανεξάρτητη διοικητική αρχή με πλήρη οικονομική και διοικητική αυτοτέλεια που έχει κυρίως γνωμοδοτικό και εισηγητικό χαρακτήρα στον τομέα της ενέργειας. Ο ρόλος της δεν είναι ελεγκτικός ή δικαστικός. Δεν έχει αρμοδιότητα σε θέματα που καλύπτει η Επιτροπή Ανταγωνισμού όπως για παράδειγμα η εξέταση του κατά πόσον κάποια υποψήφια συγχώνευση εταιριών μπορεί να δημιουργήσει μονοπωλιακή κατάσταση.

**Ο κυριότερος σκοπός της P.A.E** είναι να διευκολύνει τον ελεύθερο και υγιή ανταγωνισμό στην ενεργειακή αγορά με στόχο να εξυπηρετηθεί καλύτερα και με οικονομικότερο τρόπο ο καταναλωτής (ιδιώτης-επιχείρηση) αλλά και να επιβιώσει η μικρή και μεσαία επιχείρηση η οποία είναι φορέας ανάπτυξης και απασχόλησης, βρίσκοντας νέες ευκαιρίες .

Επίσης η **P.A.E** έχει σαν σκοπό:

- Τη πλήρη και αντικειμενική πληροφόρηση προς όλους, θεωρώντας ότι η έλλειψη πληροφορίας συντείνει στην ανάπτυξη καταστάσεων και εξαρτήσεων. Για το σκοπό αυτό εξασφαλίζει θεσμικά κατοχυρωμένη συνεργασία με τους εμπλεκόμενους φορείς και διαθέτει την πληροφόρηση δωρεάν μέσω διαδικτύου. Το σύστημα πληροφόρησης περιλαμβάνει

ενεργειακά στοιχεία, τιμές, προβλέψεις κατανάλωσης, επιχειρηματικά νέα, διεθνή θέματα κ.λ.π.

- Την παρακολούθηση της λειτουργίας της αγοράς, προτείνοντας θεσμικά, τεχνικά και διαρθρωτικά μέτρα τα οποία βελτιώνουν τον ανταγωνισμό και επιτρέπουν νέες εισόδους στην αγορά ενώ εξασφαλίζουν τη χρηματοοικονομική βιωσιμότητα των επιχειρήσεων.
- Την παρακολούθηση των τιμών και του κόστους της ενέργειας, σε ότι αφορά στο επίπεδο αλλά και τη διάρθρωση της μέσω του εντοπισμού, αν αντανακλώνται στις τιμές τα οφέλη από τη λειτουργία της αγοράς, αν εξασφαλίζεται η χρηματοδότηση ζητημάτων δημοσίου συμφέροντος ( π.Χ περιβάλλον, ανανεώσιμες πηγές, κ.λ.π) και αν αποφεύγονται πρακτικές σταυροειδών επιδοτήσεων από μεγάλους παίκτες της αγοράς.
- Την εισήγηση κανονιστικών διατάξεων ώστε να ρυθμίζονται οι λεπτομέρειες της θεσμικής λειτουργίας της αγοράς, των δικαιωμάτων και υποχρεώσεων των εμπλεκόμενων στην αγορά, κ.λ.π
- Την εξασφάλιση με θεσμικό τρόπο συμβατό με τους μηχανισμούς της απελευθερωμένης αγοράς, των μακροχρόνιων στρατηγικών στόχων της ενεργειακής πολιτικής και την εξυπηρέτηση του δημόσιου συμφέροντος. Τέτοιοι **στρατηγικοί στόχοι** είναι: η επαρκής, αξιόπιστη και ισότιμη τροφοδοσία όλων των καταναλωτών σε όλες τις περιοχές ακόμα και στις πιο απομακρυσμένες αλλά και σε όλες τις τάξεις, η ασφάλεια τροφοδοσίας της χώρας και το περιβάλλον περιλαμβανόμενου του ζητήματος της κλιματικής αλλαγής. Επίσης η ανάπτυξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι νέες τεχνολογίες, η αποτελεσματική χρήση και προμήθεια ενέργειας και η εξασφάλιση επαρκούς υποδομής για την ενέργεια. Η υποδομή προμήθειας μεταφοράς και διανομής της ενέργειας και η ανάπτυξη της ώστε να είναι επαρκής και να διευκολύνει τη φυσική και οικονομική πρόσβαση νέων επιχειρήσεων και την παροχή καλύτερης υπηρεσίας προς τους καταναλωτές.



Τέλος η ενσωμάτωση της τεχνολογικής προόδου σε όλους τους τομείς παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Δεν είναι βέβαιο αν οι μηχανισμοί της αγοράς η οποία λειτουργεί σε βραχυχρόνια λογική μπορούν να επιτύχουν ικανοποιητικά και μακροχρόνια τους παραπάνω στόχους οι οποίοι ονομάζονται εξωτερικότητες της αγοράς. Η ενσωμάτωση στην αγορά αυτών των μεγάλων ζητημάτων της ενεργειακής πολιτικής είναι ίσως το δυσκολότερο έργο της **P.A.E** καθώς θα πρέπει να μετατρέψει αυτές τις εξωτερικότητες σε εσωτερικά θέματα της αγοράς, με τρόπο όμως που να είναι απολύτως συμβατός με την πιο ανταγωνιστική και ελεύθερη λειτουργία αυτής της αγοράς.

Γι' αυτό το λόγο απαιτείται η επίτευξη λεπτής ισορροπίας, χρησιμοποιώντας όλα τα εργαλεία που είναι συμβατά με τους μηχανισμούς της αγοράς, όπως οι χρεώσεις στη μεταφορά ενέργειας για λόγους δημόσιου συμφέροντος, το εμπόριο αδειών ρύπανσης, το εμπόριο προθεσμιακών παραγωγών και συμβολαίων, οι όροι στην αδειοδότηση, το εμπόριο «πράσινου» ηλεκτρισμού, κ.λ.π

Η **P.A.E** αναλαμβάνει επίσης διεθνείς συνεργασίες τόσο με τις χώρες των Βαλκανίων και της Ευρασίας όσο και στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης όπου θα συντελεσθούν μεγάλες θεσμικές αλλαγές με στόχο την ενιαία ανταγωνιστική εσωτερική αγορά ενέργειας. Η **P.A.E** φιλοδοξεί να αναπτύξει τους ίδιους μηχανισμούς στα πλαίσια της Βαλκανικής Αγοράς Ενέργειας στην οποία η Ελλάδα δίνει μεγάλη προτεραιότητα.

Η προώθηση της δημιουργίας Προθεσμιακής Αγοράς Ενέργειας είναι ένας από τους πρώτους στόχους της **P.A.E** με σκοπό όχι μόνο την περιφερειακή αγορά αλλά και την εξομάλυνση των απότομων διακυμάνσεων των τιμών και τις οικονομίες που αυτή θα επιφέρει ώστε να εξυπηρετηθούν οικονομικότερα οι καταναλωτές αλλά και να μειωθεί ο κίνδυνος που αναλαμβάνουν οι προμηθευτές ενέργειας.



Εικόνα 7.1: *Ανεμόμυλοι Μυκόνου*

## **7.2 ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΠΟ ΑΠΕ & ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ**

### *Γενική νομοθεσία σχετική με ΑΠΕ*

**N. 2941/01 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 201/12-09-01)**: «Απλοποίηση διαδικασιών ίδρυσης εταιρειών, αδειοδότησης Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, ρύθμιση θεμάτων της Α.Ε. «ΕΛΛΗΝΙΚΑ ΝΑΥΠΗΓΕΙΑ» και άλλες διατάξεις.».

**N. 2244/94 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 168/07-10-94)**: «Ρύθμιση θεμάτων Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις».

**N. 2773/99 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 286/22-12-99)**: «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας-Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις».

**N. 2647/98 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 237/22-10-98)**: «Μεταβίβαση αρμοδιοτήτων στις περιφέρειες και την αυτοδιοίκηση και άλλες διατάξεις».

**Υ.Α. σε 2708/17-12-87 ΥΒΕΤ (Τεύχος ΦΕΚ Β' 761):** «Δικαιολογητικά που απαιτούνται για την έκδοση αδειών ίδρυσης, εγκατάστασης και λειτουργίας των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής»

Η απόφαση αυτή τροποποιήθηκε από τις :

**Υ.Α. Δ6/Φ1/ΟΙΚ12230/3.8.99 ΥΠΑΝ (Τεύχος ΦΕΚ Β' 1560/04-08-99):**

«Τροποποίηση διαδικασίας έκδοσης αδειών εγκατάστασης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση ΑΠΕ μη εγγυημένης ισχύος στα ηλεκτρικά συστήματα Κρήτης, Ρόδου και Κω της ΔΕΗ και λοιπές ρυθμίσεις»

**Υ.Α. 8860/11.5.1998 ΥΠΑΝ:**«Τροποποίηση διατάξεων της απόφασης του Υπουργού ΒΕΤ8295/19.4.1995»

**Υ.Α. Δ6/Φ1/51298/2.8.1996 ΥΠΑΝ (Τεύχος ΦΕΚ Β 766/28.08.1996):**

«Τροποποίηση και αντικατάσταση διατάξεων καθώς και διόρθωση παροραμάτων της απόφασης του Υπουργού Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας με αριθ. πρωτ.Δ6/Φ1/ΟΙΚ.8295/19.4.1995».

**Υ.Α. Δ6/Φ1/ΟΙΚ.8295/19.4.1995 ΥΒΕΤ (Τεύχος ΦΕΚ Β 385/10.5.1995):**

Α. Διαδικασίες και δικαιολογητικά που απαιτούνται για την έκδοση των αδειών εγκατάστασης και λειτουργίας σταθμών ηλεκτροπαραγωγής, τα καταβλητέα παράβολα καθώς και κάθε άλλη αναγκαία λεπτομέρεια.

Β. Καθορισμός γενικών τεχνικών και οικονομικών όρων των συμβάσεων μεταξύ παραγωγών και ΔΕΗ, λεπτομέρειες διαμόρφωσης των τιμολογίων καθώς και όροι διασύνδεσης»

**Υ.Α. Δ6/Φ1/ΟΙΚ.13129/2.8.96 ΥΠ.ΑΝ (Τεύχος ΦΕΚ Β 766/28.8.1996):**

«Προσδιορισμός παραβάσεων και καθορισμός διαδικασίας επιβολής σχετικών κυρώσεων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής»

***Σχετικά με Υδροηλεκτρικά έργα:***

**Ν. 1739/1987 (Τεύχος ΦΕΚ Α 201/20-11-1987):** «Διαχείριση των υδατικών πόρων και άλλες διατάξεις»

**Π.Δ. 256/1989 (Τεύχος ΦΕΚ Α 121/11.5.89)** «Άδεια χρήσης νερού»

**Υ.Α. Φ16/5813/17.5.89 ΥΒΕΤ (Τεύχος ΦΕΚ Β 383/24.5.89):**

«Άδεια εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων από νομικά πρόσωπα ιδιωτικού δικαίου, που δεν περιλαμβάνονται στον Δημόσιο τομέα και από φυσικά πρόσωπα»

**Υ.Α. 12160/30.7.1999 ΥΠΑΝ (Τεύχος ΦΕΚ Β 1552/3.8.99):**

«Διαδικασία επιλογής υποψηφίων ηλεκτροπαραγωγών για έκδοση αδειών εγκατάστασης μικρών υδροηλεκτρικών έργων με τη βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου υδατικού δυναμικού της χώρας»

***Σχετικά με την αξιοποίηση βιομάζας:***

**Π.Δ. 126/1986 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 44/17-04-86):** «Διαδικασία παραχώρησης της εκμετάλλευσης, συντήρησης και βελτίωσης των δασών που ανήκουν στο Δημόσιο και στα νομικά πρόσωπα του Δημοσίου τομέα στους δασικούς συνεταιρισμούς».

***Σχετικά με την αξιοποίηση Γεωθερμικών Πεδίων***

**Ν. 1475/84 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 131/11-09-1984):** «Αξιοποίηση του γεωθερμικού δυναμικού»

**Υ.Α. Δ9-8/Φ261/31928/21-12-93 (Τεύχος ΦΕΚ Β' 958/31.12.1993)**

«Καθορισμός μισθώματος γεωθερμικής ενέργειας χαμηλής ενθαλπίας για άμεση χρήση βάσει του καταναλισκόμενου θερμοενεργειακού δυναμικού του γεωθερμικού ρευστού».

***Άλλοι σχετικοί νόμοι***

**Ν. 2503/97:** «Διοίκηση –οργάνωση στελέχωση της Περιφέρειας, ρύθμιση θεμάτων για την Τοπική Αυτοδιοίκηση»

**Ν. 1558/85 (Τεύχος ΦΕΚ 381/Α/26.7.1985):** «Κυβέρνηση και κυβερνητικά όργανα»

**Π.Δ. 27/1996** «Συγχώνευση των Υπουργείων Τουρισμού, Βιομηχανίας, Ενέργειας και Τεχνολογίας και Εμπορίου στο Υπουργείο Ανάπτυξης»

Αναλυτικότερα θα αναφερθούμε σε τρεις βασικούς νόμους οι οποίοι περιλαμβάνονται στη γενική νομοθεσία, σχετική με την ΑΠΕ:

**N. 2244/94 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 168/07-10-94):** «Ρύθμιση θεμάτων Ηλεκτροπαραγωγής από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας και από συμβατικά καύσιμα και άλλες διατάξεις».

Το θεσμικό πλαίσιο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές (ΑΠΕ) στην Ελλάδα καθορίζεται από το **Νόμο 2244/94**. Ο νόμος αυτός άλλαξε σημαντικά το τοπίο επιχειρώντας να δώσει ισχυρά οικονομικά κίνητρα για την ανάπτυξη των ΑΠΕ στην Ελλάδα με την προσέλκυση ιδιωτικών κεφαλαίων. Η βασική κατεύθυνση του **N. 2244/94** εναρμονίζεται με τα μέτρα και τις διατάξεις που ισχύουν σχεδόν σε όλες τις χώρες της Ε.Ε. με σκοπό την αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο.

Τα κύρια σημεία του **N. 2244/94** μπορούν να συνοψισθούν στα παρακάτω:

- ◆ Επιτρέπεται η παραγωγή και διάθεση ηλεκτρικής ενέργειας από ανεξάρτητους παραγωγούς (ΑΠ) εφ' όσον χρησιμοποιούνται ΑΠΕ.
- ◆ Επιβάλλεται στη ΔΕΗ η υποχρέωση να αγοράζει την ενέργεια που παράγεται από ανεξάρτητους παραγωγούς.
- ◆ Προσφέρονται ιδιαίτερα ελκυστικές και σχετικά σταθερές τιμές στους ΑΠ από ΑΠΕ που συνδέονται με τα τιμολόγια των καταναλωτών.
- ◆ Παρέχεται σταθερό επιχειρησιακό περιβάλλον με τη σύναψη μακροχρόνιων (10ετών) συμβολαίων αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας.

**N. 2773/99 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 286/22-12-99):** «Απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας-Ρύθμιση θεμάτων ενεργειακής πολιτικής και λοιπές διατάξεις». Ο νόμος αυτός καθορίζει το βασικό πλαίσιο ρύθμισης της απελευθερωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας που θα αρχίσει να ισχύει από τον Φεβρουάριο του 2001 σύμφωνα με την Οδηγία 96/92.

Ο νόμος αυτός προβλέπει:

- Την σύσταση της Ρυθμιστικής Αρχής Ενέργειας (Ρ.Α.Ε) ως ανεξάρτητης και αυτοτελούς διοικητικής αρχής που εποπτεύεται από τον Υπουργό Ανάπτυξης και τις αρμοδιότητές της.
- Την σύσταση του Διαχειριστή του Ηλεκτρικού Συστήματος που θα εποπτεύεται από την Ρ.Α.Ε
- Την απελευθέρωση της παραγωγής και εκμετάλλευσης ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται από ΑΠΕ, Συμπαραγωγή αλλά και από συμβατικά καύσιμα
- Την μετατροπή της ΔΕΗ σε Ανώνυμη Εταιρεία.

**N. 2647/98 (Τεύχος ΦΕΚ Α' 237/22-10/98):** «Μεταβίβαση αρμοδιοτήτων στις περιφέρειες και την αυτοδιοίκηση και άλλες διατάξεις». Με το νόμο αυτό ορίζονται οι αρμοδιότητες που μεταβιβάζονται από την Κεντρική Διοίκηση στις Περιφέρειες και την Αυτοδιοίκηση. Οι σχετικές με την παραγωγή ενέργειας αρμοδιότητες του Υπουργού Ανάπτυξης που μεταβιβάζονται στις Περιφέρειες περιλαμβάνουν:

- Χορήγηση άδειας εγκατάστασης, λειτουργίας και επέκτασης ή ανανέωσης σταθμών ηλεκτροπαραγωγής με χρήση ΑΠΕ.
- Χορήγηση άδειας χρήσης νερού σε περιπτώσεις μικρών υδροηλεκτρικών έργων καθώς και χορήγηση ενιαίας άδειας χρήσης νερού και εκτέλεσης έργου αξιοποίησης υδατικών πόρων.
- Εκμίσθωση γεωθερμικού πεδίου χαμηλής ενθαλπίας.
- Επιβολή κυρώσεων σε σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

### **7.3 ΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ ΤΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ**

Την τελευταία δεκαετία, το θεσμικό και χρηματοοικονομικό πλαίσιο της ιδιωτικής επιχειρηματικής δράσης στον τομέα της Ενέργειας στην Ελλάδα, έχει υποστηρίξει την υλοποίηση ενός σημαντικού αριθμού επενδυτικών σχεδίων.

Βασικοί συντελεστές για την εξέλιξη αυτή υπήρξαν:

- Η ωρίμανση των νέων τεχνολογιών παραγωγής ενέργειας (συμπαραγωγή, τεχνολογίες εκμετάλλευσης ΑΠΕ κ.α.), καθώς και η υποστήριξη των αντίστοιχων επενδύσεων από μέτρα πολιτικής.
- Η εισαγωγή νέων καυσίμων στο ελληνικό ενεργειακό σύστημα (φυσικό αέριο).
- Ο δυναμισμός που παρουσίασαν οι ιδιωτικές επενδύσεις στον τομέα της ενέργειας αναμένεται να ενταθεί ακόμα περισσότερο, τόσο με την πραγματοποίηση ιδιωτικών επενδυτικών σχεδίων όσο και με την συμμετοχή του ιδιωτικού τομέα στην υλοποίηση μεγάλων έργων υποδομής. Μεγάλη ώθηση προς αυτή την κατεύθυνση θα δώσουν η ανάπτυξη ανταγωνιστικής αγοράς στον ενεργειακό τομέα, καθώς και η υλοποίηση του επιχειρησιακού προγράμματος για την ενέργεια στο πλαίσιο του τρίτου κοινοτικού πλαισίου στήριξης 2000 – 2006.
- Το ενδιαφέρον των επενδυτών σχετικά με επενδύσεις στον ενεργειακό τομέα έχει εκδηλωθεί μέχρι τώρα στην εκμετάλλευση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), την υποκατάσταση συμβατικών καυσίμων με καθαρά καύσιμα (φυσικό αέριο, υγραέριο), την υλοποίηση εφαρμογών συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας καθώς και σε δράσεις εξοικονόμησης ενέργειας.

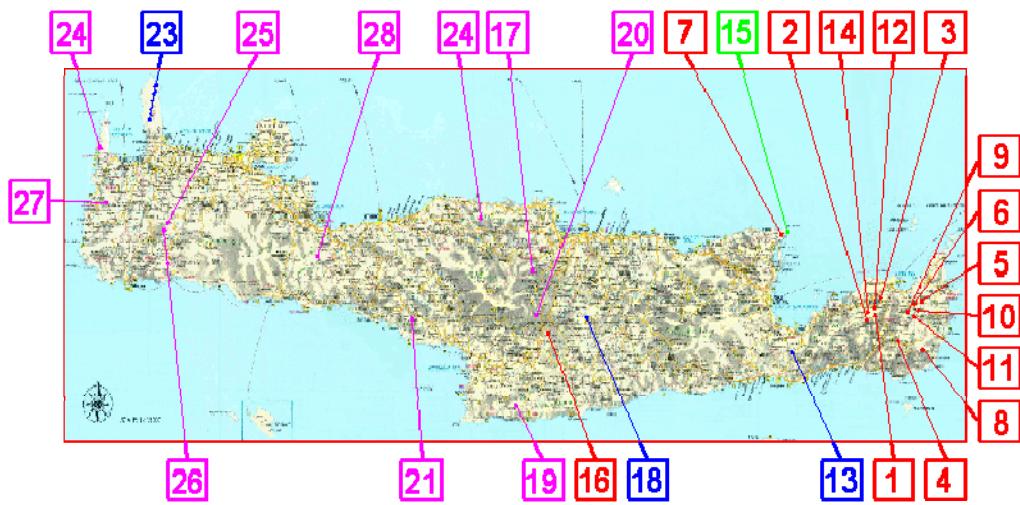
Το νέο θεσμικό πλαίσιο για την απελευθέρωση της αγοράς ενέργειας εξ' άλλου, όπως διαμορφώνεται από τον **Νόμο 2773/99**, αναμένεται να επηρεάσει ακόμα περισσότερο τον τομέα της παραγωγής ενέργειας από ανεξάρτητους παραγωγούς και από συμβατικά καύσιμα (φυσικό αέριο). Τα κύρια θεσμικά και χρηματοοικονομικά μέτρα για την υποστήριξη και προώθηση των ενεργειακών επενδύσεων περιλαμβάνονται στον **Αναπτυξιακό Νόμο 2601/98**, ο οποίος προβλέπει διάφορους μηχανισμούς επιδοτήσεων για την υλοποίηση επενδυτικών σχεδίων στον τομέα της Ενέργειας καθώς και στο **Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Ενέργειας** στα πλαίσια του Β' Κοινοτικού Πλαισίου Στήριξης που βρίσκεται στην τελευταία του φάση μετά από δύο επιτυχείς προκηρύξεις την προηγούμενη περίοδο (1994-1999). Στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος Ενέργειας

του τρίτου κοινοτικού πλαισίου στήριξης το οποίο βρίσκεται στην φάση του τελικού σχεδιασμού, προβλέπεται να δαπανηθούν 376,3 εκατομμύρια ευρώ σαν δημόσια συμμετοχή για την στήριξη της επιχειρηματικής δράσης στον τομέα της Ενέργειας, ποσό το οποίο αντιστοιχεί σε έργα συνολικού κόστους 1.041,77 εκατομμύρια ευρώ.

Μετά την απελευθέρωση της αγοράς της ηλεκτρικής ενέργειας, υποβλήθηκαν 350 αιτήσεις για άδεια αιολικών εγκαταστάσεων. Η παραγωγή ηλεκτρισμού από τον άνεμο είναι σήμερα ελκυστική για πολλούς λόγους. Κατά αρχή πρόκειται για "καθαρή" ενέργεια. Η χρήση μιας τουρμπίνας 600KW, σε κανονικές συνθήκες, αποτρέπει την αποβολή 1200 τόνων CO<sub>2</sub> ετησίως, που θα αποβάλλονταν στο περιβάλλον αν χρησιμοποιείτο άλλη πηγή για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως π.χ. άνθρακας. Δεν έχει καμιά επιβάρυνση για το περιβάλλον και ο τρόπος παραγωγής έχει αδιαμφισβήτητη ασφάλεια. Η αιολική ενέργεια είναι σήμερα η πιο φτηνή απ' όλες τις υπάρχουσες ήπιες μορφές και είναι ανεξάντλητη. Η παραγωγή ενέργειας από μια ανεμογεννήτρια κατά τα 20 χρόνια λειτουργίας της ισοδυναμεί με την 80πλάσια ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για την κατασκευή, λειτουργία και καταστροφή της όταν αυτή κριθεί ανενεργή.

Ένας σημαντικός παράγοντας ο οποίος λαμβάνεται υποψιν για την εγκατάσταση ενός αιολικού πάρκου είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου. Στη Κρήτη οι μέσες ταχύτητες του ανέμου είναι 6-7 m/sec με αποτέλεσμα το κόστος της παραγόμενης ενέργειας να είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό, έτσι έχουμε πληθώρα έργων εγκατάστασης αιολικών πάρκων τα τελευταία χρόνια.





Εικόνα 7.2: Τα Αιολικά Πάρκα στην Κρήτη για τα οποία έχει εκδοθεί άδεια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη Ρ.Α.Ε.

- Εν λειτουργία*
- Άδεια παραγωγής*
- Άδεια υπό ανάκληση*
- Επέκταση*

Πίνακας 7.1: **ΤΙΜΟΛΟΓΙΑ ΠΩΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ Α.Π.Ε. ΚΑΙ ΧΡΕΩΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ**

|  | ΜΗ ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ                                  | ΔΙΑΣΥΝΔΕΔΕΜΕΝΟ ΣΥΣΤΗΜΑ |  |  |
|--|--|------------------------|--|--|
|  |  | ΧΑΜΗΛΗ ΤΑΣΗ            | ΜΕΣΗ ΤΑΣΗ  | ΥΨΗΛΗ ΤΑΣΗ   |
| <b>ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ από ΣΘΗ με λοιπά καύσιμα (πλην ΑΠΕ)</b> | -  | 0,05448 €/kWh          | 0,04407 €/kWh  | <b>Ενέργεια (€/kWh):</b><br>Αιχμή: 0,02878<br>Ενδιάμεσο φορτίο: 0,01994<br>Ελάχιστο φορτίο: 0,01480  |
| <b>ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ από ΣΘΗ με λοιπά καύσιμα (πλην ΑΠΕ)</b>     | -  | -                      | <b>Ενέργεια:</b><br>0,05142 €/kWh<br><br><b>Ισχύς:</b><br>1,69705 €/kW | <b>Ενέργεια (€/kWh):</b><br>Αιχμή: 0,03357<br>Ενδιάμεσο φορτίο: 0,02326<br>Ελάχιστο φορτίο: 0,01726<br><br><b>Ισχύς (€/kW):</b><br>Αιχμή: 3,85195<br>Ενδιάμεσο φορτίο: -<br>Ελάχιστο φορτίο: - |
| <b>ΠΛΕΟΝΑΣΜΑ ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ (από ΑΠΕ ή από ΣΘΗ με ΑΠΕ)</b>          | Από ΑΠΕ:<br>0,06356 €/kWh<br><br>Από ΣΘΗ:<br>0,05448 €/kWh | 0,06356 €/kWh          | 0,05142 €/kWh  | <b>Ενέργεια (€/kWh):</b><br>Αιχμή: 0,03357<br>Ενδιάμεσο φορτίο: 0,02326<br>Ελάχιστο φορτίο: 0,01726  |
| <b>ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ (από ΑΠΕ ή από ΣΘΗ με ΑΠΕ)</b>              | 0,08172 €/kWh  | -                      | <b>Ενέργεια:</b><br>0,06611 €/kWh<br><br><b>Ισχύς:</b><br>1,69705 €/kW | <b>Ενέργεια:</b><br>0,06611 €/kWh<br><br><b>Ισχύς:</b><br>1,69705 €/kW   |

**Τιμή πώλησης Άεργου Ενέργειας: 0,00454 €/KVahr\***

**\*Με την τιμή πωλήσεως άεργου ενεργείας χρεώνεται η άεργος ενέργεια την οποία πωλεί η ΔΕΗ σε ανεξάρτητους παραγωγούς και αυτοπαραγωγούς από ΑΠΕ, υπό κάθε τάση συνδέσεως, στο διασυνδεδεμένο σύστημα ή σε μη διασυνδεδεμένα νησιά.**

## 7.4 ΔΙΑΒΟΥΛΕΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΕΛΕΥΘΕΡΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Μετά από δημόσια διαβούλευση από το υπουργείο Ανάπτυξης τέθηκε προσχέδιο νόμου της ΡΑΕ για την πλήρη εναρμόνιση της εθνικής νομοθεσίας προς την Οδηγία 54/2003, σχετικά με την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαβούλευση, στην οποία κλήθηκαν να συμμετάσχουν όλοι οι φορείς που δραστηριοποιούνται στην αγορά ηλεκτρισμού της χώρας, διήρκησε έως τις 22 Ιουλίου 2005, ενώ στη συνέχεια, το σχετικό νομοσχέδιο κατατέθηκε στη Βουλή για ψήφιση. Επισημαίνεται ότι με την ψήφιση του παραπάνω νομοσχεδίου, σε συνδυασμό με την πρόσφατη έκδοση του νέου Κώδικα Διαχείρισης του Συστήματος και Συναλλαγών Ηλεκτρικής Ενέργειας, αντιμετωπίζεται εκκρεμότητα έξι ετών όσον αφορά την υποχρέωση της χώρας μας προς την Ε.Ε. και ολοκληρώνεται, στην ουσία, το θεσμικό πλαίσιο απελευθέρωσης της αγοράς ηλεκτρισμού που αποτελούσε προγραμματική δέσμευση της κυβέρνησης. Οι τροποποιήσεις της βασικής νομοθεσίας για τον ηλεκτρισμό (**N.2773/1999** και **N. 3175/2003**) που προτείνει η ΡΑΕ έχουν ως στόχο την πλήρη ενσωμάτωση της κοινοτικής Οδηγίας 54/2003 στο εθνικό δίκαιο της χώρας. **Τα βασικότερα σημεία-προτάσεις της ΡΑΕ για τροποποίηση της υφιστάμενης νομοθεσίας περιλαμβάνουν:**

**Πρώτον:** Την ενίσχυση του ρόλου της ΡΑΕ, με τη συμπλήρωση των αρμοδιοτήτων της και την ενσωμάτωση του άρθρου 23 της Οδηγίας στο εθνικό δίκαιο. Σύμφωνα με το συγκεκριμένο άρθρο, οι Ρυθμιστικές Αρχές των χωρών-μελών της Ε.Ε. οφείλουν να ασκούν εποπτεία της αγοράς και συγκεκριμένα όσον αφορά α) τις αρμοδιότητες των Διαχειριστών του Συστήματος Μεταφοράς και του Δικτύου Διανομής, β) τον λογιστικό διαχωρισμό των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται σε παραπάνω από έναν κλάδο της ηλεκτρικής ενέργειας και γ) την ασφάλεια εφοδιασμού της χώρας. Παράλληλα, στο προτεινόμενο σχέδιο προβλέπεται η έγκριση από τη ΡΑΕ της μεθοδολογίας για τον προσδιορισμό των τιμολογίων για τη σύνδεση και πρόσβαση στο Σύστημα και στο Δίκτυο.

**Δεύτερον:** Τη χορήγηση αδειών παραγωγής στα Μη Διασυνδεδεμένα Νησιά, όπως προβλέπεται στα άρθρα 6 και 7 της Οδηγίας. Στο προτεινόμενο σχέδιο προβλέπεται διαδικασία για τη χορήγηση αδειών, κατόπιν αιτήσεως, στα μη διασυνδεδεμένα νησιά, με εξαίρεση τα απομονωμένα μικροδίκτυα (δίκτυα με κατανάλωση μικρότερη των 500GWh/έτος), για τα οποία έχει ζητηθεί παρέκκλιση από τις σχετικές διατάξεις της Οδηγίας και στα οποία άδεια παραγωγής χορηγείται αποκλειστικά στη ΔΕΗ. Επιπλέον, καλύπτεται η περίπτωση μη επαρκούς ισχύος, με διαδικασία διαγωνισμού για τη χορήγηση σχετικής άδειας παραγωγής, όπως, άλλωστε, ορίζεται στο άρθρο 7 της Οδηγίας.

**Τρίτον:** Τα καθήκοντα και τις υποχρεώσεις του Διαχειριστή του Συστήματος Μεταφοράς. Με την προτεινόμενη τροποποίηση της νομοθεσίας και βάσει των άρθρων 9 και 10 της Οδηγίας, ο Διαχειριστής του Συστήματος καθίσταται αποκλειστικά υπεύθυνος για την ανάπτυξη και τη συντήρηση του Συστήματος Μεταφοράς. Επιπλέον, διευθετείται το ζήτημα του λειτουργικού διαχωρισμού του Διαχειριστή και διασφαλίζεται η ανεξαρτησία του σε σχέση με την κάθετα ολοκληρωμένη επιχείρηση ηλεκτρισμού (ΔΕΗ Α.Ε.) και στη λήψη αποφάσεων όσον αφορά τους αναγκαίους πόρους για τη λειτουργία, τη συντήρηση και την ανάπτυξη του Συστήματος.

**Τέταρτον:** Τον νομικό και τον λογιστικό διαχωρισμό του Διαχειριστή του Δικτύου Διανομής από την κάθετα ολοκληρωμένη επιχείρηση (ΔΕΗ Α.Ε.). Συγκεκριμένα, βάσει της Οδηγίας, προτείνεται, η ίδρυση, μέχρι την 1.7.2007, ξεχωριστής εταιρείας, υπεύθυνης για τη Διαχείριση του Δικτύου.

**Πέμπτον:** Το πλήρες άνοιγμα της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ειδικότερα, στα μη διασυνδεδεμένα νησιά (εξαιρουμένων εκείνων για τα οποία έχει ζητηθεί εξαίρεση από την Ε.Ε.), όπως και στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα, ορίζονται ως επιλέγοντες πελάτες μέχρι την 1.7.2007 όλοι οι καταναλωτές, πλην των οικιακών, και όλοι οι καταναλωτές, από την 1.7.2007.

**Έκτον:** Τη συμπλήρωση του Κώδικα Προμήθειας σε Πελάτες, με την ενσωμάτωση σε αυτόν της υποχρέωσης από τους Προμηθευτές ηλεκτρικής

ενέργειας, για παροχή υπηρεσιών κοινής ωφέλειας και προστασία των καταναλωτών, σύμφωνα με το άρθρο 3 της Οδηγίας.

**Έβδομον:** Τη χορήγηση αδειών για την κατασκευή απευθείας γραμμών ηλεκτρισμού, βάσει αντικειμενικών κριτηρίων, σε εναρμόνιση προς τις διατάξεις του άρθρου 22 της Οδηγίας.

**Ογδοον:** Την ενσωμάτωση του άρθρου 19 της Οδηγίας σχετικά με το διαχωρισμό των λογαριασμών των επιχειρήσεων που δραστηριοποιούνται στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Συγκεκριμένα, βάσει της Οδηγίας προτείνεται η υποχρέωση του λογιστικού διαχωρισμού στις επιμέρους δραστηριότητες μεταφοράς, διανομής και προμήθειας σε επιλέγοντες και μη επιλέγοντες πελάτες.



Εικόνα 7.3: *Αιολικό πάρκο*

Πίνακας 7.2: **ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΑΠΕ ΤΗΣ ΔΕΗ**

| <b>ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ</b>           | <b>ΑΡΙΘΜΟΣ<br/>Α/Γ</b> | <b>ΙΣΧΥΣ/Α/Γ (Kw)</b> | <b>ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚ/ΝΗ ΙΣΧΥΣ<br/>(Kw)</b> |
|----------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------------------------|
| ΚΑΛΙΒΑΡΙ, ΑΝΔΡΟΣ           | <b>7</b>               | <b>225</b>            | <b>1575</b>                           |
| ΠΥΘΑΓΟΡΕΙΟ, ΣΑΜΟΣ          | <b>9</b>               | <b>225</b>            | <b>2025</b>                           |
| ΜΕΛΛΑΝΙΟΣ, ΧΙΟΣ            | <b>11</b>              | <b>225</b>            | <b>2475</b>                           |
| ΠΡΟΦΗΤΗΣ ΗΛΙΑΣ, ΨΑΡΑ       | <b>9</b>               | <b>225</b>            | <b>2025</b>                           |
| ΣΙΓΡΙ, ΛΕΣΒΟΣ              | <b>9</b>               | <b>225</b>            | <b>2025</b>                           |
| ΜΟΝΗ ΤΟΠΛΟΥ, ΚΡΗΤΗ         | <b>17</b>              | <b>300</b>            | <b>5100</b>                           |
| ΜΑΡΜΑΡΙ, ΕΥΒΟΙΑ            | <b>17</b>              | <b>300</b>            | <b>5100</b>                           |
| ΣΑΜΟΘΡΑΚΗ                  | <b>4</b>               | <b>55</b>             | <b>220</b>                            |
| ΠΕΡΔΙΚΙ, ΙΚΑΡΙΑ            | <b>7</b>               | <b>55</b>             | <b>385</b>                            |
| ΑΓΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ,<br>ΚΑΡΠΑΘΟΣ | <b>5</b>               | <b>55</b>             | <b>275</b>                            |
| ΒΙΓΛΑ, ΛΗΜΝΟΣ              | <b>7</b>               | <b>100</b>            | <b>700</b>                            |
| ΒΟΥΝΑΡΟΣ, ΛΗΜΝΟΣ           | <b>8</b>               | <b>55</b>             | <b>440</b>                            |
| ΜΑΡΑΘΟΚΑΜΠΟΣ,<br>ΣΑΜΟΣ     | <b>9</b>               | <b>100</b>            | <b>900</b>                            |
| ΠΟΤΑΜΙΑ, ΧΙΟΣ              | <b>10</b>              | <b>100</b>            | <b>1000</b>                           |
| ΚΥΘΝΟΣ                     | <b>5</b>               | <b>33</b>             | <b>165</b>                            |
| ΜΟΝΗ ΤΟΠΛΟΥ, ΚΡΗΤΗ         | <b>3</b>               | <b>500</b>            | <b>1500</b>                           |
| ΚΟΥΚΟΥΒΑΓΙΑ,<br>ΚΥΘΝΟΣ     | <b>1</b>               | <b>500</b>            | <b>500</b>                            |

## **8.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:**

1. Αλέξανδρος. Σ. Αλεξάκης, «Αιολική Ενέργεια», Φύση και Πολιτισμός, Εκδόσεις Σιδέρη.
2. Tony Burton- Ervin Bossanyi, «Wind Energy»
3. Δ.Ε.Η, «Μετρήσεις για την αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού της Ελλάδος», Τόμοι 1ος, 2ος, 3ος, Εκδόσεις Επιστημονικές.
- 4 Γ. Μπεργελές, «Ανεμοκινητήρες», καθ. Πανεπιστημίου
5. John. F. Walker- Nicholas Jenkins, «Wind Energy technology»
6. T. R. Hiester- W.T. Pennel, «Wind Energy Systems»
7. Γεώργιος Κάραλης-Σπύρος Βουτσινάς, «Αιολική Ενέργεια», ΕΜΠ, Αθήνα 2001
8. Γιάννης Μηναδάκης (Καθ. Εφαρμογών Τ.Ε.Ι Κρήτης), «Τεχνολογία μέτρησης και εκτίμησης του Αιολικού Δυναμικού», Εργαστήριο Αιολικής Ενέργειας και Σύνθεσης Ενεργειακών Συστημάτων), 2001.

## ΑΡΘΡΑ- ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

1. Ελένη Βακεθιανάκη, «Ρεύμα στη Κρήτη από αιολικά πάρκα», «Τα ΝΕΑ», 15/1/03

2. [www.Greenpeace.gr](http://www.Greenpeace.gr)

3. [www.rae.gr](http://www.rae.gr)

4. [www.kape.com](http://www.kape.com)



