

<<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων.  
Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

## Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

### Τμήμα Ηλεκτρολογίας

#### Πτυχιακή Εργασία

<<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων.  
Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>



**Εισηγητής Καθηγητής:** κ. Βλησίδης Ανδρέας

**Σπουδαστής:** Μαυραειδής Βασίλειος

**A.M. :** 3343

**Ηράκλειο 2012**

## Πίνακας περιεχομένων

Ευχαριστίες.....	6
Περίληψη.....	7
Abstract .....	8
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΓΕΝΙΚΑ: .....	9
1.2 ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	10
1.2.1 Τα πλεονεκτήματα των ήπιων μορφών ενέργειας:.....	11
1.2.2 Τα Μειονεκτήματα των ήπιων μορφών ενέργειας:.....	12
1.3 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:.....	13
1.3.1 Αιολική ενέργεια: .....	13
1.3.2 Ηλιακή ενέργεια:.....	14
1.3.3 Υβριδική ενέργεια:.....	14
1.3.4 Γεωθερμική ενέργεια: .....	16
1.3.5 Ενέργεια από την θάλασσα:.....	16
1.3.5.1 Ωκεάνια ενέργεια:.....	16
1.3.5.2 Ενέργεια από τα κύματα: .....	17
1.3.5.3 Ενέργεια από την παλίρροια:.....	17
1.3.6 Βιομάζα: .....	18
2. ΆΝΕΜΟΣ: .....	19
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:.....	19
Σχέδιο 2.1 Χάρτης με την εγκατεστημένη ισχύ των αιολικών πάρκων της Ευρώπης ....	23
2.2 ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ:.....	23
Πίνακας 2.1 Ταχύτητες ανέμων στα νησιά .....	26
Πίνακας 2.2 Εγκατεστημένη ισχύς πάρκων της Δ.Ε.Η.....	26
Πίνακας 2.3 Εγκατεστημένη ισχύς σιτοπαραγωγών και ανεξάρτητων παραγωγών.....	27
Πίνακας 2.4 Τοποθεσιών αιολικών πάρκων στην Κρήτη .....	27
2.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ: .....	28
2.4 ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ:.....	29
2.4.1 Γενικά γνωρίσματα του ανέμου: .....	29
2.4.2 Η Διεύθυνση του Ανέμου: .....	30
2.4.3 Η ταχύτητα του ανέμου: .....	31
Πίνακας 2.5 Ονοματολογία των Ανέμων και η κλίμακα Beaufort .....	32
2.4.4 Η Ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου: .....	34

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Σχέδιο 2.2 Απεικόνιση Ροδογράμματος ταχύτητας ανέμου .....	35
2.4.5 Η διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου και η ατμοσφαιρική τύρβη .....	37
2.5 ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ: .....	39
2.5.1 Μετρήσεις:.....	40
2.5.2 Προσδιορισμός αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, η ένταση του ανέμου:.....	41
2.5.3 Διεύθυνση του ανέμου: .....	44
2.5.4 Η μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου: .....	45
2.5.5 Συστήματα ανεμολογικών μετρήσεων .....	46
3. Ο ΗΛΙΟΣ .....	46
3.1 ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ: .....	46
3.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ:.....	48
Πίνακας 3.1 Εισροής ενέργειας μέσα από την τροπόσφαιρα και την ατμόσφαιρα.....	49
3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ: .....	49
3.4 Η ΤΡΟΧΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ:.....	50
3.5 ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΡΟΧΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ:.....	54
3.6 Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ: .....	56
3.7 ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΓΗΙΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ: .....	57
3.8 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ .....	59
3.8.1 Πυρανόμετρο CM11 .....	59
3.2 Προδιαγραφές του πυρανόμετρου CM11 .....	60
3.8.2 Μετρητής υγρασίας και θερμομέτρο SKH 2011 .....	60
3.8.3 Βαρόμετρο BS4.....	61
Πίνακας 3.3 Προδιαγραφές του βαρόμετρο BS4 .....	62
3.9 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ .....	62
3.9.1 Μετρούμενα μεγέθη .....	64
3.10 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ .....	65
3.10.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ή ηλιακοί συλλέκτες .....	65
3.10.2 Τύποι Φωτοβολταϊκών πάνελ.....	69
3.10.3 Πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα της φωτοβολταϊκής μετατροπής.....	71
4.ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL (WEIBULL DISTRIBUTION) .....	74
4.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ WEIBULL: .....	74
4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ C ΚΑΙ K ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ WEIBULL: .....	75

4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ WEIBULL:.....	75
4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ WEIBULL: .....	77
4.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ WEIBULL ΣΤΟ MATLAB.....	78
4.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ WEIBULL ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ.....	82
4.6.1 Καθημερινό αιολικό δυναμικό .....	83
4.6.2 Συγκρίνοντας το καθημερινό αιολικό δυναμικό .....	83
4.6.3 Πιθανότητα πυκνότητας.....	84
4.6.4 Παραγόμενη αιολική ενέργεια .....	85
4.6.5 Πυκνότητα αιολικής ενέργειας.....	85
4.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ .....	86
4.7.1 1 Ιουλίου 2010.....	86
4.7.1.1 Αιολικό δυναμικό.....	87
4.7.1.2 Παραγόμενη αιολική ενέργεια.....	88
4.7.1.3 Ποιότητα ανέμου .....	88
4.7.1.4 Συμπέρασμα.....	89
4.7.2 2 Νοεμβρίου 2010.....	89
4.7.2.1 Αιολικό δυναμικό.....	90
4.7.2.2 Παραγόμενη ενέργεια.....	91
4.7.2.3 Ποιότητα ανέμου .....	91
4.7.2.4 Συμπέρασμα.....	92
4.7.3 Αύγουστος 2011.....	93
4.7.3.1 Αιολικό δυναμικό.....	93
4.7.3.2 Παραγόμενο αιολικό δυναμικό.....	94
4.7.3.3 Ποιότητα ανέμου .....	95
4.7.3.4 Συμπέρασμα.....	95
5. GAUSSIAN DISTRIBUTION.....	96
5.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ GAUSSIAN .....	96
5.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ GAUSSIAN.....	97
5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ GAUSSIAN.....	98
5.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ GAUSSIAN 1 <sup>ΟΥ</sup> ΚΑΙ 2 <sup>ΟΥ</sup> ΒΑΘΜΟΥ.....	101
5.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΧΕΙΟΥ EXCEL .....	102
5.6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ.....	105

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

5.6.1 Συντελεστής θερμοκρασίας .....	105
5.6.2 Τιμή ανά KW .....	105
5.6.3 Υπολογισμός της επιφάνειας ενός φωτοβολταϊκού πάνελ .....	106
5.6.4 Υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πάνελ.....	106
5.6.5 Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας .....	106
5.6.6 Υπολογισμός της ισχύος ενός φωτοβολταϊκού πάνελ σε Kw.....	107
5.6.7 Υπολογισμός της συνολικής ισχύος των φωτοβολταϊκών πάνελ σε Kw..	107
5.6.8 Υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ .....	107
5.6.9 Υπολογισμός της ολικής παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ .....	107
5.6.10 Κέρδος από ένα ηλιακό πάνελ.....	108
5.6.11 Συνολική κέρδος όλων των πάνελ .....	108
5.7 ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ .....	108
5.7.1 Ηλιακή ακτινοβολία .....	108
5.7.2 Ηλιακή ακτινοβολία με Gaussian fitting .....	109
5.7.4 Συνολική ενέργεια από τα ηλιακά πάνελ .....	110
5.7.5 Συγκεντρωτικό message box .....	111
Βιβλιογραφία.....	112

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που στάθηκε δίπλα μου όλα αυτά τα χρόνια, τους φίλους μου που με βοήθησαν και να αφιερώσω την εργασία μου αυτή στην γιαγιά μου. Επίσης θα ήθελα να υπερευχαριστήσω τον καθηγητή μου κύριο Ανδρέα Βλησίδα για την πολύτιμη συμβολή του, την βοήθεια και τις γνώσεις που μου προσέφερε, καθώς και την συνεργάτιδα μου Κεχρή Κατερίνα.

## Περίληψη

Σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η συλλογή, επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων και η αξιολόγηση αιολικού δυναμικού και της ηλιακής ακτινοβολίας μιας περιοχής. Ο κύριος στόχος αυτής της έρευνας ήταν να ελέγξουμε αν είναι εφικτή και κερδοφόρα η κατασκευή αιολικών και φωτοβολταϊκών πάρκων σε περιοχές όπου έγινε η λήψη των μετρήσεων. Επίσης το πεδίο της έρευνας επικεντρώνεται στην ανάλυση των μετρήσεων της αιολικής ενέργειας , της ηλιακής ενέργειας και της θερμοκρασίας. Η λήψη των μετρήσεων έγινε στον χώρο του μετεωρολογικού σταθμού του Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης και μέσω του ιστιότοπου [www.meteo.epp.teiher.gr/site](http://www.meteo.epp.teiher.gr/site).

## Abstract

The purpose of this particular work is the collection of meteorological data, the meteorological data processing, and to assess the wind potential and solar radiation of a specific area. The main object of this research was to evaluate if it is possible and profitable, the contraction of Wind and Solar parks at the places in which the measurements were taken. Additionally we focus our research on analyzing measurements of the wind energy, solar energy and the temperature. The collection of the data measurement took part at the area of the meteorological station of A.T.E.I. of Crete and through the webpage of it [www.meteo.epp.teiher.gr/site](http://www.meteo.epp.teiher.gr/site).



# Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΓΕΝΙΚΑ:

Στα όρια της γήινης ατμόσφαιρας προσπίπτουν 1.353W ενέργειας σε κάθε τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας της. Από αυτά περίπου το 30% ανακλάται από την ατμόσφαιρα και την επιφάνεια της Γης και επιστρέφει στο διάστημα .Το υπόλοιπο ποσοστό απορροφάται με διάφορους τρόπους συντελώντας στην διατήρηση της θερμοκρασίας στα διάφορα σημεία του πλανήτη, προκαλώντας την εξάτμιση του νερού, καθώς και τα ποικίλα καιρικά φαινόμενα, μεταξύ των οποίων και τους ανέμους .Εξάλλου ένα σημαντικό ποσοστό της μετασχηματίζεται μέσω της φωτοσύνθεσης σε χημική ενέργεια και αυτό είναι που συντηρεί τη ζωή στη Γη .Από ένα μικρό μόνο μέρος της έχουν δημιουργηθεί στο πέρασμα των αιώνων τα κοιτάσματα των συμβατικών καυσίμων, τα οποία αποτελούν σήμερα την κύρια πηγή ενέργειας της ανθρωπότητας. [9]

Η χρήση των συμβατικών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας παρουσιάζει κυρίως δυο μειονεκτήματα:

- Την εξάρτηση από εξαντλημένες πηγές ενέργειας, αφού οι ποσότητες των συμβατικών καυσίμων είναι περιορισμένες και αν συνεχιστεί με τους σημερινούς ρυθμούς η εξόρυξη τους , σύντομα θα εξαντληθούν.
- Η ρύπανση του περιβάλλοντος, δεδομένου ότι φαινόμενα όπως αυτό του θερμοκηπίου αλλά και της οξύνιης βροχής οφείλονται πρωτίστως στους ρύπους που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα κατά την καύση των καυσίμων αυτών.

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Έτσι δόθηκε ώθηση στην έρευνα για τις δυνατότητες εκμετάλλευσης κάποιων εναλλακτικών μορφών ενέργειας που είναι φιλικές προς το περιβάλλον και ταυτόχρονα ανεξάντλητες. [9]

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (Α.Π.Ε.) συνδυάζουν τα δυο παραπάνω χαρακτηριστικά .Παρουσιάζουν επίσης μερικά επιπρόσθετα πλεονεκτήματα τα όποια τις καθιστούν ακόμα πιο ελκυστικές. Η πρόοδος των τεχνολογιών αξιοποίησης τους ,τις δυο τελευταίες δεκαετίες, έχει καταστήσει την εκμετάλλευση τους οικονομικά ανταγωνιστικές έναντι των συμβατικών πηγών ενέργειας .Μπορεί λοιπόν να θεωρηθεί ότι οι Α.Π.Ε. διανύουν μια περίοδο ωριμότητας, αφού είναι πλέον κατάλληλες για γενική χρήση και όχι μόνο για ειδικές εφαρμογές. Το γεγονός αυτό αποδεικνύεται και από την ευρεία διάδοση τους ειδικά τα τελευταία χρόνια, η οποία συνεχίζεται με αυξανόμενους ρυθμούς. [9]

Ο ανανεώσιμος χαρακτήρας αυτών των πηγών ενέργειας σχετίζεται άμεσα με την προέλευση τους .Με εξαίρεση τη γεωθερμία η οποία προέρχεται από την εσωτερική θερμική ενέργεια της Γης οι υπόλοιπες οφείλονται άμεσα ή έμμεσα στην ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην επιφάνεια της .Η ενέργεια που παράγεται από τον ήλιο είναι προϊόν της πυρηνικής σύντηξης που συντελείτε στον πυρήνα του ,του υδρογόνου και της μετατροπής του στο στοιχείο ήλιο. Αυτή στην συνέχεια ακτινοβολείτε προς όλες τις κατευθύνσεις στο διάστημα .Παρά το γεγονός ότι η παραπάνω διεργασία λαμβάνει χώρα συνεχώς εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια, ο Ήλιος αποτελεί ακόμα κατά 70% από υδρογόνο και έτσι θα συνεχίσει να προσφέρει την ενέργεια του στο απώτερο μέλλον.[9]

### 1.2 ΗΠΙΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι ήπιες μορφές ενέργειας είναι μορφές εκμεταλλεύσιμης ενέργειας που προέρχεται από διάφορες φυσικές διαδικασίες ,όπως είναι ο άνεμος, η κυκλοφορία του νερού και η γεωθερμία! Για την εκμετάλλευση τους δεν απαιτείται κάποια ενεργητική παρέμβαση ,όπως είναι η εξόρυξη ,η καύση και η άντληση απαιτείται μόνο η ροή της ενέργειας στην φύση! Πρόκειται για "καθαρές" μορφές ενέργειας,

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι άλλες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούμε!

### 1.2.1 Τα πλεονεκτήματα των ήπιων μορφών ενέργειας:

Τα οφέλη που προκύπτουν από την εκμετάλλευση των Α.Π.Ε. δεν είναι μόνο οικονομικής φύσεως. Η αξιοποίηση αυτών των ενδογενών ενεργειακών πόρων μπορεί να επιφέρει σημαντικές θετικές περιβαλλοντικές και κοινωνικές επιπτώσεις στην περιφερική και τοπική ανάπτυξη. Τα κυριότερα πλεονεκτήματα των Α.Π.Ε. είναι τα εξής:[8]

- Είναι πρακτικά ανεξάντλητες και συμβάλουν στην μείωση της εξάρτησης από τους συμβατικούς πόρους, των οποίων τα ανά τον κόσμο αποθέματα ελαττώνονται με την πάροδο του χρόνου.
- Είναι φιλικές προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο και η αξιοποίησή τους είναι γενικά αποδεκτή από το κοινό.
- Είναι εγχώριες πηγές ενέργειας και συνεισφέρουν στην ενίσχυση της ενεργειακής αυτάρκειας και της ασφάλειας του ενεργειακού εφοδιασμού σε τοπικό, περιφερειακό και εθνικό επίπεδο.
- Είναι γεωγραφικά διεσπαρμένες και οδηγούν στην αποκέντρωση του ενεργειακού συστήματος, παρέχοντας τη δυνατότητα κάλυψης των ενεργειακών αναγκών σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο, μειώνοντας έτσι τον ενεργειακό συγκεντρωτισμό της παραγωγής με τις μεγάλες ενεργειακές απώλειες που αυτός συνεπάγεται.
- Έχουν συνήθως χαμηλό λειτουργικό κόστος, το οποίο επιπλέον δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της διεθνούς οικονομίας και ειδικότερα των τιμών των συμβατικών καυσίμων.
- Η εγκατάσταση συστημάτων Α.Π.Ε. είναι μια απλή και σχετικά σύντομη διαδικασία, πράγμα που επιτρέπει τη γρήγορη ανταπόκριση της προσφοράς σε ενδεχόμενη ζήτηση ενέργειας.
- Οι επενδύσεις σε Α.Π.Ε. μπορούν σε πολλές περατώσεις να αποτελέσουν πυρήνα για την αναζωογόνηση υποβαθμισμένων περιοχών και να γίνουν

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

πόλος τοπικής ανάπτυξης δημιουργώντας νέες θέσεις εργασίας και προωθώντας επενδύσεις που στηρίζονται στις Α.Π.Ε. ή σχετίζονται με αυτές.

- Η κατασκευή ανεμογεννητριών για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας γίνεται εύκολα με μέσα που μπορούν να παραχθούν από μια μικρή σε έκταση βιοτεχνία.
- Η λειτουργία των συστημάτων εκμετάλλευσης των Α.Π.Ε. είναι σε μεγάλο ποσοστό ακίνδυνη.
- Δεν παρουσιάζονται συνήθως ιδιαίτερα τεχνολογικά προβλήματα.
- Επιδοτούνται από τις περισσότερες κυβερνήσεις.

Επιπλέον συμβάλουν στην εξοικονόμηση ενέργειας. Κάτι το οποίο σημαίνει ότι: [8]

- Είναι η διαδικασία της μείωσης της ενέργειας (ηλεκτρικής κλπ.) χωρίς όμως αντιληπτής μείωσης της άνεσης, οπτική, θερμική κλπ.
- Είναι η πιο αποδοτική μορφή ενέργειας, γιατί δεν καταναλώθηκαν πόροι για την παραγωγή της, δεν είχαμε απώλειες κατά την διανομή της και δεν πληρώσαμε για να εγκαταστήσουμε ισχύ που δεν χρειαστήκαμε.
- Υλοποιείτε είτε με άμεσα μέσα είτε με κάποιες ανακατασκευές και σχετικές μελέτες.
- Θα γίνει υποχρεωτική με τον Κανονισμό ΕΝεργειακής Αποδοτικότητας Κτηρίων (KENAK)

### 1.2.2 Τα Μειονεκτήματα των ήπιων μορφών ενέργειας:

- Έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% ή και χαμηλότερο. Συνεπώς απαιτείται αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια γης. Γι' αυτό το λόγο μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται σαν συμπληρωματικές πηγές ενέργειας.
- Για τον παραπάνω λόγο προς το παρόν δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κάλυψη των αναγκών μεγάλων αστικών κέντρων.
- Το διεσπαρμένο δυναμικό τους είναι δύσκολο να συγκεντρωθεί σε μεγάλα μεγέθη ισχύος και να αποθηκευτεί.

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

- Η στοχαστικότερα μεγεθών, όπως ο άνεμος και η ηλιακή ακτινοβολία έχουν σαν αποτέλεσμα η τιμή της παραγόμενης ισχύος να έχει μεγάλες διακυμάνσεις απαιτώντας έτσι την εφεδρεία άλλων ενεργειακών πηγών ή δαπανηρές μεθόδους αποθήκευσης.
- Το κόστος επένδυσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος σε σύγκριση με τις σημερινές τιμές συμβατικών καυσίμων είναι ακόμα υψηλό.
- Η παροχή και απόδοση της αιολικής, υδροηλεκτρικής και ηλιακής ενέργειας εξαρτάται από την εποχή του έτους αλλά και από το γεωγραφικό πλάτος και το κλίμα της περιοχής στην οποία εγκαθίστανται.
- Για τις αιολικές μηχανές υπάρχει η άποψη ότι δεν είναι κομψές από αισθητική άποψη κι ότι προκαλούν θόρυβο και θανάτους πουλιών. Με την εξέλιξη όμως της τεχνολογίας τους και την προσεκτικότερη επιλογή χώρων εγκατάστασης. (π.χ. σε πλατφόρμες στην ανοιχτή θάλασσα) αυτά τα προβλήματα έχουν σχεδόν λυθεί)
- Για τα υδροηλεκτρικά έργα λέγεται ότι προκαλούν έκλυση μεθανίου από την αποσύνθεση των φυτών που βρίσκονται κάτω απ' το νερό κι έτσι συντελούν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου.

### 1.3 ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΩΝ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ:

#### 1.3.1 Αιολική ενέργεια:

Η αιολική ενέργεια είναι η ενέργεια του ανέμου που προέρχεται από τη μετακίνηση αερίων μαζών της ατμόσφαιρας. Οι μετακινήσεις του αέρα, οι άνεμοι, προέρχονται από τις μεταβολές και τις διαφορετικές από τόπο σε τόπο τιμές της ατμοσφαιρικής πίεσης. Οι διαφορετικές αυτές τιμές της πίεσης οφείλονται στη διαφορετική θέρμανση (απορρόφηση ενέργειας) της ατμόσφαιρας κάθε τόπου από τον Ήλιο. Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο



Εικόνα 1

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

αιολικό δυναμικό της Ελλάδας μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της. Περισσότερα στοιχεία θα παρατεθούν παρακάτω. [9]

### 1.3.2 Ηλιακή ενέργεια:

Ηλιακή ενέργεια χαρακτηρίζεται το σύνολο των διαφόρων μορφών ενέργειας που προέρχονται από τον Ήλιο. Τέτοιες είναι το φως ή φωτεινή ενέργεια, η θερμότητα ή θερμική ενέργεια καθώς και διάφορες ακτινοβολίες ή ενέργεια ακτινοβολίας. Περισσότερα στοιχεία θα παρατεθούν παρακάτω.[9]



Εικόνα 2

### 1.3.3 Υβριδική ενέργεια:

Ένα υβριδικό σύστημα είναι ένα δυναμικό σύστημα ισχύος το οποίο χρησιμοποιεί πάνω από μία μεθόδους παραγωγής ενέργειας για να καλύπτει την απαιτούμενη ενέργεια. Συνήθως, εκτός από τα φωτοβολταϊκά, συνδυάζονται και άλλες πηγές ενέργειας, (κυρίως τοπικές και ανανεώσιμες) όπως ανεμογεννήτριες, μικρουδροηλεκτρική ισχύ, υδροηλεκτρική ισχύ ποταμών, βιομάζα. Συχνό φαινόμενο, όμως, είναι να συνδυάζεται μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και μία



Εικόνα 3

συμβατική πηγή όπως η τροφοδοσία από το τοπικό δίκτυο ή από ηλεκτρογεννήτριες πετρελαίου (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος - Η/Ζ), μπαταρίες και γεννήτριες μετατροπής. Γενικά τα υβριδικά συστήματα συνδυάζουν τις μορφές ενέργειας για να τροφοδοτούν το σύστημα συνεχώς με σταθερή τάση, ελαχιστοποιώντας τους κινδύνους διακοπής

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

της τροφοδοσίας. Χαρακτηρίζονται ως δυναμικά συστήματα, καθώς είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να εναλλάσσονται ανάμεσα στις διαθέσιμες πηγές ενέργειας ή και να τις συνδυάζουν ταυτόχρονα με αποτέλεσμα να εξαρτώνται κατά το ελάχιστο από τις μεταβολές των εξωγενών παραγόντων, όπως το τοπικό δίκτυο, η ηλιοφάνεια, η ένταση του ανέμου, η ροή του νερού κ.τ.λ. [15] [16]

Τα υβριδικά συστήματα κατά κύριο λόγο εφαρμόζονται για την αδιάλειπτη λειτουργία σημαντικών οικιακών, επαγγελματικών εφαρμογών ή εφαρμογών πρώτης ανάγκης όπως στρατιωτικές μονάδες, αεροδρόμια, νοσοκομεία ηλεκτρικών φορτίων ή ευαίσθητων φορτίων, σε περιοχές όπου το κεντρικό δίκτυο παρουσιάζει προβλήματα (διακοπές ή μεταβολές τάσης). Ο πιο συνηθισμένος συνδυασμός είναι αυτός μιας συστοιχίας φωτοβολταϊκών και μιας ανεμογεννήτριας. Τα φωτοβολταϊκά είναι πιο ισχυρά για μικρά φορτία, ενώ οι ανεμογεννήτριες, συνήθως, βοηθούν για μεγαλύτερα φορτία. Επίσης, για οικιακή χρήση υπάρχουν τα υβριδικά συστήματα φωτοβολταϊκών – θερμικής ισχύος (PV-T). Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται συλλέκτες που ενσωματώνουν σε ένα σώμα την παραγωγή ηλεκτρικής & θερμικής ενέργειας για την κάλυψη όλων των τύπων αναγκών ενός κτιρίου. Ενώ στα τυπικά φωτοβολταϊκά πάνελ ο συντελεστής απόδοσης πέφτει με την άνοδο της θερμοκρασίας, αντίθετα τα υβριδικά πάνελ PV-T επωφελούνται απορροφώντας την περιττή θερμότητα του φωτοβολταϊκού τμήματος για την παραγωγή θερμικής ενέργειας. Αυτή η λειτουργία δρα ευεργετικά για το φωτοβολταϊκό τμήμα, το οποίο λειτουργεί σε ιδανικές θερμοκρασίες και επομένως παράγει έως και 50% περισσότερη ενέργεια από ένα αντίστοιχο απλό φωτοβολταϊκό πάνελ. [15] [16]

Σε εφαρμογές που η ανάγκη για συνεχή παροχή ενέργειας είναι επιτακτική μπορεί να εφαρμοστεί ο συνδυασμός μιας συστοιχίας φωτοβολταϊκών με μια ανεμογεννήτρια και μία ηλεκτρογεννήτρια πετρελαίου. Έτσι, επιτυγχάνεται η αξιόπιστη λειτουργία του συστήματος όλο το χρόνο (και το χειμώνα όπου η ανεμογεννήτρια παίζει ένα σημαντικό ρόλο ενίσχυσης όλου του φωτοβολταϊκού συστήματος). Παράλληλα η ηλεκτρογεννήτρια πετρελαίου, συνήθως ενεργοποιείται αυτόματα σε έκτακτες περιπτώσεις για να υποβοηθήσει το φωτοβολταϊκό σύστημα. Εφόσον το υβριδικό σύστημα αποτελείται μόνο από ηλεκτρογεννήτρια και είναι εγκατεστημένο σε

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

συνδυασμό με το κεντρικό δίκτυο, τότε το κεντρικό δίκτυο χρησιμοποιείται ως εφεδρική πηγή σε περίπτωση ανάγκης. [15] [16]

### 1.3.4 Γεωθερμική ενέργεια:

Η γεωθερμική ενέργεια προέρχεται από το εσωτερικό της γης είτε μέσω ηφαιστειακών εκροών είτε μέσω ρηγμάτων του υπεδάφους, που αναβλύζουν ατμούς και θερμό νερό. Ανάλογα με τη θερμοκρασία των ρευστών που ανέρχονται στην επιφάνεια, η γεωθερμική ενέργεια χαρακτηρίζεται ως υψηλής ενθαλπίας (για θερμοκρασίες πάνω από 150 °C ), μέσης ενθαλπίας (για θερμοκρασίες 100 - 150 °C ), και χαμηλής ενθαλπίας (για θερμοκρασίες μικρότερες από 100 °C ). Η γεωθερμική ενέργεια υψηλής ενθαλπίας χρησιμοποιείται για παραγωγή ηλεκτρισμού σ' όλο τον κόσμο. [9]



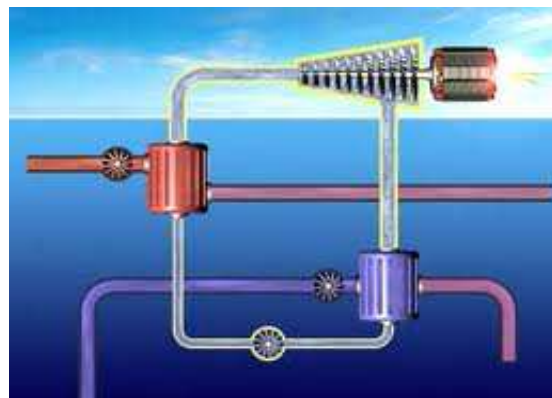
Εικόνα 4

### 1.3.5 Ενέργεια από την θάλασσα:

#### 1.3.5.1 Ωκεάνια ενέργεια:

Οι ωκεανοί, που καλύπτουν το μεγαλύτερο τμήμα του πλανήτη μας, είναι μια τεράστια αποθήκη ενέργειας. Υπάρχει μηχανική ενέργεια στα παλιρροιακά κύματα, στα κύματα και στα θαλάσσια ρεύματα. Υπάρχει επίσης τεράστιο απόθεμα θερμικής ενέργειας, στη θερμότητα του νερού των ωκεανών.

Το πρόβλημα είναι ότι αυτές οι μεγάλες ποσότητες ενέργειας είναι αρκετά



Εικόνα 5



## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

διασκορπισμένες. Η ενέργεια των θαλάσσιων ρευμάτων, των κυμάτων και των ωκεανών προέρχεται από τον ήλιο. Η ενέργεια των παλίρροιακών κυμάτων όμως προέρχεται από την έλξη που ασκούν το φεγγάρι και ο ήλιος στα νερά των ωκεανών. [14]

### 1.3.5.2 Ενέργεια από τα κύματα:

Στα κύματα υπάρχει τουλάχιστον δεκαπλάσια ενέργεια από αυτή που υπάρχει στην παλίρροια, αλλά είναι δύσκολο να αξιοποιηθεί. Έχουν εφευρεθεί αρκετές συσκευές για την εκμετάλλευση της ενέργειας των κυμάτων. Ορισμένες χρησιμοποιούν ταλαντευόμενες στήλες νερού. Άλλες έχουν κατασκευαστεί ώστε να επιπλέουν και να κινούνται από τα κύματα. [14]



Εικόνα 6

### 1.3.5.3 Ενέργεια από την παλίρροια:

Στα περισσότερα μέρη του πλανήτη μας τα νερά των θαλασσών κάνουν δύο κινήσεις κάθε ημέρα. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται παλίρροια. Η διαφορά στη στάθμη της θάλασσας μπορεί να χρησιμοποιηθεί( για την παραγωγή ενέργειας. Οι υδατοστρόβιλοι τοποθετούνται σε ένα φράγμα που κατασκευάζεται στις εκβολές ενός ποταμού προς τη θάλασσα.



Εικόνα 7

### 1.3.6 Βιομάζα:

Με τον όρο βιομάζα αποκαλείται οποιοδήποτε υλικό παράγεται από ζωντανούς οργανισμούς (όπως είναι το ξύλο και άλλα προϊόντα του δάσους, υπολείμματα καλλιεργειών, κτηνοτροφικά απόβλητα, απόβλητα βιομηχανιών τροφίμων κ.λπ.) και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο για παραγωγή ενέργειας. Μια μορφή βιομάζας: pellets (συσσωματώματα) τα οποία προκύπτουν από τη μηχανική



Εικόνα 8

συμπίεση πριονιδιού, χωρίς την προσθήκη χημικών ή συγκολλητικών ουσιών. Η ενέργεια που είναι δεσμευμένη στις φυτικές ουσίες προέρχεται από τον ήλιο. Με τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης, τα φυτά μετασχηματίζουν την ηλιακή ενέργεια σε βιομάζα .Οι ζωικοί οργανισμοί αυτή την ενέργεια την προσλαμβάνουν με την τροφή τους και αποθηκεύουν ένα μέρος της. Αυτή την ενέργεια αποδίδει τελικά η βιομάζα, μετά την επεξεργασία και τη χρήση της. Είναι μια ανανεώσιμη πηγή ενέργειας γιατί στην πραγματικότητα είναι αποθηκευμένη ηλιακή ενέργεια που δεσμεύτηκε από τα φυτά κατά τη φωτοσύνθεση .Η βιομάζα είναι η πιο παλιά και διαδεδομένη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας. [9]

## 2. ΑΝΕΜΟΣ:

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ:

Από τότε που ο άνεμος άρχισε να φυσάει πάνω από την στεριά και τη θάλασσα οι άνθρωποι κατάλαβαν ότι θα μπορούσαν να εκμεταλλευτούν την ορμή του για διάφορες καθημερινές ανάγκες. Αρχικά ο άνεμος κινεί μικρές βάρκες, αργότερα ιστιοφόρα και τέλος τεράστια εμπορικά πλοία τα οποία άρχισαν να φέρνουν όλο και πιο γρήγορα ανθρώπους και εμπορεύματα σε κάθε γωνιά της γης.

Με την βοήθεια του ανέμου ο άνθρωπος μπόρεσε να κάνει αρκετές εργασίες πιο εύκολες και περισσότερο αποδοτικές, όπως για παράδειγμα το άλεσμα του σιταριού με τους ανεμόμυλους ή την άντληση του νερού από πηγάδια κτλ.

Ο άνεμος εμφανίζεται περισσότερο στις περιοχές της εύκρατης ζώνης της γης και η ταχύτητα του μεταβάλλεται ανάλογα με το ύψος από την επιφάνεια της Γης. Έτσι η ταχύτητα χαμηλά στη Γη είναι μικρότερη από ότι ψηλότερα.

Όταν ανακαλύφθηκε ο ηλεκτρισμός σε πολλά μέρη δεν ήταν (και δεν είναι ακόμη) εύκολη η χρήση του πετρελαίου ή του άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Παρόλα αυτά ο άνεμος εξακολουθεί να φυσάει ακατάπαυστα. Έτσι καθώς η χρήση του ηλεκτρισμού και επομένως και η εξάρτηση του ανθρώπου από τις εφαρμογές του αυξήθηκε με αλματώδεις ρυθμούς, ήρθε η βοήθεια του ανέμου με την μορφή της ανεμογεννήτριας.

Οι ανεμογεννήτριες είναι διατάξεις οι οποίες λειτουργούν με την βοήθεια του ανέμου ως εξής: Μεγάλοι πύργοι έχουν στην κορυφή τους έλικες οι οποίες όταν φυσάει ο αέρας περιστρέφονται και έτσι βάζουν σε λειτουργία γεννήτριες συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος. Οι γεννήτριες καθώς περιστρέφονται παράγουν ηλεκτρική ενέργεια η οποία μπορεί να αποθηκευτεί σε συσσωρευτές ή διασυνδεδεμένη με το τοπικό δίκτυο διανομής να μεταφερθεί απευθείας στους τόπους κατανάλωσης. Η μετατροπή αυτή της κινητικής ενέργειας του ανέμου σε μηχανική

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

και στη συνέχεια σε άλλες χρήσιμες μορφές μπορεί να γίνει είτε με ανεμοκινητήρα οριζόντιου άξονα είτε με ανεμοκινητήρα κατακόρυφου άξονα.



Εικόνα 8: Τύποι ανεμογεννητριών

Στις ανεμογεννήτριες οριζόντιου άξονα διακρίνουμε δύο είδη, τις δίπτερες και τις τρίπτερες:

- Οι τρίπτερες με ρότορα μικρότερο των 10 μέτρων έχουν τη δυνατότητα εκμετάλλευσης ασθενούς αιολικού δυναμικού.
- Στις μηχανές μεγάλου μεγέθους επικρατούν οι δίπτερες με κόστος κατασκευής και συντήρησης μικρότερο απ' αυτό των τρίπτερων αντίστοιχου μεγέθους.

Η πρώτη μεγάλη ανεμογεννήτρια γνωστή ως Smith-Putman σχεδιάστηκε και εγκαταστάθηκε στην πολιτεία του Βερμόντ στις ΗΠΑ στα τέλη της δεκαετίας του '30 και οι δοκιμές της έγιναν στις αρχές της δεκαετίας του '40. Επρόκειτο για μια δίπτερη ανεμογεννήτρια με διάμετρο περιστροφής 53 μέτρα, ισχύος 1250 W και στηριζόταν σε πύργο ύψους 33,5 μέτρων.

Το σύγχρονο ενδιαφέρον με κρατική χρηματοδότηση άρχισε στις ΗΠΑ το 1973. Το πρόγραμμα της πρώτης μεγάλης Α/Γ με κωδικό Mod-0 ανατέθηκε στη NASA και περιελάμβανε τη σχεδίαση, κατασκευή και δοκιμή μια Α/Γ ισχύος 100 KW και

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

διάμετρο 38 μέτρα. Σκοπός του προγράμματος αυτού ήταν η εξαγωγή πληροφοριών και συμπερασμάτων για την εκπόνηση ενός ευρύτατου προγράμματος αιολικής ενέργειας.

Η σύγχρονη τεχνολογία χρήσης της αιολικής ενέργειας ξεκίνησε με μικρές ανεμογεννήτριες δυναμικότητας 20 έως 70 KW. Σήμερα χρησιμοποιούνται Α/Γ δυναμικότητας 200 ως 2000 KW. Δυστυχώς η κατασκευή μηχανών της τάξεως Μεγαβάτ δεν κατάφερε να ενταθεί στα οικονομικά και κατασκευαστικά βιώσιμα κατεστημένο. Η οικονομική υποστήριξη της κατασκευής μηχανών αυτής της κατηγορίας είναι πλέον εφικτή μόνο μέσα από ευρωπαϊκά προγράμματα.

Η μελέτη ενός συστήματος Α/Γ περιλαμβάνει την αεροδυναμική σχεδίαση και τη μελέτη εφαρμογής στην οποία περιλαμβάνονται η μηχανολογική μελέτη και σχεδίαση, η μελέτη του ηλεκτρολογικού συστήματος και τα ηλεκτρολογικά συστήματα ελέγχου και ασφάλειας. Η αεροδυναμική σχεδίαση αποτελεί προϋπόθεση για τον σχεδιασμό ενός συστήματος δέσμευσης και μετατροπής της ενέργειας του ανέμου, ενώ η ηλεκτρομηχανολογική μελέτη είναι το αμέσως επόμενο και αναγκαίο στάδιο για την υλοποίηση ενός τέτοιου συστήματος κατά τον αποδοτικότερο και πλέον συμφέροντα τεχνοοικονομικό τρόπο.

Υπολογίζεται ότι το 2% της ενέργειας του ήλιου που φτάνει στη Γη μετατρέπεται σε άνεμο (με τις διαφορές πίεσης που προξενούν οι αυξομειώσεις της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα), δηλαδή  $2,6 \times 10^{15}$  KWh το χρόνο ,δηλαδή ποσότητα 500 φορές μεγαλύτερη από τη σημερινή παγκόσμια κατανάλωση .Πρακτικά το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας αυτής είναι απρόσιτο, αλλά μπορεί να γίνει εκμετάλλευση 1.000.000 KWh περίπου το χρόνο, που είναι η μισή παγκόσμια υδροηλεκτρική ενέργεια.

Ο άνεμος προσφέρεται καλύτερα για εκμετάλλευση σε ύψος μερικών δεκάδων μέτρων από την επιφάνεια της Γης ,όπου η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη και η ροή είναι πιο ομαλή. Έτσι περισσότερο ενδιαφέρον για την εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού τους έχουν οι περιοχές με υψηλές μέσες ταχύτητες ανέμου. Ενδεικτικά θα αναφέρουμε ότι ένα πάρκο ανεμογεννητριών, το οποίο σε ταχύτητα 8 m/sec αποδίδει

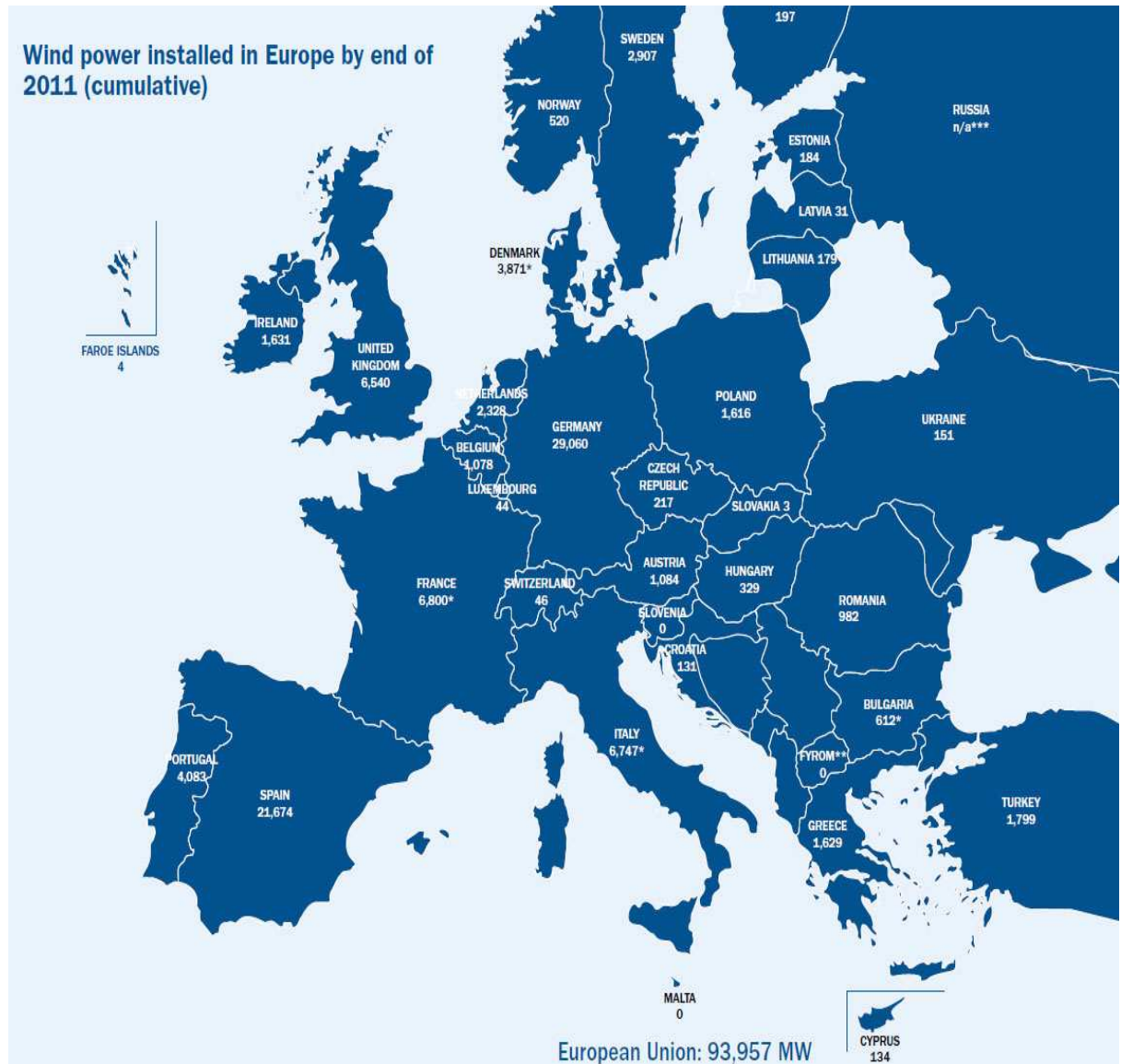
## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

1600KW, σε ταχύτητα 4 m/sec αποδίδει 200 KW. Σημαντικό ρόλο παίζει ο τόπος εγκατάστασης των ανεμογεννητριών. Η ύπαρξη ανωμαλιών του εδάφους, κτιρίων, δέντρων ή εμποδίων γενικά μπορεί να δημιουργήσει στροβίλους και να μειώσει την αποδοτικότητα. Πριν την επιλογή της περιοχής απαιτείται μελέτη στατιστικών μετεωρολογικών δεδομένων για τις κατευθύνσεις των κυριάρχων ανέμων για την περίοδο ενός χρόνου.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από αιολικά πάρκα είναι πολύ εύκολη με μικρό κόστος και κυρίως δεν επιβαρύνεται το περιβάλλον με τα υπόλοιπα της καύσης ,για παράδειγμα, του άνθρακα ή του πετρελαίου, ούτε με επικίνδυνα πυρηνικά απόβλητα και βέβαια δεν υπάρχουν κίνδυνοι για τους εργαζόμενους στις εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο όπως υπάρχουν στους πυρηνικούς ή θερμοηλεκτρικούς σταθμούς. Για αυτούς τους λόγους οι επιστήμονες προσπαθούν να βρουν συνεχώς όλο και πιο αποτελεσματικές διατάξεις εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας ώστε να αυξήσουν την απόδοση των ανεμογεννητριών, να διασφαλίσουν (από υπερφορτίσεις ,ισχυρούς ανέμους κτλ.) τις μηχανές τους αλλά και να μειώσουν το κόστος κατασκευής τους.

Σε πολλές χώρες η προσπάθεια στον τομέα της εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας έχει αρχίσει από αρκετά χρόνια. Πρωτοπόροι στην εγκατεστημένη ισχύ αιολικών πάρκων στην Ευρώπη είναι η Γερμανία και η Ισπανία. Σύμφωνα με τα στατιστικά στοιχεία της EWEA (European Wind Energy Association), η συνολική εγκατεστημένη ισχύς στην Ευρωπαϊκή Ένωση στο τέλος του 2011 ανερχόταν σε 93.957GW ενώ η Ελλάδα κατείχε 1,629MW αυξάνοντας κατά 23% την εγκατεστημένη ισχύ της σε σχέση με το 2010 αποτελώντας το 3% που εγκαταστάθηκε το 2011 στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

<<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων.  
Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>



Σχέδιο 2.1 Χάρτης με την εγκατεστημένη ισχύ των αιολικών πάρκων της Ευρώπης

## 2.2 ΑΙΟΛΙΚΑ ΠΑΡΚΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΚΡΗΤΗ:

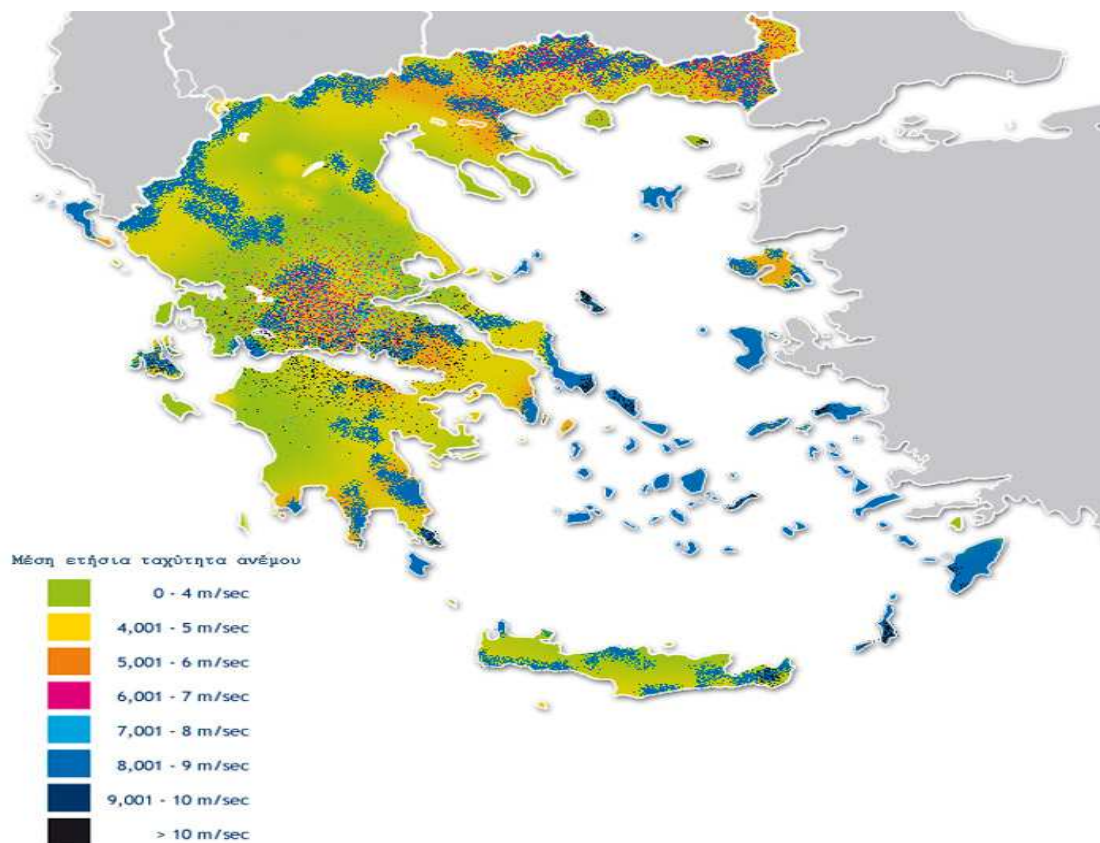
Στην Ελλάδα, όπου ο αέρας σε πολλά μέρη δεν σταματάει σχεδόν ποτέ και λόγω πλήθους μικρών και μεγάλων νησιών είναι δύσκολη η διασύνδεση του δικτύου διανομής. Η χρήση της αιολικής ενέργειας φαντάζει ως η πιο συμφέρουσα και μη εφικτή λύση ηλεκτροδότησης. Απομακρυσμένα νησιά και οικισμοί σε μέρη όπου υπάρχουν κατάλληλες εκτάσεις για την άνετη τοποθέτηση των συστημάτων των

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

ανεμογεννητριών μπορούν να ηλεκτροδοτηθούν από ανεξάρτητα συστήματα ανεμογεννητριών.

Η σκέψη για εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα ξεκίνησε με μετρήσεις αιολικού δυναμικού της Δ.Ε.Η./ΔΕΜΕ το 1975.

Στα νησιά του Αιγαίου, στην Κρήτη και στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα οι μέσες ταχύτητες ανέμου είναι 6-7 m/sec, με αποτέλεσμα το κόστος της παραγόμενης ενέργειας με χρήση ανεμογεννητριών να είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό, γι'αυτό παρατηρείται ανάπτυξη έργων εκμετάλλευσης στις περιοχές αυτές.



Εικόνα 9: Χάρτης μέσων τιμών ταχύτητας ανέμων στον ελλαδικό χώρο [8]

Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της Ελλάδος μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της. Είναι γνωστό ότι η κάλυψη του 15%



## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας, που αντιστοιχεί σε 6,45 TWh, μπορεί να επιτευχθεί οικονομικά με την ανάπτυξη των αιολικών πάρκων.

Η κατασκευή αιολικών πάρκων έχει ήδη ξεκινήσει στην Κρήτη, στην Θράκη, την Ρόδο, την Εύβοια και σε άλλες περιοχές με υψηλό αιολικό δυναμικό. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με αυτόν ρυθμό σε λίγα χρόνια θα καλύπτει ένα σημαντικό ποσοστό των ενεργειακών αναγκών της χώρας μας.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα της αιολικής ενέργειας είναι ότι εξαρτάται άμεσα από την ύπαρξη ικανοποιητικών ταχυτήτων ανέμου. Τι γίνεται όμως όταν δεν φυσάει άνεμος; Επειδή δεν υπάρχουν δυνατότητες για οικονομική αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, επιβάλλεται να υπάρχει εφεδρεία συμβατικών σταθμών για το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος των ανεμογεννητριών. Για ηλεκτρικά συστήματα, όπως το σύστημα της Κρήτης, όπου οι αιχμές φορτίου καλύπτονται με αεροστροβίλους ντίτζελ και με υψηλό κόστος παραγωγής, θα μπορούσε να εξεταστεί η περίπτωση συνδυασμού ανεμογεννητριών με αντλικά ή υδροηλεκτρικά έργα.

<b>Νησί</b>	<b>Ταχύτητα ανέμου (m/sec)</b>
Ανδρος	9,7
Τήνος	9,5
Μύκονος	10,8
Σύρος	8,1
Κρήτη	8,1
Λήμνος	8,1
Λέσβος	8,7
Χίος	8,1
Σάμος	10,4
Εύβοια	9,2
Κάρπαθος	9,6

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Σκύρος	6,5
Σαμοθράκη	6,6

**Πίνακας 2.1 Ταχύτητες ανέμων στα νησιά [8]**

Στην Κρήτη η αξιοποίηση του αιολικού δυναμικού ξεκίνησε με το αιολικό πάρκο της Δ.Ε.Η. στο Τοπλού Σητείας το 1993. Έκτοτε έχουν ακολουθήσει αρκετά, άλλα μεγαλύτερα και άλλα μικρότερα. Παρακάτω εμφανίζονται πίνακες με τις τοποθεσίες αυτών και με τις ισχύς του καθενός από αυτά σύμφωνα με το Κέντρο Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. [8]

### 1. ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ Α/Π ΤΗΣ ΔΕΗ

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ Α/Γ	ΙΣΧΥΣ/Α/Γ (kW)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚ/ΝΗ ΙΣΧΥΣ (kW)
ΜΟΝΗ ΤΟΠΛΟΥ	17	300	5100
ΜΟΝΗ ΤΟΠΛΟΥ	3	500	1500
ΞΗΡΟΛΙΜΝΗ	17	600	10200
Σύνολο			16800

**Πίνακας 2.2 Εγκατεστημένη ισχύς πάρκων της Δ.Ε.Η. [8]**

### 2. ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ Α/Π ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ

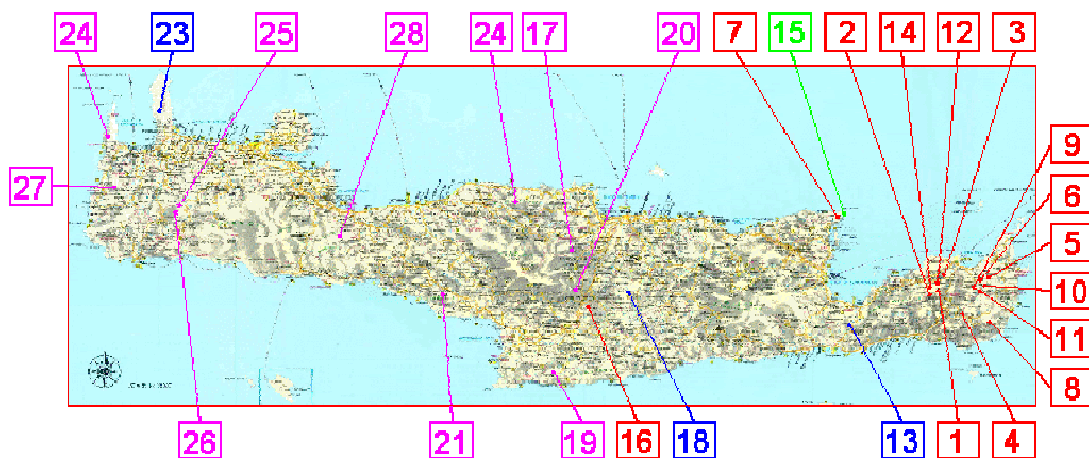
ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ Α/Γ	ΙΣΧΥΣ/Α/Γ (kW)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΓΚ/ΝΗ ΙΣΧΥΣ (kW)
ΑΝΩΓΙΑ, ΚΡΗΤΗ	1	55	55
ΖΗΡΟΣ	1	500	500
ΠΛΑΚΟΚΕΡΑΤΙΑ	17	600	10200
ΧΑΝΔΡΑΣ	18	550	9900
ΜΕΓΑΛΗ ΒΡΥΣΗ	9	550	4950

<<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων.  
Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

ΣΗΤΕΙΑ	50	1500	25000
Σύνολο			50605

Πίνακας 2.3 Εγκατεστημένη ισχύς σιτοπαραγωγών και ανεξάρτητων παραγωγών [8]

Παράλληλα στον παρακάτω χάρτη αποτυπώνονται τα Αιολικά Πάρκα για τα οποία έχει εκδοθεί άδεια παραγωγής από τη Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας.[13]



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

Πίνακας 2.4 Τοποθεσιών αιολικών πάρκων στην Κρήτη [13]

### 2.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ:

Κατά την διάρκεια του 1<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. κτίστηκε στην Αθήνα ένα αρχαίο αστεροσκοπείο, ο «Πύργος των Ανέμων».

Πρόκειται για ένα μικρό σχετικά οκτάπλευρο οικοδόμημα ενταγμένο στη ρωμαϊκή αγορά, στο εσωτερικό του οποίου λειτουργούσε υδραυλικό ρολόι. Στην κορυφή της κωνικής στέγης του υπήρχε ένας μπρούτζινος Τρίτωνας που περιστρεφόταν σύμφωνα με τον πνέοντα άνεμο και έδειχνε με μια μπρούτζινη ράβδο έναν από τους οχτώ ανέμους που απεικονίζονται προσωποποιημένοι στο πάνω τμήμα της καθεμίας από τις οχτώ πλευρές του οικοδομήματος. Στις πλευρές του φέρει φιγούρες των ανέμων που ο Αριστοτέλης διευκρίνισε τρεις αιώνες αργότερα. [21]



Εικόνα 10: Οι Αέρηδες ,το μνημείο αυτό θεωρείται ο αρχαιότερος μετεωρολογικός σταθμός του κόσμου [21]

## 2.4 ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ:

### 2.4.1 Γενικά γνωρίσματα του ανέμου:

Η αιτία δημιουργίας του ανέμου είναι η μετατροπή ενός ποσοστού της ηλιακής ενέργειας σε κινητική ενέργεια του ανέμου που δημιουργεί οριζόντια, κυρίως, κίνηση μεγάλων μαζών του ατμοσφαιρικού αέρα. Η διεύθυνση και η ταχύτητα, ή ένταση του ανέμου είναι τα δυο κυριότερα χαρακτηριστικά του.[10]

Τρεις είναι οι βασικοί παράγοντες που δημιουργούν και διαμορφώνουν τις κινήσεις του ατμοσφαιρικού αέρα:

- 1) Η περιστροφή της Γης γύρο από τον άξονα της.
- 2) Η ηλιακή ενέργεια που απορροφά η ατμόσφαιρα και η επιφάνεια του εδάφους.
- 3) Η ανομοιομορφία του γήινου ανάγλυφου.

Εξαιτίας αυτών των τριών παραγόντων η κατανομή της ατμοσφαιρικής πίεσης στην επιφάνεια της Γης δεν είναι ομοιόμορφη και η διαφορά πιέσεων που δημιουργείτε, εξαναγκάζει τις αέριες μάζες να κινηθούν ,για να αντισταθμίσουν αυτή τη διαφορά. Τόσο οι μεγάλες , όσο και οι μικρές μεταβολές της πίεσης οφείλονται προπάντων στις δυνάμεις που δημιουργούνται κατά την μετατροπή της θερμικής ηλιακής ενέργειας σε κινητική ενέργεια των μαζών του αέρα. Η μετατροπή αυτή αποτελεί ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα της Μετεωρολογίας. Οι δυνάμεις που υπεισέρχονται στη δημιουργία των ανέμων είναι οι εξής:[10]

- 1) **Η δύναμη της βαροβαθμίδας :** Εξαιτίας της βαρύτητας ο ατμοσφαιρικός αέρας ασκεί πίεση στα διάφορα ατμοσφαιρικά στρώματα και κατά συνέπεια συμπιέζεται. Όταν όμως υπάρχει διαφορά πιέσεων μεταξύ γειτονικών περιοχών, εμφανίζεται μια δύναμη (δύναμη της βαροβαθμίδας) η οποία τείνει να μετακινήσει τα μύρια του αέρα προς την περιοχή της χαμηλότερης πίεσης με ταχύτητα ανάλογη με τη διαφορά πιέσεων. [10]

- 2) **Η οριζόντια εκτροπτική δύναμη που οφείλεται στην περιστροφή της Γης:**  
Όπως συμβαίνει σε κάθε σωματίδιο που κινείται ελεύθερα χωρίς την επίδραση οποιασδήποτε δύναμης, έτσι και ο ατμοσφαιρικός αέρας που κινείται δέχεται φαινομενικά μια εκτροπή σε σχέση με την επιφάνεια της Γης. Η εκτροπή αυτή οφείλεται στην περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονα της. Η δύναμη που προκαλεί αυτήν την εκτροπή, ονομάζεται Coriolis. Για το λόγο αυτό κάθε μόριο του αέρα που κινείται στο βόρειο ημισφαίριο δέχεται μια συνεχή εκτροπή της κίνησης του προς τα δεξιά, ενώ στο νότιο ημισφαίριο η εκτροπή αυτή είναι προς τα αριστερά. [10]
- 3) **Η φυγόκεντρη δύναμη:** Τα μόρια του αέρα επειδή ακολουθούν την κίνηση της Γης ,συμμετέχουν σε μια κυκλική κίνηση ,επομένως επενεργεί πάνω τους η φυγόκεντρη δύναμη. [10]
- 4) **Η δύναμη της τριβής :** Η δύναμη της τριβής ‘‘υπεισέρχεται’’, όταν ο ατμοσφαιρικός αέρας που κινείται βρίσκεται σ’επαφή με την επιφάνεια της Γης. Η δύναμη αυτή ενεργεί αντίθετα στην κίνηση του αέρα και το μέγεθος της εξαρτάται από την ταχύτητα του ανέμου και από την ταχύτητα της περιστροφής της επιφάνειας του εδάφους (περιστροφή της Γης από τον άξονα της). Δυνάμεις τριβής αναπτύσσονται επίσης όταν αλληπάλληλα στρώματα αέρα κινούνται πάνω από την επιφάνεια της Γης με διαφορετικές ταχύτητες. [10]

#### 2.4.2 Η Διεύθυνση του Ανέμου:

Ως σημείο αναφοράς για το χαρακτηρισμό της διεύθυνσης του ανέμου παίρνει το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Η κίνηση του ανέμου θεωρείται κατά προσέγγιση, οριζόντια και ευθύγραμμη για την καλύτερη περιγραφή της κίνησης του. Έτσι π.χ. βόρειος άνεμος είναι αυτός που προέρχεται από το βορρά και κατευθύνεται προς το νότο (σε σχέση με την θέση του παρατηρητή).

Γενικά χρησιμοποιούνται δυο τρόποι για την διατύπωση του ανέμου: σύμφωνα με τον πρώτο, ο κύκλος του ορίζοντα διαιρείται σε όγδοα ή δέκατα έκτα ή τριακοστά

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

δεύτερα και τα χαρακτηριστικά των διάφορων σημείων του ανεμολόγιου αυτού είναι τα ίδια με τα χαρακτηριστικά που αναγράφονται στη περιφέρεια του κινητού πλαισίου (ανεμολόγιου) της μαγνητικής βελόνας της πυξίδας.

Τα όργανα και οι συσκευές που δείχνουν τη διεύθυνση του ανέμου ονομάζονται ανεμοδείκτες και τα όργανα που μετράμε την ταχύτητα ονομάζονται ανεμόπτερα. Μπορούμε όμως να προσδιορίσουμε την διεύθυνση του αέρα με απλή παρατήρηση διαφόρων φαινομένων, π.χ. παρατηρώντας την διεύθυνση του καπνού, την κλίση των κορυφών από τα δέντρα, την κίνηση των κυμάτων κλπ. Ακόμα αν βρέξουμε την άκρη ενός δαχτύλου και το σηκώσουμε κατακόρυφα, την πλευρά του δαχτύλου που είναι προς το σημείο του ορίζοντα από το οποίο φυσά ο άνεμος θα την αισθανθούμε ψυχρότερη. Υπάρχουν και διάφοροι άλλοι τρόποι για τον προσδιορισμό της διεύθυνσης του ανέμου.

### 2.4.3 Η ταχύτητα του ανέμου:

Η ταχύτητα του ανέμου ορίζεται ως το διάστημα που διανύει η αέρια μάζα στη μονάδα του χρόνου. Είναι πολύ δύσκολος βέβαια ο προσδιορισμός της πραγματικής ταχύτητας των μορίων του αέρα γι' αυτό μετριέται η ταχύτητα την οποία προσδίνει ο άνεμος σε διάφορα ελαφρά σώματα (φερά, καπνό, σύννεφα) τα οποία παρασύρει. Οι μονάδες μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου είναι οι εξής: μέτρα ανά δευτερόλεπτο (m/sec),χιλιόμετρα να ώρα (km/h),μίλια (1.609 μ.) ανά ώρα (m.p.h.),αγγλικά πόδια ανά δευτερόλεπτο (ft/sec) και κόμβοι (1.852 m/h).Ο προσδιορισμός της ταχύτητας (ή έντασης) του ανέμου γίνεται ή εμπειρικά ( χωρίς όργανο ή με την βοήθεια ειδικών οργάνων (ανεμόπτερα).

Κλίμακα Beaufort	Επίσημη Ονομασία	Official Names	m/sec	m.p.h
0	Νηνεμία	Calm	< 0.4	< 1
1	Υποπνέον	Light air	0,4 - 1,5	1 - 3
2	Ασθενής	Light breeze	1,6 - 3,3	4 - 7
3	Λεπτός	Gentle breeze	3,4 - 5,4	8 - 12

**<<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων.  
Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>**

4	Μέτριος	Moderate breeze	5,5 - 7,9	13 - 18
5	Λαμπρός	Fresh breeze	8 - 10,7	19 - 24
6	Ισχυρός	Strong breeze	10,8 - 13,8	25 - 31
7	Σφοδρός	Moderate gale	13,9 - 17,1	32 - 38
8	Ορμητικός	Fresh gale	17,2 - 20,7	39 - 46
9	Θύελλα	Strong gale	20,8 - 24,4	47 - 54
10	Ισχυρή θύελλα	Whole gale	24,5 - 28,4	55 - 63
11	Σφοδρή θύελλα	Storm	28,5 - 32,6	65 - 73
12	Τυφώνας	Hurricane	> 36,6	> 73

**Πίνακας 2.5 Ονοματολογία των Ανέμων και η κλίμακα Beaufort**

Η γενική κυκλοφορία οφείλεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία και στην περιστροφή της Γης. Πράγματι η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ ισημερινού και πόλων αποτέλεσμα της διαφορετικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα διαφορετικά σημεία του πλανήτη μας, έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση αέριων μαζών από τους πόλους προς τον ισημερινό και αντιθέτως. Πιο συγκεκριμένα ψυχροί επιφανειακοί άνεμοι πνέουν από τους πόλους προς τον ισημερινό για να αντικαταστήσουν το θερμό αέρα που ανυψώνεται λόγω μείωσης της πυκνότητας του και ο οποίος κινείται δια μέσου της ανώτερης ατμόσφαιρας προς τους πόλους.

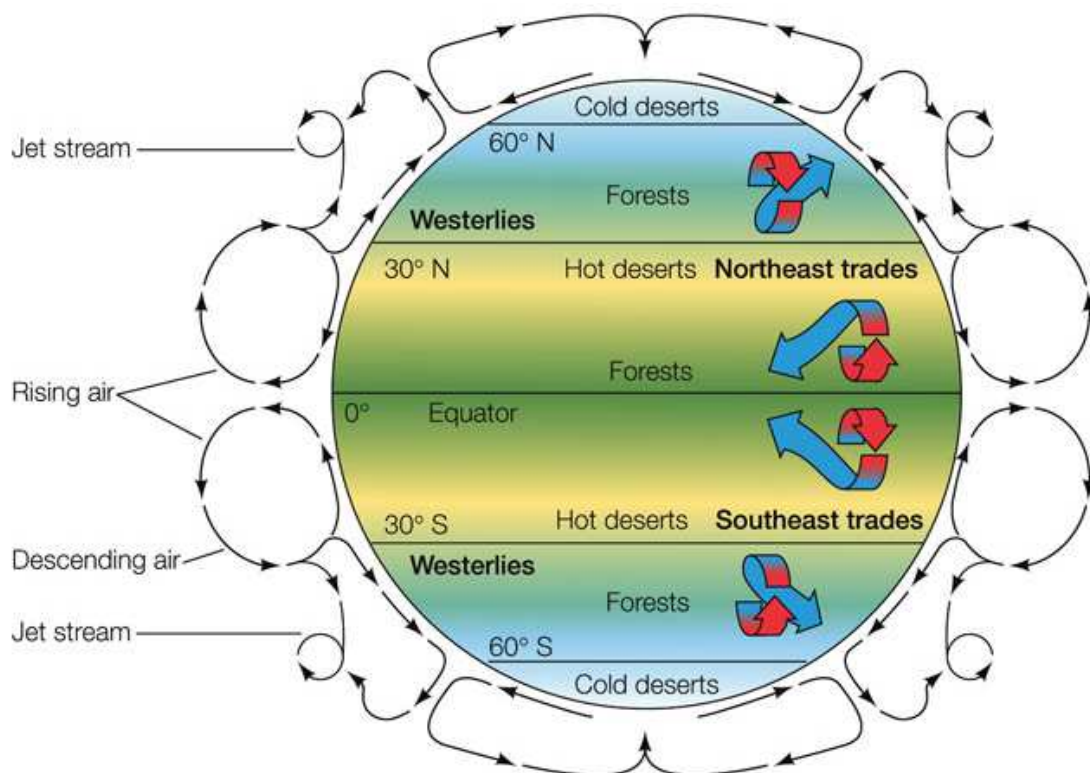
Παράλληλα η περιστροφή της Γης γύρω από τον άξονα της έχει σαν αποτέλεσμα τη κίνηση ψυχρών αέριων επιφανειακών μαζών προς τα δυτικά ενώ ο θερμός αέρας μετακινείται σε μεγαλύτερα ύψη και προς τα ανατολικά.



## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Πάνω από κάθε ημισφαίριο στην ατμόσφαιρα διακρίνονται τρεις βασικές ζώνες που είναι η τροπική ζώνη, η υποτροπική ζώνη και η πολική ζώνη. Οι ζώνες αυτές δεν παραμένουν ακίνητες αλλά περιστρέφονται κατά τρόπο παρόμοιο με την περιστροφή τριών εμπλεκόμενων οδοντωτών τροχών. Η βόρεια και νότια τροπική ζώνη διαχωρίζονται από την ισημερινή ζώνη που είναι η περιοχή χαμηλής πίεσης και στην οποία επικρατούν ασταθείς άνεμοι. Ανάμεσα στην τροπική και πολική ζώνη βρίσκεται η υποτροπική υψηλής πίεσης ζώνη. Συμπερασματικά το πεδίο κυκλοφορίας των ανέμων στην επιφάνεια της Γης μεταβάλλεται διαρκώς και έτσι δεν είναι εφικτή η απεικόνιση του, κατά στατικό τρόπο.

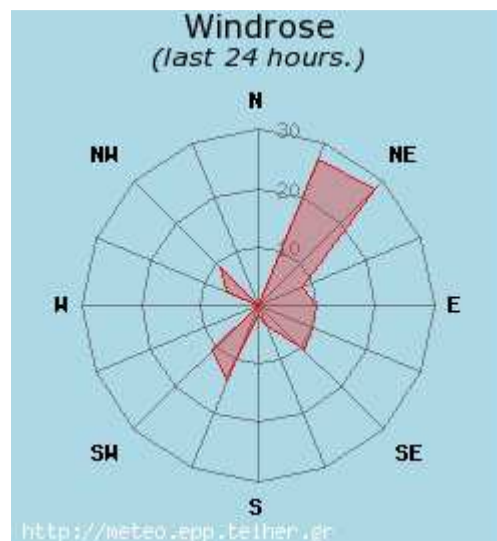
Η κίνηση των ανέμων παρακολουθείται και καταγράφεται συνεχώς σε μετεωρολογικούς σταθμούς. Αυτές οι καταγραφές απεικονίζονται σε μετεωρολογικούς χάρτες μικρής και μεγάλης κλίμακας. Οι άνεμοι είναι ισχυρότεροι πάνω από τους ωκεανούς συγκρινόμενοι με αυτούς που επικρατούν πάνω από τις ηπείρους ,ενώ η εξασθένηση των ανέμων στις ηπειρώτικες περιοχές αιτιολογείται αφενός από την ανάγλυφη διαμόρφωση της επιφάνειας και αφετέρου από την βλάστηση.



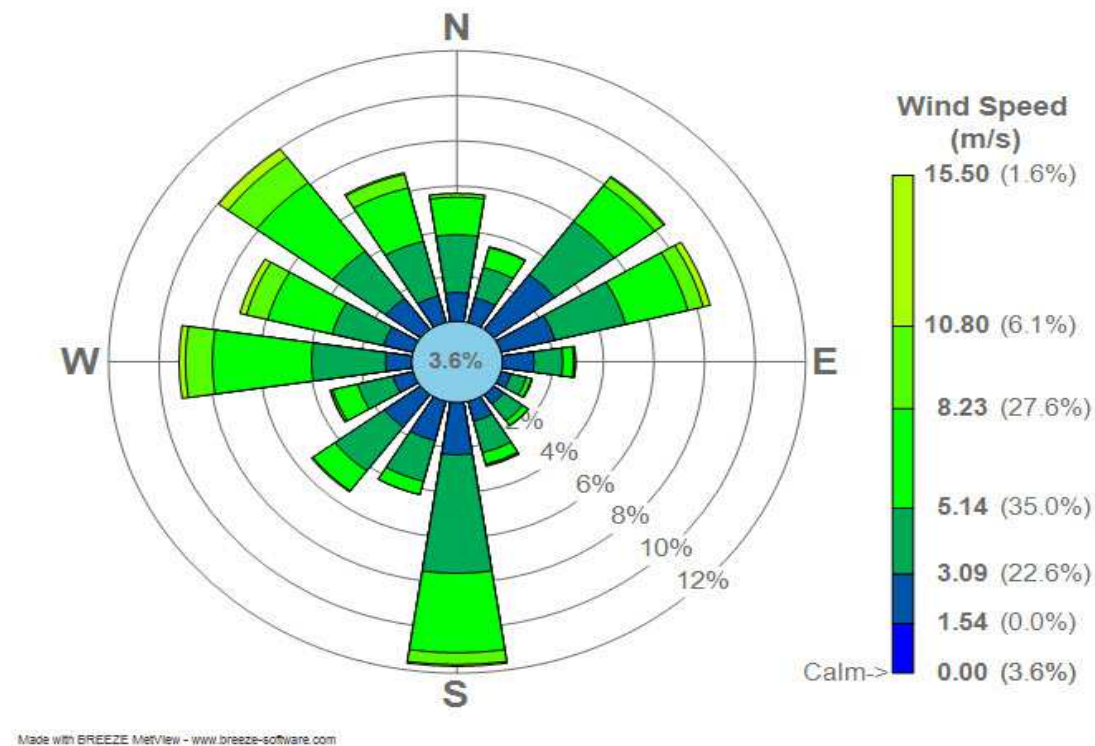
Σχέδιο διευθύνσεων ανέμων παγκοσμίως

#### 2.4.4 Η Ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου:

Η κατεύθυνση του πνέοντος ανέμου καθορίζεται κατά τρόπο ίδιο με την διεύθυνση προσανατολισμού (π.χ. ο άνεμος είναι δυτικός όταν κινείται από τη δύση προς την ανατολή ).Η κατεύθυνση του ανέμου καταγράφεται με ανεμόμετρα ή παρατηρείται με την βοήθεια του ανεμουρίου. Το μετρό και η ταχύτητα διεύθυνσης του αέρα καταγράφονται κατά συστηματικό τρόπο με ανεμόπτερα στο μετεωρολογικούς σταθμούς. Οι συχνότητες πνοής του ανέμου που καταγράφονται σε μια χρονική περίοδο ( ημέρα ,εβδομάδα ,μηνάς ,εποχή ,έτος) ,παριστάνονται στο ροδόγραμμα πνοής του ανέμου ( wind rose).



Ροδόγραμμα ανέμου 9/1/2013 [1]



Σχέδιο 2.2 Απεικόνιση Ροδογράμματος ταχύτητας ανέμου

Το ροδόγραμμα πνοής είναι ένα αρκετά εποπτικό διάγραμμα που δίνει άμεσα την κατεύθυνση και την μέση ταχύτητα του ανέμου σε μια περιοχή καθώς επίσης την διάρκεια πνοής του ανέμου από κάθε κατεύθυνση. Η μέση ταχύτητα του ανέμου υποδηλώνονται από το μήκος των ακτινικών γραμμών του ροδογράμματος ενώ η εκατοστιαία συχνότητα πνοής αναγράφεται πάνω σε κάθε ακτινική γραμμή με την τιμή της νηνεμίας στο κέντρο του ροδογράμματος. Η ταχύτητα του ανέμου ,για ιστορικούς λόγους μετράται με την κλίμακα Beaufort προς τιμή του προτείνοντος αυτή Francis Beaufort.

Οι μετεωρολογικές μετρήσεις δείχνουν ότι η ταχύτητα του ανέμου μεταβάλλεται με την απόσταση από την επιφάνεια του εδάφους. Το πρόβλημα έκφρασης με κάποιο νόμο της μεταβολής της οριζόντιας συνιστώσας της ταχύτητας του ανέμου με το ύψος έχει απασχολήσει αρκετούς ερευνητές. Οι εκφράσεις που χρησιμοποιούνται συνήθως για την μεταβολή της ταχύτητας με το ύψος και στα όρια του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος είναι:[10]

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

- Εκθετικός νόμος :  $\frac{U_1}{U_2} = \left(\frac{h_1}{h_2}\right)^n$  (2.1)

- Λογαριθμικός νόμος :  $u/u_\tau = (1/0,35) * \ln (h/z_0)$  (2.2)

Όπου  $U$  ,  $U_1$  και  $U_2$  είναι η οριζόντια συνιστώσα της ταχύτητας στο ύψος  $h$  , $h_1$  και  $h_2$  αντίστοιχα ,  $U_\tau$  είναι η ταχύτητα τριβής (friction velocity),  $z_0$  είναι η τραχύτητα της επιφανειας και  $n$  είναι ο δείκτης του εκθετικού νόμου. Χαρακτηριστικές τιμές του εκθέτη  $n$  ανάλογα με το είδος της επιφάνειας δίνονται από τους Warne και Calnan.

Εκτός από την απόσταση από το έδαφος και η ταχύτητα του εδάφους επηρεάζει την κατανομή της αιολικής ταχύτητας. Κατά τον Marullaz υπάρχει ένα ύψος μετάβασης (transition height) πέρα από το οποίο δεν παρατηρείται επίδραση στην κατανομή της αιολικής ταχύτητας. Το ύψος είναι  $h_{cr} = 0,08x$  όπου  $x$  είναι η απόσταση από το θεωρούμενο σημείο όπου μεταβάλλεται η τραχύτητα του εδάφους. Για  $x > 5\text{km}$  η επίδραση της μεταβολής της ταχύτητας του εδάφους πρακτικά είναι αμελητέα, ενώ για  $x < 5\text{km}$  και για ύψη  $h < h_{cr}$  η κατανομή της ταχύτητας του ανέμου στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα επηρεάζεται από την τραχύτητα του εδάφους στην διεύθυνση ανάντη και κατάντη της πνοής του ανέμου.

Η ανάπτυξη και η εξέλιξη της αιολικής ταχύτητας στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα καθορίζεται πρωταρχικά από την διαμόρφωση του εδάφους της περιοχής. Διάφορα φυσικά εμπόδια όπως λοφοσειρές, λόφοι και απότομοι βράχοι επηρεάζουν σημαντικά την ταχύτητα του αέρα.

Ο άνεμος στις κορυφές της λοφοσειράς αλλά και στις κοντινές περιοχές επιταχύνεται σε μικρό ύψος από το έδαφος και παρουσιάζει μια σχεδόν ομοιόμορφη κατανομή. Η αύξηση της ταχύτητας του ανέμου στην κορυφή μιας λοφοσειράς κυμαίνεται από 40% έως 80% όπου η τελευταία περίπτωση αναφέρεται σε ιδιαίτερα επιμήκης λοφοσειρές με σταδιακή αύξηση της κλίσης του εδάφους.

Επιτάχυνση της ταχύτητας του ανέμου παρατηρείτε επίσης σε απομονωμένους λόφους σχεδόν ημισφαιρικού σχήματος, αλλά στην περίπτωση αυτή η σχετική

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

αύξηση της ταχύτητας στην κορυφή του λόφου είναι μικρότερη και κυμαίνεται από 20% έως 40% ανάλογα με την κλίση της πλαγιάς. Γενικά σε λόφους με γωνίες κλίσης μεγαλύτερες από 30° παρατηρούνται εκτεταμένες περιοχές επανακυκλοφορίας του αέρα.

Οι μετρήσεις της ταχύτητας και της κατεύθυνσης του ανέμου δείχνουν την συνεχή μεταβολή αυτών των μεγεθών σε δεδομένη θέση με τον χρόνο. Σε μικρό χρονικό διάστημα π.χ. 1sec μπορεί να καταγραφεί μέχρι και διπλασιασμός του μέτρου της ταχύτητας και παράλληλα η κατεύθυνση πνοής του ανέμου μπορεί να μεταβληθεί σημαντικά όπως επιβεβαιώνεται από σχεδόν καθημερινές μετρήσεις. Η μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου γίνεται με ανεμόμετρα τα οποία παρουσιάζουν μεγάλη ποικιλία τόσο ως προς την μορφή όσο και ως προς την αρχή λειτουργίας. Γενικά τα ανεμόμετρα που χρησιμοποιούνται για ποσοτικές μετρήσεις στα όρια του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος διακρίνονται στις ακόλουθες τέσσερις κατηγορίες:

- Ανεμόμετρα περιστροφικού τύπου (Rotational anemometers)
- Ανεμόμετρα πίεσης (Pressure anemometers)
- Ανεμόμετρα θερμού σύρματος (Hot wire anemometers)
- Ακουστικά ανεμόμετρα Doppler (Doppler acoustic radars)

### 2.4.5 Η διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου και η ατμοσφαιρική τύρβη

Η ταχύτητα του ανέμου υφίσταται διακυμάνσεις συνέχεια και κατά συνέπεια μεταβάλλεται αντίστοιχα και η περιεχόμενη στον άνεμο ενέργεια. Το ακριβές μέγεθος των μεταβολών εξαιτίας των διακυμάνσεων εξαρτάται τόσο από τις καιρικές συνθήκες όσο και από την υφιστάμενη επιφανειακή τραχύτητα και από τυχόν υπάρχοντα εμπόδια για την ροή του ανέμου. Στις περισσότερες περιοχές της Γης οι

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

άνεμοι κατά την διάρκεια της ημέρας είναι ισχυρότεροι από τους αντίστοιχους ανέμους που υφίστανται κατά την διάρκεια της νύχτας.[19]

Αυτή η παρατηρούμενη μεταβλητότητα είναι αποτέλεσμα κυρίως των μεγαλύτερων θερμοκρασιακών διαφορών, για παράδειγμα, μεταξύ της θάλασσας και της ξηράς οι οποίες υφίστανται κατά την διάρκεια της ημέρας σε σχέση με τις αντίστοιχες που υφίστανται κατά την διάρκεια της νύχτας. Επίσης ο άνεμος έχει εντονότερα τυρβώδη χαρακτηριστικά και τείνει να αλλάζει διευθύνσεις συχνότερα κατά την διάρκεια της ημέρας παρά κατά την διάρκεια της νύχτας.[19]

Γενικά ο άνεμος μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από ένα ευρύ φάσμα υψηλής συχνότητας τύρβης που επιτίθεται σε μικρότερης συχνότητας μεταβαλλόμενο άνεμο. Είναι προφανές ότι οι διαταραχές της ταχύτητας του ανέμου είναι τυχαίες στον χαρακτήρα τους και δεν μπορούν να αναλυθούν με ντετερμινιστικό τρόπο. Για την περιγραφή των υψηλής συχνότητας χαρακτηριστικών της μεταβολής του ανέμου προς το παρόν χρησιμοποιούνται στατιστικές τεχνικές που στηρίζονται στην υπόθεση της φασματικής κατανομής της πυκνότητας ισχύος (δηλαδή της ισχύος ανά μονάδα εύρους συχνοτήτων) της τύρβης. Η φασματική κατανομή της πυκνότητας ισχύος της τύρβης μπορεί να περιγραφεί με την συνάρτηση του Kaimal ή του von Karman. Τόσο η μια όσο και η άλλη κατανομή τείνουν κατά προσέγγιση ένα ασυμπτωτικό όριο ανάλογο του  $f^{-\frac{5}{3}}$  σε υψηλή συχνότητα (όπου  $f$  η συχνότητα σε Hz). Αυτή η συμπεριφορά των δυο εν λόγω κατανομών στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων είναι συνεπής με τον νόμο του Kolmogorov, σύμφωνα με τον οποίο οι τυρβώδεις στροβιλισμοί οδεύουν από τις χαμηλότερες σε όλο και υψηλότερες συχνότητες όπου τελικά καταστρέφονται λόγω της συνεκτικότητας του ρευστού.[19]

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι προαναφερόμενες κατανομές περιγράφουν τις μεταβολές κάθε συνιστώσας της τύρβης σε κάποιο συγκεκριμένο σημείο του χώρου. Με σκοπό να ληφθεί υπόψη το τελευταίο γεγονός στην φασματική κατανομή της τύρβης έχουν προταθεί ορισμένες συναρτήσεις συσχέτισης ανάμεσα στις τυρβώδεις διακυμάνσεις σημείων τα οποία βρίσκονται σε ορισμένη απόσταση μεταξύ τους, τόσο κατά την οριζόντια όσο και κατά την κατακόρυφη διεύθυνση. Αυτές οι συσχετίσεις

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

είναι λιγότερο έντονες όσο η απόσταση μεταξύ των δυο εξεταζόμενων σημείων αυξάνεται [19].

Οι εν λόγω συσχετίσεις είναι λιγότερο έντονες στις υψηλές συχνότητες του φάσματος της τύρβης, σε σχέση με τις αντίστοιχες των χαμηλών συχνοτήτων. Επιπρόσθετα οι τρεις συνιστώσες της τύρβης, συνήθως υποτίθεται ότι είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Αυτή η υπόθεση είναι τις περισσότερες φορές αρκετά κοντά στην πραγματικότητα παρόλο που στην πράξη οι τάσεις Reynolds μπορεί να έχουν ως αποτέλεσμα να υφίστανται κάποια μικρή συσχέτιση μεταξύ των οριζοντίων και των κατακόρυφων συνιστωσών σε σημεία που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Επίσης υπάρχουν σημαντικές διαφορές και αποκλίσεις ανάμεσα στα διάφορα κατά καιρούς δημοσιευμένα φάσματα τύρβης, όπως επίσης αντίστοιχα και στις διάφορες συναρτήσεις συσχέτισης [19].

### 2.5 ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ:

Μακροχρόνιες μετρήσεις ταχύτητας και διεύθυνσης του ανέμου με στόχο την εκτίμηση της διαθέσιμης αιολικής ενέργειας (ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση, χρονική και χωρητική κατανομή). Οι μετρήσεις αιολικού δυναμικού είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό και τον καλό προγραμματισμό λειτουργίας ενός αιολικού σταθμού. Η εκτίμηση του διαθέσιμου αιολικού δυναμικού μιας περιοχής είναι πολύ ευαίσθητη στις διακυμάνσεις της ταχύτητας του ανέμου ενώ η επιλογή της θέσης μέτρησης απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό και εμπειρία. [18]



Εικόνα 11: Ιστός ύψους 10 μέτρων (Δόξα –Ηράκλειο)

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Συνήθως οι μετρήσεις περιλαμβάνουν την εγκατάσταση ενός μεταλλικού ιστού ύψους από 10 μ. έως 60 μ. στον οποίο τοποθετούνται ένα ή περισσότερα ανεμόμετρα και ανεμοδείκτες. Οι μικρού ύψους ιστοί δηλαδή έως 10 μ. λόγω του χαμηλού κόστους τους αλλά και της εύκολης μεταφοράς και τοποθέτησης τους, χρησιμοποιούνται



Ιστός μετεωρολογικού σταθμού Κρήτης

συνήθως για τον εντοπισμό της καταλληλότερης θέσης μέτρησης. Αφού εντοπιστεί η θέση μέτρησης ο μικρός ύψους ιστός μπορεί να αντικατασταθεί με έναν άλλο μεγαλύτερου ύψους έτσι ώστε το ύψος μέτρησης να πλησιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο το ύψος των ανεμογεννητριών που θα εγκατασταθούν.

Οι μετρήσεις διαρκούν συνήθως ένα χρόνο για να καλυφτούν όλες οι εποχιακές διακυμάνσεις που μπορεί να παρουσιάζονται σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συγκεντρώνονται με τη βοήθεια συστημάτων μετάδοσης δεδομένων, των τηλεπικοινωνιακών δικτύων κινητής τηλεφωνίας διασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό καθημερινή και έγκαιρη ενημέρωση σχετικά με κατάσταση του εξοπλισμού, συστηματική και αυτοματοποιημένη παρακολούθηση των μετρήσεων καθώς και ασφαλή φύλαξη των στοιχείων.

### 2.5.1 Μετρήσεις:

Οι μετρήσεις που μας χρειάζονται προκειμένου να πάρουμε τα στοιχεία που θέλουμε για την περιοχή ενδιαφέροντος λαμβάνονται από τον μετεωρολογικό ιστό.

Τοποθετείται κοντά στην περιοχή ενδιαφέροντος και πιο συγκεκριμένα στην ψηλότερη κορυφή για την αποφυγή κάθε είδους φυσικού ή τεχνητού εμποδίου προκειμένου να μην υπάρξει έτσι αλλοίωση αποτελεσμάτων. Οι ιστοί στήνονται σε



## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

ύψος τουλάχιστον 10 μ. από το έδαφος και μακριά από δέντρα και άλλα εμπόδια, όπου αυτό είναι εφικτό. Υπάρχουν και οι περιπτώσεις όπου θέλουμε μεγαλύτερη ακρίβεια στα δεδομένα μας. Σ'αυτές τις περιπτώσεις εγκαθιστούμε ψηλότερους ιστούς με ύψος έως και 60 μέτρα και τοποθετούμε όργανα σε διάφορα ύψη (10μ, 20μ, 30μ, 45μ, 60μ). με αυτό τον τρόπο έχουμε ακριβή ένδειξη της ταχύτητας στο ύψος της πτερωτής της Α/Γ που είναι συνήθως πάνω από τα 50μ. οι προϋποθέσεις αυτές εξασφαλίζουν την ορθότητα των δεδομένων που παίρνουμε.



Εικόνα 12: Καταγραφικό μετεωρολογικών δεδομένων (data logger)

Οι μετρητικές διατάξεις που αναφέρθηκαν προηγουμένως, (ανεμόμετρο - ανεμομετρήσεις) τοποθετούνται σε ένα ιστό πολλές φορές σε ζευγάρια, έτσι ώστε στην περίπτωση που το ένα καταστραφεί, να έχουμε ενδείξεις από το άλλο. Τα όργανα συνδέονται σε ένα καταγραφικό (data logger) το οποίο όπως είπαμε παίρνει τις μετρήσεις και τις αποθηκεύει.

Μέσα από το καταγραφικό έχουμε τη δυνατότητα να ορίσουμε την περίοδο δειγματοληψίας. Για παράδειγμα όταν πρόκειται για ανέγερση αιολικού πάρκου οι μετρήσεις γίνονται ανά 1 δευτερόλεπτο και η ολοκλήρωση των μετρήσεων γίνονται κάθε 10 λεπτά. Έτσι έχουμε μέσες δεκάλεπτες τιμές για την ταχύτητα και την διεύθυνση και για χρονικό διάστημα τουλάχιστον 2 ετών το λιγότερο. [18]

### 2.5.2 Προσδιορισμός αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, η ένταση του ανέμου:

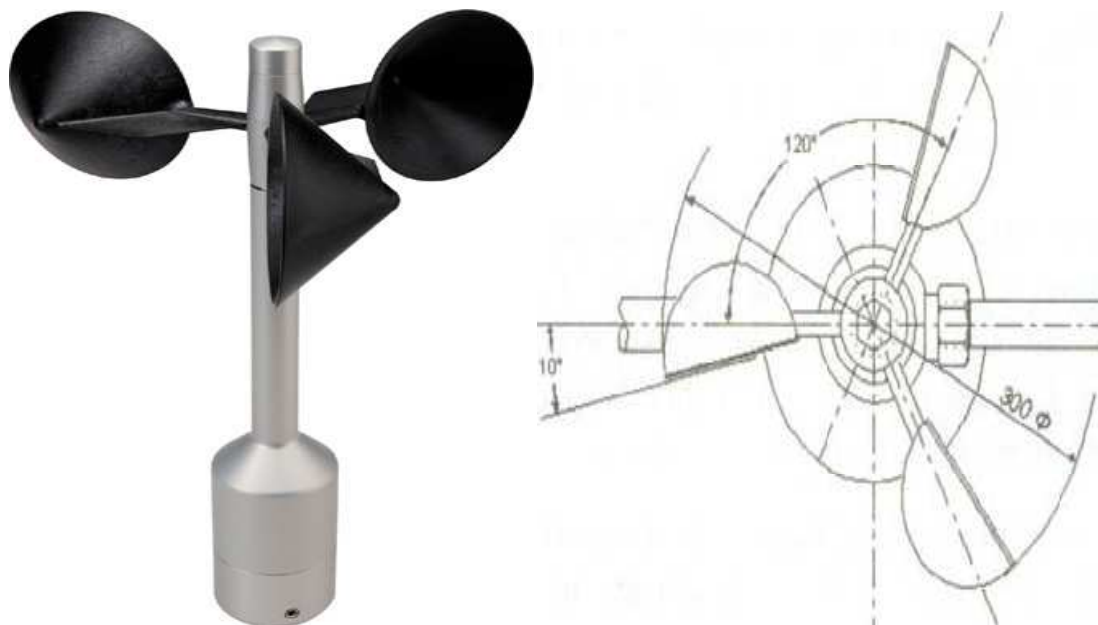
Για την μέτρηση της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα ή οι ανεμογράφοι. Τα πλέον απλά είναι τα ανεμόμετρα ταχύτητας στα οποία η ένταση του ανέμου προκύπτει από την ταχύτητα περιστροφής που επιβάλει ο άνεμος σε ορισμένα

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

τιμήματα του οργάνου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης του ανέμου.

Για την καταγραφή των στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα πίεσης, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Επιπλέον των προαναφερόμενων συνηθισμένων τρόπων μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιούνται και ανεμόμετρα θερμού στοιχείου καθώς και ανεμόμετρα τύπου 'laser', κυρίως σε πειραματικές εγκαταστάσεις υψηλής ακρίβειας, όπως για παράδειγμα στην περίπτωση μελέτης του ομόρου ανεμογεννήτριας μέσα σε αεροδυναμική σήραγγα.

Από τα κλασσικά ανεμόμετρα ταχύτητας, τα πιο γνωστά είναι τα κυπελλοφόρα ανεμόμετρα. Αυτά αποτελούνται από ένα κατακόρυφο άξονα στην κορυφή του οποίου υπάρχουν τρεις ή τέσσερις οριζόντιοι βραχίονες συμμετρικά τοποθετημένοι.



Εικόνα 13: Κλασσικό ανεμόμετρο ταχύτητας

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Στα άκρα κάθε βραχίονα είναι τοποθετημένο ένα ημισφαιρικό ή κωνικό κύπελλο σε τρόπο ώστε η διαμετρική τομή του να είναι κατακόρυφη. Γνωρίζοντας ότι η αεροδυναμική αντίσταση της κοίλης πλευράς είναι σημαντικά μεγαλύτερη της κυρτής το σύστημα περιστρέφεται υπό την επίδραση του ανέμου και ο αριθμός των περιστροφών του καταγράφεται δια μέσου του κατακόρυφου άξονα σε ένα καταγραφικό σύστημα. Για την καταγραφή των στροφών του κατακόρυφου άξονα χρησιμοποιούνται διάφορα συστήματα, που περιλαμβάνουν:

- 1) Μηχανικό στροφόμετρο, που καταγράφει τον αριθμό των περιστροφών των κυπέλων από τη στιγμή ενάρξεως λειτουργίας του οργάνου.
- 2) Ηλεκτρική επαφή, η οποία κλείνει μετά από ένα ορισμένο αριθμό στροφών και μέσω καταγραφικού δίνει απευθείας τη μέση ταχύτητα του ανέμου.
- 3) Μικρή ηλεκτρογεννήτρια, η οποία μετατρέπει την περιστροφική κίνηση του άξονα σε ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο και μετατρέπεται σε ένδειξη ταχύτητας.
- 4) Φωτοηλεκτρικό διακόπτη, ο οποίος μετατρέπει την ταχύτητα περιστροφής σε στιγμιαία ταχύτητα ανέμου στην έξοδο του συστήματος.

Μέχρι σήμερα έχουν αναφερθεί αρκετές προσπάθειες συσχέτισης της ταχύτητας του ανέμου  $V$  με την γραμμική ταχύτητα  $u$  περιστροφής των κυπέλων πράγμα που εάν επιτευχτεί θα διευκολύνει τη βαθμονόμηση των ανεμόμετρων. Εν γένει ο λόγος  $V/u$  δεν είναι σταθερός, ομαλότερη δε συμπεριφορά παρουσιάζουν ανεμόμετρα με:

- 1) Τρία κύπελλα αντί τεσσάρων, δεδομένου ότι η στρεπτική ροπή συστήματος με τρία κύπελλα είναι πιο ομοιόμορφη για όλο το πεδίο ταχυτήτων του ανέμου, ενώ εμφανίζει και μεγαλύτερες τιμές στρεπτικής ροπής ανά μονάδα βάρους.
- 2) Κωνικά κύπελλα έναντι σφαιρικών.
- 3) Στρογγυλεμένα χείλη των κυπέλων, δεδομένου ότι είναι λιγότερο ευαίσθητα στις αναταράξεις του αέρα από ότι τα έχοντα αιχμηρά χείλη.

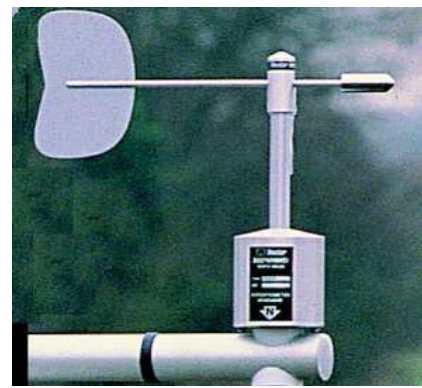
Ένα βασικό μειονέκτημα των ανεμόμετρων αυτού του τύπου είναι το γεγονός ότι δεν έχουν συμμετρική απόκριση στην αύξηση ή μείωση της έντασης του ανέμου,

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

δεδομένου ότι τα κύπελλα του οργάνου εξακολουθούν λόγο αδρανείας να περιστρέφονται ακόμα και όταν ο άνεμος σταματήσει. Στις περιπτώσεις αυτές οι ενδείξεις του οργάνου είναι μεγαλύτερες από την πραγματική ένταση του ανέμου.

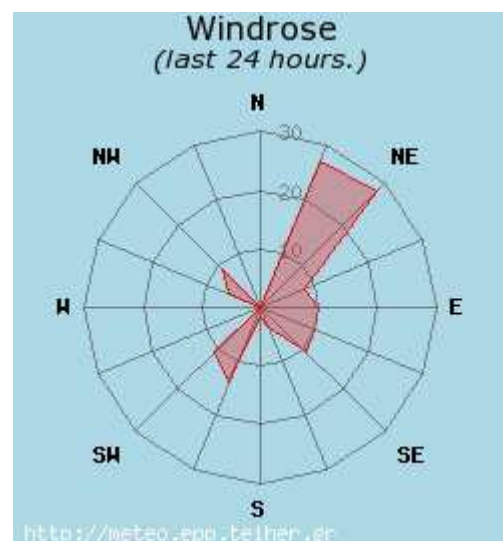
### 2.5.3 Διεύθυνση του ανέμου:

Μια άλλη σημαντική παράμετρος όσον αφορά στην κατανόηση της συμπεριφοράς του ανέμου είναι η διεύθυνση του. Η διεύθυνση του ανέμου σε μια θέση δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται συνεχώς, καθορίζεται δε με βάση το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος, σε σχέση με τη θέση μέτρησης. Η διεύθυνση του ανέμου είναι συνάρτηση του αληθούς βορρά και μετριέται κατά τη φορά των δεικτών του ρολογιού, σε μοίρες ή σε τιμές που αντιστοιχούν σε ολόκληρο κυκλικό τομέα.



Μοντέλο ανεμοδείκτης

Με βάση τις παρατηρήσεις της διεύθυνσης του ανέμου μπορούμε να χαράξουμε σε 'πολικό διάγραμμα' τις συχνότητες (%) σε σχέση με το σύνολο των παρατηρήσεων που διαθέτουμε, ανάλογα με το σημείο του ορίζοντα από το οποίο πνέει ο άνεμος. Στο ίδιο διάγραμμα είναι δυνατό να παρασταθεί και η μέση ταχύτητα του ανέμου κατά την εκάστοτε διεύθυνση. Επιπλέον για μεγαλύτερη ακρίβεια είναι δυνατός ο υπό κλίμακα σχεδιασμός ώστε να εμφανίζονται και τα διαστήματα έντασης



Ροζέτα διευθύνσεων ανέμων [1]

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

του ανέμου για κάθε διεύθυνση. Τέλος στο κέντρο του πολικού διαγράμματος και σε ειδικό κύκλο κατάλληλης ακτίνας καταγράφεται το ποσοστό της νηνεμίας.

Κατά την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, χαρακτηρίζουμε σαν κυρία διεύθυνση του ανέμου κάθε διεύθυνση η οποία συνεισφέρει τουλάχιστον % στη συνολική διαθέσιμη αιολική ενέργεια.

Οι κύριες διευθύνσεις του ανέμου είναι διαφορετικές για κάθε τοποθεσία δεδομένου ότι ο προσανατολισμός των λόφων, των βουνών, και των κοιλάδων η υπάρχουσα βλάστηση καθώς και η ύπαρξη κτιρίων ανάμεσα στα αλλά επηρεάζουν τις κύριες διευθύνσεις του ανέμου. Η διεύθυνση του ανέμου η οποία στην υπό μελέτη περιοχή έχει τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης ονομάζεται επικρατούσα διεύθυνση. Η επικρατούσα διεύθυνση μεταβάλλεται συνήθως με την εποχή του χρόνου.

Τέλος ο χώρος μεταξύ του σημείου το οποίο θέλουμε να εγκαταστήσουμε μια ανεμογεννήτρια και του σημείου του ορίζοντα, από το οποίο πνέει συνήθως ο άνεμος μας προσδιορίζει την προσήνεμη περιοχή. Αντίστοιχα η υπήνεμη περιοχή είναι αυτή η οποία είναι προστατευμένη από τον άνεμο και είναι συχνά αντίθετη της προσήνεμης περιοχής. Στον ελλαδικό χώρο η επικρατούσα κατά τον κανόνα διεύθυνση των ανεμών είναι η βόρεια και βορειοανατολική, ιδιαίτερα στην περιοχή του αιγαίου, χωρίς βεβαία να αποκλείονται οι περιπτώσεις σε περιοχές με διαφορετική επικρατούσα διεύθυνση.

### 2.5.4 Η μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου:

Η διεύθυνση του ανέμου βρίσκεται συνήθως με τη βοήθεια των ανεμοδεικτών. Ο ανεμοδείκτης αποτελείται από έναν κατακόρυφο άξονα στο πάνω άκρο του οποίου περιστρέφεται ένας οριζόντιος άξονας με ένα ή δυο ελάσματα στο ένα άκρο του. Όταν η πίεση που ασκεί ο άνεμος εξισορροπηθεί και από της δυο πλευρές του ελάσματος του ανεμοδείκτη, αυτός έχει στραφεί έτσι ώστε ο δείκτης του οργάνου να διευθύνεται προς την μεριά από την οποία φυσά ο άνεμος.

### 2.5.5 Συστήματα ανεμολογικών μετρήσεων

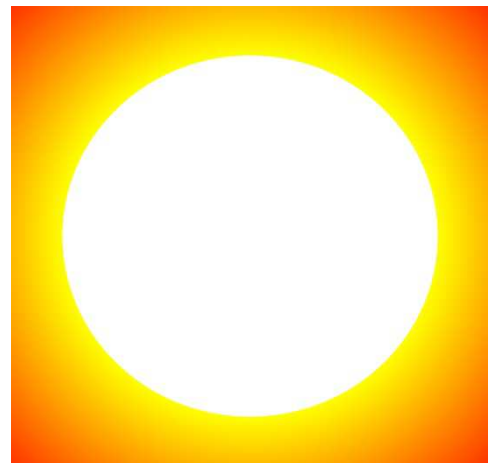
Το αιολικό δυναμικό μιας περιοχής μπορεί να μετρηθεί κάνοντας ανεμολογικές μετρήσεις με το σύστημα που αποτελείται από ένα data logger (καταγραφικό) έναν ανεμοδείκτη και ένα ως τρία ανεμόμετρα για διαφορετικές καταγραφές ύψους και ταχύτητας. Το data logger καταγράφει την πραγματική ταχύτητα του ανέμου, υπολογίζει τις στατιστικές τιμές, όπως είναι η μέγιστη, η ελάχιστη και η μέση τιμή ταχύτητας του ανέμου, η σταθερή απόκλιση, κλπ. Τα καταγραφέντα δεδομένα αποθηκεύονται στην εσωτερική μνήμη του καταγραφικού και η ανάκτηση τους μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

- Μέσω συσκευής μεταφοράς δεδομένων (DTG), που απαιτεί την επισκευή σταθμού.
- Μέσω GPRS modem τα δεδομένα μεταφέρονται σε προστατευμένο server internet.
- Μέσω GSM modem τα δεδομένα αποθηκεύονται στον υπολογιστή σας.

## 3. Ο ΗΛΙΟΣ

### 3.1 ΟΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ:

Μέχρι το 1780 οι κυριότερες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούσε ο άνθρωπος ήταν το ξύλο, ο άνεμος και το νερό. Ο γαιάνθρακας που ανακαλύφθηκε μετά και μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή ενέργειας ανατρέπει τα παλιά δεδομένα. Μετά από 45 χρόνια μπαίνει στη ζωή του ανθρώπου το αέριο. Το πετρέλαιο ανακαλύπτεται το 1859, αλλά γίνεται εμπορικά ενδιαφέρον μόνο το 1920 με τη διάδοση της



Εικόνα 14

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

μηχανής εσωτερικής καύσης. Η υδροηλεκτρική ενέργεια πρωτοχρησιμοποιείται το 1890 και ακολουθεί την εξέλιξη του ηλεκτρισμού.

Η πιο πρόσφατη πηγή ενέργειας θεωρείται η πυρηνική. Η πρώτη εγκατάσταση πυρηνικού αντιδραστήρα λειτουργεί εμπορικά το 1956.

Με πολυάριθμες τεχνίτες διαδικασίες, οι ενεργειακές πρώτες ύλες και τα διάφορα συμβάντα στη φύση μετατρέπονται σε χρήσιμη προμήθεια ενέργειας. Έτσι το 97% του συνολικού κύκλου εργασιών της ενεργειακής τεχνολογίας βασίζεται στην τεχνολογία για την εκμετάλλευση ορυκτών πρωτογενών ενεργειακών πηγών. Οι πρωτογενείς αυτές πηγές έχουν αποθηκευτεί με την βοήθεια της ηλιακής ενέργειας εδώ και εκατομμύρια χρόνια. Τα αποθέματα όμως αυτά δεν είναι απεριόριστα και εξαντλούνται συνεχώς.

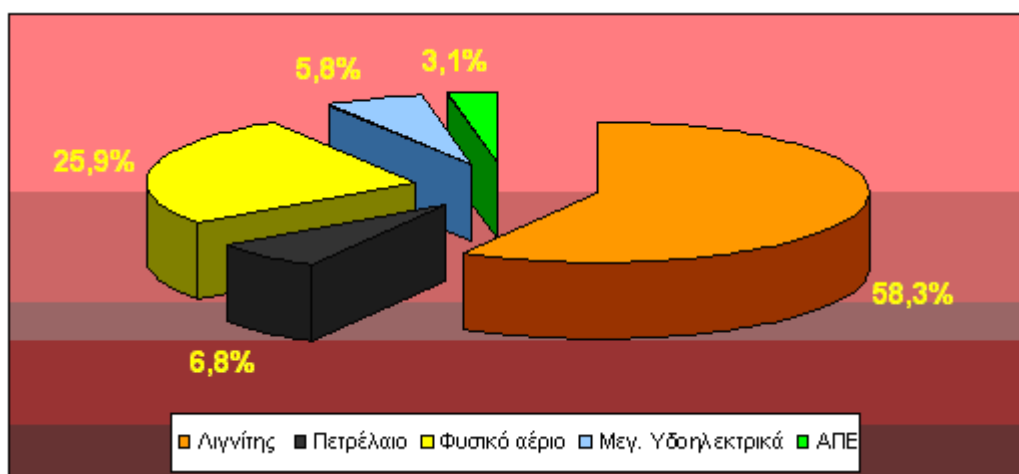
Οι ενεργειακές πηγές διακρίνονται έτσι σε δυο ομάδες:

- Η μια είναι οι πηγές ενέργειας που η εκμετάλλευση τους συνδέεται με τον περιορισμό των αποθεμάτων τους.
- Η άλλη είναι οι μόνιμα διαθέσιμες ή ανανεώσιμες πρωτογενείς ενεργειακές πηγές (ΑΠΕ).

Ο λιγνίτης είναι η πιο σημαντική εγχώρια ενεργειακή πηγή, συνεισφέροντας το 58,3% της εγχώριας παραγωγής για το 2008. Το πετρέλαιο έχει περιοριστεί στο 6,8% (2007) μετά την εισαγωγή του φυσικού αερίου (συμμέτοχη 25,9%), το οποίο αναπτύσσεται με γοργούς ρυθμούς. Ταυτόχρονα η ανάδειξη της προστασίας του περιβάλλοντος ως στόχου υψηλής προτεραιότητας της ελληνικής πολιτείας, οδηγεί σε προώθηση των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας, θέτοντας ως στόχο την αύξηση συμμετοχής τους στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στο 34% μέχρι το 2020. Στο ίδιο πλαίσιο δίνεται έμφαση στην επιτάχυνση της διείσδυσης του φυσικού αερίου στο ενεργειακό ισοζύγιο. Επειδή η χρονική διάρκεια ζωής των ήδη γνωστών εκμεταλλεύσιμων αποθεμάτων λιγνίτη δεν υπερβαίνει τα 35 χρόνια, έχει διατυπωθεί η άποψη ότι θα πρέπει να μπου στο ελληνικό ισοζύγιο ηλεκτρισμού νέα καύσιμα, όπως ο λιθάνθρακας, ώστε να παραταθεί η διαθεσιμότητα και η χρήση του λιγνίτη σε μεγαλύτερο βάθος χρόνου. Οι ανθρακικές μονάδες επιτυγχάνουν υψηλότερους βαθμούς απόδοσης από της λιγωτικές και κατά συνέπεια εκπέμπουν μικρότερες ποσότητες διοξειδίου του άνθρακα ανά παραγόμενη μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας. Όσον αφορά στις εκπομπές διοξειδίου του θείου, αυτές αντιμετωπίζονται με

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

αντιρρυπαντικές εγκαταστάσεις όπως η αποθείωση καυσαερίων. Επιπλέον ανάμεσα στα πλεονεκτήματα του άνθρακα είναι ότι, ενώ το φυσικό αέριο θα είναι διαθέσιμο για τα επόμενα 50-60 χρόνια, ενώ ο άνθρακας θα είναι διαθέσιμος τουλάχιστον για 200 χρόνια ακόμη. Ωστόσο η μελλοντική αξιοποίηση του άνθρακα θα εξαρτηθεί από την δυνατότητα των ηλεκτροπαραγωγών μονάδων άνθρακα να υιοθετήσουν καθαρές και αποδοτικές τεχνολογίες καύσης, ώστε να προσαρμοστούν στο αυστηρό πλαίσιο των περιβαλλοντικών απαιτήσεων του «Πρωτοκόλλου του Κυότο» και των αυστηρών Ευρωπαϊκών προδιαγραφών για τις νέες εγκαταστάσεις καύσης.[20]



\*Εγχώρια παραγωγή Η.Ε. ανά μορφή καυσίμου-Διασυνδεδεμένο Σύστημα πηγή ΔΕΣΜΗΕ 2008 [20]

### 3.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ:

Με το ορό «ηλιακή ακτινοβολία» ή ηλιακή ενέργεια αναφερόμαστε στην ακτινοβολία που παίρνει η γη από τον ήλιο. Ηλιακή ενέργεια είναι αιτία δημιουργίας των ατμοσφαιρικών κινήσεων και των διάφορων διεργασιών στην ατμόσφαιρα και στα επιφανειακά στρώματα άλλες μορφές ενεργείας, όπως π.χ. εκείνη των άστρων, του εσωτερικού της γης, κ.τ.λ., είναι τόσο μικρές, συγκρινόμενες με την ηλιακή ενέργεια, ώστε να μπορούν να θεωρηθούν αμελητέες.[12]



## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Οι σχετικές τιμές της κατακόρυφης ροής ενέργειας των διάφορων πηγών μέσα στην τροπόσφαιρα και στην στρατόσφαιρα με μονάδα την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	Πηγή ακτινοβολίας	Κατακόρυφη ροή ενέργειας (μέσες σχετικές τιμές)				
Ακτινοβολία στα όρια της στρατόσφαιρας	Ήλιος	1				
	Πανσέληνος	$2.2 * 10^{-6}$				
	Φως των αστεριών	$1.3 * 10^{-9}$				
	Κοσμικές ακτίνες	$2.7 * 10^{-9}$				
	Υπεριώδες του διαστήματος	$7 * 10^{-9}$				
	Νυχτερινό φως του ουρανού	<table border="0"> <tr> <td rowspan="2" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">{</td> <td><i>Ορατο</i></td> <td><math>14 * 10^{-9}</math></td> </tr> <tr> <td><i>Υπέρυθρο</i></td> <td><math>11 * 10^{-9}</math></td> </tr> </table>	{	<i>Ορατο</i>	$14 * 10^{-9}$	<i>Υπέρυθρο</i>
{	<i>Ορατο</i>	$14 * 10^{-9}$				
	<i>Υπέρυθρο</i>	$11 * 10^{-9}$				
Θερμότητα από το εσωτερικό της γης		$1.8 * 10^{-4}$				

**Πίνακας 3.1 Εισροής ενέργειας μέσα από την τροπόσφαιρα και την ατμόσφαιρα**

Από τον πίνακα αυτό προκύπτει ότι, ακόμα και η μεγίστη (σε σχέση με της υπόλοιπες) ακτινοβολουμένη ενέργεια της πανσέληνου, δεν υπερβαίνει τα 0.002% της αντίστοιχης ηλιακής. Επίσης από τον ίδιο αυτό πίνακα βλέπει κανείς ότι η τάξη μεγέθους της ενέργειας λόγω της ροής θερμότητας από το εσωτερικό της γης είναι πολύ μεγαλύτερη των υπολοίπων (εκτός της ηλιακής).

### 3.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ:

Ο ήλιος είναι ένας γιγαντιαίος αντιδραστήρας συντήξεως ο οποίος αδιάλειπτα μετατρέπει υδρογόνο σε ήλιο οπότε και εκλύονται τεράστιες ποσότητες ενέργειας. Η ενέργεια αυτή ανεβάζει την θερμοκρασία της επιφάνειας του Ήλιου σε 6000°C

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

περίπου, είναι η πιο μεγάλη θερμική πηγή του συστήματος μας και προκαλεί στο διάστημα ακτινοβολία που η ένταση της στην επιφάνεια του Ήλιου είναι  $70\text{MW/m}^2$ .

Η ακτινοβολία του Ήλιου περιέχει 5% υπεριώδη ακτινοβολία, 52% ορατό φως και 43% υπέρυθρη.

Στην αρχαιότητα ο Πτολεμαίος χαρακτήρισε τον ήλιο απλώς σαν πυρόσφαιρα. Η σημερινή άποψη είναι ότι ο ήλιος είναι κυρίως μια σφαίρα αερίου, που στα εξωτερικά στρώματα αποτελείται από περίπου 92,1% υδρογόνο, 7,8% ήλιο και ένα υπόλοιπο από τα άλλα διάπυρα αέρια.

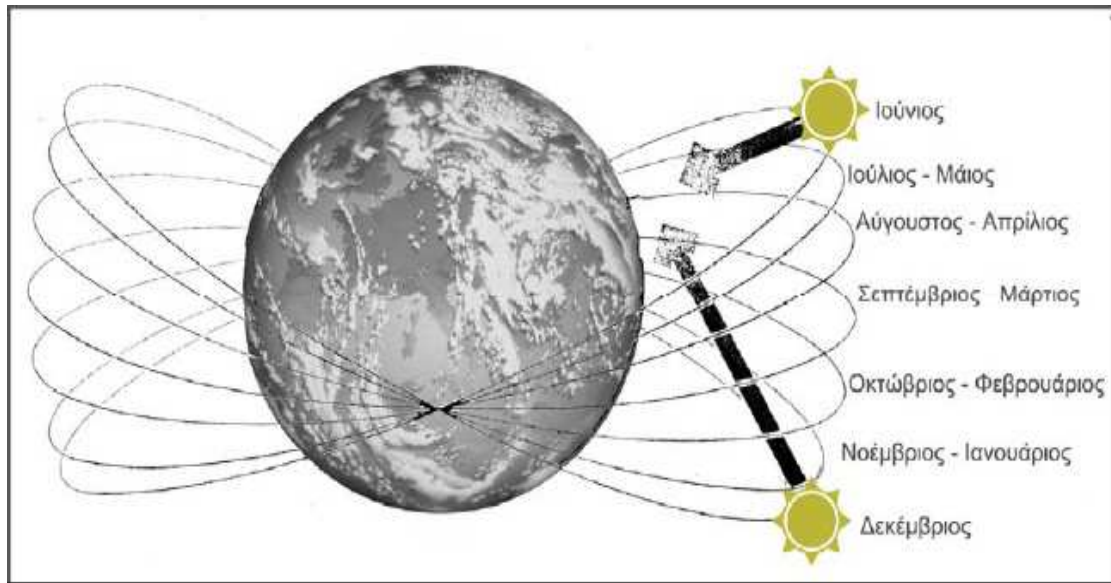
Ο ήλιος είναι ένα συνηθισμένο G2 αστέρι και είναι από τα 100 δισεκατομμύρια αστέρια που υπάρχουν στον κόσμο. Με διάμετρο  $1.390.000\text{ km}$ , μάζα  $1.989\text{ e}^{30}\text{ kg}$  και με θερμοκρασία  $5800\text{ K}$  και με  $15.600.000\text{ K}$  στην επιφάνεια και στον πυρήνα αντίστοιχα.[12]

### 3.4 Η ΤΡΟΧΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ:

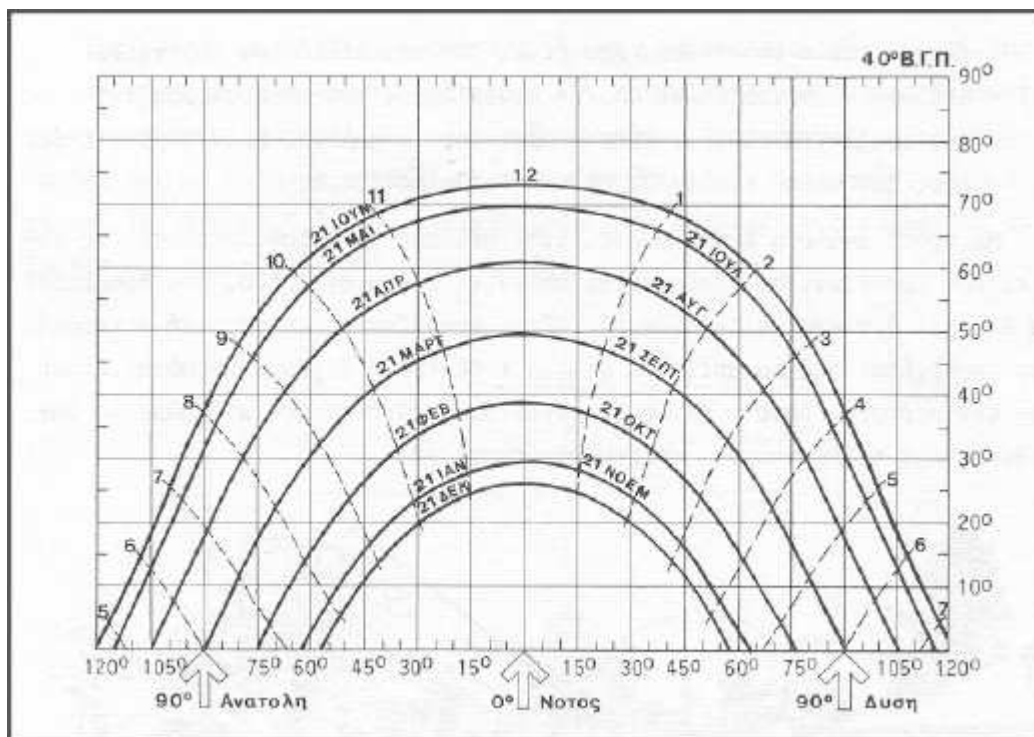
Όπως αντιλαμβανόμαστε η ισχύς της ηλιακής ακτινοβολίας και η φωτονική της σύσταση παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές ανάλογα με την ώρα, την εποχή, της κλιματολογικές συνθήκες και την περιεκτικότητα της ατμόσφαιρας σε υγρασία, σε αιωρούμενα σωματίδια και σε άλλα συστατικά. Επίσης επηρεάζεται σε αξιόλογο βαθμό και από άλλους προβλεπόμενους ή απρόβλεπτους παράγοντες, όπως οι ηλιακές κηλίδες και εκρήξεις, η ατμοσφαιρική ρύπανση κλπ.

Ο σημαντικότερος παράγοντας που διαμορφώνει την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας είναι η θέση του Ήλιου σε σχέση με το σημείο της Γης που δέχεται την ακτινοβολία. Κατά την διάρκεια μιας χρονιάς η θέση του Ήλιου παίρνει πολύ διαφορετικές τιμές, σαν αποτέλεσμα την μεταβολής της απόκλισης ( $\delta$ ), δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της Γης με το κέντρο του Ήλιου και στο επίπεδο του ισημερινού.

<<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων.  
Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>



Εικόνα 15 :Τροχιά του Ηλίου κατά την περίοδο του έτους (Α)



Εικόνα 16 :Παράδειγμα των αντίστοιχων τροχιών που διαγράφει ο ήλιος στην διάρκεια της ημέρας (Β)

Η μεταβολή της απόκλισης και η επίδραση της στην τροχιά του Ήλιου στον ουρανό.

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

A) Η ακραία απόκλιση του Ήλιου κατά το αέρινο και χειμερινό ηλιοστάσιο.

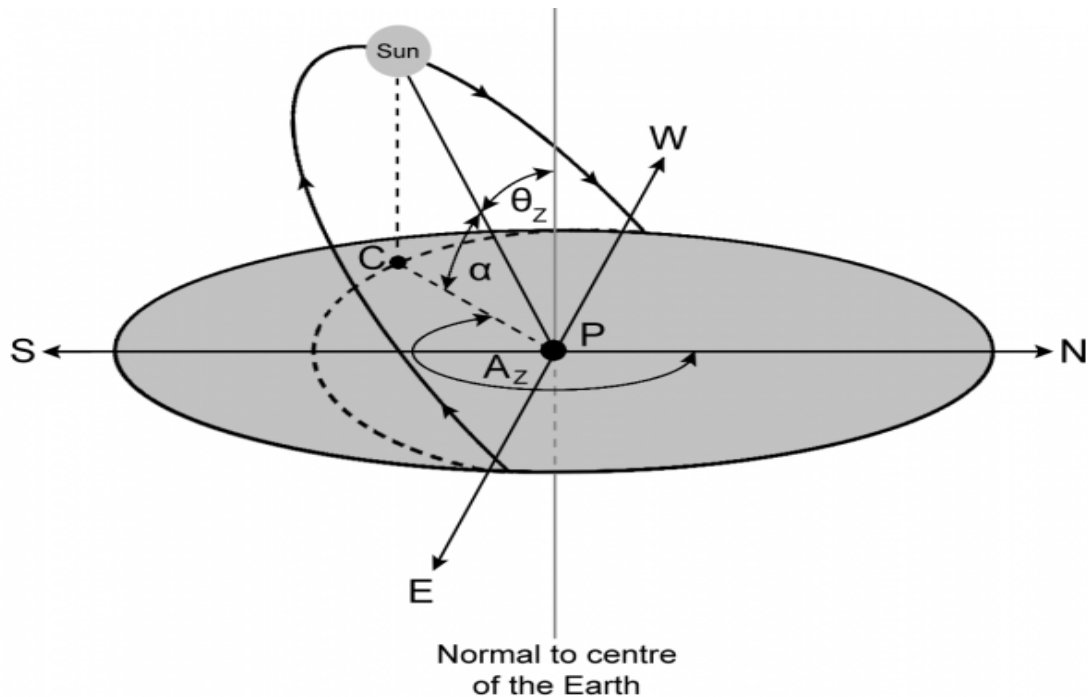
B) Παράδειγμα των αντίστοιχων τροχιών που διαγράφει ο ήλιος στην διάρκεια της ημέρας, κατά τα ηλιοστάσια καθώς και τις ισημερίες, σε τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος βόρειο  $38^\circ$  , όπως η Αθήνα. Οι ενδείξεις του μεσημεριού και των ωρών της ημέρας είναι σε ηλιακές τιμές.

Κάθε μέρα ο ήλιος διαγράφει μια κυκλική τροχιά στο διάστημα και φτάνει το μεγαλύτερο ύψος του το μεσημέρι.

Οι τιμές της απόκλισης του Ήλιου είναι θετικές για το βόρειο ημισφαίριο και αρνητικές για το νότιο. Οι ακραίες τιμές είναι  $+23,45^\circ$  στις 21 Ιουνίου (θερινό ηλιοστάσιο για το βόρειο ημισφαίριο) και  $-23,45^\circ$  στις 21 Δεκεμβρίου (χειμερινό ηλιοστάσιο).

Όπως προχωράμε προς την άνοιξη και το καλοκαίρι οι κυκλικές τροχιές διαγράφονται βορειότερα στον ουρανό, με νωρίτερα ανατολή και αργότερη δύση στο βόρειο ημισφαίριο , ενώ τον χειμώνα συμβαίνει το αντίθετο. Το χειμώνα ανατέλλει νότια της ανατολής ενώ το καλοκαίρι βόρεια. Παράλληλα διαμορφώνονται οι αντίστοιχες μετεωρολογικές και κλιματολογικές συνθήκες που επικρατούν στις διάφορες εποχές του έτους. Ιδιαίτερα χρήσιμα μεγέθη για τη γενική εκτίμηση της καθημερινής και της εποχιακής διακύμανσης της ακτινοβολίας σε έναν τόπο, είναι η θεωρητική ηλιοφάνεια, δηλαδή το χρονικό διάστημα από την ανατολή μέχρι τη δύση του Ήλιου καθώς και η μέση πραγματική ηλιοφάνεια που δείχνει τον μέσο όρο των ωρών που ο ήλιος δεν καλύπτεται από σύννεφα. Επίσης ο αριθμός των ηλιόλουστων ημερών στη διάρκεια των οποίων ο ήλιος δεν καλύπτεται καθόλου από σύννεφα, καθώς και των ανήλιων ημερών που ο ήλιος καλύπτεται από σύννεφα σε ολόκληρο το διάστημα της ημέρας.

Η πραγματική θέση του Ήλιου στον ουρανό εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητή ενός τόπου και περιγράφεται συνήθως από δυο γωνίες (συντεταγμένες) : το ύψος του Ήλιου ( $\alpha$ ) και το αζιμούθιο (AZ).



Εικόνα 17: Ζηνηθιακή γωνία ( $\theta_z$ ), γωνία υψόμετρου ( $\alpha$ ) και αζιμουθιακή γωνία ( $A_z$ ) του ηλίου από το σημείο παρακολούθησης P.

Το ύψος του ηλίου είναι η γωνιακή του απόσταση από τον ορίζοντα του τόπου. Μετράται επί του κατακόρυφου κύκλου του ηλίου από τον ορίζοντα έως το ζενίθ, από  $0^\circ$  έως  $90^\circ$  και συμβολίζεται με  $\theta_z$ .

Αντί για το ύψος, χρησιμοποιείται επίσης η συμπληρωματική της γωνίας, δηλαδή η γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση του ηλίου και στη κατακόρυφο, που ονομάζεται ζενιθιακή απόσταση (ή ζενιθιακή γωνιά) του ηλίου. Ζενίθ είναι το σημείο του ουρανού που συναντά η κατακόρυφος ενός τόπου.

Η δεύτερη χαρακτηριστική γωνία του ηλίου, το ηλιακό αζιμούθιο, είναι η γωνιακή απόσταση από τον ορίζοντα, με αρχή τον βορρά προς ανατολικά και τέλος τον κατακόρυφο κύκλο του ηλίου. Συμβολίζεται με  $\alpha$  και μετριέται από  $0^\circ$  έως  $360^\circ$ . Προς τα δεξιά από τον νότο το ηλιακό αζιμούθιο παίρνει θετικές τιμές και προς τα αριστερά αρνητικές. Κατά τη διάρκεια της ημέρας, το ύψος του ηλίου (elevation) και το αζιμούθιο (azimuth) μεταβάλλονται συνεχώς και ο ήλιος διατρέχει τον ουρανό.

### 3.5 ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΡΟΧΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ:

Ο υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας που τελικά φτάνει στην επιφάνεια της Γης, βασίζεται σε διάφορες τριγωνομετρικές σχέσεις μεταξύ της θέσης του ήλιου στον ουράνιο θόλο και τις συντεταγμένες μίας επιφάνειας πάνω στη Γη. Παρακάτω δίνονται οι κυριότερες παράμετροι:

- **Ωριαία γωνία ( $\omega$ )**. Η γωνιακή μετατόπιση του ήλιου ανατολικά ή δυτικά του τοπικού μεσημβρινού (θέση του ήλιου στις 12 το μεσημέρι είναι η μεσημβρία δηλαδή το μέσο της ημέρας σε πραγματικό ηλιακό χρόνο) εκφράζεται με την ωριαία γωνία. Η ωριαία γωνία είναι μηδέν την μεσημβρία και έχει αρνητικές τιμές το πρωί και θετικές το απόγευμα.
- **Το ύψος (Elevation)** του ηλίου (το οποίο εδώ συμβολίζεται με EL), είναι η γωνία της ευθείας από τον παρατηρητή ή τον τόπο, προς τον ήλιο, με το οριζόντιο επίπεδο. Ισούται με την συμπληρωματική γωνία της ζενιθίας απόστασης του ηλίου,  $z$ , δηλαδή της γωνίας μεταξύ της ευθείας παρατηρητή ηλίου και της κατακόρυφου του τόπου  $Kz$ , ( $EL=90^\circ-z$ ). [14]
- **Το αζιμούθιο ή αζιμουθιακή γωνία** του ηλίου που αφορά στην αντίστοιχη γωνία μεταξύ του κατακόρυφου επιπέδου που περιέχει τον ήλιο και του γεωγραφικού μεσημβρινού συμβολίζεται κυρίως με  $A$ . Μετρείται κατά την φορά κίνησης των δεικτών του ωρολογίου (Clockwise) με αναφορά στην κατεύθυνση του βορρά, από  $0\div 360^\circ$ . Στα φωτοβολταϊκά συστήματα συνηθίζεται η αναφορά του αζιμούθιου του ηλίου ως προς την κατεύθυνση του νότου, ανατολικά, από  $0\div 180^\circ$  και από δυτικά από  $0\div -180^\circ$ . Το ύψος και το αζιμούθιο του ηλίου προσδιορίζονται από τις επόμενες σχέσεις:[14]

$$\sin EL = \sin \varphi * \sin \delta + \cos \varphi + \cos \delta + \cos \omega \quad (3.1)$$

$$\sin A = -\frac{\cos \delta - \sin \omega}{\cos EL} \quad (3.2)$$

Όπου:

$\varphi$ : το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

$\delta$ : η απόκλιση του ηλίου την δεδομένη ημέρα

$\omega$ : η ωριαία γωνία του ήλιου γι την δεδομένη χρονική στιγμή

- **Ηλιακή απόκλιση ( $\delta$ )**. Είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ της ευθείας που ενώνει τα κέντρα Γης και Ήλιου με το εκλειπτικό επίπεδο του Ισημερινού. Η γωνία αυτή μεταβάλλεται συνεχώς και είναι μηδενική στις Ισημερίες ενώ παίρνει τις μέγιστες κατ' απόλυτο τιμές της στο θερινό (+23,5°) και στο χειμερινό ηλιοστάσιο(-23,5°).

Κατά την διάρκεια ενός 24ώρου, η μέγιστη μεταβολή της ( $\delta$ ) είναι μικρότερη από 0,5°. Συνεπώς, εάν η ηλιακή απόκλιση θεωρηθεί σταθερή για 24 ώρες, έχουμε ένα μέγιστο σφάλμα στους υπολογισμούς των άλλων ηλιακών γωνιών μεγέθους 0,5°.

Ο υπολογισμός του ( $\delta$ ) μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια με την εξίσωση του Spencer (1971):

$$\delta^\circ = (0,006918 - 0,399912 * \cos(\Gamma) + 0,70257 * \sin(\Gamma) - 0,006758 * \cos\Gamma - 0,002697 * \cos 3\Gamma + 0,00148 * \sin(3\Gamma)) * 180\pi \quad (3.3)$$

Όπου το  $\Gamma$  (σε rad) δίνεται από την σχέση:

$$\Gamma = 2 * \pi * \frac{d_n - 1}{365} \quad (3.4)$$

Όπου  $d_n$  ο αριθμός της ημέρας αρχίζοντας τη μέτρηση από την αρχή του έτους. Δηλαδή το  $d_n$  παίρνει τιμές από 1 στις 1 Ιανουαρίου ως 365 στις 31 Δεκεμβρίου.

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Άλλες σχέσεις, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιτυχάνοντας ικανοποιητική ακρίβεια υπολογισμών, είναι επίσης αυτή του Cooper (1969):

$$\delta^\circ = 23,45 * \sin(360 * (d_n + 284)/365) \quad (3.5)$$

### 3.6 Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ:

Από τα τεράστια πόσα της ηλιακής ενέργειας μονό τα 2 δισεκατομμυριοστά αυτής φτάνουν στα ανώτερα όρια της ατμοσφαιράς. Η ποσότητα αυτή, κατά τη διέλευση της από τα διάφορα ατμοσφαιρικά στρώματα και μέχρι να φτάσει στην επιφάνεια της γης, υφίσταται απώλειες και μεταβολές που οφείλονται, κατά κύριο λόγο, στη διάχυση και απορρόφηση.

Το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στην επιφάνεια της γης απευθείας με της ηλιακές ακτίνες λέγεται άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Ταυτόχρονα, ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας διαχέεται από την ατμόσφαιρα και φτάνει στην επιφάνεια του εδάφους ως διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία απ' όλα τα σημεία του ουρανού.

Επίσης, ένα μέρος από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία ανακλάται από το έδαφος και επιστρέφει στην ατμόσφαιρα απ' όπου και επιστρέφει στην επιφάνεια του εδάφους κλπ. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται ανακλώμενη. Η επιφάνεια του εδάφους, σαν αποτέλεσμα της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σ' αυτή, θερμαίνεται και εκπέμπει, με τη σειρά της, προς την ατμόσφαιρα ακτινοβολία που ονομάζεται γήινη ακτινοβολία.

Τέλος, η ίδια η ατμόσφαιρα, θερμαινόμενη και αυτή, ακτινοβολεί με τη σειρά της προς όλες τις κατευθύνσεις. Η ακτινοβολία αυτή ονομάζεται ατμοσφαιρική ακτινοβολία ή ακτινοβολία της ατμόσφαιρας.

Οι παραπάνω ακτινοβολίες παρουσιάζουν διαφορετική η καθεμία φασματική σύνθεση. Απ' αυτές, η άμεση και η διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία ονομάζονται



## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

ακτινοβολίες μικρού μήκους κύματος , ενώ η γήινη και η ατμοσφαιρική ακτινοβολία χαρακτηρίζονται σαν ακτινοβολίες μεγάλου μήκους κύματος.

Από τις παραπάνω ακτινοβολίες , σπουδαιότερη είναι η άμεση και ακολουθεί η διάχυτη. Το άθροισμα της άμεσης και της διάχυτης ακτινοβολίας πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια ονομάζεται ολική ηλιακή ακτινοβολία.

Η γη που βρίσκεται σε μέση απόσταση  $1,50 \times 10^8$  km από τον ήλιο δέχεται στην εξωτερική της ατμόσφαιρα μικρό μέρος από την ακτινοβολία, περίπου  $10^{11}$  MW ή  $1,362$  KW/m<sup>2</sup>.

Από την ενέργεια που στέλνει κάθε χρόνο ο ήλιος στη γη ( $150 \times 10^9$  MW) το 30% ανακλάται πίσω στο διάστημα από τα ανώτατα στρώματα της ατμόσφαιρας, το 46% φτάνει στην επιφάνεια της γης όπου μετατρέπεται σε θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος και απορροφάτε. Από το υπόλοιπο 24% το 23% δαπανάται για την εξάτμιση του νερού των θαλασσών και το υπόλοιπο 1% για την αιολική ενέργεια, την ενέργεια των κυμάτων και τη φωτοσύνθεση.

Εξ' αιτίας της μεγάλης απόστασης του ήλιου από τη γη οι ακτίνες του που προσπίπτουν στην επιφάνεια της γης θεωρούνται παράλληλοι. Η ένταση της απ' ευθείας ηλιακής ακτινοβολίας έχει τη μέγιστη τιμή της πλησίον του ισημερινού και την ελάχιστη στους πόλους .

### 3.7 ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΓΗΙΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ:

Η ηλιακή ακτινοβολία κατά τη διέλευση της μέσα στην ατμόσφαιρα με τη γνωστή σύσταση της , «εξασθενεί» από τη μια μεριά εξαιτίας της «σκέδασης – διάχυσης» που οφείλεται στη μεταβολή της διεύθυνσης της ακτινοβολίας και από την άλλη μεριά εξαιτίας της «απορρόφησης» που οφείλεται στη μεταβολή της ηλιακής ενέργειας , κυρίως σε θερμότητα. Η «απορρόφηση» που ασκεί η ατμόσφαιρα στην ηλιακή ακτινοβολία παρατηρείται στο υπεριώδες και υπέρυθρο τμήμα του φάσματος.

- **Σκέδαση της ηλιακής ακτινοβολίας**

Σκέδαση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο η ηλιακή ακτινοβολία όταν προσπέσει σ' ένα σωματίδιο , κατανέμεται ομοιόμορφα ή ανομοιόμορφα γύρω απ' αυτό προς όλες τις διευθύνσεις. Η ακτινοβολία , που προκύπτει μετά τη σκέδαση , είναι η διάχυτη ακτινοβολία.

- **Μοριακή σκέδαση**

Μοριακή σκέδαση έχουμε , όταν ακτινοβολία μήκους κύματος  $\lambda$  προσπέσει σε σωματίδια που η διάστασή τους είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το μήκος κύματος  $\lambda$  .

- **Σκέδαση – διάχυση από αερολύματα**

Η εξασθένιση που προκαλείται από τα αερολύματα , λόγω σκέδασης στην ηλιακή ακτινοβολία , εκλεκτική και εκθετική , όπως ακριβώς και στη μοριακή σκέδαση.

- **Απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας**

Το φάσμα απορρόφησης της ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα εκτείνεται σε μια μεγάλη περιοχή (από της ακτίνες X μέχρι τα μικρά ραδιοκύματα). Εδώ, θα αναφερθούμε στις πιο βασικές περιοχές φασμάτων απορρόφησης που βρίσκονται στο υπεριώδες , στο ορατό και στο υπέρυθρο τμήμα φάσματος. Στα τμήματα αυτά οφείλεται η απορρόφησης της ακτινοβολίας, κυρίως , στα : 1)οξυγόνο, 2)όζον, 3)διοξείδιο του άνθρακα , 4)υδρατμούς, και 5) ατμοσφαιρικό σκόνη.

### 3.8 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

#### 3.8.1 Πυρανόμετρο CM11

Το πυρανόμετρο αποτελεί αξιόπιστο όργανο, σχεδιασμένο για να χρησιμοποιείται για μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ετυμολογία της λέξης πυρανόμετρο προκύπτει από τις ελληνικές λέξεις πυρ (φωτιά), άνω (ψηλά) και μέτρο. Συγκεκριμένα το πυρανόμετρο χρησιμοποιείται για την μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μια οριζόντια επιφάνεια. Επίσης, χρησιμοποιείται και για τη μέτρηση της ανακλώμενης μικρού μήκους κύματος ακτινοβολίας (albedo) όταν τοποθετείται απέναντι στη θάλασσα. [18]



Εικόνα 18 Πυρανόμετρο CM11

Ο αισθητήρας του πυρανόμετρου είναι μια επίπεδη θερμοστήλη που είναι καλυμμένη από ειδικό μαύρο επίχρισμα με απορροφητική ικανότητα ανεξάρτητη του μήκους κύματος. Πρέπει να σημειωθεί ότι η απόκριση του οργάνου είναι ανεξάρτητη της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Η πλευρά του αισθητήρα που είναι επιχρισμένη καλύπτεται από δύο ομόκεντρες διαφανείς ημισφαιρικές επιφάνειες, οι οποίες θα πρέπει να καθορίζονται συχνά.

Πρέπει να τοποθετείται οριζόντια χωρίς ταλαντώσεις, να αποφεύγονται οι σκιάσεις από άλλα αντικείμενα και να μη γίνονται παρεμβολές ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Τοποθετείται κοντά σε ηλιακούς συλλέκτες με την επιφάνεια του αισθητήρα στο επίπεδο του πίνακα.

Τα πυρανόμετρα χρησιμοποιούνται σε επιστήμες όπως η μετεωρολογία, η κλιματολογία και η φυσική. Επιπρόσθετα το πυρανόμετρο είναι πολύ χρήσιμο όσον αφορά μελέτες που είναι σχετικές με την ηλιακή ενέργεια. Τα πυρανόμετρα χρησιμοποιούνται συνήθως σε μετεωρολογικούς σταθμούς. Στον παρακάτω πίνακα καταγράφονται οι προδιαγραφές του πυρανόμετρου CM11, εγκατεστημένου στο μετεωρολογικό σταθμό του ΤΕΙ Κρήτης:

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Εύρος μετρήσεων	0 - 1400 W / m <sup>2</sup> (max. 1400 W / m <sup>2</sup> )
Φασματική περιοχή	0,305 - 2,8 μm
Ευαισθησία	4 - 6 μV / Wm <sup>-2</sup>
Αντίσταση	700 - 1500 Ohm
Χρόνος απόκρισης	24 s μέχρι το 99 % της τελικής τιμής 4 s μέχρι το 63 % της τελικής τιμής
<b>Ακρίβεια</b>	
Ευαισθησία	< ± 0,5 % ανά χρόνο
Μη-γραμμικότητα	± 0,6 % Deviation related to 1000 W/m <sup>2</sup>
Αντίδραση συνημίτονου	max. ± 1 % Σφάλμα με αποδεκτή γωνία των 60° max. ± 3 % Σφάλμα με αποδεκτή γωνία λήψης 80°
Αντίδραση Αζιμούθιου	max. ± 3 % Σφάλμα με αποδεκτή γωνία των 60°
Φασματικό σφάλμα	max. ± 2 % Σφάλμα μεταξύ της περιοχής τιμών 0,35 - 2 μm
Απόκλιση θερμοκρασίας	max. ± 1 % ευαισθησία μεταξύ της περιοχής τιμών -10 bid + 40° C
Τύπος προστατευτικού γυαλιού	Schott K5, optical glass 2 mm thickly
Καλώδιο	Typ LiYCY 2 x 0,35 mm <sup>2</sup> , 10m long
Βάρος	0,85 kg

### 3.2 Προδιαγραφές του πυρανόμετρου CM11

#### 3.8.2 Μετρητής υγρασίας και θερμομέτρο SKH 2011

Σε αυτόν τον αισθητήρα της εταιρείας Skye of instrument Ltd. αποτελείτε από ένα ολοκληρωμένο σύστημα μετρητή υγρασίας και ενός θερμομέτρου, προστατευόμενα από μεταλλικό περίβλημα. Η μέτρηση της υγρασίας γίνεται βάση ενός χωρητικού αισθητήρα. Ένα διηλεκτρικό καταλαμβάνει τον ατμό του νερού από το περιβάλλον και έτσι αλλάζει η διηλεκτρική σταθερά, και ακολουθεί η μεταβολή της χωρητικότητας του αισθητήρα. [18]



Εικόνα 19 Μετρητής υγρασίας και θερμομέτρο SKH 2011

Ο αισθητήρας είναι σχεδιασμένος για εύρος μετρήσεων υγρασίας από 1% έως 75% σε θερμοκρασία 27 °C. Ο αισθητήρας θερμοκρασίας είναι μια πυροηλεκτρικός αγωγός (NTC) και έχει ανοχή ± 0,2 ° C για περιοχή μετρήσεων απο 0 ° C έως 60 ° C.

### 3.8.3 Βαρόμετρο BS4

Το βαρόμετρο είναι ειδικό όργανο μέτρησης της ατμοσφαιρικής πίεσης (ή βαρομετρικής πίεσης). Τα βαρόμετρα διακρίνονται σε υδραργυρικά, μεταλλικά, αυτογραφικά (βαρογράφος). Κυριότερα είδη αυτών είναι τα:

- Υδραργυρικό βαρόμετρο,
- Μεταλλικό βαρόμετρο ή Ανηροειδές βαρόμετρο,
- Υψομετρικό βαρόμετρο,
- Βαρογράφος και
- Μικροβαρογράφος



Εικόνα 20 Βαρόμετρο BS4

Η βαρομετρική πίεση αποτελεί ίσως το σημαντικότερο μετεωρολογικό στοιχείο απ' όλα εκείνα που περιλαμβάνονται στη μετεωρολογική παρατήρηση και μάλιστα αυτό που μπορεί και να μετρηθεί ακριβέστερα. Συνεπώς τα όργανα αυτά πρέπει να είναι όργανα ακριβείας.

Για το λόγο αυτό και προς διευκόλυνση του ελέγχου των βαρομετρικών ενδείξεων υφίσταται στις κεντρικές Μετεωρολογικές Υπηρεσίες ή σε μετεωρολογικά κλιμάκια πρότυπα βαρόμετρα. Περί αυτών μπορούν οι ναυτιλλόμενοι να ζητήσουν πληροφορίες από τις κατά τόπους Λιμενικές Αρχές ή απ' ευθείας από την Κεντρική ή Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. Ο τακτικός έλεγχος των βαρομέτρων των πλοίων συνίσταται σε σύγκριση των ενδείξεων αυτών με την ταυτόχρονη ένδειξη των προτύπων. Η ταυτόχρονη αυτή ανάγνωση γίνεται εφόσον η βαρομετρική πίεση δεν παρουσιάζει ταχεία μεταβολή αφενός, και αφετέρου εφόσον το βαρόμετρο του πλοίου δεν παρουσιάζει το φαινόμενο ταλάντωσης που προκαλείται από την άντληση του υδραργύρου.

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Σε λιμένες που παρατηρούνται μεγάλες ανυψώσεις και πτώσεις της επιφάνειας της θάλασσας, λόγω παλίρροιας οι συγκρίσεις των ενδείξεων βαρομέτρων πλοίου και ξηράς θα πρέπει να γίνονται κατά το μέσον της παλίρροιας, διαφορετικά θα πρέπει να γίνεται διόρθωση , δια της διαφοράς της ΜΣΘ (μέσης στάθμης της θάλασσας) και του ύψους της πλήμμης ή της ρηχίας κατά τη στιγμή της σύγκρισης. Η διαφορά αυτή για την οποία και θα πρέπει να γίνει διόρθωση είναι της τάξεως των 0,3 mb/3 m..

Το βαρόμετρο το οποίο χρησιμοποιήσαμε προέρχεται από την εταιρεία Delta DEVICE Ltd και είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για χρήση σε μετεωρολογικούς σταθμούς. Παρακάτω ακολουθεί αναλυτικός πίνακας με τις προδιαγραφές του συγκεκριμένου βαρομέτρου. [18]

Εύρος μετρήσεων	600 ... 1060 hPa (1 hPa = 1 mbar)
Εύρος θερμοκρασιών	-40°C bis +60°C
Ακρίβεια +20°C	±0,5 hPa
Μακροπρόθεσμη σταθερότητα	±0,1 hPa ανά χρόνο
Τάση τροφοδοσίας	10 ... 30 V DC
Μετρήσεις τάσεως	0 ... 2.5 V DC
Διάλυση	0,1 hPa
Βάρος	85g

Πίνακας 3.3 Προδιαγραφές του βαρόμετρο BS4

### 3.9 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Η ενέργεια ανά  $m^2$ , που φτάνει στην επιφάνεια της γης κατά την περίοδο μιας ημέρας, εξαρτάται από την κλίση της συλλεκτικής επίπεδης επιφάνειας, το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την ημέρα του χρόνου και από τις συγκεντρώσεις των αερίων, υγρών και στερεών συστατικών και αιωρημάτων της ατμόσφαιρας κατά την ημέρα εκείνη. Προκειμένου να υπάρχουν συγκρίσιμα στοιχεία, σε διεθνή κλίμακα, αναφερόμαστε σε μετρήσεις με αισθητήρες, οι οποίοι τοποθετούνται οριζόντια. Χαρακτηριστικά μεγέθη είναι οι μέσες ημερήσιες τιμές της πυκνότητας ισχύος και της πυκνότητας ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντια επιφάνεια για κάθε μήνα και για το έτος συνολικά. Για να αξιοποιηθούν αυτά τα μετεωρολογικά στοιχεία σε πρακτικές εφαρμογές απαιτούνται μετρήσεις που να καλύπτουν περίοδο τουλάχιστον 10 ετών. Για παράδειγμα, μια τυπική μορφή εξέλιξης της ενεργειακής

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>



Σχήμα ενεργειακής πυκνότητας σε οριζόντια επιφάνεια ανά μήνα στο Ηράκλειο Κρήτης

πυκνότητας της ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στο Ηράκλειο της Κρήτης παρουσιάζεται στο Σχήμα 1. Ενώ στο Σχήμα 2 απεικονίζεται η πυκνότητα ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στην ίδια περιοχή για 4 χαρακτηριστικούς μήνες του έτους.



Σχήμα πυκνότητας ισχύος ολικής ηλιακής ακτινοβολίας σε οριζόντιο επίπεδο στο Ηράκλειο Κρήτης

Από τα συγκεκριμένα διαγράμματα προκύπτει ότι την περίοδο του καλοκαιριού η μέση ημερήσια τιμή της ηλιακής ενέργειας σε οριζόντιο επίπεδο προσεγγίζει τις 7 kWh /m<sup>2</sup>. Αντίστοιχα, τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο φτάνει τις 2 kWh / m<sup>2</sup>. Ενδεικτικό είναι, όμως, και το μέγεθος της πυκνότητας ισχύος της ολικής ηλιακής

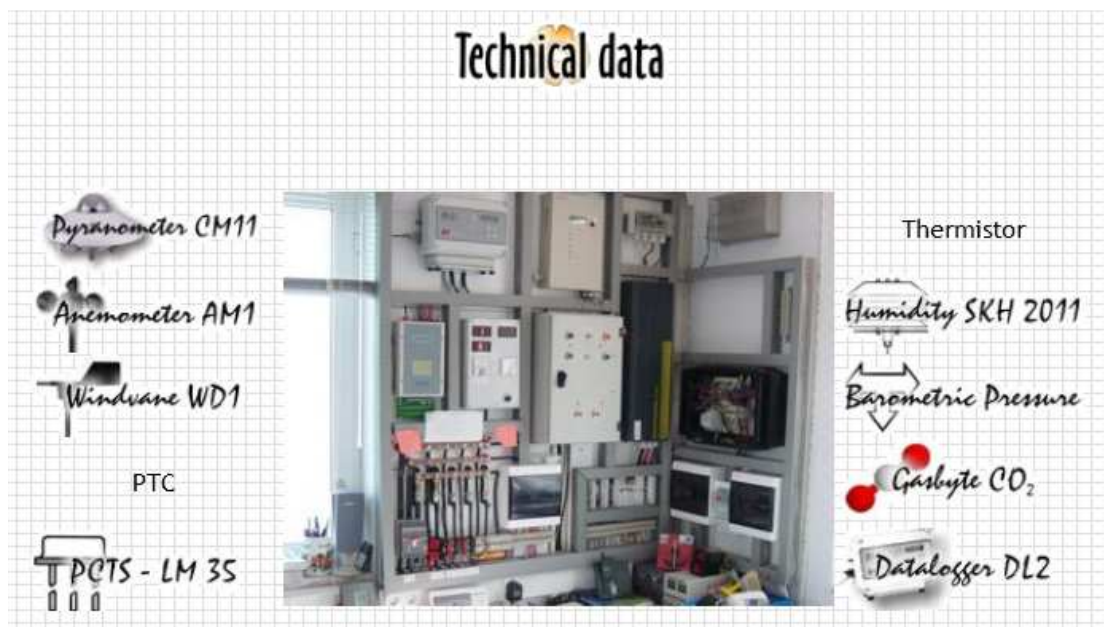
## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

ακτινοβολίας, αφού το μήνα Δεκέμβριο μόλις που ξεπερνά τα  $500 \text{ W / m}^2$ , ενώ τον Ιούνιο προσεγγίζει τα  $950 \text{ W / m}^2$ . Με χρήση των ωρών ηλιοφάνειας, της πυκνότητας ισχύος και ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, καθώς και άλλων μετεωρολογικών δεδομένων δημιουργείται βάση δεδομένων πολλών ετών, που ως τελικό αποτέλεσμα έχει τη δημιουργία του έτους αναφοράς, που μπορεί να είναι είτε το Μετεωρολογικό Έτος για Ενεργειακούς Υπολογισμούς λαμβάνοντας υπόψη τις μηνιαίες τιμές κάθε μεγέθους είτε το Τυπικό Μετεωρολογικό Έτος αφού προσδιορίσουμε τον στατιστικά πιο πιθανό μήνα μεταξύ των ομοίων του τα τελευταία τριάντα έτη. [14]

### 3.9.1 Μετρούμενα μεγέθη

Πιο αναλυτικά, τα μεγέθη στα οποία έγινε λήψη μετρήσεων με την βοήθεια των οργάνων που παρουσιάζονται στην υποπαράγραφο 3.8 .

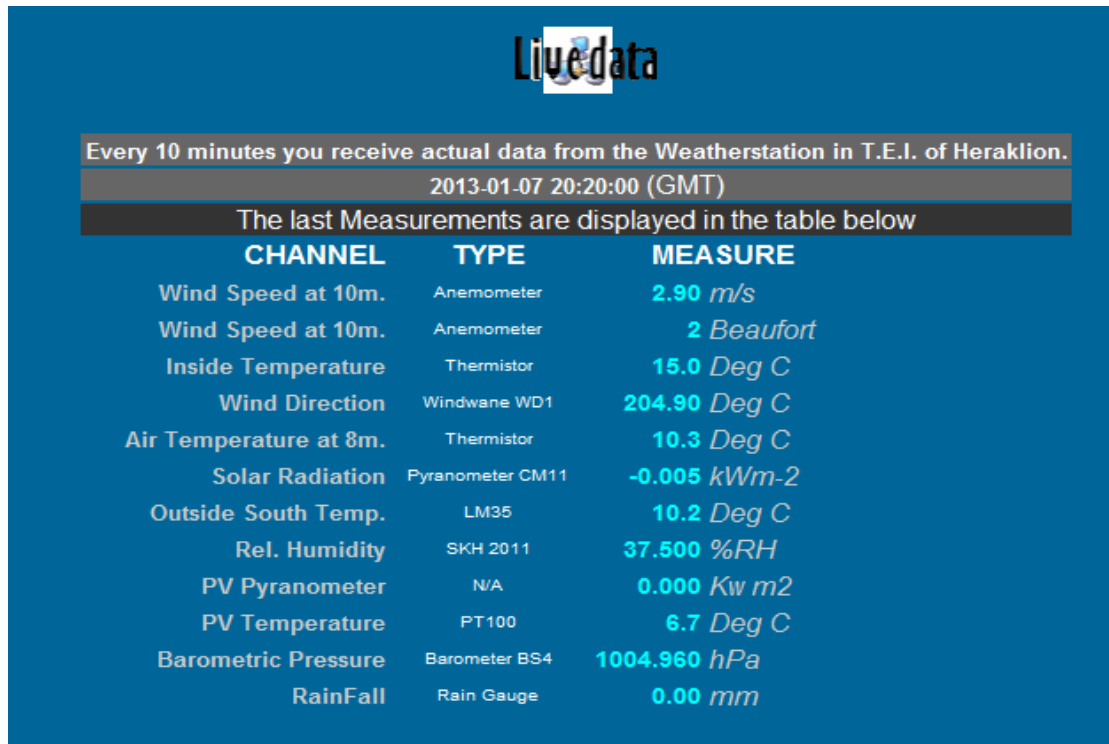
- Μέτρηση της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας
- Μέτρηση της υγρασίας
- Μέτρηση της θερμοκρασίας
- Μέτρηση της ατμοσφαιρικής πίεσης



Κέντρο ελέγχου μετεωρολογικών μετρήσεων



## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>



Live data

Every 10 minutes you receive actual data from the Weatherstation in T.E.I. of Heraklion.

2013-01-07 20:20:00 (GMT)

The last Measurements are displayed in the table below

CHANNEL	TYPE	MEASURE
Wind Speed at 10m.	Anemometer	2.90 m/s
Wind Speed at 10m.	Anemometer	2 Beaufort
Inside Temperature	Thermistor	15.0 Deg C
Wind Direction	Windvane WD1	204.90 Deg C
Air Temperature at 8m.	Thermistor	10.3 Deg C
Solar Radiation	Pyranometer CM11	-0.005 kWm-2
Outside South Temp.	LM35	10.2 Deg C
Rel. Humidity	SKH 2011	37.500 %RH
PV Pyranometer	N/A	0.000 Kw m2
PV Temperature	PT100	6.7 Deg C
Barometric Pressure	Barometer BS4	1004.960 hPa
RainFall	Rain Gauge	0.00 mm

Πίνακας ελέγχου μετεωρολογικών δεδομένων

Αίθουσα λήψης μετρήσεων και αναλυτική περιγραφή των οργάνων που χρησιμοποιούνται για την λήψη τους μέσω της ιστοσελίδας <http://meteo.epp.teiher.gr/site/>. Πίνακας ελέγχου μετεωρολογικών δεδομένων, μετεωρολογικού σταθμού Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης. [1]

### 3.10 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

#### 3.10.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ή ηλιακοί συλλέκτες

Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να μετατραπεί απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια με τη βοήθεια τριών κυρίως διαδικασιών: της θερμοηλεκτρικής, της θερμοιονικής και της φωτοβολταϊκής. Οι διαδικασίες αυτές χαρακτηρίζονται από το πλεονέκτημα της άμεσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας χωρίς τη μεσολάβηση ενδιάμεσων σταδίων και θερμοδυναμικών κύκλων ή κινούμενων μερών.[22]

1. Η πρώτη βασίζεται στο θερμοηλεκτρικό φαινόμενο και συγκεκριμένα στη θέρμανση από την ηλιακή ακτινοβολία μιας μεταλλικής πλάκας που είναι

συγκολλημένη σε δυο ηλεκτρόδια από διαφορετικά θερμοηλεκτρικά υλικά. Στα ψυχρά άκρα των ηλεκτροδίων αναπτύσσεται τάση, συνήθως λίγων δεκάτων του *volt*, που εξαρτάται από το υλικό των ηλεκτροδίων και από τη διαφορά της θερμοκρασίας τους ως προς τη μεταλλική πλάκα. Η πιο χαμηλή θερμοκρασία που μπορεί να λειτουργήσει στην πράξη ένα τέτοιο σύστημα είναι η θερμοκρασία που επιτυγχάνεται με έναν απλό ηλιακό συλλέκτη χωρίς πολλαπλασιασμό, όπου σαν υποπροϊόν μπορούμε να πάρουμε από τον συλλέκτη αυτό ζεστό νερό θερμοκρασίας 50-60°C. Μ'αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ενεργειακή απόδοση περίπου 1%. Για τη λειτουργία αυτού του τελευταίου θερμοηλεκτρικού ζεύγους, το πιο κατάλληλο ζεύγος είναι το κράμα βισμούθιου- αντιμονίου και ο αντιμονιούχος ψευδάργυρος. [22]

2. Η δεύτερη διαδικασία φωτοηλεκτρικής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας βασίζεται στο θερμοϊονικό φαινόμενο, στη θέρμανση δηλ. μιας μεταλλικής πλάκας υπό κενό, ώστε να εκπέμπονται ηλεκτρόνια από την επιφάνεια της. Έτσι μια μεταλλική πλάκα/ηλεκτρόδιο που θερμαίνεται κοντά σε ένα άλλο ηλεκτρόδιο που ψύχεται είναι δυνατό να αποτελέσουν μια θερμοϊονική γεννήτρια. Από το θερμαινόμενο ηλεκτρόδιο φεύγουν ηλεκτρόνια τα οποία οδηγούνται στο ψυχρόμενο ηλεκτρόδιο. Έτσι το πρώτο γίνεται κάθοδος ενώ το δεύτερο άνοδος. Είναι λοιπόν δυνατό όταν συνδεθούν με εξωτερικό φορτίο να αποδοθεί ηλεκτρικό ρεύμα. Για την υπερνίκηση του έργου εξόδου των ηλεκτρονίων απαιτείται η θέρμανση του μετάλλου σε πολύ μεγάλη θερμοκρασία. Σε πλάκες από καθαρά μέταλλα η θερμοκρασία χρειάζεται να φθάσει τους 2.000-2.700 °C και για την πραγματοποίηση της πρέπει να γίνει ισχυρή ενίσχυση της ηλιακής ακτινοβολίας, π.χ. με συγκεντρωτικούς φακούς, περίπου χίλιες φορές. Αν στο κενό της διάταξης γίνει εισαγωγή ατμών ενός ευκολοϊονιζόμενου στοιχείου, π.χ. καισίου, η θερμοκρασία λειτουργίας της μπορεί να μειωθεί τους 1.200 °C. Η θεωρητική απόδοση των θερμοϊονικών γεννητριών βρίσκεται γύρω στο 30%. Στην πράξη έχουν πραγματοποιηθεί αποδόσεις 6 έως 8%. Οι δύο προηγούμενες διατάξεις λόγω του μικρού βαθμού απόδοσης κατά τη μετατροπή και του μεγάλου κόστους των διατάξεων και διάφορων τεχνικών δυσκολιών δεν βρήκαν αξιόλογες πρακτικές εφαρμογές. [22]

3. Η τρίτη διαδικασία φωτοηλεκτρικής μετατροπής της ηλιακής ακτινοβολίας είναι μια καθαρή φωτονική μέθοδος, αφού η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται κατευθείαν από τα φωτόνια της ηλιακής ακτινοβολίας. Τα ηλιακά (Φωτοβολταϊκά) στοιχεία (ηλιακές κυψέλες, ηλιακά κύτταρα) αποτελούνται από έναν ημιαγωγό, με προσαρμοσμένα ηλεκτρόδια στην εμπρός και πίσω όψη. Αν σε ορισμένους ημιαγωγούς προστεθεί πολύ μικρή ποσότητα (1 περίπου μέρος στο εκατομμύριο) από άλλα όμοια στοιχεία, που έχουν όμως 1 περισσότερο ή 1 λιγότερο ηλεκτρόνιο από τον ημιαγωγό. Τότε κατασκευάζονται έτσι δύο τύποι ημιαγωγών. Ο τύπος N και ο τύπος P. Π.χ. τύπος N: πυρίτιο + αρσενικό -ένα επιπλέον ηλεκτρόνιο. Τύπος P: πυρίτιο + βόριο -ένα λιγότερο ηλεκτρόνιο. Αν δύο λεπτά στρώματα από τους δύο τύπους τοποθετηθούν το ένα πάνω στο άλλο και εκτεθούν σε ακτινοβολία π.χ. ηλιακή, τότε παρατηρείται ότι στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο στρωμάτων εμφανίζεται ροή ηλεκτρονίων .Φωτόνια που έχουν ενέργεια πάνω από ένα όριο είναι ικανά να δημιουργήσουν το φαινόμενο αυτό. Για το πυρίτιο το όριο αυτό είναι 1,1 ηλεκτρονικά βολτ (eV) που αντιστοιχεί σε μήκος κύματος 1.100nm. Μεγαλύτερα μήκη κύματος προκαλούν μόνο αύξηση της θερμοκρασίας. Η ένταση του ρεύματος που αναπτύσσεται εξαρτάται από το εμβαδόν της επιφάνειας του στοιχείου και την περιεκτικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας σε ενεργά φωτόνια. [22]

Το φωτοβολταϊκό φαινόμενο εφευρέθηκε το 1839 από τον Alexandre Edmond Becquerel, έναν Γάλλο επιστήμονα που αναρωτήθηκε γιατί μερικά υλικά δημιουργούσαν σπινθήρα όταν εκτίθενται στο φως. Εκείνη την εποχή όμως δεν είχαν ανακαλυφθεί συσκευές που να χρησιμοποιούν ηλεκτρικό ρεύμα, έτσι η εφεύρεση δεν είχε κάποια πρακτική σημασία.

Το 1905 ο Albert Einstein θεωρούσε ότι η ακτινοβολία μπορούσε να διαπεράσει τα άτομα. Η πορεία σύγκρουσης των φωτονίων και των ατόμων θα μπορούσε να ωθήσει τα ηλεκτρόνια να αφήσουν την τροχιά τους. Αυτό θα μπορούσε να επιτρέψει την δημιουργία ενός ηλεκτρικού ρεύματος.

Η φωτοβολταϊκή τεχνολογία είναι μια σχετικά σύγχρονη τεχνολογία. Η κατασκευή του πρώτου φωτοβολταϊκού στοιχείου έγινε το 1937 και από τότε προχωρούσε με

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

αργά βήματα. Η κυριότερη εφαρμογή τους ήταν στους δορυφόρους, όπου αφενός εφαρμόζεται η πιο σύγχρονη τεχνολογία, αφ' ετέρου το κόστος είναι δευτερεύων παράγοντας. Όμως, με την ενεργειακή κρίση στις αρχές της δεκαετίας του 70, φάνηκε καθαρά πώς πρέπει να στραφούμε σε άλλες μορφές ενέργειας, διαφορετικές από το πετρέλαιο.

Ακόμη διάφορα πυρηνικά ατυχήματα, καθώς και η όλο και η εντονότερη οικολογική συνείδηση που αποκτάει ο κόσμος, έθεσαν το πρόβλημα εύρεσης εναλλακτικών πηγών ενέργειας.

Ένα μέρος της έρευνας για τέτοιες πηγές, οι οποίες είναι και μη ρυπογόνες, έχει στραφεί στις ήπιες μορφές ενέργειας, όπως φ / β ενέργεια και ενέργεια από ανεμογεννήτριες.

Η ισχύς που παράγεται από ένα φωτοβολταϊκό στοιχείο πυριτίου είναι περίπου 16% της ισχύος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Θεωρητικά η μέγιστη ενεργειακή απόδοση ανέρχεται περίπου σε 24%. Η υπερθέρμανση προκαλεί σημαντική μείωση της απόδοσης γι ' αυτό είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα είδος ψύξης του συστήματος το οποίο θα μπορούσε να είναι ένα παραπροϊόν ενέργειας, για τη θέρμανση νερού. Η ενεργειακή απόδοση που αναφέρθηκε, αναφέρεται σε μονοκρυσταλλικά στοιχεία, που όμως δυστυχώς κατασκευάζονται πάρα πολύ δύσκολα και είναι πολύ ακριβά. Τα πολυκρυσταλλικά στοιχεία έχουν μειωμένη ενεργειακή απόδοση αλλά έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής. [22]

Τα είδη ηλιακών κυττάρων που κατασκευάζονται σήμερα βιομηχανικά και χρησιμοποιούνται στις πρακτικές εφαρμογές είναι από πυρίτιο (μονοκρυσταλλικό ή πολυκρυσταλλικό, καθώς και από άμορφο). Η απόδοση τους είναι περίπου 10-14%. Η απόδοση των ηλιακών στοιχείων πυριτίου δεν μπορεί να υπερβεί θεωρητικά το 20% περίπου. Με διάφορα πλεονεκτικότερα υλικά, όπως ημιαγωγοί με βάση το κάδμιο, το γερμάνιο ή άλλα μέταλλα, καθώς και διάφορα συστήματα διάταξης τους μπορούμε

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

να έχουμε μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης (35% ή 65% σε ακραίες περιπτώσεις), όμως ακόμη βρίσκονται μόνο στο στάδιο της έρευνας. Η έρευνα που είναι προσανατολισμένη και για μείωση του κόστους των φωτοβολταϊκών στοιχείων, συνεχίζεται και υπόσχεται πολλά. [22]

### 3.10.2 Τύποι Φωτοβολταϊκών Πάνελ

Τα κύρια συστήματα φωτοβολταϊκών είναι τρία :

#### ➤ Μονοκρυσταλλικά (m-Si)

Οι μονοκρυσταλλικές κυψέλες κατασκευάζονται τεμαχίζοντας έναν ενιαίο κυλινδρικό κρύσταλλο που έχει επεξεργαστεί σε υψηλές θερμοκρασίες , της τάξεως των 1400°C. Σαν διαδικασία είναι αρκετά πολύπλοκη και έχει ως αποτέλεσμα το υψηλό κόστος κατασκευής. Το πυρίτιο πρέπει να είναι πολύ υψηλής καθαρότητας και η δομή του να έχει υψηλή ποιότητα .



Εικόνα 21 Μονοκρυσταλλικό πάνελ

Αυτού του είδους τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν και την μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση που κυμαίνεται γύρω στο 20%-25% δηλαδή αν η ηλιακή ακτινοβολία είναι 1000 Wh/μ<sup>2</sup> την ημέρα τότε αυτά θα παράγουν για την συγκεκριμένη μέρα 200 Wh/μ<sup>2</sup> με 250 Wh/μ<sup>2</sup> [16]

#### ➤ Πολυκρυσταλλικά (p-Si)

Οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες γίνονται με μια διαδικασία χύτευσης στην οποία το λειωμένο βιομηχανικό πυρίτιο χύνεται σε μια φόρμα όπου και μορφοποιείται. Για την παραγωγή τους οι ράβδοι του πυριτίου κόβονται σε λεπτά τμήματα από τα οποία



Εικόνα 22 Πολυκρυσταλλικό πάνελ

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

κατασκευάζεται η κυψέλη του φωτοβολταϊκού. Δεδομένου ότι οι πολυκρυσταλλικές κυψέλες σαν διαδικασία κατασκευής τους είναι απλούστερη από εκείνη των μονοκρυσταλλικών φωτοβολταϊκών έχει ως αποτέλεσμα το φθηνότερο κόστος παραγωγής αλλά παράλληλα δεν είναι τόσο αποδοτικές όσο και οι μονοκρυσταλλικές.

Αυτού του είδους τα φωτοβολταϊκά στοιχεία έχουν ενεργειακή απόδοση που κυμαίνεται γύρω στο 10%-15% δηλαδή αν η ηλιακή ακτινοβολία είναι 1000 Wh/m<sup>2</sup> την ημέρα τότε αυτά θα παράγουν για την συγκεκριμένη μέρα 100 Wh/m<sup>2</sup> με 150 Wh/m<sup>2</sup> και οφείλεται στις ατέλειες στη δομή του κρυστάλλου ως αποτέλεσμα της διαδικασίας χύτευσης. [16]

### ➤ Αμορφου Πυριτίου (a-Si)

Το άμορφο πυρίτιο, μια από τις τεχνολογίες λεπτής μεμβράνης (thin film technology), γίνεται με την εναπόθεση του πυριτίου ομοιόμορφα επάνω σε ένα υπόστρωμα με κατάλληλο υπόβαθρο. Σαν υπόβαθρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια μεγάλη γκάμα υλικών από δύσκαμπτα μέχρι ελαστικά με αποτέλεσμα να βρίσκει μεγαλύτερο εύρος εφαρμογών, ιδιαίτερα σε καμπύλες ή εύκαμπτες επιφάνειες. Δεν έχει κρυσταλλική δομή, και το πάχος του (2-3 μm) είναι ιδιαίτερα μικρότερο από το κρυσταλλικής μορφής πυρίτιο (200-500 μm).[16]



Εικόνα 23 Άμορφο πάνελ

Ενώ το άμορφο πυρίτιο παρουσιάζει μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα στην απορρόφηση του φωτός, εντούτοις η φωτοβολταϊκή απόδοση του είναι του μικρότερη των κρυσταλλικών, περίπου 5% – 10% ανάλογα με την τεχνολογία και τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν. Από κατασκευαστική άποψη είναι το απλούστερο και το πιο φθηνό και τα κάνει ιδανικά σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται υψηλή απόδοση. [16]

Εκτός από τους παραπάνω τρεις τύπους φωτοβολταϊκών κυψελών από πυρίτιο που διατίθενται στην παγκόσμια αγορά, γίνονται έρευνες και προσπάθειες για τη

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

χρησιμοποίηση και άλλων στοιχείων με νέα υλικά που μπορούν να παραχθούν με φθηνότερες διαδικασίες είτε μόνα τους είτε σε συνδυασμό όπως αρσενικούχο γάλλιο (GaAs),θειούχο κάδμιο (CdS), φωσφορούχο ίνδιο[16]

Ένα χαρακτηριστικό των φωτοβολταϊκών στοιχείων που επηρεάζει άμεσα την απόδοση τους είναι η θερμοκρασία που αναπτύσσουν κατά την έκθεση τους στην ηλιακή ακτινοβολία και η επιρροή αυτή διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του φωτοβολταϊκού. [16]

### 3.10.3 Πλεονεκτήματα, μειονεκτήματα της φωτοβολταϊκής μετατροπής

Η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται συνήθως σε μεγάλους θερμοηλεκτρικούς και υδροηλεκτρικούς σταθμούς, ισχύος δεκάδων εκατοντάδων ή χιλιάδων MW, που καταναλώνουν πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κάρβουνο ή ουράνιο και άλλα σχάσιμα υλικά ή χρησιμοποιούν υδατώσεις. Όλες όμως αυτές οι ενεργειακές πηγές έχουν περιορισμένες προοπτικές, αφού τα συμβατά και τα πυρηνικά καύσιμα εξαντλούνται βαθμιαία αλλά και η υδραυλική ενέργεια είναι ποσοτικά καθορισμένη και γεωγραφικά εντοπισμένη. Είναι επομένως φανερή η ύπαρξη ενός ενεργειακού προβλήματος, τουλάχιστον ως προς τη μελλοντική αντιμετώπιση των αναγκών της ανθρωπότητας σε ηλεκτρισμό.

Από τις πρώτες εναλλακτικές πηγές που εξετάστηκαν ήταν η ενέργεια των ανέμων, των κυμάτων ή ακόμα και των σεισμών, γεωθερμία η καύση φυτικών προϊόντων ή οργανικών αποβλήτων κλπ. Από αυτές άλλες έφτασαν γρήγορα στο στάδιο των πρακτικών εφαρμογών, άλλες βρίσκονται σε ανάπτυξη και άλλες περιορίστηκαν σε ερευνητικές μελέτες.

Μία άλλη πηγή ενέργειας που φαίνεται να συνδυάζει ιδανικά τις παραπάνω απαιτήσεις, και που η προοπτική της αξιοποίησης της βρήκε ανεπιφύλακτα αποδοχή στην διεθνή κοινή γνώμη είναι η ηλιακή ακτινοβολία, ιδίως όταν με την βοήθεια του φωτοβολταϊκού φαινομένου διαπιστώθηκε η δυνατότητα της πρακτικής εφαρμογής

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

μιας μεθόδου για την εύκολη, άμεση και αποδοτική μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια.

Ανάλογα με τον βαθμό πολυπλοκότητας στην κατασκευή και την λειτουργία μπορούμε να κατατάξουμε τις φωτοβολταϊκές γεννήτριες σε 3 κατηγορίες:

1. Τις απλές διατάξεις, όπου τα ηλιακά στοιχεία είναι τοποθετημένα σε σταθερά πλαίσια και δέχονται την ηλιακή ακτινοβολία



*Tracking system μετεωρολογικού σταθμού Κρήτης*

με την φυσική της πυκνότητα και διακύμανση στη διάρκεια της ημέρας.

2. Τις διατάξεις με κινητά πλαίσια που περιστρέφονται αυτόματα και παρακολουθούν συνεχώς την πορεία του ήλιου στον ουρανό, ώστε τα ηλιακά στοιχεία να δέχονται κάθετα την ηλιακή ακτινοβολία σε όλη την διάρκεια της ημέρας (tracking systems). Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγει ένα ηλιακό στοιχείο μέχρι 30% περίπου, αφού δέχεται πυκνότερη ακτινοβολία ανά μονάδα εμβαδού της επιφάνειας του.

3. Τις διατάξεις που με την χρησιμοποίηση φακών ή κατόπτρων συγκεντρώνουν την ηλιακή ακτινοβολία και την στέλνουν πολύ συμπυκνωμένη πάνω στα ηλιακά στοιχεία. Για την αποφυγή θέρμανσής, στις συγκεντρωτικές φωτοβολταϊκές διατάξεις απαιτείται συνήθως η τεχνική ψύξη των ηλιακών στοιχείων με κυκλοφορία ψυχρού αέρα ή ψυκτικών υγρών.

### **Πλεονεκτήματα :**

- Ανανέωση και ελεύθερα διαθέσιμη ενεργειακή πηγή.
- Ικανοποιητική απόδοση μετατροπής.
- Σχετικά εύκολη μέθοδος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων από πρώτες ύλες που αφθονούν.
- Πρακτικά απεριόριστη διάρκεια ηλιακής ζωής των ηλιακών στοιχείων (τουλάχιστον 20 με 30 χρόνια).



## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

- Τα ηλιακά στοιχεία δεν έχουν κινούμενα μέρη, επομένως είναι σχεδόν απαλλαγμένα από την ανάγκη επίβλεψης και συντήρησης αρκεί συνήθως επιθεώρηση τους μια φορά κάθε εξάμηνο. Αλλά και σε περίπτωση βλάβης, η αποκατάσταση της λειτουργίας γίνεται εύκολα λόγω της σπονδυλωτής μορφής της φωτοβολταϊκής διάταξης.
- Η φωτοβολταϊκή μετατροπή δεν προκαλεί ρύπανση στο περιβάλλον ούτε θόρυβο ή άλλη ενόχληση και δεν δημιουργεί άχρηστα παραπροϊόντα.
- Δίνει την δυνατότητα ανεξαρτησίας από κεντρικά ηλεκτρικά δίκτυα διανομής.
- Οι φωτοβολταϊκοί σταθμοί μπορούν να λειτουργούν με όσο μικρή ισχύ ζητηθεί.
- Η αναλογία της παραγόμενης ισχύος προς το βάρος της διάταξης είναι αρκετά μεγάλη, που είναι σημαντική ιδιότητα για τις διαστημικές εφαρμογές.

### **Μειονεκτήματα:**

- Υψηλός κόστος κατασκευής των ηλιακών στοιχείων.
- Για τις περισσότερες εφαρμογές απαιτείται η δαπανηρή αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας, λόγω της αστάθειας και της μεγάλης διακύμανσης της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας.
- Απαιτείται η χρησιμοποίηση μεγάλων σχετικά επιφανειών, λόγω της μικρής πυκνότητας της ισχύος της ηλιακής ακτινοβολίας. Σε σχέση όμως με τα ηλιακά θερμοηλεκτρικά συστήματα η χρήση μεγάλων συστημάτων κεντρικών Φ/Β σταθμών έχει αρκετά πλεονεκτήματα, όπως:
- Δεν χρειάζονται μεγάλες εκτάσεις γης για την ίδια ισχύ.
- Αξιοποιούν και την ακτινοβολία διάχυσης ( συνεπώς κάνουν και για συνήθως συννεφιασμένες περιοχές) .
- Δεν έχουν κινούμενα τμήματα.
- Μετά την αρχική επένδυση δεν χρειάζονται παραπέρα επενδύσεις παρά μόνο για μια ελάχιστη συντήρηση.
- Έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από τους υπάρχοντες εμπορικούς ηλεκτρικούς σταθμούς.

Βασικό μειονέκτημα των Φ/Β συστημάτων είναι ο ετεροχρονισμός μεταξύ παραγωγής και ζήτησης της ενέργειας. Απαιτείται επομένως η ενδιάμεση αποθήκευση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Έχουν προταθεί πολλές μέθοδοι αποθήκευσης, όπως ηλεκτρόλυση νερού για την παραγωγή καυσίμου υδρογόνου, η ανύψωση νερού σε ταμιευτήρες κλπ. Πρακτικά όμως περισσότερο εφαρμόσιμη εξακολουθεί να είναι η φόρτιση ηλεκτροχημικών συσσωρευτών, το κόστος τους όμως είναι συνήθως μεγάλο.

## 4.ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL (WEIBULL DISTRIBUTION)

### 4.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ WEIBULL:

- Η κατανομή Weibull περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά χαρακτηριστικά στις περιοχές της εύκρατης ζώνης και για ύψος μέχρι 100 μέτρα από το έδαφος.
- Εκφράζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου  $V$  να βρίσκεται στην περιοχή  $V-dV/2$  και  $V+dV/2$

$$P(V) = \left(\frac{k}{c}\right) \cdot \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \cdot e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (4.1)$$

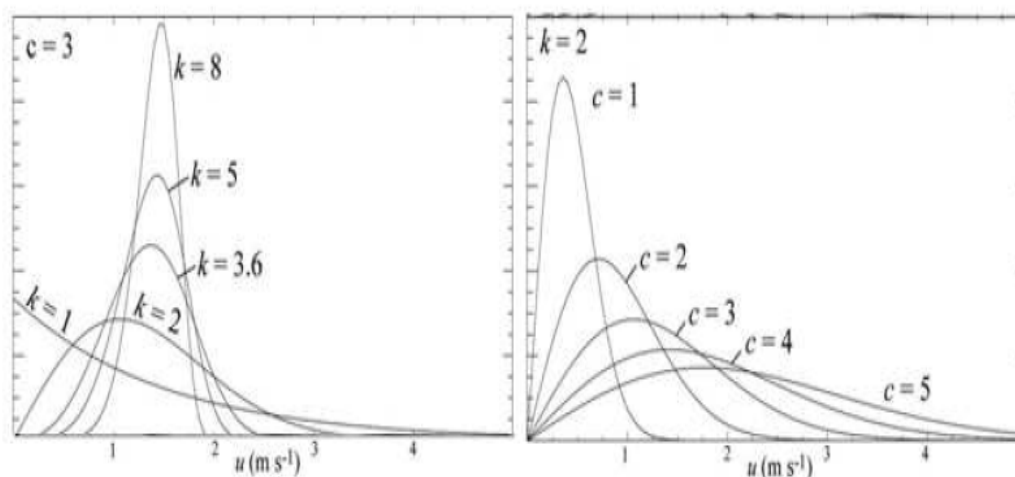
- Οι παράμετροι  $C$  και  $k$  χαρακτηρίζουν την κατανομή πιθανότητας του ανέμου, συνεπώς χαρακτηρίζουν το αιολικό δυναμικό, άρα καθορίζονται από τις παραμέτρους που καθορίζουν και το αιολικό δυναμικό.
- Για τον υπολογισμό της ταχύτητας του ανέμου στις περισσότερες περιοχές, χρησιμοποιείται η μαθηματική συνάρτηση Weibull, για να χαρακτηρίσει το αιολικό δυναμικό μίας περιοχής, η οποία προσεγγίζει σε πολύ καλό βαθμό την κατανομή του ανέμου. Η συνάρτηση αυτή εξαρτάται από την παράμετρο κλίμακας  $c$ , η οποία καθορίζει την μέση ταχύτητα ανέμου και μετράται σε  $m/s$ , και την παράμετρο μορφής(οξύτητας)  $k$  που συνήθως παίρνει τιμές 1,5 - 2,5. Στον Ελλαδικό χώρο συνήθως λαμβάνονται τιμές μεταξύ 1,5 και 2,0. Συχνά (όταν είναι γνωστή μόνο η μέση ταχύτητα του ανέμου) κι επειδή είναι

δύσκολος ο υπολογισμός της παραμέτρου μορφής, λαμβάνεται η τιμή  $k=2$ , που τότε η κατανομή Weibull ονομάζεται κατανομή Rayleigh [11]

## 4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ C ΚΑΙ K ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑΣ

### WEIBULL:

- Η παράμετρος C ονομάζεται παράμετρος μεγέθους και καθορίζει τη θέση της καμπύλης σε σχέση με τον οριζόντιο άξονα
- Η παράμετρος k ονομάζεται παράμετρος μορφής ή κλίση και καθορίζει τη διασπορά των τιμών



Εικόνα 24 Καμπύλες παραμέτρων C και K

### 4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ WEIBULL:

Στην περίπτωση που είναι διαθέσιμες οι μετρήσεις ταχύτητας ανέμου, υπολογίζουμε τα k και C με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων:

$$y = \ln [-\ln \{1 - P(V \leq V_x)\}] \quad (4.2)$$

$$x = \ln V_x \quad (4.3)$$

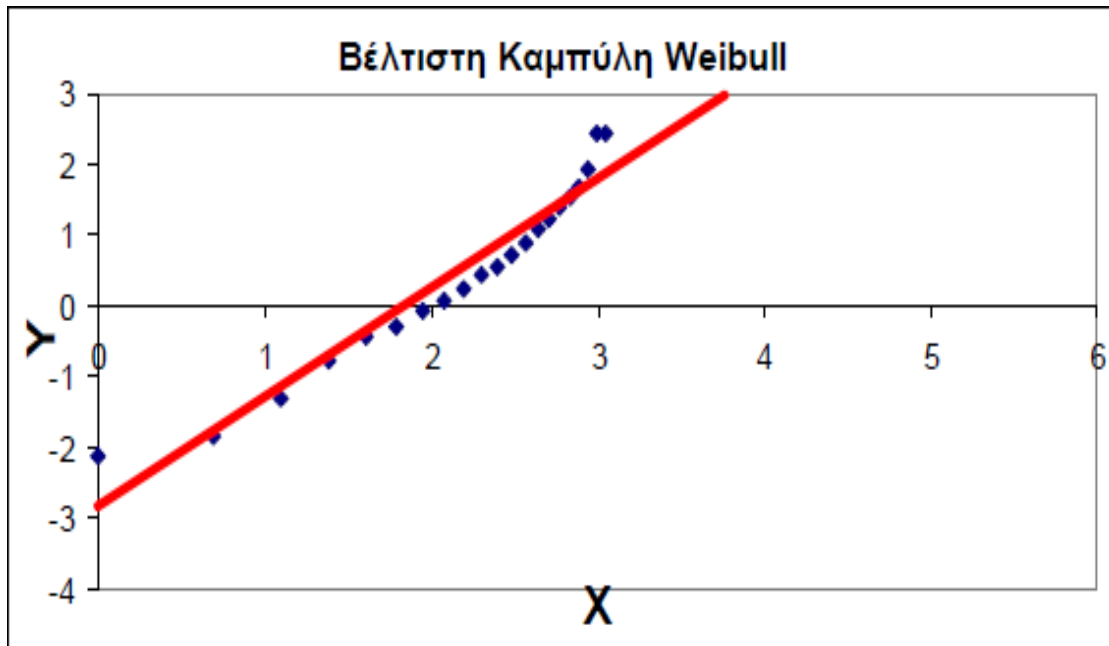
$$y = -k \cdot \ln c + k \cdot x \quad (4.4)$$

$$Y = A + B \cdot X \quad (4.5)$$

$$A = \frac{(\sum y) \cdot (\sum x^2) - (\sum x) \cdot (\sum x \cdot y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (4.6)$$

$$B = \frac{n \cdot (\sum x \cdot y) - (\sum x) \cdot (\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (4.7)$$

$$\boxed{C = e^{-\frac{A}{B}} \text{ και } k = B} \quad (4.8)$$



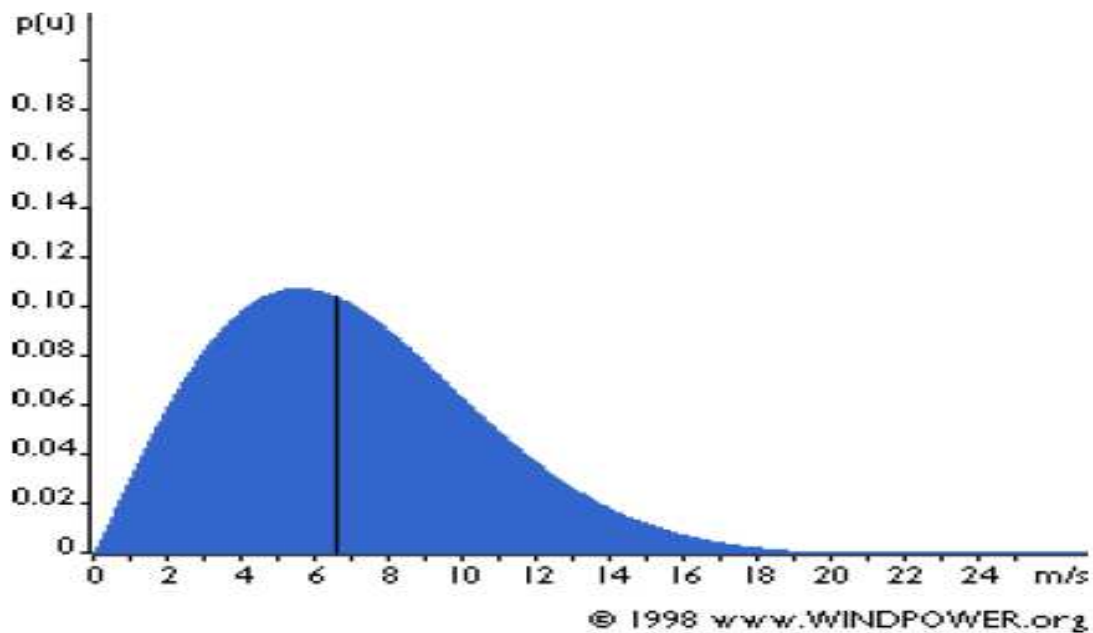
Εικόνα 25 Παράδειγμα βέλτιστης καμπύλης Weibull

Στην περίπτωση που δεν είναι διαθέσιμες μετρήσεις ταχύτητας ανέμου, υπολογίζονται τα  $C$  και  $k$  με αριθμητικές μεθόδους και με μοντέλα αναγωγής συναρτήσεων του ανάγλυφου της περιοχής.

Στην περίπτωση αυτή ο υπολογισμός βασίζεται σε τουλάχιστον ένα σημείο με διαθέσιμες μετρήσεις και στην ανάπτυξη χάρτη αιολικού δυναμικού με κατάλληλα λογισμικά. [11]

#### 4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ WEIBULL:

- Συνολική επιφάνεια κάτω από την καμπύλη=1.
- Ο μέσος όρος της κατανομής=6,6m/sec (ίσα εμβαδά), δηλαδή το μισό χρόνο η ταχύτητα του ανέμου έχει τιμή μικρότερη από 6,6 m/sec και τον άλλο μισό μεγαλύτερη από 6,6 m/sec.
- Η συχνότερη τιμή: 5,5 m/sec.
- Η μορφή της κατανομής διαφέρει από τόπο σε τόπο και εξαρτάται από τις τοπικές κλιματολογικές συνθήκες και το ανάγλυφο του εδάφους.[11]



Εικόνα 26 Παράδειγμα κατανομής Weibull

#### 4.5 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ WEIBULL ΣΤΟ MATLAB

Η κατανομή Weibull περιγράφει ικανοποιητικά τα ανεμολογικά στοιχεία μιας περιοχής, μέχρι και το ύψος των 100 μέτρων, και έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του αιολικού δυναμικού σε πολλές χώρες.

Πρόκειται για την κατανομή που καθορίζεται από δύο παραμέτρους και προσδιορίζει την πιθανότητα η ταχύτητα του ανέμου να βρίσκεται σε μια περιοχή της ταχύτητας  $u$ .

Η καμπύλη Weibull δίνεται όπως αναφέρεται και πιο πάνω από τη σχέση:

$$f(u) = \frac{k}{c} * \left[ \frac{V}{c} \right]^{k-1} * e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \quad (4.9)$$

Όπου  $k$  η παράμετρος σχήματος (shape parameter) και  $c$  η παράμετρος κλίμακας (scale parameter).

Οι παράμετροι  $k$  και  $c$  ποικίλουν ανάλογα με την τοποθεσία επειδή εξαρτώνται από τις κλιματικές συνθήκες και τη διαμόρφωση του εδάφους. Γενικά, η παράμετρος

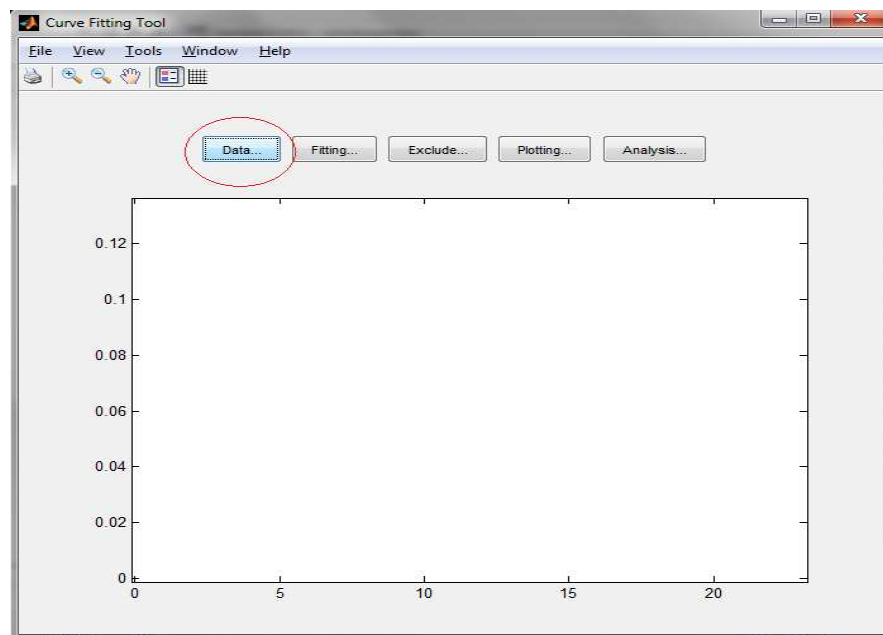
## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

$c$  δείχνει την ένταση των ανέμων που επικρατούν σε μια περιοχή και η παράμετρος  $k$  δείχνει πόσο «αιχμηρή» είναι η καμπύλη Weibull.

Προκειμένου να εφαρμοστεί η κατανομή Weibull, πρέπει πρώτα να καλέσουμε τα δεδομένα. Αυτό γίνεται με την εντολή *ksdensity* στο Mat lab. Η εντολή αυτή καλεί τα δεδομένα με την πιθανότητα αυτά να εμφανίζονται με κλίμακα 100.

Πριν χρησιμοποιήσουμε την εντολή *ksdensity*, πρέπει πρώτα να υπάρχει ένα γράφημα με τις μετρήσεις, για να μπορεί να εφαρμοστεί. Για να σχεδιαστεί το γράφημα γράφουμε την εντολή *cftool* στο Mat lab. [2]

Κάνουμε κλικ στην επιλογή *Data* για να προσθέσουμε το γράφημα.



Εικόνα 27: Data input

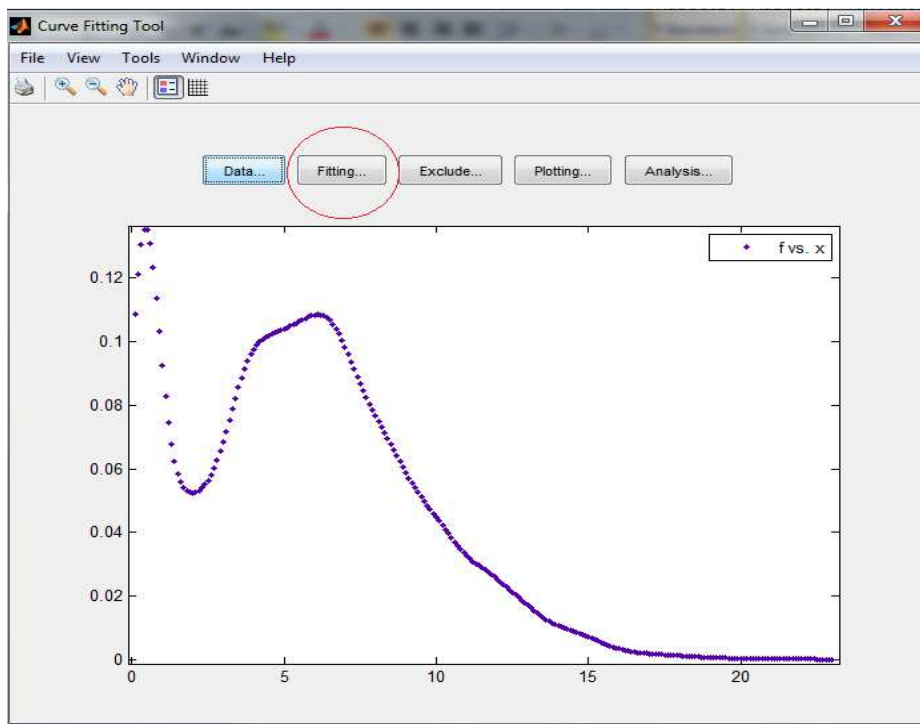
Επιλέγουμε τις νέες παραμέτρους *ksdensity*,  $x$  και  $f$ , και πατάμε «προσθήκη νέων μεταβλητών».

<<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων.  
Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>



Εικόνα 28: Create data set

Τώρα, το γράφημα δείχνει τις νέες μετρήσεις και έτσι μπορεί να εφαρμοστεί η κατανομή Weibull, πατώντας την επιλογή *fitting*.

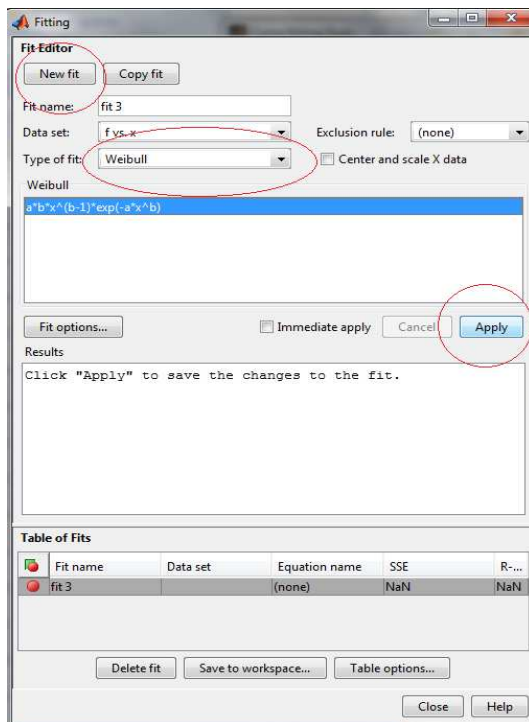


Εικόνα 29: Weibull Fitting

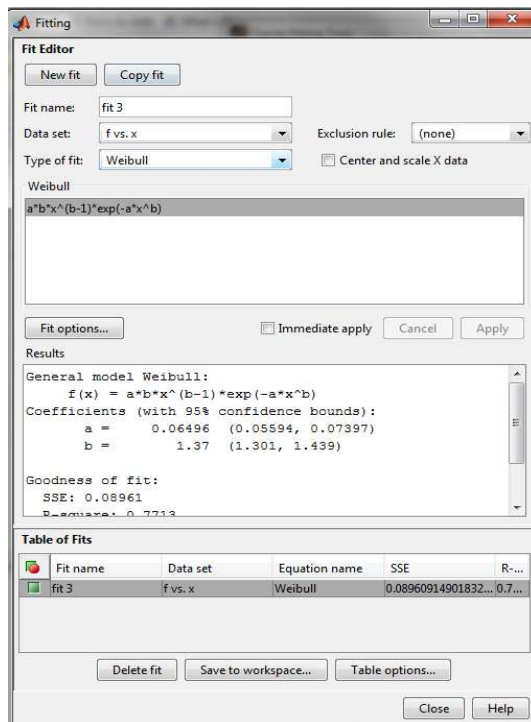


## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Πατάμε την εντολή *new fit* επιλέγουμε τον τύπο της εφαρμογής (Weibull). Έπειτα, πατάμε *Apply*. Το Mat lab υπολογίζει τις νέες τιμές των  $k$  και  $c$ , οι οποίες είναι απαραίτητες για να υπολογιστεί η ποιότητα του αέρα.

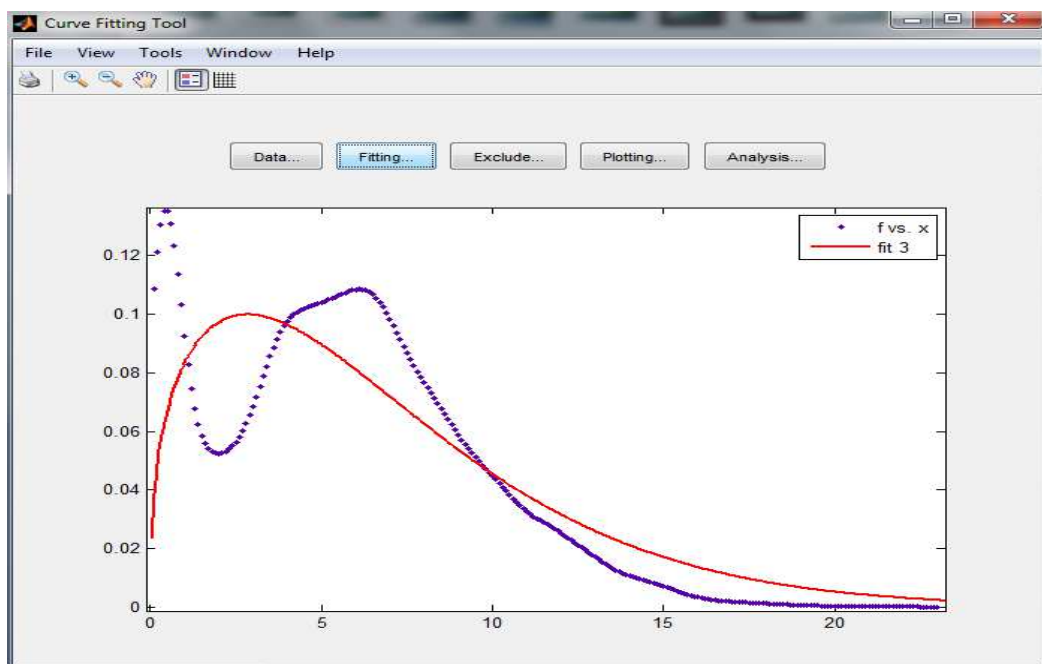


Εικόνα 30



Εικόνα 31

Τώρα, στο γράφημα φαίνεται η καινούρια αλλά και η παλιά εφαρμογή.



Εικόνα 32: Fitting

#### 4.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ WEIBULL ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ

Οι περιοχές όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις είναι μια ορεινή περιοχή έξω από το Ηράκλειο, ύψους 900 μέτρων (αιολικό δυναμικό) με το όνομα Δόξα (DOXA) και ένας χώρος στο Αιολικό Πάρκο του ΤΕΙ Κρήτης, με το όνομα Labo, ύψους 90 μέτρων.

Η σύγκριση των τιμών γίνεται μέσω δυο excel files μέσα στα οποία είναι αποθηκευμένες οι τιμές των μετρήσεων μας. Αφού φορτώσουμε δεδομένα μας με το πρόγραμμα matlab μπορούμε να τα επεξεργαστούμε και να κάνουμε ανάλυση των αποτελεσμάτων και την σύγκριση τους, για να αποφανθούμε ποια περιοχή έχει καλύτερη ποιότητα αέρα και σε ποια από τις δυο θα έχουμε μεγαλύτερη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω οι παράμετροι  $k$  και  $c$  είναι πολύ σημαντικοί για να συγκρίνουμε τις μετρήσεις του ανέμου. Στο πρόγραμμα όλοι αυτοί οι υπολογισμοί γίνονται αυτόματα.

Πρώτα, με την εντολή *ksdensity* καλούμε τα δεδομένα, πριν εφαρμόσουμε το Weibull *fitting*. Η εντολή αυτή καλεί τα δεδομένα με την σειρά όπου εμφανίζονται και τα τοποθετεί σε μια κλίμακα από το 0 έως το 100. Για παράδειγμα, η τιμή της ταχύτητας του ανέμου 7,256 m/s εμφανίζεται πολύ συχνά στα δεδομένα, 25 φορές σε μια κλίμακα από το 0 έως το 100.

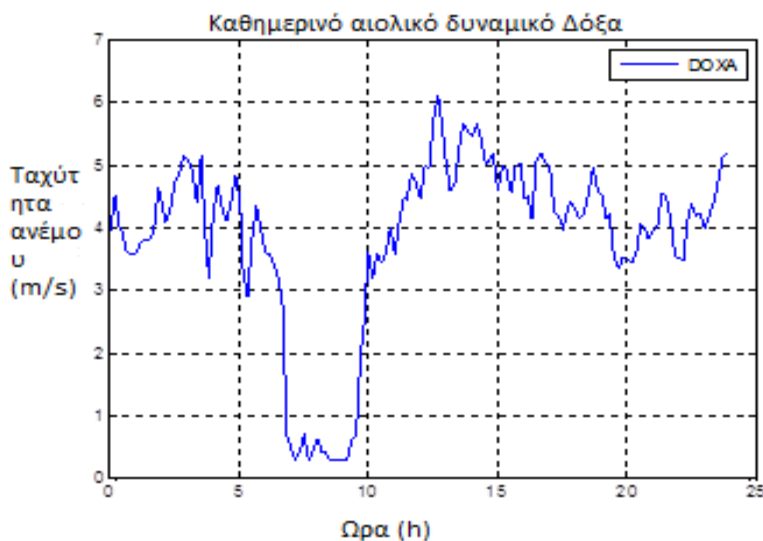
Μετά το κάλεσμα των δεδομένων, το πρόγραμμα θα εφαρμόσει το Weibull *fitting*.

$$[f,x] = ksdensity(DOXA,0.1:0.1:20); \quad (4.10)$$

Το *fitting* εφαρμόζεται στην νέα καμπύλη *ksdensity* με παραμέτρους  $x$  και  $f$ . Στο επόμενο στάδιο οι παράμετροι  $k$  και  $c$  υπολογίζονται μαζί με την πιο συχνή ταχύτητα ανέμου και πιθανότητα.

#### 4.6.1 Καθημερινό αιολικό δυναμικό

Το γράφημα αυτό δείχνει την ημερήσια ή μηνιαία μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου (m/s) στη λειτουργία του χρόνου. Στο παράδειγμα αυτό, το διάγραμμα δείχνει την ταχύτητα του ανέμου της μια ημέρας και συγκεκριμένα, την κορυφή της ταχύτητας του ανέμου καθώς και τον χρόνο διακοπής της ανεμογεννήτριας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η ανεμογεννήτρια δεν παράγει ενέργεια 5-10 το πρωί.

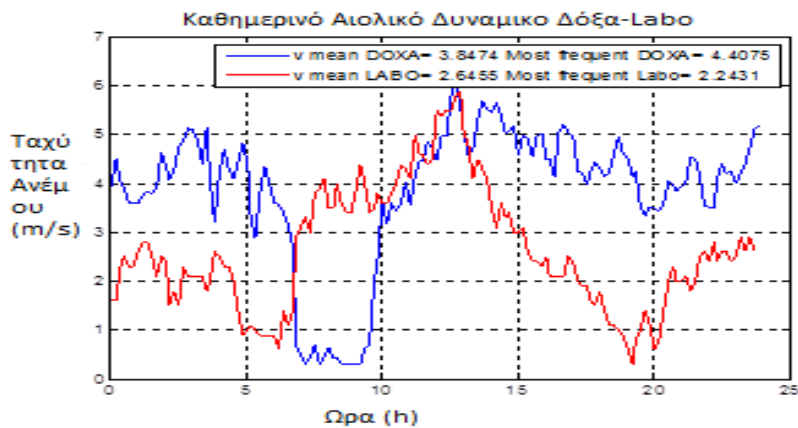


Εικόνα 33 Καθημερινό Αιολικό Δυναμικό Δόξας

#### 4.6.2 Συγκρίνοντας το καθημερινό αιολικό δυναμικό

Για να δούμε την διαφορά μεταξύ της ανεμογεννήτριας στην Δόξα και αυτή στο Labo συγχωνεύονται παρακάτω τα δύο γραφήματα. Στην επάνω γωνία, εμφανίζονται η μέση ταχύτητα του ανέμου και αυτή που εμφανίζεται συχνότερα. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να συγκρίνουμε τα διαγράμματα χρησιμοποιώντας αριθμούς.

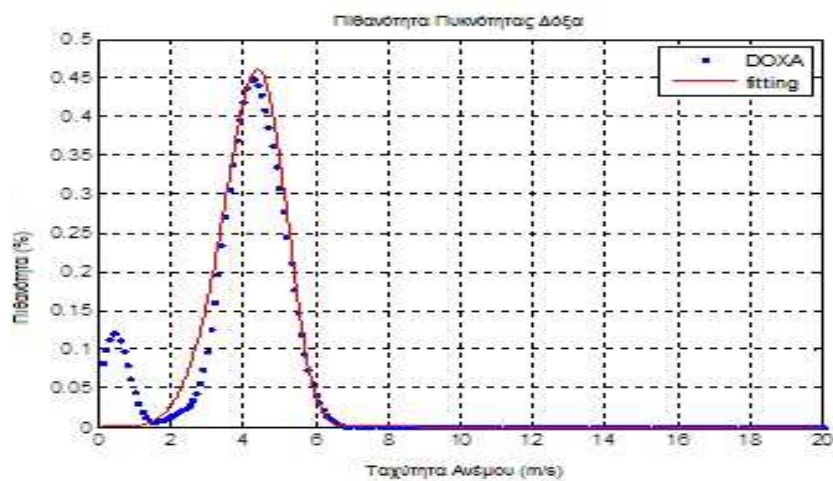
## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>



Εικόνα 34 Καθημερινό Αιολικό Δυναμικό Δόξα-Labo

### 4.6.3 Πιθανότητα πυκνότητας

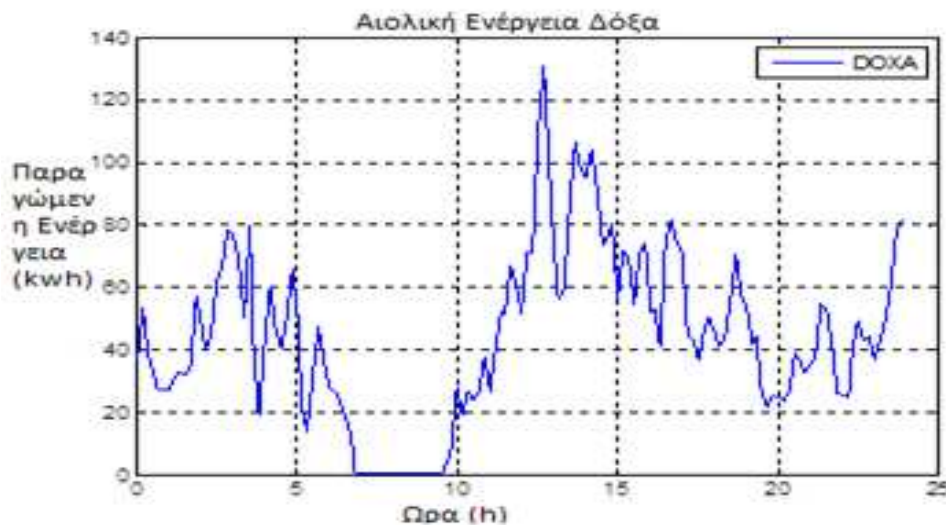
Το γράφημα αυτό διαχωρίζει τις μετρήσεις με την εντολή *ksdensity*, η οποία δείχνει την συχνότητα όπου μία συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου συμβαίνει. Η κόκκινη γραμμή τονίζει την χρήση της κατανομής Weibull που απαιτείται για να συγκρίνει την ποιότητα του αέρα και την καλή προσαρμογή του *fitting* στο γράφημα.



Εικόνα 35 Πιθανότητα Πυκνότητας Δόξα

#### 4.6.4 Παραγόμενη αιολική ενέργεια

Αυτή είναι η θεωρητική ενέργεια που παράγει ο άνεμος. Είναι διαφορετική από το δυναμικό του ανέμου, επειδή ο Υ-άξονας είναι σε kW/h αντί για m/s. Η παραγόμενη αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται για υπολογισμούς που θα γίνουν



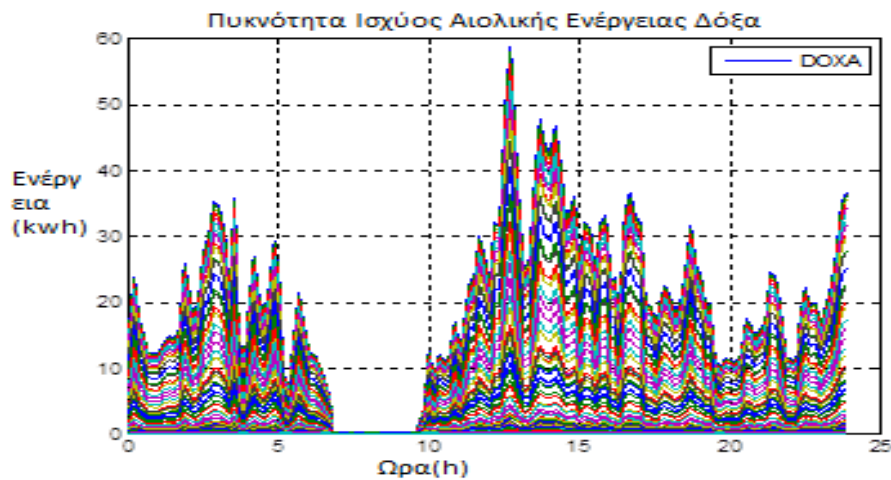
Εικόνα 36 Αιολική Ενέργεια Δόξα

αργότερα για τον προσδιορισμό της παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες.

#### 4.6.5 Πυκνότητα αιολικής ενέργειας

Στο παρακάτω γράφημα παρουσιάζεται η συνολική πυκνότητα ισχύος αιολικής ενέργειας του παραγόμενου αέρα, από την ανεμογεννήτρια που έχουμε επιλέξει να τοποθετήσουμε στην περιοχή της Δόξας.

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>



Εικόνα 37 Πυκνότητα Ισχύος Αιολικής Ενέργειας Δόξα

### 4.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Σε αυτή την παράγραφο θα συζητηθούν τυχαίες ημέρες. Ο σκοπός είναι να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τα γραφήματα και επίσης να προσδιοριστούν οι δυνατότητες του προγράμματος.

#### 4.7.1 1 Ιουλίου 2010

Για το παράδειγμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο ανεμογεννήτριες των 20 kW, όπου βρίσκονταν η μία στο Labo (Σημείο Α) και η άλλη στο βουνό Δόξα (Σημείο Β).



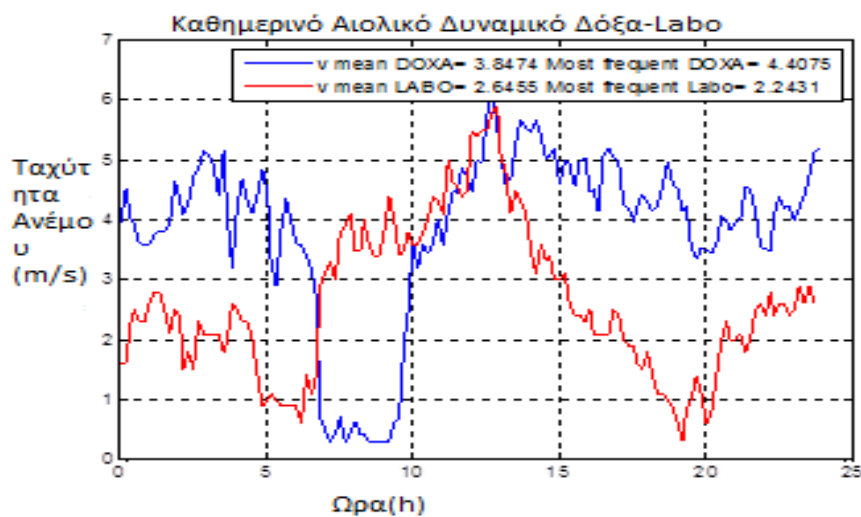
Εικόνα τοποθεσίας μετεωρολογικών σταθμών

#### 4.7.1.1 Αιολικό δυναμικό

Η μέση ταχύτητα του ανέμου μπορεί να μας πει πολλά για την παραγόμενη ενέργεια. Η μέση ταχύτητα του ανέμου στο βουνό Δόξα είναι πάνω από την cut in speed της ανεμογεννήτριας, πράγμα που σημαίνει ότι κατά μέσο όρο η ανεμογεννήτρια θα παράγει ενέργεια, ενώ η μέση ταχύτητα του ανέμου στο Labo είναι κάτω από την cut in speed, δηλαδή δεν παράγει ενέργεια.

Επίσης, η πιο συχνή ταχύτητα ανέμου στην Δόξα είναι πολύ υψηλότερη από τις μετρήσεις στο Labo. Η συχνότερη ταχύτητα ανέμου στο Labo είναι κάτω από την cut in speed των ανεμογεννητριών, το οποίο και πάλι δείχνει ότι η ανεμογεννήτρια θα παράγει πολύ λιγότερη ενέργεια.

Στην παρακάτω γραφική παράσταση είναι εμφανής η διαφορά. Η ταχύτητα του ανέμου στην περιοχή του Labo πλησιάζει την ταχύτητα στην περιοχή Δόξα μόνο μεταξύ στις 6 μμ. με 12 μμ.

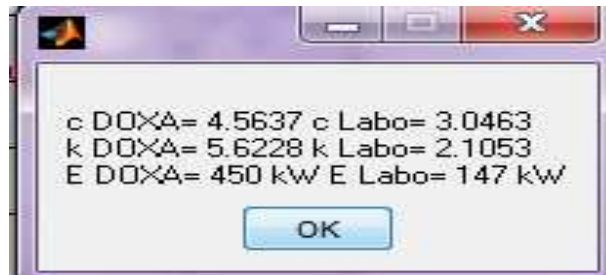


Εικόνα 38 Καθημερινό Αιολικό Δυναμικό Δόξα-Labo

— v mean DOXA= 3.8474 Most frequent DOXA= 4.4075  
— v mean LABO= 2.6455 Most frequent Labo= 2.2431

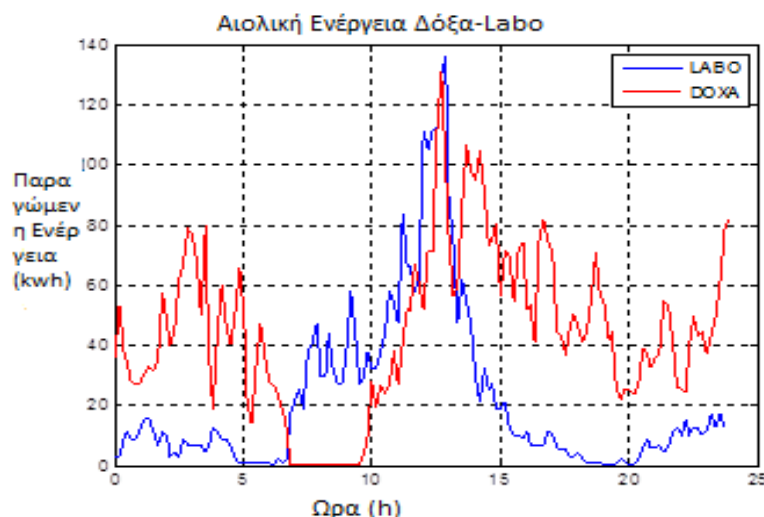
## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

### 4.7.1.2 Παραγόμενη αιολική ενέργεια



Εικόνα 39

Όπως ήταν αναμενόμενο η ανεμογεννήτρια στην Δόξα παράγει περισσότερη ενέργεια. Στην πραγματικότητα, παράγει τρεις φορές μεγαλύτερη ενέργεια, παρόλο που οι ανεμογεννήτριες είναι πανομοιότυπες.



Εικόνα 40 Αιολική Ενέργεια Δόξα-Labo

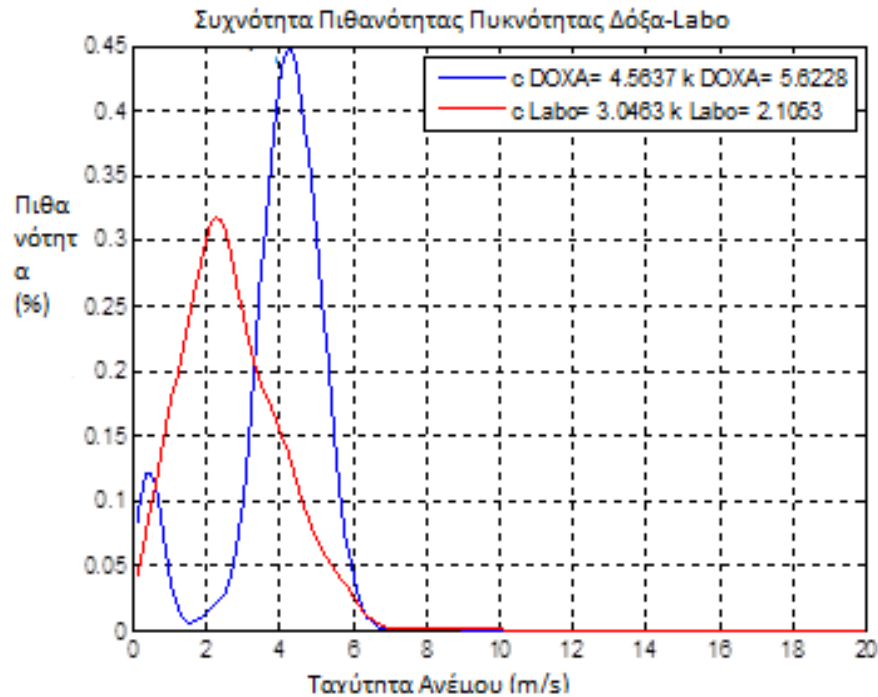
### 4.7.1.3 Ποιότητα ανέμου

Όπως εξηγήσαμε και στην παράγραφο «Ανάλυση Weibull», η παράμετρος  $c$  έχει άμεση επίδραση στην ενέργεια που παράγεται από την ανεμογεννήτρια. Η παράμετρος  $c$  είναι μεγαλύτερη στην Δόξα απ' ό τι στο Labo, και αυτό εξηγεί την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας.



## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Η παράμετρος  $k$  είναι μεγαλύτερη στην Δόξα απ' ότι στο Labo, αλλά δεδομένου ότι η μέση ταχύτητα του ανέμου από τις μετρήσεις στην Δόξα είναι 3.8 m/s, είναι επίσης μία ένδειξη ότι η ποιότητα του ανέμου στην Δόξα είναι καλύτερη.



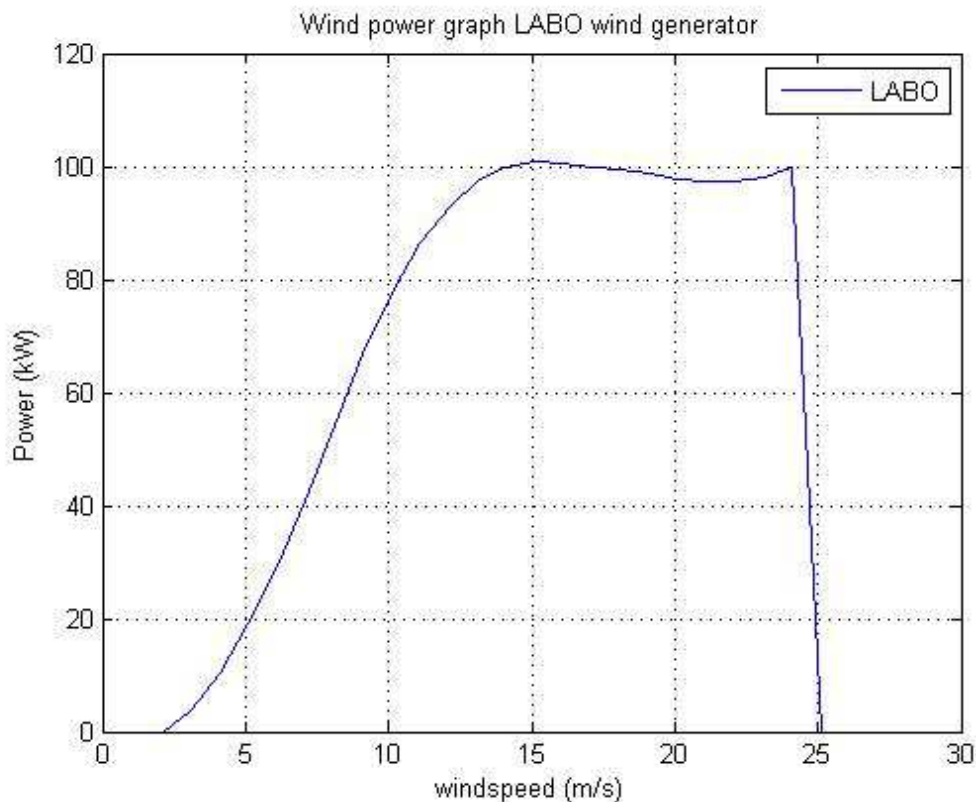
Εικόνα 41 Συχνότητα Πιθανότητας Δόξα-Labo

### 4.7.1.4 Συμπέρασμα

Η ποιότητα του αέρα την συγκεκριμένη ημέρα στην περιοχή Δόξα είναι πολύ καλύτερη απ' ότι στο Labo. Η μέση ταχύτητα του ανέμου, καθώς και οι παράμετροι  $c$  και  $k$  το επιβεβαιώνουν. Επίσης, αυτό αποδεικνύει ότι μπορούν να συγκριθούν ποιότητες ανέμου με αυτό το πρόγραμμα.

### 4.7.2 2 Νοεμβρίου 2010

Στο παράδειγμα αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δύο ανεμογεννήτριες ισχύος των 100 kW και η καμπύλη ισχύος της φαίνεται στην εικόνα παρακάτω. Επίσης φαίνεται η cut in speed η οποία είναι 2,5m/s cut out speed η οποία είναι 24 m/s.

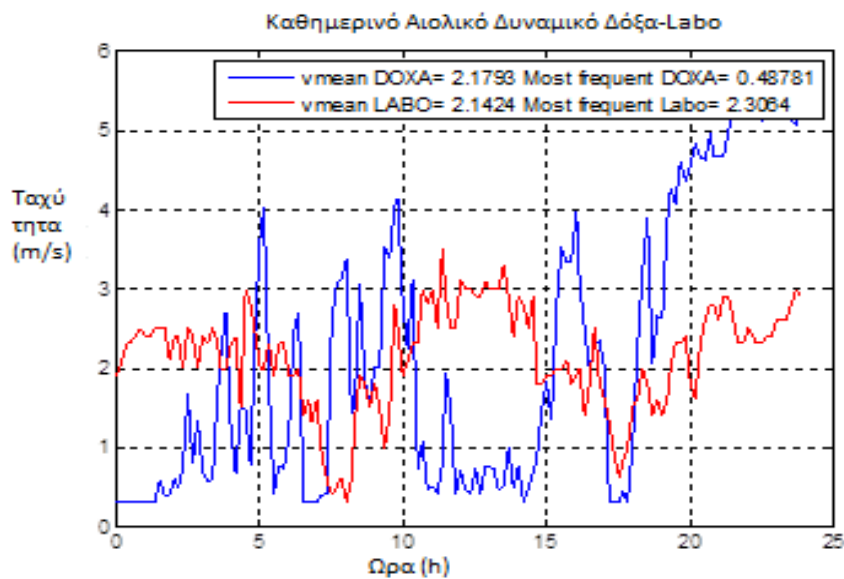


Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας 100kW

#### 4.7.2.1 Αιολικό δυναμικό

Οι μέσες ταχύτητες των ανέμων και στις δύο περιοχές είναι πολύ χαμηλές. Αυτό δείχνει ότι η 2 Νοεμβρίου ήταν μία ημέρα χωρίς αέρα. Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται ότι δεν υπάρχει καθόλου αέρας στην περιοχή Δόξα. Λόγω αυτού, και δεδομένου ότι χρησιμοποιείται μία ανεμογεννήτρια των 100 kW με υψηλή cut in speed, δεν θα υπάρχει καθόλου παραγωγή ενέργειας. Στην περιοχή Labo παρατηρούμε ένα μικρό μέγιστο, πάνω από την cut in speed. Στην πραγματικότητα, δεν μπορεί να ενεργοποιηθεί η ανεμογεννήτρια.

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

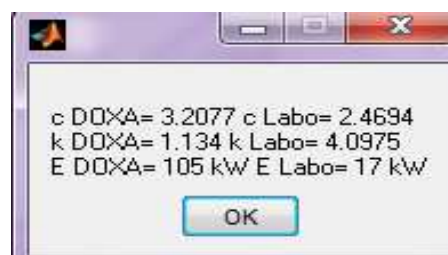


Εικόνα 42 Καθημερινό Αιολικό Δυναμικό Δόξα-Labo

— v mean DOXA= 0.84417 Most frequent DOXA= 0.0090137  
— v mean LABO= 2.0604 Most frequent Labo= 2.3776

### 4.7.2.2 Παραγόμενη ενέργεια

Η μέγιστη τιμή που παίρνει ο άνεμος φτάνει πάνω από τα 3.5 m/s, παράγει περίπου 17 kW, αλλά αυτό δεν φτάνει για να περιστραφούν τα πτερύγια.



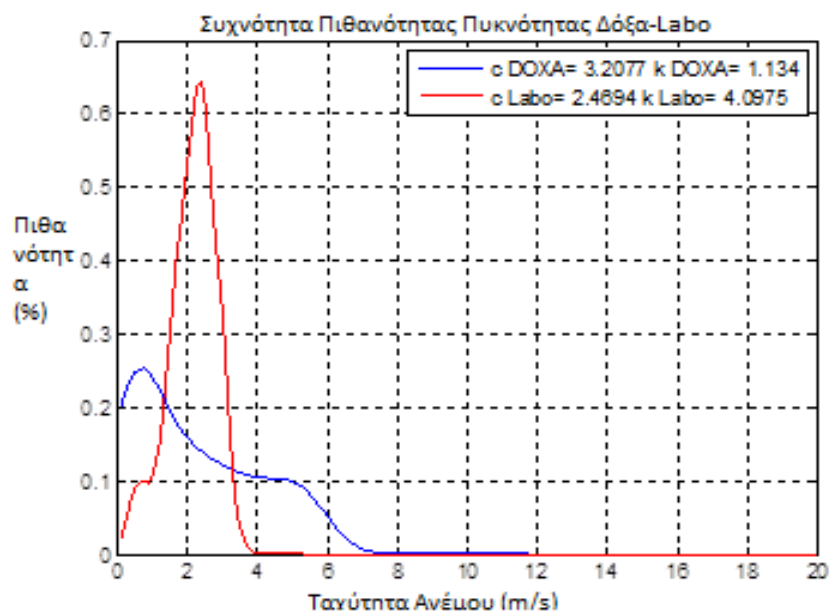
Εικόνα 43: Συγκεντρικά αποτελέσματα

### 4.7.2.3 Ποιότητα ανέμου

Δεδομένου ότι η παράμετρος  $c$  επηρεάζει άμεσα την παραγόμενη ενέργεια και η παράμετρος  $se$  αυτή την περιοχή είναι μεγαλύτερη, η Δόξα έχει την μεγαλύτερη

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

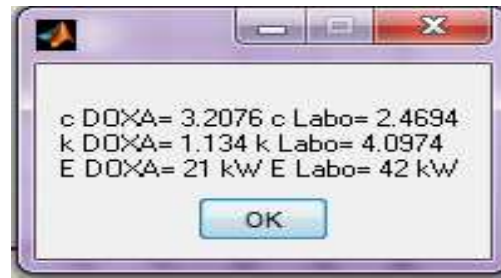
ενέργεια που παράγεται. Ωστόσο, η παράμετρος  $k$  έχει μικρότερη τιμή στην θέση Δόξα απ' ότι στην περιοχή Labo. Αυτό συμβαίνει, διότι, οι μετρήσεις στην περιοχή Δόξα έχουν μεγαλύτερη διασπορά. Αυτό μπορεί να είναι είτε κακό είτε καλό, εξαρτάται από το πόσο υψηλή είναι η μέση ταχύτητα του ανέμου. Δεδομένου ότι η μέση ταχύτητα του ανέμου της περιοχής Δόξας είναι πολύ χαμηλή, αυτό δείχνει ότι η ποιότητα του αέρα είναι κακή.



Εικόνα 44 Συχνότητα Πιθανότητας Δόξα-Labo

### 4.7.2.4 Συμπέρασμα

Η ανεμογεννήτρια στην Δόξα παράγει περισσότερη ενέργεια, επειδή παρουσιάζει περισσότερα μέγιστα που περνούν την cut in speed της ανεμογεννήτριας. Η ποιότητα του ανέμου στην θέση Labo είναι πολύ καλύτερη από την θέση Δόξα, αλλά από την στιγμή που μια ανεμογεννήτρια των 100 kW έχει υψηλότερη cut in speed, η ανεμογεννήτρια στην Δόξα θα παράγει περισσότερη ενέργεια. Αν επιλέξουμε μία μικρότερη ανεμογεννήτρια των 20 kW και εκτελέσουμε τους ίδιους υπολογισμούς, πάλι θα επιβεβαιώσουμε αυτή την θεωρία.



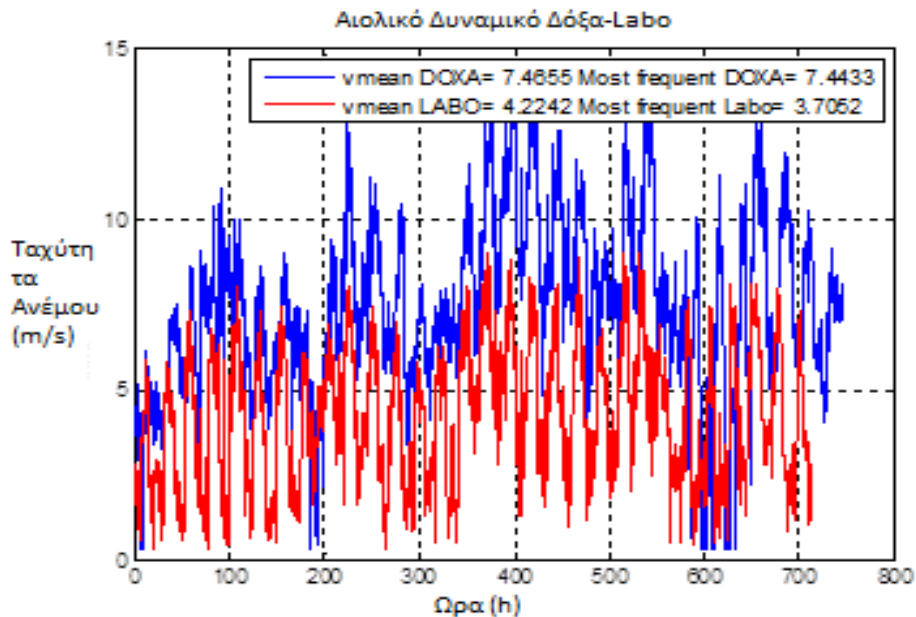
Εικόνα 45 : Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

Όπως βλέπουμε, αν υπάρχει μία μικρότερη ανεμογεννήτρια με cut in speed κάτω των 3 m/s, τότε η ανεμογεννήτρια θα παράγει πολύ περισσότερη ενέργεια στην θέση Labo απ' ό τι στην θέση Δόξα. Αυτό μπορεί να αποδοθεί ότι η ποιότητα του αέρα στις 2 Νοεμβρίου στο Labo, ήταν καλύτερη απ' ό τι στην Δόξα.

### 4.7.3 Αύγουστος 2011

#### 4.7.3.1 Αιολικό δυναμικό

Και οι δύο μέσες τιμές είναι υψηλότερες από την cut in speed, πράγμα που σημαίνει ότι και οι δύο ανεμογεννήτριες θα παράγουν ενέργεια σε όλες τις περιπτώσεις. Ωστόσο, δεδομένου ότι η μέση ταχύτητα του ανέμου και η συχνότερη τιμή της ταχύτητας ανέμου είναι υψηλότερες στην Δόξα απ' ό τι στο Labo, η ανεμογεννήτρια στην Δόξα παράγει περισσότερη ενέργεια.

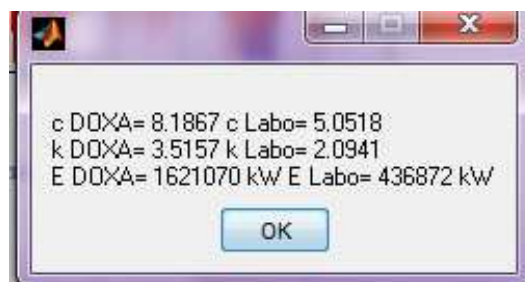


Εικόνα 46 Αιολικό Δυναμικό Δόξας

— v mean DOXA= 7.4655 Most frequent DOXA= 7.4433  
— v mean LABO= 4.2242 Most frequent Labo= 3.7052

#### 4.7.3.2 Παραγόμενο αιολικό δυναμικό

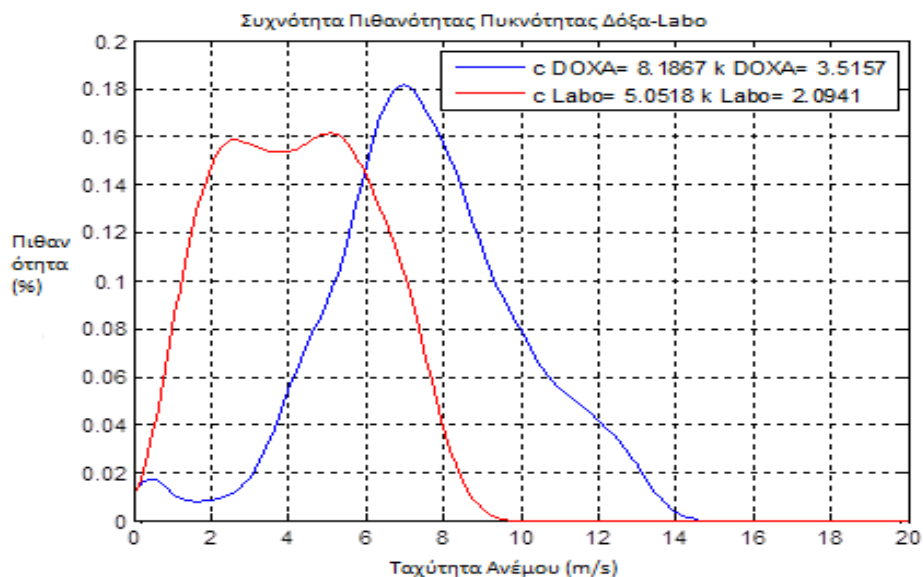
Η ανεμογεννήτρια στην Δόξα παράγει τέσσερις φορές περισσότερη ενέργεια από ότι η ανεμογεννήτρια στο Labo. Η ποιότητα του αέρα στην θέση Δόξα είναι καλύτερη τον μήνα Αύγουστο κι αυτός είναι ο λόγος που υπάρχει αυτή η αύξηση στην ενέργεια.



Εικόνα 47: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

#### 4.7.3.3 Ποιότητα ανέμου

Ο συντελεστής  $k$  στην θέση Δόξα, έχει υψηλότερη τιμή, και έτσι οι μετρήσεις είναι πιο γεμάτες γύρω από την μέση ταχύτητα του ανέμου. Επίσης, ο συντελεστής  $c$  στην Δόξα έχει υψηλότερη τιμή, με αποτέλεσμα η ποιότητα του ανέμου να είναι καλύτερη τον μήνα Αύγουστο.



Εικόνα 48 Συχνότητα Πιθανότητας Δόξα-Labo

#### 4.7.3.4 Συμπέρασμα

Τα αποτελέσματα αυτά είναι πιθανά λόγω του γεγονότος ότι η θέση Δόξα βρίσκεται σε μεγαλύτερο υψόμετρο (900 μέτρα) απ' ότι το Labo (90 μέτρα). Ενώ η πυκνότητα του αέρα στην θέση Δόξα είναι μόνο  $1.15 \text{ kg/m}^3$ , στην θέση Labo είναι  $1.23 \text{ kg/m}^3$ . Αν υπήρχαν ακριβώς οι ίδιες ταχύτητες και στις δύο περιοχές, αλλά με διαφορετικές ποιότητες αέρα, η θέση με την μεγαλύτερη πυκνότητα αέρα (Labo), θα παρήγαγε περισσότερη ενέργεια.

## 5. GAUSSIAN DISTRIBUTION

### 5.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ GAUSSIAN

Η κανονική κατανομή (γνωστή και ως *Γκαουσιανή κατανομή*) αναφέρεται σε συνεχείς μεταβλητές αποτελώντας μία συνεχή συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας. Χρησιμοποιείται ως μία πρώτη προσέγγιση για να περιγραφούν τυχαίες μεταβλητές πραγματικών τιμών, οι οποίες τείνουν να συγκεντρώνονται γύρω από μια μέση τιμή. Η κανονική κατανομή αποτελεί την πιο σημαντική κατανομή της στατιστικής μεθοδολογίας για τους εξής βασικούς λόγους:[2]

- Την κανονική κατανομή ακολουθούν είτε με ακρίβεια είτε με μεγάλη προσέγγιση τα περισσότερα συνεχή φαινόμενα.
- Πολλές ασυνεχείς κατανομές πιθανοτήτων μπορούν να προσεγγιστούν μέσω της κανονικής κατανομής. Για παράδειγμα πολλά πληθυσμιακά χαρακτηριστικά, όπως το ύψος, το βάρος η βαθμολογία σε διαγώνισμα, κ.λπ.
- Η κανονική κατανομή αποτελεί σύμφωνα με το κεντρικό οριακό θεώρημα (το άθροισμα ενός ικανοποιητικά μεγάλου αριθμού ανεξάρτητων και ισόνομων τυχαίων μεταβλητών προσεγγίζεται από την κανονική κατανομή) τη βάση της στατιστικής συμπερασματολογίας ή επαγωγικής στατιστικής.
- Τυχαία σφάλματα που εμφανίζονται σε διάφορες μετρήσεις έχουν κανονική κατανομή. Γι' αυτό το λόγο η Κανονική κατανομή αναφέρεται πολλές φορές και ως κατανομή σφαλμάτων.

Η γραφική παράσταση της σχετιζόμενης συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας έχει σχήμα "καμπάνας", και είναι γνωστή ως Γκαουσιανή συνάρτηση ή κωδωνοειδής καμπύλη:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.1)$$



## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

όπου  $e$ , η βάση του λογάριθμου (2,71) ,  $\pi$  η γνωστή μαθηματική σταθερά (3,14159),  $\mu$  ο μέσος του πληθυσμού,  $\sigma > 0$  η τυπική απόκλιση του πληθυσμού και  $X$  μια τιμή της συνεχούς τυχαίας μεταβλητής στο διάστημα  $-\infty$  έως  $+\infty$ .

### 5.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ GAUSSIAN

Στην κανονική καμπύλη έχουμε ήδη αναφερθεί. Όπως όλες οι καμπύλες συχνοτήτων, προκύπτει ως προσέγγιση του πολυγώνου συχνοτήτων των τιμών μιας συνεχούς μεταβλητής. Αυξάνοντας, δηλαδή, το μέγεθος του δείγματος και κατασκευάζοντας το ιστόγραμμα με ολοένα και μικρότερου πλάτους κλάσεις ( $c \rightarrow 0$ ), το αντίστοιχο πολύγωνο προσεγγίζει μια ομαλή-λεία καμπύλη.



Η κανονική καμπύλη έχει κωδωνοειδή μορφή, είναι συμμετρική και οι «ουρές» της πλησιάζουν τον οριζόντιο άξονα ομαλά (ασυμπτωτικά). Η μέση τιμή και η διάμεσος ταυτίζονται. Επίσης, η κορυφή ταυτίζεται με τη μέση τιμή και τη διάμεσο. Έτσι, η περιοχή που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη πυκνότητα, βρίσκεται και αυτή στο μέσο της κατανομής. Δηλαδή, όταν οι τιμές μιας μεταβλητής είναι κανονικά κατανομημένες, τότε γύρω από τη μέση τιμή τους υπάρχουν σχετικά πολλές τιμές ενώ μακριά από τη μέση τιμή βρίσκονται σχετικά λίγες τιμές. Για παράδειγμα, αν το ύψος των ελλήνων, ηλικίας 18 έως 25 ετών, είναι κανονικά κατανομημένο, με μέση τιμή 170 cm και τυπική απόκλιση 5 cm, τότε μεταξύ 170 cm και 175 cm βρίσκονται περισσότερα άτομα από όσα βρίσκονται μεταξύ 180 cm και 185 cm. Επίσης, πολύ λίγα άτομα έχουν ύψος μεγαλύτερο από 185 cm ή μικρότερο από 155 cm.

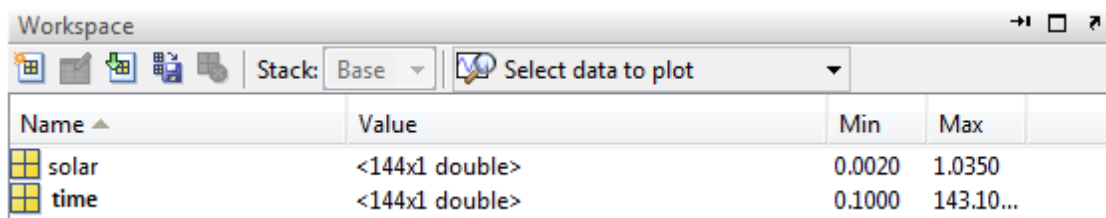
Συνήθως, η ομαλή καμπύλη μιας συνεχούς μεταβλητής μπορεί να περιγραφεί-προσεγγισθεί από ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο ονομάζεται συνάρτηση πυκνότητας. Η συνάρτηση πυκνότητας της κανονικής κατανομής έχει τύπο:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad -\infty < x < +\infty \quad (5.2)$$

όπου,  $\sigma > 0$  η τυπική απόκλιση και  $\mu$  η μέση τιμή της μεταβλητής, με  $-\infty < \mu < +\infty$ .

### 5.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ GAUSSIAN

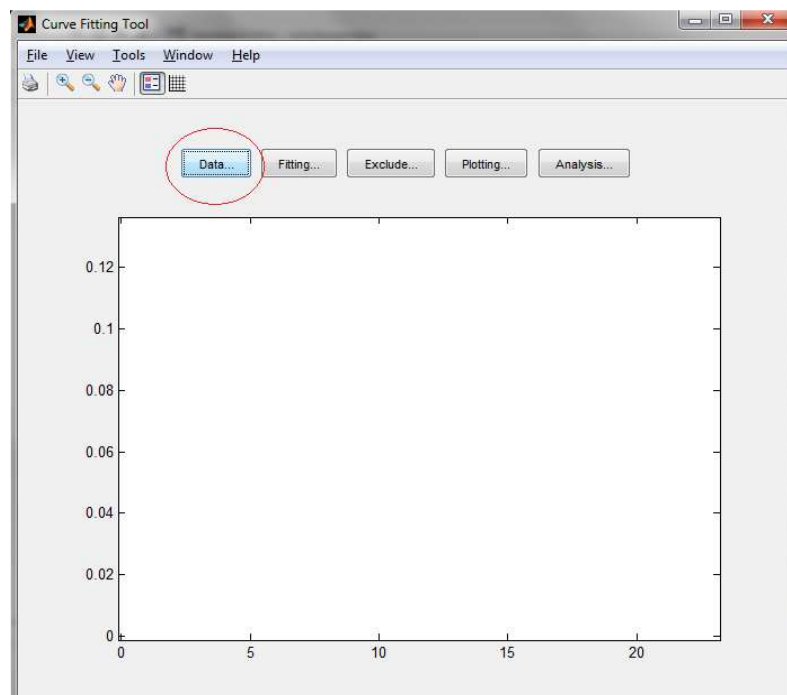
Αφού προσθέσουμε τις μετρήσεις και τις χρονικές περιόδους, βλέπουμε ότι οι μεταβλητές έχουν προστεθεί στο workspace στο Matlab. Και οι δύο παράμετροι έχουν το ίδιο μήκος, άρα τα δύο διανύσματα μπορούν να σχεδιαστούν σε ένα γράφημα. [2]



Name	Value	Min	Max
solar	<144x1 double>	0.0020	1.0350
time	<144x1 double>	0.1000	143.10...

Εικόνα 51

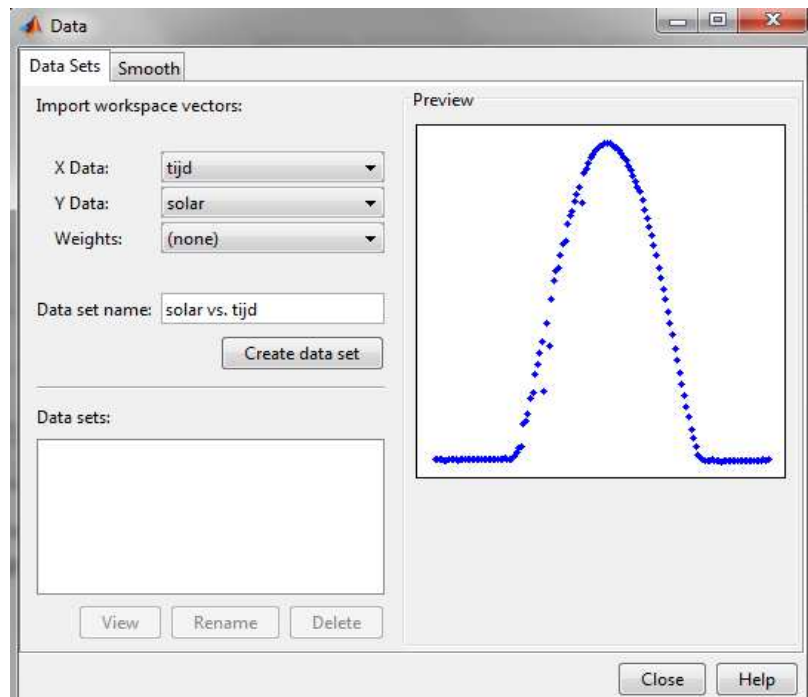
Τώρα, αφού υπάρχει διαθέσιμο το γράφημα, μπορούμε να προσθέσουμε το *fitting*. Για να σχεδιαστεί το γράφημα γράφουμε την εντολή *cftool* στο Mat lab. Κάνουμε κλικ στην επιλογή *Data* για να προσθέσουμε το γράφημα.



Εικόνα 52 : Data

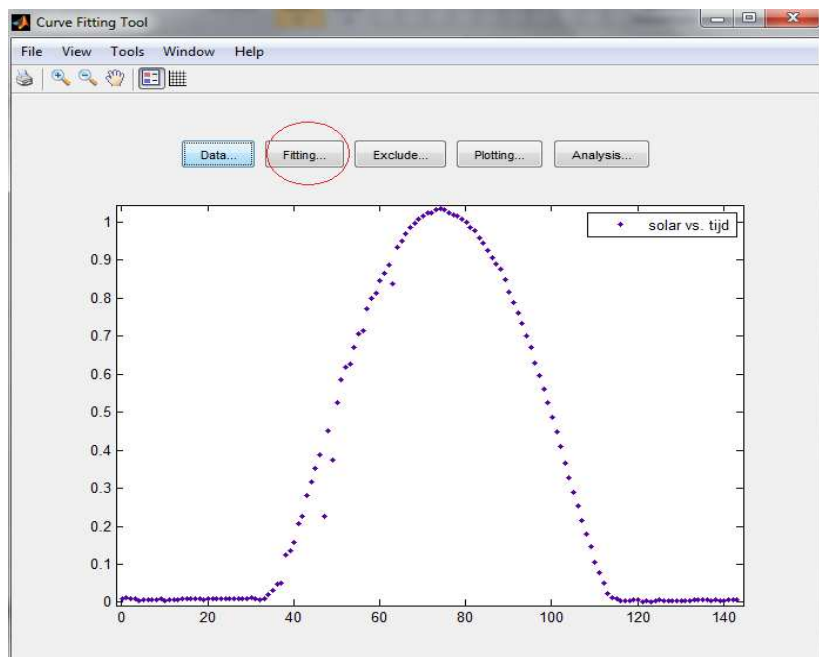
## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Οι μεταβλητές  $x$  και  $y$ , πρέπει να προστεθούν. Εδώ, το  $x$  είναι ο χρόνος και το  $y$  είναι η μεταβλητή *solar*. Κάνουμε κλικ στην επιλογή *create data set*, για την δημιουργία στοιχείων και τον σχεδιασμό της γραφικής παράστασης.



Εικόνα 53: Data input

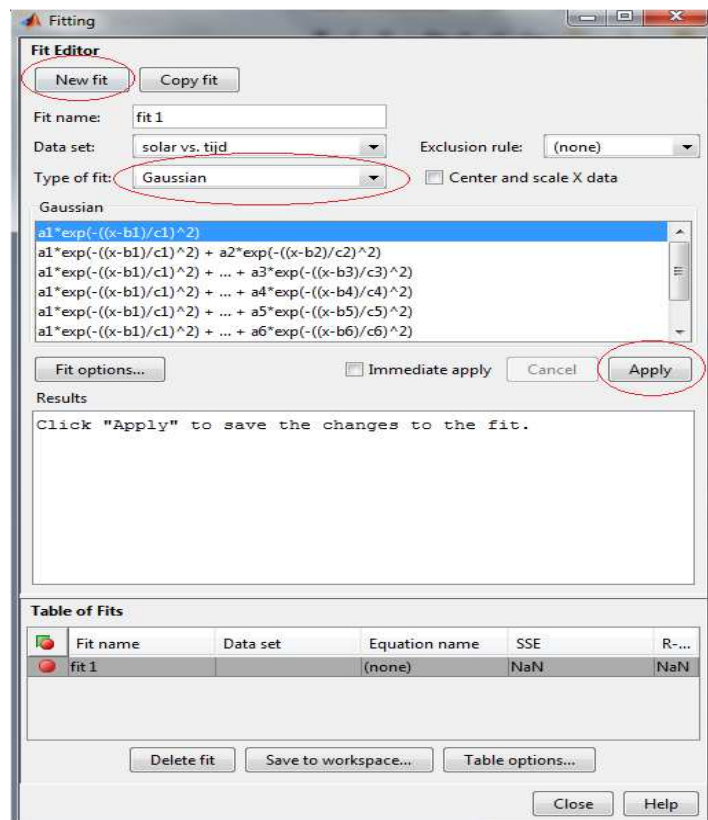
Το επόμενο βήμα είναι να προσθέσουμε το *fitting*. Κάνουμε κλικ στην επιλογή *fitting*.



Εικόνα 54: Fitting

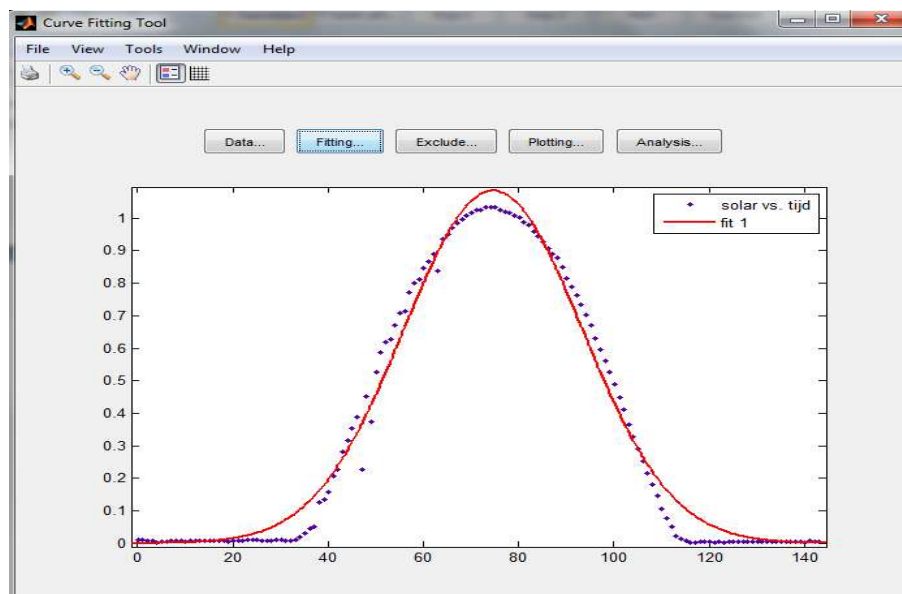
## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Για να προσθέσουμε το *fitting* κάνουμε κλικ στο *new fit* και αλλάζουμε τον τύπο σε Gaussian. Επιλέγουμε την επιθυμητή Gaussian, πχ την 6<sup>η</sup>, και πατάμε *apply*.



Εικόνα 55

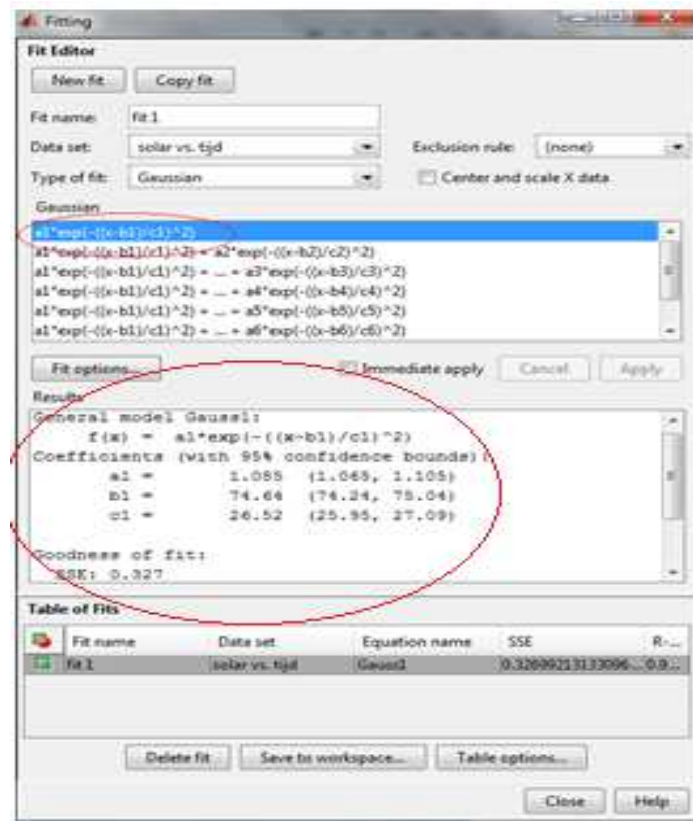
Τώρα θα δούμε το γράφημα με το *fitting*. Αν το *fitting* δεν είναι σωστό, τότε επιλέγουμε άλλον αριθμό Gaussian.



Εικόνα 56: Gaussian Fitting

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

Αφού εφαρμόσουμε την κατανομή Gaussian και το *fitting*, θα εμφανιστούν οι παράμετροι που υπολογίστηκαν από το Matlab. Αυτοί χρειάζονται σε υπολογισμούς αργότερα και θα αναλυθούν παρακάτω.



Εικόνα 57

### 5.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ GAUSSIAN 1<sup>0Y</sup> ΚΑΙ 2<sup>0Y</sup> ΒΑΘΜΟΥ

Όπως προαναφέραμε είναι πολύ σημαντικό να γίνει σωστή επιλογή του βαθμού κατανομής της εξίσωσης Gaussian. Θα πρέπει η επιλογή μας να γίνει ανάμεσα από 8 βαθμούς 1<sup>00</sup>, 2<sup>00</sup>, ..., κτλ. Σε αυτό το σημείο παρουσιάζονται ενδεικτικά ο πρώτος και ο δεύτερος βαθμός προσομοίωσης της κατανομής Gaussian όπως αυτός επεξεργάζεται μέσω του προγράμματος Matlab:

➤ Gaussian 1<sup>00</sup> Βαθμού:

```
if gaussian = 1;
```

```
gfit = fit(time,data,'gauss1');
```

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

```
a1 = gfit . a1;
```

```
b1 = gfit . b1;
```

```
c1 = gfit . c1;
```

Equation (εξίσωση) =  $a1 * \exp(-((time1-b1)./c1).^2)$ ;

➤ Gaussian 2<sup>ο</sup> Βαθμού:

```
if gaussian = 2;
```

```
gfit = fit(time,data,'gauss2');
```

```
a1 = gfit . a1;
```

```
b1 = gfit . b1;
```

```
c1 = gfit . c1;
```

```
a2 = gfit . a2;
```

```
b2 = gfit . b2;
```

```
c2 = gfit . c2;
```

Equation (εξίσωση) =  $a1 * \exp(-((time1-b1)./c1).^2) + a2 * \exp(-((time1-b2)./c2).^2)$ ;

Στα παραπάνω παραδείγματα χρησιμοποιούμε δεδομένα, από ένα excel file μέσα στο οποίο είναι αποθηκευμένες όλες μας οι μετρήσεις και χρησιμοποιούνται για την κατανομή Gauss. Χρονικό σημείο (time) κατά το οποίο έγιναν οι μετρήσεις , αποτελέσματα μετρήσεων (data) που θέλουμε να εξομοιώσουμε και τέλος τον βαθμό της κατανομής gauss που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

### 5.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΑΡΧΕΙΟΥ EXCEL

Στις εικόνες που ακολουθούν μας παρουσιάζονται κάποια από τα αποτελέσματα των μετρήσεων και ο τρόπος με τον οποίο αυτά αποθηκεύονται μέσα σε ένα αρχείο excel. Στην πρώτη εικόνα και στην στήλη B με την ένδειξη <<pyrano>> διακρίνονται οι μετρήσεις από το πυρανόμετρο το οποίο μετράει την ολική ηλιακή ακτινοβολία. Αντίστοιχα στην δεύτερη εικόνα και στην στήλη Q μας εμφανίζονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων του θερμομέτρου για τις τιμές της θερμοκρασίας.

<<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων.  
Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

	A	B	C
1	DATE	PYRANO	
2	1/1/05 0:06	-0,00493274	0
3	1/1/05 0:16	-0,00403587	0,16666667
4	1/1/05 0:26	-0,00493274	0,33333333
5	1/1/05 0:36	-0,00403587	0,5
6	1/1/05 0:46	-0,00403587	0,66666667
7	1/1/05 0:56	-0,00313901	0,83333333
8	1/1/05 1:06	-0,00403587	1
9	1/1/05 1:16	-0,00493274	1,16666667
10	1/1/05 1:26	-0,00403587	1,33333333
11	1/1/05 1:36	-0,00313901	1,5
12	1/1/05 1:46	-0,00403587	1,66666667
13	1/1/05 1:56	-0,00403587	1,83333333
14	1/1/05 2:06	-0,00313901	2
15	1/1/05 2:16	-0,00403587	2,16666667
16	1/1/05 2:26	-0,00403587	2,33333333
17	1/1/05 2:36	-0,00403587	2,5
18	1/1/05 2:46	-0,00403587	2,66666667
19	1/1/05 2:56	-0,00403587	2,83333333
20	1/1/05 3:06	-0,00403587	3
21	1/1/05 3:16	-0,00403587	3,16666667
22	1/1/05 3:26	-0,00403587	3,33333333
23	1/1/05 3:36	-0,00403587	3,5
24	1/1/05 3:46	-0,00403587	3,66666667
25	1/1/05 3:56	-0,00403587	3,83333333
26	1/1/05 4:06	-0,00403587	4
27	1/1/05 4:16	-0,00313901	4,16666667
28	1/1/05 4:26	-0,00403587	4,33333333
29	1/1/05 4:36	-0,00403587	4,5
30	1/1/05 4:46	-0,00403587	4,66666667
31	1/1/05 4:56	-0,00403587	4,83333333
32	1/1/05 5:06	-0,00403587	5
33	1/1/05 5:16	-0,00403587	5,16666667
34	1/1/05 5:26	-0,00403587	5,33333333
35	1/1/05 5:36	-0,00403587	5,5
36	1/1/05 5:46	-0,00403587	5,66666667
37	1/1/05 5:56	-0,00403587	5,83333333
38	1/1/05 6:06	-0,00403587	6
39	1/1/05 6:16	-0,00403587	6,16666667
40	1/1/05 6:26	-0,00403587	6,33333333
41	1/1/05 6:36	-0,00403587	6,5
42	1/1/05 6:46	-0,00403587	6,66666667
43	1/1/05 6:56	-0,00313901	6,83333333
44	1/1/05 7:06	-0,00403587	7
45	1/1/05 7:16	-0,00313901	7,16666667
46	1/1/05 7:26	-0,00134529	7,33333333

Εικόνα 58 : Μετρήσεις  
πυρανόμετρου

# <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

1	A	B	windsnelheid meter 1			windsnelheid meter 1			K	L	M	N	O	P	Q		
			m/s	m/s	control	m/s	m/s	report								direction in C°	T
2	Datum	tijd	10m	19m	average	10m	19m	average	direction average	direction average							
3																	
4	15042010	1650	3,4	6,4	4,94	0,557	3,4	6,4	4,9	0,53	67,2	124,8	90,7	9,2	21	21,4	21,138
5	15042010	1700	4,1	7,2	5,52	0,5	3,4	7,1	5,46	0,5	77	126,2	98,5	7,7	21	21,8	21,125
6	15042010	1710	3,4	6,4	5	0,633	3,4	5,6	4,86	0,52	77	131,9	107,8	11,6	20,6	21,4	21,013
7	15042010	1720	3,4	7,9	5,03	0,749	3,4	6,4	4,89	0,693	95,3	130,5	112,9	6,7	20,6	21	20,669
8	15042010	1730	3,4	4,9	4,17	0,448	3,4	4,9	4,03	0,374	99,5	136,1	113,6	7,3	20,2	20,6	20,275
9	15042010	1740	3,4	4,9	4,06	0,425	3,4	4,9	3,97	0,388	92,5	129,1	110,9	7,6	19,9	20,2	20,131
10	15042010	1750	2,6	4,9	3,65	0,48	2,6	4,9	3,59	0,469	93,9	130,5	109,8	7,7	19,9	20,2	19,975
11	15042010	1800	0,3	4,1	3,14	0,664	0,3	4,1	3,01	0,801	91,1	116,4	105,7	5,6	19,5	19,9	19,894
12	15042010	1810	0,3	4,1	1,39	1,234	0,3	4,1	1,18	1,209	91,1	129,1	110,1	6,9	19,5	19,9	19,819
13	15042010	1820	0,3	3,4	0,97	1,05	0,3	3,4	0,78	0,928	75,6	119,2	94,1	9,6	19,5	19,9	19,525
14	15042010	1830	0,3	4,1	1,36	1,361	0,3	4,9	1,11	1,289	85,5	144,5	114,1	10,6	19,1	19,9	19,463
15	15042010	1840	0,3	4,9	2,59	1,508	0,3	4,9	3,29	1,433	106,6	158,6	134,3	10,1	18,8	19,1	19,038
16	15042010	1850	2,6	6,4	4,52	0,686	3,4	6,4	5,01	0,575	112,2	172,7	142	7,4	19,1	19,5	19,2
17	15042010	1900	0,3	5,6	4	0,831	0,3	6,4	4,35	0,775	105,2	153	131,1	9,9	18,4	19,5	18,994
18	15042010	1910	1,1	6,4	4,29	0,656	2,6	6,4	4,29	0,625	95,3	150,2	121,1	9,6	18,4	18,8	18,6
19	15042010	1920	2,6	7,9	4,93	0,944	3,4	7,1	4,92	0,843	99,5	154,4	124,1	9	18,4	19,1	18,763
20	15042010	1930	2,6	6,4	4,59	0,708	3,4	6,4	4,71	0,584	100,9	153	125,2	8,3	18,4	19,1	18,594
21	15042010	1940	0,3	7,2	4,46	0,944	1,1	6,4	4,69	0,756	105,2	147,3	125,7	9,4	18	19,1	18,456
22	15042010	1950	2,6	7,9	4,6	0,831	2,6	7,1	5,01	0,813	93,9	160	132,6	9,3	18,4	19,5	18,8
23	15042010	2000	1,9	6,4	4,52	0,749	2,6	6,4	4,82	0,617	105,2	164,2	129,3	9,2	18,4	19,5	18,869
24	15042010	2010	0,3	6,4	4,34	0,617	2,6	6,4	4,24	0,548	99,5	145,9	122	7,3	18,4	19,1	18,694
25	15042010	2020	1,9	6,4	4,38	0,601	2,6	5,6	4,28	0,557	78,4	145,9	118,3	8,4	18,4	19,1	18,838
26	15042010	2030	1,9	6,4	4,69	0,686	3,4	6,4	4,55	0,625	92,5	155,8	120,3	8,2	18,4	19,1	18,725
27	15042010	2040	3,4	7,2	4,93	0,633	3,4	6,4	4,8	0,52	98,1	143,1	120,4	9,3	18,4	19,1	18,831
28	15042010	2050	2,6	6,4	4,95	0,617	3,4	6,4	4,76	0,539	92,5	145,9	118,7	7,6	18	19,1	18,694
29	15042010	2100	3,4	7,2	5,28	0,609	3,4	6,4	5,11	0,575	98,1	137,5	119	7,3	18	19,5	18,606
30	15042010	2110	3,4	7,2	5,5	0,813	3,4	7,1	5,29	0,693	92,5	138,9	118,6	9,9	18,4	19,5	18,981
31	15042010	2120	2,6	7,2	4,96	0,693	3,4	7,9	5,31	0,831	89,7	164,2	127,5	12,7	18	18,8	18,431
32	15042010	2130	3,4	7,2	5	0,584	3,4	7,1	5,08	0,656	102,3	150,2	123,4	9,2	17,6	18,8	18,169
33	15042010	2140	3,4	7,2	5,19	0,729	3,4	7,1	5,54	0,794	105,2	161,4	128,7	9,9	17,6	18,4	18,113
34	15042010	2150	3,4	7,2	5,27	0,742	3,4	7,9	5,77	0,715	100,9	158,6	132,7	9,3	18	18,8	18,3
35	15042010	2200	3,4	6,4	4,95	0,641	3,4	7,1	5,31	0,701	74,2	151,6	128,4	9,2	17,6	18,4	18,063
36	15042010	2210	2,6	7,2	5,17	0,749	3,4	7,9	5,7	0,756	102,3	161,4	131,8	11,3	18	18,4	18,219
37	15042010	2220	3,4	7,9	5,61	0,965	4,1	8,7	6,32	0,775	112,2	171,2	140,1	8,3	18,4	19,5	18,688
38	15042010	2230	3,4	7,2	5,04	0,794	4,1	7,9	5,71	0,715	110,8	160	135	10,1	18	19,5	18,663
39	15042010	2240	3,4	7,9	5,66	0,89	4,9	7,9	6,31	0,664	117,8	162,8	140,9	8,7	18,4	19,1	18,95
40	15042010	2250	3,4	7,9	5,89	0,831	4,1	7,9	6,37	0,633	116,4	162,8	143,2	8,8	18,8	19,5	19,025
41	15042010	2300	3,4	7,2	5,21	0,89	4,1	7,9	5,75	0,819	115	172,7	142,3	9,9	18,8	19,1	18,981
42	15042010	2310	1,1	7,2	5,15	0,884	3,4	7,9	5,68	0,794	105,2	167	140,2	9,6	18,8	19,9	19,113
43	15042010	2320	2,6	7,9	4,7	0,831	3,4	7,9	5,19	0,813	106,6	168,4	134,8	11,3	18,4	19,5	18,925
44	15042010	2330	3,4	7,9	5,13	0,901	4,1	7,9	5,74	0,819	110,8	164,2	139,5	9,8	18,8	19,5	19,088
45	15042010	2340	3,4	7,9	5,48	0,895	4,1	8,7	6,05	0,843	112,2	167	141	9,1	18,8	19,5	19,175
46	15042010	2350	3,4	7,9	5,52	1,086	4,1	7,9	6,03	0,944	108	167	142,7	9,6	18,8	19,5	19,15
47	16042010	0	3,4	7,9	5,7	0,975	3,4	8,7	6,17	0,849	112,2	169,8	144,1	10,5	18,8	19,5	19,25
48	16042010	10	2,6	9,4	5,85	1,146	3,4	9,4	6,2	0,986	115	172,7	146,3	10,1	18,8	19,5	19,25
49	16042010	20	3,4	7,9	5,53	0,895	3,4	7,9	5,87	0,837	113,6	174,1	146,4	10,7	18,8	19,5	19,281
50	16042010	30	3,4	8,7	6,21	1,119	4,1	8,7	6,53	0,944	116,4	176,9	146,8	9,2	19,1	19,5	19,313
51	16042010	40	3,4	9,4	6,44	1,176	4,1	9,4	6,76	1,03	122	175,5	148,1	10,4	18,8	19,5	19,225
52	16042010	50	4,1	10,2	6,81	1,035	4,9	9,4	7,09	0,928	124,8	179,7	148,4	9,9	19,1	19,5	19,294
53	16042010	100	4,1	9,4	6,9	1,086	4,9	9,4	7,24	0,97	122	176,9	148,9	8,2	19,1	19,5	19,3
54	16042010	110	4,1	10,2	7,03	1,184	4,1	10,9	7,44	1,026	113,6	174,1	147,5	9,2	19,1	19,5	19,369
55	16042010	120	3,4	9,4	6,58	1,03	4,9	10,2	7,01	0,975	117,8	181,1	147,2	12,9	19,1	19,9	19,463
56	16042010	130	4,1	10,2	6,76	1,372	4,9	10,2	7,13	1,218	120,6	179,7	148,6	9,6	19,1	19,9	19,319

Εικόνα 59 : Αποτελέσματα των μετρήσεων του θερμομέτρου για τις τιμές της θερμοκρασίας



## 5.6 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Με την βοήθεια των μετρήσεων μέσω του excel και του matlab παρουσιάζονται παρακάτω τα γραφήματα από τους υπολογισμούς μας. Επίσης στον πίνακα που ακολουθεί αναγράφονται τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε στους υπολογισμούς αυτούς.

\	Δεδομένα	Επιλογή
1	Εύρος μετρήσεων	144 (1 ημέρα)
2	Τύπος φωτοβολταϊκού πάνελ	πολυκρυσταλλικό
3	Μήκος φωτοβολταϊκού πάνελ (m)	1
4	Πλάτος φωτοβολταϊκού πάνελ (m)	1
5	Αποδοτικότητα του φωτοβολταϊκού πάνελ (%/100)	0.16
6	Έτος τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ	2010 (0,25 €/Kwh)
7	Αριθμός φωτοβολταϊκών πάνελ χρησιμοποιήθηκαν	10
8	Βαθμός Gaussian	2

### 5.6.1 Συντελεστής θερμοκρασίας

Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, τόσο χαμηλότερη θα είναι η αποδοτικότητα. Αυτό εξαρτάται από το είδος του πάνελ που χρησιμοποιείται. Παραδείγματος χάρη, ένα άμορφο φωτοβολταϊκό πάνελ δεν είναι τόσο εξαρτώμενο από την θερμοκρασία όσο ένα μονοκρυσταλλικό πάνελ. Αυτό συμβαίνει επειδή η απόδοση ενός άμορφου φωτοβολταϊκού πάνελ είναι μικρότερη από ένα μονοκρυσταλλικό, κάνοντας την απόδοση να μην μειωθεί όσο στα άλλα πάνελ.

### 5.6.2 Τιμή ανά KW

Στα δεδομένα του προγράμματος εισάγαμε το έτος που τοποθετήθηκαν τα φωτοβολταϊκά πάνελ καθώς αυτό έχει άμεση σχέση με την τιμή της κιλοβατώρας.

- Τρέχουσα τιμή πώλησης σε φωτοβολταϊκή στέγη(έως 10 kW): 0,25 €/kwh
- Τρέχουσα τιμή πώλησης σε φωτοβολταϊκό πάρκο(έως 100 kW): 0,21 €/kwh

### 5.6.3 Υπολογισμός της επιφάνειας ενός φωτοβολταϊκού πάνελ

Για τον υπολογισμό της επιφάνειας ενός φωτοβολταϊκού πάνελ, το πρόγραμμα πολλαπλασιάζει τα αποτελέσματα από τα input boxes *Length1* και *Width1*.

$$\text{area\_1\_solar\_panel1} = \text{length1} * \text{width1}; \text{ σε 'm}^2\text{'}$$

### 5.6.4 Υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πάνελ

Η συνολική επιφάνεια είναι η επιφάνεια του ενός πάνελ πολλαπλασιαζόμενο με τον αριθμό των ηλιακών πάνελ.

$$\text{area\_total\_solar\_panels1} = \text{area\_1\_solar\_panel1} * \text{number\_of\_panels1}; \text{ σε 'm}^2\text{'}$$

### 5.6.5 Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας

Σε αυτό το βήμα γίνεται υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας με την βοήθεια της κατανομής Gaussian.

$$\text{gaussian} = 2;$$

$$\text{gfit} = \text{fit}(\text{time\_1}, \text{sun\_power1}, \text{f1});$$

$$\text{a1} = \text{gfit} . \text{a1};$$

$$\text{b1} = \text{gfit} . \text{b1};$$

$$\text{c1} = \text{gfit} . \text{c1};$$

$$\text{a2} = \text{gfit} . \text{a2};$$

$$\text{b2} = \text{gfit} . \text{b2};$$

$$\text{c2} = \text{gfit} . \text{c2};$$

$$\text{power\_radiation} = \text{a1} * \exp(-((\text{time1}-\text{b1}) ./ \text{c1}).^2) + \text{a2} * \exp(-((\text{time1}-\text{b2}) ./ \text{c2}).^2);$$

#### 5.6.6 Υπολογισμός της ισχύος ενός φωτοβολταϊκού πάνελ σε Kw

Υπολογισμός της ισχύος ενός φωτοβολταϊκού πάνελ. Αυτό γίνεται υστέρτα από υπολογισμούς με την χρήση του τύπου που ακολουθεί με την χρήση της ηλιακής ακτινοβολίας, του συντελεστή θερμοκρασίας και το εμβαδό του πάνελ:

$$power\_solar\_panel = power\_radiation * area\_1\_solar\_panel1 * panel\_efficiency1 * coef1;$$

#### 5.6.7 Υπολογισμός της συνολικής ισχύος των φωτοβολταϊκών πάνελ σε Kw

Η συνολική ισχύς των φωτοβολταϊκών πάνελ προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό της ισχύος του ενός πάνελ, με τον συνολικό αριθμό των πάνελ που θα τοποθετηθούν.

$$total\_power\_solar\_panel = power\_solar\_panel * number\_of\_panels1;$$

#### 5.6.8 Υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ

Για τον υπολογισμό της ενέργειας που παράγει το ένα πάνελ, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί την εντολή *trapz*, η οποία υπολογίζει την περιοχή κάτω από το γράφημα. Η περιοχή αυτή είναι ίση με την ισχύ ενός ηλιακού πάνελ.

$$Produced\_energy\_1\_solar\_panel = trapz(time1, power\_solar\_panel); \text{ σε } Kwh$$

#### 5.6.9 Υπολογισμός της ολικής παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ

Ο υπολογισμός γίνεται όπως ακριβώς με ένα ηλιακό πάνελ, αλλά εδώ περιλαμβάνονται όλοι οι ηλιακοί συλλέκτες.

## <<Συλλογή ,επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων. Αξιολόγηση αιολικού και ηλιακού δυναμικού μιας περιοχής>>

*Total\_Produced\_energy\_solar\_panel = trapz(time1, total\_power\_solar\_panel); σε  
Kwh*

### 5.6.10 Κέρδος από ένα ηλιακό πάνελ

Για να υπολογίσουμε το κέρδος από ένα ηλιακό πάνελ, το πρόγραμμα πολλαπλασιάζει την ενέργεια που παράγεται με την τιμή ανά kW.

*profit\_1\_solar\_panels = Produced\_energy\_1\_solar\_panel \* price\_kw\_energy; σε  
ευρώ*

### 5.6.11 Συνολική κέρδος όλων των πάνελ

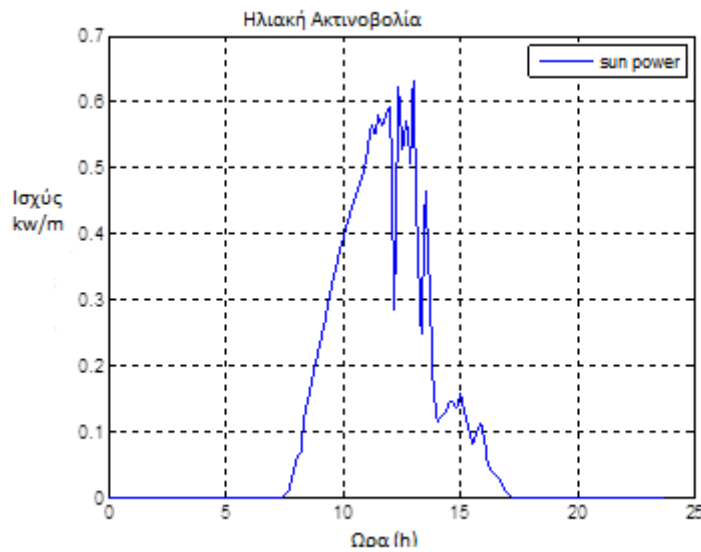
Ο υπολογισμός γίνεται ακριβώς όπως με το ένα ηλιακό πάνελ, με την διαφορά ότι τώρα χρησιμοποιούμε την ενέργεια που παράγεται από όλους τους ηλιακούς συλλέκτες.

*Profit\_total\_solar\_panels= Total\_Produced\_energy\_solar\_panel\* price\_kw\_energy;  
σε ευρώ*

## 5.7 ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

### 5.7.1 Ηλιακή ακτινοβολία

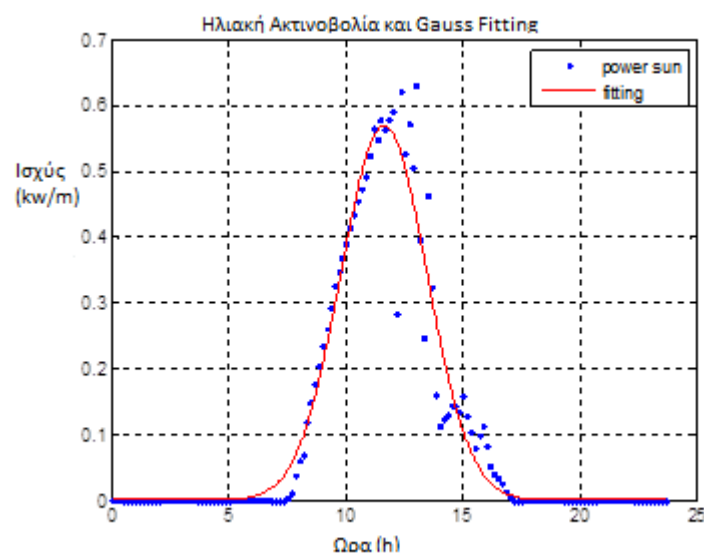
Η γραφική παράσταση της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει την συνολική ενέργεια που προσφέρει ο ήλιος για μία ημέρα ή ένα μήνα. Οι κάτω κορυφές είναι σύννεφα που μπλοκάρουν τον ήλιο από τον εξοπλισμό των μετρήσεων. Στον άξονα x, ο χρόνος είναι σε ώρες. Το παράδειγμα αυτό χρησιμοποιεί μία ημέρα και η ενέργεια που παράγεται από τον ήλιο στον άξονα y είναι σε kW/m<sup>2</sup>.



Εικόνα 60: Ηλιακή Ακτινοβολία

### 5.7.2 Ηλιακή ακτινοβολία με Gaussian fitting

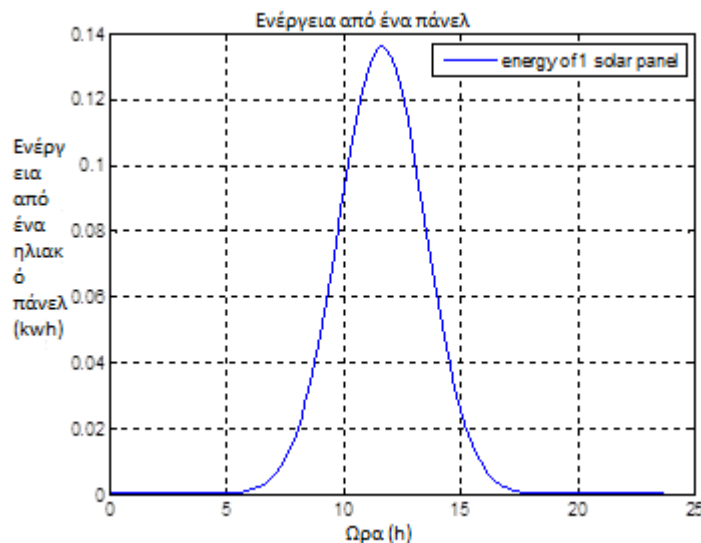
Στο γράφημα αυτό χρησιμοποιείται *Gaussian fitting*. Οι παράμετροι ποιότητας υπολογίζονται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αργότερα για περαιτέρω υπολογισμούς.



Εικόνα 61: Ηλιακή Ακτινοβολία και Gauss fitting

### 5.7.3 Ενέργεια από ένα ηλιακό πάνελ

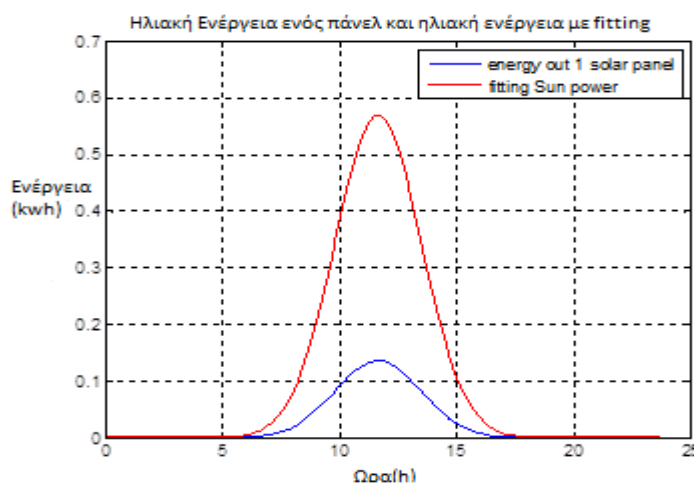
Η ενέργεια από ένα ηλιακό πάνελ είναι σαφώς λιγότερη από αυτή που παράγει ο ήλιος. Η αποδοτικότητα των ηλιακών πάνελ είναι σχετικά χαμηλή, διότι, ανάλογα με τον τύπο των πάνελ, αυτή εξισορροπείται γύρω στο 12-14%.



Εικόνα 62 : Ενέργεια από ένα πάνελ

### 5.7.4 Συνολική ενέργεια από τα ηλιακά πάνελ

Η συνολική ενέργεια των ηλιακών πάνελ μπορεί να υπολογιστεί με τον πολλαπλασιασμό της ισχύος του ενός ηλιακού πάνελ με τον αριθμό των ηλιακών συλλεκτών που έχουν τοποθετηθεί. Η αποδοτικότητα τους μπορεί να παρατηρηθεί στο γράφημα.

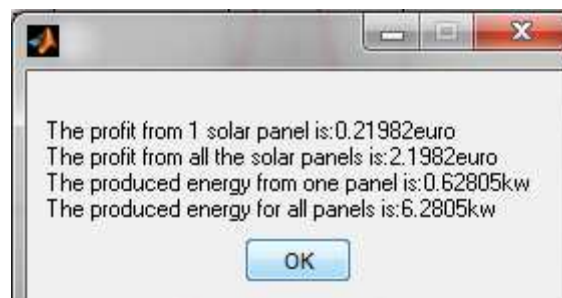


Εικόνα 63 : Ενέργεια από ένα πάνελ και ηλιακή ενέργεια με fitting

### 5.7.5 Συγκεντρωτικό message box

Στο τέλος του προγράμματος εμφανίζεται ένα message box με τα εξής συγκεντρωτικά αποτελέσματα:

- Κέρδος από ένα ηλιακό πάνελ
- Συνολικό κέρδος όλων των πάνελ
- Υπολογισμός της παραγόμενης ενέργειας από ένα φωτοβολταϊκό πάνελ
- Υπολογισμός της ολικής παραγόμενης ενέργειας από τα φωτοβολταϊκά πάνελ



Εικόνα 64: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα

## Βιβλιογραφία

- [1] <http://meteo.epp.teiher.gr/site/>
- [2] <http://nl.wikipedia.org/wiki/MATLAB>
- [3] <http://www.mathworks.com/help/techdoc/index.html>
- [4] <http://www.deddie.gr/>
- [5] <http://www.desmie.gr/>
- [6] <http://www.rae.gr/site/portal.csp>
- [7] <http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=285>
- [8] [http://www.cres.gr/kape/energeia\\_politis/energeia\\_politis.htm](http://www.cres.gr/kape/energeia_politis/energeia_politis.htm)
- [9] [http://el.wikipedia.org/wiki/Ανανεώσιμες\\_πηγές\\_ενέργειας](http://el.wikipedia.org/wiki/Ανανεώσιμες_πηγές_ενέργειας)
- [10] <<Διαχείριση της αιολικής ενέργειας>> Ιωάννης Κλεάνθη Καλδέλης εκδόσεις Σταμούλη 2005.
- [11] <<Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας> Δημήτρης Αλ. Κατσαπράκης
- [12] <<Ενέργεια από τον ήλιο>> Ν.Α. Μυλωνά
- [13] <http://www.wel.teicrete.gr/>
- [14] <<Φωτοβολταϊκά Συστήματα>>, Ι.Ε. Φραγκιαδάκης, Εκδόσεις Ζήτη, 2<sup>η</sup> Έκδοση
- [15] <http://www.solar-systems.gr/photovoltaic-stand-alone-hybrid.html>
- [16] [http://ditumetric.com/gr/index.php?option=com\\_content&view=article&id=73&Itemid=111](http://ditumetric.com/gr/index.php?option=com_content&view=article&id=73&Itemid=111)
- [17] [http://irealty.gr/advice\\_tips/ta-eidi-ton-fotovolta%CF%8Akon/](http://irealty.gr/advice_tips/ta-eidi-ton-fotovolta%CF%8Akon/)
- [18] << Evaluation of meteorological data for computations of regenerative energy systems>> Prof. Andreas Vlisidis
- [19] <http://fmtulab.wikidot.com/iaero:ebook-c01>
- [20] [http://www.rae.gr/site/categories\\_new/consumers/know\\_about/electricity/production.csp](http://www.rae.gr/site/categories_new/consumers/know_about/electricity/production.csp)
- [21] [http://www.energotech.gr/index.php?option=com\\_content&task=view&id=15&Itemid=31](http://www.energotech.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=15&Itemid=31)
- [22] [http://helios.teiath.gr/patheogk/anadromh.files/11\\_Photov%20syst\\_%28Tsiligridis%29.pdf](http://helios.teiath.gr/patheogk/anadromh.files/11_Photov%20syst_%28Tsiligridis%29.pdf)