

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ Εφαρμοσμένης Πληροφορικής και Πολυμέσων



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ



- **Τίτλος Πτυχιακής:** «Συλλογή και επεξεργασία Μετεωρολογικών Δεδομένων. Ανάπτυξη μοντέλων για την αξιολόγηση του Αιολικού και Ηλιακού δυναμικού περιοχής.»

Τομέας: *Επικοινωνιών και Πολυμέσων*

Εισηγητής Καθηγητής: κ. Βλησίδης Ανδρέας

Σπουδαστές: Δασκαλάκης Γεώργιος & Καλεντάκης Κώστας

Α.Μ. : 1944 & 1873

Ηράκλειο 2015

ΠΡΟΛΟΓΟΣ / ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιλογή του θέματος της πτυχιακής εργασίας απορρέει από το ενδιαφέρον να ασχοληθούμε με τον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας καθώς και την συλλογή και την επεξεργασία των μετεωρολογικών δεδομένων διαφόρων περιοχών. 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, στο Ηράκλειο και στα Χανιά. Επίσης το πεδίο της έρευνας επικεντρώνεται στην ανάλυση των μετρήσεων της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας και της θερμοκρασίας. Η αιολική αλλά και η ηλιακή ενέργεια αποτελούν μια μορφή ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, οι οποίες αναπτύσσονται έντονα τα τελευταία χρόνια και θα συνεχιστούν να αναπτύσσονται με γοργούς ρυθμούς στο μέλλον. Παρατηρώντας τη γενική ανησυχία που επικρατεί σχετικά με την κλιματική αλλαγή τώρα, αλλά και στο μέλλον συνειδητοποιεί κανείς την σημασία της παραγωγής ενέργειας από διάφορες ανανεώσιμες πηγές. Τέλος, σκοπός της συγκεκριμένης εργασίας είναι η συλλογή, επεξεργασία μετεωρολογικών δεδομένων και η αξιολόγηση αιολικού δυναμικού και της ηλιακής ακτινοβολίας μιας περιοχής. Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η δημιουργία προγράμματος με την χρήση του Matlab, το οποίο μπορεί και συγκρίνει την ηλιακή ακτινοβολία και το αιολικό δυναμικό (ποιότητα) σε μια περιοχή. Συγκεκριμένα, παίρνει τις μετεωρολογικές μετρήσεις από ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά πάνελ που πρόκειται να εγκατασταθούν σε κάποιες τοποθεσίες και υπολογίζει την ενέργεια που παράγουν. Είναι αρκετά χρήσιμο αν θέλουμε, παραδείγματος χάρη να επενδύσουμε σε ένα αιολικό ή ηλιακό πάρκο, να ξέρουμε από πριν την κατάλληλη τοποθεσία για την μέγιστη δυνατή απόδοση. Με τον υπολογισμό της ποιότητας του αέρα, ο επενδυτής μπορεί να αποφασίσει αν η συγκεκριμένη περιοχή θα είναι ανταποδοτική και κερδοφόρα ή όχι.

Οι περιοχές όπου πραγματοποιήθηκαν οι μετρήσεις είναι μια ορεινή περιοχή έξω από τα Χανιά, ύψους 900 μέτρων (αιολικό δυναμικό) και ένας χώρος στο ΤΕΙ Ηρακλείου, ύψους 90 μέτρων.

Το πρόγραμμα αυτό φτιάχτηκε όχι μόνο για να είναι χρήσιμο στο Ηράκλειο ή στα Χανιά, αλλά και σε οποιαδήποτε άλλη θέση της Κρήτης, της Ελλάδας ή παγκοσμίως, έχοντας υπόψη σε μορφή EXCEL τα μετεωρολογικά δεδομένα.

Abstract

The subject of this thesis is to create a program using the Matlab, which can compare the solar radiation and the wind potential (quality) in an area. Specifically, it takes the meteorological measurements of wind turbines and solar panels to be installed in some locations and calculates the energy they produce. It is quite useful, if you want for example to invest in a wind or solar park, to know in advance the appropriate location for maximum efficiency. By calculating the air quality, the investor can decide whether this area will be regarding and profitable or not.

The area where the measurements were taken is a mountainous region outside of Chania of Crete, height of 900 meters (wind potential) and an area in Heraklion of Crete (Laboratory), with a height of 90 meters.

The program was created not only to be useful in Heraklion or Chania, but also in any other place in Crete, Greece or worldwide, having regard in EXCEL format meteorological data.

Ευχαριστίες

Ευχαριστούμε τον καθηγητή κ. Αντρέα Βλησίδα για την συνεργασία που είχαμε στην πτυχιακή μας εργασία, καθώς και την υποστήριξη από το εργαστήριο συλλογής και επεξεργασίας μετεωρολογικών δεδομένων. Επίσης θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους Μαυραειδή Βασίλη και Κεχρή Κατερίνα για την συνεργασία και τις πληροφορίες που μας έδωσαν για παρόμοια πτυχιακή εργασία που έκαναν στο εργαστήριο.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1ο

- 1.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ).....σελ. 7
- 1.2 ΜΟΡΦΕΣ ΤΩΝ ΑΠΕ σελ. 9
- 1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Α.Π.Ε. σελ. 9
 - 1.3.1 Τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας σελ. 10
 - 1.3.2 Τα Μειονεκτήματα των ανανεώσιμων μορφών ενέργειας: σελ. 11

Κεφάλαιο 2ο

- 2.1 Ανεμος – Αιολική ενέργεια σελ. 12
 - 2.1.1 Εφαρμογές αιολικής ενέργειας σελ. 14
 - 2.1.2 Αιολικά πάρκα στην Ελλάδα σελ. 14
 - 2.1.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ σελ. 19
 - 2.1.4 ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ σελ. 20
 - 2.1.5 Γενικά γνωρίσματα του ανέμου σελ. 20
 - 2.1.6 Η Διεύθυνση του Ανέμου σελ. 22
 - 2.1.7 Η ταχύτητα του ανέμου σελ. 23
- 2.2 Η Ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου σελ. 25
- 2.3 Η διακύμανση της ταχύτητας του ανέμου και η ατμοσφαιρική τύρβη σελ. 29
- 2.4 ΤΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ σελ. 31
 - 2.4.1 Μετρήσεις σελ. 32
 - 2.4.2 Προσδιορισμός αιολικού δυναμικού μιας περιοχής, η ένταση του ανέμου σελ. 33
 - 2.4.3 Διεύθυνση του ανέμου σελ. 35
 - 2.4.4 Η μέτρηση της διεύθυνσης του ανέμου σελ. 36

- 2.4.5 Συστήματα ανεμολογικών μετρήσεων σελ. 37
- 2.5 ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ σελ. 37
 - 2.5.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΙΑΣ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ σελ. 38
 - 2.5.2 ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ σελ. 38
 - 2.5.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ σελ. 41
 - 2.5.4 ΜΕΡΗ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ σελ. 43
- 2.6 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ “WIND” σελ. 45
 - 2.6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ σελ. 45
 - 2.6.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL σελ. 46
 - 2.6.3 ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΕΝΤΟΛΩΝ σελ. 48
- 2.7 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ σελ. 58
 - 2.7.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ σελ. 59
 - 2.7.2 ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ σελ. 59
 - 2.7.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ σελ. 65
- 2.8 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ σελ. 70
 - 2.8.1 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ σελ. 71
 - 2.8.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ σελ. 71
 - 2.8.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ σελ. 73
 - 2.8.4 Παράδειγμα ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΥ 2010 σελ. 72

Κεφάλαιο 3ο

- 3.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ σελ. 75
- 3.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ σελ. 76
- 3.3 Η ΤΡΟΧΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ σελ. 77
- 3.4 ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΡΟΧΙΑΣ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ σελ. 81
- 3.5 Η ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΗΣ ΓΗΣ σελ. 83
- 3.6 ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΗΝ ΓΙΝΗ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΑ σελ. 84

- 3.7 ΟΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ σελ. 85**
 - 3.7.1 Πυρανόμετρο CM11 σελ. 87**
 - 3.7.2 Μετρητής υγρασίας και θερμόμετρο SKH 2011 σελ. 87**
 - 3.7.3 Βαρόμετρο BS4 σελ. 87**
- 3.8 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ σελ. 89**
 - 3.8.1 Μετρούμενα μεγέθη σελ. 92**
- 3.9 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ σελ. 92**
 - 3.9.1 Φωτοβολταϊκά στοιχεία ή ηλιακοί συλλέκτες σελ. 94**
- 3.10 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ σελ. 96**
- 3.11 ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ σελ. 97**
- 3.12 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ σελ. 100**
- 3.13 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ σελ. 101**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

- 4.0 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ σελ. 103**
- 4.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ GAUSSIAN σελ. 103**
- 4.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ GAUSSIAN σελ. 104**
- 4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ GAUSSIAN σελ. 105**
- 4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ GAUSSIAN 1ΟΥ ΚΑΙ 2ΟΥ ΒΑΘΜΟΥ σελ. 107**
- 4.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ σελ. 109**
- 4.6 ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ σελ. 112**
- Βιβλιογραφία σελ. 118**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.1 ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (ΑΠΕ)



Η σύγχρονη εποχή χαρακτηρίζεται από την τεράστια κλιματική αλλαγή της τελευταίας εκατονταετίας εξαιτίας του φαινομένου του θερμοκηπίου που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας κι ως συνέπεια την αύξηση της στάθμης των θαλάσσιων υδάτων και την δημιουργία δυσμενών και ακραίων καιρικών συνθηκών. Αιτία αυτού του φαινομένου είναι οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, που προκύπτουν από την υπερεκμετάλλευση του πετρελαίου και των άλλων γνωστών ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας. Απόρροια του γεγονότος αυτού, σε συνδυασμό με την αυξανόμενη ενεργειακή ζήτηση εξαιτίας της ραγδαίας αύξησης του παγκόσμιου πληθυσμού και σε συνάρτηση με τη μείωση των αποθεμάτων των καυσίμων, ήταν η ανθρωπότητα να στραφεί σε άλλες εναλλακτικές μορφές ενέργειας, τις γνωστές στο ευρύτερο κοινό και ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας. Πλέον έχει γίνει κοινή συνείδηση όλων η χρήση αυτών των ανεξάντλητων και φυσικών μορφών ενέργειας που μόνο θετικά έχει να προσφέρει στο ανθρώπινο γένος και στο

περιβάλλον του (χλωρίδα και πανίδα) αλλά και γενικότερα στον πλανήτη που κατοικεί. Αυτή την στιγμή ο άνθρωπος έχει καταφέρει να εκμεταλλευθεί αρκετές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως την αιολική, την ηλιακή, τη γεωθερμία, την υδατόπτωση, την κυματική, τη βιομάζα αλλά και τη χημική ενέργεια του υδρογόνου.[1]

Το ενδιαφέρον για την ευρύτερη αξιοποίηση των ΑΠΕ, καθώς και την ανάπτυξη αξιόπιστων και οικονομικά αποδεκτών τεχνολογιών που δεσμεύουν το δυναμικό τους, παρουσιάστηκε μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1973, ενισχύθηκε μετά τη δεύτερη κρίση του 1979 και παγιώθηκε την τελευταία δεκαετία, μετά τη συνειδητοποίηση των παγκόσμιων περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούν οι συμβατικές Πηγές Ενέργειας. Ιδιαίτερα ακριβές στην αρχή, ξεκίνησαν σαν πειραματικές εφαρμογές. Σήμερα όμως λαμβάνονται υπόψη στους επίσημους σχεδιασμούς των ανεπτυγμένων κρατών για την ενέργεια και, αν και αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό της ενεργειακής παραγωγής, ετοιμάζονται βήματα για την παραπέρα αξιοποίησή τους. Το κόστος δε των εφαρμογών ήπιων μορφών ενέργειας πέφτει τα τελευταία είκοσι χρόνια και ειδικά η αιολική και υδροηλεκτρική ενέργεια, αλλά και η βιομάζα, μπορούν πλέον να αγωνίζονται παραδοσιακές πηγές ενέργειας όπως ο άνθρακας και η πυρηνική ενέργεια. Ενδεικτικά στις Η.Π.Α. ένα 6% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές, ενώ στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 25% της ενέργειας προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές (κυρίως υδροηλεκτρικά και βιομάζα). Στην Ελλάδα επικρατούν πολύ ευνοϊκές συνθήκες αξιοποίησης της ηλιακής και αιολικής ενέργειας, λόγω της μεγάλης ηλιοφάνειας που παρουσιάζεται στη χώρα

ακόμα και κατά τη χειμερινή περίοδο και των μεγάλων ταχυτήτων του ανέμου στο Αιγαίο.

1.2 ΜΟΡΦΕΣ ΤΩΝ ΑΠΕ



- Αιολική ενέργεια
- Ηλιακή ενέργεια
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Βιομάζα
- Αστικά απορρίμματα
- Γεωθερμική ενέργεια
- Κυματική ενέργεια

1.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ & ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ Α.Π.Ε.

Οι Α.Π.Ε 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, πολύ φιλικές στο περιβάλλον, που δεν αποδεσμεύουν υδρογονάνθρακες, διοξείδιο του άνθρακα ή τοξικά και ραδιενεργά απόβλητα όπως οι άλλες πηγές ενέργειας που χρησιμοποιούμε.[2]

1.3.1 Τα πλεονεκτήματα των ανανεώσιμων 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:

- 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 αυτόαρκειας 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

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:

- 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)

1.3.2 Τα Μειονεκτήματα των ανανεώσιμων 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.

- 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.
-

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

2.1 Άνεμος – Αιολική ενέργεια



Η κινητική ενέργεια του ανέμου αποτελεί μία ενδιαφέρουσα πηγή ενέργειας, η οποία ονομάζεται “αιολική ενέργεια”. Η αιολική ενέργεια ανήκει στις ήπιες μορφές ανανεώσιμης ενέργειας, δεδομένου ότι αφενός δεν ρυπαίνει το περιβάλλον και αφετέρου είναι θεωρητικά ανεξάντλητη.

Η αιολική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας που δημιουργείται έμμεσα από την ηλιακή ακτινοβολία. Η ανομοιόμορφη θέρμανση της επιφάνειας της γης από τον ήλιο προκαλεί τη μετακίνηση μεγάλων μαζών αέρα από τη μια περιοχή στην άλλη, δημιουργεί δηλαδή τους ανέμους. Υπολογίζεται ότι το 2% της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια των αερίων μαζών εκ των οποίων το 35% διαχέεται σε απόσταση 1 km από την επιφάνεια της γης.

Εάν υπήρχε η δυνατότητα με τη σημερινή τεχνολογία, να καταστεί εκμεταλλεύσιμο το συνολικό δυναμικό της γης, εκτιμάται ότι η παραγόμενη σε ένα χρόνο ηλεκτρική ενέργεια από τον άνεμο θα ήταν υπερδιπλάσια από τις ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια της ανθρωπότητας στο ίδιο διάστημα. Υπολογίζεται ότι στο 25% της επιφάνειας της

γης επικρατούν άνεμοι μέσης ετήσιας ταχύτητας πάνω από 5,1m/sec, σε ύψος 10m πάνω από το έδαφος.

Όταν οι άνεμοι πνέουν με ταχύτητα μεγαλύτερη από αυτή την τιμή, τότε το αιολικό δυναμικό του τόπου θεωρείται εκμεταλλεύσιμο και οι απαιτούμενες εγκαταστάσεις μπορούν να καταστούν οικονομικά βιώσιμες, σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα. Άλλωστε το κόστος κατασκευής των ανεμογεννητριών έχει μειωθεί σημαντικά και μπορεί να θεωρηθεί ότι η αιολική ενέργεια διανύει την πρώτη περίοδο ωριμότητας, καθώς είναι πλέον ανταγωνιστική των συμβατικών μορφών ενέργειας.[3]

2.1.1 Εφαρμογές αιολικής ενέργειας

Η χρήση της αιολικής ενέργειας για τις διάφορες εφαρμογές της στηρίζεται κυρίως στο γεγονός της μετατροπής της σε μηχανική ενέργεια. Ήδη, από τα αρχαία χρόνια ο άνθρωπος επινόησε τρόπους εκμετάλλευσής της, κάποιους από τους οποίους χρησιμοποιεί και σήμερα. Οι κυριότερες εφαρμογές της αιολικής ενέργειας αφορούν την:

- ✚ Αφαλάτωση είτε με τη μέθοδο της αντίστροφης όσμωσης κατά την οποία χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται για την λειτουργία των αντλιών που προωθούν το προς αφαλάτωση νερό, είτε με τη μέθοδο συμπίεσης ατμών κατά την οποία η κίνηση του αποσυμπιεστή ατμών γίνεται με τη βοήθεια της περιστροφικής κίνησης του δρομέα.
- ✚ Παραγωγή ηλεκτρισμού για χρήση είτε σε μεμονωμένες αυτόνομες εγκαταστάσεις, είτε σε μεγαλύτερο δίκτυο μέσω ηλεκτροπαραγωγικού σταθμού με τη βοήθεια ανεμογεννητριών.
- ✚ Παραγωγή θερμότητας με τη μετατροπή της αιολικής ενέργειας σε ηλεκτρική και ακολούθως σε θερμική. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρων εργασίας, αποξήρανση γεωργικών προϊόντων, θέρμανση θερμοκηπίων κ.ά.
- ✚ Άλλες χρήσεις όπως η ηλεκτρόλυση ύδατος, η φόρτιση συσσωρευτών και η παραγωγή καυσίμου υδρογόνου.

✚ Παραδοσιακή χρήση (άλεση, άντληση νερού, ύδρευση κ.ά.)

2.1.2 Αιολικά πάρκα στην Ελλάδα

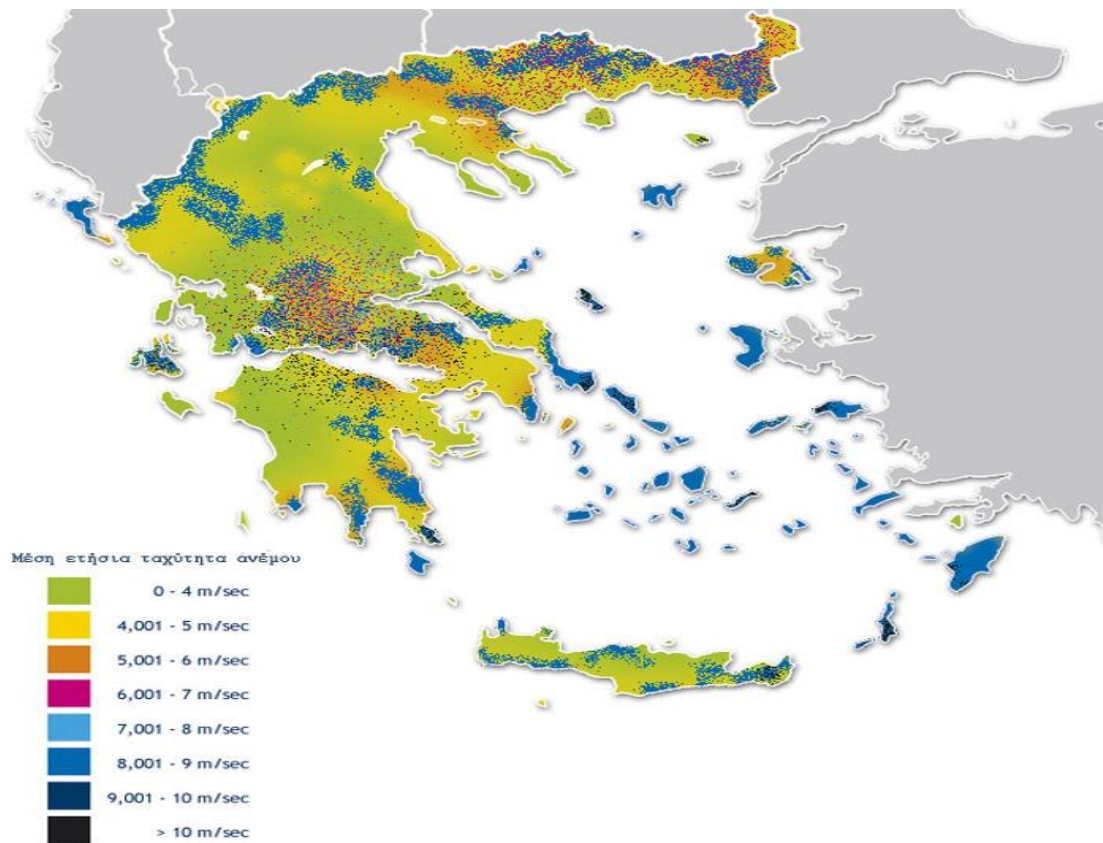
Η χώρα μας διαθέτει εξαιρετικά πλούσιο αιολικό δυναμικό και η αιολική ενέργεια μπορεί να γίνει σημαντικός μοχλός ανάπτυξής της. Από το 1982, όπου εγκαταστάθηκε από τη ΔΕΗ το πρώτο αιολικό πάρκο στην Κύθνο, μέχρι και σήμερα έχουν εγκατασταθεί στην Άνδρο, στην Εύβοια, στην Λήμνο, Λέσβο, Χίο, Σάμο και στην Κρήτη εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνεμο συνολικής ισχύος πάνω από 30MW.

Μεγάλο ενδιαφέρον επίσης δείχνει και ο ιδιωτικός τομέας για την εκμετάλλευση της εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, ιδιαίτερα στην Κρήτη, όπου το Υπουργείο Ανάπτυξης έχει εκδώσει άδειες εγκατάστασης για νέα αιολικά πάρκα συνολικής ισχύος δεκάδων MW.

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 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 1: Χάρτης μέσων τιμών ταχύτητας ανέμων στον ελλαδικό χώρο

Το συνολικό εκμεταλλεύσιμο αιολικό δυναμικό της Ελλάδος μπορεί να καλύψει ένα μεγάλο μέρος των ηλεκτρικών αναγκών της. Είναι γνωστό ότι η κάλυψη του 15% των ηλεκτρικών αναγκών της χώρας, που αντιστοιχεί σε 6,45 TWh, μπορεί να επιτευχτεί 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 ντίζελ και με υψηλό κόστος παραγωγής, θα μπορούσε να εξεταστεί η περίπτωση συνδυασμού ανεμογεννητριών με αντλικά ή υδροηλεκτρικά έργα.

Νησί	Ταχύτητα ανέμου (m/sec)
Άνδρος	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
Σκύρος	6,5
Σαμοθράκη	6,6

Πίνακας 2.1 Ταχύτητες ανέμων στα νησιά

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.

1. ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ Α/Π ΤΗΣ ΔΕΗ

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

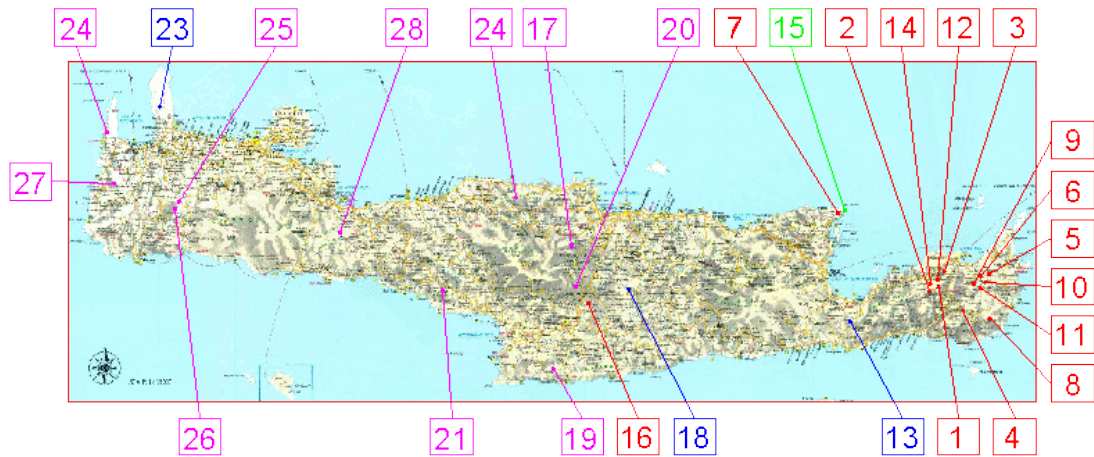
Πίνακας 2.2 Εγκατεστημένη ισχύς πάρκων της Δ.Ε.Η.

2. ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ Α/Π ΑΥΤΟΠΑΡΑΓΩΓΩΝ ΚΑΙ ΑΝΕΞΑΡΤΗΤΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΩΝ

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ	ΙΣΧΥΣ/Α/Γ (kW)	ΣΥΝΟΛΙΚΗ
	Α/Γ		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
ΣΗΤΕΙΑ	50	1500	25000
Σύνολο			50605

Πίνακας 2.3 Εγκατεστημένη ισχύς σιτοπαραγωγών και ανεξάρτητων παραγωγών

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



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

Πίνακας 2.4 Τοποθεσιών αιολικών πάρκων στην Κρήτη

2.1.3 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Κατά την διάρκεια του 1^{ου} 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.



Εικόνα 2: Οι Αέρηδες, το μνημείο αυτό θεωρείται ο αρχαιότερος μετεωρολογικός σταθμός του κόσμου

2.1.4 ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

2.1.5 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.

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

- 1) Η περιστροφή της Γης γύρω 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: [4]

- 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.
- 2) **Η οριζόντια εκτροπική 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 μύριο 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.

- 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.
- 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.

2.1.6 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 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.

2.1.7 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 (φτερά, 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
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 -	25 - 31

			13,8	
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

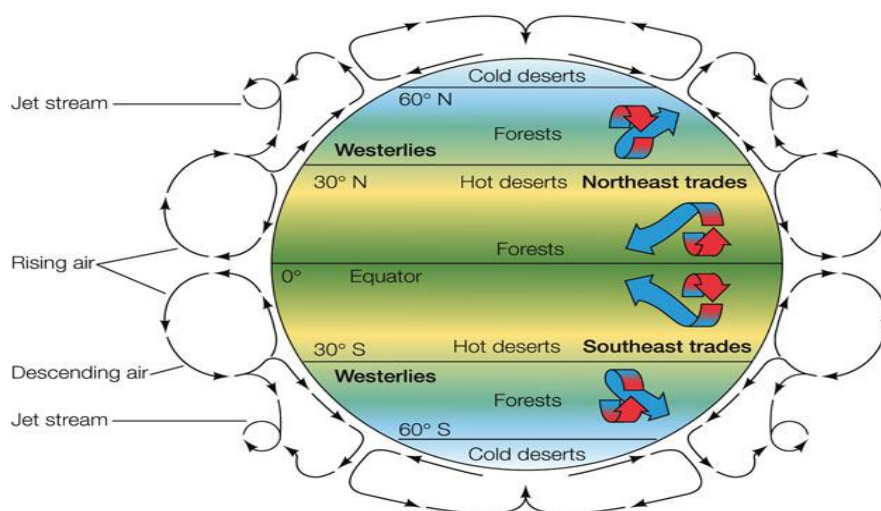
Η γενική κυκλοφορία οφείλεται κυρίως στην ηλιακή ακτινοβολία και στην περιστροφή της Γης. Πράγματι η διαφορετική θερμοκρασία μεταξύ ισημερινού και πόλων αποτέλεσμα της διαφορετικής ηλιακής ακτινοβολίας που δέχονται τα διαφορετικά σημεία του πλανήτη μας, έχει σαν αποτέλεσμα τη συνεχή κίνηση αέριων μαζών 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.

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.

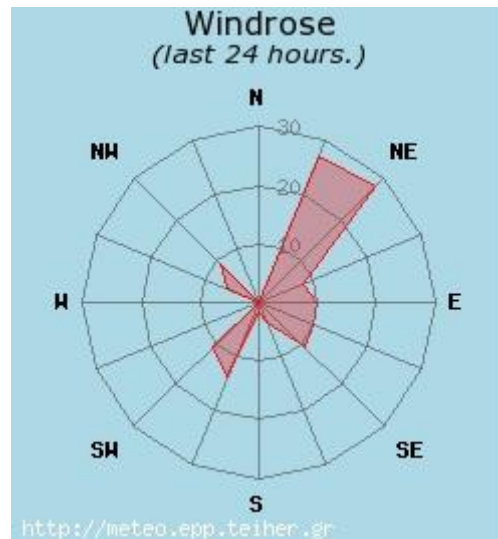


Σχέδιο διευθύνσεων ανέμων παγκοσμίως

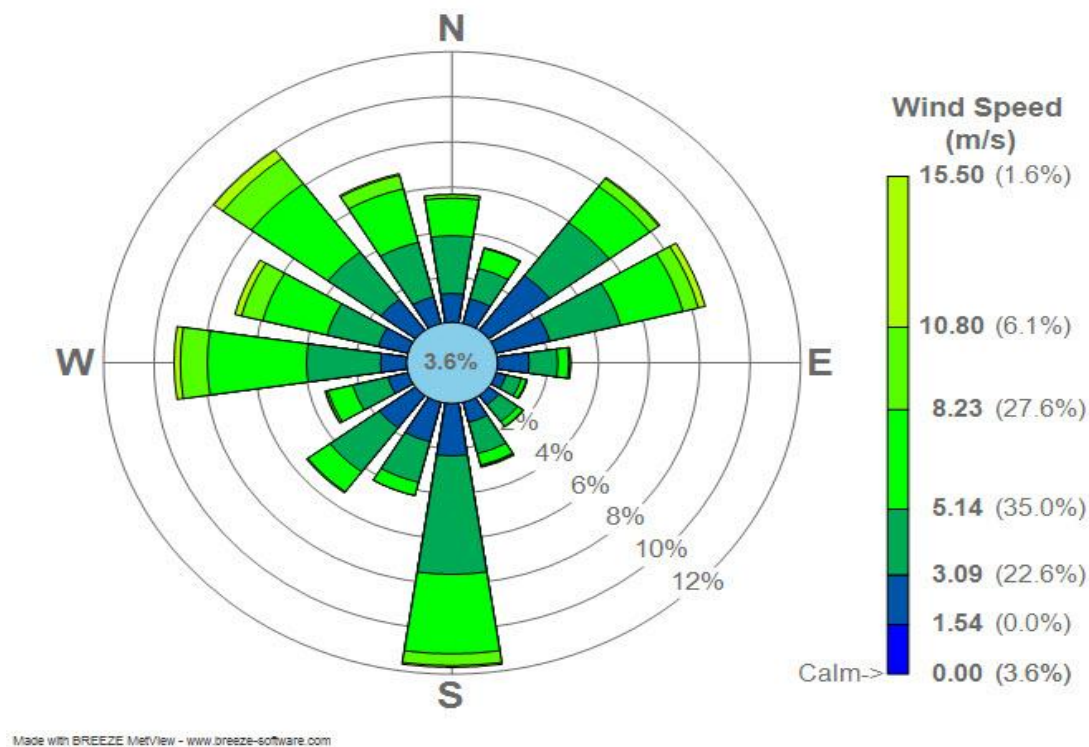
2.2 Η Ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου

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 στους 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:

- 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_{τ} είναι η ταχύτητα τριβής (friction velocity), z_0 είναι η τραχύτητα της επιφάνειας 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 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)

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

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.

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.

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

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.

2.4 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.

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 τοποθέτησής τους, χρησιμοποιούνται 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.

2.4.1 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 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.

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.

2.4.2 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 επιβάλλει ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Τα ανεμόμετρα αυτού του τύπου είναι αθροιστικά και μετρούν μέσες τιμές της έντασης του ανέμου.

Για την καταγραφή των στιγμιαίων τιμών της έντασης του ανέμου χρησιμοποιούνται τα ανεμόμετρα πίεσης, στα οποία η ένταση προσδιορίζεται από την πίεση που ασκεί ο άνεμος σε ορισμένα τμήματα του οργάνου. Επιπλέον των προαναφερόμενων συνηθισμένων τρόπων μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου χρησιμοποιούνται και ανεμόμετρα θερμού στοιχείου καθώς και ανεμόμετρα τύπου 'laser', 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: Κλασσικό ανεμόμετρο ταχύτητας

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 έναρξης 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 κυπέλλων, 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, 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.

2.4.3 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.

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 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 άλλα 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.

2.4.4 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.

2.4.5 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.

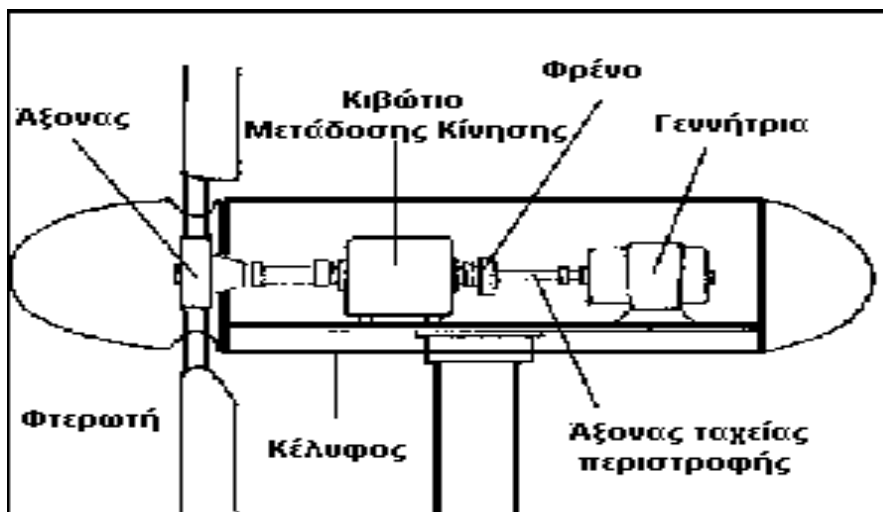
2.5 ANEMOΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ

Οι ανεμογεννήτριες είναι διατάξεις εκμετάλλευσης της αιολικής ενέργειας, οι οποίες μπορούν να θεωρηθούν σαν εξελιγμένες μορφές των παλιών ανεμόμυλων και μετατρέπουν την μηχανική ενέργεια που παράγεται από την κίνηση των πτερυγίων, σε ηλεκτρική. Ως ηλεκτρικές γεννήτριες οι ανεμογεννήτριες είναι συνδεδεμένες σε ηλεκτρικό δίκτυο το οποίο περιλαμβάνει φόρτιση συστοιχιών συσσωρευτών, συστήματα δικτύων κατοικημένων περιοχών, δίκτυα σε απομονωμένες περιοχές ή νησιά και μεγάλα δίκτυα κοινής ωφέλειας.

2.5.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Ο άνεμος περιστρέφει τα πτερύγια μιας ανεμογεννήτριας, τα οποία είναι συνδεδεμένα με ένα περιστρεφόμενο άξονα. Ο άξονας περνάει μέσα σε ένα κιβώτιο μετάδοσης της κίνησης όπου αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής. Το κιβώτιο συνδέεται με έναν άξονα μεγάλης ταχύτητας περιστροφής, ο οποίος κινεί μια γεννήτρια παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.

Οι ανεμογεννήτριες μπορούν να λειτουργούν αυτόνομα τροφοδοτώντας απευθείας στην κατανάλωση, ή να συνδέονται και να διοχετεύουν την ηλεκτρική ενέργεια σε υπάρχον δίκτυο. Στην πρώτη περίπτωση (σε μικρές εγκαταστάσεις), επειδή ο άνεμος δεν είναι συνεχώς διαθέσιμος, είναι δυνατόν να γίνεται χρήση μιας ή περισσότερων ντιζελογεννητριών οι οποίες λειτουργούν παράλληλα τις ανεμογεννήτριες. Η δεύτερη περίπτωση αφορά τη μαζική εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας, όπου συστοιχία πολλών ανεμογεννητριών (αιολικό πάρκο) εγκαθίσταται και λειτουργεί σε μία συγκεκριμένη θέση, διοχετεύοντας το σύνολο της παραγωγής.



Σχήμα 1: Μέρη μιας ανεμογεννήτριας

2.5.2 ΤΥΠΟΙ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Λόγω του μεγάλου ενδιαφέροντος που παρουσιάζεται για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας και της τεχνολογικής εξέλιξης των τελευταίων δεκαετιών, εμφανίζονται διαφόρου τύπου ανεμογεννήτριες οι οποίες κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες. [5]

Ανάλογα με τον προσανατολισμό του άξονα περιστροφής διακρίνονται σε :

- **Οριζοντίου άξονα**, οι οποίες έχουν συνήθως τον άξονα τους παράλληλο προς την κατεύθυνση του ανέμου (head on), ενώ σε μερικές περιπτώσεις έχουμε ανεμογεννήτριες των οποίων ο άξονας είναι παράλληλος προς την επιφάνεια της γης και κάθετος προς την επιφάνεια του ανέμου (cross-wind).
- **Κατακόρυφου άξονα**, οι οποίες εμφανίζουν το σημαντικό πλεονέκτημα της αυτόματης προσαρμογής στη διεύθυνση του ανέμου, δεδομένου ότι ο άξονας τους είναι κάθετος σε αυτή καθώς και στην επιφάνεια της γης.

Ανάλογα με το μέγεθος και την ισχύ που παράγουν διακρίνονται σε μικρές, μεσαίες και μεγάλες ανεμογεννήτριες. Ανάλογα με τον αριθμό των πτερύγιων τους σε ολιγοπτέρυγες και πολυπτέρυγες, ενώ ανάλογα με την ταχύτητα περιστροφής τους διακρίνονται σε αργόστροφες και ταχύστροφες.

Όσο αφορά την ταχύτητα περιστροφής, το κριτήριο διαχωρισμού των ανεμογεννητριών είναι η παράμετρος περιστροφής 'λ' (tip speed ratio), η οποία εκφράζει τον λόγο της ταχύτητας του ακροπτερυγίου προς την ταχύτητα του ανέμου και ισούται με:

$$\lambda = \frac{\omega_0 \cdot R}{v} \quad (1.1)$$

όπου ω_0 η γωνιακή ταχύτητα των πτερυγίων, R η ακτίνα της πτερωτής και v η ταχύτητα του ανέμου στον άξονα της μηχανής.

Η ταχύτητα περιστροφής μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται εκτός από τις αεροδυναμικές παραμέτρους και από το μέγεθος των πτερυγίων της μηχανής, δεδομένου ότι πρέπει να ληφθούν υπόψη λόγοι στατικής αντοχής, φαινόμενα δυναμικών καταπονήσεων και ταλαντώσεων, φυγόκεντρες δυνάμεις. Επιπλέον, καθοριστικό ρόλο παίζει και η διασύνδεση ή μη της εγκατάστασης με το ηλεκτρικό δίκτυο, δεδομένου ότι σε περιπτώσεις σύγχρονων ηλεκτρογεννητριών διασυνδεδεμένων με το δίκτυο, το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα πρέπει να έχει τη συχνότητα του

κεντρικού δικτύου, δηλαδή 50 Hz για τη χώρα μας και τις χώρες της Ε.Ε. και 60 Hz για τις Η.Π.Α.

Η μέγιστη ισχύς που μπορεί να παράγει μια ανεμογεννήτρια καλείται ονομαστική ισχύς (rated power), ενώ η ταχύτητα του ανέμου για την οποία η παραγόμενη ισχύς ισούται με την ονομαστική ισχύς καλείται ονομαστική ταχύτητα (rated wind speed). Τυπικές τιμές για την ονομαστική ταχύτητα είναι 8-14 m/s.

Η ελάχιστη ταχύτητα του ανέμου που απαιτείται για την έναρξη της παραγωγής ισχύος από την ανεμογεννήτρια ονομάζεται ταχύτητα έναρξης λειτουργίας (cut-in wind speed), ενώ η μέγιστη ταχύτητα του ανέμου που επιτρέπεται να λειτουργήσει μια ανεμογεννήτρια ονομάζεται ταχύτητα αποσύνδεσης (cut-out wind speed). Οι μικρές ταχύτητες του ανέμου έχουν ιδιαίτερη σημασία επειδή έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης από τις υψηλές ταχύτητες, γι' αυτό και τα τελευταία χρόνια δίνεται μεγαλύτερη έμφαση σε ανεμογεννήτριες που εκμεταλλεύονται τις χαμηλές ταχύτητες του ανέμου. Επίσης, από μια ταχύτητα του ανέμου και μετά, η ισχύς που παράγει η ανεμογεννήτρια παραμένει σταθερή για λειτουργικούς σκοπούς. Έτσι, δεν μπορούμε να έχουμε εκμετάλλευση μεγάλου μέρους του αιολικού δυναμικού που αφορά τις υψηλές ταχύτητες του ανέμου. Για ταχύτητες μεγαλύτερες της ταχύτητας αποσύνδεσης η ανεμογεννήτρια διακόπτει τη λειτουργία της και τίθεται σε διαδικασία επιβράδυνσης για να αποφευχθούν σοβαρές ζημιές. Τυπικές τιμές για την ταχύτητα αποσύνδεσης είναι 20-30 m/s.

Η παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς που παράγεται από μία ανεμογεννήτρια δίνεται από την σχέση:

$$P = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot n \cdot \rho \cdot v^3 \cdot A \quad (1.2)$$

Όπου ρ η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3), C_p ο συντελεστής ισχύος, n η μηχανική/ηλεκτρική αποδοτικότητα, v η ταχύτητα του αέρα και A το εμβαδόν του δίσκου του δρομέα.

Σε ιδανικές συνθήκες, η μέγιστη τιμή του C_p (γνωστή ως 'όριο Betz') είναι $16/27 = 0.593$, δηλαδή μία ανεμογεννήτρια μπορεί θεωρητικά να αποσπάσει το 59,3 % του ενεργειακού περιεχομένου της ροής του αέρα. Υπό κανονικές συνθήκες, όμως, ο

συντελεστής ισχύος δεν υπερβαίνει την τιμή $C_p = 0.5$, αφού περιλαμβάνει όλες τις αεροδυναμικές απώλειες της ανεμογεννήτριας.

2.5.3 ΚΑΜΠΥΛΗ ΙΣΧΥΟΣ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

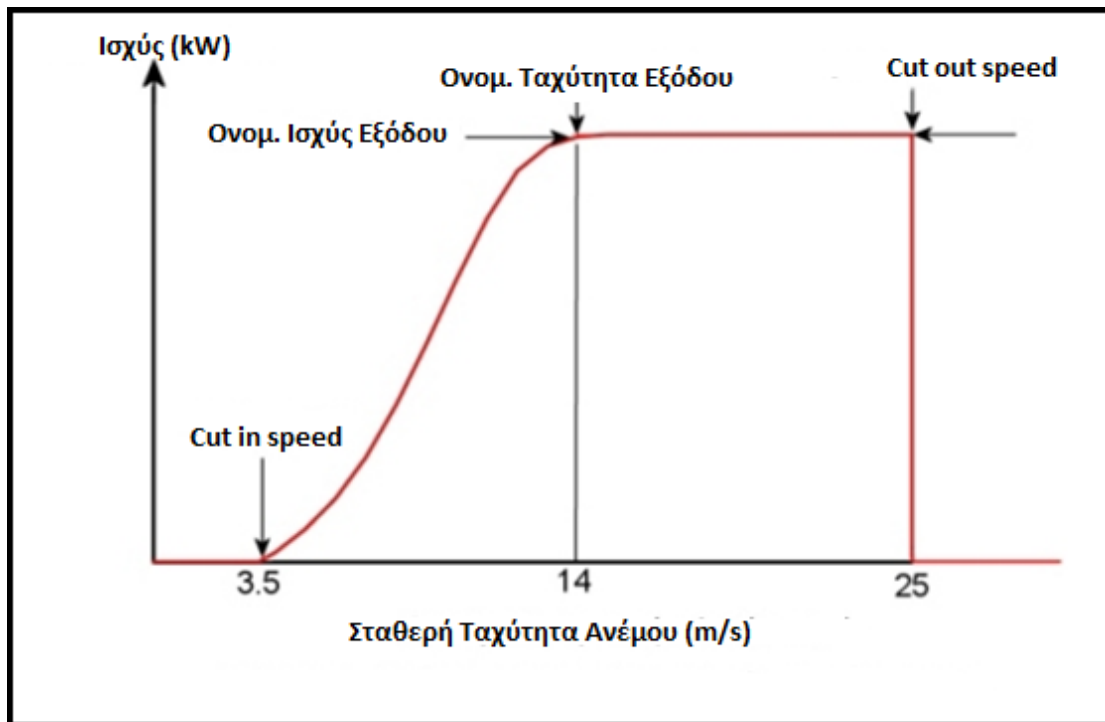
Η καμπύλη ισχύος μιας ανεμογεννήτριας αποτελεί το σημαντικότερο στοιχείο της και ουσιαστικά την χαρακτηρίζει, ενώ είναι το βέλτιστο κριτήριο για την σύγκριση μεταξύ διαφορετικών ανεμογεννητριών. Επίσης, είναι το στοιχείο αυτό που κρίνει την καταλληλότητα μιας ανεμογεννήτριας μιας συγκεκριμένης τεχνολογίας σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία, αφού διαφορετικές κατανομές ανέμου, προκαλούν διαφορετικές συμπεριφορές από τις ανεμογεννήτριες κι άρα διαφορετική παραγωγή ενέργειας. Συνεπώς, η καμπύλη ισχύος βασίζεται σε διάφορα κριτήρια. Ανάλογα με την τεχνολογία της ανεμογεννήτριας, βασίζεται στην αεροδυναμική της ποιότητας και στις μεμονωμένες αποδοτικότητες του μηχανισμού και του ηλεκτρικού μέρους της κι ανάλογα με την τοποθεσία που βρίσκεται, εξαρτάται και βασίζεται στις επικρατούσες συνθήκες ανέμου και στα χαρακτηριστικά του εδάφους.

Όσο αφορά στο μηχανικό-ηλεκτρικό κομμάτι μίας ανεμογεννήτριας υπάρχουν απώλειες λόγω:

- Της τριβής στον άξονα του δρομέα
- Της αποτελεσματικότητας του κιβωτίου ταχυτήτων
- Της αποδοτικότητας της ηλεκτρικής γεννήτριας και του αντιστροφέα που συνδέεται
- Της μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο (για διασυνδεδεμένα συστήματα) ή στις μπαταρίες (για αυτόνομα συστήματα)
- Της ανάγκης τροφοδότησης βοηθητικών λειτουργιών (εσωτερική κατανάλωση) και οργάνων μέτρησης που ενδεχομένως να υπάρχουν

Τα χαρακτηριστικά σημεία μιας καμπύλης ισχύος που την καθορίζουν και διακρίνονται εύκολα σε ένα διάγραμμα βρίσκονται σε τρεις χαρακτηριστικές, για κάθε ταχύτητα ανέμου, οι οποίες είναι :

- Η ταχύτητα ανέμου V_{cut-in} , η οποία αποτελεί την ταχύτητα κατά την οποία μία ανεμογεννήτρια αρχίζει να λειτουργεί και να παράγει ισχύ
- Η ταχύτητα V_{nom} , η οποία αποτελεί την ταχύτητα κατά την οποία η ανεμογεννήτρια ξεκινάει να λειτουργεί στα ονομαστικά της μεγέθη και να παράγει την ονομαστική της ισχύς.
- Η ταχύτητα αποκοπής $V_{cut-out}$, η οποία αποτελεί την ταχύτητα κατά την οποία η ανεμογεννήτρια σταματάει να λειτουργεί για λόγους ασφαλείας και για την αποφυγή μεγάλης καταπόνησης των υδραυλικών της κομματιών και κυρίως των πτερυγίων. Η ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων στον δρομέα μπορεί να γίνει ανεξέλεγκτη, με κίνδυνο καταστροφής της γεννήτριας, αλλά και κίνδυνο αποκόλλησης της πτερωτής και άλλων μηχανικών κομματιών της με οδυνηρές συνέπειες για ότι βρίσκεται σε ακτίνα πολλών μέτρων.



Σχήμα 2: Καμπύλη ισχύος ανεμογεννήτριας

2.5.4 ΜΕΡΗ ΜΙΑΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Η απόδοση μιας ανεμογεννήτριας εξαρτάται από το μέγεθος της και την ταχύτητα του ανέμου. Το μέγεθος είναι συνάρτηση των αναγκών που καλείται να εξυπηρετήσει και ποικίλει από μερικές εκατοντάδες μέχρι μερικά εκατομμύρια Watt.

Οι τυπικές διαστάσεις μιας ανεμογεννήτριας 500 kw είναι:

- Διάμετρος δρομέα: 40 μέτρα
- Ύψος: 30-40 μέτρα

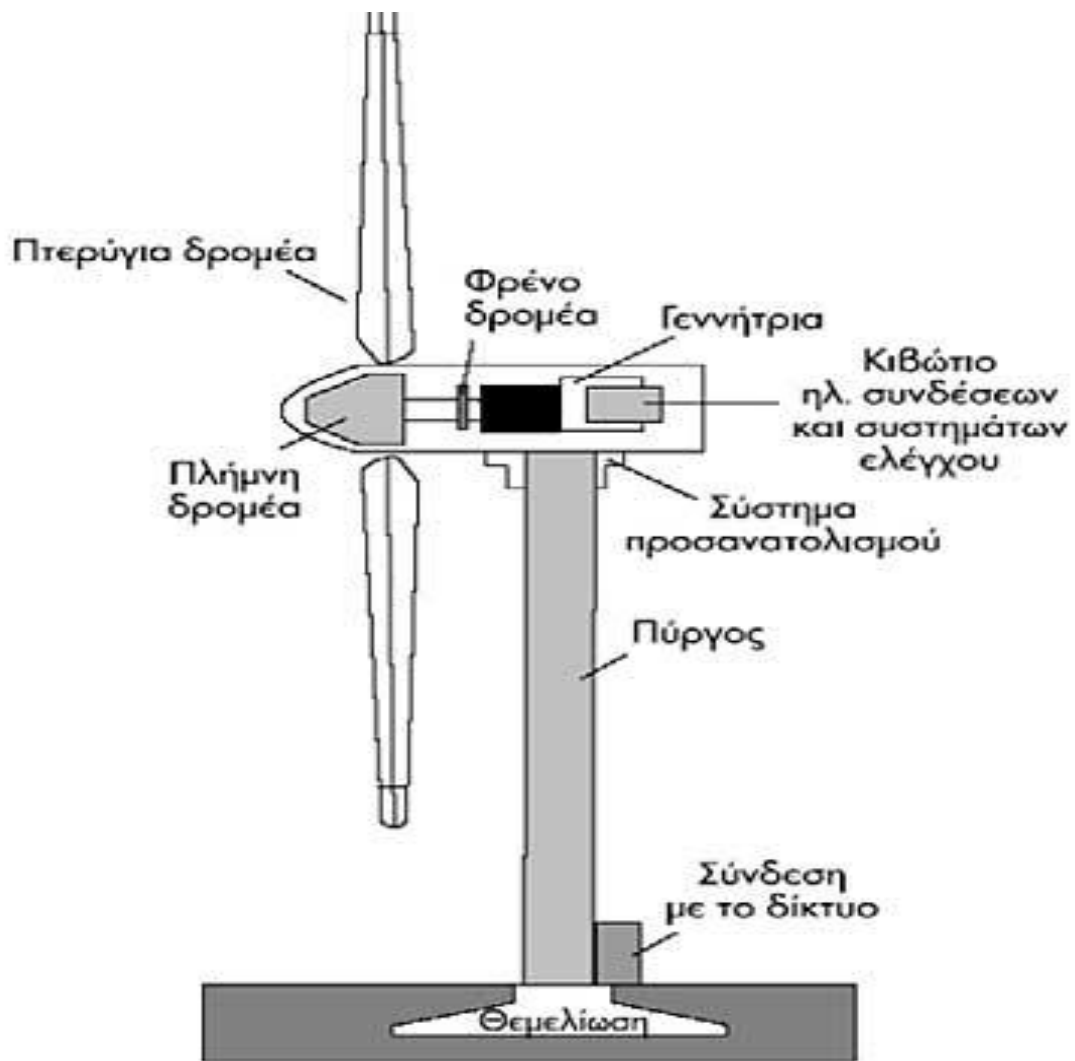
Ενώ αυτής των 3 kw είναι:

- Διάμετρος δρομέα: 80 μέτρα
- Ύψος: 80-100 μέτρα

Παρόλο που δεν υφίσταται κανένας καθοριστικός ρόλος, εκτός ίσως από την εμφάνιση, στην αγορά έχουν επικρατήσει αποκλειστικά οι ανεμογεννήτριες οριζοντίου άξονα, με δύο ή τρία πτερύγια.

Μία τυπική ανεμογεννήτρια οριζοντίου άξονα αποτελείται από τα εξής μέρη:

1. **Τον δρομέα**, που αποτελείται συνήθως από τρία πτερύγια από ενισχυμένο πολυεστέρα. Τα πτερύγια προσδένονται πάνω σε μια πλήμνη είτε σταθερά, είτε με τη δυνατότητα να περιστρέφονται γύρω από το διαμήκη άξονά τους μεταβάλλοντας το βήμα.
2. **Το σύστημα μετάδοσης της κίνησης**, αποτελούμενο από τον κύριο άξονα, τα έδρανα και το κιβώτιο πολλαπλασιασμού στροφών το οποίο προσαρμόζει την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα στη σύγχρονη ταχύτητα της ηλεκτρογεννήτριας. Η ταχύτητα περιστροφής παραμένει σταθερή κατά την κανονική λειτουργία της μηχανής.
3. **Την ηλεκτρική γεννήτρια**, σύγχρονη ή επαγωγική με 4 ή 6 πόλους, η οποία συνδέεται με την έξοδο του πολλαπλασιαστή.
4. **Το σύστημα προσανατολισμού**, το οποίο αναγκάζει συνεχώς τον άξονα περιστροφής του δρομέα να βρίσκεται παράλληλα με την διεύθυνση του ανέμου
5. **Τον πύργο**, ο οποίος στηρίζει όλη την παραπάνω ηλεκτρομηχανολογική εγκατάσταση.
6. **Τον ηλεκτρονικό πίνακα και τον πίνακα ελέγχου**, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στη βάση του πύργου. Το σύστημα ελέγχου παρακολουθεί, συντονίζει αλλά και ελέγχει όλες τις λειτουργίες της ανεμογεννήτριας, φροντίζοντας για την απρόσκοπτη λειτουργία της.



Σχήμα 3: Μέρη μιας ανεμογεννήτριας

2.6 ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ “WIND”

2.6.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το πρόγραμμα “wind” μας δίνει τη δυνατότητα να συγκρίνουμε είτε δύο ίδιες ανεμογεννήτριες σε διαφορετικά μέρη, είτε δύο διαφορετικές ανεμογεννήτριες στο ίδιο μέρος.

Οι μετρήσεις καταγράφονταν από τις 15/4/2010 έως τις 18/3/2011 κάθε δέκα λεπτά της ώρας καθημερινά και στα δύο μέρη που μας ενδιαφέρουν, στα Χανιά και στο Ηράκλειο.

Έπειτα, αφού οι μετρήσεις είχαν περαστεί σε αρχεία excel, προσθέτονταν στο Matlab, όπου το πρόγραμμα με τη σειρά του τις διάβαζε και τις έτρεχε με σκοπό να γίνουν οι συγκρίσεις των δεδομένων.

Παρακάτω θα γίνει αναλυτική περιγραφή του προγράμματος, βήμα-βήμα.

2.6.2 ΚΑΤΑΝΟΜΗ WEIBULL

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. [6]

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 από τη σχέση:

$$f(u) = \frac{k}{c} * \left[\frac{u}{c} \right]^{k-1} * e^{-\left(\frac{u}{c}\right)^k} \quad (1.3)$$

Όπου k η παράμετρος μορφής ή κλίσης (shape parameter) και c η παράμετρος κλίμακας ή μεγέθους (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 c δείχνει την ένταση των ανέμων που επικρατούν σε μια περιοχή και η παράμετρος k δείχνει πόσο «αιχμηρή» είναι η καμπύλη Weibull.

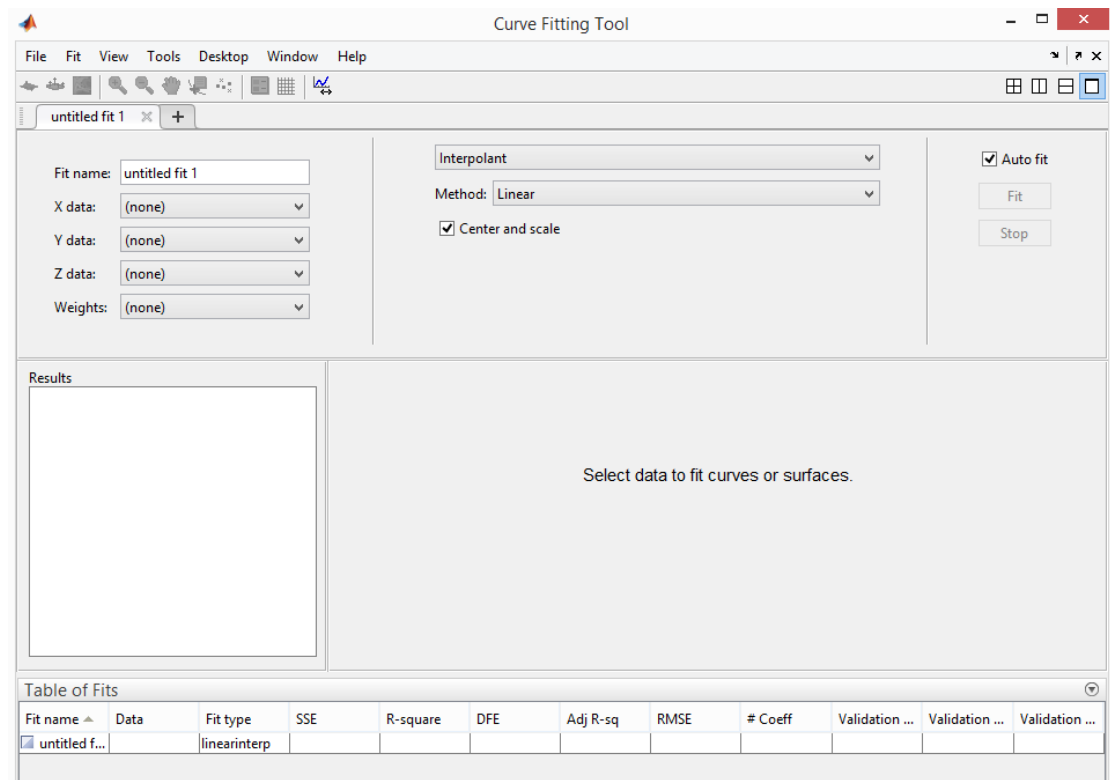
Προκειμένου να εφαρμοστεί η κατανομή Weibull, πρέπει πρώτα να καλέσουμε τα δεδομένα. Αυτό γίνεται με την εντολή `ksdensity` στο Mat lab. Η εντολή αυτή καλεί τα δεδομένα με την πιθανότητα αυτά να εμφανίζονται με κλίμακα 100.

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.



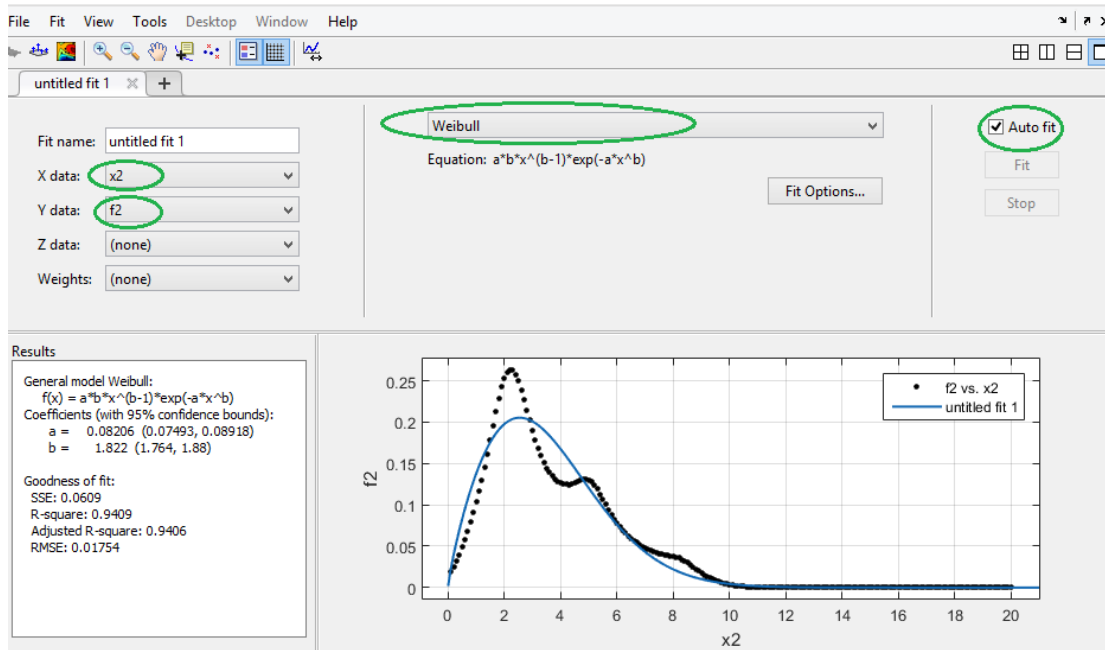
```
Command Window
New to MATLAB? See resources for Getting Started.
fx >> cftool
```

Εμφανίζεται έπειτα το παράθυρο Curve Fitting Tool.



Επιλέγουμε τις νέες παραμέτρους *ksdensity*, *x2* και *f2*.

Τώρα, το γράφημα δείχνει τις νέες μετρήσεις και έτσι μπορεί να εφαρμοστεί η κατανομή Weibull, η οποία γίνεται με AutoFit εφόσον είναι επιλεγμένο το αντίστοιχο πεδίο όπως φαίνεται στο παρακάτω στιγμιότυπο. Επιλέγοντας τον τύπο εφαρμογής που θέλουμε, εμφανίζεται το εξής:



Το Mat lab υπολογίζει τις νέες τιμές των k και c , οι οποίες είναι απαραίτητες για να υπολογιστεί η ποιότητα του αέρα. Στο γράφημα φαίνεται πλέον και η παλιά και η νέα εφαρμογή. Σημειώνεται ότι η διαδικασία αυτή ακολουθείται στο Matlab2015a. Η διαδικασία μπορεί να διαφέρει μερικώς, αναλόγως την έκδοση του προγράμματος.

2.6.3 ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΕΝΤΟΛΩΝ

2.6.3.1 ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗ ΜΝΗΜΗΣ

Πριν την έναρξη νέων υπολογισμών, είναι προτιμότερο να διαγραφούν όλα τα προηγούμενα δεδομένα από τη μνήμη του Mat lab. Αυτό μπορεί να γίνει με τις εντολές:

```
16 -   clc
17 -   clear all
18 -   close all
```


Clc: εκκαθάριση του παράθυρου εντολών. Όλες οι προηγούμενες εντολές που έχουν γραφτεί στο παράθυρο εντολών διαγράφονται.

Clear all: Καθαρίζει όλες τις μεταβλητές από τη μνήμη του Mat lab.

Close all: Κλείνει όλα τα ανοιχτά παράθυρα και γραφήματα.

2.6.3.2 ΑΝΑΓΝΩΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟ EXCEL

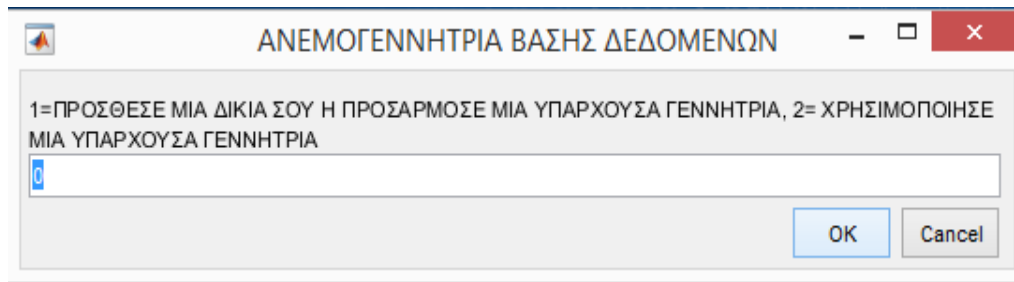
Τα δεδομένα με τις μετρήσεις είναι διαθέσιμα σε αρχεία excel. Για να τα επεξεργαστούμε πρέπει να τα εισάγουμε στο Mat lab, χρησιμοποιώντας την εντολή *xlsread*.

```
55 - if month == 0
56     % 1a) xania
57 - xania = xlsread('C:\Users\user\Desktop\final project\xania2010-11.xls', 'xania 2010-2011', 'E4:E48548');
58
59     % 1b) IRAKLIO
60 - IRAKLIO = xlsread('C:\Users\user\Desktop\final project\IRAKLIO2010-11.xlsx', 'IRAKLIO 2010-2011', 'C2:C43617');
61
```

2.6.3.3 MESSAGE BOX

Η χρήση των κουτιών μηνύματος κάνει το πρόγραμμα πιο διαδραστικό. Το πρόγραμμα ζητά συγκεκριμένες ερωτήσεις που αλλάζουν σύμφωνα με τις απαντήσεις. Τα κουτιά αυτά επαναλαμβάνονται για κάθε ερώτηση που ζητά το πρόγραμμα.

```
65 - prompt = {'1=ΠΡΟΣΘΕΣΕ ΜΙΑ ΔΙΚΙΑ ΣΟΥ Η ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΕ ΜΙΑ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑ, 2= ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΕ ΜΙΑ ΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΓΕΝΝΗ';
66 - dlg_title = 'ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑ ΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ';
67 - num_lines = 1;
68 - def = {'0'};
69 - options.Resize='on';
70 - options.WindowStyle='normal';
71 - choice1 = inputdlg(prompt,dlg_title,num_lines,def,options);
72 - choice1 = str2double(choice1);
```



Prompt: Το κείμενο που εμφανίζεται πάνω από την περιοχή πληκτρολόγησης.

Dig_title: Ο τίτλος του message box.

Num_lines: Η ποσότητα των γραμμών στο πλαίσιο εισαγωγής.

Def: Η προκαθορισμένη απάντηση που είναι ήδη στο πλαίσιο εισαγωγής.

Options.Resize: Επιτρέπει στον χρήστη να μεγαλώσει ή να μικρύνει το κουτί.

Options.WindowStyle: Εδώ υπάρχουν δύο επιλογές, normal ή modal.

Choice1=inputdlg(prompt,dig_title,num_lines,def,options); : Η απάντηση του message box θα τεθεί στην μεταβλητή choice1.

2.6.3.4 Η ΕΝΤΟΛΗ IF

Η εντολή *if* χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό διαφόρων κλάδων στο γράφημα. Αυτό επιτρέπει στο πρόγραμμα να ζητήσει πιο συγκεκριμένες ερωτήσεις.

2.6.3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟΥ ΥΨΟΥΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Το ύψος όπου έγιναν οι μετρήσεις είναι διαφορετικό από το πραγματικό ύψος της ανεμογεννήτριας. Έτσι, πρέπει να το υπολογίσουμε. Είναι:

Πραγματικό ύψος της ανεμογεννήτριας = ύψος της ανεμογεννήτριας + ύψος που έγιναν οι μετρήσεις.

```
642 - z2xania=z2xania+z1xania;  
643 - z2IRAKLIO=z2IRAKLIO+z1IRAKLIO;  
644
```

Z2xania: ύψος της ανεμογεννήτριας στα Χανιά

Z1xania: ύψος που έγιναν οι μετρήσεις στα Χανιά

Z2IRAKLIO: ύψος της ανεμογεννήτριας στο Ηράκλειο

Z1IRAKLIO: ύψος που έγιναν οι μετρήσεις στο Ηράκλειο

2.6.3.6 ΕΥΡΟΣ ΤΙΜΩΝ

Το μέγεθος των δεδομένων υπολογίζεται με την εντολή *size* στο Matlab. Η μεταβλητή αυτή μετράει τον αριθμό των μετρήσεων είτε στα Χανιά είτε στο Ηράκλειο.

```
646 - columns=size(xania);
647 - time_xania= (0.1:1:columns)/6;
648 - columns2=size(IRAKLIO);
649 - time_IRAKLIO= (0.1:1:columns2)/6;
---
```

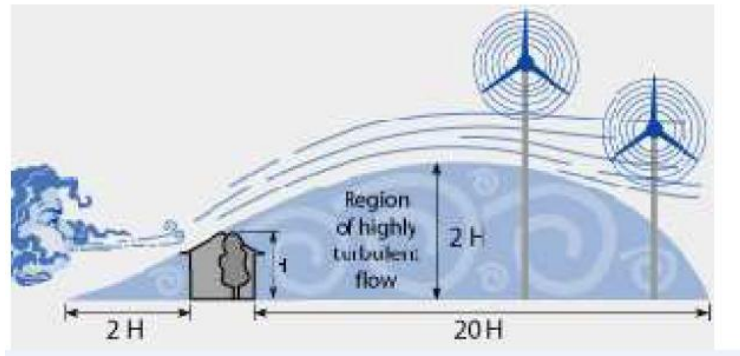
Όλες οι μετρήσεις είναι κάθε δέκα λεπτά. Για να πάρουμε τη γραφική παράσταση σε ώρες, το πρόγραμμα διαιρεί τις μετρήσεις με τον αριθμό έξι.

2.6.3.7 ΣΧΗΜΑ ΕΔΑΦΟΥΣ

Το σχήμα του εδάφους είναι πολύ σημαντικό για την ροή του αέρα. Όπως βλέπουμε και στο παρακάτω σχήμα, το ύψος των αντικειμένων που παρεμποδίζουν μπορεί να επηρεάσει σημαντικά την ισχύ που παράγει η ανεμογεννήτρια. Επειδή δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί η ροή του ανέμου για κάθε αντικείμενο, υπάρχουν σταθεροί συντελεστές για κάθε είδος σχήματος του εδάφους.

location	α
Unstable air above open water surface:	0.06
Neutral air above open water surface:	0.10
Neutral air above flat open coast:	0.16
Unstable air above flat open coast:	0.11
Stable air above open water surface:	0.27
Unstable air above human inhabited areas:	0.27
Neutral air above human inhabited areas:	0.34
Stable air above flat open coast:	0.40
Stable air above human inhabited areas:	0.60

Σχήμα 7: Σχήμα Εδάφους



Σχήμα 8 :Αντικείμενα που εμποδίζουν τη ροή του ανέμου

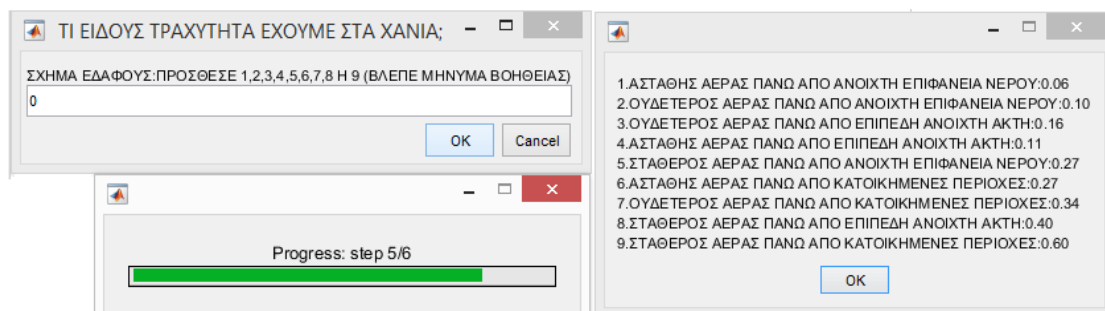
Αν ένα αντικείμενο εμποδίζει την ροή του ανέμου, δημιουργείται στην περιοχή ένα ταραχώδες κύμα ανέμου. Αυτό δεν είναι επικερδές για την ανεμογεννήτρια, επειδή η ταραχώδη ροή του ανέμου χτυπάει σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Για να έχουμε μία καλή σταθερή ροή αέρα πίσω από ένα αντικείμενο που εμποδίζει, υπάρχει ένα ελάχιστο ύψος που απαιτείται για την ανεμογεννήτρια, προκειμένου να έχει ένα κερδοφόρο ρεύμα αέρα.

```

1238 -      z3IRAKLIO=0.06;
1239 -      elseif choice3==2;
1240 -          z3IRAKLIO=0.1;
1241 -      elseif choice3==3;
1242 -          z3IRAKLIO=0.16;
1243 -      elseif choice3==4;
1244 -          z3IRAKLIO=0.11;

```

Εδώ υπάρχει η δυνατότητα επιλογής μεταξύ 9 διαφορετικών διαβαθμίσεων του αέρα.



2.6.3.8 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΥΨΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΣΤΗΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Εάν οι μετρήσεις της ταχύτητας του ανέμου πραγματοποιούνται σε υψόμετρο 90 μέτρων και η ανεμογεννήτρια είναι 20 μέτρα, θα υπάρξει μία διαφορά στην ταχύτητα του ανέμου. Για να γίνουν οι υπολογισμοί όσο το δυνατόν πιο ακριβείς, πρέπει να βρεθεί η εκτιμώμενη ταχύτητα του ανέμου που θα πρέπει να βασίζεται στο ύψος της ανεμογεννήτριας. Γι' αυτό το λόγο το πρόγραμμα ζητά το ύψος που έγιναν οι μετρήσεις και το ύψος της ανεμογεννήτριας.

```
1487 - zxania=(exp(log(z1xania)+log(z2xania)))/2;
1488 - zIRAKLIO=(exp(log(z1IRAKLIO)+log(z2IRAKLIO)))/2;
1489 - axania=(1/(log(zxania/z3xania)))-(0.0881/(1-0.0881*log(z1xania/10)))*log(xania/6);
1490 - aIRAKLIO=(1/(log(zIRAKLIO/z3IRAKLIO)))-(0.0881/(1-0.0881*log(z1IRAKLIO/10)))*log(IRAKLIO/6);
1491
1492 - v2xania=xania.*((z2xania./z1xania).^axania);
1493 - v2IRAKLIO=IRAKLIO.*((z2IRAKLIO./z1IRAKLIO).^aIRAKLIO);
1494 - % Converting all NaN to zero.
1495
1496 - v2xania(isnan(v2xania)) = 0;
1497 - v2IRAKLIO(isnan(v2IRAKLIO)) = 0;
```

2.6.3.9 ΜΕΣΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΤΟΥ ΑΝΕΜΟΥ

Η εντολή *mean* υπολογίζει τον μέσο όρο και την χρησιμοποιούμε για να υπολογίσουμε την μέση ταχύτητα του ανέμου.

```
1520 - vmean= mean(xania);
1521 - vmean2= mean(IRAKLIO);
```

2.6.3.10 CUT IN SPEED

Cut in speed είναι η ταχύτητα του ανέμου που απαιτείται πριν αρχίσει η ανεμογεννήτρια να περιστρέφεται και να ξεκινήσει την παραγωγή ενέργειας. Όταν υπολογίζουμε την παραγωγή ενέργειας από την ανεμογεννήτρια, όλες οι μετρήσεις κάτω από την cut in speed πρέπει να είναι ίσες με το μηδέν

```

1501 -     minimumwindspeed = v2xania;
1502 -     for i = minimumwindspeed<CUTinspeed1
1503 -         if xania(i)<CUTinspeed1
1504 -             minimumwindspeed(i)=0;
1505 -         end
1506 -     end
1507 -     minimumwindspeed2 = v2IRAKLIO;
1508 -     for i2 = minimumwindspeed2<CUTinspeed2
1509 -         if IRAKLIO(i2)<CUTinspeed2
1510 -             minimumwindspeed2(i2)=0;
1511 -         end
1512 -     end

```

Οι μετρήσεις των Χανίων και Ηρακλείου βρίσκονται στις εντολές `minimumwindspeed` και `minimumwindspeed2`. Αυτό γίνεται για να δημιουργηθεί μια διαφορά με όλα τα δεδομένα που είναι μηδέν κάτω από την cut in speed και τις κανονικές μετρήσεις.

2.6.3.11 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Το πρόγραμμα ζητά το μήκος του ενός πτερυγίου. Ο κύριος λόγος για αυτό είναι ότι ο κατασκευαστής δίνει πάντα το μήκος του πτερυγίου στα τεχνικά φυλλάδια και όχι την συνολική επιφάνεια ή περιοχή. Έτσι, αυτό πρέπει να υπολογιστεί. Υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως η επιφάνεια ενός κύκλου. Το μήκος του πτερυγίου είναι ίδιο με αυτό της ακτίνας, οπότε ο τύπος είναι: ακτίνα * ακτίνα * π.

```

1516 -     Surface_xania = Bladelength_xania*Bladelength_xania*3.13;
1517 -     Surface_IRAKLIO = Bladelength_IRAKLIO*Bladelength_IRAKLIO*3.13;

```

2.6.3.12 ΥΠΟΛΟΓΙΖΟΝΤΑΣ ΤΙΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ WEIBULL

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

```
[f,x] = ksdensity(xania,0.1:0.1:20);
```

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.

```
[wfit] = fit(x',f', 'weibull');
```

```
1524 - [f,x]=ksdensity(xania,0.1:0.1:20);
1525 - [wfit] = fit(x',f', 'weibull');
1526 - k = wfit.b;
1527 - c = (1/wfit.a)^(1/wfit.b);
1528 - Most_freq_windspeed_xania=c*(1-1/k)^(1/k);
1529 - Prob=(k/c)*(Most_freq_windspeed_xania/c)^(1/k)*exp(-(Most_freq_windspeed_xania/c)^k);
1530 - Probability1=Prob*100;
1531
1532 - [f2,x2]=ksdensity(IRAKLIO,0.1:0.1:20);
1533 - [wfit2] = fit(x2',f2', 'weibull');
1534 - k2 = wfit2.b;
1535 - c2 = (1/wfit2.a)^(1/wfit2.b);
1536 - Most_freq_windspeed_IRAKLIO=c2*(1-1/k2)^(1/k2);
1537 - Prob2=(k2/c2)*(Most_freq_windspeed_IRAKLIO/c2)^(1/k2)*exp(-(Most_freq_windspeed_IRAKLIO/c2)^k2);
1538 - Probability2=Prob2*100;
```

2.6.3.13 ΙΣΧΥΣ ΑΝΕΜΟΥ

Η επόμενη φόρμουλα υπολογίζει την ισχύ και την πιθανή ενέργεια του ανέμου σε κάποιο χρονικό διάστημα. Αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του ανέμου. Η πυκνότητα του ανέμου είναι 1.23 kg/m^3 στο Ηράκλειο και 1.15 kg/m^3 στα Χανιά.

Ισχύς = $0.5 * \text{πυκνότητα αέρα} * \text{ταχύτητα}^3 \text{ kg/m}^3$

```
1568 - Wind_power_xania=1/2*1.15*v2xania.^3;
1569 - Wind_power_IRAKLIO=1/2*1.23*v2IRAKLIO.^3;
```

2.6.3.14 ΙΣΧΥΣ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Για να υπολογίσουμε την παραγόμενη ενέργεια από μια συγκεκριμένη ανεμογεννήτρια, πρέπει να λάβουμε υπόψη τις παρακάτω μεταβλητές:

1. Πυκνότητα του αέρα.

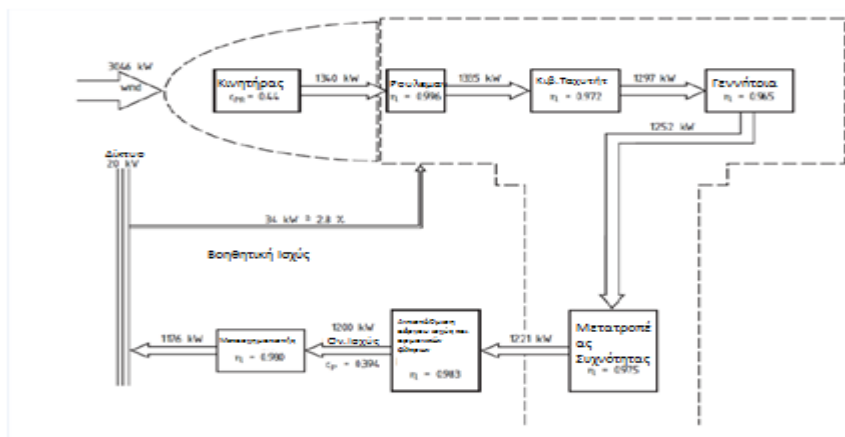
Σε μεγαλύτερα υψόμετρα, η πυκνότητα του αέρα γίνεται λεπτότερη με αποτέλεσμα λιγότερη ισχύ στην ανεμογεννήτρια.

2. Επιφάνεια.

Η ενέργεια που παράγει μια ανεμογεννήτρια εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την συνολική επιφάνεια του πτερυγίου. Όσο μεγαλύτερα είναι τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας, τόσο περισσότερη ενέργεια μπορεί η ανεμογεννήτρια να απορροφήσει. Φυσικά υπάρχει ένα όριο κορεσμού όπου όσο μεγαλύτερα είναι τα πτερύγια, τόσο λιγότερη ενέργεια θα παράγουν λόγω βάρους.

3. Νόμος Betz.

Ο νόμος αυτός περιγράφει ότι μια ανεμογεννήτρια μπορεί να πιάσει το κατώτατο όριο του 59.3% της κινητικής ενέργειας που παράγεται από τον άνεμο. Αυτό είναι μια θεωρητική προσέγγιση: στην πράξη η ανεμογεννήτρια θα έχει λιγότερο από 59.3%, λόγω της εσωτερικής τριβής και των απωλειών θερμότητας.



Σχήμα 9: Εσωτερικές Απώλειες Ανεμογεννήτριας

Η εικόνα δείχνει όλες τις εσωτερικές απώλειες σε μια ανεμογεννήτρια. Αντί του 44% της απόδοσης του ρότορα, το πρόγραμμα χρησιμοποιεί μια πιο ιδανική κατάσταση, του νόμου του Betz, 59.3%.

Το σχήμα επίσης δείχνει μία βοηθητική δύναμη που απαιτείται για την εκκίνηση της ανεμογεννήτριας. Το πρόγραμμα δεν περιλαμβάνει την απώλεια ισχύος γιατί κάθε ανεμογεννήτρια έχει μια διαφορετική βοηθητική ισχύ.

```
1574 - Powerturbine_xania=1/2*1.15*minimumwindspeed.^3*Surface_xania*0.593*0.996*0.972*0.965*0.975*0.983*0.99;  
1575 - Powerturbine_IRAKLIO=1/2*1.23*minimumwindspeed2.^3*Surface_IRAKLIO*0.593*0.996*0.972*0.965*0.975*0.983*0.99;
```

2.6.3.15 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Προκειμένου να υπολογιστεί η παραγόμενη ενέργεια του ανέμου, απαιτείται η εντολή *trapz*. Η εντολή αυτή υπολογίζει την περιοχή κάτω από μια συγκεκριμένη καμπύλη. Για τον υπολογισμό του αιολικού δυναμικού, η δύναμη του ανέμου πολλαπλασιάζεται επί την πιθανότητα ή την συχνότητα που συμβαίνει.

```
1608 - Ewind1=trapz(Wind_power_xania*Prob);  
1609 - Ewind2=trapz(Wind_power_IRAKLIO*Prob2);
```

2.6.3.16 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ

Η συνολική ενέργεια που παράγει ο στρόβιλος υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως και το αιολικό δυναμικό. Η ισχύς της ανεμογεννήτριας πολλαπλασιάζεται με την συχνότητα που εμφανίζεται. Η συνολική παραγόμενη ενέργεια υπολογίζεται με την εντολή *trapz* στο Matlab. Όλοι οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται σε Watt. Για μια ανεμογεννήτρια 1MW, το προϊόν μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλους αριθμούς, εξηγώντας γιατί η ενέργεια πρέπει να στρογγυλοποιείται παραπάνω ή προς τα κάτω και να μετατραπεί σε kW.

```
1612 - Eturbine1=trapz(Powerturbine_xania*Prob);  
1613 - Eturbine2=trapz(Powerturbine_IRAKLIO*Prob2);  
1614 - Eturbine1=(round(Eturbine1/1000));  
1615 - Eturbine2=(round(Eturbine2/1000));
```

2.6.3.17 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕΤΑΞΥ ΔΥΟ ΑΝΕΜΟΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Ο σκοπός του προγράμματος είναι να συγκρίνουμε την παραγόμενη ενέργεια μεταξύ δύο ανεμογεννητριών. Με τη φόρμουλα αυτή, υπολογίζεται η διαφορά και η απόλυτη λειτουργία επιβεβαιώνει ότι το αποτέλεσμα δεν θα είναι αρνητικός αριθμός.

```
1618 - Edif=abs(Ewind2-Ewind1);
```

2.6.3.18 ΚΕΡΔΟΣ

Επίσης, το πρόγραμμα μπορεί να υπολογίσει πόσο κέρδος θα παράγει η ανεμογεννήτρια σε μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας. Η ενέργεια πολλαπλασιάζεται με την τιμή ανά kW.

```
1621 - profit1= (Eturbine1*(Price_per_kWh/1000));  
1622 - profit2= (Eturbine2*(Price_per_kWh/1000));
```

2.6.3.19 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΕΡΔΟΥΣ

Η παρακάτω φόρμουλα υπολογίζει την διαφορά στο κέρδος μεταξύ δύο ανεμογεννητριών.

```
1641 - Profitdif=abs(profit1-profit2);
```

2.6.3.20 MESSAGE BOX

Το πλαίσιο μηνύματος χρησιμοποιείται για να συγκεντρώσει όλα τα αποτελέσματα μαζί σε ένα κουτί.

```
result = msgbox({'c xania= ' num2str(c), ' c IRAKLIO= '  
num2str(c2)], ['k xania= ' num2str(k), ' k IRAKLIO= ' num2str(k2)], ['E  
xania= ' num2str(Eturbine1) ' kW', ' E  
IRAKLIO= ' num2str(Eturbine2) ' kW' ]});
```

2.7 ΓΡΑΦΗΜΑΤΑ

2.7.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΡΑΦΗΜΑΤΟΣ

Μετά από όλους αυτούς τους υπολογισμούς, το πρόγραμμα θα ξεκινήσει δείχνοντας τα αποτελέσματα σε γραφικές παραστάσεις.

Κάθε διάγραμμα πρέπει να ονομαστεί με την εξής ονομασία figure (x), όπου το x είναι αριθμός.

plot(X,Y),title(),xlabel(),ylabel()

```
1541 - figure(1)
1542 - plot(time_xania,xania),grid on,title('Καθημερινό Αιολικό Δυναμικό Χανιά'),xlabel('Ωρα (h)'),
1543 - ylabel('Ταχύτητα Ανέμου (m/s)');legend('xania')
1544 - axis([0, 25, 0, 15])
1545
1546
1547 - figure(2)
1548 - plot(time_IRAKLIO,IRAKLIO),grid on,title('Καθημερινό Αιολικό Δυναμικό Σητεία'),xlabel('Ωρα (h)'),
1549 - ylabel('Ταχύτητα Ανέμου (m/s)');legend('IRAKLIO')
1550 - axis([0, 25, 0, 8])
1551
1552 - figure(3)
1553 - plot(time_xania,xania,'b',time_IRAKLIO,IRAKLIO,'r'),grid on,title('Καθημερινό Αιολικό Δυναμικό Χανιά-Σητεία'),x
1554 - ylabel('Ταχύτητα Ανέμου (m/s)');legend({'v mean xania= ' num2str(vmean), ' Most frequent xania= ' num2str(Most
1555 - axis([0, 25, 0, 15])
```

grid on: δείχνει ένα πλέγμα στο γράφημα

title(''): δίνει ένα τίτλο στο γράφημα

xlabel(''): δίνει ένα όνομα στο X-label

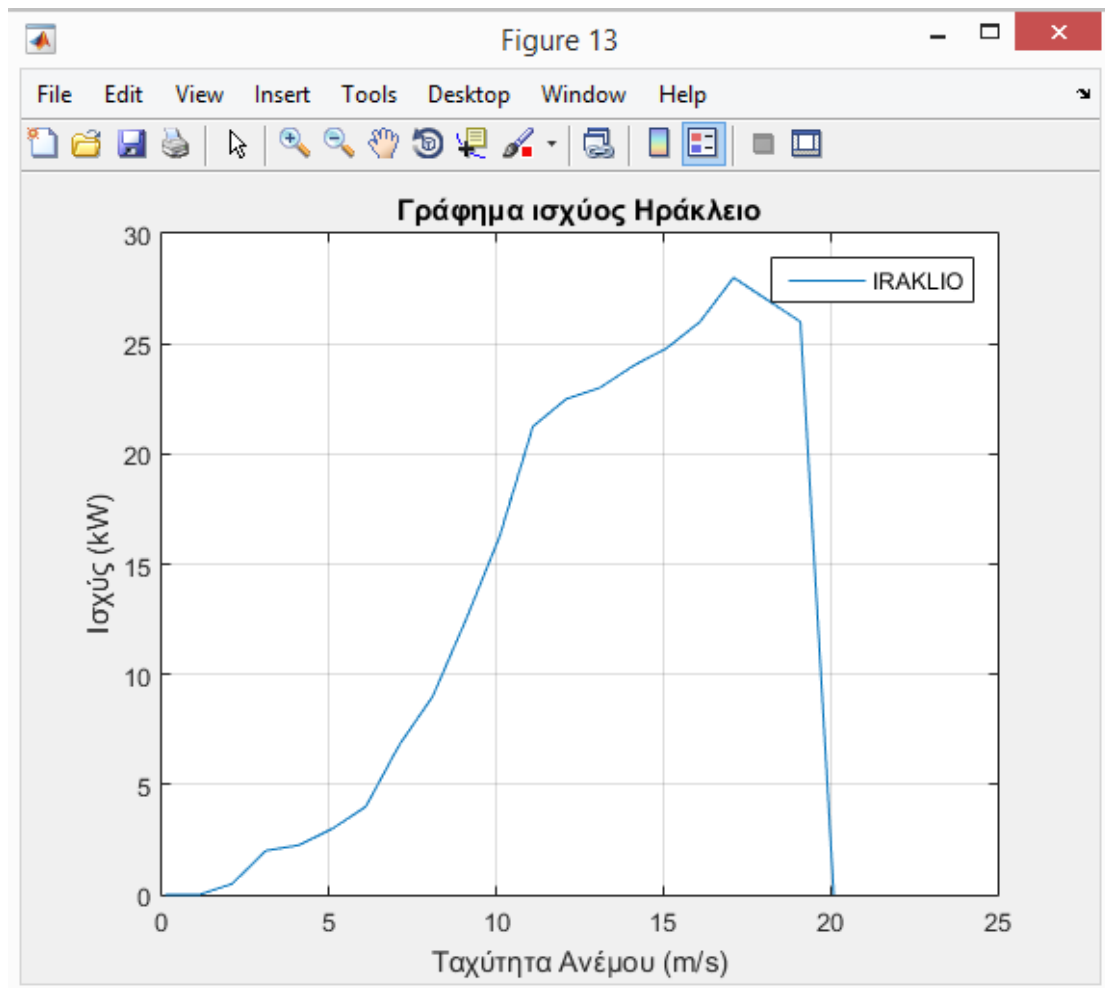
ylabel(''): δίνει ένα όνομα στο y-label

legend(''): ονομάζει τις διαφορετικές γραμμές που σχεδιάζονται

2.7.2 ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

➤ ΓΡΑΦΗΜΑ ΙΣΧΥΟΣ

Το γράφημα ισχύος, το οποίο δίνεται από τον κατασκευαστή της κάθε ανεμογεννήτριας, απαιτείται πριν από οποιονδήποτε υπολογισμό. Το γράφημα δείχνει πόση ισχύς (kW) μπορεί να παράγει η ανεμογεννήτρια με την ταχύτητα του ανέμου (m/s).



Σχήμα 10 : Γράφημα Ισχύος Ηρακλείου

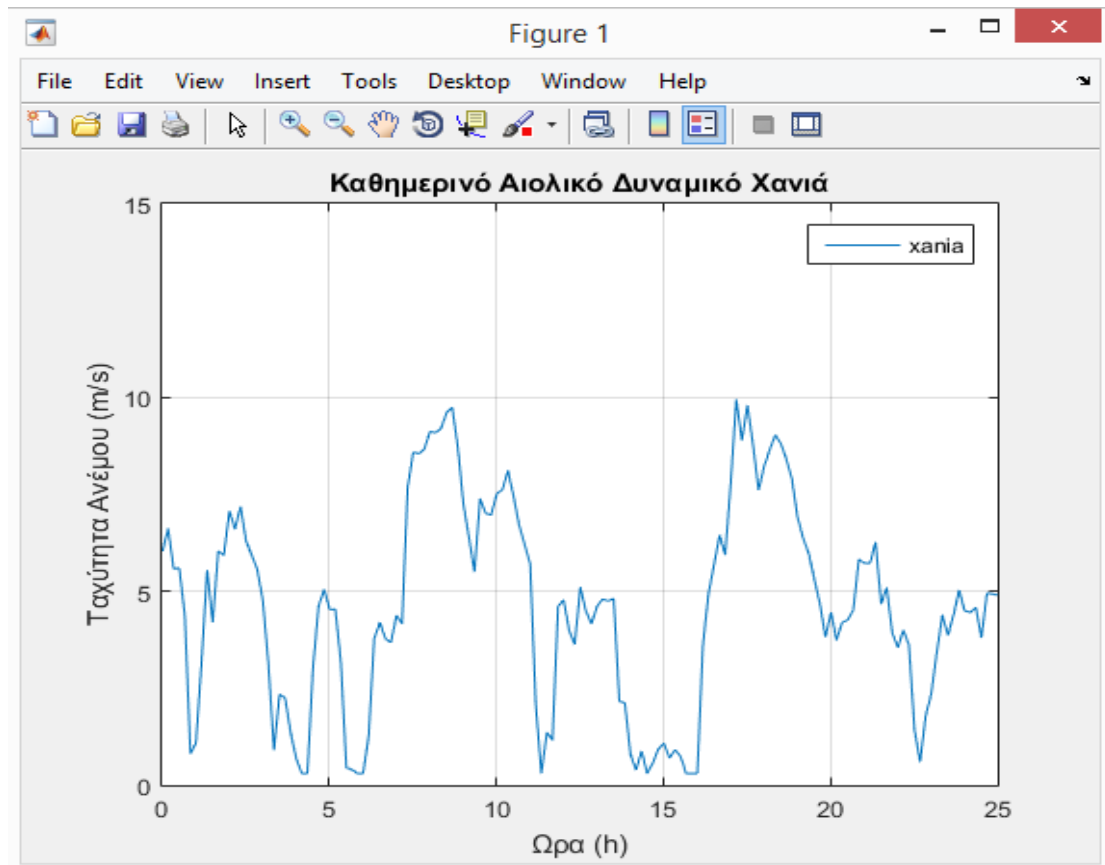
Αυτό είναι το γράφημα ισχύος μιας ανεμογεννήτριας των 20kW. Όπως βλέπουμε, περίπου στα 20 m/s, σταματάει να παράγει ενέργεια. Αυτό συμβαίνει επειδή ο στρόβιλος των παλιών ανεμογεννητριών έπρεπε να διακοπεί σε υψηλές ταχύτητες ανέμου, με σκοπό την αποφυγή οποιασδήποτε βλάβης μπορεί να συμβεί.

Με τις καινούριες ανεμογεννήτριες, είναι δυνατή η παραγωγή ενέργειας σε πολύ υψηλότερες ταχύτητες ανέμου.

➤ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

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

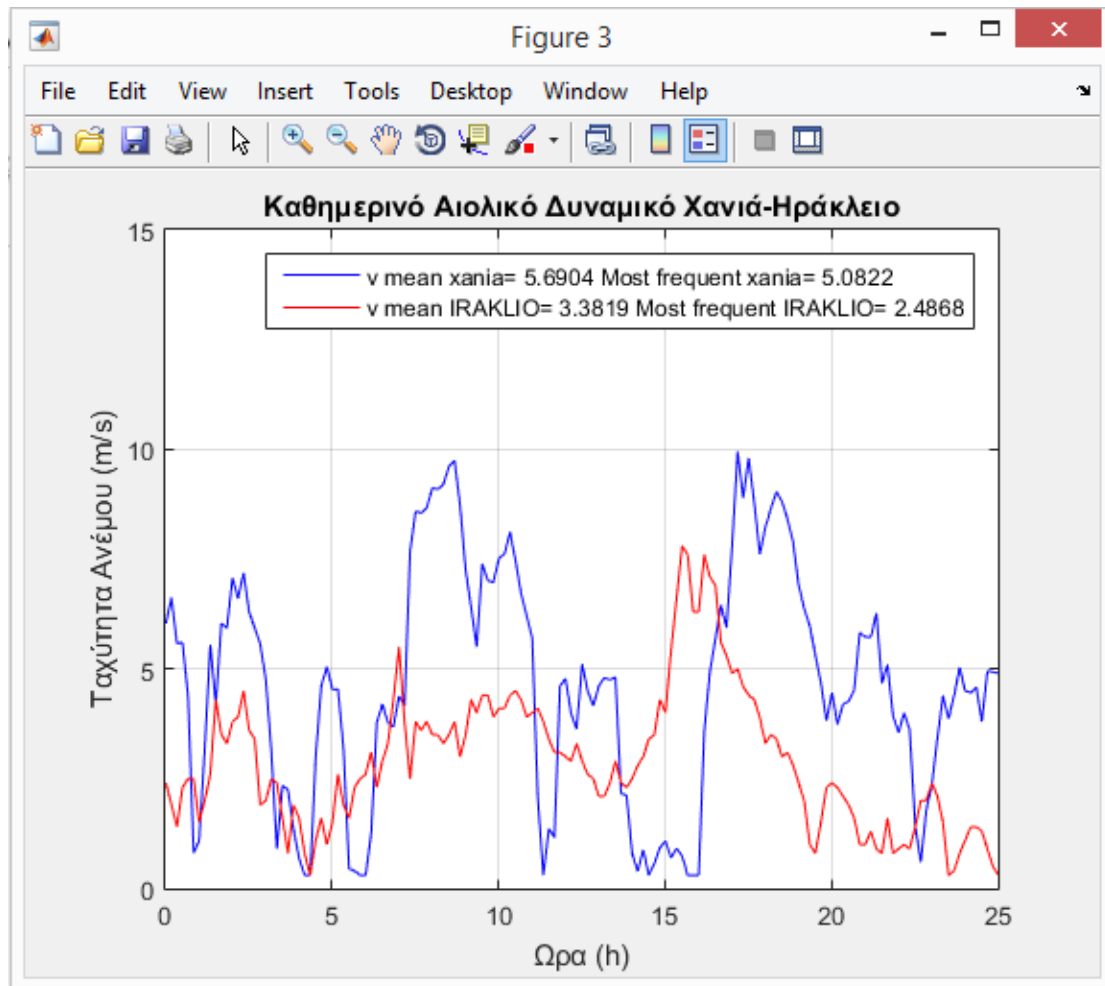
ταχύτητα του ανέμου της μια ημέρας και συγκεκριμένα, την κορυφή της ταχύτητας του ανέμου καθώς και τον χρόνο διακοπής της ανεμογεννήτριας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, φαίνεται ότι η μέγιστη ταχύτητα ανέμου σημειώνεται γύρω στις 5.00 μμ και είναι σχεδόν 10 m/s.



Σχήμα 11 : Καθημερινό Αιολικό Δυναμικό Χανίων

➤ ΣΥΓΚΡΙΝΟΝΤΑΣ ΤΟ ΚΑΘΗΜΕΡΙΝΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

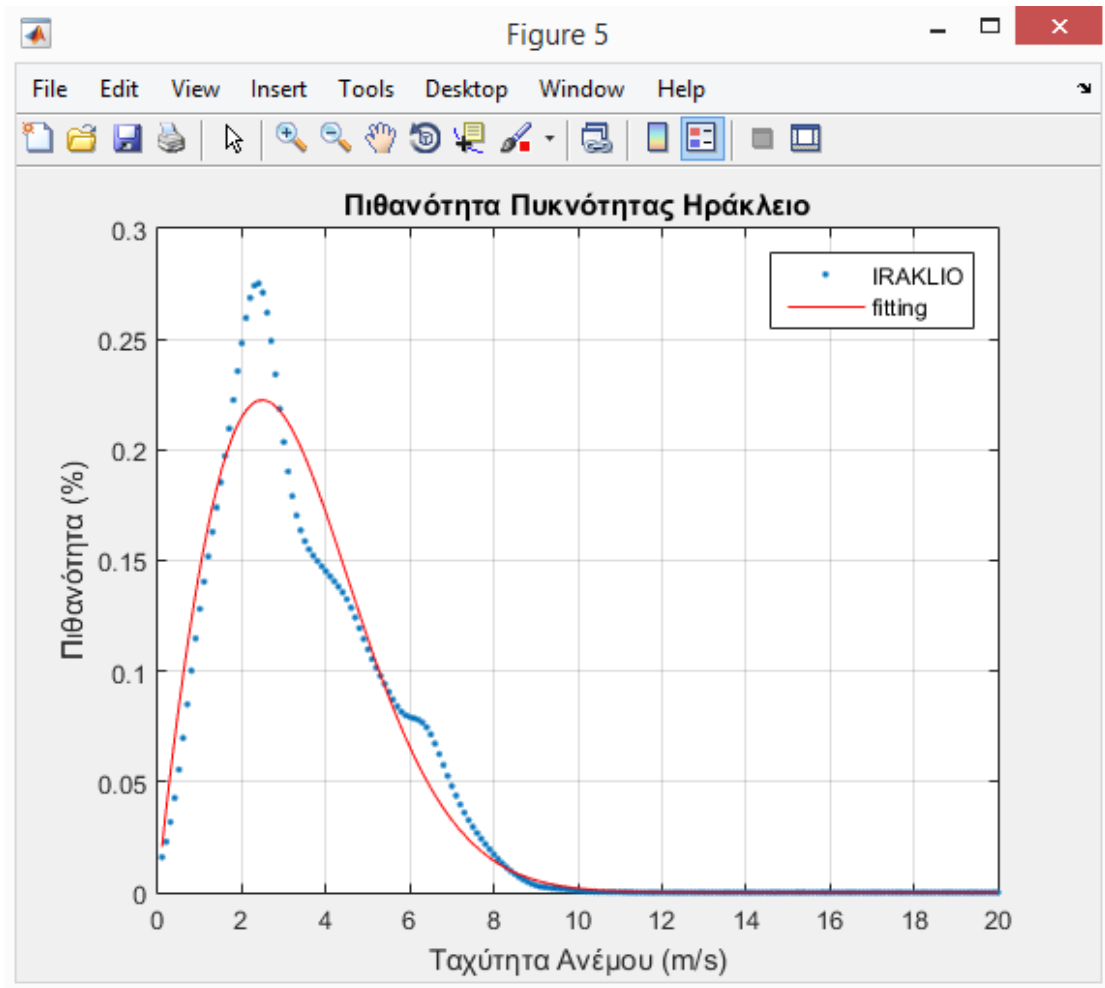
Για να δούμε την διαφορά μεταξύ της ανεμογεννήτριας στα Χανιά και αυτή στο Ηράκλειο συγχωνεύονται παρακάτω τα δύο γραφήματα. Στην επάνω γωνία, εμφανίζονται η μέση ταχύτητα του ανέμου και αυτή που εμφανίζεται συχνότερα. Αυτό μας δίνει την δυνατότητα να συγκρίνουμε τα διαγράμματα χρησιμοποιώντας αριθμούς.



Σχήμα 12: Καθημερινό Αιολικό Δυναμικό Χανιά-Ηράκλειο

➤ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΑ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

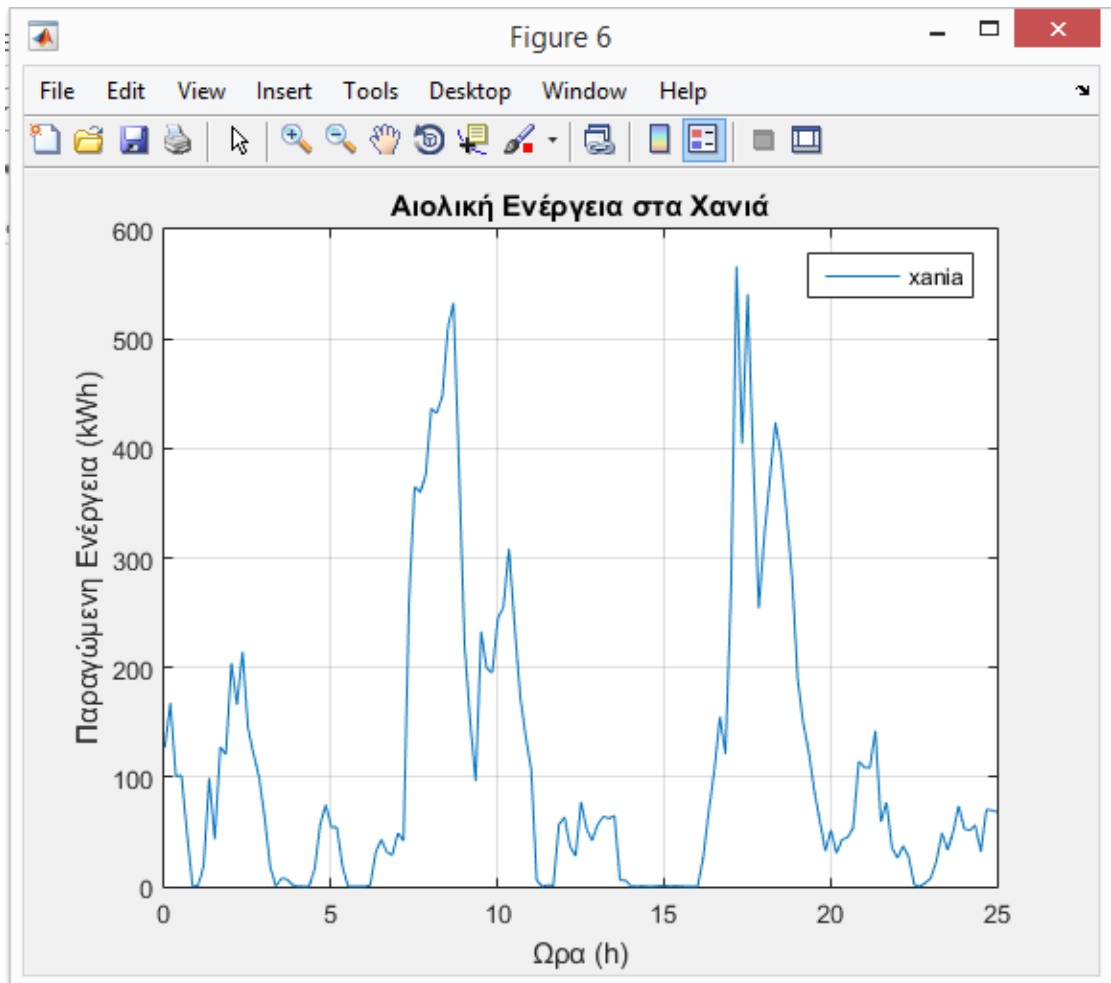
Το γράφημα αυτό διαχωρίζει τις μετρήσεις με την εντολή *ksdensity*, η οποία δείχνει την συχνότητα όπου μία συγκεκριμένη ταχύτητα ανέμου συμβαίνει. Η κόκκινη γραμμή τονίζει την χρήση της κατανομής Weibull που απαιτείται για να συγκρίνει την ποιότητα του αέρα και την καλή προσαρμογή του *fitting* στο γράφημα.



Σχήμα 13 : Πιθανότητα Πυκνότητας Ηρακλείου

➤ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

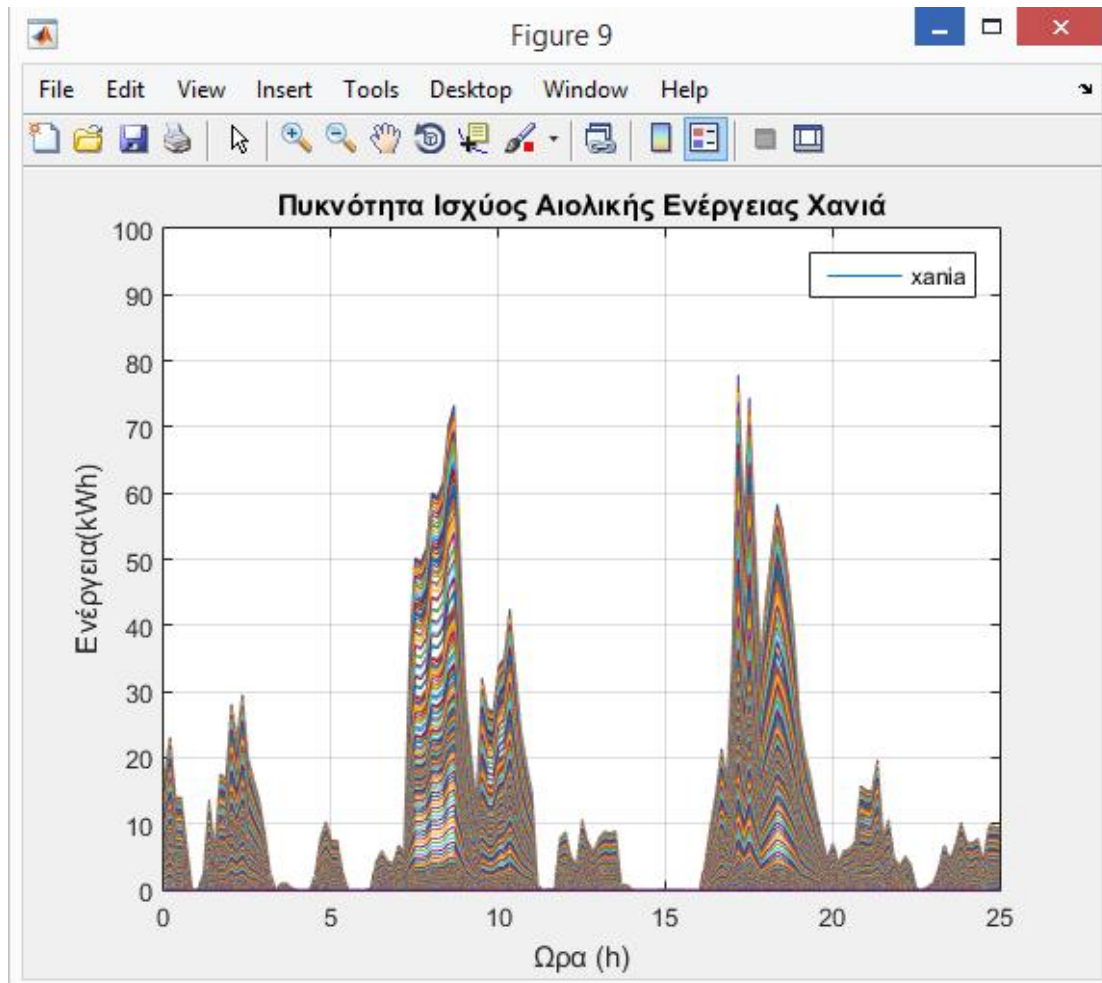
Αυτή είναι η θεωρητική ενέργεια που παράγει ο άνεμος. Είναι διαφορετική από το δυναμικό του ανέμου, επειδή ο Υ-άξονας είναι σε kW/h αντί για m/s. Η παραγόμενη αιολική ενέργεια χρησιμοποιείται για υπολογισμούς που θα γίνουν αργότερα για τον προσδιορισμό της παραγόμενης ενέργειας από τις ανεμογεννήτριες.



Σχήμα 14: Αιολική Ενέργεια στα Χανιά

➤ **ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΙΟΛΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ**

Είναι το ίδιο γράφημα όπως αυτό της παραγόμενης αιολικής ενέργειας. Ωστόσο, σε αυτό το γράφημα, εμφανίζεται η συνολική ενέργεια του παραγόμενου αέρα.



Σχήμα 15: Πυκνότητα Ισχύος Αιολικής Ενέργειας στα Χανιά

2.7.3 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

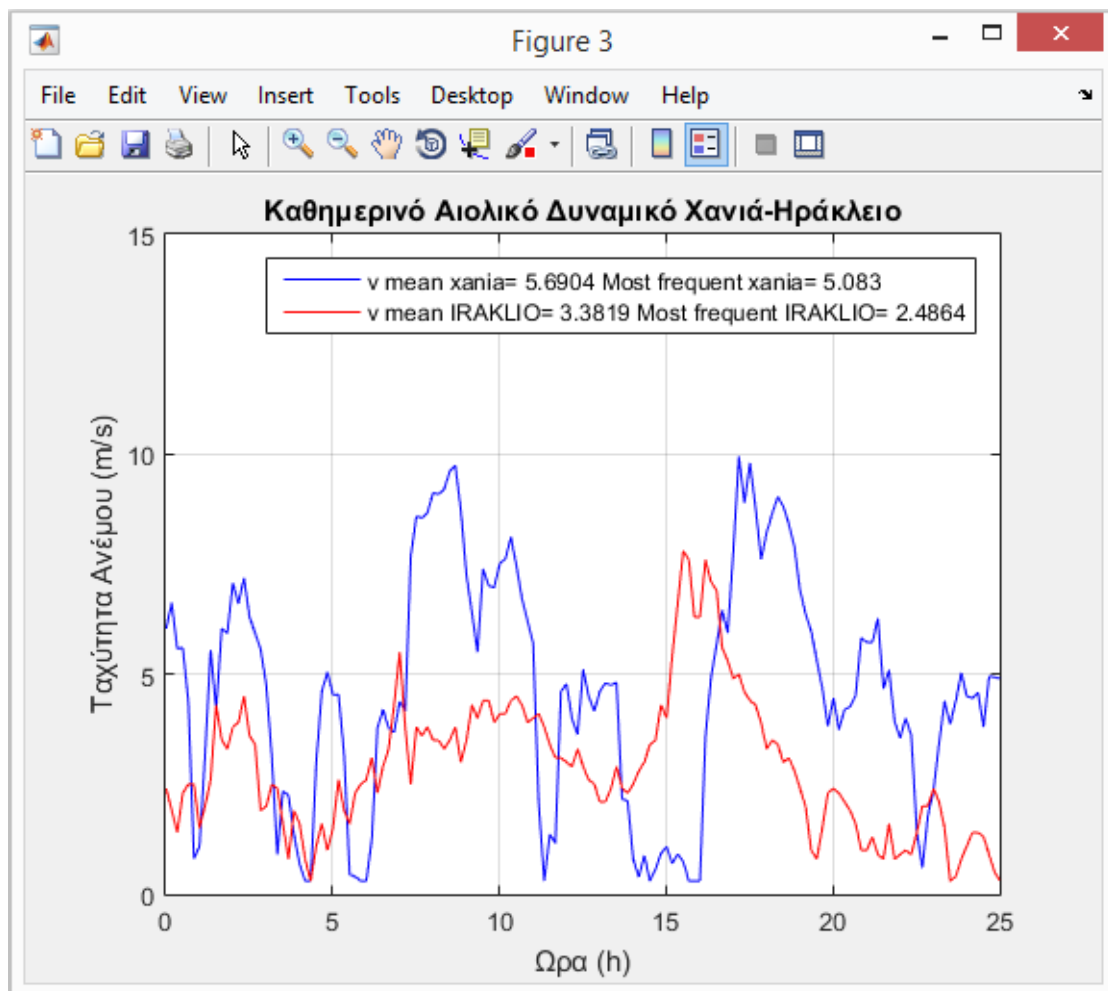
Σε αυτή την παράγραφο θα συζητηθούν τυχαίες ημέρες. Ο σκοπός είναι να εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τα γραφήματα και επίσης να προσδιοριστούν οι δυνατότητες του προγράμματος.

2.7.3.1 Παράδειγμα ΙΟΥΝΙΟΥ 2010

Για το παράδειγμα αυτό χρησιμοποιήθηκαν δύο ανεμογεννήτριες των 20 kW, όπου βρίσκονταν η μία στα Χανιά και η άλλη στο Ηράκλειο (εργαστήριο).

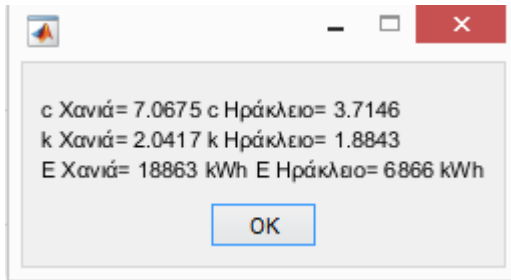
2.7.3.2 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Η μέση ταχύτητα του ανέμου μπορεί να μας πει πολλά για την παραγόμενη ενέργεια. Η μέση ταχύτητα του ανέμου στα Χανιά είναι πάνω από την cut in speed της ανεμογεννήτριας, πράγμα που σημαίνει ότι κατά μέσο όρο η ανεμογεννήτρια θα παράγει ενέργεια. Η μέση ταχύτητα στο Ηράκλειο είναι επίσης μεγαλύτερη της cut in speed, που σημαίνει ότι οριακά θα παράγει και αυτή ενέργεια. Επίσης, παρατηρείται ότι η πιο συχνή ταχύτητα ανέμου στα Χανιά είναι πολύ υψηλότερη (σχεδόν διπλάσια για την ακρίβεια) από τις μετρήσεις στο Ηράκλειο. Η συχνότερη ταχύτητα ανέμου στο Ηράκλειο είναι κάτω από την cut in speed των ανεμογεννητριών, το οποίο δείχνει ότι η ανεμογεννήτρια θα παράγει λιγότερη ενέργεια.

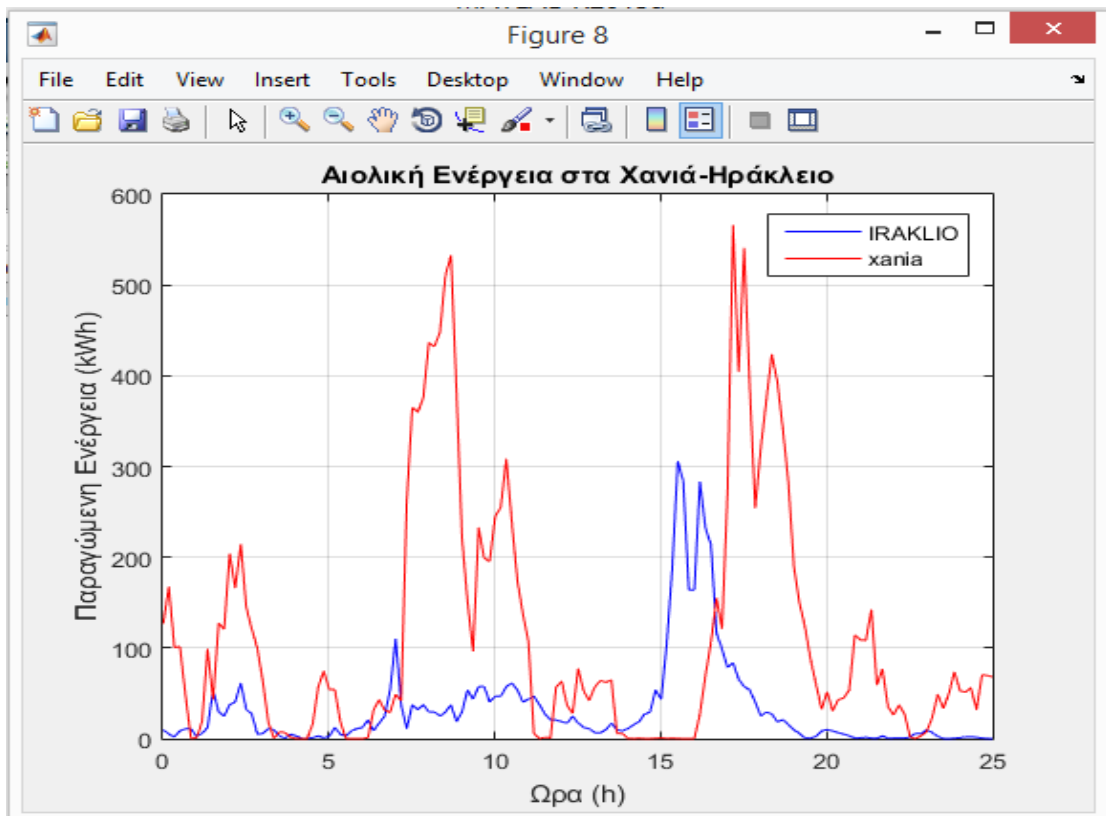


Σχήμα 16: Καθημερινό Αιολικό Δυναμικό Χανιά-Ηράκλειο

2.7.3.3 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΑΙΟΛΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ



Με βάση λοιπόν την μέση αλλά και τη συχνότερη ταχύτητα των Χανίων, φαίνεται ότι η ανεμογεννήτρια στα Χανιά παράγει περισσότερη ενέργεια. Στην πραγματικότητα, παράγει περίπου δύομισή φορές μεγαλύτερη ενέργεια απ του Ηρακλείου, παρόλο που οι ανεμογεννήτριες είναι πανομοιότυπες.

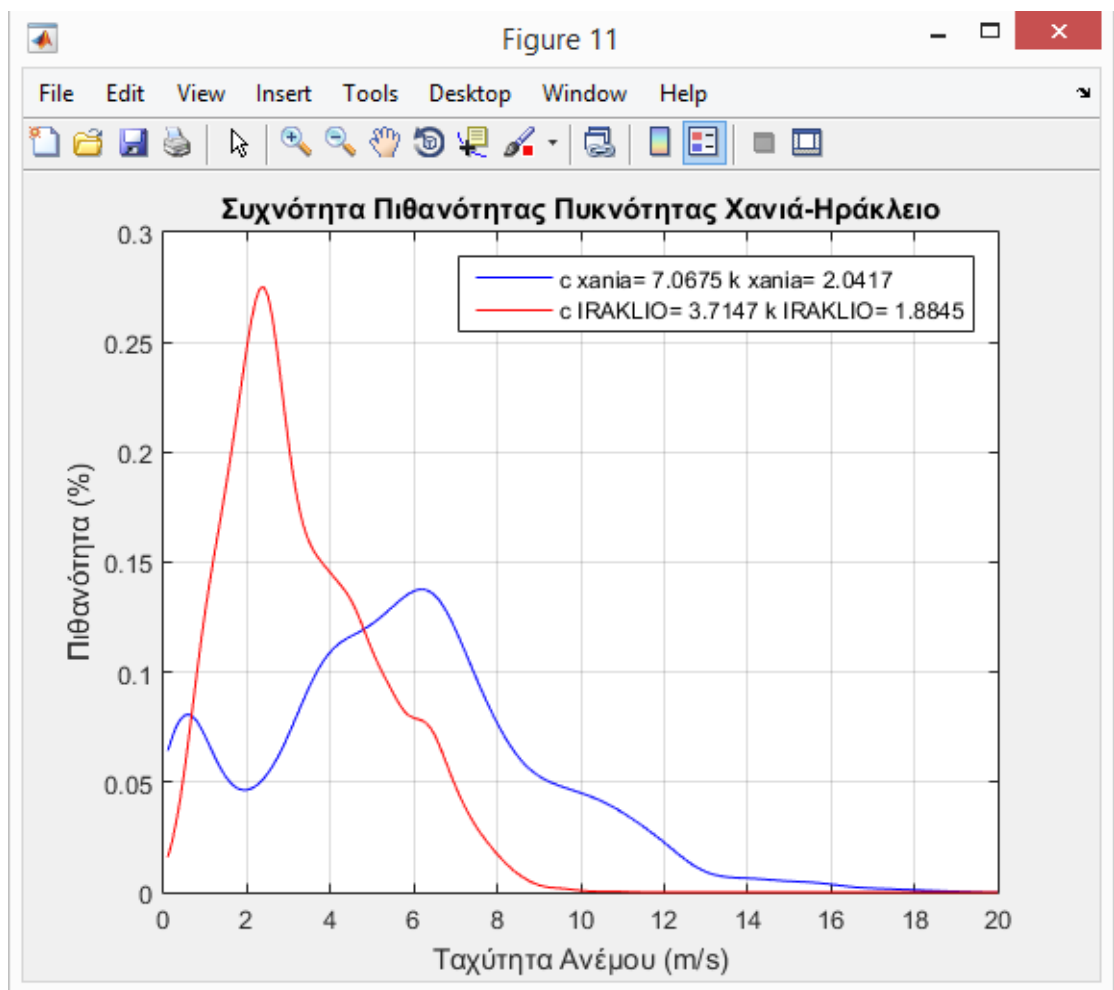


Σχήμα 17: Αιολική Ενέργεια Χανιά-Ηράκλειο

2.7.3.4 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ

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 στα Χανιά απ' ό τι στο Εργαστήριο και αυτό εξηγεί την αύξηση της παραγόμενης ενέργειας.

Η παράμετρος k είναι μεγαλύτερη στα Χανιά απ' ό τι στο Ηράκλειο, αλλά δεδομένου ότι η μέση ταχύτητα του ανέμου από τις μετρήσεις στα Χανιά είναι 5.7 m/s, είναι επίσης μία ένδειξη ότι η ποιότητα του ανέμου στα Χανιά είναι καλύτερη.



Σχήμα 18: Συχνότητα Πιθανότητας Χανιά-Ηράκλειο

2.7.3.5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

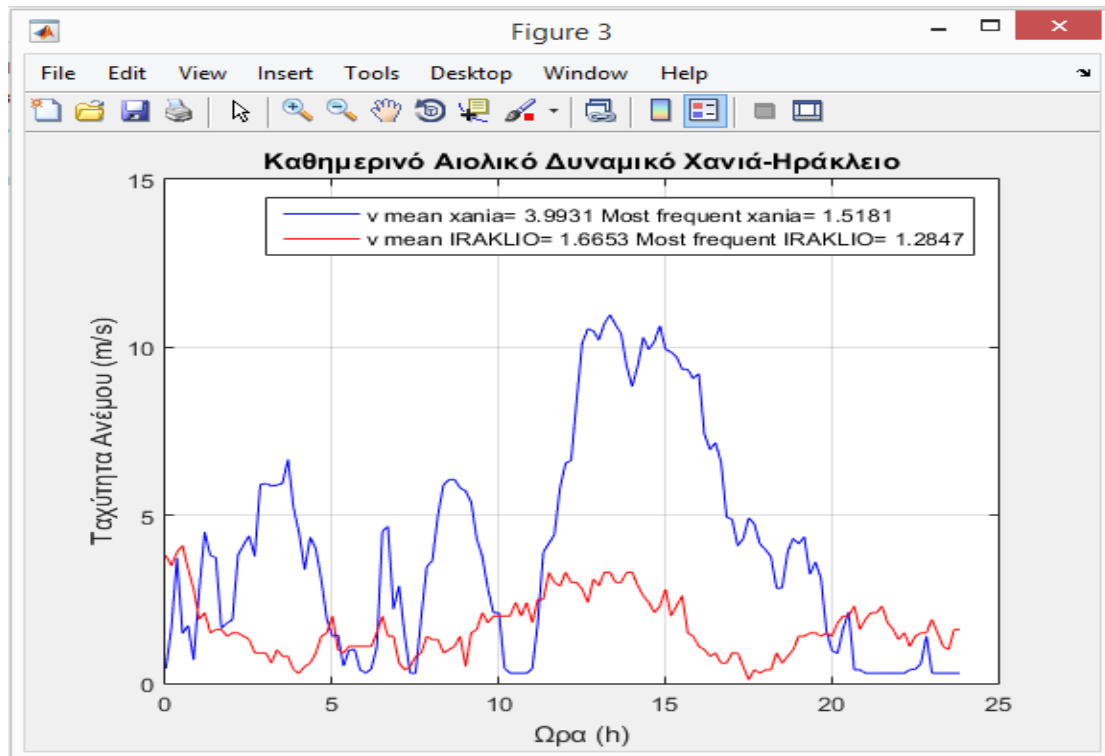
Η ποιότητα του αέρα την συγκεκριμένη ημέρα στην περιοχή Χανιά είναι πολύ καλύτερη απ' ότι στο Ηράκλειο. Η μέση ταχύτητα του ανέμου, καθώς και οι παράμετροι k και c το επιβεβαιώνουν. Επίσης, αυτό αποδεικνύει ότι μπορούν να συγκριθούν ποιότητες ανέμου με αυτό το πρόγραμμα.

2.7.3.6 Παράδειγμα ΜΑΡΤΙΟΥ 2011

Στο παράδειγμα αυτό, χρησιμοποιήθηκαν δύο ανεμογεννήτριες των 100 kW, για την 5 ημέρα του Μάρτη. (5/3/2011).

2.8 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

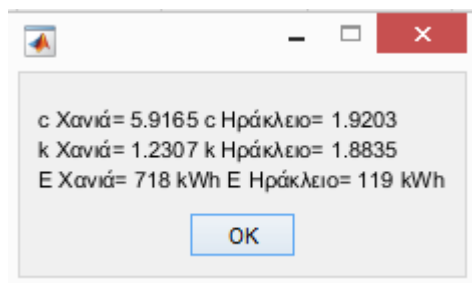
Οι μέσες ταχύτητες των ανέμων για τη συγκεκριμένη ημέρα και στις δύο περιοχές, είναι σχετικά χαμηλές. Ειδικά όσο αφορά το Ηράκλειο, στο παρακάτω γράφημα φαίνεται ότι δεν υπάρχει σχεδόν καθόλου αέρας. Λόγω αυτού, και δεδομένου ότι χρησιμοποιείται μία ανεμογεννήτρια των 100 kW με υψηλή cut in speed (3.5m/s), δεν θα υπάρχει καθόλου παραγωγή ενέργειας. Στα Χανιά αντίστοιχα, παρατηρούμε ότι η μέση ταχύτητα είναι ελαφρώς μεγαλύτερη της cut in speed της ανεμογεννήτριας. Κάτι που σημαίνει ότι θα παράγει ενέργεια.



Σχήμα 19: Καθημερινό Αιολικό Δυναμικό Χανιά-Ηράκλειο

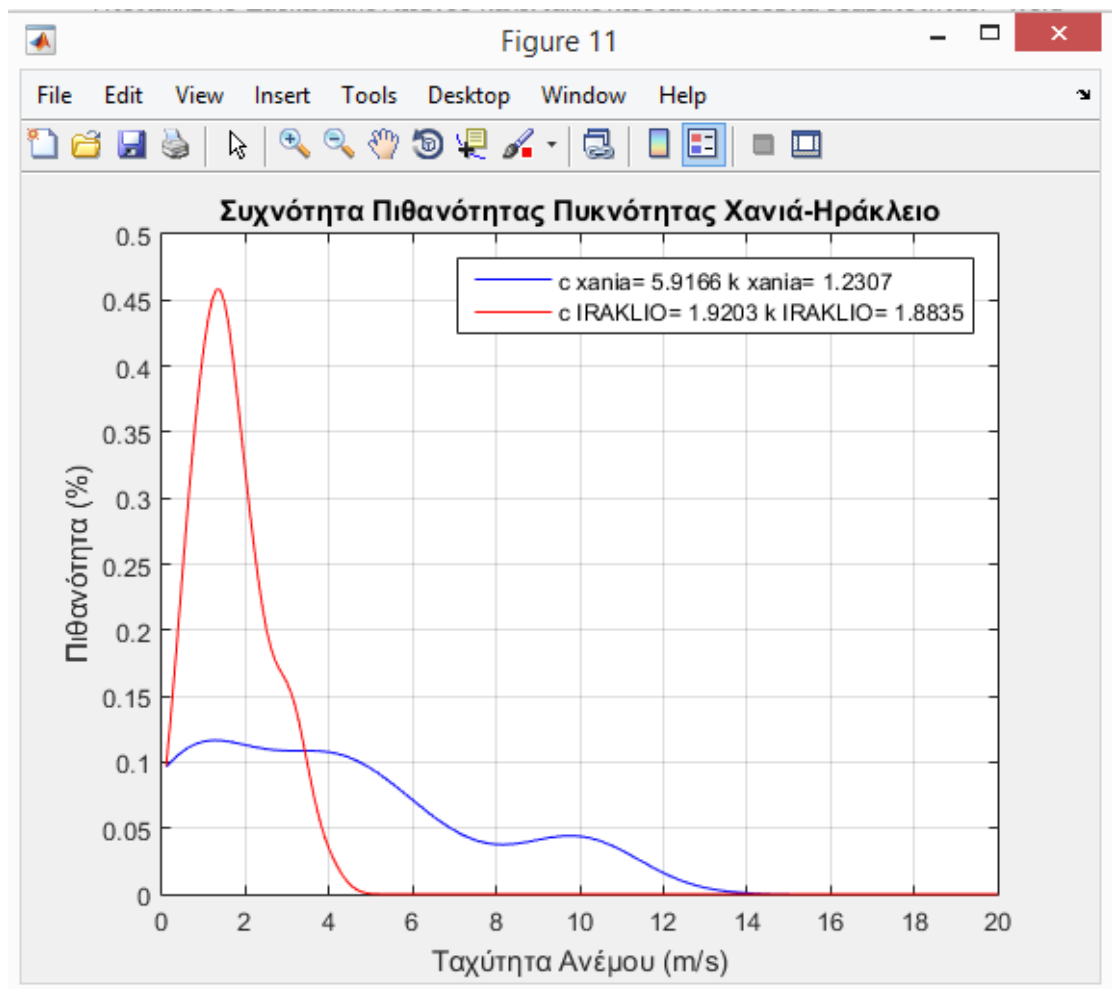
2.8.1 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Γενικά χαμηλή η ενέργεια και στις δύο περιοχές, λόγω της πολύ χαμηλής ταχύτητας. Ειδικά στο Ηράκλειο, τα πτερύγια της ανεμογεννήτριας δεν περιστρέφονται καν, αν συνυπολογιστούν αφενός το γεγονός ότι παράγει πάρα πολύ λίγη ενέργεια και αφετέρου ότι η μέση ταχύτητα είναι μικρότερη της cut in speed.



2.8.2 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ

Δεδομένου ότι η παράμετρος c επηρεάζει άμεσα την παραγόμενη ενέργεια και η παράμετρος k σε αυτή την περιοχή είναι μεγαλύτερη, τα Χανιά έχουν την μεγαλύτερη ενέργεια που παράγεται. Ωστόσο, η παράμετρος k έχει μικρότερη τιμή στην θέση Χανιά απ' ό τι στο Ηράκλειο. Ενδεχομένως αυτό να οφείλεται στο ότι οι μετρήσεις στην περιοχή των Χανίων 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 των Χανίων είναι ελαφρώς χαμηλή, αυτό δείχνει ότι η ποιότητα του αέρα δεν είναι αρκετά καλή, όπως ήταν για παράδειγμα αυτή στο παράδειγμα του Ιουνίου του 2010.



Σχήμα 20: Συχνότητα Πιθανότητας Χανιά-Ηράκλειο

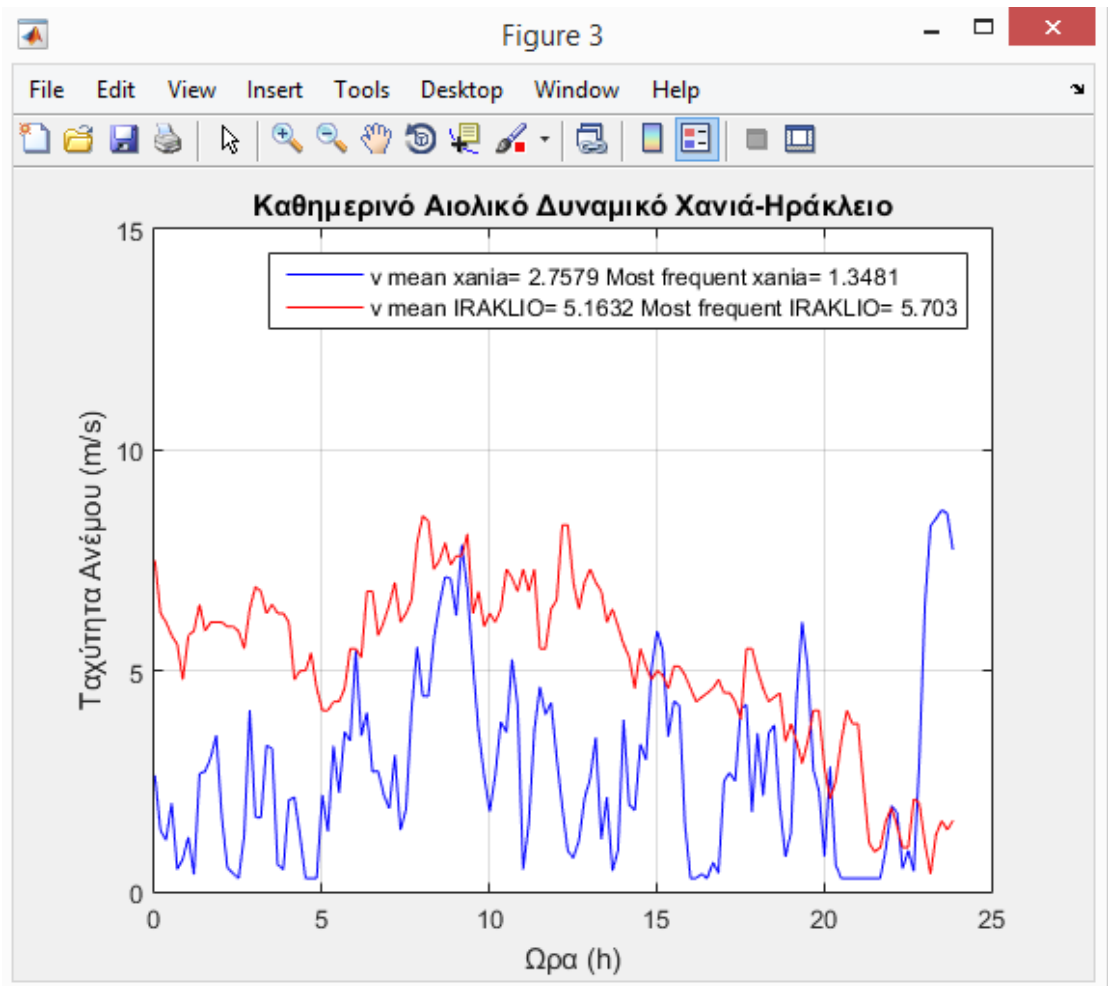
2.8.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η ανεμογεννήτρια στα Χανιά παράγει περισσότερη ενέργεια, επειδή παρουσιάζει περισσότερα μέγιστα που περνούν την cut in speed της ανεμογεννήτριας. Η ποιότητα του ανέμου στα Χανιά είναι καλύτερη από το Ηράκλειο (λόγω του κατά πολύ υψηλότερου c). Από την στιγμή που μια ανεμογεννήτρια των 100 kW έχει υψηλότερη cut in speed, από τη μέση ταχύτητα στο Ηράκλειο, είναι προφανές ότι η ανεμογεννήτρια στα Χανιά θα παράγει περισσότερη ενέργεια.

2.8.4 Παράδειγμα ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2010

2.8.4.1 ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

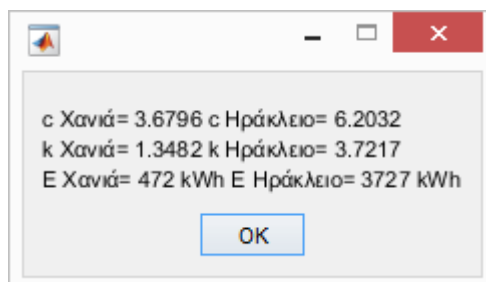
Τα παρακάτω γραφήματα και οι υπολογισμοί, είναι για την 4^η Δεκεμβρίου του 2010. Από το συγκριτικό διάγραμμα Καθημερινού Αιολικού Δυναμικού για τις δύο περιοχές φαίνεται ότι η ανεμογεννήτρια στα Χανιά δεν παράγει ενέργεια λόγω της πολύ χαμηλής μέσης ταχύτητας, που είναι και κατά πολύ μικρότερη της cut in speed (3.5 m/s). Αντιθέτως η ανεμογεννήτρια στο Ηράκλειο παράγει ενέργεια λόγω του ότι υπάρχει αέρας. Η πιο συχνή ταχύτητα στα Χανιά είναι γύρω 1,3 m/s, δηλαδή φυσάει πάρα πολύ λίγο έως καθόλου. Ως εκ τούτου η ανεμογεννήτρια των 100kW που χρησιμοποιείται, δεν ενεργοποιείται.



Σχήμα 21: Αιολικό Δυναμικό Χανίων-Ηρακλείο- 4 Δεκεμβρίου

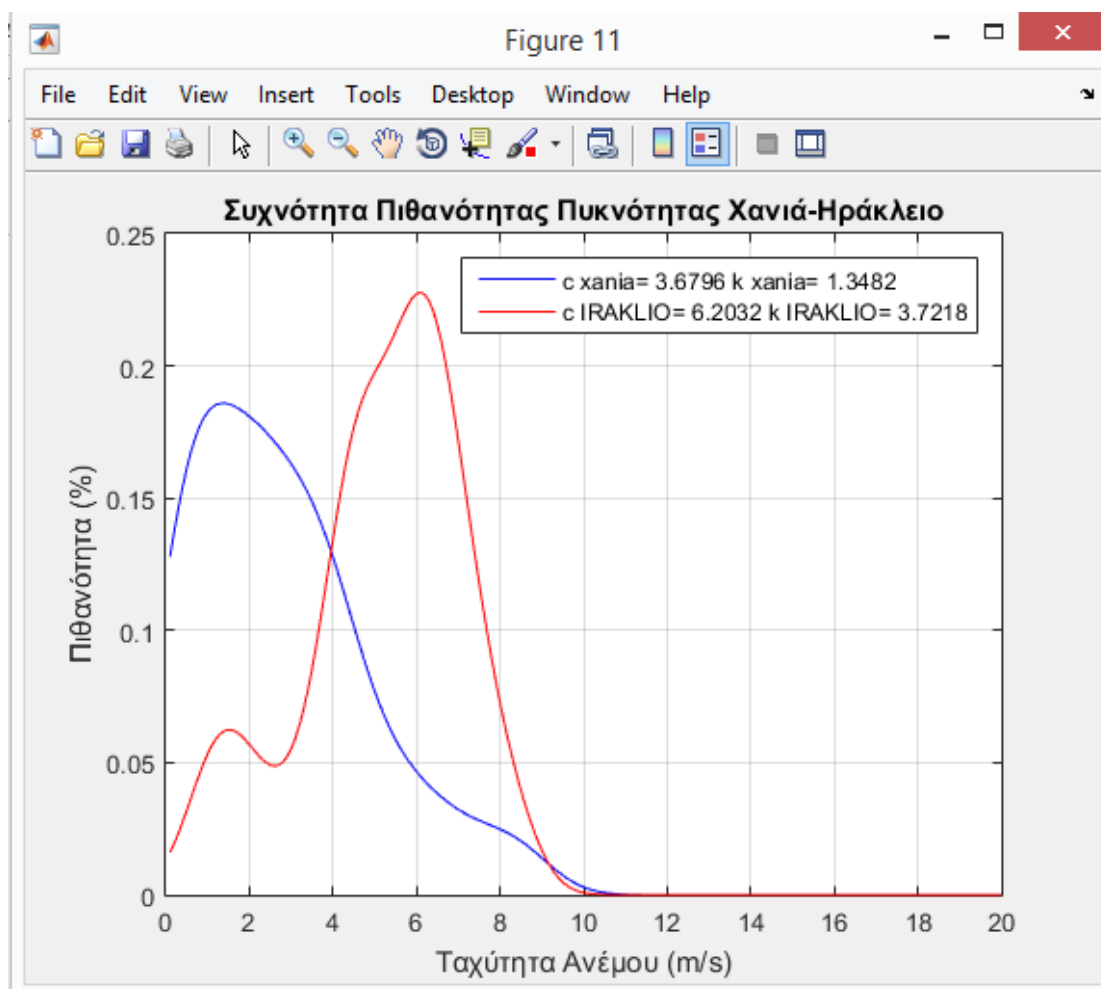
2.8.4.2 ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΟ ΑΙΟΛΙΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ

Λόγω των παραπάνω, η ανεμογεννήτρια του Ηρακλείου παράγει πολύ περισσότερη ενέργεια από αυτή των Χανίων, σχεδόν οκταπλάσια.



2.8.4.3 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΑΝΕΜΟΥ

Ο συντελεστής k στην θέση στο Ηράκλειο έχει υψηλότερη τιμή και έτσι οι μετρήσεις είναι πιο γεμάτες γύρω από την μέση ταχύτητα του ανέμου. Επίσης η μεγαλύτερη τιμή του c στο Ηράκλειο, δείχνει ότι η ποιότητα του αέρα στο εργαστήριο είναι πολύ καλύτερη από των Χανίων.



Σχήμα 22: Συχνότητα Πιθανότητας Χανιά-Ηράκλειο

2.8.4.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Για την 4^η Δεκεμβρίου, η ανεμογεννήτρια του Ηρακλείου παράγει πολύ πειρσσότερη ενέργεια λόγω της ύπαρξης αέρα, ενώ η ποιότητα του είναι

καλή. Στα Χανιά η ανεμογεννήτρια δεν ενεργοποιείται όπως ειπώθηκε πιο πάνω, λόγω και της υψηλής cut in speed.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3.1 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. [7]

Οι σχετικές τιμές της κατακόρυφης ροής ενεργείας 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 αστερίων		$1.3 * 10^{-9}$
	Κοσμικές ακτίνες		$2.7 * 10^{-9}$
	Υπεριώδες του διαστήματος		$7 * 10^{-9}$
	Νυχτερινό φως του ουρανού	{ Ορατο Υπέρυθρο	$14 * 10^{-9}$ $11 * 10^{-9}$
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).

3.2 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 περίπου, είναι η πιο μεγάλη θερμική πηγή του συστήματος μας και προκαλεί στο διάστημα ακτινοβολία που η ένταση της στην επιφάνεια του Ήλιου είναι 70MW/m².

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

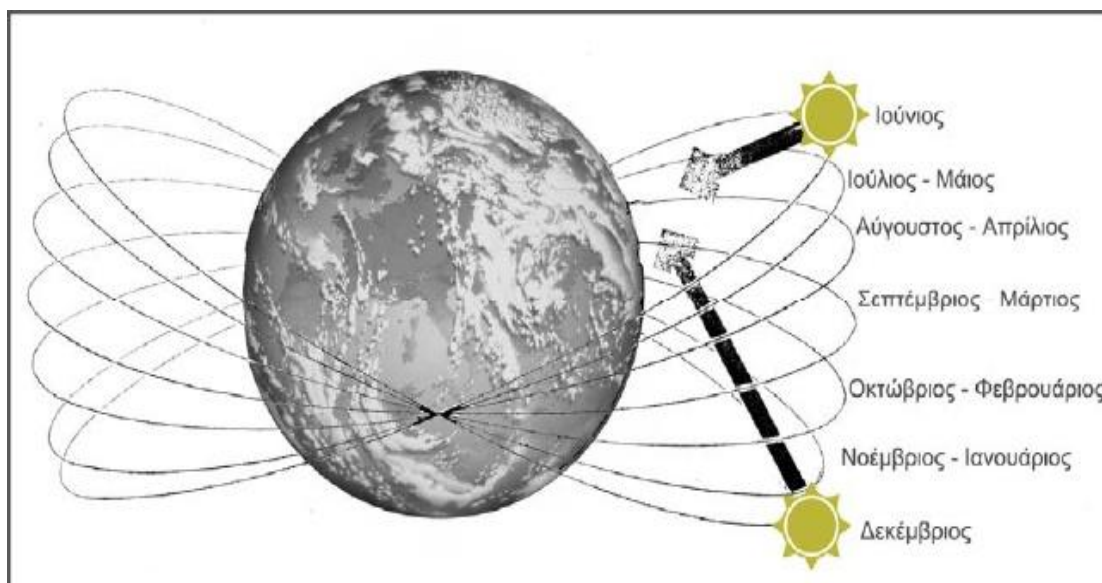
στρώματα αποτελείται από περίπου 92,1% υδρογόνο, 7,8% ήλιο και ένα υπόλοιπο από τα άλλα διάπυρα αέρια.

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

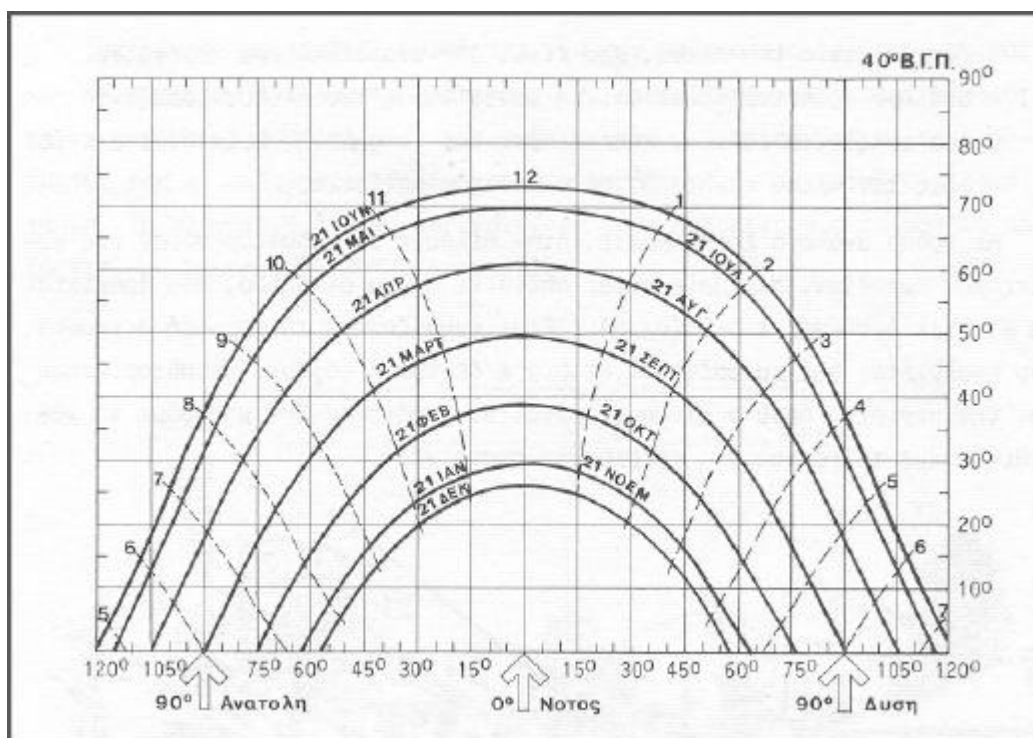
3.3 Η ΤΡΟΧΙΑ ΤΟΥ ΗΛΙΟΥ

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 (δ), δηλαδή της γωνίας που σχηματίζεται ανάμεσα στην ευθεία που ενώνει το κέντρο της Γης με το κέντρο του Ήλιου και στο επίπεδο του ισημερινού.



Εικόνα 4 :Τροχιά του Ηλίου κατά την περίοδο του έτους (Α)



Εικόνα 5 :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.

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

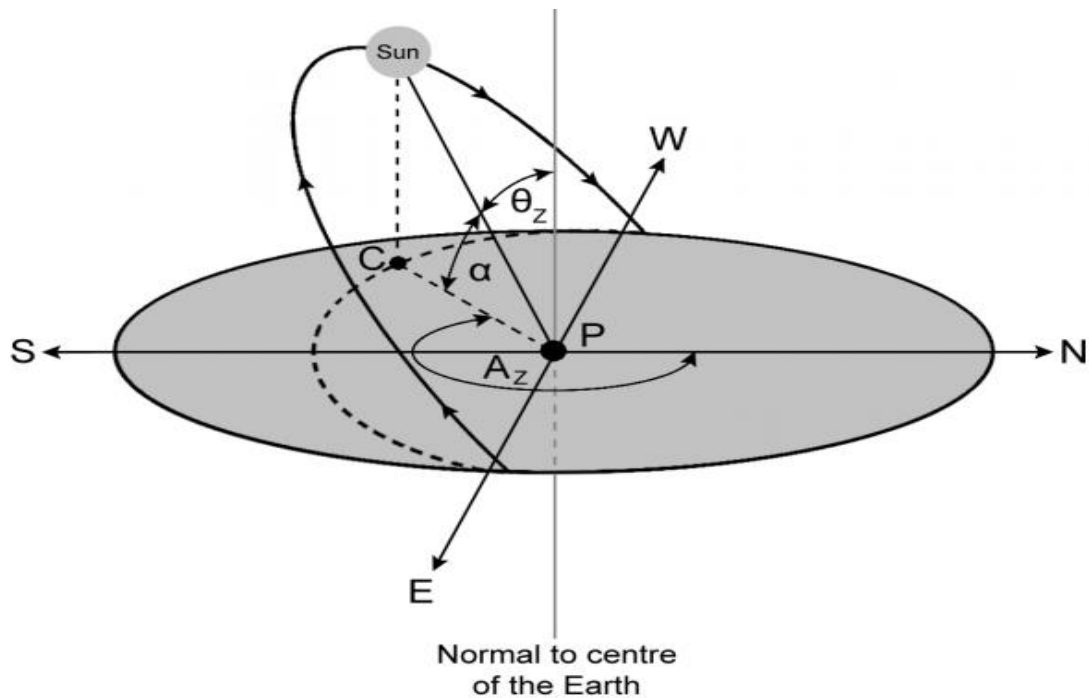
Β) Παράδειγμα των αντίστοιχων τροχιών που διαγράφει ο ήλιος στην διάρκεια της ημέρας, κατά τα ηλιοστάσια καθώς και τις ισημερίες, σε τοποθεσία με γεωγραφικό πλάτος βόρειο 38° , όπως η Αθήνα. Οι ενδείξεις του μεσημεριού και των ωρών της ημέρας είναι σε ηλιακές τιμές.

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 (α) και το αζιμούθιο (AZ).



Εικόνα 6: Ζηνηθιακή γωνία (θ_Z), γωνία υψόμετρου (α) 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° έως 90° και συμβολίζεται με θ_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 γωνιά 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 α και μετριέται από 0° έως 360° . 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.

3.4 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 (ω)**. 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 Κζ, ($EL=90^\circ-z$).
- **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 . Μετριέται 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:

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

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

Όπου:

φ : το γεωγραφικό πλάτος του τόπου

δ : η απόκλιση του ηλίου την δεδομένη ημέρα

ω : η ωριαία γωνία του ήλιου γι την δεδομένη χρονική στιγμή

- **Ηλιακή απόκλιση (δ)**. 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 (δ) 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 (δ) μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια με την εξίσωση του Spencer (1971):

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

Όπου το Γ (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.

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

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

3.5 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 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/m².

Από την ενέργεια που στέλνει κάθε χρόνο ο ήλιος στη γη (150×10^9 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 .

3.6 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 λ προσπέσει σε σωματίδια που η διάσταση τους είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με το μήκος κύματος λ .

- **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 τις 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.

3.7 ΎΡΓΑΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

3.7.1 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.

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:

Εύρος μετρήσεων	0 - 1400 W / m ² (max. 1400 W / m ²)
Φασματική περιοχή	0,305 - 2,8 μm
Ευαισθησία	4 - 6 μV / Wm ⁻²
Αντίσταση	700 - 1500 Ohm
Χρόνος απόκρισης	24 s μέχρι το 99 % της τελικής τιμής 4 s μέχρι το 63 % της τελικής τιμής
Ακρίβεια	
Ευαισθησία	< ± 0,5 % ανά χρόνο
Μη-γραμμικότητα	± 0,6 % Deviation related to 1000 W/m ²
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
Βάρος

Typ LiYCY 2 x 0,35 mm², 10m long
0,85 kg

3.7.1^α Προδιαγραφές του πυρανόμετρου CM11

3.7.2 Μετρητής υγρασίας και θερμόμετρο SKH 2011

Σε αυτόν τον αισθητήρα της εταιρείας Skye of instrument Ltd. αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο σύστημα μετρητή υγρασίας και ενός θερμόμετρου, 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.



Εικόνα 7 Μετρητής υγρασίας και θερμόμετρο 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 $\pm 0,2$ °C για περιοχή μετρήσεων από 0 °C έως 60 °C.



3.7.3 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 8 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.

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..

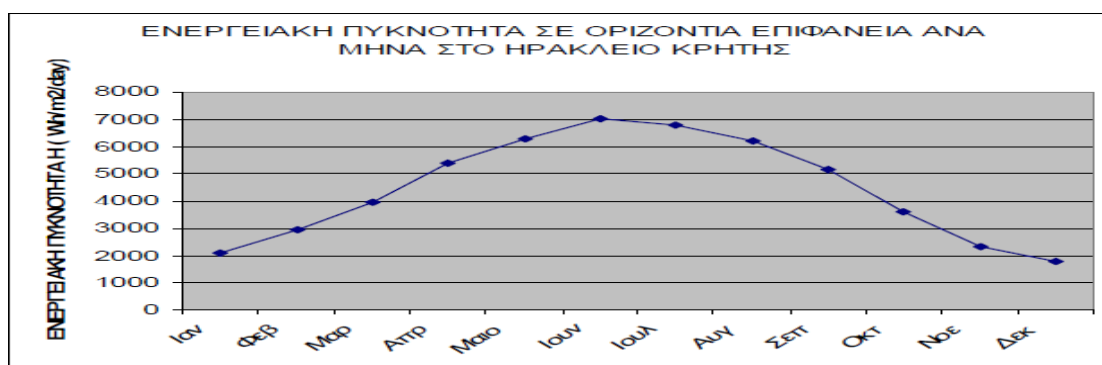
Το βαρόμετρο το οποίο χρησιμοποιήσαμε προέρχεται από την εταιρεία Delta DEVICE Ltd και είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για χρήση σε μετεωρολογικούς σταθμούς. Παρακάτω ακολουθεί αναλυτικός πίνακας με τις προδιαγραφές του συγκεκριμένου βαρομέτρου.

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 3.7.3α Προδιαγραφές του **βαρόμετρο BS4**

3.8 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 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 ενεργειακής πυκνότητας σε οριζόντια επιφάνεια ανά μήνα στο Ηράκλειο Κρήτης



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

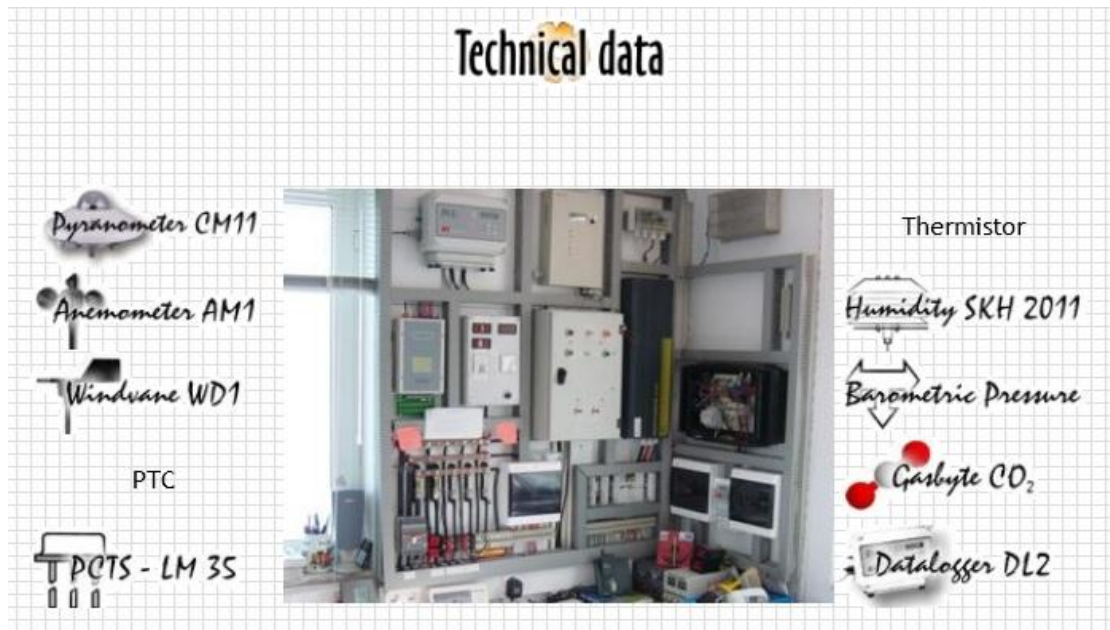
Από τα συγκεκριμένα διαγράμματα προκύπτει ότι την περίοδο του καλοκαιριού η μέση ημερήσια τιμή της ηλιακής ενέργειας σε οριζόντιο επίπεδο προσεγγίζει τις $7 \text{ kWh} / \text{m}^2$. Αντίστοιχα, τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο φτάνει τις $2 \text{ kWh} / \text{m}^2$. Ενδεικτικό είναι, όμως, και το μέγεθος της πυκνότητας ισχύος της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, αφού το μήνα Δεκέμβριο μόλις που ξεπερνά τα $500 \text{ W} / \text{m}^2$, ενώ τον Ιούνιο προσεγγίζει τα $950 \text{ W} / \text{m}^2$. 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.

3.8.1 Μετρούμενα μεγέθη

Πιο αναλυτικά, τα μεγέθη στα οποία έγινε λήψη μετρήσεων με την βοήθεια των οργάνων που παρουσιάστηκαν:

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

Πρακάτω παρατίθενται δύο εικόνες. Η μία δείχνει μία αίθουσα λήψης μετρήσεων και αναλυτική περιγραφή των οργάνων που χρησιμοποιούνται για την λήψη τους μέσω της ιστοσελίδας <http://meteo.epp.teiher.gr/site/>, ενώ στη δεύτερη απεικονίζεται ένας πίνακας ελέγχου μετεωρολογικών δεδομένων, μετεωρολογικού σταθμού Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης.



Κέντρο ελέγχου μετεωρολογικών μετρήσεων



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	Windwane 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

3.9 ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ

3.9.1 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. [8]

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.

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 ψυχόμενο 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.
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.

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 αργά βήματα. Η κυριότερη εφαρμογή τους ήταν στους δορυφόρους, όπου αφενός εφαρμόζεται η πιο σύγχρονη τεχνολογία, αφ' ετέρου το κόστος είναι δευτερευών 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.

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 κadmium, το γερμάνιο ή άλλα μέταλλα, καθώς και διάφορα συστήματα διάταξης τους μπορούμε 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.

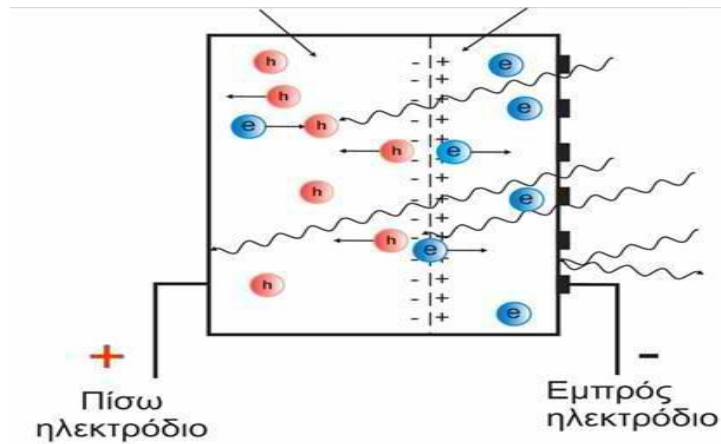
3.10 ΤΟ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Φωτοβολταϊκό φαινόμενο αποκαλείται η εμφάνιση διαφοράς δυναμικού στα άκρα μίας διόδου, η οποία ακτινοβολείται με ηλιακή ενέργεια. Για όσο χρονικό διάστημα διαρκεί η ακτινοβολία, παράγεται συνεχές ρεύμα από τη δίοδο, το οποίο μπορεί να τροφοδοτήσει ένα οποιοδήποτε φορτίο συνεχούς ρεύματος και κατά συνέπεια να έχουμε παραγωγή ηλεκτρικής ισχύς. Όταν διακοπεί η ακτινοβολία της διόδου, σταματάει και η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος.

Το Φ/Β στοιχείο κατασκευάζεται συνήθως από ημιαγωγία υλικά και ανάλογα με το είδος της πρόσμιξης που θα χρησιμοποιηθεί, οι ημιαγωγοί χαρακτηρίζονται είτε τύπου $-n$ είτε ως τύπου $-p$. Οι ημιαγωγοί τύπου $-p$ διαθέτουν περίσσια θετικών



φορτίων ή οπών, ενώ στους ημιαγωγούς τύπου $-n$ τα αρνητικά φορτία (ηλεκτρόνια) υπερισχύουν. Όταν αυτά τα δύο στρώματα των ημιαγωγών έρθουν σε επαφή μεταξύ τους, στο σημείο που ενώνονται δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο λόγω της διαφορετικότητας του φορτίου που περιέχουν οι δύο τύποι ημιαγωγών. Εάν με κάποιον τρόπο αυτές οι δύο επιφάνειες συνδεθούν μέσω κάποιων ακροδεκτών και ανάμεσα τους παρεμβληθεί μία αντίσταση φορτίου, τότε τα ηλεκτρόνια τύπου $-p$ θα κινηθούν προς τον ημιαγωγό τύπου $-n$ και αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος.



Σχήμα 25: Φωτοβολταϊκό Φαινόμενο

3.11 ΕΙΔΗ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΩΝ

Το υλικό που χρησιμοποιείται εύρυστα στη βιομηχανία της παγκόσμιας παραγωγής φωτοβολταϊκών είναι το πυρίτιο (Si). Οι λόγοι για τους οποίους συμβαίνει αυτό έχουν να κάνουν με το γεγονός ότι το πυρίτιο είναι το κύριο υλικό των διατάξεων ηλεκτρονικής για πολλές δεκαετίες. Επομένως, οι ιδιότητες του είναι καλά μελετημένες και το υλικό κυκλοφορεί στην αγορά σε αρκετά μεγάλες ποσότητες, με απόλυτη ικανοποιητική αξιοπιστία σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Τα αφοτοβολταϊκά στοιχεία διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες με βάση τη δομή του βασικού υλικού ή τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής.

3.11.1 Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΟΝΟΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Το μονοκρυσταλλικό πυρίτιο έχει μια ομοιόμορφη μριακή δομή, Συγκρινόμενο με υλικά που δεν είναι σε μορφή κρυστάλλου, η υψηλή του ομοιομορφία έχει ως αποτέλεσμα τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης. Μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα έχουν σε σύγκριση με πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα, σε πολύ υψηλή περιεκτικότητα πυρίτιο, είναι πιο αποτελεσματικά σε άμεσο ηλιακό φως και κατά συνέπεια οι αποδόσεις τους φτάνουν το 20%. [10]

3.11.2 Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΛΥΚΡΥΣΤΑΛΛΙΚΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Το πολυκρυσταλλικό πυρίτιο αποτελείται από περιοχές μονοκρυσταλλικού πυριτίου, αλλά δεν έχει την ομοιόμορφη κρυσταλλική δομή του μονοκρυσταλλικού πυριτίου. Πολλά πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα μαζί στη συνέχεια συνδυάζονται για να σχηματίσουν ένα ηλιακό στοιχείο. Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα στη συνέχεια ενσωματώνονται σε μια διαφανή στρώση αιθυλενίου-οξικού βινυλίου, και καλύπτονται με ένα φύλλο γυαλιού έτσι ώστε να σχηματίσουν ένα ηλιακό πλαίσιο. Τα πολυκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα είναι τετράγωνα, αλλά δεν έχουν στρογγυλεμένες γωνίες, όπως τα μονοκρυσταλλικά και έτσι η παρασκευή των ενοτήτων είναι λιγότερο δαπανηρή. Οι ενότητες είναι μπλέ και δεν είναι τόσο σκούρες όσο τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά κύτταρα και η απόδοσή τους βρίσκεται περίπου στο 15%. [10]

3.11.3 Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΛΕΠΤΟΥ ΦΙΛΜ

Η τεχνολογία λεπτού φίλμ έχει ως σκοπό τη μείωση του κόστους, μέσω της μείωσης του απαιτούμενου υλικού για την παραγωγή των στοιχείων. Η εναπόθεση μπορεί να γίνει κατευθείαν σε γυαλί, σε κεραμικό ή οποιοδήποτε άλλο κατάλληλο υπόστρωμα. Εκτός από το μειωμένο κόστος πλεονεκτούν και στην ευκολία με την οποία μπορεί να γίνει η σύνδεση τους σε σειρά, φτιάχνοντας έτσι, ολόκληρα πλαίσια κατά τη διαδικασία εναπόθεσης. Παρόλο που έχει πάχος μερικών μόνο μm, έχει αποδεχθεί θεωρητικά, αλλά και στην πράξη, ότι εμφανίζει μεγαλύτερη απόδοση. Το κλειδί στην τεχνολογία είναι ο έξυπνος οπτικός σχεδιασμός, με αποτέλεσμα το φως μέσω ανακλάσεως να διαγράφει διαδρομή 30 φορές ή και περισσότερο, μεγαλύτερη από το πάχος του φίλμ.

3.11.4 Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΜΟΡΦΟΥ ΠΥΡΙΤΙΟΥ

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία αυτά, έχουν αισθητά χαμηλότερες αποδόσεις σε σχέση με τις δύο προηγούμενες κατηγορίες. Πρόκειται για ταινίες λεπτών επιστρώσεων οι οποίες παράγονται με την εναπόθεση ημιαγωγού υλικού (πυρίτιο στην περίπτωση μας) πάνω σε υπόστρωμα υποστήριξης, χαμηλού κόστους όπως γυαλί ή αλουμίνιο. Έτσι και λόγω της μικρότερης ποσότητας πυριτίου που χρησιμοποιείται η τιμή τους

είναι γενικότερα αρκετά χαμηλότερη.

Το σημαντικότερο πλεονέκτημα για το φωτοβολταϊκό στοιχείο a-Si είναι το γεγονός ότι δεν επηρεάζεται πολύ από τις υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, πλεονεκτεί στην αξιοποίηση της απόδοσης του σε σχέση με τα κρυσταλλικά ΦΒ, όταν υπάρχει διάχυτη ακτινοβολία (συννεφιά). Το μειονέκτημα των άμορφων πλαισίων είναι η χαμηλή τους ενεργειακή πυκνότητα κάτι που σημαίνει ότι για να παράγουμε την ίδια ενέργεια χρειαζόμαστε σχεδόν διπλάσια επιφάνεια σε σχέση με τα κρυσταλλικά φωτοβολταϊκα στοιχεία. Επίσης υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την διάρκεια ζωής των άμορφων πλαισίων μιας και δεν υπάρχουν στοιχεία από παλιές εγκαταστάσεις αφού η τεχνολογία είναι σχετικά καινούρια. Παρόλα αυτά οι κατασκευαστές πλέον δίνουν εγγυήσεις απόδοσης 20 ετών. Το πάχος του πυριτίου είναι περίπου 0,0001 χιλιοστά ενώ το υπόστρωμα μπορεί να είναι από 1 έως 3 χιλιοστά. [11]

3.11.5 Φ/Β ΣΤΟΙΧΕΙΑ CIGS

Οι CIGS ενότητες με την νέα thin-film τεχνολογία δεν είναι πολύ καιρό την αγορά, έτσι δεν υπάρχουν μακροχρόνιες μελέτες και τα φωτοβολταϊκά πάνελ εξακολουθούν να είναι σχετικά ακριβά σε σύγκριση με τα μονοκρυσταλλικά ή πολυκρυσταλλικά. Έχουν μια μέση απόδοση από 13%-15%, αλλά επίσης χρησιμοποιούν το χαμηλό φως πολύ καλά. Ειδικά το χειμώνα, μπορούν, σε αντίθεση με ένα μονοκρυσταλλικό, πολυκρυσταλλικό να εκμεταλλεύονται την ηλιακή ακτινοβολία πολύ αποτελεσματικά.

Ο πίνακας αποτελεί ένα αρχικό σημείο αναφοράς κατά την επιλογή μεταξύ μονοκρυσταλλικού, πολυκρυσταλλικού ή CIGS τύπου μονάδας. [10]

	Μονοκρυσταλλικά	Πολυκρυσταλλικά	CIGS
Απόδοση	14 - 20 %	12 - 16 %	13 - 15 %
Με χαμηλή ακτινοβολία	Σημαντική μείωση της απόδοσης	Σημαντική μείωση της απόδοσης	Πολύ μικρή μείωση της απόδοσης
Με υψηλή θερμοκρασία	Μείωση της απόδοσης	Μείωση της απόδοσης	Πολύ μικρή μείωση της απόδοσης
Κόστος	Ακριβότερα από πολυκρυσταλλικά	Φτηνότερα από μονοκρυσταλλικά και CIGS	Ακριβά
Διάρκεια ζωής	Μικρές απώλειες της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου, υψηλή διάρκεια ζωής	Απώλειες της απόδοσης με την πάροδο του χρόνου, υψηλή διάρκεια ζωής	Νέα τεχνολογία, χωρίς πληροφορίες για διάρκεια ζωής
Βάρος	Υψηλό	Υψηλό	Χαμηλό

Πίνακας σύγκρισης πολυκρυσταλλικών/μονοκρυσταλλικών/CIGS

3.12 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ Φ/Β ΠΛΑΙΣΙΩΝ

Το κυριότερο χαρακτηριστικό τους στοιχείο είναι η ισχύς αιχμής τους. Ισχύς αιχμής P_p ενός φωτοβολταϊκού πλαισίου είναι η μέγιστη ισχύς με την οποία αυτό αποδίδει ηλεκτρική ενέργεια, κάτω από τις πρότυπες συνθήκες ελέγχου (Standar Testing Conditions). Οι STC περιλαμβάνουν:

- Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
- Πυκνότητα ισχύος $E = 1 \text{ kw/m}^2$
- Φάσμα ακτινοβολίας AM 1.5
- Θερμορασία πλαισίου 25° C

Η μέγιστη παραγόμενη ηλεκτρικής ισχύς ενός πλαισίου είναι κατά κανόνα μικρότερη της ισχύος αιχμής και δεν πρέπει να συγχέεται.

Άλλα σημαντικά στοιχεία είναι:

- Η ηλεκτρική τάση και το ηλεκτρικό ρεύμα στο σημείο αιχμής $V_{m \text{ STC}}$, $I_{m \text{ STC}}$

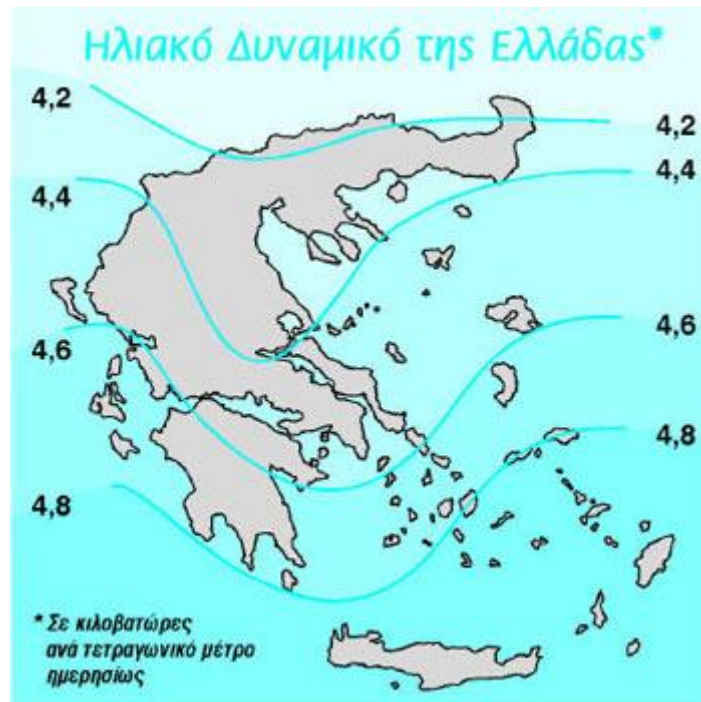
- Τάση ανοιχτού κυκλώματος $V_{oc\ stc}$
- Ρεύμα βραχυκύκλωσης $I_{sc\ stc}$
- Συντελεστής απόδοσης
- Διαστάσεις
- Βάρος του πλαισίου
- Εγγύηση

Ως συντελεστής απόδοσης ενός φωτοβολταϊκού στοιχείου ορίζεται ο λόγος της μέγιστης ηλεκτρικής ισχύος που παράγει το στοιχείο προς την ισχύ της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται στην επιφάνεια του:

$$\frac{n \cdot P_{out\ MAX}}{P_{in}} \quad (1.4)$$

3.13 ΗΛΙΑΚΟ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Η Ελλάδα λόγω της ευνοϊκής γεωγραφικής της θέσης, παρουσιάζει ένα ιδιαίτερο ψηλό ηλιακό δυναμικό, περίπου 1400-1800 kWh/m² ετησίως σε οριζόντιο επίπεδο, ανάλογα το γεωγραφικό πλάτος και το ανάγλυφο της περιοχής. Παρακάτω παρουσιάζεται το ηλιακό δυναμικό της Ελλάδας (σε kWh/m²) ημερησίως.



Σχήμα 26: Ηλιακό δυναμικό στην Ελλάδα

Εκτός από την μέση ημερήσια ενέργεια από τον ήλιο σε μηνιαία ή ετήσια βάση, άλλο χαρακτηριστικό στοιχείο μιας περιοχής είναι η ηλιοφάνεια της. Αυτή εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου και από τη θέση και διαμόρφωση της περιοχής. Τα χαρακτηριστικά αυτά πιθανόν ευνοούν την ανάπτυξη των νεφώσεων, με αποτέλεσμα την μείωση των ηλιόλουστων ημερών. Η ηλιοφάνεια εκφράζεται σε πλήθος ωρών ανά μήνα και ανά έτος κατά τις οποίες ο ήλιος είναι ορατός στον ουρανό. Στην Ελλάδα η περιοχή με την μεγαλύτερη ηλιοφάνεια, είναι η περιοχή της Ιεράπετρας στο νοτιοανατολικό μέρος της Κρήτης (3.101,5 ώρες ετησίως).

Η Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ) καταγράφει εδώ και πολλά χρόνια τις ώρες ηλιοφάνειας ανά ημέρα, αλλά και σε κάποιες περιπτώσεις την ολική ηλιακή ακτινοβολία (σε kWh/m²) για διάφορες περιοχές της χώρας.

Οι θέσεις των μετεωρολογικών σταθμών επιλέγονται ώστε οι μετρήσεις να είναι αξιόπιστες και να μην επηρεάζονται από φυσικά εμπόδια ή τοπικά φαινόμενα που να αλλοιώνουν το αποτέλεσμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4.0 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το πρόγραμμα “solar” υπολογίζει την ηλιακή ακτινοβολία και την παραγόμενη ενέργεια ενός η περισσοτέρων φωτοβολταϊκών πάνελ σε μια περιοχή. Οι μετρήσεις είναι από το έτος 2010 και αφορούν μετρήσεις ηλιακής ακτινοβολίας και θερμοκρασίας.

Έπειτα, αφού οι μετρήσεις είχαν περαστεί σε αρχεία excel, προσθέτονταν στο Mat lab, όπου το πρόγραμμα με τη σειρά του τις διάβαζε και τις έτρεχε με σκοπό να γίνουν οι συγκρίσεις των δεδομένων.

Παρακάτω θα γίνει αναλυτική περιγραφή του προγράμματος, βήμα-βήμα, αφού πρώτα επεξηγηθούν κάποιοι παράμετροι.

4.1 ΚΑΤΑΝΟΜΗ GAUSSIAN

KΑΤΑΝΟΜΗ GAUSSIAN (GAUSSIAN DISTRIBUTION)

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:

- 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 συμπεραματολογίας 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.

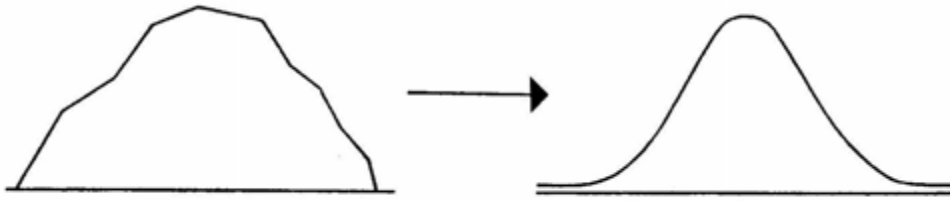
Η γραφική παράσταση της σχετιζόμενης συνάρτησης πυκνότητας πιθανότητας έχει σχήμα "καμπάνας", και είναι γνωστή ως Γκαουσιανή συνάρτηση ή κωδωνοειδής καμπύλη:[9]

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

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

4.2 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 κατανεμημένες, 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 κατανεμημένο, 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.

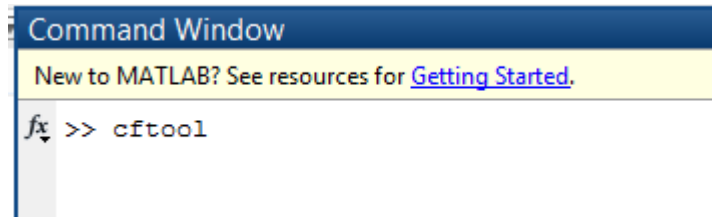
Συνήθως, η ομαλή καμπύλη μιας συνεχούς μεταβλητής μπορεί να περιγραφεί-προσεγγισθεί από ένα μαθηματικό μοντέλο το οποίο ονομάζεται συνάρτηση πυκνότητας. Η συνάρτηση πυκνότητας της κανονικής κατανομής έχει τύπο:

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

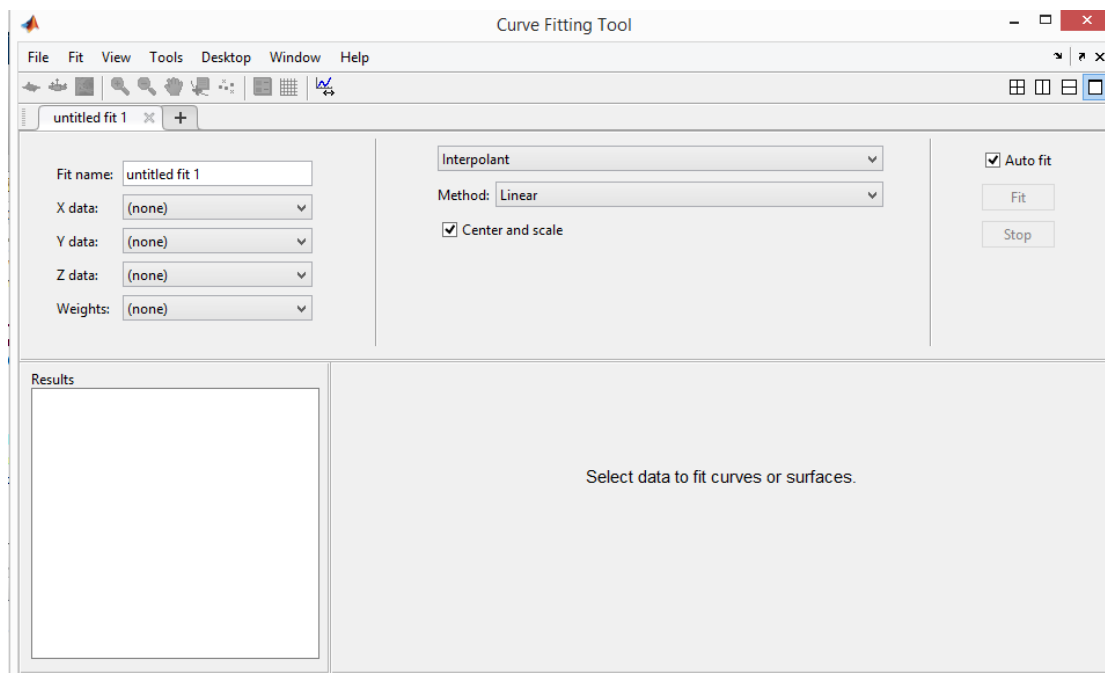
όπου, $\sigma > 0$ η τυπική απόκλιση και μ η μέση τιμή της μεταβλητής, με $-\infty < \mu < +\infty$.

4.3 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ GAUSSIAN

Αφού προσθέσουμε τις μετρήσεις και τις χρονικές περιόδους, βλέπουμε ότι οι μεταβλητές έχουν προστεθεί στο workspace στο Matlab. Τώρα, αφού υπάρχει διαθέσιμο το γράφημα, μπορούμε να προσθέσουμε το *fitting*. Για να σχεδιαστεί το γράφημα γράφουμε την εντολή *cftool* στο Matlab. Κάνουμε κλικ στην επιλογή *Data* για να προσθέσουμε το γράφημα.

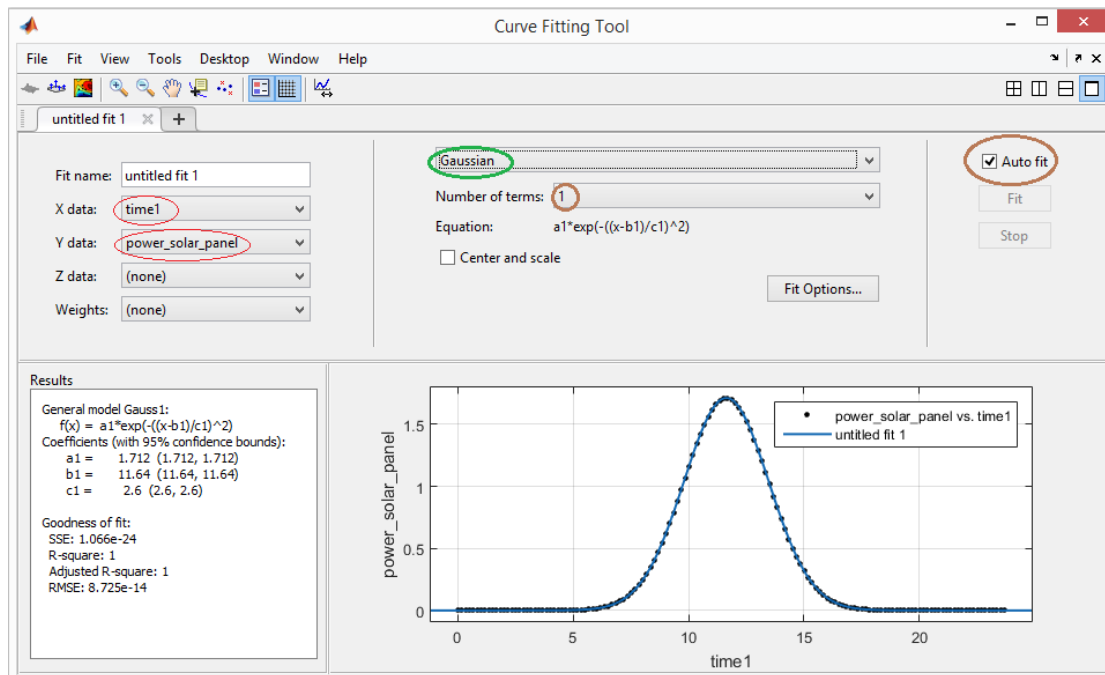


Έπειτα εμφανίζεται το παράθυρο Curve Fitting Tool, όπου θα τοποθετήσουμε τις κατάλληλες μεταβλητές.



Curve Fitting Tool

Οι μεταβλητές x και y , πρέπει να προστεθούν. Εδώ, το x είναι ο χρόνος (`time1`) και το y είναι η μεταβλητή `power_solar_panel`. Επιλέγουμε τον τύπο εφαρμογής Gaussian και στο ακριβώς από κάτω πεδίο ορίζουμε το βαθμό αυτής. Στο παρακάτω στιγμιότυπο έχουμε επιλέξει Gaussian 1^{ου} βαθμού.



Gaussian Fitting

Με την επιλογή Auto Fit επιλεγμένη, εμφανίζεται το Gaus Fitting στο κάτω μέρος του Curve Fitting.

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

4.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ GAUSSIAN 1^{ΟΥ} ΚΑΙ 2^{ΟΥ} 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^{ου}, 2^{ου}, ..., 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^ο Βαθμού:

```
if gaussian = 1;  
gfit = fit(time,data,'gauss1');  
a1 = gfit . a1;  
b1 = gfit . b1;  
c1 = gfit . c1;
```

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

➤ Gaussian 2^ο 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.

4.5 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

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)	0.14
6	Έτος τοποθέτησης των φωτοβολταϊκών πάνελ	2010 (0,25 €/Kwh)
7	Αριθμός φωτοβολταϊκών πάνελ χρησιμοποιήθηκαν	3
8	Βαθμός Gaussian	1

4.5.1 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.

4.5.2 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

4.5.3 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*.

```
% ΠΕΡΙΟΧΗ 1 ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΟΥ ΠΑΝΕΛ (m²)

area_1_solar_panell1 = length1 * width1; % ΣΕ 'm²'
```

4.5.4 Υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας των φωτοβολταϊκών πάνελ

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

```
% ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΣΥΝΟΛΙΚΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΩΝ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΩΝ ΠΑΝΕΛ.

area_total_solar_panels1 = area_1_solar_panell1*number_of_panels1; % ΣΕ 'm²'
```

4.5.5 Υπολογισμός της ηλιακής ακτινοβολίας

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

```
if gaussian <= 1;
gfit = fit(time_1, sun_power1, f1);
a1 = gfit . a1;
b1 = gfit . b1;
c1 = gfit . c1;

power_radiation = a1*exp(-((time1-b1)./c1).^2);
```

4.5.6 Υπολογισμός της ισχύος ενός φωτοβολταϊκού πάνελ σε Kw

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:

```
% ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΝΕΛ ΣΕ kW.  
power_solar_panel = power_radiation * area_1_solar_panel1 * panel_efficiency1 * coef1;
```

4.5.7 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;
```

4.5.8 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.

```
% ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΕΝΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟ ΠΑΝΕΛ.  
Produced_energy_1_solar_panel = trapz(time1, power_solar_panel); % in kwh
```

4.5.9 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.

```
% ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΛΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΜΕΝΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΠΟ ΟΛΑ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΝΕΛ.  
Total_Produced_energy_solar_panel = trapz(time1, total_power_solar_panel); % in kwh
```

4.5.10 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.

```
⌘ ΚΕΡΔΟΣ ΕΝΟΣ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΟΥ ΠΑΝΕΛ.  
profit_1_solar_panels = Produced_energy_1_solar_panel * price_kw_energy; ⌘ in euro
```

4.5.11 Συνολικό κέρδος όλων των πάνελ

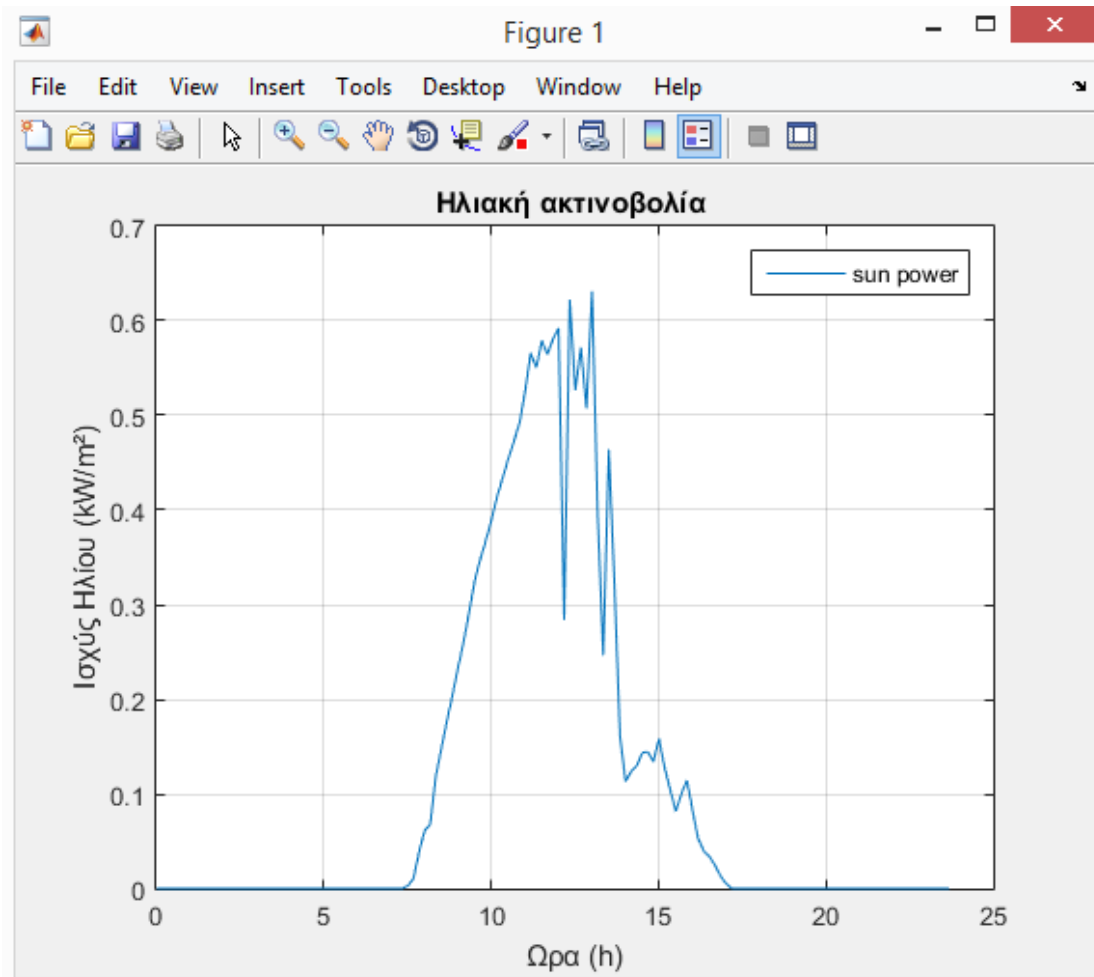
Ο υπολογισμός γίνεται ακριβώς όπως με το ένα ηλιακό πάνελ, με την διαφορά ότι τώρα χρησιμοποιούμε την ενέργεια που παράγεται από όλους τους ηλιακούς συλλέκτες.

```
⌘ΚΕΡΔΟΣ ΑΠΟ ΟΛΑ ΤΑ ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΙΚΑ ΠΑΝΕΛ.  
Profit_total_solar_panels = Total_Produced_energy_solar_panel * price_kw_energy; ⌘ in euro
```

4.6 ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΓΡΑΦΗΜΑΤΩΝ

4.6.1 Ηλιακή ακτινοβολία

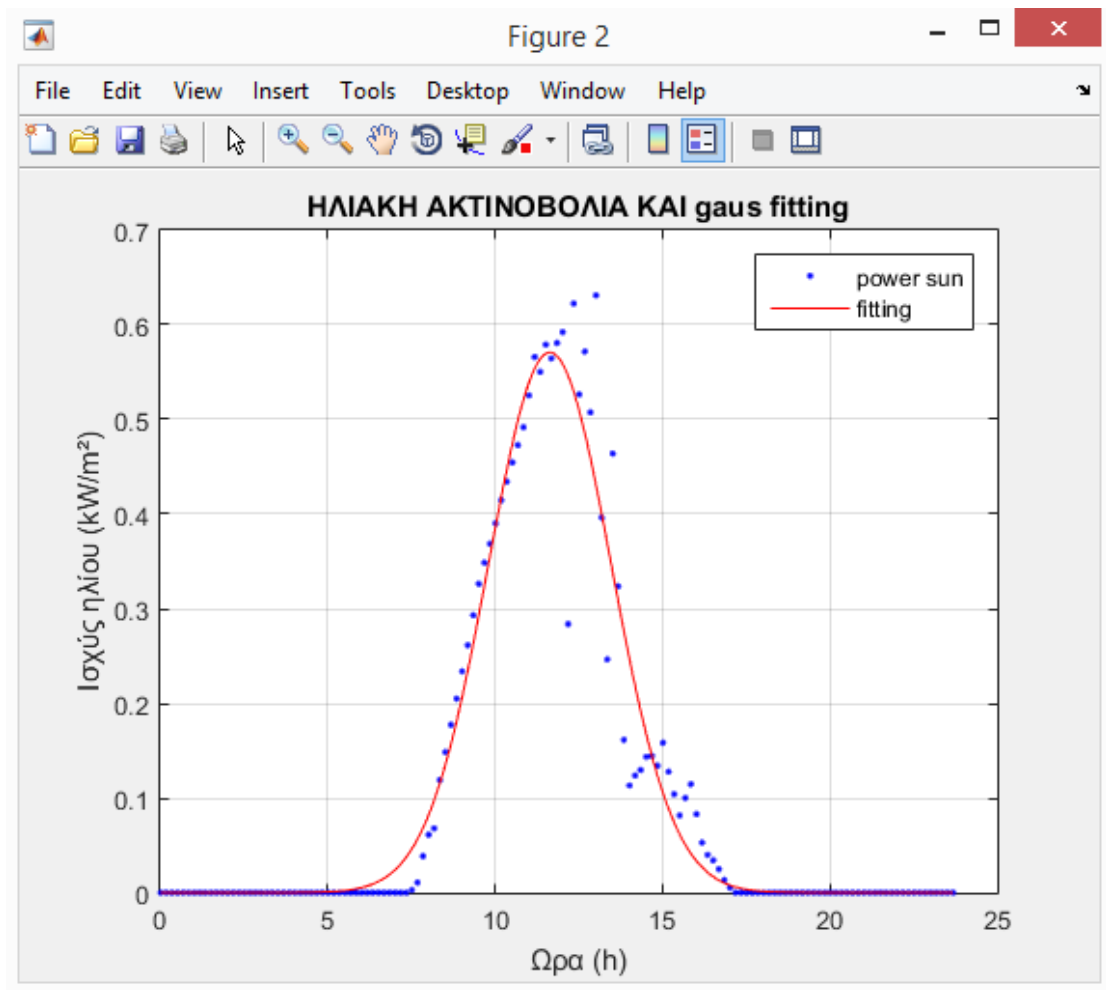
Η γραφική παράσταση της ηλιακής ακτινοβολίας παρουσιάζει την συνολική ενέργεια που προσφέρει ο ήλιος για μία ημέρα ή ένα μήνα. Οι κάτω κορυφές είναι σύννεφα που μπλοκάρουν τον ήλιο από τον εξοπλισμό των μετρήσεων. Στον άξονα x, ο χρόνος είναι σε ώρες. Το παράδειγμα αυτό χρησιμοποιεί μία ημέρα και η ενέργεια που παράγεται από τον ήλιο στον άξονα y είναι σε kW/m².



Ηλιακή Ακτινοβολία

4.6.2 Ηλιακή ακτινοβολία με Gaussian fitting

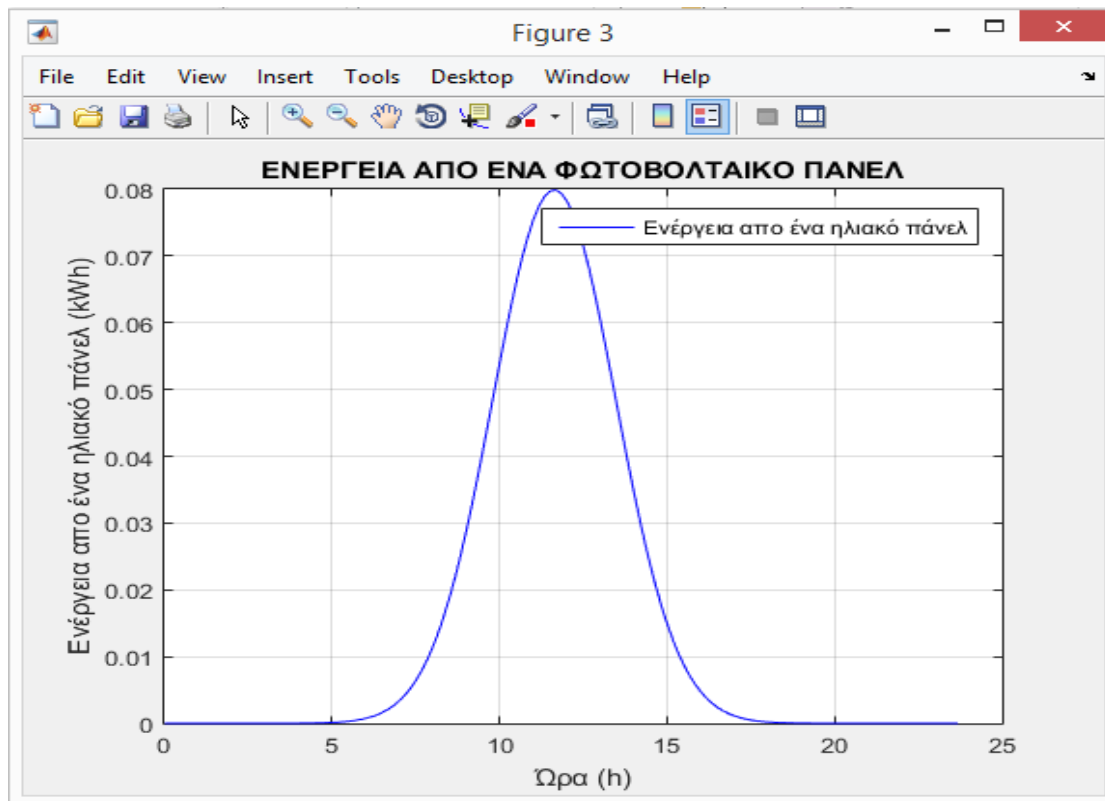
Στο γράφημα αυτό χρησιμοποιείται *Gaussian fitting*. Οι παράμετροι ποιότητας υπολογίζονται και μπορούν να χρησιμοποιηθούν αργότερα για περαιτέρω υπολογισμούς.



Ηλιακή Ακτινοβολία και Gauss fitting

4.6.3 Ενέργεια από ένα ηλιακό πάνελ

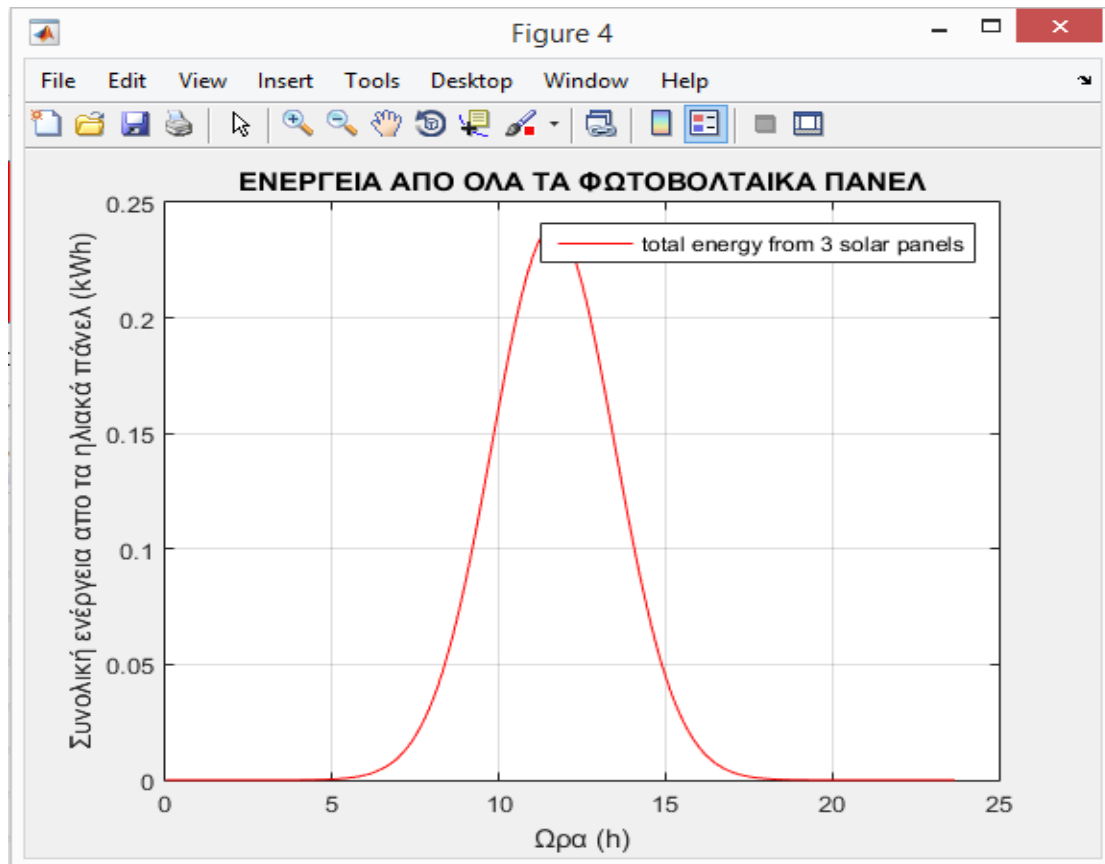
Η ενέργεια από ένα ηλιακό πάνελ είναι σαφώς λιγότερη από αυτή που παράγει ο ήλιος. Η αποδοτικότητα των ηλιακών πάνελ είναι σχετικά χαμηλή, διότι, ανάλογα με τον τύπο των πάνελ, αυτή εξισορροπείται γύρω στο 8%.



Ενέργεια από ένα πάνελ

4.6.4 Συνολική ενέργεια από τα ηλιακά πάνελ

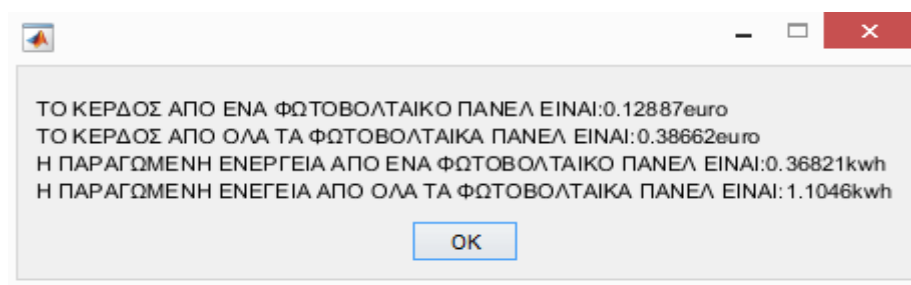
Η συνολική ενέργεια των ηλιακών πάνελ μπορεί να υπολογιστεί με τον πολλαπλασιασμό της ισχύος του ενός ηλιακού πάνελ με τον αριθμό των ηλιακών συλλεκτών που έχουν τοποθετηθεί. Η αποδοτικότητα τους μπορεί να παρατηρηθεί στο γράφημα.



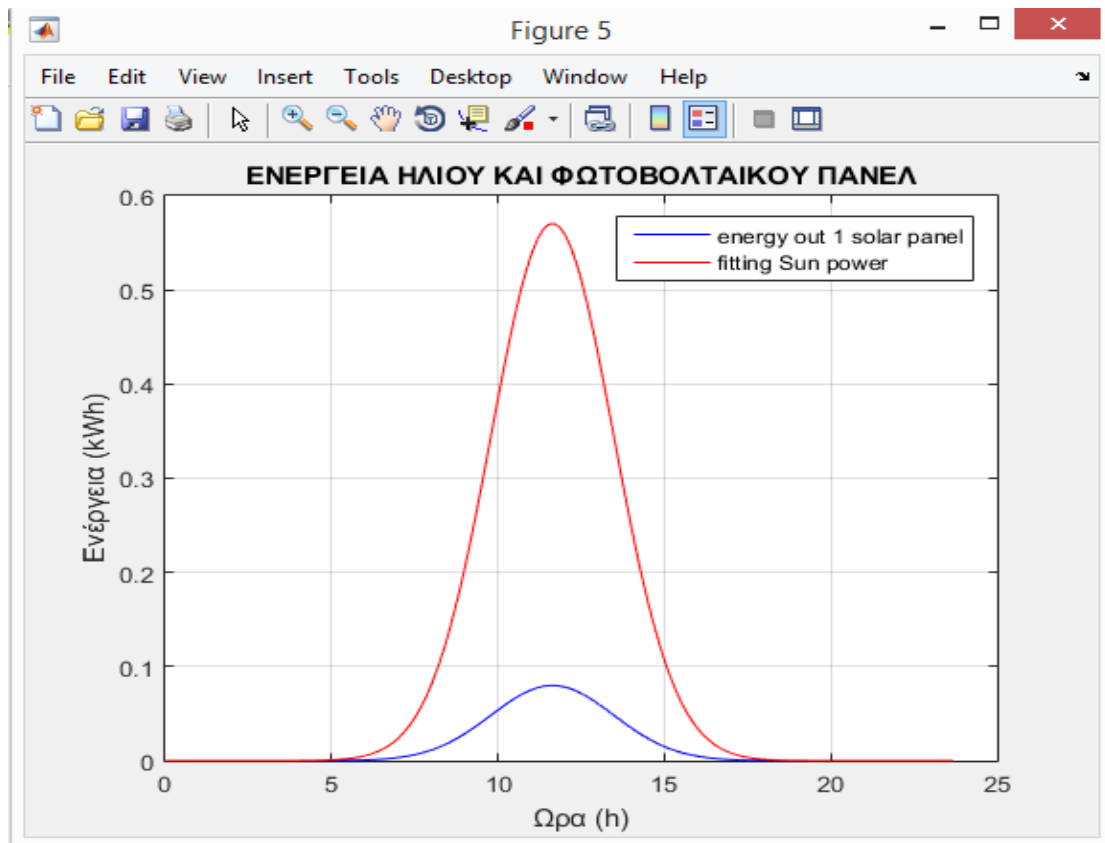
4.6.5 Συγκεντρωτικό message box

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



Συγκεντρωτικά αποτελέσματα



Ενέργεια από ένα πάνελ και ηλιακή ενέργεια με fitting

Βιβλιογραφία

- 1) http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2011-0039/DT2011-0039.pdf
- 2) <http://www.rfenergy.gr/index.php?maincat=10&subcat=15>
- 3) <http://www.allaboutenergy.gr/AiolikiEnergeia.html>
- 4) <http://www.neo.gr/website/ergasiamathiti/109.htm>
- 5) http://users.sch.gr/imarinakis/aeolian_energy.htm
- 6) <http://slideplayer.gr/slide/1924540/>
- 7) <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/th/math9.html>
- 8) <http://docplayer.gr/948739-Fotovoltaika-efaruoges-sta-ktiria.html>
- 9) https://el.wikipedia.org/wiki/Κανονική_κατανομή
- 10) <http://www.sunblog.org/πανελ/2012/10/μονοκρυσταλλικά-πολυκρυσταλλικά-ή-cigs-φ-8040.html>
- 11) http://www.selasenergy.gr/fv_systems.php#bookmark6